2010 年度
土木における木材の利用拡大に関する
横断的研究報告書

2011 年 3 月

土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会
（日本森林学会・日本木材学会・（社）土木学会）
（社）土木学会　木材工学特別委員会

はじめに

今ほど世を上げて木材，とりわけ国産材の利用促進が謳われている時代は，かってなかったといえるでしょう。この背景には資源ナショナリズムの高まり，二酸化炭素の吸収源としての森林の役割や木材利用の炭素貯蔵としての機能の認識がその背景にあることはいうまでもありません。

「地球温暖化対策の推進に関する法律」に基づく京都議定書目標達成計画（平成 17 年４月閣議決定，18 年７月一部改定，20 年３月全部改定）においては，森林吸収源対策として「住宅や公共施設等への地域木材利用の推進」が規定され，同法に基づく政府実行計画（平成 19 年３月）では，建設資材等の選択として「木材の利用（略）を促進する」と示されています。

また，2020 年までに木材自給率を 50%以上（国産材の需要を 4,000～5,000m^2 に増加）とすることを骨子とした『森林・林業再生プラン』が平成 21 年 12 月 25 日に公表され，推進本部長（農林水産大臣）のもとに，「基本政策検討委員会」をはじめ，「国産材の加工・流通・利用」など検討委員会において具体的な施策が検討され，昨年秋の大臣報告を経て森林・林業基本計画の改定の議論が始まりました。

さらに，『公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律』（平成 22 年法律第 36 号）が成立し，平成 22 年 5 月 26 日に公布され，同年 10 月 1 日から施行されました。この法律には，国が率先して木材利用に取り組むとともに，地方公共団体や民間事業者にも国の方針に即して主体的な取組を促し，住宅など一般建築物への波及効果を含め，木材全体の需要を拡大することが規定されています。もちろんこの法律の主眼は建築分野への木材利用の促進に置かれていますが，第 18 条には「国及び地方公共団体は，木材を利用したガードレール，高速道路の遮音壁，公園の柵(さく)その他の公共施設に係る工作物を設置することが，その周囲における良好な景観の形成に資するとともに，（中略），その他の必要な措置を講ずるよう努めるものとする。」として建築以外の分野へも木材利用を促進することが謳われています。

土木分野においても，木材の持つ，比強度が高い，適度な弾性がある，熱伝導率が低い等の素材としての長所，あるいは木材を利用することにより得られる森林活性化効果，炭素貯蔵効果，省エネ効果，化石資源代替効果等，地球温暖化防止に資する効果といった効率性だけでは計れない価値が見直され，木材を土木事業に積極的に活用する動きが出てきました。また，木材の土木利用においては，大量の炭素固定効果も注目されています。

このような流れをうけ，木材の供給側である日本森林学会，木材を加工して供給する側の日本木材学会，ならびに木材の使用者側である土木学会は共に連携して，「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会（横断的研究会)」を 2007 年の秋に立ち上げました。以来，研究会では，3 分野の専門家がほぼ 2 ヶ月に一度のペースで会合を持ち，土木分野において木材の利用拡大を阻む課題の抽出や，土木的利用技術の現状と今後の展開等に関する研究会活動をおこなってきました。

2008 年度には，「土木における木材利用拡大に関する横断的研究」が土木学会重点課題研究に採択され，木材利用数量の推移と現状把握，土木における木材利用事例の整理，治山ダムにおける腐朽特性を考慮した設計方法の検討，地中･海洋での腐朽の少ない条件での利用による環境効果の評価と利用方法の提案，土木における木材利用におけるアンケート調査，シンポジウムの開催や研究成果の発表，等を行ないました。

引き続き 2009 年度においても土木学会重点課題研究として，「温暖化緩和策に向けた具体的な木材

利用技術の研究」が採択され，①木材利用のメリットの抽出と定量化による温暖化対策効果の「見える化」への取組み，②具体的な利用対象に対する温暖化対策効果を考慮した木材利用技術の研究，③木材利用とその環境効果に関する情報の公開，等を実施しましたが，2009 年 5 月には，土木学会において，“環境に有利な木材を土木分野において利用拡大するために必要な調査，研究を行い，地球温暖化防止対策へ貢献する”ことを目的として，「木材工学特別委員会」が設置されました。この特別委員会は，横断的研究会の土木学会における受入窓口にあたるものであり，両者は連携して所期の目的達成に向けて活動を展開することになりました。

2010 年度も，より具体的な木材の土木利用についての解析と検討を深めるため，WG1：木材利用・課題抽出，WG2：木橋利用研究，WG3：治山・治水利用研究，WG4：地中･海洋利用研究，WG5：道路付帯利用研究のワーキング・グループを組織し活動を展開してきました。それぞれの WG の活動対象はきわめて多岐にわたっていますが，課題や問題点の抽出や分析を踏まえて，新たな利用方法の提案や実験の実施など具体的な成果を着実に上げてきています。

また，今年度の特筆できる事業として，土木分野への木材利用の促進を掲げたロードマップを策定したことを指摘することができます。ロードマップの策定にあたっては，土木における 10 年後の木材利用量の目標を 400 万 m^3/年とし，これを達成するための柱として，技術開発，普及・展開，他分野との連携とし，特に技術開発においては，新規の利用先となる分野の開発，および既に使用されている分野におけるさらなる利用拡大のための開発を重点課題として取り上げ，そのための道筋を検討しました。

土木における木材利用の拡大には，利用する立場としての土木，木材供給側の林業や木材加工など森林や木材の分野，さらには環境分野との連携が大切です。本研究会も社団法人土木学会，日本森林学会，一般社団法人日本木材学会が横断的な共同研究を進めてきましたが，今後より一層の連携が必要であることはいうまでもありません。また，木材利用の拡大を現実に進めていくためには，さらに広い分野の研究，行政，産業を含めた連携が重要であるといえます。

幹事学会として会議室の提供など多大な御協力をいただいています土木学会，ならびに関係各位に感謝申し上げ，今後の活動にさらなるご協力をお願い申し上げます。

2011 年 3 月末日

土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会

委員長　今村祐嗣

2011 年度

土木における木材の利用拡大に関する横断的研究

成果報告書

も く じ

ページ

1. ロードマップ（沼田）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

2. 土木分野における木材の活用に向けて（濱田）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
2.1 土木分野での木材利用拡大に向けた学際的研究の推進・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
2.2 地盤の液状化対策への木材の活用・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
2.3 既存分野での木材の利用拡大・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4

3. 土木における木材利用と木材の耐久性向上策（今村）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
3.1 はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
3.2 劣化の発生状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
3.3 劣化の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6
3.4 木材保存処理の動向・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
3.5 薬剤の注入処理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 10
3.6 劣化診断と保守管理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 11
3.7 おわりに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 12

4. 資源利用ビジョン（外崎）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 13
4.1「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」の具体化に向けて（香月，川戸） 14
4.2 地盤液状化対策への木材利用による温室効果ガス排出削減効果の評価（加用）・・・・・ 19
4.3 建設実務者の木材に対する意識調査結果（渡辺）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 23
4.4 土木材料学の書籍における木材の取り扱われ方の分析結果（渡辺）・・・・・・・・・・ 29

5. 木橋への利用技術（平沢）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 33
5.1 耐用年数の推定（荒木）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 34
5.2 近代木橋の維持管理（原田）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 40
5.3 プレストレス木床版橋の施工（佐々木）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 44
5.4 プレストレス木床版と鋼トラスを組み合わせた新形式木橋（後藤）・・・・・・・・・・ 50
5.5 カスケード利用を想定した木製トラス橋の架設実験（平沢）・・・・・・・・・・・・・・ 54

6. 木材の治山・治水利用（石川）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 61
6.1 治山・治水利用分野における木製施設（石川芳治）・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 62
6.2 海外における木製治山・治水施設（石川・高奥）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 65
6.3 我が国における既設木製堰堤事例（石川）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 72
6.4 木製施設の腐朽度実態調査（石川）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 78

6.5　木製施設の耐朽性と維持管理（京都府における維持管理）（高奥）・・・・・・・・・・・・　93
6.6　木製校倉式構造物の特徴（石川，田次）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　95

7.　木材の地中海洋利用（沼田）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　101
7.1　地中海洋における歴史的な木材利用事例（末次，中村，沼田）・・・・・・・・・・・・・　102
7.2　現存の地中海洋における木材利用例（85 年前に打設された新潟県信濃川下流における事例）
（沼田，中村，本山，水谷）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　106
7.3　地中海洋での木材利用における設計法の変遷と現在の設計法（鉄道分野）（辻井）・・・・　108
7.4　木材の腐朽および虫害（沼田，中村，桃原，本山，水谷，手塚，山田，森）・・・・・・・　110
7.5　地中海洋における新しい木材利用の取り組み
（本山，吉田，久保，沼田，五十嵐，水谷，中村，濱田，桃原，末次，深谷，辻）・・・・　119

8.　木材の道路関連への利用（田代）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　145
8.1　道路関連への木材利用事例（柴田）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　146
8.2　木製遮音壁の開発状況（山口）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　151
8.3　NETIS 登録されている間伐材利用道路関連技術（池田）・・・・・・・・・・・・・・・・　153

9.　名古屋城本丸御殿復元工事及び伊勢神宮見学会報告（池田，辻井，新間）・・・・・・・・・　157
9.1　はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　157
9.2　名古屋城本丸御殿復元工事・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　157
9.3　伊勢神宮・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　159
9.4　おわりに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　164

第 2 回木材利用シンポジウム特別講演要旨

「木材利用の常識・非常識」秋田県立大学木材高度加工研究所　飯島泰男 教授・・・・・・　167

付　録

（1）土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会委員名簿 ・・・・・・・・・・・付-1
（2）活動の記録 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・付-5
（3）シンポジウムなどの後援・協賛・参加など ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・付-14
（4）関連記事 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・付-16

1. ロードマップ（沼田淳紀）

本研究委員会では，昨年 2009 年度に，土木における木材利用ポテンシャルが，現状における利用量も含め 400 万 m^3/年程度であることを推計した。

本年度は，10 年後に，このような利用量に達するためのロードマップを作成した。10 年後を目標としたのは，2009 年 12 月に農林水産省から発表された「森林・林業再生プラン」の中の目指すべき姿に示された，「10 年後の木材自給率 50%」という目標に合わせたものである。

ロードマップでは，これを達成するための柱として，技術開発，普及・展開，他分野連携をあげた。

技術開発では，特に，新規の利用先となる分野の開発，および，既に使用されている分野におけるさらなる利用拡大のための開発を重点課題としてあげた。新規分野での開発では，液状化・流動化対策や軟弱粘性土地盤対策など，現在ではほとんど使用されていない新規分野での開発をあげた。この分野では，現在ほとんど木材は使用されておらず，技術開発により新規の需要が望まれる。既存分野での開発では，木橋，治山ダム，河川における水制工，ガードレールや遮音壁などの道路関連設備，架設などの分野で，既にある程度利用されているが，さらなる利用拡大へむけた技術開発を行おうというものである。具体的には，カスケード利用やその後のエネルギー利用を実施可能とするシステムやハードの開発，点検維持管理法や長寿命化技術の開発である。これらの実施に当たっては，基礎的な検証の後，土木技術者に納得してもらうために，実用化に向け実大規模の実験などを実施し設計・施工方法を確立し，技術の普及展開をはかる。

これまでのアンケート結果からも明らかなように，土木分野では木材について学ぶ機会もなく，技術者の中で，木材の利用について誤った認識を持たれている場合が少なくない。そこで，正しい知識

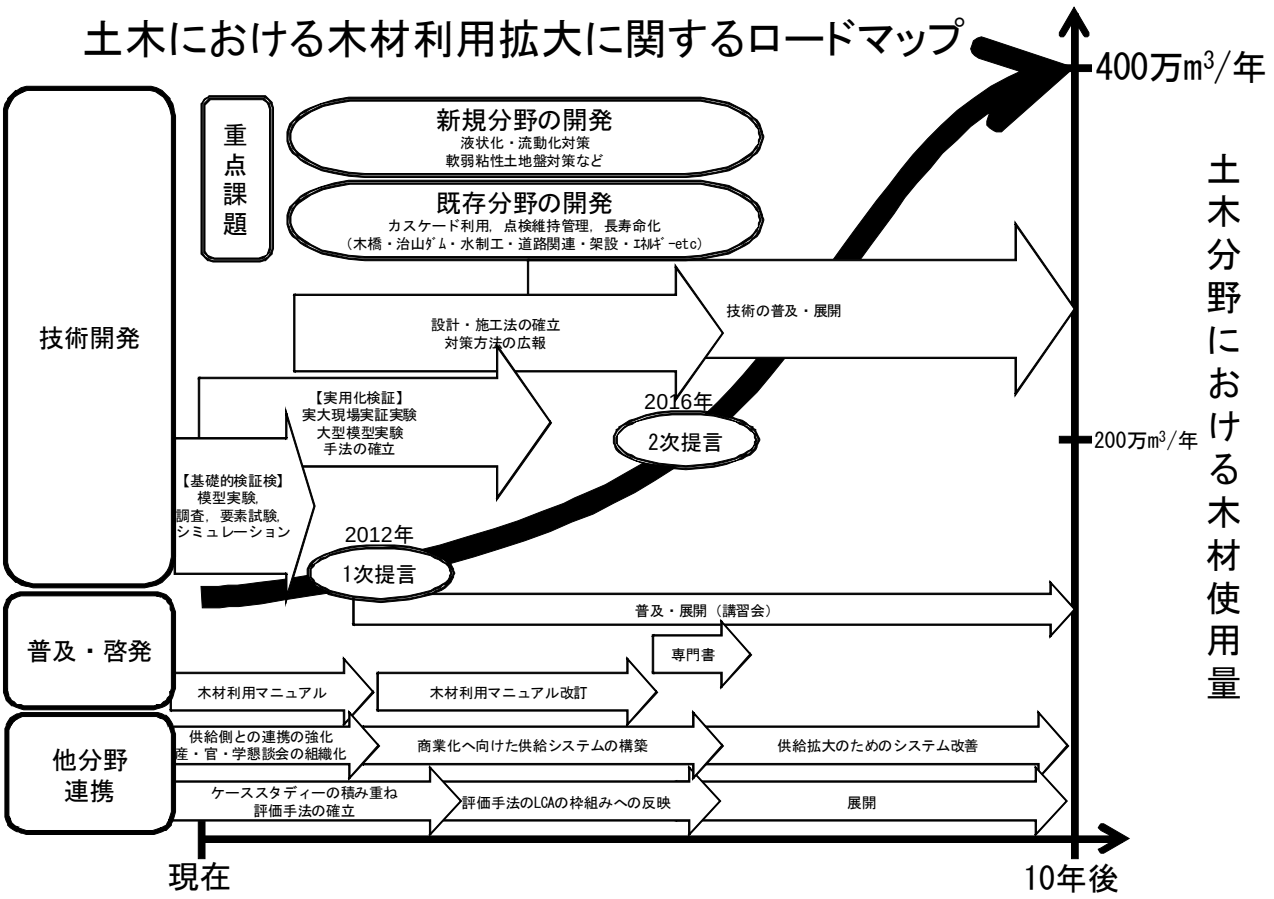


図-1　ロードマップ

や，最新技術を含めた利用技術の普及展開を行う。木材は，土木分野で使用できないのではなく，使用しようと考えていないのが現状であり，土木技術者に対するこのような意識改革を促すことが重要である。このため，専門書もない現状から，まずは木材利用についてマニュアル化し，それを土木技術者にひろめる。これと併行し，講習会などを実施し，普及展開をはかっていく。

木材利用は，木材供給側の林業や木材加工などの分野，さらには環境分野との連携が必要であり，本研究会も日本森林学会，一般社団法人日本木材学会，社団法人土木学会が横断的な研究を進めてきた。今後も，より一層の連携が必要である。また，木材利用の拡大を現実に進めていくためには，研究者を中心とした現在の研究会から，今後は行政や産業を含めた連携により，木材利用についての供給から需要に関わる産業が自立し，持続性のある産業へと導く必要がある。このための，産学官による懇談会の実施，これに基づいたシステムの構築を目指す。また，一方で，二酸化炭素の排出量や貯蔵量など主に環境的な貢献について，定量的な評価が必要であり，これについても他分野との連携を図りながら評価手法の確立，実際の LCA への反映を目指していく。

以上を踏まえ，土木における木材利用の拡大へ向けて，2012 年には第 1 次提言，2016 年には第 2 次提言をまとめ，日本森林学会，一般社団法人日本木材学会，社団法人土木学会の 3 学会から，行政機関や関連機関へ向けて発信して行く予定である。

2.　土木分野における木材の活用に向けて（濱田政則）

2.1　土木分野での木材利用拡大に向けた学際的研究の推進

土木工事の主要部材に木材が使用されることは近年ほとんど無くなり，2006 年度の土木における木材使用量は 103 万 m^3 程度であったと推計されている。この値は，建築部門における年間の木材使用量 2,518 万 m^3 と比べ少なく，土木工事の規模の大きさから考えると，木材が土木事業でほとんど利用されていないことを示している。

しかしながら，木橋や，河川構築物の木製ダム・沈床・水制工などでは量は少ないものの現在でも木材が活用されて来ている。これらに加えて，道路盛土，河川堤防，護岸などの軟弱地盤対策や道路の遮音壁，ガードレール，落石緩衝壁などへの木材利用の可能性は大きく，一部実際の土木工事で用いられて来ている。これらの土木構造物のために要求される木材の品質，規格のグレードは様々である。木橋の場合には，使用木材に高い品質や良好な寸法精度が要求され，また，景観的な良さも要求される。河川構築物や水制工などの場合には，品質，形状，見た目の良さについては木橋ほど高いものは要求されないが，取替の容易さなどが重要となる。液状化などに対する地盤改良材として用いる場合，品質，形状，取替の容易さは重要ではなく，大量に安定供給されることが要求される。

わが国では森林は全国に分布しており，土木工事も全国に展開している。それぞれの品質・規格の要求に適合した木材を近隣地域より供給することは容易であり，伐採・供給システムが適切に整備されれば，経済的に外国産材に対抗することもあるいは可能になるのでないかと考えている。さらに高品質や長尺で木橋などに利用した木材を，低品質や短尺で順次利用していくカスケード的な利用も材料費の削減や CO_2 の木材内への長期保持などに有効であり，木材の土木分野での利用拡大につながると考えられる。

木材の土木分野での活用を拡大するためには，森林・木材・環境・土木分野の関係者の連携が不可欠であることは論をまたない。森林・林業分野からの大量供給能力の確保，土木分野での需要拡大および木材の流通サイクルの整備，などが調和的に行われなければならない。土木分野において木材利用を拡大するためには，軽量構造物への木杭基礎や地盤改良材としての活用，腐朽対策技術の開発，設計法の整備など多くの解決を要する課題がある。また，供給側においても大量の木材の安定供給や品質・規格の確保などの課題が数多く残されている。いかにして木材流通の好循環を生み出すかは森林・木材・土木・環境分野の関係者に課せられた課題で，分野横断的・学際的取り組みが必要である。これらの観点からも土木学会，日本木材学会，日本森林学会による横断的研究会をさらに発展させなければならない。

2.2　地盤の液状化対策への木材の活用

1964 年新潟地震以降，多くの既往地震において地盤の液状化により建物の沈下・傾斜や道路盛土などの崩壊の被害がくり返されている。ところが，著者ら研究グループの新潟地震における RC 建物の被害調査によれば，木杭基礎を有する建物は直接基礎の建物に比較して被害の度合いが軽微であり，コンクリート杭を有する建物に比べても被害程度に差がないことが示されている。これは，木杭を構造物基礎に打設することにより土自体の密度と剛性が増加して，液状化が発生しにくくなること，また，杭の存在によって構造物直下の液状化土の水平方向の流動が妨げられ，この結果として構造物の沈下・変形が抑制されたことが原因として考えられる。

このような観点から，筆者の研究グループは建物基礎と盛土の縮尺 1/50 の模型を使って実験をくり返し行い，木杭基礎が液状化による構造物沈下・変形を抑制する効果があることを示し，さらに遠心

載荷場での実験によってもこの効果を検証して来ている[1),2)]。

しかしながら，実構造物に対して液状化対策として木杭の活用を実現するためには，関連する土木技術者の信頼を得られるような効果の実証がさらに必要である。土木技術者が木杭活用の有効性を納得し,木材の土木事業での活用に踏みこめるように,科学的根拠を明確に示すことが要求されている。そのためには，より実物に近いスケールでの模型実験，さらには実構造物での木杭効果に関する液状化対策実験が必要である。将来的には，（独）防災科学技術研究所所有の 3 次元大型破壊実験装置（通称 e-ディフェンス）を用いた実証実験を考えている。そのためには，国・自治体・公的研究機関・学協会・大学・土木産業界の一体となった取り組みが必要と考えている。

2.3　既存分野での木材の利用拡大

木橋，河川・砂防施設および道路施設等においては使用量は極めて限定的であるが，木材の利用拡大が図られて来ている。これらの既存分野での利用拡大を図るためには，腐朽・虫害への対策，木材の安定供給システムの構築およびカスケード利用技術など，今後調査・研究を必要とする課題が数多く残されている。これらの課題はまさに 3 学会による横断的研究会の主要調査・研究課題となっている。

また,土木分野での木材活用によるCO_2削減効果の具体的評価と社会へのアピールも不可欠である。土木事業は自然環境を損なう一番の根源であるとの全くの誤解が社会に定着しているようである。また，日経エコロジーなどが行ったアンケート調査[3)]などでも建設業の環境問題に関する社会の評価は好ましいものではない[1)]。筆者は長年土木分野に身を置くものとして，土木技術者ほど環境に留意して来た工学技術者は他にないと考えている。それは土木事業の多くが自然の中で実施され，土木技術者が自然環境を保全して行くことの重要さを身をもって感じているからである。

国土交通省，自治体，道路・鉄道事業者および建設産業に向けた木材利用の普及活動の推進は土木分野からの環境問題に大きく貢献することになると考えている。土木分野での木材利用拡大の活動を継続的に進めて行くためには現在の 3 学協会の共同研究をより一層緊密に推進し，国等の公的調査研究資金の獲得にも努力する必要がある。また，現在の土木学会の木材工学特別委員会の常置の研究委員会への速やかな移行も重要であり，学会関係者にもくり返し働きかけを継続して行きたい。

参考文献

1) 堤圭司・中谷史規・岸田健吾・濱田政則：木杭基礎による構造物の液状化・流動化対策法に関する実験的研究(1)，土木学会第 65 回年次学術講演会，2010.9.

2) 中谷史規・岸田健吾・堤圭司・濱田政則：木杭基礎による構造物の液状化・流動化対策法に関する実験的研究(2)，土木学会第 65 回年次学術講演会，2010.9.

3) 日経エコロジー，2006.8.

3.　土木における木材利用と木材の耐久性向上策（今村祐嗣）

3.1　はじめに

「土木」という言葉が示すように,かつて土木事業において最も重要な材料の一つが木材であった。しかし高度成長期，森林の荒廃や効率性重視の流れを背景に，木材からコンクリート等への転換が図られた結果，木材は今日の土木分野にとってもっとも馴染みのない材料となっている。

その一方で，土木分野においても，木材の持つ比強度が高い，適度な弾性がある，熱伝導率が低い等の素材としての長所,あるいは木材を利用することにより得られる森林活性化効果,炭素貯蔵効果,省エネ効果，化石資源代替効果等，地球温暖化防止に資する効果といった効率性だけでは計れない価値が見直され，木材を土木事業に積極的に活用する動きが出てきた。また，木材の土木利用においては，大量の炭素固定効果も注目されている。

しかし，一度他材料に置き換えられたものを従来のものに取り戻すことは容易なことではない。木材が当然のように利用されていた時代には，材料特性を十分に理解した上で，それを的確に用いる技術と使いこなす知恵とが当然のように蓄えられていた。また，施工や工事システムの中で正しく位置づけられ，それらが伝承されていく流れも備わっていた。その後，こういった技術とノウハウは，いつしか忘れ去られているのが実情ではなかろうか。

木材の供給側である日本森林学会，木材を加工して供給する側の日本木材学会，ならびに木材の使用者側である土木学会は共に連携して,「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会（横断的研究会)」を 2007 年の秋に立ち上げ，土木分野において木材の利用拡大を阻む課題の抽出や，具体的な木材の土木利用についての解析と検討を行ってきている。

ところで，木材の利用を土木分野で拡大していく上での一つの重要な性能は，耐久性ではなかろうか。“木は腐るから・・・”とはよく聞かれる言葉である。

ここでは，木材の土木分野への利用拡大を眼目におき，木材の劣化現象と耐久性の向上について考えてみたい。

3.2　劣化の発生状況

ところで，世界最古の木造建築物である法隆寺の五重塔，それを 1400 年以上にわたって支えてきたのは，木材の驚異的な耐久性である。数百年前以上にわたり神社仏閣に使用されてきた木材を，新しく伐採された木材と比較しても，強度低下はほとんどないことは良く知られていることである [1)]。各種の建築材料のうち，石材やその他の無機材料を除いて，人類の歴史のなかで千年以上の耐久性を誇るのは木材が唯一であろう。

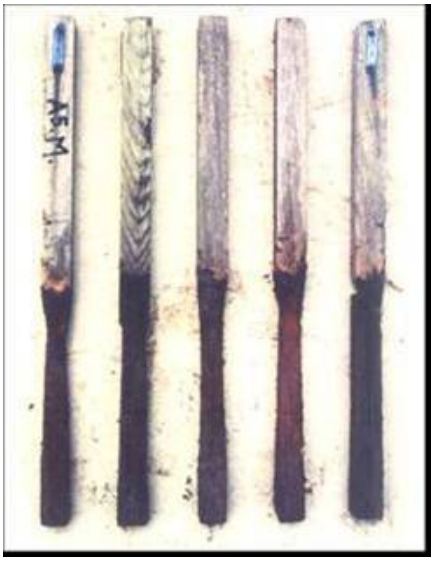


図-3.2.1 野外腐朽試験で劣化した木材（奈良県森林技術センター）

しかし，年数がかなりたってもそこに使われている木材にはほとんど劣化がみられないことがある反面，わずか数年で取り換えねばならなくなるほど劣化が進行することもある。木材に劣化を引き起こす主要なものは腐朽やシロアリといった生物である。木材はセルロースやリグニンといった樹木がつくった生分解性の高分子化合物からできていることから，こういった生き物による劣化作用を受ける。

腐朽の発生･進行には温度と水分と酸素が必要な因子であり，このうちどれが欠けても劣化は進まない。このうち，温度条

件は地域や気候，あるいは使用環境によって影響を受けるとはいえ，通常 15℃以上になれば腐朽菌やシロアリの活動が活発になる。酸素条件については，土中深く，あるいは水の中で使用されてきた木の杭にみられるように，それが欠乏したところでは生物劣化は進行しない。一方，土中に使用された杭の場合でも，土中にある部分は健全であるにしても，地面に接する部分では水分，酸素の両者が供給されるため腐朽が進行する。

図-3.2.1 は木材の耐朽性評価のために土中に埋設された杭の状況であるが，地際部分の劣化が一番激しい。上述のように水分，酸素の両者が供給されるためであるが，また，地面近くには腐朽菌が多く存在することもその進行を加速している。したがって，標準的な木材の野外腐朽試験では杭を土中に埋め込み，定期的に取り出して目視観察を行うが，地際部分の劣化状況によって評価されることが一般的である。

3.3　劣化の概要

3.3.1　生物劣化

一般的に木材は，条件にかなった水分と温度が与えられると，変色菌やカビ，腐朽菌あるいは細菌類が木材の表面あるいは内部に繁殖し，汚染または劣化の原因となる。このうち，変色菌やカビは木材にわずかに含まれるデンプンやタンパク質のみを利用して生長するため，木材の実質は分解せず，強度を低下させることはほとんどない。

木材の微生物劣化で最大の被害を引き起こすのは担糸菌類による腐朽であり，セルロースやリグニンという木材実質を分解する。土に接した木材は，土中に存在する腐朽菌の菌糸や胞子との接触により腐朽が始まり，住宅部材のように木材と土との接触がない場合では，すでに腐朽した木材から菌糸が伸びてきて腐朽が始まったり，空中を飛散していた胞子が木材表面に付着し，水分が供給されると発芽して菌糸となり内部へ伸長して腐朽が始まる。木材内部で繁殖した腐朽菌はやがて表面に子実体（“きのこ”）をつくり，胞子を生成する。

木材腐朽菌は褐色腐朽菌と白色腐朽菌に大別される。このうち褐色腐朽菌は建築物等の主要な劣化微生物であり，針葉樹材を特に劣化させ，セルロースを選択的に分解することから，質量減少が小さい段階であっても大きな強度低下を引き起こす[2)]。白色腐朽菌はセルロースとリグニンとを同時に分解するため強度低下に与える影響は褐色腐朽菌よりも小さいが，屋外では一般的に認められる菌類である（**図-3.3.1**）。軟腐朽菌は水分状態がかなり高い状態であっても活動し，表面から軟化するなど

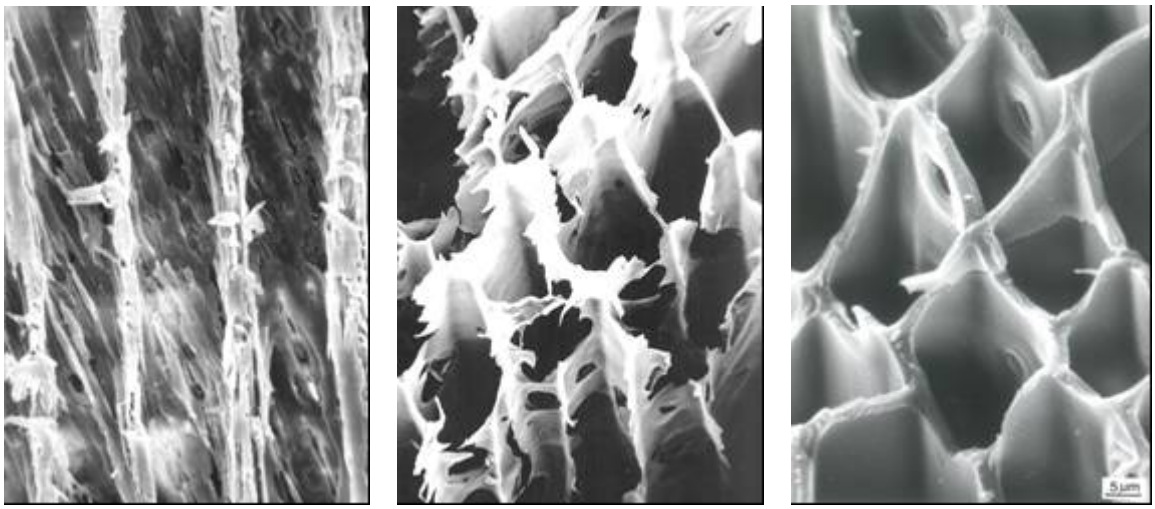


図-3.3.1 左から，褐色腐朽菌，白色腐朽菌，軟腐朽菌によって劣化した木材（スギ）

特有の劣化現象を示す。絶えず水がかかったり，高い水分状態の土中に埋まっていた木材によく見られる腐朽形態である。

木材のもう一つの主要な劣化生物はシロアリである[3)]。シロアリは通常，温暖で高湿度の環境を好むが，腐朽の進行と関係なく単独で木材を加害する場合と，腐朽と並行して食害を生じる場合がみられる。日本には20種くらいのシロアリの生息が報告されているが，経済的に重要な種類はイエシロアリとヤマトシロアリである。イエシロアリは地中に巣を構築し，土の中に蟻道と呼ばれるトンネルをつくって移動し，ひとつのコロニーの個体数は100万頭を越えるといわれている。世界のシロアリの仲間でも住宅などに大きな被害を及ぼしている暴れ者で，その分布は南西諸島から沖縄，九州，四国，瀬戸内地域から近畿南部，東海，関東の太平洋岸となっているが，いまや太平洋を渡りアメリカでも猛威をふるっている（**図-3.3.2**）。

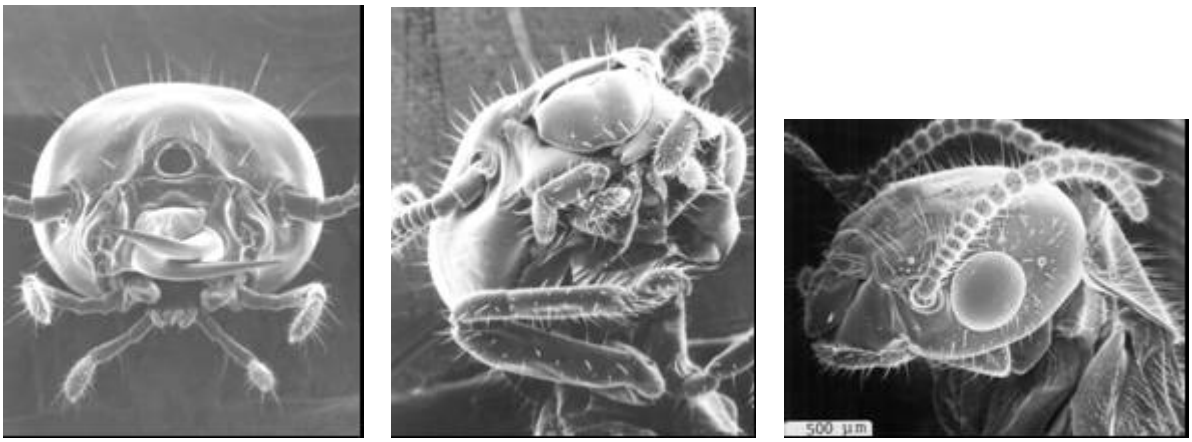


図-3.3.2 左から，イエシロアリの兵蟻，職蟻，羽蟻の頭部

ヤマトシロアリは木材の中に巣をつくり近くのものを食害するが，個体数はイエシロアリより少なく1コロニーあたり数千から1万頭くらいである。このシロアリは，世界でもっとも北まで分布しているグループであるが，わが国では本州以外にも北海道の旭川市でその生息が確認されたのを皮切りに，最近ではさらに北上し名寄市においても発見されている[4)]。イエシロアリと異なり水分に対する依存度が高く，通常は腐朽と並存することが多い。

イエシロアリとヤマトシロアリは地下生息性シロアリと称されるグループに属するもので，いずれも土の中をおもな生息場所としている。場合によっては，枯死木や住宅の壁の中に巣をつくることがあっても，土中を移動の経路にし，特に水分供給を地下に求めている。しかし，最近わが国で，アメリカカンザイシロアリという変わり者のシロアリによる被害が増えてきた。このシロアリはアメリカから渡ってきた種類で，乾いた木材中でのみ生息し，生存に必要な水分も気乾状態にある木材から求めている乾材（カンザイ）シロアリである[5)]。

3.3.2　風化

雨ざらしの場所にある木材は，彫刻刀で削ったように表面が粗くなっているのを目にすることがある。木材はその化学構造から非常によく太陽光を吸収する物質である。構成成分のうち，とくにリグニンやポリフェノール類からなる抽出成分は，紫外線を吸収しやすい構造をもつため，光分解作用を受けやすい。分解された成分の多くは水に溶けやすく，雨水により容易に木材表面から流れ出る。さ

らに溶出後に現れる内部の新鮮な部分も同様に光分解を受け，結果として木材表面は早材部を中心に劣化が進行する。これは風化と呼ばれる現象であり，針葉樹材の風化速度は 100 年で 5～6mm ともいわれている(**図-3.3.3**)。

また，公園のベンチや庭の縁台など，屋外でみられる木材はみな暗灰色化している。木材の変色は短期間で生じるが，初期の段階の変色は光酸化に伴う木材成分の化学構造の変化によるものである。濃色の材は明色化し，淡色の材は暗色化する。その後，脱リグニンによって薄い灰色に，さらにカビなどの付着による斑点状の黒色のシミが発生し，これが進行して最終的には樹種に関係なく暗灰色化する。これらのカビなど変色菌は，いわゆる腐朽菌のように木材の強度を低下させることはないが，光分解で低分子化した木材成分を好む。また，カビ類はたとえ塗装してあっても微小なピンホールなどから塗膜を通過し，その下に繁殖することもある。

図-3.3.3 日射に曝された木材表面
（細胞間層において顕著な成分分解が生じている。）

3.4　木材保存処理の動向

3.4.1　木材保存剤

ボードウォーク等にはジャラ，ボンゴシ，ウリン，イペ等の海外から輸入された，いわゆる「高耐久性樹種」と称される耐朽性・耐蟻性の高い木材が使用されることが多い。確かにこういった樹種は腐りにくく,鉄木と呼ばれるウリンのように熱帯の高温多湿の環境でも 50 年以上にわたり使用されている例もある。しかし，そのほとんどが天然の森林から伐出されるものであり，蓄積量が少ないうえ再生産が難しい。一方，持続的な資源利用という視点から造林樹種の利用が大切であるが，腐れやすく虫害を受けるものが多いのが実情である。

それらに耐久性を付与するために,防腐･防蟻の効力を持つ保存薬剤による処理が行われてきている。木材内部まで薬剤を浸透させる加圧注入処理には，かつてはCCAが世界的に広く用いられていた。CCA薬剤は，銅，ヒ素，クロムを成分とする水溶性の防腐・防蟻剤で，いったん木材に処理されると薬剤成分が固着し容易に溶出しないことや，腐朽やシロアリに対する広範な効き目もあって，1960年代から世界的に使用が拡大され，わが国においても製材品の加圧注入処理の主流となった。しかし，製造工場での汚染防止の課題，処理木材の廃棄，とくに焼却時における環境汚染の問題などのため，CCAはわが国においてはJIS規格からも削除され，世界的にもその使用は限定されたものになっている。

薬剤を用いる保存処理においては，劣化を防ぐことによる利点と健康や環境への危険性のバランスシートにのっていることはいうまでもない。とくに保存処理された木材が，デッキや遊具あるいはウォーターフロントの部材など屋外の景観材料や土木資材としても用いられる場合では，長期間にわたる効力の信頼性とともに，環境や安全性への配慮がとくに求められ，”信頼性の高い”と”環境にやさしい”の両方の性能を備えた保存処理が従来にも増して模索されてきている。

現在，注入処理用の防腐・防蟻薬剤は，水溶性薬剤では CCA に代わりヒ素やクロムを含まない防腐・防蟻剤，すなわち無機系の銅に有機系薬剤である 4 級アンモニウム塩やアゾール系薬剤などの有機化合物を加えたもの，防腐と防蟻の有機系薬剤の混合薬剤，あるいは油性薬剤としてはナフテン酸亜鉛やナフテン酸銅のようなものに移行してきている。また，かつては鉄道枕木に主に用いられてきたクレオソートにおいても悪臭，皮膚刺激，発癌性成分の存在が問題となり，現在では毒性の高い留

分を除いた新しいタイプのクレオソートに代わってきている。こういった木材保存剤は，防腐効果とシロアリに対する防除効果の両方を備えているものであり，用途によって注入量や木材中における浸潤量が規定されている（【改正 JIS K1570「木材保存剤」，【改正】JISK1571「木材保存剤－性能基準及びその試験方法」は近々告示される予定)。

3.4.2　ノンコンベンショナルな保存処理[6)]

最近は，木粉と熱可塑性プラスチックを混合して，押し出しや射出により成型した木粉・プラスチック複合体（WPC）が，デッキやボードウォークの材料として使用されることも増えてきている。こういった材料は耐久性や強度性能の向上を謳っているが，いわゆる保存薬剤によらない処理も耐久性の向上を目的に行われることも多い。

フェノール樹脂を注入硬化した木材や LVL は，エクステリアとしての用途を想定して，耐腐朽性や耐シロアリ性をもつ耐久性材料としての展開をねらったものである。フェノール樹脂を含浸処理では，注入する樹脂の分子量を小さくすると，木材細胞の壁中に安定な形で樹脂を沈着させることができ，硬さだけでなく寸法安定性や耐腐朽・耐シロアリ性も向上する。重合前の遊離フェノールの毒性は高いが，木材中で硬化させた場合は安全な 3 次元構造体をつくる。したがって，木材の細胞壁の中にいかに効率よく含浸させるかがこの手法のポイントになる。樹脂の分子量が約 500 のところが細胞の壁の中に浸透するか，それとも細胞の内腔面でトラップされるかの境界で，それより大きな分子量の樹脂はいくら注入しても，寸法の安定性はもちろん耐腐朽性などには何ら効果は得られない。したがって，接着剤に用いる樹脂ではそういった機能性を付与することはできない。

木材は環境に調和した材料であることから，よりマイルドな処理や天然物との組み合わせも保存処理の方法としてよく話題に上がる。例えば，建材にヒバ油などの樹木から採集した精油を含ませて抗菌性や抗ダニ性を与えたり，木炭の製造過程で得られる木酢液を木材に含浸して防腐・防虫性を付与する処理である。

ヒバ油の主要成分はヒノキチオール，すなわち β－ツヤプリシンと称されるものである。この成分は揮発性のテルペンの中でも特に抗菌性が高く，ヒノキそのものには存在しないが，アスナロ，タイヒ，ネズコなどに含まれている。シロアリに対しても忌避する効果があり，ヒバ材の高い耐蟻性の原因となっている。しかし，一般的にこれらの成分は揮発性であるため持続的な効力は乏しく，定期的に再処理する必要がある。

一方，木炭をつくる時に発生する煙りを冷却，凝縮すると木酢液が得られる。主成分は酢酸に代表される酸類であるが，アルコール類，フェノール類，アルデヒドやエステルなどの中性物質など約 200 種類以上の化合物が含まれている。木酢液は食品加工用の燻液，土壌改良剤，植物活性剤，消臭剤，除草剤など広い用途に用いられているが，また，微生物を抑制する効果をもっている。この木酢液を製材品に含浸処理すると防腐，防かび，防虫などの性能が得られる。が，課題は水で溶け出しやすいということで，屋外で使用する際には溶出しない工夫が必要である。

天然物を利用する処理で留意しなければならないのは，得られた性能が現在の尺度での評価基準には適合しないことが多いということである。例えば，木酢液の場合では，含まれる成分の種類が多く，原料や炭化方法あるいは保存状態によってもその組成は変化しやすい。また，効果に関してもプラスに働くものとマイナスの効果をもつ成分が同時に含まれおり，漢方薬的なファジーさを含んでいる。

これらの処理については古くより，丸太表面の焼き処理などと共通するものがある。焼きスギの丸太が園芸用の支柱に用いられることも多いが，炭化層は安定であるにしても，その内部は熱による分

解作用を受けて，むしろ腐りやすい状態になっている。このようなものでは，性能が十分に発揮できる最適な用途と，メンテナンスを含むソフト面の裏付けがあってはじめて成り立つと思われる。

3.5　薬剤の注入処理[7)]

木材を薬液中にそのまま浸けても，あるいは表面から塗布しても，薬剤の浸透は表面部分に限定される。処理液を木材内部に行き渡らせるためには，通常，缶の中での減圧・加圧注入法が用いられる。

しかし，木材では辺材への注入性は良好であるが，心材へは液体が入りにくいのが一般的である。現在，建築部材等に使用されている樹種で通常の減圧・加圧注入処理によって，心材まで十分な薬剤浸透性が得られるのはラジアータパインとサザンイエローパインの仲間だけであるといっても過言ではない（**表-3.5.1**）。また，木口からの浸透に比べて側面からの薬剤の浸透性は極端に低い。このため，防腐木材においては，薬剤そのものの効力ではなく，浸透性や注入性が悪いことによって，期待される耐久性が発揮されない場面がしばしばみられる。あるいは，本来は浸透性が良好な辺材部位であっても，乾燥が不十分な状態で注入処理工程に廻したことによって，材中の水分が阻害要因となって薬剤の浸透が損なわれる場合も起こり得る事象である。

表-3.5.1 おもな木材（心材）の浸透性ランキング

	針　葉　樹	広　葉　樹
良　　好	ヒバ，サザンパイン， レッドウッド， ラジアータマツ	ヤチダモ，ケンバス， ゴムノキ
やや良好	アカマツ，スギ， ツガ，ベイツガ， テーダマツ	カバ，ジオジ， イエローメランチ
困　　難	エゾマツ，トドマツ， ヒノキ，ベイモミ， シトカスプルース	ブナ，ケヤキ， カプール
きわめて困難	カラマツ，ベイマツ， ベイスギ	クリ，ミズナラ， ホワイトオーク， レッドラワン，ジャラ

このため，注入性を向上させる前処理技術が検討されてきた。従来から行われている刃物によるインサイジングは，材表面に傷をつけることによって人工的な微小木口面を数多くつくり，一定深さまでの浸透性を確実にしようとするもので，きわめて実用的な手法である。しかし，従来型のインサイジング方法は，比較的簡便で安価である反面，木材表面にかなり明瞭な刺傷の跡がつくだけでなく，強度低下も生じる。このため新しい刺傷方式の開発が試みられ，針や釘を用いたインサイジングや炭酸ガスレーザを利用したインサイジングも検討されており，それに適した木材表面での刺傷パターンも工夫されてきた。

ところで浸透性を改良することを目的に，従来から様々な方法が提案されてきた。これらは大別すると，生物的処理，化学的処理，物理的処理に整理できる。生物的処理は水中貯木に代表されるが，バクテリアや菌類を利用する方法，酵素処理などが該当するが，いずれも効率性の問題点だけでなく心材には効果を得ることが難しいという課題を抱えている。また，化学的な処理方法として，オゾンなどを使用して木材細胞中の沈着物質を除去する手法等が考案されているが，薬剤の安全性だけでなく木材そのものの劣化や均一な処理の困難さが実用化を阻んでいる。

物理的方法としては，以前から蒸煮処理が浸透性の向上に有効であると指摘され単板などに適用された経緯があるが，これは沈着物質の除去などによって浸透経路が確保されることによるものであろう。また，横圧縮前処理法は，物理的な圧縮力（圧密）で木材中に浸透経路をつくろうとするもので，インサイジングが木材の表面層に人工的な木口切断面を多数つくることとすれば，この手法のねらいは木材内部に液体の通路となる微小クラックを人工的に創り出すことにあるといえる。横圧縮を負荷すると木材細胞壁の壁孔（ピット）の周辺が特異的に破壊され，木材の木口面以外の側面からの液体

浸透性を促進することが可能となり，長尺の製材品であっても内部への浸透性を確保することができる。

3.6　劣化診断と保守管理

木質の建築構造物や部材に腐朽や虫害などの劣化が発生しているのか，あるいはその進行がどの程度であるかを的確に知ることは，構造安全性を維持し，耐久信頼性を向上させる点から必要であるばかりでなく，効率的に保守を行っていくうえでも大切である。

ところで，木質部材に腐朽や虫害など生物的な因子が作用した場合，他の劣化要因と異なり，その影響は劇的に生じ，従ってあらかじめその進行速度を予測することは容易なことではない。また，部材の表面から劣化が進行するとは限らず，むしろ腐朽やシロアリの食害は内部で生じることが多く，その検出を一層困難なものにしている。

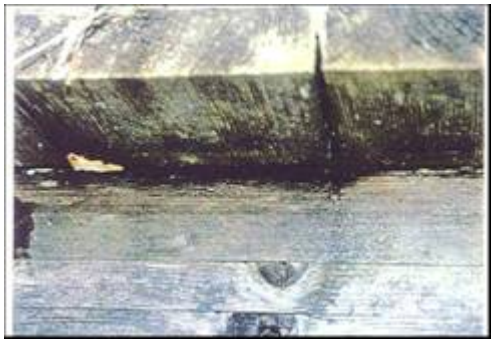
実際的に劣化をチェックする基本的なポイントは，腐れやシロアリなどの劣化要因の生理・生態をよく理解し，被害発生の防止と早期発見につとめることにある。また，劣化を起こしやすい部位に注意する必要がある。

土木など外構材料の場合，3.2 節で述べたように，土壌に接する部分，特に地際付近が一番腐朽によって劣化しやすい。これは周囲から水分が供給されるとともに，付近に劣化を引き起こす微生物が多く存在するためである。地表に置かれた木材では，雨水による膨張と乾燥による収縮によって割れが常に発生し，ここに水が滞留する。また，日射も割れの発生を促進する。そのため，縦使いの部材より水平部材において，特にその上面で割れが発生しやすい。また，ボルトやプレートなどの金物による接合部も，腐朽劣化の発生箇所として注意しなければならない。

以上の視診，打診，触診が一次診断とすれば，適切な治具を利用して客観的な判断を下そうというのが二次診断である。化学的な識別法，あるいは木材内部への物理的なボーリング方法（ピロデイン

腐朽の常識・特性をよく理解せよ。

- **辺材は樹種が何であれ腐りやすい。**
- **腐れは木材の木口から**
- **腐れ対策は水対策**
- **部材接触部に注意**
- **金属との接触にも注意**



写真提供：木口　実（左）、宮武　敦（右）

やレジストメーター)，音響伝播を利用する手法が試みられているが，現場で安定した判断を下すにはまだ課題を抱えている。

3.7　おわりに

「木の文化」の国といわれながら，われわれ日本人は本当に木材をうまく使いこなしているであろうか。住宅を例にとってみても，先進国の中でも極端に短い耐用年数，新築後は一方的に下落して行く住宅価値，最近はほとんど意識の外に置かれた劣化の診断や保守・管理，など考えさせられることは多い。また一方で，住宅の耐用年数を長くすることは解体時期を延ばすことであり，すなわち建築物からの廃棄物を減少させ，炭素の放出をできるかぎり抑制することでもある。

こういったことは土木の用途においても同様であり，当初の十分な耐久設計はもちろんであるが，信頼性の高い木材への保存処理，補修を想定した設計行為とその実行，適切な診断と維持管理が重要な課題である。耐久性能の付与と適切なメンテナンスによって，土木利用においても木材の良さが耐久性の面からも新しい視点で見直されるように期待したい。

参考文献

1) 西岡常一：小原二郎，「法隆寺を支えた木」，日本放送出版協会，p.143, 1978.
2) 高橋旨象：「きのこと木材」，築地書館，p.64, 1989.
3) 今村祐嗣，角田邦夫，吉村　剛：「住まいとシロアリ」，海青社，p.174, 2000.
4) 今村祐嗣：しろあり軍団北上中，「木のびっくり話 100」，日本木材学会編，講談社，p.132, 2005.
5) 宮田光男：「シロアリ驚異の世界（第４巻)」，東京農大出版会，p.32, 2005.
6) 今村祐嗣：ノンコンベンショナルな木材の保存処理，木材工業技術短信，24, pp.1-12, 2006.
7) 今村祐嗣：木材および木質構造物の劣化診断，環境管理技術，19, pp.177-186, 2001.

4. 資源利用ビジョン（外崎真理雄）

資源利用ビジョン小委員会では，主に土木木材利用に関する技術的ではないソフト的課題の解決を目指して活動している。他の小委員会の協力を得ながら，土木において木材はどのように使われていて将来どのくらい使えるようになるのか，土木で木材を使えばどのように環境に良いのか，なぜ土木で木材が使われなくなり，どうしたら使えるようになるのか，土木で必要とされる木材資材をきちんと供給できるのか，などを明らかにし，土木木材利用のあるべき姿を示すことを目的とし，以下のような活動計画を立てている。

活動計画：

（1）土木部門での木材フロー・ストックと将来における利用ポテンシャルの推計

（2）土木木材利用の振興による二酸化炭素排出削減など環境影響評価

（3）土木木材利用に関わる政策・規格など非技術的課題の抽出

（4）土木部門への資材供給に関する林業・木材工業部門の対応可能性の調査

これまで土木部門での木材利用量の推移や，他の小委員会とともに将来的な木材利用ポテンシャルの推計，林業における素材供給可能性などについて報告してきた。

今年度は政策的な動きとして土木木材利用にも関係する，

1) 「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」の具体化に向けて，
土木木材利用の環境優位性を示す。また、

2) 地盤液状化対策への木材利用による温室効果ガス排出削減効果の評価，
および，今後の木材利用可能性に影響する，

3) 建設実務者の木材に対する意識調査結果，
なぜ木材が使われなくなったのかの鍵ともなる，

4) 土木材料学の書籍における木材の取り扱われ方の分析結果
の 4 件について報告する。

4.1 「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」の具体化に向けて

（香月英伸，川戸英騎）

4.1.1 はじめに

森林は，国土の保全，水源のかん養，自然環境の保全，公衆の保健，地球温暖化の防止，林産物の供給等の多面的な機能の発揮を通じて，国民生活及び国民経済の安定に重要な役割を担っており，林業の持続的かつ健全な発展を通じて森林の適正な整備を図ることにより，これら森林の有する多面的機能が持続的に発揮されることが極めて重要です。

しかしながら，戦後植林された人工林資源が利用可能な段階を迎えつつある一方で（**図-4.1.1**），これら資源の利用は低調であり，木材価格も低迷していること（**図-4.1.2**）等から，林業生産活動は停滞し，森林の有する多面的機能の低下が懸念される状況となっています。このため，国内で生産された木材（以下「国産材」という。）の需要を拡大することにより林業の再生を図り，適正な森林整備の確保につなげていくことが急務となっています。

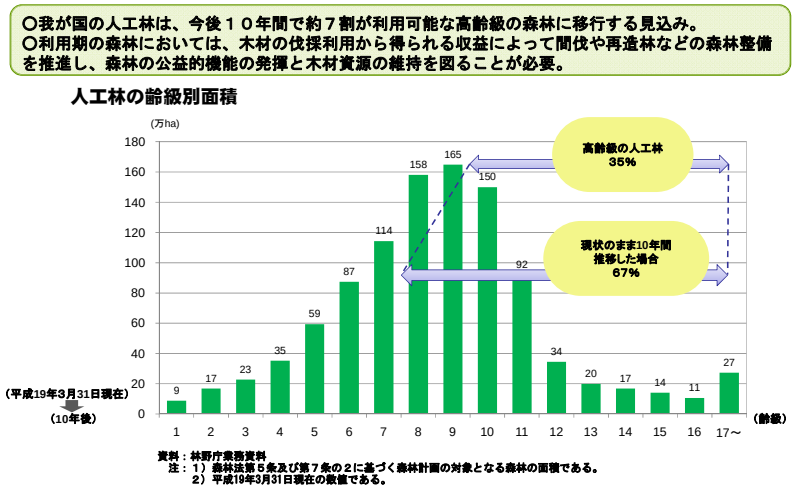


図-4.1.1　我が国の森林資源の状況

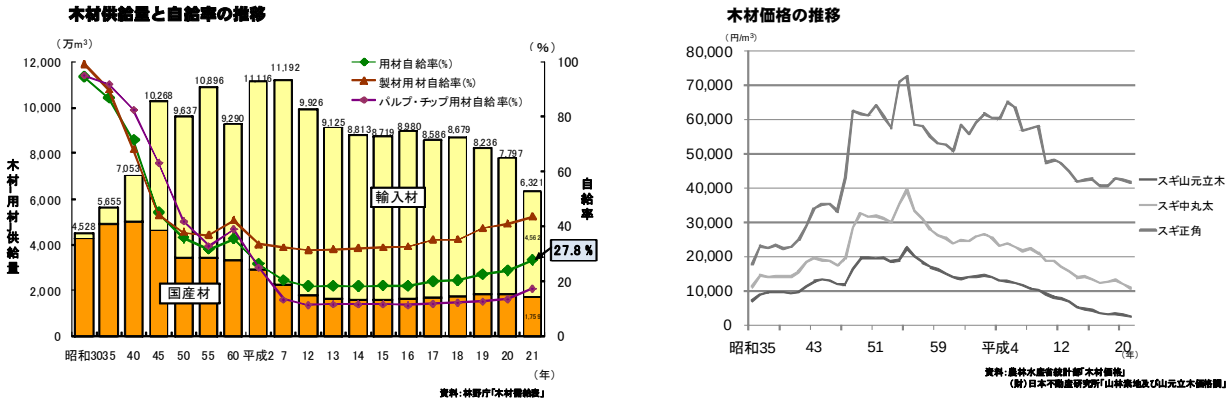


図-4.1.2　木材需要・木材価格の状況

これまでも，木材の利用の推進を通じて，我が国における森林の多面的機能の発揮を図っていく観点から，住宅をはじめとする国産材の利用拡大を図るため様々な施策を実施してきましたが，公共建築物の整備においては，過去，森林資源の枯渇への懸念や不燃化の徹底等から木材の利用が抑制され

た時期があり，現在に至っても，木材利用の可能性が十分検討されることなく鉄筋コンクリート造等が選択される傾向があることなどから，木材の利用は低位にとどまっている状況にあります（**表-4.1.1**)。このため，木造率が低く潜在的な需要が期待できる公共建築物にターゲットを絞って，国等が率先して木材利用に取り組むことが重要です。

表-4.1.1　公共建築物の木造化の現状

	新築･増築･改築に係る床面積の合計（万㎡）	うち、木造のものの床面積の合計（万㎡）	木造率（%）
建築物全体※	15，139	5，467	36．1
公共建築物（国、地方公共団体、民間事業者が整備する学校、老人ホーム、病院等の建築物）	1，479	111	7．5

※住宅を含む。
（注1）床面積の合計は、農林水産省において試算したものである。
（注2）木造とは、建築基準法第2条第5号の主要構造部（壁、柱、床、はり、屋根又は階段）が木造のものである。

資料：建築着工統計（平成20年度）

このような中，平成 22 年 10 月 1 日に林業の持続的かつ健全な発展を図り，森林の適正な整備及び木材の自給率の向上に寄与することを目的とした「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律（平成 22 年法律第 36 号)」が施行されました。

本稿では，本法律の概要や実効性を高めるための取組についてご紹介します。

4.1.2　法律の概要

(1) 国や地方公共団体の責務等

まず，本法律では，国の責務として，木材の利用の促進に関する施策を総合的に策定し，実施するとともに，自ら率先してその整備する公共建築物における木材の利用に努めなければならないこと，また，木造の建築物に係る建築基準法等の規制について検討を加え，その結果に基づき，必要な法制上の措置その他の措置を講ずることなど，広範にわたる責務が規定されています。

また，地方公共団体も，国の施策に準じて木材の利用に努めなければならないこととされています。

さらに，事業者及び国民についても，木材の利用の促進に自ら努めるとともに，国又は地方公共団体が実施する木材の利用の促進に関する施策に協力するよう努めるものとされています。

(2) 公共建築物における木材の利用の促進に関する基本方針，都道府県方針及び市町村方針の策定

農林水産大臣及び国土交通大臣は，公共建築物における木材の利用の促進に関する基本方針（以下，「基本方針」という。）を策定し，公表するとともに，毎年一回，基本方針に基づく措置の実施の状況を公表することとされています。

また，都道府県知事及び市町村は，国の基本方針（市町村にあっては，当該市町村の区域をその区域に含む都道府県が定める方針）に即して，それぞれの区域内の公共建築物における木材の利用の促進に関する独自の方針を定めることができることとされています。(8 条及び 9 条)

なお，基本方針において，各省各庁の長は，基本方針に基づき，公共建築物における木材の利用の促進に係る計画を作成することとされています。

(3) 木材製造高度化計画の認定

木材製造業者が公共建築物に適した木材を円滑に供給できるよう能力の向上を図っていく必要があるため木材製造高度化計画を策定し，農林水産大臣の認定を受けることができます。

(4) 公共建築物における木材の利用以外の木材の利用の促進に関する施策

公共建築物における木材の利用以外の木材の利用の促進に関する施策として，国及び地方公共団体に対して，①住宅における木材の利用，②ガードレール，高速道路の遮音壁，公園の柵その他の公共施設に係る工作物の資材としての木材の利用，③パルプ・紙やバイオプラスチック等の製品の原材料としての木質バイオマスの利用，④エネルギー源としての木質バイオマスの利用の促進のために必要な措置を講ずるよう努力義務を規定しています。

4.1.3 基本方針の概要

平成 22 年 10 月 4 日に公表された基本方針では，以下の内容を定めています。

(1) 公共建築物における木材の利用の促進の意義及び基本的方向

- ○ 公共建築物における木材の利用の促進が，林業の再生や森林の適正な整備，地球温暖化の防止等に貢献すること
- ○ 過去の非木造化の考え方を，公共建築物については可能な限り木造化，木質化を図るとの考え方に転換すること

(2) 公共建築物における木材の利用の促進のための施策に関する基本的事項

- ○ 建築基準法等の法令で耐火建築物とすること等が求められない低層の公共建築物について，積極的に木造化を推進すること
- ○ 木造化が困難な公共建築物の例示（大規模災害時拠点施設等）
- ○ 木造化が困難な場合でも内装等の木質化，原材料に木材を使用した備品や消耗品の利用，木質バイオマスの利用を推進すること

(3) 国が整備する公共建築物における木材の利用の目標

- ○ 国は，その整備する公共建築物のうち，積極的に木造化を推進する公共建築物に該当する低層の公共建築物について，原則としてすべて木造化を図ること
- ○ 低層・高層に関わらず内装等の木質化，原材料に木材を使用した備品や消耗品の利用，木質バイオマスの利用を推進すること
- ○ 利用する木材のうち，グリーン購入法に規定する特定調達品目に該当するものについては，原則として，すべてのものをその判断の基準を満たすもの（すなわち，合法性等が証明された木材や間伐材等）とすること

(4) 基本方針に基づき各省各庁の長が定める公共建築物における木材の利用の促進のための計画に関する基本的事項

- ○ 各省各庁の木材利用の方針及び目標を定めるべきこと，推進体制について記載すべきこと等

(5) 公共建築物の整備の用に供する木材の適切な供給の確保に関する基本的事項

- ○ 公共建築物の整備に適した木材の円滑な供給の確保に取り組むべきこと
- ○ 合法性等が証明された木材の供給・利用を推進すること

(6) その他公共建築物における木材の利用の促進に関する重要事項

- ○ 都道府県方針又は市町村方針を作成する場合の留意事項
- ○ 維持管理を含むコスト縮減対策
- ○ 関係省庁等連絡会議を設置すること

4.1.4　具体的な取組について

(1) 木造の官庁営繕の技術基準の整備

本法律の施行に当たっては，法律に基づく基本方針において，国が整備する公共建築物における木材の利用の目標を定めることから，国自ら率先垂範する取組が極めて重要となります。これにより，地方公共団体，民間事業者に対する一層の波及効果が期待できます。

このため，国土交通省では，木造計画・設計基準検討会を設置し，新たに木造の官庁施設を対象とした計画・設計に関する技術基準を策定するための検討を行っています。この基準が策定されれば，官庁施設として有すべき性能を確保するための木造における技術的事項及び標準的な手法が明確になるものと考えられます。これらの技術基準は，国のみならず，地方公共団体が木造で公共建築物を計画・設計する際に，その導入のための技術的な検討が格段に円滑かつ効率的なものになると期待されます。さらに，平成 10 年度に整備された木造建築工事標準仕様書についても新基準の検討を踏まえ，その見直しが検討されています。

(2)「木の学校」づくりの取組

木材は，やわらかで温かみのある感触，高い吸湿性などの優れた性質を持っており，この性質を活用した木造校舎や，内装に木材を使用した教室等は，豊かな教育環境づくりを行う上で大きな効果が期待できます。このため，文部科学省と連携しながら，木材を活用した学校施設づくりに関する事例集の作成や講習会の実施により，地方公共団体が学校施設への木材利用に積極的に取組めるよう普及啓発し，また，木材を使用した学校施設の整備に対して国庫補助を行うなど，様々な措置を講じてきています。

これらの取組を強化するため，平成 22 年 5 月には，主に地方公共団体の職員を対象に，学校の木造化に当たっての木材利用の検討の進め方や，コストの抑制の方法を中心に，その留意点や工夫した取組事例「こうやって作る木の学校～木材利用の進め方のポイント，工夫事例～」 をとりまとめ公表しました。

また，今年で 12 回目となる文教施設フォーラムは，全国各地を回りながら学校の木造化に関するセミナーを開催しています。セミナーは木材利用に関する施策の紹介や専門家による特別講演，地方公共団体の取り組み紹介を通じて，学校施設への木材の利用を推進していこうとするものです。

(3) 都道府県方針，市町村方針の作成

新たに着工される建築物のうち，公共建築物は約 1,500 万㎡あり，このうち低層の建築物は約 600 万㎡，うち，非木造のものが約 500 万㎡あります。この非木造の低層公共建築物をいかに木造化していくのかが当面の課題です。

国の基本方針では，地方公共団体が国の基本方針に即して都道府県方針，市町村方針（市町村方針は都道府県方針に即して作成）を作成することが期待されています。公共建築物の木造化を推進していくためには，地方公共団体が方針を作成することが重要です。

例えば，既に方針を定めている県と方針を持っていない県の木造率について比較してみますと，平成 8 年時点では木造率に明確な差がなかったにも関わらず，その後 10 年間の木造率の変化には顕著な差が見られました（指針のある県の住宅の木造率はプラス 6.5%であったのに対し，ない県の木造率はマイナス 4.0%）。これは，木造化の方針を明文化することにより，林務部局だけでなく県全体で公共建築物の木造化の気運が高まってきたのではないかと推測されます。

(4) 建築基準法の見直しに関する検討

建築基準法は，公共建築物を含む建築物において木材を利用する際にもっとも関係の深い法律であ

ると言えます。このため，国の責務を規定した法 3 条 5 項において，「建築基準法の規制の在り方について，（略）検討を加える」ことが記されています。

具体的には 3 階建ての木造の学校や，延べ面積 3,000 ㎡を超える建築物に係る規制に関して，木材の耐火性等に関する研究の成果等を踏まえて必要な見直しを行うこととされていることから，当該規制の見直しに係る公共建築物についても木造化を促進するものとしています。

4.1.5　おわりに

本法律は，衆参両議院において，全会一致で可決・成立したこと，また，全国知事会，全国市長会，全国町村長会をはじめ数多くの地方公共団体，業界団体からかねてから要請があったことなどから分かるように，長年木材の利用に取り組んでいる方々にとっては正に念願の法律でした。しかし，本法律の施行により，木材の需要が自動的に増えるというものではありません。本法律は，国の率先垂範を規定した法律です。国においては基本方針を策定し自ら木材利用に取組むこととしていますが，各地方公共団体，また，関係団体に対しても，自ら発注する建築物などについて，木材の利用を促進するよう期待するものです。その取組の中で，地方公共団体においては，部門間の調整により需要側のニーズ，適切な木材供給の課題を把握することに繋がり，また木材供給事業者においては，公共建築物に供する木材に求められる高い品質と低コスト化への努力が共有されることが期待されます。さらに，民間の公共建築物の発注者に対しては，木材を利用した快適な居住空間の実現，またその際のコスト及び環境への負荷低減効果について，関心を持っていただくきっかけとなることを期待しています。加えて，備品や消耗品，木質バイオマスまで幅広い木材需要の拡大が望まれます。

今後，関係の皆様の一層の努力を通じて，木材の利用がさらに拡大され，「木造」が当然のように選択される社会になるよう期待するものです。

4.2　地盤液状化対策への木材利用による温室効果ガス排出削減効果の評価（加用千裕）

4.2.1　研究概要

地盤の液状化対策への木材利用に着目し，丸太を地中に打設する木杭(LP)工法の温室効果ガス(GHG)(CO_2，CH_4，N_2O)排出削減効果を評価するために，砂杭を利用するサンドコンパクションパイル(SCP)工法やセメント固化による深層混合処理(CDM)工法の GHG 排出量との比較を行った。LP 工法については，木材の GHG 収支に影響を与える項目として，木材伐採後に再植林を行い森林管理が持続的なものかどうか，地中の丸太を廃棄せず半永久的に固定するかどうか，その際に嫌気性分解によりメタン(CH_4)排出があるかどうか, 林地残材や廃棄後の丸太を石炭や石油の代替燃料として利用するかどうか，を検討するために複数のシナリオを想定し評価を行った(Kayo *et al*. 2011. Reductions in greenhouse gas emissions by using wood to protect against soil liquefaction. *Journal of Wood Science*. 印刷中)。

4.2.2　方法

(1)化石燃料等の消費による GHG 排出量

実務者の経験を基に，いずれの工法も基礎として同等レベルとなるように施工条件を設定し，各工法の材料と燃料の使用量を**表-4.2.1** に示した。各工法における化石燃料等(化石燃料と石灰石)の消費に伴う GHG 排出量は，使用される材料の生産，施工機械に使用される燃料の生産，その燃料の燃焼の各過程を評価対象とし，**式(4.2.1)**，**式(4.2.2)**により算出した。

$$EC=U_{(M)}\cdot ec_{(M)}+U_{(F)}\cdot ec_{(F)} \qquad (4.2.1)$$

$$EN=U_{(F)}\cdot en_{(F)}\cdot GWPn \qquad (4.2.2)$$

ここで，EC(t-CO_2)は化石燃料等の消費に伴う CO_2 排出量，$U_{(M)}$(t, m^3)は材料(砂，高炉セメント，丸太)の使用量, $ec_{(M)}$(t-CO_2/t, m^3)は材料の生産に伴う CO_2 排出量原単位, $U_{(F)}$(L)は化石燃料(軽油)の使用量, $ec_{(F)}$(t-CO_2/L)は化石燃料の生産と燃焼に伴う CO_2 排出量原単位，EN(t-CO_2)(CO_2 換算)は化石燃料の消費に伴う N_2O 排出量，$en_{(F)}$(t-N_2O/L) は化石燃料の燃焼に伴う N_2O 排出量原単位，GWPn は N_2O の CO_2 に対する地球温暖化係数を示す。

(2)木材の GHG 収支

LP 工法における木材のライフサイクルを**図-4.2.1** に示した。木材の GHG 収支に影響する項目として，木材伐採後の再植林による持続的森林管理の有無(F0，F1)，地中の丸太の永久固定の有無(S0，S1)と CH_4 排出，林地残材と廃丸太の燃料利用の有無(R0，R1，W0，W1)を検討し，それらの組み合わせ

表-4.2.1　各工法における施工条件と材料・燃料使用量

		Unit	SCP	CDM	LP
Pile length		m	8	8	8
Improvement area		m^2	500	500	500
Placing pitch		m	1.60	1.34	0.50
Pile diameter		m	0.70	-	0.17
Placing cross-sectional area		m^2	-	1.50	-
Improvement rate		-	0.15	0.84	0.15
Cement content		t/m^3	-	0.10	-
Material use	Sand	m^3	848	-	-
	Blast-furnace cement	t	-	368	-
	Log	m^3	-	-	586
Fuel use (Light oil)	Construction machinery	L	417	1,701	-
	Electric generator	L	3,581	14,732	-
	Compressor	L	1,527	-	-
	Wheel loader	L	558	-	-
	Backhoe	L	-	3,157	5,865
	Total	L	6,083	19,590	5,865

による木材シナリオを設定し，**表-4.2.2** に示した。また，各シナリオにおける GHG 収支を**表-4.2.3** に示した。ネットの GHG 収支を**式(4.2.3)**と定義し，**式(4.2.4)～式(4.2.12)**により算出した。

$$GHG=(C_{dec(T)}+M_{emi(L)}+MC_{emi(L)}+N_{emi(L)})-(C_{sto(L)}+C_{sub(L)}+C_{sub(R)}) \quad (4.2.3)$$

$$C_{dec(T)}=L/Y\cdot BEF\cdot(1+R)\cdot D\cdot CC\cdot 44/12 \quad (4.2.4)$$

$$C_{sto(L)}=L\cdot D\cdot CC\cdot 44/12 \quad (4.2.5)$$

$$M_{emi(L)}=L\cdot D\cdot CC\cdot GC\cdot MG\cdot 16/12\cdot GWPm \quad (4.2.6)$$

$$MC_{emi(L)}=M_{emi(L)}+C_{sto(L)}\cdot GC\cdot(1-MG) \quad (4.2.7)$$

$$C_{sub(L)}=F_{sub(L)}\cdot ec_{(F)} \quad (4.2.8)$$

$$F_{sub(L)}=L\cdot D\cdot cal_{(L)}/cal_{(F)} \quad (4.2.9)$$

$$C_{sub(R)}=F_{sub(R)}\cdot ec_{(F)}-L/Y\cdot(BEF-1)\cdot ec_{(R)} \quad (4.2.10)$$

$$F_{sub(R)}=L/Y\cdot(BEF-1)\cdot D\cdot cal_{(L)}/cal_{(F)} \quad (4.2.11)$$

$$N_{emi(L)}=L\cdot D\cdot en_{(L)}\cdot GWPn \quad (4.2.12)$$

ここで，GHG(t-CO_2)(CO_2 換算)はネットの GHG 収支，$C_{dec(T)}$(t-CO_2)(CO_2 換算)は丸太伐採による森林の炭素貯蔵量の減少(炭素排出)，$M_{emi(L)}$(t-CO_2)(CO_2 換算)は地中の丸太の生物分解による CH_4 排出量，$MC_{emi(L)}$ (t-CO_2)(CO_2 換算)は地中の丸太の生物分解による CH_4 と CO_2 排出量，$N_{emi(L)}$(t-CO_2)(CO_2 換算)は廃丸太の焼却による N_2O 排出量，$C_{sto(L)}$(t-CO_2)(CO_2 換算)は地中の丸太の炭素貯蔵量，$C_{sub(L)}$と $C_{sub(R)}$(t-CO_2)(CO_2 換算)はそれぞれ廃丸太と林地残材の燃料利用による化石燃料(石炭，重油)由来の炭素代替量，L(m^3)は丸太使用量，Y は丸太材積の立木幹材積に対する比率，BEF は幹部分を樹木全体へ拡大する係数，R は地下部樹木の地上部樹木に対する比率，D(t/m^3)は木材の容積密度，CC(t-C/t)は木材の炭素含有率，GC(%)は木材中の炭素のガス化率，MG は発生ガス中の CH_4 比率，GWPm は CH_4 の CO_2 に対する地球温暖化係数，$F_{sub(L)}$と $F_{sub(R)}$(t, L)はそれぞれ廃丸太と林地残材の燃料利用による化石燃料(石炭，重油)代替量，$ec_{(F)}$(t-CO_2/t, L)は化石燃料(石油，重油)の生産と燃焼に伴う CO_2 排出量原単位，$cal_{(L)}$(GJ/t)は木材の発熱量，$cal_{(F)}$(GJ/t, L)は化石燃料(石油，重油)の発熱量，$ec_{(R)}$(t-CO_2/m^3)は林地残材の生産に伴う CO_2 排出量原単位，$en_{(L)}$(t-N_2O/t)は廃丸太の焼却に伴う N_2O 排出量原単位を示す。

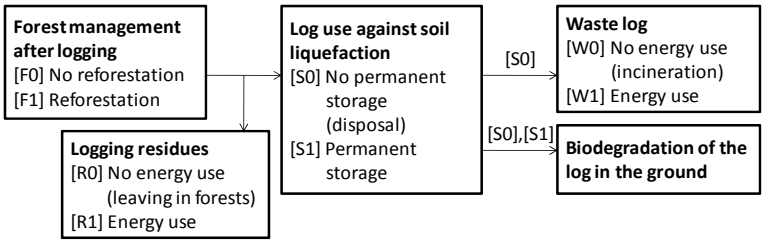


図-4.2.1　LP 工法における木材のライフサイクル

表-4.2.2　木材シナリオ

	LP(a)	LP(b)	LP(c)	LP(d)	LP(e)	LP(f)	LP(g)	LP(h)
F	0	0	0	0	1	1	1	1
S	0	0	1	1	0	0	1	1
R, W	0	1	0	1	0	1	0	1

表-4.2.3　木材シナリオにおける GHG 収支

	LP(a)	LP(b)	LP(c)	LP(d)	LP(e)	LP(f)	LP(g)	LP(h)
F	$C_{dec(T)}$	$C_{dec(T)}$	$C_{dec(T)}$	$C_{dec(T)}$	-	-	-	-
S	$M_{emi(L)}$	$M_{emi(L)}$	$C_{sto(L)}$, $MC_{emi(L)}$	$C_{sto(L)}$, $MC_{emi(L)}$	$M_{emi(L)}$	$M_{emi(L)}$	$C_{sto(L)}$, $MC_{emi(L)}$	$C_{sto(L)}$, $MC_{emi(L)}$
R, W	$N_{emi(L)}$	$C_{sub(L)}$, $C_{sub(R)}$	-	$C_{sub(R)}$	$N_{emi(L)}$	$C_{sub(L)}$, $C_{sub(R)}$	-	$C_{sub(R)}$

4.2.3　結果

(1)化石燃料等の消費による GHG 排出量

SCP，CDM，LP の各工法における化石燃料等の消費による GHG 排出量を評価した結果を**図-4.2.2** に示した。LP 工法と SCP 工法は 34 t-CO_2（CO_2 換算）となり，ほとんど差は見られなかった。しかし，CDM 工法は 235 t-CO_2 となり，LP 工法の約 7 倍に相当した。

(2)木材の GHG 収支

LP 工法における木材のネットの GHG 収支を評価した結果を**図-4.2.3** に示した。LP(a)～LP(d)の結果から，木材伐採後に再植林を行う持続的な森林管理は，木材利用による GHG 排出削減に必須となることが確認された。また，LP(f)-(0,c)，LP(f)-(0,o)，LP(g)-(0)，LP(g)-(8.5)の結果から，地中の木材から CH_4 が発生しない場合，丸太を廃棄せず地中に永久固定する方が廃丸太を燃料利用するよりも GHG 排出削減効果が大きいことが確認された。木材中の炭素の CH_4 化率が 0.8%未満であれば，丸太を廃棄せず地中に永久固定する方が廃丸太を石炭の代替燃料として利用するよりも GHG 排出削減効果は大きく，CH_4 化率が 3.3%未満であれば，丸太の永久固定の方が廃丸太の重油代替よりも効果が大きいことが分かった。

(3)化石燃料等の消費と木材の GHG 収支

各工法における化石燃料等の消費による GHG 排出量と木材の GHG 収支を統合し，ネットの GHG 収支を評価した結果を**図-4.2.4** に示した。SCP 工法を LP 工法で代替する場合，丸太伐採後に再植林を行う持続的な森林管理と地中の丸太からの CH_4 排出を防止することが GHG 排出削減のために必要となることが分かった。また，CDM 工法を LP 工法で代替する場合も地中の丸太からの CH_4 排出を抑制することが重要であることが確認された。持続的な森林管理，地中の丸太の永久固定，CH_4 排出の抑制，林地残材の石炭代替利用を行う LP(h)-(0,c)は，想定した中で最も効果的な LP 工法のシナリオとなった。上記シナリオの条件を前提とすると，LP 工法の SCP 工法(CDM 工法)との代替によって地盤改良面積 100m^2 当たり 81 t-CO_2(121 t-CO_2)の GHG 排出削減効果があることが分かった。

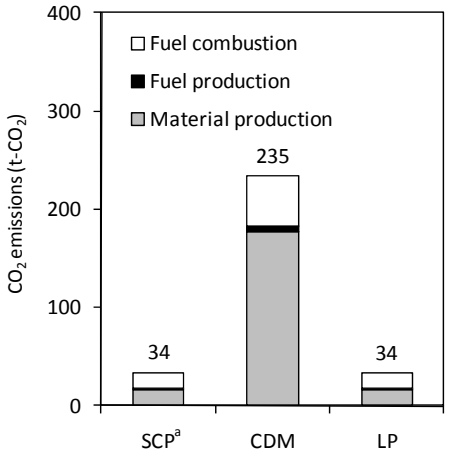


図-4.2.2　各工法における化石燃料等の消費による GHG 排出量

[a] SCP：サンドコンパクションパイル工法，CDM：深層混合処理工法，LP：木杭工法

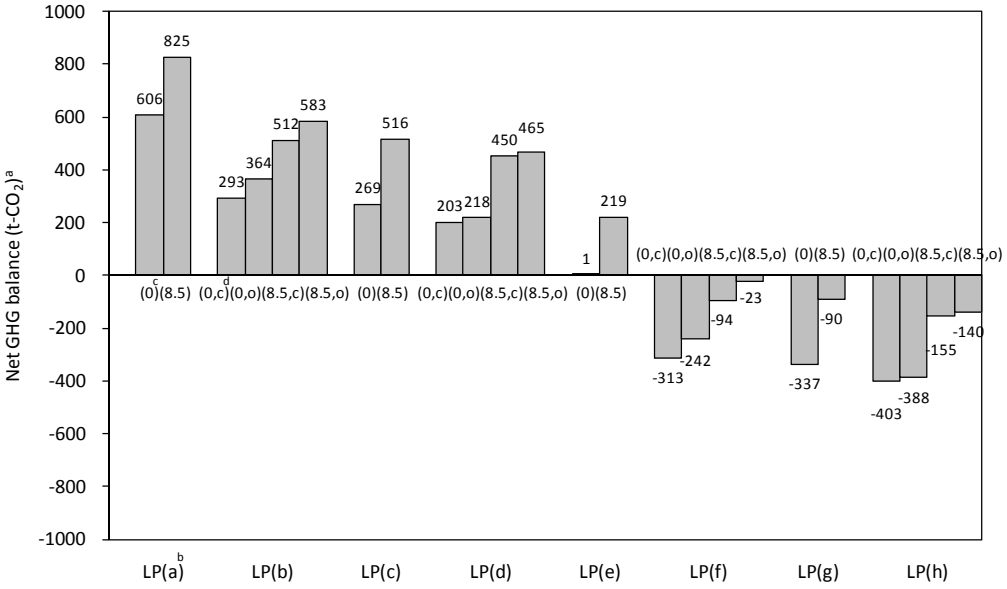


図-4.2.3　LP 工法における木材のネットの GHG 収支

[a] ネットの GHG 収支：**式(4.2.3)**

[b] SCP：サンドコンパクションパイル工法，CDM：深層混合処理工法，LP：木杭工法

[c] (0)，(8.5)：木材中の炭素の CH_4 化率(**式(4.2.6)**中の GC·MG)が 0%，8.5%

[d] (c)，(o)：廃丸太や林地残材の石炭，重油との代替利用

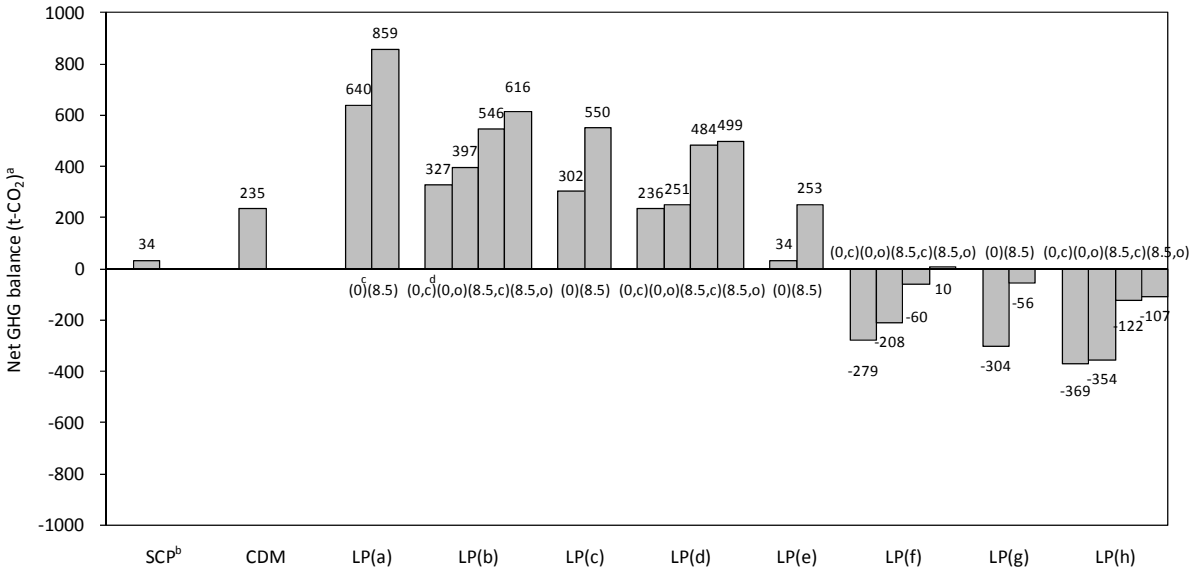


図-4.2.4　各工法におけるネットの GHG 収支(図-4.2.2 と図-4.2.3 の統合)

[a] ネットの GHG 収支：**式(4.2.3)**

[b] SCP：サンドコンパクションパイル工法，CDM：深層混合処理工法，LP：木杭工法

[c] (0)，(8.5)：木材中の炭素の CH_4 化率(**式(4.2.6)**中の GC·MG)が 0%，8.5%

[d] (c)，(o)：廃丸太や林地残材の石炭，重油との代替利用

4.3　建設実務者の木材に対する意識調査結果（渡辺浩）

4.3.1　はじめに

ポスト京都議定書制定に向け，2013 年以降の温室効果ガスの排出削減目標が議論されるなど，環境問題がますます重視されるなか，天然材料である木材に注目が集まってきている。この理由には，木材は国内に豊富に存在し，用途によっては他の材料にひけをとらない強度および特徴を持っていること，それ自体が人々に安らぎを与えることなどがあげられる。このように木材には，天然資源ならではの利点もあるが，現実には，公共事業において木材は積極的に利用されているとは言えない状況にある。これには，利用を推進すべき実務者の「使い方がわからない。」といった木材に関する知識不足や，「CO_2 削減や森林保護のためには，木を伐ってはいけない。」等の間違った認識から木材の活用意義や利用技術が正当な評価を受けていないといった背景があると考えられる。

そこで本研究では建設事業における木材の利用拡大を目指すため，実務者の木材に対する意識や考え方を問うアンケートを実施し，今後の木材利用を進めるための方策について検討した。

4.3.2　アンケート調査

(1) アンケートの対象

今回のアンケートでは，対象を**図-4.3.1** に示すように公共事業等の実務にたずさわる“実務者”，実務者に携わっていない一般市民的な考え方を持つ“一般人”，そのどちらにも該当しない “その他”の 3 つに分類した。実務者としては，平成 21 年 12 月 4 日に佐賀市で開催された木材利用についてのシンポジウムの出席者から 103 名の回答を得た。その業種別の内訳は，**図-4.3.2** に示すとおりで，土木関係が 65%，環境・林務関係が 33%となっている。また，一般人としては，福岡大学，九州大学，大分大学の木材に関する知識を有しない学生 139 名にアンケート調査を実施した。併せて，木材に関する知識を有する学生（以下，専門学生）32 名にも調査を行なったが，実務者，一般者のどちらにも該当しないことから，図では“その他”として記している。

(2) アンケートの形式

表-4.3.1 はアンケートの内容であるが，「Q1 公共事業における木材利用に対する意識調査」と「Q2 木材を利用する上で必要となる知識と重要性に対する調査」の 2 項目で構成し選択式とした。Q1 では，公共事業における木材利用の現状認識と将来展望について回答を求めた。質問の内容は，土木学会第 63 回年次学術講演会研究討論会で報告されたアンケート調査の内容 [1)] に準じている。Q2 では，木材を公共事業で使用していくうえで重要となってくる 12 項目について知っているかを問い，更に 3～4 行の説明をしたうえで各項目に対する回答を求めた。

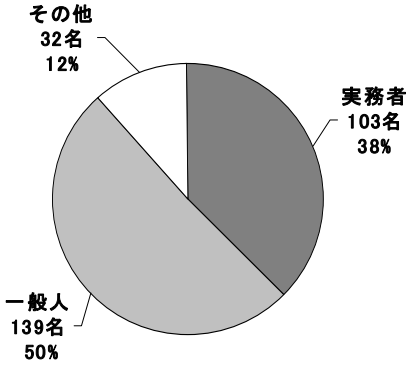


図-4.3.1　調査対象者（全体）の人数と割合

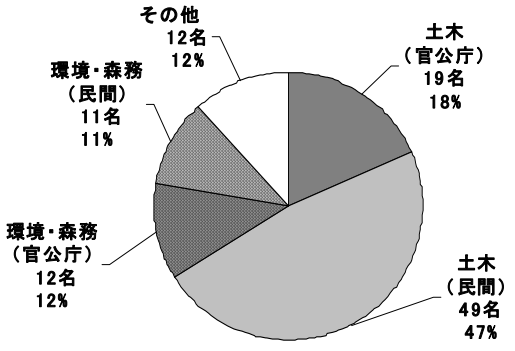


図-4.3.2　調査対象者（実務者）の人数と割合

表-4.3.1　アンケート内容

Q1 公共事業における木材利用に対する意識調査	
Q1- 1	公共事業で、木材はどの程度使われていると考えますか？　（現状認識）
Q1- 2	公共事業への木材利用についてどのように考えていますか？　（将来展望）
	Q1-2-1 木材を使用すべきではないと考えた理由
	Q1-2-2 木材を使用すべきだと考えた理由
Q2 木材を利用する上で必要となる知識と重要性に対する調査	
Q2- 1	森林保護における森林資源の有効利用の重要性
Q2- 2	木材の乾燥の重要性
Q2- 3	木材を利用することによる地球温暖化防止への貢献
Q2- 4	製材・集成材・合板
Q2- 5	公共構造物への木材利用のメリット
Q2- 6	木材の耐久性
Q2- 7	木材の強度性能
Q2- 8	木材の樹種による性質の違い
Q2- 9	木材の異方性
Q2-10	木材の入手性の他材料との違い
Q2-11	丸太内の部位による性質の違い
Q2-12	新しい木橋とその技術

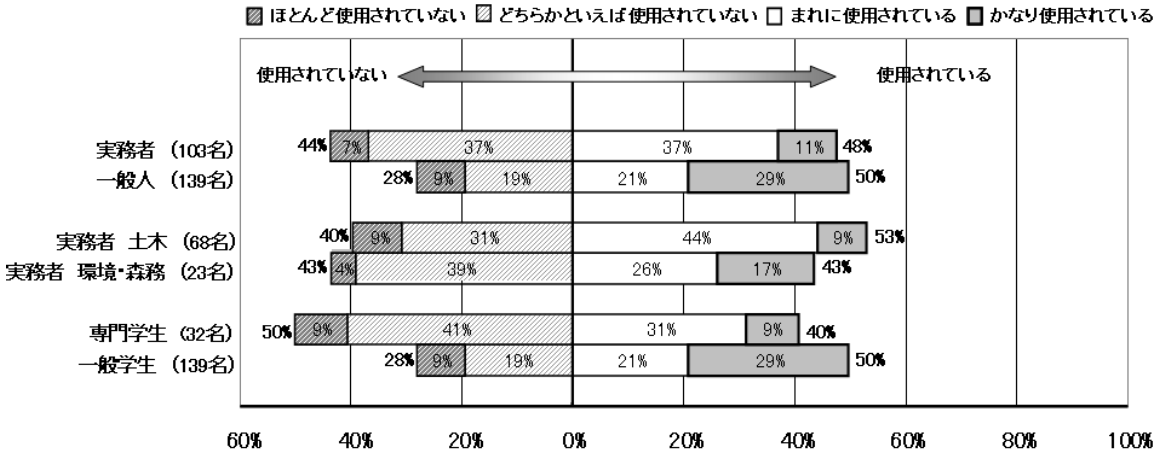


図-4.3.3 公共事業において木材はどの程度使われていると考えるか（現状認識）の回答結果

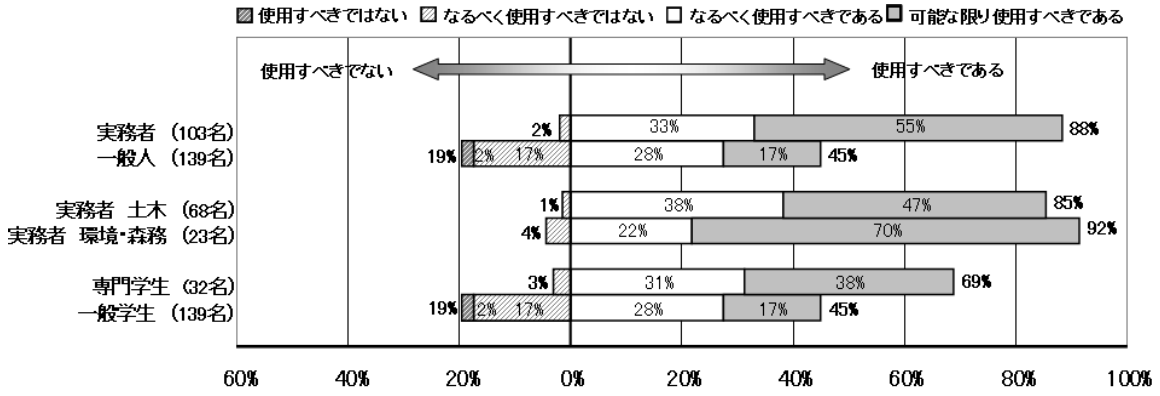


図-4.3.4　公共事業への木材利用についてどう考えるか（将来展望）の回答結果

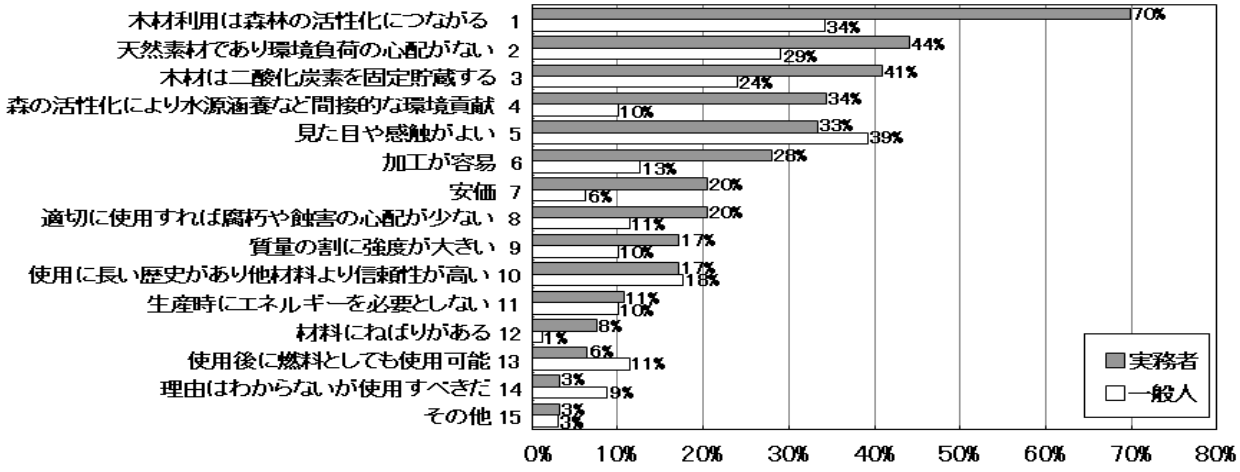


図-4.3.5　公共事業へ木材を使用すべきと考える理由

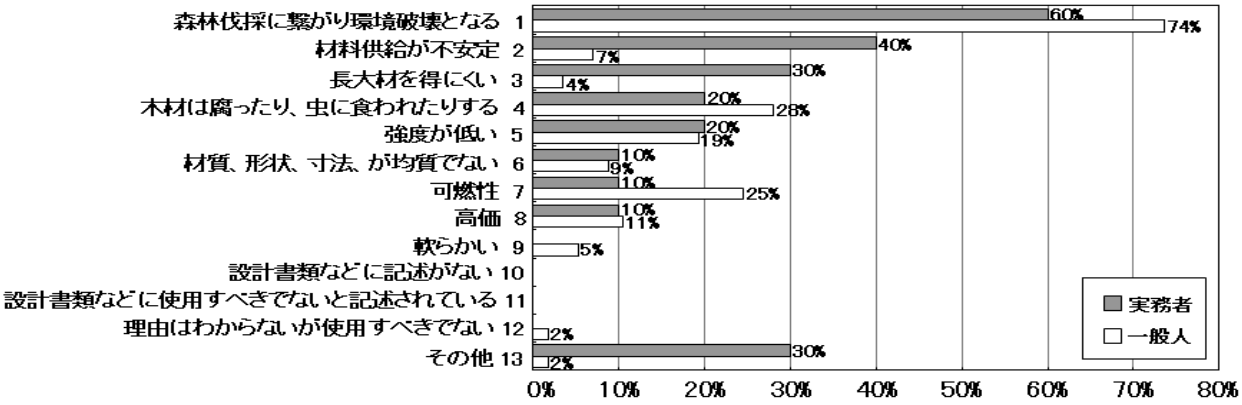


図-4.3.6　公共事業へ木材を使用すべきでないと考える理由

4.3.3　調査結果

(1) 公共事業における木材利用に対する意識調査

公共事業における木材利用の現状について，「Q1-1 公共事業で，木材はどの程度使われていると考えますか？」という，現状認識に対する回答の結果を図-4.3.3 に示す。実務者・一般人ともに約 5 割が「使用されている」と考えており，「使用されていない」を上回っている。また，土木の実務者と環境・林務の実務者の意識を比べると，環境・林務の実務者の方が，学生間では専門学生の方が「使用されていない」という意識が強いことがわかる。

次に，「Q1-2 公共事業への木材利用についてどのように考えていますか？」といった将来展望に対する回答の結果を図-4.3.4 に示す。実務者では約 9 割が「木材を公共事業で使用すべき」と考えていることがわかる。今回の実務者に対するアンケートが，木材利用についてのシンポジウムに対する参加者ということで，木材利用に対する意識が高いということを勘案しても，実務者の多くが「公共事業に木材を利用すべき」と考えていると判断できる。土木の実務者と環境・林務の実務者の意識では，環境・林務の実務者の方が，木材利用に対して「より積極的な利用をすべき」と考えていることがわかる。公共事業と併せて材料を供給するという側面を持つ環境・林務の実務者と，公共事業に関して多くの選択肢の中から木材の利用を検討する土木の実務者の立場が今回の調査結果にも表れていると考えられる。また，学生間の意識では，専門の学生の方が，木材利用に対する意識が高いといえる。前述の質問（現状認識）と併せて，専門的な知識を得ることが意識の変化につながることがわかる。

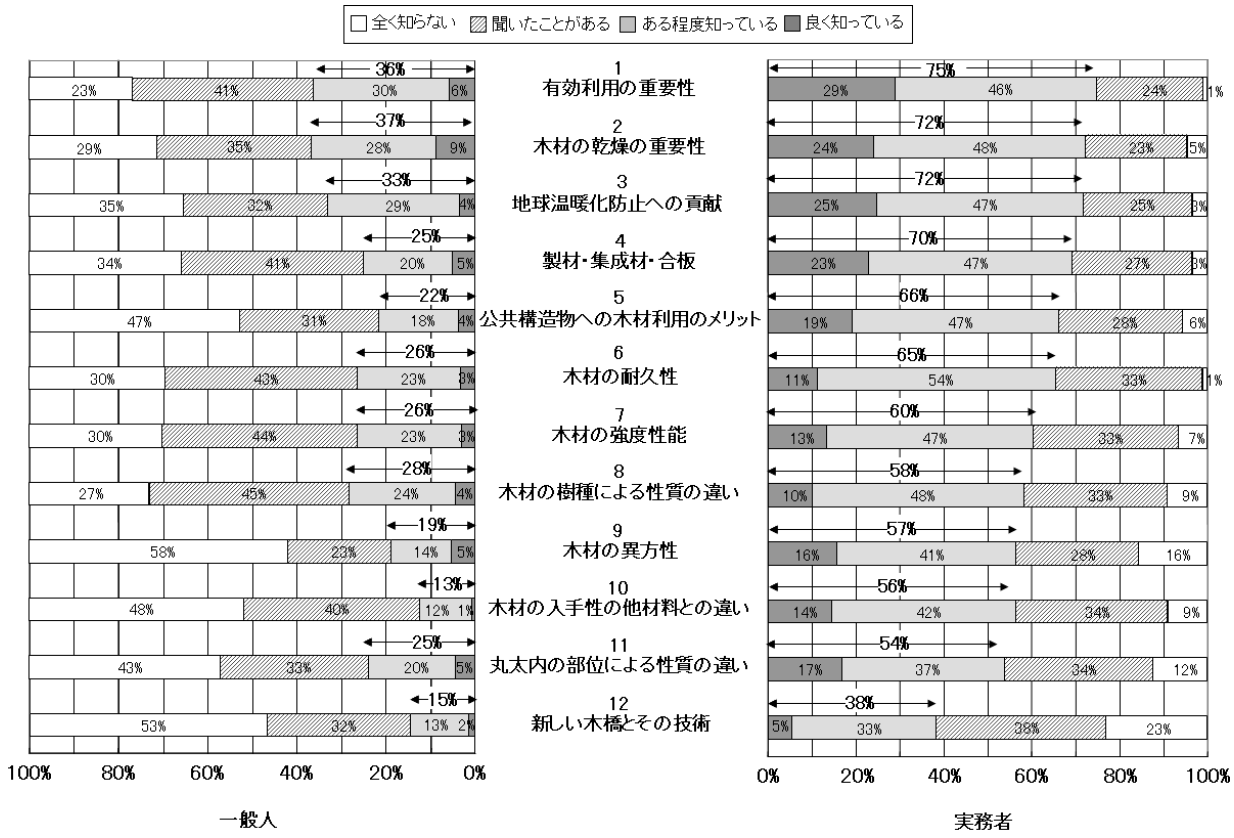


図-4.3.7　実務者及び一般人の木材利用における基礎知識

そこで，「木材を使用すべき」，あるいは「使用すべきでない」と考える理由を質問したところ，**図-4.3.5，6** のようになった。使用すべき理由については，実務者，一般者ともに，項目 1～3 のように環境に対する評価が高い。また，実務者は「項目 4：森の活性化による水源涵養などの間接的な社会貢献」のように，社会的貢献の視点がある一方で，一般人では「項目 5：見た目や感触がよい」が一番多く，アメニティ等のイメージな理由によるところがあることがわかる。一方，使用すべきではない理由にも，「項目 1：森林伐採に繋がり環境破壊となる」のような，環境に対する懸念が挙げられており，使用すべき理由と相反していた。これは，木材利用に対する正しい認識が実務者，一般人ともになされていないためであろうと思われる。また，「項目 2：材料供給の不安定」など，使用したくても使用できない状況もうかがうことができる。

(2) 木材利用における基礎知識の重要性調査

木材をより良く利用する上で必要となる知識とその重要性について，2 段階に分けた調査を行った。初めに，木材に関する 12 個の基礎知識についてどの程度知っているかを質問した。**図-4.3.7** は，実務者及び一般人の基礎知識に対する認知度を示している。各質問に対して「知っている」「ある程度知っている」の合計が，実務者では 38～75%，一般人では 15%～37%であり，基礎知識の設問の数字が大きく，専門性が高くなるにつれ認知度も低くなることがわかる。 その後，数行の説明文を読んだ上でその項目が重要と思うかを更に質問した。**図-4.3.8** は，その一例を示したものである。ここで，下段のグラフは，「全く知らない」，「聞いたことがある」という人が，説明を読みどのように思ったかを示したものであるが，木橋のように極めて専門性が高い項目についても，80%以上の人が重要性を認識するに至っていることがわかる。**図-4.3.9** は，同様に 12 個の質問毎に，「全く知らない」，「聞いたことがある」という人が説明を読んだ後，重要性を認識するかどうかについて取りまとめたものであ

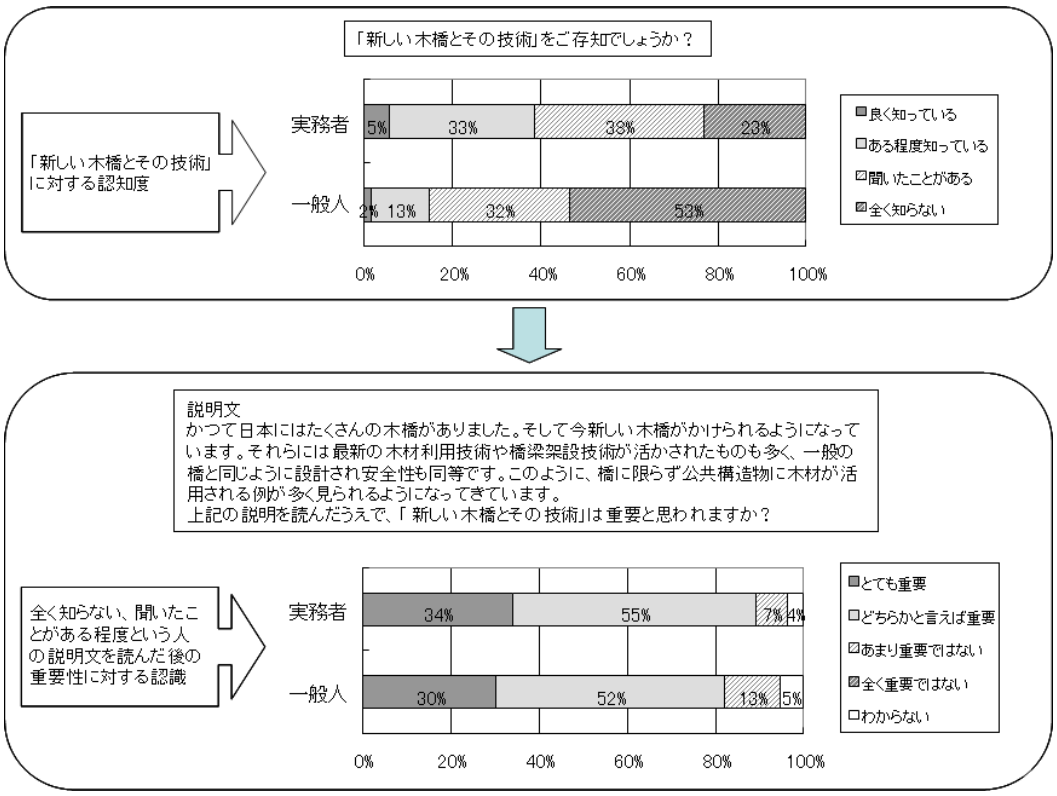


図-4.3.8　木材利用における基礎知識の重要性調査の例

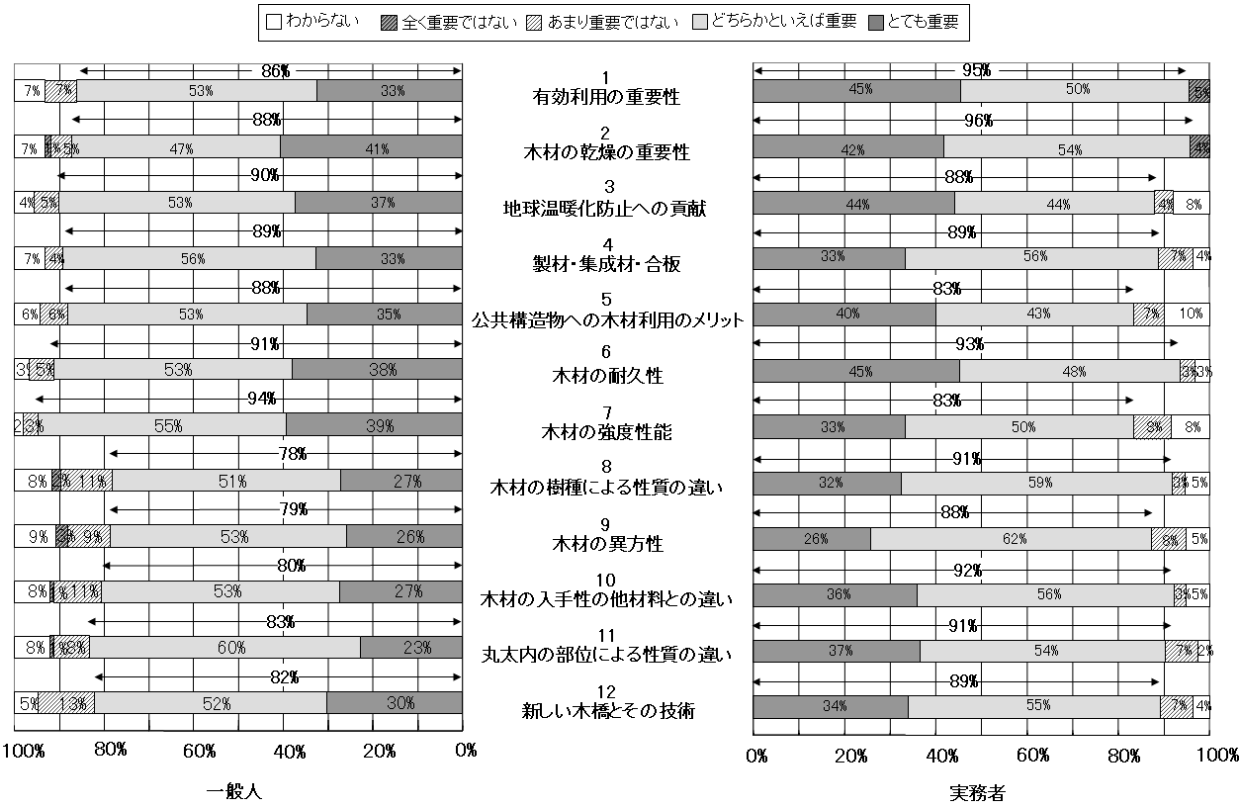


図-4.3.9　「全く知らない」,「聞いたことがある程度」と回答した人の説明後の重要性の認識率

る。全ての項目で，少なくとも 80%程度の人が重要性を認識するに至っている。このグラフから，その変化が如実に表れているのは，実務者の「項目 10：丸太の部位による性質の違い」,「項目 11：木材の入手性の他材料との違い」「項目 12：新しい木橋とその技術」のような，木材に関する性質や技術

に関する項目である。

これより，**図-4.3.5** において使用すべき理由の中で多かった「項目 1：木材の利用は森林の活性化につながる」，「項目 2：天然素材であり環境負荷の心配がない」等の環境保全の視点みならず，「項目 9：質量の割には強度が大きい」，「項目 11：生産時にエネルギーを必要としない」，「項目 13：使用後に燃料として使用可能」のように比較的に軽視されていた木材の性質といった視点についても，知識さえあれば重要と思う人が格段に増えることがわかる。ゆえに，知識が得られれば，若しくは得られる環境があれば，多方面における木材の活用が期待できると思われる。

4.3.4 まとめ

本研究では，建設事業における木材利用拡大に向けた建設実務者の木材に対する意識や考え方を問うアンケート調査を実施した。今回の調査からアンケートを受けた人々の大半が，木材を利用したいという意志を持っており，木材について学ぶ教材や教育が充実すれば，今後さらなる木材利用が見込めることが推測できるに至った。

木材のさらなる利用促進のためには，木材の知識を得る環境を充実させていく必要がある。

参考文献

1) 沼田淳紀：土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会の紹介，土木学会第 63 回年次学術講演会研究討論会，2008.9.

4.4　土木材料学の書籍における木材の取り扱われ方の分析結果（渡辺浩）

4.4.1　はじめに

土木分野では，その名が示すようにかつては木材を活用するものつくりがなされてきた。森林資源に恵まれている日本では，そのことはリーズナブルでもあった。しかしながら鋼材やコンクリートの一般化により，高度成長期を境にあまり使われなくなったことは周知のとおりである。近年，その土木分野においても木材の利用拡大が叫ばれるようになり，実践されてきている。この背景には，言うまでもなく政府が進める地球温暖化対策がある。公共建築物等における木材の利用の促進に関する法案が可決成立するなど，木材利用の拡大を強力に後押しするような環境も整いつつある。

このように，木材の利用拡大は喫緊の課題であり，またそれを進める気運は高まっているが，一方で土木分野全体を見渡すと，それに積極的であるどころか，未だに拒んでいるような意見も日常的に耳にする。しかしながらその理由を突き詰めると，それが木材が誤解あるいは過小評価されているためであることも多い。

そう考えてみると木材はややこしい。樹種により性質は異なる。同じスギでも産地により性質は異なる。産地が同じでもやはり性質は異なる。さらには 1 本のスギでも部分によって性質は異なる。柔らかくて強い異方性があり生物劣化もある。一方で鋼材やコンクリートは工業材料でありこのような性質はほとんどない。結果として，これらに慣れた技術者にとって木材は理解しづらく，理解するのも煩わしく，できることなら関わりたくないと思っても不思議ではない。

今後，木材利用の拡大を着実に推し進めるためには，法整備や技術開発，課題の克服などの環境整備も必要であるが，一方で，一般の技術者が自ら木材を使いたいと考えるようにならなければその数が大きく増えることはないであろう。しかしながら,現状では一般の技術者がそう考えようとしても，木材に対する知識も，それを得る機会も決定的に不足している。この観点から本論文では，多くの技術者にとって土木材料の知識の源となっている土木材料学の教科書において，木材がどのように記述されているか，そこで何を学ぶことができるか，さらに今後の方向性について考察する。

4.4.2　土木材料学の書籍の時代による変遷と木材の位置づけ

まず，これまで出版された書籍として，国立情報学研究所のデーターベース [1)]により「土木材料」および「建設材料」をキーワードに検索し 160 冊の書籍名を得た。そのタイトルから，実験や演習用の書籍，あるいはコンクリートのみを扱ったと考えられる書籍を除外した 35 冊について，出版年代を示したものが**図-4.4.1** である。これより，1950 年代から 1970 年代にかけて出版数が多いことがわかる。これは高度成長期であった当時コンクリートの一般化や新技術の発達に伴い多くの書籍の出版が求められていたためと考えられる。また，1990 年代も多いがこれは新材料や維持管理等の新たなニーズに対応するためと考えられる。2000 年代では「土木材料」という名前から「建設材料」という名前に変わっていることもわかる。

ここで，1960 年代に発行された書籍として「土木材料（青木楠男著)」と「土木材料学（岡田清著)」の目次を**表-4.4.1** に示す。双方ともに，木材には総論に続く第 2 章が割り当てられており，ページ数においても，41 または 51 ページと多くのページが割かれている。これらのことから，当時は木材の土木材料としての位置づけが高かったことがうかがえる。

「土木材料（岡田清著)」については 1964 年の初版に対し 1987 年には改正版が発行されている。**表-4.4.1** にはその目次もあわせて示している。表から，1987 年版では木材の章は後半に移動しページ数も半分以下に減っていることがわかる。これらのことから，この間に土木材料における木材の地位が

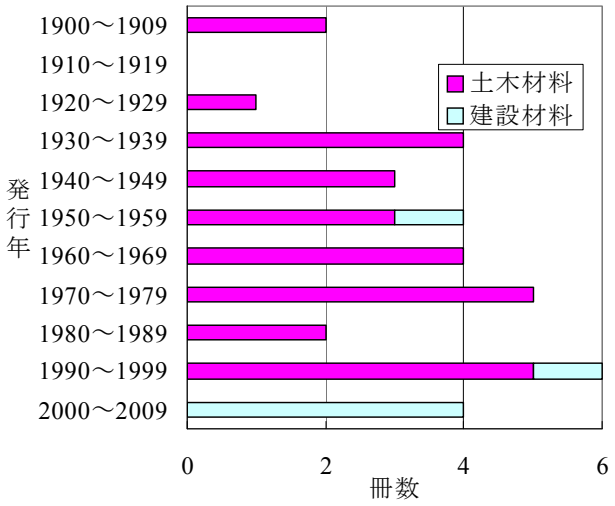


図-4.4.1　発行年代ごとの「土木材料」「建設材料」の書籍数

表-4.4.1　「土木材料」の目次の例

土木材料 （青木楠男著） 1969 年／オーム社		土木材料学 （岡田清著） 1964 年／オーム社		土木材料学 （岡田清・明石外世樹・小柳洽著） 1987 年／オーム社	
第 1 章 総論	(6)	第 1 章 総論	(17)	第 1 章 総論	(32)
第 2 章 木材	(51)	第 2 章 木材	(41)	第 2 章 金属材料	(52)
第 3 章 石材	(25)	第 3 章 石材	(36)	第 3 章 セメントおよび混和材料	(33)
第 4 章 金属材料	(53)	第 4 章 粘土製品	(15)	第 4 章 コンクリート	(134)
第 5 章 粘土製品	(18)	第 5 章 セメント	(38)	第 5 章 歴青材料	(22)
第 6 章 合成樹脂	(3)	第 6 章 コンクリート	(127)	第 6 章 高分子材料および新素材	(20)
第 7 章 セメントおよびコンクリート	(11)	第 7 章 金属	(43)	第 7 章 木材	(15)
		第 8 章 歴青材料	(25)	第 8 章 石材および粘土製品	(16)
		第 9 章 プラスティック・ゴム	(14)		
		第 10 章 火薬類	(19)		

(数字)はページ数

激変したことがうかがえる。

4.4.3　現在の土木材料学の書籍における木材の記述

以上のように，土木材料学の書籍の記述には時代的な変遷が見られる。そこで，現在技術者が学んでいる教科書について検討するため，2000 年以降に発行・改訂されたもので入手可能であった書籍 5 冊と，比較対象として木材工学の入門書 1 冊を対象に検討を行った。以上の 6 冊の書籍名等を**表-4.4.2** に示す。

図-4.4.2 はこれらの書籍で割かれている各材料の章ベースでのページ数を示したものである。土木材料学の書籍ではいずれもコンクリートに最も多くのページが割かれており，木材については最も多くても 7%以下，うち 2 冊は全く記述がないことがわかる。

最後に，**表-4.4.3** は，よりよく木材を利用するために必要と考えられる 9 つのトピックについて，それぞれの書籍においてどの程度記述されているかを示したものである。ここで，十分に記述しているものには◎，不十分ながら記述があるものには○，わずかながら記述があるには△，全く記述されていないものには×として，著者の主観でまとめている。表より，木材に関する記載のあった 3 冊においても，記述内容には大きな偏りがあり，分量だけでなく内容的にも不十分であることがわかる。こ

表-4.4.2　検討対象とした書籍

書籍名	著者	出版社	出版年月
建設材料[2)]	青山咸康・服部九二雄・野中資博・長束勇	朝倉書店	2003.3
建設材料[3)]	中嶋清実・角田忍・菅原隆	コロナ社	2003.3
土木材料学[4)]	原田宏	鹿島出版会	2003.5
土木材料[5)]	石井一郎･座親勝喜･古木守靖･石田哲朗･石井礼次･若海宗承	技術書院	2003.10
建設材料学[6)]	樋口芳朗・辻幸和・辻正哲	技報堂出版	2005.4
コンサイス木材百科[7)]	秋田県立大学木材高度加工研究所	秋田協同印刷	2002.9

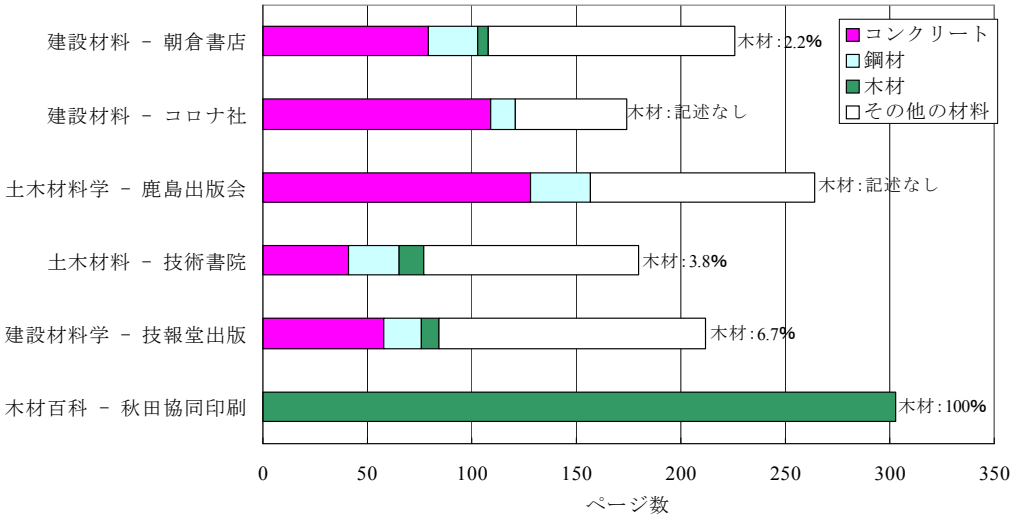


図-4.4.2　それぞれの書籍で割かれている各材料のページ数

表-4.4.3　それぞれの書籍における各トピックの記述状況

書籍名	長所短所	輸入の割合	樹種の分類	組織・材質	乾燥	木材の物理的性質	耐久性	製材・集成材他	木質構造物
建設材料 － 朝倉書店	×	×	△	△	○	○	△	◎	×
建設材料 － コロナ社	記　述　な　し								
土木材料学 － 鹿島出版会	記　述　な　し								
土木材料 － 技術書院	○	×	△	×	×	△	△	×	◎
建設材料学 － 技報堂出版	○	×	△	△	○	○	△	△	△
コンサイス木材百科－秋田共同印刷	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎

のことから，土木材料学の講義においてこれらの書籍を用いて学習しても，木材の良さに気づくことも，よりよく木材を利用するための知識を身につけることも難しいものと考えられる。

一方でコンサイス木材百科はいずれの項目についても十分な内容となっている。しかしながら，幾分かの知識をもって読まなければ理解が難しいものがある上，建設材料のひとつとして木材を学びたい人にとっては約 300 ページは量が多すぎるといえる。以上のことから，技術者が土木材料のひとつとして木材利用のための必要かつ十分な知識が得られる書籍が望まれるところである。

4.4.4　まとめ

土木分野における木材の利用拡大は喫緊の課題であり，その気運も高まっている。しかしながら，全体的に見ると決して積極的ではない一面もある。木材利用の拡大を確実に推し進めるためには，利用できる環境の整備に加え，一般の技術者自らが木材を利用しようとする意欲が必要である。しかしながら，現状ではそのための知識も，それを得る機会も決定的に不足している。そこで本論文では，土木材料学の教科書における木材の記述や位置づけについて検討した。その結果，現在使用されていると考えられる土木材料学の書籍には木材に関する記述が全くないものがあり，あっても極めて情報量が少なくまた偏っているため，必要最小限の知識を得ることも難しいことがわかった。一方で木材工学の入門書は少なく，また土木材料のひとつとして木材を学ぶために適切な質・量ともに適切な書籍は見あたらない。

技術者にとって建設材料に初めて触れるのは大学等での土木材料学の講義であり，そこでの知識がその後の考え方のベースとなる。しかしそこでは大半の学習がコンクリートに費やされ，木材どころか鋼材すらほとんど扱われない例が大多数のようである。このことから，現在の技術者は適切な材料を選択するという考えが不足しがちであるとも言える。

以上のことから，技術者が土木材料のひとつとして木材利用のための必要かつ十分な知識が得られる書籍，そしてそれぞれの材料の長所を活かしながら技術者が選択できる知識を身につけられる書籍が望まれるところである。

参考文献

1) 国立情報学研究所：http://www.nii.ac.jp/
2) 青山咸康, 服部九二雄, 野中資博, 長束勇：建設材料, 朝倉書店, 2003.
3) 中嶋清実, 角田忍, 菅原隆：建設材料, コロナ社, 2003.
4) 原田宏：土木材料学, 鹿島出版会, 2003.
5) 石井一郎, 座親勝喜・古木守靖・石田哲朗・石井礼次・若海宗承：土木材料, 技術書院, 2003.
6) 樋口芳朗, 辻幸和・辻正哲：建設材料学, 技報堂出版, 2005.
7) 秋田県立大学木材高度加工研究所：コンサイス木材百科, 秋田協同印刷, 2002.

5.　木橋への利用技術（平沢秀之）

集成材等の高性能な木材を使用したいわゆる近代木橋が，我が国で本格的に設計・架設されるようになってから四半世紀が経とうとしている。その間に，かりこぼうず大橋(宮崎県，橋長 140m)や坊中橋(秋田県，橋長 55m)等の大型木橋も建設され，木橋技術は北米や欧州と同等レベルにまで到達している。特に高温多湿の気候環境にある我が国では，木材を腐朽から守る技術に関して諸外国よりも高度な技術を有している。また，木橋の設計法，部材の高性能化，施工技術，維持管理法においても，土木学会や協会，研究会等の諸団体による研究や技術開発の蓄積がある。

木材の橋梁への利用量は，土木分野全体から見ると必ずしも多いとは言えない。しかしながら，木材は軽量な割には高強度であり構造部材として十分な性能を有していること，木質感が人間にとって心地よいものであること，地域のシンボル的，モニュメント的な構造物になりうることから，鋼やコンクリート材料とは違った尺度で木材の利用拡大を進めるべきと考える。

「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」では，これまでの研究成果を踏まえ，下記の 3 つの課題に対する検討を行ってきた。

1)性能照査型設計法を用いて木橋を設計するために必要となる，耐用年数を推定すること。

2)1987 年～2000 年頃までに建設された近代木橋の現況と維持管理状況を調査し，データとして蓄積すること。またそれらを設計法に反映させること。

3)強度，耐久性，維持管理，施工性等の面で高性能な木橋の技術開発を行うこと。

当研究会でこれらの課題に対して検討した成果のうち，本年度は次の 5 件，すなわち，1)より「耐用年数の推定」，2)より「近代木橋の維持管理」，3)より「プレストレス木床版橋の施工」・「プレストレス木床版と鋼トラスを組み合わせた新形式木橋」・「カスケード利用を想定した木製トラス橋の架設実験」を報告する。

5.1　耐用年数の推定（荒木昇吾）

5.1.1　基本方針

本節に示す耐用年数の推定方法は，木造建築物の耐用年数の推定方法[1)]や木橋の耐用年数に関するこれまでの研究成果[2),3)]を参考として，木橋特有の要因を設定し，各種の要因を点数として評価式に代入することで，推定値を導くものである。ただし，この耐用年数は，腐朽に関するものであり，地震等の天災や，輪荷重の影響等による経年的な損傷・劣化は考慮していない。

木橋の耐用年数を推定するにあたり，ここでは，主材（主桁等の主構造部材）の耐用年数を橋梁としての耐用年数と捉えている。耐久性に影響する橋梁の部位は，主材の他にも，床版や，吊り橋等のケーブル，下部工も挙げられる。ただし，床版は，コンクリート床版や鋼床版等，木床版以外の材料が使用される場合も多いこと，主材に比べると取替えや補修が容易であること，下部工は近年ではコンクリートで造られることが多いこと等から，主材のみを対象とした。

5.1.2　推定方法

木橋の耐用年数は，**表-5.1.1** に示す腐朽要因を点数化し，**式(5.1.1)** または，**式(5.1.2)** に代入することで得られる指標値 Y により，**図-5.1.1** を用いて推定する。なお，**表-5.1.1** の p_1 や p_2 等の腐朽要因の内訳に関する点数は，後に示す選定表により，推定対象とする橋梁に応じて適切に設定すればよい。

$$Y=P\times E\times S\times D\times C \tag{5.1}$$

$$Y=P\times E\times S\times D\times C+M \tag{5.2}$$

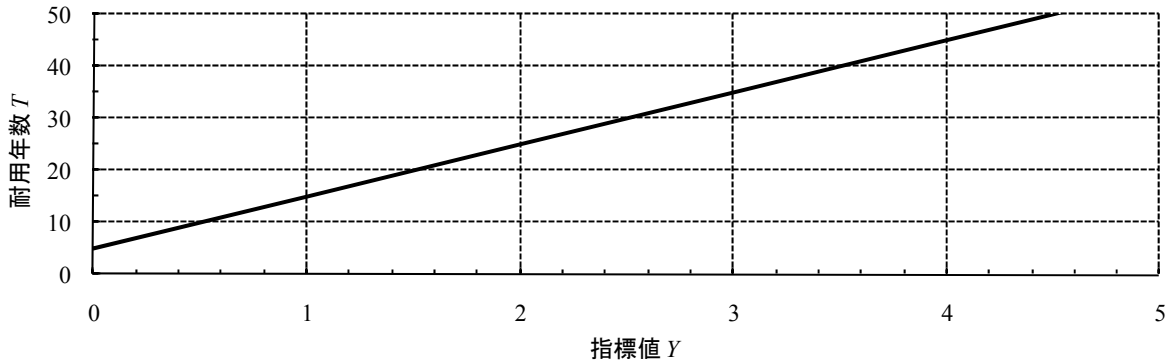


図-5.1.1　指標値 Y と耐用年数 T

表-5.1.1　腐朽要因の内容とその内訳，および点数の算出方法

腐朽要因		各要因の内訳とその概要		各要因の点数の算式
使用材料	P	p_1	材料(樹種)固有の耐朽性	$P=p_1+p_2\times p_3$
		p_2	材料(樹種)固有の防腐剤の浸透性	
		p_3	防腐処理の方法	
周辺環境	E	e	腐朽菌の生育条件(気温と湿度)	$E=e$
構造形式	S	s_1	屋根の有無	$S=s_1\times s_2\times s_3\times s_4$
		s_2	上路式，または，下路式	
		s_3	桁橋，床版橋等の橋梁形式	
		s_4	鋼床版，木床版等の床版形式	
設計計画（水仕舞）	D	d	桁覆等の腐朽対策の有無	$D=d$
施工時の配慮	C	c	後加工部の防腐等の有無	$C=c$
維持管理	M	n	保全行為の回数	$M=\Sigma(n\times m)$
		m	再塗装や床版取替等の保全行為	

5.1.3　腐朽要因の点数

腐朽要因の点数は，使用材料や架橋地点，橋梁形式等の個別の情報に応じ，**表-5.1.2** から**表-5.1.12**，および，**図-5.1.2** より点数を抽出し，**表-5.1.1** に示した算式により計算する。

表-5.1.2　材料の耐久性 p_1

1.50	ヒノキ，ヒバ，ボンゴシ，クリ，ケヤキ
1.00	ベイマツ，スギ，カラマツ，クヌギ
0.90	アカマツ，クロマツ，モミ
0.80	トドマツ，エゾマツ，クスノキ

表-5.1.3　防腐剤の浸透性 p_2

1.10	ヒバ
1.00	ベイマツ，スギ，モミ，アカマツ，クロマツ
0.90	ヒノキ，エゾマツ，トドマツ，ケヤキ
0.80	カラマツ，クスノキ，クリ，クヌギ，ボンゴシ

表-5.1.4　防腐処理の方法 p_3

0.60	加圧注入処理
0.20	表面塗布処理
0.00	防腐処理なし

表-5.1.5　腐朽菌の生育条件 e

1.20	A 地域（**図-5.2**；●）
1.10	B 地域（**図-5.2**；●）
1.00	C 地域（**図-5.2**；△）
0.90	D 地域（**図-5.2**；▲）
0.80	E 地域（**図-5.2**；■）

表-5.1.6　屋根の有無 s_1

1.50	屋根あり
1.00	屋根なし

表-5.1.7　上路式または下路式 s_2

1.00	上路式
0.90	下路式

表-5.1.8　橋梁形式 s_3

1.00	桁橋
0.90	アーチ橋
0.80	床版橋
0.70	トラス橋

表-5.1.9　床版形式 s_4

1.50	鋼床版
1.50	コンクリート床版
1.10	木床版（舗装あり）
1.00	木床版（敷板等）

表-5.1.10　腐朽対策(水仕舞い) d

1.30	腐朽対策あり
1.00	腐朽対策なし

表-5.1.11　腐朽対策(施工時) c

1.10	腐朽対策あり
1.00	標準管理による施工

表-5.1.12　保全行為 m

0.50	主材の再塗装等
0.50	床版の取替等
0.00	保全行為なし

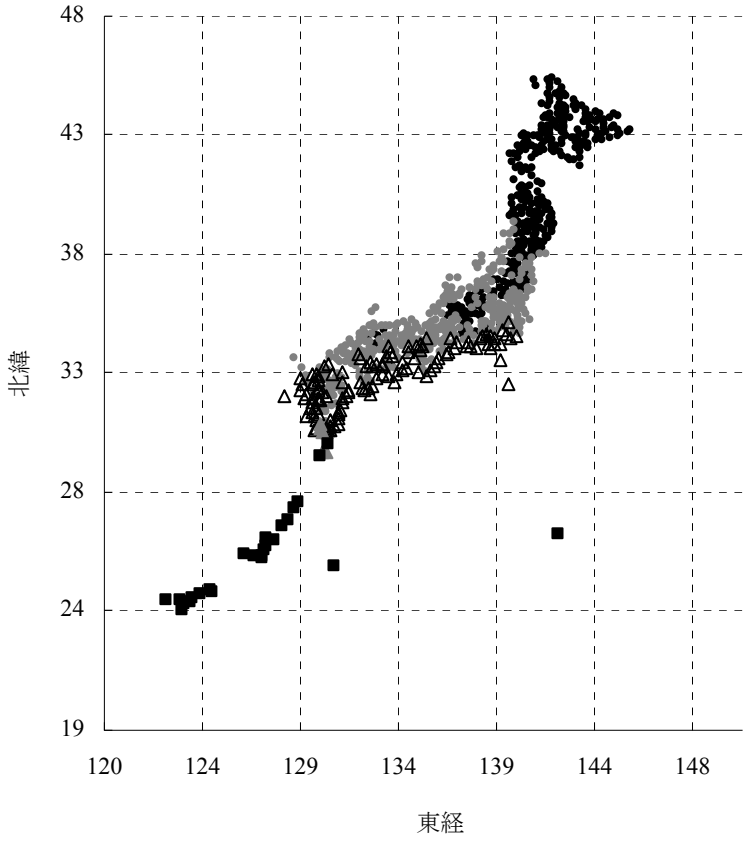


図-5.1.2　腐朽菌の生育条件 e の設定に用いる地域区分

5.1.4　各要因の点数の与え方

(1)基本条件

各要因の点数は，以下の①から④の基本条件に基づき決定した。

①標準条件における指標値 *Y* を 1.00 とし，この場合の耐用年数を 10 年から 15 年とする。
②耐用年数の上限は，50 年とする。
③耐用年数の下限は，10 年弱とする。
④耐用年数の推定結果が，木橋の調査結果と概ね整合することを確認する。

①の標準条件とは，「主材料はスギ，防腐処理なし，気候条件が平均的，屋根がない，上路桁橋，木床版（敷板），桁覆等の特別な腐朽対策を行わない，標準的な管理による施工，維持管理なし。」という条件であり，この場合の *P*，*E*，*S*，*D*，*C* の点数を全て 1.00 とし，これまでの架橋経験や文献[4]より，この条件下における耐用年数を 10 年から 15 年とした。また，同環境下において，スギではなくヒノキやボンゴシ等を用いた場合を 15 年から 20 年とした。

②の耐用年数の上限は，現段階では期待値として捉える必要があるかもしれないが，防腐処理技術の進歩や供用中の木橋の調査結果等を鑑み，耐朽性の高い材料を使用し，気候条件が良く，屋根または，鋼床版やコンクリート床版等を採用するといった，良好な条件下にある場合については，50 年の供用が可能であると考えた。

③の耐用年数の下限は，腐朽試験の結果[5]を参考に設定した。この腐朽試験は，30mm×30mm×600mm の心材を地中に埋め込み，樹種別の地際部の腐朽年数を測定したものであり，スギで 5 年から 6 年，ヒノキで 7 年から 9 年の結果が得られている。ここで，木橋は屋外構造物ではあるが，橋台等により地面から離れていることや，風の通り道である河川や峡谷に架けられることが多いことから，埋込試験の状況に比べて腐朽の可能性は低いと考え，耐朽性の低い材料を使用し，気候条件が悪く，構造形式が好ましくないといった,悪条件下にある場合は,供用年数が 10 年程度に短くなると考えた。

④の調査結果は，木橋研究小委員会事例研究分科会が平成 22 年度に実施した，既存の木橋 30 余橋に対する腐朽調査の結果である。指標値 *Y* の算定に用いる腐朽要因の点数は，この 30 余橋の供用状況に基づき設定した。

(2)使用材料 *P*

表-5.1.2 は，材料固有の耐朽性を反映するものであり，その配点は，木造建築物の耐用年数に関する文献[1]や，腐朽試験の資料[5]を参考に設定した。

表-5.1.3 は，材料固有の防腐剤の浸透性を反映するものであり，その配点は，防腐処理技術に関する資料[5]を参考に設定した。

表-5.1.4 は，防腐処理方法を反映するものであり，加圧注入処理と表面塗布処理の両方を行う場合には，それらの点数を合計する。

なお，ここに示していない材料を用いる場合や，高性能な防腐剤を使用する場合等は，適宜に設定して頂きたい。また，特に点数としての評価はしていないが，紫外線や金属腐食による劣化防止のために，濃色系の塗装を行うことや，ステンレスまたは亜鉛めっきボルトを用いることを推奨する。

(3)周辺環境 *E*

表-5.1.5 と**図-5.1.2** は，腐朽菌の生育条件を反映するものである。地域の区分は，国内 158 箇所の日平均気温のアメダスデータおよび，国内 867 箇所の年平均気温のアメダスデータを利用し，腐朽菌

の活動が活発するとされる15℃を基準として[1],データ取得箇所との比率を算出することで設定した。ただし，腐朽菌によっては，基準温度を変更する必要もあること，地域区分は，架橋地点付近の局所的な情報までは反映していないことに留意する。

(4)構造形式 *S*

表-5.1.6 と**表-5.1.7** は，屋根の効果を反映するものであり，上路式，下路式の区分は，上路橋は床版が屋根の代わりとなるが,下路橋は主材が雨に直接曝されることから,下路橋を下位の点数とした。

表-5.1.8 は,橋梁形式を腐朽の一因と捉えたものである。桁橋は他の形式に比べ接合箇所も少なく，かつ，通気性が確保されると考え，最上位の点数とした。アーチ橋についても桁橋と同様と思われるが，構造的な特徴から桁表面積や構造高が大きく，雨の角度によっては曝される頻度が桁橋より大きいと考え，次点とした。床版橋は，主版を構成する部材と部材が密接し，水が侵入した場合に乾燥が妨げられると考えられることから，桁橋とアーチ橋よりも低い点数とした。トラス橋は，接合箇所が多く，水が滞留する可能性が高いことや，構造形式上，部材数が多く，かつ，一部材の腐朽が全体構造に与える影響が大きいことから，最も低い点数とした。

表-5.1.9 は，床版の形式を腐朽の一因と捉えたものである。木床版は，鋼床版やコンクリート床版に比べ低い点数とした。これは，屋根の機能としては同等であるものの，床版の腐朽が主材に伝播することを考慮したものである。また，木床版のうち，歩道橋によく見られる敷板を並べたような形式は屋根の効果が低いと考え，さらに低い点数とした。

(5)設計計画 *D*

表-5.1.10 は，腐朽に対する構造的対応（水仕舞い）を反映するものである。桁覆や床版部の防水シートの敷設，橋座に排水勾配を付すことや，排水装置を設置する等，主材の腐朽対策を実施した場合は,「腐朽対策あり」とする。ただし，上記のような対策を行わない場合は,「腐朽対策なし」とする。

(6)施工時の配慮 *C*

表-5.1.11 は,腐朽に対する施工時の対応を反映するものである。部材を裸で運搬・仮置した場合，雨露等が侵入し，構造的な対応が意味をなさない場合もある。特に，接合用孔等に水分を多く含むことは腐朽の一因となる。このため，部材をシートで保護する等の対応が望ましい。また，現場加工部の防腐処理等も重要である。これらは，施工時の記録や工事写真等がない場合は確認が難しいが，これらの配慮をした場合については,「腐朽対策あり」とする。なお,特に施工に支障がなく架設が完了した場合は,「標準管理による施工」とする。

(7)維持管理 *M*

表-5.1.12 は，維持管理の回数やその内容を反映するものである。ただし，日常的な清掃等については，必ず実施されているものとする。また，保全行為は行われない場合もあり，当初の設計計画において耐用年数を算出する際には，指標値 *Y* への加点には注意を要する。

(8)既存木橋との整合性

表-5.1.13 には，点数の設定に用いた，耐用年数の推定値と既存木橋の供用状態との比較を示している。推定年数と供用状態に差が生じているものもあるが，概ね整合しているものと思われる。

表-5.1.13　木橋の点検結果と耐用年数推定

橋名	竣工年	実年数	経過年数	推定年数	Y値	使用材料			周辺環境	構造形式				設計計画	施工	保全行為	
						P1	P2	P3	E	S1	S2	S3	S4	D	C	M	
やすらか橋	1993	**17**	－	17	1.2	ベイマツ	ベイマツ	塗布	北海道滝川市	屋根なし	下路	ローゼ	木床版	1.00	1.00	なし	なし
北海道滝川市						1.00	1.00	0.20	1.20	1.00	0.90	0.90	1.00			0.00	0.00
すこやか橋	1993	**17**	－	18	1.3	ベイマツ	ベイマツ	塗布	北海道滝川市	屋根なし	下路	斜張	木床版	1.00	1.00	なし	なし
北海道滝川市						1.00	1.00	0.20	1.20	1.00	0.90	1.00	1.00			0.00	0.00
梅の香橋	1993		△17	21	1.6	エッキ	エッキ	なし	北海道札幌市	屋根なし	上路	アーチ	木床版	1.00	1.00	なし	なし
北海道札幌市						1.50	0.90	0.00	1.20	1.00	1.00	0.90	1.00			0.00	0.00
千樹橋	1994		○16	24	1.9	ベイマツ	ベイマツ	注入	北海道岩見沢市	屋根なし	上路	桁	木床版	1.00	1.00	再塗装2	なし
北海道岩見沢市				34	2.9	1.00	1.00	0.60	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00			1.00	0.00
なかよし橋	1999		○11	19	1.4	ベイマツ	ベイマツ	塗布	北海道岩見沢市	屋根あり	下路	トラス	木床版	1.00	1.00	再塗装1	床版取替1
北海道岩見沢市				29	2.4	1.00	1.00	0.20	1.20	1.50	0.90	0.70	1.00			0.50	0.50
鳥井橋	1943		×67	35	3.0	?	?	?	北海道	屋根なし	上路	桁	CO床版	1.00	1.00	不明	不明
北海道						1.50	0.90	0.20	1.20	1.00	1.00	1.00	1.50			－	－
雨竜川橋	1943		×67	35	3.0	?	?	?	北海道	屋根なし	上路	桁	CO床版	1.00	1.00	不明	不明
北海道						1.50	0.90	0.20	1.20	1.00	1.00	1.00	1.50			－	－
百目石橋	1999		○11	24	1.9	スギ	スギ	注入＋塗布	秋田県大仙市	屋根なし	下路	アーチ	木床版（舗）	1.00	1.00	再塗装1	なし
秋田県大仙市				29	2.4	1.00	1.00	0.80	1.20	1.00	0.90	0.90	1.10			0.50	0.00
坊中橋	2001		○9	25	2.0	スギ	スギ	注入＋塗布	秋田県山本郡	屋根なし	下路	トラス	鋼床版	1.00	1.00	桁補修1	なし
秋田県山本郡				30	2.5	1.00	1.00	0.80	1.20	1.00	0.90	0.70	1.50			0.50	0.00
寺地橋	1980	**22**	－	25	2.0	スギ	スギ	塗布	新潟県加茂市	屋根なし	上路	桁	鋼床版	1.00	1.00	なし	なし
新潟県加茂市						1.00	1.00	0.20	1.10	1.00	1.00	1.00	1.50			0.00	0.00
かじか橋	1987		×23	22	1.7	ヒバ	ヒバ	塗布	石川県加賀市	屋根なし	上路	アーチ	木床版	1.00	1.00	なし	床版取替1
石川県加賀市				27	2.2	1.50	1.10	0.20	1.10	1.00	1.00	0.90	1.00			0.00	0.50
こおろぎ橋	1990		×20	25	2.0	ヒノキ	ヒノキ	注入	石川県加賀市	屋根なし	上路	方杖	木床版	1.00	1.00	なし	なし
石川県加賀市						1.50	0.90	0.60	1.10	1.00	1.00	0.90	1.00			0.00	0.00
東山ふれあい橋	1996		○14	17	1.2	ベイマツ	ベイマツ	注入＋塗布	神奈川県横浜市	屋根なし	下路	トラス	木床版	1.00	1.00	再塗装1	床版取替1
神奈川県横浜市				27	2.2	1.00	1.00	0.80	1.10	1.00	0.90	0.70	1.00			0.50	0.50
潮風橋	1996		△14	17	1.2	ボンゴシ	ボンゴシ	なし	東京都品川区	屋根なし	下路	アーチ	木床版	1.00	1.00	なし	なし
東京都品川区						1.50	0.80	0.00	1.00	1.00	0.90	0.90	1.00			0.00	0.00
国本橋	1995	**15**	－	15	1.0	スギ	スギ	なし	静岡県島田市	屋根なし	上路	桁	木床版	1.00	1.00	なし	なし
静岡県島田市						1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			0.00	0.00
兵坂橋	1986		△24	15	1.0	スギ	スギ	なし	静岡県島田市	屋根なし	上路	桁	木床版	1.00	1.00	なし	床版取替3
静岡県島田市				30	2.5	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			0.00	1.50
裁断橋	1996		○14	25	2.0	ベイマツ	ベイマツ	注入＋塗布	愛知県丹波郡	屋根なし	上路	桁	木床版	1.00	1.00	再塗装2?	なし
愛知県丹波郡				35	3.0	1.00	1.00	0.80	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00			1.00	0.00
県小橋	1993		○17	23	1.8	ベイマツ	ベイマツ	注入	愛知県名古屋市	屋根なし	上路	桁	木床版	1.00	1.00	なし	なし
愛知県名古屋市						1.00	1.00	0.60	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00			0.00	0.00
近江富士2号橋	1995		○15	20	1.5	ヒノキ	ヒノキ	注入＋塗布	滋賀県野州郡	屋根なし	下路	トラス	木床版	1.00	1.00	再塗装1	なし
滋賀県野州郡				25	2.0	1.50	0.90	0.80	1.10	1.00	0.90	0.70	1.00			0.50	0.00
ゆれゆれ橋	1997		×13	16	1.1	スギ	スギ	注入	岡山県灘崎町	屋根なし	下路	トラス（跳）	木床版	1.00	1.00	なし	なし
岡山県灘崎町						1.00	1.00	0.60	1.10	1.00	0.90	0.70	1.00			0.00	0.00
かっぱ橋	1990	**13**	－	16	1.1	ベイマツ	ベイマツ	注入＋塗布	広島県福山市	屋根なし	下路	トラス	木床版	1.00	1.00	なし	なし
広島県福山市						1.00	1.00	0.80	1.00	1.00	0.90	0.70	1.00			0.00	0.00
椿原橋	2007		○3	21	1.6	スギ	スギ	注入＋塗布	高知県高岡郡	屋根なし	下路	アーチ	木床版（舗）	1.00	1.00	なし	なし
高知県高岡郡						1.00	1.00	0.80	1.00	1.00	0.90	0.90	1.10			0.00	0.00
六根の橋	1996		△14	16	1.1	スギ	スギ	注入＋塗布	高知県高岡郡	屋根なし	下路	トラス	木床版	1.00	1.00	再塗装1	なし
高知県高岡郡				21	1.6	1.00	1.00	0.80	1.00	1.00	0.90	0.70	1.00			0.50	0.00
奥物部紅香橋	2000		○10	21	1.6	スギ	スギ	注入	高知県香美市	屋根なし	上路	方杖	木床版（舗）	1.00	1.00	なし	なし
高知県香美市						1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	1.00	0.90	1.10			0.00	0.00
御幸橋	2004		○6	20	1.5	スギ	スギ	注入	高知県高岡郡	屋根あり	下路	トラス	木床版	1.00	1.00	なし	なし
高知県高岡郡						1.00	1.00	0.60	1.00	1.50	0.90	0.70	1.00			0.00	0.00
4号橋	1990	**10**	－	14	0.9	ボンゴシ	ボンゴシ	なし	愛媛県北宇和郡	屋根なし	下路	トラス	木床版	1.00	1.00	なし	なし
愛媛県北宇和郡						1.50	0.80	0.00	1.00	1.00	0.90	0.70	1.00			0.00	0.00
竜頭の森橋	1996		△14	15	1.0	ボンゴシ	ボンゴシ	なし	香川県仲多度郡	屋根なし	下路	トラス	木床版	1.00	1.00	なし	なし
香川県仲多度郡						1.50	0.80	0.00	1.10	1.00	0.90	0.70	1.00			0.00	0.00
すぎの木橋	1996		○14	17	1.2	スギ	スギ	塗布	宮崎県小林市	屋根なし	上路	アーチ	木床版（舗）	1.00	1.00	再塗装1	なし
宮崎県小林市				22	1.7	1.00	1.00	0.20	1.00	1.00	1.00	0.90	1.10			0.50	0.00
資基橋	1996		△14	20	1.5	ｲｴﾛｰﾊﾟｲﾝ	ｲｴﾛｰﾊﾟｲﾝ	注入	熊本県玉名郡	屋根なし	上路	桁	木床版	1.00	1.00	なし	なし
熊本県玉名郡						1.00	0.90	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			0.00	0.00
常磐橋	1995		○15	20	1.5	ボンゴシ	ボンゴシ	なし	福岡県北九州市	屋根なし	上路	桁	木床版	1.00	1.00	再塗装1	床版取替2
福岡県北九州市				35	3.0	1.50	0.80	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			0.50	1.00
中央公園橋	1994		△16	19	1.4	ボンゴシ	ボンゴシ	なし	福岡県北九州市	屋根なし	上路	アーチ	木床版	1.00	1.00	なし	なし
福岡県北九州市						1.50	0.80	0.00	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00			0.00	0.00
砂田切橋	1995		×15	14	0.9	ボンゴシ	ボンゴシ	なし	千葉県戸田市	屋根なし	下路	トラス	木床版	1.00	1.00	再塗装1	なし
千葉県戸田市				19	1.4	1.50	0.80	0.00	1.00	1.00	0.90	0.70	1.00			0.50	0.00

※経過年数に付した○は「健全な状態」，△は「軽微な腐朽がある」，×は「主材の腐朽が進行中」の状態を示す．

※推定年数とY値の上段は保全行為を考慮していないもの，下段は保全行為を考慮したものを示す．

5.1.5　今後の課題

本節は，木橋の限界状態設計において，最適な設計供用期間を設定することや，木橋の維持管理において，適切な指標となることを目的として，耐用年数の推定方法を示したものである。

本節に示した腐朽要因の配点は，既存木橋の調査結果に基づくものであるが，使用材料や周辺環境等，各要因の相関性や重みを評価するまでには至らず，現段階では，主観的な点数評価と言わざるを得ない。また，近代木橋の歴史が浅いこともあり，長期間供用した事例があまり得られていない。したがって，現段階では，得られる耐用年数は確定的なものではなく，あくまで参考値または期待値として取り扱う必要があると思われるが，今後の継続的な事例収集や分析により，推定精度の向上が期待できると思われる。

参考文献

1) 国土開発技術研究センター建築物耐久性向上技術普及委員会：木造建築物の耐久性向上技術，建築物の耐久性向上技術シリーズ　建築構造編Ⅲ，技報堂出版，1986.

2) 三上市藏・本郷奈保・三上卓：木車道橋における部材の耐用年数の予測，第 6 回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集，pp.99-104，2007.

3) 荒木昇吾：腐朽事例に基づく木橋の耐用年数の推定に関する研究，第 7 回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集，pp.135-140，2008.

4) 足立洪：わかりやすい橋梁設計計算例及び解説：工学出版，1968.

5) 愛媛県農林水産部：木材利用推進マニュアル，http://www.pref.ehime.jp/

5.2　近代木橋の維持管理（原田浩司）

5.2.1　維持管理に関する現地調査

本研究分科会では，昭和 62 年以降エンジニアード・ウッドや輸入材等を利用して架けられた，近代木橋として位置づけられる木造橋の現地調査を実施し，設計に組み込まれた耐久性能向上技術の有効性や不具合を検証し，現在普及が望まれている土木構造物や土木工作物への木材利用を推進するために必要な，耐久設計に活用できるデータの収集を行った。

現地調査は 2001 年に発表された「木橋技術に関する講習会テキスト・シンポジウム論文報告集で報告された，木橋事例集で対象となった木橋の内 22 事例に，過去 10 年間に架設された 3 事例を加え実施している（**表-5.2.1** 参照）。

5.2.2　調査方法

調査方法は目視・打診等による定性的点検を中心として，統一した点検表を利用して写真の掲載と点検者のコメントを書き込むことにより，情報の共有ができるようにした。**写真-5.2.1** は，今回現地調査を行った木橋の一部を示す。**表-5.2.2** は調査内容を記入した点検表の一例である。

表-5.2.1　調査対象リスト

橋名	架設場所	橋の形式	橋格	橋長（m）	主要樹種	完工年
やすらか橋	北海道滝川市	下路式アーチ	人道橋	30	ベイマツ	1993
梅の香橋	北海道札幌市	上路式アーチ	人道橋	70	ボンゴシ	1993
千樹橋	北海道岩見沢市	桁橋	人道橋	32.5	ベイマツ	1994
なかよし橋	北海道岩見沢市	トラス橋（屋根付き）	人道橋	22.3	ベイマツ	1999
坊川林道2号橋	秋田県鷹巣町	桁橋	TL-14	6	スギ	1987
揚の沢橋	秋田県鷹巣町	プレストレス木床版	TL-14	8	スギ	1993
百目石橋	秋田県協和町	下路式アーチ	A活荷重	20.9	スギ	1999
坊中橋	秋田県藤里町	トラス橋	A活荷重	55	スギ	2001
東山ふれあい橋	神奈川県横浜市	ポニートラス橋	人道橋	15	ボンゴシ	1996
かじか橋	石川県山中町	上路式アーチ	人道橋	22.8	ヒバ	1997
こおろぎ橋	石川県山中町	方杖橋	人道橋	20.8	ヒバ	1990
裁断橋	愛知県大口町	桁橋	人道橋	23	ベイマツ	1996
鼎小橋	愛知県名古屋市	桁橋	人道橋	22.9	ベイマツ	1993
近江富士2号橋	滋賀県野洲市	トラス橋	人道橋	71.1	ヒノキ	1995
六根の橋	高知県檮原町	ポニートラス橋	人道橋	40	スギ	1996
檮原橋	高知県檮原町	下路式アーチ	A活荷重	29	スギ	2007
御幸橋	高知県檮原町	トラス橋（屋根付き）	人道橋	25	スギ	2004
奥ものべ紅香橋	高知県物部村	方杖橋	A活荷重	30	スギ	2000
三日月橋	大分県大分市	下路式アーチ	人道橋	66	ボンゴシ	1998
神馬橋太郎	大分県九住町	上路式ラーメン橋	人道橋	71	スギ	1998
仙人橋・徐福橋	鹿児島県串木野市	下路式アーチ	人道橋	69	スギ	1997
金峰2000年橋	鹿児島県金峰町	上路式アーチ	A活荷重	42	スギ	2000
すぎの木橋	宮崎県小林市	上路式アーチ	A活荷重	38.6	スギ	1997
かりこぼうず木橋	宮崎県西米良村	トラス橋	A活荷重	140	スギ	2003
夢見橋	宮崎県日南市	桁橋	人道橋		スギ	2009

写真 5.2.1　調査した車道橋（左から，すぎの木橋，金峰 2000 年橋，物部紅香橋）

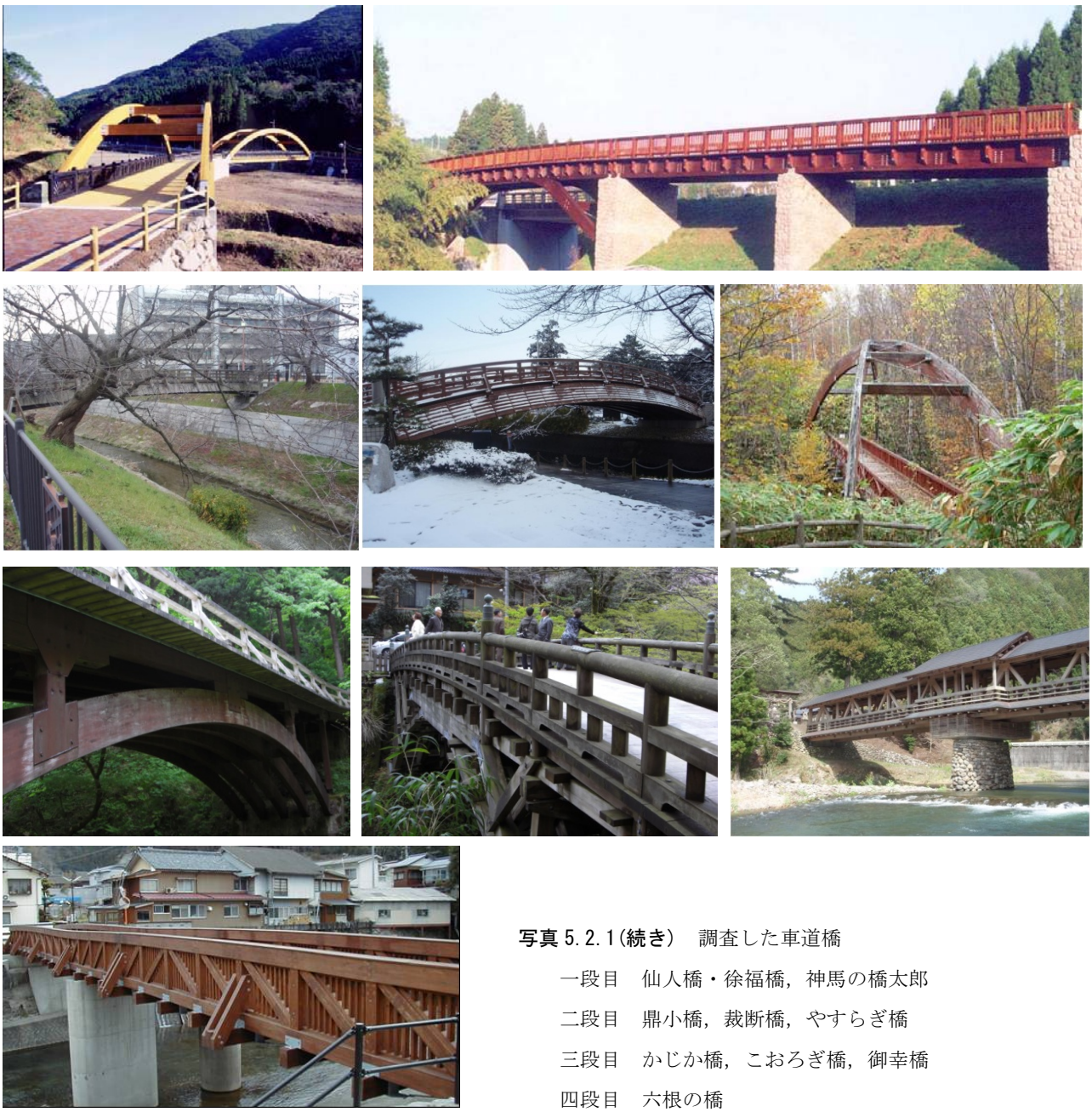


写真 5.2.1(続き)　調査した車道橋

一段目　仙人橋・徐福橋，神馬の橋太郎

二段目　鼎小橋，裁断橋，やすらぎ橋

三段目　かじか橋，こおろぎ橋，御幸橋

四段目　六根の橋

5.2.3　調査結果

今回の調査報告から耐久性能に影響する，下記のような項目を確認することができる。

① 屋根付橋と上路橋の健全性は，他の構造形式と比較すると極めて高い。

② 樹種の耐久性に依存した事例では，劣化が顕著な状況が多く確認された。

③ 防腐剤を加圧した材料は，樹種の選択，部材内（接合廻りを含む）への水の侵入がなければ薬剤の効能が確認できる。

④ 定期的な点検とメンテナンスを実施している木橋の健全度は概ね良好と言える。

⑤ 同じ樹種においても心材の，辺材と比較した時の耐久性能の高さは顕著であることが確認できる。

⑥ 水平におかれた部材の上面割れは，内部への水の侵入を許し，内部の腐朽を促進させる。

⑦ 複数の部材が接する場所や水が溜まるディテールは水はけを悪くし，腐朽の起点になったと推定される事例が多く観察された。

今後この本調査結果が，木質系構造物や工作物の設計と共に維持管理手法に活用され，10 年後を目標として設定された，現在の 2 倍の国産木材供給量に繋がることに期待したい。

表-5.2.2　点検表の例

橋名	近江富士2号橋	使用材料	ヒノキ集成材	スギ製材	
構造形式	トラス橋（　上　・　中　・　下　）	保存処理	CCA	ペンタキュア	
事業主体	滋賀県農林水産部	橋長		47.85	m
所在地	滋賀県野洲郡野洲町北桜	支間長		23.52	m
施工年度	平成7年3月	幅員		2.02	m
過去の点検実績		過去の保守工事実績			
年月	内容	年月		内容	
			塗装上塗り		

場所　全景写真

場所　縦断面方向　A

場所　縦断面方向　B

場所　側面

場所　トラス　内観

場所　床梁ートラス下弦材接合部

表-5.2.2(続き)　点検表の例

場所	支承部

場所	端部(下弦材木口部)

場所	床下部　縦桁の腐朽

場所	高欄親柱

場所	床の腐朽

場所	枕梁(アカマツ太鼓落とし)の腐朽

コメント:

県道をまたぐ形で架設された立体トラス橋。目視および打診で診断。主要構造部材に腐朽の兆候はみられない。主要構造部材はCCA処理したヒノキのひき板を集成材としたこと、また床梁以外は上面にテーパがついているため水がたまらない状況に作られていることが耐久性向上に繋がっていると考えられる。但し、床梁ートラス下弦材接合部における床梁は箱型金物で受け止めていることから、上面で受けた水を受けてしまう形となっていること、また方杖接合部にほぞを取り、水を溜めるディテールになっていることから、保守工事時の際、水を抜く、水掛かりを防ぐ等の改善が望まれる。床板一縦桁1カ所については子実体を確認、また桁橋端部の支障部枕梁(アカマツ太鼓落とし)は著しい内部腐朽が確認されたことから防腐処理、補強、取り替え等の処置が望まれる。

視察日	2009/11/25	天気	晴れ		
記録日	2009/12/2	視察者:	原田浩司	文責:	原田浩司

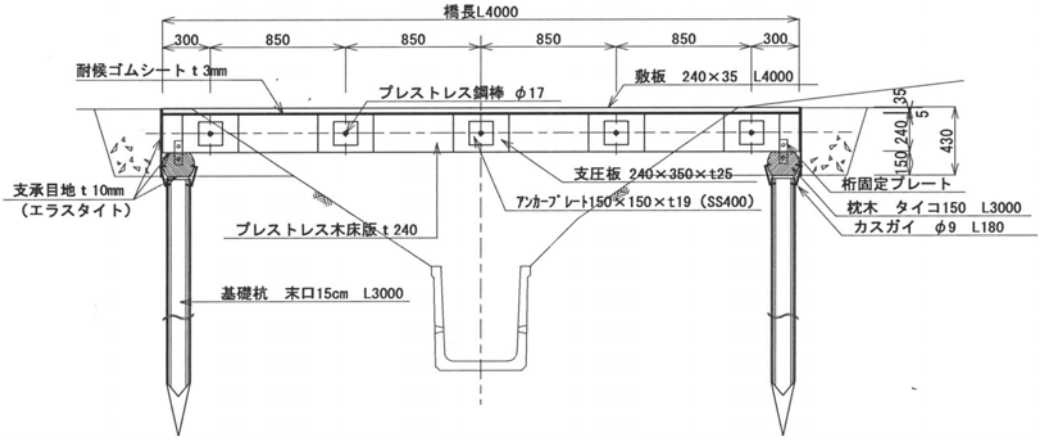
5.3　プレストレス木床版の施工（佐々木貴信）

5.3.1　はじめに

農耕地等における交通の利便性の向上を目的とした農道橋を対象として，橋長 4m，幅員 3m の小規模なプレストレス木床版橋の試験施工が行われた。我が国ではプレストレス木床版橋にはスギやカラマツの構造用集成材が用いられることが多かったが，ここで紹介する事例では経済性を考慮して本橋では地域材の新潟県産スギ製材が用いられている。入手が容易な地域材の製材を活用し，農道橋としての木橋を普及させることで，農業と林業の活性化等の将来展望が期待され，低次の加工で木材を利用することによる CO_2 排出量の削減効果や，木材利用による炭素固定効果など環境面での効果も期待できる。新潟県内で試験的に実施された本橋の架設後に総重量約 4t の農耕車を用いた載荷実験を行い変位形状の測定を行った。また，定期的に緊張力の測定および再緊張を行い，プレストレス損失等のデータを収集したので紹介する。

5.3.2　対象橋梁の概要

新潟県上越市頸城区浮島地内の圃場に平成 21 年 8 月に施工された橋長 4m，有効幅員 3m のプレストレス木床版橋の一般図を**図-5.3.1** に示す。プレストレス木床版橋を構成するラミナは長さ 4m，厚



側面図

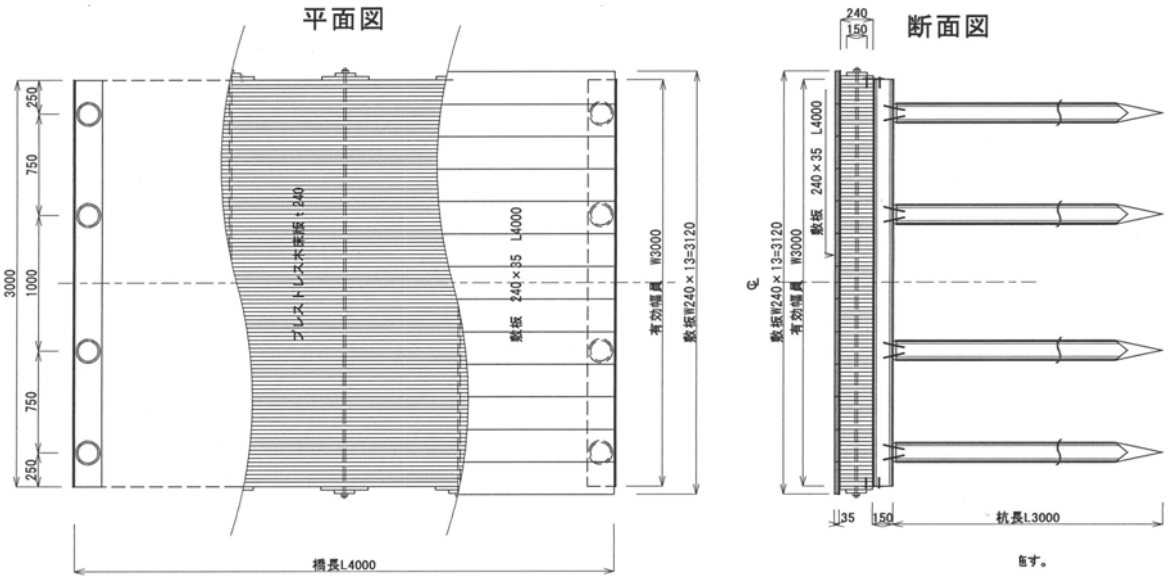


図-5.3.1　対象橋梁の一般図

さ 30mm，幅 240mm のスギ製材 96 枚と，緊張時の支圧板のめり込みを防止するために幅員端部に配置する長さ 4m，厚さ 35mm，幅 240mm のベイマツ製材 2 枚からなり，これらの板を縦使いにして，幅員方向に敷き並べ，支圧板およびアンカープレート（何れも SS400 材）を介してφ17mm の PC 鋼棒（B 種 1 号）で緊張し橋体としている。床版の上には防水層としてアスファルトルーフィングを敷設し，その上に敷板材として 35mm 厚のベイマツ製材を敷き並べている（**図-5.3.1**）。なお，これら部材として用いたスギ製材およびベイマツ製材は AAC 系の保存薬剤を加圧注入処理し，天然乾燥させてから使用した。また，製材は粗挽きしたまま使用しており，プレストレス木床版のラミナ相互の摩擦力を確保するためにもプレーナー加工などの仕上げは施していない。

本橋は林道規程で区分される 2 等林道橋の設計荷重 137kN（T-14）を設計荷重[1]として，プレストレス木床版橋の簡易設計法[2),3)]に従い，床版厚，支圧板およびアンカープレートの形状，設計緊張力等を決定している。

5.3.3　施工

本橋は現場施工の前に，施工手順や部材寸法の確認を目的として工場内で仮組を行ったものを解体して，現地に運搬し再度組立作業を行った。以下に施工状況を順に示す。

(1) 下部工の施工

下部工は一般図に示したようにカラマツ杭を打ち込みスギ材の枕梁を配置した木製の構造となっている。基礎杭の打ち込み状況を**写真-5.3.1** に枕梁の設置状況を**写真-5.3.2** にそれぞれ示す。なお，杭頭部および枕材の全面にはアスファルト乳剤を塗布して防腐処理を行っている。

写真-5.3.1　カラマツ杭の打ち込み

写真-5.3.2　枕梁の設置

(2) プレストレス木床版の組立

次に，プレストレス木床版橋を構成するスギ製材ラミナおよび幅員両端のベイマツ製材ラミナを PC 鋼棒を通しながら敷き並べ（**写真-5.3.3**），支圧板とアンカープレートを介して 5 本の PC 鋼棒をセンターホールジャッキを用いてそれぞれ緊張されている。このとき設計緊張力は 110kN（11.31tf）であり，導入緊張力の確認は，油圧ポンプに取り付けたデジタル油圧計の値にシリンダ面積を乗じて行っている。使用した油圧ジャッキの容量は 196kN（20tf）であり，デジタル油圧計の読み 1kgf/cm^2 あたりの緊張力は 31kgf となる。なお，この方法による緊張力の管理については，仮組の段階で，センターホール型のロードセルをジャッキ後端に取り付けて油圧計の読みとキャリブレーションすることで信頼性が高いことが確認されている。

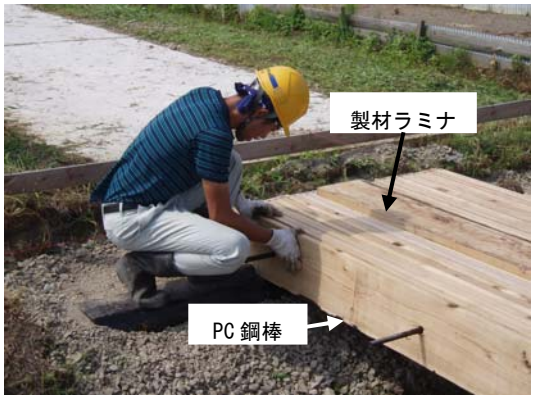


写真-5.3.3　製材ラミナの配置

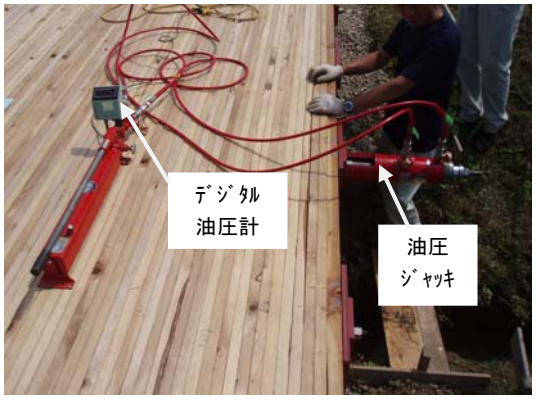


写真-5.3.4　PC 鋼棒の緊張作業

(3) 橋面工の施工

写真-5.3.5 に示すように組立が完了した橋体の両木口および床版上下面全体にアスファルト乳剤を塗布して防腐処理を行っている。次に橋体への止水を目的として床版上面にアスファルトルーフィングを敷き，その上に敷板材を敷設している（写真-5.3.6）。

写真-5.3.5　アスファルト乳剤の塗布

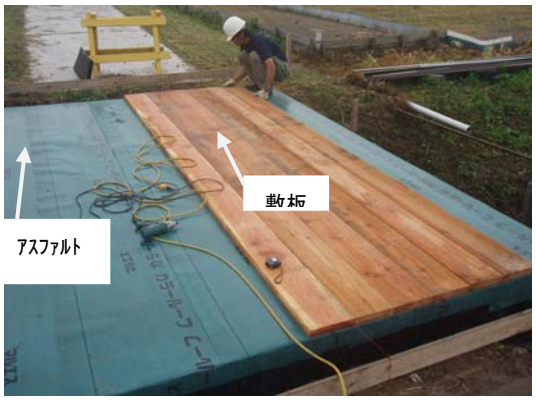


写真-5.3.6　ｱｽﾌｧﾙﾄﾙｰﾌｨﾝｸﾞおよび敷板の施工

5.3.4　載荷実験

本橋の構造性能を確認するために，施工完了から 4 日後に写真-5.3.7 に示すようにコンバインを用いた載荷実験を行った。このとき用いた大型コンバインは本橋を実際に走行することが想定される車体であり，車体重量 4050kg，クローラ部 550×1870mm（平均接地圧 21.2kPa（0.197kgf/cm^2））である（図-5.3.2）。

写真-5.3.7　載荷試験（Case1）

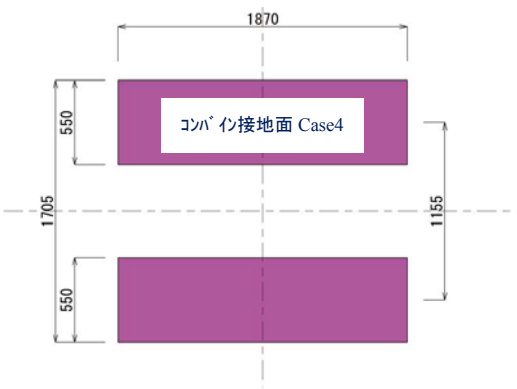


図-5.3.2　クローラ部の接地面積

図-5.3.3および**図-5.3.4**に Case1 から Case7 までの各試験ケースにおけるコンバインの載荷位置と変位計の設置位置を示す。なお, **図-5.3.3** では各ケースでのコンバインのクローラの先端位置を示し, **図-5.3.4** ではクローラの後端位置を示している。

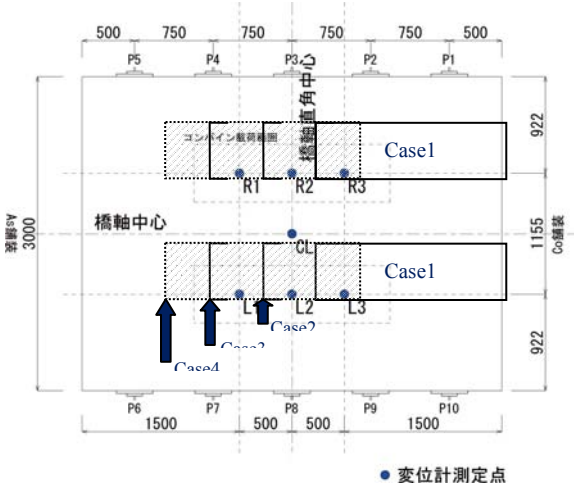


図-5.3.3　載荷位置（Case1～Case4）

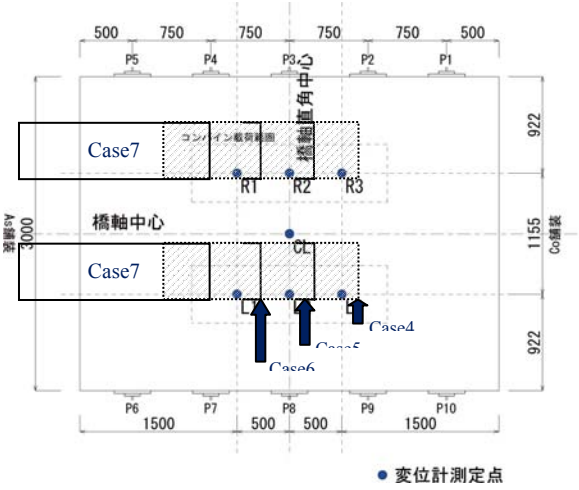


図-5.3.4　載荷位置（Case4～Case7）

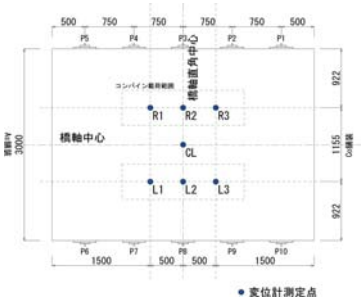
5.3.5　実験結果

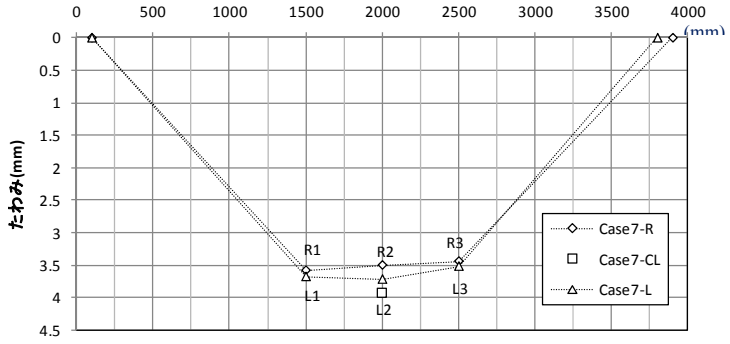
表-5.3.1に各試験ケースにおける変位測定点のたわみ値を示す。表中の太枠で示したのは各ケースにおける最大値である。支間長（L=3.8m）に対するたわみの関係は大きくても L/970 程度であり実用的な載荷に対して十分な安全性を有することが確認された。

図-5.3.5に一例として最大たわみを示した Case7 のときの変位が橋軸方向の変位分布を示した。このとき, コンバインのクローラの先端は橋長を超えていて橋面上にない状態でも最大値を示したのは,

表-5.3.1　各測定点の変位(mm)

	R1	R2	R3	CL	L1	L2	L3
Case1	2.160	2.560	2.880	2.900	2.360	2.680	3.080
Case2	2.560	2.960	3.260	3.260	2.840	3.160	3.360
Case3	2.980	3.300	3.320	3.640	3.280	3.560	3.600
Case4	3.260	3.380	3.320	3.720	3.480	3.640	3.560
Case5	3.380	3.360	3.320	3.880	3.440	3.520	3.520
Case6	3.300	3.480	3.300	3.760	3.440	3.520	3.400
Case7	3.580	3.500	3.440	3.920	3.680	3.720	3.520





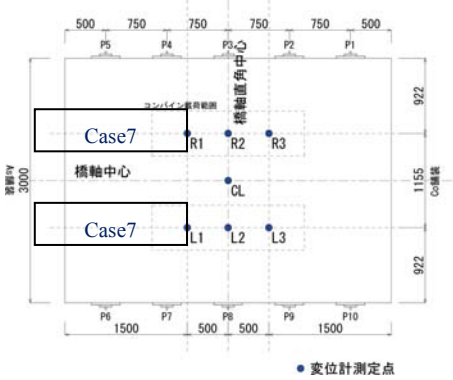


図-5.3.5　Case7 における橋軸方向の変位分布

使用したコンバインが無積載の状態であったために，カウンターバランスの重さで重心が後部にあったためと推察される。

5.3.6　緊張力管理

プレストレス木床版橋の緊張力は，木材の乾燥収縮や木材, PC 鋼棒のリラクゼーションによって徐々に損失することが知られている [2)]。このため，必要に応じて損失した緊張力を再導入する必要がある。これまで集成材や LVL の緊張力変動に対して報告された例は多いが [4)]，製材を用いた場合の報告は少ない。施工管理や維持管理上のデータ収集を目的として，本研究では定期的な緊張力変動調査および再導入作業を実施した。

写真-5.3.8　再緊張作業

調査時点での残存緊張力の確認は 5.3.3(2) で述べた緊張作業と同じ方法で行い，油圧ジャッキで鋼棒を緊張しながら鋼棒端部のナットとアンカープレートの間が離れる瞬間，すなわちナットを回すことができる瞬間を確認してそのときの油圧ゲージの値から換算することができる。**写真-5.3.8** に架設後の再緊張作業を示す。**図-5.3.6** に 5 本の PC 鋼棒の設計緊張力に対する残存緊張力の経時変化を示した。図中の残存緊張力が 100%に回復している点で再緊張作業を行ったことを表している。このように定期的に再緊張作業を繰り返し行うことで，損失量が徐々に少なくなっていることが分かる。

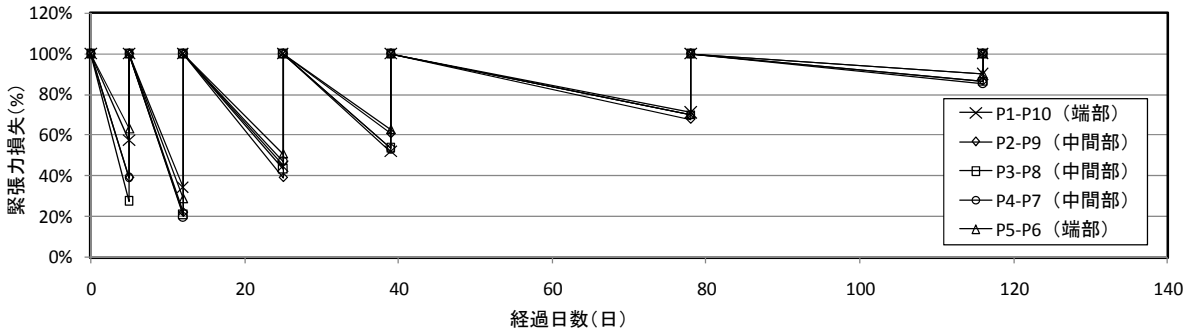


図-5.3.6　緊張作業のスケジュールと緊張力変動

5.3.6　まとめ

本報告では，上越市内に施工した新潟県産スギ製材を用いたプレストレス木床版橋の施工の概要および載荷試験，PC 鋼棒の緊張力管理について紹介した。本橋は，橋長 4m，幅員 3m の農道橋であるが，農耕地ではこのような水路を跨ぐ小規模な橋梁の潜在的ニーズは高く，地域材を活用した経済的な木橋の新たな分野として今後の普及が期待される。

本橋の経済性については，施工に際して要した材料費や歩掛かりから評価を行ったが，下部工までを含めた場合，集成材を用いたプレストレス木床版橋や，プレキャスト製品である同規模のコンクリート橋と比較して約4割程度建設コストを削減できるという試算結果が得られている。参考までに経済性の評価に用いた上部工の組立歩掛かりを**表-5.3.2**に示す。これらの評価材料はまた，本橋に関する CO_2排出量の評価にも供され，コンクリートスラブ橋との比較検討も行われている[5)]。木橋に限らず土

木構造物に地域材を利用することによるCO_2排出量の削減効果や，炭素固定効果など環境面での効果が期待できるため，今後の用途開発や積極的利用が期待される。

表-5.3.2　上部工組立歩掛かり

工種名	一般世話役	普通作業員
橋体組立工	0.5	3.2
緊張工	0.5	1.5
仕上工	1.0	1.0
緊張管理工	2.0	5.0
合計	4.0	10.7

参考文献

1）日本林道協会：林道規程－運用と解説－，平成14年版，pp.208－209.

2）Michael A. Ritter: Timber Bridges-Design, Construction, Inspection and Maintenance, USDA Forest Service, 2005.

3）(財)林業土木コンサルタント：実務者のための木橋の設計と施工，2005.

4）佐々木貴信，薄木征三ほか：湿度変動下におけるプレストレスLVL床版のクリープ挙動に関する実験的研究，構造工学論文集, Vol.45A, pp.1335-1342, 1999.

5）日比野美香，三上卓，室岡賢一，中村一明：木床版橋およびコンクリートスラブ橋の建設で生じるCO_2排出量の比較，土木学会関東支部第37回技術研究発表会講演概要集, 2010. 3.

5.4　プレストレス木床版と鋼トラスを組み合わせた新形式木橋（後藤文彦）

5.4.1　はじめに

本節では，**図-5.4.1**，**図-5.4.2**，**写真-5.4.1** のように，プレストレス木床版状の板面をプレストレス鋼棒を利用し，鋼トラス部材を介して上下に離間して固定することにより剛性を確保した新しいタイプの木・鋼ハイブリッド木橋を提案する。プレストレス木床版橋は既に実用されているが，間伐材を現地製材した小断面の角材などを有効利用しつつ，十分な剛性を確保するため，プレストレス木床版状の板面を鋼トラスにより離間させた箱桁形式とした。トラスを用いたのは，箱桁内部の換気をよくし，木部材の腐朽を防止するためである。この橋は，プレストレス木床版状の木部材と鋼トラス部材とをプレストレス鋼棒によって一体化させているだけなので，現地製材により現地で加工された木材を，現地で比較的簡単に組み立てられ，腐朽部材の交換や橋梁自体の解体・撤去も容易であり，災害時の応急橋としても期待される。

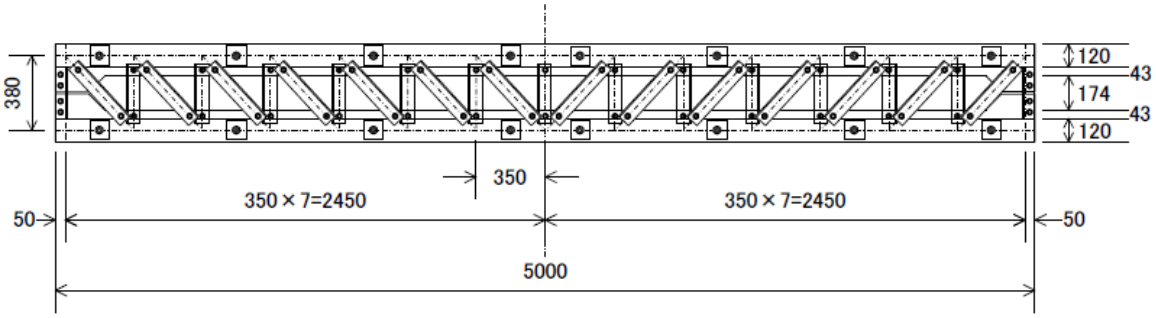


図-5.4.1 側面図

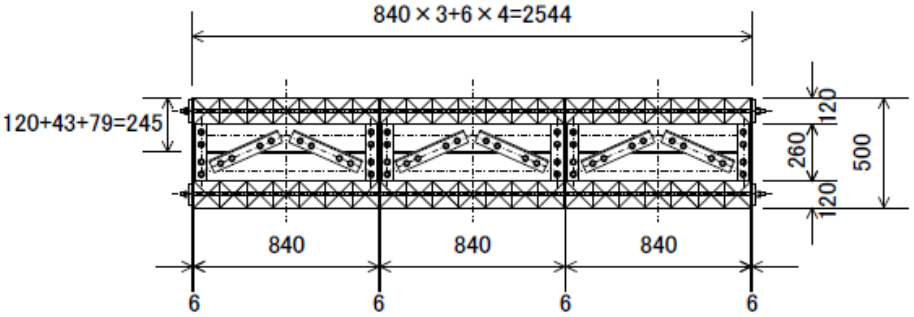


図-5.4.2 正面図

写真-5.4.1 試験体

表-5.4.1 製材のヤング率

製材	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	最大、最小をのぞく平均
ヤング率 (GPa)	8.17	6.21	6.01	7.66	5.75	11.11	8.71	5.88	7.11

5.4.2 試験体

試験施工予定の実橋では，**図-5.4.2** のようにトラス部材を固定するトラス上下弦材に当たる鋼板を幅員方向の 2 箇所に等間隔に挿入して 3 つのボックス断面を形成するが，今回は，**写真-5.4.1** のように，両端をトラス部材で挟まれた 1 つのボックス断面について載荷試験を行う。スパンは 5m で，スパン中央部に，T 荷重 1 輪当たりの占有幅(500×200mm)で載荷する。縦振動法により測定した製材のヤング率を**表-5.4.1** に示す。なお，鋼トラス部材には SS400 を，PC 鋼棒には B 種 1 号を用いる。

5.4.3 載荷試験

二等林道橋(旧 T-14)の後輪荷重は，0.4×14tf=5.6tf=55kN であるが，衝撃係数 0.25 として衝撃を考慮し，69kN の載荷に耐えられることを目安として載荷試験を行ったところ，**図-5.4.3** の「補強前」で示される荷重-変位曲線のように，30kN 付近から剛性が下がり始め，**写真-5.4.2** のようにトラス上弦材鋼板の上部の数箇所に PC 鋼棒間を座屈長とする局部座屈が認められた。このため，70kN で載荷を停止して除荷し，**写真-5.4.3** のように，上弦材鋼板の PC 鋼棒間隔中央付近 2 箇所をラグスクリューで固定し，100kN まで載荷した。**図-5.4.4** の「補強後」で示すように，ラグスクリューによる補強後は，剛性の低下が大きく改善し，上弦材鋼板上部の局部座屈も，70kN 付近まではほとんど認められない。

中央部断面における鋼トラス上弦材，下弦材，上部(圧縮側)の木部材のみの曲げ剛性（$E_sI_s+E_wI_w$）から求めた単純梁中央のたわみを**図-5.4.3** に併記する。木部材は，軸方向にはバットジョイントで継がれているので，下部(引張部)の木部材は曲げ剛性には寄与しないものと考えた。すると中立軸は桁高中央部から上にずれるので，鋼部分と木部分のヤング率と断面 1 次モーメントの積の合計が 0 となる軸を求めると，桁高中央よりも 89mm 上部に中立軸があることになる。よって，曲げ剛性はこの中立軸回りの値を算出した。補強後の実験値は，この梁中央部の曲げ剛性から求めたたわみよりは，やや低めの剛性ではあるものの，上記の方法で求めた梁中央部の曲げ剛性で，この形式の橋の剛性を十分に近似的に評価できるものと思われる。

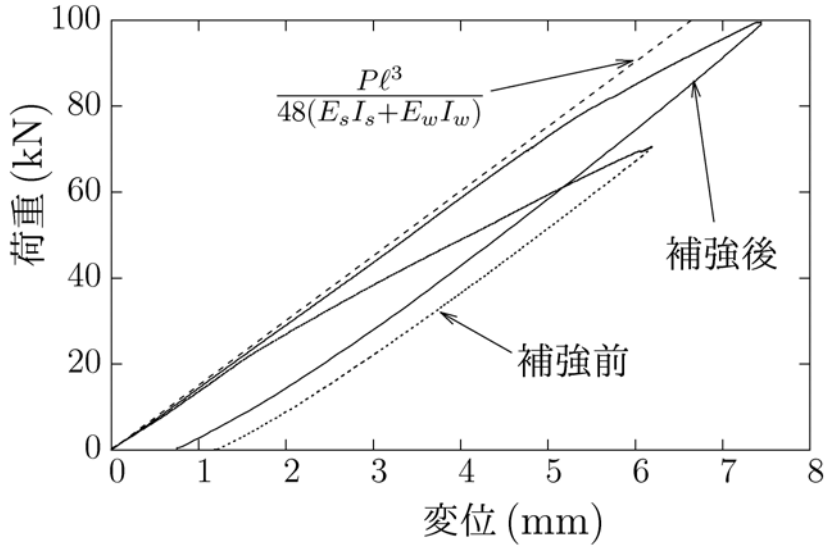


図-5.4.3 荷重-変位関係

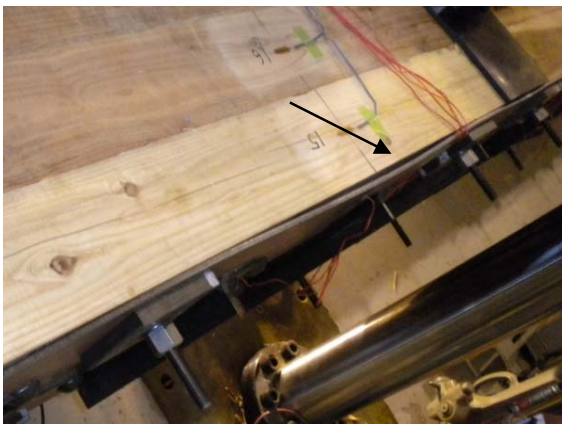


写真-5.4.2 局部座屈

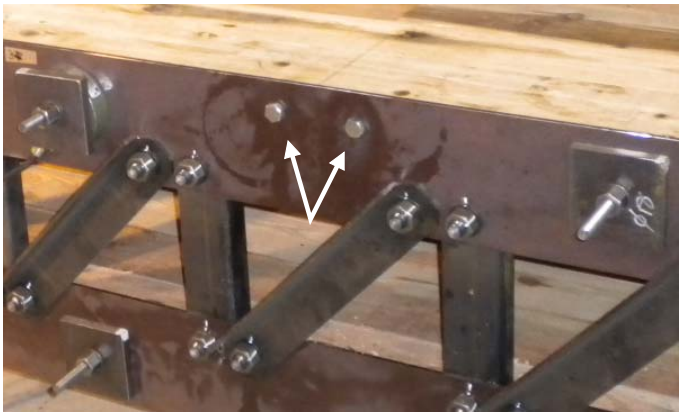


写真-5.4.3 ラグスクリューによる補強

トラス上弦材鋼板の高さ方向中央部での軸方向ひずみを測定したものを**図-5.4.4** に示す。スパン中央部のひずみは，局部座屈の発生にともなって，圧縮から引張に転じていることが分かる。補強後の中央部のひずみも圧縮から引張に転じてはいるが，補強前よりは，引張ひずみが小さくなっている。スパン中央部は，載荷装置の柱が邪魔となり，ラグスクリューではなく，クランプによる締め付け補強を行ったため，補強が十分ではなかったものと思われる。スパン中央部から左右に 525mm 離れた箇所のひずみは，補強前は局部座屈にともなって圧縮ひずみが減少し，引張に転じる傾向が認められるが，補強後は，圧縮のまま増加している。

スパン中央部から左右に 525mm 離れた箇所の木部材の上表面と下表面の軸方向ひずみを幅員方向についてプロットしたものを**図-5.4.5** に示す。木部材表面では，上表面が圧縮，下表面が引張となっていることがわかる。幅員方向には，ややばらつきが大きい。

ラグスクリューによる補強後は，同一荷重レベル(70kN)でのひずみは緩和されて小さくなっているが，下表面(引張側)については，それほど緩和されていない。スパン中央部から 875mm 離れた箇所での上側 PC 鋼棒のプレストレス力の初期値 50kN からの変動を**図-5.4.6** に示す。ラグスクリューによる補強前は，除荷後に初期プレストレスに対して 2kN 程度の減少が認められるが，補強後は，0.5kN 程度の減少に収まっている。

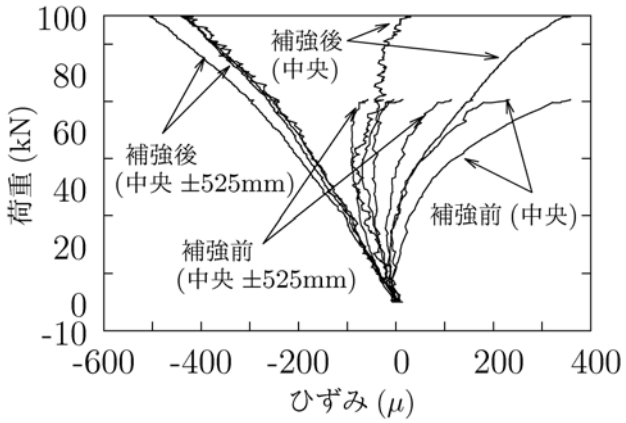


図-5.4.4 上弦材軸方向ひずみ

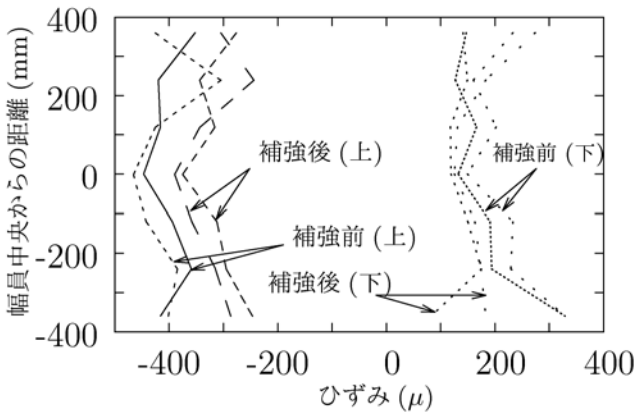


図-5.4.5 木部材表面のひずみ分布（70kN）

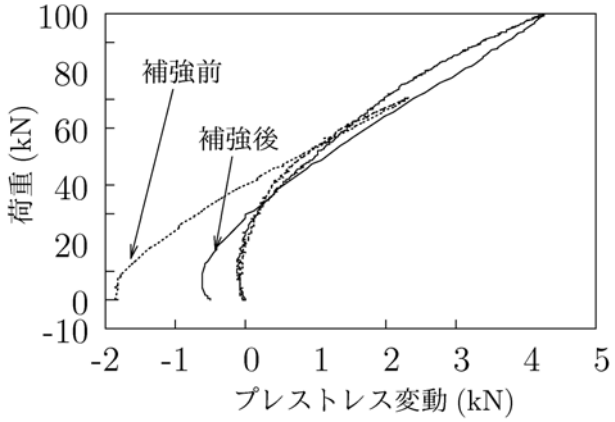


図-5.4.6 プレストレス変動（上側，中央から 875mm）

5.4.4　まとめ

プレストレス木床版状の板面をプレストレス鋼棒を利用して鋼トラス部材によって上下に離間して固定することにより剛性を確保した新しいタイプの木・鋼ハイブリッド木橋を提案したが，トラス上弦材鋼板部分の局部座屈を適切に抑制すれば，十分に実用的であることが確認された。また，組み立てや解体も比較的容易に行えることを確認した。

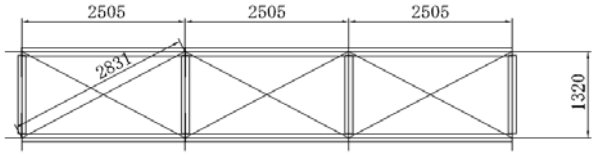
本研究は，農林水産省「平成21年度　新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」の補助の下に行われた。

5.5　カスケード利用を想定した木製トラス橋の架設実験（平沢秀之）

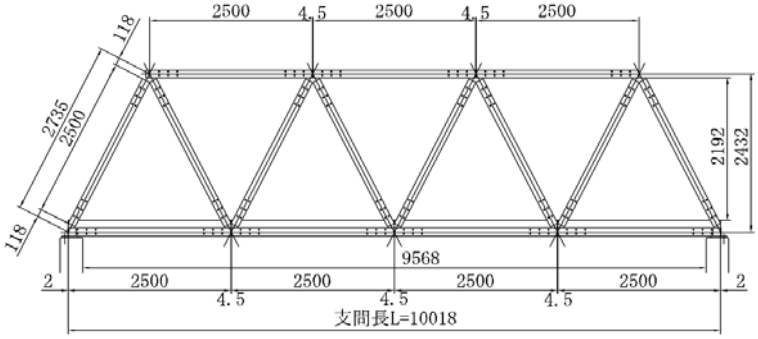
5.5.1　木材のカスケード利用

土木事業において，かつては木材が大量に使用されていたが，現在ではほとんど使用されなくなってきている。しかしながら，地球温暖化防止を図るため，「木材の利用拡大」と「木材の長期間利用」を土木分野において積極的に進める必要がある。そのための方策として，ここでは木材のカスケード利用を提案する。カスケード利用とは，資源やエネルギーなどを用途を変えながら多段階に利用することであり,利用の度に品質が下がるが,その下がった品質レベルに応じた用途に利用することである。

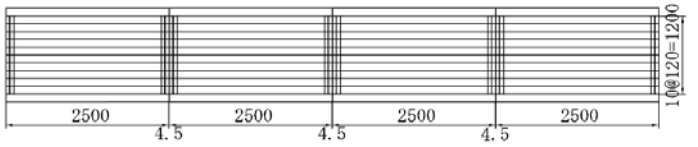
木材は加工に要するエネルギーや労力が小さく，構造物の接合や解体が容易な木構造物では，部材レベルの再利用が行いやすい。また，そのための環境負荷は小さく，廃棄時には燃焼による熱エネルギー等としての利用も可能である。そこで，高度な構造性能が要求される橋梁等の構造物から，比較的自由度がある擁壁等の中規模構造物，さらにはガードレールや水制工等の小規模構造物へと部材を有効かつ長期に利用するカスケード利用が十分可能である。木材をカスケード利用するに当たっては，以下の課題点すなわち，(1)部材の再利用を想定した寸法の規格化，(2)組み立てや解体が容易な構造形式の開発，(3)再利用可否の診断法の開発，(4)個々の木材の使用履歴を管理する体制の整備，が必要になると考えられる。本節では，(1)および(2)に対応した木製トラス橋を提案する。



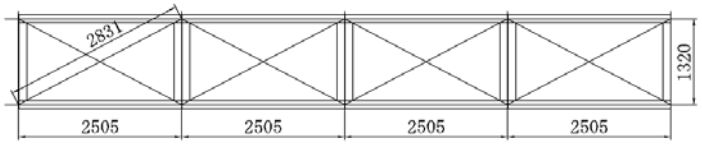
(a) 平面図(上弦材)



(b) 側面図



(c) 床版



(d) 平面図(下弦材)

図-5.5.1　木製トラス橋概略図

5.5.2　木製トラス橋構造の概要

(1) 設計・架設の要件

対象とする木製トラス橋は，災害復旧用として一時的に使用する応急橋，または橋梁の新設工事，維持補修工事の際に一時的に使用する応急橋を想定している。応急橋が満たすべき要件は,次の通りと考えられる。①強度はある程度確保されていれば良い。②一時的な使用であるため，耐久性はそれほど高くなくても良い。③橋の材料がすぐに調達できる。④架設が容易で,短期間に完成できる。⑤解体・撤去が容易である。⑥コストが安い。

以上の要件のうち,①については，供用期間が短いため，信頼性設計の考え方から目標信頼性指標を下げら

れること[1]，あるいは許容応力度設計の考え方から，許容応力度の割り増し[2]を考慮できることに由来するが，安全性は当然有していなければならない。

(2) 全体構造と使用木材

(1)の要件を満たすことに加えて，応急橋として繰り返し使用すること，その後は用途を変えながらカスケード利用していくことを考慮して構造を決定した。**図-5.5.1**は本研究で製作架設する木製トラス橋の概略図を示したものである。本橋梁は実証実験として函館高専の構内に架設する。構内の敷地には，約10[m]の間隔で幅1.5[m]のコンクリート橋台が既に設置されてあり，今回これを利用して架設することにした。この橋台位置に合わせ，橋梁の支間長を$L = 10018$[mm]，トラス格間長を2505[mm]，全幅を1500[mm]とした。

使用木材は加工コストを抑えるために集成材は使用せず，一般に流通している寸法の製材とし，樹種はスプルース(カナダ)とした。断面寸法は，120×120[mm]である。製材の長さはトラス部材を全て2500[mm]に統一し，横梁を1200[mm]としており，これら2種類の長さのみの製材しか使用していない。防腐処理や塗装は行っておらず，耐久性が劣ると予想されるが，カスケード利用の便やコスト面において無処理の方が有利である。

上弦材，下弦材，斜材には，連結のために端部にスリット加工およびボルト孔が施されている。これらスリット位置とボルト孔位置は，全てのトラス部材で同じ位置に設けられている。したがって，製材を上弦材用，下弦材用等のように区別しておく必要がないため，施工時の簡略化や工期短縮，工事ミスの防止に役立つ。

床版はトラス部材と同じ寸法の120×120×2500[mm]の製材を使用し，これらを橋軸直角方向に並べて敷きつめることによって，活荷重(歩行者荷重)を支持できるようにする(**図-5.5.1(c)**参照)。床版用の一つ一つの製材は格点部で連結された横梁で単純支持されている。横梁にはスリットが設けられ，ずれ止め用の鋼板が挿入されている。床版端部にもスリットが設けられ(**写真-5.5.1**矢印)，鋼板がはまるように床版部材を敷き並べることができる。この方法により床版のずれを防止できるほか，施工が容易となる特長を有するが，床版に揚力が作用した時には抵抗することができない。しかし，製材の重量が大きいので通常の使用状態で床版が浮き上がる状況になる可能性は小さいと考えられる。

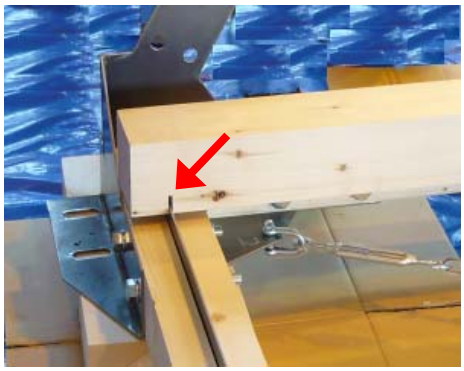


写真-5.5.1　床版端部構造

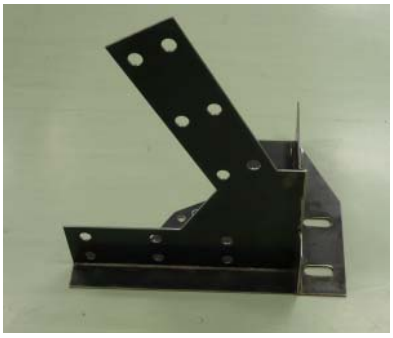
(3) 格点部の構造

トラス部材の格点部は，挿入鋼板を使用したボルト接合とする。**写真-5.5.2**に接合に使用する鋼板を示す。中間部の鋼板は上弦材用または下弦材用の区別はなく，同一の寸法である。鋼板はSS400を使用し，板厚は4.5[mm]である。トラス部材の端部には6本のボルトを使用し，横梁の端部は2本で連結する。ボルトはM20である。

写真-5.5.3はトラス部材の端部を表しており，ボルト孔とスリット加工が施してある。スリット幅は6[mm]である。接合用鋼板と木材のボルト孔は，直径を23[mm]とし，配置位置については参考文献3)に従い，ボルト間隔を140[mm]，縁距離を30[mm]，端距離は鋼板に対して42[mm]，木材に関して140[mm]とした。

写真-5.5.4は上弦材の格点部を表している。上弦材，斜材，横梁に作用する軸力が一点で交わるように連結されている。接合用鋼板には各部材方向に挿入されている鋼板の他に，床版面と平行に配置された鋼板がある。これは，横構部材をターンバックルを介して繋ぎ止める役割を果たしている。横構部材には直径6[mm]のステンレスワイヤーを使用している。

(a) 中間部



(b)端部

写真-5.5.2 接合用鋼板

写真-5.5.3 トラス部材端部

写真-5.5.4 格点部

(4)構造計算

トラス橋の各部に作用する部材内力を算出するために，有限要素法による3次元弾性骨組構造解析を行った。木材のヤング係数を$E = 9.0\times10^3$[N/mm^2]とした。荷重は死荷重と活荷重(群集荷重3.5[kN/m^2])を各節点に作用させ，両端単純支持の境界条件の下で解析を行った。解析結果を最大応力が発生した箇所のみ**表-5.5.1**に示す。応力度照査において，引張力に対しては純断面積を使用し，圧縮力に対しては座屈応力度に関しての照査を行う。木部材，接合用鋼板，ボルト共に許容応力度[2),3)]を下回っている。また，接合部において参考文献3)による耐力照査法によれば，集合型せん断破壊による終局耐力および接合部全体の短期許容せん断耐力は，それぞれP_{uw} = 1.5×10^5[N], $P_a = 3.8\times10^4$[N]を有している。これに対し，部材力の最大値は1.89×10^4[N]であり，安全性には問題ないと言える。

表-5.5.1 応力度照査

		作用応力度 [N/mm^2]	許容応力度 [N/mm^2]
木部材	最大引張力	2.1	4.4
	最大圧縮力	1.5	3.4
接合用鋼板	最大引張力	57	140
	最大圧縮力	41	140
ボルト		12	80

5.5.3 木製トラス橋の架設

(1)仮組み

平成21年12月23日に函館高専第1体育館において，木製トラス橋の施工性，特に鋼板挿入とボルト接合の可否を確認するために仮組みを行った。**写真-5.5.5**はその状況を表したものである。初めに下弦材，下横梁，下横構を設置し，床版敷設，斜材立ち上げ，上弦材，上横梁，上横構設置の順序で組み

立てた。上弦材等の連結作業は足場や脚立の上での高所作業となった。仮組は，学生5名＋技術者5名，合計10名により実施し，開始から完了まで約4時間半を費やした。

仮組みの結果，以下の課題点が判明した。(1)鋼板の挿入やボルトの貫通に多少困難な箇所が数箇所あった。(2)床版部材は橋軸直角方向に10本敷き詰める予定であったが，9本しか入らなかった。(3)橋軸直角方向への変形が生じやすかった。(4)連結金物のうち最も重いもので約17[kgf]あり，高所作業の際には多少の困難があった。これらの課題点のうち(1)については，鋼板をハンマーでたたいて木部材に挿入させることや，ボルト孔にピンを打ち込んでからボルト締めを行うことで解決を図った。その他の課題点は，現場架設においてそれほど大きな問題にはならないと判断し，現場架設は実施可能との見通しを立てることができた。仮組み後の解体は，1時間以内に完了することができた。

写真-5.5.5　仮組みの状況

写真-5.5.6　現場架設の状況

(2) 現場架設

平成22年1月11日に函館高専構内において，トラス橋梁の組立て，架設を実施した。**写真-5.5.6**に示すように，地面でトラス1面をまず組み立てる。ボルト接合は仮組時と同様にスパナを用いて人力で締め付ける。トラスが完成した後，クレーンにより橋台へ設置，アンカーボルトにより固定する。更にもう1面設置後，横梁で連結し，床版を敷き詰め，ワイヤーとターンバックルによる横構で補強し，トラス橋を完成させる。現場架設では，敷地の状況や積雪があることから，作業時間と安全性も考慮して，クレーンを使用することとした。**写真-5.5.7**に完成後の状況を示す。

現場架設では，仮組みの時のような高所での作業は上横梁と上横構の取りつけのみであり，部材の重量はそれほど問題にはならなかった。また，鋼板の挿入やボルト貫通については，仮組時と同様に数か所で多少困難であった。一方，橋軸直角方向への変形に対しては，合板による橋門構を新たに設置することにより大幅に剛性が高まり，橋軸直角方向に力を与えても，ほとんど変形しなくなった。

写真-5.5.7　完成後の状況

現場架設では，学生4名＋技術者11名，合計15名で作業に当たり，施工時間は仮組み時とほぼ同じ約4時間半であった。現場架設における課題点としては，以下の点が挙げられる。(1)鋼板の挿入およびボルト

の貫通でやや困難な箇所が数か所あった。(2)ボルトナット締めにおいて，それらが共回りしてしまい，仮組時より作業性が難である箇所もあった。

5.5.4　架設作業に関するアンケート調査

仮組みと現場架設のどちらかまたは両方に携わった関係者に，架設作業に関するアンケートを実施した。**表-5.5.2**に調査項目の一部を示す。関係者のうち，仮組みだけ参加した者3名，現場架設だけ参加した者2名，両方に参加した者8名から回答を得た。**図-5.5.2**にアンケート調査結果を示す。

設問A, Bの鋼板挿入およびボルト締め作業は，仮組みより現場架設において容易である結果となった。これは現場架設では高所作業が少なかったためである。設問Cの作業人数に関しては，仮組みにおいてほぼ適切であったと考えられ，現場架設では多い結果となった。これは，仮組みを経験した者が組み立ての要領を理解したため，現場架設で容易に作業ができたためと考えられる。設問Dの部材重量に関しては，約半数の者が問題ない重量であると回答している。しかし，この中には「緊急時だから」という条件付きで問題ないと回答した者もいることから「もっと軽くすべき」と考える者は多いと考えられる。設問Eは，緊急時で作業人員を多数確保することが困難な場合を想定し，作業時間に制限が無いと仮定して最低の作業人数は何人必要かを尋ねたものである。その結果，5人から16人まで幅がある結果となり，回答者によるばらつきが見られた。最低作業人数が5～6人とするならば，その全員が架設作業経験者である必要があると思われる。また，組み立てのほか部材の運搬にも人員は必要なことから，7～8人程度は最低限必要な人数であると考えられる。

表-5.5.2　アンケート調査項目(抜粋)

設問A	鋼板挿入は容易だったか?
設問B	ボルト締めは容易だったか?
設問C	作業人数は適切だったか?
設問D	木材や鋼板の重さはどうか?
設問E	現場での最低作業人数は?

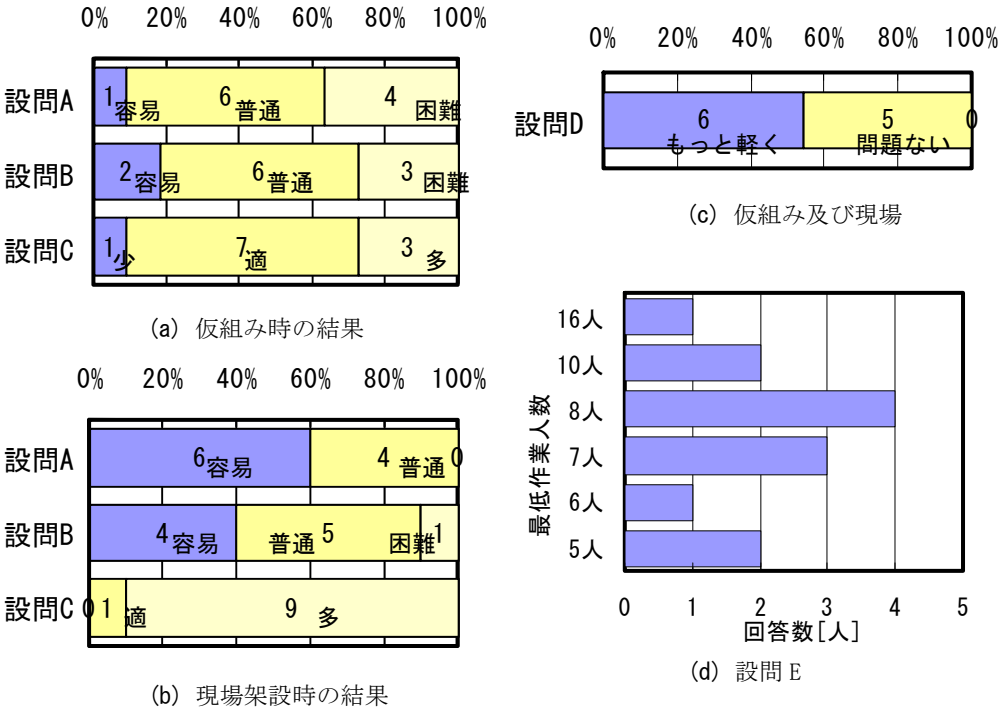


図-5.5.2　アンケート調査結果

5.5.5　まとめ

本節では，土木分野において木材をカスケード的に利用することを想定し，それに対応した木製トラス橋の実証実験について示した。実験の結果，現場での部材接合等の作業はスパナによる人力作業

で容易に短時間のうちに架設できることが判明した。製材の部材長が2種類しかないこと，接合用鋼板も端部用と中間部用の区別があるものの，種類が少ないので，組立ての際に間違える可能性がほとんどないことが，時間短縮，作業の容易性を可能にしている。

一方，今回の実験では応急橋として複数回使用することの検証はなされていない。完成した橋梁を解体して材料を保管し，再び組み立てる際に木材のゆがみ等が生じていないか，鋼板の挿入とボルト接合が容易にできるかどうかを今後検証する必要がある。また，耐荷力性能等の橋梁構造物としての性能確認を載荷実験により行う必要があり，今後実施予定である。

今回開発した木製トラス橋は，従来木材が用いられることがなかった応急橋の分野への適用で，国産材の新たな利用先拡大に貢献できるとともに，このような新しい利用形態による木材活用によって，木材資源の有効利用および長期に亘る二酸化炭素貯蔵機能を果たすことも可能となる。

なお，本研究の一部は，国土交通省平成21年度建設技術研究開発費補助金を受けて実施した。また，土木学会木材工学特別委員会の研究活動の一部として実施したものである。

参考文献

1) 土木学会鋼構造委員会木橋技術小委員会：木橋技術の手引き2005, 2005.
2) 日本道路協会：道路橋示方書(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編)・同解説，丸善, 2002.
3) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説－許容応力度・許容耐力設計法－, 2006.

6. 木材の治山・治水利用（石川芳治）

木材の治山・治水施設への利用を促進するための課題として

1) 海外および国内の木製治山・治水施設の事例の調査
2) 木製治山・治水施設の腐朽度の実態調査
3) 木製治山・治水施設の維持管理手法の検討
4) 新しい木製治山・治水施設の計画・設計・施工法の開発

を主な課題として，関連する情報の収集および情報の相互提供，現地調査，維持管理の手引きの検討、腐朽度実態調査結果の検討，新しい木製治山・治水施設の検討，などの活動を実施している。

今年度の活動成果として，ここでは下記の 6 件を報告する。

1) 治山・治水利用分野における木製施設
2) 海外における木製治山・治水施設
3) 我が国における既設木製堰堤事例
4) 木製施設の腐朽度実態調査
5) 木製施設の耐朽性と維持管理（京都府における維持管理）
6) 木製校倉式構造物の特徴

6.1　治山・治水利用分野における木製施設（石川芳治）

6.1.1　木製施設の種類と概要

治山・治水利用分野は公共事業としては，一般に流域の最上流域において実施される「治山」事業，その下流域で実施される「砂防」事業，さらにその下流域で実施される「河川」事業に区分される。治山・治水利用分野において使用されている木製施設[1),2),3)]の一覧を**表-6.1.1** に示す。治山・砂防・河川の分野で共通に使用されているものもあるが，一つの事業区分のみで使用されているものもある。

コンクリートや鋼材が一般に普及していなかった明治中期までは，これらの施設は土，石材，木材などで作られていた。しかしながら明治中期から施設の規模が大きくなり，強度や耐久性も要求されるようになり，徐々にコンクリートにより作られようになり，一部は鉄筋コンクリート，鋼材，合成樹脂，木材などで作られるようになった。さらに，第二次世界大戦直後の木材需要の増大と供給の逼迫により政府は昭和 30 年に木材資源利用合理化方策の閣議決定を行い，木材資源利用合理化協議会が経済審議庁に設立されて木材の利用が抑制されて，コンクリートや鋼材の利用が推進されたために木材からコンクリート・鋼材への動きは急速に進んだ。

しかしながら，最近，自然環境に対する意識の高まりにより，自然環境を保全しながら治山，砂防，河川事業を進めようとする動きがでてきて，施設の材料として木材が利用されるようになってきている。さらに，最近では地球温暖化防止のために二酸化炭素の排出を削減することが国・地方自治体・住民の共通の目標となり，このため，コンクリートや鋼材に比べて二酸化炭素の排出が少ない木材の利用が注目されるようになった。

木材はコンクリートや鋼材に比べて自然環境になじみやすく，施工性も良いが，一方で腐朽が生じやすく耐久性が低いことが欠点とされる。**表-6.1.1** に示す施設においても堰堤工のように比較的長期間の耐久性が必要な施設と，筋工のように短期間機能を維持できれば良いものがあるが，木材は主として短期間機能を維持できれば良い施設に用いられている場合が多い。また，**表-6.1.1** に示す施設の規模は小～大までまちまちであるが，一般的に施設の規模が大きいと作用する荷重が大きくなり，また，破壊したときの影響も大きくなるため，強度に基づいて設計される場合が多い。

治山・治水分野においても現状では主要な施設は，主としてコンクリートや鋼材により建設されている場合が多い。しかしながら，コンクリートや鋼材はその生産過程で多量の化石燃料を消費し，多量の二酸化炭素を排出する。これに対して木材は製造時に二酸化炭素の排出が極めて少ない（1 m^3 当たり鋼材の約 1/330，コンクリートの 1/7.5）再生産可能な材料であり，木材を利用することにより地球温暖化の防止に貢献できる。また，我が国では森林の整備の際に生産される間伐材の利用率は低いが，これを構造物に用いることにより木材資源の有効利用が図れる。さらに間伐材を適正な価格で販売できるようになれば間伐が促進されて森林の整備が進み，森林の二酸化炭素の吸収量が増大する。また，森林の整備により森林の持つ洪水防止機能，水源涵養機能，斜面崩壊防止機能，表層土の侵食防止機能，土砂の捕捉機能等の公益的機能が増大する。このように治山・治水分野の施設に木材を利用することにより多面的な効果が期待できる。

表-6.1.1　治山・治水利用分野における木製施設の一覧

分類	工種	区分			性能	
		治山	砂防	河川	耐久性	強度設計
山腹工 斜面工	筋工	○	○			
	柵工	○	○	○		
	のり枠工	○	○	○		
	土留工･擁壁工	○	○	○	○	○
	補強土工	○			○	○
	落石防護工	○				○
	排水工	○				
	階段･歩道工	○	○	○		
渓流工 護岸工 河川工	堰堤工	○	○		○	○
	型枠工	○	○			○
	水叩工	○			○	○
	沈床工	○		○	○	○
	護岸工	○		○	○	○
	水路工	○			○	○
	水制工			○	○	○
	魚道工			○	○	○
	柳枝工			○		
海岸砂防	防風工	○			○	○
	静砂垣･覆砂工	○				
雪崩対策工	グライド防止工	○			○	○
	予防柵工	○			○	○
その他	標識工･案内板	○		○		○
	安全柵工	○		○		○

6.1.2　木材およびコンクリートの強度

一般の構造物の設計に用いられる場合の木材とコンクリートの許容応力度を比較した結果を**表-6.1.2**に示す。木材はコンクリートと比較してもほぼ同等の強度を有していることがわかる。

表-6.1.2 木材とｺﾝｸﾘｰﾄの許容応力度の比較(N/mm^2)

	曲げ	圧縮	引張り	せん断
木材*	5.7	4.5	3.5	0.46
木材**	8.8	6.9****	7.8	1.2
ｺﾝｸﾘｰﾄ***	6.9	5.4	―	0.4

＊　建築基準法施行令(平成 12 年)[4]による。スギ無等級材の長期強度、湿潤状態の場合。樹種により異なる。

** 木道路橋設計[5]による。針葉樹（スギ、マツ、ヒノキの類）の場合。樹種により異なる。

***建設省河川砂防技術基準（案）[5],1997 による。設計基準強度：20.6N/mm^2 の場合

****細長比が大きくなると減少する。

6.1.3　構造物の材料としての木材の特徴

構造物の材料としての木材をコンクリートおよび鋼材と比較した結果を**表-6.1.3**に示す。土木構造物の材料として木材が近年我国であまり用いられなくなった最大の理由は木材がコンクリートや鋼材に比べて耐久性が劣るためである。反面，木材は森林を構成する主要な材料であるため景観，環境保

全に優れ，また軽量で加工もしやすいことから施工性等の面で優れているなど他の材料にない長所も有している。また，二酸化炭素の排出量も少なく，現在利用されることが少ない間伐材を用いることができれば木材資源の有効利用，健全な森林の育成および林業の発展にも寄与できる。さらに適切な設計，施工を行うことによりコンクリートや鋼材に比べて経済的に建設することも可能である。

表-6.1.3 構造物材料としての木材の特徴

（ｺﾝｸﾘｰﾄ、鋼材との比較）

	木材	ｺﾝｸﾘｰﾄ	鋼材
強度	中	中	大
加工性	良	―	中
現場施工性	良	中	中
運搬性	良	中	中
耐久性	20～50 年	約 100 年	50～80 年
建設費	安	中	中
景観との調和	良	中	中
品質のﾊﾞﾗﾂｷ	大	中	小
二酸化炭素の排出量	少	中	中

注）評価は基本的にはｺﾝｸﾘｰﾄを「中」とした。

参考文献

1) 林野庁：森林土木木製構造物施工マニュアル，（社）日本治山治水協会・日本林道協会，379pp. ,2005
2) 建設省松本砂防工事事務所：木製砂防構造物事例集，217pp.1998
3) （財）河川環境管理財団：河川・砂防工事における木材活用工法ガイドブック（案），256pp.,2004
4) 建築基準法施行令および建設省告示（平成12年告示），建設省関係法令集平成14年度版，技報堂出版，p.228，229，871，941，942，2001
5) 建設省防災研究会：災害復旧工事の設計要領，(社)全国防災協会，p.450,1976
6) 建設省河川局監修：建設省河川砂防技術基準(案)同解説法（設計編Ⅱ），p.4-19,1997

6.2　海外における木製治山・治水施設

6.2.1　オーストリアにおける木製治山施設（高奥信也）

(1)概要

ヨーロッパアルプス地域に位置するオーストリアは，隣接するスイスと同様山岳国であり，国土の約 47%を森林面積であることから，木材を利用した工法が古くから採用されている。ここでは，オーストリアにおける木製治山施設を紹介する。

(2)構造について

オーストリアの木製治山施設は，堤高 15mを超える大型のダム（**写真-6.2.1**）から堤高 3m程度の小型構造物まで現地の特性や設置目的を考慮し,コンクリートや鋼製の構造物と同様に建設している。

大型の木製ダムの構造は主に 2 重壁式の枠組み構造で，直径約 30cm，材長 3m～4m 程度の部材を用いている（**写真-6.2.2**)。堤体内には，現地発生土を充填し，上流側に傾けることでより安定させている。袖部材を斜面に沿わせて設置し，越流水が放水路へ流れるように工夫するとともに，放水路部分はせり出させて，本体部の木材に直接越流水が当たらないような構造にしている（**写真-6.2.3**)。部材の内側には遮水シートを貼り付け，中詰め土砂を包み込むようにして，中詰め土砂の流出防止を行っている。軽量でフレキシブルな枠組み構造であることから，地すべり地域ではコンクリートダムよりも優れているとして積極的に採用されている。

小渓流に設置され主に床固工として設置される小型の木製ダムは 2 重壁式と単壁式があり現地の状況・規模によって使い分けを行っている。形状は放水路部分を除いて同じであるが，使用する部材が直径 15cm～30cm と大型の木製ダムと比較して小径木が利用されている（**写真-6.2.4**)。

(3)施工方法について

施工方法は丸太の加工も含め，ほとんどの工程を現地で実施するため，人力による作業が中心である。部材の運搬は林道を用いたトラック輸送が中心であるが，運搬経費をコスト比較のうえ，ヘリコ

写真-6.2.1　大型木製ダム

写真-6.2.2　使用部材（大型ダム用）

写真-6.2.3　大型木製ダム放水路部分

写真-6.2.4　小型木製ダム（床固工）

プターを使うこともある。

主な作業は，「丸太の枠組」，「接合部の加工」，「連結用の削孔」，「鉄筋釘の打込み」であり，横木を固定するための溝加工や整形についてはチェーンソーや特殊工具(グラインダーの一種)を使用する。土砂の中詰めや構造物の掘削及び丸太の積み上げには，急傾斜地や山岳地帯でも使用できるバックホウ（**写真-6.2.5**）を使用している。木材の加工も含めほとんどの工程が現地作業であり，素材丸太を使用するため，出来るだけ通直な部材を選別しても，径の不揃いなどのため現地作業員の技術が必要である。中詰め土砂は，バックホウで転圧し 10 層を目安に遮水シートで土砂を包み込むように行う。

複数のダムを建設する場合の計画勾配は 0%で繋ぐことを基本としており，これは，木製ダムだけでなく全ての治山ダムに適用されている。構造物の下流側には副ダムの機能を有する構造物を設置し，下流の洗掘防止を行っていた。特に急峻な渓流に設置する小型の木製ダム（**写真-6.2.6**）には必ず設置されている。

(4)腐朽への対処や維持管理について

腐朽対策として，塩と防腐剤を加圧注入した 40～70 年生の材を用いることや，年輪幅が狭く強度が高いものを選別して使用することとしていた。また，本体部の部材に直接水があたらない工夫として放水路をせり出させる構造や遮水シートを使用するなど下流側の部材を極力を濡らさない工夫がされていた。袖部の腐朽対策として，過去に石材を用いることもあったが，本体部分との接合が確実に出来なため，土石流や地すべりの側圧により破壊されたため，現在では使用していない。

木材は腐朽するものであるということを前提に設置しているため，出来るだけ機能が維持される環境を早期に形成するだけでなく，日常的に適切な維持管理や点検が行われている。

(5)オーストリア木製ダムのまとめ

オーストリアは，木製構造物について 100 年を超える歴史を持ち，現在もコンクリートや鋼材と同様の建築資材として利用されている。また，木材は防腐剤処理により 40 年以上の耐久性を保つことができるとして，木製治山ダムも他の主要構造物と同様の扱いがされている。そのため渓流の保全は，単に構造物の設置だけでなく，荒廃の原因や渓流の特性を十分に担当者が把握して，構造物が選択されているため，木材の特性を最大限に活用した工法や，将来的な維持管理まで視野に入れている。崩壊地周辺で木製ダムを建設し，植栽工による渓畔林の造成など流域の一体的な保全が図られている。

これだけの歴史をもつ国でも，木材の個別の強度は不明であるため常に実験を行い，構造物の安全性や木材強度に関するデータ収集をおこなっている。

写真-5.2.5　大型木製ダム施工状況

写真-5.2.6　施工状況（小型木製ダム）

6.2.2　スイスにおける木製治山施設（石川芳治）

欧州の山岳国であるスイスでは1930年代頃まで，石材を用いた堰堤と同様に木製の堰堤（一般に高さは数m以下と低い）（**図-6.2.1**）が広く用いられていた[1),2)]。1930年代よりコンクリート堰堤が建設されるようになり，木材に比べて耐久性が良いことから徐々に増加し，1960年頃には木製堰堤はほとんど建設されなくなり，（鉄筋）コンクリート製の堰堤に取って代わられた。しかしながら，環境問題が重要視され始めたことおよび経済的であること等の理由により，1980年代には木製堰堤が復活し，現在も建設され続けている（**写真-6.2.7～6.2.9**）。スイスでは最近建設される堰堤の中で木製堰堤の占める割合は約20%に達しており基本的な施設として定着している。木製堰堤は樹木の日陰になり，水が常に流れているような箇所で主に用いられており，このような条件では，高山の冷涼な気候の影響にもより約30～50年の耐久性があるとされており，この期間が過ぎたら補強や取り替えを行っている。使用している樹種はカラマツ，モミ，トウヒ，ナラ，ニセアカシア，クリ等であり，ナラ材は特に腐り難く逆にトウヒはやや腐り易いと言われている。また，木材の防腐処理はスイスでは原則として行っていない。

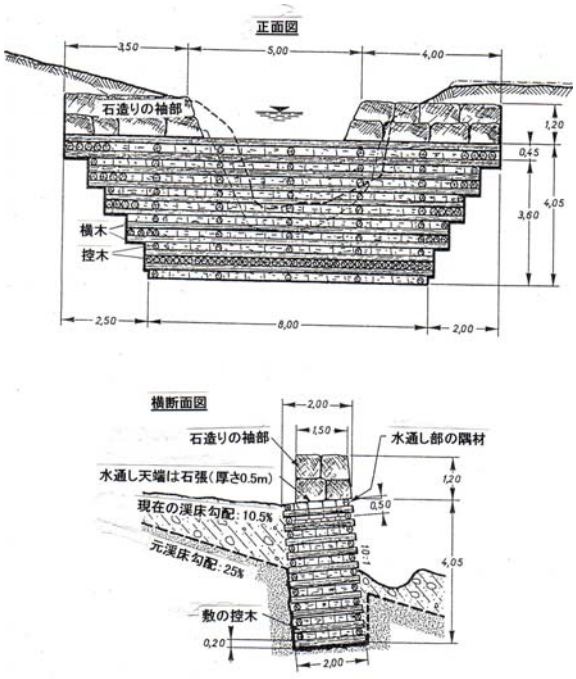


図-6.2.1　1900年代初頭の木製堰堤の例[2)]（スイス）、基本的な構造は現在でも同様である.

写真-6.2.7　スイスにおける木製水路工

写真-6.2.8　スイスにおける木製堰堤

写真-6.2.9　スイスにおける木製堰堤の施工状況

6.2.3　米国における木製治山施設（石川芳治）

米国においても木材が積極的に治山治水施設に用いられるようになったのは 1980 年代になってからである。基本的には，渓流や河川の生態系の保全が主目的であり，自然の渓流や河川の環境保全や復元にはできるだけ自然の河川に存在する天然の材料を用いることが原則であるという考えの基に治山治水施設を計画，設計，施工している。木材などの天然の材料はコンクリートなどの人工の材料を用いるよりも安価であることが多く，生態学的にも多くの機能を有しており，たとえ一部が下流に流出しても渓流や河川の構成材料として渓流や河川の環境保全の機能を発揮しうる。

渓流，河川の周辺から供給される倒流木は，渓流や河川内に堆積・集積することにより，瀬や淵を形成して変化に富んだ渓流や河川の微地形を形成し（**写真-6.2.10**）これらが渓流に生息する魚類や昆虫のすみかとなる。米国太平洋沿岸地域における調査例では渓流内に形成される自然の落差の 30～80%が倒流木により形成され，淵の 50～100%が倒流木により形成されている[3)]。倒流木により形成される淵は魚類の生息場として重要であり，倒流木の本数が多いと魚類の生息密度も高くなり，逆に倒流木の本数が減少すると魚類の生息密度が減少することが報告されている[4),5)]。倒流木は魚類にとって，洪水時の退避所となり，補食者からの隠れ場，さらに流下昆虫を摂食できる安定した採餌場などを提供する。さらに倒流木は上流から流れてくる落ち葉などの有機物を保持する能力が高く，さらに土砂を捕捉する能力もある。落ち葉などの有機物が渓流，河川内に保持されることにより渓流，河川内に生息する生物の食物としての利用が可能になり，このことにより渓流，河川内における生物相が豊かになる。

このように倒流木は魚類や水生生物の棲息環境の保全にとって極めて重要であるが，過去の開発行為等により倒流木の数が減少していることから，自然の状態の渓流，河川における倒流木の量，大きさ，分布を回復させるために，木材（丸太）を積極的に河川内に入れる事業が行われている。

オレゴン州において行われている例を示すと，①丸太を渓流を横切るように設置したログダム（**写真-6.2.11**），②渓岸から流心に向かって斜めに丸太を突き出したデフレクターログ（**写真-6.2.12**）が渓流に設置されている。また，横工として，丸太を単木としてでなく２本をＶ字状に組み合わせたウェッジダム（**写真-6.2.13**）も用いられている。これらにより渓床に砂礫や流木が堆積し，瀬や淵ができ渓床地形の多様性が形成され，魚類や水生生物のすみかが形成される。使用されている丸太はワイヤーロープで巨石に固定されており洪水時にも下流へ流出しないように工夫されている。このような固定的な木製構造物に対して，最近では渓流の変化に対応したフレキシブルな構造物として，多数の丸太を自然に近い形状で集積した手法がとり入れられている。なお，**写真-6.2.14** に示すのはこれらの木製施設の設置個所の下流に設置されている流木捕捉用の木製施設である。洪水時に上流から流木が流下してきた場合にはこの施設により大きな流木を捕捉して下流への流下を防止し，下流における流木による災害を防止するために設置されている。

ワシントン州のグリーン川では，1990 年 11 月に 100 年生起確率に相当する洪水により農地に接する護岸（1960 年建設）が長さ約 150m にわたり大きく浸食された（**写真－6.2.15**）。この浸食された護岸の復旧のために，管理を担当しているキング郡により 1994 年に護岸復旧工が施工されたが，この護岸工には河川の魚類の増加と水生生物の回復を図るために木材，石材および植物を用いた手法が採られた。

河岸の基礎部の保護のために，長さが約 7m，直径 80cm 以上のスギの根付き丸太を約 2m 間隔で河岸の基礎部に設置した（**写真－6.2.16**）。この根付き丸太により水の流れをはねると同時に流速を緩和して水生生物の棲息環境を改善することが期待された。さらに護岸の上部にはヤナギ，ハナミズキ，

写真-6.2.10　オレゴン州の河川における倒流木の堆積状況，倒流木の堆積により土砂の堆積，流木の集積が起こり河床の地形が多様化，複雑化している

写真-6.2.11　渓流を横断する形で設置されたログダム

写真-6.2.12　渓流の流心に斜めに突き出したデフレクターログ．丸太の端はﾜｲﾔｰﾛｰﾌﾟにより巨石に繋いである

写真-6.2.13　複数の丸太を組み合わせて作られたウエッジダム

写真-6.2.14　上流からの流木を捕捉するために，巨木により造られた木製施設

ハヒロハコヤナギの枝が挿し木された（**写真-6.2.17**）。これらの樹木の生長により粗度が減少し，流速が減少して護岸の浸食が防止･軽減されるとともに,生物の棲息環境を改善することが期待された。さらに護岸の上流部には樹木が植えられた。これらは河畔林として,護岸の強化に寄与するとともに,生物の棲息環境の改善，倒流木の供給源としての機能が期待された。

護岸工の施工後 5 年の間，ワシントン州の環境政策条令（SEPA）に基づいて，護岸工による地形や環境への影響が追跡調査されて公表されている [6)]。追跡調査では施工箇所および周辺の横断・平面測量，流速分布，水中での生物調査，植生調査が行われた。その結果護岸付近における流速は流量が約 $5m^3/s$ のとき施工前の 0.6～0.9m/s から施工後には 0.3～0.6m/s に減少した。これは護岸の基礎部に設置

した木の根による抵抗による効果と判断された。また，護岸に沿って深い淵が形成され，護岸付近には生育した樹木による覆いが形成された。護岸付近では 1995 年 11 月にはサケの群が認められた。植生の回復に関しては，大木を植えたものは活着率が悪く，挿し木をしたものは活着率が高かった（**写真-6.2.18**）。

写真-6.2.15　護岸復旧工の施工前
（グリーン川，1994 年 6 月時点）

写真-6.2.16　護岸復旧工の施工，根付き丸太の設置（1994 年施工）

写真-6.2.17　護岸復旧工の完成
（1994 年 11 月完成）

写真-6.2.18　竣工してから約 4 年後の状況
（1998 年 8 月時点）

6.2.4　海外における木製治山治水施設の特徴（石川芳治）

ヨーロッパ（スイス，オーストリア）および米国における木材を用いた治山・治水施設についていくつかの事例を紹介してきた。これらの国において治山・治水施設の材料を従来のコンクリートから木材に転換し始めたのは1980年代に入ってからであり，その大きな理由は①自然と人間の共生：渓流，河川の生態環境の保全，ひいては地球環境の保全であり，さらに，②経費の節減：周辺で生産される木材を用いることにより材料の運搬費等の経費が節減できる。③資源の有効利用：再生産可能な木材を有効に利用することにより資源循環型の社会を作る。これらをまとめて**表-6.2.1**に示す。特に③に関しては我が国においてもこれまで林内に捨てられることが多かった間伐材の有効利用という（国産）木材資源の有効利用の面でも極めて重要であると考えられる。

表-6.2.1　海外の木製施設の特徴

海外の木材使用の特徴
1．自然と人間の共生
○渓流・河川の生態環境の保全
2．経費の節減
○地元産の材料を用いる
3．資源の有効利用
○資源循環型社会の確立

引用および参考文献

1）スイス連邦道路堤防局：スイスにおける渓流工事，FAO第８部会渓流工事のために作成された報告書，66pp.,1967

2）Zeller,J., Rothlisberger,G: Lebesdauer von Holzsperren am Beispiel der Gamser Wildbache, Swiss Federal Institute of Forestry Research ,34pp.,1987

3）Bisson, P. A., Bilby R.E.: Oraganic Matter and Trophic dynamics. In Naiman R.J. and Bilby R.E. ed. "River Ecology and management", p.373-398, 1998

4）Elliott, S.T.: Reduction of a Dolly Varden population and macrobenthos after removal of logging debris. Transactions of the American Fisheries Society 115, p.392-400, 1986

5）Fausch, K.D. and Northcote, T.G.: Large woody debris and salmonid habitat in a small coastal British Columbia stream. Can. J. For. Res. 49, p.682-693, 1992

6）Stypula, J.M., Johnson,A.W.,Schaefer, R. and Zweig,K.S.:1995 stream report for the Hamakami Levee Repair Project, King County ,18pp.,1995

6.3　我が国における既設木製堰堤事例（石川芳治）

6.3.1　概要

我が国にも十数年～数十年前に建設された木製堰堤がいくつか現存している。ここでは青森県坪毛沢（五所川原市，岩木川支川飯詰川上流）の木製堰堤，静岡県流沢（静岡市，大井川支川）の木製堰堤，長野県御岳濁沢（木曽郡王滝村，木曽川右支川王滝川支川）の木製堰堤および木製護岸工について紹介する。

6.3.2　青森県坪毛沢の木製堰堤

坪毛沢は青森県の津軽半島脊梁山脈のほぼ中央に位置し，岩木川右支川飯詰川の支川にあたる。坪毛沢流域では地すべりや崩壊が発生しやすく,上流部には昭和33年(1958)に発生した面積約9haの大崩壊地がある。坪毛沢流域の地質は緑色凝灰岩であるためコンクリート用の骨材の採取が困難である。また，大正時代には工事用の道路も整備されていなかったために，コンクリートによる治山堰堤の施工は困難であった。そのため,大正の初期より現地に生育するヒバ材を用いて治山ダムが建設されてきた[1)]（**写真-6.3.1，6.3.2，6.3.3，6.3.4**）。なお，ヒバ材は台風等による被害木を用いており，木製の治山堰堤の建設は昭和 33 年まで続いた。現存する木製堰堤 6 基のうち最も古いものは大正 5 年（1916）（**写真-6.3.2**）に施工されたものである。大正時代に建設された木製堰堤は腐朽が進んでいるものの，昭和 20 年代～30 年代に建設された木製堰堤は腐朽の程度は軽く建設時のままの形状および機能を保持している。

写真-6.3.1　坪毛沢 No.1 木製堰堤（1958 年竣工），有効高 2.5m，堤長 18m

写真-6.3.2　坪毛沢 No.2 木製堰堤(1916 年竣工），有効高 1.4m，堤長 8.2m

写真-6.3.3　坪毛沢 No.4 木製堰堤（1954 年竣工），有効高 3.0m，堤長 14.7m

写真-6.3.4　坪毛沢 No.6 木製堰堤(1953 年竣工），有効高 2.2m，堤長 7.5m

6.3.3　静岡県流沢の木製堰堤

流沢は，標高 1400～1550m の静岡市田代地内の民有林直轄治山事業施工区域内に位置し，大井川上流部の支流にあたる。集水面積は約 3.0km^2 で常時流水があり，周辺の林層は，モミ，ツガを主体とした針葉樹及び広葉樹の混交林である。地質は古第三紀四万十帯に属し，基岩は泥岩および砂岩が互層をなし破砕が激しく脆弱であるため山腹崩壊が発生しやすく，渓流内には不安定土砂が堆積し，豪雨時には多量の土砂が流下する箇所である。大井川上流に東京電力が田代第二発電所を建設した際に用水を確保するために田代ダムを昭和 3 年に建設した。このダム湖が流入土砂により埋没するのを防止するために東京電力は昭和 34～35 年にかけて周辺のモミ，ツガを用いて流沢に木製堰堤 5 基を建設した[2]（**写真-6.3.5，6.3.6**）。その後昭和 58 年，平成 2 年，3 年に米マツ，米ツガを用いて補修を行っている。この補修の実施により，現状では腐朽の程度は軽度で，十分に堰堤としての機能を保持している。

写真-6.3.5　流沢 No.1 木製堰堤（1960 年竣工、1975 年および 1990-91 年補修）、有効高 8.0m、堤長 24m

写真-6.3.6　流沢 No.5 木製堰堤(1960 年竣工、1975 年および 1990-91 年補修)、有効高 10.0m、堤長 21m

6.3.4　長野県御岳濁沢の木製堰堤および木製護岸工

御岳濁沢は，長野県木曽郡王滝村にあり，木曽川右支川王滝川の右支川濁川の上流部にあたる。昭和 59 年(1984)9 月 14 日に発生した M6.8 の長野県西部地震により濁川支川の伝上川上流の御岳山の山腹斜面が崩壊し，約 3600 万 m^3 の土砂が一気に伝上川，濁沢，濁川を流下して，王滝川に流入して堆積した[3]。崩壊土砂の一部は濁沢の河床部にも厚く堆積した。堆積土砂が中小洪水により侵食されて下流へ流出することを防止するとともに荒廃した堆積区域に森林を回復させるために災害直後から渓流にはカラマツ材を用いた木製治山堰堤および木製護岸工が，段丘部には木製土留工が設置され，荒廃地にはヒノキ，ケヤキ，ハンノキ，カツラ等の植栽が行われた[4]（**写真-6.3.7，6.3.8**）。これらの木製堰堤および護岸工について 2002 年に部材の一部を採取して曲げ試験を行うとともに各種の腐朽度調査のための試験を実施した。その調査結果は後に述べるが，全体的に，木製堰堤の木材はほとんど腐朽しておらず，木製護岸工に関しても天端の木材を除いて十分の曲げ強度を有しており[5]，建設後 17 年経過しても木製堰堤および護岸工の機能を十分に保持している。

6.3.5 京都府による木製治山堰堤

(1)概要

木製堰堤の計画，設計，施工および維持管理に関する検討課題を解明するために，京都府立大学は平成 10 年度(1998)に京都市左京区久多上の町にある久多演習林に，平成 11 年度(1999)には京都市西京区大枝沓掛町にある大枝演習林に木製堰堤を施工した。京都府農林水産部は平成 11，12 年度に竹野郡

丹後町三山，舞鶴市鹿原，北桑田郡京北町小塩において木製治山堰堤を施工した[6),7),8),9)]。これらの木製堰堤の内，現地試験を実施した木製堰堤の概要を**表-6.3.1** に示す。これらの木製堰堤は全て京都府内産のスギ，ヒノキの間伐材を用いており，設置した木製堰堤を利用して水平載荷試験，堰堤に作用する土圧の測定，水圧の測定，耐久性検討のための追跡調査等を行った[6),7),8),9)]。

写真-6.3.7　濁沢木製堰堤（1985 年竣工)
高さ 3.0m，堤長 11m

写真-6.3.8　濁沢木製護岸工(1985 年竣工)
高さ 2.5m

表-6.3.1　京都府内に施工され, 現地試験を行った木製堰堤の概要（平成 10～12 年度）

場　所	久多演習林	大枝演習林	丹後町三山	舞鶴市鹿原	京北町小塩	
設置年度	H10(1998)	H11(1999)	H11(1999)	H12(2000)	H11(1999)	H12(2000)
型　式	重力式	重力式	重力式	重力式	重力式	重力式
構　造	３重壁式	単壁式	変形S型	２重壁式	２重壁式	２重壁式
高さ (m)	1.50	1.30	2.21	2.55	1.87	2.89
長さ (m)	5.15	5.80	21.5	12.0	18.5	16.0
全幅 (m)	1.8	2.0	上幅2.0，底幅4.4	2.0	2.0	2.0
堤体立積(m^3)	13.0	16.0	216.5	64.3	93.2	108.8
木材使用量(m^3)	3.2	5.1	126.0(間詰を含む)	31.9	36.1	42.1
使用木材	スギ，ヒノキ（間伐材)	スギ（間伐材)	スギ（間伐材)，一部ヒノキ(間伐材)	スギ（間伐材)	スギ（間伐材)	
木材部材	丸太(径13cm),長さ1.3～5.15m	丸太(径15cm),長さ1.5～5.0m	太鼓挽き(17cm),長さ1.0～4.4m	太鼓挽き(17cm)長さ2.0m	太鼓挽き(17cm)長さ2.0m	
中詰材料	栗石，砂利	礫混じり土	栗石，切込砕石	栗石，切込砕石	栗石，切込砕石	
連結金具	φ16mmボルト	φ16mmボルト	φ16mm丸鋼を加工した釘	φ16mmボルトカスガイ	φ16mmボルト	
特　徴	中詰材料は現地採取，人力施工	木材，中詰材料は全て現地採取，人力施工	ダムの下流のりが階段状	木材は工場で加工し，現地でボルト締め	使用木材は工場で加工し，現地 でボルト締め	

(2) 久多演習林の木製堰堤

京都府立大学久多演習林に設置した木製堰堤を**写真-6.3.9** に示す。この木製堰堤は枠構造の３重式の堰堤であり，スギとヒノキの間伐材を用いて枠を作り，この枠の中に現地で採取した栗石・砂利を詰めている。全て人力で施工した。使用した木材は丸太のままであり各接点をボルトで連結している。

(3) 大枝演習林の木製堰堤

京都府立大学大枝演習林に設置した木製堰堤を**写真-6.3.10** に示す。この木製堰堤は枠構造の単壁式の堰堤であり，全て周辺で伐採されたヒノキの間伐材を用いて作られており，内部には堰堤の掘削によって発生した土砂を詰めている。単壁式のために木材の組み立てが容易で，施工し易いのが特徴である。全て人力で施工した。

写真-6.3.9　久多演習林に設置した木製堰堤

写真-6.3.10　大枝演習林に設置した木製堰堤

(4) 丹後町三山の木製治山堰堤

丹後町三山に設置された木製治山堰堤を**写真-6.3.11** に示す。この木製治山堰堤は特に景観に配慮して堰堤の下流のりを階段状にし，流水が階段の上を流下するように計画・設計された。また，木材の占める割合が約 6 割と他の構造に比べて大きいのが特徴である。木材は 17cm にたいこ挽きしたスギを用い，木材の連結には φ16mm の丸鋼を加工して製作した釘（長さ 45 cm）を用いた。木材への削孔は現場で行った。設置後に実施した水平載荷試験（**写真-6.3.12**）および土圧，水圧の測定結果から木製堰堤の安定に関する安全性を確認した。

写真-6.3.11　京都府丹後町三山に設置された木製治山堰堤

写真-6.3.12　水平載荷試験の実施（丹後町三山）

(5) 舞鶴市鹿原および京北町小塩の木製治山堰堤

舞鶴市鹿原および京北町小塩に設置された木製治山堰堤を**写真-6.3.13，6.3.14** にそれぞれ示す。これらは構造的に安定性が高い枠構造の２重壁式の堰堤である。使用木材は工場で所定の形状に加工（切断，削孔）されたものを現地でボルト締めして組み立てる方式を採ったために施工性が良いのが特徴である。木材は 17cm に太鼓挽きしたスギを用い，木材の連結には φ16mm のボルト（長さ 55cm）を用いた。京北町に平成 12 年（2000）に設置された木製堰堤（**写真-6.3.15**）では土圧計を設置して堰堤に作用する土圧を計測した（**写真-6.3.16**）。

写真-6.3.13　舞鶴市鹿原に設置された木製治山堰堤（奥の堰堤は 11 年度施工，手前は平成 12 年度施工）

写真-6.3.14　京北町小塩に設置された木製治山堰堤（平成 11 年度施工）

写真-6.3.15　京北町小塩に設置された木製治山堰堤（平成 12 年度施工）

写真-6.3.16　京北町小塩に設置された製治山堰堤（平成 12 年度に設置された土圧計）

(6) 渓流環境の保全

丹後町，舞鶴市，京北町の木製堰堤は 2000 年 3 月に竣工したが，その年の春～初夏には早くも生態系に対して良好な効果が見られた。丹後町三山に設置された木製堰堤では 6 月に入り間詰部にセグロセキレイの営巣・産卵が見られた。また，舞鶴市鹿原に設置された木製堰堤では 6 月に入り，堰堤の本体部下流のり面の凹部にモリアオガエルの産卵が認められた（**写真-6.3.17**）。また，京北町小塩に設置された木製堰堤では 6 月になり，堰堤の下流側の凹部にキセキレイの巣が 6 個も作られ，これらの巣のいくつかでは産卵が確認された（**写真-6.3.18**）。これらはいずれも木材と木材の組み合わせによりできる凹凸が有効に作用していると考えられ，また木材と石材というもともと森林にある材料を用いていることも大きく寄与していると考えられる。景観面でも周辺の地形や植生となじんでおり，渓流の景観保全にも寄与している。

写真-6.3.17　木製堰堤に産み付けられたモリアオガエルの卵（舞鶴市鹿原）

写真-6.3.18　木製堰堤におけるキセキレイの営巣と産卵（京都府京北町小塩）

引用および参考文献

1) 唐牛孝司：既設木えん提の現況について，砂防学会誌，Vol.51，No.6，p.46-50，1999

2) 三輪照光：流沢の木堰堤調査報告，砂防学会誌，Vol.52，No.5，p.52-56，2000

3) 長野県土木部砂防課：長野県西部地震，新砂防，Vol.48，No.4，p.66-68，1995

4) 治山研究会：長野県西部地震災害復旧における木製品の使用事例，治山，Vol.43，No.6，p.22，1998

5) 石川芳治，内藤洋司，落合博貴，上原勇：各種試験に基づく木製施設の耐久性，腐朽度および曲げ強度評価法，砂防学会誌，Vol.56，No.4，p.21-31，2003

6) 石川芳治, 岩館知哉, 水原邦夫: 小型木製枠構造堰堤の水平載荷試験と安定性の検討, 砂防学会誌 ，Vol.52,No.5,p.16-23,2000

7) 石川芳治：森が育て，森を育む木製ダム，京都府における間伐材を用いた治山ダム，土木学会誌，Vol.86,No.3,p.65-68,2001

8) 石川芳治：間伐材を利用した小型木製治山ダムの導入に関する調査研究，京都府立大学特別研究報告第 2 号,p.39-90,2002

9) 佐藤由美：間伐材を使って森林を守る「木製治山ダム」－京都府，ガバナンス，Vol.33，No.9,p.120-123,2002

6.4　木製施設の腐朽度実態調査（石川芳治）

6.4.1　概要

野外に置いた木材の耐用年数についてはこれまでいくつかの調査・研究が行われているが，最も有名なのは浅川実験林における 3×3×60cm の杭を用いた腐朽試験である [1), 2)]。調査結果では耐用年数はスギ，ヒノキの場合では辺材で 4～5 年，心材で 6～7 年とされている。しかしながら木材の腐朽の速さは設置される場所の水分条件や気温,土壌との接触条件等により大きく異なり一様ではなく,また,堰堤に用いるような大きな(太い)木材では全体の強度低下の速度も異なると考えられる。

実際，これまでに紹介してきたように青森県坪毛沢に設置されている木製治山ダムではヒバが用いられているが，大正 5 年（1916）に建設された木製治山ダムが現存しており，1950 年代に設置されたものはほとんど腐朽せずに現在も十分にダムの機能を保持している [3)]。一方，スイスやオーストリアでは現在でもカラマツ，モミ，トウヒ等により多くの木製堰堤が建設されており，木製堰堤の一般的な耐用年数は 30～50 年とされている。木製施設の耐用年数に関しては，常時水分が多い箇所に設置すれば我が国でも数十年程度は十分にあると考えられる。しかしながら，木材である以上，腐朽等に対する点検・維持管理は重要であり，維持管理の良否が耐用年数を決めることにもなる。

木製施設の維持管理を適切に実施するためには木製施設の点検により木材の腐朽度を適切に調査し,判定することが重要である。これまで，目視による木材被害度（腐朽度）調査手法 [1), 2)]が提案されてはいるものの，この手法を的確に使用するためには熟練が必要であり，しかもこの方法を用いても木材の強度を数値として推定することは困難である。木材の強度を簡便に推定する手法として超音波試験，応力波試験，ピン打ち込み試験，穿孔抵抗試験，全乾比重測定などの方法が提案されてはいるもののこれらに関する研究はほとんどが健全で均一な木材を対象としたものであり，実際に腐朽がある程度進んだ木材に関する強度を検討した事例はほとんどない。木製施設の適切な維持管理を行うためには木材の腐朽度を簡便にかつ的確に調査し，腐朽しつつある木材の強度を精度良く推定する手法を確立することが重要である。

6.4.2　御岳濁沢における木製施設の腐朽度実態調査

(1)概要

ここでは建設後 17 年を経過した木製治山床固工および木製護岸工について,施設の一部を解体することにより使用されている部材を採取し，これを用いて，腐朽度調査のための各種の非破壊試験（超音波試験，応力波試験）および準非破壊試験（ピン打ち込み試験，穿孔抵抗試験）を行うとともに木材の曲げ試験を行った。各種の腐朽度試験による測定値と部材の曲げ強度の相関を検討するとともに,曲げ強度から部材の設置位置による流水の影響の違いによる木材の腐朽度の差違すなわち耐久性の差違について検討した。さらに腐朽度試験の測定値を用いて木材の曲げ強度および耐力を評価する手法を検討した [4)]。これらの調査結果の概要を紹介する。

(2)調査地の概要と調査方法

調査対象としたのは 6.3 **節**で紹介した長野県木曽郡王滝村の木曽川水系王滝川の左支川濁川の上流の濁沢に 1985 年に設置された木製床固工と木製護岸工である（**写真-6.4.1**）。

木製床固工および護岸工が設置された濁沢の左小支川の流域面積は約 1.07km^2 であり，御岳山（標高 3063m）の南側斜面の標高約 2200m 地点付近から南へ流下して標高約 1300m 地点で濁沢本川に合流している。木製床固工および護岸工はこの小支川の最下流部の延長約 1km，平均渓床勾配 1/12（約 4.8°）の区間に設置されている。木製施設が用いられたのは，施工箇所が御岳崩壊による崩壊土砂の

堆積地で軟弱であるために，コンクリートに比べて木製の方が不同沈下にも柔軟に対応でき，比較的簡単に施工できて施工が早い等の理由によるものである [5]。木製部材を採取したのはこの施工区間の上流部にある木製床固工および護岸工である（**図-6.4.1**，**写真-6.4.1**）。

腐朽度試験に用いた部材を採取した木製床固工は枠構造の2重壁式の構造となっており高さは3.0m，天端幅 2.0m で前のりは 1:0.3，後のりは直である（**図-6.4.2**）。木製の護岸工は高さ約 2.5m，天端幅 1.0m で前のりは 1:0.3，後のりは直で，流路側は木材の壁が 2 重に配置されている（**図-6.4.3**）。木製床固工，護岸工ともに各部材は径 16mm のボルトで連結されており，枠の中には直径 20 ～30cm

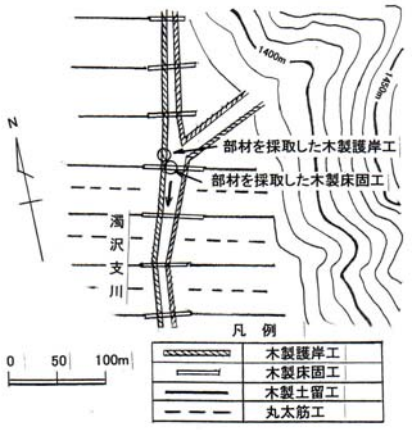


図-6.4.1 部材を採取した木製床固工・護岸工付近の地図

写真-6.4.1 部材を採取した御岳濁沢木製床固工・護岸工（1985 年竣工、2002 年 12 月撮影）

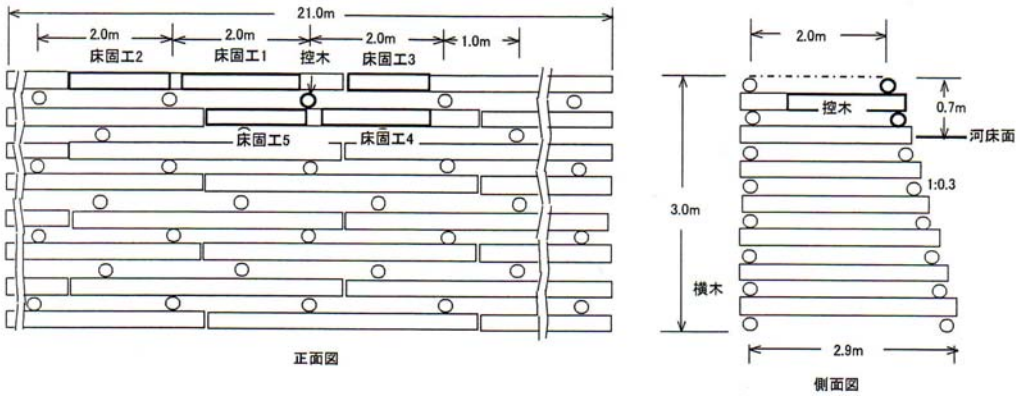


図-6.4.2 木製床固工概要図および部材の採取位置図模式図

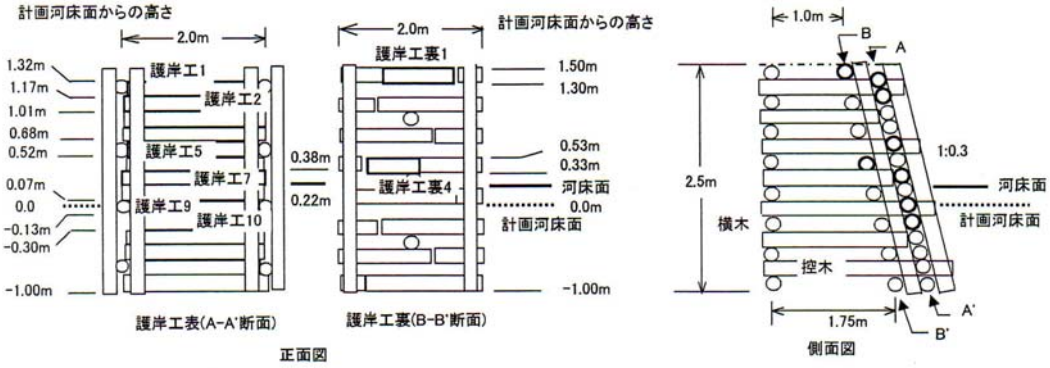


図-6.4.3 木製護岸工概要図および部材の採取位置図模式図

割石が詰められている。使用されている木材は末口径 12～22ｃｍの長野県産のカラマツの生材（丸太）で，ほとんどの木材は皮を剥いで使用されている。建設後約 17 年経過した 2002 年 12 月に木製床固工および護岸工を解体して，使用されている部材（木材）14 本(**表-6.4.1**，**図－6.4.2**，**6.4.3**)を採取し次に述べる各種試験（超音波試験器；**写真-6.4.2**，応力内試験器；**写真-6.4.3**，ピン打ち込み試験器；**写真-6.4.4**，穿孔抵抗試験器；**写真-6.4.5**，**図-6.4.4**）の供試体として用いた。部材の採取後は新しいカラマツ丸太を用いて床固工および護岸工を復旧した。

表-6.4.1　床固工・護岸工より採取して試験を行った部材の概要

部材 No.	長さ L_m (cm)	曲げ試験スパン L (cm)	全体平均直径 dt (cm)	全乾比重 γ	湿潤比重（採取時）(試験時) γ_w	穿孔抵抗試験による	
						健全部直径 ds (cm)	腐朽部厚 dr (cm)
護岸工 1	139	100	12.1	0.246	0.887	5.9	6.2
護岸工 2	170	140	13.1	0.373	0.947	11.2	1.9
護岸工 5	169	140	14.5	0.295	0.867	11.2	3.3
護岸工 7	167	140	15.2	0.330	1.064	12.4	2.8
護岸工 9	170	140	18.8	0.370	0.820	17.9	0.9
護岸工 10	160	140	16.7	0.442	0.996	16.7	0.0
護岸工裏 1	114	100	16.3	0.290	0.634	9.5	6.8
護岸工裏 4	73	60	13.9	0.298	1.009	10.5	3.4
床固工 1	161	140	18.4	0.373	0.755	18.4	0.0
床固工 2	177	140	17.6	0.366	1.029	17.0	0.6
床固工 3	132	120	20.7	0.400	0.739	20.1	0.6
床固工 4	167	140	18.7	0.358	0.766	18.1	0.6
床固工 5	130	120	18.9	0.370	0.726	18.9	0.0
控木	152	140	18.8	0.397	0.972	18.3	0.5

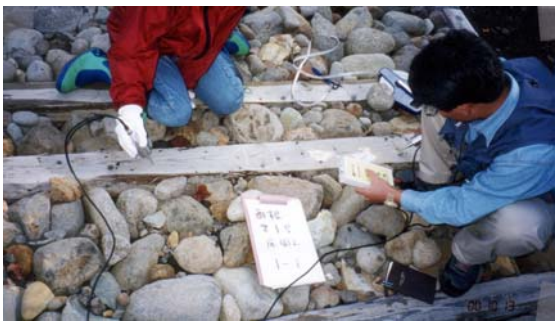


写真-6.4.2　超音波試験器による計測

写真-6.4.3　応力波試験器による計測

写真-6.4.4　ピン打ち込み試験器による計測

写真-6.4.5　穿孔抵抗試験器による計測

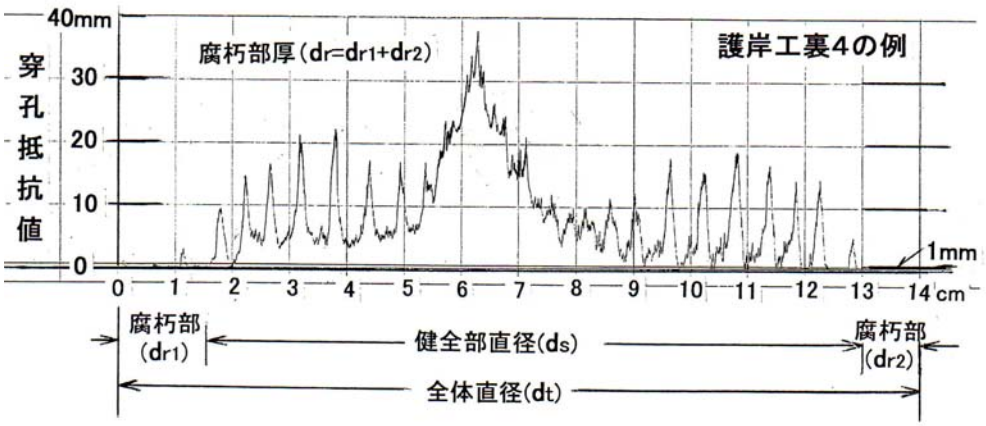


図-6.4.4　穿孔抵抗試験器(ﾚｼﾞｽﾄｸﾞﾗﾌ)による穿孔抵抗チャートの例（護岸工裏 4 の例）

(3)結果と考察

(3.1)木材の耐久性，曲げ強度と流水の影響

濁沢では常時でも若干の流水（常時の流水幅は 2～4ｍで水深は平均 2cm 程度）が見られるため，床固工の本体部は基本的には常時流水に浸かっているか，流水がかかっている状態にあると考えられる。一方，護岸工の部材については，現河床より下部では流水および浸透水により常時水に浸かっているが，護岸工の上部では洪水が達することはほとんどなく，天候の影響を受けて部材は乾燥および湿潤状態を繰り返していると考えられる。そこで気象庁御岳山観測所（北緯 35°52.2', 東経 137°30.3', 標高 2195m）において 1982～2001 年の 20 年間に観測された時間雨量を用いて確率雨量を求め，これを基に洪水時の流量および水深を求めた。この水位の発生確率年を考慮して，計画河床面からの高さを基に護岸工部材に対する流水の影響を，①常時流水に浸かっている（計画河床高以下），②流水の影響時々あり（計画河床高から 0.3m 以下），③流水の影響まれにあり（計画河床高から 0.6m 以下），④流水の影響なし（計画河床高から 0.6m 以上），のように 4 区分した。

(3.2)腐朽部厚さと流水の影響

穿孔抵抗試験（レジストグラフ）結果から穿孔抵抗値が 1mm 未満である部分を木材の腐朽部と判定し（**図-6.4.4**），穿孔抵抗値が 1mm 以上の部分 を健全部として判定して腐朽部厚（直径方向）と健全部直径を各部材について求めた。各部材における健全部直径(ds)と腐朽部厚(dr)を**表-6.4.1**，**図-6.4.5** に示す。**図-6.4.5** より流水の影響のない護岸工上部の部材では腐朽部厚の平均値は約 5cm，護岸工中部（流水の影響まれにあり）では約 3.5cm，護岸工下部（流水の影響時々あり）では約 2.8cm，流水に常時浸かっていると考えられる護岸工基礎部では約 0.5cm，同じく床固工では約 0.4cm となっており，明らかに流水に接触する時間が長い部材ほど腐朽が少ないと判断できる。特に流水に常時浸かっているか流水が常時かかっている部材では 17 年経過してもほとんど腐朽していないことがわかる。また，護岸工の最上段の部材は特に腐朽部厚が大きいが，これは最上部の部材はそれより下段の部材に比べて日射および降雨を受ける時間・量が多いため乾燥と湿潤の変化が激しくなるためと考えられる。なお，護岸工の表と裏の部材による腐朽部厚の差はほとんど認められない。これから護岸工の裏の部材においても乾湿の変化はかなり大きいものと判断される。

(3.3)木材の強度および耐久性と流水の影響

木製施設は基本的には木材のもつ許容応力度に基づいて設計される。許容応力度のなかでも，特に重要なのは曲げ許容応力度である [6]。このため，腐朽度の判定においては木材のもつ曲げ強度(MOR)

を基準として評価することが妥当と考えられる。

曲げ試験による最大荷重(Pmax)および**表-6.4.1** に示す全体平均直径(dt)を用いて式(35)により曲げ強度(MOR)を算定した。各供試体の MOR(N/mm^2)を**図-6.4.6** に示す。**図-6.4.6** より明らかに流水に接触する時間が長い部材ほど腐朽が進んでおらず MOR が大きいと判断できる。建築基準法施行令第 89 条に基づく木材（無等級材；カラマツ）の基準曲げ強度（乾燥）および許容曲げ応力度(長期，湿潤)はそれぞれ 26.7(N/mm^2)および 6.85(N/mm^2)（建設省告示第 1452 号）[7]であり，許容曲げ応力度に関しては護岸工 1，護岸工裏 1 を除く他の部材で満足していることが分かる。すなわち 17 年経過してもほとんどの部材で許容曲げ応力度を維持していることが分かり，構造物の部材としての機能を維持していることがわかる。松岡らの研究[1),2)]ではカラマツの野外での耐久年数は 5.0 から 6.5 年と判定されているが今回調査した木製床固工･護岸工では少なくとも 17 年は十分な強度を有していると判断される。特に常時流水がかかっているか水に浸かっている木材は 17 年経ってもほとんど腐朽しておらず耐久年数は極めて長いと考えられる。このことから木製施設の耐久性は松岡らの研究結果[1),2)]と大きく異なることが明らかとなった。耐久年数にこのような差違が生じたのは松岡らの研究では 3×3×60cm の杭を供試体として，苗畑の土壌中に半分を埋めて設置されており，使用されている木材の寸法が小さ過ぎることと，苗畑の地際部という腐朽し易い条件の箇所に木材を設置した試験の結果であることが原因と考えられる。今回調査した木製床固工・護岸工の部材は直径が 12～21cm であり，表面が 2～3cm 程度腐朽しても，全体の耐力はそれほど小さくならない。また木材の設置環境において，流水の影響が異なるため耐久性が大きく異なったと考えられる。また，護岸工の表・裏の最上段の部材で特に曲げ強度が小さい理由は全体の直径に対する腐朽部厚の占める割合(腐朽厚比)が大きいためと考えられる。腐朽厚比＝腐朽部厚(dr)／全体直径(dt)と定義した場合の腐朽厚比(dr/dt) と曲げ

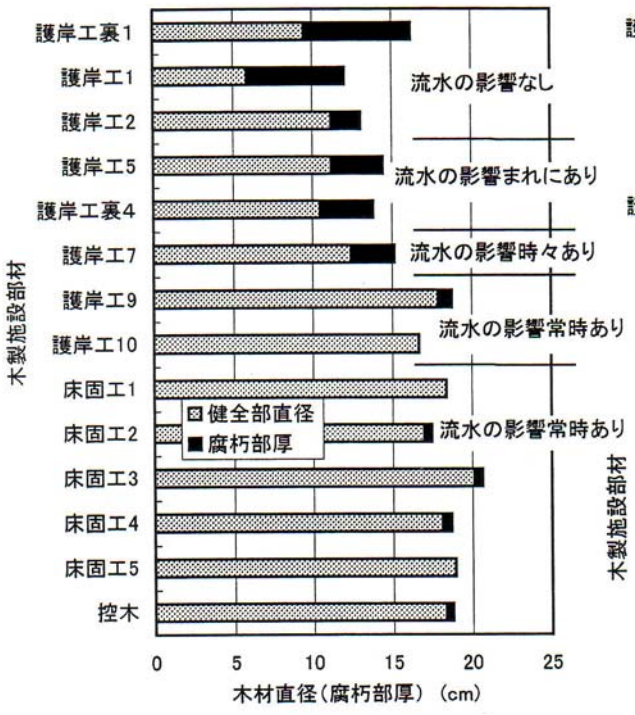


図-6.4.5 穿孔抵抗値による健全部直径(ds)と腐朽部厚(dr)(17 年経過後)

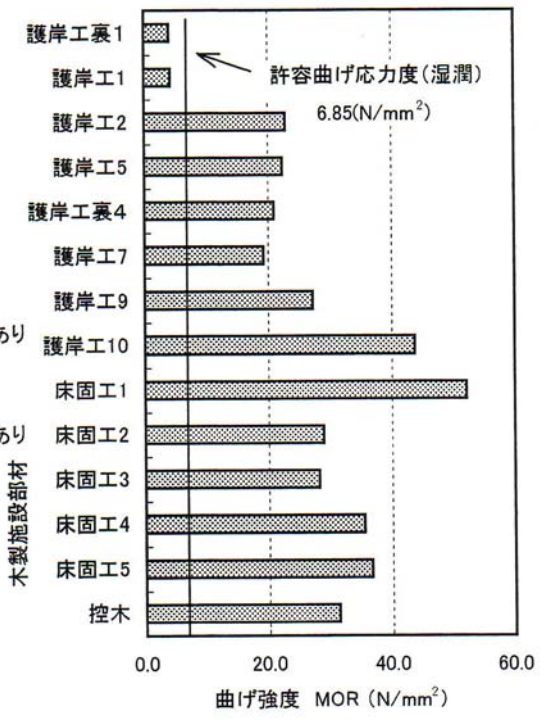


図-6.4.6 各部材の曲げ強度（全体直径で計算）(MOR)(17 年経過後)

強度(MOR)の関係を**図-6.4.7** に示す。dr/dt が増加するほど部材の MOR は減少することがわかる。

(3.4)腐朽木材の曲げ強度および曲げ耐力の推定法の検討

腐朽部は曲げ強度が極度に小さいと考えられるので，腐朽しつつある木材の曲げ強度は，主として木材の健全部により発揮されていると考えることができる。**表-6.4.1** に示す健全部のみの直径(ds)を用いて算定した曲げ強度を健全部曲げ強度(MORs)と定義して，これと腐朽厚比(dr/dt)の関係を**図-6.4.7** に示す。**図-6.4.7** より，MORs は dr/dt にかかわらずほぼ一定の値（健全な木材の曲げ強度とほぼ同じ値）をとることがわかり，このことから健全部の直径(ds)を用いることにより腐朽しつつある木材の MOR を算定することができると考えられる。**図-6.4.7** から今回試験した木材の MORs の平均値は 37.6(N/mm^2)であることからこの値および ds を用いて各部材の持つ最大曲げモーメント(曲げ耐力, Mscal.)を計算し，これと曲げ試験において測定された最大曲げモーメント（曲げ耐力, Mobs.）と比較した結果を**図-6.4.8** に示す。**図-6.4.8** より ds を用いることにより腐朽しつつある木材の持つ最大曲げモーメント（曲げ耐力）を精度良く推定できることが分かる。

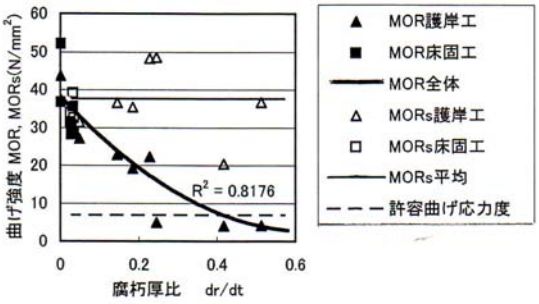


図-6.4.7 腐朽厚比(dr/dt)と曲げ強度(MOR, MORs);MOR は全体直径(dt)で計算、MORs は健全部直径(ds)で計算

全体が健全である場合の木材の最大曲げモーメント(曲げ耐力，Mt)と同一長さ，同一直径の腐朽しつつある木材の最大曲げモーメント(曲げ耐力，Mr)の比を最大曲げモーメント比（Mr/Mt）と定義すると，Mr/Mt は次式で計算できる。

$$\frac{Mr}{Mt}=\frac{\sigma Zs}{\sigma Zt}=\left(1-\frac{dr}{dt}\right)^3 \qquad (6.4.1)$$

ここに，Zt は全体直径の断面係数,Zs は健全部直径の断面係数，dt は全体の直径，dr は腐朽部の合計厚さ，σ は健全な木材の曲げ強度(MORs)である。dr/dt と試験により観測された腐朽木材の最大曲げモーメント(Mrobs.)と全体が健全と仮定した場合の最大曲げモーメント(Mtcal.)の比(Mrobs./Mtcal.)をプロットしたものを**図-6.4.9** に示す。なお，ここで木材の健全部曲げ強度(σ＝MORs)として今回測定された平均値 37.6(N/mm^2)を用いた。さらに式(4)を基に算定した最大曲げモーメント比{Mr/Mt=断面係数比(1- dr/dt)^3}と dr/dt との関係を**図-6.4.9** に実線で示す。**図-6.4.9** より MORs と dr/dt が分かれば腐朽

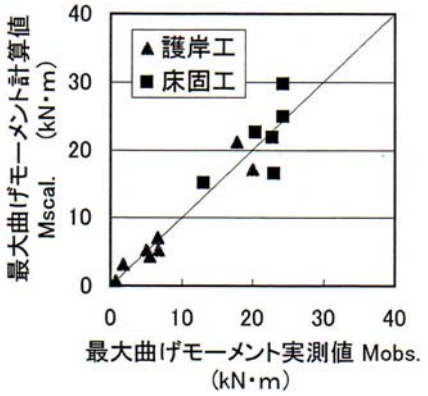


図-6.4.8 最大曲げモーメントの実測値(Mobs.)と予測値(Mscal.)

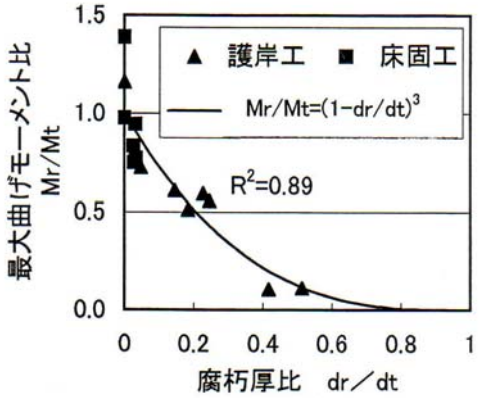


図-6.4.9 腐朽厚比(dr/dt)と最大曲げモーメント比(Mr/Mt)

した木材の全体の MOR，Mr を推定することができる。なお，**図-6.4.9** より全体の直径の 20%の厚さ（外側から）が腐朽すると木材の Mr は約半分になることが分かる。

(3.5)各種試験結果の相関

曲げ試験により求めた MOR と 4 種の試験器による測定値を比較することによりこれらの試験器による腐朽度測定値の妥当性を検討する。なお，木材の全乾比重（γ）および曲げヤング係数(MOE)は木材の各種の強度と良い相関があることが知られている[8), 9)]ため，MOR とγおよび MOE との関係についても併せて検討した。

各供試体に関する，MOR，MOE，γ，ピン打ち込み深さ(Pc)，繊維方向超音波伝播速度(Vuf)，直径（繊維直角）方向超音波伝播速度(Vud)，繊維方向応力波伝播速度(Vsf)，直径（繊維直角）方向応力波伝播速度(Vsd)，**図-6.4.4** に示す方法により穿孔抵抗値 1mm 未満の部分から判定した腐朽部厚(dr)，穿孔抵抗値 1mm 以上の部分から判定した健全部直径(ds)，腐朽厚比(dr/dt)，断面係数比$(1- dr/dt)^3$ の 12 項目の測定値相互の単回帰分析による相関行列を**表-6.4.2** に示す。**表-6.4.2** より MOR との相関係数が高いのは$(1- dr/dt)^3$ の 0.905 および dr の-0.905 であり，dr/dt，MOE，ds がこれらに続く。MOE は曲げ試験により求めたものであるのでこれを除くと，MOR と相関が最も高いのは穿孔抵抗試験による測定値{dr, ds, (dr/dt), $(1- dr/dt)^3$}であり，次に全乾比重（γ，成長錐を用いることにより計測できる），超音波試験（Vuf，繊維方向），ピン打ち込み試験（Pc），応力波試験（Vsd,直径方向＝繊維直角方向）である。次にこれらの関係を**図-6.4.10～6.4.16** に示す。

表-6.4.2　各種の試験による測定値の相関行列

	MOR	MOE	γ	*Pc*	*Vuf*	*Vud*	*Vsf*	*Vsd*	*dr*	*ds*	*dr/dt*	$(1-dr/dt)^3$
MOR	1.000											
MOE	0.814	1.000										
γ	0.779	0.767	1.000									
Pc	−0.672	−0.499	−0.824	1.000								
Vuf	0.691	0.679	0.370	−0.221	1.000							
Vud	0.243	0.151	0.217	−0.031	0.092	1.000						
Vsf	−0.041	0.014	0.331	−0.478	−0.434	0.186	1.000					
Vsd	0.543	0.218	0.346	−0.344	0.025	0.574	0.251	1.000				
dr	−0.905	−0.747	−0.877	0.733	−0.431	−0.382	−0.311	−0.638	1.000			
ds	0.806	0.546	0.832	−0.797	0.356	0.444	0.329	0.617	−0.906	1.000		
dr/dt	−0.891	−0.720	−0.895	0.733	−0.403	−0.383	−0.280	−0.631	0.985	−0.936	1.000	
$(1-dr/dt)^3$	0.905	0.734	0.901	−0.795	0.464	0.354	0.293	0.573	−0.981	0.956	−0.984	1.000

注）太線枠は相関係数が 0.9 以上のものを示す。

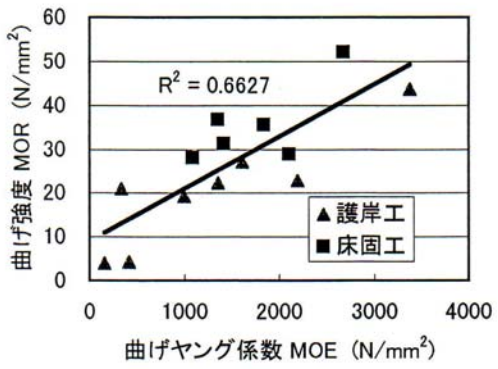


図-6.4.10 曲げヤング係数(MOE)と曲げ強度(MOR)

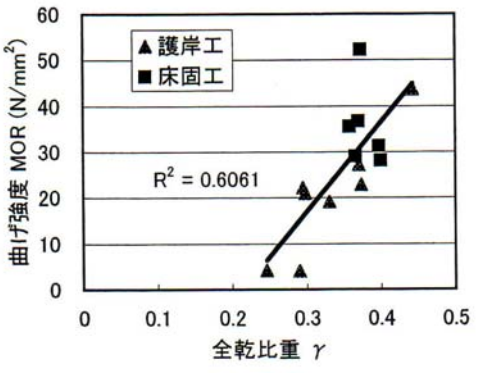


図-6.4.11 全乾比重(γ)と曲げ強度(MOR)

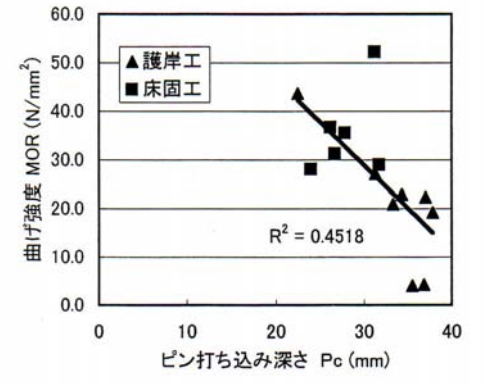


図-6.4.12　ピン打ち込み深さ(Pc)と曲げ強度(MOR)

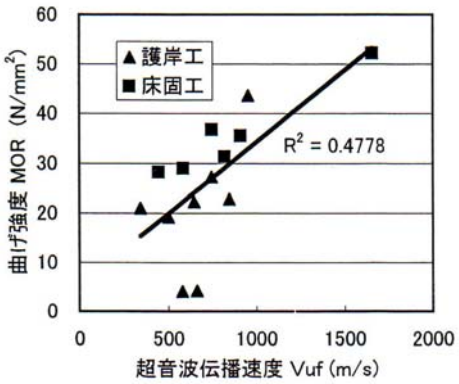


図-6.4.13　超音波伝播速度（繊維方向、Vuf)と曲げ強度(MOR)

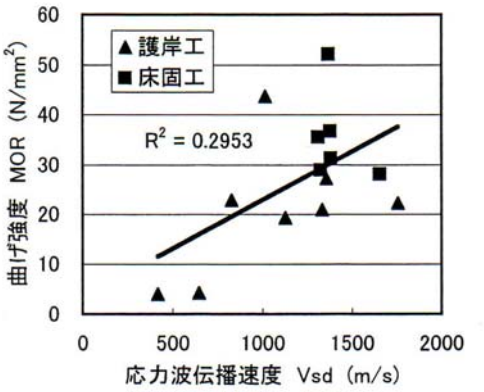


図-6.4.14　応力波伝播速度（直径方向、Vsd)と曲げ強度(MOR)

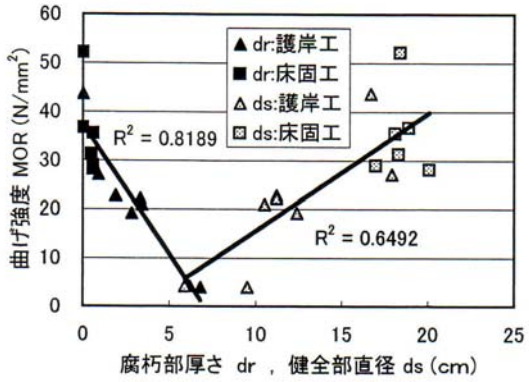


図-6.4.15　腐朽部厚さ(dr)、健全部直径(ds)と曲げ強度(MOR)

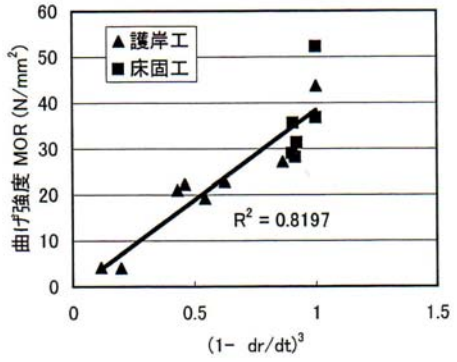


図-6.4.16　穿孔抵抗値による$(1-dr/dt)^3$と曲げ強度(MOR)

(4)まとめ

設置後 17 年を経過したカラマツ丸太で作られた木製治山床固工・護岸工について，部材を採取して曲げ試験および各種の腐朽度試験を行った。この結果，施工後 17 年を経過しても，常時流水の影響がある床固工本体部および護岸工基礎部ではほとんど腐朽しておらず，健全な木材と同様の曲げ強度を有していることが明らかとなった。また，流水の影響が少ない護岸工でも，最上段の部材を除いては，17 年間の腐朽部厚は 4cm 以下で，健全部も含めると木材全体では許容曲げ応力度を満足していることが明らかとなった。このことから木製施設の耐久年数はこれまで松岡らによる研究 [1),2)]により示された 5～6.5 年に比較してかなり長いことが明らかとなった。これらは木製施設の設置環境および部材の

寸法が松岡らの試験条件と大きく異なることによるものと考えられる。木製施設の耐久性の検討に当たっては流水（地下水）の影響を十分に考慮する必要がある。

各種の腐朽度試験方法を比較した結果，腐朽厚および腐朽した木材の曲げ強度を最も精度良く調査できる方法は穿孔抵抗試験法（レジストグラフ）であることがわかった。穿孔抵抗値が 1mm 未満の部分を腐朽部，1mm 以上の部分を健全部として評価し，腐朽部厚(dr)と全体直径(dt)を用いて，健全部の断面係数比$(1- dr/dt)^3$ を求めると，この断面係数比$(1- dr/dt)^3$ から木材の持つ最大曲げモーメント（曲げ耐力）を推定することができる。

木材の腐朽進行速度は設置条件や木材の種類により異なると考えられる。今後は樹種による違い，設置条件による違いについてさらに調査，研究を進める必要がある。また，現場でより簡便に腐朽度および強度を測定できる試験器を開発する必要がある。

6.4.3　木製えん堤部材の腐朽速度実態調査と耐朽性

(1)概要

木製えん堤の設計に関しては石川ら [10)]はいくつかの木製えん堤について水平載荷試験を実施しており，さらに木製えん堤に作用する土圧や水圧を測定している。これらの試験結果を基に，木材の腐朽を考慮しない場合の木製えん堤の設計法を提案している [11)]。しかしながら，木材はコンクリートや鋼材とは異なり，木材の健全部（腐朽していない部分）の直径や断面積は腐朽とともに減少していく。したがって，木材の腐朽速度が大きいほど堰堤の耐朽年数，すなわち堰堤が安全に機能する年数は減少することとなる。京都府に設置されたスギおよびヒノキでできたえん堤について腐朽速度を現地で調査し，腐朽速度の実態を明らかにした。さらに，腐朽を考慮した木製えん堤の新しい設計法について提案した。さらに腐朽速度に基づく木製えん堤の耐朽年数の評価法について検討した [12)]。

(2)調査地と調査対象

木製えん堤の腐朽速度の実態を調べるために，京都市市内にある京都府立大学久多および大枝演習林に設置された 2 基の堰堤，さらに京都府により京北町に設置された京北町１，京北町２の計 4 基の木製堰堤について堰堤に用いられている部材の腐朽実態調査を行った。4 基の木製堰堤の概要は表-4 に示したとおりである。

(3)調査方法

堰堤建設後の腐朽厚の変化を調べるために穿孔抵抗試験器（レジストグラフ）を用いた。穿孔抵抗試験器は持ち運び可能な簡便な穿孔抵抗測定器械である。細い針（ニードル）を一定の速度，一定の回転数で貫入させ，木材を穿孔する時に作用する抵抗を測定する器械である。石川ら [4)]によれば， 腐朽部は穿孔抵抗試験器の抵抗値が 1mm 以下の部分と判断される。本研究においては，腐朽部の厚さは部材の表面側（手前）の厚さのみで測定した。各堰堤において調査した部材の位置を**図-6.4.17～6.4.20** において●で示す。

(4)調査結果

(4.1)木製えん堤部材の腐朽速度

穿孔抵抗試験器により腐朽厚の調査を行った各供試体については毎年異なった位置において測定を行った。このため，同じ部材でも腐朽厚さにはバラツキが見られたため構造物（堰堤）の安全性を確保するために腐朽厚の測定値の 95%確率値を求めた。なお，95%確率値とは測定数のうち 95%の測定数は測定した値を下回る（すなわちその測定値を超えるのは測定数のうちの 5%のみである）ことを意味する [13)]。

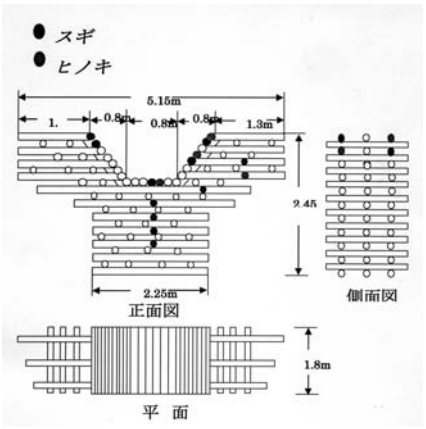


図-6.4.17　久多堰堤の模式図と調査部材

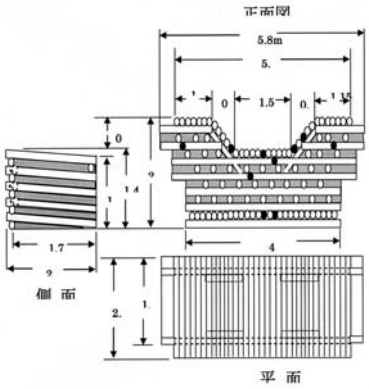


図-6.4.18　大枝堰堤の模式図と調査部材

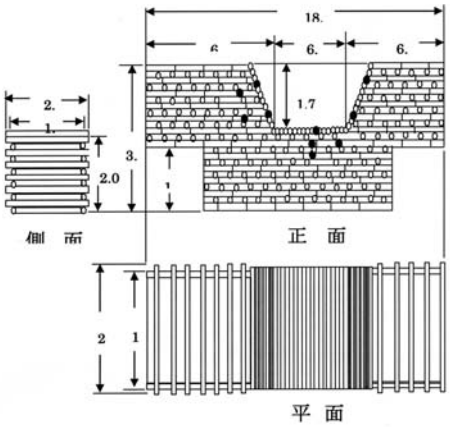


図-6.4.19　京北１堰堤の模式図と調査部材

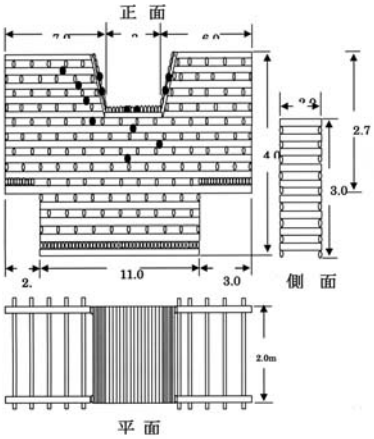


図-6.4.20　京北２堰堤の模式図と調査部材

このようにして得た腐朽厚の 95%確率値と堰堤建設後の経過年数との関係をプロットし，両者の相関を分析した結果，両者の決定係数 (R^2) としては大きな値が得られた（例えば**図-6.4.21**, **図-6.4.22** に示すように 0.9322, 0.8853, 0.8832, 0.8366)。これらから腐朽厚と経過年数には直線的な正比例の関係があることが分かった。ここで，腐朽速度 (Dd) を１年間の腐朽厚(mm)と定義すると腐朽速度は直線の傾きを表す。各図において腐朽厚の 95%確率値を基に，腐朽速度を計算した結果を各図の凡例において 95%確率値の次に示す。各堰堤における腐朽速度は次のとおりである。なお括弧の中には腐朽厚の平均値を用いた場合の腐朽速度を示す[12)]。

久多: 4.5mm/年 (2.1mm/年);　大枝: 3.0mm/年(1.5mm/年)　（**図-6.4.21**）

京北 1: 4.4mm/年 (1.7mm/年);　京北 2: 5.8mm/年 (2.0mm/年)　（**図-6.4.22**）

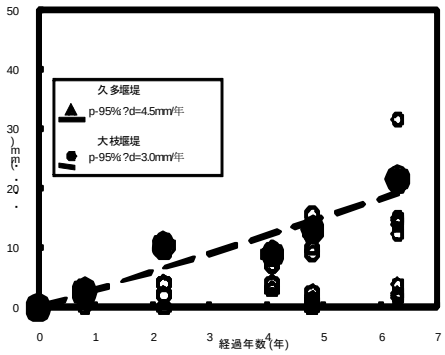


図-6.4.21　久多および大枝堰堤における腐朽速度

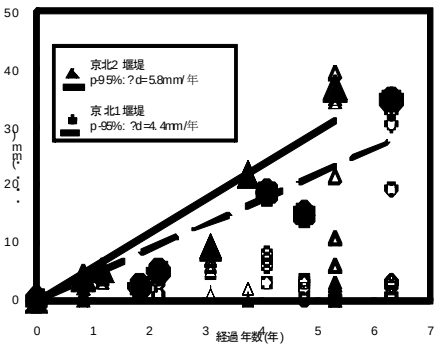


図-6.4.22　京北１および京北２堰堤における腐朽速度

(4.2)スギとヒノキによる腐朽速度の違い

久多堰堤におけるスギとヒノキの腐朽速度はそれぞれ 4.6mm/年 (2.1mm/年) および 4.0mm/年 (2.1mm/年)である（**図-6.4.23**)。久多堰堤においてはスギとヒノキでは腐朽速度に大きな差は認められなかった[12)]。

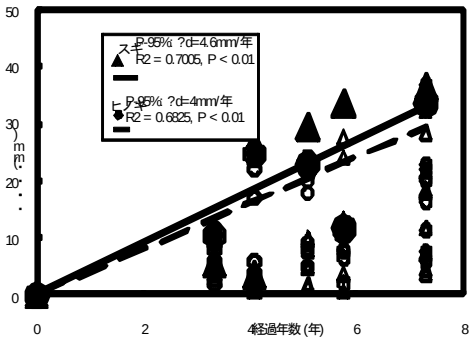


図-6.4.23 スギとヒノキにおける腐朽速度

(4.3)堰堤本体部と袖部による腐朽速度の違い

現地調査の結果から、久多と大枝の堰堤では水通しを流下する水量は平常時では極めてわずかか、全く認められなかった。このため次に示すように堰堤本体部と袖部の部材の腐朽速度の差はわずかであった[12)]。

久多堰堤：本体部: 5.0mm/年 (2.2mm/年); 袖部: 4.3mm/年(2.0mm/年)　（**図-6.4.24**）

大枝堰堤：本体部: 3.6mm/年 (1.5mm/年); 袖部: 3.6mm/年(1.4mm/年)　（**図-6.4.25**）

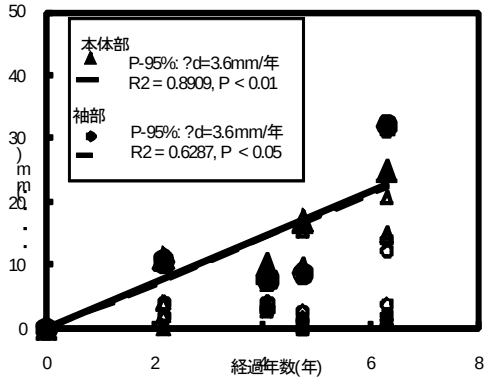


図-6.4.24 久多堰堤における本体部と袖部の腐朽速度の比較

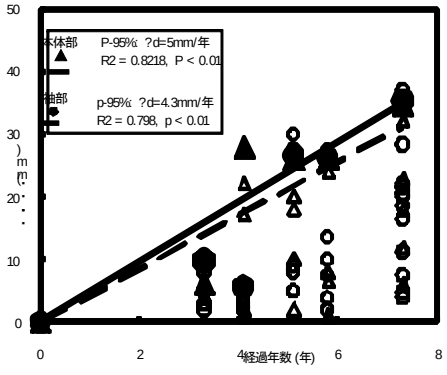


図-6.4.25 大枝堰堤における本体部と袖部の腐朽速度の比較

久多と大枝の堰堤とは対照的に、京北１と京北２の堰堤では水通しを流れる流水の量は平常時でも比較的多いために、これらの流水により本体部は平常時でも濡れた状態にある。しかしながら袖部は流水がかからないので比較的乾燥した状態にある。このため、腐朽速度は本体部と袖部では異なり、袖部の方が本体部よりも大きい[12)]。

京北１堰堤：本体部: 3.3mm/年 (1.4mm/年); 袖部: 5.0mm/年 (2.0mm/年)　（**図-6.4.26**)。

京北２堰堤：本体部: 1.5mm/年 (0.8mm/年); 袖部: 7.4mm/年 (3.0mm/年)　（**図-6.4.27**)。

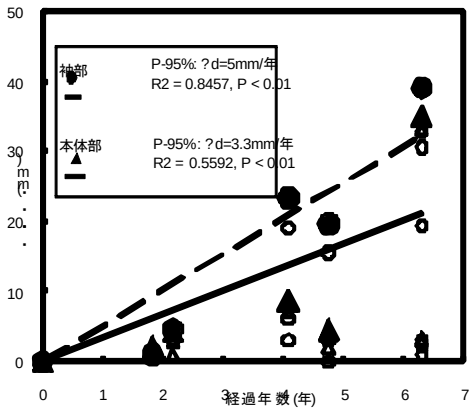


図-6.4.26 京北１堰堤の本体部と袖部の腐朽速度

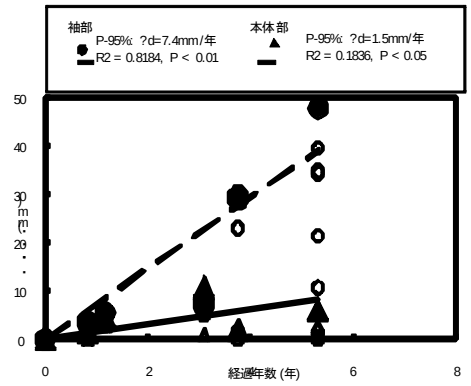


図-6.4.27 京北２堰堤の本体部と袖部の腐朽速度

(5) 木製えん堤の一般的な腐朽速度の特徴

これまでに述べてきたように，京北１と京北２の堰堤本体部の部材は常に濡れており，一方，久多と大枝の堰堤本体部の部材は平常時では比較的乾燥している。さらに久多，大枝，京北１，京北２の袖部の部材は平常時において比較的乾燥している。 以上より，部材は次の３グループに分けられる[12)]。

湿潤な本体部(京北 1&2): 2.7mm/年 (1.5mm/年);

比較的乾燥した本体部 (久多と大枝): 4.3mm/年 (1.9mm/年); および比較的乾燥した袖部 (久多，大枝, 京北 1&2): 5.0mm/年 (2.1mm/年) （図-6.4.28）。

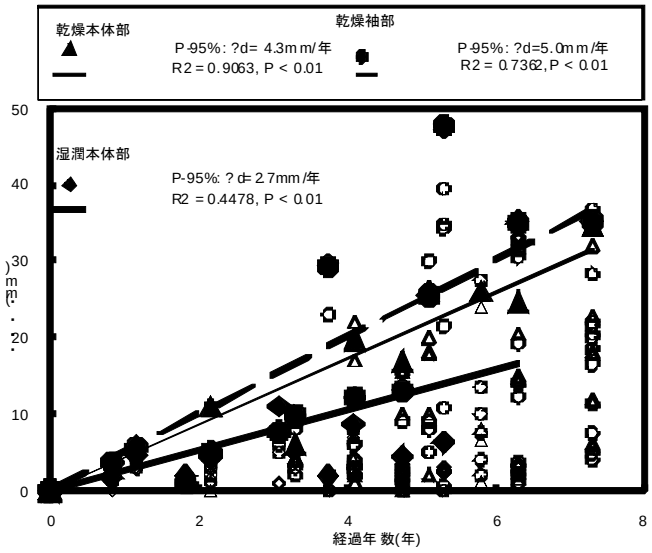


図-6.4.28 湿潤な本体部、比較的乾燥している本体部および
比較的乾燥している袖部の腐朽速度

(6) 腐朽に伴うせん断強度と曲げ強度の低下

腐朽が生じた時の木製えん堤の耐朽年数は部材に作用する最大の曲げ，せん断，引張応力が部材の許容応力と等しくなった場合（経過年数）として評価できる。一般的にせん断強度と曲げ強度が耐朽年数に影響する。腐朽に伴うせん断強度と曲げ強度の低下は S_p/S_t および M_p/M_t によって表され，おのおのは次式により計算される（式(6.4.3)は石川ら[4)]による）:

$$S_p/S_t = A_{Lb}/A_L \qquad (6.4.2)$$

$$M_p/M_t = \left(1 - \frac{dr}{D}\right)^3 \qquad (6.4.3)$$

ここで， S_p:腐朽した木材の健全な断面積 A_{Lb} を用いて計算した最大せん断強度， S_t: 断面積 A_L を用いて計算した最大せん断強度，d_r: 合計腐朽厚（ここでは $d_r = 2t\Delta d$），M_p: 健全部の直径$(D-d_r)$を用いて計算した最大曲げモーメント，M_t: 腐朽前の直径 D を用いて計算した最大曲げモーメントである。

(7) スギ材を用いて建設された木製えん堤の耐朽性（年数）の算定

木製堰堤の耐朽年数(T)を S_p/S_t, および M_p/M_t について腐朽速度 1.0mm/year, 1.5mm/year, 2.7mm/year および 4.3mm/year の条件下で計算した。この時, 越流水深 h=1.0m およびボルトの直径 $D_s = 1.6\times10^{-2}$m とし，えん堤高，横木の長さ，部材の直径を変化させた（図-6.4.29）。 腐朽速度 1.5mm/年, 2.7mm/年および4.3mm/年はそれぞれ京北２の本体部, 湿潤本体部（京北１，２）および乾燥袖部（久多, 大枝）

の腐朽速度の 95%確率値に対応している。曲線の交点はそれぞれの条件での 耐朽年数と，S_p/S_t, および M_p/M_t の関係を示す。**図-6.4.29** を用いて耐朽年数を求める場合の例を次に示す。図中の点 Q は曲線“D=0.3m”と曲線 “L_0=0.5m, H=2m”の交点である。 従って点 Q は次のような条件を持つえん堤を表す。部材直径 0.3m, 横木の長さ 0.5m, えん堤高 2.0m, 越流水深 1.0m, ボルト直径 1.6×10^{-2}m である。点 Q の横軸の目盛は，腐朽速度 Δd = 1.0mm/year, 1.5mm/year, 2.7mm/year, および 4.3mm/year のそれぞれに対応する耐朽年数(T) = 110 年, 73 年, 41 年および 26 年を示す。**図-6.4.29** から木製えん堤の耐朽年数はえん堤高および部材の直径の増大により増加することが分かる。スギ材を用いた場合には建築基準法施行令第 89 条に基づく木材（無等級材；カラマツ）の許容曲げ応力（湿潤），許容せん断応力（湿潤）および許容引張応力（湿潤）（f_{wba}, f_{wsa} および f_{wta}）はそれぞれ 5698 kN/m^2, 462 kN/m^2 および 3460 kN/m^2 である [7]。

(8) まとめ

小型の枠構造の木製えん堤を対象に，腐朽速度の実態を調査し，腐朽厚を考慮した設計法を提案した。さらに腐朽速度を基に木製えん堤の耐朽年数を算定する手法を提案した。

京都府内に設置されたスギおよびヒノキで作られた 4 基の木製えん堤を調査することにより実際の木製えん堤部材の腐朽速度を提示した。調査結果から，水通し部を流れる水量が多い場合には本体部における腐朽速度は袖部における腐朽速度に比べて小さいことが明らかとなった。現地調査結果から得られた，各えん堤における 95%確率値を用いた本体部の腐朽速度および（）内には平均値を用いた腐朽速度を次に示す。

久多: 5.0mm/年 (2.2mm/年); 大枝: 3.6mm/年 (1.5mm/年); 京北 1 : 3.3mm/年 (1.4mm/年); 京北 2 : 1.5mm/年 (0.8mm/年)

久多えん堤において，スギとヒノキの部材の 95%確率値はそれぞれ 4.6mm/年および 4mm/年とほぼ同じであった。さらに平均値を用いた腐朽速度は共に 2.1mm/年と同じであった。この結果からは，

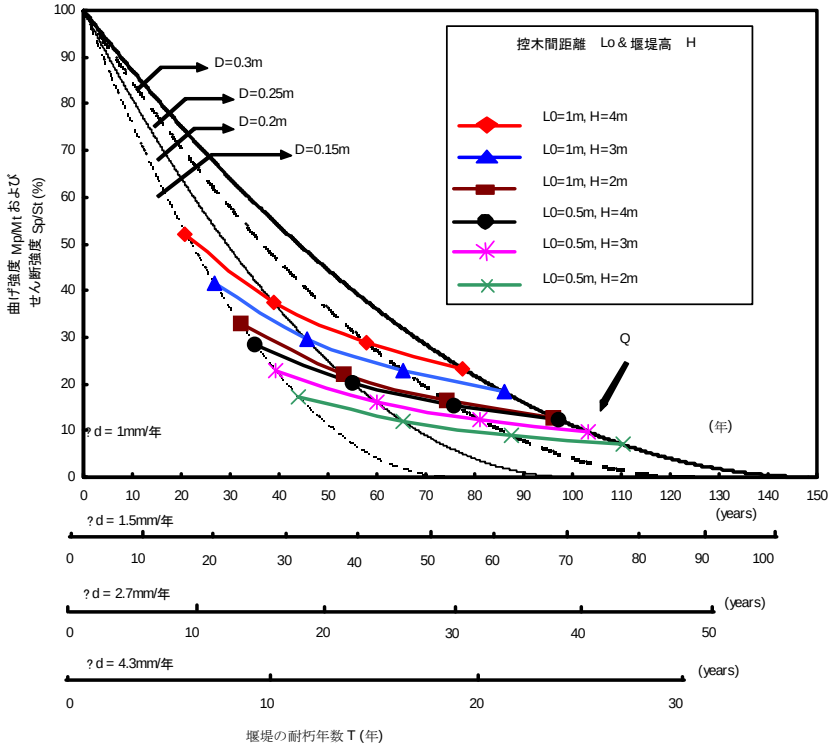


図-6.4.29 S_p/S_t, M_p/M_t およびスギ材で作られた木製えん堤の耐朽年数の関係 [12]

スギとヒノキでは腐朽速度はほぼ同じであると判断され，これは松岡らによる調査結果[1),2)]と異なる。

ここで提案した腐朽を考慮した木製えん堤の設計手法を用いることにより木製えん堤の耐朽年数を増大させるために必要な部材やえん堤の大きさ（部材の直径，横木の長さ，えん堤高，えん堤敷幅，越流水深）を適切に決めることができ，さらに木製えん堤の耐朽年数を設計時に予測することができる。木製えん堤の耐朽年数を増大させるためには部材の直径を増大させるとともに，横木の長さ，えん堤高，越流水深を減少させれば良い。さらに，部材に作用する土圧の分布から，下部の部材ほど大きな直径の部材（例えば 0.25m あるいは 0.3m）を用いて，反対に上部では小さな直径の部材（例えば 0.1m あるいは 0.15m）を用いることが合理的であることが分かった。このようにすれば，小径の間伐材も有効に利用することができる。新しく提案した設計手法に基づいて，スギを用いた木製えん堤の耐朽年数を簡便に算定するための図を提示した。

本研究で提案した腐朽を考慮した枠構造の木製えん堤の設計法は実際の設計に当たって有効である。しかしながら，異なるタイプの木製えん堤に関する土圧や作用力に関する情報は少なく，今後は異なるタイプの木製えん堤についても本研究で提案した手法の適用性を検討する必要がある。さらに，腐朽速度を適切に推定するためには現地調査により部材の腐朽速度に関する多くのデータを収集して解析する必要がある。

木材は設置される環境（降雨，流水，湿度，気温，土壌，日射等）や施設の構造により腐朽のすすみ具合が異なるとともに，木材の樹種や産地，大きさ，加工法等によっても異なる。木製施設の耐朽性を向上させるためには，計画，設計，施工，維持管理の全ての段階で綿密な検討を行う必要がある。それらのうちでも特に維持管理が重要であることは言うまでもない。適切な維持管理を行うことで木製施設の耐朽性は向上するものであり，それが結局は経済的となることは木造建築物やコンクリートや鋼製の施設と同様である。

引用および参考文献

1) 松岡昭四郎，雨宮昭二，庄司要作，井上衛，阿部寛，内藤三夫：各樹種の野外試験による耐久性調査結果，林業試験場研究報告第 232 号，p.109-135,1970

2) 松岡昭四郎，井上衛，庄司要作，鈴木憲太郎，山元幸一：浅川実験林苗畑の杭試験（第 7 報），日本産，および南洋産材の野外に設置した杭の腐朽経過と耐用年数，林業試験場報告,No.329,p.73-106, 1984

3) 田中俊成，山本幸一，北原曜：大正から昭和にかけて施工された木製ダムの耐久性調査，第 15 回日本木材保存協会年次大会論文集，p.1-9,1999

4) 石川芳治，内藤洋司，落合博貴，上原勇：各種試験に基づく木製施設の耐久性，腐朽度および曲げ強度評価法，砂防学会誌，Vol.56，No.4，p.21-31，2003

5) 治山研究会：長野県西部地震災害復旧における木製品の使用事例，治山，Vol.43，No.6，p.22，1998

6) 石川芳治：木製床固工の特徴と設計，砂防学会誌，Vol.50，No.6，p.33-39，1998

7) 建築基準法施行令および建設省告示（平成 12 年告示），建設省関係法令集平成 14 年度版，技報堂出版，p.228，229，871，941，942，2001

8) 伏谷賢美，木方洋二，岡野健，佐道健，竹村富男，則元京，有馬孝禮，堤壽一，平井信之：木材物理，文永堂出版，p.143-144,p.155-158,p.185,1985

9) Tanaka,T.:Evaluation of bending strength by non-destructive methods of Ezomatzu with white pocket rot, Paper prepared for the 22nd Annual Meeting of the International Research Group on Wood Preservation,

p.1-14,1991

10) 石川芳治, 岩館知哉, 水原邦夫:小型木製枠構造堰堤の水平載荷試験と安定性の検討, 砂防学会誌 , Vol.52,No.5,p.16-23,2000

11) Ishikawa, Y., Asada, M., and Mizuhara, K. : A design method for small wooden dams based on field tests, Proceedings of the International Symposium Interpraevent 2002 in the Pacific Rim/Matsumoto/Japan, Vol.2, p.773-784,2002

12) Dang, Q. D., Ishikawa, Y.,Nakamura,H. and Shiraki, K. : Evaluating method of durability of small wooden crib dams with considering the deterioration rate, Japan Society of Erosion Control Engineering,Vol.60, No.2, p13-24,2007

13) Dixon, W.J., and Massey, F.J., Jr.: Introduction to stati- stical analysis, 3rd ed., p.9, p.56-63, and p.463,1969

6.5　木製施設の耐朽性と維持管理（京都府における維持管理）（高奥信也）

6.5.1　はじめに

京都府では，木製治山ダムの取り組みが 10 年以上となり，府内には 2011 年 2 月現在，100 基を超える木製治山ダムが存在し，10 年以上も経過する木製治山ダムが，現在も十分に機能している。

ここでは，京都府の維持管理手法を紹介するとともに，木製治山ダムの機能が低下し大規模な修繕や改築が必要になった場合に，増厚補強による機能回復を行った木製治山施設の事例を紹介する。

6.5.2　維持管理について

木製構造物は腐朽により耐久性が低下するため，京都府では耐久性の診断や維持管理手法として，「木製治山ダム管理台帳作成要領」,「木製治山ダム腐朽度調査要領」を制定している。この要領により**図-6.5.1** に示す「木製治山ダム管理台帳」を作成し，木製治山ダムの部位ごとの腐朽度や腐朽以外の破損等についても記録することとしている。また，木製治山ダムは植生が進入しやすい構造であることや周辺環境に溶け込みやすいという特徴から，過去に設置した構造物の位置を確認するため，GIS による管理システムも一部で導入している。

木製構造物の腐朽度を確認するには①ピロディンやファコップ(応力波試験器)等の試験器具の使用，②目視と触診等が一般的であり，経年の変化を記録し腐朽の進行状況を把握するかが重要である。

現在までの調査や研究により乾湿を繰り返す部位に腐朽菌が侵入しやすく，腐朽の進行が早いことが判明している。木製治山ダムでは，放水路部分が乾湿を繰り返すため腐朽しやすいだけでなく，流水や流砂による摩耗を受けやすい。青森県や秋田県で過去に設置された木製堰堤や木製治山ダムを調査したところ，放水路部分を中心に腐朽が進み破損に至る（**写真-6.5.1**）と判断される。

(1) 木製治山ダムの破壊のメカニズム

(i)通常の流水や降雨時の流砂により放水路部材が摩耗する。

(ii)放水路部分の下流側から順次摩耗が進行する。

(iii)横断方向の部材が破損することで，中詰材が流失する。

(vi)中詰材の流出時に横断方向の部材がダメージを受ける。

(v)横断方向の部材が流砂や腐朽の進行により破損する。(中詰材の流出も進行)

以上の行程を繰り返し，最終的に木製ダムの上流側の堆積土砂が流出すると考えられる（**図-6.5.2**)。

(2) 補修方法について

木製治山ダムの補修は，①部分的に部材を交換，②全面的に撤去し再建設，③増厚補強等の方法が考えられるが，その研究は進んでいないため今後の課題である。①部材の部分交換は，放水路部分の部材は比較的容易に交換することができるため，放水路部分を健全にすることで，木製治山ダムの寿命を延ばすことが可能であると考えられる。今後は，部材の交換時期を明確にすることで補修方法として確立することが出来ると考えられる。②再建設は，コスト面と環境面において課題があることから，補修方法としては限定的なものと考えられる。③増厚補強は，ある程度腐朽が進行した施設に対しても有効であり，その手法を確立することで木製施設の寿命を延ばすことが可能と考えられる。

(3) 増厚補強による補修について

増厚補強の補修方法はコンクリートダムでは一般的であり，その手法を木製治山ダムにも採用し，腐朽・破損が一定進行している木製ダムにおける確実な修繕方法として，台形型ダムの下流側にλ型の構造で増厚して補強する工法を行った（**図-6.5.3**)。

下流側を掘削し旧提体の前面部分の清掃後に基礎部の整形・設置を行い（**写真-6.5.2**)，旧提体と一

体化するようにｌ型を設置する（**写真-6.5.3**）。

(4) 結果と考察

木製治山施設の機能維持を目的として,増厚補強という手法を実施した結果は次のとおりであった。

(i)全体に補強を行うため，修繕後の安心感が強い（**写真-6.5.4**）。

(ii)旧堤体と一体化の作業に想定以上の技術と手間が必要である。

(iii)経費は新設と同等程度必要である。

以上から，増厚補強という手法は①簡易で確実な連結・接続方法の検討，②コスト縮減のための断面決定等の課題があると考えられるが，有効な工法として確立していくことが重要と考えられる。

木製治山ダム管理台帳

公所名
竣工年月日

施工年度		事業名		設計番号		施設名	
施工地の概要	小流域及び流域名		点検年月日		備考		
	流域面積						
	渓床勾配						
	工事期間						

＜施設の概略図及び点検区分け＞

点検区分による腐朽度（被害ランク）

区分＼腐朽度	A	B	C	D	E	備考

図-5.5.1　京都府木製治山台帳

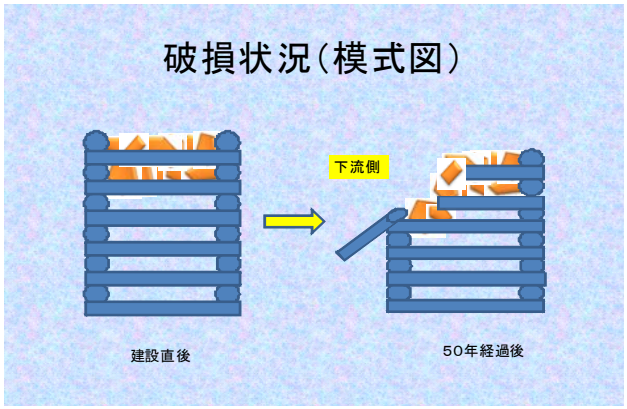


図-5.5.2　破損状況（模式図）

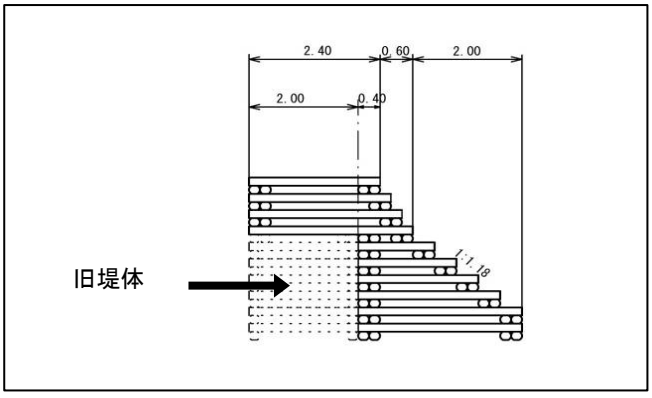


図-5.5.3　増厚補強模式図

写真-5.5.1　木製ダム破損状況（秋田県）

写真-5.5.2　基礎部建設状況

写真-5.5.3　増厚部分建設状況

写真-5.5.4　完成状況（京都府舞鶴市）

6.6　木製校倉式構造物の特徴（石川芳治，田次慶久）

6.6.1　概要

治山・治水施設のうちでも比較的大型な構造物である谷止工，護岸工，土留工等は同時に長期間機能を発揮することが期待されており，耐朽性が高いことが望ましい。さらに，木製構造物の維持管理を考えた場合には，定期的に点検を行い，腐朽が進んだ部材については適切な時期に部材を交換することができれば木製構造物の寿命は増大し，このことにより経済性も増すことになる。一方，現在，谷止工，護岸工，土留工等に一般的に用いられている枠構造の木製構造物の部材の結合は，連結部の部材を削孔して，ボルト等で結合する場合が多いが，削孔とボルト等による連結に手間がかかり，これが施工費の増大の一つの原因となっている。

このような，(i)木製構造物の耐朽性の向上，(ii)維持管理における部材の交換の容易さ，(iii)施工の容易さを図るための有力な工法として，最近，木製校倉式構造物が注目されている。ここでは，木製校倉式構造物の特徴である木組みによる連結強度と木材保存剤を用いている部材の耐朽性について紹介する。

6.6.2　構造および押し抜き抵抗力

(1)構造の特徴

木製枠構造物では，通常は木製部材（壁材（横木）と控材（控木））をボルト等により連結するのであるが，木製校倉式工法の構造上の特徴は**写真-6.6.1**に示すようにボルト等よる連結の代わりに木材の木組み（木材の一部を削って切り欠を作り，切り欠き）により壁材（横木）と控材（控木）を固定しようとするものである。このことにより，ボルト等による連結のための時間と経費が節約でき，さらには，腐朽した場合の部材の交換も容易になる等のメリットが期待できる。しかしながら，壁材（横木）と控材（控木）を木組みにより連結した場合の強度（抵抗力）について検討する必要がある。

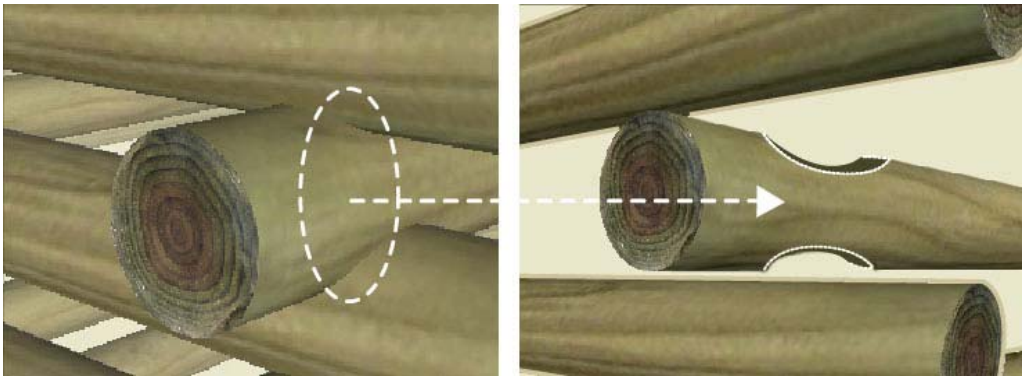


写真-6.6.1　木製校倉式構造物の部材連結部（切り欠による連結）

(2)木組みによる連結強度

壁材（横木）と控材（控木）を木組みにより連結した場合の強度（抵抗力）について**図-6.6.1**に示す実験を行い検証した[1)]。実験では壁材（横木）2本を控材（控木）4本（2層）で挟み，壁材（横木）の上方から鉛直荷重を載荷して，ジャッキによりその壁材（横木）1本に対して水平および角度20度方向から載荷を行い（**写真-6.6.2**），水平および角度20度載荷荷重と水平変位量の変化を測定し，ロードセルにより最大の押し抜き抵抗力（載荷荷重）を求めた（**写真-6.6.3**）。使用した部材（木材）は直径

12cmおよび9cmで長さ1.0mの円柱加工木材であり，控材（控木）は深さ2cmで両側を円弧状に削ってある。実験は載荷方向（水平，20度），木材直径（12cm，9cm），鉛直載荷重（0.2kN,0.4kN,0.8kN,1.2kN）を変化させて計36ケース実施した。

実験結果から，壁材（横木）の最大押し抜き抵抗力 y と鉛直載荷重 x とは良い直線関係があり，各実験条件において直線式(6.6.1)～(6.6.4)で表されることが分かった。

水平載荷径 12cm　　y=1.21x+0.41　　(6.6.1)

水平載荷径 9cm　　y=1.68x+0.34　　(6.6.2)

20 度載荷径 12cm　　y=1.20x+0.54　　(6.6.3)

20 度載荷径 9cm　　y=2.04x+0.57　　(6.6.4)

これらより，鉛直載荷重 x に比例して壁材（横木）の最大押し抜き抵抗力 y が発揮されることが分かる。ただし，y，x は控材（控木）2 本の荷重の合計値である。

載荷角度 δ＝20 度の場合の実験結果から，載荷角度を大きくすると壁材（横木）の最大押し抜き抵抗力は大きくなったが，その効果はそれほど大きくはなかった。載荷角度が大きくなると，横木の回転時のモーメントによるよりも滑動により壁材（横木）の押し抜きが発生するためと考えられる。また，支点部の木材の凹みが大きくなることも影響していると考えられる。基本的には鉛直載荷重を大きくすると効果が高いと考えられる。

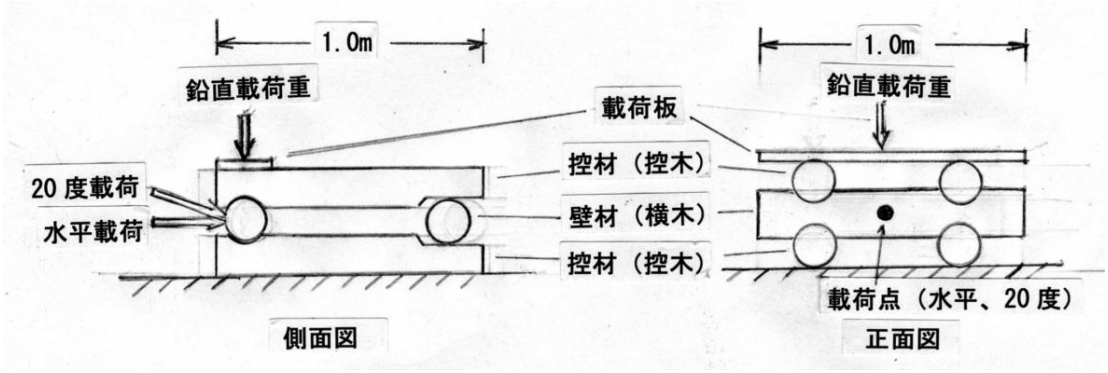


図-6.6.1　載荷実験模式図

写真-6.6.2　鉛直載荷重 1.20kN の載荷時

写真-6.6.3　変位後の状態（壁材が控材の上に乗り上げている）

6.6.3　木材保存剤の使用と腐朽速度

木製校倉式構造物は木製部材の切り欠による木組みにより連結されている。このため、切り欠部の腐朽は連結に大きな影響を及ぼすことが考えられる。木材の腐朽速度を低減させるために、木製校倉

式構造物では木材保存剤ACQを用いている。ACQは銅・アルキルアンモニウム化合物系の木材防腐・防蟻剤であり，主成分は銅化合物とベンザルコニウムクロライドである。ACQはJIS規格に基づく試験では注入した木材からの溶脱は認められていない。さらに水中のような過酷な条件下でも溶脱率は2%未満である。また，(財）日本食品分析センターの試験結果からも安全性が極めて高い事が示されている。

木製校倉式構造物にはACQを加圧注入した木製部材を用いている。これらの部材の腐朽速度は使用する部材の材質（樹種）のみならず，設置環境が大きな影響を与えると考えられる。そこで，これまでに実際に設置された木製校倉式構造物の腐朽速度を測定してその腐朽速度を明らかにすることとした。なお，以下で述べる木製校倉式構造物には全てスギが用いられている。

腐朽速度の調査対象は，平成14年度に愛媛県北宇和郡鬼北町奈良奥山に設置された木製校倉式谷止工（**写真-6.6.4**，高さ5m，長さ32m)，平成11年度に大阪府交野市私市に設置された木製校倉式護岸工（**写真-6.6.5**，高さ2.5～3.7m，長さ23m）および和歌山県岩出市根来山に設置された木製校倉式土留工（**写真-6.6.6**，高さ2.5m，長さ35m)，平成11年に愛知県豊橋市に設置された木製校倉式護岸工（**写真-6.6.7**，高さ1.3m，長さ141m）であり，現地調査は全て，平成21年に実施した[2)]。木材の腐朽部の厚さは穿孔抵抗試験機（レジストグラフ，**写真-6.6.8～写真-6.6.9**）を用いて調査した。腐朽速度は腐朽厚（mm）を設置後の経過年数で除することにより求めた。

腐朽厚の調査に用いた穿孔抵抗試験器（レジストグラフ；WALESCH ELECTRONIC GMBH 社製，RESISTGRAPH F300，**写真-6.6.8～写真-6.6.9**）は持ち運び可能な簡便な穿孔抵抗測定器械である。細い針（ニードル）を一定の速度，一定の回転数で貫入させ，木材を穿孔する時に作用する抵抗を測定する器械である。針（ニードル）の先端部は直径 3mm で軸部は 1.5mm である。針の長さは全長 30cm で回転数は 1,500 回／分である。穿孔する木材の強度は穿孔抵抗により表される。

一般的な測定方法は次のとおりである。レジストグラフの針の先端を調査する部材の表面（手前）に当て，部材の中央（中心）を通るように，針が部材の反対側の表面に出るまで穿孔を行う。針の先端部の穿孔抵抗は機器のチャート紙上に，針の先端部の深さに対応した位置に波形で表される（穿孔抵抗チャート；**図-6.6.2**）。記録紙上に記録された波形の高さから深さ毎の穿孔抵抗値を読みとる。一般的に穿孔抵抗は各深度における木材の強さを表し，一般的に穿孔抵抗値が大きい程強度が大きく健全な材と判断され，抵抗値が小さい程強度が小さく腐朽が進んでいる材と判断される。また，木材の表層部（辺材）では小さく，中心部（心材）にいくほど穿孔抵抗は増加する。これまでの測定結果 [3)] から穿孔抵抗値の平均が 1mm 未満の部分は腐朽が進んでおり強度が著しく低下していると判断される。このことから平均穿孔抵抗値が 1mm 未満の部分の厚さを腐朽部の厚さと判断した。

調査結果を基に，各施設の腐朽速度の平均値と京都府に設置された木製谷止工の設置後5～7年間の平均腐朽速度と比較した結果を**図-6.6.3**に示す。京都府の木製谷止工の部材はスギを用いており，木材保存剤は使用していない。校倉式の谷止工・護岸工・土留工の部材の腐朽速度は木材保存剤を使用していない京都府の谷止工の部材の約1/20～1/70と小さく，木製校倉式施設の部材は耐朽性が極めて高いことが分かる。しかしながら木材の腐朽速度は使用されている環境（流水がかかるかどうか，気温，湿度，日射等）により異なると考えられるため，信頼性の高い腐朽速度を得るためには実態調査をさらに広く行う必要がある。また，腐朽速度は今後変わることも考えられるので，5年に1度程度の間隔で追跡調査をすることが必要と考えられる。

写真-6.6.4　校倉式木製谷止工（奈良奥山）

写真-6.6.5　校倉式木製護岸工（私市）

写真-6.6.6　校倉式木製土留工（根来山）

写真-6.6.7　校倉式木製護岸工（豊川放水路）

写真-6.6.8　穿孔抵抗試験機による計測（根来山）

写真-6.6.9　穿孔抵抗試験機による計測（豊川放水路）

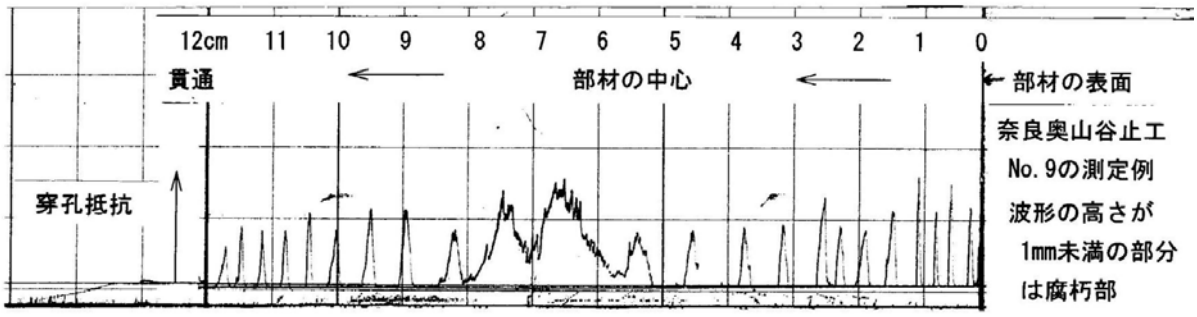


図-6.6.2　穿孔抵抗試験器(ﾚｼﾞｽﾄｸﾞﾗﾌ)による穿孔抵抗チャートの例
（奈良奥山谷止工 No.9 の例）（この場合は腐朽厚は 0mm と判断した）

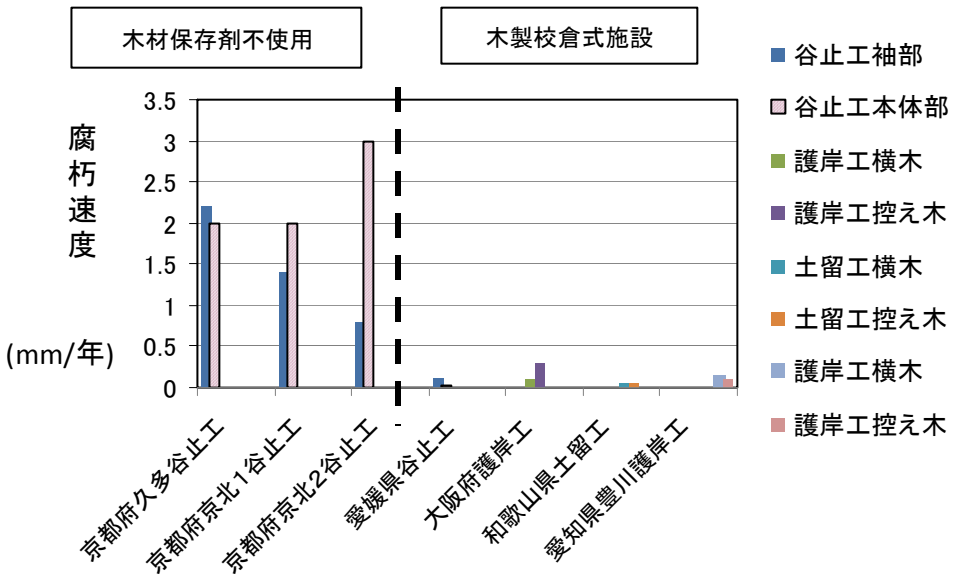


図-6.6.3　京都府木製谷止工（木材保存剤不使用）と校倉式谷止工との腐朽速度の比較[2)]

6.6.4 まとめ

実験結果から，木製校倉式構造物においては鉛直載荷重に比例して壁材（横木）の最大押し抜き抵抗力が発揮されることが分かった。また，現地調査により，木材保存剤の効果によるとみられる腐朽速度の著しい低下が認められ，木製校倉式構造物の部材の耐朽性は木材保存剤を用いていない部材と比較して非常に高いと判断される。

引用および参考文献

1) 石川芳治，田次慶久:木製校倉式壁材の押し抜き抵抗実験,木材利用研究論文報告集９，pp.29-35,2010
2) 石川芳治，田次慶久，前田恵史，金岩岳彦:木製校倉式構造物（防腐処理）の腐朽速度調査,木材利用研究論文報告集９，pp.36-40,2010
3) 石川芳治，内藤洋司，落合博貴，上原勇：各種試験に基づく木製施設の耐久性，腐朽度および曲げ強度評価法，砂防学会誌，Vol.56，No.4，p.21-31，2003

7.　木材の地中海洋利用（沼田淳紀）

地中海洋利用小委員会（WG4）では，地中や海洋における木材利用についての研究を実施している。地中や海洋における利用とは，陸域と海域における基礎杭，軟弱粘性土地盤や液状化対策，地盤の補強，および，海洋における護岸やデッキを含めた利用を対象とし，多くは今まで一般に用いられてきた気中での木材利用と異なり，地中といった異なった環境下での利用を考えている。ここでは，主に土木分野における力学的な課題に加え，腐朽や虫害についても研究を行っている。

図-7.1 に，地中海洋利用における研究課題を示す。研究課題として，過去の事例調査，劣化対策の調査研究，新しい木材利用技術の開発をあげて研究を進めている。

土木における木材利用技術は，50 年近く技術開発が行われておらず，現在においては新しい技術と捉えることができるが，過去には長い歴史がある。そこで，本小委員会は，過去に学び，それに現代技術を付加し，これにより今後の新しい技術を構築することを考えている。正に「温故知新」である。具体的には，何千年何百年も前のいわゆる遺跡に分類される事例の調査，主に明治以降の比較的近年に建設された構造物基礎などの調査，過去の設計法の調査である。

劣化については，腐朽および蟻害，フナクイムシやキクイムシなどによる虫害に対する調査研究を行っている。ここでは，気中で多くの研究実績のある薬剤による対策についての調査研究が多いが，地中といった今までとは異なった環境下における木材の利用を考えていることから，このような環境下における木材劣化に対する考え方や新しい対策技術の開発も研究課題としている。

新しい木材利用技術については，木材が水中下ではほとんど劣化せず，極めて高い耐久性と有することから，このような木材の短所を消し，長所を活かすことができる木材の利用方法として，地下水位が浅い地中における木材利用を主な研究対象としている。具体的には，軟弱粘性土地盤対策および地震時に課題となる液状化対策への利用である。両者ともに，地下水位の浅い地盤において対策が必要とされる。

本小委員会では，以上の研究課題に対し，2009 年度からの 3 年計画で研究を実施してきている。本章では，2 年目における研究の現状について，**図-7.1** の研究課題にしたがい報告する。

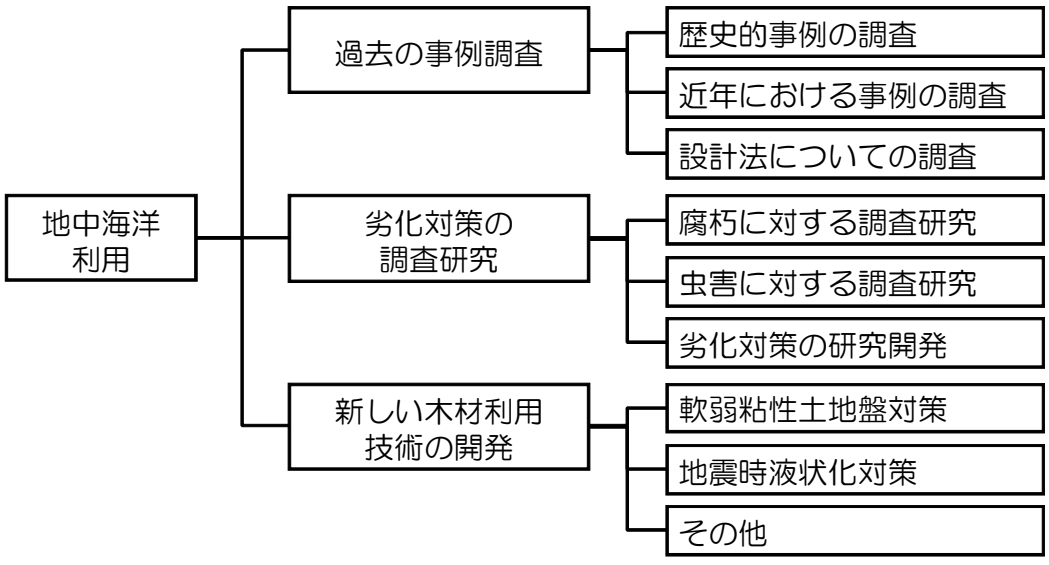


図-7.1　地中海洋利用についての研究課題

7.1　地中海洋における歴史的な木材利用事例（末次大輔，中村裕昭，沼田淳紀）

7.1.1　三重津海軍所跡での木材遺構

三重津海軍所は幕末から維新期に設置された造船所である。佐賀藩は江戸時代中期から三重津に船屋を置いて，藩籍船の約 2 割をここで管理していた。安政期に入ると蒸気船建造が計画され，三重津に建造用資材が持ち込まれるようになり，安政 6 年（1859 年）には幕府の長崎海軍伝習所の撤収に伴い，船屋の一角を海軍稽古場として拡張し，佐賀藩艦船の主要繋留地も三重津に定められ，軍港としての体裁を整えていった。三重津海軍所は明治初期（時期は不明）に閉鎖され，その後明治 35 年（1902）から昭和 8 年（1933）まで佐賀県立商船学校として利用されていた [1)]。

三重津海軍所は有明海湾奥部の筑後川河口部支流である早津江川右岸に位置する（**写真-7.1.1**）。三重津海軍所跡では，平成 13 年から 15 年，平成 21 年 9 月，平成 22 年 6 月，ならびに 11 月から翌 23 年 3 月下旬（予定）まで，佐賀市教育委員会によって発掘調査が行われた。その中で，船渠において木製護岸が確認された。また，石積護岸の基礎に胴木（明治期に建設されたものと推定されるが，詳細は不明）が確認された。

図-7.1.1 および**写真-7.1.2** は発掘された船渠の木製護岸（A）の平面図とその写真である。護岸は丸太や木板を組み合わせ階段状の構造となっている。1 段目は板材（堰板）を丸太杭や横木（貫）を使った構造である。2 段目は密接して打ち込まれた列杭（詰杭）に横木（貫）を据えて支柱（親杭）で固定し，さらにその支柱を胴木（控木）にホゾ穴を通して固定する構造となっている。この地点のトレンチ調査で護岸背後の土質は粘土層と薄い砂層の互層となっていることが確認されている [2)]。図

写真-7.1.1　三重津海軍所跡の全景 [3)]

図-7.1.1　発掘木製護岸（A）の平面図

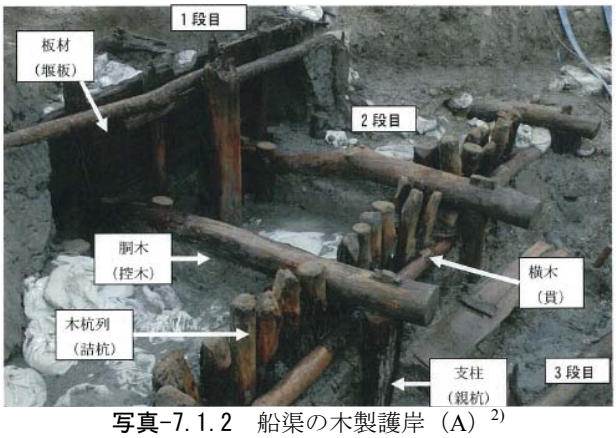


写真-7.1.2　船渠の木製護岸（A） [2)]

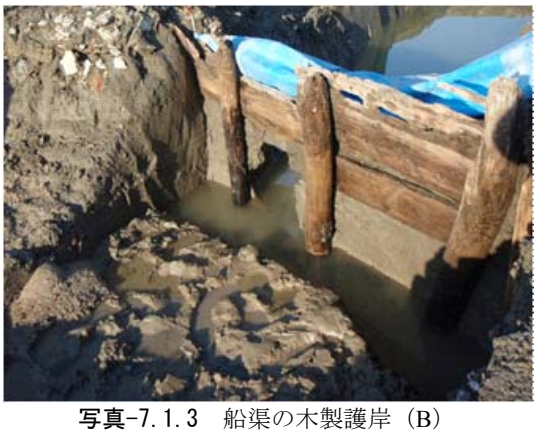


写真-7.1.3　船渠の木製護岸（B）

中に示す丸太杭（支柱）では，上部 20cm の範囲で著しく腐朽していることが確認された。それ以深でのピロディン貫入量は 32mm～35mm であった。また，図中に示す胴木および横木のピロディン貫入量はそれぞれ 32mm と 30mm であった。

写真-7.1.3 は発掘された船渠護岸の一部と考えられている木製護岸（B）である。先の構造とは異なり，板材を丸太杭で止めるシンプルな構造である。この護岸周辺の土質は粘土であった。木杭の上部は著しく腐朽していることが目視で確認され，この木杭のピロディン貫入量はどの高さにおいても 40mm 以上であった。

写真-7.1.4　石積護岸の胴木基礎

写真-7.1.4 は同じ発掘エリアで発見された石積護岸の胴木基礎である。この遺構は現在のところ明治期に構築されたものと考えられている。胴木にはホゾ穴を通して丸太杭が固定されており，横木で石材を抑える構造となっている。周辺の土質は粘土であった。胴木のピロディン貫入量は 21mm～24mm であった。

木製護岸（A）でピロディン試験を実施した丸太杭の上端の標高は 1.80m，胴木上面は 1.22m，横木上面は 0.87m であった。木製護岸（B）での丸太杭上端の標高は 2.0m，石積護岸の胴木の標高は 1.1m であった。発掘調査領域の正確な地下水位は不明であった。隣接する早津江川の満潮時の平均河川水位は標高 2.075m，潮汐による水位変動幅はおよそ 2.5m から 5m まで変動する。早津江川の水位変動の大きさと木材が設置されていた高さを比較すると，三重津海軍所跡で発掘された木製護岸等は地下水位が変動する深さに位置していたと推察される。下層にある木材ほど腐朽が進んでいないこと，護岸の背後など人工的に埋め戻された層や砂層に打ち込まれた木材は比較的腐朽が進んでいることなどから，地下水位変動域では深度や土質によって腐朽の進行速度が異なることが示唆される。

7.1.2　佐賀城跡での木材遺構

佐賀城は佐賀平野の低平地に築かれた平城で，築城は天正年間に整備された龍造寺氏の旧村中城を鍋島直茂･勝茂親子が慶長 13 年(1608 年)～慶長 16 年にかけて拡張完成され，その後，享保 11 年(1726 年)，天保 6 年(1835 年)の 2 度の火災で殆どの建物を焼失し，2 度とも数年で再建が果たされたが，明治 7 年(1874 年)の佐賀戦争で再び焼失し城の体裁は失われた [3)4)]。

上記 2 度の発掘調査で出土した遺構は，この内，天保の再建時のものと見られている。

佐賀城跡では，本丸跡地の県立佐賀城本丸歴史館建設に先立って平成 5･6 年度に佐賀市教育委員会によって，また，本丸跡地周囲の佐賀城公園「歴史の森」整備に先立って平成 11～13 年度に佐賀県教育委員会によって，それぞれ発掘調査が実施され，本丸や石垣等の基礎や地中構造物において様々な形での木材利用が確認されているので，その概要を**表-7.1.1** に要約した。表で『健全』と表記したのは目視で顕著な腐朽が見られないという主旨である。胴木基礎は縦と横に組み合わされた構造となっているが，報告書 [4)]では，石材が載る材を胴木，その下で胴木を支える材を枕木材と称しており，ここではその表記法に従った。鉛直方向に使用されている木材が杭と表記され，支持杭は見られず，主に，胴木のずれ防止や胴木材と枕木材を繋ぐ材として用いられている。

表-7.1.1　佐賀城跡の発掘調査で出土した地中木材事例一覧

No.	木材用途	場所	木材区分	特徴	写真	出典
1.	建物礎石基礎地盤改良	本丸御納戸・屯之間(たまりのま)	地固め用材(松, 丸太)	粘土混じり砂，瓦，丸太を交互に重ねて地固め，木材は健全	7.1.5	3)
2.	土塁石垣基礎	西側土塁石垣	胴木材(松)，枕木材(松)，杭	湾曲した野物材の上下面を面取り，木材は健全，砂の客土	7.1.6	3), 4)-pp.25-26
3.	櫓台石垣基礎	南西隅櫓台(赤岩)	胴木材(松)，枕木材(松)，杭	面取り材と野物材が混在，木材は健全，胴木基礎地盤は豆砂利と砂で密に締固め，石垣前面は石材を重点して根固め	7.1.7	4)-pp.26-27
4.	堀護岸(土塁石垣)基礎	西側土塁の堀側 13 面(赤岩)	胴木材(松)，杭(胴木のずれ防止, 松)	面取り材と野物材が混在，木材は健全	7.1.8	4)-p.28
5.	石樋基礎	西側土塁石垣北端から 72ｍ地点	胴木，貫材	石垣下部貫通，木材は健全，石樋用途は飲料水等の上水施設と推測されている	7.1.9	4)-pp.30-31
6.	木樋材及び木樋基礎	西側石垣北端から 9m地点	樋管材：床板，側板，蓋材，貫(側板固定用)，栓(側板止め) 木樋基礎材：胴木	石垣下部貫通，45cm 沈下，木材は健全，木樋用途は構造の精巧さから上水施設と推測されている	7.1.10	4)-pp.32-33
7.	構造物基礎	南西隅櫓台西張出し	枕木材(胴木を支える)，杭木(胴木と枕木材を繋ぐ)	元口側(北側)が著しく腐食，末口側(南側)が比較的健全	7.1.11	4)-p.35
8.	土橋状構造物基礎	石樋西木組遺構	土留材，枕木，敷板	木材は健全	7.1.12	4)-p.36

写真-7.1.5　建物礎石基礎

写真-7.1.6 湾曲した野物材胴木

写真-7.1.7 面取り材胴木

写真-7.1.8 胴木とずれ防止杭

写真-7.1.9 野物材胴木

写真-7.1.10 木製木樋と胴木基礎

写真-7.1.11 元口側(右手)が著しく腐食，末口側(左手)が比較的健全な枕木材

写真-7.1.12 木組遺構の敷板

参考文献

1) 「三重津海軍所跡 14 区」重要産業遺産確認調査：「三重津海軍所跡 14 区」発掘調査報道公開資料，佐賀市教育委員会社会教育部文化振興課，平成 23 年 1 月 14 日.

2) 三重津海軍所跡現地説明会資料：佐賀市教育委員会社会教育部文化振興課，平成 22 年 6 月 6 日. 発掘された日本列島 2010：文化庁，pp.61-63，2010.6.

3) Web-Site ： 佐 賀 県 立 佐 賀 城 本 丸 歴 史 館 ＞ 展 示 案 内 ＞ 佐 賀 城 本 丸 御 殿 の 復 元〔http://sagajou.jp/tenji/fukugen.html〕

4) 佐賀県教育委員会：佐賀城石垣，佐賀城公園整備工事報告書，県史跡「佐賀城跡」本丸土塁石垣に関する調査・復元工事報告，佐賀県文化財調査報告書第 161 集，2005.3.

7.2　現存の地中海洋における木材利用例（85 年前に打設された新潟県信濃川下流における事例）[1)]

（沼田淳紀，中村裕昭，本山　寛，水谷羊介）

(1) 概要

新潟県信濃川低地軟弱地盤に 85 年前に打設された木杭の調査結果について報告する。

図-7.2.1 に，木杭採取位置近傍における地盤柱状図を示す。木杭は，コンクリート構造物の基礎として使用されていたもので，1925 年頃に打設された部分と，1963 年頃に構造物の増設にともない打設された部分がある。これより，木杭打設後の経過時間は 85 年および 47 年である。杭頭の出現深度は GL-1.9m であった。構造物は，調査時の 2010 年 2 月の時点で沈下や傾斜が生じたといった被害は認められていない。今回の木杭撤去工事は，道路拡幅に伴うもので，木杭基礎などに支障が生じていたわけではない。1925 年頃打設された木杭は，杭先端を N 値 10 前後の細砂層に置き主に摩擦杭的に機能し，1963 年頃打設された木杭は，杭先端を N 値 30 前後の中砂層に置き先端支持杭として機能していたものと考えられる。木杭の樹種は，マツ属(アカマツまたはクロマツと想定される)である。

(2) 採取した木杭の健全性

図-7.2.2 に採取した木杭の腐朽度評価結果（「木材保存剤の性能試験方法及び性能基準(JIS K1571:2004)」）を示す。木杭表面は，最大でも杭頭部で腐朽度 2（全面的に軽度の腐朽）程度であったが，断面内はいずれも極めて健全であった。ピロディン貫入試験においても，杭頭部から約 30cm で貫入量が 30mm 以上となっものがあった。しかしこの部分は，腐朽菌により木材が分解された様子は認められず，打設時の物理的な損傷または軟腐朽菌による損傷と考えられる。**図-7.2.3** に，縦圧縮試験結果を示す。杭頭部近くでやや他の深度と比較し小さい傾向があり，いずれも許容応力度 4MPa と湿潤状態の基準強度 8MPa を上回っていることがわかる。

(3) 木杭頭部の現場観察結果

1963 年頃に打設された木杭の基礎底盤直下の杭間地盤には，ヘドロが栗石の上に数 cm 堆積していた。一方，1925 年頃に施工された部分にはヘドロは堆積しておらず，この部分では木杭間地盤と基礎

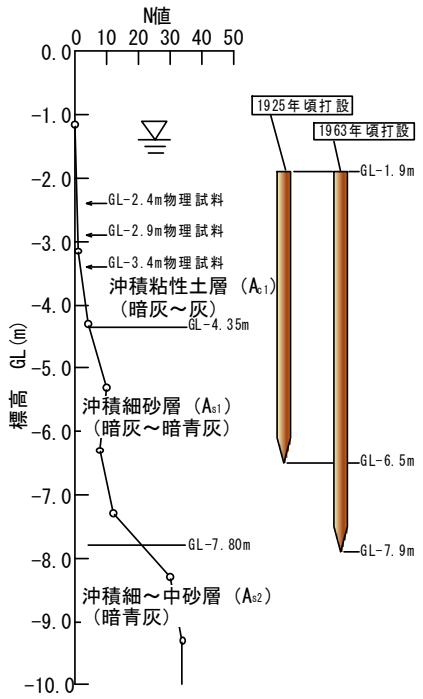
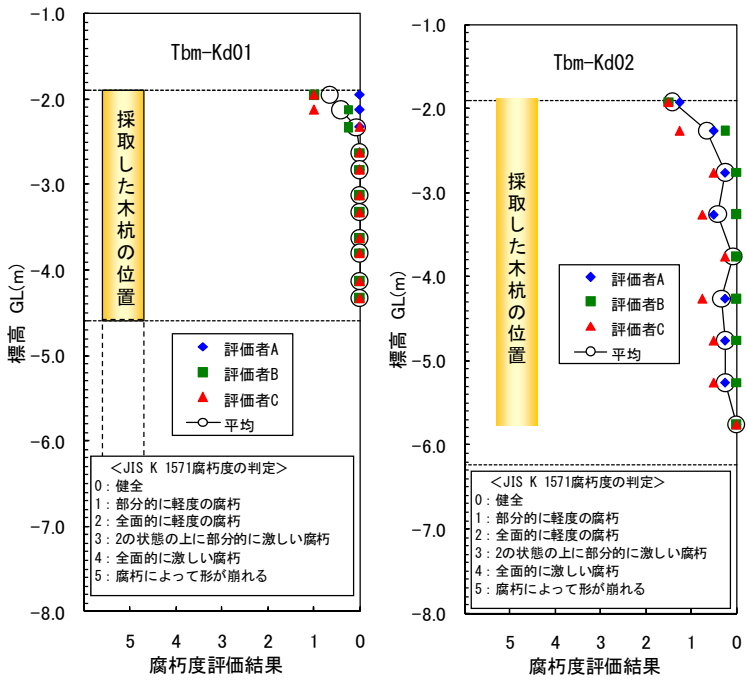
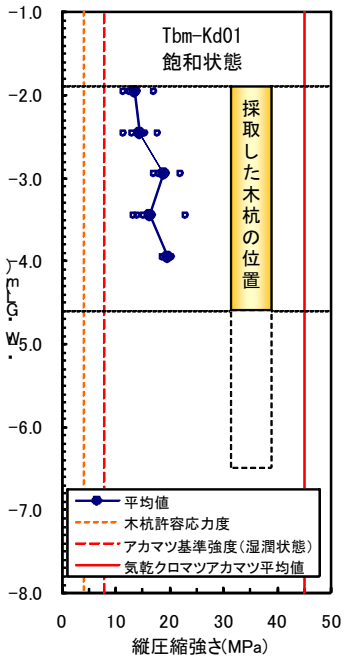


図-7.2.1　地盤柱状図と木杭の埋設深度

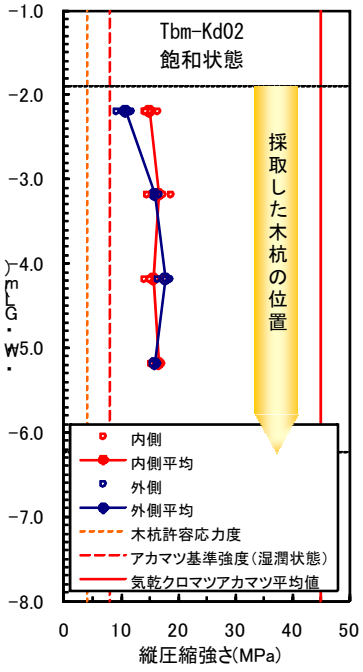


(a) Tbm-Kd01 の木杭　　(b) Tbm-Kd02 の木杭

図-7.2.2　腐朽度評価結果



(a) Kbm-Kd01 の木杭



(b) Tbm-Kd02 木杭

図-7.2.3　縦圧縮試験結果

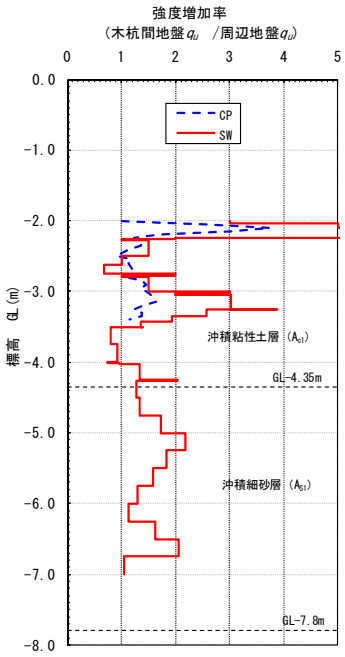


図-7.2.4　木杭間地盤の強度増加率の深度分布

底盤下面は密着していたと考えられる。1925 年頃に打設された木杭は主には摩擦杭として機能し，施工後軟弱地盤が若干沈下したが，木杭部も底盤と木杭と地盤が一体となって沈下したのに対し，その 38 年後に追加打設された 6m の木杭は，GL-7.8m 以深にあるやや締った砂層を支持層とする支持杭として機能しため，木杭間地盤の僅かな沈下に対して木杭と底盤は沈下することがなかったために，増設した基礎底盤部と木杭間地盤との間に隙間が生じ，隙間にヘドロが堆積したものと見られる。

このように，木杭が支持杭として機能する場合，基礎底盤と杭間地盤との間に隙間が形成される可能性が考えられ，このような場合，地下水が低下すると杭頭部に空気が入り込み，腐朽が進行しやすい環境が整う可能性がある。構造物基礎の木杭の頭部が腐朽している場合があるが，この要因として，木杭間地盤の沈下による木杭とその上に存在する剛な構造物との隙間が考えられる。

(4) 木杭間地盤の強度増加

木杭間と周辺地盤で，ポータブルコーン貫入試験（以降，CP 試験と呼ぶ）とスウェーデン式サンウンディング試験（以降，SW 試験と呼ぶ）を実施した。

図-7.2.4 に，強度増加率の深度分布を示す。ここで強度増加率とは，CP 試験結果および SW 試験結果から経験式より一軸圧縮強さを推定し，周辺地盤の値と木杭間地盤における値の比を求めたもので，木杭を集団で打設した場合の木杭間地盤の強度増加率を示すものである。CP 試験結果も SW 試験結果も同様な傾向を示し，一部を除き全体的に木杭間地盤の強度が増加していることがわかる。GL-4.35～-7.8m の沖積細砂層ではばらつきは少なく，おおよそ 1.3～2 倍程度で平均的には 1.5 倍の増加となった。以上より，木杭を集団で打設した基礎の場合，杭間隔が短いことや木杭の吸水作用などの影響で，木杭間地盤の強度の増加が見込める可能性が高いことがわかる。

参考文献

1) 沼田淳紀，中村裕昭，本山寛，水谷羊介，濱田政則：85 年前に軟弱地盤に構築された木杭基礎の調査，木材利用研究論文報告集 9，土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会，pp.9-16，2010.8.

7.3　地中海洋での木材利用における設計法の変遷と現在の設計法（鉄道分野）（辻井　修）

表-7.3.1 は国鉄時代～現在に至るまでの鉄道基礎構造物に関する主な技術基準[1)2)3)4)]の変遷と木杭に関する記載の一覧である。「木材資源利用合理化方策」が閣議決定された 1955 年（昭和 30 年）1 月 21 日以後，次のような変遷を辿る。

1961 年（昭和 36 年）制定資料：基礎構造物の設計に関する規準ではなく，若手技術者の急速な養成と全般的な能率向上を目的として作成された工事設計資料集である。木杭に関しては以下のような記述がある。

「在来は杭打基礎といえば，ほとんどすべてが木杭打ち基礎であった。しかし現在では，既成コンクリート杭が目ざましく進出してきている。・・・木杭の特質としては次のような点がある。a．資材の入手運搬が容易なこと　b．打ち込みが比較的容易なこと　c．常水面以下では相当の耐久力をもつこと・・・」

1967 年（昭和 42 年）制定資料：日本国有鉄道における基礎構造物の設計に関する規準として最初にまとめられたものである。杭基礎設計の章の冒頭で以下のような記述があり，木杭が使用されていた様子が伺われる。

「・・・打込みグイは木グイ，プレキャストコンクリートグイ，または鋼グイを打込んで施工するもので・・・」

「第 27 条　木グイ」と「第 64 条　木グイの施工」の項目があり，「木グイは全長が常に地下水面下にある場合をのぞいて，原則としてこれを用いてはならない。」「木グイは割れなどの欠陥のない生松丸太の樹皮を除いたもので元口から末口まで一様に径が変化し，樹皮を除いた末口は 12cm 以上とする。」「木グイ菌害による腐朽または虫害に対しては，実状に応じて適切な処置を施さなければならない。」「クイ先端には適切なる角度をつけ，また必要により沓にて防護すること。またクイ頭部には損傷を防ぐためのキャップなどを用いて防護すること。」「継グイを用いる場合は，必要な強度を得られる設計とし，一群のクイは同一断面で継がないこと。」などの記述がある。

1974 年（昭和 49 年）制定資料：土木構造物の設計に関する規準類の体系的な整備が進められ，その一部を構成するものとして制定されたものである。上述した技術基準の中で，木杭に関する記述が最も充実している。

基礎形式選定表に木ぐいが記載されており，木杭が使用されていた様子が伺われる。「第 29 条　基準の許容応力度」「第 61 条　くいの設計断面」「第 88 条　木ぐい」の項目があり，「木ぐいは，全長が常に地下水面以下にあるように設計しなければならない。」「木ぐいは，末口 12cm 以上としなければならない。」「くいの先端角度は，45°～60°とし，砂レキ質の地盤に用いる場合には，保護金具をつけるものとする。」「木ぐいには，原則として，継手を用いてはならない。」「木ぐいが菌又は虫により被害をうけるおそれがある場合には，その対策を講じなければならない。」などの記述がある。

1986 年（昭和 61 年）制定資料：日本国有鉄道の委託を受け，土木学会がとりまとめたものである。木杭についての記述は完全に姿を消す。

以上のように，1986 年に木杭に関する記述は姿を消した。この理由は今後調査すべき事項である。

制定年	基準の名称	木杭設計に関する記載
1961年	工事設計資料便覧	・杭打基礎のほとんどすべてが木杭打ち基礎との記載あり
1967年	土構造物の設計施工指針(案)	・「クイ基礎の設計」の章に「木グイ」の項あり ・「クイ基礎の施工」の章に「木グイ」の節あり
1974年	建造物設計標準解説 基礎構造物及び抗土圧構造物	・「設計計画の基本方針」の項で記述 ・「基準の許容応力度」の項で記述 ・「くいの設計断面」の項で記述 ・「くいく体の設計」の章に「木ぐい」の項あり
1986年	国鉄建造物設計標準解説 －基礎構造物　抗土圧構造物－	・指針から木ぐいが除外

参考文献

1) 日本国有鉄道　東京工事局：工事設計資料便覧　第 2 編　諸表・設計・施工，1961.10.

2) 日本国有鉄道建設局：土構造物の設計施工指針（案），1967.12.

3) 日本鉄道施設協会：建造物設計標準解説　基礎構造物及び抗土圧構造物　日本国有鉄道編，1974.6.

4) （社）土木学会：国鉄建造物設計標準解説－基礎構造物　抗土圧構造物－，1986.3.

7.4　木材の腐朽および虫害

7.4.1　地中における木材の腐朽に関する知見[1)]（沼田淳紀，中村裕昭，桃原郁夫，本山　寛）

(1) はじめに

木材を地中で使用した場合には，明らかに気中とは環境が異なる。地中では，風雪に曝されることがない，太陽光に曝されない，温度が極めて安定している，空気量が少ない，地下水が存在するなどである。木材は，薬剤などない古い時代から使用されており，杭と言えばかつては洋の東西を問わず木杭であった。木材を地中で用いる場合の利点の一つは，地球温暖化防止対策として炭素貯蔵効果や省エネ効果が期待できることである。さらに，セメント改良などでは地下水汚染のリスクがあるが，今後使用する木材ではそれらへの配慮が可能で，工事現場周辺の地域住民の合意を得やすいという点も重要な利点である。この点を考慮すると，保存処理を実施する必要のないところではこれを使用しないことが大切であり，地盤の特性を十分考慮に入れこれに対する考え方を体系化する必要がある。そこで，本年度は，地中における腐朽について今までに得られている知見を示す。今後，さらなるデータを加え，地中における木材の腐朽に対する考え方をまとめる予定である。

(2) 調査方法

過去の事例調査と腐朽促進試験の両者により検討した。具体的には，過去の文献調査による多数の事例の収集分析，実際の現場における木材掘出し調査，さらに，種々の試験条件を設定した木材腐朽促進試験である。

(3) 文献調査結果

近年地中や河川などに使われていた木材について，52 地点のデータを収集し分析した（同一地点であっても樹種が異なる場合は 2 地点とした)。この結果，地下水位変動域以浅では，健全であったものが変動域上限以浅で 6 割（9 件）と変動域で 7 割（14 件）であり，残りが腐朽したものである。このように，地下水位変動域以浅では，健全である場合が多いが，腐朽する場合もある。一方，調査した事例の範囲では地下水位変動域下限以深では，100%（28 件）が健全であった。

また，地下水位変動域下限以深で健全であった樹種は，カラマツ，アカマツ，ベイマツを含めた松杭が 5 割以上を占め，スギも 3 割近く存在し 86 年経過しているものもあった。地下水位以深では空気が遮断されるため，このような条件下であれば，樹種に関係なく，100 年を遥かに超える長期間耐久性を維持することが容易に推測でき，そのような歴史的構造物も存在する。

(4) 現地における木材掘出し調査結果

構造物解体工事などでかつて利用されていた木杭が見つかる場合があり，このような地点において木杭の掘出し調査を実施した。

地際部約 1m に防腐剤を塗布した色丹カラマツの 8m の木柵の事例では，GL-1.0 以深は極めて健全であったが，これより上では，地盤面付近で外周面に腐朽が目立ち，上に行くほどその腐朽の程度が増し，地際付近では防腐剤を塗布しても 26 年も経てばその効力は失われてしまうことがわかった。

福井市足羽川に架けられていた旧木田橋に用いられていた河川水面下にあったスギによる木杭は，57 年経過していたが極めて健全であった。木杭といえば一般に松杭といわれるが，このように水中下にある木材はスギであっても，松杭などと同様に高い耐久性を有することがわかった。

霞ヶ関で採取した 115～116 年経過したと推定されるマツ属の木杭は，地下水位以浅であったが表面数 mm 程度に劣化が一部認められた程度であった。木杭内部の大部分は健全であり，地下水位以浅であっても，地山に打設された場合においては高い耐久性を有する可能性が高い。

82 年経過後の高架橋基礎に使用されていたマツ属とカラマツ属の木杭は，フーチング直下の木杭頭

部で一部劣化の激しいものがあったが, 40cm 以深では健全であった。腐朽が生じた箇所は，埋め戻し部分であり，フーチング直下に存在する僅かな亀裂や隙間が腐朽を促進させた可能性が考えられた。その他の地点で，フーチング直下に隙間が生じていた事例が確認された。

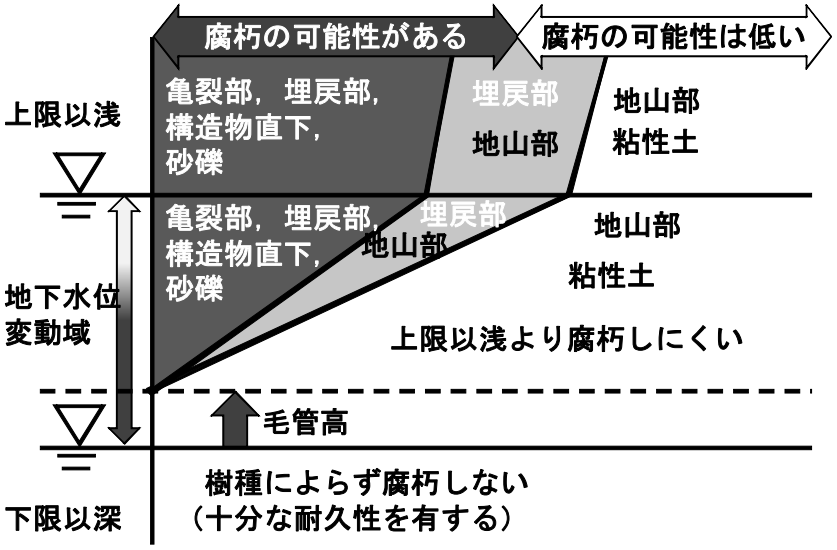


図-7.4.1.1　地中における木材の腐朽の可能性と地盤環境

(5) 異なった土質で木材を覆った腐朽促進試験

大型の土槽に，木材腐朽を促進する土壌で模型地盤を作製し，そこにスギとカラマツの丸太を設置し土質特性および地下水位と腐朽の関係を検討した。

2 年経過後の結果によれば，地下水位変動域下限以深は木材は 100%健全であり，さらに，地下水位変動域以深ではほとんど強度の低下は認められなかった。一方, 地下水位変動域上限以浅においては，木材を粘土で覆った場合を除き，無対策や砂で覆った場合には，カラマツの砂で 70%程度に，また，スギの砂と無対策では 50%程度以下にまで強度が低下することがわかった。

(6) 地中における木材の腐朽に関する知見のまとめ（図-7.4.1.1）

a) 地中の地下水位変動域上限以浅では，木材は腐朽する場合がある。

b) 地中の地下水位変動域では，木材は腐朽する場合がある。しかしながら，大型土槽を用いた腐朽促進試験では，この領域は一部強度低下が認められるものの，それ以外は腐朽は認められず，地下水位変動域上限以浅よりも腐朽しにくいといえる。

c) 地下水位変動域下限以深では，空気が存在しないので木材は腐朽せず，このような環境下であれば木材は 100 年を優に超え腐朽が進行せず高い耐久性を有する。

d) 地下水位変動域下限以深で腐朽の進行が著しく低下し木材が高い耐久性を有するのは，スギについても同様であり，樹種によらない。

e) 地下水位変動域上限以浅でも，地山部に打設された場合は地盤が安定しているので空気が浸入しにくく，このような環境では木材は腐朽の進行が著しく低下し耐久性を向上させる可能性がある。

f) 地下水位変動域以浅においては，埋戻し地盤や亀裂があるような地盤では空気が入りやすい環境ができるので，腐朽が生じやすくなる可能性がある。

g) 構造物の底盤直下では，先端支持杭などの場合，地盤が沈下すると構造物底盤と杭間地盤との間に隙間が生じることが考えられ，地下水位変動域以浅においては，このような場合木材が腐朽する可能性が考えられる。

h) 地下水位変動域以浅においても，木材が粘土で完全に覆われている場合には，腐朽の進行を著しく低下させ，耐久性を向上させる。

参考文献

1) 沼田淳紀，久保光，桃原郁夫，吉田雅穂，濱田政則，本山寛：地中における木材の耐久性について，木材利用シンポジウム in 福井 講演概要集，pp.25-32，2010.12.

7.4.2　地盤に対する耐久性実験事例（水谷羊介，手塚大介）

(1)はじめに

我が国における木造建築物の寿命は，腐朽菌やシロアリによる木材劣化などの被害がなければ100年単位であることは法隆寺などの例に見ることができる[1)]。古来，日本人は木材の性質をよく理解しており，適材適所にいろいろな木材を使い分け文化を作り，木材の寿命を延ばす工夫をしてきた。しかしながら，近年では，適材適所に木材を使い分けることは一般に困難になってきている。特に地盤補強に関して見てみると，近年ではコンクリートや鋼材で作成された既製杭の進歩により木杭はほとんど用いられなくなってきている。しかしながら，木杭はコンクリート等の人工材料に比較し，環境的に非常に優れていることや比重も小さいことを考えると現在においてもとても有効な工法になる可能性も考えられる。また，木杭に関しては一番問題となるのは腐朽及びシロアリ等の被害を大きく受けることである。そこで本研究では，現在の防腐技術による腐朽対策の提案及び木杭の各種載荷試験結果を報告する。特に本報では，木材の腐朽に関する実験結果と今後実施する予定である木杭の実大腐朽試験に関して報告する。

(2)木杭の野外耐久試験

a)概要

近年では，木材の耐久性が求められる部分においては防腐・防蟻剤等の薬剤を用いることにより木杭の劣化を防止している。この防腐・防蟻技術は木材が腐朽やシロアリ等の影響を受ける部分においては比較的古くから用いられている。また，このような防腐・防蟻処理を行うことは一方で木材利用技術の最も基本的な方法である。本節は木杭の耐久性についての一考察である。

b)試験方法

本試験は，愛知県知多郡美浜町にある社有野外試験場（**写真**-7.4.2.1）にて，スギの辺材（柾目）を3cm×2cm×45cmに製材した供試体を地中部に約22.5cm貫入した状況（**図**-7.4.2.1）で1993年5月31日～2006年2月9日までの約15年間に渡り暴露状態で放置後，供試体の腐朽状況等を比較したものである。試験地の近隣における地盤データを**図**-7.4.2.2に示す。

供試体総数は40体であり，無処理の供試体が20体，残りの20体は銅系の防腐薬剤を加圧注入加工（以後「処理供試体」という）したものである。木材の劣化状況はピロディン試験を実施して評価を

写真-7.4.2.1　試験地及び試験状況

写真-7.4.2.2　Pilodyn試験機

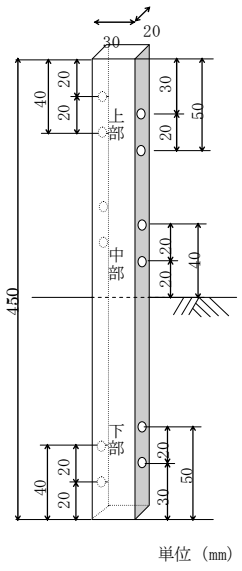


図-7.4.2.1　辺材の形状と測定箇所

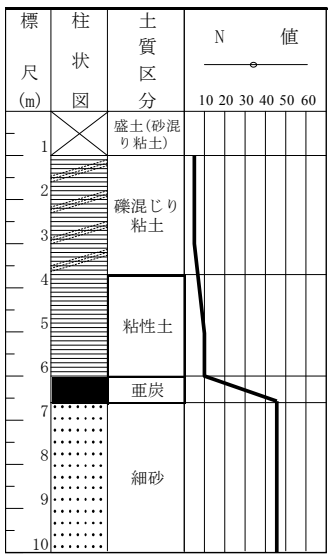


図-7.4.2.2　試験地の近隣における地盤データ

行った。ピロディン試験とは，ストライカーピン径 2.5mm，ピン長 42mm のスイス PROCEQ 社製 Pilodyn を使用し，ストライカーピンを供試体の材面に対して直角に貫入するように設置し，その打ち込み量を Pd 値として測定を行った。また，PROCEQ 社製 Pilodyn を**写真**-7.4.2.2 に示す。

c)試験結果

写真-7.4.2.3 は無処理供試体であるが，無処理供試体に関しては早いもので 1 年，遅くても 3 年程度で朽ち果ててしまうが，処理供試体との比較のため，継続的に補給交換している。そのため写真撮影時の設置暴露経過期間は処理杭と単純に比較できないものであるが，写真は試験前，経過 1 年，経過 4 年目の状況を示す。**写真**-7.4.2.4 は処理供試体であり，試験前，経過 5 年 2 ヶ月，経過 12 年 7 ヶ月の状況を示す。無処理の杭は中部（地際部）付近から劣化が進行し，1 年後には中部から下部にかけ劣化が進行しているのがわかる。一方，処理した杭は，色褪は確認されるが，中部（地中部），下部共に断面の欠損及び劣化は確認されなかった。また，前述の理由から無処理供試体と処理供試体の撮影時の経過年数は異なっているが，**写真**-7.4.2.3 一番右と**写真**-7.4.2.4 中央部では経過年数が 4 年と 5 年程度であり，比較的経過年数が近いがお互いを比較してみると無処理供試体と処理供試体の腐朽状況は一目瞭然である。

図-7.4.2.3 に示すように，Pd 値は無処理杭で頭部（暴露部）が 15mm～30mm 以上，中部が 21mm～30mm 以上，下部 30mm 以上（腐食が激しいため測定不能）に分布している。それに対し，処理杭は，頭部が 15mm～23mm，中部が 15mm～30mm，下部 11mm～26mm に分布している。また，参考までに室内で保管していた同供試材（気乾状態）の測定結果も追記した。

表-7.4.2.1 に Pd 値の平均値と標準偏差を頭部，中部および下部に分けて示す。処理杭における平均値および標準偏差をみてみると頭部，中部，下部の 3 水準ともほぼ同等であることがわかる。

1993.5（0 ヶ月） 1993.7（経過 1 年） 2006.2（経過 4 年）

写真-7.4.2.3　撮影時期と経過年数（無処理杭）

1993.5（0 ヶ月） 1993.7(5 年 2 ヶ月) 2006.2(12 年 8 ヶ月)

写真-7.4.2.4　撮影時期と経過年数（処理杭）

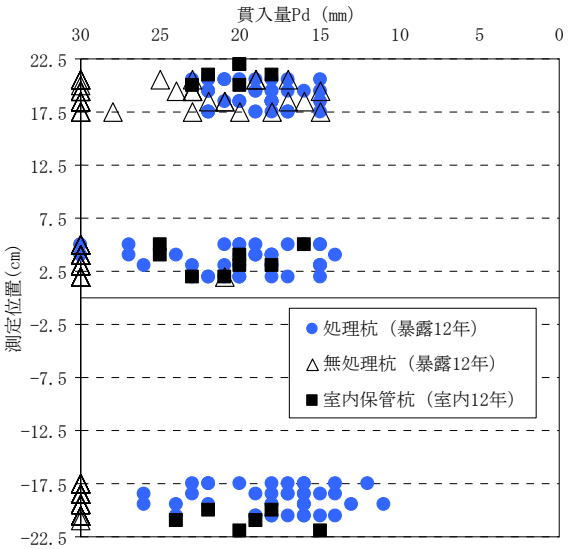


図-7.4.2.3　Pilodyn 試験結果

表-7.4.2.1　Pd 値の標準偏差

加工方法	測定部位	n	mean	s.d.
無処理杭	頭部	40	25.3	5.43
	中部	—	30＞	—
	下部	—	30＞	—
処理杭	頭部	40	19.0	2.32
	中部	40	19.9	4.03
	下部	40	17.9	3.67

n：試験箇所数，mean：平均値，s.d.：標準偏差

d) 実大の木杭を用いた腐朽状況確認方法の提案

一般的に木材の保存剤に関する評価方法としては「木材保存剤の性能試験方法及び性能基準（JIS K 1571）」に規定されており，試験片は 3cm×3cm×35cm の形状のものを用いて腐朽度を評価している（詳細は規格書を参照のこと）。しかしながら，木杭に対して防腐処理を行った場合の性能評価は過去に実施された例がなく，木杭に対しても本評価方法が適用できるか否かは定かではない。そこで，筆者らは同一敷地内で「木材保存剤の性能試験方法及び性能基準（JIS K 1571）」で規定されている試験方法を実施するのと同時に実杭を用いた試験を実施することを計画している（**写真**-7.4.2.5～7）。木杭はφ160mm 程度のものを使用し，GL.-2.0 程度まで貫入し，50cm 程度地上に露出させ，所定経過年数に達した際に一軸圧縮強度により要求性能を満たしているかの評価を実施する。本試験は長期間を要すると考えられるが，木杭の性能を評価するためにはとても重要な経過計測と考える。

写真-7.4.2.5　地域別における観察
（上段：郡山試験地，下段：鹿児島試験地）

写真-7.4.2.6　樹種別・無処理と代表的な薬剤処理杭等

常水面エリア　　変動エリア　　乾燥エリア

写真-7.4.2.7　水位面の観察

(3) まとめ

本実験では既存の試験方法により防腐処理杭の可能性を示した。今後，以上に示したような試験を実施することによりさらに詳細に木杭の耐久性について検討していく予定である。

参考文献

1）水谷羊介，中村博，増田貴之，中島憲一：木杭の部材および支持力特性（その 1），日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），pp.373-374，2007.8

7.4.3　海洋における耐久性実験事例（山田昌郎，森　満範）

海洋での木材の用途として，木造船，桟橋，魚礁などがある。一般的な樹種の無処理木材を海中で使用すると，短期間で激しい劣化を生じる。この劣化の主な原因は，フナクイムシやキクイムシなど，海虫類と呼ばれる生物による食害である。

フナクイムシは二枚貝の一種である。直径 0.3mm 程度の幼生が海中の木材に付着後，貝殻で木材内部に穿孔しつつ成長し，貝殻の直径は 6mm 程度，体長は 100mm 以上にもなる。

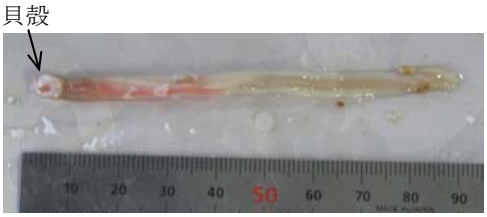
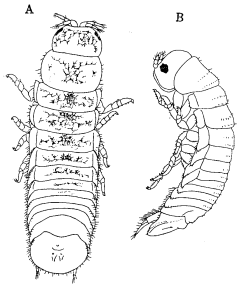


写真-7.4.3.1 フナクイムシ

キクイムシはワラジムシ目（等脚類）の甲殻類であり，体長約 3mm，体幅約 1mm である。海中の木材の表面付近に穿孔する。



A：背面，　B：側面

図-7.4.3.1 キクイムシ [1)]

これらの海虫類は木材を食料として利用しており，海中の流木等の分解者として生態系上重要であるが，桟橋の杭などの構造部材として木材を利用する上ではその防除が必要である。海虫対策としては，薬剤の注入処理や，物理的な被覆などがある。これらの対策の効果に関して最近実施された耐久性実験を，以下に 2 例紹介した。

(1) 北海道の海洋環境下における保存処理木材の海虫抵抗性実験 [2)]

この実験では，銅・ホウ酸・アゾール系木材保存剤（CUAZ-1）あるいは第四級アンモニウム化合物系木材保存剤（AAC-1）で処理したスギおよびブナを北海道小樽市の忍路湾内に設置し，52 ヶ月間の海中暴露試験を行った。

写真-7.4.3.2　治具に固定した試験体

a) 実験方法

1.試験体の設置：**表**-7.4.3.1 に試験体の概要を示した。CuAz あるいは AAC を加圧注入したスギおよびブナの試験体（20（R）×100（T）×200（L）mm）を，ステンレスとコンクリートからなる固定治具に，1 基あたり 80 体ずつ取り付けた（**写真**-7.4.3.2）。合計 5 基の固定治具を，小樽市近郊にある忍路湾内の水深 2～3m の海中に設置した（最長 52 ヶ月）。各樹種とも無処理材をコントロールとし，繰り返しは 5（試験期間 52 ヶ月のみ 10）とした。所定期間ごとに試験体を回収し，以下の評価を行った。

表-7.4.3.1　試験体の概要

木材保存剤	記号	スギ			ブナ		
		有効成分濃度	注入量	見かけの吸収量	有効成分濃度	注入量	見かけの吸収量
		（％）	(kg/m^3)	(kg/m^3)	（％）	(kg/m^3)	(kg/m^3)
CuAz	CuAz L	0.69	808	5.6	0.69	639	4.4
	CuAz H	1.38	824	11.4	1.38	646	8.9
AAC	AAC L	1.60	795	12.7	1.60	624	10.0
	AAC H	3.20	808	25.9	3.20	612	19.6

2. 海虫による食害状況の評価：試験体の食害状況を把握するために，質量減少率および試験体中央部における断面の欠損状況を評価した。また，目視による外観観察と軟X線による内部観察を実施し，これらの結果を併せて食害状況を判定した。目視による外観観察では，各試験体の被害状況を 5 段階で評価した。また，試験体内部の観察は，軟 X 線発生装置（SOFTEX CMB-2 型，ソフテックス株式会社）を用いた。

3. 保存剤残存量の評価：回収した各試験体の中央部から分析用試験片を採取し，各保存剤の残存量を測定した。

b) 実験結果

1.食害状況：質量減少率の経時変化を**図-7.4.3.2** に示した。無処理の試験体は，いずれも設置当初からフナクイムシおよびキクイムシの激しい食害を受け（**写真-7.4.3.3**），設置後 24 ヶ月以降に崩壊した。質量減少率については，スギに比べてブナの方が若干高い値で推移した。スギの CuAz 処理試験体では，52 ヶ月を経過した段階で作業液濃度の違いによる差異は無く，質量減少率もほとんど変化はみられなかった。しかし，CuAz L の一部の試験体に，フナクイムシによるごく軽微な食害が認められた。一方，ブナの CuAz 処理試験体では，いずれも時間の経過に伴って質量減少率の増加が認められ， CuAz L では 24 ヶ月以降，CuAz H では 35 ヶ月以降の増加が顕著であった。AAC 処理試験体では，いずれの樹種も時間が経過するに従って質量減少率が増加する傾向がみられ，AAC L では 24 ヶ月以降，AAC H では 35 ヶ月以降の質量減少が顕著であった。

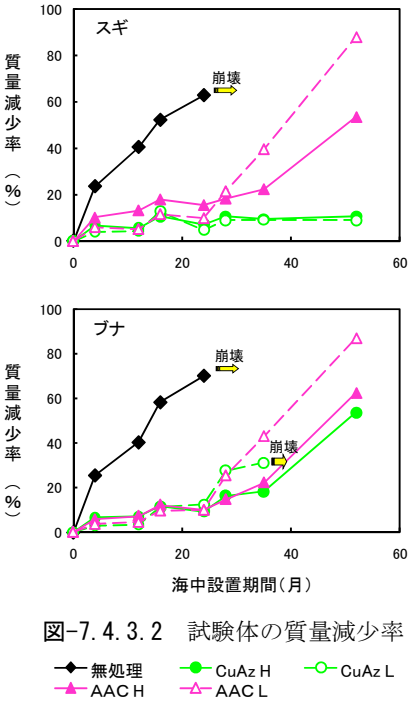


図-7.4.3.2 試験体の質量減少率

保存剤の種類別に食害の傾向を見ると，CuAz ではフナクイムシおよびキクイムシの食害に明確な違いは認められなかった。しかし，AAC についてはいずれの樹種に処理した場合でもフナクイムシによる被害は確認されず，フナクイムシに対して効力が高いことが示唆された。

海虫の食害を受けた試験体では，設置後 0～4，12～16，そして 24～28 ヶ月の間の質量減少が顕著であった。これらの期間は 7 月から 10 月までの 4 ヶ月間に相当し，忍路湾の水温が 15℃以上になる期間，すなわち海虫の活動が活発になる時期である。そのため，他の期間に比べて質量減少が大きくなったと考えられる。

保存処理試験体の中央部における断面残存率の経時変化を**図-7.4.3.3** に示した。食害をほとんど受けていなかったスギの CuAz 処理では残存断面積の変化がほとんどみられなかったが，それ以外の試験体では時間の経過に伴い断面積が減少していった。試験体の外観を被害度で評価した結果についても，質量減少率や断面残存率と同様の傾向がみられた。

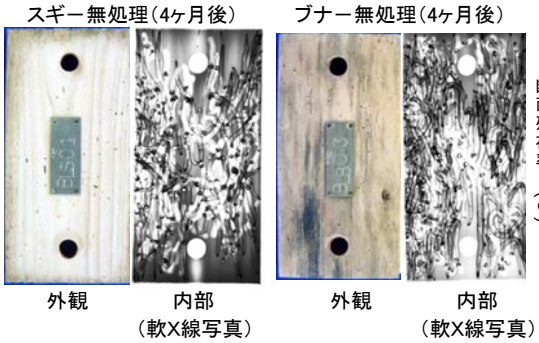


写真-7.4.3.3 食害を受けた無処理試験体

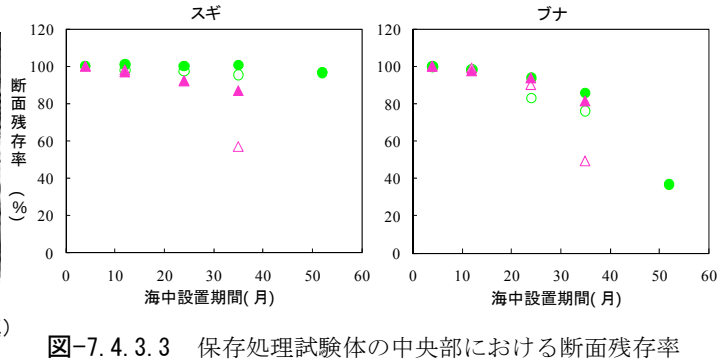


図-7.4.3.3 保存処理試験体の中央部における断面残存率

凡例：**図-7.4.3.2** 参照

以上の結果から，CuAz 処理したスギについては，北海道小樽市忍路湾内と同様な海洋環境下において，CuAz の初期吸収量が 約 11 kg/m^3 以上で少なくとも 52 ヶ月間は高い海虫抵抗性を維持することができ，また初期吸収量が約 6 kg/m^3 程度であっても海虫による食害をごく軽微なものに抑えることができると考えられた。

2.保存剤残存量：各試験体の中央部における CuAz 残存率の経時変化を**図-7.4.3.4** に示した。海中に設置後 24 ヶ月までは CuAz の溶脱が進行し，24 ヶ月を経過した時点での残存率は 50～70%程度まで低下したが，それ以降は顕著な残存率の低下はみられなかった。残存率の低下は，いずれもほぼ同様の傾向を示したことから，スギとブナでは CuAz の溶脱率に違いが無いこと，CuAz の初期濃度が高いほど溶脱量が多くなることなどが推察された。

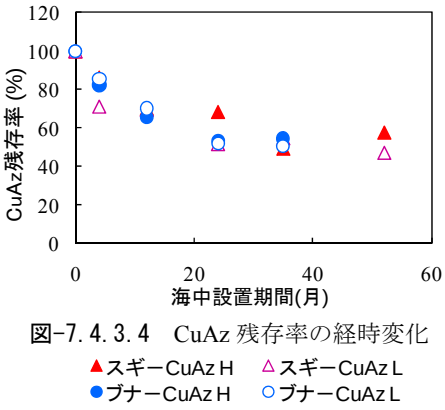


図-7.4.3.4 CuAz 残存率の経時変化

(2) 横須賀の海洋環境下における PE（ポリエチレン）メッシュ被覆木材の海虫抵抗性実験 [3)]

この実験では，目開きを変化させた PE メッシュで被覆したスギ，ベイマツ，ナラを神奈川県横須賀市の久里浜湾内に設置し，5 ヶ月間の海中暴露試験を行った。

a) 実験方法

1.試験体：直径 5cm，長さ 140cm のスギ，ベイマツ，ナラの丸棒各 3 本からそれぞれ長さ 10cm の円柱試験体を 13 個採取して実験に用いた。13 個の試験体を無作為に海水浸漬用 7 個，水道水浸漬用 3 個，気中保管用 3 個に振り分けた。全試験体の気乾質量と寸法を測定後，海水浸漬用と水道水浸漬用の試験体を水道水に浸漬し，浸漬 3 日後，海水浸漬用の試験体に PE メッシュ被覆を施した。

海水浸漬用試験体各 7 個のうち，1 個は無被覆とし，他の 6 個は PE メッシュ 30,40,50,70,100,150 で被覆した。各メッシュの目開きを**表-7.4.3.2** に示す。実体顕微鏡（倍率：100 倍）で観察するとメッシュの目開きは長方形であり，その長辺と短辺の長さを顕微鏡のスケール（最小目盛 0.01mm）で実測した。試験体の側面に 10cm×17.5cm の PE メッシュを巻き，木口面を 8cm×8cm の PE メッシュで被覆し，輪ゴム（オーバンド No.170，折径 6cm，切幅 3mm）5 本（中央 1 本，両端各 2 本）で留めた。接着剤は使用していない。PE メッシュ以外の条件をなるべく同じにするため，無被覆の試験体にも輪ゴムを同様に巻いた。

表-7.4.3.2 海中浸漬試験体を被覆した PE メッシュの種類

試験体記号	PE メッシュ	目開き(mm)（カタログ値）	目開き(mm)（実測値）	
			長辺	短辺
S1	なし	—	—	—
S2	PE30	0.760	0.80	0.75
S3	PE40	0.526	0.54	0.50
S4	PE50	0.407	0.40	0.38
S5	PE70	0.292	0.30	0.26
S6	PE100	0.224	0.25	0.16
S7	PE150	0.143	0.15	0.12

2.海水浸漬：プラスチック製のコンテナ 1 個当たり，7 個×3 樹種＝21 個の試験体を取り付けた（**写真-7.4.3.4**）。計 3 個のコンテナを 2010 年 7 月 8, 12, 13 日に横須賀にある港湾空港技術研究所の海水循環水槽の海水中に浸漬した。この水槽には研究所前面の久里浜湾の海水がポンプで 1 日 2 回給排水される。水槽の平面寸法は 4m×27m，最大深さは 3m である。

3.試験体の回収，圧縮載荷試験，質量測定：3 個のコンテナの内の 1 個を，浸漬 5 ヶ月後の 2010 年 12 月 6 日に回収した。試験体からメッシュを取り外し，質量を測定後，圧縮載荷試験を行った。載荷には油圧式試験機を使用し，圧縮降伏荷重を荷重計で測定した。圧縮降伏荷重を，浸漬前の気乾状態での直径から求めた断面積で割った値を，圧縮強度とした。対応する水道水中試験体と気中試験体についても同様に質量と圧縮降伏荷重を測定し，圧縮強度を求めた。

その後，各試験体を 103℃で恒量になるまで乾燥し，その質量を浸

写真-7.4.3.4 コンテナへの試験体の配置（上からナラ，ベイマツ，スギ。左から S3, S4, S1, S6, S5, S7, S2。写真の左側を上にして海中に浸漬した。）

漬後の全乾質量とした。気中保管試験体の気乾質量と全乾質量の比を用いて，各試験体の浸漬前の気乾質量から浸漬前の全乾質量を推定し，質量減少率を計算した。乾燥後，中間断面とその両側 2.5cm の断面の計 3 断面で試験体を切断し，内部の食害状況を観察した。

b)実験結果

回収して PE メッシュを取り外した試験体の外観を**写真-7.4.3.5** に示す。軟らかい針葉樹でキクイムシ食害を受けやすい [4] スギは，無被覆では激しいキクイムシ食害を受けており，PE メッシュ 30,40 被覆でも食害を受けているが，PE メッシュ 50 以上ではキクイムシ食害をほとんど受けていない。

図-7.4.3.5 に海水浸漬試験体の圧縮強度減少率を，**図-7.4.3.6** に質量減少率を示す。圧縮強度減少率は，対応する水道水中試験体 3 個の圧縮強度の平均値を基準にした値である。PE100, 150 被覆試験体では，圧縮強度と質量減少率が水道水中試験体とほぼ同じであった。

写真-7.4.3.5　海水浸漬後の試験体
（上からスギ，ベイマツ，ナラ；
左から無被覆, PE30, PE40,
PE50, PE70, PE100, PE150 被覆）

海水浸漬試験体の中間断面を写真-7.4.3.6 に示す。いずれの樹種でも無被覆と PE30,40,50,70 被覆ではフナクイムシ食害が生じたが，PE100,150 被覆では生じなかった。メッシュがフナクイムシ幼生の木材への付着を防止し，食害を防いだ結果，質量と圧縮強度の減少を防ぐことができたと考えられる。

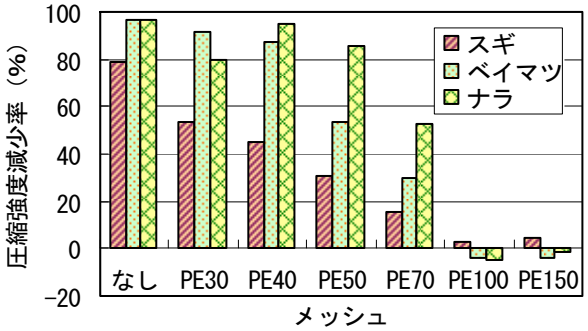


図-7.4.3.5　海水浸漬試験体の圧縮強度減少率

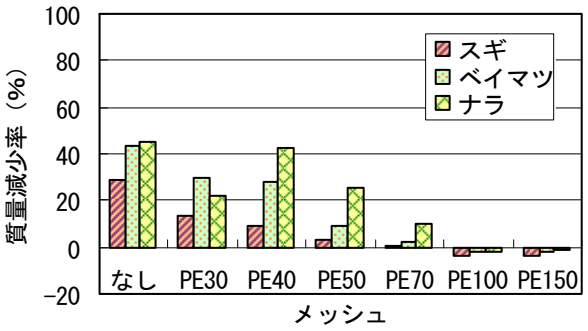


図-7.4.3.6　海水浸漬試験体の質量減少率

参考文献

1）岡田要編:木船木材蝕害とその防除，日本学術振興会，1958.3

2）森満範，宮内輝久：北海道の海洋環境下における保存処理木材の海虫抵抗性，第 60 回日本木材学会大会研究発表要旨集 CD-ROM，2010.3

3）山田昌郎，森満範：PE メッシュ被覆による木材の海虫害防除効果－横須賀での 5 ヶ月間の海水浸漬実験結果－，第 61 回日本木材学会大会研究発表要旨集 CD-ROM，2011.3

4）山田昌郎：海虫による木材の食害速度と樹種の関係について，土木学会第 65 回年次学術講演会概要集 CD-ROM，CS5-015，pp.29-30, 2010.9

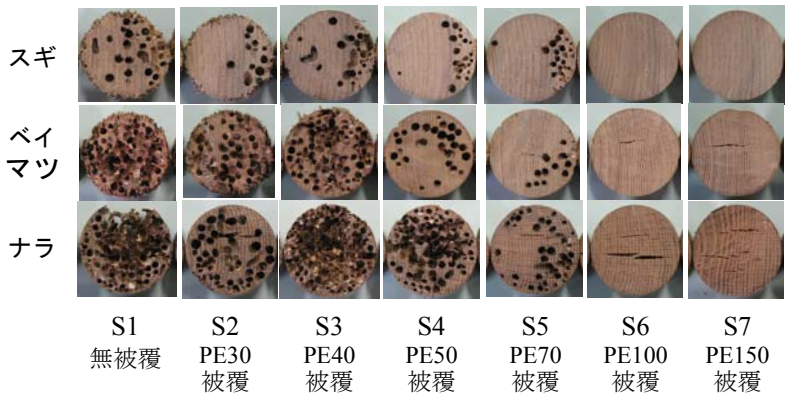


写真-7.4.3.6　海水浸漬試験体の切断面

7.5　地中海洋における新しい木材利用の取り組み

軟弱地盤対策の地盤補強材として丸太を使用した場合，**図-7.5.1** に示す課題が想定される。まず，劣化に対する課題と力学的な課題とに分類できる。地盤中の地下水位以深で丸太を打設すれば，丸太は腐朽や虫害が生じることはないが，それ以浅に丸太頭部が位置していた場合，腐朽が生じる場合がある。これがどのような地盤条件なのか，腐朽が生じる場合どのような設計をすべきか，腐朽を許容しない場合はどのような対策をすべきか等を明らかにする必要がある。

力学的課題には，常時の沈下変形が問題となる軟弱粘性土地盤に対する課題と，地震時に液状化が問題となる緩い砂地盤に対する課題に分類できる。軟弱粘性土地盤に対しては，丸太単体と地盤との摩擦抵抗に期待する周面支持力の効果や，丸太を多数打設することによる丸太と地盤との複合地盤としての効果について明らかにする必要がある。また，緩い砂地盤に対しては，丸太打設により地盤の液状化そのものの発生を低減させる効果や，液状化がある程度発生しても丸太と地盤との複合地盤による剛性の強化により液状化時の地盤の流動化を抑制する効果について明らかにする必要がある。

本節では，この中でも最も基本となる，常時の軟弱地盤対策に対する単杭としての周面支持力の効果について 7.5.1 に「人工軟弱地盤における丸太打設実験」，7.5.2 に「泥炭地における木杭打設実験」，7.5.3 に「軟弱粘性土地盤における木杭打設実験」として報告する。また，液状化に対する抑止効果の基礎的研究として，7.5.4 に「丸太を用いた液状化対策に関する模型振動実験」，7.5.5 に「間伐材打設による土槽を用いた液状化対策の検討」，として報告し，土木利用の実大実験に関する研究として 7.5.6 に「軟弱粘性土地盤における列状および筏基礎の実験」，木材利用に対する保険について 7.5.7 に「地中における木材利用に対する品質保証について」として報告する。

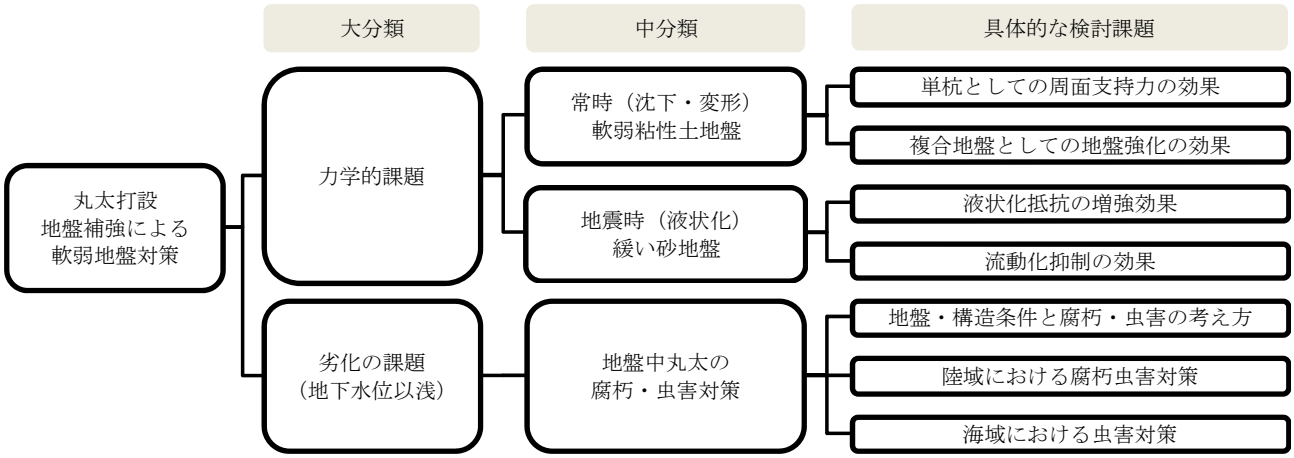


図-7.5.1　地盤補強材として丸太を用いた場合の課題

7.5.1　人工軟弱地盤における丸太打設実験（本山　寛，吉田雅穂，久保　光，沼田淳紀）

(1) 実験の概要

丸太打設による軟弱地盤対策工法の地盤対策効果について検証するために，実物大の丸太を人工軟弱地盤に打設する実験を行った。

実験ヤードの概要を図-7.5.1.1 に示す。実験ヤードは，底面の幅 5m，長さ 20m，深さ 4m のトレンチに，細粒分の多い土質を流し込み作製した人工軟弱地盤であり，底面に合わせて丸太打設間隔 0.5m，1.0m，無対策および土木シートの 4 区画に分けた。使用した丸太は，末口直径 0.15m 以上，長さ 3m である。丸太を 0.5m 間隔で打設した区画では，一部に排水機能を持たせた丸太（以降，排水丸太と呼ぶ）を 16 本打設した。人工軟弱地盤には，さらにサンドマット 0.5m，盛土 1.5m，合わせて 2.0m により載荷した。

(2) 沈下計測結果 [1)]

図-7.5.1.2 に，沈下板および盛土表面の沈下鋲の配置側面図を示す。沈下鋲は，盛土造成後に，盛土天端表面に長さ約 0.15m のステンレス製の鋲をメッシュ状に 1m 間隔（一部約 2m 間隔）で打ち込んだ。沈下板は，各区画のほぼ中心付近の丸太頭部（丸太打設区画のみ），人工軟弱地盤上，サンドマット上にステンレス製の棒を設置した [1)]。

図-7.5.1.3 に，実験開始より約 1 年経過後の沈下板および沈下鋲の計測結果を示す。盛土表面にお

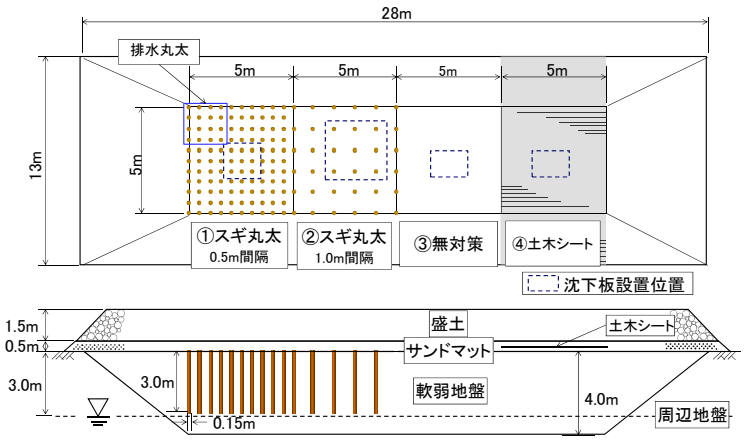


図-7.5.1.1　実験ヤード

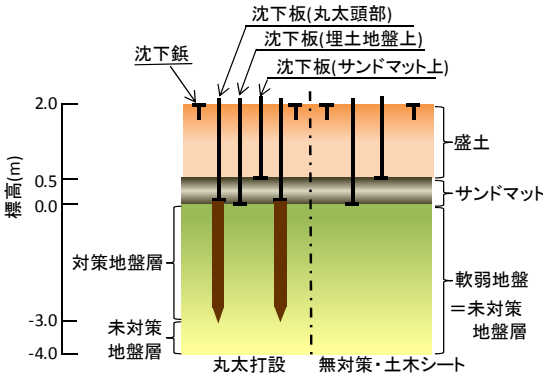


図-7.5.1.2　沈下板および沈下鋲配置側面図

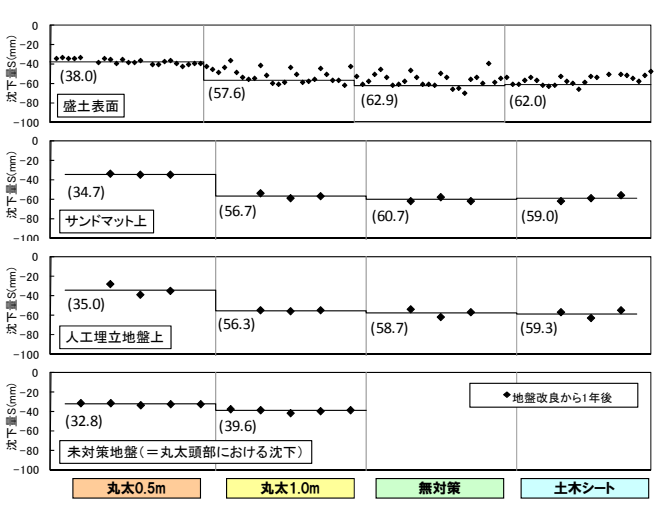


図-7.5.1.3　1 年経過時の沈下板,沈下鋲の計測結果

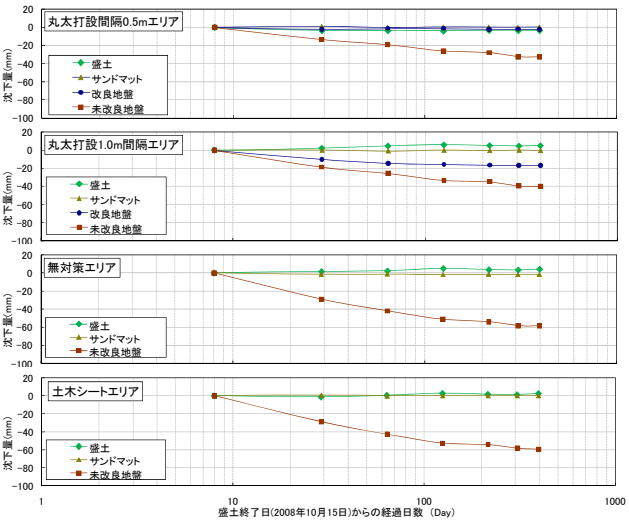


図-7.5.1.4　1 年経過時の沈下板,沈下鋲の計測結果

ける沈下は，無対策，土木シート区画において 60mm 以上であるのに対し，丸太打設間隔 0.5m 区画では 38mm, 1.0m 区画では約 58mm と小さくなっている。また, 盛土表面の沈下は, 丸太打設間隔 0.5m 区画以外では最大で約 20mm のばらつきがあるのに対し，0.5m 区画では最大でも 6mm のばらつきの範囲に収まっている。

図-7.5.1.4 に，各層の沈下の経時変化を示す。前述の通り，丸太打設間隔 1.0m 以外では対策地盤，サンドマットおよび盛土での圧縮がほぼ 0 であり，盛土表面の沈下は未対策地盤で生じている圧縮であることがわかる。一方，丸太打設間隔 1.0m では，対策地盤層で 17.7mm，未対策地盤層で 39.6mm 圧縮している。

以上より，丸太打設間隔が小さい程，対策地盤層の圧縮を抑制することができ，また盛土表面の不同沈下も小さくなる。

(3) 人工軟弱地盤の強度変化

図-7.5.1.5 に，各区画の深度 0～3m におけるスウェーデン式サウンディング試験により推定した一軸圧縮強さ q_u の平均値を示す。図中の破線は，丸太打設前の値であり，一点鎖線は丸太打設間隔等の設定に用いた値である。どの区画も，丸太打設完了から 1 日後および 6 日後の値は地盤対策前の値とほぼ等しく，丸太間地盤の強度増加は認められないことが分かった。しかしながら，地盤対策完了から 1 年経過後は，無対策を含む全ての区画で地盤の強度増加が認められ，特に丸太打設間隔 0.5m と排水丸太を打設した場所で増加量が大きかった。

そこで，丸太打設前の初期地盤の一軸強さが 30kPa であると仮定し，それぞれの経過日数後の換算一軸強さ qui の増加率（$=q_{ui}/30$）を求めた。**図-7.5.1.6** に，推定一軸圧縮強さの経時変化を示す。地盤対策後 1 週間程度では, 丸太を打設した地盤においても地盤の強度増加はほとんど認められないが, 1 年経過後は，丸太打設間隔 1.0m と無対策で約 1.5 倍，丸太打設間隔 0.5m で約 2 倍，排水機能付きの区画で 2 倍以上の強度増加が認められる。

以上より，今回の実験で対象となった細粒分質砂質礫の軟弱地盤に対して丸太を打設した場合，丸太打設直後には丸太間地盤の強度の増加は認められないが，1 年経過後には強度増加が認められ，その増加量は丸太間隔が短いほど大きくなることがわかった。

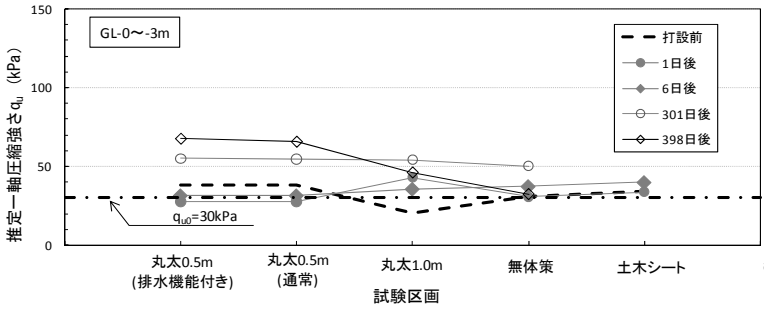


図-7.5.1.5 地盤の推定一軸圧縮強さ

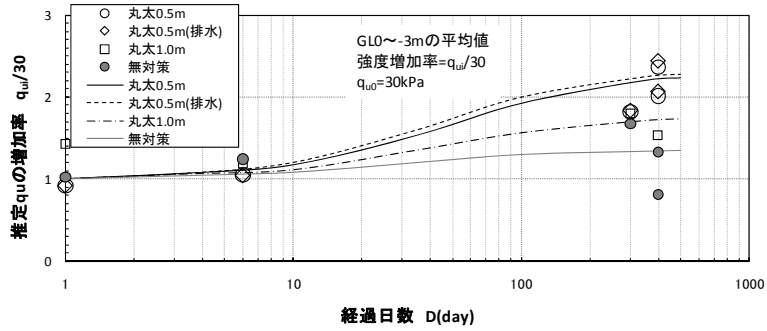


図-7.5.1.6 推定一軸圧縮強さの経時変化

参考文献

1) 本山寛，久保光，吉田雅穂，沼田淳紀，正田大輔，林泰正，野村崇：丸太打設による地盤対策実験における沈下の評価，第 45 回地盤工学研究発表会平成 22 年度発表講演集，pp809-810，2010.

7.5.2　泥炭地における丸太杭打設実験（五十嵐誠）

(1)はじめに

北海道に広く分布する泥炭地盤は含水比が高く圧縮性も高い極めて軟弱な地盤であり，構造物の基礎地盤として長期にわたる大きな沈下や変位が問題となっている。かつては，泥炭地の構造物の基礎には木杭が一般的に使用されてきたが，現在ではほとんど使用されなくなっている。その大きな原因として，土木・建築の技術基準書から木杭の設計法の記述が消えたことがあげられるが，一方で木杭の性能に対する信頼性が足りないこともあげられる。

木杭の性能に対する問題点としては，耐久性の問題と，木杭の支持力特性が明確でない点が考えられる。耐久性については，防腐処理を施すことにより解決可能であるが，支持力特性を確認することが重要であると考える。

現在，泥炭地盤地域の建造物のほとんどがコンクリート製の基礎杭で施工されているが，その主流となっている RC パイル・H 型 PC パイルと数種の木杭を実地盤に打設し，載荷試験等を実施して比較検討を行った。

(2)試験地概要

試験地は北海道のほぼ中央に位置する岩見沢市のもと畑地に造成された住宅地で,N 値が 0～3 の沖積粘性土層に泥炭が堆積した極めて軟弱な地域で，**図-7.5.2.1** に当該地のボーリング柱状図を示す。

ボーリング柱状図

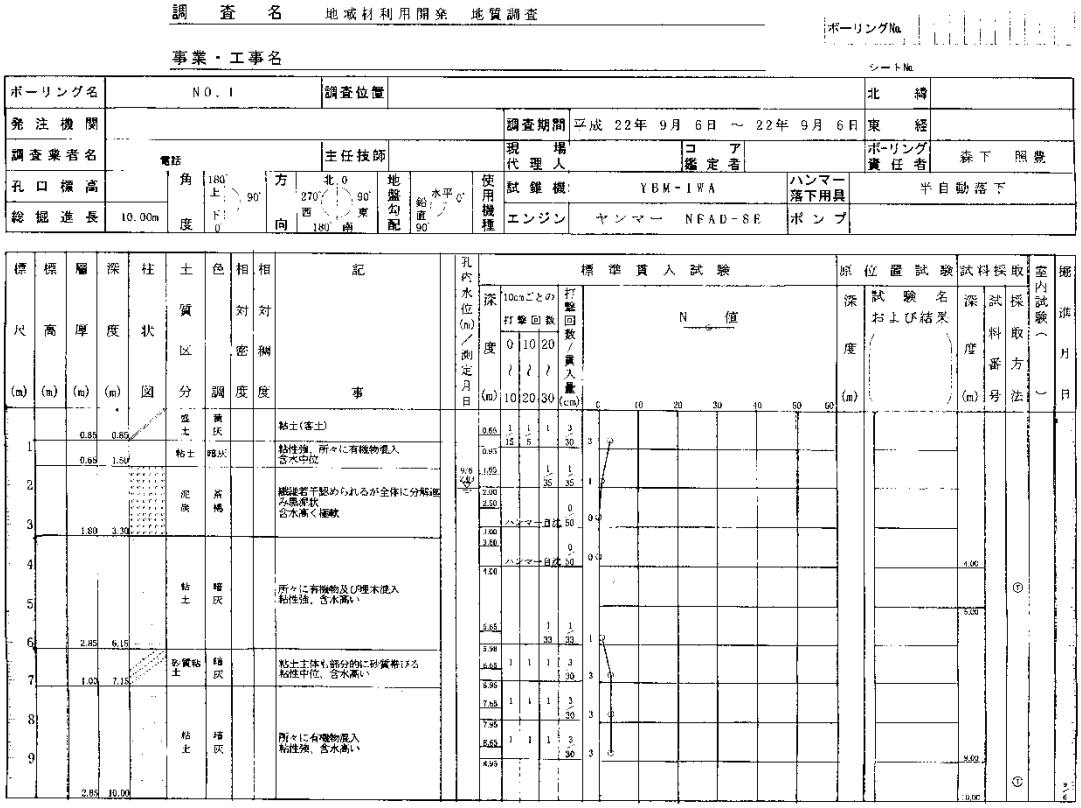


図-7.5.2.1　ボーリング柱状図

(3) 杭打ち試験概要

試験杭の諸元は**表-7.5.2.1**に示す通りであるが，木杭の樹種はカラマツとし，支持力を定量的に評価するため円柱状に成形したφ150mm①・φ180mm④・φ200mm⑦の丸太杭と，テーパーのついたφ180mm⑧の自然杭の貫入深度ＧＬ-6.0ｍでの支持力を確認し，φ200mm の RC パイル⑨･呼び名 200mm×200mm の H 型 PC パイル⑩と比較することとした。また，金具による継ぎ杭②⑤と貫入深度 GL-8.0m ③⑥での支持力も確認した。

施工機械は総重量 19t の杭圧入専用機で圧入力≦90kN で施工を行い，最終打ち止め位置で（GL+100mm）油圧ゲージにて圧入力を確認した。

杭材と施工状況を**写真-7.5.2.1**，**写真-7.5.2.2**に示す。

表-7.5.2.1　試験杭諸元

	種　別	形　状	径 (mm)	断面積 (㎡)	長さ (m)	数量	備　考
①ａ	木杭	ロータリー	150	0.0177	6.0	2	
①ｂ	木杭	ロータリー	150	0.0177	6.0	1	歪ゲージ
②	木杭	ロータリー継ぎ杭	150	0.0177	2.0+4.0	1	
③	木杭	ロータリー	150	0.0177	8.0	1	
④ａ	木杭	ロータリー	180	0.0254	6.0	2	
④ｂ	木杭	ロータリー	180	0.0254	6.0	1	歪ゲージ
⑤	木杭	ロータリー継ぎ杭	180	0.0254	2.0+4.0	1	
⑥	木杭	ロータリー	180	0.0254	8.0	1	
⑦	木杭	ロータリー	200	0.0314	6.0	3	
⑧	木杭	テーパー（自然）	180	0.0254	6.0	3	
⑨	コンクリート	ＲＣパイル	200	0.0314	6	3	
⑩	コンクリート	ＰＣ　Ｈ型	200	0.0308	6	3	

写真-7.5.2.1　試験杭

写真-7.5.2.2　杭打ち状況

(4) 載荷試験

載荷試験は杭打試験実施日より 5 週間後，簡易載荷試験と静的載荷試験を実施した。

それぞれの試験結果を**表-7.5.2.2**に，試験状況を**写真-7.5.2.3**に示す。

a) 簡易載荷試験（簡便法）

杭頭上の載荷板と反力装置（0.7m^{3}級バックホー）の間に設置したオイルジャッキ（最大能力 200kN）で 25kN の荷重を載荷し，荷重保持時間を 10min として変位計で杭頭の沈下量を計測したのち，速やかに載荷して杭径の 10%の沈下を限界荷重とした。

簡便法載荷試験は試験杭①④⑥⑦⑧⑨⑩各 1 体で実施した。

b) 静的載荷試験

静的載荷試験は地盤工学会基準「くいの鉛直載荷試験方法・同解説」に準拠し実施した。本試験では，荷重を 4 サイクル 8 段階で載荷し，以降は最大荷重を確認するまで継続した。

静的載荷試験は試験杭①④各 1 体で実施した。

表-7.5.2.2　試験杭の計測結果

杭番号	杭　諸　元	打止時の圧入力 (kN)	簡易載荷試験結果 (kN)	静的載荷試験結果 (kN)
①	φ150mm×6.0m（円柱材）	23.8	42	35
②	φ150mm×6.0m（継ぎ杭）	26	—	—
③	φ150mm×8.0m	計測エラー	—	—
④	φ180mm×6.0m（円柱材）	33.6	50	60
⑤	φ180mm×6.0m（継ぎ杭）	30.6	—	—
⑥	φ180mm×8.0m（円柱材）	49.5	80	—
⑦	φ200mm×6.0m（円柱材）	45	48	—
⑧	φ180mm×6.0m（テーパー）	47.9	62	—
⑨	RCφ200mm×6.0m	40.8	40	—
⑩	PCH200mm×6.0m	49.7	49	—

※　荷重は沈下量が杭径の 10%を超えた時の荷重

※　圧入力は全数計測し平均値

圧入力計測

簡易載荷試験（簡便法）

静的載荷試験

写真-7.5.2.3　試験状況

(5) 実験結果と考察

粘性土中に杭を圧入施工すると粘土は乱されて周面地盤の強度はいちじるしく低下する。時間の経過とともに粘着力は回復するので，施工時の圧入力より 5 週間後の載荷試験値は大きくなる。その差はコンクリート杭より木杭の方が大きいが，杭自体の表面粗さの影響と，含水比が高い泥炭地盤においては木杭の間隙水の吸水効果によるものと考えられる [1)]。

図-7.5.2.2 は簡易載荷試験，**図-7.5.2.3** は静的載荷試験による荷重・沈下量曲線である。相対的な沈下量を比較してみると，杭の先端抵抗力が期待できない当該地のような泥炭地においては摩擦抵抗力の大きい木杭の優位性が確認できた。また，円柱材④とテーパー材⑧の比較では杭表面積の差以上のテーパー効果が考えられる。

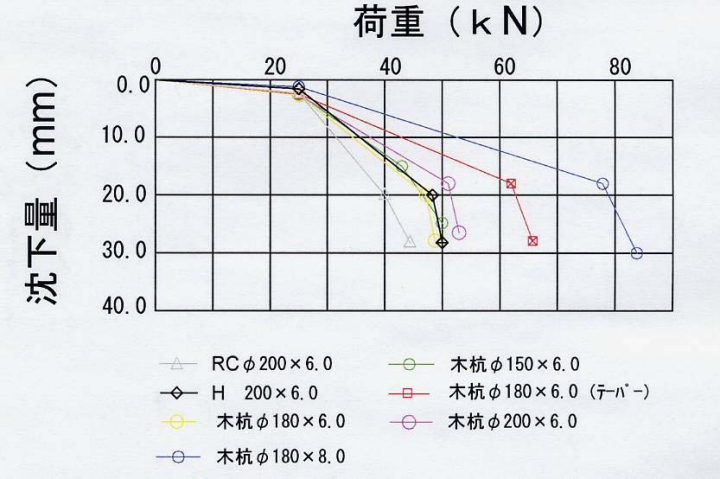


図-7.5.2.2 簡易載荷試験　沈下曲線

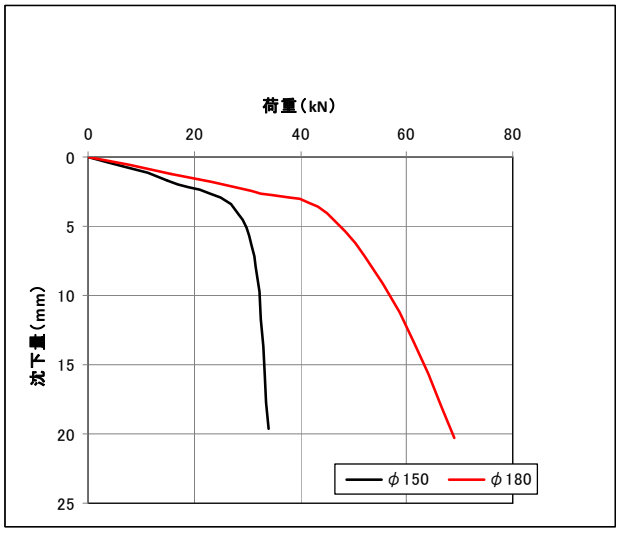


図-7.5.2.3 静的載荷試験　沈下曲線

図-7.5.2.4 には，**表-7.5.3.3** に示した極限支持力実験値（Pu）と一般的な杭状地盤補強の支持力算定式 [2)] より求めた極限支持力（Ru）を比較した結果を示す。

支持力計算は次式による。

$$R_d = R_p + R_f \qquad (7.5.1)$$

ここに，R_d：杭の極限支持力　(kN)

R_p：杭先端部における極限支持力　（kN）

R_f：杭の周面極限摩擦力　（kN）

$$R_p = 6 \times C \times A_p \qquad (7.5.2)$$

ここに，　C：杭先端下部粘性土地盤の粘着力　（kN/m^2）

A_p：杭の先端断面積　（m^2）

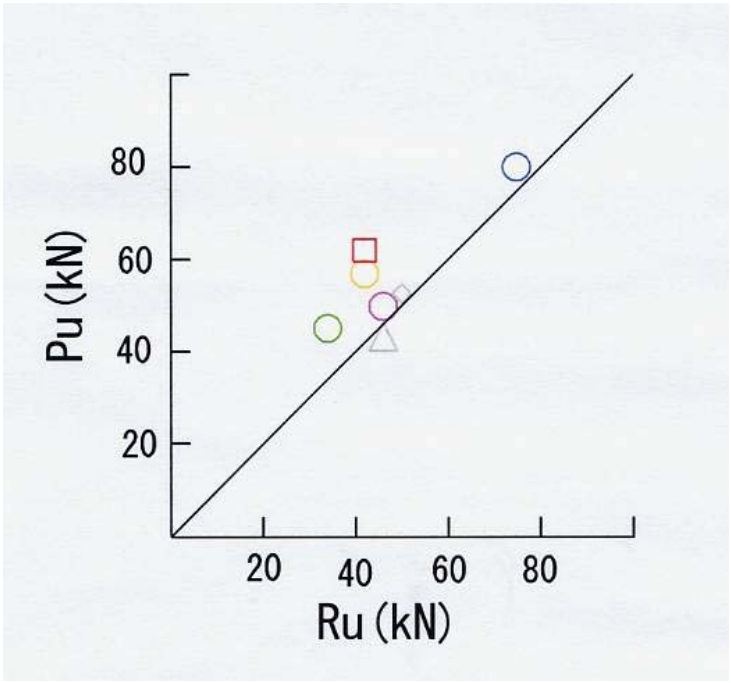
$$R_f = D \times \sum (\tau d \times Li) \times \pi \qquad (7.5.3)$$

ここに，　D：杭の径　（m）

τd：杭に作用する各層の周辺極限摩擦力度C（kN/m^2）

Li：各層の層厚　（m）

図-7.3.2.4 から判断すると，木杭の実験値はいずれも計算値を上回っているので，泥炭地盤においても(7.5.1）式との整合性は確認できた。



※　記号は**図-7.5.2.2** の記号を参照

図-7.3.2.4　載荷試験実験値と計算値との関係

(6) おわりに

本実験は，「森林･林業再生事業」の地域材利用拡大に向けた商品開発の研究の一環として行われた。研究は開始さたばかりであって，さらに研究を継続することにより木杭の有効性を実証し，合理的な設計方法を提案したいと考える。

参考文献

1) 三浦哲彦・呉文経ほか：軟弱粘土中の周面支持機構に関する実験的考察，土木学会論文集，517/Ⅲ，pp.63～72,1995.

2)「小規模建築物基礎設計指針」，日本建築学会,pp.185～186

7.5.3　軟弱粘性土地盤における木杭打設実験（水谷羊介，沼田淳紀，中村　博，本山　寛，吉田雅穂，五十嵐誠，久保　光）

(1) はじめに

軟弱地盤対策の地盤補強材として丸太を使用した場合，力学的課題には，常時の沈下変形が問題となる軟弱粘性土地盤に対する課題と，地震時に液状化が問題となる緩い砂地盤に対する課題に分類できる。軟弱粘性土地盤に対しては，丸太単体と地盤との摩擦抵抗に期待する周面支持力の効果や，丸太を多数打設することによる丸太と地盤との複合地盤としての効果について明らかにする必要がある。

本報告は，この中でも最も基本となる，常時の軟弱地盤対策に対する単杭としての周面支持力の効果について，既往の地盤補強工法（鋼管杭及びコンクリート杭）と種々の丸太の比較検討を行うことを目的にしている。また，載荷試験を実施することにより，それぞれの杭頭部の鉛直支持力，変位量（沈下量）及び杭先端部の鉛直支持力が得られる。これらのデータを解析することにより杭の支持力特性を解明することも目的の一つである。試験杭の詳細については，JGS『くいの載荷試験法』を参照されたい。

(2) 試験地盤

試験地は東武伊勢崎線「草加駅」北東 3.0m 付近に位置し，中川低地の沖積面にあたり，平坦な地形を成している。

荒川及び中川（古利根川）に沿う低地はそれぞれ荒川低地・中川低地と呼ばれ，これらの低地の微地形は自然堤防・旧流路・後背湿地等からなっている。荒川・中川両低地は大宮台地の南東で合流し，東京下町一帯を含む東京低地へ続いている。中川低地に広がる地層は第四期紀完新世に形成された沖積層と呼ばれる地層で，上から順に東京下町低地の有楽町層上部層，有楽町層下部層，七号地層，基底礫層に相当する地層が堆積している。標準貫入試験結果及び SWS 試験の調査位置を図-7.5.3.1，結果は図-7.5.3.2 に示す。

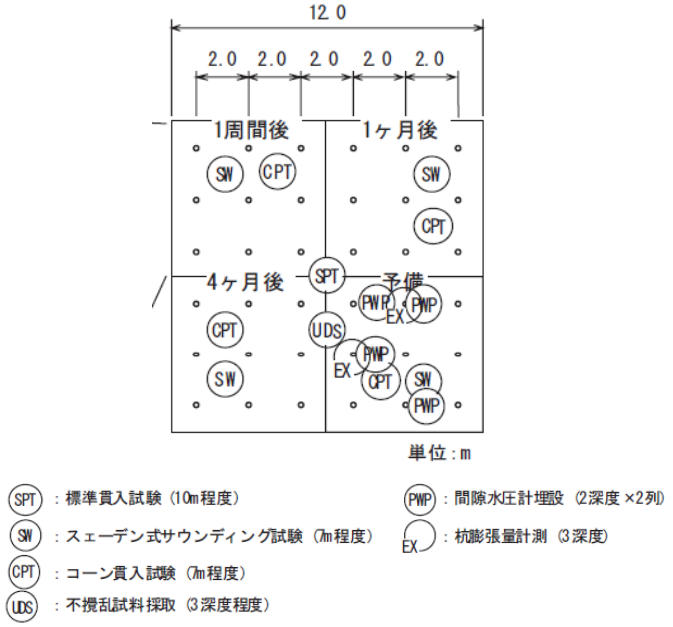


図-7.5.3.1　調査位置図

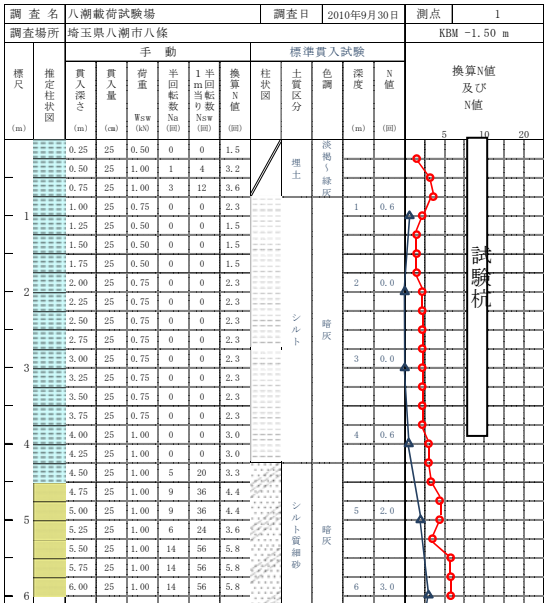


図-7.5.3.2　サウンディング試験結果と杭の深

(3) 試験杭の詳細

試験杭の詳細は**表-7.5.3.1** に示す通りであり，各ゾーンに 9 本の試験杭を施工した（**図-7.5.3.3**）。試験杭は，既往の地盤補強工法として RC 杭（C1）及び鋼管杭（S1，先端閉塞ストレート杭），木材を用いた補強杭として，スギ（Wbtp），カラマツ（Pbtp），細いスギ（Wbtn），排水機能を有したスギ（Wbdr），スギ材の 2 箇所継ぎ（Wbjt），テーパー状に定型化したスギ（Wrtp）及び円柱状に定型化したスギ（Wrst）を施工した。また，1month ゾーンにおいては，これら試験杭よりも施工長を 1．0m 程度長くしたスギ（Wblo）を施工した。**写真 7.5.1，7.5.2** に各種試験杭を示す。

表-7.5.3.1　試験杭諸元

杭No.	形状	継ぎ	排水機能	加工	元口( )は平均	末口( )は平均	備考
C1	テーパー	なし	なし	-	193.1	140.0	RC杭
S1	ストレート	なし	なし	-	165.2	165.2	鋼管杭
Wbtp	テーパー	なし	なし	皮むき	182.1 ～ 170.6 (176.4)	153.4 ～ 145.5 (148.7)	すぎ
Pbtp	テーパー	なし	なし	皮むき	194.5 ～ 182.7 (188.0)	158.8 ～ 150.6 (153.8)	まつ
Wbtn	テーパー	なし	なし	皮むき	149.6 ～ 147.7 (149.0)	132.1 ～ 124.1 (128.3)	すぎ、細径
Wbdr	テーパー	なし	あり	皮むき	177.0 ～ 169.0 (173.3)	151.5 ～ 143.2 (147.5)	すぎ、排水
Wbjt	テーパー	3本継ぎ	なし	皮むき	188.1 ～ 172.2 (184.0)	180.3 ～ 168.0 (174.0)	すぎ、継ぎ
Wrtp	テーパー	なし	なし	ロータリー	177.6	150.0	加工テーパー
Wrst	ストレート	なし	なし	ロータリー	160.0	160.0	加工ストレート
Wblo	テーパー	なし	なし	皮むき	176.4	148.7	すぎ、長尺、予備

※Wbloは1monthのみ

写真-7.5.3.1　試験杭（全景）

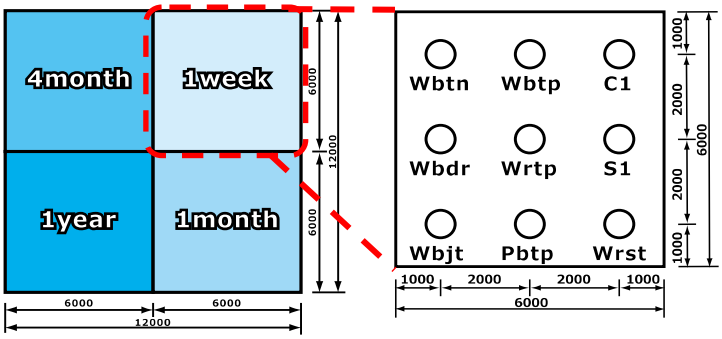


図-7.5.3.3　試験ヤード（ゾーン分けと試験杭配置）

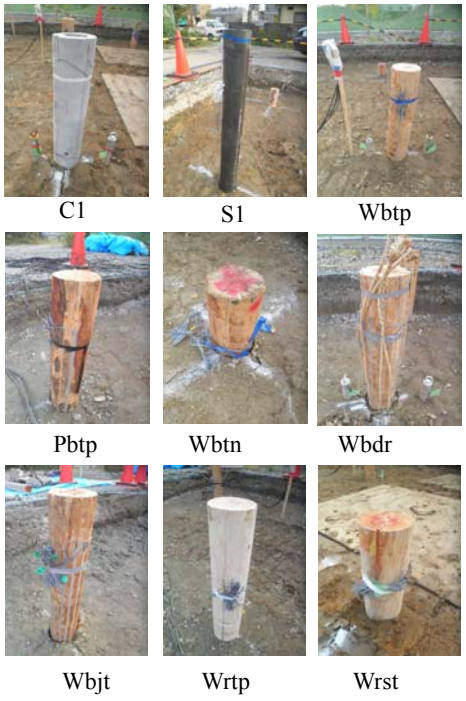


写真-7.5.3.2　試験杭の打設完了状況

(4) 荷重

杭頭に作用させる荷重は試験杭と反力装置（0.7m^3 クラスのバックフォーを使用：自重 200kN）との間に油圧ジャッキを設置し，油圧ジャッキを調節することで荷重を載荷した。また，荷重計測は主に油圧ポンプに取り付けられた油圧変換式の圧力計（PWH-70MPA）を用いて計測を行った。また，荷重計を用いて圧力計（CLP-200KNB）のキャリブレーションも実施した。計測状況及び計測機器は**図-7.5.3.4** 及び**写真-7.5.3.3** に示す通りである。

(5) 杭頭沈下量

杭頭変位量は変位計（CDP-50）を用いて 4 方向から計測し，杭体の傾斜等によるばらつきが生じないよう考慮した。また，変位計は基準梁に設置し，基準梁を支えるための支柱が試験の影響を受けないように支柱と試験杭は十分に間隔を設けた。設置状況は**図-7.5.3.4** と**写真--7.5.3.3** に示す。

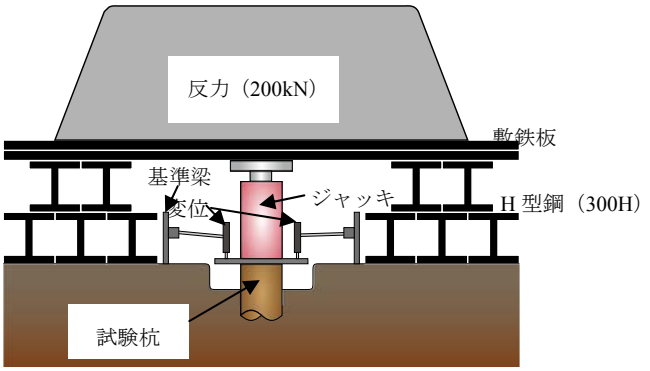


図-7.5.3.4　載荷試験イメージ

写真-7.5.3.3　計測状況及び荷重計

(6) 試験結果

載荷試験結果をまとめたものを**表-7.5.3.2～7.5.3.4** および**図 7.5.3.6** に示す。これより鋼管杭より木杭および RC 杭の支持力が 1 割から 2 割程度増加しているのがわかる。また，本試験結果より支持力のバラつきが多少あるものの，排水機能を有する杭に関しては養生 1 週目より高い支持力を示す傾向にあった。試験杭毎の地中の間隙水圧の試験結果を**図-7.5.3.5** に示す。鋼管杭，RC 杭および排水機能を有さない杭に関しては間隙水圧が上昇しているのがわかるが，排水機能を有している杭に関しては，水圧の上昇があまり確認されていない結果となった。さらに室内膨張試験の状況および試験結果を**写真-7.5.3.4** および**図-7.5.3.7** に示す。

表-7.5.3.2　載荷試験結果総括（1week）

杭種	第一限界抵抗力			第二限界抵抗力		周面摩擦力度
	P_{y1} (kN)	P_{y2} (kN)	P_{y3} (kN)	頭部 P_u (kN)	先端 P_{pu} (kN)	τ (kN/m^2)
C1	50.0	35.3	-	43.8	2.3	19.8
S1	30.0	28.8	-	28.8	4.0	13.0
Wbtr	50.0	46.0	41.0	40.3	2.8	19.7
Pbtr	51.0	48.0	-	48.0	4.7	20.2
Wbtn	50.0	47.5	43.0	47.5	3.3	25.3
Wbdr	50.0	50.1	44.0	50.1	1.4	24.1
Wbjt	40.0	38.3	-	38.3	2.3	16.0
Wrtp	53.0	39.8	-	52.3	4.7	23.1
Wrst	34.0	32.3	-	32.3	8.6	11.8

表-7.5.3.3　載荷試験結果総括（1month）

杭種	第一限界抵抗力			第二限界抵抗力		周面摩擦力度
	P_{y1} (kN)	P_{y2} (kN)	P_{y3} (kN)	頭部 P_u (kN)	先端 P_{pu} (kN)	τ (kN/m^2)
C1	43.0	-	-	31.8	7.0	11.9
S1	32.0	30.3	26.0	30.3	3.7	12.8
Wbtr	43.0	34.8	43.0	49.0	5.1	21.5
Pbtr	51.0	40.5	-	56.1	1.2	25.6
Wbtn	40.0	42.5	38.0	42.5	1.9	23.3
Wbdr	53.0	-	-	49.0	3.8	22.4
Wbjt	39.0	35.8	-	35.8	1.7	15.1
Wrtp	40.0	45.5	41.0	45.5	7.6	18.4
Wrst	28.0	35.0	-	35.0	3.5	15.8
Wblo	59.0	71.1	62.0	61.1	-	-

表-7.5.3.4　載荷試験結果総括（4month）

杭種	第一限界抵抗力			第二限界抵抗力		周面摩擦力度
	P_{y1} (kN)	P_{y2} (kN)	P_{y3} (kN)	頭部 P_u (kN)	先端 P_{pu} (kN)	τ (kN/m^2)
C1	35.0	35.0	-	40.0	6.2	16.1
S1	32.0	25.3	25.0	30.3	3.7	12.8
Wbtr	41.0	35.0	-	42.5	0.7	20.0
Pbtr	41.0	-	-	56.1	1.3	25.5
Wbtn	40.0	40.5	36.0	40.5	2.4	21.9
Wbdr	50.0	48.3	-	48.3	8.5	19.8
Wbjt	39.0	35.3	-	40.3	6.5	15.0
Wrtp	43.0	42.3	35.0	49.5	7.1	20.6
Wrst	40.0	35.3	-	40.5	1.7	19.3

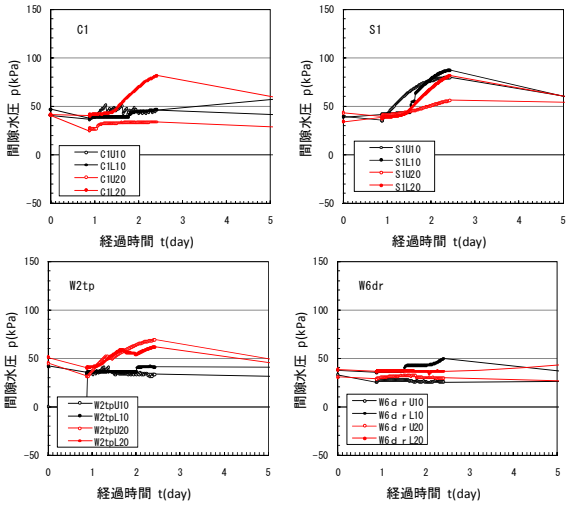


図-7.5.3.5　間隙水圧計測結果（杭打設後）

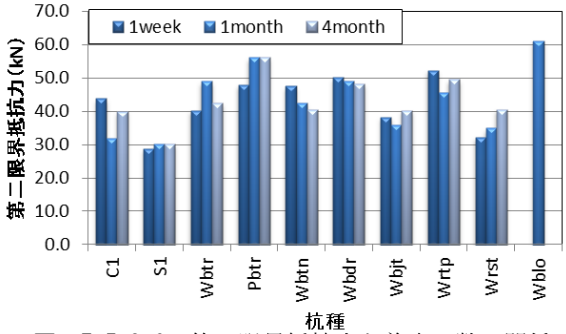


図 - 7.5.3.6　第二限界抵抗力と養生日数の関係

写真 - 7.5.3.4　室内膨張試験の状況

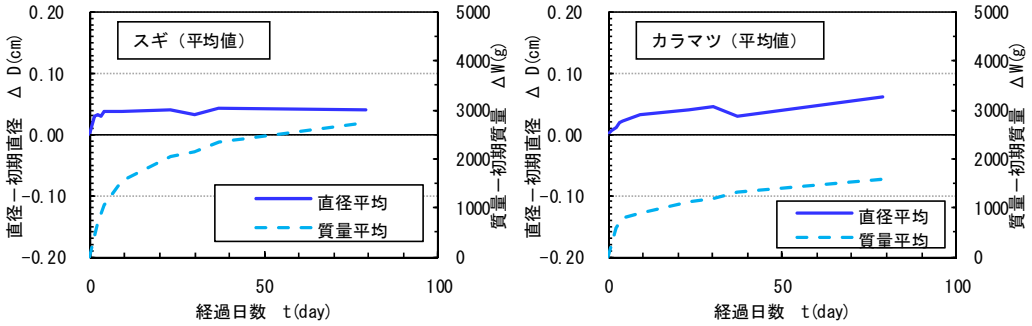


図 - 7.5.3.7　第二限界抵抗力と養生日数の関係

(7) 考察

一般的に杭は養生期間を長期とすることで摩擦力の復元が見込めると考えられ第二限界抵抗力及び極限周面摩擦力度は,『1week≦1month≒4month』との関係になると予測したが，**図-7.5.3.7** を見てみると，必ずしも『1week≦1month≒4month』という結果になっていないことがわかる。特に，1week と 1month の間は傾向のばらつきが大きくなっていることがわかる。また，1month と 4month の間ではほとんどの試験杭の第二極限抵抗力は 1month≒4month の傾向が読み取れる。

また，**図-7.5.3.6** には縦軸に第二限界抵抗力，横軸に杭種及び養生期間を示したグラフであるが，養生期間毎で多少のばらつきはあるもののほとんど同様の第二限界抵抗力が得られているのがわかる。これよりも,既存工法である鋼管杭より木杭は単位面積当たりの摩擦抵抗力が高いことがうかがえる。今回の試験地は杭先端地盤及び杭周面地盤共に非常に軟弱であった。九州の有明地区においてはかなり高い養生効果が得られた報告があるが[1)]，本サイト内においては，ほとんど養生効果による周面摩擦力の復元が見込めないことも分かった。

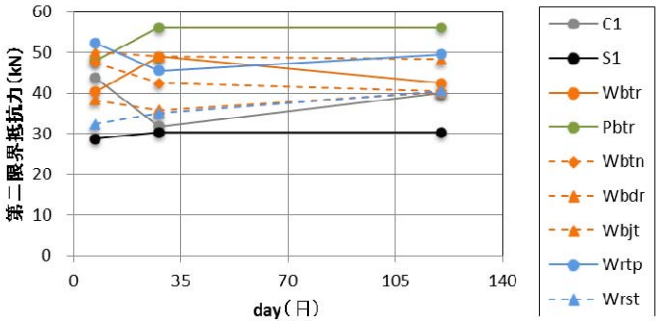


図 - 7.5.3.7　第二限界抵抗力と養生日数の関係

なお，本研究は，日本合板工業組合連合会国産材原料転換技術開発事業を活用して実施したものである。

参考文献

1) 呉文径，三浦哲彦：粘土中の周面支持杭に対する載荷試験とクリープ挙動に関する一考察，第 30 回土質工学研究発表会, pp1397～1398

7.5.4　丸太を用いた液状化対策に関する模型振動実験（吉田雅穂）

(1) 実験の目的と概要

丸太本体には液状化の発生を積極的に抑制する機能はないが，丸太を地盤に打設することにより，①砂地盤の一部を丸太に置き換える置換効果，②丸太打設に伴う周辺地盤の密度増大効果，③丸太の杭頭拘束による地盤のせん断変形抑制効果，④丸太周面から地表面への間隙水圧消散効果，⑤改良地盤の軽量化による慣性力の軽減，などの効果が期待できる。本項では丸太の形状や打設条件が液状化対策効果に与える影響，および，丸太が液状化時の側方流動抑制効果に与える影響について，模型振動実験により検討を行った結果について述べる。

(2) 丸太の形状が液状化対策効果に与える影響 [1)]

a) 概説

木材はその寸法や形状にばらつきがあるため，品質管理や設計の上で注意を要するが，経済性や環境負荷の点から考えると，森林から切り出した丸太をできるだけ少ない加工で現場利用した方が有利である。そこで，加工を伴う円柱状の丸太と本来の形状である錐状の丸太の 2 種類を用いて，上載荷重に対する丸太打設地盤の液状化時の支持力特性について検討を行った。

b) 実験概要

図-7.5.4.1 に模型実験の概要を示す。振動台上にアクリル製の土槽（幅 800mm×奥行き 400mm×高さ 500mm）を設置し，その中に模型地盤を作製して振動実験を実施した。模型地盤は珪砂 7 号を用いて水中落下法で作製した相対密度約 30%の緩詰めの飽和砂地盤であり，層厚は 300mm で地下水位は地表面とした。丸太模型は福井県産のスギ間伐材より作製したものであり，直径 12mm で長さ 200mm の柱状丸太と末口直径 10mm，元口直径 14mm で長さ 200mm の錐状丸太の 2 種類の模型を用いた。なお，錐状丸太の寸法は敦賀港現場実験 [2)]で用いたスギ丸太の寸法の 1/15 であり，その体積は柱状丸太と同一である。同図に示すように，地盤左側に計 36 本の柱状丸太を 30mm 間隔で正方形配置し，同地盤右側には計 36 本の錐状丸太を同様に配置した。丸太の打設順番は改良地盤の中央から外側に向かって時計回りに打設し，打設方法は飽和砂地盤作成後に周辺地盤をできるだけ乱さないように静的に貫入させた。また，丸太は飽和化したものを使用し，その密度の平均値は約 1g/cm^3 であった。地表面に設置した模型は底面が 150mm 四方で高さ 112mm の防水処理を施した木箱で，重さは 6000g に調整した。なお，この時の接地圧は敦賀港現場実験 [2)]の盛土地盤による上載圧の 1/15 を模擬している。入力波は振動数 5Hz の正弦波

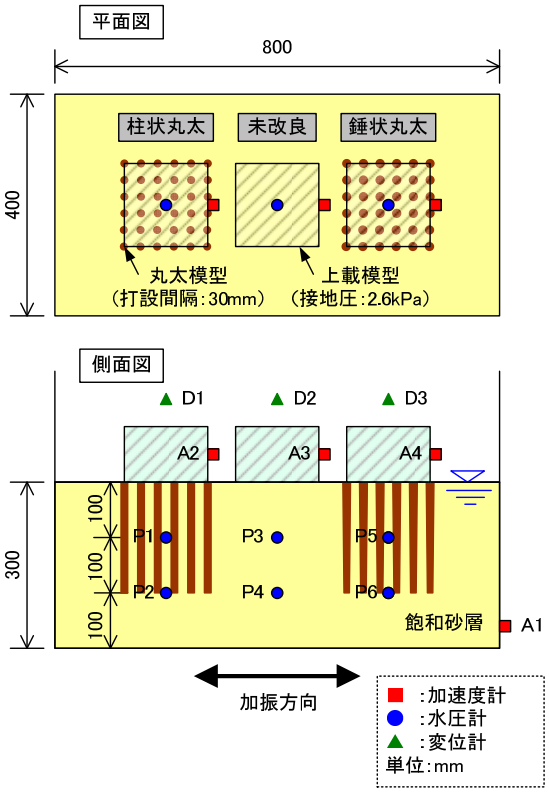


図-7.5.4.1　実験装置

で加振時間を 4 秒間とし，60gal，80gal，100gal と最大加速度を順に変えた実験を行い，同一地盤に対して計 3 回の加振を与えた。**図-7.5.4.2** に入力加速度 80gal の時の時刻歴波形を示す。

なお，実験中は入力加速度（A1）と上載模型の応答加速度（A2，A3，A4），地盤内の過剰間隙水圧（P1，P2，P3，P4，P5，P6），上載模型の鉛直方向変位量（D1，D2，D3），地盤の鉛直方向変位量を計測し，**図-7.5.4.1** に示す左側の柱状丸太地盤，右側の錘状丸太地盤。そして，中央の未改良地盤の挙動を比較検討した。

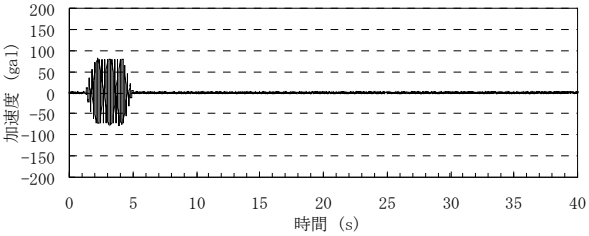


図-7.5.4.2　入力加速度(A1)

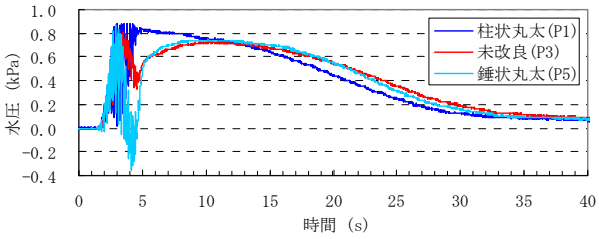


図-7.5.4.3　過剰間隙水圧

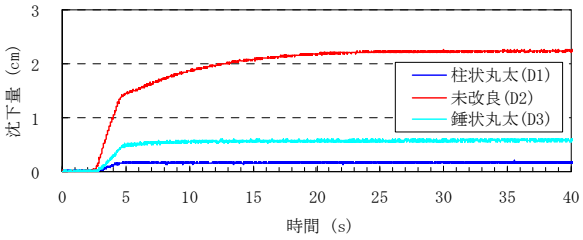


図-7.5.4.4　上載模型の沈下

c)実験結果および考察

図-7.5.4.3 は 80gal 加振時の地表面から 100mm の位置における過剰間隙水圧の時刻歴波形の一例を示したものであり，柱状丸太地盤（P1），未改良地盤（P3），錘状丸太地盤（P5）を比較した結果である。また，**図-7.5.4.4** は同実験における上載模型の沈下の経時変化を示したものである。

入力波は同図の時刻歴において 1 秒から 5 秒の間で加振しているが，過剰間隙水圧は加振開始 1 秒後より上昇を始め 2 秒後には最大値に達している。ここで，各水圧計の地点における初期有効上載圧は約 0.8kPa であるため，同地点では液状化に至っていると言える。また，最大値を示した後に水圧が急激に低下し，さらに回復する挙動を示し，これは後述する上載模型の沈下開始の時期と一致していた。上載模型の沈下は過剰間隙水圧が最大に達した時から始まり，柱状丸太と錘状丸太を打設した改良地盤では加振終了とともに沈下が停止した。一方，未改良地盤は過剰間隙水圧の消散が終了する 35 秒付近まで沈下を継続し，最終沈下量は約 2.3cm となった。それに対し，柱状丸太地盤は 0.2cm，錘状丸太地盤は 0.6cm と大きな沈下抑制効果が確認できた。

以上より，丸太で支持された上載模型は丸太の摩擦杭としての働きにより，過剰間隙水圧の発生により地盤が軟化した状態となっても沈下が抑制されることが明らかとなった。また，柱状丸太と錘状丸太を比較すると，**図-7.5.4.3** の水圧消散過程および**図-7.5.4.4** の沈下量において錘状丸太の方が若干ではあるが効果が低減する傾向が見られた。本実験における両丸太を比較すると，丸太周面が地盤と接する長さや面積は僅かながら錘状丸太の方が大きく，周面摩擦の点では錘状丸太の方が有利と考えられる。しかしながら，地盤内で発生した過剰間隙水圧は地盤の下層から上層に向かって消散するため，下層の飽和地盤の割合が多く，地表面の排水面積の小さい錘状丸太地盤では，水圧消散に要する時間が柱状丸太地盤よりも長くなる可能性が高く，このことが両者の効果の違いに影響を与えた一因と考えられる。

(3) 丸太の打設条件が液状化対策効果に与える影響 [3)]

a) 概説

丸太の打設条件として，丸太の直径（D），長さ（L），打設間隔（P）の 3 つを取り上げ，各条件が上載荷重に対する支持力特性に与える影響ついて検討を行った。

b) 実験概要

図-7.5.4.5 と**図-7.5.4.6** に模型実験の概要を示す。振動台上にアクリル製の土槽（幅 1200mm×奥行き 400mm×高さ 500mm）を設置し，その中に模型地盤を作製して振動実験を実施した。模型地盤は珪砂 7 号を用いて水中落下法で作製した相対密度約 30%の緩詰めの飽和砂地盤であり，層厚は 300mm で地下水位は地表面とした。土槽の加振方向の壁面内側にはスポンジ製の緩衝材を設置してある。丸太模型は福井県産のスギ間伐材より作製したものであり，直径 12mm で長さ 200mm の円柱状の丸太を基本とし，**表-7.5.4.1** に示すように置換率（丸太を等間隔で打設した地盤に占める丸太断面の面積割合）を 12.6%と全て同一とし，丸太の直径と打設間隔が異なる場合（CASE 1）と丸太の長さが異なる場合（CASE 2）の２ケースの実験を行った。

丸太の打設方法は，飽和砂地盤作成後に周辺地盤をできるだけ乱さないように静的に貫入するものとし，改良地盤の中央から外側に向かって時計回りに打設し，打設位置は構造物直下とその外周に 1 列加えた範囲とした。また，丸太は長期間水中保管したものを使用し，その密度は約 1.1g/cm^3 であった。地表面に設置した模型は底面が 150mm 四方で高さ 112mm の防水処理を施した木箱で，重さは 6000g に調整した。なお，この時の接地圧は敦賀港現場実験 [2)]の盛土地盤による上載圧の 1/15 を模擬している。なお，上載模型は丸太上に静置してあるだけで丸太頂部とは連結されていない。入力波は振動数 5Hz の正弦波で加振時間を 4 秒間とし，100gal，120gal，180gal と最大加速度を順に変えた実験を行い，同一地盤に対して計 3 回の加振を与えた。なお，実験中は入力加速度（A1）と上載模型の応答加速度（A2～A4），地盤内の過剰間隙水圧（P1～P9），上載模型の鉛直方向変位量（D1～D3），地盤の鉛直方向変位量を計測し，3 つの改良地盤の挙動を比較検討した。

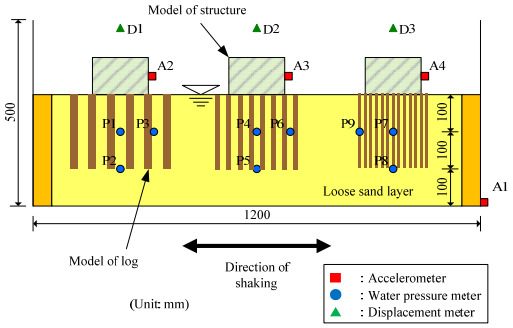


図-7.5.4.5　実験装置（CASE1）

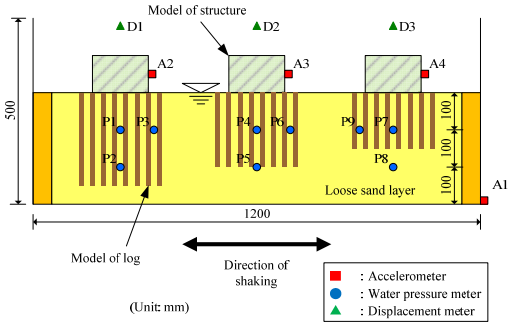


図-7.5.4.6　実験装置（CASE2）

表-7.5.4.1　実験ケース

CASE 1				
Item	Unit	D20-L200-P50	D12-L200-P30	D06-L200-P15
Diameter (D)	mm	20	12	6
Length (L)	mm	200	200	200
Pitch (P)	mm	50	30	15
Number		36	64	169
Displacement ratio	%	12.6	12.6	12.6
Surface area	mm^2	452,389	482,549	637,115
Volume	mm^3	2,261,947	1,447,646	955,672
CASE 2				
Item	Unit	D12-L150-P30	D12-L200-P30	D12-L250-P30
Diameter (D)	mm	12	12	12
Length (L)	mm	150	200	250
Pitch (P)	mm	30	30	30
Number		64	64	64
Displacement ratio	%	12.6	12.6	12.6
Surface area	mm^2	361,911	482,549	603,186
Volume	mm^3	1,085,734	1,447,646	1,809,557

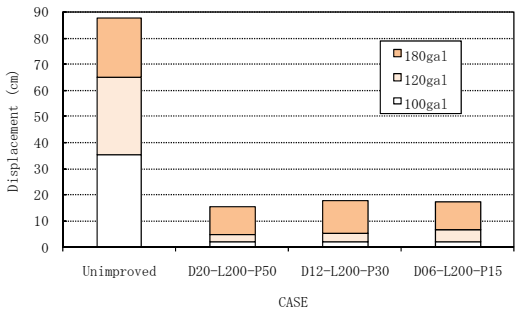


図-7.5.4.7　上載模型の沈下（CASE 1）

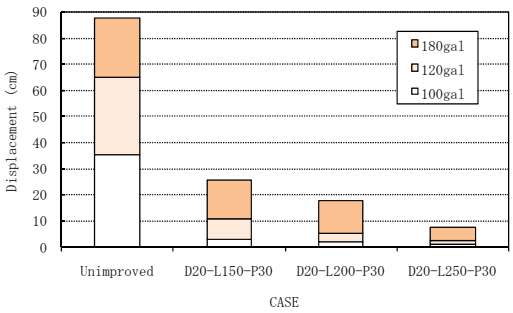


図-7.5.4.8　上載模型の沈下（CASE 2）

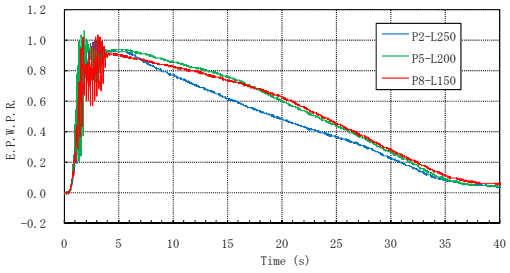


図-7.5.4.9　過剰間隙水圧比（CASE 2）

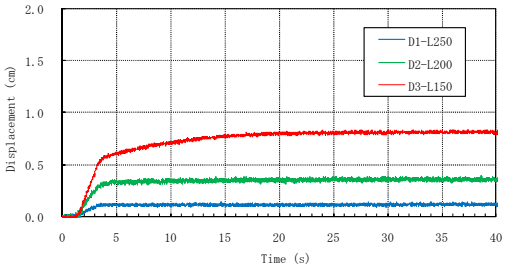


図-7.5.4.10　上載模型の沈下量（CASE 2）

c) 実験結果および考察

図-7.5.4.7 は CASE 1 における上載模型の加振ごとの累積沈下量を示したものであり，別途実施した未改良地盤における沈下量も併記した。同図より，丸太を打設した地盤では未改良地盤に対し 5 分の 1 程度の沈下量に軽減されていることがわかる。また，改良地盤においては小さい加速度では沈下量は少ないが，加速度の増加に伴い沈下量が増大する傾向が確認できる。しかし，各ケースの沈下量に明瞭な差異は確認できず，丸太の直径や打設間隔が異なっていても，置換率が同じであれば沈下軽減効果は同等であることが明らかとなった。一方，図-7.5.4.8 は CASE 2 の結果である。未改良地盤に対する効果や，入力レベルの違いによる沈下軽減効果の特徴は図-7.5.4.7 と同様であったが，置換率が同等であっても丸太が長い方が沈下軽減に効果的であることがわかった。これは，表-7.5.4.1 に示すように丸太が地盤と接する周面積の大きさが影響を及ぼしていると考えられる。

図-7.5.4.9 は CASE 2 における 120gal 加振時の模型直下 200mm の深さで計測した過剰間隙水圧比の時刻歴波形を示したものである。同図より丸太長 250mm のケースでは他のケースよりも水圧の消散速度が向上する傾向が確認できる。既往の実験 [1)]において，丸太打設地盤では丸太周面より地表面に向かって過剰間隙水圧が消散する効果が得られることを指摘しており，丸太の長さが最も長い 250mm の場合では，この効果がより顕著であったと考えられる。また，図-7.5.4.10 は同実験における各模型の沈下量の時刻歴波形を示したものである。加振は時刻歴の 0 秒から 4 秒の間であり，沈下の大部分が加振中に発生し，加振終了とともに沈下が終了しているが，丸太長 150mm の場合は加振終了後も沈下が継続していた。以上より，地盤支持力増大のためには長尺の丸太を液状化層深部まで打設することが有効であることが明らかとなった。

(4) 丸太が側方流動の抑制効果に与える影響

a) 概説

側方流動とは，護岸の傾斜や地表面の勾配の影響で液状化地盤が広範囲に渡って水平移動する現象である。ここでは，斜面を有する模型地盤を用いて，丸太打設地盤の側方流動抑制効果について検討を行った。

b) 実験概要

図-7.5.4.11 に模型実験の概要を示す。振動台上にアクリル製の土槽（幅 800mm×奥行き 400mm×高さ 500mm）を設置し，土槽右側に高さ 150mm，勾配 1：2 の斜面を有する模型地盤を作製して振動実験を実施した。模型地盤は珪砂 7 号を用いて水中落下法で作製した相対密度約 30%の緩詰めの飽和砂地盤であり，層厚は 300mm で地下水位は地表面とした。土槽の加振方向の壁面内側にはスポンジ製の緩衝材を設置してある。同図に示す色砂は地盤の側方移動量の測定を行うためのものであり，側面から写真を撮影して画像処理ソフトで変位量を測定する方法と，初期位置からの移動を鋼尺で測定する 2 つの方法で計測した。使用した丸太は直径 12mm，長さ 200mm の柱状のものである。入力波は振動数 5Hz の正弦波で加振時間を 4 秒とし，最大加速度を 100gal, 120gal,140gal, 160gal, 180gal と順に変化させ同一地盤に対して計 5 回の加振を行った。なお，模型地盤の材料，上載荷重，地盤作成方法，丸太の打設方法は前述の実験と同様である。

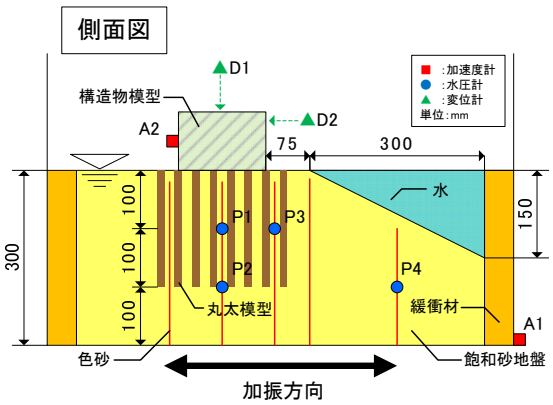


図-7.5.4.11　実験装置

c) 実験結果および考察

図-7.5.4.12 は，地表面に設置した構造物模型と地盤変位マーカーの側方移動量を示したものである。ここで，図中の矢印が移動方向であり，棒グラフは各加振の累積移動量である。同図より，丸太を打設した改良地盤においては，構造物模型と地盤共に未改良地盤に比べて側方移動量の大きな抑制効果が確認できる。しかし，160gal 以上の大きな加速度の場合には，改良地盤においても移動が生じており，丸太の長さや打設間隔等の打設条件を変更する改善が必要である。

図-7.5.4.13(a) は，改良地盤および未改良地盤における構造物模型の加振ごとの累積沈下量を示したものである。同図より，未改良地盤と比較して丸太打設による大きな沈下抑制効果が確認できる。一方，**図-7.5.4.13(b)** は，各加振後の構造物模型の傾きである。ここで，傾きとは構造物の四隅四点の沈下量の最大値と最小値

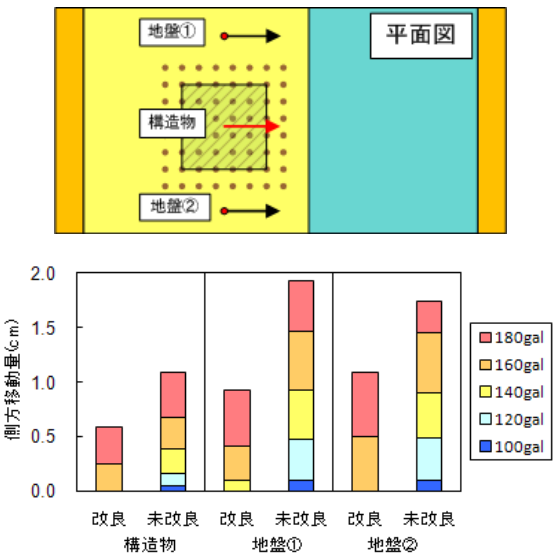
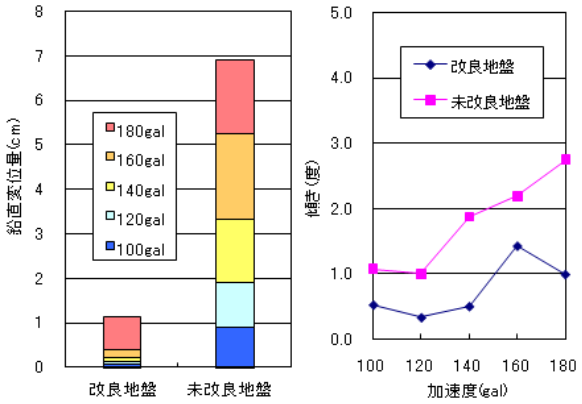


図-7.5.4.12　側方移動量



(a)鉛直変位量　　(b)傾き

図-7.5.4.13　構造物模型の鉛直変位

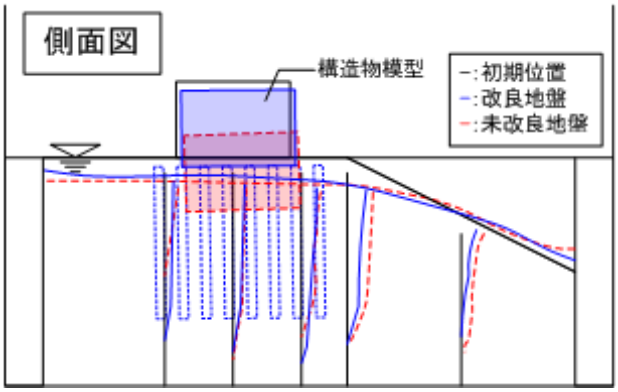


図-7.5.4.14　模型地盤の最終変形状態

の差から算出した。同図より，両地盤共に，加振ごとに傾きが大きくなっているが，改良地盤ではその増加が少ないことがわかる。これより，丸太を打設することは単に沈下量を抑制するだけでなく，不等沈下を防止する効果も期待できることが明らかとなった。**図-7.5.4.14** は加振 5 回後の模型地盤の最終変形状態を示したものであり，丸太打設による地盤の側方流動や構造物の沈下および不等沈下の抑制の様子が確認できる。

(5)まとめ

液状化の可能性の高い飽和砂地盤にある構造物の直下に丸太を打設することの有効性を明らかにするため模型振動実験を行った結果，以下のことが明らかとなった。

- 錘状丸太は柱状丸太と同等の沈下抑制効果を有する。
- 丸太が長く，周面積が大きい方が沈下抑制効果は増大するが，置換率が小さいと周辺地盤の密度増大効果が低減し，沈下抑制効果も低減する。
- 側方流動の抑制と共に不等沈下に対する抑制効果も有する。

参考文献

1) 吉田雅穂，宮島昌克，沼田淳紀，木内貴之，渡邉雄大，内藤法子：スギ丸太を利用した液状化対策工法に関する模型振動実験，第 44 回地盤工学研究発表会平成 21 年度発表講演集，pp.1425-1426，2009.

2) 沼田淳紀，本山　寛，久保　光，吉田雅穂，濱田政則，中村裕昭，外崎真理雄：丸太打設による地盤改良工事における二酸化炭素排出量と貯蔵量の算出，第 44 回地盤工学研究発表会平成 21 年度発表講演集，pp.1793-1794，2009.

3) 吉田雅穂，石崎理子，木野健太，代田拓也，宮島昌克，濱田政則，沼田淳紀：スギの間伐丸太打設による液状化地盤の支持力増大効果に関する模型振動実験，第 45 回地盤工学研究発表会平成 22 年度発表講演集，pp.1459-1460，2010.

7.5.5　間伐材打設による土槽を用いた液状化対策の検討[1)]（沼田淳紀，濱田政則，桃原郁夫，本山　寛）

(1) 概要

模型地盤に実大規模の間伐材を打設し，地盤の密度と液状化抵抗を求める実験を実施している。ここでは，その途中経過を報告する。

(2) 実験方法

実験には，利根川下流で採取した砂を用いた。打設に用いた間伐材は，半径 10cm のスギ丸太（先端部長さ 27.5cm，全長 102.5cm）の 1/4 断面のものである。図-7.5.5.1 に，用いた土槽を示す。土槽は，内寸縦 50cm×横 50cm×高さ 55cm の鋼製で，土槽壁面および底面の変形が生じないように溝型鋼で補強し，この中に目標相対密度 60%の模型地盤を作製した。模型地盤は，間伐材を正方形配置で打設した場合を想定し，1 本の間伐材が分担するエリアの 1/4 をモデル化したものである。

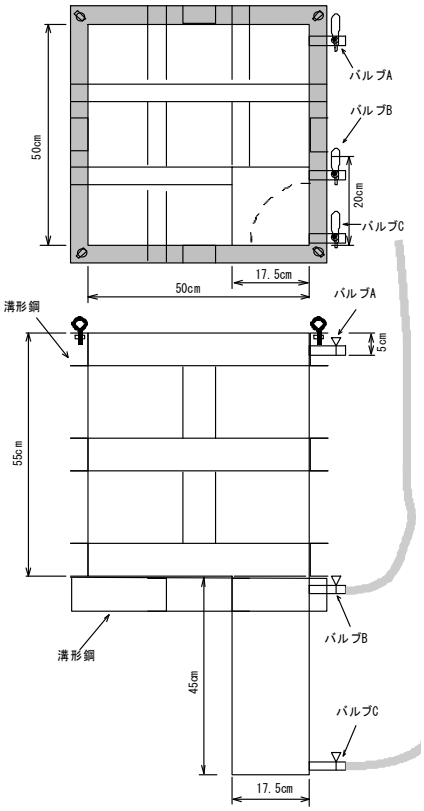


図-7.5.5.1　実験に用いた土槽

模型地盤は，所定の密度になるように締固めて作製した。その後，脱気水を地盤下部から通水し飽和化を行い上載荷重 50kPa を載荷した。この状態で間伐材を打設した。間伐材の打設には振動ランマを用い，2 分で 5cm となるように間伐材を貫入した。ただし，貫入が困難な場合には，ドライブハンマーで間伐材を打撃した。間伐材打設後，地盤を凍結させ，乱さない試料を採取し，それより供試体を作製し，繰返し非排水三軸試験に供し，模型地盤の液状化抵抗を求めた。

(3) 間伐材貫入による地盤の相対密度

図-7.5.5.2 に，上載圧 50kPa で圧密後の三軸供試体の相対密度と間伐材側面からの距離の関係を示す。図中には，初期相対密度 60%で間伐材を打設しないケースによる模型地盤の相対密度を破線で，また，その模型地盤から採取したそれぞれの三軸供試体の相対密度を◆で，その平均値を一点鎖線で，間伐材貫入により想定される模型地盤の相対密度を実線で併記した。

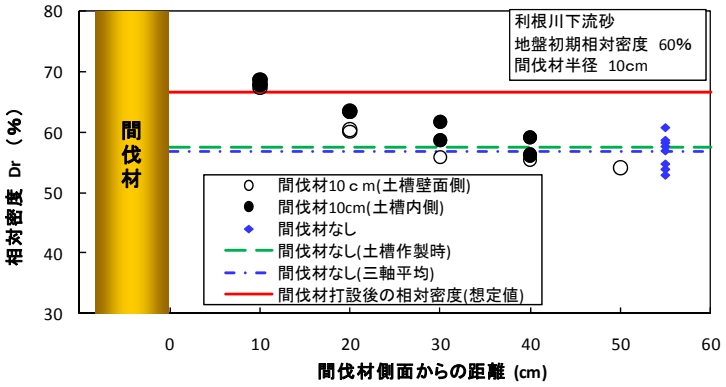


図-7.5.5.2　供試体の相対密度と間伐材側面からの距離の関係

間伐材打設により地盤の相対密度が増加し，その傾向は間伐材に近いほど大きくなることが分かる。地盤は，間伐材の打設貫入により地盤が水平方向に圧縮され，その分地盤の密度が増加すると考えられるが，それは地盤全体

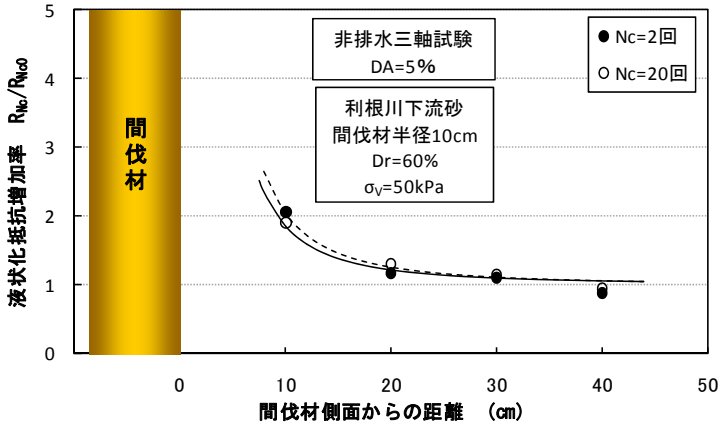


図-7.5.5.3　液状化抵抗増加率と間伐材側面からの距離の関係

の密度が平均的に増加するのではなく，間伐材に近いほど増加量が大きくなる。

(4)繰返し非排水三軸試験結果

図-7.5.5.3 に，間伐材打設後の地盤の液状化抵抗増加率 R_{Nc}/R_{Nc0} と間伐材側面からの距離の関係を示す。ここで液状化抵抗増加率 R_{Nc}/R_{Nc0} とは，間伐材打設前の初期地盤の液状化抵抗から，間伐材打設によって増加した地盤の液状化抵抗の増加率を求めるために，間伐材側面からのそれぞれの距離における液状化抵抗 R_{Nc} を，間伐材を打設しない地盤から求めた液状化抵抗 R_{Nc0} で除したものである。ここでは，繰返し回数 N_c が 2 回と 20 回で両振幅ひずみ DA=5%となる場合について求めた。相対密度で得られた傾向と同様に，間伐材打設により液状化抵抗が増加するが，その傾向は間伐材側面に近いほど大きくなり，今回のケースでは 10cm 離れた地点では初期状態の約 2 倍となり，逆に 40cm 離れた地点ではほとんど増加が認められないことが分かる。また，この増加の傾向は，繰返し回数 N_c が 2 回と 20 回ではほとんど差がない。

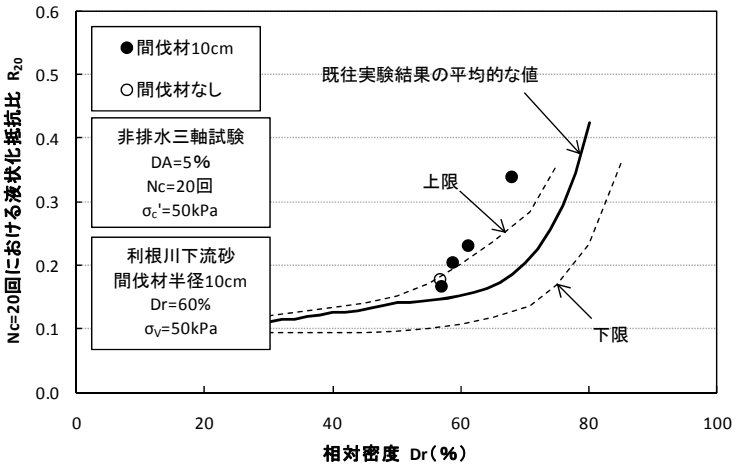


図-7.5.5.4　Nc=20 回における液状化抵抗と相対密度の関係

このように間伐材打設により液状化抵抗が増加する主要因として，間伐材打設による地盤の密度増加が考えられる。これを検討するために，相対密度と繰返し回数 20 回における液状化抵抗の関係を**図-7.5.5.4** に示す。図中には，比較のために既往の実験結果より求めた液状化抵抗の平均的な値とばらつきの上下限値を示した。相対密度の増加により液状化抵抗が大きくなる傾向は同じであり，液状化抵抗が大きくなる主要因は地盤の密度増加であることが分かる。しかしながら，その傾向は既往の関係と比べ大きい。これは，間伐材打設による地盤内の水平方向の土圧の上昇により拘束圧が大きくなっていること，またこれが除荷された後もこの応力履歴が過圧密履歴として残り，地盤の液状化抵抗が大きくなっていることが推察される。

(5)まとめ

a)間伐材が地盤に打設貫入されることで，地盤の相対密度が増加するが，その増加量は間伐材に近いほど大きくなる傾向がある。

b)間伐材が地盤に打設貫入されることで，地盤の液状化抵抗は増加するが，その増加量は間伐材に近いほど大きくなる傾向がある。

c)間伐材の打設貫入で液状化抵抗が増加する主要因として，密度増加が挙げられるが，液状化抵抗の増加量は密度増加によると考えられるものよりも大きくなり，その他の要因として間伐材貫入による水平土圧の増加による影響が考えられる。

なお，本研究は，農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」を活用し実施したものである。

参考文献

1)沼田淳紀，本山寛，桃原郁夫，長尾博文，原田真樹，吉田雅穂：間伐材打設による地盤の液状化抵抗の増加について，第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集，pp.3204-3209，2010.11.

7.5.6　軟弱粘性土地盤における列状および筏基礎の実験（末次大輔）

(1) 実験の概要

木材は地下水位以下では極めて高い耐久性を示す[1)]。木材のこの特性を生かして，地下水位の高い低平地の軟弱地盤地帯に構築される道路盛土等の基礎として，筏基礎と列杭を併用した軟弱地盤対策工法の検討が行われている[2)]。筏基礎と列杭による軟弱地盤対策工法の概念図を**図-7.5.6.1** に示す。筏基礎は主に上部盛土の安定性を確保し，軟弱地盤へ盛土荷重を分散させる。列杭は主に周辺地盤との縁切り杭として機能し，軟弱地盤の側方流動を抑制して周辺地盤の隆起の防ぐ[3)]。施工の方法は，まず，地表面から木杭を列状に打設し，向かい合う杭同士をタイロッドで固定する。次に，木材を敷き並べて筏を組み，プレローディングで地下水位以下まで筏基礎と列杭を十分に沈下させる。その後盛土等の土構造物を造成する。この工法では，木材に耐久性を発揮させるために地下水位以下まで基礎を沈めることが重要ある。今回の現場実験は，筑後川河口付近の河川堤防において，本工法による堤防側帯盛土の現場実験が行われた（**図-7.5.6.2**）。

(2) 現場実験の方法

現場実験を実施した地盤の断面図を**図-7.5.6.3** に示す。表層部約 3m の砂礫層，その下に 4m の粘土層（Ac1 層），そしてその下部に 2m の砂層（As 層），7m の粘土層（Ac2 層）からなる互層地盤である。地下水位は表層から約 2m の深さに位置する。本実験で構築した側帯盛土の法面勾配は 1：1.5，天端幅は 7.7m，高さは 3.25m で，既存堤防よりも 1m 高くなるようにした。側帯盛土の構築方法は次のように行った。今回実験を行った地盤は地下水位が低く，筏基礎ならびに列杭をプレローディングで地下水位以下に沈めることが困難であったので，まず基礎を設置する地表面を地下水位以下まで掘り下げた。掘削底面に列杭を打設し，筏基礎を設置した後，掘削土を十分に転圧しながら埋め戻した。その後，約 25cm/日の盛立て速度で盛土を構築した。

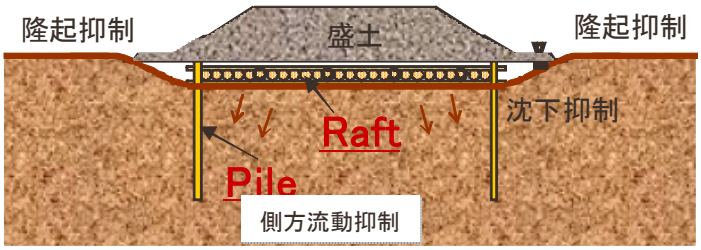


図-7.5.6.1　筏基礎と列杭を併用する基礎の模式図

図-7.5.6.2　現場実験の実施位置

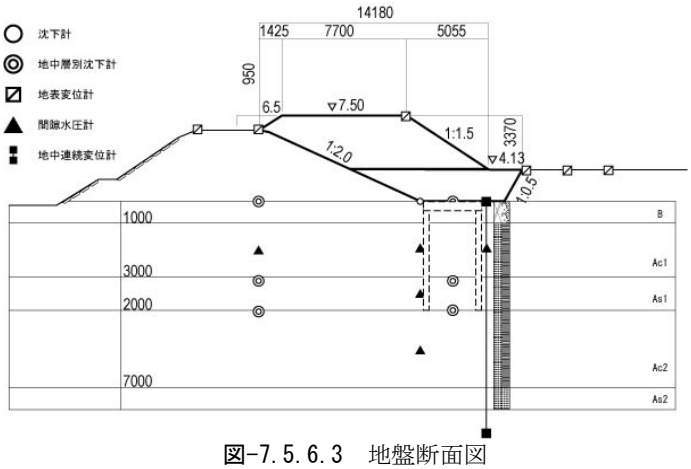


図-7.5.6.3　地盤断面図

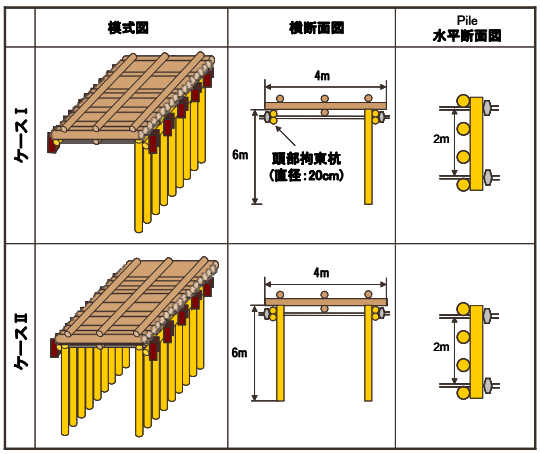


図-7.5.6.4　筏基礎と列杭の構造（実験条件）

写真-7.5.6.1　筏基礎の設置状況

写真-7.5.6.2　盛り立て終了後の状況

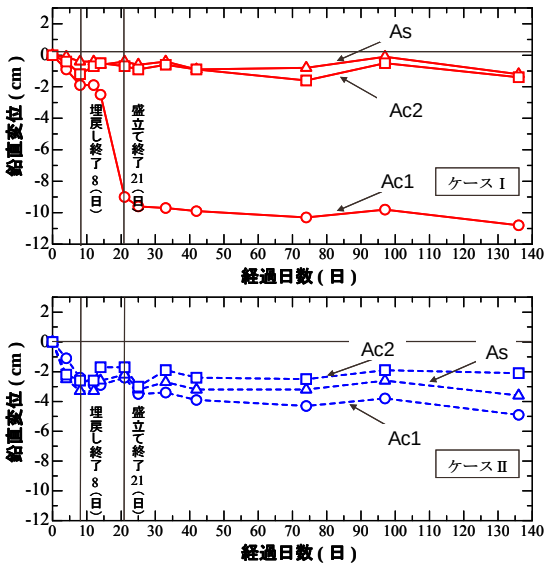


図-7.5.6.5　筏基礎中央点直下各層の鉛直変位の経時変化

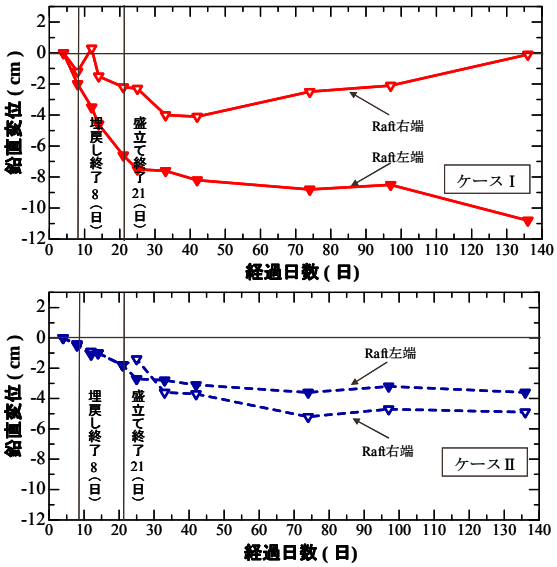


図-7.5.6.6　筏基礎両端の沈下量の経時変化

今回の実験では列杭の設置方法が異なる 2 つの条件で実験を行った。実験条件の模式図を**図-7.5.6.4** に示す。ケース I は側帯盛土法先側（図中筏基礎の右端）にのみ列杭を 1 列打設する条件である。ケース II は筏基礎の両端に列杭をそれぞれ 1 列ずつ打設する条件である。

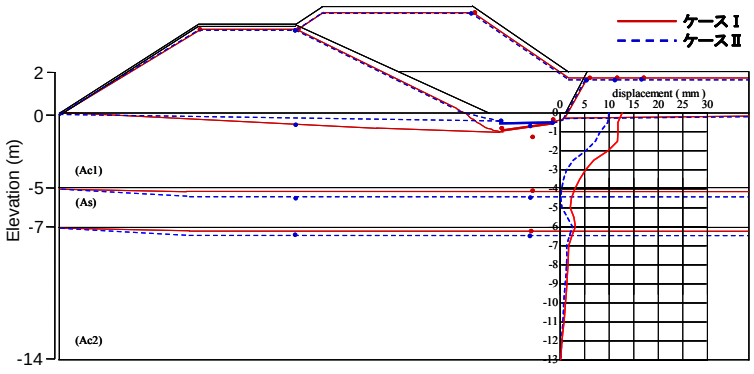


図-7.5.6.7　既存堤防と側帯盛土の変形の概略図

本実験で使用した木材は末口径φ20cm の市販品で，筏基礎には長さ 4m，列杭には長さ 6m のものを用いた。列杭は先端を尖らせた木材を約 15cm 間隔で打ち込み，向かい合う杭を 2m 間隔で，杭頭部拘束材を介してタイロッドで固定している（**写真-7.5.6.1**）。筏基礎は長さ 4m の木材を敷き並べ，土中でばらばらにならないように筏の中央部ならびに両端に 6m の木材を据えている（**写真-7.5.6.2**）。

計測機器の設置位置は**図-7.5.6.3** に示すように，既存堤防と側帯盛土のそれぞれの法肩，ならびに

側帯盛土の法先から 2.5m 間隔に地表変位計を設置した。地盤中には各層に層別沈下計，間隙水圧計を設置した。また，筏基礎の両端には沈下計，側帯盛土法先側の列杭直近に地中連続変位計を設置した。

(3) 実験結果

筏基礎の中央点直下の各層の鉛直変位量の経時変化を**図-7.5.6.5** に示す。ケース I では埋戻しが終了した 8 日から盛立てが終了する 21 日の間に筏基礎直下の Ac1 層上端が大きく沈下した。ケース II では Ac1 層上端の沈下は他の層よりも大きいが，8 日以降に大きな沈下は見られなかった。また，ケース I のように Ac1 層のみ大きく沈下することはなく，経時的な沈下量の変化の傾向はいずれの層もほぼ同じであった。ケース I，II の As ならびに Ac2 層の沈下量を比較するとケース I の方が小さかった。筏基礎両端の沈下量の経時変化を**図-7.5.6.6** に示す。ケース I では筏基礎の両端の沈下量が大きく異なる。すなわち，埋戻し開始直後から列杭を打設していない既存堤防側が大きく沈下し，盛立て終了後も徐々に沈下している。一方で列杭を打設している側帯法先側は埋戻し開始直後から沈下するが，30 日経過以降は隆起に転じている。これらのことから，筏基礎が既存堤側に傾斜していることがわかる。さらに図-7.5.6.4 に示したケース I における筏基礎直下の Ac1 層の大きな変化は，筏基礎の傾斜に起因する変位と解釈することができる。沈下量はケース II では筏基礎の側帯法先側の沈下量が若干大きいが，ケース I のような大きく傾斜することなく概ね一様に沈下している。

施工開始時から 136 日経過時の既存堤ならびに側帯盛土の断面図を**図-7.5.6.7** に示す。同図には側帯盛土法先側の列杭側方における地盤中の側方変位の深度分布を併記している。既存堤直下の Ac1 層上端の沈下量はケース I の沈下量方が大きい。しかし，As 層ならびに Ac2 層上端の沈下量はケース II の沈下量が大きくなっている。側帯盛土直下の沈下量も同様である。一方，側帯盛土の法面部ならびに法尻付近の地表面の沈下量はケース II の方が大きくなっている。地盤中の水平変位はケース I，II ともに上層部ほど大きくなる傾向を示した。いずれの深度においてもケース II の方が変位量は小さく，列杭を筏基礎の両端に打設すると側方変位の抑制効果は大きくなることが確認できる。これらの地盤内の変形から，ケース I の場合では筏基礎の過度な傾斜で，筏基礎周辺の地盤が局所的に側方に変位して，ケース II よりも大きな水平変位を示したと考えられる。さらに，As 層，Ac2 層でケース I の沈下量がケース II よりも小さくなったのもこれが原因であると考えられる。すなわち，筏基礎の既存堤側への過度の傾斜によって筏基礎直下の土塊が側方（側帯盛土法先側）へ移動した結果，鉛直方向への変位が小さくなったと推察される。さらには，側帯盛土の筏基礎中心に対しての非対称な荷重の載荷も原因の一つと考えられる。ケース II では，非対称な載荷であったが，極度な傾きはなくほぼ一様に沈下していることから，側帯盛土荷重をほぼ均等に地盤に伝えていたと考えられる。

これらの結果より，筏基礎と列杭による基礎によって安定した側帯盛土を構築できることわかった。その際，列杭を筏基礎の両端に打設すると側方変位抑制効果が大きくなることが明らかになった。

参考文献

1) 沼田淳紀・上杉章雄・吉田雅穂・久保光・野村崇：足羽側で採取した木材調査の概要，第 7 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，pp.85-90, 2007.

2) Pounchompu, P. Hayashi, S. D.Suetsugu and Y. J. Du: Investigation into performance of Raft & Pile supported embankment on soft ground, Geotechnical Engineering Journal, Vol.39, No.4, pp.185-190, 2008.

3) 末次大輔，林重徳，原弘行：軟弱地盤における堤防側帯への木材基礎の適用性に関する現場実験，木材利用研究論文報告集 9，土木学会，pp.25-28，2010.8.

7.5.7　地中における木材利用に対する品質保証について（深谷敏史，辻浩平）

(1) はじめに

戸建住宅の地盤は，安価で試験方法及び装置が簡便であるスウェーデン式サウンディング試験（以後 SWS 試験）が頻繁に用いられている。また，国土交通省告示第 1113 号が施行され「地盤の長期に生ずる力に対する許容応力度（改良された地盤にあっては，改良後の許容応力度とする。以下同じ）が 1 ㎡につき 20kN 未満の場合にあっては基礎ぐいを用いた構造と，1 ㎡につき 20kN 以上 30kN 未満の場合にあっては基礎ぐいを用いた構造又はべた基礎と，1 ㎡につき 30kN 以上の場合にあっては基礎ぐいを用いた構造，べた基礎又は布基礎としなければならない。」とあり，戸建住宅にも基礎ぐいまたは，それと同等以上の支持力を有する地盤補強が行われるようになった。

(2) 地盤補強

戸建住宅の地盤補強は，施す深度により，

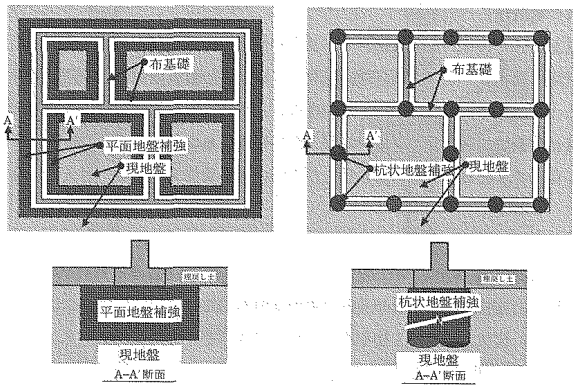
① 基礎底面から深さ 2m 程度を平面的に連続して地盤補強する工法

② 基礎底面の地盤を杭状に深さ方向に連続して地盤補強する工法

の 2 工法に大別される。

杭状地盤補強工法は，小口径杭工法と柱状地盤改良工法が一般的となっている。

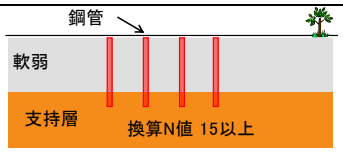
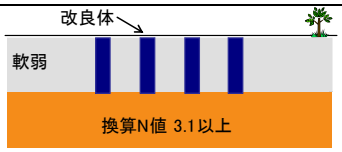
これらの工法で対応できない地域が存在し，そこ



(a) 平面地盤補強工法　　(b) 杭状地盤補強工法

図-7.5.7.1　小規模建築物基礎設計指針（日本建築学会）

表-7.5.7.1　小口径杭工法と柱状地盤改良工法

工　法		小口径鋼管工法	湿式柱状改良工法
概　要		杭打ち機により地盤に鋼管を挿入し、鋼管にて家屋の荷重を支持させる工法	改良機により地盤に柱状のセメント系改良土を作成し、家屋の荷重を支持させる工法
参考写真			
イメージ断面図			
仕様		・鋼材：一般構造用炭素鋼管(JIS G 3444) ・鋼管径：φ114.3mm以上 ・鋼管厚：4.5mm以上 ・鋼管長：2.0m～鋼管径の130倍	・改良径及び改良長：φ500mmで5.0m以下 φ600mmで8.0m以下 ・固化材添加量：300kg/m^{3}以上 ・設計基準強度：Fc=600kg/㎠以上
特徴	長　所	・全国的に適用事例が極めて多い ・柱状改良に比較してさらに深い深度に対応 ・既製品を使用するため品質が安定、養生期間も不要 ・支持層に達する工法であるため圧密沈下も抑止 ・施工機械に小型版もあり機動性が良い	・全国的に適用事例が極めて多い ・表層改良に比較して深い深度に対応 ・鋼管杭に比較して弱い支持条件でも可能 ・支持層に達する工法であるため圧密沈下も抑止
	短　所	・支持層が深いケースが多く、高額になりやすい （仮に支持層深さが同じ場合は湿式柱状とほぼ同額） ・他に比較して最も硬い支持層が必要（N≧15程度）	・残土が発生する ・偏土圧が発生するため擁壁際での施工は不適 ・施工後養生期間が必要（夏3日・冬5日）
地盤条件		換算N値15以上が連続している地盤に0.5m以上根入れさせること	改良下部地盤は換算N値3.1以上が連続して2m程度続いていること

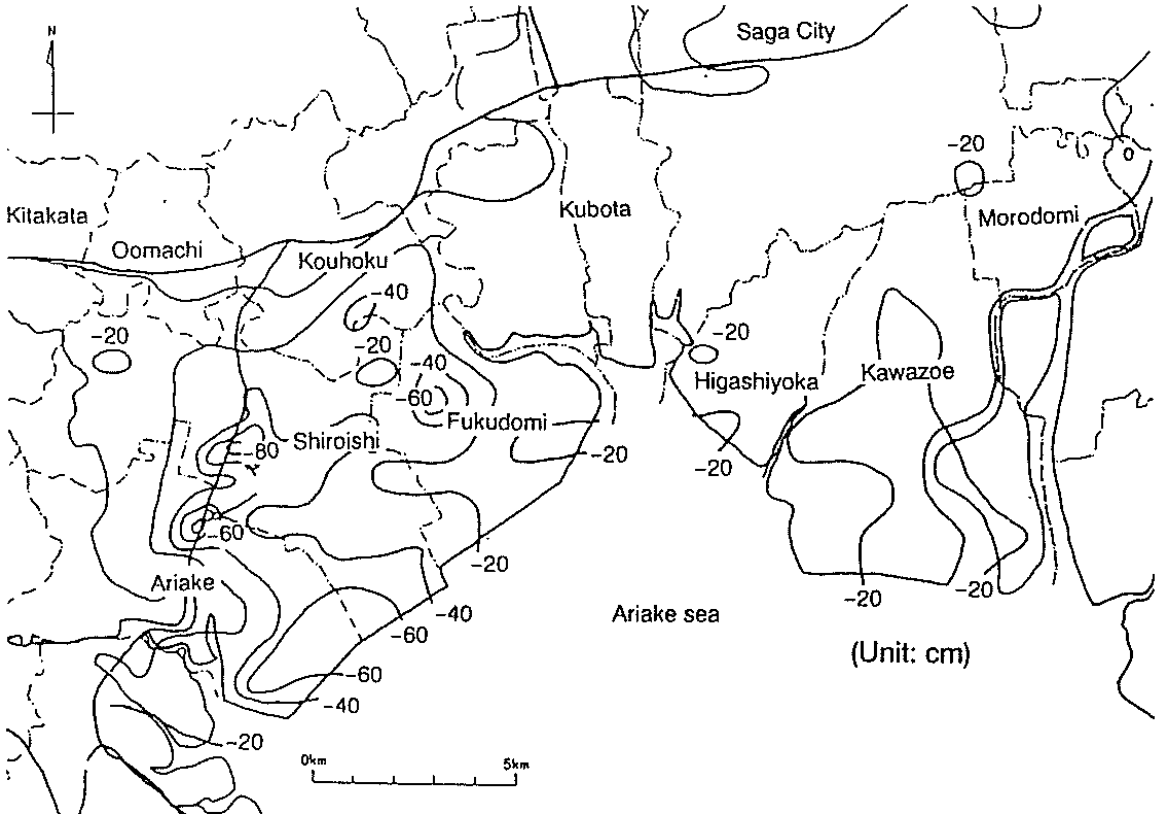


図-7.5.7.2　佐賀平野における地盤沈下等量線図

で木材を利用した地盤補強が行われている。本報告では，その地域と木材での補強方法を紹介する。

(3) 佐賀平野

佐賀平野は，佐賀県佐賀市を中心として，佐賀県南部から佐賀県東部にかけて広がる平野である。筑紫平野のうち，筑後川より西の地域を特に指して呼ぶ名称。典型的な沖積平野であり，現在も拡大が続いているため，河成平野に分類される。佐賀平野は日本でも有数の軟弱地盤地帯であり，基礎補強の有無に係わらず戸建住宅の不同沈下が比較的多い地域である。

(4) 佐賀平野における地盤補強

軟弱地盤が分布する佐賀平野では，前述した地盤補強工法では対応できない。現在行われているのは，古くからある地盤補強の松杭である。松杭は 1920 年に起工された旧丸ビルの基礎でも使用され，松杭支持の独立フーチング基礎で 15 メートル～13.5 メートルの 5,443 本もの松杭が GL-20 メートルの東京礫層にまでおよぶ。杭 1 本あたり，20～30 トンを支えていた。

松杭の設計は，べた基礎の立ち上がり部分に 2m 間隔で配置され，長さはスウェーデン式サウンディング試験結果による。通常，7m のものを 30 本から 50 本程度打設し不同沈下を抑制している。この佐賀平野を含め有明海沿岸で，年間 200 棟以上の戸建で松杭を採用し，施工されている。

品確法に基づく瑕疵担保責任期間 10 年をこの松杭で補強された地盤の品質保証している保険もある。保証内容としては，傾斜角 5/1000 を超えた不同沈下した家屋に最大 5,000 万円となっている。

8. 木材の道路関連への利用（田代晃一）

木材の道路関連利用への検討として，道路関連構造物を中心に

1) 具体的な木材利用の現地調査
2) 将来的な木材利用ポテンシャルの推定と温暖化対策への貢献検討
3) 木材をより有効に活用する観点から木材カスケード利用の現状調査および可能性の提案

を主な課題として，関連する情報の収集および情報の相互提供，現地調査，木材利用に係わる課題抽出と対策の検討，木材利用拡大に向けた技術提案および提案に対する意見交換，土木における木材利用の手引き作成，などの活動を実施している。

今年度の活動成果として，ここでは下記の 4 件を報告する。

1) 道路関連への木材利用事例
2) 木製遮音壁の開発状況
3) 群馬県における木材の土木利用の取り組み
4) NETIS 登録されている間伐材利用道路関連技術

8.1　道路関連への木材利用事例（柴田直明）

8.1.1　はじめに

土木学会木材工学特別委員会・道路関連利用 WG（土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会・WG5）では，法面保護等を含む道路関連利用（木橋を除く）について調査・研究を進めている。

本年度は土木学会平成 22 年度全国大会の研究討論会に向けて道路関連利用の事例調査を実施したので，その概要を報告する[1)]。なお，写真の説明文において，括弧内の道県名は所在地である。

8.1.2　木製遮音壁，木製防風・防雪柵

木製遮音壁については，旧日本道路公団が「木製遮音壁技術指針（案）」を作成し，遮音性能（400Hz で 25dB 以上，1,000Hz で 30dB 以上）や強度性能（風荷重 150kgf/m^2 に耐える）などを定めている。そして，それが現在の各高速道路㈱にも受け継がれている。

これらの性能を満たす木製遮音壁は，1980 年代半ばに長野県で開発され，1985 年度末には中央自動車道 飯田ＩＣ南に 200ｍに渡って試験施工された（**写真-8.1.1** 左）。この遮音壁はカラマツ製で，現在も使われている（**写真-8.1.1** 中央）。

約 25 年の使用に耐えている理由としては，次のようなことが考えられる。1)木製部材は雨水の滞留しにくい断面形状とし（**写真-8.1.1** 右，20 年経過時の調査写真），防腐剤の加圧注入をした。2)支柱はH形鋼，地面に接する下部 2～3 段は通常のコンクリート製遮音板とし，その上に木製遮音板 5 枚を落とし込んだ。3)日当り・風通しのよい設置環境であった。

その後，他県でも何ヶ所かに木製遮音壁を設置しているが，近年本格的に設置したのは群馬県である。同県ではスギ製遮音壁（防腐剤加圧注入，支柱間隔 4m）を 4 タイプ開発し，2001 年以降，北関東道 高崎 JC～伊勢崎 IC 間の計 約 5.4km に設置した（**写真-8.1.2**）。これらの遮音壁も，最上段の木製部材の一部に若干の劣化が認められるのみであり，少なくとも 15～20 年は使用に耐えると推測される。

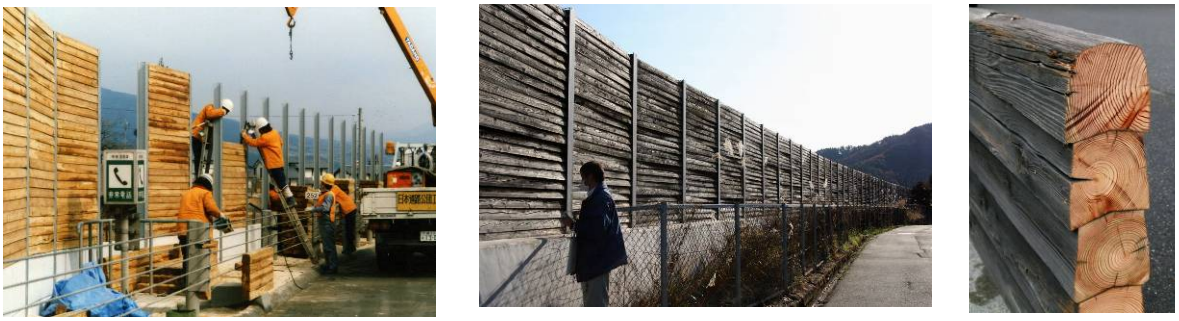


写真-8.1.1　長野県におけるカラマツ製遮音壁の試験施工（左）と 2009 年の WG5 調査（中央）　［右端は鋸断面］

写真-8.1.2　群馬県に設置されたスギ製遮音壁（2 タイプを例示）

欧州では，デザイン的にも優れた木製遮音壁が多用されていると聞く。木製遮音壁は，設置距離当りの木材使用量が多く，木材に求められる強度性能等は高くないので，安心して大量に使える木製構造物であると言えよう。近年は，吸音タイプの木製壁も研究されている。

その他としては，木製防風柵や木製防雪柵等としての施工実績もある。北海道ではカラマツ製防雪柵（高さ 4m・H 形鋼間隔 3m，防腐剤加圧注入）を開発し，2004 年以降，合計で約 300m長の施工を行っている（**写真-8.1.3**）。この防雪柵の設計単価は鋼製高性能防雪柵とほぼ同等であり，耐用年数は 15 年のメーカー保証となっている。

8.1.3　木製防護柵

1998 年の防護柵設置基準の性能規定化に伴い，所定の実車衝突試験（**写真-8.1.4**）に合格すれば，木製のガードレールも使えることになった。当初は民間主導で開発が進められたが，やがて林野庁や都道府県等の補助を受けて開発が進められるようになった。

実車衝突試験に合格した木製の車両用防護柵は既に 10 種類前後となるが（**写真-8.1.5**），主として路側用の B 種（設計速度：60km/h 以上）と C 種（同：50km/h 以下）である。地中に打ち込む支柱はすべて鋼製またはコンクリート製であり，横梁（ビーム）に木材を使用している。横梁の構造は，純木製の他，木材と鋼材とのハイブリッド型が半数近くある。支柱間隔は当初 2m であったが，近年はハイブリッド型において 4m のものも開発されている。

写真-8.1.3　北海道のカラマツ製防雪柵

写真-8.1.4　実車衝突試験（左：20t 大型貨物車，右：1.0t 乗用車）

写真-8.1.5　実車衝突試験に合格した木製防護柵の例
（左から，北海道，群馬県，長野県の一例）

写真-8.1.6　実車衝突試験に不合格となった事例のビデオ画像と，ホイールとビームの位置関係（右）

実車衝突試験に合格した防護柵に共通の特徴として，横梁の 1 本が低い位置に取り付けられていることが見て取れる。これは主として乗用車の衝突に対応させたものである。近年の乗用車の車体は軟らかく造られているため，ホイールが接する高さに横梁がないとタイヤが横梁の下に潜り込み，支柱に激突する例があるからである（**写真-8.1.6**）。

このような木製防護柵は，全国の国道・県道・林道等に既に 120km 程設置されている。

木製防護柵の長所としては，景観に優れている等の一般に指摘されている点の他，乗用車が軽く接触した程度では木製ビームが破損せず，元の形状に戻るため，交換不要となる率の高いことも挙げられる（**写真-8.1.7**）。

なお，観光地等には木製の歩行者自転車用柵等も設置されている（**写真-8.1.8**）。

8.1.4　法面構造物等

林道関係では，従来から各種の筋工，柵工，土留工，擁壁工，法面保護工，型枠工等として，木材が全国各地で多用されている（**写真-8.1.9 及び写真-8.1.10**）。これらの事例は，毎年刊行される「森林土木木製構造物施工マニュアル」（全 400 ページ前後）の中に，1 事例当り見開き 2 ページ（写真，標準図，材料・歩掛表付）で紹介されているので，参考にしていただきたい。

写真-8.1.7　乗用車のタイヤの接触痕（黒い部分）

写真-8.1.8　木製の歩行者自転車用柵

写真-8.1.9　丸太筋工とその劣化（腐朽）調査の様子（長野県）

写真-8.1.10　木製修景工（左，長野県），補強土壁工（中央，石川県），法面保護工（右，長野県）

設計上の基本的な考え方は，工法によって異なる。丸太筋工などでは，植生が回復するまでの間，木材（丸太）が表土の流失を防止すればよいので，通常防腐処理は行わない。最終的には腐朽して土に還ってよいという用法で，木材の特性を生かした，木材ならではの用法とも言える。急勾配の法面保護工等で土圧を支え続ける必要がある場合（**写真-8.1.10 右**）は，定期的に木材の劣化状態を点検し，劣化が進んだら交換することになる。

なお，法面に設置するその他の構造物としては，木製の落石防護柵や雪崩予防柵（**写真-8.1.11**）等も開発・施工されている。

構造物以外では，木材等を破砕して法面の緑化資材として使う方法も，種々実用化されている。

8.1.5　その他の道路関連利用

歩道への利用例を見ると，木レンガは 20 年以上の実績があり，観光地等に広く施工されている（**写真-8.1.12 左**）。木材や樹皮を破砕して舗装資材として利用する方法もあり，適度な弾力と透水性を有することから，全国に普及している。自然遊歩道等では，丸太階段工や木道なども多用されている。

その他の道路関連利用としては，木製の案内板（**写真-8.1.12 中央**）や標識，木製ベンチ等（**写真-8.1.12 右**）がある。これらも，観光地等に多数設置されている。やや特殊な施工例としては，木製縁石等もある。

写真-8.1.11　雪崩予防柵（富山県）

写真-8.1.12　木レンガ（左），木製案内板（中央），木製ベンチ（右）

写真-8.1.13　実車衝突試験に合格している鋼製ガードパイプの例

8.1.6　普及させる上での課題等

(1)量産・低コスト化と総合的な評価方法の確立

既存のコンクリート製または鋼製の構造物とのコスト比較が話題になるものとしては，まず木製遮音壁がある。近年開発された群馬県のものは，コンクリート製遮音壁より若干高価な程度であると聞く。木製防護柵のコスト比較の対象は，実車衝突試験に合格している鋼製ガードパイプ（**写真-8.1.13**）とすべきであろう。これらのガードパイプの材工込み価格は 10,000 円/m 前後であるから，現状の木製防護柵は安価なものでも約 2 倍程度となる。

我が国の遮音壁の設置延長は約 3,000km，ガードレールの設置延長は約 200,000km（林道等を含む）とも言われている。仮にこれらの数%が木製に置き換えられたとしても，その使用量は膨大になる。毎年一定量以上が確実に使用されるとなれば，専用の製造ライン等も整備され，更なる低コスト化が可能であると思われる。

また，製造時の CO_2 排出量や使用時の C 固定量等も含めた，総合的な評価方法の確立も求められている。

(2)カスケード利用に向けたシステム作り

所定の強度性能を要求される木製遮音壁，木製防護柵，一部の法面構造物等では，木製部材の交換が必要となる。設置延長が少ない時には部材 1 本単位での点検・交換も可能であるが，延長が長くなるとそれは困難になる。その場合には，一定の年数が経過したら全数を交換することも考えられる。その際は，交換した部材を直ちにエネルギー源等に回してしまうことも考えられるが，可能なら健全な部材は土木用途で再利用したい。カスケード利用に向けた具体的なシステム作りも，検討しておくべきである。

謝辞

本調査は，主として国土交通省 平成 21 年度 建設技術研究開発費補助金および 2008，2009 年度(財)鹿島学術振興財団助成金によって実施された。土木学会木材工学特別委員会をはじめ，(地独)北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場，群馬県林業試験場，富山県農林水産総合技術センター 木材研究所，石川県林業試験場 資源開発部 石川ウッドセンターの関係各位から，多くの情報，ご協力をいただいた。ここに記して，感謝の意を表します。

参考文献

1) 柴田直明：木材の道路関連利用，土木学会平成 22 年度全国大会 研究討論会 研‐17 資料　木材の使い方いろいろ －幅広い分野への普及を目指して－，土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会，P.10-12 ， 2010.

8.2　木製遮音壁の開発状況（山口秋生）

8.2.1　はじめに

国土交通省道路局は，平成 14 年度において，直轄国道約 2,100km のうち，騒音の環境基準の類型指定又は騒音規制法に基づく地域の指定がなされている地域を通過する 8,359km において，道路交通騒音調査を行った[1]。その結果は，夜間において，要請限度を達成している道路は，5,223km であり，残り 40%は，騒音対策が必要であり，低騒音舗装，遮音壁設置等の沿道環境対策を推進している。しかし，木製遮音壁の設置は進んでいない。平成 17 年度の調査によれば，木製遮音壁は，全国で 26 箇所に設置され，施工延長長さは，12km のみである[2]。

平成 22 年 10 月には，「公共建築物等における木材利用促進法」が施行された。この中には，木製遮音壁など道路施設への木材利用促進も含まれている。木製遮音壁に求められる性能は，音響性能だけでなく，雨，紫外線に暴露される為，木材腐朽菌，シロアリに対する耐久性能も必要である。木材を加圧式防腐処理及び熱処理することで，耐久性能が付与されるので，このような高耐久性木材を利用した木製遮音壁の開発が進められている。

8.2.2　木製道路施設普及促進のための技術開発事業[3]

平成 19 年度からの開発事業では，主に多機能木製遮音壁の開発として，防護柵を兼ねた低層木製遮音壁（**写真-8.2.1**），扉機能を兼ねる公園，駐車場等に設置しうる木製遮音壁，高さ 2ｍの耐久性に富む木製遮音壁の開発と設置を行った。

高さ 2m の木製遮音壁は，大阪市住之江区に，支柱として 150mm の H 鋼を 2m 間隔で設置し（**図-8.2.1**）,音響透過損失試験（JIS A1416）により遮音性能が確認された高さ 1m の木製遮音壁パネルを 2 枚建て込み，高さ 2m，総延長 22m の木製遮音壁とした。枠材は，加圧式保存処理されたベイツガ材を使用し，表面には，熱処理で，耐久性，寸法安定性が付与されたスギ材が使用された。最上部の笠木として，植林木であるアカシア・マンギウムの集成材を車道側が高くなるように傾斜させて設置している（**写真-8.2.2**）。今回設置した木製遮音壁は，加圧式保存処理木材と熱処理木材を組み合わせて耐久性が付与されているが，耐候性についても配慮した。すなわち，笠木の庇効果による腿色予防効果と，新しく開発された表面保護塗料の組み合わせによる腿色予防効果の相乗効果を試みている。今後も定期的に耐久性だけでなく，色差についても調査を行う予定である。

写真-8.2.1　低層木製遮音壁

写真-8.2.2　高さ 2m 木製遮音壁

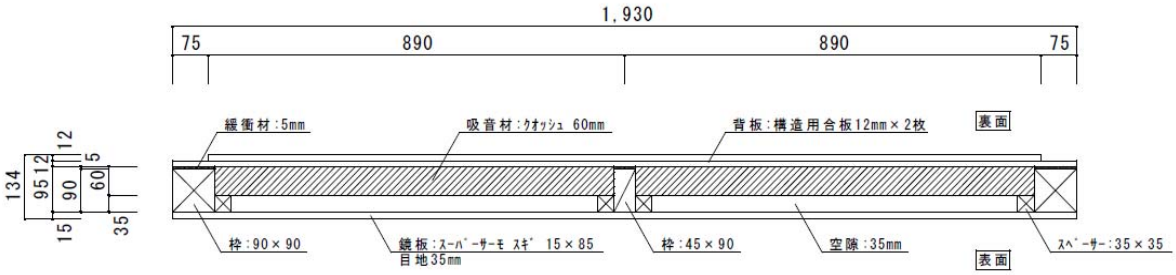


図-8.2.1　木製遮音壁の構造(平面図)

表-8.2.1　騒音レベル調査結果（1.5m 地点）　単位（db）

木製遮音壁種類	設置前	設置後	レベル差
低層遮音壁	69.7	67.9	1.8
扉機能型遮音壁	67.9	62.7	5.2
2m高遮音壁	67.7	64.6	3.1

また，騒音低減効果の評価を行った。それぞれの設置前後の騒音レベル調査結果を，**表-8.2.1** に示す。この結果は，いずれも木製遮音壁を設置することで騒音の低減効果が認められ，低層遮音壁でも 1.8db の効果が確認された。扉機能型遮音壁，2m 高遮音壁では，3～5db の低減効果が確認され，本遮音壁設置場所において,環境基準以上であった騒音レベルが環境基準 65db をクリアーできることが示された。

また，平成 13 年度に大分県臼杵市に設置された木製遮音壁の実態調査が行われた。全体的には比較的良好な状態を保持しているように見受けられた。この調査結果から，耐久性維持について，水分が滞留しやすい基礎部分と直結する木材部分の工夫，常時雨水等に曝される最上面への笠木の設置を提言している。また，使用材料の品質については，製材 JAS に規定される K4 もしくは(財)日本住宅・木材技術センターの実施する優良木質建材等認証事業の AQ の性能基準を満たすものを使用することを推奨している。

8.2.3　防腐合板を使用した木製遮音壁の開発

平成 22 年度は，地域材を用いた合板の活用による土木資材の開発として，防腐合板による木製遮音壁の開発を進めている。木製遮音壁の設置が進んでいない原因としては，コスト面が大きく影響している。従来は，角材，丸削り材，反割り材が使用されていたが，木質材料として入手性，加工性，コスト性から工業製品として優れている合板を使用することで，コスト面からアプローチしている。

参考文献

1）国土交通省道路局：直轄国道における道路交通騒音の現況について（平成 14 年度），2002
2）並河良治，佐藤直己：木製製品に関する調査，国土技術政策総合研究所資料，p110,2006
3）社）日本木材加工技術協会：木製道路施設普及促進のための技術開発事業成果報告書，pp.95-125,2010

8.3 NETIS 登録されている間伐材利用道路関連技術（池田穣）

NETIS（NEW TECHNOLOGY INFORMATION SYSTEM，新技術情報登録システム）とは，国土交通省が運用している新技術に係る情報を,共有及び提供するためのデータベースである。平成 10 年(1998 年）度より運用を開始し，平成 13 年（2001 年）度よりインターネットで一般にも公開されている。有用な新技術の情報を誰でも容易に入手することが可能となっている。

NETIS は，申請情報と評価情報から構成される。申請情報は，登録申請を受理した技術について登録申請書類に記載されている技術的事項及び経済性に係る情報等の技術開発者の申請情報を掲載している。一方，評価情報は，各地方整備局等の新技術活用評価会議等による事前審査，事後評価結果に関する情報等を掲載している。平成 23 年（2011 年）現在，申請情報 4067 件，評価情報 512 件が登録されている。

NETIS に新技術を申請するためには，経済性，安全性，耐久性，施工性，品質，周辺環境への影響，関係基準等との適合性，他技術との比較，特許の有無など詳細な情報が必要である。すなわちその技術が一応完成し，商品化されていることがもとめられる。このことから NETIS に登録されている技術情報を検索することにより対象技術の実用化の動向を探ることが可能である。

ここでは，間伐材をキーワードに NETIS 登録されている申請情報，評価情報を検索した。平成 22 年（2010 年）10 月の時点で，「間伐材」というキーワードでヒットした技術情報は，123 件であった。その中で，道路関連に分類される申請情報としては，舗装工 9 件，防護柵 7 件，法面緑化 4 件，道路付属物 3 件，遮音壁 3 件の計 26 件であった。その中でさらにハードルの高い評価情報に至っている技術は，法面緑化 1 件，遮音壁 1 件の計 2 件であった。**表-8.3.1** に当該技術の一覧を開発主体とともに示す。

さらに 3 つの遮音壁（「遮音パネル」，「サイレントウッディ木製防音浄化壁」，「安ら木」）の登録情報の詳細を**表-8.3.2** にまとめた。登録は 2001 年～2005 年である。いずれもスギの間伐材を利用している。株式会社,木材共同組合,森林組合が開発会社となっている。ユニットの大きさは幅 2m～3.96m，高さ 0.5～1m，幅 14～19cm である。単価は，材のみで 18,000～48,000 円/㎡で，従来の防音壁の価格の 1.6～4.8 倍となる。それぞれ既に国土交通省，公共機関での実績がある。また防音性能についても，透過損失，吸音率を公的試験機関で測定しデファクトスタンダードになっている旧日本道路公団の基準をクリアしている。強度についても「遮音パネル」，「サイレントウッディ木製防音浄化壁」については旧日本道路公団の基準をクリアしている。さらに「遮音パネル」に関しては，旧日本道路公団木製遮音壁技術指針（案），国土交通省関東地方整備局関東技術事務所木製遮音壁参考資料（案）に基づき燃焼試験，含水率測定，防腐処理薬剤の浸潤度試験，接着材の剥離試験等を実施し安全性を確認している。また「サイレントウッディ木製防音浄化壁」ではスギと炭チップを入れたカートリッジを取り付け，これによる窒素酸化物の除去効果を確認している。特許については，「遮音パネル」が取得しており，「サイレントウッディ木製防音浄化壁」は出願中とされる。「遮音パネル」と「サイレントウッディ木製防音浄化壁」には，防腐剤として「マイトレック ACQ」を加圧注入している。

この 3 つの中で「サイレントウッディ木製防音浄化壁」は，開発主体が森林組合であり，生産者が商品まで手がけているユニークな事例と考えられる。さらに評価情報となっていることから商品としての完成度もかなり進んでいると考えられ，今後先進的な事例として現地に赴き情報収集する予定である。

表-8.3.1　間伐材利用道路関連技術 NETIS 登録情報

番号	分類	登録番号	技術名称	開発主体		備考
				技術	営業	
1	舗装工	KK-030007-A	木質加熱アスファルト舗装(ハーモニーロードウッド)	田中建材株式会社	田中建材株式会社	
2		HR-070022-A	OCシステム(木質系舗装)	株式会社福田組	株式会社福田組	
3		SK-980020-A	ウッドファイバー舗装	大成ロテック株式会社	大成ロテック株式会社	
4		SK-030010-A	ウッドクリート	(株)佐藤渡辺	(株)佐藤渡辺	
5		TH-990062-A	アスウッド舗装	ニチレキ株式会社	ニチレキ株式会社	
6		SK-980045-A	バークマット工法	東亜道路工業株式会社	東亜道路工業株式会社	
7		TH-010009-A	Wウッド舗装(フレークウッド舗装)	(株)佐藤渡辺	(株)佐藤渡辺	
8		TH-990036-A	レインボーウッドE	日本道路㈱	日本道路㈱	
9		KT-990349-A	エコチップペイブ	前田道路株式会社	前田道路株式会社	
10	防護柵	HK-090020-A	ウッドガード(木製土留工)	丸高産業株式会社	株式会社ケーシン	
11		SK-060011-A	木製防護柵 エコフォレスト	溝渕林業興業株式会社	株式会社 四国特殊工事	
12		HK-080014-A	景観に配慮した吹き止め式防雪柵	株式会社 ノースプラン	株式会社 ノースプラン	
13		KK-070002-A	木製歩行者自転車用柵ウッディーフェンス	熊野川流域木材協同組合	熊野川流域木材協同組合	
14		SK-050004-A	プログレス木製防護柵	南国土木工事株式会社	有限会社みかげ	
15		HK-100013-A	軟弱地盤用ネット式木製防風・防雪柵	株式会社ノースプラン	株式会社ノースプラン	
16		KK-020068-A	O&Dウッド木柵工	株式会社コシイプレザービング	株式会社コシイプレザービング	
17	法面緑化	TH-990093-A	階段状土留工法(ウッディビオマット)	株式会社 ウッディさんない	株式会社 ウッディさんない	
18		KT-050038-V	ログフレーム工法	ライト工業株式会社	ライト工業株式会社	評価技術
19		KK-010003-A	ウッドスロープ工法	フリー工業株式会社	フリー工業株式会社	
20		KK-020027-A	ウッド筋工	有限会社 クスベ産業	有限会社 クスベ産業	
21	道路付属物	CB-040071-A	ログガード	株式会社 長野技研	株式会社イーエムシー	
22		TH-990131-A	木製ガードレール	和光コンクリート工業株式会社	和光コンクリート工業株式会社	
23		SK-010021-A	安全くん(ウッディクッションドラム)	有限会社エスエス	有限会社エスエス	
24	遮音壁	KK-010038-A	遮音パネル	熊野川流域木材協同組合	熊野川流域木材協同組合	
25		KK-050102－V	サイレントウッディ木製防音浄化壁	御杖村森林組合	御杖村森林組合	評価技術
26		CB-040044-A	安ら木　AHF-1	篠田株式会社	間伐材防音壁普及協会(事務局　篠田株式会社)	

表-8.3.2　間伐材利用防音壁比較表

NETIS登録番号	KK-010038－A	KK-0501020-V	CB-040044-A
登録年月日	2001.7.17	2005.11.4	2004.8.6
技術名称	遮音パネル（しゃおん君・きゅうおん君）	サイレントウッディ木製防音浄化壁	安ら木AHF-1
特徴	・杉間伐材を使用。 ・受音側に集成材を用い、割れ・そりの発生を抑制。 ・着色可。	・NOx除去のため、内部に杉＆炭チップを収納	・杉間伐材を使用。
写真			
開発会社・問い合わせ先	・熊野川流域木材共同組合（和歌山県新宮市）	・御杖村森林組合（奈良県宇陀郡御杖村） ・（株）都市樹木再生センター（大阪府大東市）	・篠田株式会社（岐阜県羽島郡岐南町） ・間伐材防音壁普及協会（事務局：篠田株式会社）
仕様	・ユニットの大きさは、幅3.96m、高さ0.5m、幅19cm	・ユニットの大きさは、幅2m、高さ1m	・ユニットの大きさは、幅2m、高さ1m、幅14cm
単価	48,038円/㎡（運搬費、H鋼支柱と設置費用は別途）	26,060円/㎡	18,345円/㎡（基礎工事、支柱建て込み別途）
（従来単価）	9,918円/㎡	16,500円/㎡	9,236円/㎡（基礎工事、支柱建て込み別途）
工程・工期			・1日の施工面積は80㎡
実績	・国土交通省5件	・公共機関1件	・公共機関1件、民間等5件
防音性能	・（財）日本建築総合研究所にて透過損失、吸音率試験実施し、JHの基準クリアを確認。	・（財）日本建築総合研究所の音響透過損失試験によりJHの基準クリアを確認	・（財）日本建築総合研究所にて透過損失、吸音率試験実施し、JHの基準クリアを確認。
強度性能	・（財）日本建築総合研究所他にて、日本道路公団の遮音壁設計要領が規定する強度試験を実施し風荷重（150kgf/㎡）に耐えることを確認。	・大阪府立産業技術総合研究所により、曲げ強度（圧縮）試験を実施し、JHの基準クリアを確認。	・（財）日本建築総合研究所にて風荷重を考慮した等分布荷重試験を実施。
その他性能	・日本道路公団　木製遮音壁技術指針（案）、国土交通省関東地方整備局関東技術事務所　木製遮音壁参考資料（案）に基づき、燃焼試験、含水率測定、防腐処理薬剤の浸潤度試験、接着材の剥離試験等を実施し、安全性を確認。	・大阪府立産業技術総合研究所により、杉＆炭チップによるNOx除去効果確認。 ・杉＆炭チップの浄化カートリッジに用いる不織布の難燃性評価試験を実施。	
特許	・特許第3623758号　木製防音パネル（受音側に集成材を用い、割れ・そりの発生を抑制）	・出願中	・なし
現場条件	・土工部の使用に限定。橋梁部には原則設置不可。	・土工部（橋梁部・高架部等は別途対応予定）	・一般土工部限定（橋梁部・高架部は検討中）
設計条件			・高さ5m未満
防腐加工	・マイトレックACQ加圧注入、18年間（継続実験中）の耐久性あり。	・マイトレックACQ加圧注入	・防腐材不明。約15年はメンテナンスの必要なし。
関係基準	・国土交通省関東地方整備局関東技術事務所　木製遮音壁参考資料（案） ・日本道路公団　木製遮音壁技術指針（案）	（財）日本住宅・木材技術センター　木製遮音壁設計施工の手引き	

9.　名古屋城本丸御殿復元工事及び伊勢神宮見学会報告（池田穣，辻井修，新間康雄）

9.1　はじめに

2010 年 6 月 1 日，2 日にかけて古建築・土木構造物への木材の利用実態を視察するため，名古屋城本丸御殿復元工事及び伊勢神宮の見学会を開催した。研究会メンバーの出席者は 6 月 1 日の名古屋城本丸御殿復元工事では 11 名（**写真-9.1.1**），6 月 2 日の伊勢神宮では 13 名（**写真-9.1.2**）であった。

写真-9.1.1　名古屋城本丸御殿復元工事見学会参加

写真-9.1.2　伊勢神宮見学会参加者

9.2　名古屋城本丸御殿復元工事

名古屋城本丸御殿は，天守閣の南，本丸のほぼ中央に 1615 年（慶長 20 年）に立てられた（**図-9.2.1**）。当初は初代尾張藩主徳川義直の住居と藩の政庁として使用され，その後将軍が上洛する際の宿館となった。木造平屋建（柿葺き）延べ面積約 3100m^2 で部屋数 30 を超える。室内は虎や豹，花鳥風月などを画材とした障壁画や飾金具などで豪華絢爛に飾られ，建物・絵画・美術工芸において高い評価を受けていた。建物そのものが近世武家文化をテーマにした「美術館」と呼ぶにふさわしいものであった。現在国宝の京都二条城の二の丸御殿とならび武家風書院造の双璧とされ，城郭建築として戦前には国宝第 1 号に指定された。戦災で消失したものの，本丸御殿の歴史的意義を踏まえ焼失前と同様の文化的価値を有しかつ市民の財産として活用できるように，原則として旧来の材料・工法により復元する工事が 2009 年から 2018 年までの予定で行なわれている（**写真-9.2.1**）。

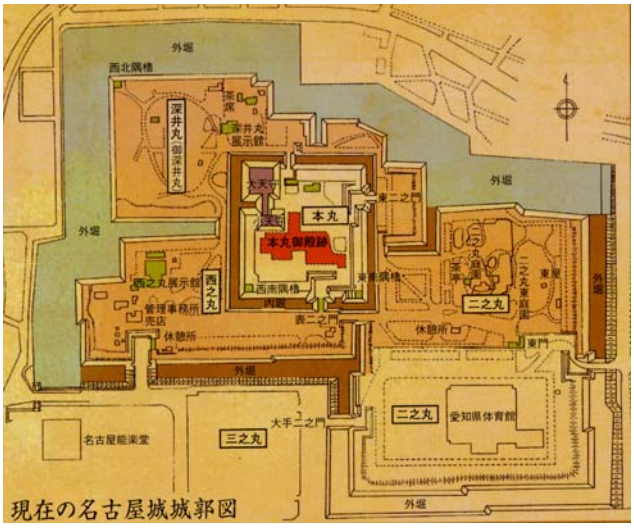


図-9.2.1　名古屋城城郭図 [1)]

写真-9.2.1　名古屋城本丸御殿復元イメージ [1)]

本丸御殿の建築材料には，尾張藩の御用林となった木曽ヒノキが使われたといわれている。木肌が優美な木曽ヒノキは，古来より日本の木造建築文化を支えてきた名木とされる。本丸御殿の復元においても木曽ヒノキを半分程度使用している。そのほかマツ，クワなども使用し総木材量は，1830m^{3}とされる。木材は，名古屋港の貯木場で養生し，害虫の発生を防いでいる（**写真-9.2.2**）。木材加工場（**写真-9.2.3**）や原寸場（**写真-9.2.4**）では，樹齢300年を超えるヒノキ材などを，含水率20%以下にし，木材情報識別シールをつけ（**写真-9.2.5**）保管している。それらの木材を用いて墨付やカンナがけなどの作業を行なう。原寸場では図面で表現しきれない部分を実物大で作図し，型取りなどを行なう。さらに本丸御殿跡全体を素屋根と呼ばれる大きな屋根（**写真-9.2.6**）で囲い，内部で木材組み立てなどの作業を行なう。柱には耐震構造のアンカーを採用している（**写真-9.2.7**）。

写真-9.2.2　名古屋港の貯木場

写真-9.2.3　木材加工場

写真-9.2.4　原寸場

写真-9.2.5　木材情報識別シール

写真-9.2.6　素屋根内部

写真-9.2.7　**耐震**構造のアンカー

9.3　伊勢神宮 [2)]

伊勢神宮の正式名称は神宮で，外宮と内宮を始めとする 125 の宮社の総称である。神宮の御正殿は，唯一神明造といわれるもので，弥生時代に遡る穀倉の建築様式である。材料はヒノキを使用し，切妻平入の高床式で，屋根は萱で葺かれる。20 年に一度，正殿をはじめ御垣内の建物全てを新造し，さらに神々の御装束や神宝を新調して神様を新宮へお遷しする（神宮式年遷宮）。新御敷地は東西方向に隣接している。第 1 回の遷宮は持統天皇 4 年（690 年）に行なわれ，戦国時代には中断されたものの，1300 年にわたって行なわれている。第 62 回神宮式年遷宮は，平成 17 年に始まっている。30 余りの祭儀を経て 8 年の歳月をかけ，平成 25 年に遷御を迎える。

何故 20 年に一度かについては諸説がある。神宮の社殿は木造で萱葺きのため，清い尊厳な姿を保つには，20 年で建替える必要があるとする説。あるいは宮大工や工匠などの技術を次世代に継承するには 20 年が適当とする説。または古代の国家経済を支えていた稲の貯蔵年限によるとする説などがある。

今回，内宮域内の宇治橋と風日祈宮橋（**図-9.3.1**），神宮宮域林（**図-9.3.2**）および外宮に隣接する山田工作場を特別に見学した。また参加メンバー全員で内宮の正宮で特別参拝を行なった。

図-9.3.1　内宮の地図 [2)]

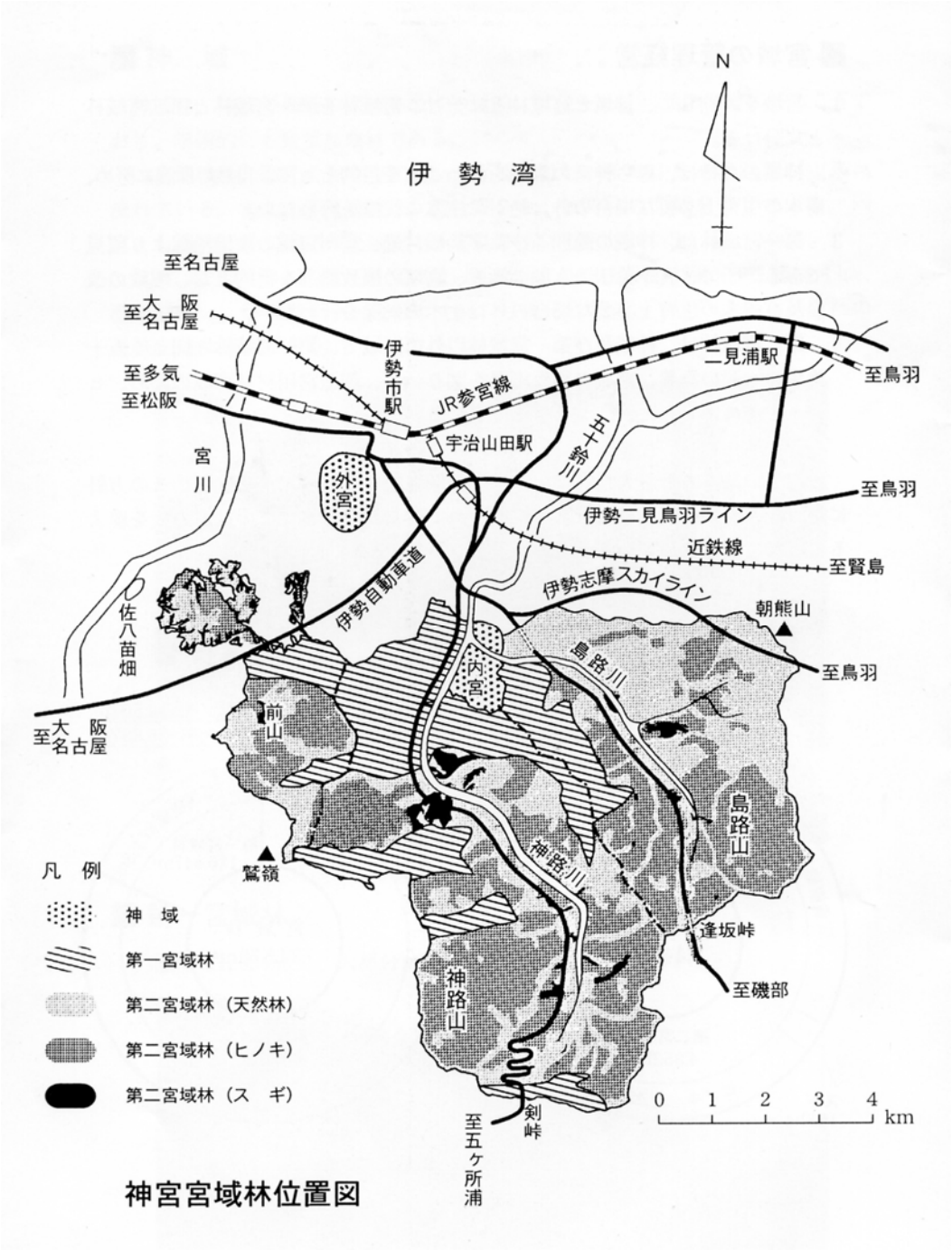


図-9.3.2　神宮宮域林位置図 [3)]

9.3.1　宇治橋及び風日祈宮橋

五十鈴川にかかる宇治橋も式年遷宮の一環として 20 年に一度架け替えが行なわれる。年間神宮を訪れるれる参拝者は 800 万人。20 年間では 1 億人を超える人が宇治橋を渡ることになる。平成 21 年に宇治橋架け替えを行なった（**写真-9.3.1**）。

宇治橋は長さ 101.8m，幅 8.42m，中央で両端より 1.82m 高い太鼓橋で横断勾配は 3%である。部材はひとつひとつカーブに応じて寸法が異なる。橋の原寸どおりの図面を薄い板に写し，その板を用材にあてがいながら木取りの墨を入れる「原寸型取り」という伝統手法で製作される。高欄部は木曽ヒノキ使用し，その量は，30 坪の木造住宅ざっと 16 軒分である。また橋脚の部分は，ケヤキを使用してい

る（**写真-9.3.2**）。さらに橋の上流には橋脚を流木から守るための木除杭が 8 本立てられている（**写真-9.3.3**）。

橋脚を腐朽から守るために敷板 616 枚に特殊な鋸で「すり合わせ」を施す。これは船大工に伝わる伝統技法である。また現場では敷板（長さ 4.2m，幅 30cm，厚み 15cm）一枚一枚を金槌で叩く「こなし（木殺し）」の作業を行なう。これは木のあいくち（接する面）を金槌でたたき，へこませる作業である。これにより敷板の隙間に雨水が浸入するとへこませた部分の木の繊維が膨張し，木と木がさらに密着し隙間が小さくなり，雨水を橋脚へ漏らさないことになる。さらに腐食防止のため，橋脚基礎に銅板を取り付けたり（**写真-9.3.4**），ウレタンで端部を塗布している。

宇治橋の内と外にある木造の鳥居も 20 年ごとに建替える。内側の鳥居は，皇大神宮正殿（内宮）の棟持柱 2 本が用いられ，外側の鳥居は豊受大神宮正殿（外宮）の棟持柱を用いる。遷御後の古殿解体後，次回は平成 26 年に建替え予定である。これらは 20 年を経ると内の鳥居は関の追分の鳥居となり，外の鳥居は，桑名の七里の渡しの鳥居となる。それぞれ 3 箇所で 20 年，計 60 年の勤めを果たすという。

宇治橋と同様に五十鈴川に架けられている橋が風日祈宮橋である。橋の長さ 45.6m，幅 4.6m で，宇治橋を小さくしたような橋である。見学時は，式年遷宮の一環として架け替え工事中（**写真-9.3.5**）であり，仮の橋がかけられていた。橋の架設が完了し，敷板張り作業中であり現場では「こなし」の作業を行っていた（**写真-9.3.6**）。

写真-9.3.1　宇治橋

写真-9.3.2　宇治橋橋脚

写真-9.3.3　木除杭

写真-9.3.4　橋脚基礎の銅板

写真-9.3.5　工事中の風日祈宮橋

写真-9.3.6　敷板のこなし（木殺し）作業

9.3.2　神宮宮域林

宮城林は伊勢市の南部に位置し，標高 300~500m の屋根で囲まれており，神宮司庁営林部が管理を行なっている。宮域林は，第 1 回の式年遷宮のときから御造営用材を調達する「御杣山（みそまやま）」と定められた。その後材の欠乏により「御杣山」は木曽に移った。しかし御造営上最も神聖な「心御柱」は今でもこの山から伐りだされている。

宮域林は，5446ha の面積で，第一宮域林（1094ha）と第二宮域林（4352ha）に分かれる。第一宮域林はほとんど天然林で，五十鈴川の水源の涵養，宮域の風致増進を目的として，風致の改良及び樹木の生育上必要な場合の外は生木の伐採は行なわない。第二宮域林は，防火樹帯 160ha　除地 32ha を除き，特別施業地と普通施業地とに分かれる。特別施業地は 1259ha でクスノキ，ヤブツバキの純林等学術上貴重な森林として保護に努めている。普通施業地の面積は 2901ha で御造営用材林育成のためのヒノキを主体とした施業を行なっている。これらの基本方針は大正 12 年に最初の森林経営計画において決められた。

御造営用材は，1 回の遷宮で材積約 1 万 m^3（本数で約 1 万 4 千本）が必要とされる。胸高直径 60cm 前後の立木からの伐採が主体である。この径級の材をできるだけ短い期間に生産できるように将来的に残す木を早い時期に選定し，この木を肥大成長させる施業を行なっている。具体的には，ヒノキについて大樹を期待できる木（大樹候補木）には二重ペンキ，これに次ぐ成長を期待できる木（御造営用材候補木）には一重ペンキを表示している（**写真-9.3.7**）。

選木は，植林後 30～40 年後に行う。大樹候補木を ha あたり 50~70 本程度選定できる箇所を第一作業級（A 林分），これ以外（大樹候補木を ha あたり 10~15 本程度選定できる）を第二作業級（B 林分）と

写真-9.3.7　ペンキによる選木状況

写真-9.3.8　見学状況

している。200 年の育成期間を想定し，胸高直径は大樹候補木で 100cm 以上，御造営用材候補木で 60cm 以上を目標としている。こうした施業により現在は，式年遷宮で木材の 20%を自給しているが，将来の供給の上で宮域林は，量的に十分なポテンシャルを有しているとされる[4)]。

見学した区域（**写真-9.3.8**）は，昭和 2 年に植樹した 84 年生の植林区域で，第一作業級に属する。この区域の胸高直径の最大値は現在 68cm である。胸高直径は何回か測定して一番小さな値としている。再頻値は 40cm である。二重ペンキの平均胸高直径は 46.3cm，一重ペンキ 41.5cm，無印 37.1cm である。ここでは昭和 30 年に除伐，そして 6 回の間伐（昭和 45 年，49 年，52 年，58 年，平成 8 年，平成 18 年）を行なっている。

間伐では，受光伐という隣接木で枝先が触れ合う木を伐る方式を取っている。これを繰り返していくと広葉樹が進入してくることもあるが，このうち有用なものは育成する。これにより生態的にバランスの取れたヒノキ・広葉樹（シイ，クスノキなど）の混交林が形成され，生物多様性に富む森林となる。現在でも 140 種の鳥類の飛来を確認しているという。

受光伐と普通間伐の比較試験を行い受光伐の肥大成長効果を確認している。また施肥と無施肥との比較試験も行った。その結果，50 年生までは施肥の効果はあるものの，それ以降施肥の効果はあまりない結果となった。

樹木の苗木については，宮域林内の優良木から種子を採取しヒノキの苗木生産を行なっている。苗畑面積は 4.1ha である。年 5ha 植林している。また林道総延長 160km で毎年 4km 整備している。国立公園内なので規制が厳しく，台風，火事などの防災の観点から宮域林は一般には公開していない。

9.3.3　山田工作場

山田工作場は，遷宮ご造営のご用材を工作するところで，製材工場，萱小屋，貯木場などの施設がある。面積約 8 万㎡で，一般には公開されていないが今回特別に見学させていただいた。平成 17 年から平成 25 年にかけて行なわれる第 62 回神宮式年遷宮にむけてここでも準備が進められている。

製材工場（**写真-9.3.9**）では，木材を加工した後，墨を付ける（**写真-9.3.10**）その後，乾燥場で木材を乾燥させているが，下がコンクリート土間のため，なかなか乾燥が進まない。そのため晴天の日は，扉を開けて乾燥させている（**写真-9.3.11**）。なお原木は貯木場にて保管されている（**写真-9.3.12**）また御社殿の屋根は萱で葺かれるが，1 回の遷宮には精選された直径 40cm の束が 2 万 3 千束必要とさ

写真-9.3.9　製材工場

写真-9.3.10　墨付け後の木材

れる。この萱を生産するための萱地は 7 箇所 235ha あるという。刈り取った萱は木造の萱小屋（**写真-9.3.13**）におかれ乾燥させる（**写真-9.3.14**）。萱小屋は 60-100 年もつと言われるが写真の萱小屋は築 5 年ほどである。

写真-9.3.11　木材の乾燥状況

写真-9.3.12　原木の貯木場

写真-9.3.13　萱小屋

写真-9.3.14　萱の乾燥状況

9.4　おわりに

本見学会の実施にあたって特に以下の方々に大変お世話になりました。お名前・ご所属を列挙し感謝申し上げます。

・神宮司廳　営繕部　管理課　潮崎明義管理課長
・神宮司廳　営繕部　営繕課　神宮式年造営廳　造営部　山根由紀夫
・神宮司廳　営繕部　営繕課　神宮式年造営廳　造営部　野崎芳郎造営課長補佐
・神宮司廳　営林部　事業課　神宮式年造営廳　造営部　用材課　岡田泰明
・間・松井・八神特別共同企業体　名古屋城本丸御殿作業所　外舘寛副所長
・ハザマ名古屋支店土木部宇治大橋作業所　矢野竜也所長

参考文献

1) 名古屋城本丸御殿パンフレット　名古屋市市民経済局文化観光部　名古屋城総合事務所
2) 「伊勢の神宮」　　神宮司庁パンフレット
3) 神宮宮城林パンフレット　神宮司庁営林部パンフレット
4) 中島徹・白石則彦：伊勢神宮・式年遷宮への木材自給計画に対するシステム収穫表 LYCS の適用，日本林学会誌，pp21-25，2007.

第 2 回木材利用シンポジウム特別講演要旨

2011.3.14　土木学会

「木材利用の常識・非常識」

秋田県立大学木材高度加工研究所　飯島泰男　教授

木材利用の常識・非常識

2011.3.14

秋田県立大学木材高度加工研究所　飯島泰男

Ⅰ.森林・森林資源について

■山の荒廃・森林の危機には二つある

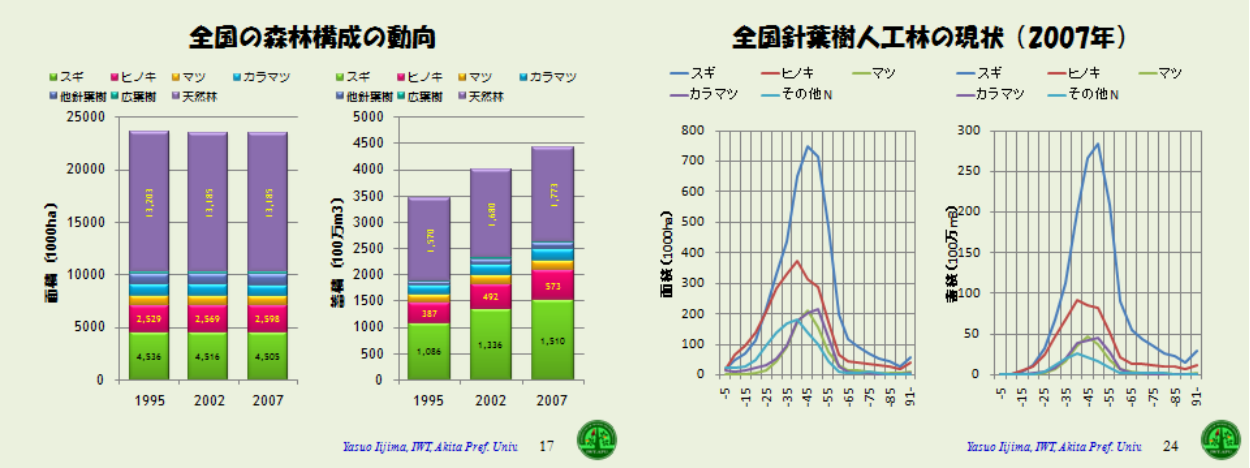
1)原生林・自然林⇒森林に人の手を入れすぎたための「消失・劣化」⇒世界的な問題

2)人工林・二次林（雑木林・里山林）⇒森林に人の手が入らなくなったための「変質」⇒国内的にはこちらの方が問題

■人工林問題

1)最近、国内人工林では 1 年間で約 50 百万 m^3（$50m^3$／ha）の蓄積増。

2)蓄積が増えているのは人工林の「要間伐林分」とくに「利用間伐林分」での蓄積増加のため。



■そもそも「間伐材」とは？

1)「主伐材」との対語。植林してある程度育ってから主伐されるまでの間に、繰り返し実施される間引き伐採をいう林業用語。

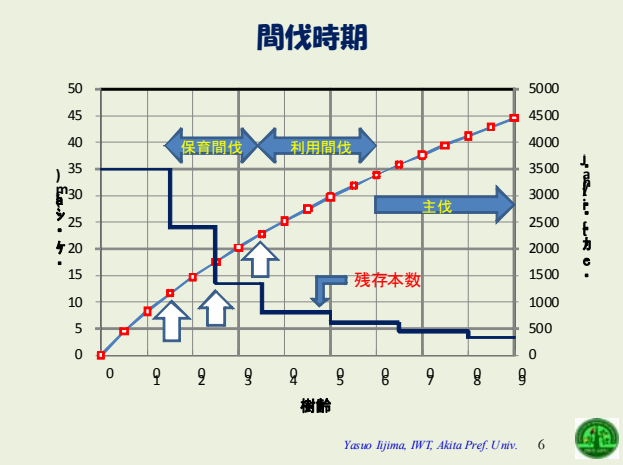
2)間伐の方法

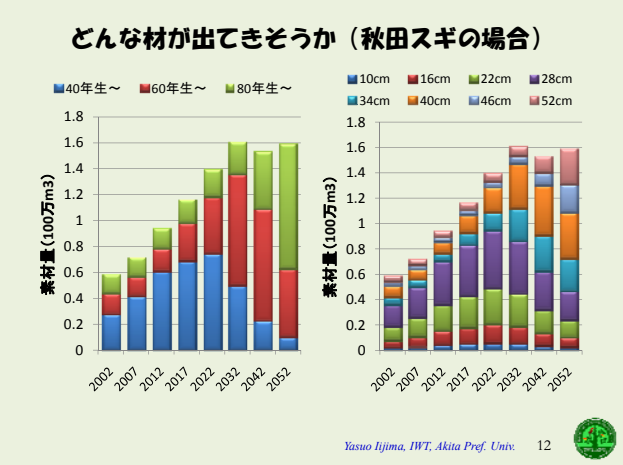
・定性間伐：木々の形質に重点を置いて，あらかじめ伐る木を決めて行う。基本的には不良木から順に伐ってゆき，優良木を残す。間伐の方法として主流。

・定量間伐：立木の密度に重点を置いて，残す量をあらかじめ決めて行う。

・列状間伐：定量間伐の一種で斜面の上下に沿って列状に間伐する方法。「部分皆伐（ぶぶんか

いばつ)」と言われることもある。高性能林業機械によって、低コストで効率的に間伐ができる新しい方法で、3 列を残して 1 列を伐採する「3 残 1 伐」や「4 残 1 伐」など、森林の状況により方法を選択。効率を優先するため、優良木を伐採してしまったり、不良木が残ってしまうという短所もある。伐採した木の良否によって、使い道を分けることができれば、合理的な間伐方法になる。





Ⅱ. 地球温暖化対策のための CO_2 削減方法

■CO_2 排出量を減らすには、

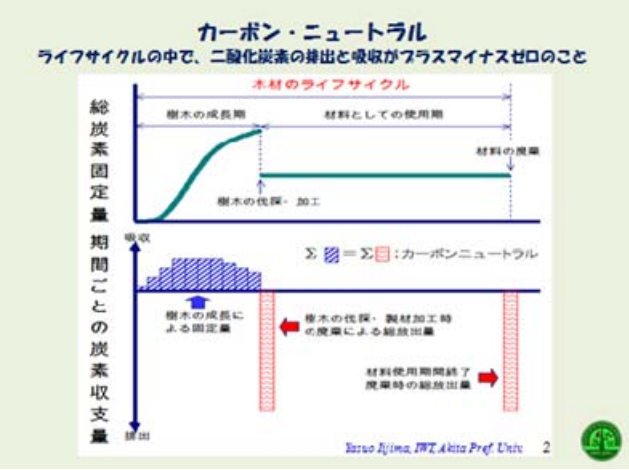
①エネルギー消費絶対量の削減

②「化石」資源エネルギーを「非化石」資源エネルギーで代替：「カーボンニュートラル」

$6CO_2+6H_2O+$【太陽エネルギー】$\rightarrow C_6H_{12}O_6+6O_2$

$C_6H_{12}O_6+6O_2 \rightarrow 6CO_2+6H_2O$ ＋【熱エネルギー】

⇒この方法では、大気中の CO_2 は減らない。ただ、化石資源使用量の増え方が鈍くなるだけ。



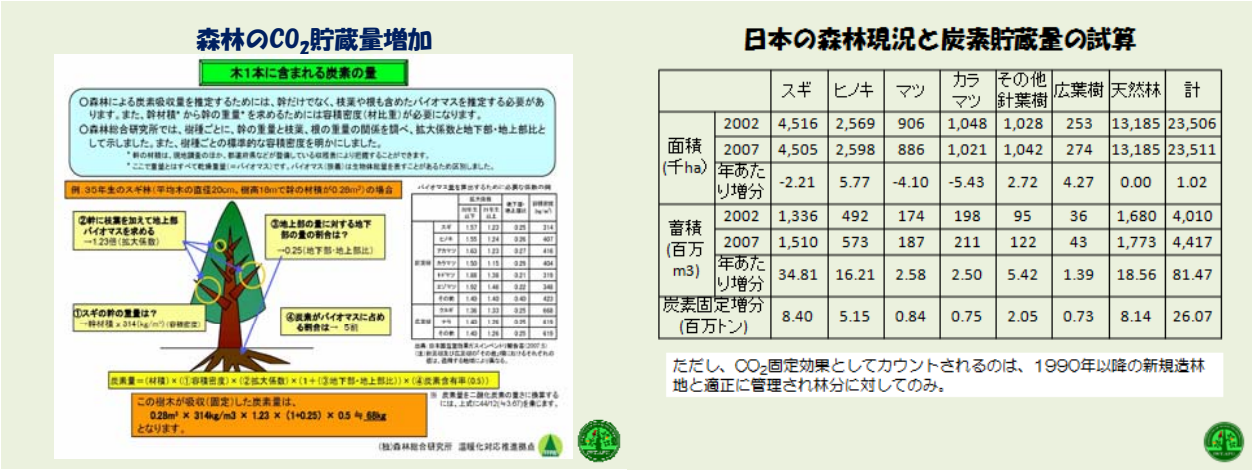
③発生した CO_2 を固定する

⇒植物の光合成能力に重要な役割が期待

※木材構成成分はほぼすべて $C_6H_{12}O_6$ が変化したもの

※重量の 1／2 が C なので木材 1kg をつくるのに 0.5kg の C、1.83kg の CO_2 が必要

※木材は草本類と異なり樹木として寿命が長い（数十年～数百年）、また、材料としてうまく使えば半永久的に使える　（CO_2 の固定化）。



		スギ	ヒノキ	マツ	カラマツ	その他針葉樹	広葉樹	天然林	計
面積(千ha)	2002	4,516	2,569	906	1,048	1,028	253	13,185	23,506
	2007	4,505	2,598	886	1,021	1,042	274	13,185	23,511
	年あたり増分	-2.21	5.77	-4.10	-5.43	2.72	4.27	0.00	1.02
蓄積(百万m3)	2002	1,336	492	174	198	95	36	1,680	4,010
	2007	1,510	573	187	211	122	43	1,773	4,417
	年あたり増分	34.81	16.21	2.58	2.50	5.42	1.39	18.56	81.47
炭素固定増分(百万トン)		8.40	5.15	0.84	0.75	2.05	0.73	8.14	26.07

■京都議定書第一約束期間（2008～2012 年）の考え方

立木を伐採し、林地内から搬出された瞬間に 「CO_2 排出源」→いかに長期的に使っても C 貯蔵量増加には直接の寄与はない。 →エネルギー源として用いても CO_2 増加にはならない。

■京都議定書第二約束期間（2013 年以降）の考え方

フルカーボン・アカウンティング・システム（木材を固形物の段階では C 貯蔵物、それが廃棄・エネルギー化された時点で「CO_2 排出源」になるという考え） が導入される可能性が強い（？）。

Ⅲ. 構造設計上の問題

■基準強度とは

・原則は実大材データを基準とした 75%信頼水準の 5%下限値（基準母集団の真の 5%下限値を超える確率が 25%になると推定された値）、なお、剛性では平均値または 5%下限値

・強度分布が正規分布にしたがうと仮定すれば、平均値 μ、標準偏差 σ から、変動係数 CV、5%下限値 $f_{0.05}$ は次式で表される（ASTM 法）。

$$CV = \sigma / \mu$$

$$f_{0.05} = \mu - K\sigma = \mu\,(1 - K \cdot CV)$$

ここで、K：試料数によって決まる係数

ISO では強度の下限値付近のデータに 2P ワイブル分布を適用して特性値を求める方法（テイルフィット法）を記載。

※n が大きくなれば、どちらを用いても大きな差はない。

・現行法（建築基準法関連告示）では、樹種・等級ごとの数値のみ記載

■含水率による影響

・実大材では、乾燥進行中の含水率のむらや、欠点部の異常収縮による割れ等によって、その変化率は無欠点材と異なる。含水率調整係数は ASTM D-1990-00(Reapproved 2002)、EN384／ISO13910:2005 にも記載されているが、国内では明確な公的基準がない。ただし、「木質構造限界状態設計指針（案）」の作成時には ASTM D2915 旧版での式を含水率 10～20%の範囲で適用している。

■寸法（断面・荷重スパン）による影響

ASTM D 245、ASTM D 1990、EN384 などでは実験データに基づく寸法効果調整式を規定している。曲げ荷重条件について、そのいくつかを以下に示す。ここで K_Z は寸法効果係数である。

・ASTM D 245-06：$K_Z = (d/d_0)^{1/9}$

・ASTM D 1990-00（2002）：$K_Z = (d/d_0)^{0.29}\,(L/L_0)^{0.14}$

・欧州規格 EN384:2004：$K_Z = \{(d/d_0)(0.2L + S)/(0.2L_0 + S_0)\}^{0.2}$

以上で、d：試料寸法

d_0：標準寸法

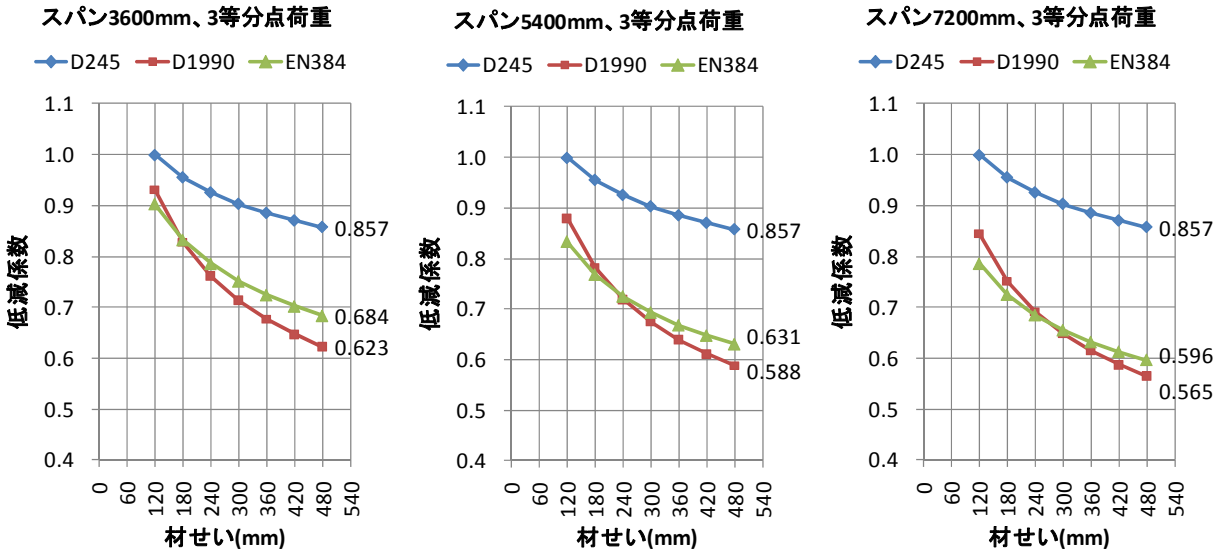
L、S：曲げ試験条件における荷重スパン、荷重点－支点間距離

L_0：標準曲げ試験条件における荷重スパン

S_0：標準曲げ試験条件における荷重点－支点間距離

JAS 枠組壁工法構造用製材については、告示で寸法型式毎に定められた係数を用いている。

・現行の基準強度は、主に材せい do＝105～120mm、スパン L_0＝18 do＝1890～2160mm の 3 等分点荷重条件（S_0＝6 do＝630～720mm）での実験結果から誘導されている。そこで基準強度計算時の標準せい do を 120mm と仮定し、使用材料のせい d を 120～480mm、スパン 3600、5400、7200mm としたときの各荷重条件時の下限値を推定した結果を下図に示す。



Ⅳ. その他の問題

その他、いくつかの問題があるが、少し、書きにくいので、当日、お話ししたいと思う。

付　　録

(1) 土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会委員（木材工学特別委員会）名簿

役割およびWG	氏名	所属機関	所属学会		
			日本森林学会	日本木材学会	土木学会
(横)委員長，運，WG1，WG6	今村　祐嗣	京都大学		○	
(横)副委員長，運，WG6	白石　則彦	東京大学	○		
(横)副委員長，(特)委員長，運，WG4，WG6	濱田　政則	早稲田大学			○
(特)副委員長，WG2，WG6	本田　秀行	金沢工業大学			○
運代表幹事，WG1，WG4主査，WG5，WG6	沼田　淳紀	飛島建設（株）		○	○
運幹事，WG1幹事，WG6	久保山　裕史	（独）森林総合研究所	○		
運幹事，WG4副主査，WG6副主査	桃原　郁夫	（独）森林総合研究所		○	
運事務，WG1，WG5，WG6	池田　穣	（株）間組			○
運，WG1主査，WG6	外崎　真理雄	（独）森林総合研究所		○	
運，（特）WG1主査，WG6	橋本　征二	（独）国立環境研究所			○
運，WG1，WG2主査，WG6	平沢　秀之	函館工業高等専門学校			○
運，WG1，WG3主査，WG6副主査	石川　芳治	東京農工大学	○		○
運，WG1，WG6	川戸　英騎	林野庁			
運，WG2幹事・分科会主査，WG6	渡辺　浩	福岡大学		○	○
運，WG2，WG3，WG6主査	佐々木　貴信	秋田県立大学		○	○
運，WG3，WG6	高奥　信也	京都府			
運，WG6	井出　雄二	林野庁	○		
運，WG4，WG5，WG6	仁多見　俊夫	東京大学	○		
運，WG5主査，WG6	田代　晃一	日本国土開発（株）			○
運，WG6	勢田　昌功	国土交通省			
WG1	荒巻　俊也	東洋大学			○
WG1	井上　雅文	東京大学		○	
WG1	加用　千裕	（独）国立環境研究所			○
WG1	香月　英伸	林野庁			
WG1	高村　康正	林野庁			

役割およびWG	氏名	所属機関	所属学会		
			日本森林学会	日本木材学会	土木学会
WG1	恒次　祐子	（独）森林総合研究所		○	
WG1	花木　啓祐	東京大学			○
WG1	宮本　善和	中央開発株式会社			○
WG1	村野　昭人	東洋大学			○
WG2幹事長	三上　卓	群馬工業高等専門学校			○
WG2幹事・分科会主査	荒木　昇吾	服部エンジニア（株）			○
WG2幹事・分科会主査	原田　浩司	ウッドストック		○	
WG2	今井　富士夫	宮崎大学			○
WG2	植野　芳彦	（株）アイペック			○
WG2	薄木　征三	秋田大学名誉教授			○
WG2	軽部　正彦	（独）森林総合研究所		○	○
WG2	北條　哲男	ものつくり大学	○		○
WG2	後藤　文彦	秋田大学			○
WG2	佐々木　康寿	名古屋大学		○	
WG2	高橋　晃一	（株）アーバン設計			○
WG2	中村　昇	秋田県立大学		○	○
WG2	原田　真樹	（独）森林総合研究所		○	○
WG2	宮武　敦	（独）森林総合研究所		○	○
WG2，WG4	森　満範	北海道立林産試験場		○	
WG3幹事	落合　博貴	（独）森林総合研究所	○		
WG3	岡田　康彦	（独）森林総合研究所	○		
WG3	落合　博貴	林野庁	○		
WG3	北原　曜	信州大学	○		
WG3	栗原　敦司	（株）ナチュレックス			
WG3	清水　賀之	東海大学			
WG3	田次　慶久	（株）コシイプレザービング		○	○
WG3	戸田　堅一郎	長野県林業総合センター	○	○	
WG3	内藤　洋司	（株）森林テクニクス			
WG3	野田　龍	（株）森林土木施設研究所	○		

役割およびWG	氏名	所属機関	所属学会		
			日本森林学会	日本木材学会	土木学会
WG3	原田　紹臣	三井共同建設コンサルタント株式会社			○
WG3	明石　浩和	京都府農林水産技術センター			
WG3	吉野　安里	長野県林業総合センター		○	
WG3	若森　敦裕	中央開発株式会社			
WG4幹事	本山　寛	飛島建設（株）			○
WG4	中村　裕昭	（株）地域環境研究所			○
WG4	山田　昌郎	（独）港湾空港技術研究所	○	○	○
WG4	吉田　雅穂	福井工業高等専門学校			○
WG4	久保　光	福井県雪対策・建設技術研究所			○
WG4，WG5	山口　秋生	越井木材工業（株）		○	
WG4	辻井　修	（株）間組			○
WG4	五十嵐　誠	昭和マテリアル(株)			○
WG4	松島　健一	（独）農業・食品産業技術総合研究機構			○
WG4	三浦　哲彦	（株）軟弱地盤研究所			○
WG4	梅田　修史	（独）森林総合研究所	○		
WG4	林　重徳	佐賀大学			○
WG4	末次　大輔	佐賀大学			○
WG4	辻　浩平	ジャパンホームシールド（株）			
WG4	深谷　敏史	ジャパンホームシールド（株）			
WG4	水谷　羊介	兼松日産農林（株）		○	○
WG4	手塚　大介	兼松日産農林（株）		○	○
WG4	中瀬　仁	東電設計株式会社			○
WG4	原　忠	高知大学			○
WG4	Hemanta Hazarika	九州大学			○
WG4	菅原　広二	（株）寒風			○
WG4	正田　大輔	（独）農業・食品産業技術総合研究機構			○

役割およびWG	氏名	所属機関	所属学会		
			日本森林学会	日本木材学会	土木学会
WG5副主査	石田　修	大成建設（株）			○
WG5副主査	加藤　英雄	（独）森林総合研究所		○	
WG5	瀬野　康弘	東急建設（株）			○
WG5	林原　茂	（株）創建			○
WG5	柴田　直明	長野県林業総合センター		○	○
WG5	張　日紅	和光コンクリート工業（株）			○
WG5	新藤　健太	（独）森林総合研究所		○	
WG5	刈茅　孝一	積水化学工業（株）			
WG5	坂﨑　友美	飛島建設（株）			○

（横）：土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会

（特）：土木学会木材工学特別委員会

運：運営委員会（小委員会）

WG1:資源利用ビジョン（小委員会）

WG2：木橋研究（小委員会）

WG3：治山治水利用（小委員会）

WG4：地中海洋利用（小委員会）

WG5：道路関連利用（小委員会）

WG6：木材利用論文集編集（小委員会）

(2) 活動の記録

a) 運営委員会

①第 16 回

開催日時：2010 年 5 月 21 日（金）　15:30～18:30

参加者：今村，外崎，桃原，石川，佐々木，濱田，田代，沼田，高奥，井出，橋本，新間

議題：

１．委員長挨拶
２．運営委員会新規委員
３．前回議事録確認
４．話題提供（東京大学中島徹先生）
５．WG活動報告
６．2010年度行事実施計画
７．木材利用論文集について
８．今後の活動方針について
９．森林・林業基本政策の抜本的見直しについて
１０．その他

②第 17 回

開催日時：2010 年 7 月 22 日（木）　15:00～18:00

参加者：今村，白石，久保山，外崎，桃原，石川，平沢，佐々木，渡辺，田代，沼田，高奥，井出，池田，新間

議題：

１．委員長挨拶
２．運営委員会新規委員
３．前回議事録確認
４．WG活動報告
５．今後の活動について
６．WTCE2010会議報告
７．名古屋城・伊勢神宮視察報告
８．土木学会特別委員会から調査研究委員会への移行について
９．2010年度予定実施事項について
１０．その他

③第 18 回

開催日時：2010 年 9 月 16 日（木）　15:00～18:00

参加者：今村，外崎，桃原，石川，平沢，佐々木，渡辺，濱田，田代，沼田，井出，池田

議題：

１．委員長挨拶
２．前回議事録確認
３．WG活動報告

４．「公共建築物における木材の利用促進に関する基本方針」に対するパブリックコメントについて
５．ロードマップについて
６．JAPIC木材加工等機械開発検討会
７．研究発表会等実施報告
８．第2回木材利用シンポシウムについて
９．次回拡大運営委員会について
１０．その他

④第 19 回（拡大運営委員会）
開催日時：2010 年 11 月 16 日（火）　13:30～18:00
参加者：今村，白石，久保山，外崎，桃原，石川，平沢，佐々木，渡辺，田代，沼田，井出，川戸，池田，水谷，手塚，角谷，刈茅，中村（地域環境研），本山，加用，森，柴田，高村，原，中村（秋田県立大），中瀬，石田，根津
議題：
１．委員長挨拶
２．自己紹介
３．前回議事録確認
４．行事報告
５．各WG活動報告
６．行事予定
７．ロードマップについて
８．JAPIC木材加工等機械開発検討会
９．橋梁新聞記事
１０．日本合板工業組合連合会助成事業報告
１１．土木学会委員会サイトの使用方法
１２．特別講演（東京農工大学　服部順昭教授）

⑤第 20 回
開催日時：2011 年 1 月 19 日（水）　13:00～16:45
参加者：今村，外崎，桃原，石川，平沢，佐々木，渡辺，沼田，高奥，橋本，池田，加用
議題：
１．委員長挨拶
２．前回議事録確認
３．各WG活動報告
４．ロードマップについて
５．第2回木材利用シンポジウムについて
６．2010年度報告書作成について
７．土木学会木材工学特別委員会次年度以降方針について
８．JAPIC書籍状況報告

９．その他

b)WG1：資源利用ビジョン小委員会

①第 9 回

開催日時：2010 年 5 月 31 日（月）　15:00～17:00

参加者：川戸，新間，沼田，村野，恒次，外崎，久保山

議題：

１．新規委員

２．話題提供（林野庁 川戸英騎 課長補佐）

３．公共建築物等木造化法について

４．委員会の今後の課題

②第 10 回

開催日時：2010 年 7 月 20 日（火）　15:00～17:00

参加者：川戸，新間，沼田，石川，池田，加用，外崎，久保山

議題：

１．話題提供（東京農工大学 石川芳治 教授）

２．「公共建築物等における木材利用促進法」について

３．その他

③第 11 回

開催日時：2010 年 11 月 2 日（火）　15:00～17:00

参加者：沼田，川戸，村野，外崎，久保山，池田，高村，橋本

議題：

１．話題提供（飛島建設(株) 沼田淳紀 主席研究員）

２．新規委員

３．ロードマップ

③第 12 回

開催日時：2011 年 1 月 14 日（金）　15:00～17:00

参加者：外崎，橋本，久保山，沼田，川戸，加用，田代，村野

議題：

１．話題提供（日本国土開発(株) 田代晃一 課長）

２．ロードマップ

c)WG2：木橋研究小委員会

①第 1 回

開催日時：2010 年 5 月 26 日（水）　13:30～16:00

参加者：平沢，三上，荒木，原田(浩)，渡辺，佐々木(貴)，薄木，軽部，高橋，中村，
本田，宮武，森

議題：

１．第9回木材利用研究発表会のプログラム案について
２．土木学会全国大会　研究討論会、共通セッションについて
３．横断的研究会運営委員会の報告
４．耐用年数推定について（設計研究分科会）
５．木橋調査報告について（事例研究分科会）
６．木床版トラス橋の施工実験について（新技術分科会）
７．カスケード利用の方向性について（新技術分科会）

②第 2 回

開催日時：2010 年 7 月 23 日（金）　14:00～17:15
参加者：平沢，荒木，原田(浩)，渡辺，佐々木(貴)，今井，薄木，軽部，後藤，
　　高橋，中村，宮武
議題：

１．横断的研究会運営委員会の報告
２．第9回木材利用研究発表会、土木学会全国大会、拡大運営委員会について
３．WCTE2010の報告
４．耐用年数推定について（設計研究分科会）
５．木橋調査報告について（事例研究分科会）
６．プレストレス木床版と鋼トラスを組み合わせた新形式木橋について
　（新技術分科会）

③第 3 回

開催日時：2010 年 11 月 15 日（月）　14:00～18:15
参加者：平沢，三上，荒木，渡辺，佐々木(貴)，今井，薄木，軽部，佐々木(康)，
　　中村，宮武
議題：

１．論文「8 年で架け替えられた歩行者用木橋の腐朽」に関する検討
２．錦帯橋国際シンポジウムについて
３．木材資源合理化方策について
４．横断的研究会幹事会報告
５．耐用年数推定について（設計研究分科会）
６．ウッドチップ舗装の試験施工について
７．木橋調査報告について（事例研究分科会）
８．カスケード利用のとりまとめについて

④第 4 回

開催日時：2011 年 1 月 20 日（木）　14:00～18:00
参加者：平沢，原田(浩)，渡辺，佐々木(貴)，薄木，軽部，高橋
議題：

１．国際シンポジウム開催の提案

２．第2回木材利用シンポジウムについて
３．スギ角材と鋼トラスによるハイブリッド木橋の開発について
４．土木材料教科書の内容について
５．木材のカスケード的利用のとりまとめについて
６．木橋と木材利用に関する新聞記事に関する検討
７．国際木橋会議(ICTB2010)の報告とノルウェーの木材利用事情

d)WG3：治山治水利用小委員会

①第 1 回

開催日時：2010 年 8 月 26 日（木）10:00～12:00
参加者：石川、高奥、落合、田次、野田、若森、明石
議題：
１．これまでの活動内容について
1.1　秋田県既設木製堰堤実態調査
1.2　京都府における木製堰堤補修事例
２．今後の活動内容について
2.1　腐朽実態調査
2.2　実用的な点検手法
３．今後の小委員会の予定

②現地検討会（長野県木曽郡王滝村濁沢）

開催日時：2010 年 11 月 5 日（金）13:00～17:00
参加者：石川、落合、田次、内藤、戸田、吉野、野田、明石
内容：御岳濁沢の木製堰堤および護岸工の腐朽度調査
（林野庁中部森林管理局木曽森林管理署管内）

③第 2 回（長野県木曽郡王滝村）

開催日時：2010 年 11 月 6 日（土）9:00～11:00
参加者：石川、落合、内藤、戸田、吉野、野田、明石
議題：
１．これまでの活動内容について
1.1　長野県における既設木製堰堤の腐朽度実態調査について
２．今後の活動内容について
2.1　農林水産技術会議の助成金の申請について
2.2　3 月 14 日の「第 2 回木材利用シンポジウム」について
３．その他

e)WG4：地中海洋利用小委員会

①第 8 回

開催日時：2010 年 4 月 21 日（水）　16:00～17:30

参加者：中村，山田，山口，五十嵐，末次，水谷，正田，沼田，本山，
今野(オブザーバー)

議題：

１．議事録確認
２．話題提供「木ぐいの耐久性、支持力特性について」
３．燕三条木杭調査結果の報告
４．WG4 本年度の計画について
５．その他（全体行事確認，次回話題提供，名簿の確認）

②第 9 回

開催日時：2010 年 6 月 22 日（火）　16:00～17:30

参加者：中村，山田，森，久保，山口，辻井，五十嵐，末次，手塚，水谷，中瀬，
正田，沼田，本山

議題：

１．議事録確認
２．新規委員の紹介（中瀬仁氏，原忠先生）
３．話題提供「間伐材を用いた筏基礎と列杭による軟弱地盤対策工法
（Raft&Pile 工法）に関する模型実験」
３．名古屋城・伊勢神宮見学会の報告
４．運営委員会および他の WG の活動報告
５．WG4 本年度の活動内容
６．その他（次回話題提供，メーリングリスト・名簿の確認）

③第 10 回

開催日時：2010 年 8 月 3 日（火）　16:00～17:30

参加者：中村，山田，吉田，桃原，森，久保，五十嵐，松島，梅田，深谷，手塚，
水谷，ハザリカ，沼田，本山

議題：

１．議事録確認
２．新規委員の紹介（ハザリカ　ヘマンタ先生）
３．話題提供「林道・作業道での木材利用事例」
４．国産材原料転換技術開発事業（日本合板工業組合連合会助成事業）の実験についての概要説明と協力のお願い
５．木材利用シンポジウム in 福井の準備状況について
６．運営委員会および他の WG の活動報告
７．今後の進め方とロードマップ作成について
８．その他（シンポジウム・大会等の予定，次回話題提供，名簿の確認）

④第 11 回

開催日時：2010 年 10 月 7 日（木）　16:00～17:30

参加者：中村，山田，桃原，森，久保，辻井，五十嵐，末次，水谷，中瀬，原，
ハザリカ，沼田，本山

議題：

１．議事録確認
２．話題提供「木杭打設による砂地盤の液状化抵抗の変化」
３．国産材原料転換技術開発事業（日本合板工業組合連合会助成事業）の状況
４．WG4 今年度の成果(報告書)について
５．運営委員会および他の WG の活動報告
６．土木における木材利用実績調査について
７．木材利用シンポジウム in 福井について
８．その他（次回話題提供，名簿の確認）

⑤第 12 回

開催日時：2010 年 12 月 20 日（木）　16:00～17:30

参加者：中村，山田，吉田，森，久保，辻井，五十嵐，深谷，水谷，原，
ハザリカ，菅原，沼田，本山

議題：

１．議事録確認
２．新規委員の紹介（菅原広二氏）
３．話題提供「特定住宅瑕疵担保責任について」
４．国産材原料転換技術開発事業（日本合板工業組合連合会助成事業）の状況
５．木材利用シンポジウム in 福井の報告
６．木材利用ロードマップ
７．横断的研究会成果報告書(2010 年度)について
８．その他（次回話題提供，名簿の確認）

⑥フロンティア環境における間伐材利用技術の開発検討会

開催日時：2011 年 1 月 26 日（水）　13:30～17:30

参加者：濱田，桃原，沼田，本山，吉田，山田，森，三浦，今村，大村，加藤，原田，長尾，古川，杉山，田崎，井道，宇京

議題：

１．個別課題説明
２．全体討議
３．外部有識者講評
４．資料作成スケジュール，公開実験，その他

⑦日本合板工業組合連合会事業検討会

開催日時：2011 年 2 月 4 日（金）　16:00～18:00

参加者：吉田，沼田，水谷，三浦，藤井，久保，五十嵐，荒井，本山，中村

議題：

１．実験概要の説明
２．水圧変化および丸太の膨張試験結果
３．載荷試験結果
４．公開実験について

⑧第 13 回
開催日時：2011 年 2 月 7 日（木）　16:00～18:00
参加者：中村，山田，山口，辻井，原，沼田，本山，森，水谷，末次
議題：
１．議事録確認
２．話題提供「木材の腐朽について」
３．2,010 年度報告書について
・各項，節の進捗状況
・シンポジウムの発表内容
４．運営委員会からの報告
５．周面支持力丸太の載荷試験実験公開について
６．旧相模川橋梁遺跡見学会について
７．その他（シンポジウムの案内，次年度計画（マニュアル）について）

f)WG5：道路関連利用小委員会

①第 1 回 WG
開催日時：2010 年 6 月 28 日　16:00～18:00
参加者：田代，石田，加藤，新藤，池田，福田，瀬野，沼田，山口，柴田
議題：WG
１．資料，議事録確認
２．第 9 回木材利用研究発表会について
３．土木学会論文集再編について
４．土木学会全国大会（北海道大学）研究討論会について
５．森林・林業再生プランについて
６．公共建築物における木材の利用の促進に関する法律について
７．「土木における木材利用の手引き」について

②第 2 回 WG
開催日時：2010 年 8 月 26 日　10:00～12:00
参加者：田代，加藤，新藤，池田，瀬野，沼田，坂崎，柴田，山口，張，刈萱
議題：
１．資料，議事録確認
２．話題提供
・木材の道路関連利用に関する紹介について
・北関東における木材の土木利用の取り組みの紹介

・木製遮音壁の開発状況に関する紹介
・ＮＥＴＩＳ登録　間伐材利用防音壁に関して
３．ロードマップ作成について

③第 3 回 WG
開催日時：2010 年 11 月 10 日　16:00～18:00
参加者：田代，石田，加藤，池田，瀬野，沼田，坂崎，山口，柴田，刈萱
議題：
１．群馬県における木製遮音壁の利用実績現地調査

④第 4 回 WG
開催日時：2010 年 11 月 16 日　10:00～12:00
参加者：田代，石田，加藤，池田，沼田，柴田，刈萱
議題：
１．資料及び前第 3 回議事録確認
２．群馬県木製遮音壁現地調査のまとめ
３．ロードマップについて
４．NETIS 登録木材利用工法の紹介
５．間伐材を利用した立入防止柵の紹介

⑤第 5 回 WG
開催日時：2011 年 2 月 10 日　16:00～18:00
参加者：田代，石田，加藤，池田，瀬野，坂崎，柴田，刈萱
議題：
１．資料，議事録確認
２．今年度報告書作成について
３．全国大会共通セッションテーマへの論文投稿について
４．ロードマップ、および来年度の活動について
５．エコプロダクツ大賞受賞「安ら木Ⅱ」について

⑶ シンポジウムなどの後援・協賛・参加など

(a)主催：第 1 回木材利用シンポジウム

共催：日本森林学会，日本木材学会

後援：林野庁、国土交通省、(社)日本建築学会、(社)砂防学会、(社)日本木材加工技術協会，(社)日本木材保存協会

2010 年 3 月 8 日（月）土木学会講堂にて

特別講演：1 件

発表：6 件

参加者：90 名

(b)主催：第 9 回木材利用研究発表会

共催：日本森林学会，一般社団法人日本木材学会

後援：(社)日本建築学会，(社)砂防学会，(社)日本木材保存協会，(社)日本木材加工技術協会，木橋技術協会

2010 年 8 月 26-27 日（木-金）土木学会講堂にて

発表数：21 編

参加者：60 名

(c)主催：土木学会第 65 回年次学術講演会研究討論会

「木材の使い方いろいろ－幅広い分野への普及をめざして－」

2010 年 9 月 8 日（金）北海道大学にて

参加者：47 名

(d)主催：土木学会第 65 回年次学術講演会（北海道大学）共通セッション

「土木分野における木材利用」

2010 年 9 月 8 日（金）北海道大学にて

セッション数：3 セッション

発表数：26 編

参加者：108 名（合計）

(e)共催：秋田県立大学木材高度加工研究所公開講演会

主催：秋田県立大学木材高度加工研究所

後援：のしろ白神ネットワーク，(財)秋田県木材加工推進機構，(社)秋田県建築士会能代山本支部

2010 年 10 月 29 日（金）秋田県立大学木材高度加工研究所研修室にて

参加者：80 名

(f)共催：木材利用シンポジウム in 福井

主催：木材利用シンポジウム in 福井実行委員会

後援：(社)近畿建設協会，国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所，福井県，(財)福井県建設技術公社，福井市，福井県森林組合連合会，NPO 法人ドラゴンリバー交流会

2010 年 12 月 11 日（土）福井県国際交流会館 3 階特別会議室にて

特別講演：3 件

一般発表：6 件

ポスター発表：18 件

木材利用シーズ集：18 件

参加者数：194 名

(g)共催：周面支持力丸太の載荷試験公開実験

（日本合板工業組合連合会の国産材原料転換技術開発事業）

主催：兼松日産農林㈱，飛島建設(株)，昭和マテリアル(株)

2011 年 2 月 15 日（火）埼玉県八潮市載荷試験現場，木材会館 7 階ホール

載荷実験公開

講演：3 件

参加者数：103 名

(g)後援：木の町 KYOTO フォーラム 2010～京から創る山都共生のまちづくり～

（国土交通省　建設業と地域の元気回復助成事業）

主催：「木」の町づくり協議会，京都市，京都府，京北森林組合，京北商工会青年部，(社)京都府建設業協会

2010 年 12 月 22 日（水） KBS ホール（京都市）にて

ポスター展示：2 件

参加者数：150 名

(4) 関連記事

a) 橋梁新聞（2010.5.21）

橋梁新聞 〈No. 72〉

木材活用仕組みづくり

地域共生型事業へ

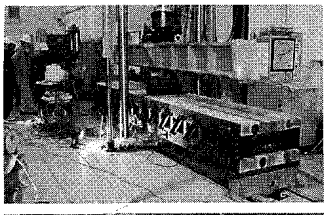
環境対策をしながら、地域経済を活性化させる木材活用の仕組みづくりの動きが秋田県内にある。森林県の期待を集めるこの事業のほか、伊勢神宮で長く続くエコな木材使用などを紹介する。（根津寿子）

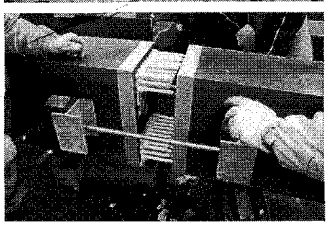
秋田で6月、施工現地で材料調達から、加工、施工までを一括して行う「木製土木施設オンサイト生産システム」の研究による2橋目の木橋建設がある。木製土木施設の多くが林地から近い場所に作られることに着目し、現地一括製作で低価格化を図る仕組みという。

オンサイト生産システムの開発は秋田県立大学木材高度加工研究所と秋田大学、福岡大学、地元企業による共同研究。背景には温暖化、CO2固定力や保水力などの森林の機能低下、林業や地域経済の低迷などの現代的問題がある。製品の低コスト化で地域材の安定供給を確保することで、森林管理のマネジメント力を増し、森林の機能向上を図るほか、地域経済の活性化に結びつけたい考えだ。農林水産省の21年度の実用技術開発事業のひとつ。大型公共事業に依存しない、地域共生型事業として全国の森林県でも活用される仕組みにまとめたい考えだ。

研究の柱は、現地でできる加工システムの構築と施工技術の開発、地域と連携可能な維持管理システムの構築。具体的には薬剤注入による立木乾燥、多孔質材料の製造、木橋やダムの施工、構造物の劣化調査、簡易劣化診断などの各技術の確立に取り組む。

開発した木橋では桁高6㍍、長いもので10㍍程度。架設地は湿地帯で、杭基礎の上に木橋を載せる構造。樹種はイペ材。担当する市みどりの課は「地盤が良くないなかのコスト縮減策として、鋼管を打ち込んで基礎としたほか、腐りに配慮して脚の部分には廃木材と廃プラスチックをリサイクルした再生プラスチック木材を使ったり、ボルトなどの金物はステンレスにしたりするなどしている」という。





㊤一部材で載荷試験。実橋は横に3列並ぶ幅員2・5㍍、橋長5㍍の木床版鋼トラス橋。二等林道橋程度の荷重載荷に耐える剛性があるという。㊦製材を木ダボ接合し、10㍍程度の木橋を短期間で架ける。ダボ孔にはポリウレタンを充填。橋長10㍍、幅員2㍍の単純桁橋。

木材のカスケード利用

伊勢神宮で千年伝わる

木橋のカスケード利用への注目が高まっている。カスケード利用とは資源やエネルギーを高レベルの利用から低レベルの利用へと、多段階に活用を繰り返すこと。資源の利用効率が向上する。

伊勢神宮では、内宮の正面玄関となる宇治橋の架け替え時や、20年ごとの遷宮の解体時に発生する古材を様々な形で再利用している。土木学会、日本木材学会、日本森林学会の3学会で組織する「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」では6月に現地調査を行い、伊勢神宮の千年を超える木材のカスケード利用の知恵を知ることで、今後の土木における木材利用拡大へのヒントを得る計画という。

新年度各団体は

設計図書の整備を

NSP　久保田会長

NSP工法研究会では、これまでプレストレスの導入やコンクリートとの合成などハイブリッド型の木橋の普及に努めてきた。本年度からは、これまでに本工法を適用した橋の設計例を整理し、設計マニュアルや標準図集の整備に取り組む予定だ。会員以外も閲覧できるよう、ホームページ上で逐次アップし、改訂する方式としたい考えだ。

自然公園に6橋

富士市で4月開園

4月5日に開園した富士市の浮島ケ原自然公園に木橋が6橋架かっている。公園は01年に工事着手、木橋も毎年少しずつ架けられてきた。

木橋は短いもので橋長6㍍、長いもので10㍍程度。架設地は湿地帯で、杭基礎の上に木橋を載せる構造。樹種はイペ材。担当する市みどりの課は「地盤が良くないなかのコスト縮減策として、鋼管を打ち込んで基礎としたほか、腐りに配慮して脚の部分には廃木材と廃プラスチックをリサイクルした再生プラスチック木材を使ったり、ボルトなどの金物はステンレスにしたりするなどしている」という。

「木橋監理士」を

木技協　植野会長

安全性の確保、LCC縮減は社会的要請になってきている。木橋技術協会では協会認定資格として「木橋点検士」を策定し、技術者の技術レベルの確保に努めてきたが、「構造物全体としての安全性の評価、マネジメントができる技術者」の確保が急務と考え、他の材料に先駆け、「木橋監理士」という制度を創設し木質構造物の安全に寄与していく考えだ。

利用提案を促進

日集協　齋藤理事長

公共建築物に木材を利用する促進法が5月中にも成立する見込みで、木材の利用促進が期待される。それぞれの地域で情報をとり、集成材などの利用提案や供給面でのサポートなどしっかり対応していきたい。また林野庁の補助事業により、ハイブリッド集成材と接合部などの耐火性能試験や建築物のプロトタイプ設計などを行い、都市部などの集成材などを利用した木造建築物の建築促進に取り組みたい。

「ゆりかご認定」取得

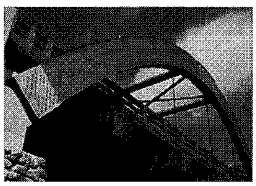
アコヤ　屋外用木材で初

「ゆりかごからゆりかごへ認証」のゴールド認定を世界で初めて屋外用木材として取得した木材。

国内販売をする池上産業によれば、「ゴールド認定の取得は製品の安全性はもとより、生産過程で森林、水、エネルギー資源を効率よく使用し、使用後もゴミとして破棄せず、自然の循環に沿う価値ある新たな製品へと無駄なく利用できることが認められた結果だ。アコヤの生産では再生可能な植林木の利用を最重視していて、将来は日本のスギなどを使用することも可能になる」と言う。

久性を持つとされる。

木橋技術協会
http//www.ki-kakehashi.com/



「木橋の点検マニュアル」
第2版のご案内

ご好評いただいておりました第1版を改訂し、第2版を発行しました。
点検・補修の具体的な手法、事例・参考写真を大幅に増強し、実務者にわかり易いマニュアルとなっています。
※ご注文は協会ホームページ上にて

・ミサワエクステリア創研事業部
・株式会社ザイエンス
・株式会社スギヤマ
・株式会社中東
・有限会社M・W&H研究所
・株式会社ラスコジャパン
・山佐木材株式会社
・株式会社創建
・株式会社アーバン設計
・富山検査株式会社（順不同）
・個人会員8名（産・公・学）

AWBE

b)建通新聞（2010.5.21）

飛島建設

仕様化に向け産学官で研究

飛島建設は、新たな木材の需要先として軟弱地盤対策工事への丸太の活用を模索している。

同社技術研究所の沼田淳紀主席研究員によると、現在の土木の世界では、木材は簡単には使えないという。軟弱地盤対策でも、セメント改良などが主流で、設計仕様書にも木材に関する記述がない。「木を使う場合、自ら設計方法を確立し、土木学会などを通じてオーソライズする必要がある」と話す。

同社では、県産材の利用促進を考える福井県などと連携し、2008年10月から福井県敦賀市で、木の杭を使った軟弱地盤対策の産官学の研究に参加している。5㍍×20㍍のフィールドに、深さ4㍍の人工軟弱地盤を造り、ピッチ（間隔）を変えながら、丸太を埋め込んで沈下量（荷重盛土2㍍）を計測。これまでに、50㌢ピッチではほとんど沈下せず、丸太が支持杭として十分使えることが分かった。

軟弱地盤対策で木材活用

一方、腐朽の問題もある。100年も前の護岸や橋梁の基礎に使われた木の杭が、腐らずに発見されることがある。木は水に漬かっていると腐りにくいというのが通説だ。ただ、だれも実証実験をしたことがない。そこで、腐朽菌を水槽に撒いて、木がどんな条件で腐るか調べる試験を始めた。さらに、空気を遮断した通気性のない土を使うことで、木の恒久性を保つ方法についても考案。現在、特許を出願中だという。

コスト面では、地盤改良工法として比較的安いといわれるセメントなどの改良剤を用いるパワーブレンダー工法より、若干安めだと沼田氏は試算している。さらに「丸太を使った軟弱地盤対策工法のコストの大部分は材料費。木材の価格を低く抑えられればそれだけ安くなる」という。

07年秋、沼田氏は早稲田大学の濱田政則教授らと「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」を立ち上げた。関係学会が参加。軟弱地盤対策のほか、法面やガードレールなど、さまざまな用途を探っている。

「目標は土木での木に関する手引書を作ること」。まずは設計仕様書に、木材に関する設計方法の掲載を復活させたい考えだ。

c)建設通信（2010.10.13）

（12）

THE KENSETSU TSUSHIN SHIMBUN
建設通信新聞
Architectures, Constructions & Engineerings News (Daily)
2010年（平成22年）10月13日（水曜日）（第三種郵便物認可）

平成21年度 1級建築士設計製図試験
合格者占有率 全国 No.1 V2達成 53.6%
全国合格者 5,164名中／当学院受講生合格者 2,767名
30th 総合資格学院
www.shikaku.co.jp

「木杭」の復興なるか

地中カーボンストック効果で注目

Focus

土木分野の木材利用

沼田主席研究員

地球温暖化対策や間伐材の有効利用に向け、建設業界での木材利用に期待が高まりつつある。10月1日には新法「公共建築物木材利用促進法」が施行された。建築分野では木材のさまざまな用途が思い浮かぶ一方で、土木分野はピンと来ない人が多いかもしれない。実際、土木では建築とは比較にならないほど木材利用が進んでいない。しかし裏を返せば、土木での〝伸びしろ〟は大きいとみることもできる。例えば、過去に土木構造物の基礎などによく使われていた「木杭」などは、土木での典型的な利用方法の一つ。「土木」の文字どおり、「土」に「木」を使う取り組みを、飛島建設の技術研究所で取材した。

東京・霞が関で2007年に掘り出された木杭の一部。施工時期は約120年前

日本の木材の年間成長量は約8000万立方㍍で、このうち利用されているのは20数%に過ぎない。建築分野では年間約2400万立方㍍が使われている。一方、土木での利用は2006年度に約100万立方㍍だったという推計ベースの数値はあるものの、正確なデータすら存在していない。

もともと地盤の専門家だった飛島建設技術研究所の沼田淳紀主席研究員は、ある地方のグラウンドで木杭による地盤改良を検討したことをきっかけに、木材の魅力に取りつかれた。結局、このグラウンドで木杭が採用されることはなかったが、その後、沼田氏は木杭をテーマに本格的な研究を始めることになる。

「土に木を入れたら腐るのではないか」――。誰もが抱く懸念だが、実は、それを覆す〝動かぬ証拠〟が全国各地で見られる。東京・丸の内ではオフィスビルの建て替えで、76年が経過しているにもかかわらず良好な状態を保った木杭が掘り出された。古い橋の架け替えなどでも損傷の少ない木杭がよく出てくる。実は、現在のJR新潟駅舎も木杭で支えられている。

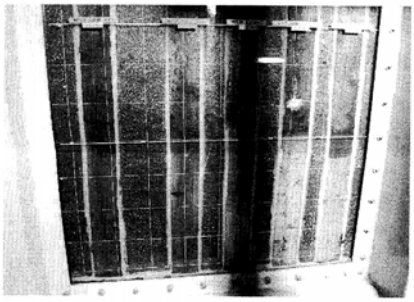
木杭のうち、地下水位の変動域より深い場所にある部分は腐らない。しかし、それより上の部位では、空気や温湿度などが一定の条件になった場合に腐り始める。沼田氏は技研で、さまざまな条件を設定した上で、木材腐朽菌の繁殖状況を比較実験している。実験は07年8月に開始。マツやスギなど木の種類、ワックス塗布の有無、粘土や砂などの地盤、あらゆる条件下で比較を行い、もっとも効果的な木杭の使い方を確立するのが狙いだ。

木杭は、主に軟弱地盤対策に使うことを念頭に置いているが、木が吸収したCO_2をそのまま地中に埋めてしまう「木材による地中カーボンストック」という副次的な効果も期待されている。沼田氏は当時、何のコネクションもなかった森林総合研究所に出向いて木杭の有効性を力説し、好感触を得た。一方、木材利用に熱心な福井県などによる産学官の共同研究にも参加し、人工的に軟弱地盤を造って木杭を打ち込む試験施工にもこぎ着けている。

学会の動きも表面化した。07年秋には日本森林学会、日本木材学会、土木学会が連携して「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」が発足したほか、土木学会内にも「木材工学特別委員会」が立ち上がった。土木の木材利用に向けた動きは、ざ在感を増しつつある。ただ今のところ、試験施工の実績はあるものの、実現場での採用実績はない。発注者の仕様書や設計指針などから「木杭」の文字が消え去ってしまっているためだ。

しかし、木材利用をめぐる現状について沼田氏は、「まさにパラダイムシフト。今が木材利用を普及させるチャンス」とみる。戦後の森林伐採に頭を痛めた日本政府は1955年、一部建築物の木造禁止のほか、コンクリートや鉄の積極的活用を命じる「木材資源利用合理化方策」を閣議決定した。それから55年が経過し、森林が成長して間伐材や地球温暖化が問題となった今、公共建築物木材利用促進法が施行された。沼田氏は、「主に公共建築を対象にした法律だが、土木でも木材利用の素地ができる可能性はある」と、新法の波及効果に期待を寄せる。

沼田氏が木杭の研究を続ける背景には、ブレない信念がある。「大学院時代、修士論文の結びで、コンクリートや鉄など人工材料に依存する土木工事に疑問を投げかけた。朽ちない木杭と同様、この考えは20数年が経った今でも変わっていない。


さまざまな条件下で比較実験する

新法の波及効果にも期待

木材利用は環境破壊？

飛島建設 中学生152人にアンケート

飛島建設が、東京都千代田区の中学校で中学1年生152人を対象に実施したアンケート結果によると、「木材利用は環境に良くない」というイメージを抱く生徒が多いことが分かった。

「木材を生活の中でどのようにつかうべきか」という設問には、「なるべく使用すべきではない」が最多で30%、次いで「どちらとも言えない」が27%だった。「なるべく使用すべき」と「可能な限り使用すべき」は合計しても29%という結果だ。使用すべきでない理由としては「森林を減らし、環境破壊となるため」が8割以上を超えた。

この調査結果は、教育現場も木材利用をめぐるパラダイムシフトに追いついていない現状を物語っていると同時に正しい知識に基づく環境教育の必要性も示唆している。

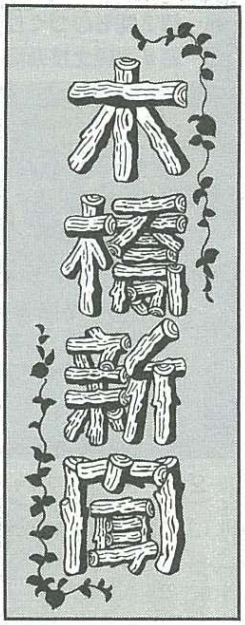
アンケートは、同社の協力によって実施された総合学習の一環。「木材利用」をテーマに行われた総合学習ではこのほか、生徒たちに建設業界での木材利用方法についてプレゼンテーションを求めた。この結果、建設現場の遮音壁や歩道材料、断熱材などに活用すべきとの提案が寄せられた。

総合学習の後、生徒たちからは「不要な木は切った方が環境にやさしいことがわかった」などの感想が寄せられた。

d)橋梁新聞（2010.10.21）

木材利用横断的に研究

土木利用を400万㎥に



〈No.74〉

土木分野での木材活用の可能性を探り、適用性を検証して実用化に結びつけることで、木材利用振興と環境保護を実現しようと研究を進める「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」（今村祐嗣委員長）は、07年から09年の研究報告を3月にまとめた。今年度からの研究は、横断的な分野の知見を集めたこの報告を踏まえて、環境負荷の低減と木材活用を両立する持続可能な具体的あり方の検討や検証に入っている。例えば、木材のカスケード（多段階）利用に関する検討や、木杭を使った地盤改良工法、木製治山ダム、木橋などの木製土木施設の炭素貯蔵効果の検討などだ。

横断的研究会の最大のポイントは、自然環境、温室効果ガス、温暖化施策、木材流通、土木や建築の構造、木材腐朽などの各専門分野の研究者が研究成果を持ち寄り、多角的な視点から、合理的な木材活用のあり方を探る活動のスタイルだ。

昨年までの研究でも、①土木における木材利用の可能性、②木橋への利用技術、③木材の治山治水利用、④木材の地中海洋利用、⑤木材の道路関連への利用など工学的な木材利用の研究のほかに、⑥ポスト京都議定書への「間伐木材製品の取り扱い」の対応、⑦土木における木材利用に関する資源利用ビジョンなど、CO_2や環境に関する施策への対応や木材流通面からの報告もしている。（表）

研究会ではこれらの成果をもとに土木における木材利用量を年間400万立方㍍まで拡大するための今後10年間のロードマップの作成を進めており、行政や関係業界へ向けた政策提言なども検討している。今年度末までに現在の研究成果をまとめたい考えだ。

土木における木材の利用拡大に関する横断的研究成果報告書目次（抜粋）

土木における木材利用と学際的研究の進め

土木における木材の利用の可能性
- 木材利用の環境的意義と地中への利用
- 木材の特性と木橋への利用
- 木材利用の波及効果といろいろな利用技術

ポスト京都議定書への「伐採木材製品の取り扱い」の対応
- 「伐採木材製品の取り扱い」に関する円卓会議の提言
- 伐採木材製品の取り扱いに対する土木学会の検討結果

土木における木材利用に関する資源利用ビジョン
- 日本の森林資源と木材供給の長期的見通し
- 炭素ストック変化を考慮した木材のエネルギー利用による実質炭素収支について
- 土木における木材資源の利用拡大へ向けて
- 木材利用実績および土木における利用ポテンシャル

木橋への利用技術
- 木橋の維持管理の把握と課題

木材の治山治水利用
- 木製治山におけるCO_2削減効果
- 防腐処理の有無による治山治水の腐朽速度の違い
- 腐朽速度を考慮した木製えん堤の設計法

木材の地中海洋利用
- 地中海洋での木材利用における設計法の変遷と現在の設計法
- 木材の腐朽および虫害
- 丸太打設による軟弱地盤対策の炭素貯蔵効果

木材の道路関連への利用
- 木製車両用防護柵の開発概要と普及への課題
- 樹木による法面緑化工の二酸化炭素固定効果
- エコパリューウッドの土木における木材カスケード利用の可能性

柱脚跡？発見

愛本刎橋 復元に弾み

加賀藩５代藩主前田綱紀が江戸時代初期に架け、当時「日本三奇橋」に数えられた愛本刎橋で、当時の架設地の特定につながる発見が６月にあった。

市教委によると、職藝学院の上野幸夫教授らが、当時の刎橋の柱脚跡とみられるくぼみを発見。場所は現在の愛本橋から上流約60㍍の右岸。川面から約２㍍高さの崖に、直径約1.1㍍のくぼみが５つ、ほぼ等間隔で一列に並ぶ。刎橋の構造は、橋脚に代えて刎ね木と呼ばれる材木を、川の両岸からハの字にせり上げて橋桁を支える。くぼみは、刎ね木の根本を固定する垂直の柱跡とみられている。

市教委は10月下旬、刎ね木や柱脚の埋設長の解明に着手、富山大の酒井英男教授がレーダー探査する。

生きもの会議に寄せて

多様性復活 木材活用で

木橋技術協会植野芳彦会長

国土の約70％は森林。資源のないわが国では、国内にある資源を有効に活用する必要がある。木材の有効利用は森林保全にも役立ち、生物の多様性の復活にもつながっていくのではないだろうか。これまで永久橋と言われる橋がマニュアルに準じて整備されてきたが、維持管理の問題が今後どうなるのか。視点を変え、身近な材料である木材を創意工夫で社会資本の一部に導入していく挑戦が必要ではないか。（談）

e)北羽新報（2010.10.30）

木高研公開講演会

木杭材の防災活用提言

液状化研究の濱田・早大教授

日本海中部地震で確認 「側方流動」日米共同研究に

地震による液状化研究の第一人者、早稲田大理工学術院社会環境工学科の濱田政則教授を招いた県立大木材高度加工研究所の公開講演会が29日、能代市海詠坂の同研究所で開かれた。濱田教授は27年前の日本海中部地震の地盤被害で明らかになった液状化と側方流動の研究が国際的な共同研究に発展したことや、対策として地球温暖化防止と併せて木杭の活用による研究・実験が行われていることを報告。地域の森林資源で地域の土木を担う〝地産地消〟など、循環資源の防災活用を提言した。

講演会は、地域に開かれた研究施設を狙いに企画され、講師には専門分野が地震防災工学の濱田教授を招致した。濱田教授は内閣府中央防災会議会会長などを歴任。昭和58年の日本海中部地震では能代市内の地盤被害を調査、流動化や液状化研究の第一人者と知られる。

演題は「日本海中部地震の地盤被害と液状化対策への木材の活用」。濱田教授は地盤の液状化発生のメカニズムとともに、発生条件として砂質地盤や地下水位が高いことなどを説明。その上で、「液状化した地盤が水平方向に数㍍にわたって移動する側方流動という現象があるが、これは日本海地震の研究でわれわれが初めて気付いたものだった」と報告した。

現象はすでに昭和39年の新潟地震で見られ、米国でも研究が始まるなど、日米共同研究に発展。対策では、土木分野における木材の利用拡大と温暖化防止などで木杭活用による建物・盛土の沈下・変形の抑制研究が進んでいることを紹介し、地域の森林を地域の土木に使用することを提言した。

今後の地震対策では、流動化対策の研究の促進と大都市圏の臨海埋め立て地対策などを提起したほか、二酸化炭素削減に向けた木材利用の推進や、土木・森林・木材など分野横断的な学術研究のさらなる推進を挙げた。

聴講者は約80人だったが、一般市民や建設、設計、木材業界、行政関係者など幅広い分野に及び、質疑では流動化対策の木杭の有効性や能代市内の側方流動の大きさなど活発な質問が出された。濱田教授は、側方流動の研究が始まった矢先に発生した阪神淡路大震災を振り返り「地震工学は後追い学問と言われるが、将来の地震に見落としがあってはならない。脆弱な面を洗い出して備えを新たにしなければならない」と語った。

日本海中部地震で明らかになった側方流動現象を語る濱田教授（木高研で）

f)秋田魁新聞（2010.11.03）

り、ミズナラやコナラ、カエデ、ナナカマドなど15種類の広葉樹を丁寧に植えた。植樹祭で植えた苗木は計1万95００本になった。（下村直也）

木のくいで被害防止

早大濱田教授 地震テーマに講演 木高研

県立大木材高度加工研究所の公開講演会が29日、能代市の同研究所で行われ、早大理工学術院の濱田政則教授が「日本海中部地震の地盤被害と液状化対策への木材の活用」と題して講演。構造物の地下に木製のくいを埋めることで「地盤の液状化による傾き被害を抑えられる」と述べた。

濱田教授は、1983年の日本海中部地震による能代市などの被害を画像で紹介し、地震により地盤が液状化し移動することを説明。実験結果を基に、木のくいを建物の地下に打つことで土の密度が上がり、液状化の発生防止につながることを示した。

その上で▽長いくいほど液状化による建物の傾きを防げる▽太さや長さがそろってなくとも効果はある―などとし、防腐剤開発が課題だと指摘。濱田教授は「この工法が確立できれば、地元の木材を地元の土木工事で使うという循環利用につながる。実際に堤防などに打ち込む実験に協力してくれる自治体を探している」と話した。（高橋尚義）

地震による地盤の液状化対策について講演した濱田教授

g)福井新聞（2010.11.27）

木材利用法考察へ
11日福井でシンポ
県など主催

木材の利用法を考え、林業の活性化につなげようと県などは12月11日、福井市の県国際交流会館で「木材利用シンポジウムin福井」を開く。

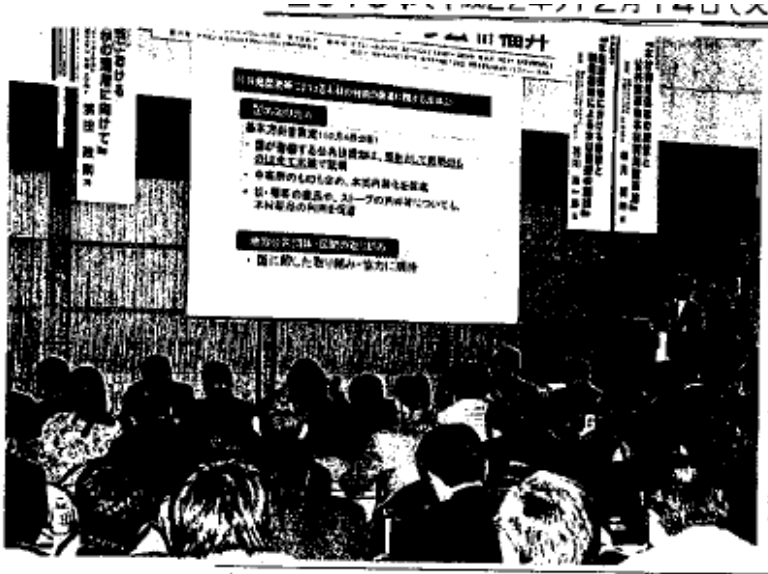
県内の大学や企業などの産学官でつくる実行委員会が主催。福井大大学院工学研究科の石川浩一郎教授が「木造建築における修復と環境創造による木材需要の創出」と題して講演。早稲田大理工学術院社会環境工学科の濱田政則教授は、土木分野における木材利用について講演する。ほかにも県内外の林業関係者ら6人が一般発表する。

シンポジウムは午後1時から同5時半ごろまで。申込先は飛島建設北陸事業部営業グループ＝☎0776（28）8706。問い合わせ先は県雪対策・建設技術研究所＝☎0776(35)2412。

h)福井新聞（2010.12.14）

木材の利用法探る

県内外200人 福井でシンポ



県などは11日、福井市の県国際交流会館で「木材利用シンポジウムin福井」を開いた。県内外の林業関係者約200人が参加。講演などを通し、木材需要の促進や林業の活性化について理解を深めた。

県内の大学や企業など産学官でつくる実行委員会が企画した。

福井大大学院工学研究科の石川浩一郎教授は「木造建築物における修復と環境創造による木材需要の創出」と題して講演。石川教授は、世界文化遺産になっている元興寺（奈良市）の多くの部分が木材で補修されていることを例に挙げ「日本の一般的な木造住宅の平均寿命は約30年。耐震改修やリフォームなどに木材を活用することで住宅の長寿化が図れる」と提案した。一般発表では、県県産材住宅推進室の岩佐礼三さんが本県の木材利用の現状、取り組みなどを紹介。人工林のうち間伐などの整備が必要な森林は約8割に上ることや、本年度からコミュニティー林業を推進し、県産材の安定供給を目指していることを話した。

ほかに県総合グリーンセンターの野村崇さんは「木質ペレットボイラー施設の導入効果」、中西木材（越前市）の中西昭雄社長は「地域木造住宅市場活性化に向けて」と題して発表した。

木材利用について理解を深めたシンポジウム
＝福井市の県国際交流会館

i)建設工業新聞（2010.12.15）

木材の利用拡大を

講演会、発表会でアピール

同実行委

木材利用シンポジウムin福井（主催・同実行委員会）はこのほど、福井県国際交流会館で開き、木材の利用拡大に向け新たな活用法を探った。土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会（日本森林学会、日本木材学会、土木学会）共催。近畿建設協会ら後援＝土木学会CPD認定プログラム（4・3ユニット）。

木材を利用することは林業を活性化させ地球温暖化や自然災害の防止にも役立つ。そこで今回は、講演会や発表会を通じ林業の活性化や木材の利用価値を考えた。

各自治体や各森林組合の職員、工務店経営者ら約200人が聴講。県農林水産部県産材活用課の田中昌文課長のあいさつに続き、農林水産省林野庁林政部木材利用課の香月英伸総括課長補佐が「木材利用促進に関する法律（10年10月1日施行）や林野庁の取り組みなどを紹介。法律では公共建築物を建てる場合▽低層（2―3階以下）は原則木造▽中層・高層のものについては木質内装化を図る▽机・椅子・棚の備品はなるべく木製品の利用に努める▽木質ペレットストーブの導入等エネルギーについてもできるだけ利用する―などと定められ、木造整備率も現在の7・5%から24%程度とする目標が設定された。林野庁では来年度概算要求で森林／林業・木材産業づくり交付金として、モデル的な木造公共建築物に対し2分の1を上限とする支援を行うほか、木造公共建築物整備に係る利子助成を予算要求している。

約200人が聴講した木材利用シンポジウム

石川氏は建物の木造化による低炭素社会の実現を中心に解説。環境創造のひとつに二酸化炭素の削減が緊急課題になっているとし、森林整備の必要性を訴えた。森林から算出される木材利用効果では炭素貯蔵、省エネルギー、エネルギー代替の3つの効果がある。このうち炭素貯蔵効果は森林における二酸化炭素の固定貯蔵と木造建築における貯蔵機能、省エネルギー効果は鉄、アルミニウム、コンクリート等の資材の替わりに木材を用いることによるもの。木材は他の資材に比べ製造に用するエネルギーが少なく燃やすと二酸化炭素と水に戻り、このときに出るエネルギーを燃料として使用できる利点を挙げた。また、木造住宅の耐震補強をリフォームと合わせて実施すれば、比較的容易であり腐朽部分を改修し偏心をなくすことで耐震性能を向上させることができるとまとめた。

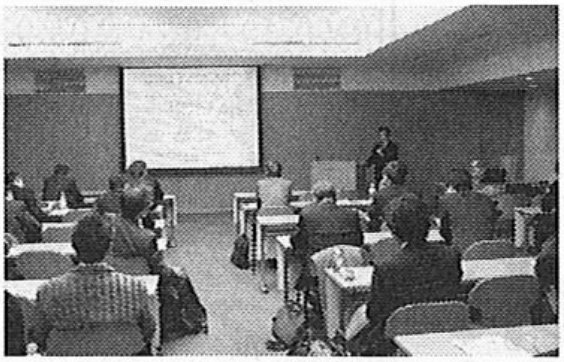
濱田氏は、土木分野での利用拡大を提案した。木材が土木工事にほとんど利用されていないことを指摘したうえで、道路の遮音壁やガードレールなどに木材を多く使用すればどうか。木材の品質、グレードはさまざまであるが、土木分野での利用法を積極的に検討し、腐朽などに対する技術を開発すれば需要は増大するなどとアピールした。木材利用促進の現状と木材利用促進の取り組み▽西口晋利氏（福井県森林組合連合会業務部販・購買課長）／低コスト化に向けた木材の生産・流通体制について▽中西昭雄氏（中西木材代表取締役社長）／地球木造住宅市場活性化に向けて▽野村崇氏（福井県総合グリーンセンター林業試験部木材開発研究グループ研究員）／総合グリーンセンターの木質ペレットボイラ施設の導入効果について▽沼田淳紀氏（飛島建設技術研究所主席研究員）／地中における木材の耐久性について▽三浦哲彦氏（佐賀大学名誉教授）／軟弱粘土地盤における木杭基礎～ローカルルール作りの歩み～。

土木分野での活用法探る

j)橋梁新聞（2011.01.01）

横断的研究委がシンポ

4百万立方メートル使用目指す



日本木材学会会長の服部順昭教授の講演

土木分野での木材活用の可能性を探り、適用性を検証して実用化に結びつけることで、木材利用振興と環境保護を実現しようと研究を進める「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会（土木学会木材工学特別委員会）」（委員長は今村裕嗣・京都大学教授）は11月16日、各委員会の進捗状況と研究課題、成果や今後の展開などを報告し合う拡大運営委員会を開催した。

併行して研究が進められている各研究テーマの進行スケジュールと、成果報告の時期に照らした土木分野での木材使用量目標の推移、ならびに2020年には年間400万立方メートルを達成することなどを確認した。

また特別講演として日本木材学会会長の服部順昭・東京農工大学教授が「木材木質材料の地球環境への定量的影響評価」と題して講演し、カーボンフットプリントの現状や活用についての知見などを紹介した。

k)九建日報（2011.01.05）

木材利用

土木分野の潜在需要に期待

安定した資源供給が可能

渡辺浩福岡大准教授に聞く

地球温暖化に貢献する一つの対策として、間伐材の利用拡大が注目されている。木が炭素貯蔵効果と資源代替効果を果たすためだ。昨年10月には公共建築物の木造化を奨励する「公共建築物等における木材利用促進法」が施行し、土木分野の潜在需要に対する期待も増している。ただ、供給体制等の課題もある。土木における木材の利用拡大を目的に、土木学会ら3団体が設置した横断的研究会で委員を務める、渡辺浩氏（福岡大学准教授）に現状や課題、可能性について話を聞いた。

――木材利用の現状についてお願いします。

地球温暖化対策は今地球規模で取り組まなければならない課題です。日本でも国を挙げた取り組みが始まっており、重要な柱の一つとして森林とそれを支える木材利用がクローズアップされています。

かつて木材は建設材料の主流でした。非木材化が進んだ背景には、木材の代わりに鋼材やコンクリートの積極的な活用を奨励する「木材資源利用合理化方策」が昭和30年に閣議決定された影響が大きいと言えます。これは、耐火や耐久性能の向上と言う目的もありましたが、当時国内の森林資源が枯渇していたことに対する措置ともいうべきものでした。このことは将来に備えて植林、育林を奨励していることでも明らかです。しかし後々、非木材化のみがひとり歩きした感があります。

一方で昨年10月には公共建築物を可能な限り、木造化、木質化を図ることとした「公共建築物等における木材利用促進法」が施行されました。これまでの非木材化という方向性が一転したと言う意味で画期的なものと言えます。

今ほど国内の森林資源が充実している時代はありません。国産木材は外交問題や資源ナショナリズムにも影響されることなく安定した供給が可能で、利用すれば産業の活性化にもつながります。このような利点がクローズアップされる時代だと思います。

現在国内の木材利用量は、建築用途が2400万㎥であるのに対し、土木用途は100万㎥程度であると言われています。住宅の木造率は大型集合住宅の影響でやや下降ぎみですが、それでも建築分野には堅調な需要があります。土木分野での木材は、ほとんどが仮設資材という認識しかありません。潜在需要は大きいと言えますが、まずは認識をどう変えるかが課題と言えるでしょう。

――木材利用の効果についてお願いします。

植物は光合成により二酸化炭素を吸収しながら成長しますので、樹木もそこから得られる木材も大量の二酸化炭素を固定した塊であると考えることができます。二酸化炭素削減というと排出量削減が最初に思い立ちますが、木の吸収効果に期待しようという考え方もあり得るわけです。新たに森林が吸収した二酸化炭素の分は、排出量を削減したと見なしてもよいという考え方が国際ルールになっています。日本でも京都議定書の目標6％のうち3・8％は森林による吸収で達成するものとされていました。

森林が面積あたり蓄積できる二酸化炭素の量には限りがあります。特に成熟した日本の人工林では見守っておけばよいというものではありません。スギ人工林の年間の二酸化炭素の吸収量は、樹齢30年から40年がピークでそれ以降は低下します。森林に二酸化炭素の吸収を期待するのであれば、適度な樹齢で伐採した方が有利となります。伐採と植林を繰り返すことで、新たに二酸化炭素を吸収できます。さらには、伐採した樹木を木材として使用することで長期にわたり二酸化炭素を固定し続けるという相乗効果が生まれます。

木材は燃やすことでエネルギーを回収することができます。木材の生産は自然の営みの中で行われているため人為的なエネルギーが一切投入されていません。木材を活用することで化石燃料の消費を抑えることもできます。炭素貯蔵効果と資源代替効果が、森林と木材利用が注目されている理由です。木材はそれ自身がエコなばかりでなく、利用することもエコであると言えます。

林業と建設業には共通点が多いと思います。労働環境や作業内容が比較的似ており、機械も多くの部分が共通です。従事されている人が共通の場合もあるようです。建設業と同様に、林業が盛んになれば地域の活性化と雇用の創出という効果も期待できます。林建協働と呼ばれる業界同士のコラボも一部で始まっており、今後ますます拡大すると思われます。

生産、加工者との連携重要

——木材の長所と短所について。

木材は強度特性に優れた材料です。これは樹木の合理的な高分子構造によるものですが、優れているがゆえに完全な接合の方法がなく、結果として木構造物には必ず接合が存在します。木構造物では耐久性が課題となりますが、やむを得ず存在するこの接合を逆から見れば、必要な部分だけを容易に交換できるというメリットにもなります。このような対応はコンクリート構造物では不可能であり、近年の保守の考え方としてはまだ一般的ではありませんが、交換が容易な構造物としておくことで維持管理も含めたトータルコストを抑えることも可能となります。

木材は弱いという印象を持っている人が多いようですが、設計上の強度などはコンクリートと同等で、その軽さを考慮すれば鋼材にも匹敵する性能を有しています。軽くて適切な強度を持ち、入手しやすく加工も簡単というメリットを考えると、かつての人々が我慢して木材を使っていたというわけではないだろうと想像できます。

大きくたわむ足場板を見ると木材が弱いと勘違いしがちですが、板が大きくたわんでも折れないことを考えるとそれなりの強度を有していることがわかります。木材は強度とヤング係数のバランスが鋼材やコンクリートとはかなり異なる材料であると言えます。このことは木材による構造物の設計で重要な意味を持ちます。

木材のばらつきが問題と言われることもあります。確かに、樹木をほぼそのまま使用する木材には素材に起因する性質のばらつきが生じます。これに対し近年では、必要な性質のものを選別する技術や、ばらつきを解消する集成加工技術などが進歩しており、実用上問題とは言われなくなっています。

実際に利用された方は入手性が課題の一つと思うかもしれません。日本の山にはこんなに木があるのにと思われるでしょうが、現在の林業の基盤はきわめて脆弱であり森林資源を市場に潤沢に供給する能力はありません。これは一朝一夕に解決する問題ではありませんが、何よりも必要なのは安定的な木材の需要であり、この点からも土木分野における木材の利用拡大が求められています。

耐久性は昔から現在に至るまで木材にとって最大の課題です。天然素材から得られる木材は、それゆえに微生物によるアタックも受けます。その速度は微生物にとっての環境が整うかどうかで大きく異なります。例えば法隆寺五重塔の主要部材は1300年を経た今でも現役である一方で、整備から数年で機能を失う構造物があるのはこのためです。

設置環境による劣化速度の差は鋼材やコンクリートにもありますが、木材の劣化は鋼材やコンクリートのものとは比較にならないほど大きいものです。木材の利用にあたっては設置環境への配慮が特に重要であると言えます。微生物による劣化の必要条件は水分と適度な温度と酸素ですが、土木、建築物で対策が可能なのは水分のみです。つまり木材の劣化対策は水対策と言うこともできます。ただ、屋外にそのまま設置されることが多い土木構造物で水分を絶つことはきわめて難しいと言えます。

そこで所要の耐久性を得るための対策は二つあります。ひとつは薬剤による防腐処理の利用です。必要条件にあわせて様々な方法が実用化されていますが、処理にはある程度の時間が必要です。処理を短縮した際には、効果が十分に発揮できない事例が多数あることを知っておいていただきたいと思います。

もうひとつは利用上の工夫です。これには樹種により耐久性の差だけでなく同じ樹木でも部位により異なる耐久性の違いを利用すること、木口は劣化しやすいので保護すること、雨水がかからないようにすること、それができない場合でもすぐに乾くようにすること、地際は特に劣化しやすいので注意すること、地中構造物の場合地下水位以下はほぼ劣化しないのでそれより上の部分の耐久性に注意すること等が挙げられます。

耐久性を備えたよい木構造物を作るためには、ある程度の木材に関する知識が必要なことと、構造物に対する目標耐用年数を決めることです。いたずらに長い目標はどんな材料であっても維持管理のペースを乱します。適切な耐用年数が定義されれば、木材を利用可能かどうか、またどのように使えばよいかが決められます。

——木材利用を促進する環境整備についてお願いします。

土木分野での木材利用が進まない理由を一つあげるとすれば、それは利用促進の努力をしてこなかったからと言えるでしょう。これまで必要性がなかったからですが、これからは違います。公共建築物等における木材利用促進法では、不十分ながらも土木構造物への適用に関する記述があります。これまで土木構造物に関する研究や取り組みが不足していたため十分な記述ができなかったわけですが、今後の取り組みによりこの部分が大きく発展することが予想されます。施行の時点では予算面での措置はありませんが、今後何らかの施策が示されるようです。いずれにせよ木材利用に対する補助がこれまでは個別対応だったものが包括的なものになることは間違いないでしょう。

促進法には木材生産者の取り組むべき課題も明記されています。大型の建築物で必要となる大径長尺材の供給がスムーズになれば土木分野にも有利になるでしょう。課題である供給力向上についても、まとまった需要が喚起されることで産業が活性化され、徐々に解消されるものと考えられます。

今後スムーズに木材利用を進めていくためには、木材生産、木材加工、そして利用者である我々の連携が重要です。従来であれば、伐れば売れるだろう、言われたとおりに加工すればよいだろう、使用量のノルマを達成すればよいだろうと、相互の意思疎通は十分とは言えませんでした。それがコスト高や意に反した短期の耐用年数等をもたらし、結果として低満足、低評価という不本意な結果となってきました。私たちができることは、生産者、加工者との連携を強化することと、何よりも木材そのものを理解し、活かす方法を考えることかと思います。

大型木橋の架設も

――利用技術の現状と課題をお願いします。

特に技術が進んでいるのは建築分野です。１９８７年の建築基準法改正により木造の適用範囲が拡大し、それを実現できる集成材の技術と共に発展してきました。その技術は木橋にも応用され、従来の概念を凌駕するような大型の木橋が架設されるようになりました。道路構造物としては、車両用防護柵の設置が増えてきましたので目にされた方も多いかもしれません。木材は吸音性能にも優れますので防音壁にも利用されています。地中構造物については杭や地盤改良に活用されています。いずれも従来品を完全に置き換えるほどのものではなく、また木材とすることによる新たな課題もありますが、地道な研究開発が続けられています。

実際に木材利用を着実に増やしていくためには、新たな技術開発とともに、既存の技術の信頼性を高めることも重要と思います。既存のものがどれだけの期間、どのように利用できたのか事例を検証し、明らかにしていくことが我々の役目だと思っています。

しかし、これまで研究としてほとんど取り組まれてこなかったため人材不足は大きな課題です。大学の土木や建築系学科が講義で木材を取り上げないため、若い人たちは木材を学ぶ機会が全くありません。まだ市場が小さいため十分な知識は必要ないとしても、上手な木材利用のためにはある程度の知識は必要ですし、少しでも知っていればその先に興味が向かうでしょう。このあたりは学会全体で取り組むべき課題だと思います。

――土木分野での活用例を教えてください。

土木分野における木材利用に関しては潜在的な需要が大きいと見られ、その活用先として大きな期待が寄せられています。最も木材を大量に使用できると考えられるのは地中利用です。従来使用されている木杭に加え、安定処理や液状化対策での利用が考えられており、設計法の整備も進んでいます。加工や選別もほぼ不要でそのまま利用できることはメリットです。耐久性の不安は聞こえてきますが、地下水位以下の部位は劣化の心配がないことはこれまでの調査でわかっていますので、それ以上の部分に防腐処理を施して利用するとよいでしょう。

歩道用の木製防護柵は従来観光地等でよく見かけますが、道路用の防護柵も実用化されています。これは防護柵の性能規定化により新たに製品開発がなされたもので、全国で実績が伸びています。木製遮音壁も高速道路等で使用されるようになっています。乾燥収縮により性能の低下の心配もありますが、木材の吸音性能は良好なので今後さらなる活用の余地があると言えます。季節風を受ける沿岸部では防風柵としての使用実績もあります。

木橋は木材使用量こそ少ないものの土木分野における木材利用のシンボルとして重要な役割を担ってきました。林道橋を中心に本格的な車道橋の実績も多数あります。これらは集成材技術が一般化した１９８０年代後半から架けられており、初期のものはすでに供用20年を越えています。市民に対するアピール力では大規模車道橋より小規模歩道橋の方が上かもしれません。主桁の接合が不要な短支間の木橋はコスト的にも有利であり、公園の数ｍの歩道橋は全て木橋でもよいのではないかと思うほどです。

将来は第三の材料に

――受発注者に求めることはありますか。

木材は嫌々使用するような性能の低い材料ではなく、上手に使えばすばらしい材料であることを理解いただきたいと思います。その上で発注者にお願いしたいのは、まとまった量を必要とする際には確保するのにかなりの苦労が伴うという現状を知っていただくことです。それらを加工し、さらに施工することを考えると、年度内で全てをこなすのは難しい事例も多数見られることから、必要に応じて材料の前年度分離発注も検討の価値があるかと思います。また所要の耐久性を発揮させるための乾燥や防腐処理にはある程度の時間が必要となるため、その分を見込んだ早めの発注を心がけていただければと思います。木材を発注する場合でも同様です。

設計者には、単に材料係数を木材に置き換えた設計ではなく、木材の特徴を引き出し、活かせる設計をお願いしたいと思います。現状では設計上の不備とも言うべき劣化事例も見られます。これらをなくすことで木材とその構造物に対する評価は自ずと向上すると思います。管理者には最低限の点検と保守をお願いします。昨今ではメンテナンスフリーは死語になりつつありますが、生物的な劣化の可能性がある木材とその構造物では、不具合への早期の対処の有無がその後の保守性に大きな影響を及ぼしますので、計画的かつ早めの点検をお勧めします。

――学会ではどのような活動を行っていますか。

木材の利用を促進していくためには素材生産から加工、利用に至るまでの連携が重要です。この観点から、これらの３者を専門とする日本森林学会、日本木材学会、土木学会の３学会が共同で、平成19年に「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会（委員長・今村祐嗣京都大学名誉教授）」を立ち上げました。環境貢献という統一の視点で、意識の共有と課題の解決に取り組んでいます。

研究会では、現在１００万㎥と言われる利用量を４００万㎥まで引き上げる目標を掲げています。既存技術の検証や技術基準の検討、新しい利用法の提案及び検討も行っており、近いうちにその成果を提言としてとりまとめる予定です。

土木学会においても、これまで木材を対象とした活動は限定的にしか行われてきませんでしたが、近年の木材利用に対する時代の要望を受けて、木材工学特別委員会（委員長・濱田政則早稲田大学教授）が設置されました。建築分野の木材利用は「公共建築物等における木材利用促進法」により一定の方向性が見えましたが、土木分野も乗り遅れないよう横断的研究会とタイアップして課題に取り組んでいます。

現在は建設材料と言えば鋼材とコンクリートになりますが、元来は木材が第一の材料でした。今後は、第一とは言えないまでも第三の材料として、検討段階で鋼材やコンクリートと並び選択肢の一つになることを切に願っています。

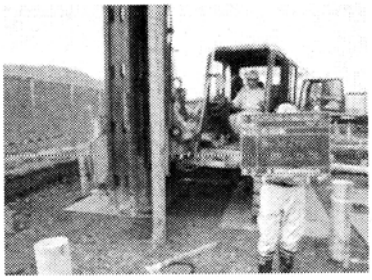
l)日刊工業新聞（2011.02.16）

間伐材の丸太杭で地盤補強

低CO2工法へ実用化

飛島建など

兼松日産農林、飛島建設、昭和マテリアル（北海道岩見沢市、五十嵐閣社長、0126・26・3636）の3社は15日、共同で軟弱地盤に工場などを建てる際の地盤補強材として間伐材などの丸太杭を活用する技術の実用化にめどを付けたと発表した。鋼管杭といった一般的な補強材と性能が同等以上であることを確認。丸太杭は生産段階の二酸化炭素（CO2）排出量がゼロで価格も安く、成長段階でCO2を吸収するなど環境面も競争力が高い。今後は砂地盤の検証を進め、適用範囲の拡大を探る。



▲……丸太杭施工の実証

かつて丸太杭は道路橋や建築物の基礎に適用されていたが、規格を均一にできる工業製品の鋼管杭やコンクリート杭に押されて1980年代に姿を消した。ただ、環境問題の観点から生産段階のCO2排出量を抑える代替建材として、兼松日産農林など3社は丸太杭に注目。地域の間伐材を採用することで林業を活性化するとともに、物流時のCO2排出量も減らせる新たな環境配慮工法として実用化を目指す。

3社の試算では小規模構造物の地盤補強で発生するCO2量は、セメント1トン当たり0・71―0・76トン、鉄1トン当たり1・25トン。これに対し1棟当たり4立方㍍の丸太杭で代替した場合、15トンのCO2を削減。単価も鋼管杭などの2分の1程度に圧縮できる。本格適用に向け品質のバラつきや安定供給などの解決が必要。

m)日刊建設通信新聞（2011.02.16）

（第三種郵便物認可）

飛島建設、兼松日産農林、昭和マテリアル

丸太杭の支持力を実証

コスト面でも有利 NETIS申請へ

飛島建設、兼松日産農林、昭和マテリアルの3社は15日、埼玉県八潮市の軟弱地盤に施工した丸太杭の公開実験を行った。実験は丸太杭の支持力を検証するのが狙いで、鋼管杭やコンクリート杭と同等以上の周面支持力があることを実証した。今回の実験で丸太杭のさまざまなメリットが検証できたため、今後は国土交通省のNETIS（新技術活用システム）に登録申請するほか、土木学会などでの報告などを行い、普及活動を進めていく方針だ。

丸太杭の公開実験

公開実験は、軟弱地盤で杭の先端を支持層まで到達させない周面支持杭としての性能を調べるのが目的で、丸太杭、鋼管杭、コンクリート杭それぞれの支持力を比較した。丸太杭は周面の摩擦力が大きいため、鉛直支持力が鋼管杭より3割以上、コンクリート杭と同等または大きくなる傾向が確認できた。

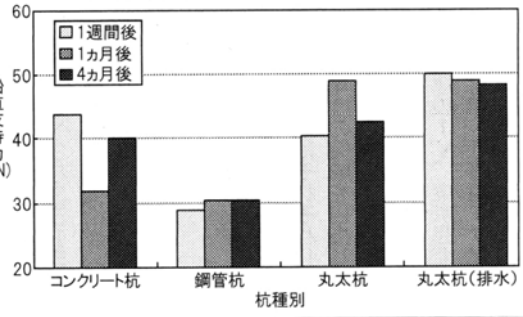
実験では、スギとカラマツの丸太を使い、表面の皮をむいた丸太、先細り型の丸太、側面に排水用の溝を施した丸太など計7タイプの丸太杭を比較実験した。打設後1週間、1カ月、4カ月と施工時期に応じた支持力の比較も実施。この結果、排水用の溝を施した丸太は、打設初期の段階から支持力が大きくなることも分かった。

丸太杭は鋼管杭やコンクリート杭に比べて安く、支持層まで到達させる必要がない周面支持杭のため部材も短くて済む。丸太杭はこれまで、人工材料でないことや地中へのCO_2埋蔵効果など環境面での効果が着目されていたが、今回の実験によって性能面やコスト面でのメリットも実証されたことになる。

今後は、NETISへの登録申請を行うほか、土木学会などでの研究報告、砂地盤での地震実験や複数杭の施工、耐久性試験なども実施する。適用範囲を拡げ、軟弱地盤対策での木材利用を提案していく方針だ。

今回の実験は、日本合板工業組合連合会の国産材原料転換技術開発事業「軟弱粘性土地盤における周面支持力丸太の開発と有効性の実証」として実施。3社に加え福井工業高等専門学校、福井県雪対策・建設技術研究所などの協力を得ている。公開実験には、民間企業や大学など研究機関、公共工事発注機関から計100人以上が参加した。

丸太杭と鋼管杭・コンクリート杭の支持力
鉛直支持力の例



n)日刊建設工業新聞（2011.02.16）

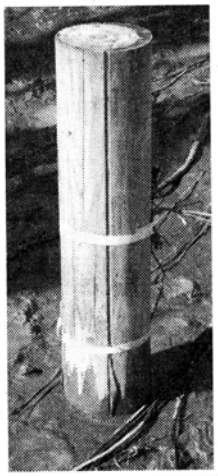
丸太杭

鋼管杭以上の周面支持力

兼松日産農林、飛島建設、昭和マテリアル

実験で優位性確認

兼松日産農林、飛島建設、昭和マテリアルは15日、軟弱地盤に打設した木材の丸太杭に、鋼管杭や鉄筋コンクリート杭と同等以上の周面支持力があることを確認したと発表した。実験によって、丸太杭の鉛直方向の支持力が鋼管杭の3割以上、コンクリート杭の同等以上になることを実証。丸太杭の表面に溝を入れ、排水性を高めれば、打設後1週間目から高い支持力を発揮する傾向にあったという。3社は「木材の優位性が明らかになった」（沼田淳紀飛島建設技術研究所主席研究員）として、実験結果をPRし、建設工事での木材利用に弾みを付けたい意向だ。



実験で打設された丸太杭。テーパー状に加工されている

木材は半世紀前まで主要構造物の基礎などに使われていた。森林の育成につながり、温暖化防止効果が見込めるものの、土木分野ではコンクリートや鋼材の利用が主流となり、工法の検討などでも議論されにくくなっているのが実情。一方、用途によっては性能がコンクリートや鋼材を上回ったり、複数の資源を消費せずに調達できたりするメリットが評価されつつあり、3社は「木材がネガティブではないことをPRする」（沼田主席研究員）狙いから実験を行った。

実験では、RC杭と鋼管杭のほか、杉とカラ松から製造した形状や口径などが異なる7種の丸太杭を埼玉県八潮市内の軟弱粘性土地盤に打設。ひずみゲージや間隙水圧計などを設置し、打設から1週間、1カ月後、4カ月後それぞれで鉛直載荷試験を実施。軟弱地盤の基礎の性能を左右する杭表面の摩擦力が生み出す周面支持力を算出し、RC杭や鋼管杭との性能を比較。有効な実験結果が得られた。

材料費を見ても、RC杭は丸太杭の1・5～2・8倍、鋼管杭だと2・3倍で、丸太杭はコスト面でも優位性を持つという。

3社は今後、丸太杭を林業の活性化にも効果のある工法として国土交通省の新技術活用システム（NETIS）に登録申請することを視野に入れている。実験結果は学会などで発表しつつ、軟弱地盤対策に木材の利用を提案し、丸太杭の「復活」を目指したい考えだ。

実験は、林野庁の助成を受け、日本合板工業組合連合会が行う国産材の原料転換に関する技術開発事業の一環として実施した。

o)日刊建設産業新聞（2011.02.16）

日刊建設産業新聞　2011年（平成23年）2月16日(水曜日)　（2）

兼松日産農林・飛島建設・昭和マテリアル

周面支持力 鋼管杭・コンクリ杭と同等以上

丸太杭の有効性確認

軟弱地盤対策に活用

兼松日産農林、飛島建設、昭和マテリアルは、軟弱地盤対策として打設する杭のうち、丸太杭が鋼管杭やコンクリート杭と比較して、同等以上の周面支持力があることを実証実験で確認した。15日には、埼玉県八潮市での実証実験の模様を公開した＝写真。3社は今回の実証実験の結果を、地球温暖化防止対策や林業の活性化に役立つ木材利用の拡大に活用していく。

木材利用の拡大は、地球温暖化防止対策に貢献し、健全な森林育成にもつながる。しかし、木材に関する研究は、土木分野ではほとんど実施されていないことから、木材の優れた点を環境面だけでなく、工学的にも実証し、これを広く一般や多くの土木技術者に認知してもらうことが重要となる。そこで、現在ではほとんど使用されなくなった丸太による杭に着目、最も基本的な軟弱粘性土地盤に対する周面支持力丸太の開発と検討を行い、他材料との比較により、丸太杭の有効性を実証することとした。

実証実験は、軟弱粘性土地盤に打設する丸太杭の周面摩擦支持力の実証を目的とし、実験場所は埼玉県八潮市大字八條。実験内容は、軟弱粘性土地盤に、コンクリート、鋼管、スギ（削りだしストレート）、スギ（皮むき）、スギ（削りだしテーパー）、カラマツ（皮むき）、スギ（細径）、スギ（排水機能付き）、スギ（継杭）の9種類の杭をそれぞれ4本ずつ打設。すべての杭の杭体の応力を計測するため、杭にひずみゲージを貼り、代表する杭には、杭近傍地盤内の水圧変化を計測するため、杭直近に間隙水圧計を設置した。これまで、打設後1週間、1か月、4か月後に鉛直載荷試験を実施して、それぞれの杭の周面支持力を求めた。

その結果、試験地において、丸太杭の鉛直支持力が、鋼管杭より3割程度以上、コンクリート杭とは同等以上大きくなる傾向が認められ、さらに排水性を高めた丸太杭とすることで、打設初期の段階から支持力が他より大きくなる傾向が得られた。また、丸太杭は、温室効果ガス削減にも貢献し、部材が安価といったコストメリットもある。

この結果は、丸太杭の地盤補強材としての性能が、他材料と比べて遜色ないことを示し、丸太杭は従来の地盤補強工法に比べ環境的に有利であり、軟弱地盤対策工による木材利用の拡大が期待される。

実験データを元に、地球温暖化防止対策と林業活性化に貢献できる工法として、NETIS申請を行うとともに、室内実験での検討結果等を加え、学会発表などで詳細を公表し、軟弱地盤対策での木材利用を提案していく予定。今後は、砂地盤における地震時や複数杭における検討を現場実験、模型実験、数値解析などによって実施するとともに、耐久性に対する検討を行い、適用範囲を拡げ、さらなる木材利用の拡大を推進していくことを予定している。

なお、同実証実験は、日本合板工業組合連合会の国産材原料転換技術開発事業「軟弱粘性土地盤における周面支持力丸太の開発と有効性の実証」として実施したもの。実験にあたっては、3社に福井工業高等専門学校の吉田雅穂准教授と福井県雪対策・建設技術研究所の久保光研究員を加えた同事業の委員会で検討するとともに、三浦哲彦佐賀大学名誉教授、藤井衛東海大学教授による指導を受け、土木学会木材工学特別委員会（土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会）の地中海洋利用小委員会でも検討を重ねてきた。

p)日経産業新聞（2011.02.16）

飛島など

木杭、軟弱地盤に強く

支える力、鋼管と同等以上

飛島建設と兼松日産農林、昭和マテリアルの3社は15日、軟弱地盤で使用した丸太の杭（くい）について、構造物を支える力が鋼管製やコンクリート製の杭と同等以上だったと実証したと発表した。杭の製造における環境負荷やコストが鋼管製やコンクリ製に比べて軽いことなどと合わせて、軟弱地盤に建てる住宅や小規模な工場向けに受注活動を展開する。

実験ではコンクリ製、鋼管製、カラ松や杉など木製の杭を7種類使用。地盤に刺して上から圧力をかけ、杭がどれだけ沈むかなどで構造物を支える力を測定した。

その結果、杉製の丸太杭の支持力は鋼管製より3割程度高く、コンクリ製と比べても同等以上だったことを実証。地盤の水分を排水する溝を設けた杉製の杭は、さらに高い性能を示したという。

今後はコストの低減や環境負荷の軽減につながることなどと併せて営業活動を強化する。軟弱地盤に建築する戸建て住宅や、小規模の平屋建て工場などの受注獲得を目指す。

共同実験は2010年10月から11年2月まで、埼玉県八潮市内の軟弱地盤で実施した。