
平成 20 年度土木学会「重点研究課題（研究助成金）」報告書
「土木における木材利用拡大に関する横断的研究」

平成 21 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

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した。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ます。

しかしその一方で、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でてきました。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」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情報交換をおこなってきています。

2008年3月には、土木学会講堂にて、3学会連携のキックオフ集会「土木事業への間伐材利活用シンポジウム ～土木学会、日本森林学会、日本木材学会と共に森林保全と地球温暖化を考える～」を開催し、地球温暖化防止対策や森林機能の保全・回復のためには国産木材の利用拡大が望まれること、それに対する土木分野での可能性について学際的な議論を行ないました。

このような状況を受けて申請しました「土木における木材利用拡大に関する横断的研究」が、2008年度の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と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や、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ってもらいました。

2008年9月に仙台で開催された土木学会の大会においては、建設技術研究委員会／間伐材の利活用技術研究小委員会と鋼構造委員会／木橋の高度化技術研究小委員会の主催による研究討論会を開催しました。ワークショップのテーマを、「木材を活かした国づくりまちづくりー土木技術ができる地球温暖化対策ー」とし、木材の土木利用に関する学際的研究の紹介、木材利用の有用性、木材利用の効果や必要性、木材の特性や近代木橋など最新の木材利用技術、実際に土木に適用された事例を紹介しました。これに対して、木材利用の進まない現状や課題が出され、林道整備への土木分野からの協力や、木材を利用した構造物の評価を従来の力学など主体の評価基準から、環境をも含めた評価を取り入れていくことの必要性が提案されました。これらの課題を解決するためには、林業や木材分野との連携が必要不可欠であり、土木学会、日本森林学会、日本木材学会との連携による横断的研究会の推進の重要性が改めて示されました。

さらに2008年11月に京都において、京都大学生存圏研究所が主催し、林野庁と京都府の後援、ならびに3学会の協賛により、「地球温暖化防止の観点からの土木における“木材”の利用」と題したシンポジウムが開催されました。横断的研究会はこのシンポジウムの実質的な運営にあたりましたが、土木分野で木材の利活用の増大を図り、地球温暖化防止に貢献することを目標に、課題の抽出と今後の活動の取り組みの方向性を明らかにすることを目指しました。早稲田大学濱田政則教授（元土木学会会長）

をはじめとする研究会メンバーから、学際的な研究の必要性、土木でも木材が使用できる可能性、木材を利用する場合の課題である腐朽を考慮した土木施設の設計方法、木材の土木利用の新たな展開、等の話題が提供され論議を深めました。

横断的研究会の運営委員会メンバーは現在 16 名ですが、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、メンバーを増やしたワーキング・グループを組織しました。ワーキング・グループは、WG1 (15 名) : 資源利用ビジョン、WG2 (6 名) : 木橋利用研究、WG3 (7 名) : 治山・治水利用研究、WG4 (13 名) : 地下海洋利用研究、WG5 (15 名) : 道路関連利用研究、から構成されて活動を展開しています。

2009 年 5 月 23 日には、このような学会横断的な連携活動を紹介するとともに、土木分野における木材の利用技術の最先端を紹介する目的で、「土木分野における木材利用の復興」と題したシンポジウムを東京で開催することになっています。

2008 年度の土木学会重点課題研究の採択に対して、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。

2009 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

「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」運営委員会

委員長	今村祐嗣	京都大学 生存圏研究所	日本木材学会
副委員長	白石則彦	東京大学大学院 農学生命科学研究科	日本森林学会
副委員長	濱田政則	早稲田大学理工学術院	(社)土木学会
委員	仁多見俊夫	東京大学大学院 農学生命科学研究科	日本森林学会
委員	外崎真理雄	(独)森林総合研究所 木材特性研究領域	日本木材学会
委員	平沢秀之	函館工業高等専門学校 環境都市工学科	(社)土木学会
委員	佐々木貴信	秋田県立大学 木材高度加工研究所	(社)土木学会
委員	渡辺浩	福岡大学工学部 社会デザイン工学科	(社)土木学会
委員	石川芳治	東京農工大学大学院 共生科学技術研究院	(社)土木学会
委員	田代晃一	日本国土開発(株) 経営管理本部経営企画室	(社)土木学会
委員	今泉裕治	林野庁林政部 木材利用課	
委員	熊本宏次	林野庁林政部 木材利用課	
委員	高奥信也	京都府庁 農林水産部 森林保全課	(社)砂防学会
旧委員	豊川勝生	東京農業大学 地域環境科学部 森林総合科学科	日本森林学会
旧委員	松本寛喜	林野庁林政部 林政課	
代表幹事	沼田淳紀	飛島建設(株) 技術研究所	(社)土木学会
幹事	久保山裕史	(独)森林総合研究所 林業経営・政策領域	日本森林学会
幹事	桃原郁夫	(独)森林総合研究所 木材改質研究領域	日本木材学会
事務局	今井久	(株)間組 技術・環境本部 技術研究第一部	(社)土木学会

目 次

ページ

1. 研究会の紹介とアンケート結果	1
(飛島建設株式会社 沼田淳紀)	
2. 土木における木材資源の利用拡大に向けて	7
(福岡大学工学部社会デザイン工学科 渡辺 浩)	
3. これからの土木における木材利用	19
(ハザマ 今井 久)	
4. 地球温暖化防止の観点からの土木における「木材」の利用	29
(早稲田大学理工学術院 濱田政則)	
5. もっと土木で木材を	30
(東京農工大学共生科学技術研究院 石川芳治)	
6. 土木における木材の利用－展望と課題－Ⅰ	59
(森林総合研究所木材特性研究領域 外崎真理雄)	
7. 土木における木材の利用－展望と課題－Ⅱ	66
(秋田県立大学木材高度加工研究所 佐々木貴信)	
8. 木製構造物に適した設計・積算・施工・検査	73
(京都府農林水産部 高奥信也)	
9. 耐久性調査を踏まえた維持管理	82
(京都府立大学生命環境科学研究科 田淵敦士)	
10. 保存処理木材の土木分野での利用	88
(越井木材株式会社 松本義勝)	
11. 森林の現状と木材の安定供給	94
(京都府森林組合連合会 青合幹夫)	

添付資料

I 掲載記事

II 運営委員会議事録

※1.～3.は土木学会第 63 回年次学術講演会研究討論会木材を活かした国づくりまちづくり—土木技術がで
きる地球温暖化対策—(2008.9.11) 要旨集に掲載された原稿を一部修正し再編集したものである。

※※4.～11 は第 114 回生存圏シンポジウム地球温暖化防止の観点からの土木における「木材」の利用
(2008.11.21) 要旨集に掲載された原稿を一部修正し再編集したものである。

1. 研究会の紹介とアンケート結果

飛島建設株式会社 沼田 淳紀

1.1 はじめに

現在、土木における材料といえば、コンクリートや鉄が上げられるが、土木は文字が示すように木材との歴史の方が遥かに長く、古くは橋と言え、石造りか木橋であったと考えられ、杭と言え木杭であった¹⁾。国内の生産量を見ると、セメントや粗鋼の生産量は、1950年代初頭より始まる高度経済成長期に爆発的に増加し、一方で、木材は1964年東京オリンピック開催後の1970年前をピークに現在ではその時の数分の一程度までに低下している²⁾。これらには、土木事業も少なからず関係していたと考えられる。

詳しくは後述されるが、地球温暖化防止対策を進めていく上で木材を利用することは有利である。特に、できるだけ長期間使用できると有利である。このような木材の利用先として、過去に木材を多く利用していた土木分野が考えられ、これを進める上で、供給側である森林や木材の専門家との協力関係が必要である。

このような観点から、地球環境への貢献と言った同一の視点を持ち、木材の利用拡大を実現するために、日本森林学会・日本木材学会・土木学会による「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：今村祐嗣京都大学教授）」を2007年9月に発足した。ここでは、その概要について示す。

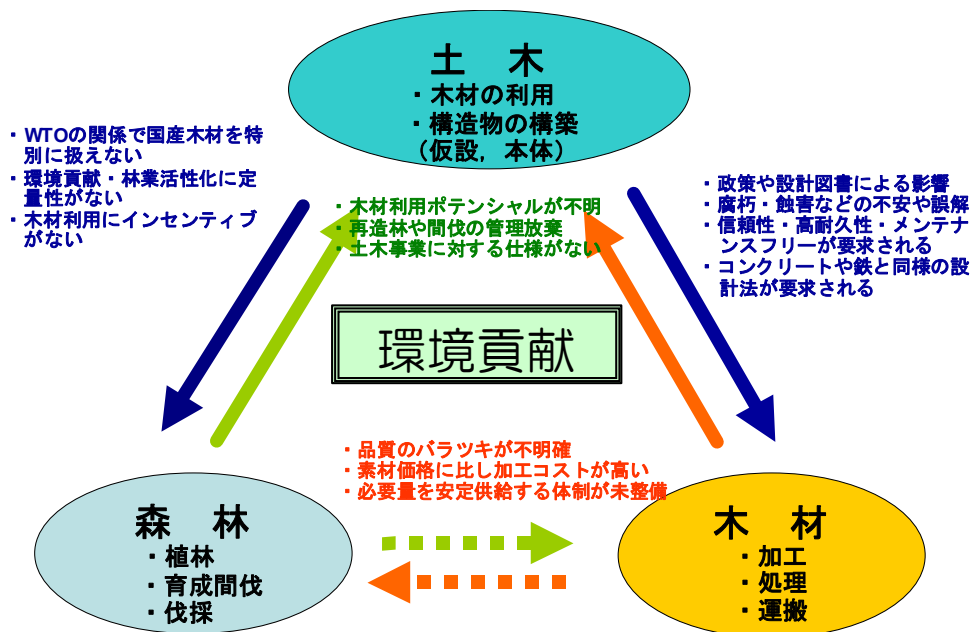


図-1.1 土木における木材利用の拡大に対する各部門間における課題

1.2 目的

研究会の目的は、「環境貢献といった同一の視点を持ち、日本森林学会・日本木材学会・土木学会の横断的研究により、土木における木材の利用拡大に関する研究を行う。」ことである。

土木事業における木材利用拡大に対する代表的な課題を図-1.1に示す。これらは、それぞれの分野だけでは解決しにくい課題であり、それぞれの部門が問題を感じながらも、独自にはなかなか解決できないできた問題である。そこで、環境貢献といった同一の視点を持つことで、3部門が連携し、今まで解決できなかったこれらの解決策を見出していこうとするものである。

1.3 運営体制

図-1.2に、当初の横断的研究会の運営体制を示す。運営委員会の下に、土木事業における木材利用拡大に対する課題の検討を行うWGと、土木事業における具体的な木材利用技術を検討するWGを設置し、具体的な検討を行ってきた。その後、WG-2は、木橋関連、治山治水関連、地下海洋関連、道路関連その他のWGに分かれ活動が行われている。

検討は、運営委員会を2ヶ月に1回程度開催し、年度ごとにシンポジウム開催と具体的な提案を作製することを目標に掲げ、2009年3月末時点で、日本森林学会、日本木材学会、土木学会、その他合わせて54名で活動を行っている。

1.4 シンポジウムにおけるアンケート結果

2008年3月4日に、土木学会建設技術研究委員会間伐材の利活用研究小委員会主催、日本森林学会および日本木材学会共催、国土交通省および林野庁後援、土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会協賛による「土木事業への間伐材利活用シンポジウム～日本森林学会、日本木材学会と共に森林保全と地球温暖化を考える～」が開催された。このときに、アンケートが実施されており、この結果の一部を紹介する。

当シンポジウムは、講師を含め126名（内3名女性）が参加された。アンケートは、参加者のほぼ全員に配付され、75名からの回答があり、回収率は60%であった。

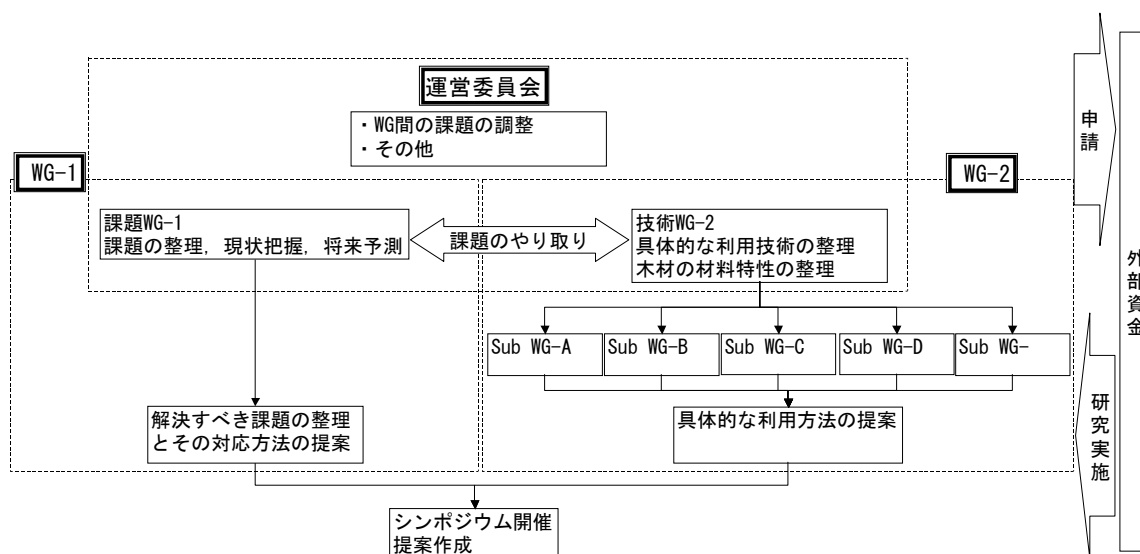
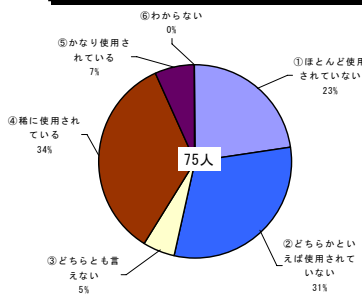


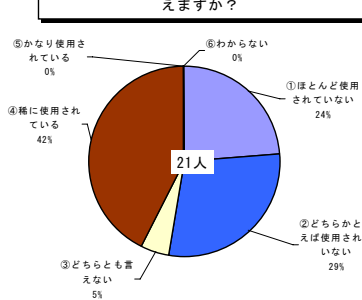
図-1.2 現在の横断的研究会運営体制

Q4：現在の土木事業で、木材はどのように使われていると考えますか？



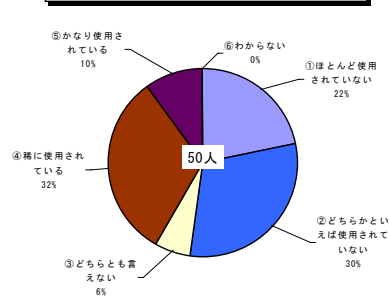
(a)全体

Q4：【環境・森林・木材関係者】現在の土木事業で、木材はどのように使われていると考えますか？



(b)環境・森林・木材関係者

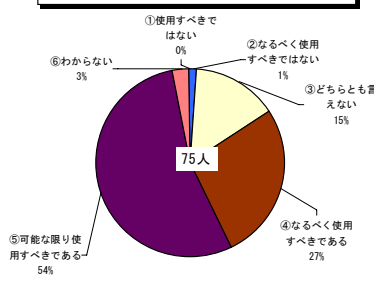
Q4：【土木関係者】現在の土木事業で、木材はどのように使われていると考えますか？



(c)土木関係者

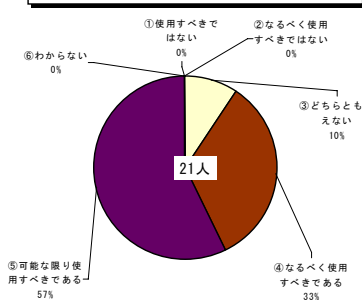
図-1.3 Q4：現在の土木事業で、木材はどのように使われていると考えますか？

Q5：土木事業への木材利用についてのどのように考えていましたか？



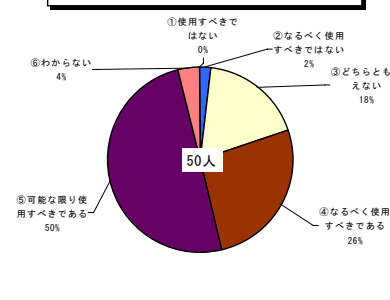
(a)全体

Q5：【環境・森林・木材関係者】土木事業への木材利用についてのどのように考えていましたか？



(b)環境・森林・木材関係者

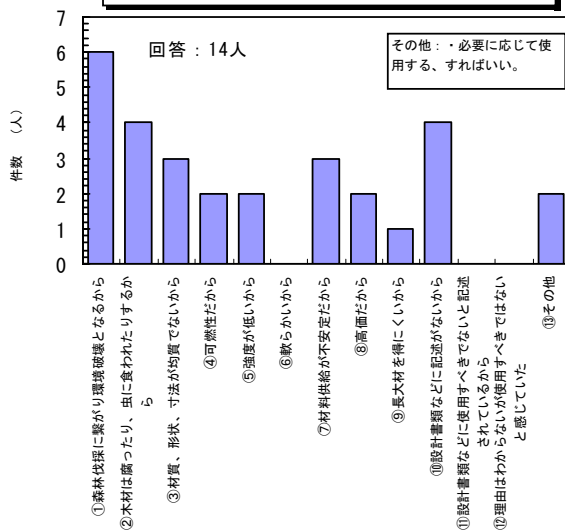
Q5：【土木関係者】土木事業への木材利用についてのどのように考えていましたか？



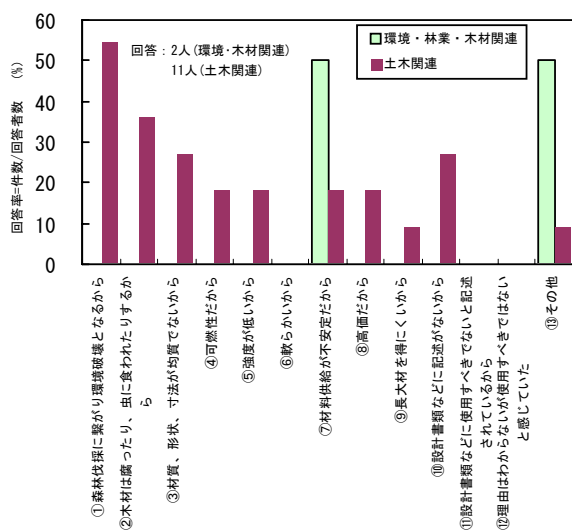
(c)土木関係者

図-1.4 Q5：土木事業への木材利用についてのどのように考えていましたか？

Q6：Q5で①～③とお答えの方にお伺いします。なぜ、土木事業に木材を使用すべきではないとお考えでしたか（複数回答可）？



(a)全体



(b)部門別

図-1.5 Q6：「Q5で①～③とお答えの方」にお伺いします。なぜ、土木事業に木材を使用すべきではないとお考えでしたか（複数回答可）？

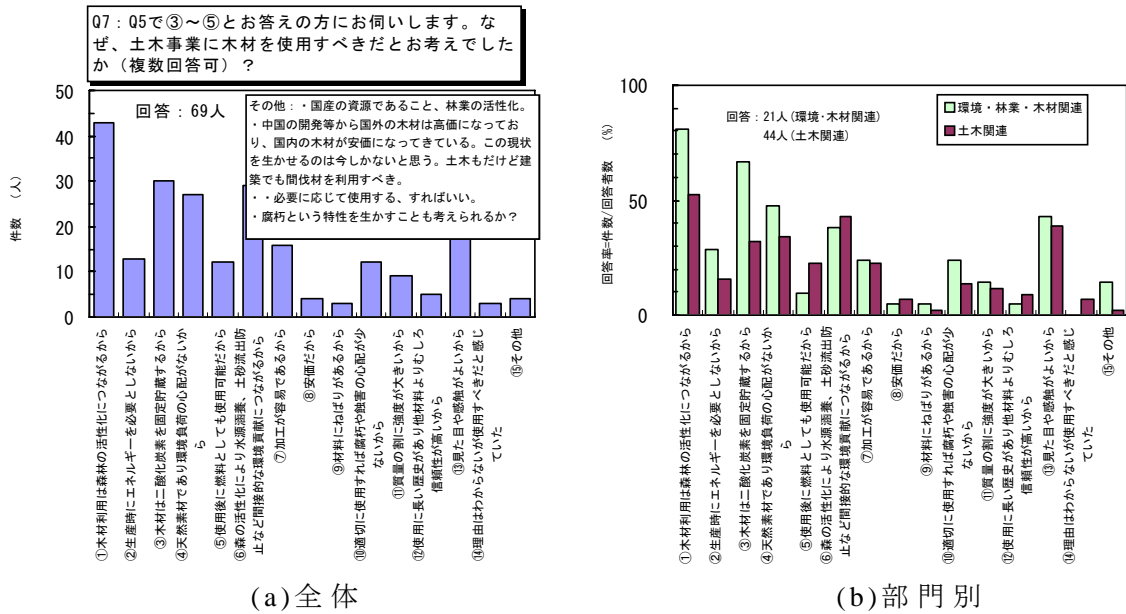


図-1.6 Q7:「Q5で③～⑤とお答えの方」にお伺いします。なぜ、土木事業に木材を使用すべきだとお考えでしたか（複数回答可）？

図-1.3～1.6 に示した Q4～Q7 は、シンポジウム参加前における、お考えを聞いたものである。Q4 は、現在土木事業で木材がどのように使われているか、Q5 は、土木事業への木材利用に対する考えを聞いた。図-1.3 および図-1.4 には、全体の結果に加え、環境・森林・木材関係者と、土木関係者に分けた結果も示した。

図-1.3 に示した土木事業における現在の木材の利用状況に関する問いでは、①と②の使用されていないとする方が、いずれも半分以上を占めた。「④稀に使用されている」は、環境・森林・木材関係者で 42%、土木関係者では 32%であった。一方、「⑤かなり利用されている」は、環境・森林・木材関係者で 0%なのに対し、土木関係者では 10%で、環境・森林・木材関係者にはこの認識がないことがわかる。

図-1.4 に示した土木事業に対する考えでは、全体の 81%が、④または⑤の使用すべきであると回答し、②③⑥の使用すべきではないまたはわからないのは 19%であった。前者が多いのは、そもそもこのシンポジウムに参加する時点で、それなりの意識を持った方が参加していると考えられる。環境・森林・木材関係者では 90%が、④⑤の使用すべきであると答えているのに対し、土木関係者ではこれが 76%とやや低く、②③⑥は 24%と多かった。

図-1.5 に示した Q6 は、Q5 で①②③と答えた土木事業における木材利用に否定的な方に、その理由を伺ったものである。土木関係者が木材利用に否定的な理由としては、「①森林伐採に繋がり環境破壊になるから」が 50%以上を占め、「②木材は腐ったり、虫に食われたりするから」が約 35%、「③材質、形状、寸法が均質でないから」と「⑩設計書類などに記述がないから」がそれぞれ約 25%であった。①については、誤解が多いと考えられ、今後このような誤解の払拭が重要であることがわかる。また、木材の腐朽や品質に対する不信や設計書の不足も多く、

不信に対する具体的な解決策を示すとともに、これらについて設計書などに示していくことも必要であることがわかる。

図-1.6 に示した Q7 は、Q5 で③④⑤と答えた土木事業における木材利用に積極的な方に、その理由を聞いたものである。全体的には、「①木材利用は森林の活性化につながるから」62%、「③木材は二酸化炭素を固定貯蔵するから」43%、「⑥森の活性化により水源涵養、土砂流出防止など間接的な環境貢献につながるから」と「⑬見た目や感触がよいから」がそれぞれ 42%、「④天然素材であり環境負荷の心配がないから」39%が理由としてあげられた。部門による違いを見ると、「⑥森の活性化により水源涵養、土砂流出防止など間接的な環境貢献につながるから」、「⑦加工が容易であるから」「⑬見た目や感触がよいから」ではほぼ同じ傾向を示したが、環境・森林・木材関係者は「①木材利用は森林の活性化につながるから」「②生産時にエネルギーを必要としないから」「③木材は二酸化炭素を固定貯蔵するから」「④天然素材であり環境負荷の心配がないから」を土木関係者より多く理由としてあげ、一方、土木関係者では、「⑤使用後に燃料としても使用可能だから」を環境・森林・木材関係者よりも多く理由にあげた。このように、部門により知識や認識の違いがあると同時に、実務上と考えられる認識の違いも認められた。

図-1.7 に示した Q8 は、シンポジウム参加による意識の変化を聞いた。全体を見ると、「①参加前と何らかわらない」「②以前と考え方は変わらないが新しい知識が増えた」が 80%を占め、既に多くの知識を持っていた方の参加が多かったと推察される。これを部門別にみると、その差が大きいことがわかる。環境・森林・木材関係者について見ると、「③考え方が少し変わった」と回答した方は 10%で、「①参加前と何らかわらない」「②以前と考え方は変わらないが新しい知識が増えた」が 90%であり、ほとんど意識は変化していないことがわかる。一方、土木関係者について見ると、「③考え方が少し変わった」「④考え方が全く変わった」と回答された方が 36%いて、①と②は 62%と環境・森林・木材関係者に比べ少ないことがわかる。

図-1.8 に示した Q9 は、Q8 で「②以前と考え方は変わらないが新しい知識が増えた」「③考え方が少し変わった」「④考え方が全く変わった」と回答し、意識変化のあったと考えられる方にその内容を聞いたものである。特に、部門別の違いが特徴的である。意識が変化した内容は、環境・森林・木材関係者では、「④土木事業においても昔は木材を利用していたこと」で土木関係者は 7%であったのが 33%と多く、「⑩土木事業においても木材を使用してみようと思った（使用を進めようと思った）」も環境・森林・木材関係者の方が土木関係者よりも多かった。一方、土木関係者では、「①木材利用が地球温暖化防止対策に貢献すること」「②違法伐採と合法伐採があること」「③国産木材を使用すべきであること」「⑥間伐材の必要性」「⑦林業活性化の必要性」で環境・森林・木材関係者よりも圧倒的に多く、このような知識の土木部門における周知が必要であり、またそれが有効であることがわかる。

以上のように、土木関係者には木材に関する知識不足や誤解が多くこれを解消

することが必要であり、一方、環境・森林・木材関係者には土木における木材利用が考えられておらず、土木における木材利用について周知する必要がある。このような意味でも、環境貢献を念頭においた土木における木材利用拡大を考えたとき、森林や木材部門との学際的研究が必要なことが理解される。

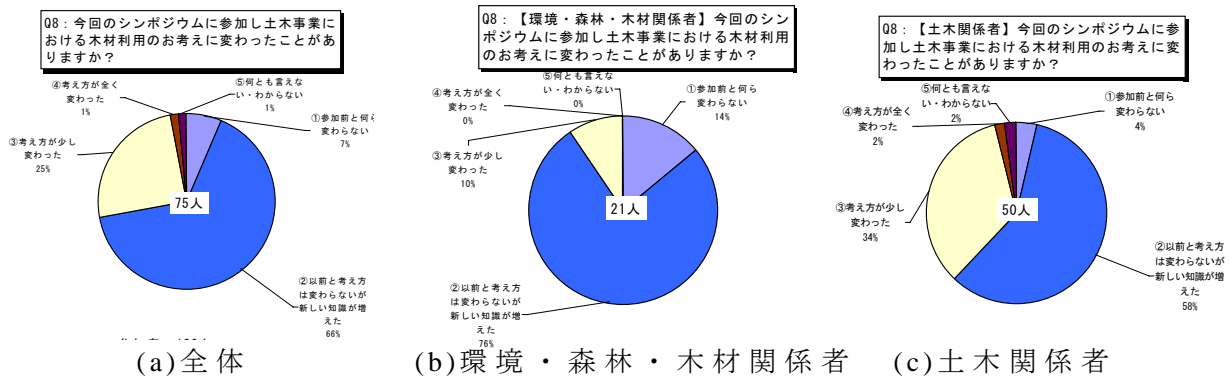


図-1.7 Q8：今回のシンポジウムに参加し土木事業における木材利用のお考えに変わったことがありますか？

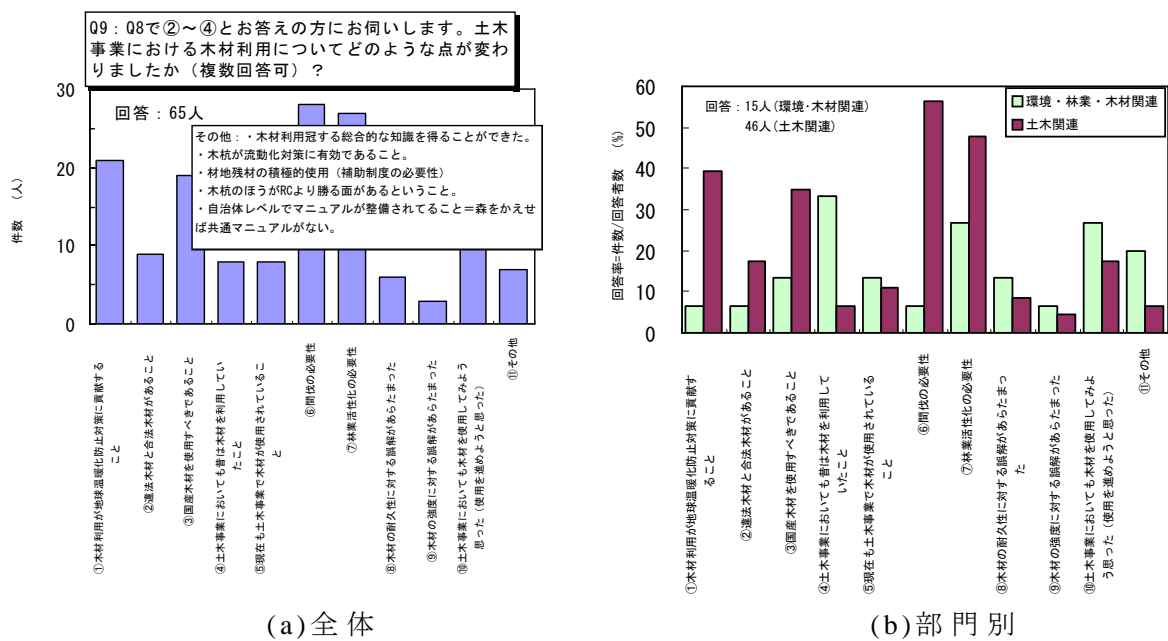


図-1.8 Q9：「Q8で②～④とお答えの方」にお伺いします。土木事業における木材利用についてどのような点が変わりましたか（複数回答可）？

参考文献

1) 塩井幸武：土木（道路）における杭基礎の変化・変遷について，土と基礎，54-6(581)，pp.9-12，2006.6
 2) 沼田淳紀・上杉章雄：地球温暖化対策のための木材利用の可能性について，第14回地球環境シンポジウム，土木学会，pp.97-102，2006.8

2. 土木における木材資源の利用拡大に向けて

福岡大学工学部社会デザイン工学科 渡辺 浩

2.1 はじめに

「土木」という名前とは裏腹に、かつて建設材料の主役であった木材は今や完全に脇役であり、木橋のような木の構造物の数も激減しました。ところが近年木製の土木構造物を多く見かけるようになりました。なかには、従来のイメージを凌駕するようなものも建設されるようになっていきます。これらの背景には木材利用技術の飛躍的向上はもとより、地球環境問題という現代ならではの背景が大きく影響しています。

先の京都議定書にもあるように、我が国は1990年比で6%の二酸化炭素排出量の削減を約束しています。このため、「チーム・マイナス6%」などの国民的な運動が展開されてきています。ところが、6%のうち森林による二酸化炭素の吸収量は3.8%と見込まれています。このため、「木づかい運動」などの木材利用を拡大するための運動も合わせて展開されてきています。木製の土木構造物を多く見かけるようになった理由にはこのような背景もあります。

このように、土木分野での木質資源の利用拡大は時代の要請でもあります。本稿では、このような観点から、土木分野での木質資源の有効活用について検討するために、木材と木質材料の可能性について探ってみたいと思います。

2.2 木構造物の盛衰

森林資源に恵まれた日本では、古来より木材は容易に入手でき、また性能と価格のバランスも良好な建設材料でした。木材を活用した生活ぶりは木の文化とも称されるほどで、その様子は今日でも多くの文化財でうかがい知ることができます。

しかしながら木材は、戦後の構造物に対する要求水準の変化と性能の限界を理由に急激に活躍の場を失っていきます。一方で鋼材やコンクリートが安定して供給されるようになり、それらに主役が交代して今日に至っています。

このような変化は比較的木材に明るいと言われる建築分野でも同様であったようです。戦後には防災を理由に住宅の非木造化が強力に推し進められ、研究者の関心も鉄骨やRC構造に移っていきました。最近でこそ木造建築ブームとも言える活況ですが、それらは1987年の建築基準法改正以降の取り組みの成果であり、それまでの約30年間は少数の気鋭の研究者により細々と研究が進められている状況でした。近年では集成材による大型木造建築、海外の工法を取り入れた新しい木造住宅の工法や耐震性能評価等に加え、伝統木造建築の再評価に関する研究も盛んになっているようです。

2.3 なぜ復活してきたのか

それでは最近なぜ木の構造物が復活してきたのでしょうか。それには多くの理由がありますが、おおよそ以下の3つに分類することができます。

① 木を使わなければならなくなってきたこと

人類に未曾有の繁栄をもたらした 20 世紀型社会は大量消費型社会でもありました。そして人類が今後も発展を続けるためには低環境負荷社会への転換が急務と言われていています。減少する一方の化石燃料とは異なり、木材は自然界で日々生産・蓄積される循環型資源です。環境負荷を減らすためにも、今木材資源の一層の活用が求められています。

② 木が使えるようになってきたこと

例えば、かつての木橋は河川流下阻害物の除去や橋梁保全のための長支間化、自動車交通の増加に伴う断面の大型化、そして点検や補修労力の削減という要求に応えることができず、姿を消していきました。しかしながらその後の木材利用技術の進歩により、これらの要求をクリアすることが可能になってきました。新しい技術を用いた木橋は近代木橋とも呼ばれ、一般の橋と同様に設計されています。また、その姿も変化しており、旧来の木橋とは隔世の感があります。このように、木質構造物の可能性は従来では不可能と考えられていた領域まで広がってきています。

③ 木を使いたくなくなってきたこと

従来土木構造物には一定レベルの質のものを安価、安全に供用することが求められてきました。これに対して、近年では景観・デザインやアメニティ等の全く異なる要素も求められるようになってきています。天然素材である木材はアメニティの観点からも注目されており、木橋等が採用される理由には、程度の差はあれ、この要素が含まれているようです。

2.4 森林は本当にCO₂を吸収するのか

地球温暖化の主原因は大気中の二酸化炭素（以下CO₂）濃度の上昇と言われていています。このため、いわゆる京都会議では、国別に排出量の削減目標が割り当てられ、各国で具体的な取り組みが始まっています。その主な対策は排出量抑制ですが、産業活動の制限を伴うため実行には困難が予想されます。そして、もうひとつの対策としてCO₂吸収源としての森林がクローズアップされています。

光合成によりCO₂を吸収し自らに蓄えることができる樹木はCO₂の缶詰であると考えられます。つまり樹木が集積する森林には大量の炭素が蓄えられていることとなります。すると、木を伐ってはいけない、木材は使わない方がいいという意見も聞こえてきそうですが、果たしてそうでしょうか。

そもそも単位面積の森林に生育できる樹木には自ずと限界があります。ですから成熟した森林ではどれかが枯死して余裕ができない限り次世代の木は育ちません。そして枯死した樹木は分解され、CO₂となって大気中に還っていきます。このことから、成熟した森林のCO₂収支は±0であることがわかります。どうしてもCO₂を吸収させたいなら、森林面積を増やせばいいのですが、日本では容易なことではありません。

2.5 都市に もうひとつの森林

ところで、森林面積を増やさずにCO₂を確実に吸収させる方法があります。それは、木を伐って使うことです。これによって森林にはその分のCO₂を吸収する余裕ができます。

と同時に我々は木材資源を手に入れることができます。これを上手に使えば他の資源を節約することができますし、またその木製品を長く使い続ければCO₂を引き続き固定しておくことができます。例えば都市に木造住宅等の木質構造物が増えれば、そこにはもうひとつの森林ができたのと同じ効果が得られるわけです。

2.6 CO₂の吸収を期待するなら

もし森林により多くのCO₂の吸収を期待するなら、天然林よりも人工林の存在が重要です。というのも、50年間に固定されるCO₂は、ブナ等を主体とする天然林の90t-C/haに対して、スギ人工林では170t-C/haとかなり大きいからです。これは人工林では成長の早い木が適切な環境で育てられていることによります。

また人工林でも利用できる樹齢に達したら速やかに伐採して新たに植林する方がCO₂の固定速度は速くなります。樹木の代謝機能にもピークがあり、老木ではCO₂の固定速度が遅くなる上に自らが吸収量に匹敵するほどのCO₂を放出するようになるからです。

このように、自然としての森林とCO₂の吸収源としての森林では、同じ保護でもその方法は大きく異なります。

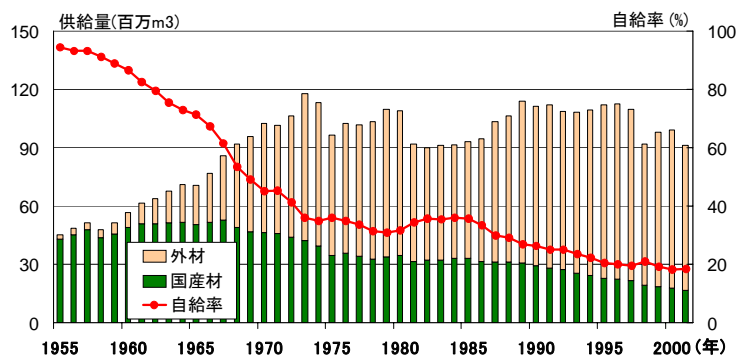


図-2.1 木材（用材）の供給量と自給率の推移（平成14年度 森林・林業白書）

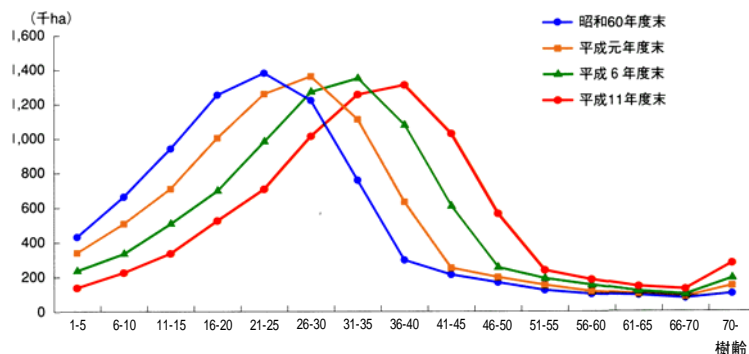


図-2.2 民有林の森林資源構成（平成14年度 森林・林業白書）

2.7 伐って使えば森林は守れる

日本は国土の 2/3 を森林が占める森林大国です。そしてそこでは木材資源の蓄積が毎年約 1 億 m³ ほど増加しているといわれています。これは国内の木材総需要量にほぼ等しい量です。この数字だけを見ると、日本では木材資源を全く減らすことなく、木材を自給することも可能であるということになります。

ところが図-2.1 を見ると、木材自給率は 20% を割り込む水準にまで低下していることがわかります。高度成長期に急増した木材需要は主に外材で補われ、その後も国産材の供給は減少傾向が続いているためです。

また図-2.2 より、過去の乱伐と積極的な植林により、人工林では著しく偏った樹齢構成になっていることがわかります。このため、これまでは利用価値の高い樹齢 40 年以上のものが著しく不足してきました。あわせて木材価格の低迷により、林業はすでに産業として成立できない状況に追い込まれています。その結果、それらの手入れが行き届かず、多くの人工林で過密による荒廃が進んできています。このことは木材利用のみならず、水源涵養能力の低下、大雨の際の土壌流出や流木の発生、風倒木等、地域環境保全の観点からも好ましくない影響を及ぼしています。

また図-2.2 からは、この 15 年間に樹齢構成がほぼ同じ形を保ったまま右へ移動していることもわかります。森林資源の利用が低調かつ、それゆえに新たに植林される面積がないからです。しかしながら資源の安定供給という長期的な視点からも、伐採と植林による樹齢構成の平準化が必要です。

このように日本には豊富な森林資源を有するにも関わらずその利用は低位にとどまってきました。しかし今後は森林の育成のためにも積極的な利用が望まれます。また木材資源の蓄積状況を見ても、その態勢は整いつつあります。

2.8 九州はスギの供給拠点

日本の人工林は森林面積の約 40% を占めています。そこでは主にスギ、ヒノキ、マツ類、カラマツ等の、成長が早くて用材としての価値が高い針葉樹が育てられています。

このうちスギはヒノキと並ぶ日本の代表的な造林樹種です。その面積は人工林の約 45% を占めていますが、九州、とりわけ南九州ではスギの割合が非常に高くなっています（図-2.3）。またスギ素材生産量の上位 5 県には南九州 4 県が名を連ねており、生産量の約 3 割を供給していることがわかります（図-2.4）。

このため、これらの地域では、森林環境の保全はすなわちスギの需要拡大であり、官民を挙げてさまざまな取り組みがなされてきています。

2.9 木材は天然材料

以上では木材利用の必要性を述べてきましたが、木材を上手に利用するためには、その特徴を知っておくことも重要です。以下、土木分野で木材を利用する上でのポイントをまとめてみます。

木材は樹木をわずかな加工により素材として利用するもので、製造時の環境負

荷が小さいというメリットがある反面、素材そのものの特徴、いわば「癖」も引き継いでいます。

ところで、そもそも木材よりも鋼材やコンクリートが好まれるようになったのは、この木材ならではの癖が嫌われたことも大きかったと考えられます。例えば鋼材やコンクリートでは当然のことながら強度を自ら設定することができます。これに対して木材ではそのものの強度にあわせた設計がなされなければなりません。樹種や産地は当然のことながら同じ山の木でも強度は異なりますし、癖は強度だけではありません。とても一筋縄にはいきません。

もちろん、加工に手間をかければかける程、その癖を消すことができます。しかしながらそのためにはエネルギーを必要としますので、木材のメリットを弱めることにもなります。以上のことから、木材の使い方の基本は、無理をさせずその特徴を活かすような使い方をする事と心得る必要があります。

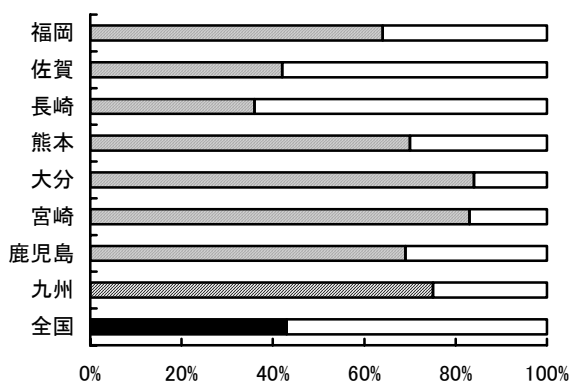


図-2.3 九州各県の素材生産に占めるスギの割合 (平成 14 年)

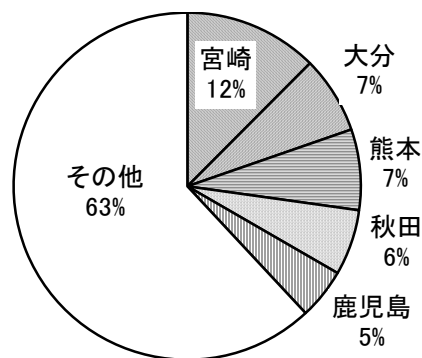


図-2.4 上位 5 県のスギ素材生産量 (平成 14 年)

2.10 エンジニアードウッド

木材（製材）の基準強度はいくつかの樹種群ごとに決められています。この基準強度は数百～数千の試験結果を基に決められますが、産地等の要因はとりあえず考慮されません。

ところで、基準強度は弱いものに合わせて決められますので、ばらつきが大きいと実際と大きくかけ離れることとなります。そこで、それらを強度等級毎に分類できれば、強いものは強く、弱いものは弱くと合理的に利用できるようになります。

このことに対して、従来は目視等級区分が行われてきました。ただし、簡易である反面、強度との相関はあまり高いとは言えませんでした。そこで最近では、ヤング係数により区分する機械等級区分が主流になっています。写真-2.1のように製材品にE70等という表示がされていれば、機械等級区分（MSR）材です。この場合、スギであれば基準圧縮強度が 7.8kN/mm^2 以上に相当することを意味しています。

なお、ここで重要なのは区分法や結果ではなく、「強度性能が保証されている」ことです。これに該当する機械等級区分材や後述の集成材はエンジニアードウッ

ドとも呼ばれます。エンジニアードウッドの登場により、木質構造物も鋼やコンクリート構造物と同じように設計したり、安全性を保証することができるようになりました。そしてこの概念が今日の木質構造ブームを支えていると言っても過言ではないでしょう。

2.11 集成材とは

集成材とは一旦挽き板（ラミナ）に加工した上で接着剤を用いて積層・再構成した木部材のことです。ラミナの段階で欠点が除去され、グレーディングがなされます。このため、製材より強度がアップし、ばらつきも抑えられます。またラミナの構成を工夫する、例えば外層に強いラミナを配置して高性能な曲げ部材を製作することも可能です。狂いが生じにくいことも利点です。このため、多少高価ではあるものの、一般の住宅でも使用されるようになっていきます。

しかしながらその最大のメリットは長尺かつ大断面部材を自由に製作できることです。小径材を活用できるため、効率的な木材利用が可能ですし、従来では考えられなかったような木橋や木製ドームのような巨大な木質構造物も可能になりました（写真-2.2）。エンジニアードウッドが木質構造ブームの影の立て役者なら、集成材はまさに表の立て役者と言えます。

2.12 木材は弱い？

歴史的な経緯から、木材の性能は鋼材やコンクリートよりも劣っていると考えられがちですが、実際はどうなのでしょう。表-2.1は木材と鋼材、コンクリートの一般的な材料特性を示したものです。

ここでスギは国産の構造用木材の代表的樹種ですが、木材として利用される樹種の中ではどちらかという弱い方の部類に属します。にもかかわらずその許容応力度はコンクリートの圧縮応力度とほぼ同等であり、引張力にも抵抗できることがわかります。また非常に軽いため、比強度レベルでは鋼材にも匹敵する性能を有しています。このように木材は建設材料としても決して遜色ない性能を有していることがわかります。

これに対してヤング係数は小さいため、木質構造は単に応力設計のみではたわみやすく揺れやすい構造になります。またせん断力に比較的弱いことから、床組等では断面が大きくなりがちです。

なお、このように軽くて強い木材ですが、例えば木橋の最大支間は今のところ50m（写真-2.2）である等、木材の性能の割にその規模は控えめです。これには木材同士を接合することの難しさが大きく影響しています。



写真-2.1 機械等級区分材の表記の例 写真-2.2 集成材を利用した大規模木質構造の例
かりこぼうず大橋（宮崎県）

表-2.1 各構造材料の材料特性の一例

	木材（スギ）*		鋼材**		コンクリート***	
		比強度		比強度		比強度
単位重量 (kN/m ³)	4	—	77	—	23	—
圧縮許容応力度 (N/mm ²)	7.8	2.0	140	1.8	6.5	0.3
引張許容応力度 (N/mm ²)	5.8	1.5	140	1.8	0.7	0.03
曲げ許容応力度 (N/mm ²)	9.8	2.5	140	1.8	8	0.4
せん断許容応力度 (N/mm ²)	0.6	0.2	80	1.0	1.0	0.04
ヤング係数 (kN/mm ²)	6.8	—	200	—	25	—

* 針葉樹の構造用製材の日本農林規格 機械等級製材 E70

** 道路橋示方書（I 共通編・II 鋼橋編）・同解説，日本道路協会，2002. SS400
材板厚 40mm 以下

*** コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]，土木学会，2002.

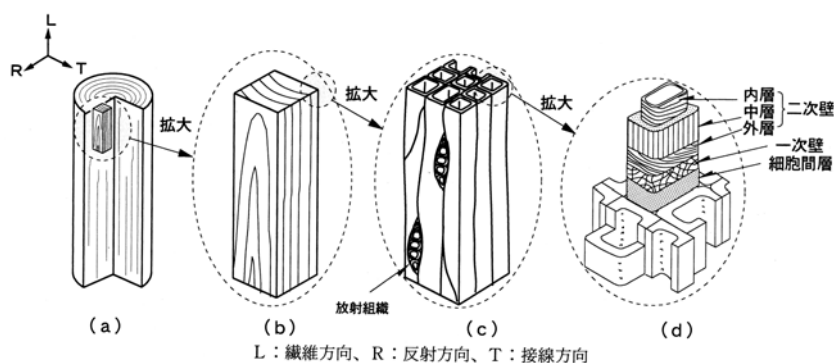


図-2.5 木材の構造の模式図

（林知行：ここまで変わった木材・木造建築より）

2.13 木が軽くて丈夫なわけ

木が軽くて丈夫な理由を見てみましょう。図-2.5は木材の一般的な組織構造を示したものです。この図より、木材はストロー状の細長い細胞が整然と並んだ集合体であることがわかります。細胞壁の比重は樹種に関わらず約1.5です。従って、軽い木(例えばスギは比重0.35)ではほとんどが空隙ということになります。

また、図-2.5のように細胞(繊維)のほとんどは長手方向に向いているため、強度はこの方向に強くなります。これが木材の軽くて丈夫な理由です。ただし、一方向にのみ合理的な構造であり、長手(繊維)方向と放射方向、接線方向の強度の比は10:1:0.5程度と極端な異方性を示す材料でもあります。

2.14 木材は乾燥させてから使います

木材は乾燥すると割れたり反ったりしますが、それはなぜでしょうか。

生きている樹木には大量の水分が含まれています。これが伐採されると乾燥が始まり、まず細胞の空隙に存在する水分(自由水)が、続いて細胞壁中に化学結合する形で取り込まれていた水分(結合水)が蒸発します。このうち結合水の蒸発により細胞壁は収縮しますが、細胞が図-2.5のように並んでいるため、収縮率にも異方性が存在することになります。収縮率の繊維方向、放射方向、接線方向の比はおおよそ1:5:10と、強度とほぼ逆の関係になります。ここで収縮率が最大なのは接線方向ですが、強度は最小です。そこで乾燥すると放射方向に割れが生じることになります。反りが生じる理由も同様です。

一般に、自由水が全て蒸発したときの含水率は約28%(繊維飽和点)、含水率が気乾状態で安定する含水率は約15%(平衡含水率)とされています。すなわち、収縮やそれに伴う割れや反りは含水率約28%から始まり約15%で収まることになります。

そこで、割れや反りを完全に抑えるためには含水率15%程度のものを利用すればいいこととなりますが、乾燥コスト等の面から実際には20%程度のものが多く利用されているようです。逆に25%はこれから収縮が始まるあたりの含水率で、生材から見れば乾燥していますが、割れや反りを抑えるという目的から見るとほとんど未乾燥であるとも言えます。

ちなみに写真-2.1にはE70等とともにD20という表示があります。これは人工乾燥されており含水率が20%以下であることを示しています。

2.15 天然材料ならではの木材の劣化

木材には鋼材やコンクリートには存在しない、天然材料ならではの劣化が存在します。ひとつはシロアリによるもので、暗所を好むため住宅で被害が多く見られます。もうひとつは木材腐朽菌、いわゆる「きのこ」によるもので、土木構造物のように屋外で使用される場合はこの腐朽が問題になります。いずれも鋼やコンクリートにはない劣化スタイルです。

腐朽しにくさは樹種によって異なります。例えばヒノキは寺社仏閣に使用する木とされているだけあって耐久性が高い樹種です。一方でマツは強いものの耐久

性はあまり高くないため、古民家では耐久性が問題になりにくく強度が必要な梁に利用されているのが見られます。

ところで土木技術者にはマツは腐りにくい木であると誤解されているようです。これは古くからマツ杭が使われ、それらがあまり腐朽しない場合があるからかもしれません。

（例えば、地下水位以下に埋められた木材は腐りません。）

そしてスギはというと、耐久性が低いとして土木技術者にはあまり人気がないようです。しかしこれにはかなりの誤解も含まれており、また使い方次第で解決するものも多いようです。

2.16 腐りやすい部分と腐りにくい部分

スギの丸太の断面を見ると写真-2.3のように真ん中が赤く、周囲が白いことがわかります。白い部分は木材が生きていく上での活動がなされている部分で、辺材と呼ばれます。一方で赤い部分は樹体を支えるのに専念している部分で、心材と呼ばれます。両者はどの樹種にも存在しますが、ヒノキのように色差が不明瞭なものもあります。

辺材は樹木の成長により心材の外縁部から心材に変化します。このとき防腐効果がある成分が合成され、着色されます。ですから、心材は辺材に比べて耐久性に優れます。この性質は有効な防腐剤がなかった時代には重要視されており、例えば錦帯橋では桁材に心材のみが使用される等、上手に利用されてきました。

2.17 木材防腐剤の利用

このように木材は元来ある程度の耐久性を備えています。構造物として所定の耐用年数を確保するには、やはり木材防腐剤の利用が必要になります。防腐剤には以前は重金属元素の含まれた強力なものが使用されてきましたが、最近では環境面に配慮して有機系の低毒性のものが主流になってきました。

防腐剤は一般に塗布または加圧注入されます。塗布は施工が容易であるのが利点ですが、効果が得られる部分は塗布面付近に限られるため、主に表面保護と美装のためと考えた方がいいようです。種類としては、表面をコートする造膜型よりも内部に染みこむ含浸型のものが一般に利用されます。木材は使用中にも無数の割れが発生するため、この点は空気との接触の遮断が目的である鋼材の塗装とは全く異なります。

もう一方の加圧注入を利用すると防腐剤を材内部にも浸透させることができます。木材の屋外での利用に際してはこちらを利用するのが一般的です。特に集成材ではラミナの時点で処理を行うことにより処理を確実なものにすることができます。

なお、加圧注入処理の前にも材を十分に乾燥させておくことが必要です。内部に水分があれば防腐剤が浸透しないからです。特に防腐剤が浸透してほしいのは辺材部分ですが、ここは元々の含水率も高いため、製材品等では注意が必要です。

2.18 素材の耐久性を利用する工夫

このように耐久性向上策は防腐剤の効果に期待するのが一般的ですが、加えて素材の耐久性を上手く利用すれば、さらに耐久性を向上させることも可能になります。

例えば写真-2.4は辺材部分のみが腐朽した木橋床版の例です。木表側が上面に使用されているため上面が割れたり凸になる等の耐久性上好ましくない変形が生じていますが、加えて辺材部の断面欠損が生じています。通常この程度の欠損であれば構造上の問題は生じませんが、欠損が見えることは利用者にとっては不快でしょう。もし表裏が逆に使われていたらこの床版は今でも使われていたかもしれません。



写真-2.3 スギの丸太の断面
(熊本県甲佐町)



写真-2.4 辺材のみが腐朽したスギ床版

また丸太は自然の雰囲気演出できる素材ですが、表面の辺材部が傷むと実際以上に劣化しているように見えてしまいます。これもある意味で丸太の特徴ですが、例えば心材部分のみで断面設計がなされていれば慌てて交換する必要もありません。このような、ちょっとした工夫で耐久性を大きく改善することができる場合もあります。

ところで細胞が心材化するまでの期間は10～15年と言われています。すると、高齢の木の場合は心材率が高くなりますが、逆に若い木の場合にはほとんどが辺材と言うことにもなります。近年の森林資源の状況を考えるとこのような小径の若い木も大量に使わざるをえず、この状況下ではやはり防腐処理が重要になります。

2.19 耐久性向上策は雨水対策

水分、温度、酸素を腐朽の3要素といいます。

このうち水分については工夫次第である程度コントロールすることができます。ですから木質構造物の耐久性向上策は水分、すなわち雨水対策ということになります。このことは古くから認識されており、伝統木造建築でも軒の張り出し等に工夫が見られます。

屋根のある建築物に対し、屋外で使用される木橋等の構造物はさらに不利な状況にあります。古来の木橋でも腐朽に悩まされていましたが、有効な対策をとることは不可能な状況でした。そこで、それらの木橋は10～20年という比較的短い周期で架け替えが必要になっていました。これに対して現代の木橋は防腐技術の進歩に加え、集成材の使用等により構造がシンプルとなって耐久性上の弱点となる接合部が大幅に減ったため、長期の耐用年数が期待できるようになっています。

しかし新しい木橋でもやはり雨水対策は重要です。高温多湿な日本の気候風土においては木質構造物は腐朽の面で不利であると言わざるをえません。そこで写真-2.2のかりこぼうず大橋ではトラス部材上面に銅板による屋根がかけられており、主要部材を雨水から守ろうとする意図が読みとれます。また、万一雨に濡れても速やかに乾けば腐朽は進行しません。ですから、雨水が滞留しないような工夫も必要になります。

また、木質構造物を長く安全に使用するためには、重要な部材や交換しにくい部材は徹底的に保護すること、逆にそうでない部材は交換が容易にしておくことといった、維持管理を見越した設計のメリハリも重要になります。

2.20 木材資源にも配慮が必要

エンジニアードウッド化により、木材は設計者からも身近な存在になりました。しかしながら、設計者が意図する性能のものが必ずしも簡単に手にはいるわけではありません。

例えばスギ製材の機械等級区分ではE50 E70 E90 E110 E130 E150と規格があります。しかし、実際にはE70が最も多く、E110以上はほとんど出てきません。特に温暖な九州ではその傾向が強くなります。このような状況で設計がE90ばかりを大量に要求すれば、無駄になる木材が大量に発生してしまいます。これも工業材料にはあり得ない木材の特徴ですが、コストダウンのためには是非ともこのような配慮が望まれます。

また木材資源は短期間に大量に集めるのに困難が伴います。その結果、工期が不足して防腐剤の注入不良による耐久性不信が生じている例もあるようです。公共工事ではこうした状況を踏まえて余裕を持った発注がなされれば、よりよい木質構造物を造ることが可能になります。

2.21 まとめ

公園で木装した施設を見かけることがあります。木装ならまだいい方で、コンクリートを見事に化粧した擬木であることもあります。著名な木橋が実はコンクリート橋だったりもします。これらからは「本当は木にしたいんだけど…」という本音も聞こえてきそうです。

確かに木を使うには気を遣うことが多いのは事実です。しかし、木材は資源量が豊富で環境負荷が小さく、軽くてほどほどの強度を有する優秀な建設材料です。このような古くて新しい建設材料・木材を活用することによって土木構造物に新

しい可能性が広がっていきます。日本の各地で地域産材を公共事業に活用するさまざまな取り組みも行われてきています。

積極的な木質資源の利活用が求められています。

参考文献

- 1) チーム・マイナス6%：環境省 <http://www.team-6.jp>
- 2) 木づかい運動：林野庁 <http://www.rinya.maff.go.jp/kizukai.html>
- 3) 有馬孝禮：木材の住科学 木造建築を考える，東京大学出版会，2003
- 4) 林知行：ここまで変わった木材・木造建築，丸善ライブラリ，2003
- 5) 秋田県立大学木材高度加工研究所：コンサイス木材百科，2002
- 6) 農林統計協会：図説 森林・林業白書 平成14年度，2002
- 7) 田中淳夫：伐って燃やせば「森は守れる」，洋泉社，1999
- 8) 木橋資料館：<http://tbl.tec.fukuoka-u.ac.jp>

3. これからの土木における木材利用

ハザマ 今井 久

3.1 はじめに

社会基盤整備を使命とする土木事業は、地球温暖化問題に代表される環境問題への対応として、低炭素社会、持続可能な環境調和社会、多種多様な生物との共生可能な社会形成への貢献など、将来を見据えた、市民に受け入れられる活動や取り組みが望まれている。この一環として、国産木材の土木事業への積極的な利用は土木に望まれる具体的な取り組みである。国産材の利用は、林業の活性化、森林環境整備につながり、森林の有する多面的機能（CO₂吸収に代表される地球環境保全機能、土砂災害防止機能／土壌保全機能、水源涵養機能など）が維持・向上される。これは、国土保全、水資源確保など¹⁾につながり、社会基盤整備という土木の使命を果たすことになると考えられるからである。

ここでは、土木における国産木材に利用促進を念頭に、土木における木材の利用状況、木材の利用の変遷、土木の観点からの木材の利点・欠点を示し、新たな木材利用方法の方向性やアイデアを紹介する。

3.2 木材の利用状況

(1)建設資材における木材利用量

木材の利用状況に係わるデータとして、主要建設資材の国内需要量実績²⁾（土木と建築）を表-3.1に示す。これは統計値の単位は重量と体積が混在するため、体積に換算した値と各資材の占める割合（体積シェア）合わせて示す。生コンクリートには骨材とセメントを含むため、この分は骨材、セメントの体積から差し引いている。図-3.1には体積シェアを図示している。建設資材は全体積で約4億500万m³であり、その94%が骨材・砕石・生コンクリートである。木材は3.16%と、体積では鋼材を上回っている。図-3.2には1993年度からの体積変化の変遷を示している。セメント、鋼材は体積シェアを伸ばしているが、木材は減少傾向を示している。

図-3.3には各資材の1993年度の需要量を100としたときの各資材の需用変遷を建設投資額の変遷と合わせて示す。建設投資額の減少に伴い各資材とも減少しているが木材の減少が最も大きい。図-3.4には木材需要量（丸太換算）の変遷³⁾を、国産材、外材、木材自給率と合わせて示す。1970年以降、木材需要は1億m³を中心に推移し、外材の輸入が増え、国産材の利用が減少している。

表-3.1 主要建設資材の国内需要量実績（国土交通省，2006年度・平成18年度）

	セメント	生コンクリート	骨材	木材	普通鋼鋼材	アスファルト
(単位)	千t	千m ³	千m ³	千m ³	千t	千t
統計値	58,990	121,900	344,000	12,791	25,781	2,400
体積換算値 (千m ³)	6,478	121,900	258,670	12,791	3,305	2,182
体積シェア (%)	1.60	30.07	63.82	3.16	0.82	0.54

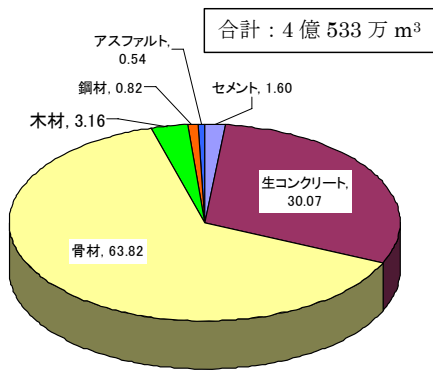


図-3.1 主要建設資材の体積シェア (2006年度)

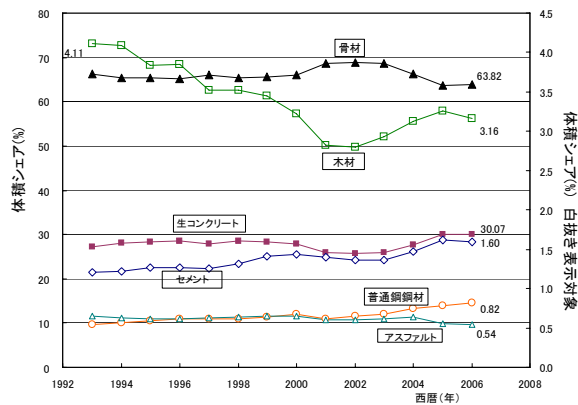


図-3.2 主要建設資材の体積シェアの変遷

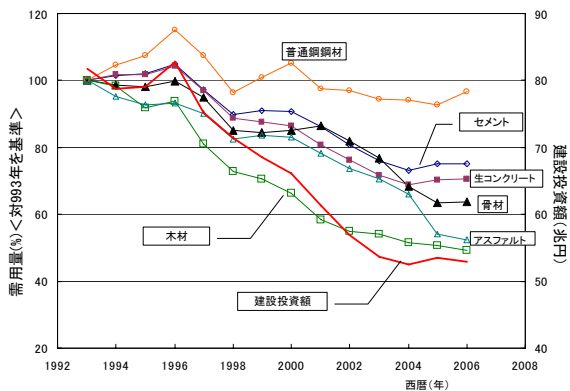


図-3.3 1993年度を基準とした各資材の変遷

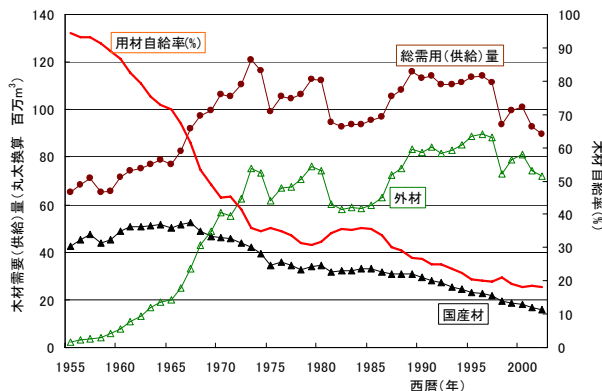


図-3.4 木材需要量、自給率の変遷³⁾

以上のことから、建設資材に占めるコンクリート、鋼材の利用量は増加しているが、木材の利用量は減少している。特に国産材の利用の減少が顕著であることがわかる。

3.3 土木利用の観点からの木材の特質

(1) 土木で木材から他材料へ移行

建設資材は木材からコンクリートや鋼材などへ移行していることが統計結果から理解されるが、具体的な用途で木材から他の材料に移行している例を表-3.2に整理した。ここでは、仮設材として型枠、足場、山留め、支保としての用途、永久構造物では鉄道の枕木、杭としての用途を取り上げた。用途により、木材の利用が継続する用途、木材の利用が終わると考えられる用途がある。

○型枠としての利用はコンクリートを前提とした利用である。形状が一定な構造物に対しては鋼製材料への移行も進んでいるが、形状変化のある構造物に対しては合成木材の利用がある。

○足場材に関しては足場板としての利用は継続されているが、他の用途ではほとんどが鉄やアルミに移行している。

- 山留めとしての利用はシートパイルを代表とする鋼製材料や SMW などのセメント系材料へと移行している。一方比較的小規模な掘削、地下水位の高くない箇所での掘削、予算の限られた民間建築物の基礎工事での掘削では親杭横矢板工法として木材が利用されている。
- 支保材では、大規模な利用ではほとんどが鋼製・アルミ製材料へ移行している。小規模な支保については木製、合成木材が利用される。小規模の場合、利用期間も短く木材の利用が適している場合もある。
- 鉄道の枕木は、文字が示すように従来木製であったが、PCコンクリート、合成樹脂、枕木を使用しない道床へと変化している。鋼製橋梁やポイント部などでは現在も木製が利用されている。合成樹脂枕木⁴⁾とは硬質ウレタン樹脂をガラス長繊維で強化したもので、重さは木材並み、強度・耐久性は木材に優り、価格は高いが熱帯木材に依存しない点も環境保護の観点でも評価される。将来的には木製枕木はほとんど使用されなくなると考えられる。
- 杭については、構造物の長大化に伴い大径・長尺のニーズに対して木材では対応できなくなるなどの理由と共に、強度、腐朽性の観点から木材から他材料へ移行したと考えられる。

表-3.2 各用途における代替材料と木材の利点・欠点

No.	用途	代替材料	木材の欠点	木材利用の利点
1	型枠	コンパネなど合成木材 鋼製材料, 樹脂	材質のバラツキが大きい 大量なニーズへの対応難しい	加工容易 複雑な形状に適用可能 (自由度が高い)
2	足場板, 支柱 ハンゴ, 階段	鋼製材料, チェーン アルミ 化学繊維など	転用回数少ない 転用に伴う劣化性が大きい リサイクル性(産廃) ライフサイクルコスト	軽い 購入単価易い 調達が容易 焼却処分可能
3	山留め	鋼製材料(シートパイル) セメント系材料	吸水による重量増 保管性(降雨対策必要) 腐朽・劣化による信頼性低下	腐朽して消滅 ぶつかったときの切り傷少ない 吸水膨張性
4	支保材	鋼製材, アルミ, 合成木材	材料が重く取り回し難しい 習熟・経験必要	緩衝作用あり 恒温・保温性
5	枕木	PCコンクリート, 合成樹脂	量の確保, 腐朽劣化 防腐剤の環境影響	コンクリートより軽い 加工の容易さ, 変形・弾力性
6	杭	コンクリート 鋼材	腐朽劣化(水中では劣化性小) 長尺材料や数量の確保難しい 防腐剤の環境影響	調達の容易さ, 炭素固定効果

(2) 木材の特質

土木利用の観点から、木材の特性を利用性、品質、供給体制などの面から利点、欠点として整理した結果を表-3.3に示す。木材は、品質（強度、耐久性）、材の供給において劣るも傾向が見られるが、取り扱いの容易さ、環境影響、材質特性（緩衝性、ねばり）において優る傾向がある。また、以下に示すように

●可燃性→○燃料としても利用可能

●腐朽する→○生分解性で廃棄物が発生しない、処分費用不要

欠点と見られる特性も視点を変えると利点としても評価できるため、利用目的と木材の特性を考慮した適切な利用によりより木材を活用できる可能性があると考えられる。

表-3.3 土木利用の観点からの木材利点、欠点

利点	欠点
<ul style="list-style-type: none"> ○軽量で取り扱いや運搬が容易。 ○加工が容易で工作設備が簡易。 ○比重が小さい割に強度が大きい。 ○音や振動、衝撃の吸収性が高い。(緩衝効果) ○外観が美しく、周囲の景観、環境になじみやすく、安らぎを感じる。 ○燃料としても利用できる。 ○弾性材料でねばりがある。 ○熱伝導率が低い。 ○無限に得られる材料である。 ○生産時にエネルギーを必要としない。 ○CO₂を固定化できる。 ○環境負荷が少なく、間接的な環境効果もある。 ○利活用の歴史がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ●水を含むと重くなり、変形する。 ●コンクリート・鉄に比べて強度が低い。 ●腐朽や虫害がある。 ●可燃性である。 ●形状・品質のバラツキが大きい。(不均質) ●材質あるいは腐朽等による劣化も不均質で、厳密な安定計算、部材応力計算は困難。 ●腐朽劣化に伴い美観が低下する。 ●乾燥により変形する。 ●長大材を得にくい。 ●供給が不安定である。 ●遠方より運搬することが多い。 ●使いこなすには経験や技術が必要。 ●使用制限や逆にマニュアル整備が遅れている。

3.4 土木への木材利用事例

東京都、岩手県及び長野県などで実施した現地調査結果より、土木工事における利用事例⁵⁾⁶⁾⁷⁾を紹介する。

(1) 木橋

近代以前の構造物の長尺軸材料は木材が代表的であり、橋梁も木材を使用していた。近代以降は、高強度かつ高い接合効率で組み立てることができる鉄とコンクリートにとって替わられた。しかし、近年になって、大断面集成材の規格化などにより強度保証された木質材料を使用することにより木橋の構造設計が可能となった。木材を主材として利用した木橋は、「現代木橋」あるいは「近代木橋」と呼ばれ、木材の特性である柔らかさや温かみ、再生資源であることなどの新たな価値も見出されて、採用が増加している。岩手県の小出橋(写真-3.1)では、維持管理マニュアルを整備し、これに従って点検を行なっている。木橋に関する設計基準類には、国土技術研究センターから発刊されている「木歩道橋設計・施工に関する技術資料」⁸⁾、土木学会から発刊されている「木橋技術の手引き 2005」⁹⁾などがある。

木橋の種類としては、桁橋・方杖桁橋・トラス橋・アーチ橋・斜張橋・吊橋のほか、跳ね橋・カンチレバー橋・太鼓橋など意図的に古い形態にする場合も見られる。

(2) 治山ダム

岩手県紫波郡に施工された木製治山ダム(写真-3.2)は、幅 14.4m奥行き 2.7m、27ユニットの木製枠(材質：カラマツ、末口径 20～25cm)を積重ね、栗石を中詰めして築造されている。1基あたりの木材使用量は 26m³。木製ダム1基の工事費は 500万円程度である。当木製ダムは、石礫の流下による衝撃力や磨耗により破壊される恐れがないこと(土石流発生地域には採用しない)、木製ダムの直下に永久構造物であるコンクリートダムがあること、木製ダムの直接堆砂区域で斜面崩壊の恐れがないこと、などの現場条件を定めて設計を行なっている。



写真-3.1 木材利用例：木橋
(岩手県小出橋)



写真-3.2 木材利用例：木製治山ダム

(3) 道路構造物：木製ガードレール

木製ガードレール(写真-3.3)は、「防護柵の設置基準」¹⁰⁾が 1998年に性能規定に改訂され、間伐材を主な材料として用いた場合でも、定められた性能を達成できれば、使用することが可能となった。「防護柵の設置基準」における車両ガードレールとして必要な性能は、車両逸脱防止性能、乗員の安全性能、車両の誘導性能、構成部材の飛散防止性能の4項目である。木製ガードレールの開発には、これまでに木材加工技術協会、和光コンクリート、長野県、岩手県などで数種類の成功例があるが、日本での採用例はまだ少ない。ヨーロッパでは、木製品がデザイン、機能、環境面に優れていることが社会的に認識され、3～4割コストが高くても、木製のガードレールは多く採用されている¹¹⁾。

(4) のり面：丸太伏工

丸太伏工(写真-3.4)は、木製水路と同様に岩手県内の間伐材を用いた林道構造物であり、切土法面の浸食防止や曲線部の視距確保のための雑草繁茂防止を目的として施工されている。県では、丸太伏工の採用根拠として、①工事規模に対し、比較的多くの木材を使用、②直接工事費が従来工法・厚層基材吹付工(t=30mm)と同程度(約 3,000円/m²)、の2点を挙げている。丸太伏工は、森林環境、地球環境、コスト面において有効な工法であると考えられる。



写真-3.3 木材利用例：
木製ガードレール



写真-3.4 木材利用例：丸太伏工

3.5 これからの土木への木材利用

これからの土木への木材利用として、3.3(2)で示した木材の特徴を活用した利用例、利用アイデアを示す。

(1) 杭としての利用

水中の木材は腐朽しないという性質¹²⁾を利用して、地下水面より下方の軟弱地盤を対象として木杭による地盤改良、杭基礎としての利用方法を示す。

堤防盛土などの底部軟弱地盤（図-3.5）に杭体を地盤に打ち込むことにより地盤は締め固められ、せん断強度が増加する。また、締め固め効果により土中の間隙水圧が上昇、粘土層などからの排水・圧密促進効果により軟弱地盤の安定化に、支持力強化が期待される。具体的な工法としてはパイルネット工法¹³⁾がある。この工法は、軟弱地盤に既成杭（木、コンクリート、鋼など）などの杭を適切な深さに打ち込んだ後、杭頭部同士を鉄筋やロープ等の連結材で連結し、その上部に土木用シートなどを敷設して盛土を行う軟弱地盤改良工法である。写真-3.5は道路盛土基礎地盤でのパイルネット工法の適用状況である。

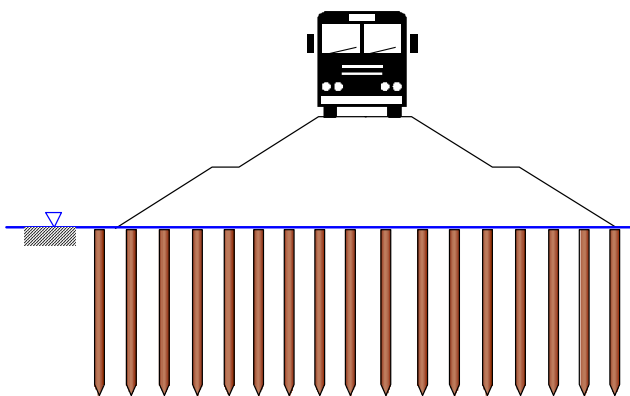


図-3.5 堤防盛土などの底部軟弱地盤



写真-3.5 パイルネット工法
（沼田淳紀氏提供）

(2) のり面

木材をのり面緑化工の仮設山留め材として利用した事例を示す。本事例はつくばエクスプレス・駅前の高さ約2mののり面の緑化工（写真-3.6）において、緑化工初期の地山の安定のためにスギ板と木杭（写真-3.7）を利用している。植生が

成長するまでの数年をスギ板と木杭でのり面を安定化、植生の成長に伴い根系の発達により、根系による地山補強効果によりのにり面を保護、安定化が期待される。根系の成長・発達に対してスギ板と木杭は腐朽・分解し、植生の養分となり無駄が無く成長する樹木に取り込まれ、のにり面緑化工が安定した状態に遷移する。のにり面の最終的安定状態に至るまでは時間は要するが木材特性、植生特性を利用した環境調和型の土木技術といえる。



写真-3.6 のり面緑化工全景



写真-3.7 緑化工に使用されたスギ板と木杭

(3)吊り橋

長野県の桃介橋は、できるだけ原形に沿った復元工事が行われ、文化財として1993年9月に復元工された木製補剛トラスを持った吊橋（写真-3.8、写真-3.9）である。文化財という特殊事例ではあるが、本事例に学ぶ点が多い。

主要諸元として表-3.4 に示されるように3基の主塔の下部は石積みで河川侵食に強く、上部はコンクリートで所定の形状に構築し易い材料構成となっている。引張部材である主索ケーブル、ハンガーは鋼製ロープが使用され、細くて風力抵抗の少ない構造となっている。

橋を渡る人が直接触れる橋桁は木製で、地元産木材のサワラ、アスヒ、ヒノキ（図-3.6、図-3.7）が使用され、耐朽性の期待される部材にはボンゴシという耐朽性にすぐれた外国産材を使用している。異なった材料の特性を活かした適材適所でハイブリッドな利用がなされ、無理なく地元産材を利用するという点で参考になる事例と思われる。



写真-3.8 主塔部遠景



写真-3.9 木製床とトラス部分

表-3.4 桃介橋の基本諸元

橋の種類	木製補剛トラスを持つ多径間吊橋		
橋長	247m	幅員	2.7m (全幅 4.4m)
主塔	3基 (石積み部分高さ 13.0m、コンクリート部分高さ 13.3m)		
主索ケーブル	8本 (片側4本、径4cmのストランドロープ)		
主索ハンガー	204本 (片側102本、径3.5mmの鉄線5本を束ねている)		
耐風索	4本 (径3.2cmのストランドロープ)		
補剛桁	木製/国内産材 (木曽材) 143.02m ³ 、外国産材 (ボンゴシ) 32.98m ³		

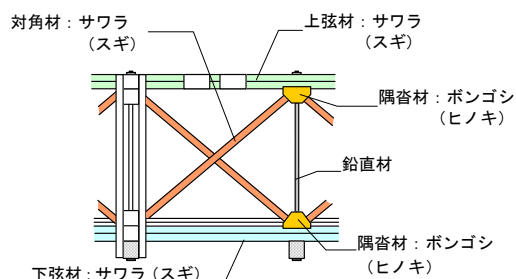


図-3.6 補剛桁側面図

(カッコ内は原設計時の使用材)

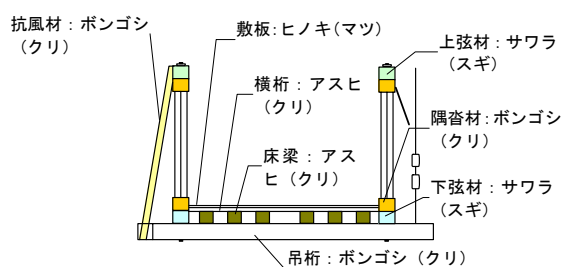


図-3.7 補剛桁断面図

(カッコ内は原設計時の使用材)

(4)水路

木製水路 (写真-3.10) は、岩手県内の間伐材を活用した間伐材とコンクリートを組み合わせたハイブリッド水路である。本製品は、図-3.8 に示すようにキット化されており、水路のベースは水に強いコンクリート、水辺で腐朽し易い木部はコンクリートブロック状に設置する方式となりメンテナンスが容易である。水路側壁と底部が木製であるため側壁と底部を通じた周辺地山との水の出入りが比較的容易であり、降雨時には排水、乾燥時には地下水涵養の役割を果たす。また、木部が腐朽することにより生物のすみかとなり、植生成長により木部の腐朽にともなう水路側壁、底部の劣化を補う働きも期待され、生物との共生可能な構造物といえる。本水路キットの製造と販売は、異業種 (森林組合、企業、市民、行政) が運営する NPO 法人 (循環資源デザインネットワーク) が行っている。市場性の観点からも従来の固定した専門市場から開放され、新たな市場を形成する取り組みである。



写真-3.10 木製水路

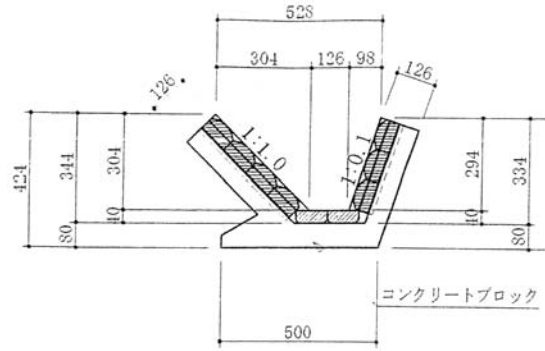


図-3.8 木製水路断面図

3.6 あとがき

ここでは、土木における国産木材の利用促進を念頭に、土木における木材の利用状況、木材の利用の変遷、土木の観点からの木材の利点・欠点、新たな木材利用方法の方向性やアイデアを示し、土木における有意義な木材利用方法について検討した。この結果、今後の土木における木材利用に関して、以下のことが確認され、考えられた。

- 土木での国産木材の利用は森林の有する多面的機能の維持・回復に貢献し、国土の維持・保全、木材資源、水資源の確保に寄与し、土木本来の使命遂行につながる。
- 建設資材を体積シェアで考えると鋼材、コンクリートは増加しているが、木材は減少している。
- 木材の有する、腐朽性、可燃性は木材の欠点でもあるが、利点にもなりうる。このことは、木材の特性を把握し、適材適所の木材利用を考えることで新たな木材利用方法が考案しうる可能性がある。
- 地下水面下では木材は腐朽せず、強度特性の低下も少ない。このような条件での木材利用として軟弱地盤の補強材としての木材利用は有効と考えられた。
- 環境調和型、生物との共生の観点からも土木構造物への木材利用は有効である。

土木構造物の構築には、その架設のために河川締切、交通規制など社会的負担も必要となり、一度構築した構造物はできるだけ長く使用することが望まれる。また、土木構造物は環境に対する影響の大きいものが多く、人間社会に限らず、多種多様な生物との共存、地球環境の保全への配慮も必要である。土木構造物も多種多様、同じ構造物であってもその部位により要求品質や適する材料は異なり木材利用の可能性も大きい。土木の使命・立場を踏まえつつ、適切な国産木材の土木構造物への利用可能性を開発し、木材の利用を促進することがこれからの土木技術者に望まれる一つの課題であると思われる。

参考文献

- 1) 今井久：わが国の森林・林業の現状に関する調査研究，ハザマ研究年報，pp.1-14，2006
- 2) 国土交通省ホームページ：
<http://www.mlit.go.jp/toukeijouhou/chojou/h19syuyousizai.htm>
- 3) 林野庁：平成15年度版森林・林業白書，参考付表，pp.147-180，2004
- 4) ホームページ・木のメモ帳：
http://www.geocities.jp/kinomemocho/zatu_sleeper.html
- 5) 自然素材活用技術研究小委員会：自然素材を利用した土木構造物・土木技術に関する調査研究報告書，土木学会，pp.27-30，2006
- 6) 奥田光秋，石田修，三澤孝史，大島貴充：土木学会第61回年次学術講演会概要集，pp.7-128，2006
- 7) 石田修，沼田淳紀，林原茂，奥田光秋，田代晃一：土木分野における木材利用の状況と展望，木材工業，63(8)，pp.346-351，2008
- 8) 国土技術研究センター：木歩道橋設計・施工に関する技術資料，2003.
- 9) 土木学会：木橋技術の手引き2005，2005
- 10) 日本道路協会：防護柵の設置基準，1998
- 11) 日本技術士会森林部会ホームページ：
http://www.engineer.or.jp/dept/forest/03_01_24rinsan_houkoku.html
- 12) 福井県建設技術公社：脱地球温暖化社会へ向けた建設工事への木材利用に関する調査・研究 産学官共同研究報告書，2008
- 13) 鉄道総合技術研究所：杭網（パイルネット）工法設計・施工の手引き，1987

4. 地球温暖化防止の観点からの土木における「木材」の利用

早稲田大学理工学術院 濱田政則

「土木」という名が示すように、木材は古来土木工事の主要な材料であった。ちなみに「土木」の語源は、中国武帝の時代の「淮南子（えなんじ）」という書物に記された「土を築き木を構えて」河川の治水を行った、ということに由来している。土木分野のみならず建築分野においても、基礎として木杭が昔から一般的に用いられて来た。現在使用されているコンクリート杭や鋼杭の歴史は浅く、木杭基礎の歴史は洋の東西を問わずこれよりもはるかに古い。しかしながら、近年の土木工事では木杭を含めて木材を主要部材にすることはほぼ皆無となってしまった。この理由として、腐朽に対する懸念、大量のニーズに対する材料供給の不安定性、強度や規格のばらつき等が挙げられるが、過度の森林伐採を防ぐ目的で出された昭和 30 年の閣議決定「木材資源利用合理化方策」も木材が土木工事に活用されないことの一つの大きな転機となったのではないかと考えられる。

最近、各種構造物の建替えなどの基礎工事で、基礎杭であった木杭が掘り出されることがある。木杭は 50 年以上の年月を経ているにもかかわらず健全な場合が多く、時には 100 年近く経過したものもある。一般的な土木構造物の耐用年数は 50 年とされている。設置場所の条件にもよるが、50 年以上木材が健全であるということは部材として決して劣っているわけではないことを示している。また、1964 年の新潟地震などでは、その当時普及し始めたコンクリート杭は損傷を受けて建物が傾斜したりしたが、従来の木杭基礎の建物は健全であった例が報告されている。

一方地球環境に目を向けると、地球温暖化に起因して世界で異常気象が頻発し、風水害などの自然災害が多発している。京都議定書による温室効果ガス削減目標を達成することは容易ではないが、地球温暖化防止対策は環境分野の専門家だけでなく、さまざまな分野の人々が連携して取り組まなければならない国家的課題である。最近では、土木分野においても温室効果ガス削減への取り組みが求められるようになってきている。土木工事における木材の活用を推進して、適切な木材の需給バランスを構築することにより、わが国の森林の維持・再生を図ることは効果的な方策の一つと考えられる。このような状況を受けて、2007 年 9 月に日本森林学会、日本木材学会、土木学会による「土木による木材の利用拡大に関する横断的研究会（委員長：今村祐嗣京都大学教授）」が組織され、活動が開始された。土木分野、森林分野および木材分野による学際的調査・研究により、土木分野で木材の利活用の増大を図り、地球温暖化防止に貢献しようというのが目的である。

本シンポジウムは、この活動の一環として開催されるもので、土木分野における木材利用拡大の可能性、解決すべき技術的・社会的課題、および、人間生活圏の環境への貢献に関して、土木・建築分野、森林・木材分野の関係者による分野横断的な討議を行うことを目的としている。

本シンポジウムが、土木分野における木材活用を拡大し、地球温暖化防止への先駆的・学際的取り組みへの契機となることを期待している。

最後に、プロジェクト共同利用として本シンポジウム開催の機会を与えて頂いた京大大学生存圏研究所の関係者各位、および、シンポジウムの開催準備に尽力された各位に深甚なる謝意を表する次第である。

5. もっと木材を土木で！

東京農工大学大学院共生科学技術研究院 石川 芳治

5.1 はじめに

土木分野における主な構造物はこれまで、主としてコンクリートや鋼材により建設されてきた。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 m³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。

しかしながら最近、土木分野における木材の利用は年々減少してきており、木製施設の、計画、設計、施工、維持管理に係わる基礎的な技術が低下してきている。土木分野における木材の利用を促進するための一助として、ここではまず海外における木製治山治水施設について紹介する。次に、土木分野における木材の利用・普及を妨げている大きな原因と考えられる木材の腐朽に関する課題として、腐朽度調査法、腐朽速度の実態、腐朽を考慮した木製構造物の設計法について述べる。

5.2 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-5.1 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-5.1 木材とコンクリートの許容応力度の比較(N/mm²)

	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）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）、1997 による。
設計基準強度：20.6N/mm²の場合

****細長比が大きくなると減少する。

5.3 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-5.2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、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-5.2 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	良	中	中
耐久性	20～50年	約100年	50～80年
建設費	安	中	中
観との調和	良	中	中
品質のバラツキ	大	中	小

注) 評価は基本的にはコンクリートを「中」とした。

5.4 海外における木材を用いた治山治水施設

欧州では木材は石材と並んで古くから治山治水施設の材料として広く用いられてきた。しかしながら 1950～60年代になるとセメントが安価に生産されるようになり、耐久性が良く、鉄筋コンクリートとして用いると強度も高い等の理由でコンクリートが主として用いられるようになり、木材の使用は急速に減少して行った。ところが 1980年代になり地球規模の環境問題が重要視されはじめると、山地、溪流、河川の生態系の保全効果が高く、景観の面でも優れている木材を治山治水施設に積極的に利用しようという取り組みが始まり、現在では治山治水施設の基本的な材料として一般的に用いられるようになってきている。ここでは欧州の山岳国であるスイス、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の事例を紹介する。

5.4.1 スイス、オーストリアにおける木製堰堤

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-5.1）が広く用いられていた（スイス連邦道路堤防局、1967;Zeller 他、1987）。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-5.1～5.3）。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す。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。

オーストリアでも、木製堰堤の歴史はスイスとほぼ同様であるが、木製堰堤への木材の利用は環境問題に対応するためと同時に、鉄筋コンクリートに比べて安価であることが大きな理由となっている（写真-5.4）。このため、使用する木材は施工地の周辺から採取して、工場での加工等はせず丸太のまま使用している。また、低い堰堤（高さ3.0m以下）では単壁式を用いることにより、費用を低く抑えている（元井、1998）。

木材を使用する際の最大の課題である腐朽による耐用年数については、スイス、オーストリアとも通常30～50年を設定している場合が多い。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が、オーストリアでは施設の建設を行っている事務所により異なり、防腐処理を行っている場合と行っていない場合がある。施設の点検は原則的には毎年行うこととしているが、もう少し長い間隔で行っているところもある。

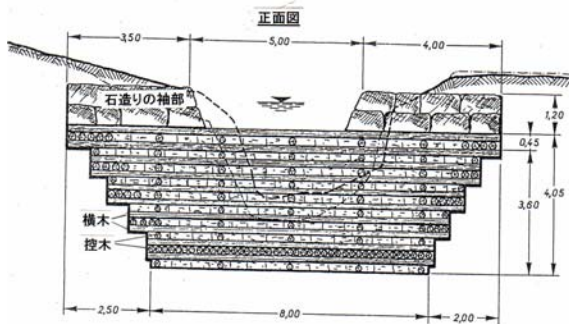


写真-5.1 スイスにおける木製水路

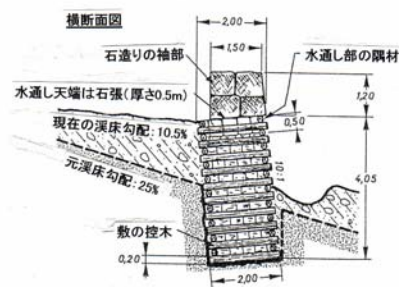


写真-5.2 スイスにおける木製堰堤

図-5.1 1900年代初頭の木製堰堤の例（スイス）、基本的な構造は現在でも同様である。(Zeller 他、1987)



写真-5.3 スイスにおける木製堰堤
の施工状況



写真-5.4 オーストリアにおける木製堰

5.4.2 米国における木材を用いた治山治水施設

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、溪流や河川の生態系の保全が主目的であり、自然の溪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溪流や河川の構成材料として溪流や河川の環境保全の機能を発揮しうる。

溪流、河川の周辺から供給される倒流木は、溪流や河川内に堆積・集積することにより、瀬や淵を形成して変化に富んだ溪流や河川の微地形を形成し（写真-5.5）これらが溪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溪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（Bisson 他、1987）。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（Elliot, 1986; Fausch and Northcote, 1992）。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溪流、河川内に保持されることにより溪流、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、このことにより溪流、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、自然の状態の溪流、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丸太を溪流を横切るように設置したログダム（写真-5.6）、②溪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-5.7）が溪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-5.8）も用いられている。これらにより溪床に砂礫や流木が堆積し、瀬や淵ができ溪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、最近では溪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-5.9 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-5.10）。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-5.11）。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、ハヒロハコヤナギの枝が挿し木された（写真-5.12）。これら



写真-5.5 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-5.6 溪流を横断する形で設置されたログダム



写真-5.7 溪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プにより巨石に繋いである。



写真-5.8 複数の丸太を組み合わせて
作られたウェッジダム



写真-5.9 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

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(Stypula 他、1995)。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 $5\text{m}^3/\text{s}$ のとき施工前の $0.6\sim 0.9\text{m}/\text{s}$ から施工後には $0.3\sim 0.6\text{m}/\text{s}$ 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-5.13）。



写真-5.10 護岸復旧工の施工前
（グリーン川、1994年6月時点）



写真-5.11 護岸復旧工、根付き丸太
の設置（1994年施工）



写真-5.12 護岸復旧工の完成
(1994年11月完成)



写真-5.13 竣工してから約4年後の
状況(1998年8月時点)

5.4.3 海外における木製治山治水施設の特徴

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：溪流、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-5.3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-5.3 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	○溪流・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

5.5 我が国における既設木製堰堤の例

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(木曾郡王滝村、木曾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。

5.5.1 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（唐牛、1999）（写真-5.14、5.15、5.16、5.17）。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-5.15）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-5.14 坪毛沢 No.1 木製堰堤（1958年竣工）、有効高 2.5m、堤長 18m



写真-5.15 坪毛沢 No.2 木製堰堤(1916年竣工)、有効高 1.4m、堤長 8.2m



写真-5.16 坪毛沢 No.4 木製堰堤（1954年竣工）、有効高 3m、堤長 14.7m



写真-5.17 坪毛沢 No.6 木製堰堤(1953年竣工)、有効高 2.2m、堤長 7.5m

5.5.2 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3.0km²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、溪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（三輪、2000）（写真-5.18、5.19）。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-5.18 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-5.19 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

5.5.3 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、長野県木曾郡王滝村にあり、木曾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。(長野県、1995) 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溪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(治山研究会、1998)(写真-5.20、5.21)。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な曲げ強度を有しており、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。



写真-5.20 濁沢木製堰堤 (1985 年竣工)
高さ 3.0、堤長 11m



写真-5.21 濁沢木製護岸工(1985 年竣工)
高さ 2.5m

5.6 京都府による木製治山堰堤への取組

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(石川 2001、佐藤 2002)。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-5.4 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(石川ら、2000、石川 2002)。

表-5.4 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λ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、切込碎石	栗石、切込碎石	栗石、切込碎石	
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	使用木材は工場 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	

5.6.1 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-5.22 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。

5.6.2 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-5.23 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-5.22 久多演習林に設置した木製堰堤



写真-5.23 大枝演習林に設置した木製堰堤

5.6.3 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-5.24 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 $\phi 16\text{mm}$ の丸鋼を加工して製作した釘（長さ 45cm）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-5.25）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-5.24 京都府丹後町三山に設置された木製治山堰堤



写真-5.25 水平載荷試験の実施（丹後町三山）

5.6.4 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-5.26、5.27 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 にたいこ挽きしたスギを用い、木材の連結には $\phi 16\text{mm}$ 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-5.28）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-5.29）。



写真-5.26 舞鶴市鹿原に設置された木製治山堰堤（奥の堰堤は平成 11 年度施工、手前は平成 12 年度施工）



写真-5.27 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-5.28 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-5.29 京北町小塩に設置された木製治山堰堤（平成 12 年度）設置された土圧計

5.6.5 溪流環境の保全

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-5.30）。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-31）。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、溪流の景観保全にも寄与している。



写真-5.30 木製堰堤に産み付けられた
モリアガエルの卵（舞鶴市鹿原）



写真-5.31 木製堰堤におけるキセキレイ
の営巣と産卵（舞鶴市鹿原）

5.7 木製施設の耐朽性と維持管理

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、最も有名なのは松岡ら（1970、1984）による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。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（田中ら 1999）。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（松岡ら、1970、1984）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。

5.8 御岳濁沢における木製施設の耐朽性調査

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(石川ら 2003)。これらの調査結果の概要を紹介する。

5.8.1 調査地の概要と調査方法

調査対象としたのは 5.5 で紹介した長野県木曾郡王滝村の木曾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-5.20、5.21）。

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 1.07km² 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、平均溪床勾配 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（治山研究会、1998）。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-5.2、写真-5.32）。

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-5.3）。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-5.4）。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 の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。



図-5.2 部材を採取した木製床固工・護岸工付近の地図



写真-5.32 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）

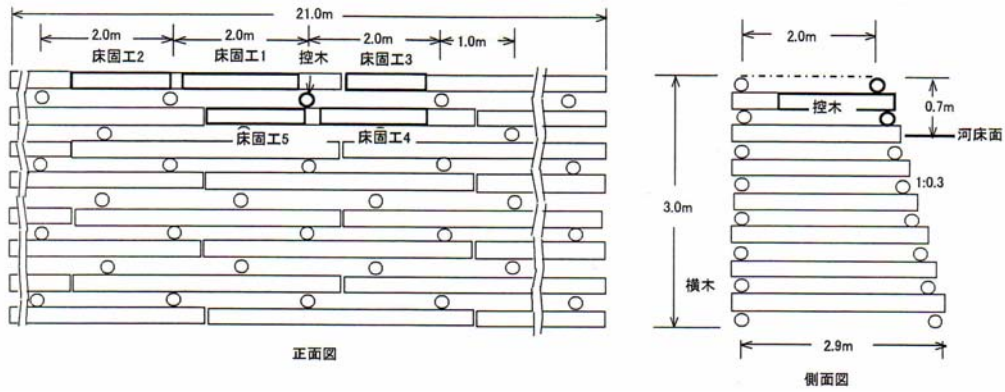


図-5.3 木製床固工概要図および部材の採取位置図模式図

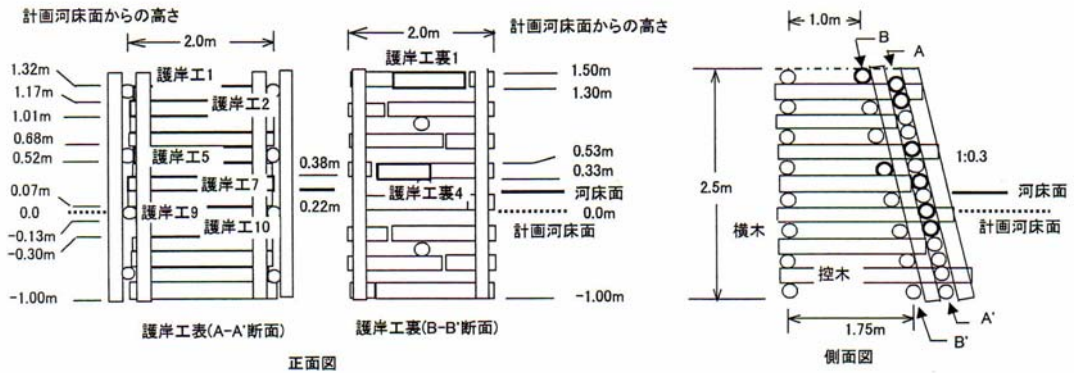


図-5.4 木製護岸工概要図および部材の採取位置図模式図

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-5.5、図-5.3、5.4）を採取し次に述べる各種試験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-5.5 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

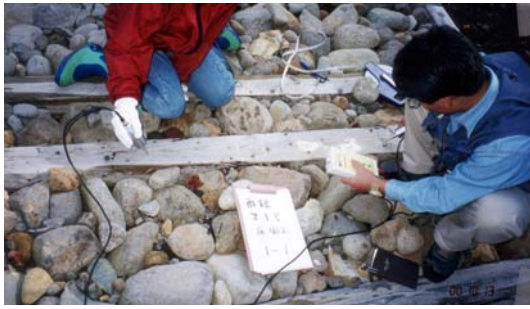


写真-5.33 超音波試験器による計測



写真-5.34 応力波試験器による計測



写真-5.35 ピン打ち込み試験器による計測



写真-5.36 穿孔抵抗試験器による計測

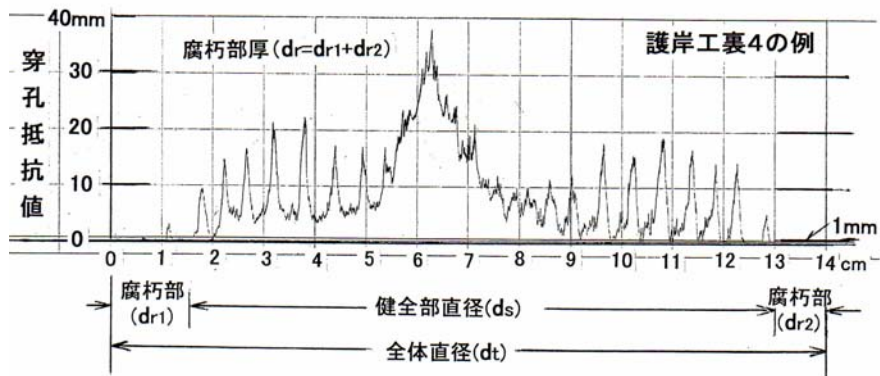


図-5.5 穿孔抵抗試験器(レジスタグラフ)による穿孔抵抗チャートの例(護岸工裏4の例)

5.8.2 結果と考察

5.8.2-1 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。

(1)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-5.5）、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(d_s)と腐朽部厚(d_r)を表-5.5、図-5.6 に示す。図-5.6 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、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。

(2)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、特に重要なものは曲げ許容応力度である(石川、1998)。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 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/mm²)を図-7 に示す。図-5.7 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/mm²)および 6.85(N/mm²)（建設省告示第 1452 号）であり（建築基準法施行令、2001）、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(1970、1984)の研究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(1970、1984)の研究結果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～

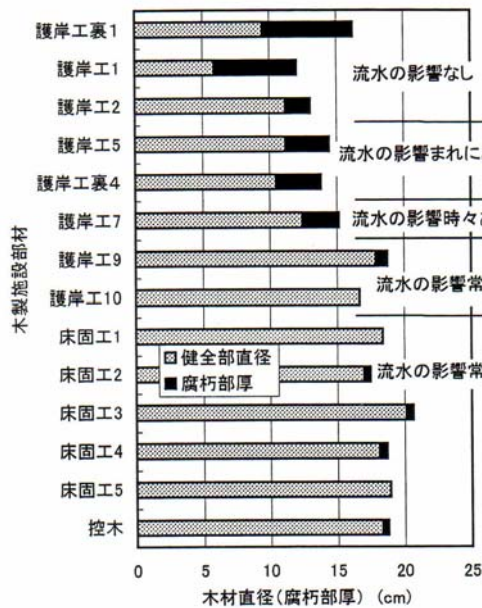


図-5.6 穿孔抵抗値による健全部直径(d_s)と腐朽部厚(d_r)(17年経過後)

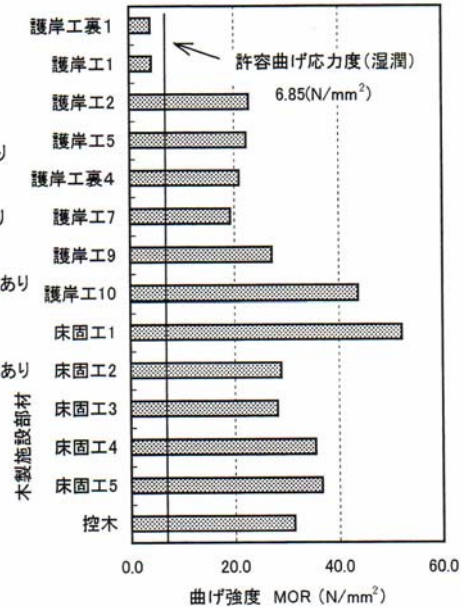


図-5.7 各部材の曲げ強度(全体直径で計算)(MOR)(17年経過後)

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ると考えられる。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(d_r) / 全体直径(d_t)と定義した場合の腐朽厚比(d_r/d_t)と曲げ強度(MOR)の関係を図-5.8に示す。 d_r/d_t が増加するほど部材のMORは減少することがわかる。

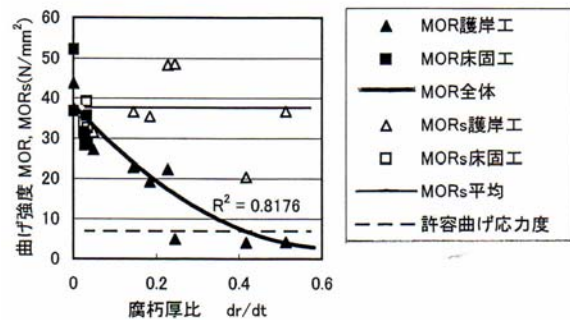


図-5.8 腐朽厚比(d_r/d_t)と曲げ強度(MOR, MORs);MORは全体直径(d_t)で計算、MORsは健全部直径(d_s)で計算

5.8.2-2 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-5に示す健全部のみの直径(d_s)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(d_r/d_t)の関係を図-5.8に示す。図-5.8より、MORsは d_r/d_t 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(d_s)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-5.8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 d_s を用いて各部材の持つ最大曲げモーメント(曲げ耐力、 M_{scal})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-5.9 に示す。図-5.9 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。

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。

$$\frac{Mr}{Mt} = \frac{\sigma Z_s}{\sigma Z_t} = \left(1 - \frac{dr}{dt} \right)^3 \quad \dots \dots (1)$$

ここに、 Z_t は全体直径の断面係数、 Z_s 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($M_{robs.}$)と全体が健全と仮定した場合の最大曲げモーメント($M_{tcal.}$)の比($M_{robs.}/M_{tcal.}$)をプロットしたものを図-5.10 に示す。なお、ここで木材の健全部曲げ強度($\sigma = MORs$)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 $\{Mr/Mt = \text{断面係数比} (1 - dr/dt)^3\}$ と dr/dt との関係を図-5.10 に実線で示す。図-5.10 より MORs と dr/dt が分かれば腐朽した木材の全体の MOR、 Mr を推定することができる。なお、図-5.10 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。

5.8.2-3 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（伏谷ら、1985；Tanaka,1991）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(V_{uf})、直径（繊維直角）方向超音波伝播速度(V_{ud})、繊維方向応力波伝播速度(V_{sf})、直径（繊維直角）方向応力波伝播速度(V_{sd})、図-5.5 に示す方法により穿孔抵抗値 1mm 未満

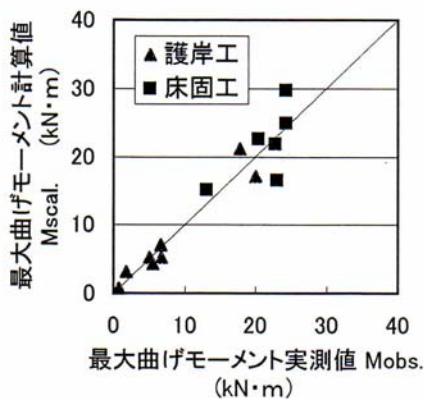


図-5.9 最大曲げモーメントの実測値 (Mobs.)と予測値(Msca.)

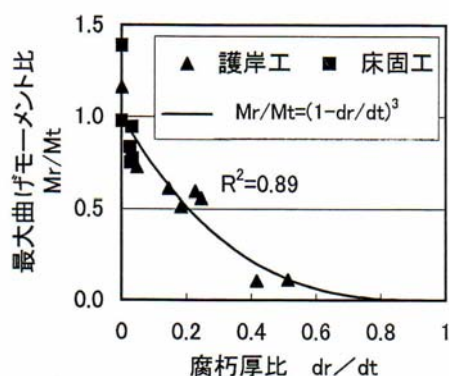


図-5.10 腐朽厚比(dr/dt)と最大曲げモーメント比(Mr/Mt)

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-5.6に示す。表-5.6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 (V_{uf} 、繊維方向)、ピン打ち込み試験 (P_c)、応力波試験 (V_{sd} 、直径方向=繊維直角方向) である。次にこれらの関係を図-5.11~5.17に示す。

表-5.6 各種の試験による測定値の相関行列

	MOR	MOE	γ	P_c	V_{uf}	V_{ud}	V_{sf}	V_{sd}	dr	ds	dr/dt	$(1-dr/dt)^3$
MOR	1.000											
MOE	0.814	1.000										
γ	0.779	0.767	1.000									
P_c	-0.672	-0.499	-0.824	1.000								
V_{uf}	0.691	0.679	0.370	-0.221	1.000							
V_{ud}	0.243	0.151	0.217	-0.031	0.092	1.000						
V_{sf}	-0.041	0.014	0.331	-0.478	-0.434	0.186	1.000					
V_{sd}	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。

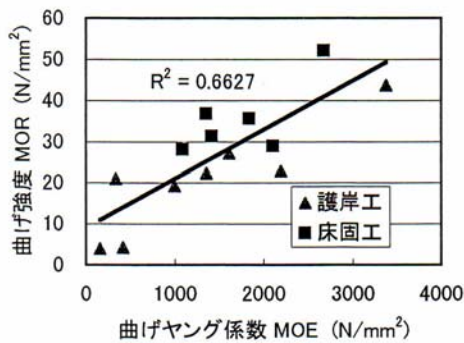


図-5.11 曲げヤング係数(MOE)と曲げ強度(MOR)

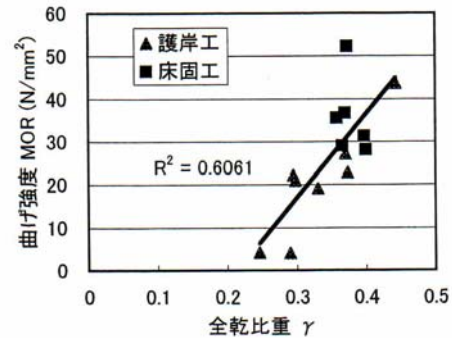


図-5.12 全乾比重(γ)と曲げ強度(MOR)

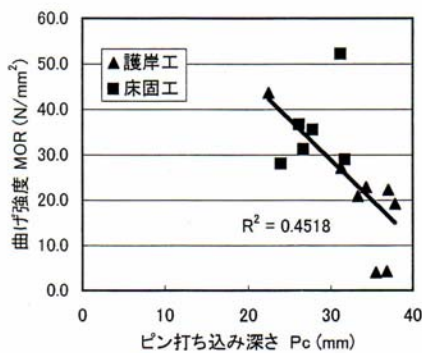


図-5.13 ピン打ち込み深さ(P_c)と曲げ強度(MOR)

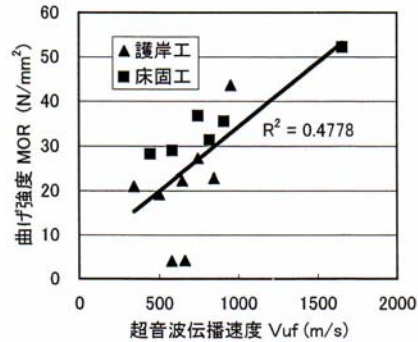


図-5.14 超音波伝播速度(繊維方向、 V_{uf})と曲げ強度(MOR)

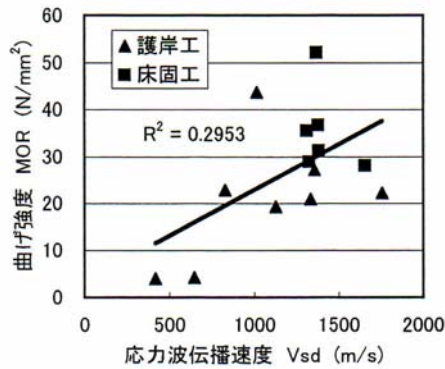


図-5.15 応力波伝播速度（直径方向、Vsd）と曲げ強度(MOR)

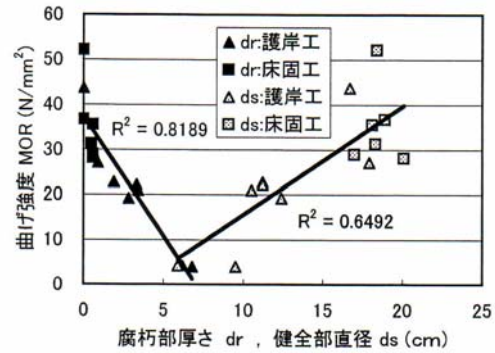


図-5.16 腐朽部厚さ(dr)、健全部直径(ds)と曲げ強度(MOR)

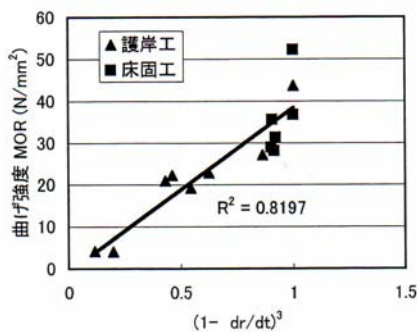


図-5.17 穿孔抵抗値による $(1-dr/dt)^3$ と曲げ強度(MOR)

5.8.3 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（1970、1984）による研究により示された 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。

5.9 木製えん堤部材の腐朽速度実態調査

木製えん堤の設計に関しては石川ら（2000）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（Ishikawa *et al.*,2002）。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(Dang, Q. D.*et al.*,2007)。

5.9.1 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-5.4に示したとおりである。

5.9.2 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(2003)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-5.18～5.21において●で示す。

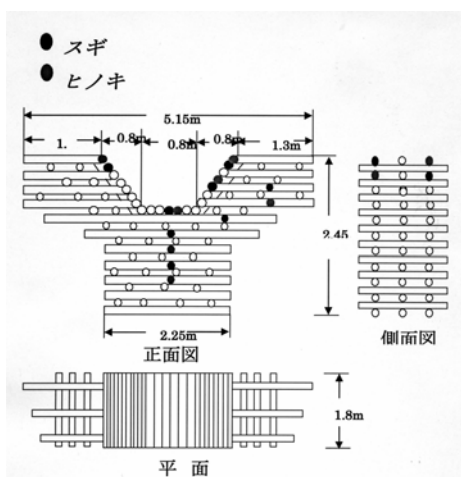


図-5.18 久多堰堤の模式図と調査部材

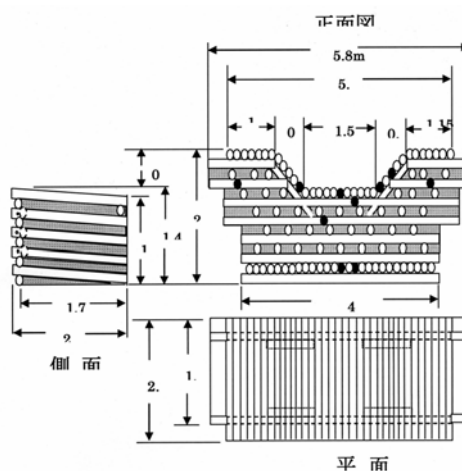


図-5.19 大枝堰堤の模式図と調査部材

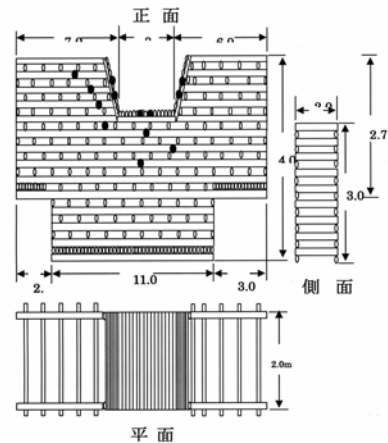
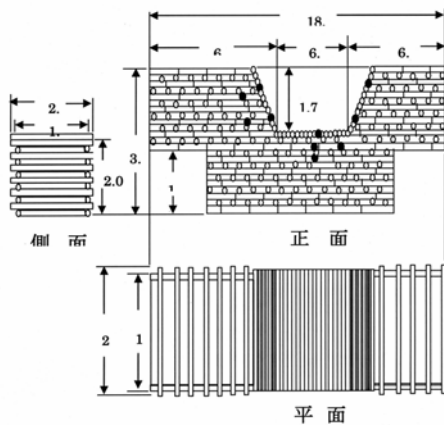


図-5.20 京北1 堰堤の模式図と調査部材 図-5.21 京北2 堰堤の模式図と調査部材

5.9.3 調査結果

5.9.3-1 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（Dixonら、1969）。

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-5.22、図-5.23 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 () 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(Dang, Q. D. et al., 2007)。

久多: 4.5mm/年 (2.1mm/年); 大枝: 3.0mm/年(1.5mm/年) (図-5.22)

京北 1: 4.4mm/年 (1.7mm/年); 京北 2: 5.8mm/年 (2.0mm/年) (図-5.23)

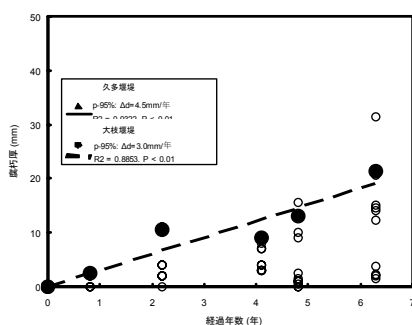


図-5.22 久多および大枝堰堤における腐朽速度

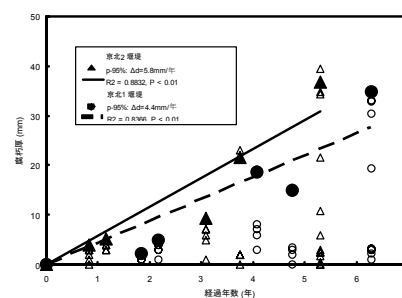


図-5.23 京北1 および京北2 堰堤における腐朽速度

5.9.3-2 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-5.24)。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(Dang, Q. D.*et al.*,2007)。

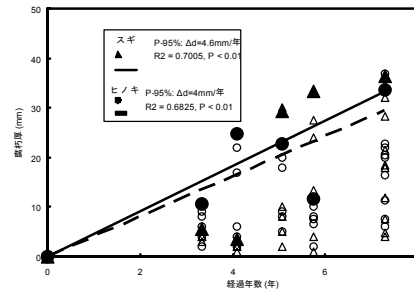


図-5.24 スギとヒノキにおける腐朽速度

5.9.3-3 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(Dang, Q. D.*et al.*,2007)。

久多堰堤：本体部：5.0mm/年 (2.2mm/年)；袖部：4.3mm/年(2.0mm/年) (図-5.25)

大枝堰堤：本体部：3.6mm/年 (1.5mm/年)；袖部：3.6mm/年(1.4mm/年) (図-5.26)

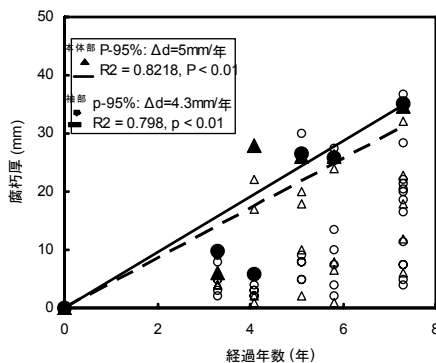


図-5.25 久多堰堤における本体部と袖部の腐朽速度の比較

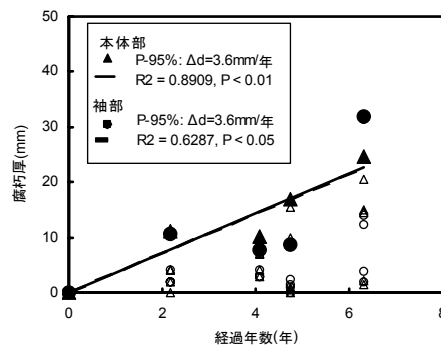


図-5.26 大枝堰堤における本体部と袖部の腐朽速度の比較

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(Dang, Q. D.*et al.*,2007)。

京北1 えん堤：本体部：3.3mm/年 (1.4mm/年)；袖部：5.0mm/年 (2.0mm/年) (図-27)

京北2 えん堤：本体部：1.5mm/年 (0.8mm/年)；袖部：7.4mm/年 (3.0mm/年) (図-28)

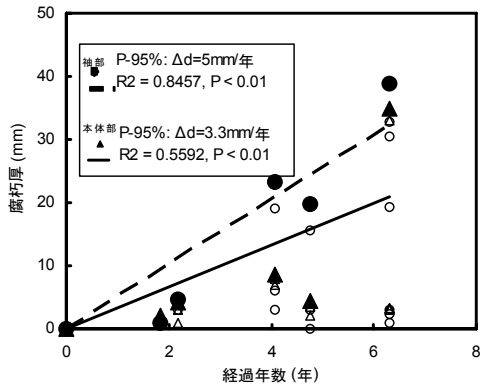


図-5.27 京北1堰堤の本体部と袖部の腐朽速度

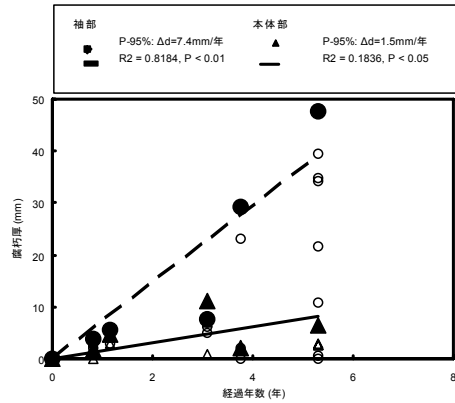


図-5.28 京北2堰堤の本体部と袖部の腐朽速度

5.9.3-4 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のえん堤本体部の部材は常に濡れており、一方、久多と大枝のえん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(Dang, Q. D. et al., 2007)。

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-5.29)

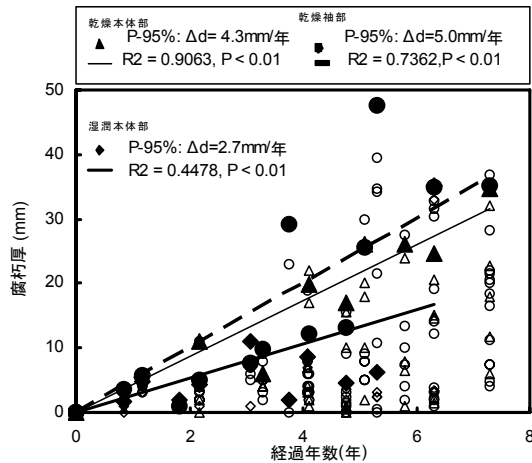


図-5.29 湿潤な本体部、比較的乾燥している本体部および比較的乾燥している袖部の腐朽速度

5.9.4 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 3 は石川ら 2003 による):

$$S_p/S_t = A_{Lb}/A_L \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$M_p/M_t = \left[1 - \frac{d_r}{D} \right]^3 \quad \dots \dots \dots (3)$$

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。

5.9.5 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

木製えん堤の耐朽年数 (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 $h = 1.0\text{m}$ およびボルトの直径 $D_s = 1.6 \times 10^{-2}\text{m}$ とし、えん堤高、横木の長さ、部材の直径を変化させた(図-5.30)。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-5.30 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“L₀=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 $1.6 \times 10^{-2}\text{m}$ である。点 Q の横軸の目盛は、腐朽速度 $\Delta d = 1.0\text{mm/year}$ 、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-5.30 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/m²、462 kN/m² および 3460 kN/m² である（建築基準法、2001）。

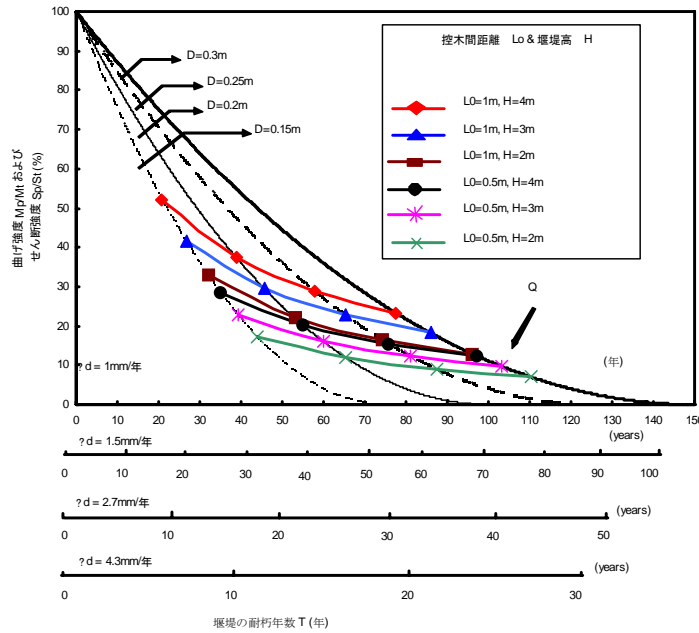


図-5.30 S_p/S_t , M_p/M_t およびスギ材で作られた木製えん堤の耐朽年数の関係 (Dang, Q. D. et al., 2007)

5.9.6 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、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(1970、1984)による調査結果と異なる。

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。

5.10 おわりに

土木分野の構造物には耐久性が高いことから等からこれまではコンクリートを用いて作られる場合が多かった。しかしながら、地球環境に対する負荷、地域の景観や生態系に対する影響を考慮し、さらに間伐材を用いることによる健全な森林の育成による森林の公益的機能の維持・増進を考慮した場合には木材を用いることはトータルコストとしても有利になると考えられる。今後は木材の土木分野への利用を積極的に推進することにより、地球および地域の環境保全に貢献することが必要と考える。

引用および参考文献

- 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
- Dang, Q. D., Ishikawa, Y., Nakamura, H. and Shiraki, K. (2007), 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
- Dixon, W.J., and Massey, F.J., Jr. (1969): Introduction to statistical analysis, 3rd ed., p.9, p.56-63, and p.463
- 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
- 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

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: 木材の物理, 文永堂出版, p.143-144, p.155-158, p.185, 1985

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

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

- 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
- 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
- 石川芳治：小型枠構造木製堰堤の設計法，京都府立大学学術報告，Vol.54，p.63-70，2002
- Ishikawa, Y., Asada, M., and Mizuhara, K. (2002): 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 元井賢一：政策課題海外派遣研修報告書，72pp.,1998
- 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
- 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
- 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
- スイス連邦道路堤防局：スイスにおける溪流工事，FAO第8部会溪流工事のために作成された報告書，66pp., 1967
- 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
- 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
- Zeller, J., Rothlisberger, G.: Lebesdauer von Holzsperrren am Beispiel der Gamser Wildbache, Swiss Federal Institute of Forestry Research, 34pp., 1987

6. 土木における木材の利用－課題と展望－ I

○外崎真理雄、今村祐嗣、石川芳治、平沢秀之、
今泉裕治、熊本宏次、今井久、久保山裕史

6.1 はじめに

課題ワーキンググループでは、土木部門における木材利用拡大に関わる諸課題について、技術的なもの以外の課題を抽出し、解析を試みると共にその解決のための方向性を示すことを目的とする。

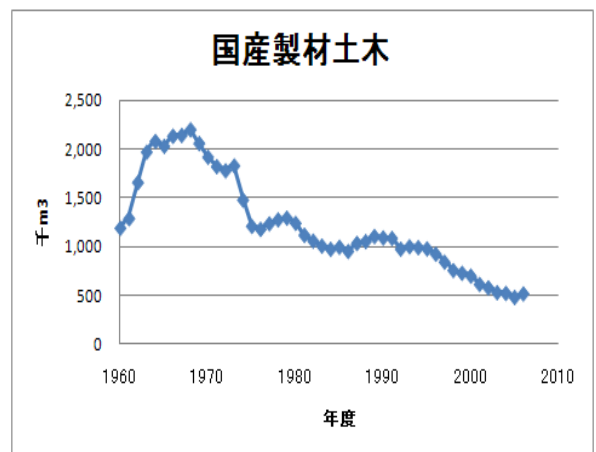
本ワーキングでは3回の会合を開き、方向性を共有すると共に、担当する解析結果について論議を行った。中間段階ではあるが、これまでに得られた結果について報告する。

6.2 土木における木材利用量の解析

将来の土木木材利用を考えるにあたり、これまでの利用状況を把握する必要がある。

農林水産省の木材需給統計には、国内の製材所が国産材あるいは輸入丸太から挽いた製材品について土木部門への出荷量が示されている。しかし輸入製材品がどれくらい土木部門で使われているかのデータは無い。また合板については過去に用途別の出荷調査が行われた例があるが、現状は不明である。その他、集成材やボード類についても土木部門への出荷データは無い。

国土交通省が3年ごとに「建設資材・労働力需要実態調査」を行っている。土木部門の報告書があり、その中で木材原単位も調査されている。しかし1991年までは、素材・製材が調査対象になっていたが、1994年以降、調査対象から外されている。



公共工事土木 総工事費評価額百万円当たり m3

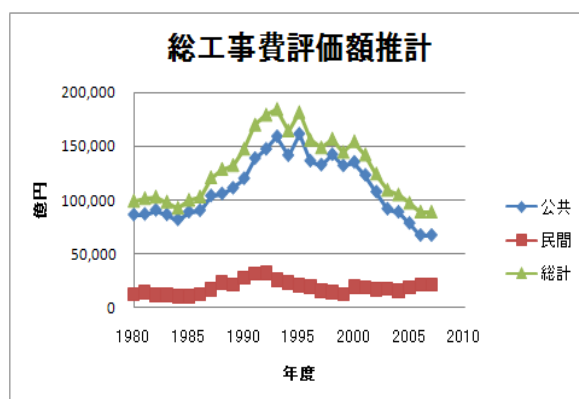
	木材計	素材	製材	合板6mm未満	合板6mm以上	仮設合板	仮設製材
1976	0.33347						
1979	0.20449	0.05109	0.08451	0.00093	0.01477	0.01398	0.03922
1982	0.20597	0.04268	0.09155	0.00057	0.01244	0.01162	0.04710
1985	0.14678	0.02668	0.04748	0.00080	0.01362	0.01063	0.04756
1988	0.13736	0.02053	0.05221	0.00031	0.01475	0.00980	0.03975
1991	0.10542	0.01849	0.03382	0.00037	0.01086	0.00653	0.03534

民間工事土木 総工事費評価額百万円当たり m3

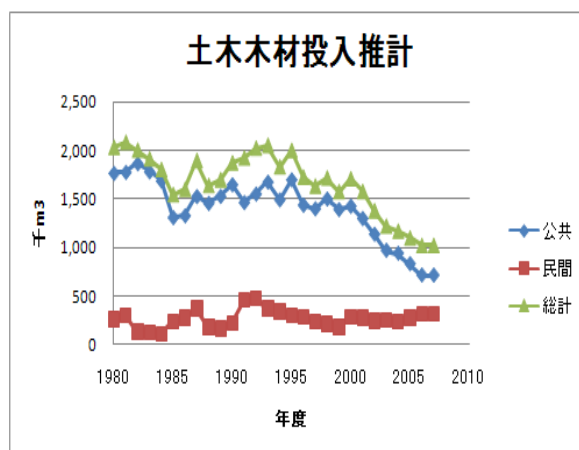
	木材計	素材	製材	合板6mm未満	合板6mm以上	仮設合板	仮設製材
1976	0.33255						
1979	0.20883	0.05734	0.11506	0.00124	0.00886	0.00945	0.01688
1982	0.10925	0.03147	0.04717	0.00031	0.00705	0.01034	0.01290
1985	0.21729	0.03594	0.08867	0.00149	0.01796	0.01118	0.06205
1988	0.08102	0.02329	0.03418	0.00026	0.00832	0.00500	0.00998
1991	0.14671	0.00667	0.03112	0.00077	0.01021	0.00550	0.09243

表に示した原単位を見ると、バラツキは大きいものの、徐々に減少している傾向が見受けられる。その後、減少を続けていたのか、底を打ったのか、興味深いのが如何ともしがたい。また合板は仮設も含め木材計の15%程度で、素材・製材が多く使われていることが分かる。

総工事評価額で示される統計値として、公共工事着工と民間土木着工がある。公共工事着工には建築工事も含まれているため、政府建設投資と政府建設投資土木の比率を掛け合わせ、土木分を分離した。平成12年度(2000年度)よりこの統計値は示されないため、建設工事受注動態調査の契約請負額の統計値を用いた。この数値は総工事費評価額よりも高い可能性があり、今後検討が必要である。



総工事費評価額推計に前表の木材計の原単位を掛け合わせて、土木への木材投入量を推計した。1991年度以降については、1991年度の原単位を用いたため、以降の実態の原単位が減少し続けているとすれば投入量は過大に評価されていることになる。



前掲図の2006年度の数値と比較すると、投入量推計が103万m3に対し、国産製材は52万m3である。これに合板が15%程度上乘せされ、またこの時点では製材用輸入丸太は3割であることから、輸入製材品が土木にも出荷されている可能性を考えると、それほどかけ離れた数値でもないように思われる。今後、さらに解析を進める予定である。

6.3 木橋における木材使用量の解析

年度毎に木橋に使用された木材の総量を推定した。入手できるデータが少ないため、計算値はおおよその値である。

日本集成材工業協同組合(日集協)でまとめた大断面集成材を使用した建築物の用途別・年度別棟数の推移により、木橋(木造橋)の件数が得られる。木橋の架設件数は、全てが網羅されているかは不明であるが、大断面集成材を製造する集成材メーカーは、ほとんどこの組合に所属しているため、集成材を用いた木橋件数はほぼ正確であると考えられる(木橋はほとんどが大断面であるため)。

日集協のデータは木橋の件数のみであり、個々の木橋の橋長や幅員などの詳細は不明である。一方、「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」(2001年)には39件の木橋に関する詳細なデータがあり、その一部には使用材積の記載もある。そこで、この文献から1987年以降の木橋(近代木橋)で且つ使用材積のデータが記載された計31橋について調べ、1橋当たりの使用材積を算出した。その結果、1橋当たりの使用材積は約

112[m3]となった。

ここで算出した1橋当たりの使用材積は、いろいろな橋梁形式における総使用材積を橋梁数で割って得たものである。実際には、橋長、幅員、橋梁形式、用途、鋼材やコンクリートの使用の有無等の影響を受けるが、ここではそれらは考慮されていない。したがって、得られた計算結果はあくまでも概算である。

木橋に使用された木材量推計

年度	S59～63	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	累計
木橋件数	10	8	13	5	14	24	20	36	39	23	17	14	13	15	14	3	3	4	2	277
合計	690	263	311	337	397	424	458	465	476	425	365	378	349	376	367	363	325	259	219	7247
木橋への使用材積推定[m3]	1120	896	1456	560	1568	2688	2240	4032	4368	2576	1904	1568	1456	1680	1568	336	336	448	224	31024
1橋当たりの平均使用材積[m3]	= 112																			

6.4 土木用木材の腐朽に関する課題

土木材料として木材の利用が少ない原因のうち、最も大きなものは、「木材は早く腐朽する」という思いこみにあると思われる。

最近の主要な木材に関する事典（辞典）である、①木材工学辞典（1982）、②木材活用事典（1994）、③最新木材工業事典（1999）、④木材工業ハンドブック（2004）について、「腐朽」に関する記載内容を調査した。その結果、①と②については樹種による耐朽性が「非常に大」、「大」、「中」、「小」等に区分されて示されているだけ、具体的な耐用年数の記述は無い。③についてはそれらの記述は無い。④のみは樹種による耐朽性の区分が示されているとともに、3×3×60cmの杭を用いた腐朽試験の結果を基に具体的な耐用年数を記載しているが、ヒノキ（心材）等では野外での耐用年数を7～8.5年とするなど、木材の太さを考慮した耐用年数となっていない。

問題点としては、木材を土木の構造材として用いる場合の耐用年数の記載はなく、細い杭の耐朽試験結果を示すなど、合理的な耐用年数を推定する手法が開発されていない。このことは、木製施設の維持管理計画の策定にあたり明確な根拠が得られず、土木において木材が利用されにくくなっている原因の一つと考えられる。

従って、今後は、土木の構造材として用いる場合の耐用年数を推定する手法を開発するとともに、維持管理手法も開発する必要がある。

木製構造物としての用途別課題、特性および適性の抽出を目的に、木製土木構造物の各用途に対し、それぞれの腐朽に係わる環境(A)および劣化後の取り扱い(B)の分類を試みた。A,Bの分類は、平成20年森林土木木製構造物施工マニュアルを参考にした(次ページ表)。この分類に際しては、同じ構造物でも、部位により条件や環境が異なる場合があり、今回は腐朽しやすい部位の条件を適用した。より詳細に分類、評価する際は留意する必要がある。

6.5 木材に関する土木工学教育における課題

土木工学系の大学、高専における木材に関する教育状況を調査して、土木工学専門教育に占める木材に関する教育の割合、教育内容を調査した。さらに、土木技術者として習得することが望ましい木材に関する項目について整理を試みた。

大学学部の土木工学教育課程で用いられることを想定して出版されていると考えられる、「土木材料学」に関する書籍を調査して、「木材」が他の材料と比較して、どの程度の比重で教えられているのかを間接的に推定した。調査した「土木材料学」に関する書籍は、①建設材料学、技報堂出版、(1976)、②土木材料学、コロナ社、(1986)、③現代土木材料、オーム社、(1990)、④土木材料学、鹿島出版会、(1994)、⑤新しい土木材料とその展開、山海堂、(1995)、⑥土木材料学、森北出版、(1996)、である。他の木材を含む全体のページ数に対する、「木材」の記載ページ数は、①～⑥で、それぞれ、4.5%、3.6%、14.7%、0%、3.8%、6.3%で、平均は5.5%である。これは、セメント・コンクリートの平均45.8%、鋼材の平均18.5%に比べて、明らかに少なく、大学の土木工学課程教育における木材の比重は小さいと考えられる。このことが、土木工学関係学生の木材に関する認識が低いことと、土木における木材の利用が少ない原因の一つとなっていると考えられる。したがって、土木における木材の利用を増加させるためには、土木工学教育における木材に関する教育を充実させる手法を考える必要がある。すなわち、土木工学教育において木材に関してどのような内容の教育を行うことが望ましいか、教育内容について検討する必要がある。木材に関する教育・研究者が積極的に土木工学の教育・研究に参加することも必要と考えられる。

平成 20 年森林土木木製構造物施工マニュアルにおける区分

A. 腐朽・劣化に係わる環境による区分

- ①水中・地中：酸欠状態であり，木材は腐朽しにくく，地上に設置した場合区比べて，長期間必要な機能を有している事例が多い。
- ②地上：気象条件の影響を受けやすく，変色・ひび割れ等を引き起こしやすい。腐朽が進みやすいのは，部材の接合部，割れ目，ボルト孔など，雨水が侵入しやすく乾きにくい箇所である。
- ③地際・水際：乾湿を繰り返す場所であり，栄養分も豊富であるために，腐朽・ひび割れ等の劣化が進行しやすい。

B. 劣化による取り扱い区分

取り扱い区分：木材は腐朽等による劣化を避けることができないから，木製構造物の計画に当たっては，施工後の取り扱いを検討し計画する必要がある。

- ①残置：構造物の必要性が失われた後は，設置した場所で腐朽等して自然に還元すること。
- ②撤去：構造物の必要性が失われた時点で取り片付けること。
- ③更新：腐朽等により構造物の機能が失われた時点で，再度設置すること。

各種木製土木構造物とその耐朽性・取り扱いに係わるマトリクス分類

大分類	代表的構造物	使用環境					取り扱い	
		水中	地中	地上	地際	水際	残置	撤去・更新
橋梁	梁・桁			○				○
	橋脚・橋台					○		○
ダム(砂防)	治山ダム					○	○	
	落石防護緩衝壁					○	○	
	残存型枠					○	○	
道路	舗装				○			○
	ガードレール				○			○
	柵・デリニエーター				○			○
	案内標識				○			○
河川・港湾	水路・流路		○				○	
	護岸					○	○	
	沈床工		○				○	
	水制工		○				○	
	防風・防砂柵		○					○
	棧橋					○		○
トンネル	支保材				○			○
	土留め矢板				○			○
鉄道	枕木			○				○
上下水	—							
擁壁	—							
のり面	のり枠				○		○	
	筋工				○		○	
基礎	杭		○				○	
	胴木		○				○	
仮設	土留め壁				○			
	コンリート型枠			○				○
	支保材			○				○
	足場材			○				○
	柵			○				○
	水路	○						○

※同じ構造物でも部位により劣化・腐朽条件が異なる場合がある。

6.6 林業における課題

地域材利用を拡大するにあたって必要となる条件は、需用者側、すなわち土木事業体に求められる条件と供給者側である森林所有者および素材生産事業体に求められる条件の大きく2つに分けられる。以下、それぞれについて見てみよう。

6.6.1 需用者側に求められる条件

しばしば、「安定的に集まらないから国産材は使えないのだ」という議論を耳にするが、必ずしもそうではない事例を紹介し、安定供給のための条件について考えてみたい。宮城県石巻地区では、針葉樹合板へのスギやマツの利用にめどが立った平成13年の地域材利用量は1万m³にすぎなかったが、平成17年には20万m³を超すまでに拡大した。この実現には、①素材に対

表-6.1 スギ50年生1haを皆伐した場合の収入例(万円)

	現状	コスト削減	備考
素材売り上げ	416		素材413m ³
素材生産費	368	248	8910円/m ³ →6000円/m ³
立木販売収入	48	168	
再造林支出	68	34	165万円→83万円
林業収入	-20	134	

注:素材価格は農林水産省(2008)木材需給報告書の12月の値から極積み料500円と手数料6%を引いたもの、伐出・運材費は林野庁(2006)素材生産費等調査報告書のスギ主伐全国平均を用いて計算した。

する緩い品質要求（末口径 14cm 以上であれば、2m でも小曲でもトビグサレがあっても受け入れる）、②大量かつ安定した需要（2 万 m³/月前後）、③毎月の現金決済という素材生産事業体にとって好条件が示されたことが大きい。これによって、安心して立木購入や機械投資を行えるようになり、伐出コストの低下にもつながったと考えられる。

このような拡大は、9000 円/m³(スギ 2m 材)というそれほど高くない丸太買い取り価格の下で実現された。低い価格でも丸太の供給が大量になされたという事実は、資源的な供給余力の高さを示しているが、一方で、皆伐後の再生林放棄問題を一部で発生させている。表-6.1 に伐期 50 年のスギ林経営の利子を考えない収支を示したが、現状では、立木販売収入がわずかで、再生林費用から補助金部分を除く支出が大きいいため、再生林をすると赤字となってしまうことがその背景にある。

以上のことから、需用者側に求められる条件としては、先に示した 3 つの条件とともに、高い丸太買い取り価格の実現という条件を指摘することができる。ただし、手入れ不足の人工林からは品質や形質のばらつきの大きな丸太が供給されることから、土木利用にあたっては、低コスト(簡易)加工が必要になるものと推察される。

6.6.2 供給者側に求められる条件

上述の合板用材の大量供給が可能になった背景には、素材生産事業体の低コスト供給があったことも指摘しておく必要がある。スギ皆伐の伐出・流通コストの全国平均が 8910 円/m³であった当時に、石巻地区では機械化や工場への直送によって 6000 円/m³程度のコストを実現していた。間伐においても 8000 円/m³程度であることから、利用間伐が進みつつある。表-6.2 に示したように、全国的には、補助金を投入しても収入が赤字となってしまうので、間伐を行わないか、あるいは切り捨て間伐となっているのに対して、石巻地区では森林所有者にそれなりの収入が残るようになっていることが大きな要因として指摘できる。つまり、伐出・流通コストの削減を通じて間伐材供給を拡大させるということが条件の一つということができる。

伐出・流通コストの削減によって、皆伐における収入も大きく改善するが、皆伐後の再生林を促進させて木材の循環利用の環を確立するためには、さらに再生林コストの削減が条件となろう。表-6.1 のコスト削減ケースでは、従来の造林コスト（植林、5 年下刈り、除伐 1 回、保育間伐 1 回で約 165 万円/ha）を半減させた場合について計算してある。この結果は、34 万円/ha の投資によって 50 年後に 168 万円/ha の収入を得る、すなわち森林所有者にとっては利回り 3.2%というそれほど悪くないものとなっている。

伐出・流通コストの削減によって、皆伐における収入も大きく改善するが、皆伐後の再生林を促進させて木材の循環利用の環を確立するためには、さらに再生林コストの削減が条件となろう。表-6.1 のコスト削減ケースでは、従来の造林コスト（植林、5 年下刈り、除伐 1 回、保育間伐 1 回で約 165 万円/ha）を半減させた場合について計算してある。この結果は、34 万円/ha の投資によって 50 年後に 168 万円/ha の収入を得る、すなわち森林所有者にとっては利回り 3.2%というそれほど悪くないものとなっている。

6.7 政策における課題

朝鮮戦争以降、日本の経済復興に伴い木材需要は拡大した。日本の林業は需要に応えるため過伐が進み、枯渇が危惧されるようになった。木材価格は上昇したものの、補助金な

表-6.2 スギ 40 年生 1ha を間伐した場合の収入例（万円）

	現状	コスト削減	備考
素材売り上げ	58		素材86m ³
素材生産費	77	55	11780円/m ³ →8000円/m ³
立木販売収入	-19	3	
補助金	15	15	
林業収入	-4	18	

しでは再造林が進められないという現在まで続く状況は既に現れてもいた。またこの時点では日本の木材総需要の約3割を薪炭材が占めていた。

このような状況を受け、衆議院通商産業委員会の木材部会での論議が行われ、昭和30年1月21日に「木材資源利用合理化方策」が閣議決定された。内容としては、第一に木材代替資源の使用普及の促進方策として、建築不燃化の促進、土建材料等の耐久化の促進、包装の合理化の促進、家庭燃料合理化の促進が挙げられ、第二に木材の生産・加工の合理化と高度利用の促進方策として、生産加工の合理化の促進、高度利用の促進が挙げられ、第三に森林資源の開発と保全の促進方策として、林道開設の促進、管理の改善普及の促進が挙げられている。

土木木材利用に関連する「土建材料の耐久化の促進」方策として「橋梁、その他土木施設土木仮設材料、杭、柱等は、鉄鋼、軽金属、コンクリート等の耐久製品につとめて切り替えるよう必要な措置を講ずると共に木材防腐をさらに促進すること。」が謳われている。この閣議決定を受けて各省庁がどのような具体的な施策を打ち出したかは今後の検討課題である。

一方現在では林野庁、農林水産省、総務省、文部科学省、厚生労働省、国土交通省、環境省が木材利用推進の取り組みを始めており、木材利用に関する意識が変わりつつある兆しである。

内容としては建築物関連のものが多いが、土木関連のものとして、林野庁が森林土木事業での木材利用の推進、国土交通省では公園・河川・道路・港湾での木材利用に取り組んでいる。

また議員有志による「循環型社会形成のための木材利用推進議員連盟」が結成され、提言を行っている。土木関連の内容としては、国による公的施設の建設・公共事業の実施等に係る木材利用計画の策定及び推進、が挙げられ、具体的事例として、景観の向上と癒し醸成のための木材利用として、ガードレール、高速道路の遮音壁、公園の柵、防雪柵、野外催事場や河川に係る施設が挙げられている。この提言を受け、どのような施策が講じられるかは今後の検討課題である。

6.8 おわりに

以上報告した課題以外に、土木部門における将来的な木材利用ポテンシャルや二酸化炭素削減など環境価値に関する解析を、技術ワーキンググループと連携しながら進める予定である。

土木木材利用において木材実需につなげていくためのロードマップの提案を目指して活動を進めていく。

7. 土木における木材の利用－課題と展望－Ⅱ

濱田政則、○佐々木貴信、豊川勝生、白石則彦
桃原郁夫、渡辺浩、石田修、沼田淳紀、高奥信也

7.1 はじめに

木橋や木製ガードレールのような道路施設から、木製ダムや流路のような治山・河川施設、木杭や魚礁のような地中・海洋施設など土木分野での木材利用に関する取り組みは様々である。技術ワーキンググループでは、こうした施設毎の事例調査を対象としたサブワーキンググループ（道路、治山・河川、地中・海洋、仮設材、・・・）を置き、主に技術的な視点からそれぞれの工種の特徴や課題を整理する。整理された課題は課題ワーキンググループにフィードバックして課題克服のための対応策の提案に結びつける。また、木材の土木利用方法に関して技術ワーキンググループとしての新たな提案の検討も行う。

7.2 土木における木材利用の技術的課題

木材を土木分野で利用する際に技術的な課題として挙げられるのは「設計基準がない」、「木材は強度が低い」、「木材は腐る＝耐用年数が短い」といったことである。ここでは、木橋を例にこれらの課題についての対応を見てみたい。

欧米では、木橋が鋼やコンクリート橋と同等に扱われ、設計基準も整備されているのに対して、我が国では木橋に対する明確な設計基準が確立されていないことが、コストや耐用年数の問題と同じく公共事業として採用されにくい要因の一つとなっている。設計基準がないがために、橋梁としての設計手順を踏まないで設計されてしまった結果、不具合を生じている例も小規模な歩道橋などで見られたが、最近になって、国土交通省や林野庁の外郭団体や土木学会などの学協会から木橋の設計、施工、維持管理に関する指針類が相次いで発刊されている（図-7.1）。

平成 15 年に財団法人国土技術研究センターが取りまとめ国土交通省から配付された「木歩道橋設計・施工に関する技術資料」は、平成 6 年に旧建設省と林野庁の共同

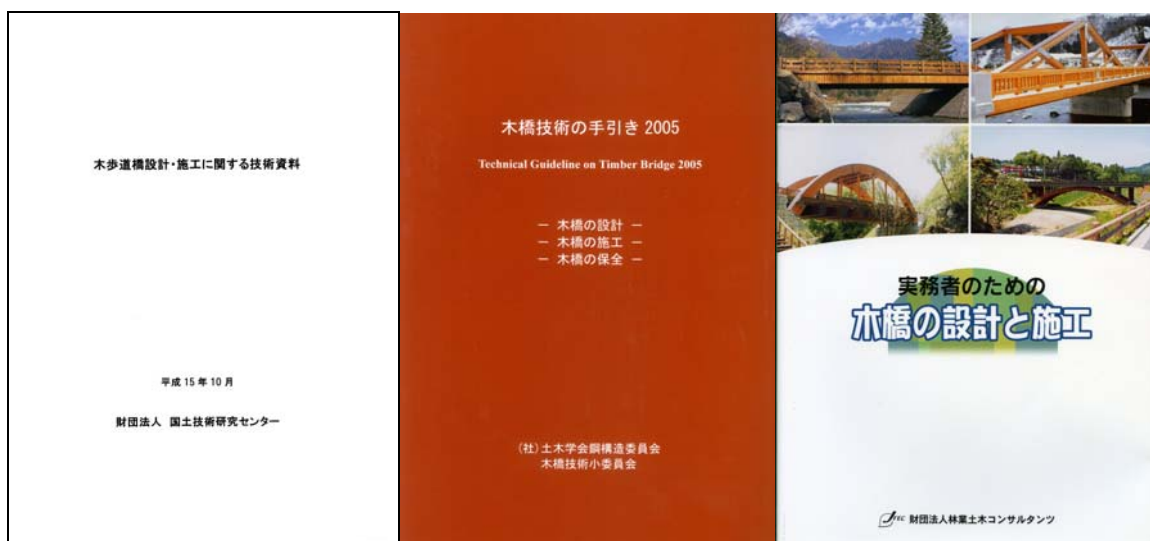


図-7.1 木橋の設計・施工・維持管理に関する技術指針

で設置された木橋の技術基準検討委員会が、実際のモデル橋（歩道橋）を設定し、設計や施工、構造試験を通して実用レベルでの基準を作成することを目的に検討した成果を集約したもので、木橋の設計・施工、実験、点検・管理の3編から構成されている。平成17年には財団法人林業土木コンサルタンツから「実務者のための設計と施工」が発刊されている。これは、同財団によって平成12年度から14年度にかけて実施された森林土木技術者向けの公開研修のテキストを再構成したもので、設計や施工、維持管理に関する事例が多数盛り込まれ、文字通り実務者のための技術書である。土木学会では、同じく平成17年に木橋技術小委員会から「木橋技術の手引き2005」が発刊され、木橋の設計、施工、保全の3編から構成されている。木橋の保全編では、全国318の木橋の管理者を対象としたアンケート調査を行い、維持管理の現状を紹介しているほか、点検、保守技術の解説も行っている。これらの技術指針の内容に共通しているのは、木橋の耐久性向上策や維持管理の方法について解説している点であり、木橋の分野ではこうした構造物の保全に留意しながら目標耐用年数を確保していくことが共通の認識となっている。維持管理に特化したマニュアルもいくつか整備されている。木橋技術協会では「木橋の点検マニュアル」を作成し、点検、維持管理の技術を備えた木橋点検士の認定も行っている。また、日本木材保存協会では木製外構施設のメンテナンスマニュアルを刊行しており、公園遊具やデッキなどの木製外構施設、木橋や木製ガードレールなどの道路施設を対象にした点検、補修の方法を解説している。

以上のように木橋の分野では、木材を土木構造物として利用する際に懸念される課題に対して、長年の取り組みにより設計、施工、維持管理に関する技術的指針が整備されつつあることを紹介しておきたい。さて、ここで、課題ワーキングの報告でも紹介している日本集成材工業協同組合の統計データから、大断面集成材を使用した木橋の架設数（使用材積）の年度別推移と上述の技術指針の整備状況の関係を表してみる（図-7.3）。この図から木橋の架設数は平成8年度をピークにして減少傾向にあり、技術的課題が解決されたと言っても直ぐには架設数の増加につながっていない状況であることが分かる。こうした傾向は木橋に限らず見られるもので、公共的な木材利用を積極的に進めるためには、低コスト化や課題ワーキングで取り上げている教育や政策といった技術以外の課題に対する対応の重要性を再認識しなければならない。



図-7.2 木製構造物の点検マニュアル

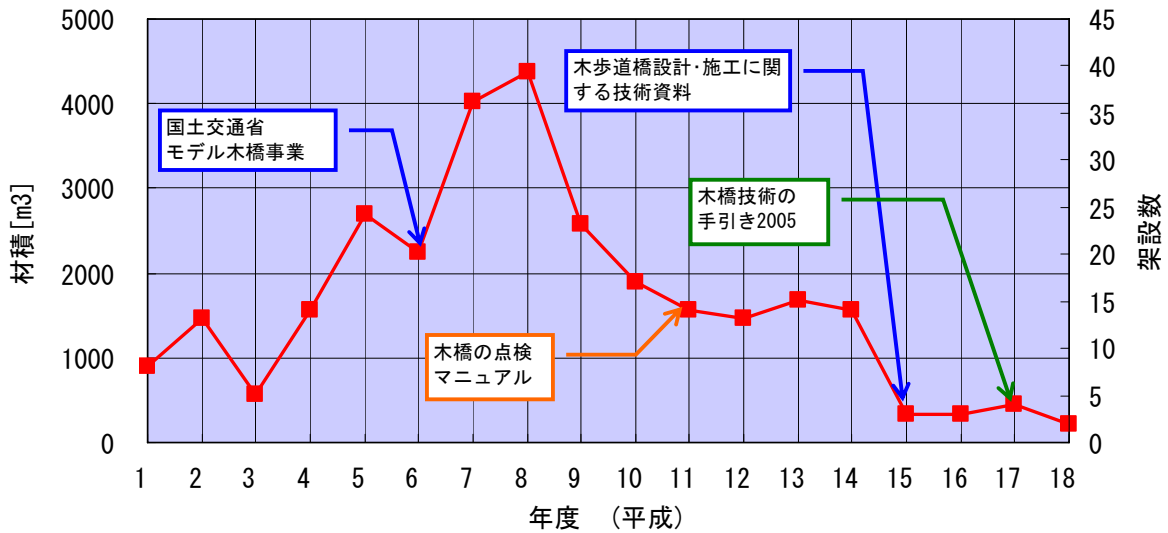


図-7.3 木橋の年度別推移

7.3 土木における木材利用の事例

土木における木材の利用方法は多種、多様であるが、木材の利用量としては、決して多量ではない。技術ワーキングでは土木分野での木材利用を積極的に進め、木材の利用量を増やしていくための方策を示すために、サブワーキングにおいて既往の多種・多様な事例を調査し、技術的な視点からそれぞれの工種の長所や短所、課題などを整理する計画である。整理された課題は課題ワーキンググループにフィードバックして課題克服のための対応策の提案に結びつけるとともに、新たな利用方法の提案の検討も行っていきたい。

土木分野での木材利用の事例については土木学会・自然素材活用技術研究小委員会（H16～H18）の報告書に詳細にまとめられている（図-7.4）。同委員会では、土木学会における地球温暖化対策の一環として、CO2排出量の抑制に効果を発揮すると期待される「木・石・土」などの自然素材を活用した土木構造物に着目し、このうち木材の活用方法について治山、道路施設などの事例を多数調査してそれぞれの特徴や設計、施工、維持管理に関する情報を整理している。

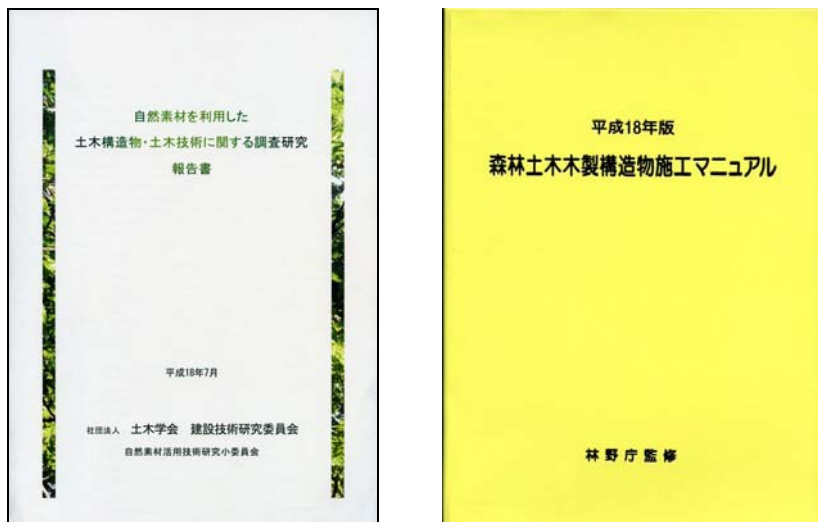


図-7.4 土木における木材利用事例の参考図書

また、林野庁では、平成 16 年に森林土木木製構造物設計等指針を制定しているが、この指針と共に、全国各地での木製構造物の事例を紹介した「森林土木木製構造物施工マニュアル」を発売している。事例には特徴や施工方法の他に材料や歩掛表なども示してあり森林土木の設計実務者の必携書となっている。

こうした事例集を見ると、木材の土木的な利用が盛んなような印象も受けるが、これらの実績の多くは林野関連の森林土木事業であり建設関連のいわゆる土木事業での実績はあまり多くない。この傾向は林業が盛んな地方自治体の中にあっても同様で、森林土木事業で使っている林道施設や治山施設が、土木事業の道路施設や砂防施設に使われることは少ない。こうした格差をなくし、土木事業での木材利用を活性化させることが正しく「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」の目的とするところであり、技術ワーキングではこうした事例集も参考に調査研究を進めていく計画である。

以下に各サブワーキングが担当する分野での代表的な事例を紹介する。

7.3.1 治山構造

山地および溪流では浸食にともなう災害を防止するために設置される施設が治山ダムである。この治山ダムの材料に木材を用いる研究が 1998 年頃から京都府立大学と京都府農林水産部によって進められた。実際に同大学の演習林や京都府管内に施工された木製ダムについて安全性や耐久性に関する多くの調査が行われ、その結果、基本的な設計指針が示されたことによって、木製ダムの取り組みは全国的に広がっている。一般に木製ダムと呼ばれている施設の多くは、緩勾配の溪流の不安定土砂の移動を防止する目的で設置されるものであり、土石流対策として施工されるような大規模で強固な砂防ダムとしての性能を求められるものではない。また、木製ダムは溪流に沿って複数基配置されることが多いが、写真-7.2 のように上下流の木製ダム工の間には溪流の乱流防止のために木製の流路工を設置し、山腹斜面には同じく木製の土留工を設置するなど、木製ダムの前後の構造物にも木材を積極的に利用する試みが行われている。



写真-7.1 木製ダム（京都府京丹後市） 写真-7.2 木製ダムと流路工（京都府京丹後市）

7.3.2 地中構造

水中の木材は腐朽しないという性質を利用して、地下水面より下方の軟弱地盤を対象として木杭による地盤改良、杭基礎としての利用方法が考えられる。堤防盛土などの底部軟弱地盤（図-7.5）に杭体を地盤に打ち込むことにより地盤は締め固められ、

せん断強度が増加する。また、締め固め効果により土中の間隙水圧が上昇、粘土層などからの排水・圧密促進効果により軟弱地盤の安定化に支持力強化が期待される。具体的な工法としてはパイルネット工法がある。この工法は、軟弱地盤に既成杭（木、コンクリート、鋼など）などの杭を適切な深さに打ち込んだ後、杭頭部同士を鉄筋やロープ等の連結材で連結し、その上部に土木用シートなどを敷設して盛土を行う軟弱地盤改良工法である。写真-7.3 は道路盛土基礎地盤でのパイルネット工法の適用状況である。

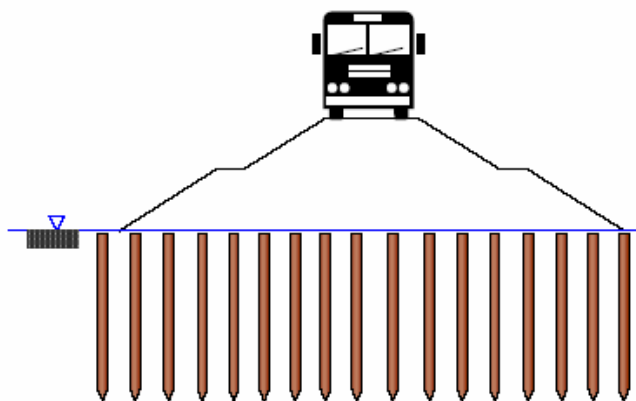


図-7.5 堤防盛土などの底部軟弱地盤



写真-7.3 パイルネット工法

7.3.3 道路構造

(1)木橋

我が国の木橋は、社会情勢の変化により一旦は消滅したが、近年、集成材などの木質材料の製造技術や加工技術の革新により、大型車も自在に走行できる全く新しい木橋として生まれ変わっている。数十メートルをひとまたぎするような大型木橋も架けられるようになっており、その適用範囲はますます広がっている。橋長 140m の日本一の規模を誇る木橋（写真-7.4）はスギの大断面集成材を使用した 2 車線の車道橋である。こうした大規模な木橋の場合、集成材の大断面ブロック部材の製作、加工および接合部の取り付けまでを工場で行い、現場で鋼製の接合部をボルト締めして組み立てていく方法は、鋼橋の架設スタイルと同じである。このことにより鋼橋と同様の施工管理も可能となった。この橋は橋脚間が 50m のスパンとなっているが、かつては、これほど長い木橋を架けるためには、河川にいくつもの橋脚を立て、多数の製材を細かく組み合わせることが当たり前であった。これに対し最近の木橋では集成材による大断面、長尺化によりシンプルな作りとなっていることがわかる。このことにより腐朽の弱点となる木材同士の接合箇所を減らすことができ、耐久性の向上も期待できる。こうした近年の木橋では、風雨に曝される部材や木口面は銅板で覆うなど、細部まで気を配った耐久性向上のための工夫も施されている。

木橋は木材の土木利用の中でもアピール効果の高い構造物であるが、中でも歩道橋は利用者との距離が近く、木の質感を見て、触れて楽しむことができるため、公園のアプリケーションのひとつとして人気が高い。また設計条件等の制約も少ないため、デザイン性などの自由度も高い。写真-7.5 は国土交通省のモデル木橋事業で架けられた歩道橋の一つで

あり、屋根付きの木橋となっている。高温多雨な日本では耐久性向上に対する屋根の効果は大きい。ただし風荷重が大きくなるという欠点もある。この橋の場合、マディソン郡の橋などで知られる欧米の屋根付き橋と比較して側面が解放されているが、トラス構造を用いることで風荷重の軽減を図りながら雨の影響を抑えようとする工夫が見られる。



写真-7.4 かりこぼうず大橋（宮崎県）



写真-7.5 御幸橋（高知県）

(2)木製防護柵・防風柵

スギやカラマツなどの間伐材を活用した防護柵（ガードレール）が全国各地で増え始めている。1998年に「防護柵の設置基準」が改定され、改定以前は構造や材料（金属またはコンクリートに限られていた）などの仕様が具体的に規定されていたが、改定後は必要とする性能が規定される「性能規定化」によって、要求性能（強度や耐久性）を満たせば木材を用いたガードレール（車両用防護柵）の採用も可能になった。ガードレールに要求される性能には、車両の逸脱防止、乗員の安全性、車両の誘導性能、構成部材の飛散防止などがあるが、これらの要求性能を確認するために、大型貨物車と乗用車を用いた2種類の衝突実験を実施することが求められる。宮崎県や長野県のメーカーが中心となって開発され、この厳しい試験に合格したいくつかのタイプの木製ガードレールが林道を中心に設置延長を延ばし一部の国道での設置も行われている（写真-7.6）。

東北や北海道地域では冬期間の地吹雪を防ぎ視界確保のために、道路沿いに防風柵が設置される。また、海岸沿いでは、防砂林の生長保護を目的にも用いられる。写真-7.7は、秋田県内に試験施工された木製防風・防雪柵であり、鋼製枠に幅10cm、厚さ×2.4cm断面のスギ板を張ったシンプルな構造となっている。昨今のマツくい虫被害によって、防砂林の再生が必要になった箇所などにも景観性に優れた木製防風柵の設置機会が増え、間伐材の利用が進むものと期待されている。



写真-7.6 国道 218 号線に設置された木製防護柵



写真-7.7 木製防風柵（秋田県）

7.4 おわりに

以上で紹介したように、基礎杭などの地中構造や、ガードレールなどの道路構造等への木材利用は道路延長を考えれば計り知れないポテンシャルを有している。我が国の木材加工技術の発展と木の文化の知恵があれば、技術的課題の解決はそれほど難しくないかもしれない。しかし、「木材資源利用合理化方策」のもと「橋梁、その他土木施設土木仮設材料、杭、柱等は、鉄鋼、軽金属、コンクリート等の耐久製品につとめて切り替えるように・・・」という方策で木材を使わなくなった我が国の社会的背景を考えると、道路事業などの土木分野で木材利用を拡大していくことは容易ではないであろうが、横断的研究会では森林、木材、土木のそれぞれの立場の研究者や技術者が連携して、土木分野での木材利用の障害となっている多くの課題を解決し、国産材の利用促進による環境貢献に取り組んでいきたい。

8. 木製構造物に適した設計・積算・施工・検査

京都府農林水産部森林保全課 高奥信也

8.1 はじめに

近年、地球規模での温暖化が大きな環境問題になっており、そうした中で木材は再生産可能で加工に要するエネルギーが少ないことや木材利用が森林整備を通じ二酸化炭素の吸収および固定による温暖化防止につながるだけでなく、地域の活性化につながることから木材を利用した構造物が各地で建設されるようになってきた。一方、木材に適した設計基準等が未整備であることや耐久性に問題があるとして、工法の開発や利用拡大が進まないという問題も指摘されている。

本稿では、京都府において平成 11 年度から設置を進め、現在では 70 基を超えた木製治山ダム（写真-8.1）の開発から得た経験をもとに、土木における木製構造物に適した設計、積算、施工及び検査について述べる。

8.2 木製構造物に適した設計・積算・施工・検査

現在、多くの土木技術者が環境面や生態系への配慮から木材を利用した工法を採用しようと実際に設計・積算をしても、適正な歩掛りや基準がないことや価格が非常に高いという問題から採用しないことが多いといわれている。また、施工の段階においても「木材の伐採時期と工事の施工時期が一致しない」という木材の供給面における問題点も指摘される場合もある。そのため、腐朽による耐久性の問題だけでなく、発注者と受注者の両者が木材は高くて使いにくいという意識を持つことになり、木材の利用拡大が進まない一因となっている。

木材を構造物の部材・材料として使用する場合には、木材の特性を十分に理解し、その特性を活かした設計等を行うことだけでなく、地域の森林事情や木材流通等についても必要な情報を得ることが重要になる。京都府で設置した木製治山ダムは、土木事業では非常に使いにくいといわれた木材を、土木で利用するため何が問題であるかを生産者である森林組合等と打ち合わせを行ったことから、京都府では一般的な工法といわれるようになった経過がある。今回は、「設計」、「積算」、「施工」及び「検査」について発注者側、設計者側の立場から、基本的な考え方を紹介する。

8.3 設計

設計段階において木材利用を検討する場合は①材の特性を活かした設計②地域の森林の資源を含む木材事情を把握した設計を行うことが重要である。

8.3.1 木材の特性を活かした設計

京都府で開発した木製治山ダムの設置基準を表-8.1 に示す。これは治山ダムの機能や設置箇所の地理的条件そして木材の特性を考慮して京都府が独自に定めた



写真-8.1 木製治山ダム（台形型）

ものである。開発当初はヨーロッパで使用されている基準を参考にしていたが、開発を進める上で設計者がわかりやすい形に整理し、工法選択を容易にした。ただし、この設置基準についても、開発後 10 年を経過した現在、より現地条件や木材の特性を考慮し、再度見直しを実施する必要があると考えている。

まず、区分 A の 2 条件は必須とし、区分 B 及び C については各区分ごとに 1 つ以上の条件を満たすものとした。区分 D は特例として A、B、C に関係なく単独で実施可能な条件とした。

表-8.1 京都府木製治山ダム設置基準

区分	設 置 条 件	備 考
A	① 大規模な土石流の発生する可能性が低い小溪流 ② 補修や維持管理が容易な場所	必 須
B	③ 周辺が樹木で被われており日射の少ない箇所 ④ 施工後比較的短期間に植生が進入し活着、生育する荒廃地 ⑤ 冷涼な気候で常に流水のある溪流	選 択 (1 つ以上満 たすこと)
C	⑥ 人家等に近くない森林地帯 ⑦ 環境保全、景観保全が重要な流域 ⑧ 山腹工における溪間工的土留工 ⑨ 地すべり地帯	選 択 (1 つ以上満 たすこと)
D	⑩ 災害後の応急復旧 ⑪ 仮設として用いる場合	特例 (単独で可能)

区分 A は、木製構造物の耐久性が不確定である現時点では、この 2 項目については必須としている。ヨーロッパでは高さ 15m を超える大型の木製ダム（写真-8.2、8.3）が建設されているが、やはり大規模な土石流が発生する可能性がある溪流では堤体の安全性から避けるべきと考える。また、木製構造物は適正な維持管理をすることによって構造物としての機能が維持されるため、点検や維持管理が容易な場所も必須とした。



写真-8.2 オーストリア木製ダム



写真-8.3 オーストリア木製ダム（建設中）
高さ 15m を超える大型ダム

区分 B は、木材の欠点とされる腐朽や劣化に対して考慮すべき条件を選択することとしており、③は直射日光等によるひび割れ等の劣化を防ぐことを目的としている。ひび割れが発生すると、そこに雨水が侵入し腐朽菌が繁殖しやすい環境になりやすい。また、そのような箇所には腐朽菌が侵入すると、年輪方向に腐朽が進むため外観では健全に見えるため、腐朽の程度がわからない場合がある。

④は木材が腐朽しても植生が侵入することでその機能を代替することが可能な場合であり、主に溪岸の固定や崩壊地復旧を目的として設置する場合に適用する。

⑤は腐朽菌の繁殖を抑えるために酸素を遮断するためであり、この条件に適した箇所であることが堤体の機能を維持するうえで最も重要であると思われる。京都府では木製治山ダムを設置する個所は、基本的に⑤の設置基準に合致することとしている。平成 11 年に京都府で最初に設置した 3 か所の木製治山ダムはこの条件に合致した箇所であり、設置当初は 10 年程度で腐朽するだろうといわれていたが現在も機能を維持し、本体部分にはほとんど腐朽がみられない。（写真-8.4、8.5）



写真-8.4 平成 11 年設置木製治山ダム
(京丹後市丹後町三山)



写真-8.5 平成 11 年設置木製治山ダム
(本体部) 流砂等による摩耗が
みられるが健全

区分 C は治山ダムとしての機能や付加価値を考慮した基準であり、森林地帯や環境保全等を目的とした場合や植生の導入を前提としている。また、⑨の地すべり地帯であるということは、木製構造物が他の構造物に比べて比較的軽量であるが強度が期待できるという木材の特性（比重が小さい割に強度が大きい）を考えたものである。また、構造が枠組や材を連結し堤体内に栗石等を充てんするというものであるため、地すべりのような側圧等に対しても堤体が破壊されないためヨーロッパにおいても採用されている。(写真-8.6、8.7)



写真-8.6 スイスの地すべり地帯の
ダム木材と石材を組み
合わせたもの



写真-8.7 スイスの地すべり地帯の
木製流路工植栽木により
将来的に機能を代替する

以上の基準のほかに、溪床勾配が 10% 程度以下であるということや、上下流のいずれかにコンクリート製のチェックダム（治山ダム等）が配置されていることも重要な基準になっている。

8.3.2 地域の森林の資源を含む木材事情を把握した設計

木材（間伐材）を使用する場合には、地域の木材事情を十分に把握して設計する必要がある。これは、コンクリートや鋼材を使う場合と大きく異なることであり、非常に重要な

ことである。現在でも木材を利用した工法ということで、マツ材を基礎杭等に利用した工法が発注されたということを知ることがある。マツ杭は過去に多く建築物の基礎等に利用されたことがあり、解体や改築時に 100 年近く土中にあったものが腐朽せずほとんど原形のままで発見されることがあるくらいである。しかし、マツノザイセンチュウによるマツ枯れがここ 10 数年で全国（北海道と青森を除く）に広がり、地域によっては壊滅的な被害を受けたところもある。そのため現在のマツ材の流通は過去と比較して非常に少なく、土木資材として利用するには非常に高価なものとなる。過去の標準設計がマツ材であるという理由から、マツ材を設計に計上しても受注者が苦勞することになる。

京都府の木製治山ダムは、利用が少なくなり、間伐材として伐採されても山に放置されることが多くなった中目材と呼ばれるスギ材の利用拡大を目的とした。そのため末口 18cm から 22cm の中目材を高さ 17cm の太鼓材として利用する設計を行っている。また、山から搬出される材の長さは京都の場合 4m で搬出されることが多いため、4m を半分にした 2m 材を基本とした設計としている。搬出材の長さは地域性があり、秋田県では 3.6m で搬出されるのが一般的である。秋田県で京都府の設計方針をそのまま用いて、長さ 2m 材を標準設計とすると、2m 材をとったあとの 1.6m が全て不用になり、2m の材でありながら 3.6m 材の価格と同じということが発生する。そのため秋田県で設計される木製治山ダムは 1.8m 材を基本とされている。(写真-8.8)



写真-8.8 秋田県木製治山ダム
(オールウッドタイプ)

また、木材の伐採は 1 年中行われることはなく、特に夏場は木材の流通が少なくなることは土木担当者の中ではあまり知られていない。公共工事等の発注時期や工事の最盛期は夏場が多く、材の流通が少ない時期に木材利用工法を採用し発注しても、なかなか材が集まらないということが発生する。工期内での完成のため、また材料の入荷で工事が止まることを避けるため、木材の流通が少ない状況で多少高くても仕入れるということが行われる。木材は使いにくくて高いということを受注者からよく聞かされるのは、このような木材流通の特徴が原因である場合もある。そのため、発注者側が木材の流通や在庫数等を地域の市場や関係者から情報を集めることも重要となってくる。

8.3.3 その他

木製構造物の設計において、外力の影響を受けることが少ない簡易構造物や仮設構造物を除いて設計段階においてその構造物の安定性、安全性を検討する必要がある。その場合、安定性の検討等に用いる木材の許容応力度は、建築基準法施行令等に定められた値を参考とする場合が多い。

8.4 積算

木材利用工法を採用し積算する場合、基本的には地域の流通価格を市場等から見積ることとなる。木材価格は需要が増えると価格が上昇する傾向がある。生産量に対して需要が増えると、市場等で数量を確保する必要から多少高くても購入する場合がある。土木事業において木材を使用する場合、積算時に採用する工法が、木材のどの機能を最低限必要とし、どのような形で使用するかを十分に理解し、発注時に必要な性能を詳細に表示することで木材価格を下げる事が可能である。



写真-8.9 木製防風柵

木製防風柵(写真-8.9)は海岸林を造成する場合に植栽木を塩害や強風から守るため、丸太を組み合わせたもので植栽木が成長するまで、その機能が維持されればよいものである。標準設計は直径10cmの丸太を並べることから、10m当たり10本ということになる。防風柵の機能は高さが確保され、木材が隙間なく連結されていけば良いため、厳密に10cmの材を並べるとは、構造物の機能から必要のないことである。この場合、標準設計を参考として10cm程度の材を隙間なく連

結するという設計にすることで、木材の選択範囲が広がり価格面においても有利になる。ただし、受注者側としては従来の建築資材と同様の施工管理や品質管理をするため、通直で太さの揃った材を集める場合がある。木材利用において大きな障害となる価格面での問題であるが、木材の特性、流通や木材利用工法の特性を理解することで、ある程度は解決すると考えられる。また、木材利用工法は、ほとんどが単純な構造で現場における加工も可能であることや、施工方法についても人力で作業できる単純作業が多く、専門的な道具や器具をあまり使用しないことから、積算において大きな割合を占める人件費(労務費)について他の工法よりも有利である。以上のように木製構造物を積算する場合は必要な性能を理解した上で、適正な歩掛を採用して行くことが重要である。

8.5 施工

木材は、通常のコクリートや鋼材と材料としての特性が異なるため施工方法や施工管理をその特性に合致したものにする必要がある。しかし、8.4でも述べたが、施工者としては従来のコンクリートや鋼材と同様の施工管理を求められることから非常に扱いにくい材料とされる場合が多い。これは、施工管理基準が木材構造物に関してまだ整備されていな

いことが原因であるが、木材を利用した種々の工法が各分野で開発中であり、施工事例等も十分にそろっていない現状ではやむを得ないと思われる。今後は、工法等の開発と並行して施工管理基準等も整備していくことが木材利用の拡大につながるものであると考え。

表-8.2 に京都府の森林土木事業における特記仕様書を示す。比較的木材利用が進んでいるといわれる京都府でも非常に簡単で、有害な腐れや割れというものが具体的に示されていない。これらは構造物が必要とする機能と木材に求める機能等を総合的に考慮して決定する必要があるため、非常に困難なことであるが、早急に整備することが求められている。

表-8.2 特記仕様書（森林土木）

第 20 条（木材の使用・丸棒製品・管理基準）		
1	本工事に使用する、木材は設計図書に明示された規格を有するものとし、府内産材を使用すること。	
2	搬入した木材については、生産地が確認できる各種伝票を保存することとし、監督員による確認を受けなければならない。	
3	設計図書に示す寸法については、特に明示する場合を除き末口寸法とする。	
4	本工事に使用する木材は、使用するまで変質しないように保管しなければならない。	
	また、監督員が有害な腐れ、割れ等により不相当と認める場合には請負者は、自らの責任と費用負担により速やかに取り替えると共に、新たに搬入する材料については、再検査（又は確認）を受けなければならない。	
5	本工事に使用する丸棒製品は、京都府産材木材証明を受けることができるものとする。	

8.5.1 施工管理基準

京都府の木製治山ダムは通常のコンクリート治山ダムと違い、含有する水分により収縮や膨張が発生することがあるため独自の施工管理基準を定め管理することとした。（表-8.2）

この基準は従来の治山ダムの施工管理基準と比較して緩やかな基準としている。特に基準高に対する管理基準は従来の構造物の場合、構造物本体の基準であるが、木製治山ダムの場合は部材を基準に設定している。

表-8.3 木製治山ダム施工管理基準

位 置	規格値	摘要
高 さ	± (段 数 × 3) mm	17cm を 1 段 と す る
延 長	± 50mm	
幅	± (本 数 × 3) mm	λ 型 の み 適 用

注) 台形型の場合の幅については従来の治山ダムと同等

8.5.2 施工方法

木製構造物の施工において重要なことは、耐久性に影響を与えるような弱点となる事項を施工者が理解することである。たとえば、雨水が滞留しやすい部分を上面でなく下向きに設置することで腐朽菌の繁殖しやすい環境を少なくすることができる。特に土木における木材使用は屋外での木材利用ということから、雨水や虫害といった木材の耐久性に影響を与えるものについて考慮する必要がある。

また、施工現場での保管方法についても、直射日光や湿気の多いところでの保管は避けるべきで、やむを得ず長期間保管する必要がある場合は、直接地面に接しないように風通しがよく木材の品質に影響を与えないようにする必要がある。

(間違った施工事例) コーチボルトの施工

木製構造物の連結等でよく用いられるコーチボルト(写真-8.10)であるが、本来は締め付けにより木材の連結を行うが、不慣れな業者の場合、スクリーナールと間違え、ハンマー等の打撃で打ち込む場合がある。このような施工を行うと期待している連結強度が確保できないだけでなく、木材内部に割れ等が生じることにより、木材全体の耐久性にも影響を与える場合がある。



写真-8.10 コーチボルト

8.6 検査

木製構造物における検査で重要な項目は次のとおりである。

- ① 施工管理基準に基づき施工されているか
- ② 施工方法が適切で、部材の欠点となるような傷、損傷がないか。
- ③ 地域の活性化や振興を構造物の目的の一つとしている場合、地域産材であるか。

また、8.2 から述べてきたことを十分に理解したうえで検査することが大切であるが、検査基準についても施工管理基準と同様に未整備であるため独自基準等を策定する必要がある。

なお、工事完成後に行う工事成績評定では、京都府の場合、木製治山ダムに関しては独自の評価基準を策定しており、工事の出来栄等を工事成績評定で反映できるようにしている。ただし、木製構造物全体では、まだまだ評価項目等が少ないために、これらの基準も策定していく必要がある。

8.7 課題

木製構造物に適した設計・積算・施工・検査ということについて述べてきたが、土木部門における木材利用の各基準や施工方法が未整備であることが、木材利用の障害になっていると考えられる。特に、施工管理基準や検査基準を早急に整備することが必要であると考えられる。

木材を利用する場合、多少価格面において他の工法と比較して高くても環境面において優れているから利用する場合がある。しかし環境面において優れていると言われる木製構造物であるが、具体的な数値や価格で表すことは難しい。そのための研究や算出方法につ

いても今後の課題であると考え。また、木材価格の安定のための地域の取組、例えばストックヤード等を利用した供給体制の整備やGISを利用した資源情報の共有による無駄のない工事発注等が必要と考えられる。

8.8 まとめ

京都府において木製構造物（木製治山ダム）を導入して10年が経過した。当初は木材の耐久性や腐朽という問題をどのように解決するか、また、現在の基準に合致した安全な工法を多く開発することにより利用拡大が進むと考えていた。しかし、それだけでは価格面や担当者の変更等ですぐに使われなくなってしまう。土木分野において木材利用を今後も進めるためには、設計・積算・施工・検査ということを総合的に考慮し、生産者、設計者、発注者及び受注者の立場に立った整備が必要であると考え。

また、京都府では木製治山ダムに関しては、「木製治山ダム検討会」を部内で開発当時から立ち上げ、毎年、問題点等（主に歩掛りや施工方法）について検討を行ってきた。実際に工事の担当者から問題点等について報告を行い、情報を共有することで、担当者が異動しても通常の工法と同様の設計・施工ができるような体制作りを目指してきた。そのため、新たな工法として昨年から取り組み始めた木製残存型枠においても、比較的問題なく担当者に受け入れられている。このような取り組みは大変であり、時間のかかることであるが、木材利用を進めるうえでは重要なことの一つであると考え。この木製残存型枠の導入にあたっては、先進地である愛媛県や秋田県の事例を参考に、京都府の木材事情を考慮して開発を行っている。このような他府県との情報交換と情報の共有は、木材利用を進める上で有効的な手段であり、京都府としても今後も木材利用の情報交換のネットワークを広げるとともに、積極的に情報提供をしていきたいと考えている。

9. 耐久性調査を踏まえた維持管理

京都府立大学 田淵 敦士

9.1 はじめに

京都府では平成11年度(1999)から木製治山ダムを施工している。スギ間伐材などを有効利用することで、森林整備を促し、木材が循環型資源として機能することに貢献するのがその目的である。本稿では、平成19年度に実施した、木製治山ダムの腐朽調査をもとに、屋外利用における木材の維持管理について検討する。

9.2 耐久性調査概要

9.2.1 耐久性とは

構造物としての耐久性を考えたとき、その評価は出来ていない現状がある。その理由として、「耐久性」というのは何なのか、明確な定義や議論は進んでいないということがあるように思う。建築においては、建物の寿命を考えると、主に社会的寿命と、物理的寿命の両者を検討する。現代社会においては、物理的寿命 > 社会的寿命であることが多く、必要以上に環境負荷をかける傾向が多数派である。それに対して、木材の土木利用を考える際には、屋外利用に供することが多く、物理的寿命 < 社会的寿命となる場合が多くなるのではないだろうか。理想を言えば、物理的寿命 = 社会的寿命となるのだが、あくまで理想であり、現実問題としては、どちらか先に来る寿命に対する対応を考えなければならない。

さて、筆者は京都府林業試験場に奉職中に屋外利用木材の耐久性についての調査を実施した。屋外利用木材といっても多種多用にわたっており、前述した通り、「耐久性とは何ぞや?」ということに対しても明確な答えがないという状況であった。調査開始当初、対象としたのは、屋外でスギを用いた京都府営工事であった。図9.1～9.7に、そんな中調査を実施した対象を事例を紹介する。いずれも林務関係の現場においてしばしば目にする事例である。

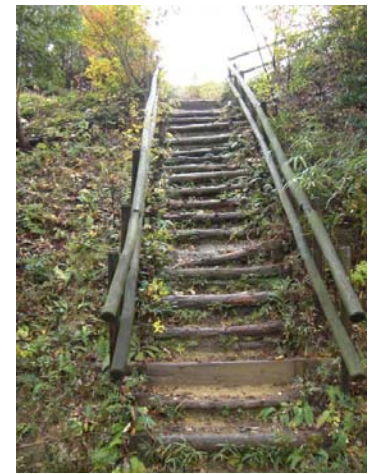


図-9.1 階段



図-9.2 柵・土留め



図-9.3 側溝蓋



図-9.4 残存型柵



図-9.5 木工沈床



図-9.6 落石防護柵



図-9.7 谷留工

しかし、「耐久」とは、当初想定していた性能が持続することであり、多くの場合、想定する性能が明確ではなかった。つまり、何かしらの設計を行い、作られたものであるからこそ、耐久性が検討できると考えた。

そこで、耐久性を定義するために、調査対象を限定することにした。屋外でスギを用いた工事のうち、強度に関する設計を要求されているのは、木製治山ダムのみであり、また、京都府内各地に建設されていることから、調査対象として最も適していると考えた。

木製治山ダムの耐久性について検討する上で、次の項目について考えた。

1. 部材の残存強度と周辺環境
2. 設計強度と残存強度との関係から耐久性を定義すべきか否か

まず、1については、設置個所に赴いて、部材を採取し、強度試験をすることによって調べることができる。実際、今回の調査においても、施工年度別に3箇所抽出し、部材についても調査を行った。木製治山ダムの部位は、主に常時冠水状態にある放水路部と、乾湿を繰り返している、あるいは湿潤な環境にある袖部に分けることができる。京都府の木製治山ダム設置基準を見ても、常時水が流れているということがあげられている。2については、さらに議論、検討を要する項目である。なぜなら、木製治山ダムが目指すところは、治山ダムは将来的には自然に帰るものであるという理念が存在しているからである。木製部材を用いた構造物を作ったのは植生が回復するまでの一時的な堰堤を確保するためで、回復したのちは自然に任せるという理念が見え隠れしている。この理念を仮定すれば、大雑把ではあるが、図-9.8または図-9.9のような強度推移をたどる。部材の強度は時間とともに劣化し、強度が下がっていく。一方で、周囲の植生の働きにより、堤体の安定が増していく。両者を足し併せること、堤体の本来の強度となる。耐久性を残存強度で定義するの

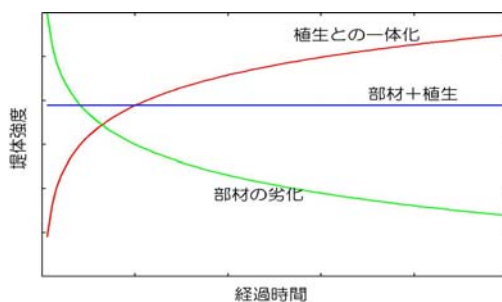


図-9.8 堤体強度が一定と仮定

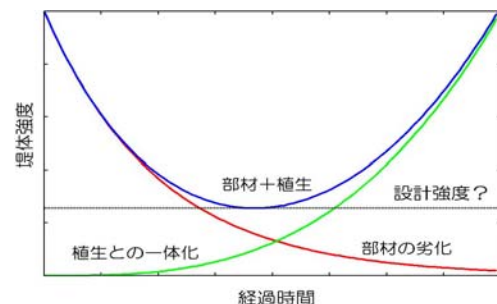


図-9.9 植生との一体化が指数関数的に推移すると仮定

であれば、部材の強度低下とあわせて、植生と一体化した堤体の強度を評価する必要がある。果たして、図-9.8のようなモデルを考えればよいのか、図-9.9のようなモデルにすべきなのか、両者とも異なる推移をたどるのか。木製治山ダムの耐久性を厳密に設計する際に、解明しなければならない点の一つであろう。

9.2.2 調査方法

調査対象は、平成11年度から17年度にかけて京都府で施工された木製治山ダムで、この中から施工年度別に1～3基を選んだ。平成19年度の調査では計14基について調査した。調査をする部位は、常時冠水の状態にある「放水路」と、乾湿繰り返しの環境にある「袖」とした。各木製治山ダムにおいて、放水路と袖から各10本の丸棒（太鼓挽）を選び、ピロディン打ち込み深さの計測を行った。さらに、このうち36本の部材については、取り外して実大曲げ試験に供した。

表-9.1 調査箇所

(括弧内は部材取り外し個所数)

施工年度	放水路	袖	場所
平成11年度	2(2)	2(0)	鹿原、三山
平成12年度	3(3)	3(0)	三山、上弓削
平成13年度	1(1)	1(1)	三山
平成14年度	2(1)	2(2)	鹿原
平成15年度	2(2)	2(2)	日吉
平成16年度	2(0)	2(2)	宇治
平成17年度	2(0)	2(2)	上常吉

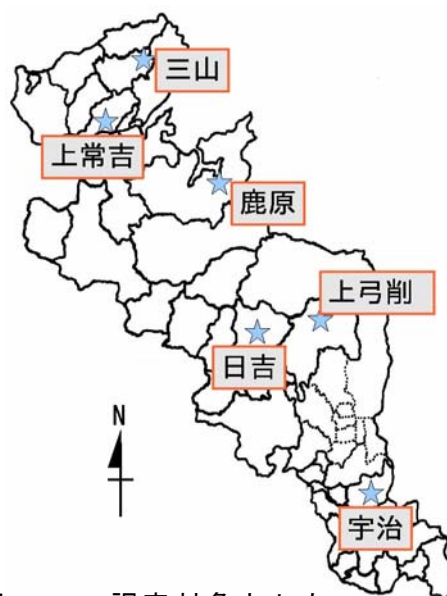


図-9.10 調査対象とした木製治山ダムの位置

ピロディンは抽出した部材の、両材端から約30cmの位置と、中央の計3箇所に対して、同一方向に打ち込んだ。ピロディンの特性を考慮すると、1方向だけではなく、複数の方向から打ち込む方が良いとされる。しかし、現場においては打ち込みが可能な方向が限られていることから、材長方向に3箇所の計測点を取り、繊維直行方向に打ち込んだ。この3箇所の平均値をもって、部材のピロディン打ち込み深さと定義することにする。

また、各調査部材について、JIS K 1571の目視評価基準に従い、評価値をつけた。目視評価については、今後の維持管理の手法について検討する際に、その有用性を検証する参考にする目的で行った。また、9基については、部材を取り外し、曲げ破壊試験を行い、残存強度を調べることにした。表-9.1の括弧内に示す数字が、部材を曲げ破壊試験に供した木製治山ダムの数で、各ダムから3本ずつ取り外した。放水路は常時冠水あるいは、それに近い状態にあり、比較的部材強度が長い期間維持されるであろうと考えることができる。一方で、袖に関しては乾湿繰り返しの状況下であり、強度維持に関しては過酷な環境である。そのため、曲げ破壊試験のために抽出する木製治山ダム数が、放水路と袖とで異なる。

9.3 調査結果

9.3.1 ピロディン打ち込み深さ

放水路および袖におけるピロディン打ち込み深さの出現頻度と施工年度の関係を図-9.13に示す。ピロディン打ち込み深さは最大で40mmであることから、4mm刻みで区分し、各区分における出現頻度を数えることにした。袖の結果を見ると、平成14年度以降と平成13年度以前の傾向が異なることが分かる。平成14年度以降に関しては、ピロディン打ち込み深さが28mm未満のものが60%以上を占めるのに対して、平成13年度に関しては、ピロディン打ち込み深さが28mm以上のものが約60%を占め、以後年々増加する傾向が分かる。一方で、放水路に関してはピロディン打ち込み深さ28mmを閾値として考えると、28mm以上の値は、いずれも出現頻度60%未満であった。しかし、平成11年度施工のものに関しては、ピロディン打ち込み深さの大きい値をとる部材の数が増加していることから、腐朽の速度が大きくなっていくことが分かる。



図-9.11 曲げ試験のために部材を取外した木製治山ダム（平成14年度施工鹿原）



図-9.12 部材取外しの様子（平成11年度施工三山）

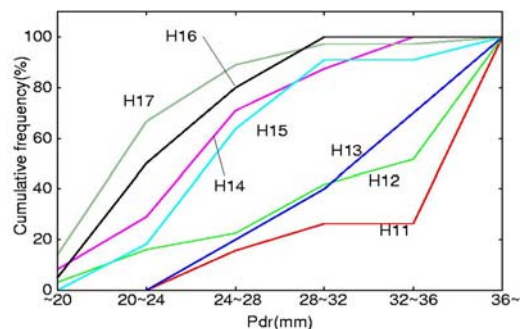
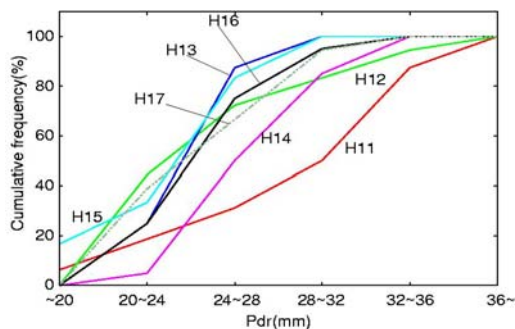


図-9.13 施工年度別のピロディン打ち込み深さ（Pdr）の出現頻度（左：放水路、右：袖）

9.3.2 曲げ破壊試験

取り外した部材は、3点曲げ試験に供したが、載荷前に再度ピロディン打ち込み深さを計測した。取り外し前に測定した位置と、それと反対側のそれぞれについて計6個所ピロディンを打ちこんだ。この6個所のピロディン打ち込み深さの平均を用いて、部材の評価を行うことにする。

京都府で用いている木製治山ダムの部材寸法は、直径200mm、長さ2000mmの丸棒を短径170mmの太鼓挽にしている。これを、支点間距離1800mmとして、材中央部に載荷すること

により、3点曲げ試験を実施した（図-9.14）。供試体の中には腐朽が進んでおり、当初の部材寸法とは異なるものもあった。このような断面の形状が一樣ではない部材の強度を比較することは難しい。そのため、今回の実験値を評価する際は、腐朽前の寸法を見かけの寸法とし、曲げ破壊試験の結果を評価することにした。つまり、曲げ破壊強度は健全な部材の寸法に対して算出した。

図-9.15にピロディン打ち込み深さと曲げ破壊強度の関係を、放水路と袖別に示す。京都府の木製治山ダムの場合、有効断面を直径100mmのスギ丸棒として仮定しており、材料強度は、いわゆる無等級材の曲げ基準強度22.2(N/mm²)として設計している。今回の実験結果に、これを当てはめて検討すると、約6(N/mm²)を満たせばよく、今回調査した部材はいずれも設計強度を上回っていることが確認できた。次に図-9.16に、施工年度別の曲げ破壊強度を示す。袖は腐朽の進み具合が速いであろうとの判断から、放水路に比べて新しい部材を選択した。このため、施工年度での腐朽の進み具合ははっきりしない結果となった。しかし、放水路においては、年々強度が低下していく様子が分かる。



図-9.14 曲げ試験の様子

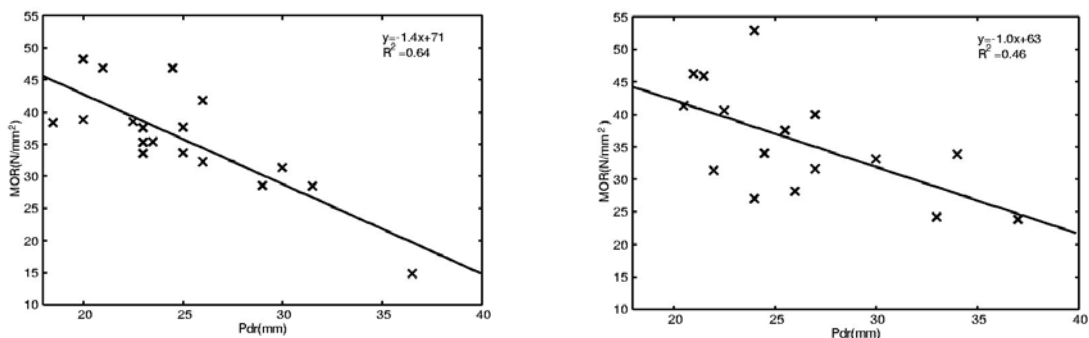


図-9.15 ピロディン打ち込み深さと曲げ破壊強度の関係（左：放水路、右：袖）

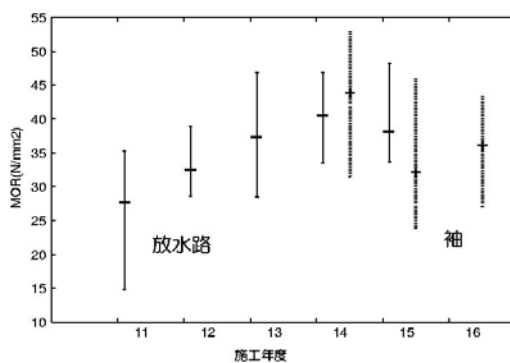


図-9.16 施工年度別の曲げ破壊強度

9.4 まとめ

平成19年度に実施した、木製治山ダムの調査結果について報告した。その結果、曲げ破壊強度はピロディン打ち込み深さと相関が高いということが、分かった。ただし、一般的に用いられているピロディンはピンの長さが40mmであり、京都府で用いられている木製治山ダムの部材寸法に比べると、短いものである。部材の腐朽度合いを、ピロディンを用いて精度良く計ろうとすれば、少なくとも部材の中心に届く程度の長さのピンを使う必要がある。このようなピロディンではあるが、維持管理作業の中で用いる意義はあると考えている。通常の点検の中で、ピロディンを用いた測定を行うと、必然的に部材を間近で観察することになる。このことで、点検作業のフェイルセーフ的な役割を期待することができる。つまり、打ち込み深さによる客観的データに加え、現状では、機器を用いた測定では分からない部分を主観的にではあるが、評価することができるのではないだろうか。

耐久性を議論するのであれば、その設計法と維持管理についてを併せて考えなければならぬ。腐朽というのは、木材の持つ欠点ではなく、長所と考える設計方法に切り替えるのも一つの方法かもしれない。木材が腐らなければどうなるのか。かつて、石油由来のプラスチック製品が、大量の廃棄物として捨てられた歴史を見れば明白であろう。いつまでも腐らないので、処分場に溜るのみであり、そのうち新たな処分場を必要とし、ゴミが増えるという負の連鎖が生じていた。木材の場合は、いずれ自然に還っていくまでの暫しの間、我々人間のために働いてもらう。腐る材料であるため、いずれ水と二酸化炭素となり、次の世代の資源として生まれ変わる。この資源循環の流れを断切らないように構造物の設計を、あるいは維持管理を行いたいものである。

10. 保存処理木材の土木分野での利用

越井木材工業株式会社 松本義勝

木材を屋外で使用とりわけ土と接する様な土木用途には保存処理により耐久性を向上させることが必要です。現在の木材保存処理技術でもっとも信頼される処理方法は加圧注入処理方法です。木材を長期間の使用を可能にするということは更に、二酸化炭素の長期固定につながり地球温暖化防止に寄与します。木材は他の産業資材と比較して環境負荷が低いと言われています。他の産業資材を木材に置き換えることが地球温暖化防止につながります。使用後は更に廃材の再利用、マテリアル利用、サーマルリサイクルまで資源としての有効活用がされ、CO₂を長期間固定することになります。サーマルリサイクルいわゆるエネルギー利用についても木材は再生産が可能な唯一の資材であるがゆえの効果的なりサイクルと言えらると思ひます。木材製品としての利用期間を長くして、伐採後植栽した樹が利用できるまで利用可能にするというシステムを構築することが二酸化炭素削減効果にとって重要と思ひます。今後は利用者の都合で、耐久性の高い樹種、硬い樹種、加工が容易な樹種を世界中の天然林より求めると言う木材調達方法から、計画的に植林された木を利用する方向になりつつあります。当然、天然林材より品質は低くなりコストも高くなりがちです。この様な点を木材加工技術で補って使うことが必要になって参ります。

一方木材の耐久性を高める木材保存処理にはどうしても木材保存剤として薬剤を使用することになることから、環境に与えるマイナス要因を懸念されたり誤解されることがあります、現在加圧注入用に使用している薬剤及び加圧式保存処理木材は、薬剤の安全性、生産時の安全性、使用時の安全性、廃棄時の安全性などが確認されています。日本木材防腐工業組合では、このような安全性、耐久性に関するデータを示して使用者などへ説明するための「加圧式保存処理木材の手引き」を作成発行して説明に努めています。是非ともご利用ご活用をお願いします。(写真-10.1 参照)

又、他の産業資材より木材への利用拡大を図る上でも、各材料の環境負荷を明らかにし木材利用と木材の生産活動が地球温暖化防止に重要であることを理解していただくことが必要であると考えます。

以下これらへの業界及び弊社の取り組みについて述べます。



写真-10.1 加圧式保存処理木材の手引き

10.1 加圧式保存処理木材の安全性について

日本の木材防腐業界では、世界に先駆けて安全性の高い保存剤の開発実用化に取り組んできています。1990年には加圧用保存剤の、ACQやAACが日本木材保存協会の認定を受け、その後CuAzなどと共に木材保存剤としてJISに規定されました。併せて1997年には世界に先駆けて法規制によらず業界で自主的に当時主流であったCCA薬剤の使用の中止を決めて新薬剤への切り替えを実施しました。(CCAによって問題が起きたから使用を止めたのではありません、又、これまでにCCA処理木材による人体などへの悪影響や問題が起きたということは、日本でも海外でも聞かれていません)一方、海外ではこれに遅れて2002年、アメリカ合衆国でCCAの段階的規制が発表されました。同年、アメリカ環境保護局の審査で保存剤のACQが環境大統領賞を受賞しました。このように日本の安全、環境に対する取り組みは世界の最先端にあると思っております。

わが国で現在使用されている加圧式保存処理木材の安全性については各段階での安全性を確認しています。

10.1.1 生産時の安全性

保存剤については日本木材保存協会が加圧薬剤そのものの安全性の確認がされています。加圧用保存剤は、工場内での木材の加圧注入に限って使用されるもので、農薬のように広域にわたって散布されるものではありません。保存処理工場規定に基づいて認定されたJAS工場やAQ工場で生産されています。

10.1.2 使用時の安全性

動物への影響及び、水辺で使用する場合の水棲生物への影響としては魚毒性等により使用時を想定した試験により安全性を確認しています、又VOCの人への影響ではこれらの対象となる物質は保存剤及び処理木材には含まれていません。(写真-10.2 参照)



写真-10.2 金魚の水槽に処理木材を沈めた

10.1.3 廃棄時の安全性

保存処理木材の燃焼にたいする安全性では、燃焼生成ガスを分析した結果、無処理木材とほぼ同じ成分であり、人の健康を害するレベルの有害なガスの発生は無いことが確認さ

れています。又焼却灰の有害性についても廃掃法に基づいて溶出試験で確認しています。結果通常は無処理木材を焼却した灰を産業廃棄物とする場合と同様に扱うことができます。(写真-10.3 参照)



写真-10.3 バイオマスガス化発電

10.2 加圧式保存処理木材の土木利用状況

10.2.1 護岸工

多自然型川作りなどで自然素材として、石、土、木による護岸工がパネル杭や自立型の擁壁タイプなどが見られます。河川の護岸をコンクリートなどで直線的にする方法から木や石を使った川作りが増えています。ダム工や木工沈床、漁礁などもあります。(写真-10.4 参照)



写真-10.4 護岸工

10.2.2 道路擁壁

道路などの擁壁にも木材が使われています。自立型木製擁壁では構造計算による設計が可能です。モタレ型のものなどふくめ木製の特徴は、災害後に施工などでは現場の土をそのまま利用でき、施工完了後は直ぐに強度を有しています。コンクリートなどは強度が出るまでには硬化する時間が必要です。又木製の場合は草や芝の植生緑化が容易です。(写真-10.5 参照)



写真-10.5 道路擁壁

10.2.3 街灯などによる街づくり

道路街路灯や商店街の街灯など木材、集成材や多素材との複合など様々なデザインが可能です。(写真-10.6 参照)



写真-6 木製外灯

10.2.4 木柵及び横断防止柵

木製防護柵はいろいろなデザインで一般的に使われています。コンクリート擬木に代わって今後期待される用途です。平成13年の会計検査院による調査報告では、青森県他15府県の47事業主体が設置した安全柵について、擬木柵の資材費と比較した結果、耐久性及びコストの面においても、木柵の方が経済的であると報告されています。(写真-10.7、10.8 参照)



写真-10.7 木柵



写真-10.8 木製横断防止柵

10.2.5 木製道路施設

近年木製ガードレール、木製遮音壁が開発されて今後の使用が期待されています。(写真-10.9、10.10 参照)



写真-10.9 木製ガードレール



写真-10.10 木製遮音壁

以上のような土木用途特に公共の施設については、コストが高い、構造計算が明確でない、歩掛りが整備されてない等の問題点が指摘されます。性能のみならずこのような点も今後の課題と考えています。

10.3 木材利用拡大と環境負荷軽減

資材の選定に当たって今後は単に価格などだけでなく、資材の環境負荷を様々な点から評価し明らかにする事が必要と考えます。構築物などの資材の環境負荷を統一した基準ものさしで評価し、評価の高い施設などにインセティブを与えるような法制化をすれば消費者や発注者へ正しく認識してもらうことが出来るのではないかと考えます。最近、このような手法が海外、特に英国ではグリーンガイドという評価基準を、BRE (Building Research Establishment Ltd) が作成して実施している。この評価基準は、建築物などの資材をいろいろな項目、(製造→運搬→使用→耐用年数→エコシステム<有害物質>→メンテナンス→リサイクルなど等) でライフサイクル・アセスメント評価している。日本でもこのような材料の環境負荷評価を統一した基準を作り使用者、消費者へ正しく認識して頂きたいと思えます。

今年、日本木材防腐工業組合では英国の BRE を訪問してこの評価システムの作成手法を調査検討することを計画しています。

一方木材の業界でも、欧州木材連合 (CEI-BOIS) が 2012 ロードマップと称し 2012 年ロンドンオリンピックへ向けて木材の利用促進のキャンペーンを積極的に行っています。ここでは、欧州内の木材の利用率を 2010 年までに、現状の 1% から 4% へ増加させることで年間の二酸化炭素削減効果が 1.5 億トン可能と言うものです。わが国でも、このような木材の環境への効果の意識を高めることで、木材利用促進の一助にできないかと考えています。(写真-10.11~10.14 参照)

グリーンガイド評価方法 1 HIWOODS

ライフ・サイクル・アセスメント(LCA)

製造→運搬→建築→使用→メンテナ
ス→廃棄もしくはリサイクル

=CO2いくら？



写真-10.11 グリーンガイド評価方法 1

グリーンガイド評価方法 3 HIWOODS

建築部位ごと、面積m2あたりで比較

例)外装材の場合...

材料	総合評価	温暖化	化石燃料	耐用年数	リサイクル
木材(保存処理)	A	A	A	30	A
テラコッタ	B	B	B	40	A
PVC	C	C	C	25	C
コンクリートタイル	A	A	A	30	A

写真-10.12 グリーンガイド評価方法 2

CEI-BOIS(欧州木材産業連合) HIWOODS

ロードマップ2010

木材利用率 現状1%

→2010年に4%まで引き上げる

効果:CO2削減1.5億トン(年間)



写真-10.13 CEI-BOIS(欧州木材産業連合)1

キャンペーン HIWOODS

2010 ヴァンクーバーオリンピック

2012 ロンドンオリンピック

木造建築物の推進(デザイン)

一般消費者の啓蒙



写真-10.14 CEI-BOIS(欧州木材産業連合)2

11. 森林の現状と木材の安定供給

京都府森林組合連合会 青合幹夫

11.1 京都府の森林資源の現状

京都府の森林面積は 343,315ha で、総土地面積に占める森林の割合は 74.4%と全国の 67.4%を上回っているが、このうち国有林を除く民有林の割合は 97.8%で、全国的に見ると民有林の割合がかなり高い状況である。その民有林のうち人工林は 126,032ha で、民有林全体の 37.7%となっている。

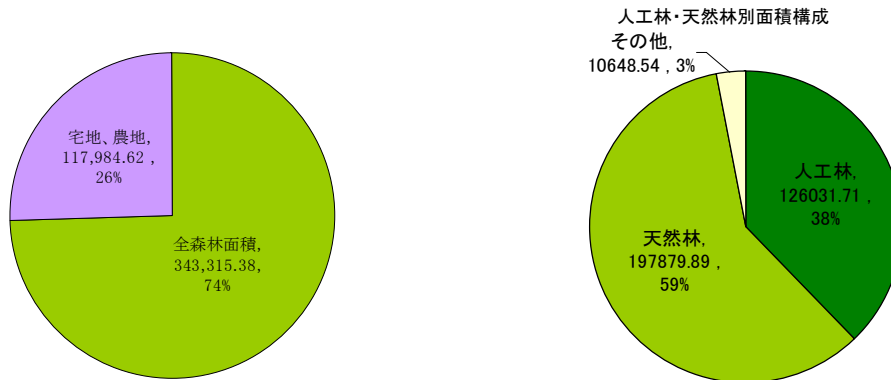


図-11.1 京都府の森林構成

11.2 人工林における間伐の必要性

植林して15年以上経過し、木が生長して枝葉が込み合うようになると、健康な樹木に育たなくなるため、適当に間引き（間伐）する必要がある。間伐を行わないと良質な木材が生産されないという林業的な理由だけでなく、森林内が閉鎖され太陽の光が地表に届かなくなり、下草が生えなくなるという状況になる。そのため降雨が直接地表にあたることにより、栄養分の豊富な表土が流され、土地がやせてくるばかりでなく、森林の持つ水源かん養機能の低下により、山の保水力が低下し、雨水が急激に河川に流れ込み河床を高くして水害を発生させる要因となっている。近年多発するゲリラ豪雨等による河川の急激な増水等も森林の持つ保水力の低下が原因の一つと考えられる。このような森林の持つ公益的機能を高めるためにも、間伐は大変重要な作業であるといえる。

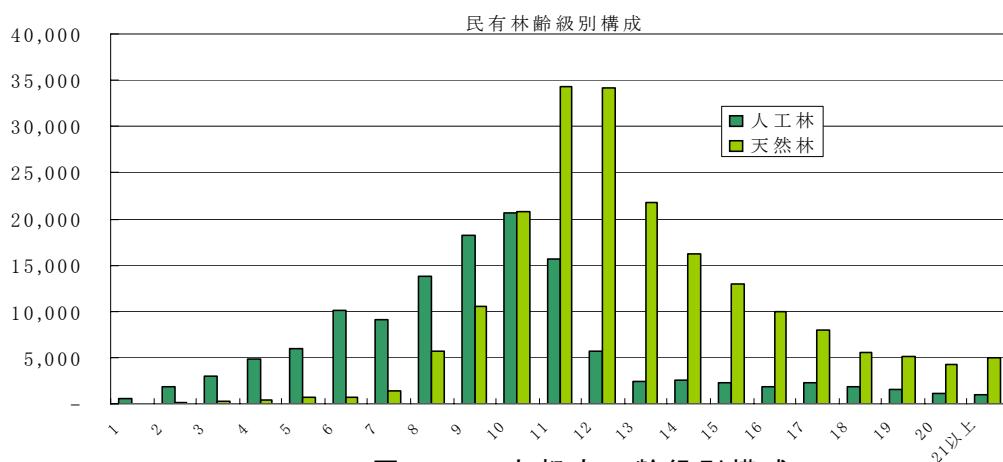


図-11.2 京都府の年齢別構成

11.3 間伐対策の実施状況

京都府緊急間伐推進計画に基づき、平成 12 年度から 16 年度までの 5 カ年間で約 18,000ha、平成 17 年度から 19 年度までの 3 ヶ年で京都府間伐等推進計画に基づき約 11,000ha の間伐を実施してきた。今後、CO₂ の吸収源対策も併せ、平成 20 年度から 24 年度にかけて年間 4,000ha を目標に間伐を推進することとしているほか、森林施業や間伐材搬出コストの削減に向けて森林施業路の整備を進め、間伐材の利用促進等が図られるように努めているところである。

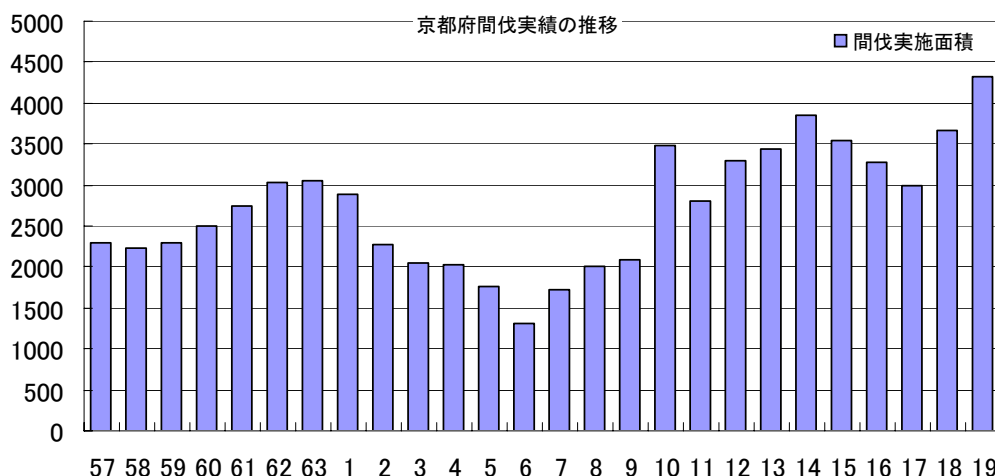


図-11.3 京都府の間伐実績

11.4 間伐材利用の現状と課題

木材の利用促進は、森林資源の循環利用を進めるとともに、CO₂ の吸収固定を通じて地球温暖化防止にも役立ちます。このため、公共事業での間伐材の積極的な利用を進めるとともに、地域材による家づくりの支援やウッドマイレージ CO₂ を組み込んだ京都府産木材認証制度の普及拡大を通じて、府内産木材の流通や加工体制の整備を進めているところであるが、多くの課題がある。

11.4.1 現状

京都府内における木材の府内需給量は、約 561 千 m³ に対して、府内産材は約 80 千 m³ しか供給できておらず、わずか 14.3% である。製材工場の需要は約 49% とほぼ半分の需要があるが、その 90% は外材であり、約 40% を占める合板工場でも 87% は外材が占めるという状況であるが、ここ 1～2 年、輸出関税の高騰によるロシア材の入荷減少等により、スギ材を中心とする国産材需要が急激に増加している。京都府内の素材生産量は約 110 千 m³ であり、製材用は約 39%、43 千 m³ でありその他、合板用、チップ・おが粉に利用され、土木用資材としては 5% 以下である。

一方、間伐材の利用状況は、間伐実績 約 100 千 m³ のうち利用率は約 35% であり、主な用途は、合板用が 60%、製材用 20%、チップ等 10%、丸太（丸棒製品）が 10% という状況である。

木材の利用拡大をすすめる上で非常に重要な役割を果たす地域の森林組合の状況は、京都府内には 22 の森林組合があり、そのうち広域組合が 4 組合である。また、林業労働者数

は 785 人であり、前年と比較して 168 人減少している。また、そのうち 50 歳以上が 64% を占め、高齢化が進むだけでなく、新規の就労希望者が減少の傾向である。

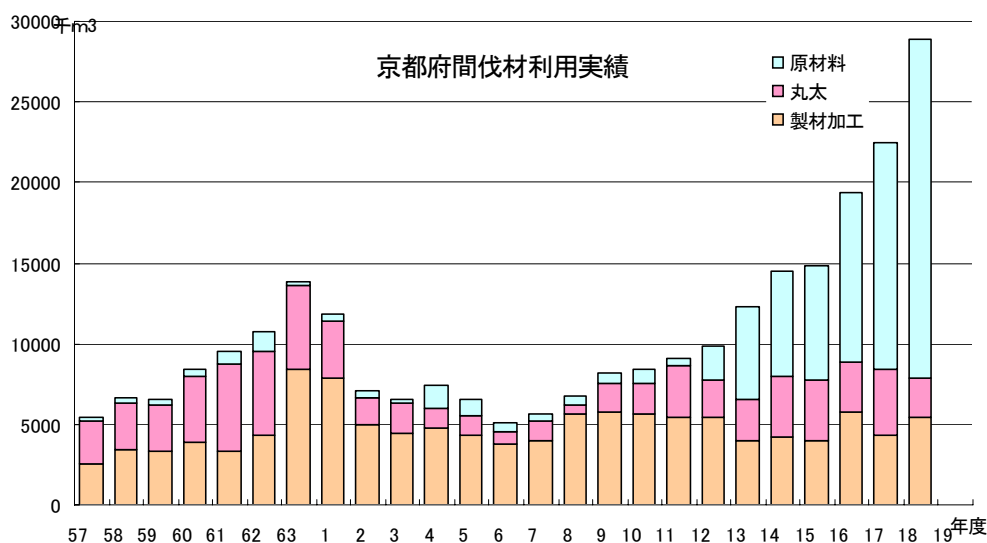


図-11.4 京都府の間伐材利用実績

11.4.2 課題

健全な森林に育て、森林の持つ公益的な機能を維持していくために、間伐は大事な作業であるが、課題としては次の項目があげられる。

(1) 府内産木材需要に対する課題

- ・ 市場の求める性能、また、外材に見合ったロット、コストで供給が難しい
- ・ 公共事業への用途拡大が必要

(2) 府内産木材生産に対する課題

- ・ 性能、強度を確保できる工場が少ない
- ・ 良質材の供給量が少ない
- ・ 府内産材の利活用の普及が必要

(3) 間伐材利用における課題

- ・ 低コスト生産システムが確立していない
- ・ 公共工事への利用拡大が必要
- ・ 木質バイオマス等新たな木材利用方法の確立

(4) 林業の担い手等に関する課題

- ・ 地域林業の中核的担い手を果たすべき森林組合の経営改善と体力強化
- ・ 担い手不足、高齢化
- ・ 高性能機械等ハード面の不足、基盤整備の遅れ
- ・ 林業労働安全対策の推進
- ・ 施業集約等、低コスト化による生産性の向上

11.5 土木工事での活用例

京都府内での土木工事で使われる木材利用工法を紹介する。



写真-11.1 木製残存型枠（丸太型枠）



写真-11.2 木製護岸工（丸棒タイプ）



写真-11.3 落石防止柵（緩衝材）



写真-11.4 木製流路工（フトン籠タイプ）



写真-11.5 木製ガードレール



写真-11.6 丸太伏工



写真-11.7 木製土留工



写真-11.8 防風柵

11.6 木材の利用推進にむけて

11.6.1 林業担い手の育成確保

- ・ 森林組合の利用事業依存の経営体質からの転換
- ・ 林業労働者の育成と労働安全指導の確立
- ・ 木材需要に対応できる組合の素材生産体制強化

11.6.2 木材の需要拡大

- ・ 低コスト生産体制の確立
- ・ 現状の小・中規模製材工場の共同利用施設の設置運営方式による大規模工場化

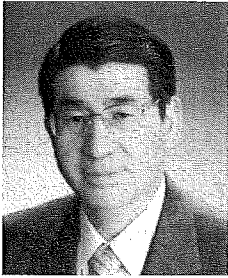
11.6.3 京都府の施策

- ・ ウッドマイレージ CO2 認証制度の推進及び制度の普及・拡大
- ・ 認証木材利用拡大のための品質表示等の検討
- ・ 公共工事への木材利用拡大

添付資料

I 掲載記事

- (1) 濱田政則：巻頭言「土木工事への木材利用による温暖化対策」，木材工業，Vol.62，No.5，pp.195，2007
- (2) 沼田淳紀，林原茂，奥田光秋，田代晃一：CE レポート話題「ドボクのボクはどう書くの？ー土木で木材を利活用しよう！ー」，土木学会誌，Vol.93，No.3，pp.56-59，2008
- (3) 日刊建設工業新聞：「土木・森林・木材の3学会横断的研究会で検討」，2008.3.6
- (4) 太田猛彦：意見・提言「かつて地下資源は地表にあった温暖化時代における木材利用の意味を問う」，CE 建設業界，Vol.57，pp18-19，2008.4
- (5) 今村祐嗣：「緑のキーワード」を兼ねて「土木事業への国産材の利活用」，森林技術，No.794，2008.5
- (6) 沼田淳紀：NEWS「3学会連携によるシンポジウムを開催」，土木学会誌，Vol.93，No.5，pp.83，2008
- (7) 飛島建設：新技術「工事をすればするほど CO2 を吸収木材を地中に打設する軟弱地盤対策」，日経コンストラクション，2008-7-11（原稿掲載なし）
- (8) 桃原郁夫：「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」，ウッディエンス・メールマガジン，2008/07/14，No.008
- (9) 濱田政則：論説委員会の頁「防災・環境問題に関する学協会横断的研究のすすめ」，土木学会誌，Vol.93，No.8，pp.66，2008
- (10) 工藤康夫：「土木事業への間伐材利活用シンポジウムに参加して」，木材工業，Vol.63，No.8，pp.374-377，2008
- (11) 石田修，田代晃一，沼田淳紀，林原茂，奥田光秋：「土木分野における木材利用の状況と展望」，木材工業，Vol.63，No.8，pp.346-351，2008
- (12) 林野庁：「木づかい運動土木学会，日本木材学会，日本森林学会の取組」，林野，No.19，pp.10-13，2008.10
- (13) 林野庁：「土木にける木材の利用拡大シンポジウムレポート」，林野，No.22，pp.15，2009.1
- (14) 沼田淳紀：NEWS「京都大学生存圏研究所にて土木における木材利用に関するシンポジウムを開催」，土木学会誌，Vol.94，No.2，pp.60，2009
- (15) 佐々木貴信：「近代木橋の維持管理」，木材工業，Vol.63，No.8，pp.352-357，2008
- (16) 外崎真理雄，恒次祐子：「地球温暖化防止と木材利用」，木材工業，Vol.63，No.2，pp.53-57，2008



巻頭言

土木工事への木材利用による温暖化対策

濱田政則*

地球温暖化に起因して世界で異常気象が頻発し、風水害などの自然災害が多発している。京都議定書による温室効果ガス削減目標を達成することは容易ではないが、環境分野の専門家だけでなく、さまざまな分野の人々が連携して取組まなければならない国家的課題である。本文ではCO₂排出削減へ向けた分野横断的な試みとして、土木工事への木材活用の可能性検討の例を紹介する。

我が国の社会基盤整備は、高度経済成長期に急激に進んだ。この間、鉄とセメントの国内生産量は、爆発的に増加している。一方で、木材の国内生産量は、東京オリンピックの開催された1964年頃をピークに下降を続け、現在ではピーク時の1/3程度まで減少してしまった。これにともない、現在では林業も衰退し疲弊していると聞く。

近年土木工事でも木材を主要部材とすることはほぼ皆無となってしまった。また、土木工事をめぐる談合事件などにより「土木」に対する社会一般のイメージは悪く、大学では土木工学科という名前が消えつつある。ちなみに、「土木」という語源は、中国武帝の時代の「淮南子（えなんじ）」という書物に記された「…土を築き木を構えて…」にあるとされている。古来、土木工事では木材を多く用いてきた。杭基礎についてみると、現在使用されているコンクリート杭や鋼管杭の歴史は浅く、木杭基礎の歴史は洋の東西を問わずむしろこれよりはるかに古い。最近、各種構造物の耐震改修や建替え工事などで既存構造物を取り除く際、基礎杭であった木杭が掘り出されることがある。これらの木杭は基本的には取り除き新しいコンクリート製または鉄製の杭に置き換えられるが、木杭は50年以上の年月を経ているにもかかわらず健全な場合が多く、時には100年近く経過したものもある。コンクリート構造物の耐久性はコンクリート構造物自体の歴史が浅いので明瞭ではないが、一般的な土木構造物は耐用年数を50年とされている。これを考えると、設置場所の条件にもよるが、50年以上木材が健全であるということは部材として決して劣っているわけではないことを示している。また、1964年の新潟地震などでは、その当時普及し始めたコンクリート杭は損傷を受けて建物が傾斜したりしたが、従来の木杭基礎の建物は健全であった例が報告されている。

土木工事用の基礎に木材が使用されない理由として、腐朽に対する不安、材料供給の不安定さ、長尺杭の入手の困難さなどがあるようである。土木部門の枠を広げ地球温暖化対策を考慮すると、これらを解決し土木用材料として復活させてはどうかと考える。社会基盤の整備に貢献するだけに留まらず、土木工事自体が地球温暖化対策事業となり、さらに、林業の活性化にも結びつくことになる。

このような事業を進めるためには、建設業、林業、環境などの多分野が互いに連携する必要がある。そこで、現在分野横断的なグループで「温暖化対策のための木材利用研究会」を発足させ意見交換を行っている。この研究会には、大学、独立行政法人の研究機関、林業経営者、建設系コンサルタント、建設業などが参加している。

* 土木学会会長（早稲田大学理工学術院 教授）

ドボクのボクはどう書くの? —土木で木材を利活用しよう!—

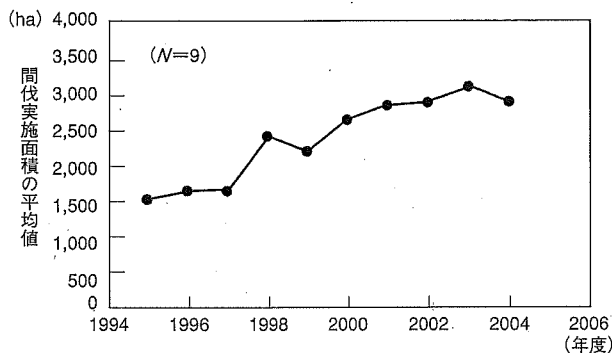


図3 間伐実施面積 (平均値) の推移 (アンケート結果)

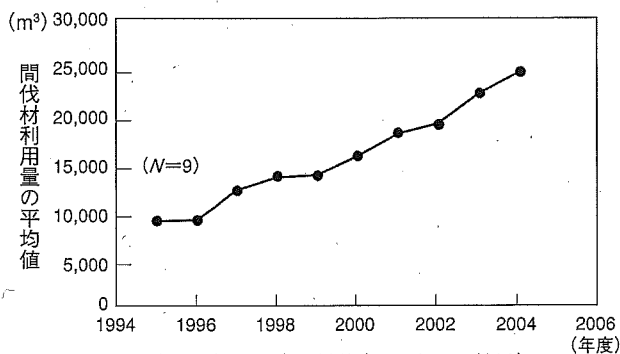


図4 間伐材利用量 (平均値) の推移 (アンケート結果)

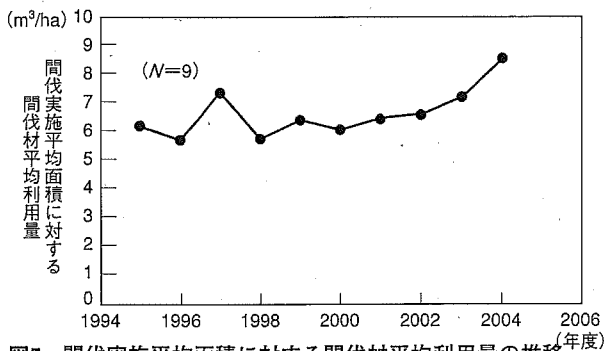


図5 間伐実施平均面積に対する間伐材平均利用量の推移 (アンケート結果)

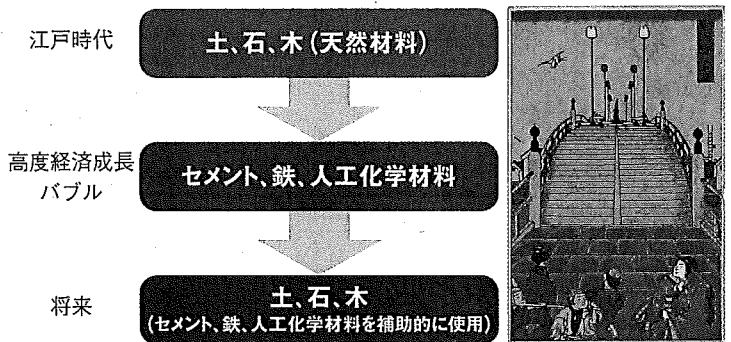


図2 地球温暖化対策を考えたうえでの今後の建設材料の方向性

インストックとなる。われわれ間伐材の利活用技術研究小委員会(土木学会建設技術研究委員会)では、温暖化対策の一つとして、土木事業における国産木材の利活用を検討している。図2に示すように、江戸時代には理想的な循環型社会が形成されていたといわれ、この時代の土木工事には土や石、木が使用されていた。将来へ向け、歴史も実績もある天然素材の土や石、木の利活用を地球環境の視点で再考してはどうだろうか? 「土木」という語源を考えても自然な流れである。また土木事業は全国に点在し、

その規模も大きく、木材の利用先として可能性が大きい。木材を利活用できれば、それは森林の活性化に結びつき、温室効果ガス削減にも寄与する。森林が活性化すれば、生物多様性の保全、土砂災害防止機能、水源涵養機能、保健休養、レクリエーション機能などの機能も高まることとなる。なお、木材は間伐材と読み替えていただいてもかまわない。

間伐材は利用されているか?

地球温暖化対策とともに治山や河川環境維持にも関連する森林整備に不可欠な間伐と、その結果発生する間伐材の利用に關して実施したアンケート調査結果を報告する。

まず、返答のあった30の自治体における間伐実施面積の客観的評価として、年度ごとの間伐実施面積の平均値(Ⅱ⑤)を算出した。その経年変化を図3に示す。この図より、間伐材利用量は10年間で2倍以上に増加していることがわかる。

間伐材がどの程度利用促進され

ドボクのボクはどう書くの？

— 土木で木材を利活用しよう! —

沼田 淳紀(正会員 飛鳥建設(株)技術研究所第二研究室) 林原 茂(正会員 前田建設工業(株)技術本部新規事業部)
 奥田 光秋(正会員 東急建設(株)技術本部土木設計部) 田代 晃一(正会員 日本国土開発(株)土木統轄本部技術部)

木を伐って温暖化防止!

2005年に発効された京都議定書では、日本は2008年から2012年の期間に1990年比6%の温室効果ガス削減を約束している。すでに2005年度の温室効果ガスは7.8%増加しており(2007年5月29日環境省発表)、現時点では13.8%の削減が必要となっている。このうち、

8.4%は排出削減、1.6%は排出量取引などの京都メカニズムの利用、残りの3.8%(2006年8月30日に3.9%から変更)を森林吸収で賄うとされている。森林吸収による3.8%は、森林において植栽、下刈、除伐、間伐など樹木が健全に育つ環境が整備され、木材が適切に利活用されている条件を満たす必要がある。しかしながら、現状では手入れされない森林が多く、また、間伐によりせっかく長年育てた木材を得ても、運

搬コスト、人手不足、手間の面で割にあわず間伐した木材が放置されるといった森林の荒廃が進んでいる。「森林・林業基本計画(2006年9月)」によれば2004年で1700万m³である木材供給・利用量を2015年には2300万m³に促進するとし、国産木材の新たな利用先を模索している。

木材利用は、森林伐採となるので地球温暖化対策に逆行しているのでは? と誤解されがちであるが、合法木材を利用する限りそうではない。図1は、経過年数と樹木のCO₂ストック量関係の模式図である。木は植林後CO₂を大気から吸収固定し木材となるが、その量はある段階まで進むと頭打ちとなる。その段階で木材を伐採保存し植林を行えば、さらにCO₂を大気から吸収固定化できCO₂ストック可能となる。伐採した木材が燃えたり腐植したりすれば、ストックしたCO₂を再び大気中

に排出したことになるが、化石燃料とは異なり、もともと大気から吸収したものであるため、大気中のCO₂の増加には寄与しない(カーボンニュートラル)。さらに、燃焼や腐植などによるCO₂排出量を小さくすればCO₂固定(カーボンストック)量を増やすことが可能ながわかる。つまり、木材を長期間利用することが、カーボ

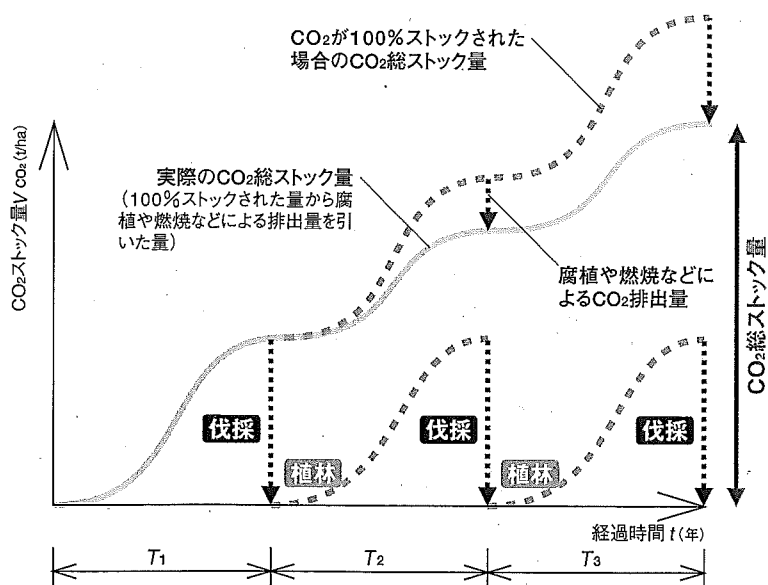


図1 経過年数と樹木のCO₂ストック量の模式図

ドボクのボクはどう書くの? —土木で木材を利活用しよう!—

間伐材を活用した水路である。メンテナンスが容易である。製造と販売は、異業種(森林組合、企業、市民、行政)が運営するNPO法人が行っている。このNPO法人では、間伐材単体もしくは間伐材とコンクリートを組み合わせた、環境負荷が小さい再生可能な多数の土木アイデア製品を扱っている。

丸太伏工は、切土法面の浸食防止や曲線部の雑草繁殖防止を目的として施工する。丸太伏工は工事規模に対し比較的多くの木材を使用できる工事である。この事例における丸太伏工の直接工事費は約3000円/mであり、厚層基材吹付け工(1130mm)と同程度である。森林環境、地球環境に配慮し、コスト面においても有効な工法である。

木製治山ダムは、幅14・4m、奥行き2・7m、27ユニットの木製枠(材質:カラマツ、末口径20(25cm)を積み重ね、栗石を中詰めして築造する。1基当たりの木材使用量は26m³、木製ダム1基の工事費は500万円程度である。このダムの設置には、石礫の流下による衝撃力や磨耗による破壊される恐れがないこと、木製ダムの直下に永久構造物であるコンクリートダムがあること、などの条件が必要となっている。

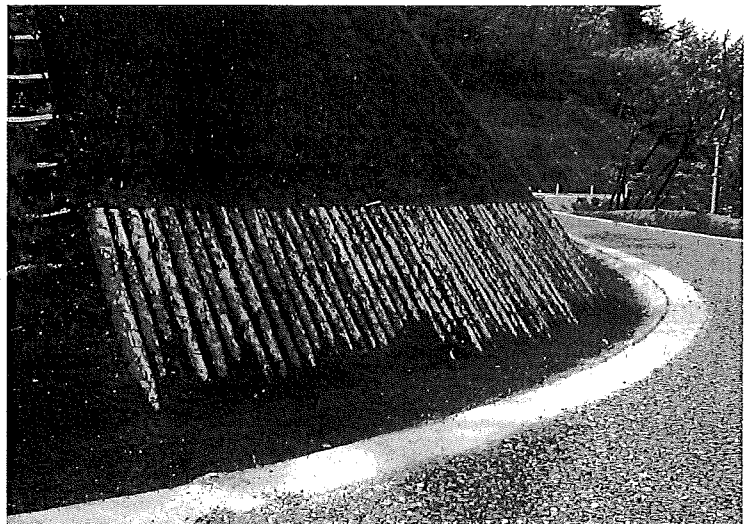


写真3 木材利用例③丸太伏工

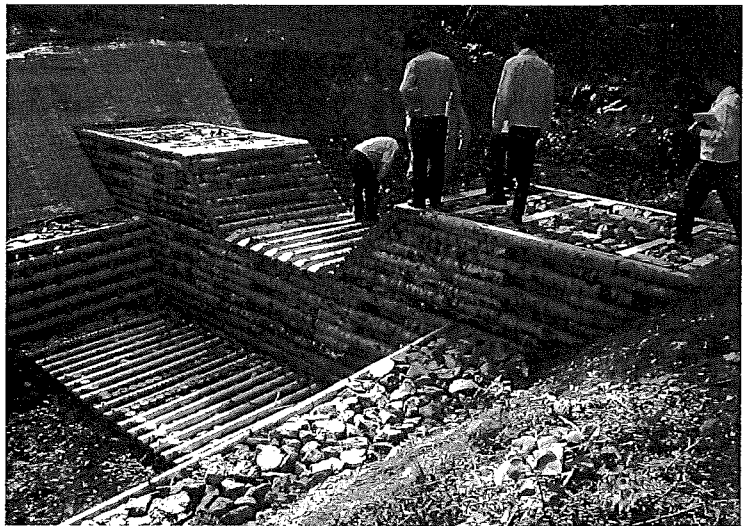


写真4 木材利用例④木製治山ダム

もっと木を使おう!

これまでの研究でわかったのは、土木分野では「多種多様」に木材が利活用されているが、「多量」ではないという事実だ。土木分野が適切な森林経営に貢献するためには、さらに積極的な利活用を進める必要がある。

しかしながら、このような問題を土木部門のみで進めるには限界があり、供給側である森林部門や木材部門との連携が必要となる。

そのような背景から、現在、日本森林学会、日本木材学会、土木学会による3学会の横断的研究会の準備をすすめている。

また、今後の主な活動として、2007年度内に木材の利活用に関するシンポジウムを計画中である。

参考文献

- (一) 沼田淳紀、上杉章雄: 地球温暖化対策のための木材利用の可能性について、第14回地球環境シンポジウム、土木学会、pp.97~102、2006年8月
- (二) 濱田政則: 土木工事への木材利用による温暖化対策、木材工業、日本木材加工技術協会、Vol.62 No.5、p.106、2007年5月
- (三) 今井久: わが国の森林・林業の現状に関する調査研究、ハザマ研究年報、pp.1~14、2006年12月

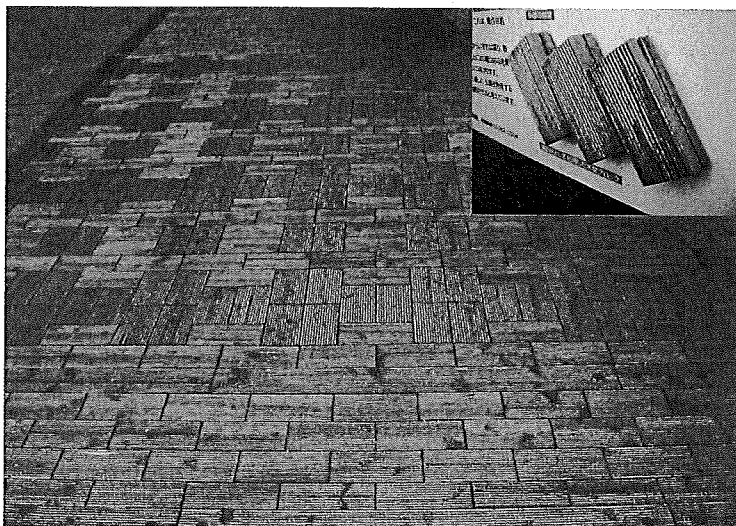


写真1 木材利用例①遊歩道

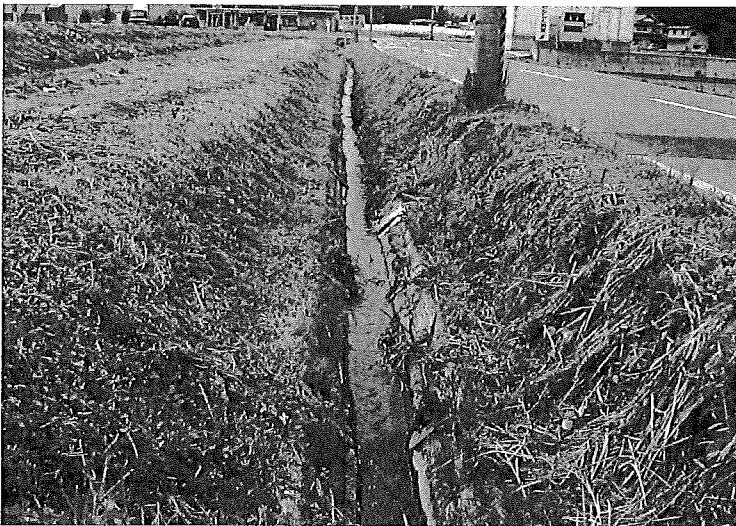


写真2 木材利用例②木製水路

ているかは、単にその面積、量のみで評価するのではなく、間伐により発生した木材量に対して、どの程度需要が生じているかを見るべきである。そこで間伐実施平均面積に対する利用量の比をとった。図5にその経年変化を示す。これを見ると、1994～1999年で間伐材利用促進度は横ばい傾向である。ただし、1997年は突出して間伐材利用促進度が向上している。これは、1997年にCOP3(京都会議)が行われ、CO₂

固定化促進の機運が高まったことによるものと考えられる。また、2000年以降は間伐材利用促進度が向上していることがわかる。『森林・林業白書』によると、2005年の全国データでは10m²/haとなっており、アンケート結果における2000年以降の上昇傾向と一致することがわかる。なお、ほとんどの自治体において、土木部門より農林水産部門へ利活用されることが多いことがわかった。

また、22の自治体で設計・施工マニュアルがあると回答し、その大部分で、標準図や標準歩掛を示していた。土木構造物の種類としては、ダム、木橋、側溝蓋、デリニエーター(視線誘導標)、ガードレール、遊歩道、粗朶沈床・聖牛、木杭、木製水路、丸太伏工、法枠工、柵類、法面防護工、その他として利用されていた。利用の種類は各県の特徴が表われたため、その他の少数意見が多く、標識・看板、型枠、階段工、ベンチ、机な

ども挙げられていた。
こんな土木構造物を発見!

土木工事における木材利用事例調査を東京都および岩手県で実施した。

東京都建設局では、荒廃が進む多摩の森林の保全、活性化、スギ花粉対策および地球温暖化対策として、多摩産木材を活用する取組みを行っている。また、国内第2位の森林面積を有する岩手県では県をはじめとして、NPO法人の活動も活発であり、間伐材の有効利用に熱心に取り組まれている。木材の土木構造物への活用事例を、現地調査結果よりいくつか取り上げて紹介する。

①遊歩道…東京都の上野恩賜公園内に設けられた遊歩道(写真1)は、奥多摩産木材を「木材ブロック」に加工して敷き詰めた約230m(約500m)の木製遊歩道である。木材ブロックは、表面のすべり止め加工と防腐加圧処理が施されている。この事例は多摩地域の林業を活性化させる一環として取り組まれたものである。木を利用したことにより自然にも優しい温もりのある空間が創出されている。

②木製水路…写真2は、岩手県内の

土木・森林・木材の3学会

横断的研究会で検討

土木分野での木材利用を拡大

連携して環境保全に貢献

土木学会、日本森林学会、日本木材学会の三つの学会が、横断的研究会を設立して土木分野での木材利用を拡大する取り組みを進めている。木材利用が活発化すれば森林の活性化に結びつき、温室効果ガス削減にも寄与することから、学界の垣根を越えた学際的環境貢献の活動として、横断の拡大が期待できる土木分野での木材利用を促進する。08年度は研究会に二つのワーキンググループ(WG)を設け、利用拡大に向けた課題を抽出し、必要な技術の検討に取り組む。4日には3学会が連携してシンポジウムを開催。木材利用に関する各学会の取り組みや横断的研究会の研究内容が報告された。

12年までに90年比で6%削減という、京都議定書で定められた日本の温室効果ガス排出削減目標のうち、最大3・8%は人工林の場合、90年以降に適切な手入れが行われなければならない。石などの天然材料が使われていたが、戦後の高度経済成長でこれらの材料の多くはセメントや鉄など土木工事に使われてきた。土木工事は土木分野の木材利用を拡大する。研究会は08年度、土木分野での木材利用拡大に向けた課題の抽出と技術の活用について議論した。

研究会は08年度、土木分野での木材利用拡大に向けた課題の抽出と技術の活用について議論した。研究会は08年度、土木分野での木材利用拡大に向けた課題の抽出と技術の活用について議論した。

研究会は08年度、土木分野での木材利用拡大に向けた課題の抽出と技術の活用について議論した。研究会は08年度、土木分野での木材利用拡大に向けた課題の抽出と技術の活用について議論した。

3学会が連携、初のシンポジウム 液状化対策などに活用を 濱田早大教授らが基調講演



研究会は08年度、土木分野での木材利用拡大に向けた課題の抽出と技術の活用について議論した。研究会は08年度、土木分野での木材利用拡大に向けた課題の抽出と技術の活用について議論した。

研究会は08年度、土木分野での木材利用拡大に向けた課題の抽出と技術の活用について議論した。研究会は08年度、土木分野での木材利用拡大に向けた課題の抽出と技術の活用について議論した。

研究会は08年度、土木分野での木材利用拡大に向けた課題の抽出と技術の活用について議論した。研究会は08年度、土木分野での木材利用拡大に向けた課題の抽出と技術の活用について議論した。

研究会は08年度、土木分野での木材利用拡大に向けた課題の抽出と技術の活用について議論した。研究会は08年度、土木分野での木材利用拡大に向けた課題の抽出と技術の活用について議論した。

研究会は08年度、土木分野での木材利用拡大に向けた課題の抽出と技術の活用について議論した。研究会は08年度、土木分野での木材利用拡大に向けた課題の抽出と技術の活用について議論した。

かつて地下資源は地表にあった 温暖化時代における木材利用の意味を問う

東京農業大学教授・
東京大学名誉教授
太田猛彦
Ota Takehiko



Civil Engineering を日本では土木工学と呼ぶが、それは、むしろ材料として日常的に使える資源は「土」と「木」であったことによるだろう。すなわち、かつての

日本で資源と言えば「土」と「木」と、強度はあるが少し使にくい「石」であった。このうち最も使いやすいのは木であり、しかもエネルギーとして使えるのは木だけであるため、江戸時代の中期には、人々が容易に手の届く範囲、すなわち「里山」の木はほとんど取りつくされてしまい、日本には「はげ山」が広がっていた。

明治になってヨーロッパから科学技術が導入されると鉄やアルミニウムのような金属や石炭、二十世紀の後半には石油や天然ガスなどのいわゆる地下資源が大量に使用され、「巨大都市」に象徴される現代の科学技術文明が発達し、人々はいま快適な生活を送っている。一方で、特に国内の木質資源が使われなくなったため、「はげ山」に緑が回復し、いま日本は四〇〇年ぶりの豊かな緑に包まれている。木を伐らねば植林する場所もないほどである。

しかし、人類が地下資源を使った代償は大きかった。近い将来にも起こりうると心配されている「資源の枯渇」と、各種廃棄物の増加による大気、水、土壌等の汚染、とりわけ温室効果ガスの排出による地球の温暖化などの「環境問題」は、豊かになった人類に突きつけられたもろ刃の剣である。

そこで「地下資源とはいったい何であろうか」と改めて問うてみる。実は地下資源は、そのほとんどが最初は地下になかったものである。石炭、石油は言うに及ばず、セメントの材料の石灰岩も、さらにあの鉄鉱石までが、地球の四六億年の歴史の中で、生物と無機的環境要素との共進化によって地下に閉じ込められたものである。しかもさらに重要なことは、そうすることによって現在の大気環境、温度環境、土壌環境など人類が生存し、活動しうる地表環境が形成されたのである。

産業革命以前、人類は（地表資源である土や石のほかは）太陽エネルギーによってリアルタイムで生産される生物資源と、太陽エネルギーによって直接駆動される水力、風力などを利用して暮らしていた。したがって、地球の進化を妨げることはなかった。しかるに現代人は、地球が自ら地下に閉じ込めることによって地球自身が進化してきた（その結果として人類も誕生し

た)その物質を、掘り出して再び地表に戻しているのである。言い換えれば、現代人は地球の進化(地球表面における生物と無機的環境の共進化)に反する行為を行っているのである。地球の地表環境がおかしくなるのは当然であろう。その端的な例が、地質時代の生物が地下に閉じ込められた化石燃料の消費による地球温暖化と言えらるだろう。地球環境問題の本質はこのあたりに存在すると筆者は考えている。

このように考えると、地球環境の悪化を食い止める大原則は、「人類と地球環境の(持続可能な方向への)共進化」を取り戻すことであろう。少なくとも地下資源の使用を最小限にし、化石燃料(古太陽エネルギー)の代わりに現太陽エネルギーに由来する自然エネルギーやバイオマスエネルギー(光合成エネルギー)を最大限利用することだろう(最近話題になっている温暖化対策としての二酸化炭素の地下封じ込めは、この意味では理にかなっていないと言えらるかもしれない)。

ところで現代の日本には現太陽エネルギーの所産たる木質資源が大量に蓄積されている。「森林は二酸化炭素の吸収源」と言われているが、それは樹木が成長の途上にある場合だけで、森林がクライマックス(極相)に達すると吸収量と放出量はほぼ同じになる。日本の森林がいま吸収源となっているのは、むしろ破壊され衰退していた森林がいま成長の途上にあるからである。江戸時代末期から明治中期にかけて、日本の森林面積は国土の半分程度まで減少していた。その森林が一九六〇年代以降急速に成長している。したがって、京都議定書に基づき定義された「管理」がなされていようといまいと、日本の森林はも

うしばらくは吸収するが、そのうち正味の吸収量は減らるだろう。しかし、木材の利用はカーボン・フリーであることがむしろ有益なのである。木材を伐採してもそこが林地として確保されていれば、やがては後継樹が二酸化炭素を吸収してくれるのである。大気環境を改善することはなくとも、悪影響を及ぼすことはないのである。

その意味で建設・建築業界はもつと木材を使用していただきたい。内装材はもちろん構造材としてももつと使えるだろう。例えば基礎杭として木材は使えないだろうか。直ちに強度が足りないとか、腐朽するとか言われるだろう。しかし筆者は、条件によつては、また技術開発によつては使える場合もあると信じている。道ではどうか。橋ではどうか。このように考えると、用途はもつとあるはずである。

その際、輸送エネルギーが少ない(ウッドマイルが小さい)国産材を使つていただきたい。安価で規格の揃った材を安定的に供給する体制ができていないから無理だと言われている。確かに業界の近代化は遅れている。しかし、その業界に近代化を促し、消費者を説得してでも使用していただきたい。そのくらいの覚悟がないと「日本は低炭素社会の構築に向けて二酸化炭素排出量を五〇%減らす」ことなど無理と言えらるだろう。

最近土木学会は、建設技術研究会内に「間伐材の利活用研究小委員会」を設置して、間伐材を建設分野で活用する手法の研究を進めているという。間伐材だけではない。持続可能な社会の形成のため、木材そのものの活用をもつと積極的に研究していくべきである。

土木事業への国産材の利活用

今村 祐嗣

京大大学生存圏研究所 教授
E-mail : Imamura@rish.kyoto-u.ac.jp

去る3月4日に「土木事業への間伐材利活用シンポジウム」を日本土木学会、日本木材学会、日本森林学会の共催で開催したが、その内容を紹介しながら土木事業への木材、特に国産材の利活用の展開を考えてみたい。

土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会の発足

昨年来、日本土木学会からの積極的な申し出があって、上記3学会で「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」をつくらうという話になった。過去においては土木の分野では多くの木材を利用していたが、その後、大半の資材や材料は鉄とコンクリートとに移行し、「土木」と言いながら木が表に出ることは少なくなっていた。しかし、最近の地球環境への社会の関心の高まりから、材料の製造に伴うエネルギー消費量やCO₂排出量などの環境負荷が低くだけでなく、炭素を貯蔵している材料である木材に熱い視線が注がれるようになってきた。このような状況を背景に、学会横断的な研究会を立ち上げ、土木分野への木材利用の拡大を目指して、供給側である森林や木材の専門家と、使う側である土木分野の専門家が協力し合い、土木事業で木材を使っていく際の課題の抽出、利用拡大に向けた技術開発とその方向性の検討、異分野間の学際的研究の推進を図ることになった。

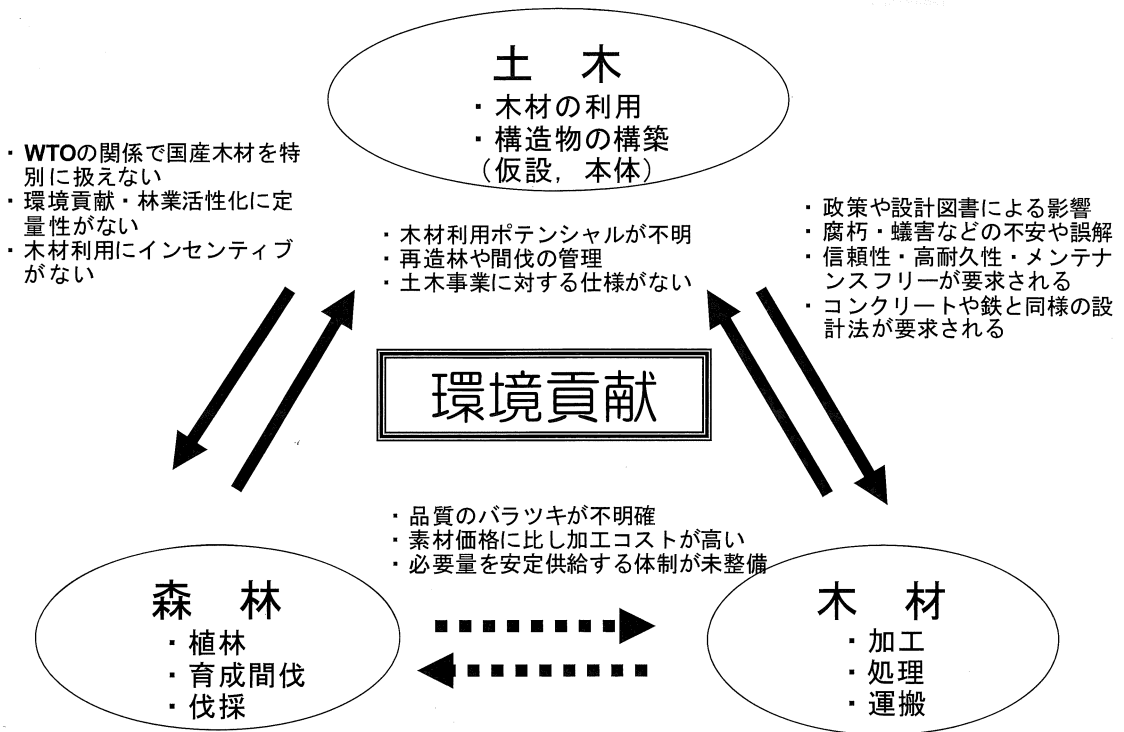
このシンポジウムは研究会のキックオフの意味合いもあったが、土木、木材、森林をキーワード

とした3学会からの基調講演の後、「間伐材の利活用を行うためにはどうすればよいか？」をテーマに、行政、研究、林業経営、市民のそれぞれの立場からパネル討論が行われた。

土木利用における課題

シンポジウムの基調講演者の一人である濱田政則早稲田大学教授（前土木学会会長）からは「土木における木材活用と環境対策への貢献」と題して、土木における木材利用の変遷と最近の取組みの紹介があった。政策的には1955年の「木材利用の合理化方策」の閣議決定による措置以降、道路橋示方書から「木くい」が姿を消すなどの杭基礎設計等において木材の記述が変わってきたが、現状では足場や支保材はほとんど金属製になっている。土木用材としての木材については、強度や耐久性の信頼性が金属製に比べて低く性能が不均質であること、大量のニーズに対する安定供給に課題があること、標準図や歩掛りが未整備であることから工事仕様へのマニュアル化が難しいこと、等が指摘されている。

しかし、1997年の東京駅前の旧丸ビルの解体工事で、設置から75年経過したベイマツの基礎杭が当時の姿で現れたことは、土木関係者に木を再認識させるきっかけになった。木材は生物材料であるため、もちろん腐るが、そのためには空気、水分、温度、の条件揃っている必要があり、どれかが欠如しても進行は停止する。また、防霉処理によって長期の耐久信頼性が担保されることも



▲土木における木の利用の課題 (3学会横断的研究会の検討資料から)

実証されている。講演では、土木における旧来からの木の利用と新たな展開が紹介されたが、道路盛土基礎地盤での「パイルネット工法」等は、環境負荷の低い木材の、土木分野での新しい利用法の一つであろう。

土木分野での展開

土木学会では建設技術研究委員会の中に自然素材活用技術小委員会(委員長:石田 修氏)を設け、CO₂排出を抑制する木、石、土、などの自然素材による長寿命で優良な社会資本の整備やストックを目標に、土木構造物への展開のための提案と課題について検討が行われてきたが、シンポジウムではその活動概要が報告された。

そのうち、土木分野での木の利用に関する提案をいくつか拾ってみると、①森林育成のための間伐材を利用した治山ダム、道路施設、法面防護工、水路、②現場近くから産出する木を使った遊歩道や治山施設、③伝統工法の見直し気運の高まりに

よる木製の聖牛、粗朶沈床、牛杵などの河川構築物、④多自然型河岸防護工、⑤木杭利用による地盤改良や基礎工事、⑥木による大型公共構造物や橋、等である。最近ではこのような動きが具体化され、加速されつつあるが、今後の積極的な利用のためには、環境負荷の評価、プレキャスト化、設計基準の整備、啓発活動、伝統工法の伝承、等の必要性を指摘している。また、土木構造物への木の利用については、各地の地方自治体レベルで標準図や標準歩掛りを含んだ設計・施工マニュアルが整備されつつある状況が報告された。

*

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を兼ねて、「土木事業への間伐材利活用シンポジウム」の内容の一端を述べたが、供給、加工、使用のそれぞれの立場からの密接な連携によって、国産材の利用促進が図られることを期待したい。

(いむら ゆうじ)



第37回岩盤力学に関するシンポジウム開催報告

第37回岩盤力学に関するシンポジウム(主催:岩盤力学委員会)が、2008年1月10日(木)、11日(金)に土木学会で開催された。参加者、発表件数とも前回は上回り、非常に盛会であった。シンポジウムは、口頭発表とポスターで構成されているが、初日の夕方には懇親会をポスター会場で開催したので、ビール片手に盛り上がった。

シンポジウムの様子、表彰者などは、http://www.jsce.or.jp/committee/rm/ronbun/simpotop_001.htmを閲覧いただきたい。

3学会(日本森林学会・日本木材学会・土木学会)連携によるシンポジウムを開催

去る3月4日、土木学会講堂にて、3学会連携「土木事業への間伐材活用シンポジウム」(日本森林学会、日本木材学会と共に森林保全と地球温暖化を考える)が開催された。参加者は約130名であった。

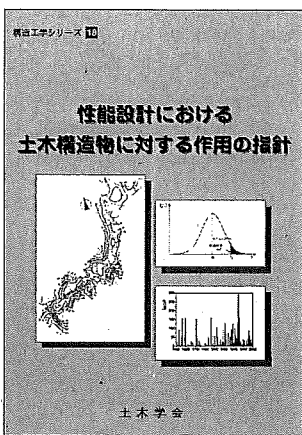
このシンポジウムは、地球温暖化防止対策や森林機能の保全、回復のために、国産木材の利用拡大が望まれることから、土木分野での可能性について学際的な議論を行ったものである。基調講演では、京都大学今村祐嗣教授(前・日本木材学会長)が木材の役割と特徴などについて話された後に、2007年9月に発足した「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」を紹介された。東京大学白石則彦教授(日本森林学会総務理事)は森林の現状と戦後からの変遷、今日の課題と可能性について、また、早稲田大学濱田政則教授(前土木学会長)は学際的技術開発と研究の必要性、土木分野における木材の利用例などについてそれぞれ講演された。



パネルディスカッションの様子

その後のパネルディスカッションでは、松本氏(林野庁)、政近氏(国土交通省)、外崎氏(森林総合研究所)、木崎氏(つくば森林組合)、秋庭氏(グリーンコンシューマー東京ネット)、平沢准教授(函館工業高等専門学校)による講演と議論が行われ、コーディネータ筒井氏(創建)により、本シンポジウムが土木分野における木材利用拡大の起点と位置づけられる、と締めくくられた。詳しい内容については、学会ホームページ(http://www.jsce.or.jp/committee/sekou/sub7/member_natural.htm)および学会誌の委員会報告に掲載していく予定である。また、2008年土木学会全国大会にて、関連テーマの研究討論会を開催予定である。(建設技術研究委員会 間伐材の利活用技術研究小委員会 沼田淳紀)

土木学会の本



構造工学シリーズ18号 性能設計における土木構造物に対する作用の指針

長く土木技術者は「あらかじめ与えられた」荷重の条件に親しんできた。しかし今や、構造物をつくり、守る業務への要求の多様化—性能設計を進める/新しい構造分野への挑戦/設計内容に対する安全の説明責任への要求/維持管理の計画を立てる/など—の局面において「性能阻害要因」への見識が求められる時代となった。この意味で、荷重に代えてより包括的な「作用」概念が使われている。今回の指針では構造物との関係性の整理や、変動・偶発作用の分類といった基礎論から、見方を論じつつ各種作用の記述に及んでいる。作用論への挑戦であり、技術者への招待である。

- 編集:土木構造物荷重指針連合小委員会(委員長:関西大学・古田 均)
 - 2008年3月発行、A4判、313ページ、並製本
 - 定価:2,940円(本体2,800円+税)→会員特価:2,650円 ■ 送料:470円
- ISBN 978-4-8106-0563-1

お申込み・お問合せ先

(社)土木学会・出版事業課/FAX注文書 108ページ
TEL 03-3355-3445/FAX 04-2946-0969
<http://www.jsce.or.jp/publication/>

丸善(株)出版事業部
TEL 03-3272-0521/FAX 03-3272-0693

「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

森林総合研究所 桃原郁夫

1. はじめに

日本木材学会は「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究」に関わる覚書を昨年度日本森林学会、日本土木学会と交わした。その後、数回の研究会開催を経て、最初の成果が「土木事業への間伐材利活用シンポジウム(3月4日、於土木学会)」で発表された。ここでは、このシンポジウムの概要と3学会によって設立された横断的研究会の状況について紹介する。

2. 土木事業への間伐材利活用シンポジウム

2.1. 基調講演

本シンポジウムではまず基調講演として、京都大学の今村祐嗣教授(木材学会)、東京大学の白石則彦教授(森林学会)、早稲田大学の濱田政則教授(土木学会)がそれぞれ標記テーマについて各学会を代表する立場から現状を報告した。以下に、各学会からの発表概要を記す。

(1) 日本木材学会

木材学会からは、学会のアクティビティ(支部活動・研究会活動等)の紹介の後、木材重量の半分が炭素であること、木材を大切に使うことが炭素の固定につながることを説明された。また、加工エネルギーの点からも木材が有利であり、建物の工法別にLCAを比較した結果、エネルギー消費量・CO₂排出量共に木造在来構法住宅が鉄骨造や鉄筋コンクリート造よりも環境負荷が少ないことが報告された。次いで、木材の長所・短所についての説明の後、木材の土木利用の事例として木橋、治山治水事業(治山ダム・ため池堰堤・水路工等)、木製防護柵(ガードレール)等が紹介された。



木材学会概要を説明する今村教授
(写真提供:沼田淳紀氏)

(2) 日本森林学会

森林学会からは森林学会に関する概要(1914年創立、会員数3000名弱、関連学協会、研究領域、定期刊行物)の説明の後、我が国の森林の多様性や様々な視点から見た森林構成の割合(国有林:民有林=3:7等)の現状が報告された。ついで、戦後スギの人工林が急激に増加した社会的背景やそれを支えた人工林樹種としてのスギの優位性、またその後の国産材低迷の要因が歴史を追って説明された。さらに、材価低迷により手入れ不足の森林が増加した結果、各地の森

林で問題が生じていることが写真とともに紹介され、このままでは森林の持つ公益的機能の発揮まで損なわれるおそれがあること、森林吸収源としてカウントされるためにはその森林が適切に管理されていることが必要であり、そのためにも間伐材の利活用促進が重要であることが訴えられた。

(3) 日本土木学会

土木学会からは土木学会に関する概要(1914年創立、会員数約4万人、海外協定学会21等)の説明の後、「土木」の語源が紀元前に書かれた「淮南子(えなんじ)」という書物に遡ること、近年大学から「土木」という言葉がなくなり「社会・基盤・都市・環境」等のキーワードに置き換えられていることなどが報告された。ついで、木材が土木において使われていた例として基礎杭や木橋での使用例が示された。また、1955年の「木材資源利用合理化方策」閣議決定後に木材以外の材料を使用する流れが強まり、結果として1976年に道路橋示方書、1988年には建築基礎構造設計指針から「木ぐい」が姿を消していくことになったことが説明された。最後に木杭の有効性を新潟地震の例を引きながら報告は締めくくられた。

2. 2. 間伐材の利活用技術研究小委員会報告

3学会からの基調講演に続き、「間伐材の利活用技術研究小委員会」からの報告がおこなわれた。これは、土木学会が建設技術研究委員会の下に設けた自然素材活用技術研究小委員会(現:間伐材の利活用技術研究小委員会)での活動(アンケート・事例調査等)をまとめたものである。報告の詳細については、土木学会建設技術研究委員会より「自然素材を利用した土木構造物・土木技術に関する調査研究報告書(平成18年7月)」が発行されているので、興味のある方はそちらをご覧ください。なお、この報告書は、土木学会を通して購入することが可能である。

2. 3. パネルディスカッション

パネルディスカッションでは、土木事業への間伐材利活用にかかわるパネリストが各自の視点から10分程度報告した後、聴衆との質疑応答となった。なお、パネリストは林野庁木材利用課 松本寛喜氏、国土交通省大臣官房技術調査課建設システム管理企画室 政近圭介氏、森林総合研究所 外崎真理雄氏、茨城県森林組合連合会代表理事会長 木崎眞氏、NPO法人グリーンコンシューマー東京ネット理事 秋庭悦子氏、函館工業高等専門学校環境都市工学科 平沢秀之氏の6名である。紙面の都合上、ここでは筆者が感じた各自のキーフレーズのみ簡単に紹介する。



パネルディスカッションの様子
(写真提供:今村祐嗣教授)

松本氏:適切に経営された森林がカウントの対象、日本のウッドマイレージは高い、違法伐採材の

排除と間伐材へのシフトが望まれる。

政近氏：国交省はグリーン購入法を通じて取組んでいる。ただし対象は小径木に限られる。

外崎氏：木材を使う環境上のメリットは、森林活性化効果、炭素貯蔵効果、省エネ効果、化石燃料代替効果である

木崎氏：山が悲鳴を上げている、材価低迷により作業者の人件費を賄えない。

秋庭氏：私たちの買い物で社会が変わる、消費者は経済性も環境性も重視している。

平沢氏：設計マニュアルの必要性が大きい、宮崎に建設された「かりこぼうず大橋」は一戸建て60軒分の木材を使用している。

その後、パネリスト間や会場との間で質疑応答がおこなわれたが、「山がどうにもならないところまで来てしまっている」という森林組合連合会の木崎氏の諦念の様子と、その他のパネリストや聴衆とが持つある種第三者的な気楽さとの、凄まじいまでの温度差が印象に残るパネルディスカッションであった。

3. 土木における木材の利用拡大に関する横断的研究

「はじめに」で記したように木材学会は森林学会、土木学会と覚書を交わし、「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究」を立ち上げている。この研究会は、木材の供給側である森林学会、木材の加工・利用を専門とする木材学会、木材の利用先である土木学会が、木材による環境貢献という同一視点の下、「土木における木材の利用拡大に関する研究」を行う目的で設立されたものである。その目的は、これまで各学会で個別に研究されていたため解決できなかった、あるいは木材利用を妨げてきた諸因子を3学会で協力して解決しようとするものである。これまでに行われた数回の会合で、木材利用拡大における課題の抽出が終わり、2008年度の研究目標が立てられたところである（別紙－上記シンポジウムにおける今村会長発表資料－参照（2008年3月時の体制））。今後は、木材利用・課題抽出WG（仮称）と木材利用拡大技術検討WG（仮称）とを立ち上げ、各課題について集中的に検討していく予定である。

別紙 <http://www.jwrs.org/woodience/mm008/oudanken.pdf>

現在、WGメンバーの公募はおこなっていないものの、必要に応じて学会からの推薦を受け付けることになっているので、興味のある方は木材学会常任委員または「横断的研究会」の委員（木材学会からは今村、外崎、桃原）とコンタクトをとっていただきたい。また、今後各WGの進捗状況によっては、「横断的研究会」から各WGへの参画をお願いすることもあるので、その際は是非ともご協力を賜りたい。

さらに「横断的研究会」に関わる今後の行事として、「木材を活かした国づくりまちづくり－土木技術ができる地球温暖化対策－」と題した研究討論会が9月11日（木）12:40-14:40土木学会開催中の東北大学で開かれる（研究討論会のみへの参加の場合、土木学会年次大会参加費は不要）。また、11月21日には京都大学生存圏研究所・木質ホールにおいてシンポジウムを開催することも決定している。今後演題が決まり次第木材学会のホームページで告知する予定である。こちらについてもお誘いの上多数ご参加いただければ幸いである。

防災・環境問題に関する学協会横断的研究のすすめ

濱田政則 HAYADA Masanori
論説委員
早稲田大学理工学術院 教授

中国四川省でマグニチュード8.0の巨大内陸型地震が発生した。現時点(6月12日)で死者・行方不明者9万人以上とされている。震源域が山岳地帯にあり交通網と情報途絶のため、正確な被害状況が把握されていない孤立地域も未だあり、今後被害がさらに拡大すると思われる。一方、本年5月初めにミャンマーを襲ったサイクロンは7万人以上の犠牲者を出した。政治体制の違いもあり、国際的な救助活動が順調に行われておらず、今後の降雨などによりさらに被害が拡大することが懸念されている。本年に入ってからこの二つの大きな自然災害は、「21世紀が災害の世紀になるのではないか」ということを現実のものと感じさせられる災害となった。

アジア諸国において、森林・耕地の喪失、砂漠化、河川・海岸の浸蝕などの自然環境の悪化、および都市部への過度集中、地方の過疎化など社会環境の脆弱化が進行している。自然環境や社会環境の急激な変化が自然災害の規模と頻度を拡大していると考えられる。風水害や地震災害などの自然災害から多くの教訓を学び、また急激な高度経済成長をもたらした各種の環境問題を克服して来たわが国が、アジアをはじめとする地域において、自然災害の軽減と環境の回復・維持に貢献することが強く求められている。

自然災害や環境問題に適切、効果的に対応するためには土木工学のみならず、地震学、気象・気候学、海洋学、化学などの理工学分野、社会学、政治・経済学等の人文科学分野を包含した横断的な取り組みが必須であることは論を待たないが、分野間の学際的連携が進んでいない。土木学会にも自然災害の軽減に関連する調査研究委員会として、地震工学委員会、水工学会委員会などいくつかの委員会が設置されているが、委員会間の連携は不十分のように見受けられる。環境問題に際しても地球環境委員会・委員会が常置委員会として存在し、その他の常置委員会の中に環境問題を取り扱う小委員会が設けられているもののこれらの委員会間の連携は必ずしも十分でないと考えられる。土木学会の内部でもこのような状況であるため、他の学協会との横断的な連携も、以下に述べる2、3の例を除いて進んでいないのが現状である。新しく策定された「J-SCE2010」においても他の学協会との学際的調査研究の展開が今後の学会活動の重点課題とされている。分野横断的な調査研究においてリーダーシップを発揮することが土木技術者に求められており、このことが古市公威初代土木学会会長の「将に將たる土木技術者」にもつながると考えられる。

策が検討された。検討結果をもとに、地震災害軽減に向けての政策・施策提言がまとめられた。両学会共同ということもあって、社会的に大きな反響を呼ぶとともに、中央防災会議など政府機関の施策やその後調査研究活動に少なからず影響を与えた。

学協会横断による調査研究の取り組みのうち一つの事例は、土木学会、日本森林学会および日本林業学会による「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」の活動である。この研究会の目的は、古来土木分野の主要材料であった木材を木杭などに再び活用し、木材の需要と生産の国内サイクルを復活するとともに、森林を再生することにより地球温暖化の防止に貢献することであり、平成19年度より活動を開始している。

以上の二つの共同研究の他にも、平成19年に発生した能登半島地震および新潟県中越沖地震において、土木学会、日本建築学会、地盤工学会、地震学会、日本地震工学会による共同調査が行われている。さらに、今回の中国の地震に関しても、復旧技術支援を目的としてこれら5学会による連絡会議が設立された。世界的な自然災害の多発および環境悪化に対応するためには、このような学協会横断的な活動を今後も積極的に推進する必要がある。将来的には特定の課題に関して、関連学協会が共同の常置委員会や連絡会を設置することも考えられる。これらの横断的活動が学協会への貢献度を高め、社会的認知度の向上にもつながるものと考えられる。



土木事業への間伐材利活用シンポジウムに参加して

工藤康夫*

1. はじめに

近年、地球温暖化対策や、国産材の積極的な利用を目的として、公共土木事業においても木材利用の機会が増えている。

しかしその一方で、実際に工事を担当する国や地方自治体、また施工業者の現場担当者にとって、木材の耐久性や適切な維持管理の方法、またそれらにかかる費用などについて、データや指針などが十分に示されていないことも指摘されている。

そこで、土木学会の主催により、これらの問題を踏まえた上での土木事業における木材利用の増大を図るためのシンポジウムが土木学会講堂において開催され、各学会、業界から約 130 名が参加した。

またこのシンポジウムは、土木学会、日本森林学会、並びに日本木材学会の共催による初めての試みである。

2. 基調講演

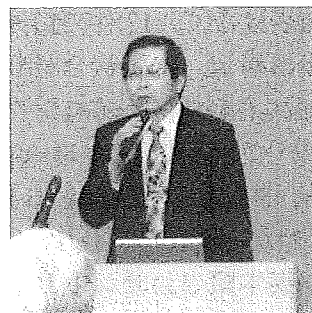
各学会とも冒頭で学会の概要説明の後、各々の話題に移っていった。

(1) 「土木事業への間伐材利活用 ～土木学会、日本森林学会、日本木材学会と共に森林保全と地球温暖化を考える」

日本木材学会 京都大学 今村祐嗣教授
材料として見た木材の特徴の他、工業材料としての木材の特徴として、生物的な劣化作用を受ける。温度、酸素、水分の 3 つの条件が揃うことで腐朽が発生・進行する。

この 3 条件の内、特に水分条件が木材の腐朽に影響を与えている。

また、地中部分では酸素の不足から微生物の活



動が大きく抑制されるのに対し、接地部では腐朽が促進されている例が多く見られる。

木材は設計及び維持管理により水分をコントロールすることで、腐朽の危険度を低減できる。

また近年、従来からの型枠や公園資材だけに限らず、橋や治山ダム、道路擁壁などの本体工事にも木材が使用される例が多くなっている。

これらの情勢を踏まえ、環境貢献という同一の視点から、木材利用拡大における課題を検討するため、土木学会、日本森林学会、並びに日本木材学会の 3 学会共同で、2007 年 9 月に「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」を設立している。

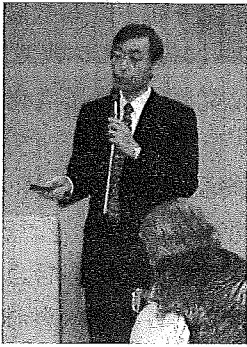
この研究会では 2008 年度の目標に、①「木材の利用拡大に関する課題の抽出」、②「木材の利用拡大に関する技術とその方向性の検討」、③「学協会間における学術的研究の推進強化」、④「これらの課題解決のための新たな外部資金獲得」を掲げて活動を行っている。

(2) 「森林保全と地球温暖化を考え土木分野への間伐材利活用を図る」

日本森林学会 東京大学 白石則彦教授
戦後スギの人工造林が増大した背景には、国土の荒廃や水害の多発、また木材需要の増大など、多くの理由が挙げられる。

しかし、昭和 40 年代以降、外材の輸入拡大と

* 群馬県林業試験場



円高によって価格競争力の低下を招き、我が国の木材需要に占める国産材の割合は年々減少の一途をたどっている。

その結果、林業の採算性低下によって全国で手入れの遅れた人工林や再造林放棄地が問題となっ

ていることや、後継者不足、不在所有者も増大したことから、公的な管理をも困難にしており、森林の公益的機能の発揮に懸念が生じている。

一方で近年、森林は二酸化炭素の吸収源としての経済価値が注目されており、我が国のCO₂排出削減目標の6%のうち、最大3.8%を森林による吸収としてカウントすることが認められている。

但し、吸収源としてカウントできるのは、1990年以降、適切に管理された森林に限られる。

現時点では3.8%の達成が危ぶまれており、特に人工林での手入れが緊急課題となっている。

(3)「土木分野における木材活用と環境対策への貢献」

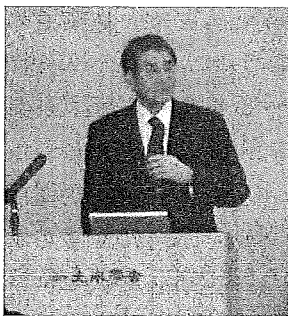
土木学会 早稲田大学
濱田政則教授

土木学会の重点調査研究課題では、環境問題への対応、自然災害軽減への対応、基盤施設の長寿命化への対応を掲げている。

日本森林学会、日本木材学会との間で環境貢献を目的とした横断的研究会の他、日本建築学会との間で土木・建築構造物の耐震照査と補強方法に関する共同研究を行っている。

近年、土木工事への木材利用として様々な使用例が挙げられるが、1964年の新潟地震で発生した液状化現象において、新潟駅舎のコンクリート杭使用箇所では建物が傾くなどの被害が見られたのに対して、木杭（ベイマツ）使用箇所では健全であったことが報告されている。

このように、地震の際に軟弱地盤や盛土部分で



発生する液化現象に対しての木杭の有効性も期待されている。

3. 間伐材の利活用技術小委員会報告

この委員会では、土木分野での木材利用が依然と少ないことから、土木学会としての間伐材利用についての立場を明確化し、土木産業界が間伐材の利用を高めるための方策を検討することを目的に、様々な活動を行っている。

具体的な活動内容として、学会誌や研究会を使った情報の発信・共有の他、現状の把握として、林業、木材生産地視察、木材を含む自然素材の活用例調査やアンケート調査を行い、今後土木分野への自然素材活用についての提言を行っている。

4. パネルディスカッション

○コーディネーター

(株)創建 代表取締役 筒井信之氏



○林野庁木材利用課 松本寛喜課長補佐

近年の世論調査の結果では、森林に期待される働きとして、温暖化防止効果が最も多くを占めている。



このようにCO₂削減目標達成に向けて森林に寄せられる期待は増大している

が、削減目標6%のうち、3.8%の吸収量確保にカウントできるのは、1990年以降適切な森林経営が行われた森林に限られている。

しかし、現状は早急な手入れを必要とする森林が多く存在し、吸収源目標達成には、2007年か

ら2012年までの6年間に毎年55万haの間伐が必要である。(現ベースでの間伐面積は年間33万haであるため、毎年22万haの上乗せが必要)

また、もう一つの課題は、間伐を行ったものの、利用されず森林内に放置された間伐材であり、気象災害の際には、これらが下流域まで流出し、二次的な災害を引き起こす事例も報告されている。

災害の防止を図る上でも、間伐材の利用を促進することが重要である。

○国土交通省技術調査課 政近圭介課長補佐



国土交通省の各事業においても、強度や耐久性、機能が確保されることを前提に、木材利用が望ましいところでは、積極的に木材を使用している。

砂防事業や公園事業、住宅事業、港湾事業など様々な分野で幅広く木材

を活用している。

また、小径丸太材や製材品などの木材関係資材は、グリーン購入法に基づく基本方針で特定調達品目として指定し、国などの機関が率先して調達を推進することとしている。

○森林総合研究所木材特性研究領域 外崎真理雄 領域長



木材利用のCO₂削減効果は、4つに大きく類別される。

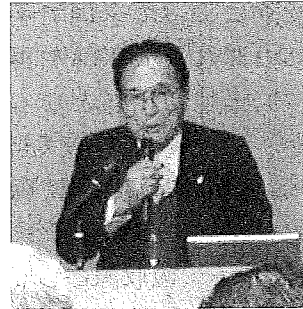
①「森林活性化効果」放置された天然林では、見かけ上CO₂の吸収も放出も無くなる。CO₂を最も吸収するのは、持続的林業が行われて

いる森林であり、新規・再造林による森林面積の確保と、長伐期・大径材林業による面積あたり蓄積量の増加を期待する効果。②「炭素貯蔵効果」木材製品としてCO₂をストックする効果。③「省エネ効果」加工製造に多くのエネルギーを要する鉄やコンクリート、石油製品を、加工エネルギー

が少ない木材に代替する効果。④「化石燃料代替効果」化石燃料を木材エネルギーに代替する効果。

今後これらの効果を複合的に実施していくことが、CO₂削減に必要である。

○茨城県つくばね森林組合 木崎真代表理事会長



かつては適正な管理のため間伐を行うことによって、森林の経済的付加価値を期待することができた。

しかし、木材価格は年々低下する一方で、人件費は上昇してお

り、間伐の遅れた森林が増えている。

昭和36年には、スギ素材丸太1m³あたりの金額で雇える作業員は11.8人であったのに対して、平成16年では0.4人にまで落ち込んでいる。

需要側から、国産材を使いたいと言った要望が多く出ていることは有り難い。

山側としてこれらの要望に応えたいと考えているが、実際には搬出を断念した結果、切り捨て間伐となるものも多く、非常に無念の気持ちである。

コストを抑えた搬出を行うためには、作業道の整備が急務であると考えます。

○NPO 法人グリーンコンシューマー東京ネット 秋葉悦子理事



消費者が環境問題に配慮した商品選択を行うこと、またはそのための情報提供活動であるグリーンコンシューマリズムの普及啓発によっ

て、持続可能な循環型社会の実現を目指す活動を行っている。

様々な活動の中で、2004年に開催された「日本の森を守る円卓会議」において、木材の利用が林業の発展に繋がることを知り、「木づかい運動」にも参加している。

また消費者を対象に行った「木」についてのアンケートの結果、多くの消費者が自らの生活や、公共事業における国産材の積極的利用が重要と考えていることも分かった。

このように、多少価格が高くても、環境に配慮した製品を積極的に購入する消費者が増えており、このような活動をさらに拡大しようと考えている。

土木業界は、環境貢献も行っていることを今後積極的にPRして欲しい。

○函館工業高等専門学校環境都市工学科 平沢秀之准教授



鉄製やコンクリート製に比べ1.2～1.5倍のコストが要求されるにもかかわらず、近年の環境負荷低減への関心の高まりなどから、木橋架設事例が増大して

いる。

しかし、今まで国内では木橋に関する設計マニュアルが無く、国内の木質構造設計規準の準用や国外の木橋に関する文献を参考にしているのが現状であった。

そこで、土木学会木橋小委員会で木橋の設計マニュアル編集を行い、「木橋技術の手引き 2005」を発刊と、講習会を開催するに至った。

しかし、設計基準の整備、経済性、耐久性に関する情報がまだ十分では無く、今後もこれらの情報のさらなる整備が必要である。

5. おわりに

このシンポジウムでの試みは、今後土木事業への木材の利活用を推進していく上での問題点、有効性を確認するためのきっかけとなり、土木、木材業界のみならず、林業から最終利用者である消費者に至るまで共通認識を形成する上で大変有意義なものであったと考えられる。



しかし、今後木材の積極的な利活用を行う上で流通コストの問題は避けて通れないものであり、需要、供給双方でのいわゆる、「価格の落とし所」を見いだすための作業が大きな焦点となることが予想される。

筆者は地場産木材を使った家づくりの活動に関わっているが、それぞれが（地場産の）木材を積極的に使うことの有効性や、現在直面している問題に理解を持ちつつも、やはり建築、木材業、林業などの需給双方におけるコスト設定での歩み寄りに大きな労力を費やした経験がある。

そこで多くの一般消費者に対して、地場産木材を使用することが地域の林業活性化や環境への配慮に繋がることだけでなく、販売価格の提示と品質の保証を明確にして積極的にPRを行ない、木材価格が適正であるかを消費者の判断に委ねてきた結果、小規模ながらも地場産木材を使用した家づくりのシステムが実現している。

今回パネラーの一人であるグリーンコンシューマー東京ネットの秋葉理事が指摘されたように、多少価格が高くても、環境に配慮した製品を積極的に購入する消費者が増えている。

このような社会背景の変化を踏まえて、木材の利活用について積極的なPRや品質への責任を果たし、消費者の理解を深めることが、土木業界、建築業界を始め、林業、木材業界など全ての業界に今後求められていくと考えられる。

その中でもとりわけ土木工事は、道路や橋、公園整備を始めとする公共施設など、一般の利用者が目にする機会も多く、そのPR効果は極めて高い。

今後の土木業界のさらなる木材の利活用に期待し、微力ではあるが筆者自身も木材業界の一人として、積極的な協力を行っていきたいと考えている。

土木分野における木材利用の状況と展望

石田 修*1, 田代晃一*2, 沼田淳紀*3, 林原 茂*4, 奥田光秋*5

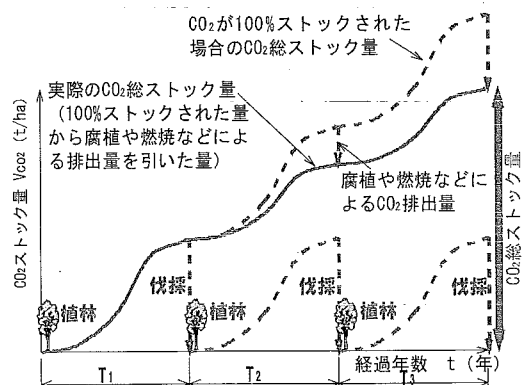
1. 地球温暖化と森林の役割

2005年に発効された京都議定書では、日本は1990年比6%の温室効果ガス削減を約束している。2006年度の温室効果ガスは6.2%増加しており、現時点では12.2%削減が必要となっている。このうち、6.8%は排出削減、1.6%は京都メカニズムの利用、残りの3.8%を森林吸収で賄うとされている(2008.5.16環境省発表)。森林吸収による3.8%は、京都議定書によれば、森林において植栽、下刈、除伐・間伐など樹木が健全に育つ環境が整備されている森林経営された森林が主な対象となる。しかしながら、現状では手入れされない森林が多く、また、間伐によりせっかく長年育てた木材を得ても、運搬コスト、人手不足、手間の面で割にあわず間伐した木材が放置されるといった森林の荒廃が進んでいる。2007年度「森林・林業白書」¹⁾には、長期的に国産材需要や木材価格が低迷してきた中、森林所有者の施業意欲の低下により適切な間伐が実行されない等の状況が一部にみられるほか、林業就業者の減少・高齢化が進むなど林業を取り巻く状況には厳しいものがある、とされている。また、「森林・林業基本計画」²⁾によれば2004年で1700万m³である木材供給・利用量を2015年には2300万m³に促進するとし、国産木材の新たな利用先を模索している。

木材利用は、森林伐採を伴うことから地球温暖化対策に逆行していると誤解されがちであるが、

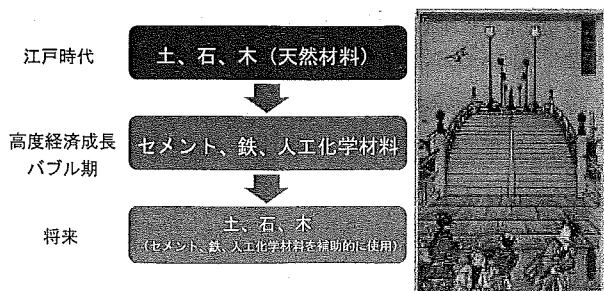
合法木材を利用する限りそうではない。第1図は、経過年数と樹木のCO₂ストック量関係の模式図である。植林後の樹木はCO₂を大気から吸収・固定するが、その量はある段階まで進むと頭打ちとなる。その段階で木材を伐採・保存し再度植林を行えば、さらにCO₂を大気から吸収固定化できCO₂ストックが可能となる。伐採した木材が燃えたり腐朽すれば、ストックしたCO₂を再び大気中に排出したことになるが、化石燃料とは異なり、もともと大気から吸収したものである。大気中のCO₂の増加には寄与しない(カーボンニュートラル)。さらに、燃焼や腐朽などによるCO₂排出量を小さくすればCO₂固定(カーボンストック)量を増やすことも可能となる。つまり、木材を長期間利用することが、カーボンストックの増大へとつながる。

我々、間伐材の利活用技術研究小委員会(土木学会/建設技術研究委員会内に設けた小委員会)では、温暖化対策の一つとして、土木事業における国産木材の利活用を考えている。江戸時代には理想的な循環型社会が形成されていたと言われ、この時代の土木工事には土・石・木が使用されていた。木材も、1950年頃までよく使われていた。



第1図 木材のCO₂吸収量とストック量の模式図

*1 大成建設(株)土木本部土木設計部
 *2 日本国土開発(株)土木統轄本部技術部
 *3 飛鳥建設(株)技術研究所
 *4 前田建設工業(株)技術本部新規事業部
 *5 東急建設(株)土木総本部土木設計部



第2図 建設材料の変遷
(写真は土木学会デジタルアーカイブスから転載)

その後、高度経済成長期、バブル期を経てセメントや鉄が大量に用いられるようになり、一方で、木材はほとんど使用されなくなった。将来へ向け、歴史も実績もある天然素材の土・石・木、特に、木材の利活用を地球環境の視点で再考することが重要である。これは、「土木」という語源を考えても自然な流れである³⁾。この概念を第2図に示す⁴⁾。現在、日本の森林は、そのベースにある人工林資源の成就が進み、「森林を活かす時代」に入ったといわれている⁵⁾。

また、土木事業は全国に点在し、その規模も大きく、木材の利用先として可能性が大きい。木材を利活用できれば、それは森林の活性化に結びつき、温室効果ガス削減にも寄与する。森林が活性化すれば、生物多様性の保全、土砂災害防止機能、水源涵養機能、保健休養・レクリエーション機能などの機能も高まることとなる⁶⁾。

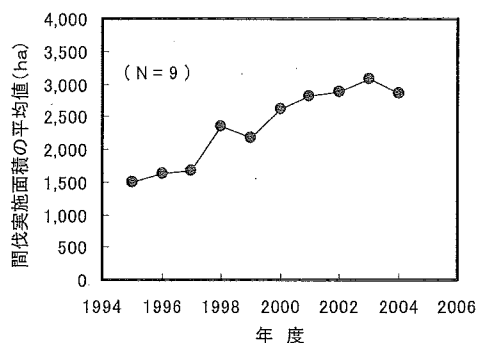
2. 自治体の木材利用状況調査

地球温暖化対策とともに治山や河川環境維持にも関連する森林整備に不可欠な間伐と、その結果発生する間伐材の利用に関して実施したアンケート調査結果⁷⁾を以下に示す。

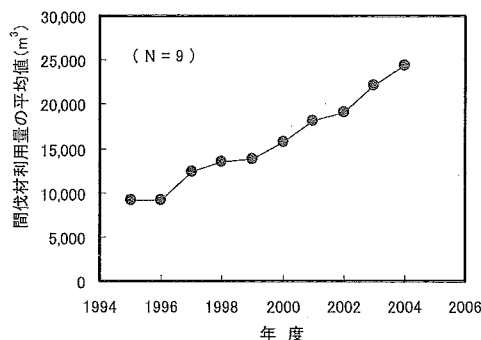
返答のあった30の自治体における間伐実施面積の客観的評価として、年度ごとの間伐実施面積平均値を算出し、その経年変化を第3図に示す。ここでは1995年から2004年までの10年分のデータについて回答があった9都道府県を抽出した(N = 9)。これより、1995年から2004年までの間伐実施面積は、ほぼ一定の割合で漸増していることがわかる。この間には、林野庁が計画した「緊急間伐5カ年対策」が2000年度～2004年度の期間で実施されている。

次に、各自治体の間伐材利用量の客観的評価として、年度ごとの間伐材利用量の平均値(N = 9)を算出した。その経年変化を第4図に示す。この図より、間伐材利用量は10年間で2倍以上に増加していることがわかる。

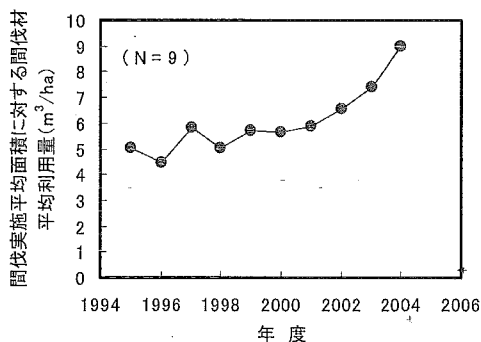
第5図に間伐実施平均面積に対する間伐材平均利用量の経年変化を示す。これを見ると、間伐材の平均利用量は、1994～2000年では横ばい傾向で、2001年以降は増加していることがわかる。森林・林業白書⁸⁾によると、2005年の全国データでは10 m³/haとなっており、アンケート結果における2001年以降の上昇傾向と一致すること



第3図 間伐実施面積 (平均値) の推移



第4図 間伐材利用量 (平均値) の推移



第5図 間伐実施平均面積に対する間伐材平均利用量の推移

が分かる。

なお、ほとんどの自治体において、農林水産部門へ利活用が土木部門に比べて多いことが分かった。

また、22の自治体で設計・施工マニュアルがあると回答し、その大部分で、標準図や標準歩掛を示していた。土木構造物の種類としては、ダム、木橋、側溝蓋、デリニエーター、ガードレール、遊歩道、粗朶沈床・聖牛、木杭、木製水路、丸太伏工、法枠工、柵類、法面防護工、その他として利用されていた。利用の種類は各県の特徴が表れたため、その他の少数意見が多く、標識・看板、型枠、階段工、ベンチ、机なども挙げられていた。

3. 土木構造物の木材利用例

土木工事における木材利用事例調査を東京都、岩手県及び長野県などで実施した。

東京都建設局では、荒廃が進む多摩の森林の保全・活性化、スギ花粉対策及び地球温暖化対策として、多摩産木材を活用する取り組みを行っている。また、国内第2位の森林面積を有する岩手県では県をはじめとして、市やNPO法人の活動も活発であり、間伐材の有効利用に熱心に取り組んでいる。長野県においては、県産材を利用した木製ガードレールの開発に着手するなど、木材利用に対し、活発な活動を行っている。

木材の土木構造物への活用事例を現地調査結果より、幾つか取り上げて紹介する。

①遊歩道

東京都の上野恩賜公園内に設けられた遊歩道(写真1)は、奥多摩産木材を「木材ブロック」に加工して敷き詰めた約230m(約500m²)の木製遊歩道である。木材ブロックは、表面のすべり

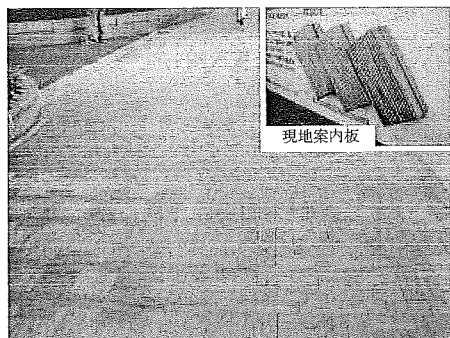


写真1 木材利用例①遊歩道

止め加工と防腐処理が施されている。この事例は多摩地域の林業を活性化させる一環として取り組まれたものである(現地案内板)。木を利用したことにより自然にも足にも優しい温もりのある空間が創出されている。

②木製水路

木製水路(写真2)は、岩手県内の間伐材を活用した水路である。本製品は、第6図、第7図⁹⁾に示すようにキット化されており、施工やメンテナンスが容易である。製造と販売は、異業種(森林組合、企業、市民、行政)が運営するNPO法人(循環資源デザインネットワーク)が行っている。このNPO法人では、間伐材単体もしくは間伐材とコンクリートを組み合わせた環境負荷が小さい再生可能な多数の土木アイデア製品を扱っている。

③丸太伏工

丸太伏工(写真3)は、木製水路と同様に岩手

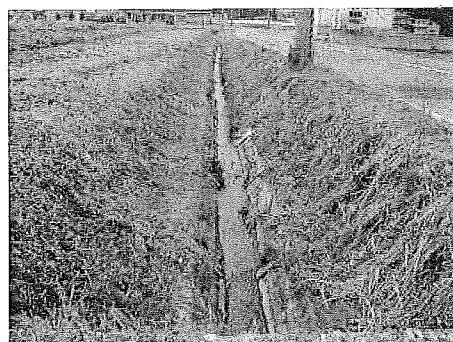
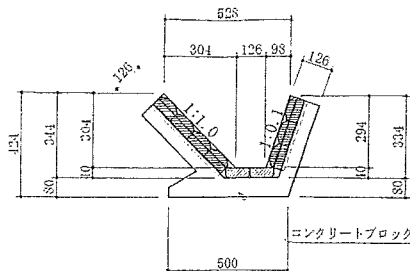
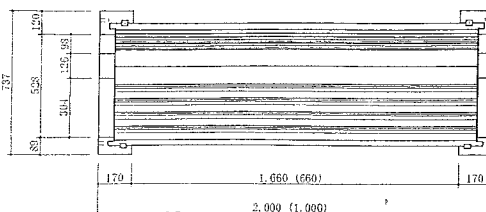


写真2 木材利用例②木製水路



第6図 木製水路断面図



第7図 木製水路平面図

県内の間伐材を用いた林道構造物であり、切土法面の浸食防止や曲線部の視距確保のための雑草繁殖防止を目的として施工されている。県では、丸太伏工の採用根拠として、主に以下の2点を挙げている。

- ・ 工事規模に対して、比較的多くの木材を使用できる工事である。
- ・ 丸太伏工の直接工事費は約 3000 円 / m² であり、厚層基材吹付工 (t = 30 mm) と同程度である。

これらの採用根拠をみても、丸太伏工は、森林環境、地球環境、コスト面において有効な工法であると考えられる。

④木製治山ダム

岩手県紫波郡に施工された木製治山ダム(写真4)は、幅 14.4 m 奥行き 2.7 m、27 ユニットの木製枿(材質：カラマツ、末口径 20 ~ 25 cm)を積重ね、栗石を中詰めして築造されている。1基あたりの木材使用量は 26 m³。木製ダム1基の工事費は 500 万円程度である。当木製ダムは、石礫の流下による衝撃力や磨耗により破壊される恐れがないこと(土石流発生地域には採用しない)、木

製ダムの直下に永久構造物であるコンクリートダムがあること、木製ダムの直接堆砂区域で斜面崩壊の恐れがないこと、などの現場条件を定めて設計を行なっている。

⑤木製ガードレール

木製ガードレールは、「防護柵の設置基準」¹⁰⁾が 1998 年に性能規定に改訂されたことによって、間伐材を主な材料として用いた場合でも、定められた性能を達成できれば、使用することが可能となった。木材の強度・材質は樹種や産地特性によって異なるため、木製ガードレールを採用する際には、車両衝突に対する強度特性、変形特性などについて予め静荷重試験、衝突シミュレーションなどで予測した後、実車衝突実験を行って、性能を確認する必要がある。「防護柵の設置基準」における車両ガードレールとして必要な性能は、車両逸脱防止性能、乗員の安全性能、車両の誘導性能、構成部材の飛散防止性能の4項目である。木製ガードレールの開発には、これまでに木材加工技術協会、和光コンクリート、長野県、岩手県などで数種類の成功例があるが(写真5, 6)、日本での採用例はまだ少ない。一方で、ヨーロッパでは、



写真3 木材利用例③丸太伏工



写真5 木材利用例⑤木製ガードレール (岩手)



写真4 木材利用例④木製治山ダム

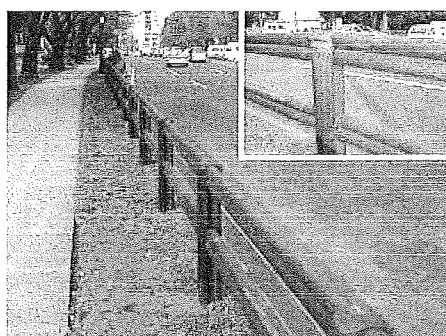


写真6 木材利用例⑥木製ガードフェンス (東京)

木製品がデザイン、機能、環境面に優れていることが社会的に認識されており、3～4割コストが高くて木を使用することが当たり前とされ、木製のガードレールは多く採用されている¹¹⁾。

⑥木橋

近代以前の建造物の長尺軸材料は木材が代表的であり、橋梁も木材を使用していた。近代以降は、高強度かつ高い接合効率で組み立てることができる鉄とコンクリートにとって替わられた。しかし、近年になって、大断面集成材の規格化などにより強度保証された木質材料を使用することにより木橋の構造設計が可能となった。木材を主材として利用した木橋は、「現代木橋」あるいは「近代木橋」と呼ばれ、木材の特性である柔らかさや温かみ、再生資源であることなどの新たな価値も見出されて、採用が増加している。

写真7及び写真8に現地調査を行なった木橋を示す。岩手県の小出橋では、維持管理マニュアルを整備し、これに従って点検を行なっている。木橋については、架替えを含めた維持管理を適切に行なうことによって、長期間に渡って維持されて文化財となっている例もあり、その維持・補修・

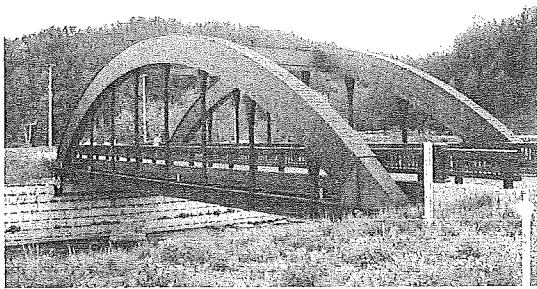


写真7 木材利用例⑦木橋 (岩手県 小出橋)

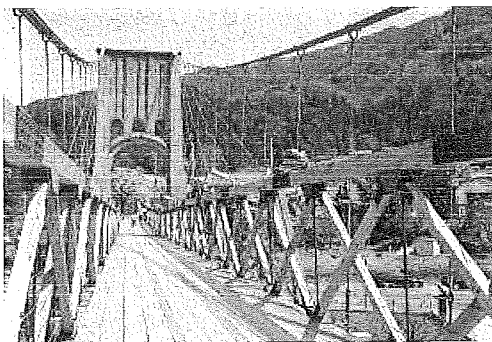


写真8 木材利用例⑧木橋 (長野県 桃介橋)

架け替え技術から学ぶべきところは多い。

長野県の桃介橋は、1993年9月にできるだけ原形に沿った復元工事が行われ、文化財として復元工事が完了した。木材部分は全て取替えられ、地元産木材のサワラ、アスビ、ヒノキが使用されている¹²⁾。

木橋に関する設計基準類には、国土技術研究センターから発刊されている「木歩道橋設計・施工に関する技術資料」¹³⁾、土木学会から発刊されている「木橋技術の手引き 2005」¹⁴⁾などがある。

木橋の種類としては、現在の鋼橋に用いられている形式と同様であり、桁橋・方杖桁橋・トラス橋・アーチ橋・斜張橋・吊橋などを挙げることができる。また、これら以外には跳ね橋・カンチレバー橋・太鼓橋など意図的に古い形態にする場合も見られる。

4. 今後の課題と提案

森林活性化のための産物である木材に注目すると、地方自治体での利用実績は年々増え、間伐材活用マニュアル等も整備されてきている。しかし、利用実績は農林水産関連事業に多く、土木分野では「多種」・「多様」に木材が利用されているものの、「多量」には利用されていないという現状が明らかになった。

第1表は、自治体に対するアンケートの結果⁷⁾をもとに、間伐材利用に関する課題をまとめたものである。項目は、コスト、耐久性、強度、安定供給、使いやすさ、マニュアルなどに関するものが挙げられる。特にコストについては、既往の材料に比較して高価であるという内容であり、ほとんどの自治体で間伐材の利用率向上の障害となっているようである。

これらの課題の解決策として、以下のようなことが考えられる。

- ①木材を利用した建造物と既往の材料を使用した建造物を比較検討する場合には、自然環境・生活環境への影響を評価項目として盛り込む。これにより、木材利用の利点がクローズアップされる。
- ②木材を利用した建造物の施工法に関して、現地で施工しやすくするための工夫；例えばプレキャスト化などについて考案する。

第1表 木材利用に関する課題

項目	内容
コスト	コンクリート、鋼材等の他の材料に比べて、材料費は安価であるが、設置費などが高く、全体として高コストとなる
耐久性	木材は腐朽して、性能が低下するため、防腐朽塗布などが必要となり、維持・更新などの管理費用が他の材料に比べて高い
強度不足	コンクリート、鋼材等の他の材料に比べて強度が不足するため、大規模構造物に不適である
安定供給	大量なニーズに対応できず、絶対量が不足している
品質の安定	材料の不均質性、強度のばらつきがあり、一定品質の確保が困難である
使い易さ	二次製品などのように加工されていないため、現地での施工時間がかかる
マニュアル	標準図や歩掛りの整備が遅れているため、積算できず工事仕様に盛り込めない
技術の伝承	伝統工法では、技術の伝承が必要であるが、人材が不足している

- ③材料の均質性や強度などの一定品質の確保については、集成材加工による付加価値の向上¹⁵⁾や、設計時の安全率を通常の材料に比べて大きく設定する、などの設計手法を採り入れた設計マニュアルを整備する。
- ④木材活用の気運を盛り上げるための啓発として、雑誌への掲載や学会論文発表などを行う。
- ⑤伝統的な工法においては、技術の伝承が必要となるため、その人材の確保と育成が必要である。

5. 木材利用の活性化のための方策

土木分野が適切な森林経営に貢献し、結果として地球温暖化対策として貢献するためには、土木工事における木材利活用を活性化する必要がある。木材を有効に利用するためには、土木業界の木材利用に対する立場を明確にして、木材の利用を高めるための方策について検討する必要があると考えられた。そこで、間伐材の利活用技術研究小委員会では、2006年9月の土木学会年次学術講演会において間伐材利用に関する研究概要を2編発表^{16), 17)}し、2008年3月には活動概要を土木学会誌¹⁸⁾に投稿した。しかし、木材利用率向上に対する活動を土木部門のみで進めるには限界があり、供給側である森林部門や木材部門との連携が必要と考えられた。

そのような背景から、日本森林学会、日本木材学会、土木学会による3学会の横断的研究会が2007年9月に発足し活動を開始した。3学会の活動としては、2008年3月に木材の利活用に関するシンポジウムを開催した。また、2008年9月

には、仙台市の東北大学川内キャンパスで開催される土木学会年次学術講演会において木材利用に関する技術討論会を行なう予定である。これらの活動によって、土木業界の木材利用が活性化されることが望まれる。

文 献

- 1) 林野庁：平成19年度森林・林業白書（2008）
- 2) 林野庁：森林・林業基本計画，24（2006）
- 3) 濱田政則：木材工業，62（5），195（2007）
- 4) 沼田淳紀・上杉章雄：第14回地球環境シンポジウム論文集，（社）土木学会，97-102（2006）
- 5) 森林総合研究所：森林・林業・木材産業の将来予測，（株）日本林業調査会 367-368（2006）
- 6) 今井久：ハザマ研究年報，1-14（2006）
- 7) （社）土木学会自然素材活用技術研究小委員会：自然素材を利用した土木構造物・土木技術に関する照査研究報告書，27-30（2006）
- 8) 林野庁：森林・林業白書，（社）日本林業協会，82（2005）
- 9) NPO法人循環資源デザインネットワーク：製品技術資料（2004）
- 10) （社）日本道路協会：防護柵の設置基準（1998）
- 11) http://www.engineer.or.jp/dept/forest/03_01_24rinsan_houkoku.html
- 12) 橋場則彦，勝俣 徹，山下宣敏：橋梁と基礎，94（10），11-16（1994）
- 13) 財国土技術研究センター：木歩道橋設計・施工に関する技術資料（2003）
- 14) （社）土木学会：木橋技術の手引き2005（2005）
- 15) 森林利用学会間伐材作業研究会：高性能林業機械による間伐作業方法，林業機械化協会，9-14（2002）
- 16) 奥田光秋，石田 修，三澤孝史，大島貴充：土木学会年次学術講演会概要集，7-128（2006）
- 17) 林原 茂，石田 修，田代晃一，今井久：土木学会年次学術講演会概要集，7-129（2006）
- 18) 沼田淳紀，林原 茂，奥田光秋，田代晃一：土木学会誌，93（3），56-59（2008）

（2008. 5. 30 受理）

三学会横断的研究会長の 今村祐嗣氏が見据える ビジョン

土木分野における 国産材の利用を目指す

現在の日本の森林資源は、人工林を中心に充実の一途を辿っています。木材自給率はわずかに二割しかありません。一方、二酸化炭素を固定するという特徴を持つ木材の利用拡

大には、地球温暖化対策の一環として大きな期待が寄せられています。こうした背景の中、昨年九月に「土木学会」「日本木材学会」「日本森林学会」が協力し、発足したのが「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」です。

かつて、土木の分野では木材を多

利用拡大に向けた技術開発を進めていこうというのが、この会の主な目的です。

実はこれまで、森林や木材といった「供給側」の活動は活発に行われていたものの、「需要側」である土木との連携はあまり取れていませんでした。それが今回のように同じ目的を持って活動すること

く使用してしましました。しかし高度経済成長やバブル期などを経て、主要材料は鉄とコンクリートに移り、「土木」と言いつつも、ほとんど木を使っていないのが現状です。そこで今一度、木の特性を見直し、土木事業で木材を使用する際の問題点を抽出し、

のきっかけがありました。それは一九九七年に行われた東京駅前の旧丸ビル解体工事。そこで約七五年が経過したベイマツの基礎杭が、当時の姿で現れたのです。木材は腐るとい固定概念が崩れた瞬間でした。もちろん、木材は腐ります。ただ、そのためには空気・水分・温度の条件と腐朽菌が揃っている必要があります、そのどれかが欠如しても腐食の進行は停止します。逆に、腐ることが自然へ返るとい形式で地球環境へ貢献する一面もあります。こうした木の持つメリット、デメリットを見極め、現在は次のような提案がなされています。①森林育成のための



今村 祐嗣 (いまむら ゆうじ)
京都大学生存圏研究所居住環境共生分野教授、昭和44年京都大学農学部林産工学科卒業。現在、生存圏研究所副所長を兼務。日本木材学会前会長、(社)日本木材保存協会会長、日本環境動物昆虫学会副会長、木質炭化学会副会長、(社)日本木材加工技術協会関西支部長。

間伐材を利用した治山ダム、道路施設、法面防護工、水路②現場近くから産出する木を使った遊歩道や治山施設③木製の聖牛(※河川を安定させるための水制工。木製で牛の角が出ているような形なので名付けられた)、粗朶沈床、牛柵などの河川構築物④多自然型河岸防護工⑤木杭利用による地盤改良や基礎工事、など。土木分野への木材の利用拡大を目的に、一月二二日にはシンポジウムが開催される予定です。

土木分野での国産材使用の促進は、自然環境の面からみても悠長に構えていられるものではありません。できることから順次取り入れられるよう、フレキシブルな活動を目指していこうと思っています。

土木学会に参加している

飛島建設株式会社の取組

天然材料を見直し 木材を地盤対策に

土木学会、日本森林学会、日本木材学会の三つの学会が「横断的研究会」を設立し、土木分野での木材利用を拡大する取組を進めています。平成二〇年三月には三学会の連携によるシンポジウムが開催され、木材利用に関する各学会の取組や会としての研究内容が報告されました。もともと土木工事には土や木、石など

の天然素材が使われていましたが、戦後の高度経済成長期にこれらの材料の多くはセメント、鉄や人工材料にとって替わられました。京都議定書の温室効果ガス排出削減目標に向けて、間伐材を中心に土木分野で再び木材が多く利用されることになれば、森林の整備に役立ち、CO₂削減にも繋がるという観点から三学会が平成一九年に連携したのが会設立の始まりです。

飛島建設では天然材料を見直す

という環境問題に基づいた視点から、木材による地盤対策に取り組んでいます。過去の軟弱地盤に対する対策は杭（コンクリートや鋼製）で支える方法と地盤を固める方法（セメント等）が主流でしたが、実験的に木材を使ったところ、腐朽がほとんど進まずにCO₂を地中に長期固定化できると分析しています。現在、飛島建設には木材の耐久性や腐朽を調べるための施設が設けられ、無処理や腐朽対策をしたカラマツやスギを地中に埋め、高さ30cm幅で地下水位を人為的に変動。その変化を調査しています。歴史的建造物に使われたマツやスギなどの木材を掘り出している調査も

行われ、地下水位よりも深い部分では木の腐朽がほとんど見られず、最も古いのは七八年前の木材が全く健全な状態だったという報告もなされています。実際、宮崎県庁などは木杭が使用されている建造物。木材を利用した地盤対策の研究に注目が集まっています。粘土のように柔らかい土で出来た軟弱地盤と液化しやすい砂地盤には、共通して水が多く含まれていて、木杭が腐朽しない条件に合致しているというデータもあります。土木分野で間伐材が有効に活用されることは美しい森林づくりへとつながるものであり、環境保全への貢献が大いに期待されています。



上：木杭の耐久性や腐朽を調べるための施設
中：無処理や腐朽対策を行ったカラマツやスギ
下：実際使用されていた古い木杭



3月に行われたシンポジウムの様子

土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会の参加者

- 今村 祐嗣 (京都大学、日本木材学会) 委員長
- 外崎真理雄 (森林総合研究所、日本木材学会)
- 桃原 郁夫 (森林総合研究所、日本木材学会) 幹事
- 白石 則彦 (東京大学、日本森林学会)
- 豊川 勝生 (東京農業大学、日本森林学会)
- 久保山裕史 (森林総合研究所、日本森林学会) 幹事
- 濱田 政則 (早稲田大学、土木学会)
- 平沢 秀之 (函館工業高等専門学校、土木学会)
- 佐々木貴信 (秋田県立大学、土木学会)
- 渡辺 浩 (福岡大学、土木学会)
- 石川 芳治 (東京農工大学、土木学会)
- 石田 修 (大成建設、土木学会)
- 今井 久 (間組、土木学会) 事務局
- 沼田 淳紀 (飛鳥建設、土木学会) 幹事代表
- 古木 守靖 (土木学会、オブザーバー)
- 高奥 信也 (京都府、その他)
- 今泉 裕治 (林野庁、その他)
- 熊本 宏次 (林野庁、その他)

これまでの活動

●研究会

- 2007年09月28日、第1回の研究会を早稲田大学で実施。
- 2007年11月26日、第2回の研究会を土木学会で実施。
- 2008年01月28日、第3回の研究会を土木学会で実施。
- 2008年04月03日、第4回の研究会を土木学会で実施。
- 2008年05月28日、第5回の研究会を東京大学で実施。
- 2008年07月25日、第6回の研究会を土木学会で実施。

●シンポジウム

- 2008年3月4日、土木学会講堂で土木学会シンポジウム「土木事業への間伐材利用シンポジウム～日本森林学会、日本木材学会と共に森林保全と地球温暖化を考える～」を実施。
- 2008年9月11日、東北大学川内北キャンパスで土木学会平成20年度全国大会研究討論会「木材を活かした国づくりまちづくりー土木技術ができる地球温暖化対策一」を実施。

これからの予定

第114回生存圏シンポジウム 「地球温暖化防止の観点からの土木における「木材」の利用」を開催！

日程：2008年11月21日(金)13:00～17:30
 会場：京大大学生存圏研究所・木質ホール3F
 主催：京大大学生存圏研究所
 オーガナイザー：濱田政則

(早稲田大学教授、土木学会前会長)

後援：土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会、京都府

協賛：(社)土木学会、日本森林学会、日本木材学会

内容：①開会挨拶(早稲田大学 濱田政則)②もっと木材を土木で！(東京農工大学 石川芳治)③土木における木材の利用ー課題と展望ー(森林総合研究所 外崎真理雄/秋田県立大学 佐々木貴信)④パネル討論「木材の土木利用の新たな展開に向けて!!!」(司会：京都大学 今村祐嗣(木製構造物に適した設計・積算・施行・検査(京都府 高奥信也)、耐久性調査を踏まえた維持管理(京都府立大学 田淵敦士)、保存処理木材の土木分野での利用(榎越井木材工業 松本義勝)、森林の現状と木材の安定供給(京都府森林組合連合会 青合幹夫))⑤閉会挨拶(東京大学 白石則彦) ※展示会を同時開催。

「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」の活動

「土木における木材の利用拡大シンポジウム」レポート

地球温暖化防止の観点からの土木における「木材」の利用

「地球温暖化防止の観点からの土木における『木材』の利用」をテーマとしたシンポジウムが、平成二〇年一月二日に京都大学生存圏研究所の全国共同利用研究の一環として、同研究所の木質ホールで開催されました。このシンポジウムは、(社)土木学会・日本木材学会・日本森林学会の三学会の学際的研究を通じて土木分野における木材の利用拡大を図り、地球温暖化防止等に貢献しようとするものであり、当日は、国土交通省や地方自治体、建設会社、土

木コンサルタントなど様々な分野から約九〇名の参加者がありました。シンポジウムでは、はじめに、(社)

土木学会前会長の濱田政則早稲田大学理工学部教授から、「最近、各種構造物の建替えの際、基礎杭が掘り出されることがあるが、五〇年以上経過していても健全な場合が多く、時には一〇〇年以上経過したものもある。一般的な土木構造物の耐用年数が五〇年と言われていることから、木材は土木用の部材として決して劣っている訳ではない。また、一九六四年の新潟地震では、その当時普及し始めたコンクリート杭は損傷を受けて建物が傾斜したが、従来

の木杭基礎の建物は健全であったという例が報告されている。」との挨拶が行われました。

続く基調講演では、砂防学会理事の石川芳治氏(東京農工大学)が、「もつと土木で木材を」をテーマに講演を行い、「木製堰堤の耐久性は意外と高く、流水が豊富で安定している箇所では堰堤本体の寿命は更に延びるのでは」と木材利用の更なる可能性を指摘しました。また、外崎真理雄氏(森林総合研究所)、佐々木貴信氏(秋田県立大学)は、土木分野では年間僅か一〇〇万㎡しか木材が使用されていないことを紹介しつつ、「土木分野での木材利用の拡大を図るためには、その障害となつている諸課題を解決する必要がある」として、課題の整理と森林・木材・土木の各分野の連携を訴えました。

田淵敦士氏(京都府立大学)、松本義勝氏(越井木材株式会社)、青合幹夫氏(京都府森林組合連合会)による討論が行われ、「基礎杭などの地中構造物やガードレールなど道路構造物等への木材利用は、官民合わせた建設工事の量を考えると計り知れない潜在能力を有している」「土木分野での木材利用は、まずはコストを考えず純粋に技術的な可能性を追求すべきであり、その上で環境問題への対応や木材利用の意義、企業のCSR活動を交えて総合的に判断しながら、木材利用を進めるべき」といった意見が出されました。また、「土木を担当する人はそもそも木材のことを知らないし、どのような工法があるのか教育を受けていない」との意見も出され、「木材利用に関する情報の共有化が必要である」との認識が示されました。

後半のパネルディスカッションでは、今村祐嗣氏(京都大学の司会のもと、「木材の土木利用の新たな進展に向けて!」をテーマに高奥信也氏(京都府)

大を因るためには、その障害となつている諸課題を解決する必要がある」として、課題の整理と森林・木材・土木の各分野の連携を訴えました。

様々な分野からの視点で研究され討論された今回のシンポジウムは、会場からの質問も多く、土木分野での今後の木材利用が期待できる内容となっていました。



挨拶する濱田政則教授



木製ガードレール (写真提供: 和光コンクリート工業株)



木製治山ダム (写真提供: 京都府)



京大大学生存圏研究所 にて土木における木材 利用に関するシンポジ ウムを開催

去る11月21日(金)、京都大学
生存圏研究所木質ホールにて、京
都大学生存圏研究所主催、土木
における木材の利用拡大に関す
る横断的研究会、林野庁、京都府

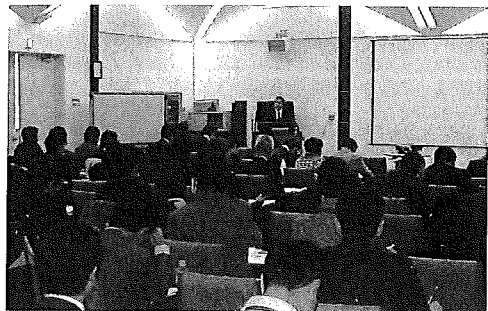


写真 シンポジウムの様子(開会挨拶をされる濱田教授)

の後援および土木学会、日本森林
学会、日本木材学会の3学会の協
賛により「第144回生存圏シン
ポジウム」地球温暖化防止の観
点からの土木における「木材」の
利用」が開催された。参加者は90
名(うち土木関係者20名、森林木
材関係者63名、不明その他7名)
で、会場はほぼ満員であった。ま
た展示コーナーが設けられ、8団
体が展示を行った。

このシンポジウムは、土木分野で
木材の利活用を増大を図り、地球
温暖化防止に貢献することを目
標に、課題の抽出と今後の活動の
取組みの方向性を明らかにする
ために開催された。

早稲田大学の濱田政則教授
(元土木学会会長)による開会挨拶で、このような学際的な研究の
必要性と、土木でも木材が使用で
きる可能性が述べられたあと、東
京農工大学の石川芳治教授によ
る基調講演「もつと土木で木材
を」で、実際に施工されている木製
の治山治水ダムの事例を用いなが
ら、木材を利用する場合の課題で
ある腐朽を考慮した木製ダムの
設計方法が紹介された。また、約
1年間の「土木における木材の利
用拡大に関する横断的研究会」の
活動報告として、森林総合研究所

の外崎真理雄氏と秋田県立大学
の佐々木貴信准教授より土木に
おける木材利用の諸課題の整理
結果と実際に実施されている木
材利用例が説明された。

シンポジウムの後半は、京都大学
の今村祐嗣教授(前日本木材学
会会長)のコーディネートによる
「木材の土木利用の新たな展開に
むけて」と題したパネル討論会が
行われた。パネリストは、京都府の
高奥信也氏、京都府立大学の田
淵敦士氏、(株)越井木材工業の
松本義勝氏、京都府森林組合連
合会の青合幹夫氏の4名で、フ
ローアーからの質疑などもあり活
発な討議が行われた。

最後に、東京大学の白石則彦教授
(日本森林学会副会長)による閉会
の挨拶でシンポジウムが終わった。
(土木における木材の利用拡大に
関する横断的研究会幹事代表
沼田淳紀(飛鳥建設(株))

名古屋大学伊藤義人教 授が2008年英国材 料鉱物鉱業学会論文賞 (IOM3 Guy Bengough Award)を受賞

名古屋大学の伊藤義人教授が、
材料の腐食や劣化およびその制御

に関して大きく貢献したと認めら
れ、2008年10月22日に「英国
材料鉱物鉱業学会論文賞(IOM3
Guy Bengough Award)」を受賞
された。

受賞対象となった研究論文で
は、鋼橋の防食方法の一つである塗
装の長期性能を、環境促進実験を
行うことにより明らかにし、腐食
環境の異なる場所での塗装の劣化
特性を推定する方法をご提案され
ている。

このご成果が、鋼橋の長寿命化
などへ大きく貢献することが期待
されている。また、国内だけにとど
まらず、国際的にも寄与できる成
果として認められたものと思われ
る。なお、IOM3(英国材料鉱
物鉱業学会)は、The Institute of
Materials, Minerals & Mining
の略で、2002年に英国の材料
学会と鉱物鉱業学会が合併した
ものである。
(正会員 名古屋大学 葛西 昭)

女子学生向けキャリア セミナー「土木の仕事 の魅力と私たちの働き 方」開催

土木技術者女性の会では、東京
都と共催で、女子学生向けキャリ

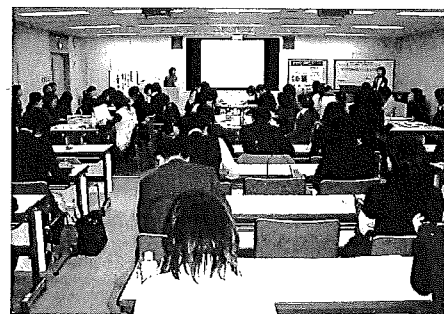


写真 会場の様子

アセミナー「土木の仕事の魅力と
私たちの働き方」を東京ウイメンズ
クラブで開催した(2008年
12月13日(土))。

本セミナーは、土木分野で働く
女性技術者たちが、土木系学科に
在籍する女子学生の就職活動を
支援することを目的に毎年開催
しているもので、今年は東京都オー
プンプラザ事業として、東京ウイメ
ンズクラブと共同で企画・実施す
ることとなった。

第一部の基調講演では、裏高尾
JV工事事務所副所長の須田久
美子氏(鹿島建設(株))より、ご自
身のこれまでのキャリアパスから、
与えられた仕事でも着実に実績
を積み重ねることの重要性をお話
いただいた。また、入社数年目の若
手女性技術者のある日のスケ
ジュールを紹介するコーナーは、社

近代木橋の維持管理

佐々木貴信*

1. はじめに

昭和60年代に入り、我が国の大規模木造建築の建設が盛んになると同時に、大断面集成材を使用したいわゆる近代木橋の歴史が始まった。近年は公共事業を取り巻く情勢の変化から一時期ほど木橋の建設数は多くないが、この20年の間に、木橋に関する技術の蓄積や、学会の動き、設計指針の発刊などさまざまな変化があった。また、ボンゴシ橋の事故¹⁾をきっかけに耐久設計や点検、補修の重要性が強く認識されることとなり、健全度調査や補修事例など貴重な情報が多数蓄積されている。筆者は以前にも本誌に木橋の維持管理や、木橋の設計、土木学会の動向など当時の現状と課題について述べているが²⁾、ここでは、この課題が現在までにどのように解決されたのか、あるいは未だ解決されていない部分は何かを考えてみたい。とくに木橋の維持管理の課題については、現在も多くの事例調査や耐久性に関する研究が行われているように、一般にも最も関心の高いところであり、いくつかの事例も交えて詳しく整理してみたい。

米国ミネソタ州における橋梁（鋼トラス橋）の崩落や国内の鋼トラス橋の斜材の破断事故³⁾、メンテナンスフリーといわれてきたコンクリート橋の塩害やかぶりコンクリートの剥離などに見られるように、永久橋と呼ばれた鋼橋やコンクリート橋でも、使用環境によっては供用40年程度でトラブルが発生しており、鋼橋やコンクリート橋においても維持管理の必要性が認識されつつある。我が国でボンゴシ橋が多数建設されたのも永久橋

と同等に管理の容易さと長期の耐用年数を期待されてのことと思われるが、欧州での仕様をそのまま持ち込んでしまった結果、期待された耐用年数よりもはるかに短い期間で劣化している事例も多い。これらの教訓を活かし、橋梁の建設に当たっては、鋼やコンクリート、木材など使用材料に関係なく耐久性に配慮した設計と維持管理の実施を前提にした計画を行い、設計・施工・維持管理に係るLCCを最小化させるミニマムメンテナンス橋⁴⁾の実現を目指す必要がある。国内で昭和20年代までに数多く建設された旧来の木橋は耐用年数の問題から永久橋に架け替えられていったという歴史的経緯からも明らかなように、木橋の場合、経験的に耐久性に問題があるという認識が一般的であったため、主に大断面集成材を使用した近代木橋に関しては、集成材ラミナの防腐処理や構造上重要な箇所の雨仕舞い、木材保護塗料の塗装など、耐久性向上のための配慮がなされている例も多く、上記のような課題が早くから認識されているとも言える。

2. 近代木橋の技術指針

ユーロコード⁵⁾を始めとして欧米では、木橋の設計基準が整備されているのに対して、我が国では木道路橋設計示方書（案）（昭和15年、旧内務省）があるのみで近代木橋に対する明確な設計基準が確立されていないことが、コストや耐用年数の問題と同じく公共事業として採用されにくい要因の一つとなっていた²⁾。また、設計基準がないがために、橋梁工学的な設計手順を踏まないで設計された結果、不具合を生じている例も小規模な歩道橋などで見られたが、最近になって、土木学会の木橋分野の委員会や、国土交通省や林野庁の外郭団体から木橋の設計、施工、維持管理に関す

* 秋田県立大学木材高度加工研究所

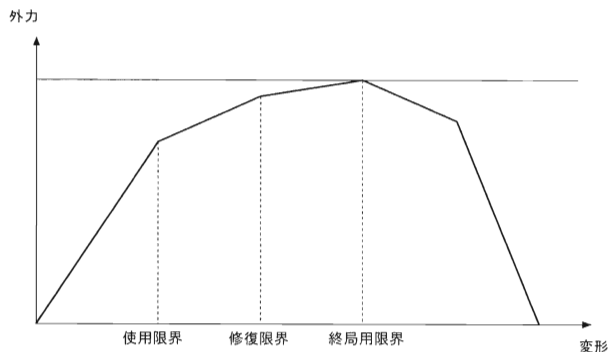
る指針類が相次いで発刊されている。平成 15 年に財団法人国土技術研究センターが取りまとめ国土交通省から配付された「木歩道橋設計・施工に関する技術資料」⁶⁾は、平成 6 年に旧建設省と林野庁の共同で設置された木橋の技術基準検討委員会（委員長：東京工業大学教授 三木千壽）が、実際のモデル橋（歩道橋）を設定し設計・施工・構造試験を通して実用レベルでの基準を作成することを目的に検討した成果を集約したもので、「木橋設計・施工」、「実験」、「点検・管理」の 3 編から構成されている。平成 17 年には財団法人林業土木コンサルタンツから「実務者のための設計と施工」⁷⁾が発刊されている。これは、同財団によって平成 12 年度～14 年度にかけて実施された森林土木技術者向けの公開研修のテキストを再構成したもので、設計や施工、維持管理に関する事例が多数盛り込まれ、文字通り実務者のための技術書である。土木学会では、同じく平成 17 年に木橋技術小委員会（委員長：金沢工業大学 教授 本田秀行）から「木橋技術の手引き 2005」⁸⁾が発刊されている。同書は「木橋の設計」、「木橋の施工」、「木橋の保全」の 3 編から構成されており、木橋の設計については、わが国の橋梁分野では初めて厳密な信頼性設計に基づいた性能照査型設計が取り入れられており、国土交通省で策定された「土木・建築にかかる設計の基本」⁷⁾の方針に沿って、国際的にも通用する限界状態設計法を基礎とした設計体系の整備を試みている。また、「木橋の保全」については、全国 318 の木橋の管理者を対象としたアンケート調査を行い、木橋の維持管理の現状を紹介しているほか、点検、保守技術の解説も行っている。

ここで紹介した 3 つの近代木橋に関する技術指針の内容に共通しているのは、木橋の耐久性向上策や維持管理の方法について解説している点であり、近代木橋ではこうした木橋の保全に留意しながら目標耐用年数を確保していくことが共通の認識となっている。しかしながら、木橋の耐用年数を厳密に設定することは容易ではなく、過去の実績から判断するとしても、我が国の木橋の歴史はまだ 20 年程度でありそれ以上の耐用年数を保証できるデータがない。また、日本の環境条件では

欧米での 30 年以上の実績も裏付けにはならないことも輸入木橋の例から明らかである。こうした状況のもと、現在、土木学会では、木橋の高度化技術研究小委員会（委員長：函館工業高等専門学校 准教授 平沢秀之）において、木橋の耐用年数を設定するために、橋の構造形式や雨仕舞い対策、使用木材の樹種、防腐処理条件などの初期の耐久性能に関する要素と、点検・管理の頻度や程度、気象条件などの供用条件に関する要素をそれぞれ点数化して積み上げ、総合評点の点数から耐用年数を算定することを検討中である。さらに、同委員会では、供用期間内や目標耐用年数後に木橋が劣化した場合に、補修によって性能を向上させ耐用年数を延ばしていくという概念を取り入れた「修復限界状態設計」の提案を検討しているところであり、次に詳しく述べる。

3. 木橋の修復限界状態

国際的に策定が進められている欧州規格においては、我が国のように土木・建築といった分野の違いや鋼・コンクリート・木材といった仕様の違いに関係なく、共通する事項は共通的に扱い、分野および構造種別に依存する部分はそれぞれの仕様の中で規定していくといった基本的方向性が見られる。その欧州規格が ISO 規格案として提案される可能性が高いことから、国土交通省が国際標準へ対応した技術基準を整備するための方針を示した「土木・建築にかかる設計の基本」⁹⁾が平成 14 年に策定されている。その内容は、構造物の基本的要求性能として、「安全性」、「使用性」及び「修復性」の確保を規定し、想定する構造物の設計供用期間において、それぞれの要求性能を満たすことを限界状態設計法によって検証するというものである。すなわち、土木・建築構造物の設計においては、第 1 図に示すように各要求性能における終局、使用、修復の 3 つの限界状態を考慮して性能照査を行うというものである。欧米では、信頼性工学に基づく限界状態設計法を採用し、使用限界、終局限界などの限界状態に対する要求性能に対して性能を照査する構造設計が主流となりつつあり、日本建築学会においても各種の構造物に対する限界状態設計指針案を示している¹⁰⁾。「木



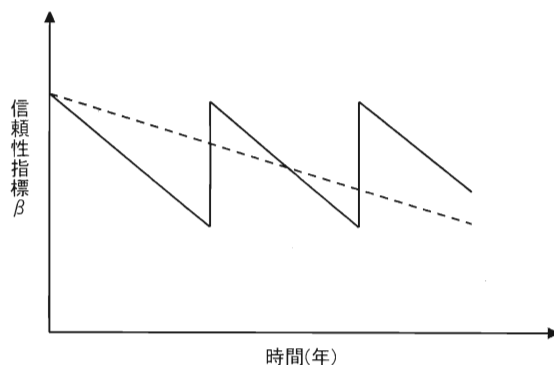
第1図 各限界状態のイメージ
* 国土交通省「土木・建築にかかる設計の基本」から引用

橋技術の手引き 2005」においても、限界状態設計法に基づく性能照査型設計を採用しているが、橋梁の設計基準である道路橋示方書を始め、多くの土木構造物の設計は性能照査型設計への移行段階であり、「見なし適合仕様」と呼ばれる仕様規定のまま、未だ許容応力度設計法での設計が一般的である。

国土交通省が示す「土木・建築にかかる設計の基本」では修復限界状態を、「損傷に対して、適切な技術・経費および期間の範囲で修復を行えば、構造物の継続使用を可能とすることができる限界」と定義している。主に土木・建築構造物の地震作用に対する要求性能をイメージしたものであるが、木橋においては、劣化作用に対する耐久設計に対して、修復限界状態の考え方が適用できるという着想から、現在、木橋の高度化技術研究小委員会の研究テーマの一つとして修復限界状態設計の提案を取り上げている¹¹⁾。こうした手法は国内外を見ても前例がなく、木材用途の最も多い建築の分野でもまだ取り入れられていない。木橋の健全度を定量的に評価し、各健全度レベルにおける構造性能（信頼性指標 β ）や、補修・補強によって変化する β との関係を示すことができれば、第2図に示すように維持管理などに係るライフサイクルコストを考慮した木橋の耐久設計が可能となる。

4. 木橋の健全度評価

木橋の修復限界状態設計の提案を具体的に進めるためには、腐朽等で劣化した木材の残存耐力の推定や、実際の木橋の劣化程度と構造性能の関係、



* 点線：修復しない場合の β 、実線：修復する場合の β
第2図 修復限界状態設計による β の変化

あるいは建設当初および補修の前後での構造性能をそれぞれ評価するための、実験・調査によるデータの蓄積が不可欠となるが、ここでは、これまで土木学会や木材学会関係者によって、いくつかの室内実験や実橋を対象にした腐朽調査と健全度評価が行われている例を紹介したい。

4.1 木材腐朽と接合部強度

木材腐朽と強度低下の関係に関する既往の研究は数多くあるが、実構造物の接合部を対象とした研究例は少ない。筆者らは木質構造におけるボルトやドリフトピン接合部を対象とした腐朽材の残存強度の関係を明らかにすることを目的に、促進腐朽処理材を用いた、面圧強度試験、接合部のせん断試験などを行い、樹種や含水率、腐朽操作期間と各種強度の関係を調べている^{12), 13)}。本研究においては、強制腐朽操作の期間と実際の環境で使用期間との対応や、実構造物における腐朽度の評価方法など課題が多いが、以下に示す例のような実際の木橋の調査結果などとキャリブレーションを行うことで実用性の高い研究へと発展させたい。

4.2 ボンゴシ橋の点検・補修事例

平成 11 年に愛媛県で起きた事故¹⁾をきっかけに、全国のボンゴシ橋の調査・点検がメーカーや研究機関などにより実施されている。筆者らが独自に調査した事例のなかでも、健全なもの、通行不能状態のもの、一部に腐朽が認められたものなどその健全度は様々であった。問題のあったものに対する管理者の対応も様々であり、適切に補修の対策がなされたものもあれば、撤去されたもの、鋼やコンクリート橋に架け替えられたものに分か



写真1 常盤橋の全景



写真3 鶴の舞橋の全景

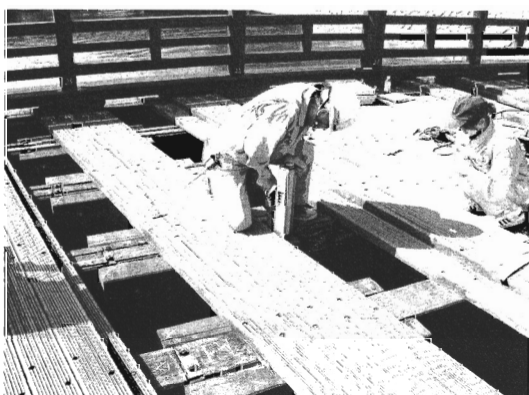


写真2 腐朽調査

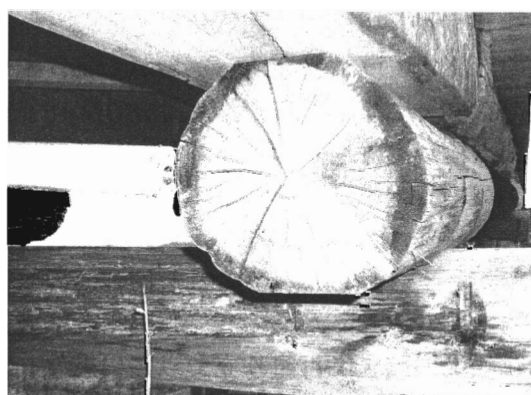


写真4 ヒバ材の心材と辺材

れた。

平成7年に北九州市に完成した常盤橋(写真1)は、橋長85m、幅員7mの大規模なボンゴシ橋であるが、完成直後と架設後5年経過した時点で車両載荷試験を行い耐荷性能が確認されている¹⁴⁾ほか、専門家による腐朽診断(写真2)や健全度調査が行われている。また、これらの調査結果を踏まえて大学や試験研究機関の研究者らで構成された維持管理調査検討会による議論を重ね、保守計画や維持管理マニュアルの策定が行われる¹⁵⁾など、適切に対策がなされているボンゴシ橋の一つである。本橋では、策定された保守計画に沿って、主桁の雨仕舞いの改良や、主桁の接合部の補強、床板をボンゴシ材からスギへ交換するなどの補修工事が実施され、維持管理マニュアルに沿った点検や定期的な形状計測などが実施されている。

4.3 青森ヒバ材を用いた歩道橋の点検・補修

青森県鶴田町に平成3年から3年間の工期で施工された青森ヒバ材を用いた木橋「鶴の舞橋」(写真3)は、「日本一なが〜いきの橋」の愛称で

岩木山の麓の町の観光資源となっているが、工事着手から古い部分で15年が経過し、部材の腐朽や欠損が認められるようになった。橋脚の間隔が5m、幅員3mの単純桁が20橋連続して100mのアーチ状の太鼓橋となり、全体で橋長300mの3連太鼓橋を形成している¹⁶⁾。橋脚、主桁、床板、高欄などすべての部材は、青森ヒバの丸太材と太鼓落とし材が用いられており、使用材積は700m³である。耐久性に優れたヒバ材を用いることで40~50年の耐用年数を見込まれているが、本橋の維持・補修を検討するための基礎資料として、筆者らが健全度調査を実施した。痛みの激しい、床版および高欄については、平成18年度からの3年間で交換補修がなされているので、調査では、主に橋の形状計測と穿孔抵抗測定による主桁や橋脚の健全度を評価した。調査の結果、辺材部が激しく腐朽劣化しているのに対し、心材部は殆ど劣化しておらず、ヒバ材の心材の耐久性の高さが確認された(写真4)。また、使用性が劣るほどの変形や強度低下は認められなかったが、辺材部の腐朽が心材部へ進行していると思われる箇

所もあり、太鼓落とし材の側面の辺材など処置可能な部位の辺材を除去し防腐塗装を行うなどの対処が検討されることとなった。

4.4 ベイマツ集成材を用いたトラス橋の載荷試験

架設後13年で架け替えられた木橋の残存強度を調査するプロジェクトが独立行政法人森林総合研究所や広島県立総合技術研究所林業技術センターを中心に進められている^{17), 18)}。対象橋梁は、1990年に広島県福山市の公園内に完成したベイマツ集成材を使用した橋長36.3mと18.3mの2径間の下路式トラス橋「かっぱ橋」であり幅員は2.3mである。本橋は、架設後定期的な日常点検や詳細点検が実施され、点検結果を受けて補修や補強の対策がとられていたものの、架設後13年経過した平成16年に鋼製のトラス橋に架け替えられた¹⁹⁾。本プロジェクトでは、解体前の木橋の残存強度特性を知るための載荷実験や各構成部材の劣化状況の調査、再組み立て以降に生じた特性変化を知るために重量測定や各種の非破壊検査などを実施し、最終的に破壊試験を行い耐荷力が調べられる予定である(写真5)。これらの一連の調査研究により、木橋の耐久性と構造安全性を評価する技術の開発やさらには部分的劣化が生じた木橋に有効な補強・補修方法の具体的な検討が計画されている。前例のない近代木橋の破壊実験は大変興味深く、実際に本橋に施された補修、補強策がどの程度、耐荷力の向上と余寿命の延伸に効果があったのかなど、木橋の修復限界状態の設計を検討する上でも参考になる研究である。

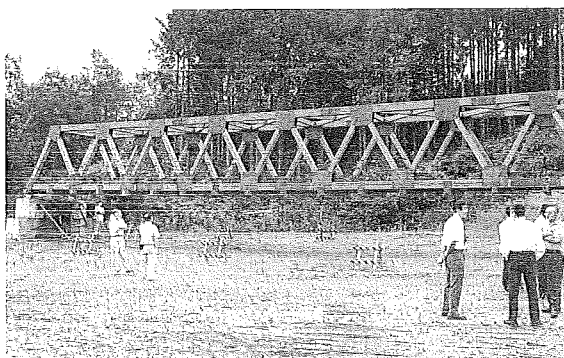


写真5 再組立された木製トラス橋

5. まとめ

およそ20年前に始まった我が国の近代木橋について7年前の時点で挙げた課題²⁾が現在までにどのような変化があったかを木橋の維持管理の動きを中心に振り返ってみた。設計、施工、維持管理に関する技術指針の整備の課題については、未だ公的な基準の策定には至っていないが、ここで示したようにいくつかの実用可能な技術資料が関係機関でまとめられており設計の基本が固まりつつある。また、木橋技術協会では「木橋の点検マニュアル」²⁰⁾の改訂の検討を行っているほか、木橋の点検員の育成を行い「木橋点検士」の資格を認定するなど、メンテナンス技術の体制も整いつつある。土木学会の動きとしては、LCCを考慮した修復限界状態設計の提案という新たな試みを検討中であるが、木橋の劣化程度と残存耐力の関係などを定量的に評価するために、ここで示したような既存の木橋の点検や補修の事例を収集しているところである。毎年開催している、木橋技術に関するシンポジウムにおいても参考文献に挙げたような木橋の耐久性や維持管理に関する論文・報告が多数発表され活発な討論が行われている²¹⁾。

以上のように近代木橋の設計や施工、維持管理面での様々な課題はこの10年間の技術開発や調査研究によって、少しずつ解決されて来たように思われる。とは言え、コスト面やメンテナンスの必要性について発注者の理解を得るのは容易ではなく、新設の木橋はあまり増えていないのが現状である。はじめに述べたように橋梁点検・管理の認識が高まりつつあるとは言え、過度な頻度の点検や補修を管理者に求めるのは現実的でなく、ハイブリッド構造の採用など耐久性向上策を図る必要がある。コスト面では、鋼橋やコンクリート橋との価格差を環境負荷の低減や、景観性といった付加価値に換算できるような施策を講じることも必要であり、市民レベルで木橋のニーズが高まるような木材のまちづくり事業などとの連携も近代木橋の普及の戦略として有効であろう。秋田県能代市では、国土交通省の日本風景街道事業を活用し、木のまちづくりを進め、学生や市民と協働

で公園内の木橋やウッドチップ舗装を施工すると
いった取り組みを通して木材を活用したまちづく
りを進めている²²⁾。

日本木材学会と日本森林学会、土木学会では、
森林保全と地球温暖化を考え土木分野への木材の
利用拡大を図ることを目的として3学会の横断的
研究会（委員長 京都大学教授 今村祐嗣）を組
織して調査研究活動を始めている。こうした新し
い試みなど、今後、木橋を取り巻く情勢の変化が
あるかもしれない。また、これまでにない困難な
問題が待ち構えているかもしれないが、欧米諸国
と同等の環境で我が国の近代木橋が議論されるよ
うに今後の発展を期待したい。

文 献

- 1) 鈴木憲太郎, 軽部正彦, 宮武 敦, 加藤英雄:
木材工業, 55 (2), 78-81 (2000)
- 2) 佐々木貴信: 木材工業, 56 (9), 401-405
(2001)
- 3) 玉越隆史: 建設マネジメント技術, 2008 (1),
39-44 (2008)
- 4) 西川和廣: 橋梁と基礎, 1997(9), 64-72(1997)
- 5) Eurocode 5 : Design of timber structures-
Part 2 : Bridges
- 6) (財)国土技術研究センター: 木歩道橋設計・施
工に関する技術資料 (2003)
- 7) (財)林業土木コンサルタンツ: 実務者のための
設計と施工 (2005)
- 8) (社)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)
- 9) 国土交通省: 土木・建築にかかる設計の基本
(2002)
- 10) たとえば, 日本建築学会: 木質構造限界状態
設計指針 (案)・同解説 (2003)
- 11) 中村 昇, 平沢秀之, 佐々木貴信: 第5回木
橋技術に関するシンポジウム論文報告集, 107
-110 (2006)
- 12) 澤田 圭, 瀧内 浩, 佐々木貴信, 土居修一,
飯島泰男: 第4回木橋技術に関するシンポジウ
ム論文報告集, 79-86 (2005)
- 13) 澤田 圭, 佐々木貴信: 第5回木橋技術に
関するシンポジウム論文報告集, 45-50 (2006)
- 14) 渡辺 浩, 軽部正彦: 第1回木橋技術に
関するシンポジウム論文報告集, 23-28 (2001)
- 15) 植野芳彦, 渡辺 浩, 原田浩司: 第6回木
橋技術に関するシンポジウム論文報告集, 93-
98 (2007)
- 16) 長谷部薫: 土木学会誌, 1994 (12), 2-5
(1994)
- 17) 軽部正彦, 藤田和彦, 築山健一, 長尾博文,
宮武 敦: 第6回木橋技術に関するシンポジウ
ム論文報告集, 113-118 (2007)
- 18) 軽部正彦, 林 知行, 新藤健太, 青木謙治,
藤田和彦, 築山健一: 第58回日本木材学会大
会研究発表要旨集, 611-612 (2008)
- 19) 藤田和彦, 軽部正彦, 宮武 敦, 渡辺 浩:
第3回木橋技術に関するシンポジウム論文報告
集, 127-132 (2004)
- 20) 木橋技術協会: 木橋の点検マニュアル (第
1版) (1999)
- 21) 原田真樹: 木材工業, 62 (3), 120-125
(2001)
- 22) 佐々木貴信, 金高 悟, 渡辺千明, 薄木征三,
後藤文彦: 第6回木橋技術に関するシンポジウ
ム論文報告集, 43-46 (2007)

(2008. 6. 16 受理)

地球温暖化防止と木材利用†

外崎真理雄*, 恒次祐子*

1. はじめに

この2008年より京都議定書の第一約束期間が始まり、我が国は温室効果ガスの排出量を1990年比6%削減する義務を負うことになる。しかしながら2007年に採択された気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第四次報告書の対策部門などに、より長期の対応が示されている。

我が国で行ったシミュレーションの一つであるが、第1図に示すように、産業革命以降の気温上昇を温暖化が危機的状況に陥らないとされる+2℃以内に抑えるためには、大気中の温室効果ガス濃度を475 ppm以下に保たねばならない。そのためには2050年における世界の温室効果ガスの排出量を1990年比で50%削減する必要がある¹⁾。またその時点では、人口一人あたりの排出

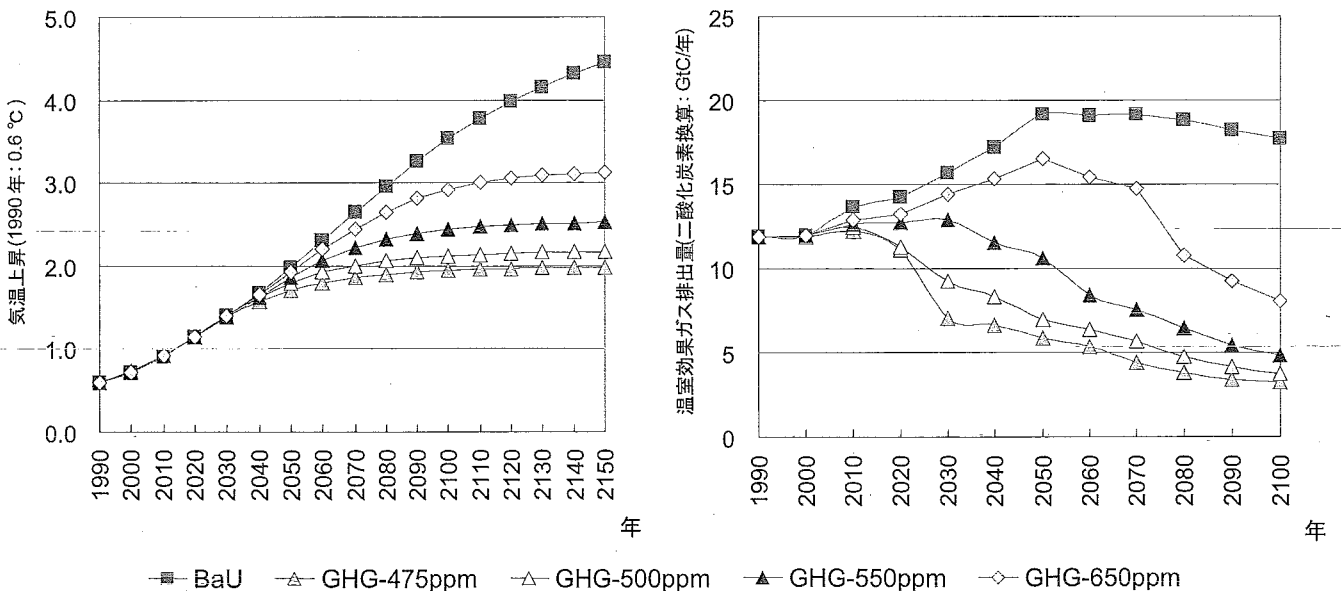
量のバランスなどから、日本は70%程度の削減が求められることになると思われる。

今後の数十年は社会構造とともに資源利用戦略の大きな変革が求められることになる。その中において木材利用がどのような役割を果たすべきなのか、また地球温暖化防止にどの程度の貢献が期待できるのかについて考察してみたい。

2. 森林資源と木材利用

大気中の二酸化炭素を純減させるためには、森林面積と面積あたりの蓄積を増加させることにより、世界の総森林での炭素蓄積量を増やしていくことが必要である。

ここで世界の森林資源の状況を見ると、森林面積については温帯林で増加しているものの熱帯林の減少のため全体では減少している。また、森林



第1図 温室効果ガス排出と気温上昇 (AIM/Impact[Policy]による結果 (脇岡ら, 2005))

† 本総説の一部は第57回日本木材学会大会(広島)の環境・資源部門の企画講演において発表した。

* 森林総合研究所

蓄積量も温帯林で増加しているが熱帯林破壊からの排出が多く全体では微減しているという分析結果となっている²⁾。

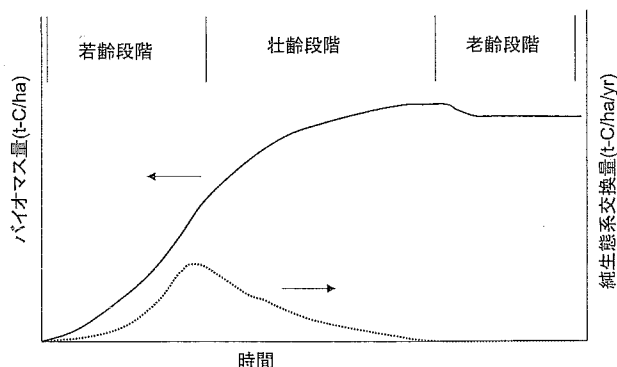
しかし、天然林の択伐などと比較して生産性が高い人工林資源の充実により、中国等途上国の人口増加と経済成長が続いて木材需要が増加しても、当面は持続的に木材供給が可能であるという解析結果も出ている。

非枯渇性の木材資源のポテンシャルは今後とも人類が充分頼るべきものであるといえる。日本の森林は面積拡大の余地は少ないが、主として針葉樹人工林に適切な間伐を行うことで将来的な資源の充実を目指すとともに蓄積増加を図ることは可能である。

ところで、老齢期に入った森林は、樹体の呼吸量の増加による純生産量の減少や枯死木の分解などにより、見かけの二酸化炭素収支（純生態系交換量）はゼロに近づく（第2図）³⁾。二酸化炭素を純減させるのは壮・老齢木を全体の生長量を超えない程度に伐出し、二酸化炭素を旺盛に吸収する若齢木を適度に含む持続的林業を行っている森林である。

持続的林業からの木材炭素は循環する炭素（カーボンニュートラル）であり、濃度上昇をもたらさない。木材利用による林業投資を、持続的林業の促進や、林業の相対的な経済的優位性につなげることが課題である。そうできれば、森林吸収の活性化や森林面積の回復を促すことになり、二酸化炭素削減となるのである。

また林業バイオマスは、農業バイオマスと比較して、面積あたりの平均炭素貯蔵量が桁違いに大きい。また、バイオマス生産のための肥料製造や



第2図 天然林の発達段階と炭素貯留（藤森，1998）

機械化作業などに要する投入エネルギーが非常に小さいことも特長である。

3. 炭素貯蔵効果と伐採木材評価

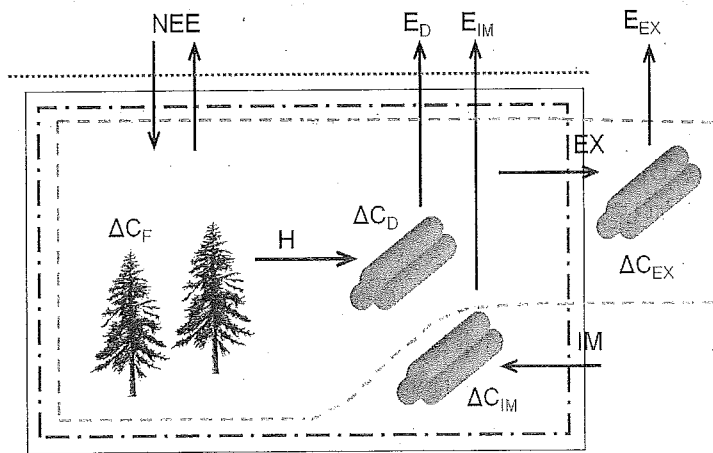
最近、石炭火力発電所などでの二酸化炭素隔離（Carbon Capture and Storage）が話題となっているが、これは大気中の二酸化炭素を増やさないだけで、減らすわけではない。しかし、循環する木材炭素を系外に隔離する、具体的には建築物などにおける木材製品ストックを増加させることは、二酸化炭素の純減となり、これを木材利用の「炭素貯蔵効果」と称する。

第一約束期間では、木材製品ストックは中長期的に増減せず、すなわち投入量と廃棄量が等しく、林業伐採による人間社会への木材投入は即時の二酸化炭素排出という取り扱いがなされる。しかし現実には世界の木材製品ストックは増加しており、年間約6,000万t-C（炭素換算トン）の削減となっていると試算されている。

京都議定書の第一約束期間が終了した後の2013年以降、各国の排出削減目標量がどのようになるかなどの枠組みは依然不透明である。しかし、森林吸収源の取り扱いに関しては、森林土壌や枯死木などの炭素収支をカウントする以外に、伐採木材製品の炭素貯蔵効果も含むフルカーボンアカウンティングとなる公算が高い。

動かない森林と異なり、木材は、丸太・チップ・製材・合板・紙パルプなど様々な製品として国際貿易されている。貿易量は世界中で伐採されている工業用材中の炭素量の約1/3に当たるとされる。この輸出入木材の炭素貯蔵を、どの国の炭素勘定とするのか、評価システム境界が異なる3つの評価手法が提案されている（第3図）。そして、このうちのどれかが2009年頃までに採択され、以後の評価に使われる可能性がある。

蓄積変化法は、国産材・輸入材由来を問わず、その国内の木材炭素ストック変化量を、その国の評価結果とするものである。生産法では、その国の森林から生産された木材について、国内・輸出先国での変化量が結果となる。大気フロー法では、国産材・輸入材由来を問わず、その国で二酸化炭素排出された量が結果となる。



蓄積変化法(SC)

$$SC = \Delta C_F + \Delta C_D + \Delta C_{IM}$$

$$= NEE + IM - EX - E_D - E_{IM}$$

生産法(P)

$$P = \Delta C_F + \Delta C_D + \Delta C_{EX}$$

$$= NEE - E_D - E_{EX}$$

大気フロー法(AF)

$$AF = \Delta C_F + \Delta C_D + \Delta C_{IM}$$

$$- IM + EX$$

$$= NEE - E_D - E_{IM}$$

システム境界 SC: - - - P: - - - AF: 国境: ———

第3図 伐採木材の3評価手法

注 NEE: 森林の正味炭素吸収量, H: 伐採炭素量, ΔC: 炭素蓄積変化量, E: 炭素排出量, EX, IM: 輸出(入)炭素量, 添え字 F, D, EX, IM: 森林, 国内の国産材, 輸出(入)材

第1表 伐採木材製品に関するデータ試算(2002年)

	ストック総量		ストック 変化量	国産材 率	試算値 (単位: 1,000t-C)		
	2002年	2003年			蓄積 変化法	生産法	大気フロー 法
伐採木材炭素量	222,547	224,656	2,110	-	2,110	590	2,110
建築部門	178,901	180,124	1,223	0.37	1,223	448	1,223
家具・建具部門	14,806	14,909	103	0.25	103	26	103
パレット・梱包部門	4,859	4,768	-91	-	-91	-	-91
トラック・バス部門	474	462	-12	-	-12	-	-12
紙部門	23,507	24,393	886	0.13	886	116	886
(参考)埋立地部門	(11,027)	(10,801)	(-226)	-	(-226)	-	(-226)
木材輸出量(EX)					-	-	1,214
木材輸入量(IM)					-	-	14,820
各手法の評価結果					2,110	590	-11,497

最大の木材純輸入国である我が国は、手法の選択により炭素収支が大きく異なることになる(第1表)。例えば蓄積変化法と大気フロー法の評価結果の差は1,300万t-C/年を超え、我が国の第一約束期間における森林吸収による削減勘定量(90年排出量比3.8%)に匹敵する。また、手法の選択は我が国のみならず世界の林業・木材産業・木材貿易に大きな影響を与えることになる。

大気フロー法では輸入材のカーボンニュートラル性が失われ、炭素あたりのエネルギー効率が低い木材燃料より化石燃料を使った方が排出が減る。製材・パルプ製造では素材に含まれる炭素の約半分は残材・黒液などとして排出となる。たとえ国産材であっても丸太・チップとして輸出して、製品の形で輸入した方が有利となり、木材産業は

炭素排出産業とされてしまう。生産法では輸入材によって伐採木材製品ストックを増加させようというインセンティブが働かず、これまで木材をあまり使っていなかった国にとって使おうという意欲につながらないため、世界的なストック増が達成されない。また推計の信頼性は最も低い。

炭素クレジットをもらえることによる輸出意欲は、大気フロー法、生産法、蓄積変化法の順に小さくなり、輸入意欲は逆の順となる。需要と供給の関係から材価は蓄積変化法が採用された場合、最も高くなると考えられている⁴⁾。取引量が同じでも蓄積変化法の下で、世界の林業投資が最大化される。日本にとっても国産材の価格競争力が増すのは悪いことではない。

どの評価手法が採択され、その評価結果がどうなるだろうとも、世界中で林業投資を盛んにし、木材製品ストックを増加させることは二酸化炭素削減に貢献することになる。しかしひたすら伐採量のみを拡大することは削減への貢献とならない。伐採される幹材量の約1.7倍が枝葉・根などを含む樹木全体のバイオマス量であり、丸太から例えば製材品となる歩留まりは5, 6割程度である。すなわち最終木材製品における炭素貯蔵量は樹木バイオマス炭素量の3割程度にしかならない。従って森林蓄積が増加している間は、森で炭素貯蔵量を増やす方が木材製品で増やすよりも有効なわけ

である。

少なくとも世界の森林面積が可能な限り再回復され、木材生産林の蓄積量が高水準で定常状態になるまでの間は、木材製品の長寿命化や残廃材マテリアルリサイクルによる省資源の努力もしながらストック増加を図っていくことが重要である。

4. 省エネ効果

木材製品はパルプ蒸解・木質ボード類のホットプレス・製材の人工乾燥など全て200℃台以下の温度で作られる。千℃のオーダーで製造される鉄やセメントや窯業製品、ナフサのクラッキングに800℃近い温度を要するプラスチックなどに比べて、木材製品が省エネ的なことは明らかである。

これらエネルギー集約的な材料を木材製品が代替した場合、製造エネルギーの差の分だけ二酸化炭素を排出しないですんだことになり、木材利用の「省エネ効果」と称する。

例えば我が国の木材需要の主要なものである建築部門で考えてみると、省エネ的な木質材料を多用する木造は、鉄筋コンクリート(RC)造・鉄骨(S)造などと比べて単位床面積を建築する際の建設資材製造エネルギーが小さい(第4図)⁹⁾。他工法の建築物のうち、3階建て以下のものを木造代替していたら、第5図に示すような排出削減となり、そのポテンシャルの大きさが理解できる。

ここで注意が必要なのは製品寿命である。製造エネルギーが半分でも寿命も半分なら総エネルギーは変わらないことになる。しかし例えば建築物の寿命は必ずしも物理的耐用年数で決まるわけではないが、木造の建て替え年数は他構造に比べ

て短くはない。また建築物のライフサイクルエネルギーのうち、資材・建設関連以外の冷暖房・給湯などの運用エネルギーが6, 7割を占めているが、その点でも次世代断熱基準を満たしているような木造が劣りはしないだろう。

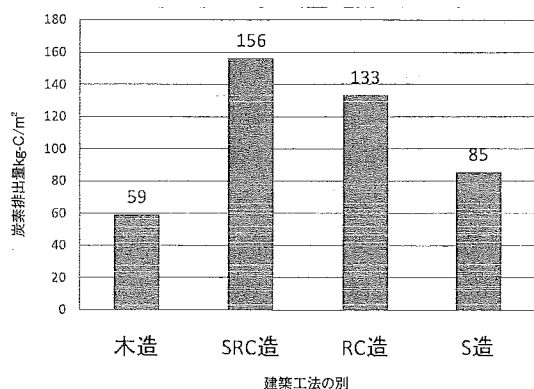
もちろん木製も含む製品製造はエネルギー投入が必要である。使える物は長く使うことが第一である。しかし廃棄され新たに作る場合には、木材のできる物は木材で作ることで大きな省エネになるのである。

5. 化石燃料代替効果

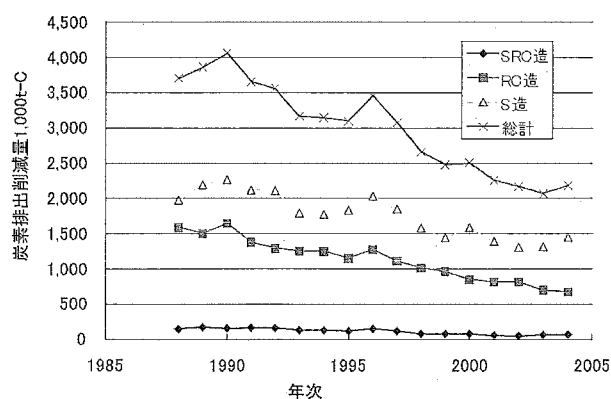
循環する炭素である木材のエネルギー利用により、化石燃料消費を減らすことで、温暖化の緩和となる。これを木材利用の「化石燃料代替効果」と称する。これは木材ライフサイクルのあらゆる時点、林地残材・製造残材・製品廃材やリサイクル材がさらに廃棄される場合でも有効である。

パルプ製紙業・製材業などの木材工業から発生する残廃材は、パルプ黒液・背板チップなどとして、ほとんどがすでに有効利用されている。建築解体材など利用系の残廃材は2,000万m³近く発生していると試算されているが(第6図)、逆有償であるため「バイオマス」利用と称して取り合いが始まっている。一方切り捨て間伐材などの林業残材は、1,000万m³のオーダーで発生していると考えられるが、収集・運搬コストと買い取り価格の乖離が甚だしく、利用が進まないのが現状である。

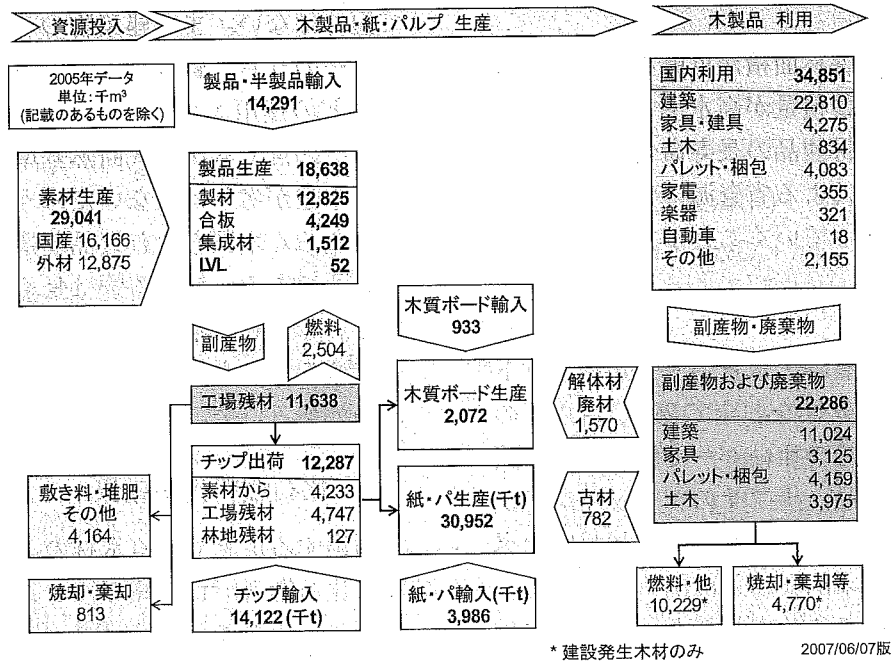
林業投資の拡大のためには製材・合板用など高付加価値利用が望ましい。それでも樹木の地上



第4図 各種建築工法の炭素排出量原単位 (酒井ら, 1997)



第5図 3階建以下木造代替による省エネ効果



第6図 我が国の木材フロー

部バイオマスの半分以上は残材として、例えばパルプ用やボード用になりうる。また前述のようにマテリアルリサイクルはエネルギーリサイクルに優先する。しかし林業残材であれば枝条・樹皮や不良材、利用系残材では複合部材・小部材など発生量の半分程度はエネルギー利用しかできない物である。これらを無駄なく収集してエネルギー利用することが重要である。

6. 林業・木材利用による削減可能性

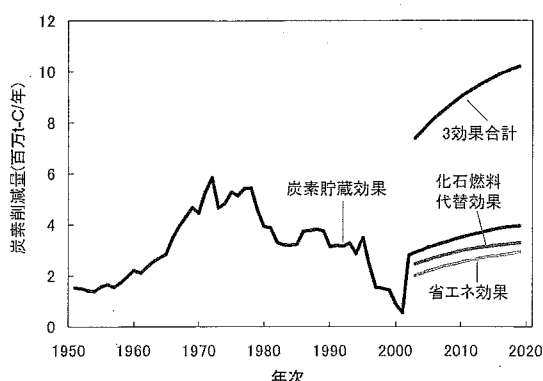
我が国の森林は戦後植林を進めた針葉樹人工林が依然成長期にある。2050年まで伐採を大幅に増加させたとしても、年平均の蓄積増加量、すなわち二酸化炭素削減量は1990年排出量比で4%分程度はあると試算されている。日本の森林蓄積増と国産材利用拡大はトレードオフの関係にあるわけだが、主として間伐材を利用しながら、面積当たりの平均蓄積量が大きい長伐期の森林へと誘導していくことが二酸化炭素削減の意味で重要である。そのためにも木材利用を振興することにより、日本林業への投資を拡大していくことが大事なことになる。

林地残材のエネルギー利用については、全木集材をして林道端の土場で製材・合板用丸太に造材した際に出る末木・枝条・不良材は、運搬

コストだけでエネルギー利用ができるため、実現可能性が検討されている。将来的に国産材の伐採利用が盛んになれば、このような残材量も増え、化石燃料代替により1%弱の排出削減が可能と考えられている。

木材利用部門においては、人口減少社会となったこともあり、他材料製品も含めたトータルの製品ストック量の増加は考えにくい。従って廃棄にバランスする形での新規製造の中で、他材料製品を木製代替していくことが必要である。それに伴い、木製品ストック量が少しずつ増加することによる「炭素貯蔵効果」、他材料製品との製造エネルギー差による「省エネ効果」、製造残材と将来的には木質廃材が増え、そのエネルギー利用による「化石燃料代替効果」が増大していく。第7図(文献⁶⁾を再解析)は、総ストック量一定の仮定の下、建築・家具部門の木造・木製率を現状の35%から一挙に70%に上げた場合の排出削減量を試算したものである。現実には少しずつ70%まで上げていくということになるだろうが、ポテンシャルとして各効果とも1%程度、合計3%分の削減量となりうる。解析は建築・家具部門のみの結果であるが、他部門の木材利用を拡大していくことにより、削減量はより大きくなる。

トータルの林業・木材利用による削減量はこれ



第7図 建築・家具の木造・木製率を一挙に70%に上げた際の削減量（試算）

まで述べたように90年比8%分程度はあり、更なる上乘せも可能である。2050年における削減目標が70%であるとすれば、その1割分以上の貢献が将来的に期待できるのである。

7. おわりに

林業は100年単位の事業である。100年後にも高い値段で木材を使うという保証が必要である。地球温暖化も100年単位の危機である。これまで述べてきたような木材利用による貢献を、林業・木材産業にはっきりとしたメッセージとして伝え、自覚してもらうことが重要になる。伐採木材評価もそのために役立つものになってほしい。

木材利用の3つの削減効果のうち、根本になるのが「炭素貯蔵効果」である。世界中の国々に木材製品が行きわたり、ストックが飽和状態になった時に、削減効果はゼロになるが、それではかまわないのである。それまでの間、効果がプラスであることは他材料代替が進められてきた訳であり、「省エネ効果」による削減が最大限行われたことを意味し、同時に資源利用戦略が転換したことになる。また大きなストックには大きな残廃材フ

ローも伴うことになり、「化石燃料代替効果」も最大限でそれ以降も働き続けることになる。そのためには森林資源生産ポテンシャルの高い国は低い国に使ってもらうことも必要となる。

鉄でなければできない物もあるし、コンクリートが必要な物もあり、プラスチックの方がよい物もあろう。しかし建築・家具部門以外に土木部門でも需要拡大の余地は大きい。紙製品による金属・プラスチックの代替も大きな可能性がある。このような木材利用拡大を実現するための政策的・経済学的な道筋が重要となる。

また省資源のための耐久性向上・マテリアルリサイクル技術の開発や、分散型の残廃材資源の効率的なエネルギー利用システムも課題となろう。さらに世界と日本の森林資源蓄積の推移とバランスし、森林蓄積の最大化を図りながら、どの程度の木材供給が持続的に可能であるのかを科学的に示していくことが必要となる。

文 献

- 1) 脇岡靖明：季刊環境研究, No.138, 67 - 76 (2005)
- 2) FAO: Global Forest Resources Assessment (2005)
- 3) 藤森隆郎ら：森林・木材資源を活用した循環型システムの構築を目指して, 林野庁, 23 (1998)
- 4) UNFCCC: FCCC/TP/2003/7 (2003)
- 5) 酒井寛二, 漆崎 昇, 中原智哉：環境システム研究, 25, 525 - 532 (1997)
- 6) 恒次祐子, 外崎真理雄：第57回日本木材学会大会研究発表要旨集, 80 (2007)
(2007. 11. 9 受理)

添付資料

II 運営委員会議事録

- (1) 2008.4.3：第4回（土木学会にて）
 - ・石川先生の話題提供
 - ・土木学会シンポジウムの報告
 - ・「土木学会重点課題助成制度」採択の報告
 - ・土木学会全国大会「研究討論会」の申請について
 - ・今後の進め方について（WGの進め方）
- (2) 2008.5.28：第5回（東京大学にて）
 - ・「京大大学生存圏研究所プロジェクト共同利用（研究集会）」採択報告
 - ・京大大学生存圏シンポジウムについて
 - ・土木学会全国大会「研究討論会」について
 - ・WGの進め方について
- (3) 2008.7.25：第6回（土木学会にて）
 - ・土木学会全国大会「研究討論会」について
 - ・京大大学生存圏シンポジウムについて
 - ・WGの進め方について
- (4) 2008.9.19：第7回（土木学会にて）
 - ・WG活動状況報告
 - ・外部への発信について（土木学会全国大会「研究討論会」、秋のシンポジウム開催、年度末のシンポジウム）
 - ・外部資金（鹿島学術振興財団、科研費）について
 - ・円卓会議「伐採木材の取り扱い」について
 - ・URLの立ち上げについて
- (5) 2008.12.16：第8回（土木学会にて）
 - ・生存圏シンポジウム報告
 - ・伐採木材の取り扱いに関する円卓会議の報告
 - ・WG2の再編と新規委員について
 - ・春のシンポジウムについて
 - ・外部資金獲得について
 - ・土木学会地球温暖化対策適応策応募への対応について
- (6) 2009.2.9：第9回（土木学会にて）
 - ・木材学会シンポジウムについて
 - ・各WGからの活動報告
 - ・本年度とりまとめについて
 - ・外部資金応募状況について
 - ・土木学会特別委員会経過報告

「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」運営委員会 第4回 議事録										
日 時	2008年 4月 3日 (木) 15:00 ~ 17:30								作成：今井	
場 所	土木学会 講堂									
委員	今村	白石	豊川	久保山	外崎	桃原	濱田	石川	佐々木	渡辺
出 欠	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○
委員	平沢	石田	沼田	松本	熊本	今井				
出 欠	—	○	○	○	○	○				
その他 参加者	オブザーバ：なし (敬称略)									
配布資料	4-0 第4回「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」運営委員会議題書 4-1 第3回議事録（案） 4-2 名簿 4-3 石川芳治先生資料 4-4 シンポジウム（3/3）に関する資料 4-5 重点課題助成制度採択に関する資料 4-6 土木学会研究討論会の申請に関する資料 4-7 WG関連資料 4-8 横断的研究会運営委員会計画書 4-9 競争的研究資金調査表 4-10 木橋技術に関するシンポジウム									
議事内容	<p>今村委員長・沼田幹事長の司会により進行した。</p> <p>1. 委員長挨拶</p> <p>3月3日のシンポジウム無事終了の謝辞と共に、今後より具体的な成果を出せるよう活動をするとの考えが示された。</p> <p>2. 議事録確認</p> <p>第3回運営委員会議事録（資料4-1）の概要が説明され、議事録案は承認された。また、現時点の名簿（資料4-2）が配布され、記載内容に修正がある場合は事務局の連絡要請があった。</p> <p>3. 石川芳治先生の話題提供</p> <p>○「木材を用いた治山治水施設の特徴と活用、一特に木製堰堤の計画・設計法、腐朽度調査結果について」（資料4-3）と題して、木材を用いた治山治水施設の必要性、適用事例、耐朽性能に関する研究の紹介がなされ、以下のような質疑応答があった。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 辺材と心材の腐朽速度の違いについて。 調査結果からは両者の差異は明確ではなかった。 一般的に辺材の方が腐朽しやすいとの意見も出された。 ・ 木製堰堤の設置基数について。 全国で約600基、年間数10基設置されている。地域差があり、関東ではほとんど設置 									

されていない。

- ・木製ダムの被害事例の有無について。
被害報告無し。H16年における土石流に際しても被害がなかったとの報告がある。
- ・設計マニュアルの有無。
林野庁のマニュアルがある。特殊事例に関しては適宜技術課題に対する設計がなされている。
- ・スイスではどのような理由で木製施設が採用されたのか。
景観・環境保全からの採用理由が大きい。
- ・松岡の実験による杭の耐朽性と木製堰堤の耐朽性の違いについて。
松岡の実験は、3 cm×3 cm×60cmの樹種などの各種条件下での試験である。太い丸太が全部腐朽するには時間を要するため、腐朽の進行速度などで示すべきである。検討する条件を踏まえて腐朽性を評価し、設計時の安全率設定などに反映させる必要があるなどの意見が出された。
この間に関連し、木製堰堤では木の割れは確認されていないこと、木製堰堤の用材は乾燥が不要である利点があることが補足説明としてなされた。
- ・木材の皮付き使用、切削使用などによる違いは。
皮付きの場合、虫が付きやすくなり、腐朽要因となる。
木材を傷つけずに使用することが大切。
辺材部は腐朽菌の栄養分が豊富で腐朽し易いことが補足説明された。
- ・木製堰堤の一番のメリットは何か。
経費削減、環境保全、環境負荷低減にある。
そのため、現地材の利活用、加工を少なくするなどがある。しかし、本来ならば現場で切ってそのまま使えばコストも安いですが、実際には加工品を用いているのでコスト高となっている。

4. シンポジウムの報告

- ・参加者約130人、収支も赤字とはならなかったことが報告された。
- ・アンケート調査のデータがあり、参加者の関心事項や反応などが報告された。
(資料4-4)

5. 重点課題助成制度採択の報告

- ・土木学会重点研究課題（研究助成金）（資料4-5）に応募し、結果採用された報告がなされ、関連してこの助成金の説明がなされた。
- ・応募した研究の研究内容や実施予算案が示され、承認された。
- ・本研究では、報告書作成義務がある。
- ・成果報告としてシンポジウムを開催する機会が多いが、本横断的研究会においてもシンポジウムを1～3月の間に開催することでコンセンサスを得た。

6. 土木学会研究討論会の申請についての報告

- ・土木学会年次講演会（2008年9月、於：東北大学）の研究討論会を本研究会で企画することとその内容（資料4-6）が説明され、承認された。
- ・土木学会員以外の参加について事前申請（参加費免除など）の必要性が指摘された。

7. 今後の進め方について（WGの進め方）

1) 運営委員会の進め方

- ・横断的研究会と運営委員会は本来異なる会であるが、暫定的に一緒に活動することとする。
- ・新規メンバーに関しては、積極的に会の運営等に関与する意向のある人の紹介・推薦があった場合、適宜入会を承認する。メンバーの公募はしない。また、単に勉強のためだけなど消極的な参加は基本的に認めない。
- ・間伐材小委員会、木橋小委員会は一緒にして特別委員会に移行させたい。
- ・メンバー構成として土木学会に偏らない注意が必要。

2) WGの進め方

○1WGの活動予定（資料4-7）、2WGの活動に関するうち合わせ結果の報告と共に以下の意見が出された。主な意見を以下に示す。

- ・まず、土木での木材利用ニーズを確認してから進める必要があり、始めは1WG、2WG合同で議論すべき。
 - ・木材利用のメリットを周知する啓蒙的な活動が必要。
 - ・具体的な木材利用（既存技術）のまとめが必要。
 - ・土木で木材利用が減った理由を整理する必要がある。
 - ・まず、木材を何に使うかを明確にして具体的利用事例を示す必要がある。
 - ・全体の検討フローを作成し、そのなかで各WGの位置づけを明確にするべき。
 - ・研究会の進め方と成果として、2つの進め方を提案。①社会への提言と②技術開発課題を集約し研究資金獲得に集約する。
 - ・大臣などを対象に政策提言を毎年実施。マスコミ等を利用し効果的に発信をする。
- 上記意見を踏まえ、次回までに全体のフロー図を作成し、次回審議することとした。
（幹事、各WG主査、副主査担当）

8. その他

- 1) 今秋、土木における木材利用に関してシンポジウムを、関西地区にて開催する提案がなされ、次回審議する。
- 2) 外部資金導入リスト（資料4-9）が示され外部資金導入について議論、以下の方針とした。
 - ・性急に応募するのではなく、木材利用の必要性をPR、世論・雰囲気作りを進めつつ課題を集約して応募することとする。
 - ・国交省などの研究補助金を目標にするのが良さそうである。
- 3) 木橋小委員会より連絡
 - ・木橋小委員会は、研究小委員会とシンポジウム運営小委員会木橋シンポジウムに分けて活動する。
 - ・木橋技術に関するシンポジウム（資料4-10）の開催案内とともに、木橋から木材利用へ範囲を拡大すると紹介があった。
 - ・土木学会年次講演会の木橋セッションは、木質構造物全般を対象とするため関連事項

の投稿依頼がなされた。

4) 次回（第5回）運営委員会

一日時：2008年5月28日15:00～

一場所：東京大学周辺（白石先生一任）

以上

「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」運営委員会 第5回 議事録										
日 時	2008年 5月28日 (水) 15:00 ~17:30								作成: 今井	
場 所	東京大学農学部弥生講堂 会議室									
委員	今村	白石	豊川	久保山	外崎	桃原	濱田	石川	佐々木	渡辺
出 欠	○	○	—	○	○	—	—	○	○	○
委員	平沢	石田	沼田	今泉	熊本	高奥	今井			
出 欠	○	○	○	○	○	○	○			
その他 参加者	オブザーバ: なし (敬称略)									
配布資料	5-0 第5回「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」運営委員会議題書 5-1 第4回議事録(案) 5-2 名簿 5-3 土木学会研究討論会に関する資料 5-4 横断的研究会の進め方フロー図 5-5 木材工業投稿原稿(間伐材利活用小委員会) 5-6 土木で木材から他材料への移行に関する資料(今井) 5-7 木材の長所と短所(沼田) 5-8 関西圏でのシンポジウムに関する資料(今村) 5-9 LCAを用いた環境影響評価(高奥)									
議事内容	<p>今村委員長・沼田幹事長の司会により進行した。</p> <p>1. 委員長挨拶</p> <p>時候の挨拶と、本日は審議事項が多く円滑に議事を進行したいとの要望が示された。また、新メンバー(2名)の紹介がなされた。 林野庁・今泉裕治(松本氏の後任)、京都府・高奥信也氏</p> <p>2. 議事録確認</p> <p>第4回運営委員会議事録(資料5-1)の概要が説明され、議事録案は承認された。また、現時点の名簿(資料5-2)が配布され、記載内容に修正がある場合は事務局の連絡要請があった。一部修正、追記事項の連絡有り。</p> <p>3. 関西地区におけるシンポジウムについて</p> <p>○資料5-8に基づき、今村委員長よりシンポジウム概要について説明がなされ、具体的内容について質疑・意見交換後、開催場所、スケジュール案について審議した。 また、本シンポジウム案の審査結果報告で、異分野(ゼネコンなど)を含めた珍しく、貴重な提案であるとの意見が出されたことが紹介された。</p> <p>○シンポジウムに関して出された意見、情報</p> <ul style="list-style-type: none"> ・参加対象について —対象の絞り込みが重要 									

- 行政（林野，森林土木），国交省へのPR必要（後援を要請）
- 自治体：県レベルを対象とすると効果がある。
- 対象絞り込み案として，森林系と土木系（国交省）で分けることも考えられる。

・内容

- 事例紹介，木材利用の課題や問題提起
- 京都府案：京都府では木製ダム設置10周年に当たり，記念イベントを今秋開催予定，本シンポジウムとの協同開催も可能。現時点で想定している京都府でのイベント内容は

①木製ダムの腐朽調査の成果（10年間での調査結果，田淵氏）

②CO2吸収，ライフサイクル評価（砂防学会で発表済み）

この内容に介しては資料5-9と共に木製ダムとコンクリート製ダムのLCA評価結果内容について高奥委員から説明がなされた。

③木製ダム適用事例紹介

・シンポジウムの目的

- 木材利用への理解を広げる。
- 木材利用は環境破壊であるとの誤解を解消する。
- 木材利用への助成を増やす。（農政からは助成があるが，土木からはない）

○シンポジウムに関する現時点での決定事項

- ・会場：京都大学生存圏研究所・木質ホール
- ・スケジュール：11月21-22日（ただし，濱田先生の予定を確認する必要性有り）
 - 1日目の午後よりシンポジウム，2日目現地見学会
 - ※時期は10月末から11月で検討，会場の都合から11月21-22日となった。
- ・より具体的内容については，今村委員長，高奥委員，幹事で検討する。
- ・今後の工程として，7月には内容をほぼ確定し，8月には案内を出せるようにする。

4. 土木学会研究討論会について

- ・沼田幹事長より資料5-3に基づき，研究討論会概要を紹介。内容について承認された。
- ・洞爺湖サミットに関連し，土木学会では地球環境問題に対するシンポジウムを計画しているとの情報が提供された。
- ・研究討論会での配布資料は事前に8月に土木学会に提出する。（事前に土木学会に資料を提出しておく土木学会より冊子として用意され，配布可能となるため）
- ・土木学会以外からの参加者について，土木学会事務局に確認する。

5. WGの進め方について

○WGの進め方として，資料5-4のフロー図が示され，その内容の説明がなされた。これについて以下の意見が出された。

- ・WG1ではsubWGは不要となる。
- ・WG2ではsubWGが多くなる見通し。
- ・WG2では，土木学会員数が多くなりすぎる懸念がある。3学会のバランスを考えた対応が必要。

・一つでも木材利用事例として早めに結果を出すことが必要。

○木材利用に関して下記3件の話題提供

①木材工業投稿論文紹介（間伐材利活用小委員会・石田，資料5-5）

②土木での木材から他材料への移行について（今井，資料5-6）

③木材の長所，短所ほか（沼田，資料5-7）

上記に関連し，以下の意見が出された。

・木材に対する誤解を解消することも一つの成果。

（木材強度は鋼材などに劣らないことを周知してもらう。）

・一案として，土木技術者のための木材利用マニュアルなど，木材について知ってもらうための教科書が整備される必要がある。

○上記，質疑・意見交換後，資料5-4のフロー図は承認され，当面，WG2により木材利用案を出してもらうこととなった。

6. その他

1) 木橋小委員会より連絡

木橋シンポジウムを8月22日，土木学会講堂にて開催予定

2) 横断的研究会のホームページ

ホームページ立ち上げの現状確認，今後の対応確認がなされた。

・現状では間伐材利活用小委員会での検討中であり，この検討状況を確認後，間伐材利活用小委員会担当と渡辺委員の協力により，早急にホームページを立ち上げるよう対応することとした。

3) 次回（第6回）運営委員会

一日時：2008年7月25日15:00～

一場所：土木学会 E会議室

以上

「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」運営委員会 第6回 議事録										
日 時	2008年 7月25日 (金) 15:00 ~17:30							作成: 今井		
場 所	土木学会 E会議室									
委員	今村	白石	豊川	久保山	外崎	桃原	濱田	石川	佐々木	渡辺
出 欠	○	○	-	○	○	-	○	○	○	-
委員	平沢	石田	沼田	今泉	熊本	高奥	今井			
出 欠	○	-	○	-	○	○	○			
その他 参加者	オブザーバ: なし (敬称略)									
配布資料	6-0 第6回「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」運営委員会議題書 6-1 第5回議事録(案) 6-2 名簿 6-3-1 土木事業への間伐材利活用シンポジウム(2008/3/4開催)アンケート結果(沼田委員) 6-3-2 土木学会年次学術講演会・研究討論会資料①(沼田委員) 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 6-3-3 土木学会年次学術講演会・研究討論会資料②(渡辺委員) 木材利用の進め 6-3-4 土木学会年次学術講演会・研究討論会資料③(今井委員) これからの土木における木材利用 6-4 11月開催・生存圏シンポジウムに関する資料 6-5-1 WG1活動報告資料 6-5-2 WG2活動報告資料(A3版 利用用途と評価項目表) 6-5-3木製透過柵(佐々木委員) 6-5-4木製吹払柵(佐々木委員) 6-6 横断的研究会の検討フロー, 位置づけ(沼田委員)									
議事内容	<p>今村委員長・沼田幹事長の司会により進行した。</p> <p>1. 委員長挨拶 暑中での参集に対する謝意表明と, 本日予定されている審議への協力依頼がなされた。</p> <p>2. 議事録確認 第5回運営委員会議事録(資料6-1)の概要が説明され, 議事録案は承認された。また, 現時点の名簿(資料6-2)修正事項の説明がなされた。 名簿の電子ファイルを後日, 全員へ配布することとした。</p> <p>3. 土木学会年次学術講演会・研究討論会について ○討論会に関する審議に先立ち, 討論会にて説明予定の間伐材利活用シンポジウム(2008/3/4)のアンケート結果の分析結果の説明が実施資料6-3-1に基づき, 沼田委員より説明がなされた。 ・アンケート結果は8月にホームページに掲載することとし, それまでに意見等あれば</p>									

沼田委員まで連絡することとした。

- ・掲載内容に対する意見等はホームページ上で受け付けられるようにする。

○研究討論会に関する審議

- ・土木学会全国大会で実施する研究討論会“木材を活かした国づくりまちづくりー土木技術ができる地球温暖化対策ー”の概要説明，事前作成・配布予定の冊子原稿について資料6-3-2，6-3-3，6-3-4より各担当より説明がなされ，以下のことが確認された。
- ・他学会で参加登録された方について，当日参加証の受け取り手続きを土木学会事務局に確認しておく。
- ・研究討論会の目的は，木材利用促進であり，自由闊達な意見交換の場とする。
- ・飛び入り発表（3分程度）をあらかじめ準備してもらう。
- ・資料6-3-4での間伐材利用量については誤解のないようにまとめることとする。

4. 11月開催・生存圏シンポジウムについて

シンポジウムの目的，対象，スケジュール等について審議，以下のように決まった。

(資料6-4)

○目的：土木における木材利用促進のため土木担当者（主に自治体）の意識を変える。

○スケジュール（開催日：11月21日）

13:00～13:15 開会挨拶 .早稲田大学 濱田政則

13:15～14:00 もっと木材を土木で！ .東京農工大学 石川芳治

14:00～15:00 土木における木材の利用ー課題と展望ー

森林総合研究所 外崎真理雄，秋田県立大学 佐々木貴信

15:15～17:20 パネル討論会 “木材の土木利用の新たな展開に向けて！！！”

パネラー

木製構造物に適した設計・積算・施工・検査……京都府庁 高奥信也

耐久性調査を踏まえた維持管理 京都府立大学 田淵敦士

保存処理木材の土木分野での利用 (株)越井木材工業

森林の現状と木材の安定供給 .京都府森林組合連合会 青合幹夫

司会 京都大学 今村祐嗣

17:20～17:30 閉会挨拶 東京大学 白石則彦

17:45～19:30 交流会（宇治キャンパス生協会館）

○その他の主な決定事項

- ・会場：京都大学生存圏研究所・木質ホール
- ・主催：京都大学生存圏研究所
- ・国交省，林野庁の後援依頼については研究所主催で可能か，必要書類など確認必要。
- ・要旨集は1ヶ月前に準備，担当：高奥委員
- ・ポスター作成，担当：今村委員長
- ・企業展示も呼びかける。展示無料，高さ1.8m×間口1.8m程度のスペース
- ・

5. WGの進め方について

- ・WGの進捗状況報告として，WG1（資料6-5-1），WG2（資料6-5-2）より報告がなされた。
- ・全体の進め方は資料6-6より説明され，11月（生存圏シンポ），3月を目標に成果のとりまとめをする。

- ・とりまとめは報告書を基本とし、提言を盛り込むようにする。
- ・WG2では、土木学会員数が多くなりすぎる懸念があり、基本的には3学会のバランスを考えた対応することが確認された。
- ・土木学会における特別委員会の位置づけ（資料6-6）の確認がなされた。

6. その他

1) 外部資金

- ・委員会運営に対しての援助の得られそうな研究資金を捜し、よい案件を提案する。
- ・当面、鹿島財団の研究資金について調査する。

2) 林野庁発行紙「林野」への情報提供

- ・生存圏シンポなど可能な情報は積極的に提供することとした。

3) ホームページの立ちあげ

- ・渡辺委員に確認し、進めていく。

4) 資料6-5-3, 6-5-4説明

- ・佐々木委員より説明がなされ、委員間の意見交換がなされた。

5) 次回（第7回）運営委員会

一日時：2008年9月19日15:00～

一場所：土木学会 E会議室

以上

「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」運営委員会 第7回 議事録										
日 時	2008年 9月19日 (金) 15:00 ~18:30								作成: 今井	
場 所	土木学会 E会議室									
委員	今村	白石	豊川	久保山	外崎	桃原	濱田	石川	佐々木	渡辺
出 欠	○	○	-	○	○	○	○	○	-	-
委員	平沢	石田	沼田	今泉	熊本	高奥	今井			
出 欠	-	○	○	-	○	○	○			
その他 参加者	オブザーバ: なし (敬称略)									
配布資料	7-0 第7回「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」運営委員会議題書 7-1 第6回議事録(案) 7-2-1 WG1資料(第2回課題WG議事録 文責: 久保山) 7-2-2 WG2資料(土木学会特別委員会と横断的研究会の組織図) 7-3 土木学会年次学術講演会・研究討論会資料 7-4 11月開催・生存圏シンポジウムに関する資料 7-5 欠番 7-6-1 科学研究費資料(公募概要, 研究種目, スケジュール) 7-6-2 提案の案(沼田委員) 7-6-3 鹿島学術振興財団2008年度募集資料 7-7-1 円卓会議資料その1(沼田委員) 7-7-2 円卓会議資料その2(伐採木材製品(HWP)評価について)(外崎委員) 7-8 横断的研究会のホームページ									
議事内容	今村委員長・沼田幹事長の司会により進行した。 1. 委員長挨拶 ・委員長の都合で省略した。 2. 議事録確認 ・第6回運営委員会議事録(資料7-1)の概要が説明され, 議事録案は承認された。 3. WG活動報告 ・WG1より9/12開催のWG1打合せの状況が報告された。(資料7-2-1) ・WG1では, 腐朽に対する情報提供, 木材コストなどについて取り組みが始まっている。 ・WG2よりとして, 土木学会特別委員会・横断的研究会の組織案が示された。これを機会に横断的研究会運営委員会へも声を掛けたい。(資料7-2-2) 4. 外部発信 (1)土木学会年次学術講演会・研究討論会について ・資料7-3をもとに, 研究討論会の概要報告がなされた。 ・本討論会の概要は土木学会会長からのプレス発表にも具体的な地球温暖化防止対策としての木材利用が盛り込まれた。									

(2) 11月開催・生存圏シンポジウムについて

○資料7-3に基づき、シンポジウム内容について打合せ、担当、期日などを決めた。

○予稿

- ・予稿：取りまとめは高奥委員。
- ・予稿締切は10月20日（高奥委員へ提出）。
- ・予稿フォーマットを高奥委員から送付。
- ・巻頭言は濱田先生に書いていただく。

○準備、当日担当

- ・会場準備：生存圏、京都府からの応援
- ・総司会、マイク、PC操作：沼田、今井ほかで対応
- ・受付：田代秘書、京都府からの応援
- ・カメラ：熊本委員ほか

○ポスターの修正、確認事項

- ・オーガナイザーの記載を削除
- ・（株）越井木材工業の担当者名を記入
- ・申込み先、あるいは連絡先を明記
- ・後援国交省削除ほか、後援、共催の確認

○案内先

- ・京都府内の国交省事務所、近畿圏の林業関連部署へは京都府より連絡
- ・土木学会のプレス発表を利用しシンポジウム2週間前に発信。
- ・林野庁から各自治体へ連絡。
- ・各委員より心当たりの関連部署へ連絡。

○旅費

- ・幹事会にて検討すること

(3) 3月開催のシンポジウム

- ・シンポジウムは横断的研究会の活動成果報告を主題に設定。
- ・開催時期は3月開催にとらわれず、現在のWG活動の進捗状況に応じて設定。当面、3月開催は見送り。例えば、5月当たりとする。

5. 外部資金について

外部資金に関しては科学研究費、鹿島学術振興財団について検討し、以下の対応とした。

○科学研究費

- ・各委員より可能性のある技術的課題とそれに対する研究案をメールにて発信、幹事会で取りまとめる。
- ・提案は、学際領域の分野を主対象とし、木材利用に対する幾つかの技術的課題を想定し、その技術的課題を克服する技術開発・研究テーマとして取りまとめる。
- ・上記テーマ提案として発信は10月末までとする。

○鹿島学術振興財団

- ・応募する方針で、具体的応募資料を取り寄せる。

6. 円卓会議（伐採木材の取り扱いに関する円卓会議）

- ・円卓会議の目的、概要、伐採木材の取り扱いに関して、沼田、外崎委員より説明がなされた。（資料7-7-1、7-7-2）
- ・日本木材学会、日本森林学会、土木学会それぞれから伐採木材評価に関する意見が求められている。

・伐採木材評価法として3種類の評価法が提案されているが、いずれを支持するかの判断は難しく、明らかに支持可能な意見打診項目に関して回答し、他の事項への明確な判断は現時点では回答しかねる旨を伝えることとした。

7. URL立ちあげ

・URLの現状が示され(資料7-7)、これに対して、外部からの検索されやすくするためにリンク設定するなどの案が出され、対応することとした。

8. その他

1) お知らせ

・飛島建設、福井県の木材利用による軟弱地盤対策技術の公開実験を10月9日午後より敦賀にて実施予定。参加希望者は沼田幹事まで連絡。

2) 次回(第8回)運営委員会

一日時: 2008年12月16日15:00~

一場所: 土木学会 E会議室

以上

「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」運営委員会 第8回 議事録										
日 時	2008年 12月 16日 (金) 15:00 ~17:30								作成: 今井	
場 所	土木学会 E会議室									
委員	今村	白石	豊川	久保山	外崎	桃原	濱田	石川	佐々木	渡辺
出 欠	○	-	-	○	○	○	○	○	-	○
委員	平沢	石田	田代	沼田	今泉	熊本	高奥	今井		
出 欠	-	-	○	○	-	○	○	○		
その他 参加者	オブザーバ: 古木専務理事 (敬称略)									
配布資料	8-0 第8回「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」運営委員会議題書 8-1 第7回議事録(案) (事前にメールにて配布) 8-2 第114回生存圏シンポジウム報告資料 8-3 伐採木材の取り扱いに関する円卓会議資料 8-4 技術WG-2の再編, 新規委員関連資料 8-5 木材学会シンポジウム関連資料 8-6 研究助成金資料 8-7 土木学会 地球温暖化の影響・適用策への意見募集資料									
議事内容	<p>今村委員長・沼田幹事長の司会により進行した。</p> <p>1. 委員長挨拶</p> <ul style="list-style-type: none"> ・木材利用に関しては成果も出つつあるが課題も多い。これら課題に前向きに対応していきたい。ほか <p>2. 資料確認, 議事録確認, 委員交代</p> <ul style="list-style-type: none"> ・第7回運営委員会議事録案については準備がなく, 事前に配布したメールにて確認済みとした。 ・下記2委員の交代が紹介され, 承認された。 石田委員→田代晃一(日本国土開発)委員, 豊川委員→仁多見敏夫(東京大学)委員 <p>3. 第114回生存圏シンポジウム報告</p> <ul style="list-style-type: none"> ・今村委員長よりシンポジウムの概要, 林野庁後援への対応などが報告された。(資料8-2) ・シンポジウム要旨集は講演者や間伐材利活用小委員会, 希望者に配布することとした。 ・シンポジウムの内容は土木学会, 木材工業誌, 木材保存誌, 林野庁広報誌に掲載される。 <p>4. WG2の再編と新規委員について</p>									

- ・技術WG2を下記の4つのWGに分けることとした。技術WG1はそのまま。
WG2：木橋利用研究（渡辺），WG3：治山・水利用研究（石川），WG4：地中・洋利用研究（沼田），WG5：道路付帯利用研究（田代）
- ・各WGのメンバーは現委員等からの紹介等自由に募集，運営委員会の承認を経て加入。
- ・土木学会における特別委員会は設立する方向で進行中。外部資金獲得について記することとした。

5. 日本木材学会シンポジウムについて

- ・日本木材学会にて第4回木質科学シンポジウムとして土木への木材利用促進に係わるシンポジウムを横断的研究会が中心となって開催することにした。
- ・シンポジウムは2009年5月23日，東京大学農学部教室。
- ・本シンポジウムの取りまとめは桃原幹事となった。
- ・新たな5つのWGから話題提供者を出す方向で各WG対応することとした。
- ・タイトル，主題についてはユニークなものが望ましく，桃原幹事を中心に検討する。
- ・本シンポジウムと土木学会特別研究（2009年3月末終了）の成果をリンクできると好都合。

6. 外部資金獲得について

- ・助成金一覧表を確認，応募できそうな助成金制度を検討した。（資料8-6）
- ・No. 2国土交通省②政策課題解決型に応募を検討することとした。
- ・No. 19三菱財団へは石川先生，木橋委員会の先生に応募を検討頂くこととした。

7. URL立ちあげ

- ・URLの現状が示され（資料7-7），これに対して，外部からの検索されやすくするためにリンク設定するなどの案が出され，対応することとした。

8. 土木学会地球温暖化適用策応募について

- ・資料8-7の土木学会地球温暖化適用策応募について紹介されたが，応募は見送ることとした。

9. その他

1) 木橋見学会

12/17 木橋見学会が予定されていることが渡辺委員より紹介された。

2) 次回（第9回）運営委員会

一日時：2009年2月 9日15:00～

一場所：土木学会 E会議室

以上

「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」運営委員会 第9回 議事録(案)										
日 時	2009年 2月 9日 (月) 15:00 ~18:00								作成: 今井	
場 所	土木学会 E会議室									
委員	今村	白石	仁多見	久保山	外崎	桃原	濱田	石川	佐々木	渡辺
出 欠	○	○	代理	-	○	○	○	-	○	○
委員	平沢	田代	沼田	今泉	熊本	高奥	今井			
出 欠	○	○	○	-	○	○	○			
その他 参加者	オブザーバ: 仁多見委員の代理 (櫻井倫) (敬称略)									
配布資料	9-0 第9回「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」運営委員会議題書 9-1 第8回議事録(案) 9-2 運営委員会とWGの運営と全体の方向性について(案) 9-2②WG活動報告書用紙 9-3 WG1活動報告 9-4 WG1委員名簿 9-5 WG2活動報告 9-6 WG3活動報告 9-7 WG3委員名簿 9-8 WG4活動報告 9-9 WG5活動報告 9-10 平成21年度土木学会重点課題研究応募申請書 9-11 国土交通省「研究技術研究開発助成制度」への応募(案)									
議事内容	<p>今村委員長・沼田幹事長の司会により進行した。</p> <p>1. 委員長挨拶</p> <ul style="list-style-type: none"> ・木材利用に関しては成果も出つつあるが課題も多い。努力した対処していきたい。 <p>2. 資料確認, 議事録確認</p> <ul style="list-style-type: none"> ・第8回運営委員会議事録内容を確認し、承認された。 <p>3. 木材学会シンポジウム報告</p> <ul style="list-style-type: none"> ・桃原委員よりシンポジウムに向けた準備動向が説明され、タイトルなど以下の事項を決定した。 ・タイトル: 「土木における木材利用の復興」 サブタイトルとして“カーボンシンクとしての木材利用の考え方”など別途検討することとなった。 ・講演は、基調講演として濱田先生、話題提供として、WG2より木橋(講演者未定)、WG4より沼田幹事長、WG5より張委員による木材ガードレールとした。 ・各話題提供のタイトルと講演者を2/15までに桃原幹事へ連絡すること。 ・講演者は6ページの予稿作成が必要。 ・ポスター展示も約20件程度募集、この場合には1ページの予稿必要。ポスターは地方 									

からの発信があるとよい。各WGから数件ずつ推薦してもらってはどうかということになった。

- ・主催は日本木材学会，共催として日本森林学会（白石先生確認），土木学会（沼田確認）とすることとした。
- ・CPDを申請することとした。（CPD手続き沼田確認）。
- ・土木学会誌の4月号にシンポジウムの案内を掲載すること（沼田担当）。

4. WG活動について

各WG主査より活動状況，メンバーの紹介がなされた。

- ・WG1：資源利用ビジョン（外崎）

資料9-3.9-4をもとに活動状況の報告がなされた。

9月11-12日に沖縄大学で予定されている土木学会地球環境シンポジウムに横断的研究会主催特別セッションを申請することが起案され，承認された。

- ・WG2：木橋利用研究（渡辺）

資料9-5にて概要紹介。WGの横断的研究会としての活動テーマは検討中。8月20-21日と木橋のシンポジウムの開催予定。鋼構造委員会への小委員会継続申請はしておらず特別委員会の設立を待っている状態にある。

- ・WG3：治山・水利用研究（石川）

メンバー公募予定，農水省の研究助成申請中。（資料9-6，資料9-7）

- ・WG4：地中・洋利用研究（沼田）

資料9-8にて活動内容，委員紹介。

WG活動とWG間の連絡・調整の必要性が挙げられた。

- ・WG5：道路付帯利用研究（田代）

資料9-9にて活動内容，委員紹介。

一つの活動目標としてPFIを利用した木材利用，林道整備事業などのアイデアが紹介された。

WG1～WG5で主対象としている以外の木材利用はWG5で対応することとした。

- ・WG全体，WG相互の情報交換をするため，年2程度全体での会合を予定することとした。（資料9-2）
- ・横断的研究会では，3年後（～2011年5月末）を一つの区切りとし，その最終成果の一つとして木材利用の手引き書作成を目標とすることとなった。
- ・また，土木における木材利用拡大に向けて，現在より300万 m^3 の利用拡大を図るなど具体的な数値目標を設定してはどうかとの意見が出された。
- ・WG活動や運営委員会の活動状況はURLに載せたいので，WG活動報告と運営委員会議事録をULRに掲載することとした。
- ・WGごとなど資料9-2にあるメーリングリストを作ることにした。
- ・メーリングの発信者がわかるよう，当面タイトルに発信者名を入れることにした。また，添付の最大容量を提示して欲しいとの意見があり，土木学会に発信者表示可能性と容量を問い合わせることとなった（担当沼田代表幹事）。

5. 研究会年度とりまとめについて

・巻頭言を今村委員長にお願いしシンポジウムで作成した資料と土木学会大会の討論会資料をまとめ、雑誌記事などを報告書最後に添付し今年度の活動成果報告書としてまとめ、冊子を作ることとした。

6. 外部資金獲得について

- ・申請中の鹿島財団助成金は2月26日審査予定（担当平沢先生）。
- ・WG3, WG4は農林水産省の助成金に応募中（担当石川先生、桃原幹事）。
- ・土木学会重点課題研究応募は2008年度にできたことをもう少し強くアピールし、それに対して出てきた課題や終わらない部分を明示し、あと一年活動が必要だと言った内容見直しが必要，後日打合せ（担当今井）。
- ・国交省助成に対しては横断的研究会に合致しており応募する。
対応策は濱田先生を中心に検討。
- ・各WGより，応募立案に対してのアイデア（研究課題，研究方法，期待される成果）を2/15までに沼田代表幹事まで連絡することとした。

7. 土木学会特別委員会設置申請

- ・1/16に申請書を古木専務理事に提出した。

8. その他

1) 副委員長

横断的研究会の副委員長は白石先生と濱田先生にお願いすることで了承を得た。

2) 次回（第10回）運営委員会

一日時：2009年4月15日（水）15:00～

一場所：土木学会 役員室

以上