

鋼橋分野での研究と実務の乖離

東京工業大学 三木千壽

背景

力学の結晶としての橋梁
瀬戸大橋から20年、明石海峡大橋から10年。

橋の技術は成熟しきったのか？
もはや研究や技術開発の余地は無いのか？

応用力学論文集
橋梁が見える研究はほとんど無し
構造工学論文集・年次講演会
部門A：疲労、メンテナンス、・・・が増えた

力学分野の人間をワクワクさせるような課題が無いあるいは見つからない
力学分野の研究者にとって直接的に応用が見える必要はない

それに対して
橋梁の設計の世界は昔のまま（1970年代で停止しているよう）

これらの認識は正しいのか??

話題

- 橋梁造形の広がり
- 橋梁計画、構造設計における構造合理化、コスト縮減への寄与
- 膨大なストックへの対応：メンテナンス

1. 造形の広がり：意匠設計への関心

- Designへの関心
- Architect と Structural Engineer とのCollaboration

- » 建築分野では普通
- » 海外での橋梁でも普通

橋ははりの力学が支配する世界とのスリコミから脱却できない

橋梁技術者(業界)の排他的な行動
建築分野、欧米の橋梁：意匠サイドからの難しい要求に応えることで構造技術者も進歩している



Bach de Roda bridge
in Barcelona, Spain



Bedford Butterfly bridge
in UK



Griffiths Drive Pedestrian bridge
in Canada



Erasmus Bridge
in Netherlands



Bridge over the Hoofdvaart
in Haarlemmermeer, Netherlands



Covent Garden bridge
in England



Lyon Airport Station
in France



Hamburg Boomerang
Bus stop in Germany



TOKYO TECH
Pursuing Excellence

2. 橋梁構造に関連した技術は進化しているのか

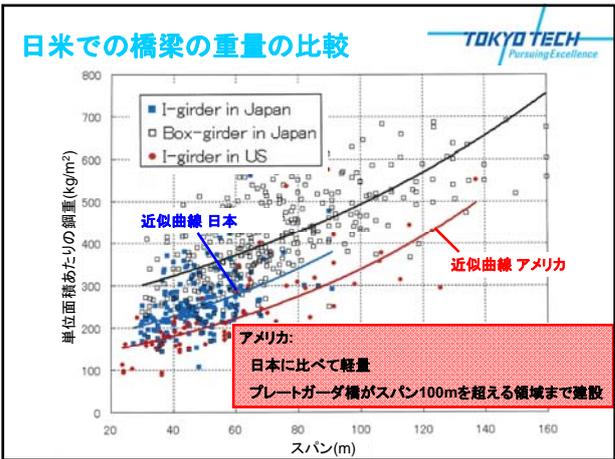
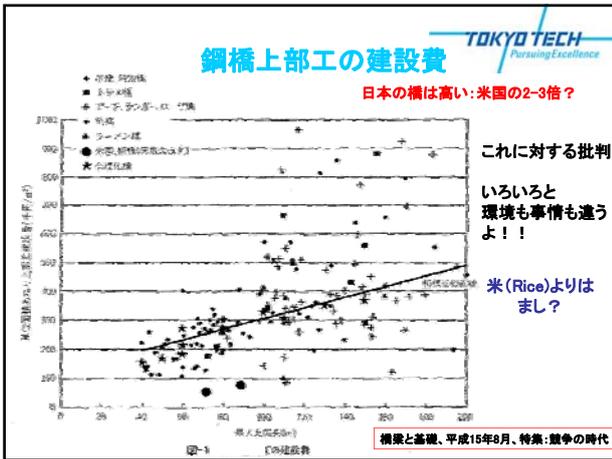
橋の世界：材料と解析の進歩によりスパンを伸ばしてきた

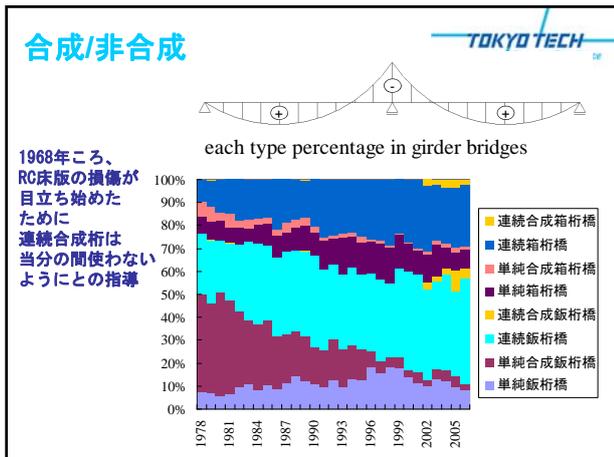
製造業の世界では技術の進歩 →性能の向上
→コストダウン

結果として国際競争力のある技術、産業へ：産業進化論
(生物におけるダーウィンの進化論と同じ)

橋梁に対する要求性能：この50年ほとんど変わらず。
耐震・耐風のみ厳しくなった。
安心・安全・快適について考
ず必要？

え直





日本の橋を評価すれば

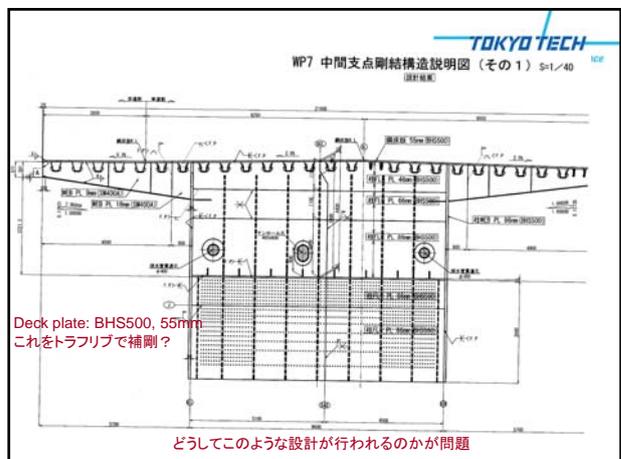
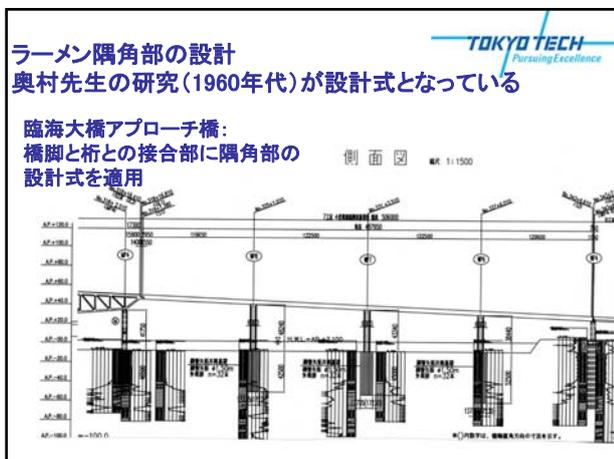
TOKYO TECH Pursuing Excellence

重たくて高い
なぜそうなったのか
活荷重はほとんど変わらない
上部構造には地震は関係しない
いまだに非合成構造が支配的

なぜ?
どのようにすれば良いのか?

- ### どうすればいいのか
- TOKYO TECH Pursuing Excellence
- 梁理論、骨組み解析ベースからFEMベースへ
 - ASDからLRFDへ
 - 新材料の適用：高強度鋼材など
 - 設計寿命でのPerformancesとCostを意識
 - Cost削減が歓迎されるような環境にする
 - 技術競争がビジネスにつながる環境にする（公共事業全体の問題）
- 示方書や便覧を無視する勇氣（PBDの実現）と説明努力
技術的な根拠の提示、保証などがKey Issue
構造技術者、力学分野の研究者が関与する余地

- ### 当たり前のに使われている設計式は正しいか？
- TOKYO TECH Pursuing Excellence
- 昔は力学分野の成果を設計に取り入れてきた。
 - 一度取り入れると直すことをしない。
- たとえば
- ラーメン隅角部の設計
奥村先生らの研究：Thin Wall Structure, Shear lag
 - 中間ダイアフラム
坂井・長井らの研究：Warping Stress



TOKYO TECH
Pursuing Excellence

WP7 中間支点剛結構造説明図 (その2)

Deck plate: 55mm
Flange, web, diaphragm
BHS 86mm

聞かれたことはトラフリブ貫通におけるダイヤフラムのスリットのお返し溶接をどうするか？

チョット待て、どのような構造設計をやって板厚を決めたのか。

「おかしい」と思わないのか。技術力の無さと無関心の結果

このような設計が行われ、製作過程にまで行ってしまったことが問題
設計の照査はどのようにしているのか

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

3D・FEM (シェル要素) での検討

Deck plate 55→16mm
Diaphragm 86→16mm

Flange plate 86→33mm
Web plate 86→14mm

このような設計はほかにもある。
宇治川でも経験。

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

箱桁中間ダイヤフラムの設計

そり・ずり応力の解析からの設計式
桁に対するダイヤフラムの剛性比 ∞ の仮定
——>大型の箱桁になるほど剛性の高いダイヤフラムが必要となる

そり・ずり応力はどの程度か？
ダイヤフラムの剛性に対する要求は適切か？
FEMで確認

図-7 アプローチ橋梁 (若州海浜公園側、海上部) 断面図 (a) 中間ダイヤフラム (b) フリブ

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

Stress distribution

Loading on one side of straight span
Case= Stiffeners: strong, Spacing of Int. Dia.: 40m
L-live load (on one side)

Longitudinal stress component

Global distribution
60MPa
-30

Distribution in a cross-section (at the center of loaded span)
Bending stress + Warping stress
Average Regression line
Warping stress Regression line

Distortional warping stress (DWS): Focus of discussion

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

Distortional warping stress

Loading on one side of straight span Cases with strong stiffeners

Spacing (m): 3, 9, 15, 40, 20

Picking up the maximum DWS

応力を理由としての中間ダイヤフラムは不要。
施工上から決めれば良い。

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

トラス格点構造の設計

1. 根拠のハッキリしない設計式 (Dimension?)を無視するところから出発 (このような設計式の存在が恥ずかしい)
 $t=20 \times (P/b)$
2. トラスはピン結合と仮定。実際は？
そのためにトラスの骨組み軸線と構造部材の軸をあわせている。
そんなことは必要か？
施工性を考えた内面ダイヤフラムの配置
局部応力の低減
3. そもそもガゼットの概念は？

FEMで確認

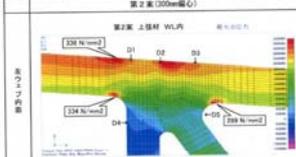
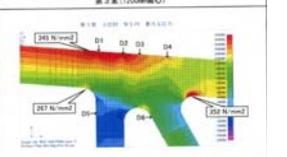
対象橋梁

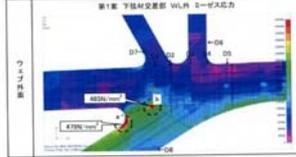
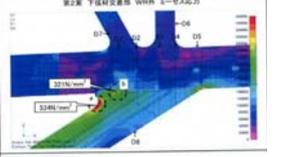



橋長760m(支間長160m+440m+160m)
鋼3径間連続トラス・ボックス複合橋

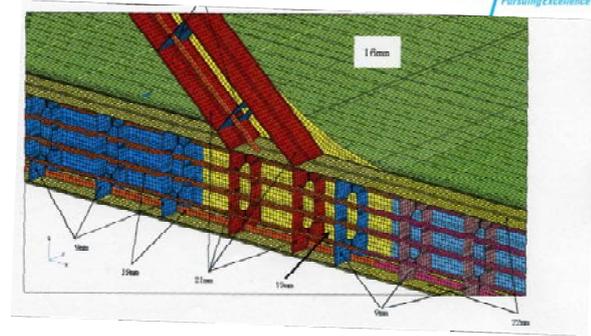
| | |
|-------|----------------------|
| 橋梁延長 | 2.9km(海上部1.6km) |
| 計画交通量 | 35,400台/日(2001年9月推計) |
| 車線数 | 往復4車線 |
| 設計速度 | 50km/h |

FEM解析結果

トラスの軸線をずらすことにより構造ディテールが単純になる。
トラス軸線をずらすことによる応力の上昇は？



10mm

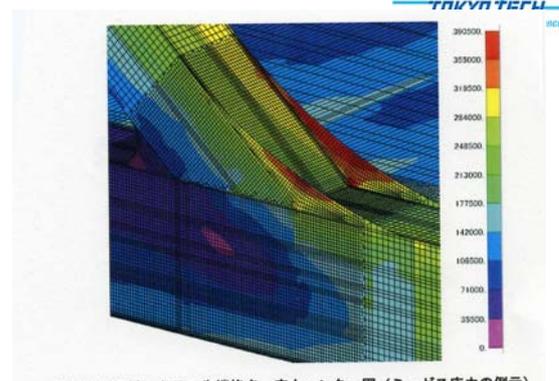


図-2.2.10.20 トラス先端格点 応力カウンター図 (ミーゼス応力の例示)



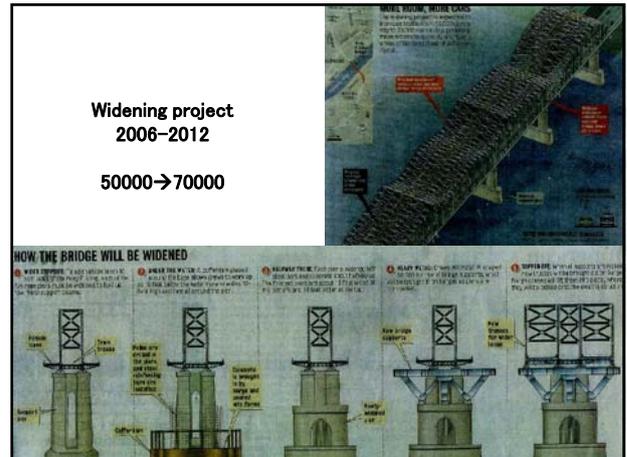
高強度であること
溶接性が良いことから
このような格点構造が実現

3. 膨大なインフラのストックは 力学・構造分野の研究のネタの宝庫

多くの研究が始まっているが

- 興味先行の研究になっていないか？
- あるいは我田引水的研究になっていないか？
- 点検・診断・措置についての技術の確立には深い、
しっかりした研究が不可欠

医学における病理と臨床の関係



力学研究者への期待

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

- Exciting な仕事をしよう
- 自分の研究が実務に反映されることの喜びを知ろう
- 自己満足の世界から脱却しよう
- 未解決の問題は山積み
- 現場は研究のネタの宝庫
- 研究のB/Cを考えよう

Science and Engineering、病理
と臨床