

第1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～

講演題目

○坂井藤一氏：

「橋梁等構造物の解析・設計・施工に関する新技術開発」

○小川篤生氏：

「高速道路橋に関する技術開発の歴史と現状～（鋼橋を中心として）～」

2013年10月29日

土木学会講堂

橋梁等構造物の解析・設計・施工 に関する新技術開発 (個人的な経験を通じて)

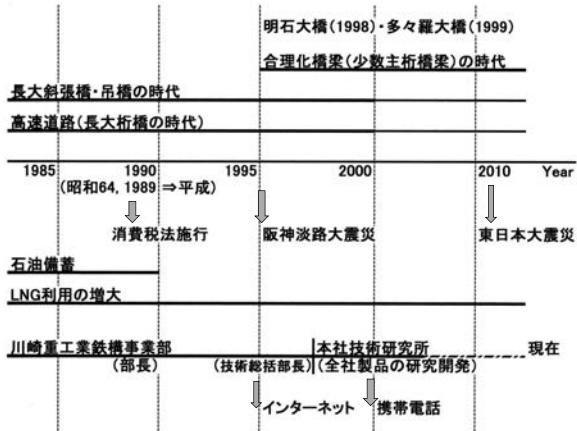
社会基盤施設の継承技術に関する講習会
於 土木学会 平成25年10月29日

坂井藤一 (FS技術事務所)

時代の変遷と私個人の係り(1)



時代の変遷と私個人の係り(2)



技術・研究開発の内容

- 箱桁橋等の薄肉立体構造物の数値解析と設計法の研究
- 流体・構造連成問題に関する有限要素法の基礎理論と応用に関する研究
- 液体タンクの耐震設計法に関する研究と開発
- 確率有限要素法による吊形式橋梁の架設精度管理システムの開発
- 新形式制振・免震デバイスに関する研究と開発
- 少数主析構梁の技術開発と実用化
- 橋梁・タンクへの長周期地震動の影響に関する研究

日本における有限要素法の初期発展

有限要素法(Finite Element Method)の誕生

- 1956 Martin, Turner, Topp & Cloughの論文
- 航空工学⇒土木工学他の多分野に普及
- 1967 Zienkiewicz & Chueng: The Finite Element Method
- 1967 JSSCの中に構造解析小委員会(STAN)が設立
- 鷲津(航空)、川井、山本(造船)、山田、宮本(機械)をリーダーとして、土木・建築等各工学分野の学・官・民から多数のメンバーが参加
- 大学院生も多く参加。他分野の指導者、および同世代の若手と交流を持つことができ、一生の財産になった。

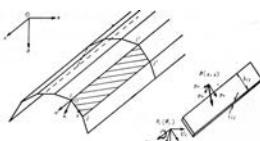
⇒日本計算工学会 業績賞を受賞(2010)

1. 箱桁橋等の薄肉立体構造物の数値解析法と設計法の研究(1968-1980)

- 薄肉立体構造物の解析法として、有限帶板法を開発
坂井・奥村：“薄肉平板よりなる立体的構造物の静力学的解析に関する一方法とその応用”、土論-176、1970
(論文奨励賞受賞)
- 箱桁中間ダイアフラムの挙動解明と実用設計法開発
坂井・長井：“鋼箱桁橋の中間ダイアフラム設計法に関する一試案”、土論-260、1977 (田中賞論文受賞)
- 曲線・並列各種箱桁橋の断面変形と中間ダイアフラムの効果に関する研究
坂井・長井・佐野：“ブロック有限要素法による薄肉箱桁の立体解析”、土論-255、1976
他多数

梁理論の高度化

- 曲げ理論(Galilei, Euler)
- 捩り理論(Bredt)
- 薄肉梁の反り捩り理論(Wagner)
- ビーム・シェルの理論(Vlasov)
- 折板構造⇒有限帶板法(Finite Strip Method)
* Y. K. Cheungの命名



面内・面外応力問題を扱う立体構造の解析

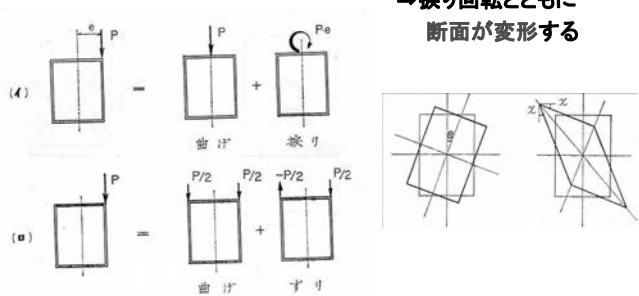
- 板と殻の有限要素法

鋼箱桁における中間ダイアフラムの問題

偏心荷重が作用する箱桁

- (イ) 断面が剛の場合
(ロ) 断面が剛でない場合

ずり荷重により何が起こるか
⇒ 捶り回転とともに
断面が変形する



断面変形性状と中間ダイアフラムの効果

矩形断面桁での解析と実験(坂井・奥村 1971)

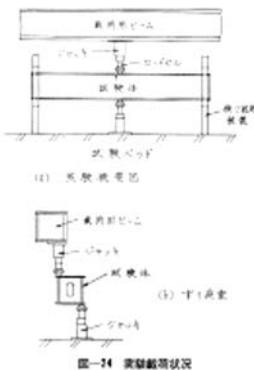


図-4 実験載荷状況

図-5 变位の比較

中間ダイアフラムの実用設計式

平板の曲げ作用を無視
⇒ Beam Analogy

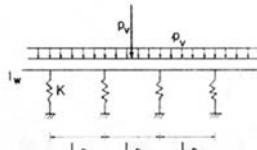


Fig. 4 Beam Analogy

ダイアフラムの配置間隔・剛度・応力算定法を提案
⇒ 設計便覧に採用

ダイアフラム・対傾構の間隔 L_D は次式を満足するように決めるのがよい。
(1) $L_w < 60\text{ m}$, $L_D \leq 6(\text{m})$
(2) $L_w \geq 60\text{ m}$, $L_D \leq 0.14L_w - 2.4(\text{m})$
ただし, $L_D \leq 20(\text{m})$ (39a, b)

ダイアフラム・対傾構の剛性 K は次の式を満足するように決めるのがよい。
 $\frac{KL_D^3}{EI_w} \geq 30$ (44)
ここで, L_D はダイアフラム間隔, EI_w は軸の断面変形に関する剛性である。
ただし, 梱形式については許容せん断応力 τ_s に対して次式の限界以上とする。 $\sqrt{\tau_s/\tau_0} \leq 1$ より小さいときはこれを抵減係数としてよい。

2. 流体・構造連成問題に関する有限要素法の基礎理論と応用に関する研究(1973-1980)

1) 海洋波動問題への有限要素法適用に関する研究

坂井・月岡：“波動解析への有限要素法の適用－湾水振動の解析”，海岸工学論文集-21、1974 他

2) 有限要素法の基礎理論に関する研究

坂井：“力学における変分原理の一般化について”，土論-249、1976

3) 上記理論の流体・構造連成問題への応用

坂井・迫田・岡田：“有限要素法による大型液体タンクの地震応答解析”，川崎重工技報-59, 61, 1975, 1976 他

台形断面桁では？

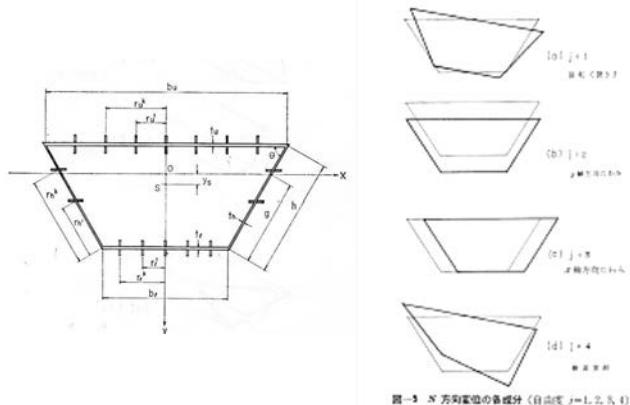
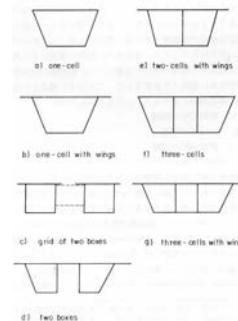


図-5 N 方向変位の各成分(自由度 j=1, 2, 3, 4)

一般的な箱桁(曲線桁も含む) ⇒ ブロック有限要素法の開発

いろいろな形状の箱桁



ブロック有限要素

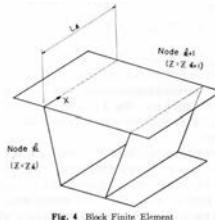
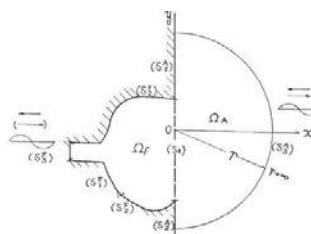


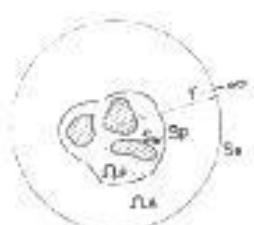
Fig. 4 Block Finite Element

波動問題への有限要素法適用に関する研究

例:津波問題



例:構造物周辺の波



大船渡湾の津波解析

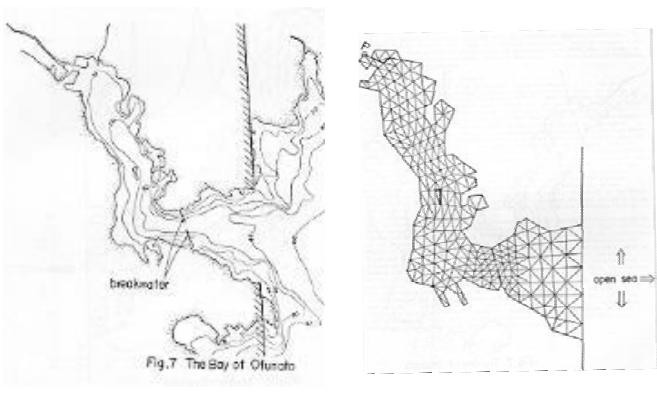


Fig. 7 The Bay of Ofunato

湾奥の波高増幅率

△--- model A, without breakwater
○--- model B,

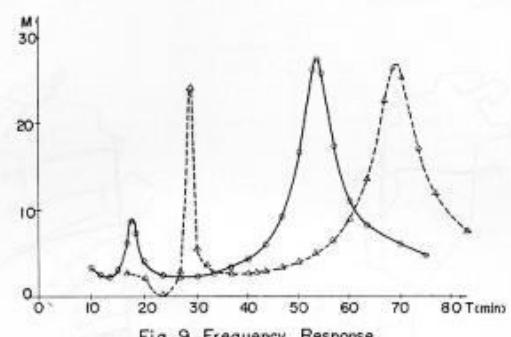
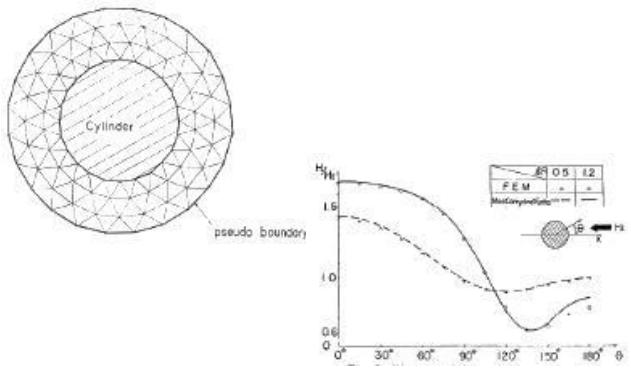
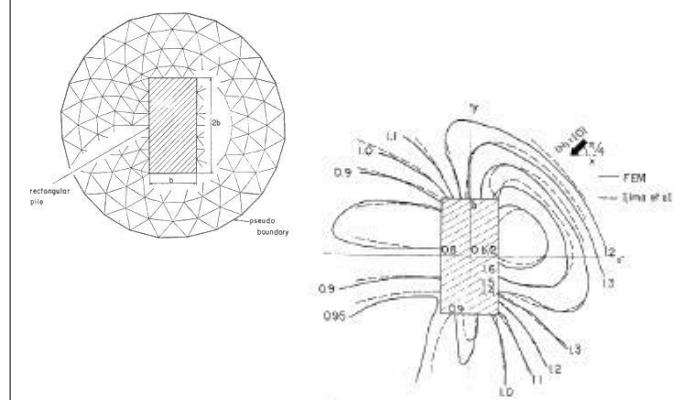


Fig. 9 Frequency Response

円状構造物周辺の波



矩形構造物周辺の波



有限要素法の基礎理論に関する研究

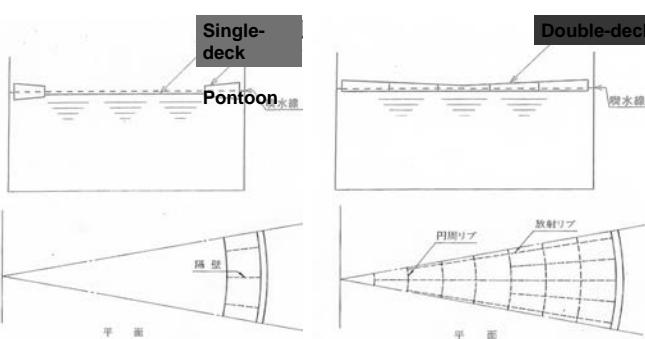
- ・有限帯板法の開発に際し、重み付き残差法を使用 1970
重み付き残差法: Galerkin法、最小二乗法、…
- 最小二乗法をベースに変分原理を一般化 1976
- ・エネルギー原理は最小二乗法の特別な場合である。
Hookeの法則 $\sigma = E \cdot \epsilon \Rightarrow \sigma / \sqrt{E} = \sqrt{E} \cdot \epsilon$ から
 $J(\sigma, \epsilon) = \int_V (\sigma / \sqrt{E} - \sqrt{E} \cdot \epsilon)^2 dV$ を考えてみると、
 $J(\sigma, \epsilon)/2 = P(\epsilon) - C(\sigma)$ となる。
ここで、 $P(\epsilon)$: ポテンシャルエネルギー
 $C(\sigma)$: コンプリメンタリーエネルギー
- ・最小二乗法以外に、停留二乗法も成立する場合がある。
例: 波動・振動問題 $J = A_1(x_1 - y_1)^2 - A_2(x_2 - y_2)^2$

3. 液体タンクの耐震設計法に関する研究と開発(1975-1991)

- 1) 大型液体タンクの短周期応答(バルジング)の解明
坂井・迫田: “大型液体タンクの地震応答に関する研究”, 日本地震工学シンポジウム-5, 1975 他
- 2) 石油タンク・LNGタンク等のバルジングとスロッシングを考慮した実用耐震設計式の開発
坂井: “円筒形液体タンクの耐震設計法に関する二、三の提案”, 圧力技術-18-4, 1980 他
- 3) 浮屋根式石油タンクのスロッシング挙動の解析
Sakai, Nishimura & Ogawa: “Sloshing Behavior of Floating-roofed Oil Storage Tanks”, Computers & Structures-19-1, 1984
- 4) 坂井・磯江: “大型相似模型による円筒貯槽の地震浮き上り挙動に関する研究”, 土論-432-16, 1991

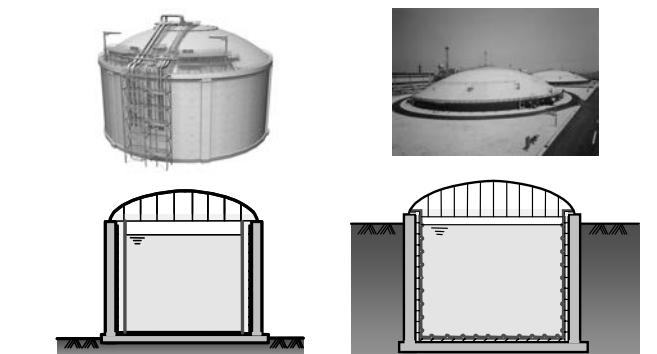
石油貯槽(鋼製・固定屋根式・浮屋根式)

- ・屋外貯蔵所: 約10万
特定屋外貯槽: 1,000kl以上(約10,000基)
10,000kl以上(約3,000基)



LNG/LPG 貯槽

地上式(2重殻=鋼+鋼/PC) 地下式(メンブレン+PC)

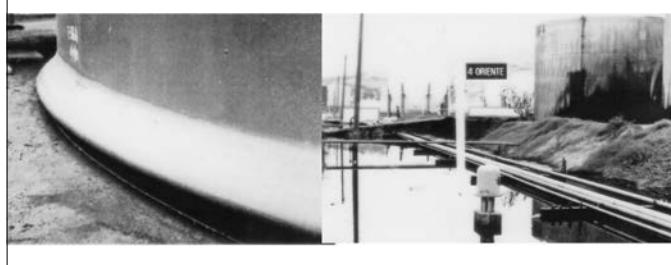


その他のタンク

- 上水道/下水道施設
地上式(鋼製・PC製・RC製・FRP製)
地下式(RC製・鋼製)
- 横置/縦置小型貯槽
- 原子力圧力容器
・福島汚染水タンク

Elephant Foot Bulge 象の足型座屈

→底部破壊による石油の大量流失
1985 Santiago, Chile Earthquake (M=7.7)

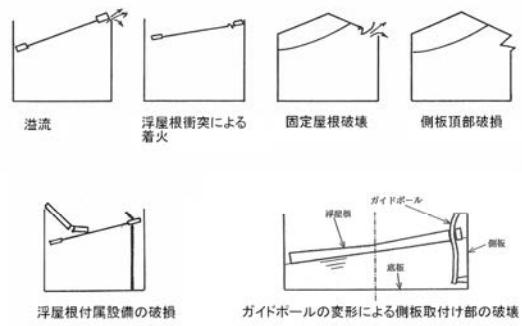


EFBとダイアモンド座屈

1995 兵庫県南部地震



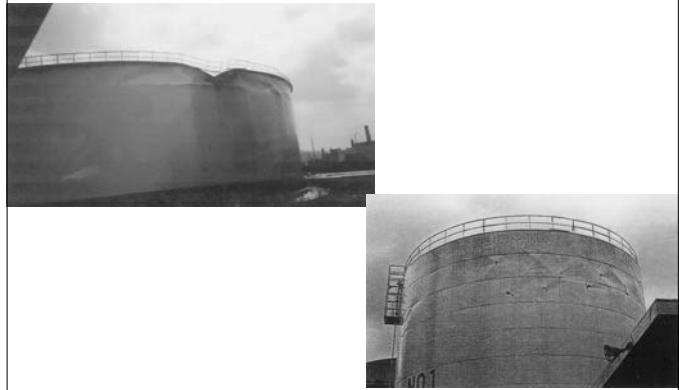
長周期地震動によるスロッシング応答の被害



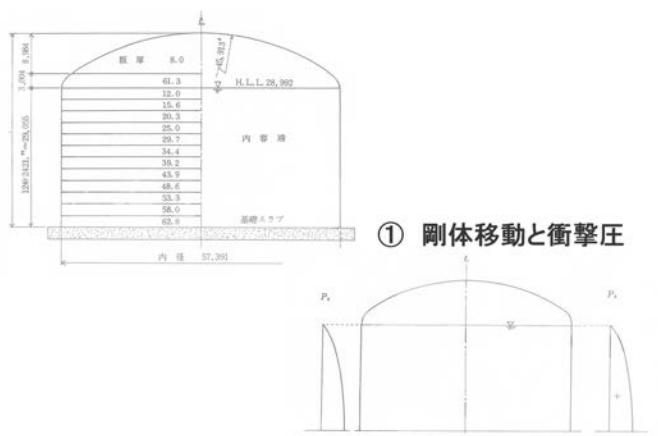
長周期地震動によるスロッシング応答の被害



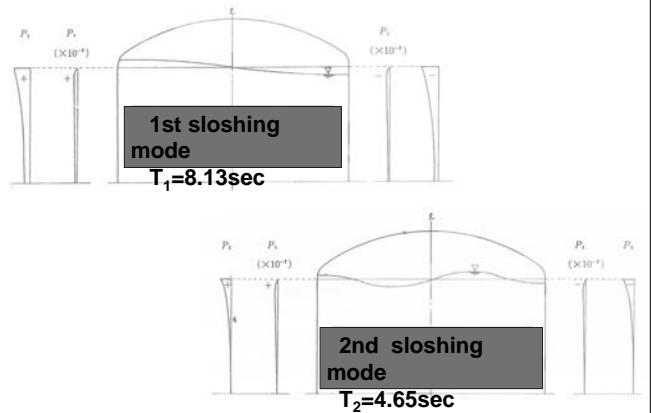
長周期地震動によるスロッシング応答の被害



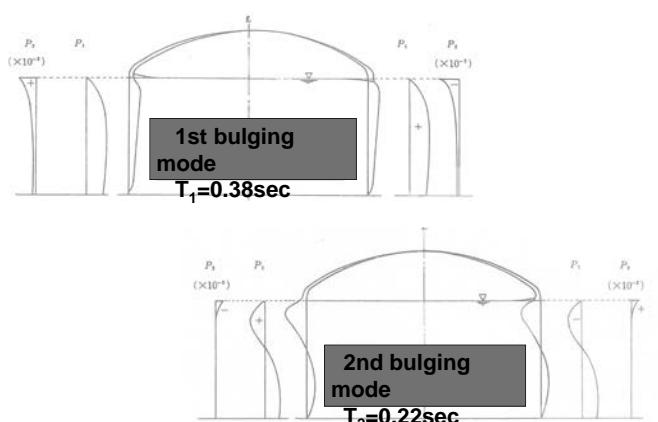
有限要素法による液体タンクの振動解析



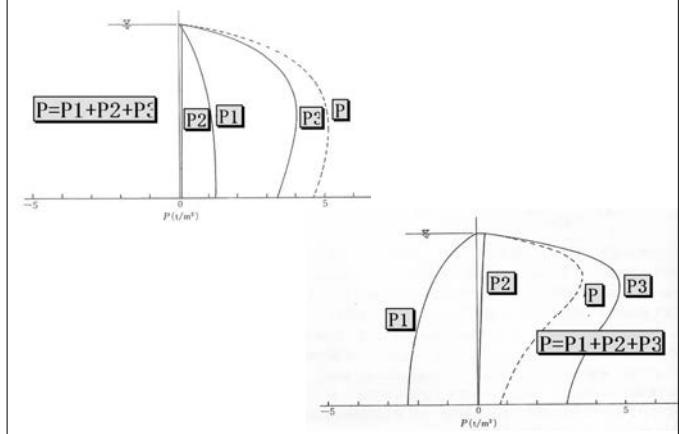
② 液面搖動(スロッシング)と振動圧



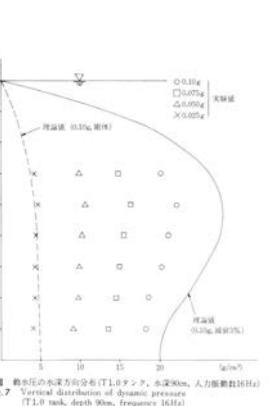
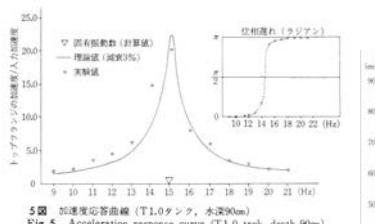
③ 流力弾性振動と変形圧(バルジング)



地震応答解析 (1968 十勝沖地震八戸波)



模型振動実験による確認



バルジング固有周期の簡易式 (1979)

$$T_b = \frac{2}{\lambda} \sqrt{\frac{W}{\pi g E t_{1/3}}}$$

$$\lambda = 0.067(H/D)^2 - 0.30(H/D) + 0.46$$

W: 内部液体の全重量 (ton)

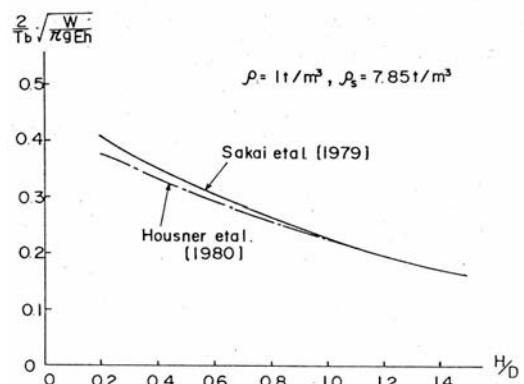
H: 液高さ (m)

D: タンクの内径 (m)

E: タンク材料のヤング率 (kg/mm²)

$t_{1/3}$: 液高さの1/3高さにおける側板板厚 (mm)

バルジング固有周期簡易式の比較



短周期地震動動圧力の簡易算定式

タンク側板に作用する全圧力 P_h

= 衝撃圧 P_{h0} + 変形圧 P_{h1}

$$P_{h0} = \gamma H \times \{\sum_i C_{oi} \times (z/H)\} \times K_0$$

$$P_{h1} = \gamma H \times \{\sum_i C_{1i} \times (z/H)\} \times (K_1 - K_0)$$

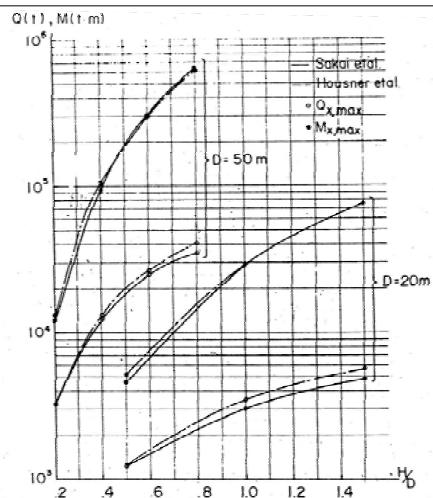
ここで、 γ : 液体比重

C_o ・ C_1 : H および D によって定まる定数

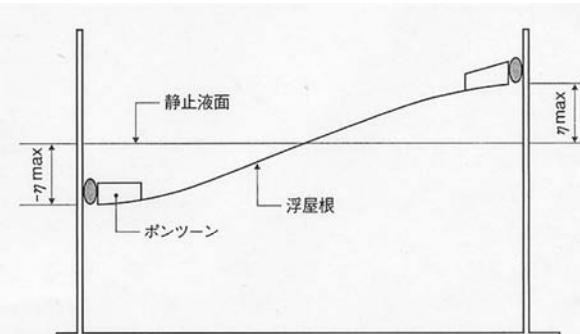
K_0 : 設計水平震度の標準値

$K_1 = v_3 \times K_0$ v_3 はバルジング固有周期に
対応する加速度応答倍率

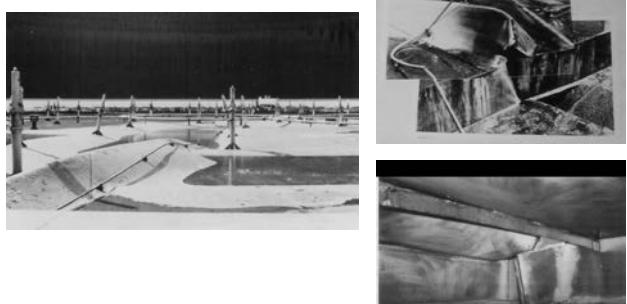
ベースシアー・ 転倒モーメント に関する比較



浮屋根タンクのスロッシング



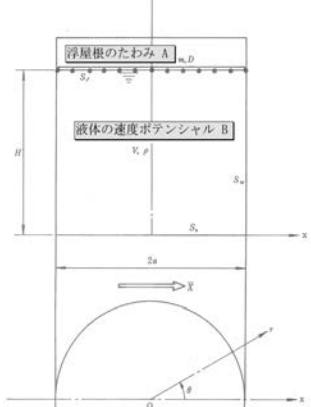
新潟共同備蓄石油タンク浮屋根の座屈 (1983 日本海中部地震)



流体・構造連成問題と してスロッシングを解析

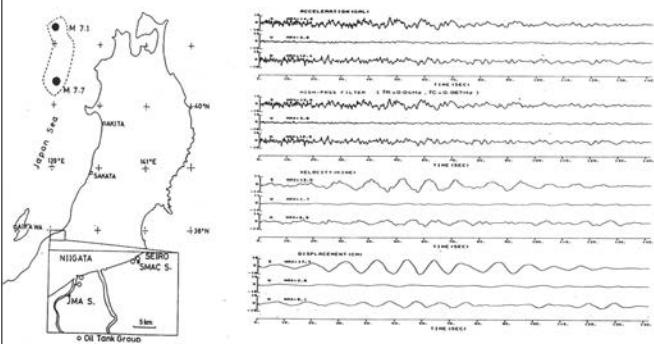
浮屋根式石油貯槽のスロッシング
性状に関する研究」 1980

Sakai, Nishimura & Ogawa:
"Sloshing Behavior of
Floating-roofed Oil Storage
Tanks",
Computers & Structures-19-1,
1984

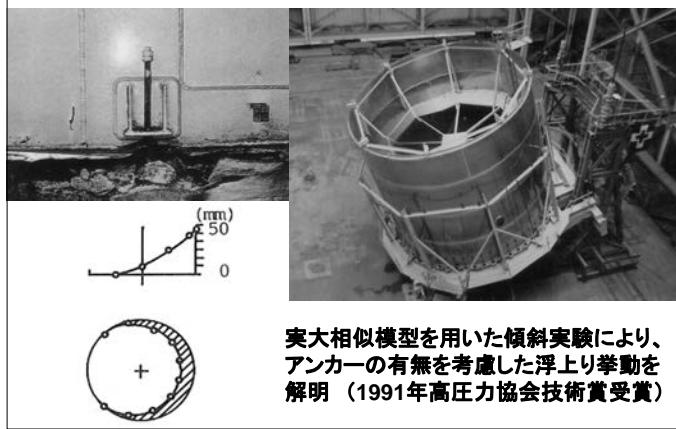


日本海中部地震 新潟東港記録

(工藤, 1989)



地震時浮上り(Up-lift)の問題



実大相似模型を用いた傾斜実験により、
アンカーの有無を考慮した浮上り挙動を
解明（1991年高圧力協会技術賞受賞）

4. 確率有限要素法による吊形式橋梁の架設精度管理システムの開発(1988-1994)

斜張橋・吊橋・ニールセン橋等の吊形式橋梁の現場架設における形状・応力の精度管理業務を、信頼性解析・逆解析・最適制御等の理論を導入し合理化。
東神戸大橋・レインボーブリッジ等多くの橋梁で実用。

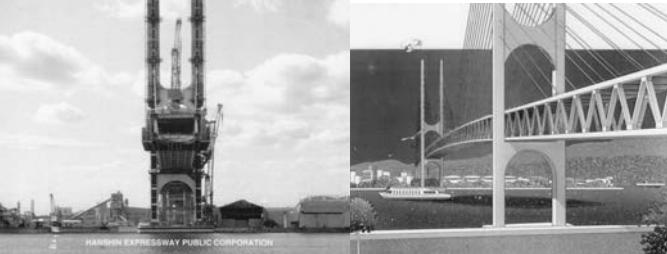
Sakai & Takemura: "Structural Error Identification for Control of Construction Accuracy", ICOSSAR-5, San Francisco, 1989

Sakai, Isono & Umeda: "A New Development of Construction Control System in Cable-Stayed Bridges", Proc. IABSE Symp., Leningrad, 1991 他

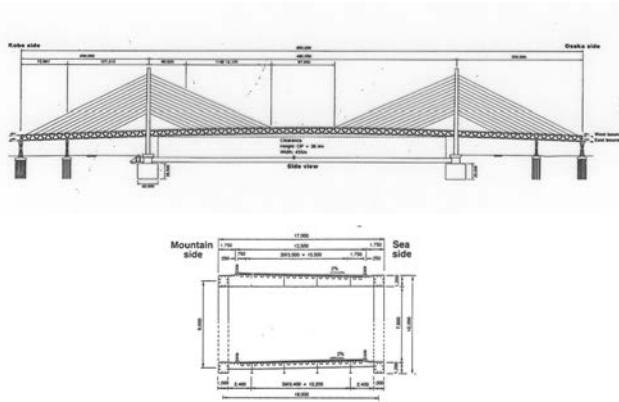
Accuracy Control for Bridge Erection

Higashi-Kobe Bridge

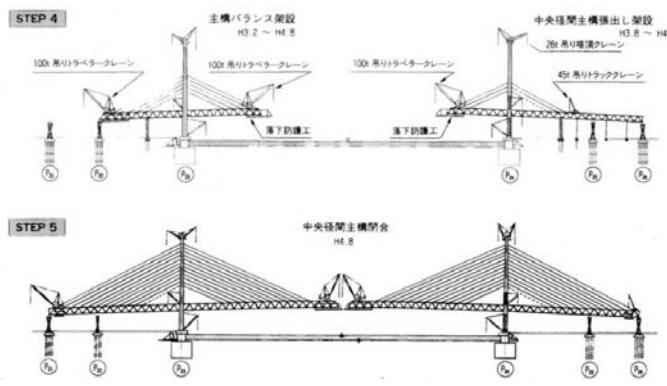
東神戸大橋架設精度管理



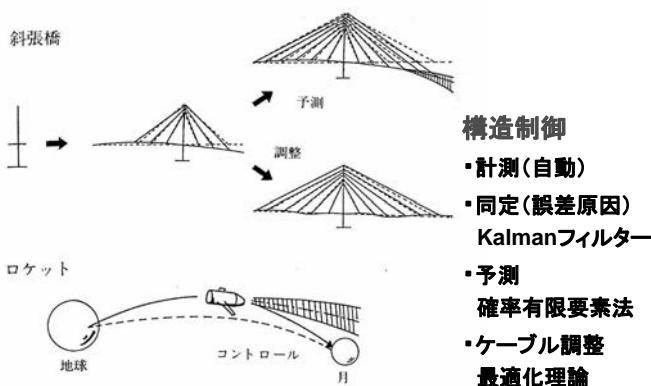
東神戸大橋 一般図



主桁の施工



ケーブル系橋梁の架設管理システム

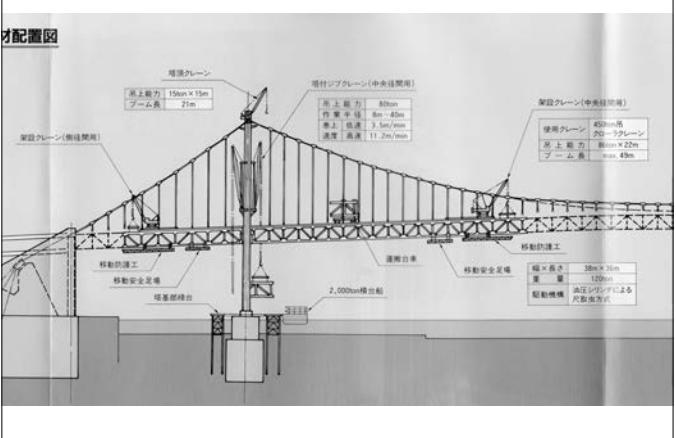


レインボーブリッジ

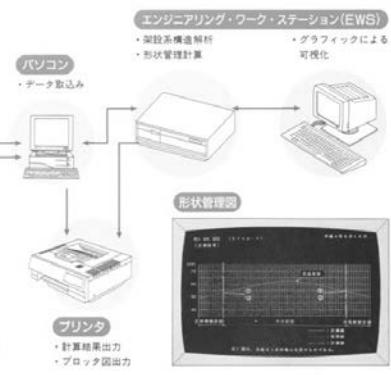


逐次剛結張り出し工法

材配置図



計状管理システム

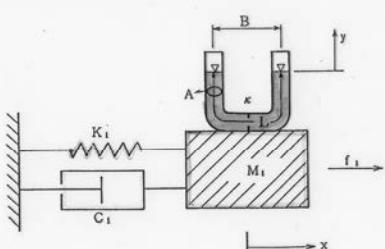


5. 新形式制振・免震デバイスに関する研究開発(1988-1996)

- 1) 液柱管ダンパー(TLCD)の提案と東神戸大橋で実用化
坂井・高枝・玉木：“液柱管ダンパー(Tuned Liquid Column Dampers)の提案—液柱管の振動特性”，土木学会構造工学論文集、Vol.35A、1989 他
- 2) 架設時多種モード用アクティブ制振装置の開発と実用化
玉木・坂井・高枝：“H∞制御理論に基づく橋梁主塔の制振実験”，土木学会振動制御コロキウム-2、1993 他
- 3) 摩擦ダンパー型免震支承の開発研究
玉木・坂井他：“摩擦ダンパー支承を用いた橋梁の免震について”，土木学会免震・制振コロキウム-1、1996 他

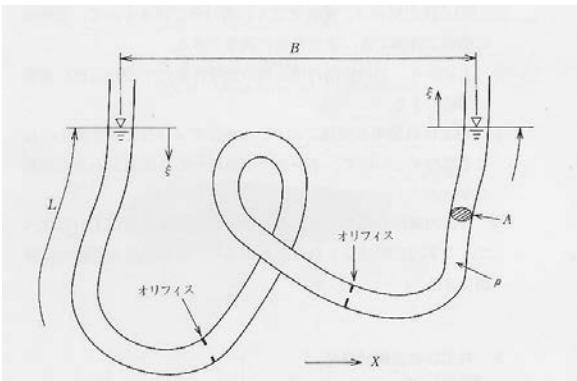
TLCDの基本方程式

$$\begin{bmatrix} M_1 + m + \rho A L & -\rho A B \\ -\rho A B & \rho A L \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & \rho \kappa A |y|/2 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} K_1 & 0 \\ 0 & 2\rho A g \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f \\ 0 \end{Bmatrix}$$

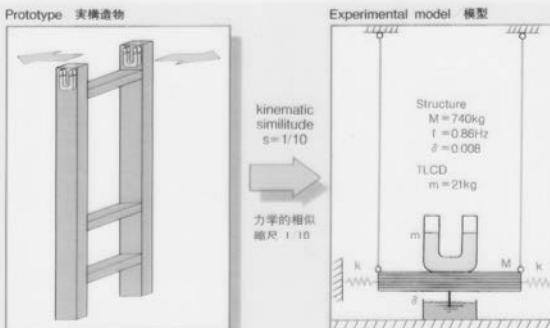


液柱管ダンパーの開発

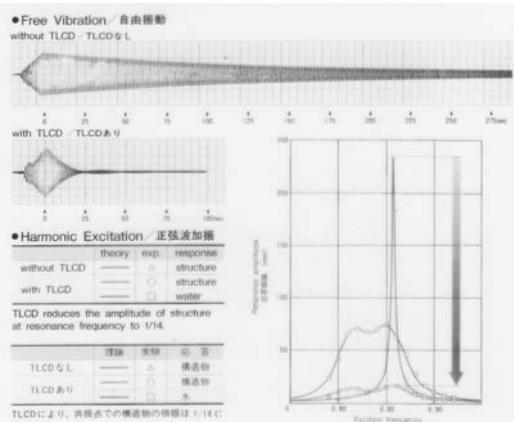
(TLC DT:Tuned Liquid Column Damper)



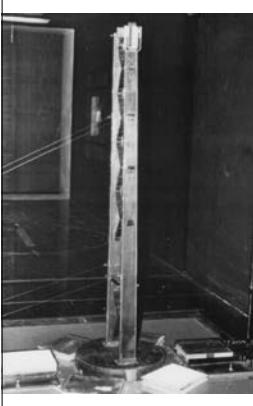
TLCDの相似模型振動実験



相似模型振動実験の結果

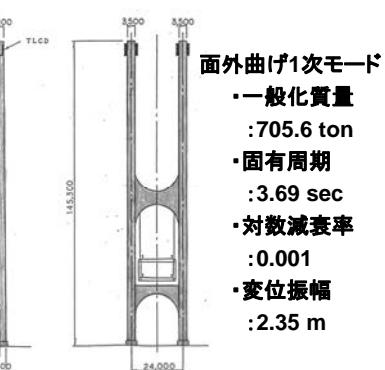


TLCD風洞実験(明石大橋主塔モデル)



| | 自由振動実験による対数減衰率 | 風洞実験による実験換算倍率 |
|----------|----------------|---------------------|
| 非制振時 | 0.009 | 10.2n (V=10.5m/sec) |
| 主塔+容器(空) | 0.013 | 10.0n (V=10.6m/sec) |
| 制振時 | 0.101 | 0.5n (V=10.4m/sec) |

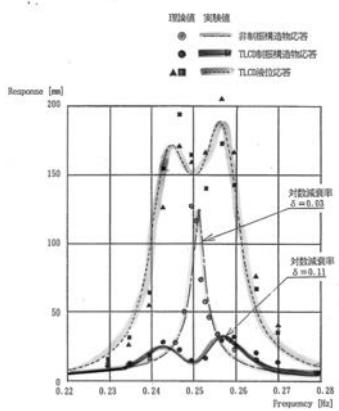
東神戸大橋主塔 架設最終段階



東神戸大橋TLCD



東神戸大橋主塔 定常応答実験



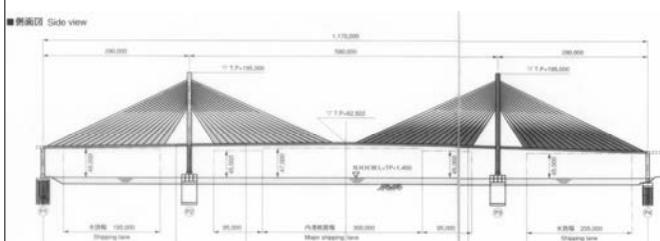
アクティブダンパーの適用 (1) 名港中央大橋西塔

名港中央大橋諸元

| | |
|-------------|-----------------|
| 形式 | 鋼 3 径間 連続斜張橋 |
| 橋長 | 1170 m |
| 主塔 | A型塔 高さ 190 m |
| | 重量 13200 ton |
| 制振対象 モード | 面外曲げ 1 次 |



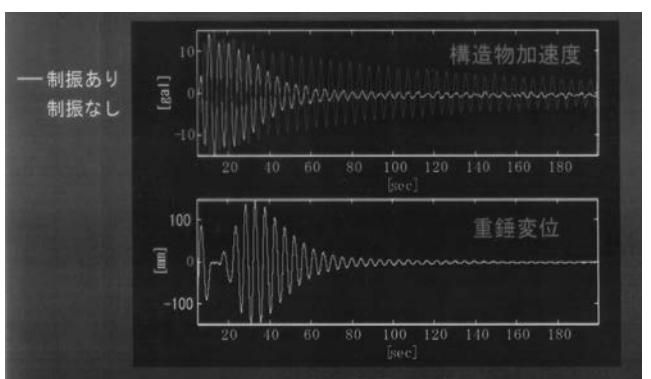
名港中央大橋 一般図



名港中央大橋西塔架設時に搭載



制振効果の確認(名港中央大橋西塔)

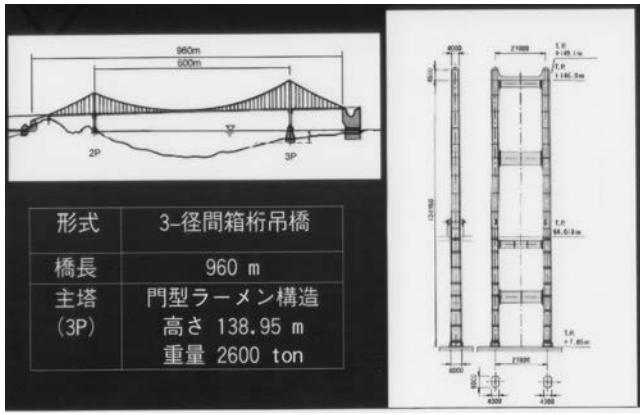


アクティブダンパーの適用 (2) 来島第一大橋主塔

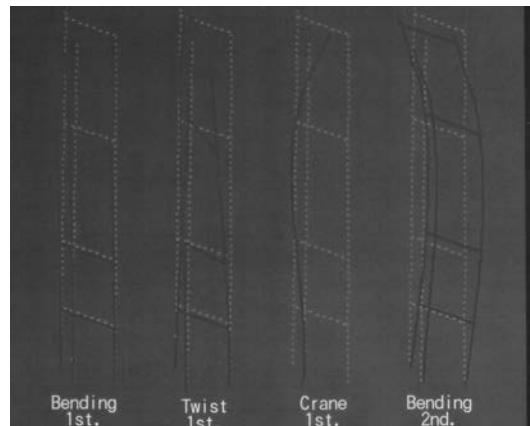
来島大橋



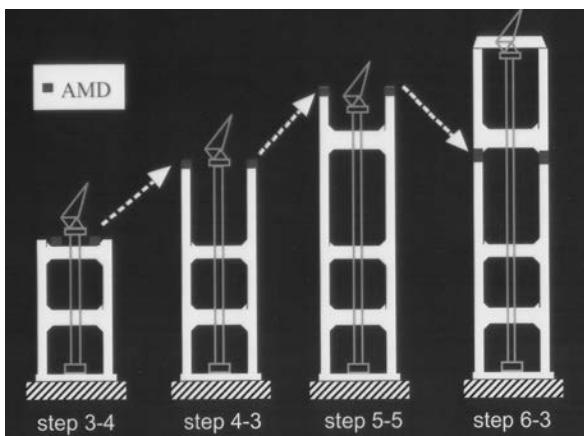
来島第一大橋の諸寸



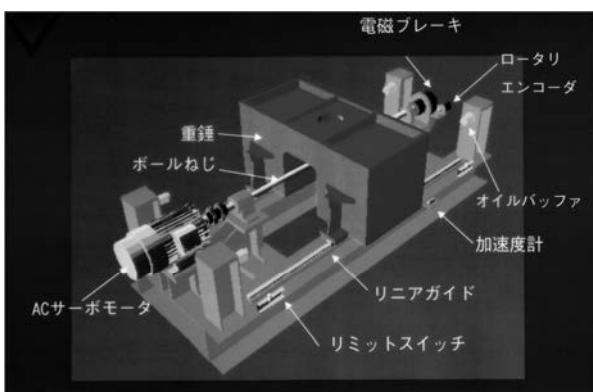
主塔の固有振動モード



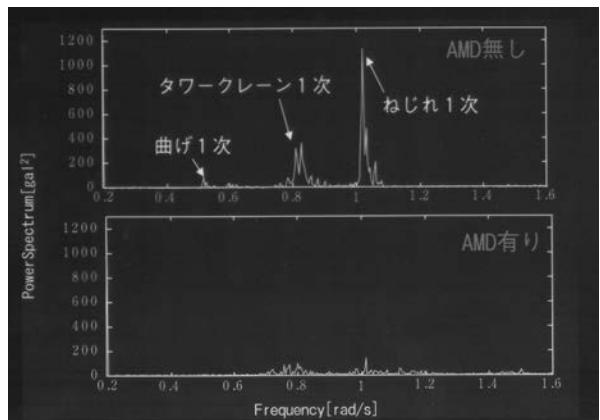
主塔におけるAMDの設置



来島第一大橋主塔に用いられた AMD: Active Mass Damper

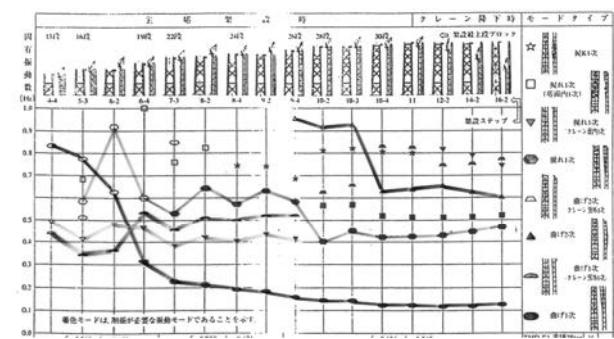


制振効果の確認(来島第一大橋)

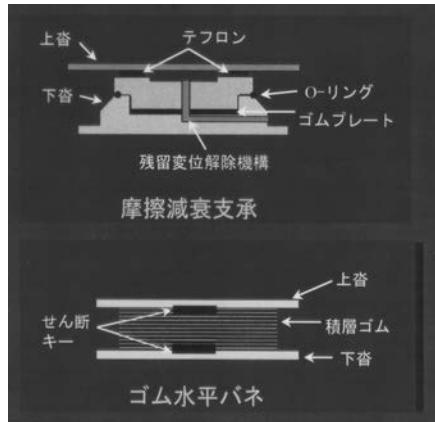


アクティブ制振装置の橋梁主塔架設への適用

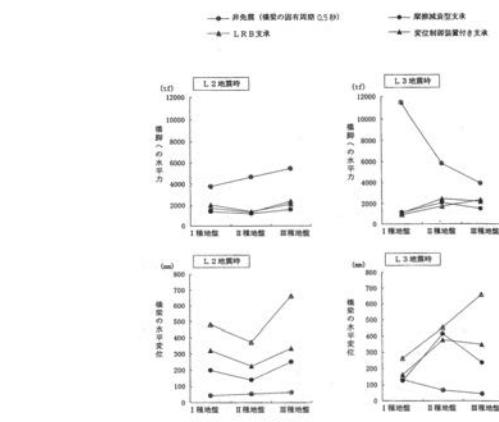
主塔架設に伴って、複数モードの固有振動特性が複雑に変化する場合に有効(例:明石海峡大橋主塔)



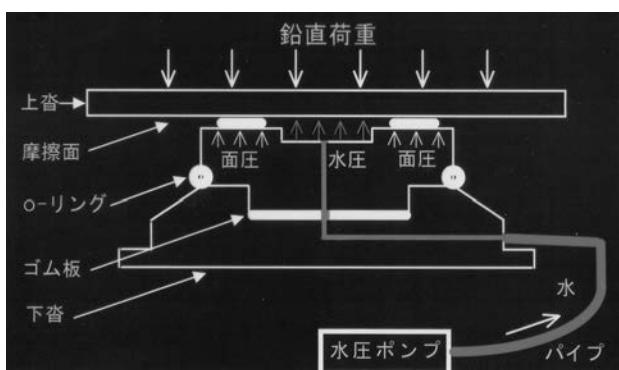
摩擦減衰型免震支承の詳細



実橋モデルにおける免震効果の比較



残留変位解除機構



6. 少数主桁橋梁の開発(1993-1997)

- 1) 1992～早期にテープレート技術を紹介
坂井：“土木構造における高張力鋼利用の現状”、JSSC論文集-1-1、1994
- 2) フランス2主桁基準の研究
坂井・八部・長井：“フランスの鋼・コンクリート合成2主桁橋梁の設計指針(上・下)”, 橋梁と基礎-29、1995
- 3) 少数主桁合理化橋梁について、立体挙動の解明、PC床版施工の技術開発等を通じ、名和高架橋・千鳥の沢川橋等で早期に実用化を実施
坂井・八部・大垣：“合成2主桁橋の立体挙動特性に関する研究”、土木学会構造工学論文集-41A、1995 他

少数主桁橋梁の初期例:名和高架橋



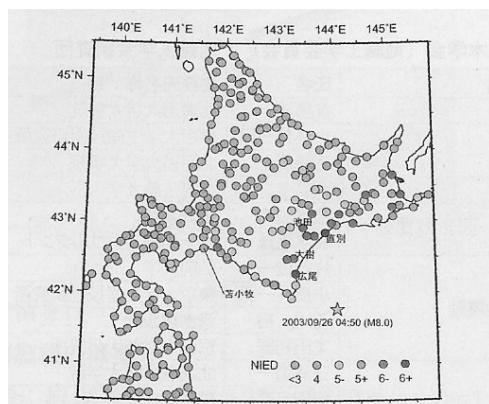
千鳥の沢川橋-PC床版連続合成2主桁橋



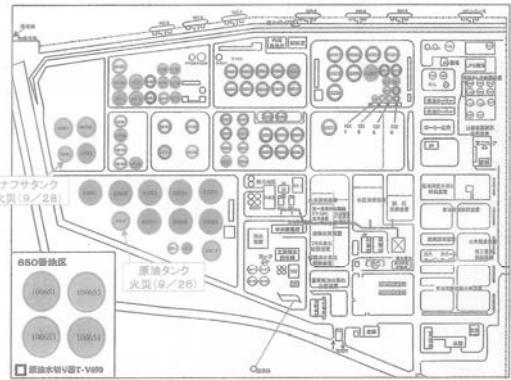
7. 橋梁・タンクへの長周期地震動の影響に関する研究(1984-)

- 1) 橋梁構造物における長周期地震動の影響を検討
Sakai: “Some Considerations on Long-Period Waves in Earthquake Engineering”, Proc. of Japan-PRC-U.S. Trilateral Symp., Beijing, 1985
- 2) タンクの巨大地震災害対応検討(土木学会活動等)
坂井：“大型タンクのスロッシングに関する耐震・制震・免震等技術の現状と展望(基調講演)”, 土木学会、ミニシンポジウム、2005
- 3) 上記問題の解説と啓蒙
坂井：“長周期地震動のタンク・橋梁に及ぼす影響”、日本地震工学会誌、2010 他

2003年十勝沖地震



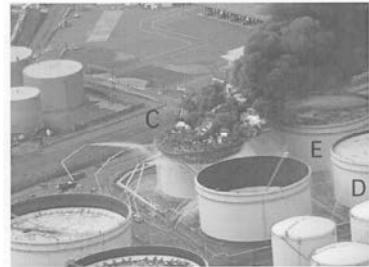
苫小牧 出光北海道製油所 タンク配置



タンク火災の状況

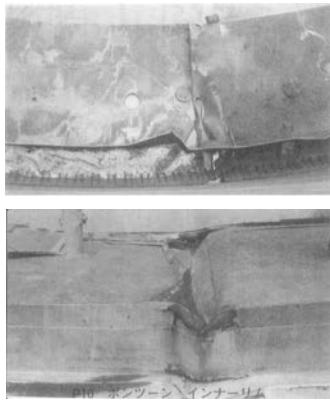
1) 30,000kl原油タンク 9/26 04:51 リング火災発生
12:09 鎮火

2) 30,000klナフサタンク
9/27 沈没
9/28 10:45 全面火災
9/30 06:55 鎮火



浮屋根ポンツーンの座屈

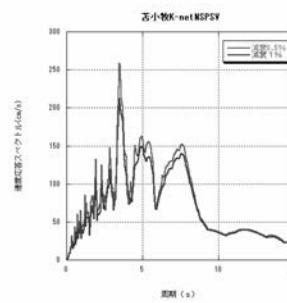
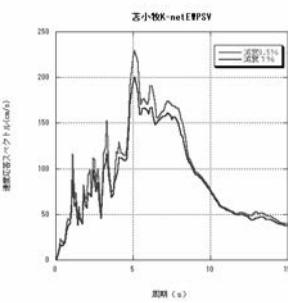
・100,000klタンクにおける
ポンツーン座屈状況



・40,000klタンクにおける
ポンツーン座屈状況



苫小牧K-NET地震記録(速度応答スペクトル)



消防法新告示(2005)の改正と問題

- 1 設計長周期地震動のレベルを旧告示(1983)の
100cm/secレベルから200cm/secレベルに増強。
⇒より信頼性のある設計長周期地震動の確立が必要
- 2 浮屋根に関する耐震設計条項に、地震荷重による
強度の照査を課した。
⇒シングルデッキ浮屋根への地震作用は、まだ未解明
の点が多く、浮屋根の座屈破壊挙動の解明、および
浮屋根の耐震構造の開発や免震・制振設計の採用
も必要。

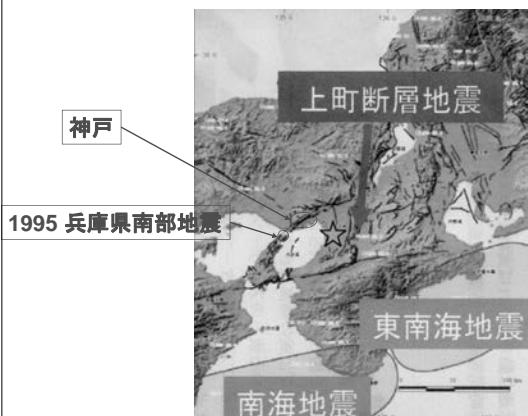
港大橋の耐震補強



Cantilever-truss bridge with span-length 510m (3rd longest in the world)
constructed in 1974

阪神高速道路公団：港大橋
形 式 3径間連続ダブルデッキ
ゲルバートラス
橋 長 983m(235m+510m+235m)
総鋼重 35,865t
所在地 大阪市港区
完 成 昭和49年9月

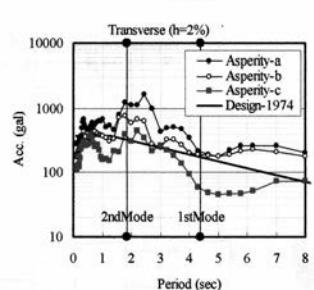
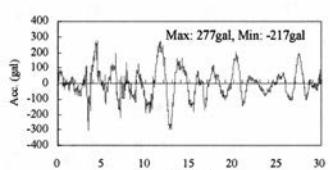
港大橋に影響を与える地震



設計地震動と応答 スペクトル (橋軸直交方向)

$T_1=4.39\text{sec}$ (analyzed)
 $=4.35\text{sec}$ (observed)
 $T_2=3.38\text{sec}$ (analyzed as original)
 $=1.94\text{sec}$ (analyzed in the case tying at Gerber hinge part)
 $=2.56\text{sec}$ (observed)

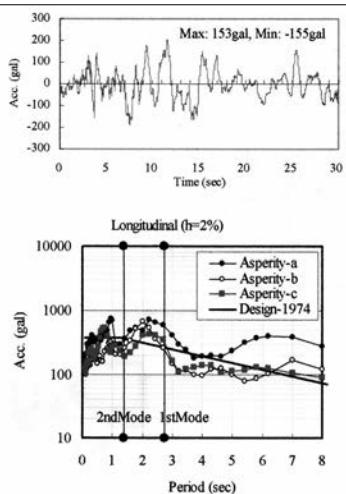
↓
免震対策は有効でない！
減衰増大策が採用された。!



設計地震動と応答スペクトル (橋軸方向)

$T_1=2.75\text{sec}$ (analyzed)
 2.56sec (observed)

↓
免震対策が有効である!



首都高速における長大橋の耐震補強



横浜ベイブリッジ
(200m+460m+200m=860m)



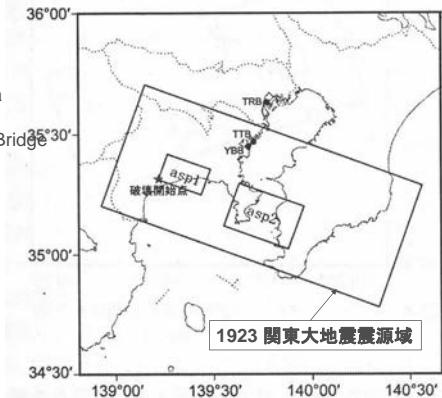
レインボーブリッジ
(114m+570m+114m=798m)



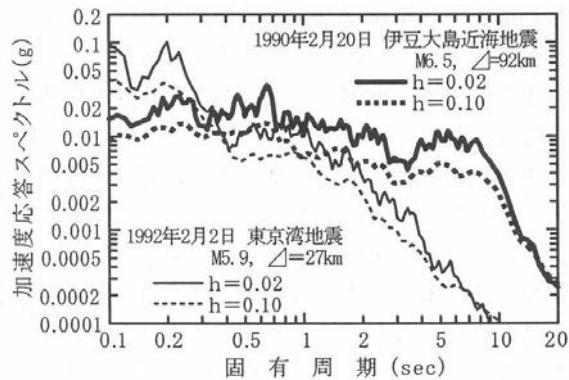
鶴見つばさ橋 (255m+510m+255m=1020m)

耐震補強設計において想定された関東地震

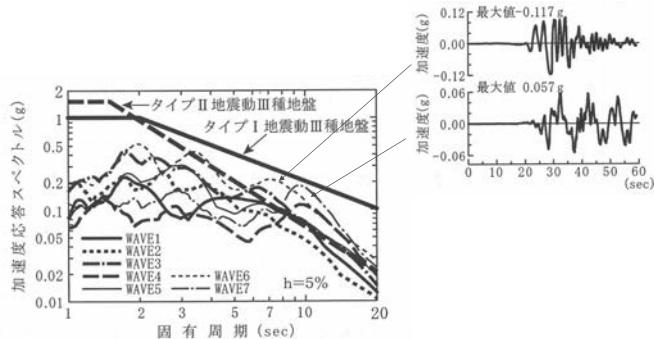
TRB: Tokyo Rainbow Bridge
TTB: Tsurumi-Tsubasa Bridge
YYB: Yokohama Bay Bridge



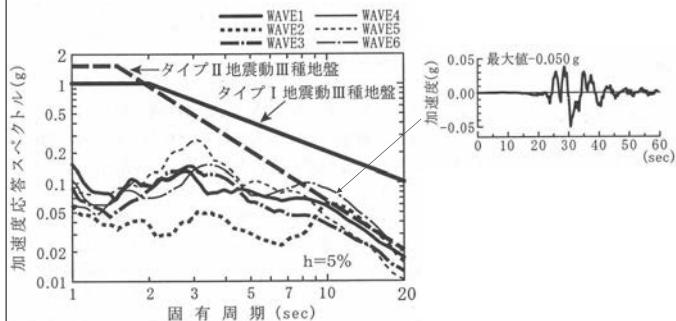
横浜ベイブリッジ地点の長周期地震特性



横浜ベイブリッジにおける設計スペクトル



レインボーブリッジにおける設計スペクトル



まとめに代えて(私のモットー)

例がない、新しいことをやろう！

狭い分野に拘らず、広く学ぼう！

困った時や新しい問題に直面した時、
解決策を与えてくれるヒントは異なる
分野・領域にある！

高速道路橋に関する技術開発の歴史と現状 (鋼橋を主として)

平成25年10月29日

大成建設
小川篤生

本日の話題

1. 平成24年 土木学会田中賞 研究業績部門
2. 高速道路橋における耐候性鋼材
3. 複合構造
 - ①上下部構造剛結
 - ②ポータルラーメン橋
 - ③混合橋
 - ④波形ウエブ橋
4. 少数主桁橋
5. 新東名高速道路橋の実績
6. その他

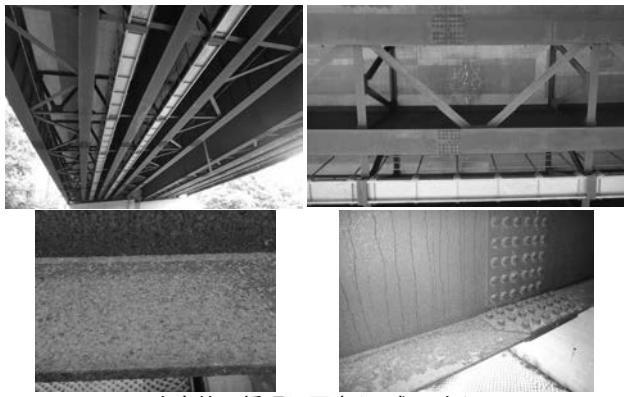
5

平成24年度 田中賞 研究業績部門

・高速道路における道路橋の計画・設計と、設計要領及び施工管理・維持管理要領の作成、並びにPRC構造や鋼コンクリート複合構造、深礎基礎の導入に指導的役割を果たした業績、更には土木学会鋼構造委員長や日本道路協会橋梁委員・コンクリート橋小委員長等として広範に我が国 の道路橋の発展に大きく寄与した業績

・旧JHの取り組みを評価

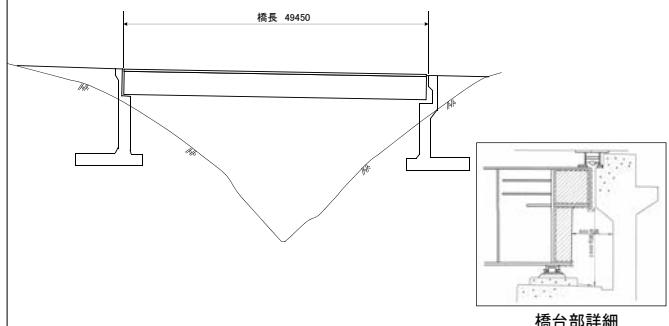
高速道路橋における 最初の耐候性鋼材裸仕様橋梁



大鳥第二橋現況写真(平成23年)

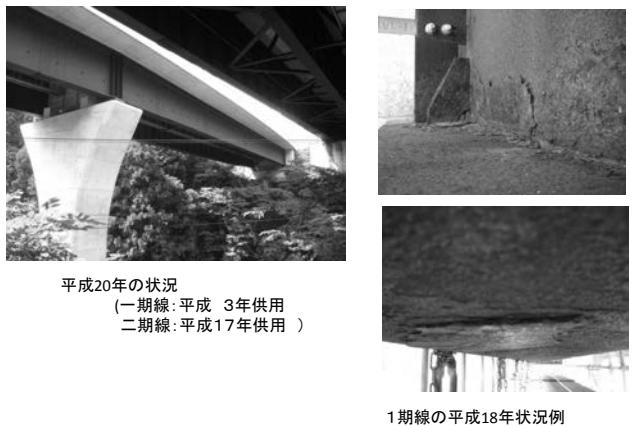
高速道路橋における 最初の耐候性鋼材裸仕様橋梁

・八戸道 大鳥第二橋(昭和60年)



橋台部詳細

高知道の耐候性鋼材橋梁状況.2



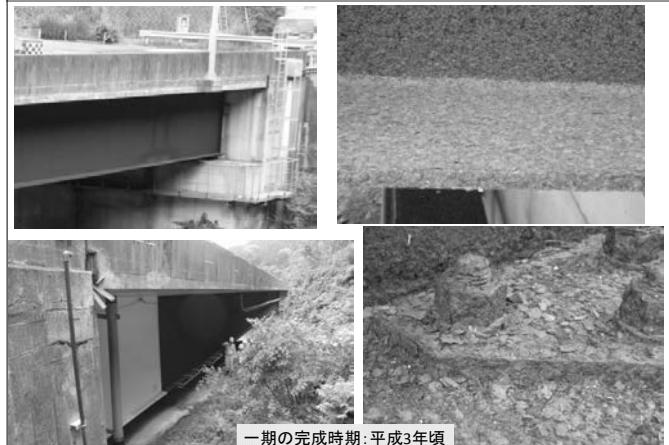
平成20年の状況
(一期線:平成3年供用
二期線:平成17年供用)

1期線の平成18年状況例

高知道の耐候性鋼材橋梁状況(一部補修)



高知道の耐候性鋼材橋梁状況.1(平成23年)



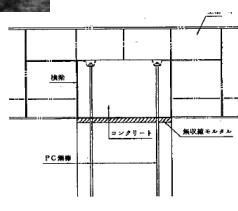
一期の完成時期:平成3年頃

複合構造

①上下部構造剛結



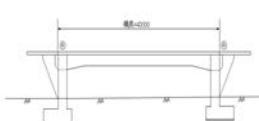
山形道 阿古耶橋(平成3年供用)



橋脚部剛結構造

複合構造

②ポータルラーメン橋例-1

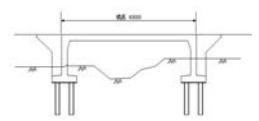


北関東自動車道大原西橋(H13供用)

平成22年撮影



北関東自動車道大原西橋



北関東自動車道神沢川橋(H13供用)

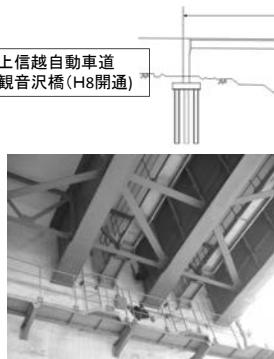


北関東自動車道神沢川橋

橋梁構造には損傷が見られず、健全であった。
橋台部上のアスファルト表面一部ひび割れがみられたが、補修を要するほどではなかった。

複合構造

②ポータルラーメン橋例-3

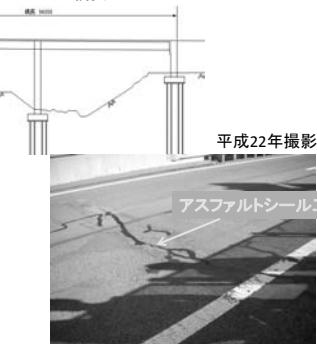


橋梁本体には変状なし。アスファルト路面状況は写真参照

橋長: 94m

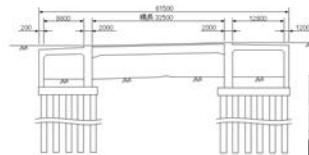


アスファルトシール工



複合構造

②ポータルラーメン橋例-2



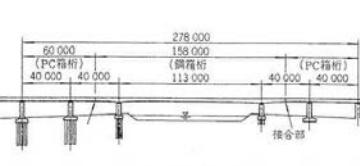
平成22年撮影



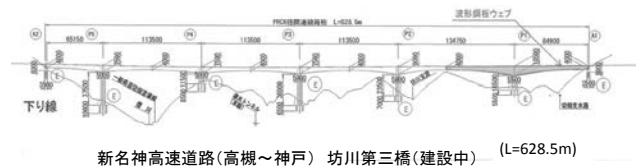
山形自動車道 広野橋(平成13年供用)

複合構造

③混合構造-1



高松自動車道 新川橋の例(平成13年供用)



新名神高速道路(高槻～神戸) 坊川第三橋(建設中) (L=628.5m)

複合構造

③混合構造-2



釜石道 胡四王山橋 平成14年供用(RC+PC)

平成22年撮影

複合構造 ④波形ウエブ橋



東海北陸道 本谷橋
形式:3径間連続ラーメン
橋長:198m
最大支間:97.202m
架設:張出し架設
完成:1998(平成10年)



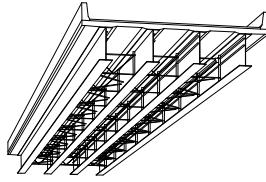
2013年8月7日現在
(完成後 約15年)
2003年、2009年定期点検実施
※排水管損傷のみ

波形鋼板ウェブ橋の現状

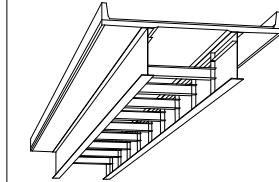


3. 少数主桁橋

RC床版多主桁
(非合成桁)



高速道路橋の標準
PC床版少数主桁
(合成桁)



- ・耐荷力・耐久性に優れたPC床版を採用、鋼部材の簡素化
⇒製作工数を削減
- ・ずれ止めにより床版と鋼桁を確実に接合(合成桁) ⇒さらなる合理化
- ・全体の剛性の増、二次部材の削減
⇒耐疲労性の向上

18

北海道縦貫道 ホロナイ川橋(1996年、H8)
形 式: 鋼2径間連続I断面桁
橋 長: 107m=2@53m
有効幅員: W=10.0m
床 版: 場所打ちPC床版, L=6m

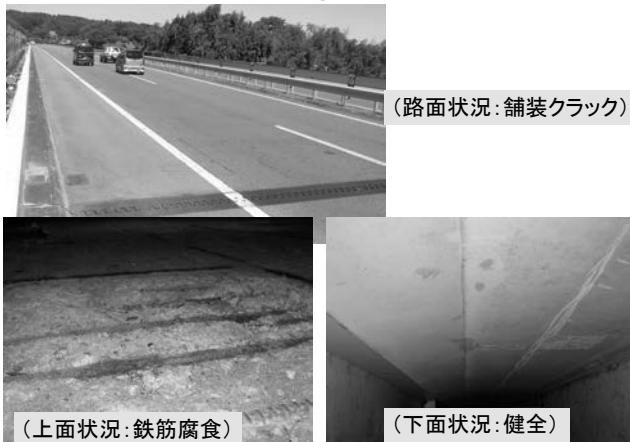
19

コンクリート床版の補修:劣化部除去



20

九州道菊池川橋

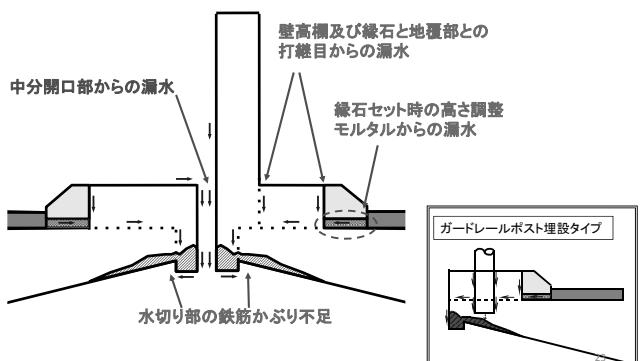


床版張出部の変状



22

床版張出部の劣化原因



鋼橋床版の耐久性向上

供用中の橋梁床版を補修、あるいは取り換えることは非常に困難

1. 塩分を含む路面水が、コンクリート床版に浸透しにくいよう、密実なコンクリートを打設する。
2. しっかりとした橋面防水工を施工する
3. コンクリート床版内の鉄筋のかぶりを着実に確保する。
4. コンクリート床版の地覆部周辺の品質を確保する

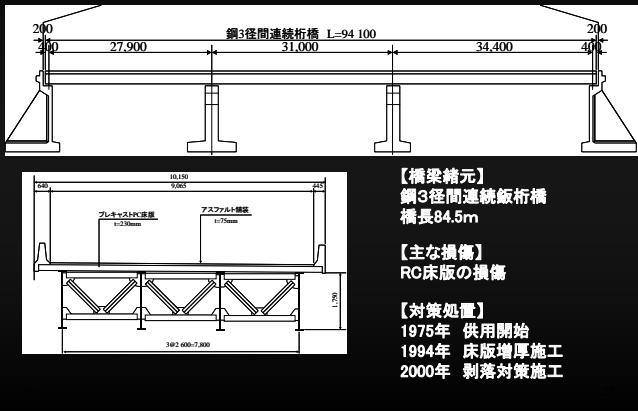
1. 水セメント比の少ないコンクリート
→ コンクリート強度を上げる
 2. ひび割れの少ないコンクリート
→ ブラストレス構造
 3. 地覆部のコンクリートの品質向上
→ PC床版の緊張定着部の存在
 4. 防水工の施工を規定
→ 高機能防水工の開発
 5. かぶりの確保
→ 非破壊検査の導入
施工誤差を考慮し、設計かぶり厚を増加
- その他
- ・張出部下面の保護
→ コンクリート表面含浸材の塗布
 - ・PC鋼材の防錆
→ ブレーグラウト鋼材使用(ポリエチレンシース)

合成床版の課題?

24

矢野川橋の補修事例

中国自動車道 矢野川橋



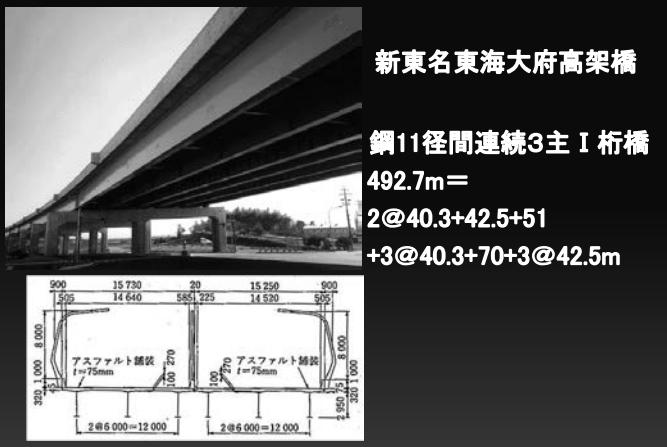
矢野川橋の補修事例(PC床版架設状況)



鋼 I 枠橋の新旧並列(松山道 志河川橋)



広幅員への鋼少数主桁の採用



広幅員2主桁橋への挑戦

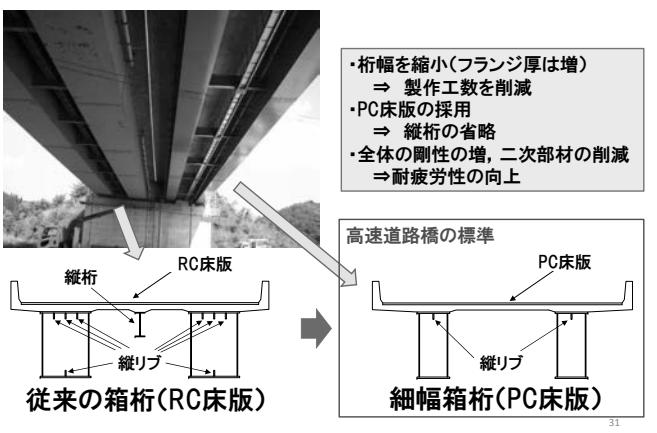
新東名 薩科川橋(2003年 H15)

形 式: 鋼7径間連続2主 I 枠橋
橋 長: 295.5m = 42+5@42.3+42m
有効幅員: W=16.5m
床 版: 場所打ちPC床版、L=11m

少数主桁(合成桁、舞鶴若狭道)



細幅箱桁



細幅箱桁(浜北高架橋)



少数主桁 コンパクト断面（金谷郷高架橋）



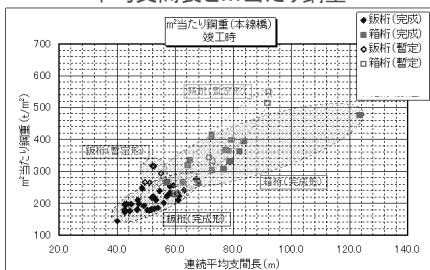
4. 新東名高速道路橋の実績

分析条件

連続平均支間：連続橋の場合、側径間の支間長を1.2倍にした平均を示す。
単純橋の場合、支間長の1.3倍を示す。

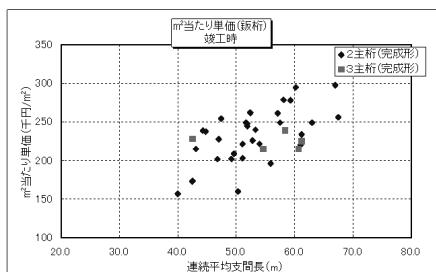
m^2 当たりの鋼重：有効面積当たりの主鋼重を示す。

平均支間長と m^2 当たり鋼重



4. 新東名高速道路橋の実績

平均支間長と m^2 当たり単価
(2主桁と3主桁との比較)



4. 新東名高速道路橋の実績

新東名における橋梁形式(本線橋271橋)

| 橋種 | 橋数 | 特徴・形式 | 橋数 |
|-----|-----|---------------------|-----------------|
| 鋼橋 | 97 | PC床版 | 75 |
| | | PCPca床版 | 4 |
| | | 合成床版 | 5 |
| | | 合理化合成床版 | 12 |
| | | 鋼床版 | 2 |
| PC橋 | 158 | 波形鋼板ウエブ | 3 |
| | | 波形+ストラットorリブ | 27 |
| | | コンクリートウエブ | 60 |
| | | コンクリートウエブ+ストラットorリブ | 38 |
| | | 他 | 30 |
| 複合 | 14 | 複合アーチ | 2 |
| 混合 | | 複合トラス | 4 |
| | | 他 | 8 ³⁴ |

4. 新東名高速道路橋の実績

分析条件

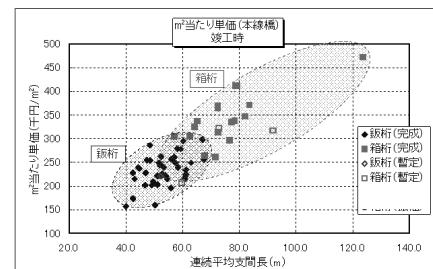
連続平均支間：連続橋の場合、側径間の支間長を1.2倍にした平均を示す。

単純橋の場合、支間長の1.3倍を示す。

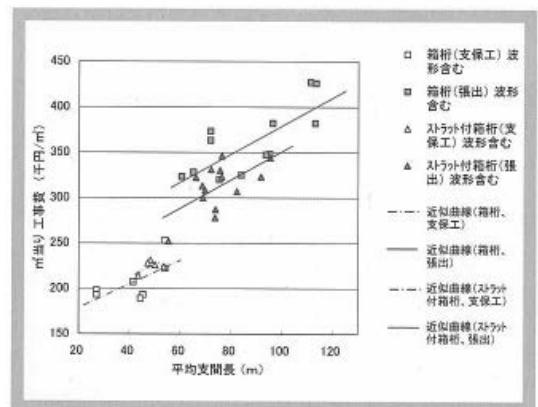
m^2 当たり単価：工費は諸経費税込みとし、有効面積当たりの単価を示す。

工費は積算ベースとし、竣工時は落札率で割り戻した金額での単価を示す。

平均支間長と m^2 当たり単価



参考)新東名高速道路 PC箱桁工費
(NEXCO 技術情報, 2012-11)

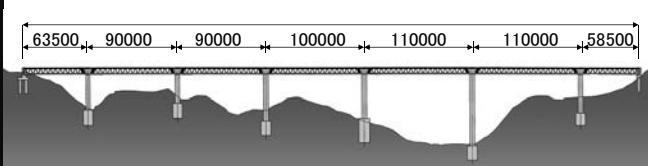


4. 新東名高速道路橋の実績

猿田川橋・巴川橋 概要

猿田川橋 巴川橋

猿田川橋



構造形式：PC7 径間連続ラーメン複合トラス橋

橋長：625m

支間：63.5m + 2 × 90.0m + 100.0m + 2 × 110.0m + 58.5m

幅員：総幅員 18.05m (有効幅員 16.5m)

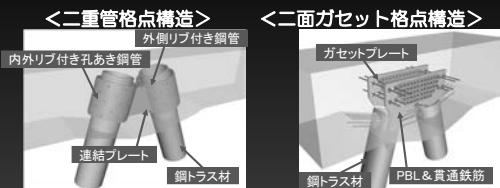
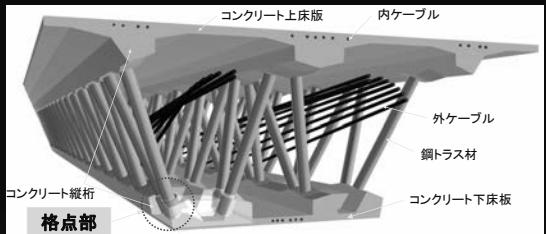
桁高：6.5m (桁高支間比: 110m / 6.5m = 1/16.9)

平面線形：A=1000m ~ R=3000m

勾配：横断 2.83~4.0% 縦断 0.44%以下

架設方法：移動作業車による場所打ち張出架設(ブロック長 5.0m)

複合トラス構造概要



複合トラス橋の“更なる合理化”

先行工事における課題

コスト ⇒ 鋼部材の費用 大
工程 ⇒ トラス材の設置

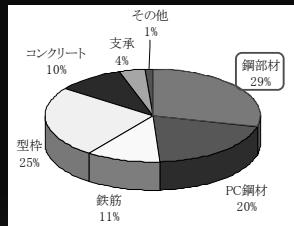
先行工事により得られた知見

PC複合トラスの実挙動

- ◆ 施工時の各種計測
- ◆ 静的実験・振動実験

施工の精度

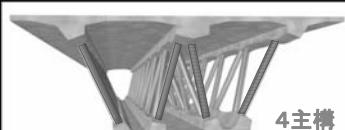
設計・施工
の妥当性



トラス部材の合理化

主構数の変更

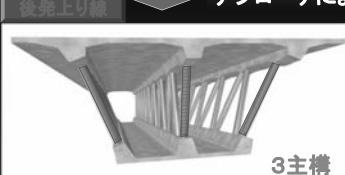
先行下り線



4主構 ブラス重量 : 2,572t

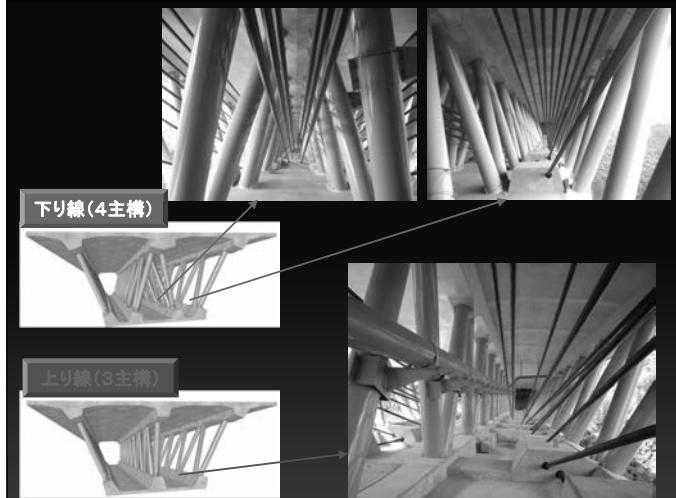
下り線の知見をもとに解析的
アプローチにより照査・検証

▲24%



トラス重量 : 1,971t

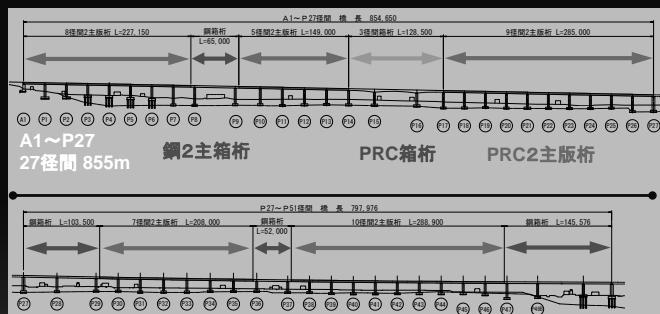
コスト削減(8%)
工程の縮減



H21PC技術協会賞受賞
H21田中賞受賞

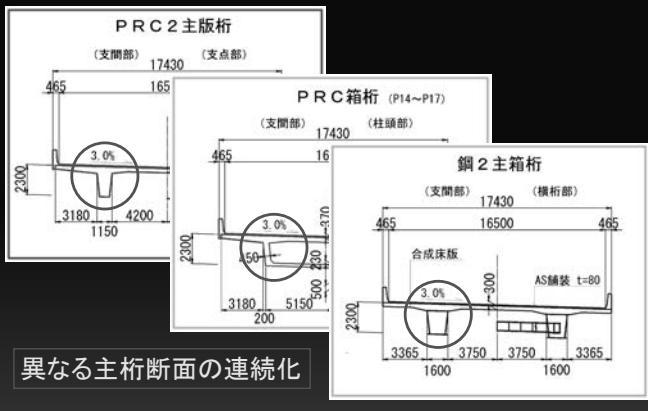


混合構造の一例



PRC2主版析: 鋼2主箱桁: PRC箱桁 = 70: 22: 8

浜北高架橋の断面



接合部の課題

PRC2主版析断面



断面力をスムーズに伝達するには?

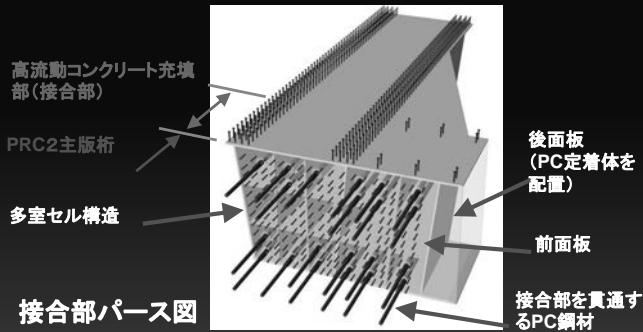
鋼2主箱桁断面



鋼・コンクリート接合部を設け鋼殻セル構造を採用

接合部構造

現場での施工性を考慮し、前後面支圧板方式を採用



接合部の構造

複合セルスタッド



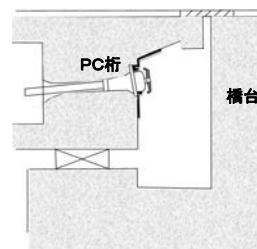
接合部内部組立て状況 (主桁下段)



6. その他

検査し易い構造

桁端部の検査空間確保



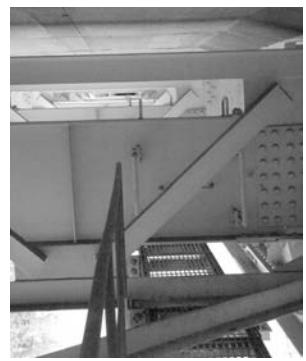
(ネクスコ(設計要領から))

6. その他

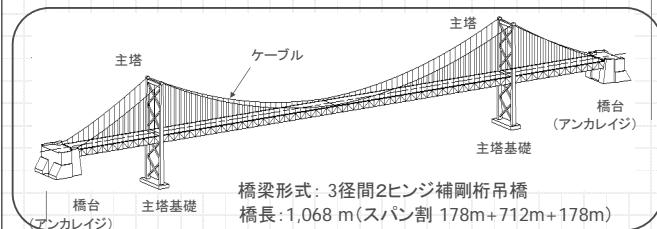
検査し易い構造



参考?例

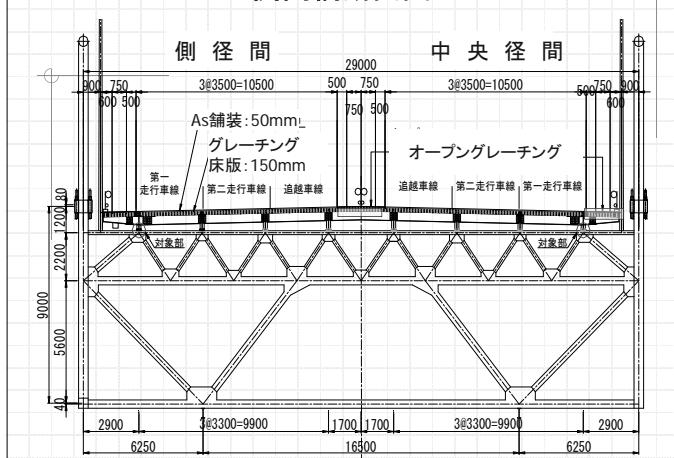


鋼部材の疲労損傷-関門橋-

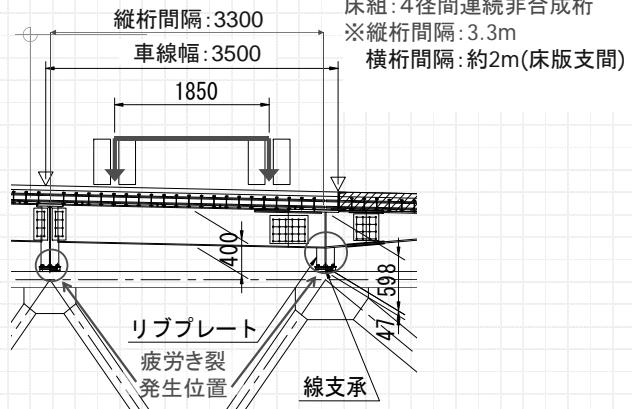


- 本州と九州を結ぶ高速道路として1973.11に供用開始。
- 開通直後の交通量は約1万台/日 ⇒ 近年は約3万台/日 (関門トンネルと合わせると、関門海峡を約6万台/日の車が毎日通行)
- 建設当初は東洋一の規模
※若戸大橋(S37.9)⇒関門橋(S48.11)⇒本四連絡橋(S63.4~)
- 平成25年で、開通40年

関門橋断面図



構造と疲労き裂発生位置



疲労損傷の概要

外縦桁と支点上横桁取合部のみに発生。

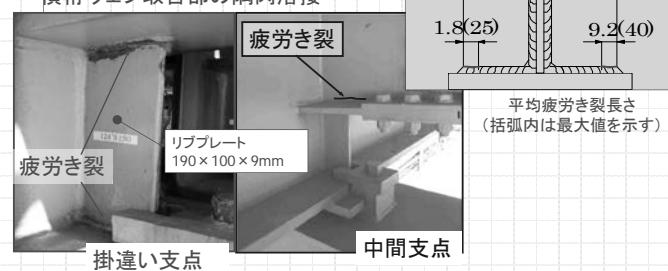
損傷発見1995年

→ 2000年全箇所(250支点)に確認。

①リブプレート上下隅肉溶接

②横桁下フランジ

横桁ウェブ取合部の隅肉溶接



参考(耐食性評価)

| | 0 | 1500 | 3000 | 6000 |
|--------------------------|---|------|------|------|
| フッ素樹脂系 重防食塗装 | X | | X | X |
| 溶融 亜鉛めつき | | X | | |
| Zn-Alガス溶射 (JIS溶射) | | X | X | |
| AI-Mg金属溶射 (プラズマイヤー工法) | | X | X | X |

AI-(5%)Mg金属溶射皮膜は溶射直後自然電位は「卑」で腐食しやすいが、表面だけはすぐに酸化し「貴」となり腐食しにくくなる。
“傷”が付けば再度活性化し、腐食しにくい皮膜となる。

金属溶射施工状況



ご清聴ありがとうございました。

大成建設

小川篤生