

第 5 回 定 期 研 究 会

平成 23 年度 SGST 第 5 回定期研究会 議事録

日時：平成 23 年 12 月 2 日(金) 16:00 ~ 17:30

場所：名城大学 名駅サテライト

出席者：近藤，宇佐美，久保，渡辺，小塙，葛（名城大），青木（愛工大），北根，館石（名大），
後藤，奥村（名工大），川西（豊田高専），木下（岐阜大），鷺見，三浦（名高速），
野田，山田（中日本ハイウェイ），加藤（海洋架橋），岡本（パシソ），川瀬（日中C），
高橋（アスコ），大富（近代設計），中本（中部復建），森野（長大），加藤（中日本建設C），
園部（JTS），原田（ - ），土橋（横河），小枝（川田），山本（サカタ），神頭，長瀬，
荒川（日車），織田，森田，松村，尾関（瀧上），藤井，窪田，村松，長島，能勢，
佐々木，村島（日鉄トピー）

以上 44 名(敬称略)

1. 定期研究会 (16:00 ~ 17:30)

講演者：東京工業大学 三木 千壽 教授

講演題目：「東京ゲートブリッジの新技術」

講演内容

橋梁用高性能鋼材 (BHS) の開発と適用、その特性を生かしての全溶接構造の実現、LRFDによる構造設計、疲労抵抗の高い鋼床版構造の開発など、さまざまなチャレンジを紹介いただいた。

鋼橋分野での新技術を活用したビッグプロジェクトであり、聴講者の関心も高く、非常に有意義な講演であった。

以上 東海構造研究グループ (SGST) 事務局 //

東京ゲートブリッジ

イメージCG

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

最高積載荷物(新規)	13t/車上積1t/台
走行速度	80km/h(120km/h時速運転)
半航脚	開閉4時間
設計速度	80km/h

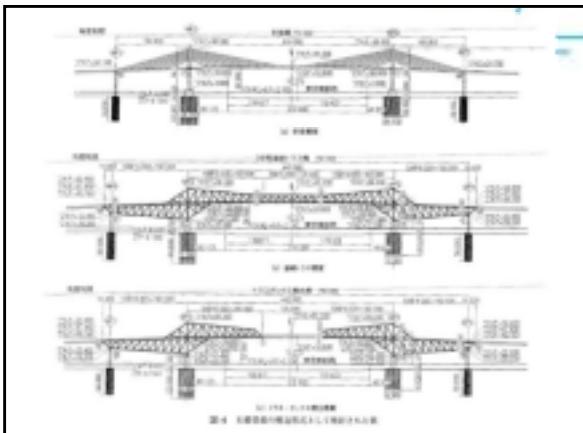
臨海大橋の概要

TOKYO TECH
Engineering Excellence

多径間トラスの径間長ランキング

臨海大橋 概要

※ 連続トラスとしては世界一



臨海大橋の話しの前に：
橋の技術は進化しているのか
瀬戸大橋から20年、明石海峡大橋から10年。
明石海峡大橋に対してENRはJapanese Jewelと評した。

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年ほど変わらず。
橋梁分野では何を目指して研究しているのか？
最新の研究を取り入れた設計になっているのか？一本四以降

ENR
Engineering News-Record

必要とする橋を建設するための技術と知識を提供する
ENRは、橋梁建設の歴史を記録する
橋梁建設の歴史を記録する

JAPAN'S JEWEL
1,990-meter span sets record

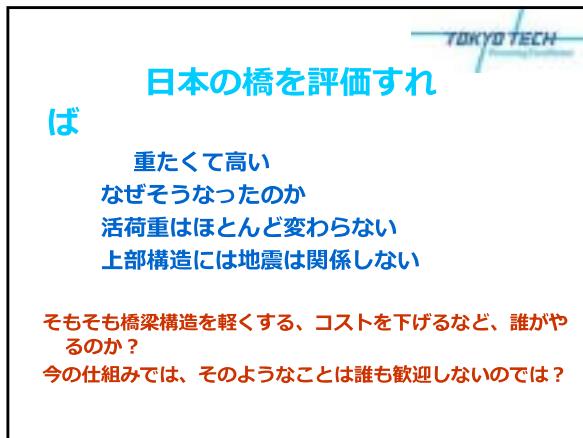
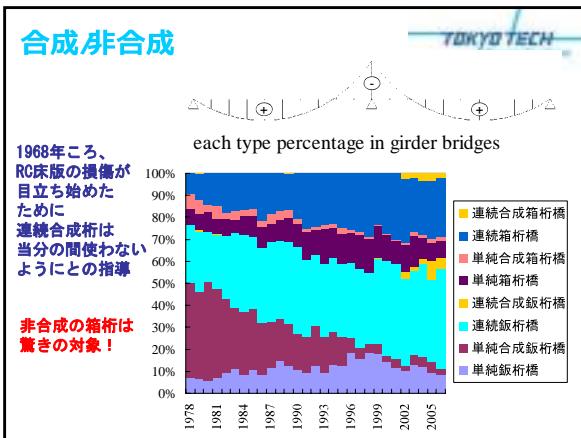
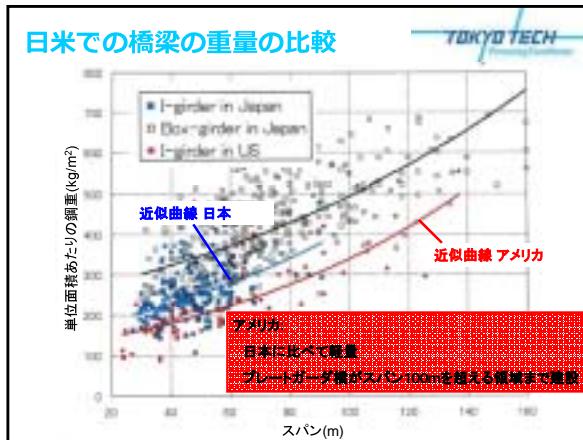
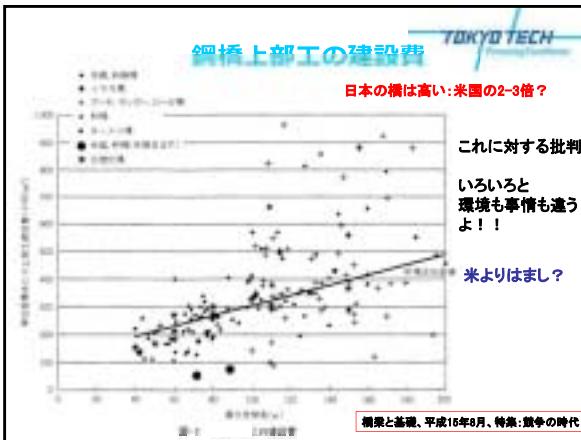
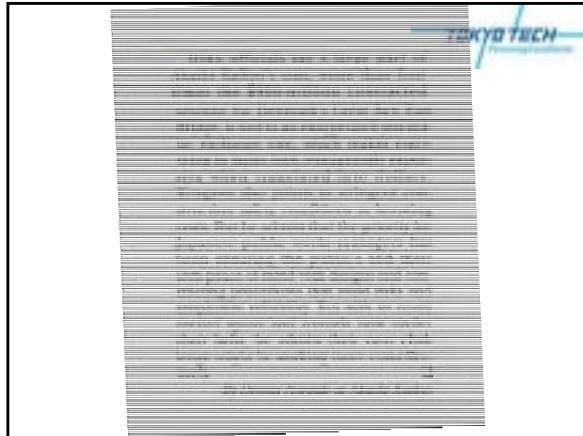
当時、この記事に対して様々な批判や反論もあったが、読み直してみると重要であり、真摯に受け止めるべきことを多く含んでいる。

Makoto Kitagawa says engineers at Japan's Honshu-Shikoku Bridge Authority "didn't want to challenge the gods" in adding 10 meters to make the length of the Akashi Kaikyo Bridge's main span an even six kilometers. HSKA has still managed to challenge almost every aspect of bridge design and construction in building 14 major bridges on three main islands that span 1,600 kilometers across Japan's Inland Sea. The authority's collection of spans includes the 1,480-m-long Tatara Bridge; it will have a record-length 1,990-m cable-stayed span when completed in 1999. But Akashi Kaikyo, with its record-length, 1,990-m-long suspended main span, is the group's crown jewel. The \$4.5-billion bridge will be the world's longest and most expensive suspension bridge when completed in 1999.



All basic design decisions were made by the authority, often with the advice of expert committees. But detailed calculations and design drawings were left to the domain of consulting firms brought onto the job.

Following standard public works practice in Japan, construction was split into numerous contracts—two for pier caisson fabrication, two for pier stowork, two for the anchorages, two for the towers, one for the cables and four for the stiffening truss. JISKA does not release individual contract amounts. Despite high winds, typhoons and a devastating earthquake, work has proceeded on schedule and within budget. Toshimi Morita, an IBSA design department manager, credits the smooth progress to an accumulation of experience by contractors on previous IBSA projects.



TOKYO TECH 東京港臨海大橋での技術的試み 性能の確保とコスト縮減

計画時点でのコスト：
同規模の諸外国の橋梁に比べて2倍近いとの判断

- BHS鋼材の採用
- LRFDによる設計
- 3D骨組みシェル構造解析に基づく構造合理化：
→箱桁とトラスの合成化
- 3D動的解析：免震構造
- FEMベースの構造解析
- トラス格点構造・ダイアフラム構造の抜本的見直し
- 鋼床版の構造改善：疲労強度、コスト削減

TOKYO TECH 新しい技術 その1：橋梁用高性能鋼材BHS 初めてのJIS規格橋梁用鋼材

TOKYO TECH 橋梁用高性能鋼材BHSの開発コンセプト

- 我が国鉄鋼製造技術の進歩を反映した橋梁用途の競争力ある高性能鋼材を開発する
- 最新の熱加工制御技術（TMCP）を活用し結晶粒を細粒化して高強度・高じん性、高溶接性を実現する
- 橋梁の製作・設計での経済性の高い、国際的にも競争力ある鉄鋼材料とその活用により鋼構造の発展に寄与する

TOKYO TECH 鉄や鋼の結晶組織の変遷

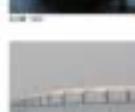
鍛鉄
1882



造塊法による鋼材
1925



溶接構造用圧延鋼材
1994



最新のTMCP鋼



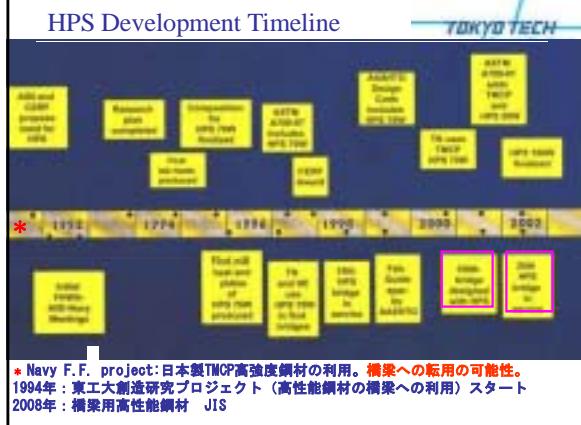
HPS in USA

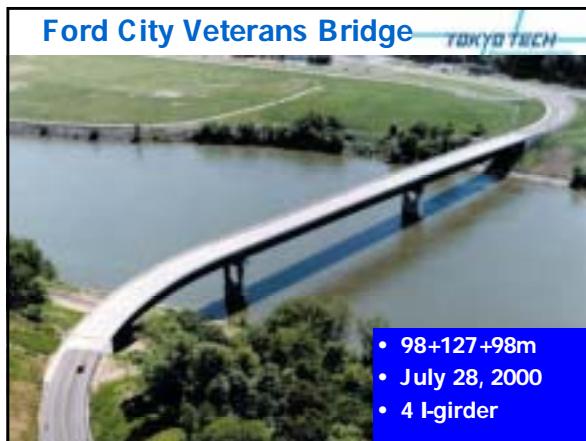
米国での鋼橋のシェア拡大のKey Technology
開発は日米同時期に始まった
きっかけは日本が提供したTMCPの高強度鋼
海軍の軍艦用——> 橋への適用

インフラの荒廃への認識と21世紀に向けての基盤整備
High-Performance Construction Materials and Systems
Building an Infrastructure for the 21st Century

官主導型の連携：SEEDSは官から

HPS Development Timeline

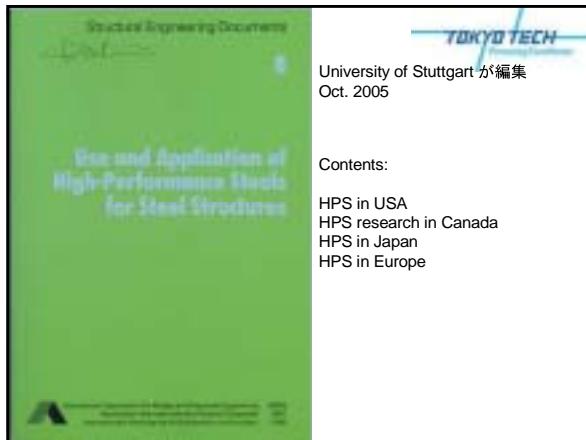




国際的な橋梁用高性能鋼の開発競争環境

橋梁用高性能鋼の開発は世界各地域で進行中（国際競争環境）
 我が国高性能鋼材BHSに比較し低グレードながら、米国では新設橋梁で圧倒的なシェア、韓国でも鋼材開発済みで実橋展開中
 日本の高性能鋼材BHSは、橋梁の要求性能に対して優れた鋼材性能のバランス、優れた溶接性、加工性など国際的にも橋梁用鋼材として最先端の技術

		Y(P)M a)	TS	P _{CMP}	Ceq	シャルビー (J)
米国	HPS345W	345	485		0.5	48 (-20°C)
	HPS485W	485	585-760		0.5	48 (-20°C)
	HPS690W	690	780-930		0.6	
日本	SBHS500(W)	500	570~720	≤0.2		100 (-5°C)
	SBHS700(W)	700	780~930	≤0.3 (0.32°)		100 (-40°C)
韓国	HSB500(L,W)	380	500	0.2(0.22)	0.40(W0.47)	47 (-5°C)
	HSB600(L,W)	450	600	0.2(0.22)	0.42(W0.47)	47 (-5°C)
	SM570		570			



SBHSの特長・規格

高強度と加工性・溶接性をTMCP技術適用により両立させた高性能高張力鋼材

○従来鋼よりも降伏強度を向上
 • 570N/mm²級(SBHS500,500W):降伏強度9~19%アップ (+40~80N/mm²)
 • 780N/mm²級(SBHS700,700W):ほぼ同等 (+15~35N/mm²)

○加工性・溶接性が従来鋼よりも優れ、予熱省略・予熱温度低減が可能
 • 570N/mm²級(SBHS500,500W):予熱不要
 • 780N/mm²級(SBHS700,700W):予熱温度低減 (100~120°C⇒50°C)

→ 鋼重削減および施工コスト低減への寄与大

橋梁用高降伏点鋼板 2008年 JIS G 3140 制定

2段階の強度の鋼材規格で構成。降伏点は500N/mm², 700 N/mm²と。
 従来鋼の降伏点420~460N/mm²(JIS G 3106 SM570)と比較して大幅に強度アップ

SBHS 鋼の降伏点または耐力、引張強さ、シャルビー吸収エネルギー

種類の記号	鋼板の厚さ mm	降伏点又は耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	シャルビー吸収エネルギー J
SBHS500 SBHS500W	6≤t≤100	500 以上	570~720	100 @-5°C *
SBHS700 SBHS700W	6≤t≤75	700 以上	780~930	100 @-40°C *

* V ノッチ圧延直角方向

我が国橋梁用鋼材のJIS制定として40年ぶり
(1968年 JISG3114溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材以来)

BHS鋼の溶接割れ感受性組成、予熱条件と適用可能な溶接入熱

種類の記号	鋼板の厚さ mm	P _{CM}	予熱条件	溶接入熱 kJ/mm
SBHS500 SBHS500W	6≤t≤100	0.20	予熱なし	10
SBHS700 SBHS700W	6≤t≤50 50<t≤75	0.30 0.32	50°C	5

BHS鋼の溶接材料規格の整備(JIS改正)

溶接種類	新JIS	既存	IBJIS
軟鋼、高張力鋼及び低溫用鋼用 接着アーチ溶接棒	JIS Z 3211	2008年12月20日発行	Z3211.Z3212.Z3214
軟鋼、高張力鋼及び低溫用鋼用 ワイヤ溶接及び溶接用ワイヤ	JIS Z 3312	2009年 2月20日発行	Z3312.Z3325
軟鋼、高張力鋼及び低溫用鋼 溶接用ワイヤ(リサイクルワイヤ)	JIS Z 3313	2009年 2月20日発行	Z3313
ワイヤ溶接用ワイヤ (耐候性鋼用)	-	改訂中	Z3351
耐候性鋼用 (被覆ワイヤ溶接棒・フックス入りワイヤ・ソリッドワイヤ)	-	検討中	Z3214.Z3320.Z3315

日本でのBHSの展開における課題

公共事業に対する強いcost savingの意識と競争的環境

米国では up to 28% weight saving and 18% cost savingを売りとしている。
市場の開拓。FHWAの大きな研究開発支援と、AISI, NSBA, AASHTOの強い連携。健全なインフラ作り。

日本では無くなりかかっていた鋼橋のシェアを回復するとの危機感。そのため鋼橋はTotalには社会にとって得であるとの説明。競争的環境がそうさせた。

日本では米国のような環境はない。
材料・製作・架設・維持管理、トータルにMin.とする概念の欠如。技術および価格での競争のない世界。そのようなことをやってどうするの?
だれの得になるの?



**橋梁用高性能鋼BHSの実用化
BHS鋼の使用と適用効果**

BHS鋼の使用箇所(赤色部材)

BHS鋼の使用量

主橋梁部のBHS500の使用量:約1万t (全体鋼重の約50%)

側径筒等 約7千t

国土交通省公表:
鋼材重量(全体鋼重)で3%、施工効率化を含むトータルコスト
12%の工費削減効果

鋼重削減による環境負荷低減
(鉄1トンあたりCO₂排出1.653トン)

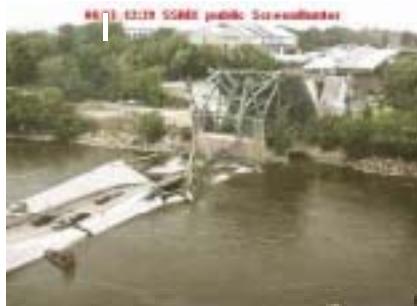
BHS鋼材・LRFDを採用した効果		
	鋼量比	
	許容応力度法 LRF	
従来鋼材	1.00	---
BHS鋼材	0.97 (1.00)	0.84 (0.87)

構造面の新技術その1 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)
 $t=20 \times (P/A)$
2. トラスはピン結合と仮定。実際は?
そのため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アフラムの配置
局部応力の低減
3. 溶接構造のガセット——>孔引きなし。
施工性を考えた内面ダイアフラムの配置: 部材軸の偏芯
局部応力の低減

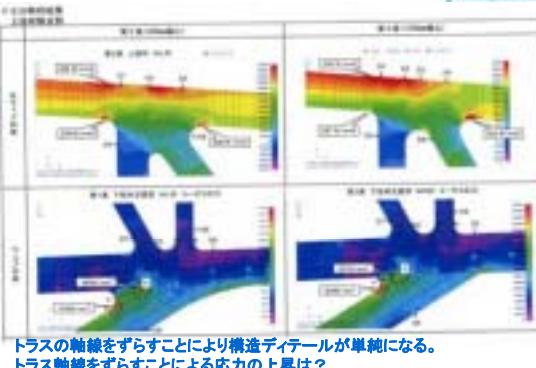
そもそもガセットの概念は?
本四の与島、番の州での経験 (検討したが間に合わなかった) 反省?

I-35W over the Mississippi River
ミネアポリス, USA, Aug. 1, 2007. 6:00p.m.
ガセットが問題: 外当てガセット



Open: 1967
8 lanes
140000-
200000/day

ピン結ではなく剛結
ラーメンとトラスの差は?



ダイアフラムと遷移部の形状の工夫で格点部の応力集中を
軽減することから格点部で板厚の増加を不要とする。
全溶接格点構造の実現: ボルトの孔引きなし。



図-2.2.10.20 トラス先端熱点 応力コンター図 (ヒーゼス応力の割合)

構造面の新技術その2 FEMベースの構造設計

- 中間ダイアフラム：無視できない重量になる
- プラケットの設計
- 橋脚柱頭部の設計

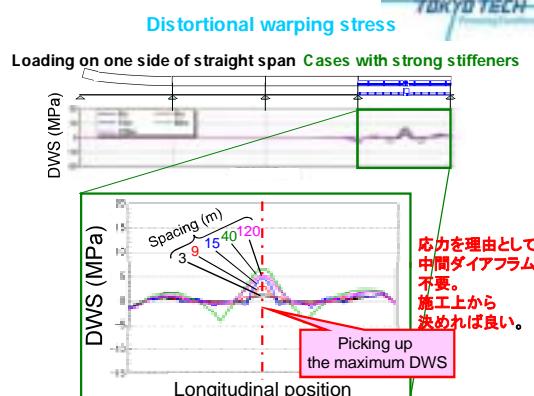
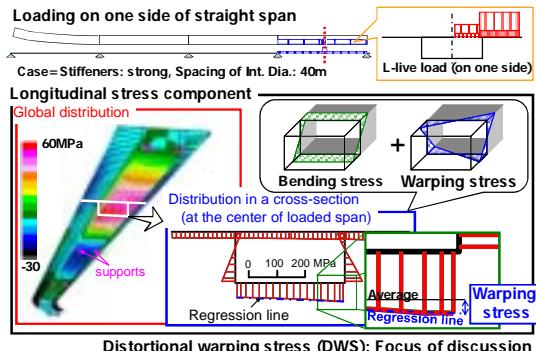
中間ダイアフラム：新しい形式の対傾構

従来から用いているビームアノロジー理論等によると、断面剛性が高いほど間隔狭くなり、板厚が厚くなる。新しく全体モデル化した立体FEMで合理的なトラス式を用いた。全体の5%程度のコスト評価。対傾構は@12m、船直捕剛は@3m。



海上アプローチ；鋼床版箱けた：地組立て状況

Stress distribution

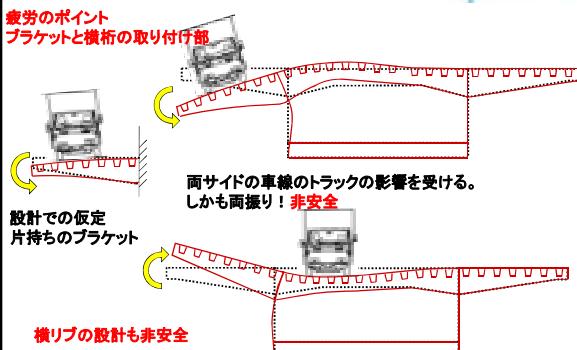


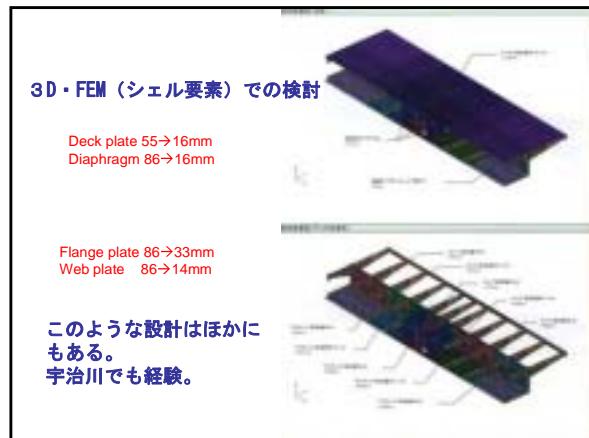
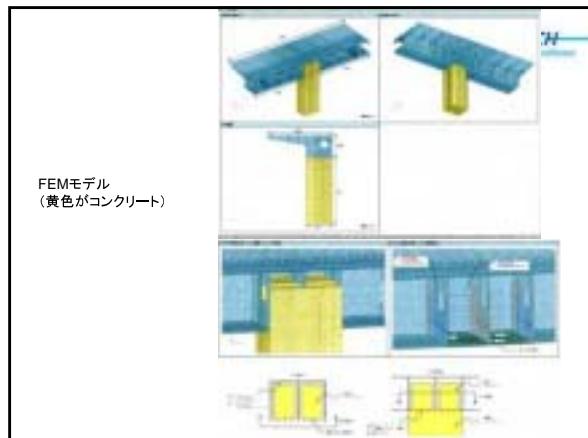
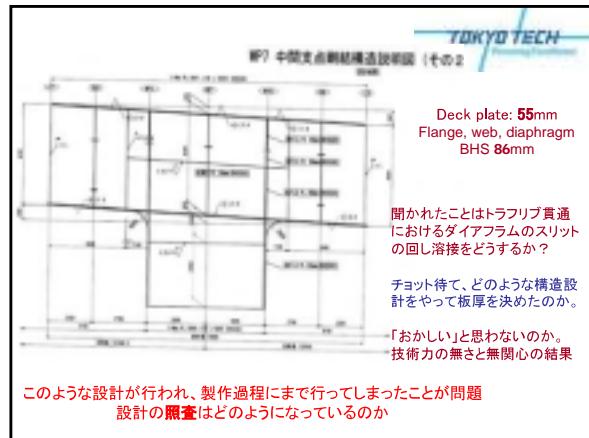
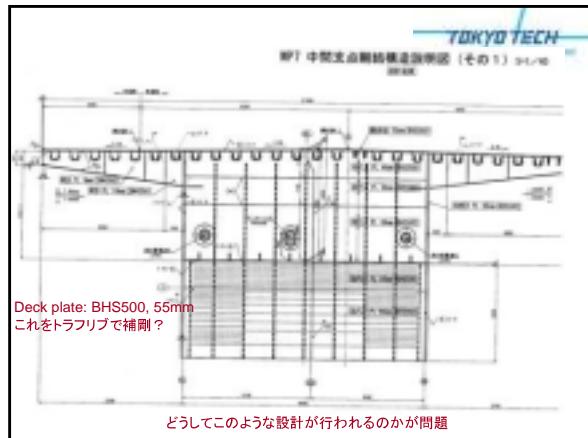
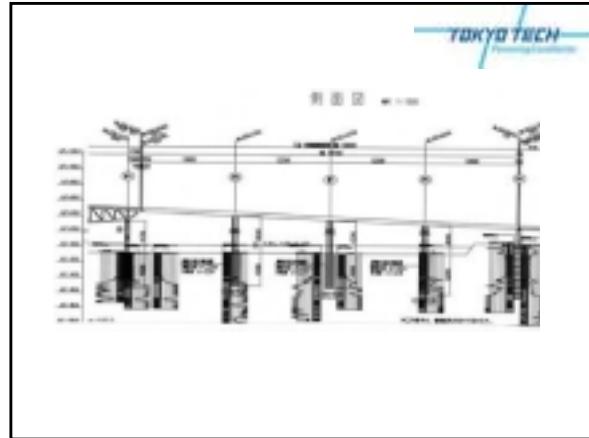
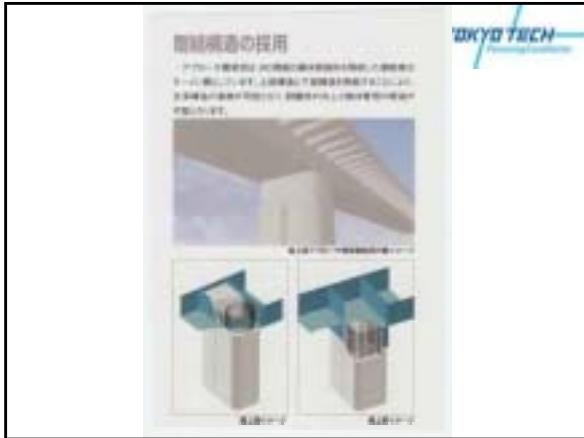
中間ダイアフラム（対傾構）の設計

- 中間ダイアフラム：構造的には必要性低い。
- ダイアフラムの間隔は12mピッチとする。
 - 横リブの間隔は3m
 - 製作時・仮設時の形状保持が必要
- 必要に応じて3D FEMシェル解析でそれぞれ応力を照査

大きな鋼重減の実現

設計での構造単純化は重要な応力や変形の挙動を見落とす





耐疲労性の高い鋼床版

- デッキプレートの板厚を従来の12mmから16mmへ増厚、
- トラフリブの形状寸法、トラフリブと横リブとの交差構造など見直し



鋼床版の歴史

- 1930s
- "Battle deck"
- 1950s
(after World War II)
ドイツで鋼床版が広く使われる
- 1960s
- Severn Bridge

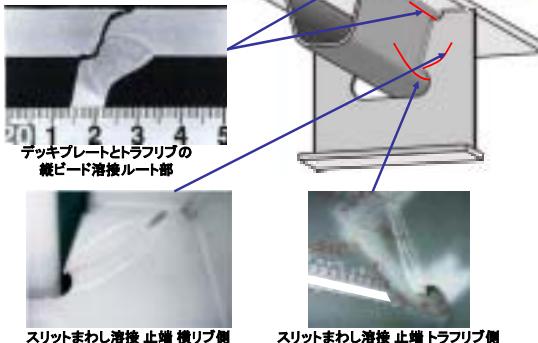
1966供用開始
1971疲労き裂発見

TRRL レポート by Tim Gurney

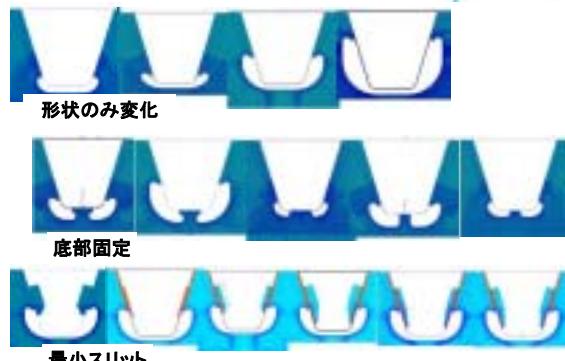


Severn Bridge
鋼床版の疲労き裂検討のはじまり
日本が最大の実績(首都高速、阪神高速)

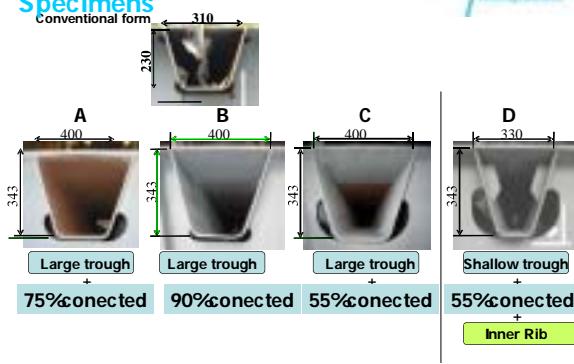
検討対象 疲労き裂



検討された形状一覧



Geometrical Features of Specimens



最終形状

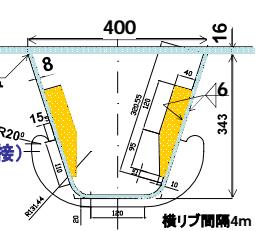
静的試験・疲労試験によりFEM検討結果の妥当性が確認された。
提案する鋼床版形状が高い疲労強度を有することが判明した。

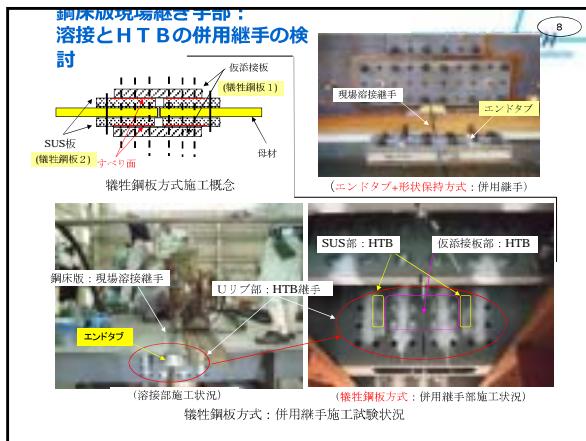
デッキPLとトラフリブの溶接に発生する疲労き裂に対して

16mmデッキPL厚
400mmトラフ幅
75%溶け込み

スリット周囲に発生する
疲労き裂に対して

スリット接合部丸め型(すみ肉溶接)
適切な内リブを導入



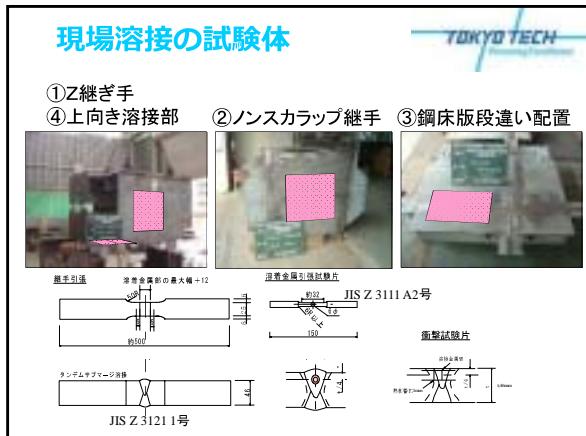


BHS採用にともなう溶接品質試験

溶接施工試験：道路橋示方書
BHS鋼材と現場溶接材料とのマッチング確認

特殊な継ぎ手部

- ① Z継ぎ手の試験体(溶接姿勢V)
- ② ノンスカラップ継手の試験体(溶接姿勢H, V)
- ③ 鋼床版の段違い配置溶接試験体(GMAW+SAW)
- ④ 上向き溶接部 試験体(溶接姿勢O)



溶接構造施工性確認試験 特殊な構造を対象

溶接手順、溶接による収縮・変形、溶け込み量の確認、把握

- ① Z継ぎ手部
- ② ノンスカラップ継手部（鉛直材、斜材）
- ③ 鋼床版の段違い配置溶接部
- ④ コンバクト格点
- ⑤ Uリブ縦方向溶接部（75%溶け込み）
- ⑥ その他
 - ・板組変化部
 - ・密閉マンホール溶接部
 - ・主構力セット溶接部
 - ・Uリブ端部など

