

第5回 鋼構造技術継承講演会
「経験豊富な先人に学ぶ次世代への承継技術」
配布資料

平成29年12月11日

土木学会 鋼構造委員会

大田の技術継承の講演

- 1) 職務としての活動
 - ① 学生時代 ② 新日鉄時代 ③ コンサル時代
 - ④ 土研センター時代
 分野は、
 - ・橋梁 ・トンネル ・加工製品
 - ・解析 ・技術営業
 - ・鉄筋 ・審査証明(新たな技術)
- 2) 学協会活動(橋梁と基礎、道路協会、土木学会他)
- 3) 鋼橋におけるRC床版の位置付け、対応経緯
- 4) まとめ

大田の経歴

1. 学生時代 : 学部: 橋梁研究室、
修士: 応用力学研究室
2. 新日鉄時代: パイプラインGr. 建材販売部
札幌営業所、国土技術センター
建材開発技術部
3. コンサル : ヤマト設計、新日本技研
4. 一財) 土木研究センター(コンクリート研究室長)
5. 現在:
 - ・NPO法人、道路の安全性向上協議会 理事
 - ・NEXCO中日本HWエンジニアリング名古屋
 - ・NEXCO中日本HWエンジニアリング東京

学生時代

- 1) 卒論 (伊藤学 研究室)
 - ・橋梁の撓み制限について
(S48道示の改訂直前 → 理解できず)
撓みと振動特性に終始
- 2) 修士論文
(応用力学研究室、西野文雄、長谷川明夫)
 - ・補剛された板要素の座屈強度について
板曲げ、座屈について学ぶ

修論(S49)が 土木学会論文集に

土木学会論文報告集
第232号・1974年12月

補剛された板要素の座屈強度に関する二、三の考察
SOME CONSIDERATIONS ON BUCKLING STRENGTH OF STIFFENED PLATES

長谷川彰夫*・大田孝二**・西野文雄***
By Akio Hasegawa, Koji Ota and Fumio Nishino

る圧縮応力、 σ_x は補剛材に作用している平均圧縮
ある。補剛材の曲げ剛性(EI_x)、そりねじれ剛性
サンプリングのねじれ剛性 (GK)は、 σ_x の値に
補剛材断面全体の接線係数で評価し、これによ
化を考慮することができる¹⁰⁾。[M], {e}はおの
断面単位幅のモーメント、曲率を成分とするべ
で、次のように定義する。

$$[M] = \{M_x, M_y, M_{xy}\}^T$$

$$\{e\} = \left\{ -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}, 2\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right\}^T$$

Fig. 1 (a) の応力条件のとき、両内せん断力は
り、[M], {e}の間には一般に次の関係がある。

$$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E t^3}{12} \begin{bmatrix} k_1 & k_2 & 0 \\ k_3 & k_4 & 0 \\ 0 & 0 & k_5 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -\partial^2 w / \partial x^2 \\ -\partial^2 w / \partial y^2 \\ 2 \partial^2 w / \partial x \partial y \end{Bmatrix}$$

$k_1 \sim k_4$ は弾性域、塑性域に応じて次のように表
る。弾性域 ($\epsilon \leq \epsilon_y$) では、

$$k_1 = \frac{1}{1-\nu^2}, k_2 = \frac{\nu}{1-\nu^2}, k_3 = \frac{1}{1-\nu^2}, k_4 = \frac{2\nu}{1-\nu^2}$$

修論は、いわゆる Finite Strip Method (弾塑性解析)

西野先生から、文章作成を授受

公的な論文など書いたことのなかったM2の学生であった私
に、時間をかけて教授いただいた。

今でも覚えているのは、

- ・文章は短く、接続詞などは不要
(内容から順接、逆接はわかるはず)
- ・そのまま英語に訳することができる文章を!

新日鉄に入社(1974)して

相模原研究所のガスパイプラインの研究Gr.
研修で大阪ガスの工事現場へ2か月。

入社1974年の秋にインドネシアに赴任
延長220kmのガスパイプライン
(Φ609.6mm、肉厚9.5mm)

橋梁、鉄道の地下埋設などの特殊交差部の設計。
溶接技術を学ぶきっかけ(研修1か月、基礎研にて)

設計に携わった橋と再会(2011)

Citarum 川の パイプライン橋。



青色は当時(35年前)のまま。塗装は相対的に健全
鋼管のパイプには 60"×80"×6.0 の橋梁



パイプにある T-10 は 西側から数えて 10番目の
トラスの橋の意。我々設計陣が便宜的につけた
番号が そのまま 正式名になっている。



Right of Way は きれいに 外されており、
おそらく 他のパイプ(橋梁部参照)も 埋設されているかと思わ

当時の上司からの教え

技術説明は

自分の奥さんにもわかるように、
資料作成、言葉使いを！

最近では、講演する際には、ごうせい(合成、剛性)など二通りにとれる単語はなるべく避けるようにしています。

その後、新日鉄建材販売部 道路橋梁Gr.へ転勤

担当は加工製品 (橋梁関係、トンネル関係)

- ・ HBB-C (簡易橋)
- ・ グレーティング(プレハブ床版)
- ・ メトロデッキ(覆工板)

- ・ セグメント(シールドトンネル)
- ・ トンネルルーバー(都市トンネルの吸音製品)

技術分野でいうと、
強度や設計的な要素のほかに、

- ①塗料（一般橋も）
- ②亜鉛メッキ（H形鋼橋梁、一般橋）
- ③耐候性鋼材（H形鋼橋梁、一般橋）
- ④現地の施工（コンクリート打設など）

一般橋に関して

- ①鋼材（高張力、TMCPなど、メッキ）材質
- ②新たな構造型式（少数主桁など）の開発
- ③鋼橋床版の損傷（範囲外かも）
- ④鋼橋の騒音対策（範囲外かも）
- ⑤鋼材腐食
- ⑥橋梁のメンテナンス

プレハブ橋の紹介（橋梁と基礎、1979.2）



プレハブ橋梁の最近の動向

大 岩 浩*
大 田 孝 二**

1. 重 要 点

一橋にプレハブ橋梁といっても、コンクリート橋におけるプレキャスト工法から鋼橋における応急用組立橋、活荷重に対するプレキャスト工法までいろいろな場合が考えられるが、本論文は鉄鋼メーカーが生産して加工販売している日形鋼橋梁とプレキャスト鋼橋梁について述べることにする。

日形鋼橋梁は昭和30年以降すでに15年の実績がある。しかし最近鋼橋一般に対してメンテナンスフリーの要請が高まってきており、これに対応して日形鋼橋梁に対しても、メーカー毎で種々の改良がなされておる。すでに相当の施工例を数えるに足っている。

築かれたのはそうした事情であり、昭和38年旧八幡製鉄(株)がその産物であった。日形鋼橋梁は、当然、地方の比較的スパンの小さな橋梁に使用される機会が多かったが、その得意性・経済性・工期短縮性・大負重方式などの長所が認められ、PC 鋼梁やRC 鋼梁などの強力な競争相手があるにもかかわらず、年々架設数は増大し、すでに現在までに40,000橋以上の日形鋼橋梁が架設されている。

さらに近年は、都市内の高層ビルや大規模な物件近隣等に大橋に使用され始めるに思われ、その適用範囲を拡大し、省労化に果たす役割が一層と広く認識されつつある。

2-2 日形鋼橋梁の構造

新日鉄からの出向 (財)国土開発技術センターでの仕事 (1984-1986)

担当は トンネル、橋梁の委員会、担当
トンネル:

- ① (山岳T)安房トンネル(高山国道(事))
湧水、高温でのコンクリート打設
温泉・湿原への影響
- ② 土砂NATM(国分川分水路、南大沢Tなど)
トンネル掘削の技術に触れる良い機会!
- ③ 橋梁 ・白屋橋(奈良、コンクリート斜張橋)
・幸魂大橋(外環 鋼斜張橋)

トンネルにも興味

(東京湾横断道路も話題のころ)

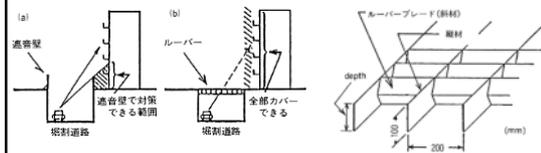
・鋼橋の経済性比較は、コンクリート橋としてきたが、トンネルも競争することが理解できた。

トンネルが安価に建設できれば、新東名などの計画縦断線形が下がり、橋の延長が短くなる。⇒ 橋梁だけでなく、分野は道路へ。

1986 再び、新日鉄の建材開発Gr. 大深度など地下利用の流れ

- ・トンネル内装材(開発)
鋼板に硬質塗膜を塗布(硬い塗膜の開発)
- ・トンネルルーバーの開発
都市内 半地下高速道路の天井パネル
一か所で排気ガスが出せず、排気ができて
走行部に直射日光が入らず、騒音を吸収
(マンションなどへの騒音対策)

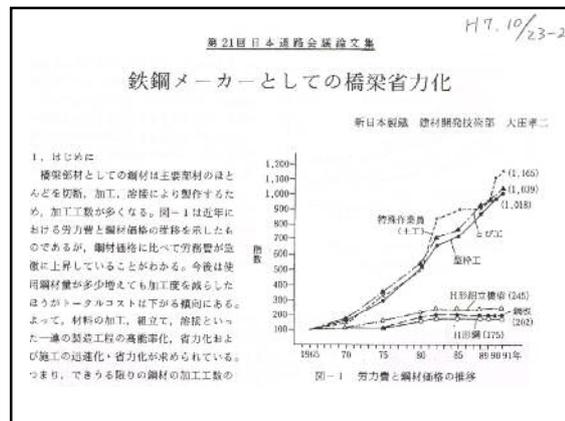
トンネルルーバー



フランス他の少主桁構造の広がり 鉄鋼メーカーからは好機会

ドイツやフランスでの鋼材使用態の調査

- ・ 厚さ10cm超えの鋼材
- ・ 大きな橋梁ブロック運搬実態(2車線幅)
- ・ 現場溶接(手溶接に驚き！)
- ・ 現場PC床版の施工



少主桁(厚肉少補剛)構造の推進



PC床版(+RC床版)に問題はないか？ 最近(2017)の調査



少主桁構造の推進

- ・平成 8年(1996) ホロナイ川橋梁
現場打ちPRC床版、耐候性鋼材
- ・平成10年 東海大府高架橋
工場製作PCプレキャスト床版
その後、少主桁 + PC床版 が一般化
- ・2000年近くでは合成床版も

室蘭に行く機会にちょっと寄り道(2008.10.28) 2主桁橋(耐候性)の最初の橋梁(約15年経過)





「橋梁と基礎」の鋼材講座(1995~96)
 横河Br. 深沢誠氏と 担当。
 後に出版(2000年)!

鋼構造物の安全性の調査報告
 阪神大震災における鋼構造物の被害報告
 と今後の耐震設計について
 平成7年5月
 土木学会鋼構造委員会
 鋼構造高技術小委員会
 社団法人 鋼材倶楽部

新日鉄時代の大事件;
 兵庫県南部地震
 (1995.1)
 (鋼構造委員会幹事長)

鋼製脚の倒壊

補剛板の座屈

板の曲げ座屈、修論が役に立つ

- ・本来、設計の変更も!

節になる座屈モードを確保すべき!
 (母材が厚い時、補剛材もそれなりに剛に!)

鋼製脚の角部の溶接に焦点が集まってしまった。

コンサル時代

時間的余裕

- ・ 学位(藤野陽三先生のご教授あり)
- ・ 野中哲也氏(現、名古屋工業大、教授)に耐震の解析を教授いただく。
- ・ 「橋梁と基礎」にいくつかの投稿
豆知識、英国のメンテ状況、床版の講座など

耐震解析で耐震補強の経済化を

1-172

土木学会第39回年次学術講演会(平成16年9月)

動的解析による連続桁橋脚耐震補強の経済化

千葉県道路公社 廣 壽志 千葉県道路公社 萩原 成典 千葉県道路公社 直井 備
ヤマト設計(株) 正 大田 孝二 ヤマト設計(株) 正 島越 一

はじめに

兵庫県南部地震以後、橋脚の耐震補強が多くの橋脚で実施されてきたが、橋梁の数がきわめて多いことや算上の問題もあり、補強が未だなされていない脚も存在している。今回、対象とした松戸橋はすでに脚のほとんどが補強されているが、対象とした3径間連続橋2連の7脚中3脚はその水澁が大きく、横橋や水中締めりなどの予算措置上、施工が遅れていた。そのため現状では、補強済と未補強の橋脚が混在する橋梁となっており、その剛性差による「振動特性が複雑化」と区分することができる。

1. 松戸橋の概要

松戸橋の動的解析の対象とした部分を図-1に示す。橋脚はRCであり、図のP5、P6、P7橋脚が補強未施工である。3径間連続の2橋(P3-P6、P6-P9)が隣接しており、支間間は3#66.0m、2#66m+58.6mである。固定支床はP4とP8に設けられており、その他は可動支床である。固定支床のある橋脚は耐震補強されており、未施工橋脚に地震力があまり作用しないことが考えられ、動的解析でその必要性を確認した。

脚を選んで補強し、施工費軽減、という考え方

1. 松戸橋の概要

松戸橋の動的解析の対象とした部分を図-1に示す。橋脚はRCであり、図のP5、P6、P7橋脚が補強未施工である。3径間連続の2橋(P3-P6、P6-P9)が隣接しており、支間間は3#66.0m、2#66m+58.6mである。固定支床はP4とP8に設けられており、その他は可動支床である。固定支床のある橋脚は耐震補強されており、未施工橋脚に地震力があまり作用しないことが考えられ、動的解析でその必要性を確認した。



図-1 対象橋梁一瞥図

2. 動的解析

対象としたP5からP9までをカバレッジで解析した。カバレッジは、変形解析の一種で、各骨組み(今回は橋脚)を断面単位でカットし、各部材のA(断面積)、I(断面二次モーメント)は自動計算される。骨組み解析で計算された軸力と曲げモーメントを断面単位で固定からひずみ分布が計算でき、ひずみと応力の関係(一般には非線形)を定義することで、応力と断面力が計算できる。したがって、変位だけでなく、各部材の各断面位置における応力やひずみ出力ができるのが特徴である。

ファイバーモデルによる耐震解析

要旨

鋼製ラーメン橋脚の地震時保有水平耐力の解析法に関する検討

A Study on Pushover Analysis of Rigid-Frame Steel Piers

大田 孝二*

野中 哲也**

まえがき

平成8年12月に道路橋示方書が改訂され、コンクリートに代えた鋼製橋脚の地震時保有水平耐力の算定性が規定された。しかし、この規定は単純形式の鋼製橋脚だけを対象としているため、実際の設計でも単純形式以外の鋼製橋脚(例えば、門形ラーメン橋脚の橋脚方向)については、地震時保有水平耐力の算定が行われていないのが現状である。また、「土木学会鋼橋委員会・鋼橋耐震性能小委員会・鋼橋設計研究ワーキンググループ」(主催:野中哲也 共編:名古屋大学教職)以下、「新技術小委員会」においては、橋脚形状の異なる門形ラーメン形式の調査法を

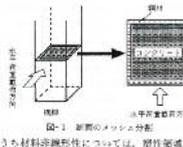


図-1 鋼製のメンタ分析
このように材料非線形性については、塑性領域で解析を

鋼床版のSFRC舗装の効果

大平高架橋の鋼床版におけるSFRC舗装によるひずみ低減効果

Reduction Effects of Local Strains by Steel Fiber Reinforced Concrete on Orthotropic Steel Deck of Ohira Viaduct

鎌川和由¹⁾、玉越隆史²⁾、村越博³⁾、山本洋司⁴⁾、○見玉孝喜⁵⁾、一橋八洋⁶⁾、大田孝二⁷⁾
Kazuyoshi Makiyama¹⁾, Takashi Tamakoshi, Jun Murakoshi, Youji Yamamoto, Takayoshi Kodama, Yasuhiro Ichinose, Koichi Ota,

¹⁾国土交通省 宇都宮国道事務所 所長 (〒321-0931, 宇都宮市平島町 504)

²⁾国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路構造部管理研究課 室長 (〒305-8804, つくば市旭 1)

³⁾独立行政法人 土木研究所 構造物研究グループ(橋梁) 上席研究員 (〒305-8816, つくば市南原 1-6)

⁴⁾国土交通省 宇都宮国道事務所 課長 (〒321-0931, 宇都宮市平島町 504)

⁵⁾鹿島道路株式会社 生産技術本部 技術課 技術一課 (〒112-8566, 文京区後楽 1-5-27)

⁶⁾鹿島道路株式会社 生産技術本部 技術課 技術一課 (〒112-8566, 文京区後楽 1-5-27)

⁷⁾新日本技術株式会社 技術課 (〒105-0014, 港区芝 2-1-23)

There have been reported fatigue damages of orthotropic steel bridge decks by increasing traffic volumes and higher wheel loads. As countermeasure of improving fatigue durability of existing orthotropic steel decks, steel fiber reinforced concrete (SFRC) pavement is expected from the viewpoint that the deck plate is stiffened by the composite action of the concrete and the local strains of the deck plate are reduced much both by the action and by the effect of distribution of wheel loads of the SFRC.

外国語豆知識

トラスについて

トラスは三角形からなる構造である。長い間、トラスの最初の綴りであるtrは、三角形(triangle)のtri(3つの意)が綴りであると信じていたが、正しい綴りを調べると、三角形とは何ら関係がない。

trussの語源はtroussierというラテン系の単語だそうだが、織や絹で束ねる、きつく縛るという意味だそうである。trussという単語を辞書でひくと、名詞としては、縄など

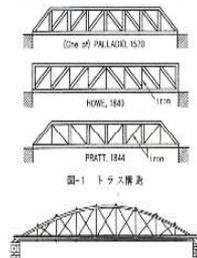


図-2 bow-string 橋の例 (1840)

トラスが最近建設されない理由を考える機会になった

- ・鋼材が安価、人件費(加工、架設)が高騰
- ・凍結した氷の落下事故
- ・再塗装時
塗装費用(足場確保)の煩雑さ → 工費高騰
施工中の通行規制

GirderとBeam, BraceとStrut Bracket, Diaphragm など

外国語と橋

プレートガーダーの部材(その1)

「写メール」という足跡がある。彼等電話の機能を部品名とした例である。少ない文字数で部品名を連想させる。といった場合、日本語は極めて有利である。漢字、漢字、漢字の順で有利部品名を作ることができる。特に、漢字の威力は絶大である。例えば、上記の例で「シヤ」と読む部品名を選べば、色々な意味をも与えることができる。漢字という漢字文字を種々日本語の得意である。

一方、表音文字であるアルファベットにも長所はある。新たな技術が登場したときに、そのローマ字としては、それまでの言葉の発音が異なる部品名を混同しない。つまり、部品の名前や由来がはっきりするのである。ここでは、橋梁に関する単語をいくつか挙げて、その順番や由来を調べてみることにした。

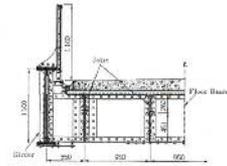


図-1 建設中のプレートガーダー橋の新しい box girder という単語は、1本の場合も多く、また上流の構造で用いられることから、取り囲む、置かれ、と

1-014

土木学会第69回学術講演会(平成17年9月)

現存する日本最古の鋼桁道路橋 明治橋の鉄鋼材料調査

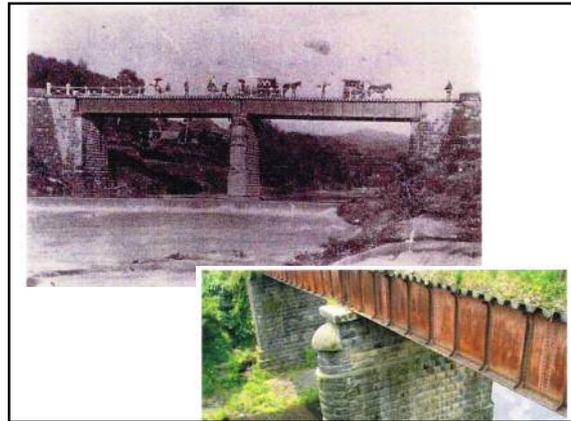
ヤマト設計所 正会員 大田孝二 JFEエンジニアリング 正会員 川崎篤敬
関西地産工所 正会員 河西謙彦 長崎大学工学部 正会員 中村聖三

1.はじめに

明治橋は明治35(1902)年に大分県大野郡野津町(現 臼杵市)に架設された合成床版を有する鋼2主1桁橋(写真1)であり、現在も供用されている同形式の道路橋としては国内最古¹⁾である。昭和36(1961)年に譲渡して新明治橋が完成してからは歩道橋として用いられてきたが、平成17年3月には大分県指定有形文化財となっており、貴重な土木遺産であると言える。しかし、架設後100年以上が経過したに加え、必ずしも十分な維持管理が行われてこなかったことから種々の損傷が発生しており、今後文化財として保存していくためには、十分な調査とそれに基づく補修、補強計画の立案が不可欠である。このような背景から、平成16年3月に明治橋の詳細な構造・損傷度調査および載荷試験²⁾が実施された。本



写真1 明治橋



明治橋(大分県臼杵市)トラフ床版の設計方法(1902供用)

- 1) 梁(として1次元)としての設計
- 2) コンクリートの評価はなく、鋼のみの評価
コンクリートは間詰の役割
- 3) 桁、トラフは鋼材、高欄は鋳鉄、ボルトナットは錬鉄も。全体で、メタルの橋梁。

海外の橋梁調査(2007~08)

海外より

英国の橋梁メンテナンスの現状(その1)

大田孝二

はじめに 2007年、2008年と連続の古い橋多岐 である。1893年築橋で、すでに120年経 開600m幅、延長290mの、正橋であ

海外より

英国の橋梁メンテナンスの現状(その2)

大田孝二

1. 各種鋼の現状(ワフ骨) 腐蝕後、石像の彫刻に腐蝕が広がったので、のびない鋼を製造する。もともと、内い
1-5 アイアンブリッジ それらの材料・種類も気配になり、鋼改修、 腐蝕防止に用いられる鋼材や鋼材の加工、補修
調査でもあり、メンテナンスが注目 実施されている。実際には詳細な調査を 常に実施される(1人)も、必要とされている



土木研究センターでの研究
コンクリート研究室長として

① ASRによる床版損傷について
 研究を開始
 日大郡山、岩城教授と共研
 セメント会社(太平洋、住友大阪)

② コンクリート舗装(土木学会からみ)

ASR床版の研究

F-03 平成23年度 土木学会北海道支部 論文保存集 第70号

道路橋床版の凍害損傷とアルカリ骨材損傷の比較

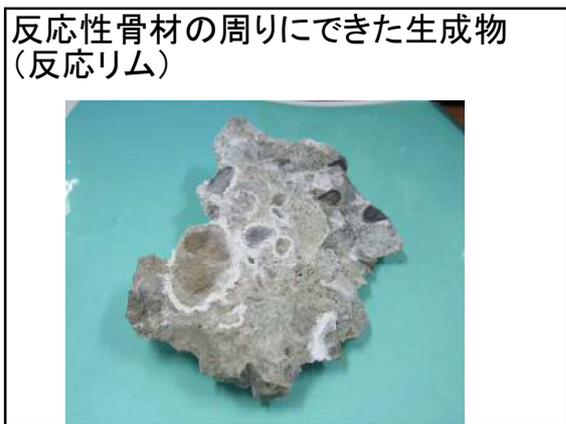
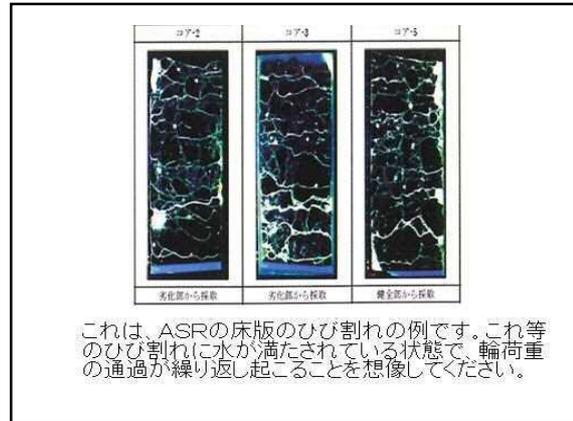
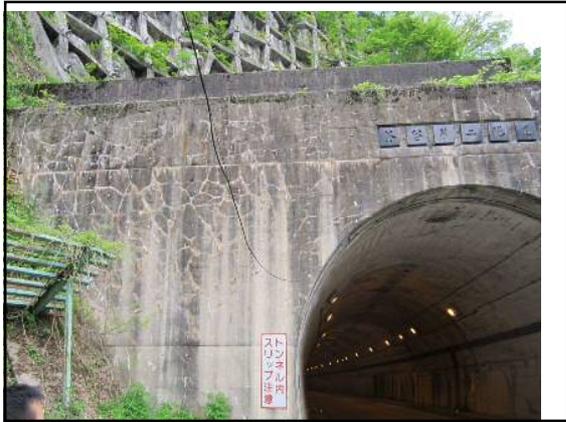
Comparison of the road-slab damages by icing and by Alkali-Silica Reaction

(一著) 土木研究センター ○ 正 員 大田幸二 (Koji Ohta)
 (共著) 土木学会北海道支部 正 員 岡田慎哉 (Shinya Okada)

1. はじめに
 鋼筋橋の凍害の多くは鉄筋コンクリート床版(以下、床版と称す)である。昭和40年前後に建設された鋼橋の床版は設計として凍害に強く、凍害も少なく設計されていたことや、橋上上のポンプ打設などの問題もあって、多くの鋼橋の床版に凍害が生じた。その際、凍害害の移動凍害試験等によってその原因がアルカリ骨材損傷などが見出されたこととあって、床版設計の改善と共に、凍害防止層の敷設などが取り入れられ、凍害害の発生は抑制された。結果として最近の建設鋼橋の床版が凍害を受けることはほぼなくなった。しかし、昭和40年前後の建設で、凍害害がまだ大きく、またその交通量も少ない使用状態の鋼橋床版

写真-1に示す。これによれば床版の上面、すなわち上側鉄筋の張り部分が全面的に損傷を受けており、凍害害の方向に何層ものひび割れが走っているのが分かる。





ASRの研究に論文賞！(2017.6)

土木学会論文集E2(材料・コンクリート構造), Vol. 72, No. 2, 128-145, 2018.

アルカリシリカ反応が道路橋RC床版の耐疲労性に及ぼす影響

前島 拓¹・子田 康弘²・岩城 一郎³・内藤 英樹⁴・岸良 竜⁵・鈴木 康範⁶・大田 孝二⁷・鈴木 基行⁸

¹学術委員 日本大学大学院 工学研究科修士課程建設 (〒963-8642 福島県郡山市田村町鶴定字中河原1) E-mail: ceek33001@cn.nihon-u.ac.jp

²正会員 日本大学准教授 工学部土木工学科 (〒963-8642 福島県郡山市田村町鶴定字中河原1) E-mail: koda@civil.ce.nihon-u.ac.jp

³正会員 日本大学教授 工学部土木工学科 (〒963-8642 福島県郡山市田村町鶴定字中河原1) E-mail: iwaki@civil.ce.nihon-u.ac.jp

⁴正会員 東北大学准教授 工学部土木工学科 (〒980-8579 仙台市青葉区常盤字青葉6-4-06) E-mail: hidetaki@tohoku.ac.jp

⁵正会員 東北大学准教授 (〒980-8579 仙台市青葉区常盤字青葉6-4-06) E-mail: hidetaki@tohoku.ac.jp

⁶正会員 東北大学准教授 (〒980-8579 仙台市青葉区常盤字青葉6-4-06) E-mail: hidetaki@tohoku.ac.jp

⁷正会員 東北大学准教授 (〒980-8579 仙台市青葉区常盤字青葉6-4-06) E-mail: hidetaki@tohoku.ac.jp

⁸正会員 東北大学准教授 (〒980-8579 仙台市青葉区常盤字青葉6-4-06) E-mail: hidetaki@tohoku.ac.jp

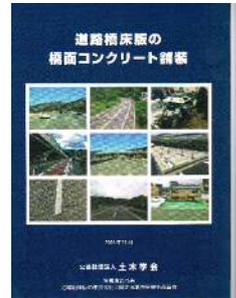


学協会 活動

- ・日本道路協会
 - 1) 鋼道路橋設計便覧(S54) 佐々木道夫氏、
 - 2) 道路橋補修便覧(S57?)
- ・土木学会
 - 1) 鋼構造委員会(兵庫県南部地震時 幹事長)
 - 2) 構造工学委員会
 - 3) 床版にかかわる小委員会(約20年)
- ・建設図書、

橋梁と基礎、編集委員会(池田尚治委員長)、約10年間委員会活動の中で、素晴らしい方々との付き合いが実現!

「道路橋床版の複合劣化に関する調査研究小委員会」で鋼構造シリーズ2冊をまとめる



土木学会の同(床版)委員会(～2016)で2度のアメリカ調査と、京都府での試験施工を実施し、取りまとめた(現委員会にて継続検討中)

本日のタイトルのRC床版の位置付け

歴史

発注のしくみ

技術の対応

橋梁の施工実態

メンテナンスの対応

鋼構造 と コンクリート床版 の歴史概観

- 1) 橋と床版
鋼構造の最大の課題は 床版
- 2) 発注の仕組み(昭和40年ころからバブル期)
 - ・鋼構造は全国組織のファブに
 - ・現場打設コンクリートは地場企業に
 - ・工期や床版打設の高さ管理では
桁架設(高めの設定?)と舗装の敷設の板挟み
- 3) 当初の床版メンテナンス(1975年ころまで)
 - ・当初、日常点検では舗装の評価(床版の評価なし)
 - ・下面点検を行うようになってから焦点が当たる

神子畑(みこはた)橋 (铸铁橋、1885、兵庫県生野)



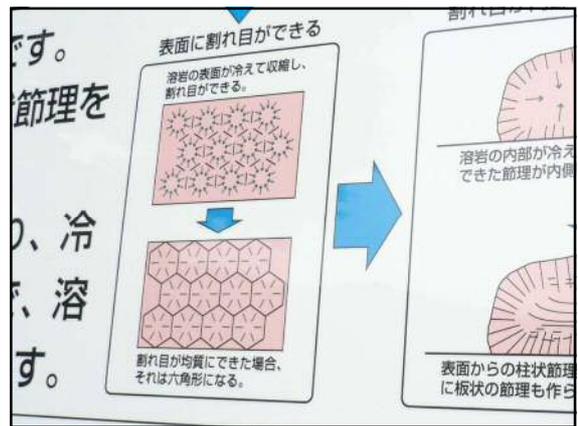
木床版



床版には隙間がある

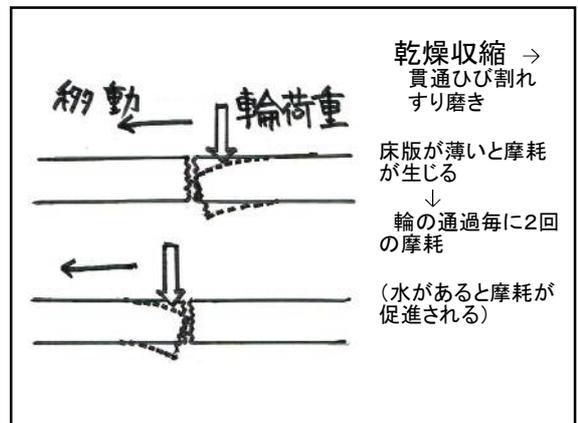


玄武洞(兵庫県豊岡市)の階段

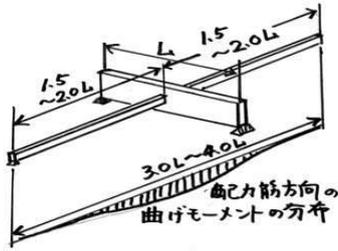


溶岩硬化 → 冷却による収縮応力
 → ひび割れ
 → その解放(安定)

コンクリートにおいては
 乾燥硬化 → 乾燥による収縮応力
 → ひび割れ
 → その解放(安定)



床版を重ね梁として表現すると、
上側床版には負曲げが生じないように思える



この時、上面は圧縮のみ？

実験で得た床版変形のイメージ
(輪荷重走行試験(15t等)によるデータより)

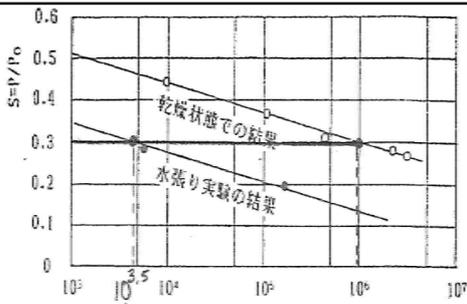
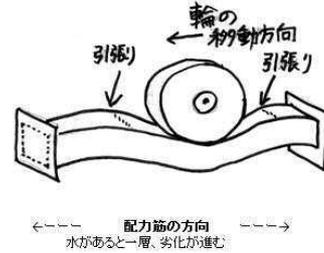


図-6 水張り実験のS-N結果。
松井繁之先生の実験

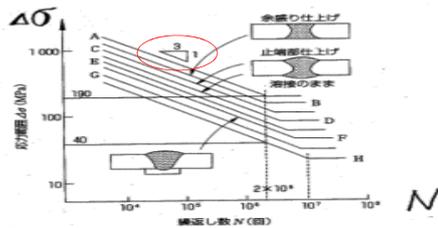
雨水、過積載の影響は甚大

- ・ 路面の水は 床版内に
水分を含んだコンクリート部材は疲労に弱い
- ・ 100年持つコンクリート床版が1年で
- ・ コンクリート床版の疲労特性
大きな荷重が影響大
鋼構造 (m=3) では、小さな荷重でも影響あり

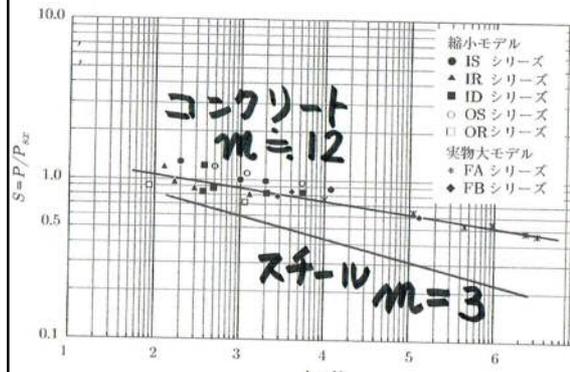
鋼構造の疲労曲線

1. General

・ Fatigue Phenomena



疲労曲線(コンクリートと鋼構造)



床版設計に関する まとめ

1. 解析による設計案は、コンクリートの収縮が考えられておらず、施工法の未熟や過載荷もあり、損傷が多発した。(昭和40年代)
2. 昭和53年の通達で床版厚を厚く(max25%)設計。床版寿命が延び、後の道示に反映された。

ただし、コンクリートの材料劣化が目立ち、あらたな 損傷形態(土砂化)が生じてきた。1つ解決すると、隠れていた問題が出現する。

昭和53年4月の通達

床版厚さはつぎの式により求めるのが望ましい。

$$d = k_1 \cdot k_2 \cdot d_0$$

ここに、 d ：床版厚さ(cm) (小数第1位を四捨五入する。ただし d_0 を下まわらないこと。)

表-解3.1 係数 k_1

1方向当りの大型車両の計画交通量(台/日)	補修作業の難易 注1)	係数 k_1	
		非合成桁	合成桁
500未満	容易	1.00	1.05
	困難	1.05	1.10
500以上 1,000未満	容易	1.10	1.15
	困難	1.15	1.20
1,000以上 2,000未満	容易	1.20	1.25
	困難	1.25	1.30

注1) 迂回路がないなど床版の補修作業時の交通処理の難易

平成8年の道示(約20年後)

床版の厚さを増加させる場合、床版厚は大型車の交通量、支持構造物の特徴等を考慮した次式によるのがよい。

$$d = k_1 \cdot k_2 \cdot d_0 \quad \text{--- (解 6.1.2)}$$

ここに、

d ：床版厚 (cm) (小数第1位を四捨五入する。ただし、 d_0 を下回らないこと)

d_0 ：表-6.1.4に規定する床版の最小全厚 (cm) (小数第2位を四捨五入し、小数第1位まで求める。 $d_0 \geq 16$ cm)

k_1 ：大型車の交通量による係数で、その値を表-解 6.1.1に示す。

表-解 6.1.1 係数 k_1

1方向当たりの大型車の計画交通量(台/日)	係数 k_1
500 未満	1.10
500 以上 1,000 未満	1.15
1,000 以上 2,000 未満	1.20
2,000 以上	1.25

道示の床版設計の変更

- ① 床版厚さの見直し(せん断耐力への対応) (ひび割れが存在していても効果大)
- ② 配力筋の増加を提言(昭和48)
- ③ 鉄筋の許容応力の見直し(昭和48,55)
- ④ 床版厚の他、防水層を義務化(平成8) (②, ③の配力筋の増加は、乾燥収縮ひび割れを少なくする効果だけでなく、床版上面引張の対策にもなる。)

正しい方向の対策を行ってきた、と言える。

Marketとしては、 床版損傷が頻発して… (1980~1990)

- 建設の時代(バブル期以前) 各ファブはまだ、床版への取り組みはない
- 床版に取り組んでいた企業 IHI建材、ショーボンド建設、新日鉄(わたし)
- 設計での対応 昭和53(1978)年の建設省通達で増厚と鉄筋量の増加規定 これによって抜け落ちは激減

日本の橋梁建設の曲がり角 ⇒ メンテの時代へ

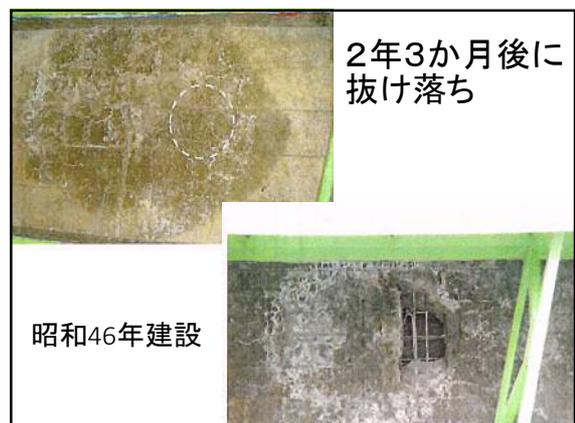
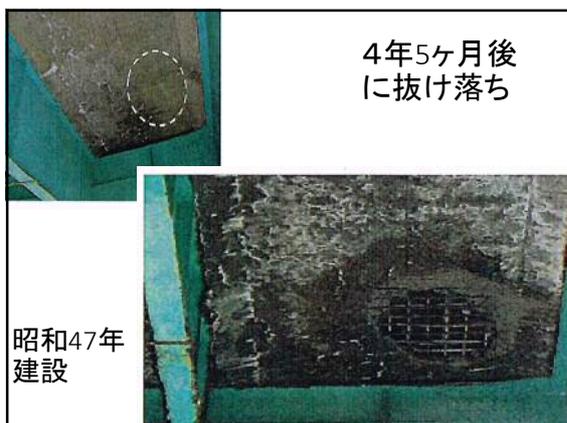
1990年台 建設が次第に縮小に

- ① 少主桁構造 これによって床版へのファブリケーターの取り組み開始 ⇒ 後に合成床版他が登場
- ② 床版の取り換えや補修事例が増加 これもファブリケーターの対応課題 ⇒ ループ継手の改良 ⇒ 鋼床版の疲労

床版損傷の多様化(1990以降?)

- 1) 輪荷重による抜け落ち損傷激減(S53通達で激減)
- 2) 鉄筋腐食が原因と思われる水平ひび割れ
(上側コンクリートの損傷、土砂化)
3. 床版コンクリートの材料劣化
塩害だけでなく、ASR、凍害 の発生。
損傷はアメリカ型になったと言える

昭和40年台建設の床版損傷の3つの事例
(橋梁調査会の資料による)



従来とは異なった損傷例
このように ひび割れが明確でなくても抜け落ち
が生じる現象があらわれた。水浸みが見られる

原因; 損傷が発生するのは、
コンクリート材料の劣化

ASR の疑い

これらは薄い床版厚の橋梁

厚い床版でも 損傷の起こる可能性を感じて
ASRについての研究をSTART

「道路橋床版の複合劣化に関する調査研究
小委員会」で鋼構造シリーズ2冊をまとめる



これらからASR床版の研究を開始

- ① ASR は塩分(Na, アルカリ)によって促進
- ② 塩害はもちろんNaCl によって促進
- ③ 凍結融解も塩分によって促進
(融点が下がり、融解回数が増える)

塩が最大の害毒要因！

床版技術の推移(まとめ)

- ① 薄すぎた床版(昭和53年、1978まで)
- ② 厚く決めた後は 塩害、ASR、凍害などの材料劣化 ⇒ アメリカ型の損傷
(アメリカはコンクリート舗装が主)
- ③ 今後は 塩害、ASR、凍害など材料劣化への対応が中心
合成床版のメンテなど

振り返ってみますと・・・

「私と技術」とのかかわり方

- ・多分にタナボタ的、偶然 つまり幸運
(板曲げ、床版の担当・・・)
 - ・多分に刹那的、衝動的に研究開始
(耐震、ASR床版、コンクリート舗装・・・)
- 幸運に恵まれ、機会に恵まれ、仲間に恵まれてやってきたように思います。

技術の継承としての まとめ

- ① 床版に限らず、いろんな分野のことをやってきました
- ② いずれも得意不得意ではなく、分からないことが分りたい、という気持ちからです
- ③ 床版にかかわることが多かったのですが、まだ床版にも分からないことが いっぱいあります
(これからも現場を見て対応していきたい
と思っています)

これらは、付き合ってくれた仲間のおかげです！

仲間といえば・・・

- ・西野研、OB会 先生を囲む会(約30年?)
- ・ECC 「橋梁と基礎」の文献Gr.(約40年)
- ・ペアの会(耐候性鋼調査団、阿部英彦団長、解散)
- ・61国土会(国土技術研究センター)(約30年)
(河川、建築、官民)
- ・新日鉄と横河Br.の懇談会(20年?)
- ・新日本技研(約10年継続中)
- ・土木学会 床版委員会(10~20年)
- ・シスコ会(ここ数年)

いろんな分野の人たちと交流してきましたし、現在も継続中です。

これからもよろしく、お付き合いください。

「橋梁と基礎」の文献Gr.の集まり
 ECC Younger OB 会 名簿
 2017.1月

No.	氏名	勤務先	〒	住所(山形)	電話	郵便番号
1	原山 隆雄	東洋建設(株)山形支店	970	青葉区山形4-1-1	095-332-2313	970-0001
2	石原 泰平					
3	佐藤 隆一					
4	佐藤 隆一					
5	佐藤 隆一					
6	佐藤 隆一					
7	佐藤 隆一					
8	佐藤 隆一					
9	佐藤 隆一					
10	佐藤 隆一					
11	佐藤 隆一					
12	佐藤 隆一					
13	佐藤 隆一					
14	佐藤 隆一					
15	佐藤 隆一					
16	佐藤 隆一					
17	佐藤 隆一					
18	佐藤 隆一					
19	佐藤 隆一					
20	佐藤 隆一					

最後に！
 仲間との付き合い

- 1) いろんな分野の技術に興味、好奇心を！
- 2) いろんな人たちと技術の話の本音で！
 その際には、**にこやかに**会話を！
- 3) 自分流の考え方、やり方を！
 (時に凶々しく、時に慎重に)

そのために、

- ・ 体を鍛え、健康に留意しておいてください
 (頑張り時は 急にやってきます)
 (不健康では にこやかにできません)
- ・ 幸運はそのうちに必ず 訪れます



鋼橋の性能設計の 高度化に関する話題

2017年12月11日
土木学会

首都大学東京 客員教授
野上 邦栄

1

内容

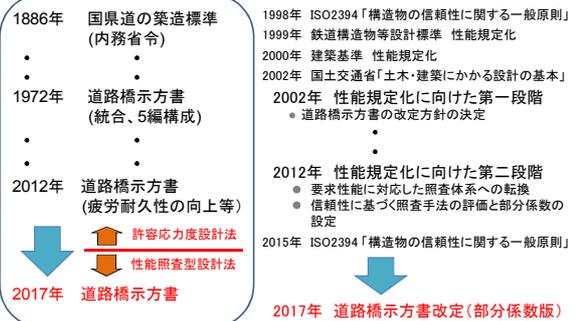
1. 道示改定における構造合理化
 - ・ H24改定における部材強度
 - ・ H29改定の性能規定化と材料・部材強度
2. 連成座屈強度評価の高度化に向けて
3. ケーブル設計の高度化
 - ・ 吊形式橋梁の動向
 - ・ ケーブル安全率の合理化
 - ・ H29改定におけるケーブルの部分係数設定
4. 耐久性を考慮した設計法の構築に向けて

2

道示改定における 構造合理化

3

道示の変遷と性能設計法への取組み



4

鋼部材強度に関する 構造合理化 (H24道示)

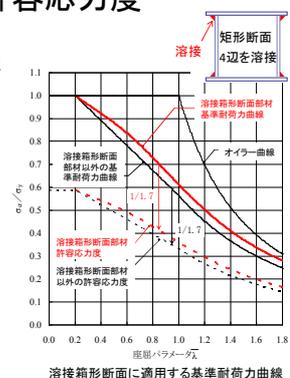
5

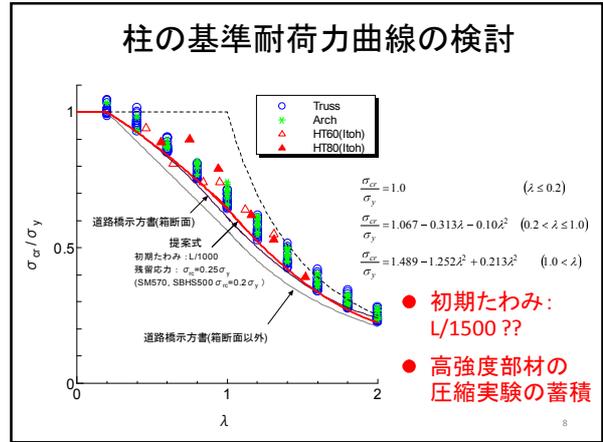
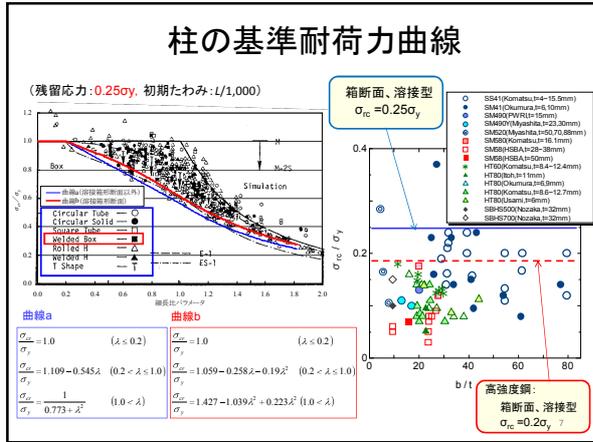
圧縮柱の許容応力度

- 従来より、様々な断面形状の柱を想定した耐力力の下限値に相当する基準耐力力を基に許容応力度を設定。
- 断面形状に応じて強度分類することにより、より合理的な耐力力を設定できる可能性。

【改定内容】

- 従来の許容応力度に加えて、適用頻度の高い溶接箱形断面に適用する許容応力度を設定





はり～柱部材の強度照査式

● 従来より、部材のたわみに伴う付加曲げモーメントの影響 (微小変位理論に基づく解析を前提) に対しても安全率を設定。

【改定内容】

- 圧縮軸方向力と2軸曲げモーメントを受ける部材の付加曲げモーメントの影響に対する係数を見直し。
- 有限変位理論により断面力を算出する場合には、付加曲げモーメントの影響を考慮しないことを規定。

はり～柱部材の強度照査式

H14道示: $\frac{\sigma_c}{\sigma_{caz}} + \frac{\sigma_{bcy}}{\sigma_{bagy} \left(1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{eyy}}\right)} + \frac{\sigma_{bcz}}{\sigma_{bao} \left(1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{eaz}}\right)} \leq 1$

$\alpha_y = 1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{eyy}} = 1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{ez} \cdot 1.7} = 1 - 0.588 \frac{\sigma_c}{\sigma_{ez}}$

H24道示: $\frac{\sigma_c}{\sigma_{caz}} + \frac{\sigma_{bcy}}{\sigma_{bagy} \alpha_y} + \frac{\sigma_{bcz}}{\sigma_{bao} \alpha_z} \leq 1$

$\alpha_z = 1 - \frac{\sigma_c}{0.8 \sigma_{ez}}$

有限変位理論による場合

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_{caz}} + \frac{\sigma_{bcy}}{\sigma_{bagy}} + \frac{\sigma_{bcz}}{\sigma_{bao}} \leq 1$$

$\cos\left(\frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\sigma_c}{\sigma_{ez}}}\right) \approx 1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{ez}}$

性能規定化による 構造合理化 (H29道示)

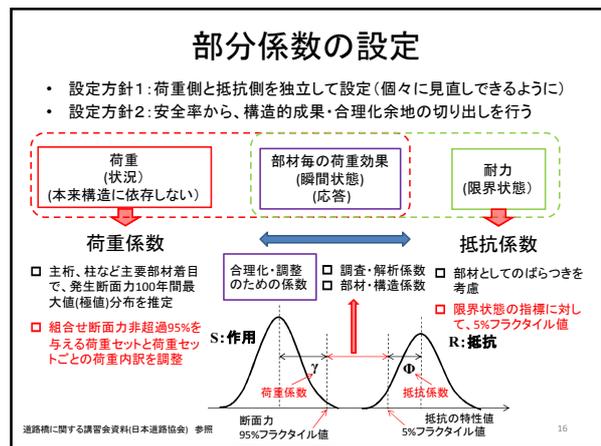
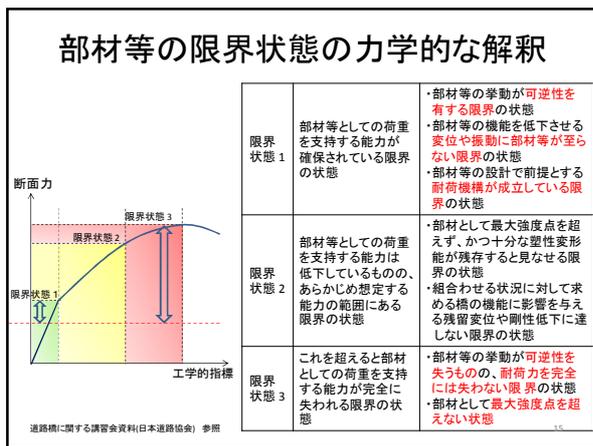
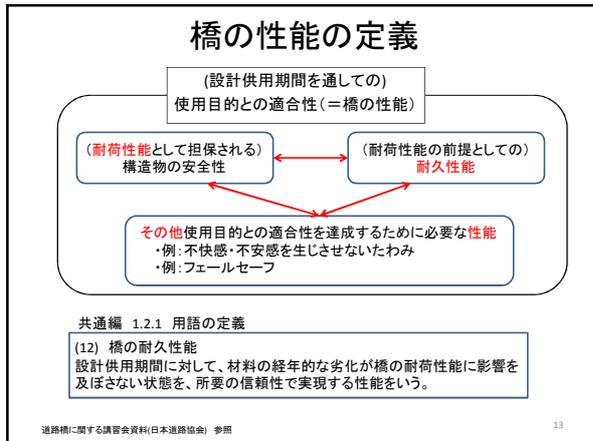
主な改定項目

I 共通編

- 限界状態設計法と部分係数法の導入 (鋼部材、コンクリート部材の荷重体系、設計体系の統一)

II 鋼橋・鋼部材編

- 新材料の追加 (SBHS鋼、S14Tボルト)
- 板の基準耐荷力曲線の見直し
- 鋼コンクリート合成床版の追加 他
- 非合成桁の合成挙動の取り扱い
- 溶接継手と強度等級の再整理と疲労設計荷重の追加
- ケーブル部材の安全余裕の統一化への見直し など



部材等の耐荷性能照査

限界状態1 $\sum S_i (\gamma_{pi} \gamma_{qi} P_i) \leq \xi_1 \Phi_{RS} R_S (f_c, \Delta_c)$

限界状態3 $\sum S_i (\gamma_{pi} \gamma_{qi} P_i) \leq \xi_1 \xi_2 \Phi_{RU} R_U (f_c, \Delta_c)$

S_i □ 作用効果、作用の組合せに対する橋の状態	ξ_1 □ 調査・解析係数
γ_{pi} □ 荷重組合せ係数	ξ_2 □ 部材・構造係数
γ_{qi} □ 荷重係数	Φ_{RS} □ 限界状態1又は限界状態2に対する抵抗係数
P_i □ 作用の特性値	Φ_{RU} □ 限界状態3に対する抵抗係数
	R_S □ 限界状態1又は限界状態2に対する抵抗に係る特性値
	R_U □ 限界状態3に対する抵抗に係る特性値
	f_c □ 材料の特性値
	Δ_c □ 寸法特性値

道路橋に関する講習会資料(日本道路協会) 参照 17

板の耐荷性能照査(限界状態3)

$$\sum S_i (\gamma_{qi} \gamma_{pi} P_i) \leq \xi_1 \xi_2 \Phi_{RU} \rho_{crl} \sigma_{yk}$$

ρ_{crl} : 局部座屈に対する圧縮応力度の特性値に関する補正係数
 σ_{yk} : 鋼材の降伏強度の特性値

調査・解析係数 ξ_1 、部材・構造係数 ξ_2 、抵抗係数 Φ_{RU} (両縁支持板)

(SBH500以外の場合)		(SBH500の場合)	
	ξ_1	ξ_2	Φ_{RU}
以下以外の組合せ	0.90	1.00	0.85
⑩D+EQ(L1)	1.00	0.90	0.95
⑪D+EQ(L2)	1.00	0.90	$R/f \leq 0.7$
		1.00	$2.5R/f \leq 0.8$
		1.00	$0.7 < R/f \leq 0.72$
		1.00	1.00
		1.00	$0.72 < R/f$

部材・構造係数 ξ_2 (SBH500の場合)

自由突出板

$$\xi_2 = \begin{cases} 0.95 & R \leq 0.7 \\ 1.24R/f + 0.08 & 0.7 < R \leq 0.73 \\ 1.0 & 0.73 < R \end{cases}$$

補剛板

$$\xi_2 = \begin{cases} 0.95 & R_R/f \leq 0.5 \\ 1.0 & R_R/f + 0.45 & 0.5 < R_R/f \leq 0.55 \\ 1.0 & 0.55 < R_R/f \end{cases}$$

道路橋に関する講習会資料(日本道路協会) 参照 18

板の強度規定 (基準耐力曲線)

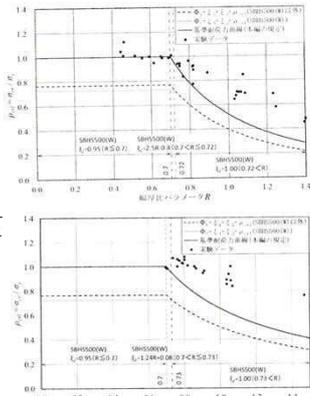
- 両縁支持板

$$P_{crit} = \begin{cases} 1.0 & R/f \leq 0.7 \\ \left(\frac{0.7f}{R}\right)^{1.83} & R/f > 0.7 \end{cases}$$

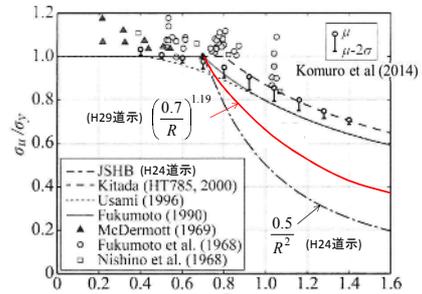
- 自由突出板

$$P_{crit} = \begin{cases} 1.0 & R \leq 0.7 \\ \left(\frac{0.7}{R}\right)^{1.19} & R > 0.7 \end{cases}$$

- 補剛板
変更なし



自由突出板の耐力曲線



高強度鋼材 (SM570, SBHS400, SBHS500) の耐力力試験データの蓄積必要

新材料の追加規定

新材料	改善点	改定
橋梁用高降伏点鋼板 (SBHS鋼)	部材としての検証データの蓄積	データが検証されたSBHS鋼について使用材料として規定化
超高力ボルト (S14T) 高軸力 (1400N/mm ²)	耐遅れ破壊性能の改善 (成分・形状など) 継手性能の検証	使用材料として規定化 (使用範囲の限定や点検・取替えの容易さとセット)
高強度コンクリート (70N/mm ² , 80N/mm ²)	品質管理法の充実	設計値 (特性値・制限値) の規定化

S14T: 摩擦接合継手用に新たに規定された高強度ボルト。実環境での長期使用実績が乏しいことを配慮して使用環境は厳しく制限

- 塩分環境が厳しくない
- 雨水等の影響を直接受けない
- 滞水などにより長期湿潤環境が継続する可能性がない
- 折損を生じても第3者被害を生じる懸念おそれがない
- 被接合材の鋼種は、SM570またはSBHS500が原則

道路橋に関する講習会資料(日本道路協会) 参照 21

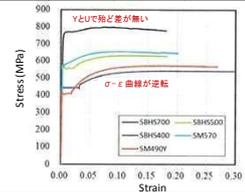
構造用鋼材の特性値

	鋼種 板厚(mm)	SS400	SM400	SM490	SM490Y	SM520	SM570	SBHS500
		SMA400W	SMA490W	SMA490W	SMA490W	SMA570W	SMA570W	SMA570W
引張降伏 圧縮降伏	t ≤ 40	235	315	355	400	450	500	500
	40 < t ≤ 75	215	295	335				
	75 < t ≤ 100			325				
引張強度	—	400	490	490 (520)	490	570	570	570
せん断降伏	t ≤ 40	135	180	205	230	260	285	285
	40 < t ≤ 75	125	170	195				
	75 < t ≤ 100			185				

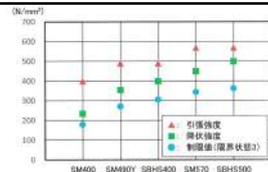
() は SM520 の引張強度の特性値、(N/mm²)

橋梁用高降伏点鋼板

- 溶接余熱の省略や低減が可能
- 鋼材選択の幅が広がることによる合理化を期待



引張応力度の 制限値と安全余裕

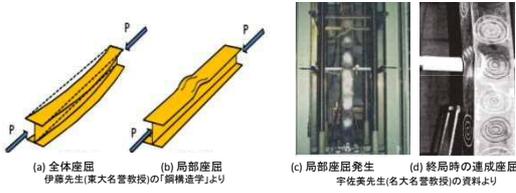


	SM490Y	SBHS400	SM570	SBHS500	
引張強度 σ_u (N/mm ²)	490	490	570	570	
降伏点 σ_y (N/mm ²)	355	400	450	500	
降伏比 YR	0.72	0.82	0.79	0.88	
作用の組合せ	ϕ_s	0.9	0.9	0.9	0.9
	ϕ_c	1.0	1.0	1.0	1.0
	ϕ_{σ_u}	0.85	1.0	0.85	1.0
	ϕ_{σ_y}	0.85	1.0	0.85	1.0
	ϕ_{σ_d}	0.85	1.0	0.85	1.0
制限値 (N/mm ²)	$\sigma_{u,lim}$	272	320	355	360
	$\sigma_{y,lim}$	272	320	355	360
r.25	$\sigma_{u,r.25}$	217	-	245	-
	$\sigma_{y,r.25}$	217	-	245	-
適度率	VS σ_u	2.36	-	2.00	-
	VS σ_y	1.64	-	1.63	-

※作用の組合せ(---) I) 及び II) 以外、III) 1.1地震時、II) 1.2地震時 道路橋に関する講習会資料(日本道路協会) 参照 22

連成座屈強度評価の 高度化に向けて

局部座屈と全体座屈の連成座屈の評価法



- ◆ 全体座屈と局部座屈の連成座屈が生じる部材の挙動は実際複雑であり、部材の耐力評価はかなり困難
- ◆ 部材の全体座屈強度に対する構成要素の局部座屈の影響を厳密に評価し、設計に反映させることは困難

積公式を用いた連成座屈評価式は、実際の挙動と乖離が大きい

25

道路橋示方書 (S55年)

- S55示方書以前では、両縁支持板に作用する応力度が鋼材の降伏点に達するまでは、局部座屈を生じないように両縁支持板の板厚を選定することを基本
- S55示方書(1980年以降)は、板厚制限の様式を許容応力度表示に変更

$$\sigma_{ca} = \sigma_{cag} \cdot \frac{\sigma_{cal}}{\sigma_{ca0}}$$

σ_{ca} : 連成を考慮した柱の許容応力度
 σ_{cag} : 連成を無視した柱の許容応力度
 σ_{cal} : 構成板パネルの上限界
 σ_{ca0} : 降伏点

- 交番応力として小さな圧縮力を受ける部材、および架設時のみに一時的に小さな圧縮力を受ける部材に対して、鋼材の降伏点まで局部座屈を生じないように板厚を選定することは不必要に厚い板を用いることになり、不経済。
- 大幅に大きな幅厚比をもつ板の使用を認め、また大きな幅厚比を持つ板に対しても一貫した設計ができる。

26

積公式

- S55示方書の連成座屈問題の取扱いは、S55以前の示方書と変わらない。
- S55以前の示方書では、鋼材の降伏点に達するまで局部座屈を生じない板厚制限値 t_0 に対して、作用応力度 σ_c が許容応力度 σ_{ca} に比べて小さい場合には、その比 $\kappa = \sigma_c / \sigma_{ca}$ を用いて板厚制限値の分母を $\sqrt{\kappa}$ 倍することができる

$$\frac{t}{t_0} \leq \sqrt{\frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}}} \quad \text{SM400の両縁支持板の例} \quad t_0 = \frac{b}{40}$$

$$\sigma_c \leq \sigma_{cag} \left(\frac{t}{t_0} \right)^2$$

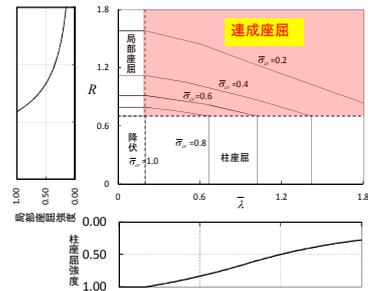
$$= \sigma_{cag} 1600 \left(\frac{t}{b} \right)^2$$

$$= \sigma_{cag} 2200000 \left(\frac{t}{b} \right)^2 / 1400$$

$$= \sigma_{cag} \frac{\sigma_{cal}}{\sigma_{ca0}}$$

27

積公式(道路橋示方書)



28

海外基準の連成座屈評価方法の一例

有効幅を考慮した細長比法 DAST-Richtlinie 012(1980))

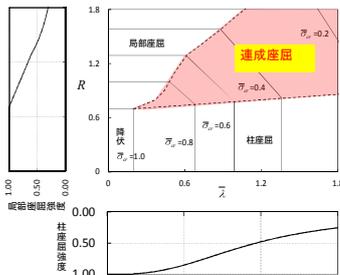
板座屈の発生による柱の有効断面の低減を考慮して、部材の細長比を修正し、この修正細長比に対する柱強度

$$\bar{\sigma}_{cr} = \left(\frac{1}{1 + \bar{\lambda}_m^{2.8}} \right)^{0.75}$$

$$\bar{\lambda}_m = \bar{\lambda}_x + \frac{(3.8 - \bar{\lambda}_x)(\bar{\lambda}_y - \bar{\lambda}_x')}{3.4 + \bar{\lambda}_y - 0.1\bar{\lambda}_x}$$

$$\bar{\lambda}_x' = 0.1\bar{\lambda}_x + 0.68$$

$\bar{\lambda}_x$: 柱部材の細長比パラメータ
 $\bar{\lambda}_y$: 座屈パネルの比較細長比パラメータ



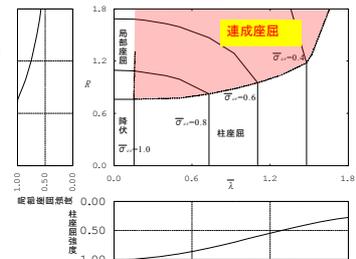
29

海外基準の連成座屈評価方法の一例

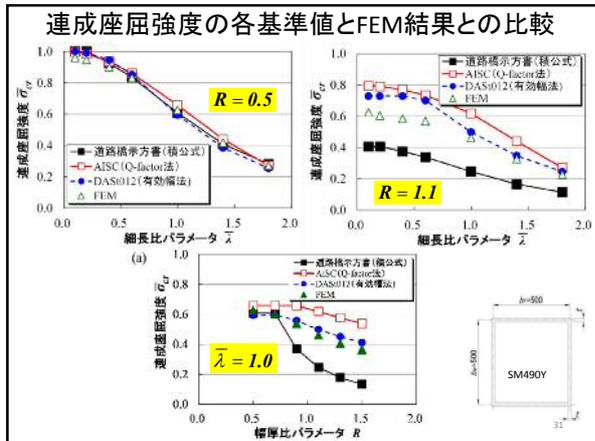
Qファクター法(AISC(1969))

局部座屈を生じる柱と同断面の短柱強度 σ_{cl} を始めに求め、これをその柱の仮定の低減された降伏応力 $Q\sigma_y$ と考えて、既存の柱設計強度式の降伏応力 σ_y を $Q\sigma_y$ に置き換えた設計式

$$\frac{\sigma}{\sigma_y} = Q \cdot f(\sqrt{Q} \cdot \lambda)$$

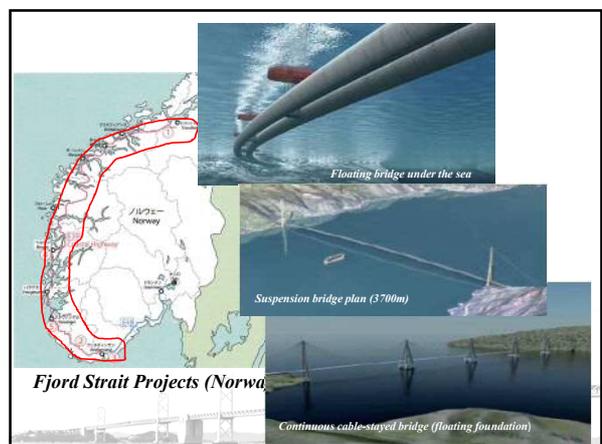


30



Cable supported bridges in the world

Suspension bridges					Cable-stayed bridges				
No.	Bridges	Max. length of span (m)	Country	Year	No.	Bridges	Max. length of span (m)	Country	Year
1	チャナカレ大橋	2,023	Turkey	2023(under const.)	1	ルースキー高速橋	1,104	Russia	2012
2	明石海峡大橋	1,991	Japan	1998	2	瀋陽鉄路長江大橋	1,092	China	2019(under const.)
3	武漢橋西港長江大橋	1,700	China	2019(under const.)	3	蘇州蘇州長江大橋	1,088	China	2008
4	虎門二橋東涌水連橋	1,688	China	2018(under const.)	4	碧船湖橋	1,018	China	2009
5	舟山西橋門大橋	1,650	China	2009	5	青山長江大橋	938	China	2019(under const.)
6	グレートベルト-イースト橋	1,624	Denmark	1998	6	鄂東長江大橋	926	China	2010
7	イズミット大橋	1,550	Turkey	2016	7	嘉魚長江大橋	920	China	2019(under const.)
8	李舜臣大橋	1,545	Korea	2013	8	多々羅大橋	890	Japan	1999
9	潤陽長江公路大橋	1,490	China	2005	9	ノルマンディー橋	856	France	1995
10	第二龍門橋大橋	1,480	China	2017(under const.)	10	涇州長江大橋	828	China	2018(under const.)
11	南京長江第四大橋	1,418	China	2012	11	石巻長江大橋	820	China	2018(under const.)
12	ハンバー橋	1,410	U.K.	1981	12	九江長江公路大橋	818	China	2013
13	第5ボスフォラス橋	1,408	Turkey	2016	13	瀋陽長江公路大橋	816	China	2010
14	江陰長江大橋	1,385	China	1999	14	繁陽長江二橋	806	China	2017(under const.)
15	青島橋	1,377	China	1997	15	仁川(新)忠清南道三連橋	800	Korea	2009
16	ハヴンゲル橋	1,310	Norway	2013	16	龍北河特等橋	800	China	2016(under const.)
17	ベラズノナロウズ橋	1,298	U.S.A.	1964	17	羅漢河特等橋	780	China	2013
18	ゴールデンゲート橋	1,280	U.S.A.	1937	18	武穴長江大橋	768	China	2019(under const.)
19	陽明長江大橋	1,280	China	2007	19	沌口長江大橋	760	China	2017(under const.)
20	ヘカステン橋	1,210	Sweden	1997	20	ザラト-クログ橋	737	Russia	2012



最近の我が国のプロジェクト

低塔斜張橋 (川崎港臨港大橋, 567m)



斜張橋 (気仙沼湾横断橋, 350m)



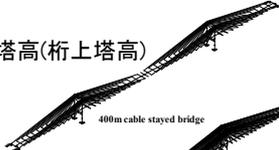

37

低塔斜張橋の開発

(1) 悪い地盤条件 ⇒ 自定式斜張橋
 (2) 空港の近傍、高さ制限 ⇒ 斜張橋は対象外

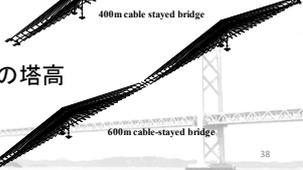
斜張橋の最適塔高

中央径間長の1/5の塔高(桁上塔高)
本当に最適??



400m cable stayed bridge

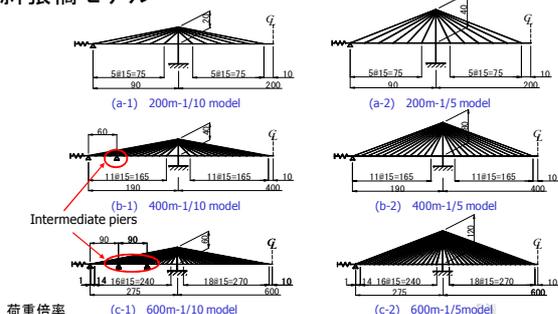
中央径間長の1/10の塔高
耐力力??



600m cable-stayed bridge

38

斜張橋モデル



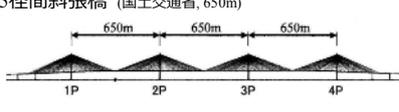
(a-1) 200m-1/10 model (a-2) 200m-1/5 model
 (b-1) 400m-1/10 model (b-2) 400m-1/5 model
 (c-1) 600m-1/10 model (c-2) 600m-1/5 model

荷重倍率

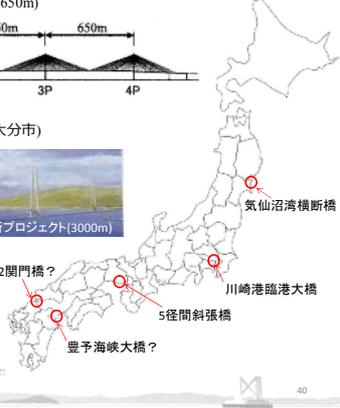
	200-meter span		400-meter span		600-meter span	
	1/10 model	1/5 model	1/10 model	1/5 model	1/10 model	1/5 model
β_u	1.94	2.34	2.17	2.27	2.02	1.84

39

5径間斜張橋 (国土交通省, 650m)



豊予海峡ルート調査 (大分市)



吊橋 (第2関門橋)

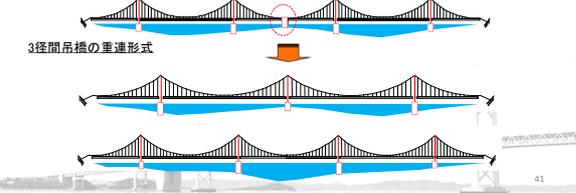


関門橋

40

多径間吊橋の開発

Oakland bay bridge (USA) Kurushima bridge (JAPAN) Seto bridge (JAPAN)

3径間吊橋の重連形式

41

中国の4径間吊橋

泰州長江大橋 (2012) 中央径間:1080m



馬鞍山長江公路大橋 (2013) 中央径間:1080m



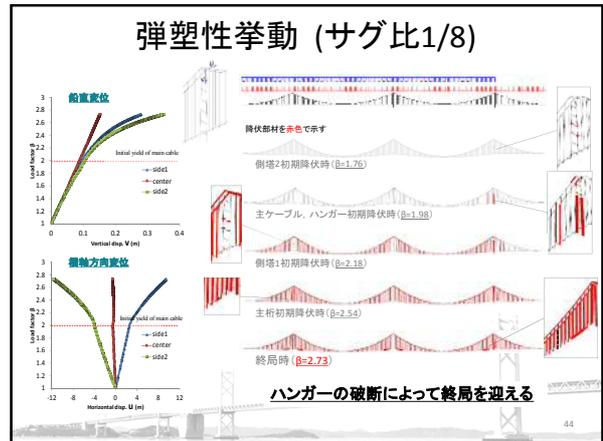
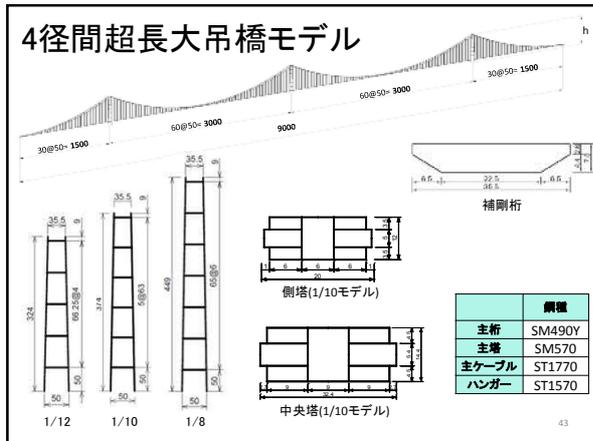
武漢鄖鵲洲長江大橋 (2015) 中央径間:850m



Chacao Bridge under const. 1055m, 1115m



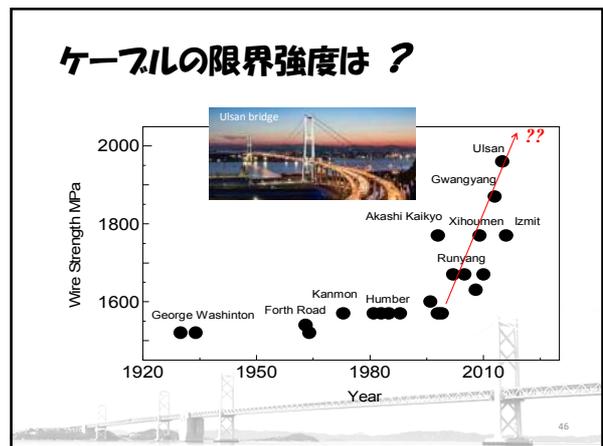
42



吊形式橋梁の限界スパンは？

ランドマークタワーの高さの“豆腐”は作れますか !!

- 材料強度の限界
 - 1.5kmの高さのコンクリート柱(圧縮強度 29 N/mm²)は柱基部から崩壊し始めるだろう
 - 極長いワイヤーは、降伏し、自動的に破断するだろう



ケーブル安全率の合理化

長大吊形式橋梁の安全率の合理化

- 設計法の見直し
 - 部材の終局強度と構造全体系の終局強度との相違
 - 構成要素の安全率低減の可能性の検討
 - 合理的な安全率の組合せの提案

安全率のバランス化

安全率の選定条件と最適組み合わせ

- ① 構成要素の初期降伏時の荷重倍率は、**現行安全率の場合のそれと同等**であること
- ② 終局限界状態において、ハンガー、主ケーブル、主塔及び主桁の**全ての構成要素が降伏**すること
- ③ 吊橋の終局強度は、**所要荷重倍率 $\beta_{req} \approx 2.4$** を確保すること

$$r_i \frac{\sum r_a S(r_f F_k)}{R(f_k/r_m)/r_b} \approx r_i r_b r_a r_f \frac{(D+L)}{R} = \frac{\beta_{req} (D+L)}{R}$$

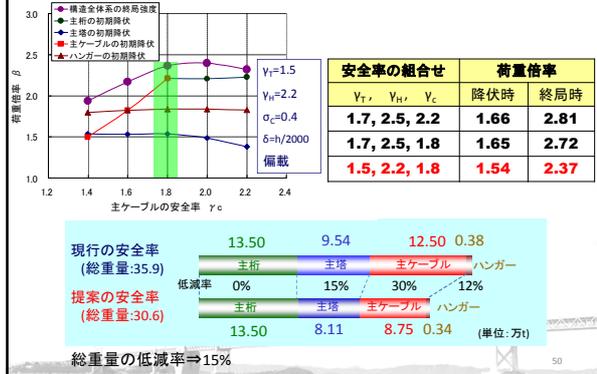
S : 荷重効果
 R : 抵抗値

$$\beta_{req} = r_i r_b r_a r_f$$

$r_i = 1.40$ r_i : 重要度係数
 $r_b = 1.05$ r_b : 構造解析係数
 $r_a = 1.20$ r_a : 荷重係数
 $r_f = 1.39$ r_f : 材料係数
 r_b : 部材係数
 $1.3D+2.2L=1.39(D+L)$



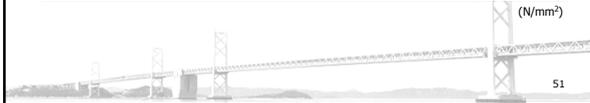
提案安全率による塑性進展と鋼重の低減化



本州四国連絡橋のケーブル安全率の変遷

完成年	橋梁名	引張強度 σ_B	降伏点 $\sigma_{0.7}, \sigma_{0.8}$	許容応力度 σ_a	安全率 γ
1965	因島大橋	1568	1156	549	2.86
1978	大鳴門橋	1568	1156	627	2.5
1988	明石海峡大橋	1768	1372	804	2.2

(N/mm²)



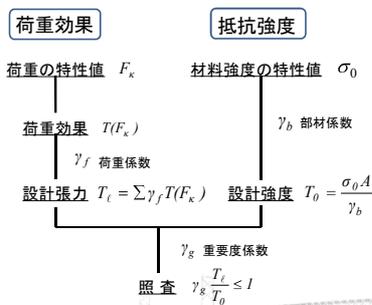
海峡横断道路ケーブルの設計法

- 2001～2002年度 海峡横断道路ケーブル安全率検討委員会
本州四国連絡橋公団・長大橋技術センター
- 長大吊橋ケーブルの適切な安全率の検討
- 海峡横断道路吊橋ケーブル設計指針(案)の作成

背景

- 超長大吊橋(2300m級)をより合理的に設計し、**工費の大幅縮減(30~50%)**を図る
- 発生応力や耐力に関する**不確定要因の影響をほぼ正確に把握**できる
- 主塔、桁に比べて**ケーブルの安全率が高い**
- ケーブル送気による防食システムがほぼ確立し、ケーブルの**耐久性が大幅に向上**
- **部分係数設計法の導入**

ケーブルの安全照査法



不確定要因の検討

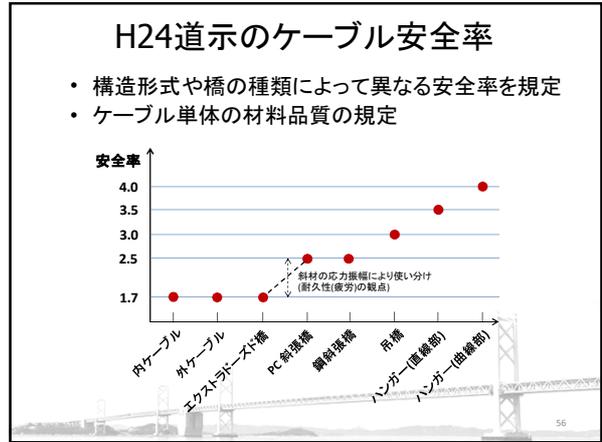
- 安全照査式
- 重要度係数
- 材料強度
- 素線強度のばらつき
- ケーブル施工誤差の影響
- 側圧・現場継手の影響
- 二次応力の影響
- 遅れ破壊に関する検討
- ケーブル防食
- 死荷重・活荷重・温度荷重の検討
- 製作架設誤差
- 支点移動の影響

部分係数

- **設計張力**
 $T_l = \sum \gamma_f T(F_k)$
 $= \gamma_D T(D) + \gamma_L T(L) + \gamma_T T(T)$
- **設計抵抗値**
 $T_0 = \frac{\sigma_0 A}{\gamma_b}$ $\sigma_0 = 1470 \text{ N/mm}^2$ (Yield point $\sigma_{0.2}$)
- **照査**
 $\gamma_g \frac{T_l}{T_0} \leq 1$
- **設計抵抗値**
 $\frac{T_0}{A} = \frac{\sigma_0}{\gamma_b} = \frac{1470}{1.01} = 1455 \text{ N/mm}^2$
- **算出された許容応力度**
 $\sigma_a = \frac{T_0/A}{\gamma_g \gamma_f} = \frac{1455}{1.3 \times 1.11} = 1008 \text{ N/mm}^2$
 $D:L:T = 0.91:0.08:0.01$
 $\gamma_f = 0.91\gamma_D + 0.08\gamma_L + 0.01\gamma_T$
- **変換された安全率**
 $v = \frac{\sigma_B}{\sigma_a} = \frac{1764}{1008} \approx 1.75$

Importance factor γ_s	Load factor			Factor of structural members	
	dead load γ_D	live load γ_L	temperature γ_T	γ_{b1}	γ_{b2}
1.3	1.08	1.50	1.00	1.00	1.01

ケーブルの部分係数設定 (H29道示)



ケーブル部材の部分係数

- 定着部を含むケーブル部材の疲労耐久性に対する品質を規定
- 構造や橋の種類によらず、死活荷重比及び応力振幅により設定された部分係数を用いる設計体系を規定

①定着部を含めた強度特性、疲労特性を考慮したケーブル部材の性能規格 → 新たに規定 (ケーブル区分C1-C4) → ①とケーブル材料品質規格により定まる値(材料強度のばらつき) **抵抗係数 Φ**

②断面力(L荷重で代表)のばらつきが耐力に与える影響度の観点からの安全余裕の確保 → 活荷重/死荷重で評価 (1.25L/1.05(D+PS))

③変動作用(L荷重で代表)による応力変動範囲の規模の観点からの安全余裕の確保 → $\Delta\sigma_t$ により評価 (既存方法を準拠)

④ケーブル部材に求められる最低限の安全余裕の確保 → 上限部分係数を設定 (PC橋の内・外ケーブルで従来確保されている安全余裕より設定)

②、③、④のいずれか最小値ケーブル部材に関する不確実性(材料強度以外)に応じた安全余裕 **調査・解析係数 ξ_1 × 部材・構造係数 ξ_2**

道路橋に関する講習会資料(日本道路協会) 参照 57

ケーブル部材の区分

ケーブル部材の区分	200万回繰返し載荷における応力範囲(N/mm ²)	
	初期張力0.4P ₀ 又は 0.45P ₀ の場合	初期張力0.55P ₀ 又は 0.6P ₀ の場合
C1	194	160
C2	160	100
C3	130	80
C4	80	40

P₀:繰返し載荷の上限軸力であり、破断軸力

C1:工場製作の平行線ケーブル(新定着法)
 C2:エポキシ樹脂被膜PC鋼より線及び垂鉛めっきPC鋼より線(現場製作ケーブル)
 C3:工場製作の平行線ケーブル(垂鉛錆込み法)及び現場製作の標PC鋼より線
 C4:工場製作のロープケーブル(垂鉛錆込み法)

道路橋に関する講習会資料(日本道路協会) 参照 58

ケーブル部材の照査(限界状態3)

$$\sigma \leq \xi_1 \xi_2 \Phi_{Ut} \sigma_{uk}$$

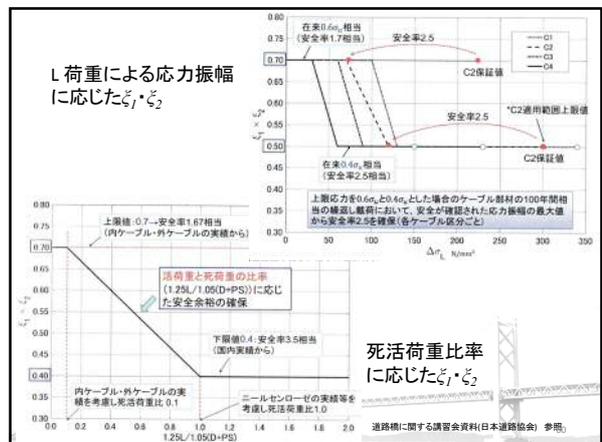
σ ☐ 作用応力
 ξ_1, ξ_2 ☐ 調査・解析係数と部材・構造係数の積
 Φ_{Ut} ☐ 抵抗係数
 σ_{uk} ☐ ケーブルの引張強度の特性値

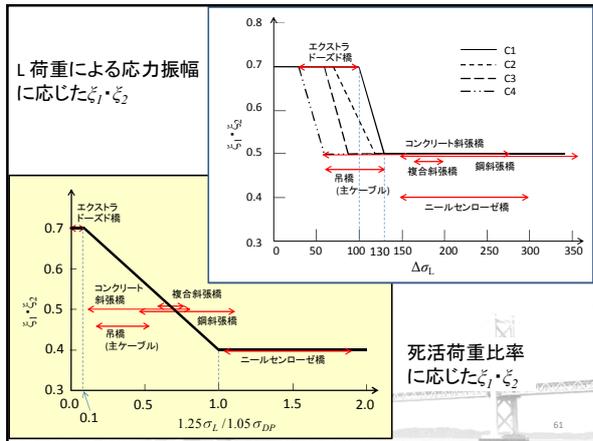
抵抗係数 Φ_{Ut}

材料強度のばらつきと、その他の部材耐力算出に関わる不確実性を考慮し、部材強度変動係数を5%と設定

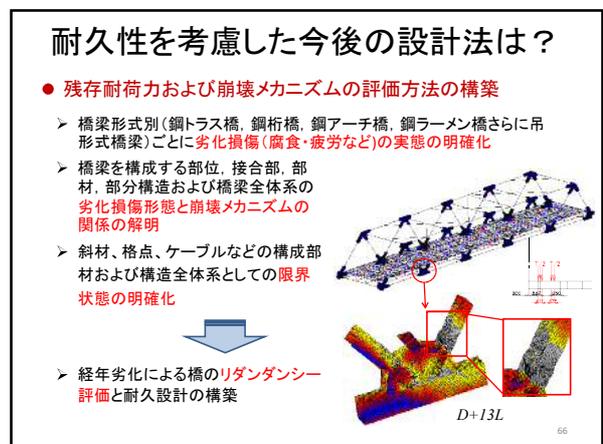
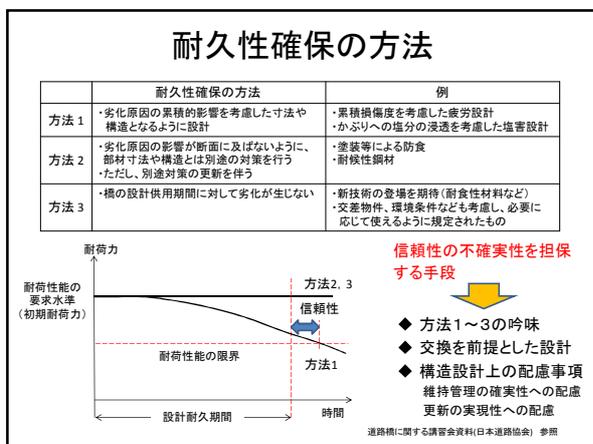
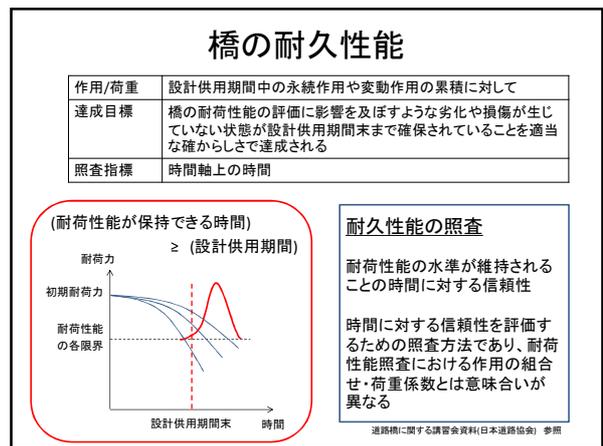
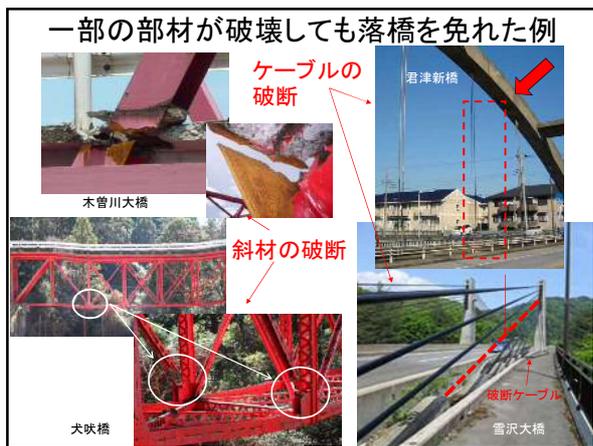
$$\Phi_{Ut} = 1.00 - 1.64 \times 0.05 = 0.90$$

道路橋に関する講習会資料(日本道路協会) 参照 59





耐久性を考慮した設計法の構築に向けて



耐久性を考慮した今後の設計法は？

□ リダンダンシーのある構造設計

● リダンダンシーを考慮した設計体系の明確化

「維持管理の確実性及び容易性」に対して、一定水準以上の実効性を担保するためのより具体的な配慮事項の明示や、定量的要求性能およびその照査基準の確立

・性能設計体系における構造システムとしてのリダンダンシーについての定量的評価の導入

- 荷重および損傷・破壊の定義
- 線形・非線形・動的解析モデルの精度 など

・新設橋梁設計時および製作時のリダンダンシーの有無の判断方法の確立

・既設橋梁の正確な性能評価とそれに応じた補修・補強対策手法の確立

・経年劣化および偶発作用に対する安全余裕の把握・設定

AASHTO-LRFR

$$RF = \frac{\Phi_c \Phi_s \Phi R_n - \gamma_D D}{\gamma_{LL} LL}$$

Φ_c : 状態係数、劣化部材の強度のばらつきが大きいことを反映し、設計強度を低減する係数

Φ_s : システム係数、全体系のリダンダンシーの違いを考慮して設計強度を低減する係数

Φ : 照査係数

R_n : 公称抵抗値

γ_D, γ_{LL} : 荷重係数、活荷重係数

D, LL : 死荷重、活荷重

耐久性を考慮した今後の設計法は？

□ ダメージコントロールを考慮した構造設計

● 減災および粘り強さの概念に基づく設計法

● 被災の発生は止むを得ないものとして、その程度を極力抑える、あるいは被災をあらかじめ想定した範囲やモードに収める

・均一耐力の発想から脱皮

— 上部・下部構造、構成部材、支承などの各性能の階層化

— 耐力水準を設定して、全体構造系の大規模な変状を回避

— 橋の耐荷性能の照査は、部材等の耐荷性能の照査で代表

・復旧(機能挽回)のしやすさを意図した破壊への確実な誘導の達成

— 例えば、橋脚 << 基礎、上部構造 << 橋脚、支承 << 上部構造、

支承本体 << 取り付け部、

供用期間中に遭遇する、設計荷重を超える偶発作用の設定は？

想定を超える作用に対する橋の機能挽回力の向上

例：津波の影響による橋の機能損失



星原氏(国総研)提供

技術継承への期待

● “土木技術は、利用し続けるとともに開発研究を継続し続けなければ衰退する。”

● 若い技術者に対して、多くの先人や先輩の経験および開発技術、本四架橋をはじめとした長大橋建設で培われた特殊技術を継承することは重要

— 長大橋の技術の継承を持続するためには、積極的に海外のプロジェクトに参画していくことも必要

— 国際的に認知される国内基準(英語版)の充実を図るとともに、海外の基準(Eurocode, AASHTOなど)に精通する必要

● 我が国の鋼橋設計は、許容応力度設計法から新しい性能設計体系に移行した中で新たな技術開発が必要

● 計画、設計、製作、施工および維持管理における種々の革新的技術の開発を推進して世界をリード

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋に関する講習会—配布資料—, 2017.11
- 2) 野上邦栄, 竹内幸治, 山下洋平, 岸祐介, 長井正嗣, 奥井義昭, 野阪克義, 小室雅人, 宮下剛: 実橋箱断面圧縮部材の耐荷力特性と基準耐荷力曲線に関する検討, 構造工学論文集, Vol.61A, 2015.3
- 3) 山口栄輝, 山田啓太, 高間徹: 曲げモーメントを受ける部材の照査に関する考察, 構造工学論文集, Vol.58A, 2012.3
- 4) 佐伯彰一, 金井道夫: 道路橋示方書Ⅱ鋼橋編—改定の背景と運用, 第1回1章総則および2章許容応力度, 橋梁と基礎, 1981.2
- 5) 土木学会: 橋の合理的な構造設計法に関する調査研究小委員会報告書, 第7章局部座屈と全体座屈の連成座屈に関する検討, 2015.3
- 6) 平山博, 水口知樹, 中村聖三, 岸祐介, 池末和隆: 鋼橋に用いる圧縮部材の連成座屈強度算定法の比較調査, 鋼構造年次論文報告集, 第24巻, 2016.9
- 7) 野上邦栄: 吊形式橋梁の長大化—構造形式の長大化とケーブルの高強度化—, 鉄鋼材料および鋼構造に関するシンポジウム, 日本鉄鋼協会, 2017.3
- 8) 秋本泰治, 野上邦栄, 山沢哲也, 森園康之, 長井正嗣: 塔高を中央径間長の1/10とした鋼製斜張橋の終局強度特性, 構造工学論文集, Vol.51A, 2005.3

参考文献(続き)

- 9) 野上邦栄, 大久保亜衣, 森園康之: 4径間超長大吊橋の弾塑性挙動と終局強度特性に関する考察, 構造工学論文集, Vol.56A, 2010.3
- 10) 野上邦栄, 斎藤一則, 長井正嗣, 藤野陽三: 超長大吊橋の終局強度に着目した主ケーブル、ハンガー及び主塔の安全率の合理化, 土木学会論文集, No.682/I-56, 2001.3
- 11) 本州四国連絡橋公団: 海峡横断道路ケーブル安全率検討委員会報告書, 2003.3
- 12) 野上邦栄, 村越潤: 腐食損傷した鋼橋の維持管理設計と残存耐荷力評価の現状と理想, 土木学会第20回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集, 2017.8

**ご清聴
ありがとうございました。**

73