

第 4 回 定 期 研 究 会

平成 24 年度 SGST 第 4 回定期研究会 議事録

日時：平成 24 年 10 月 19 日(金) 16: 00～17: 30

場所：名古屋工業大学 2 号館 1 階 0211 講義室

出席者：大内，加藤(海洋)，川西(豊田工業)，土橋(横河)，安藤(一)，
奥村，後藤，海老澤，小畠(名工大)，葛，近藤，佐光(維持管理)，
水野，渡邊(岐阜高専)，松村，高地，天野，坂部，日下部，
菱川，伊藤，三浦(瀧上)，三浦(名高)，山田，三輪(日車)，山田，
野田(中日本ハイウェイ)，萬谷(川田工業) 長谷川(セントラル C)，
牧野，泉野(玉野 C)

以上 31 名(敬称略)

1. 定期研究会(16:00～17:30)

講演者：名古屋工業大学 教授 後藤芳顯先生、小畠誠先生

講演項目：【最新の高架橋の耐震技術および維持管理のための環境解析技術】

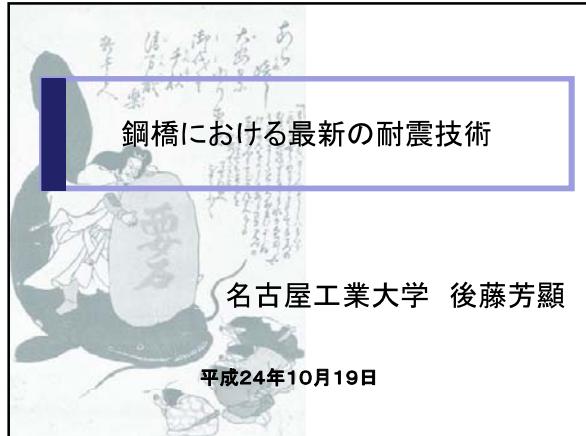
講演内容

講演：【最新の高架橋の耐震技術および維持管理のための環境解析技術】

近い将来、発生が予測される東海、東南海地震に対してもはや「想定外」の言葉が許される状況にはない。ことに、都市内の高架橋はライフラインとして重要である反面、その損傷や倒壊により本体のみならず下部交通網を寸断しライフラインに多大な被害をもたらす可能性がある。

このため、通常の維持管理も含めて大規模地震に対しては万全の対策が要求されている。本講演では、地震動研究の進捗とともに、各地域の実情に即した3方向地震動成分の想定が可能となってきたことを背景に、地震動の3成分の連成を考慮して橋の耐震安全性を確実に確保するための最新研究成果について説明された。また、鋼橋の維持管理についても腐食環境予測の観点から解説された。

以上



新しい耐震技術(名工大での検討)

1. 現実的な多方向同時入力での安全性の確保

各地のシナリオ型想定地震動(地域地震動)

NS,EW,UDの3成分(例)中央防災会議の想定東海地震動

➡ 「3方向地震動の連成を考慮した鋼製橋脚の安全照査」(1998~)

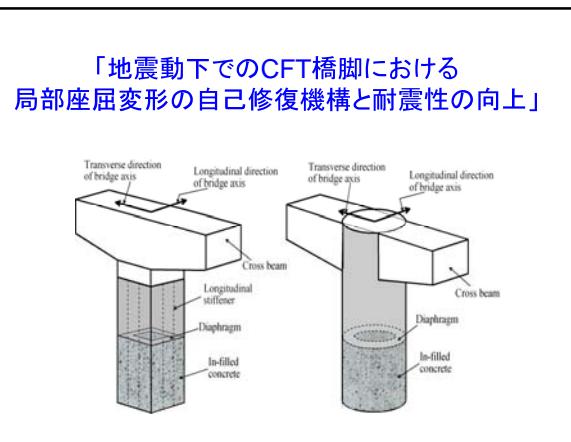
2. 地震直後の使用性の確保

残留変位の自己修復(Self-centering)

「CFT橋脚の局部座屈変形の自己修復機構」(2007~)

➡ 「自己修復型制震・免震構造」(2002~2008)

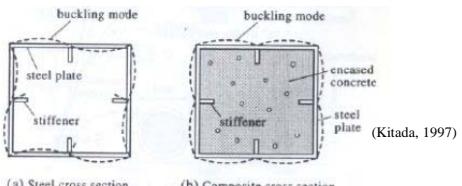
「自己修復型金属ダンパー」(2009~)



従来考えられていたCFT橋脚の耐震性能向上のメカニズム

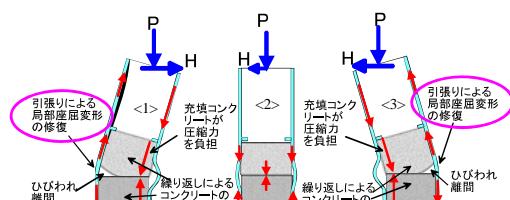
(中井・北田, 宇佐美ら)

- 合成断面としての強度・剛性の増大
- ダイヤフラムによる充填コンクリートの拘束に起因したコンクリート強度の上昇
- 内側への局部座屈変形防止



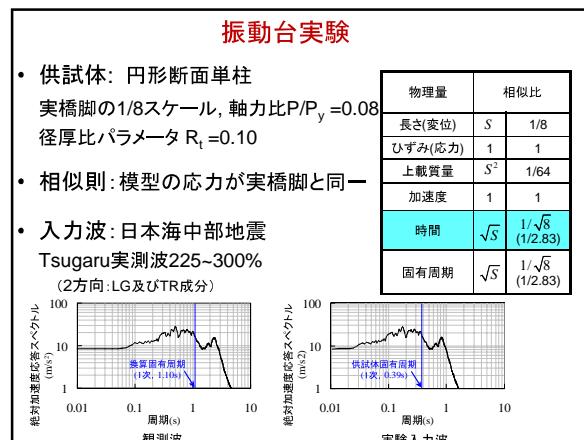
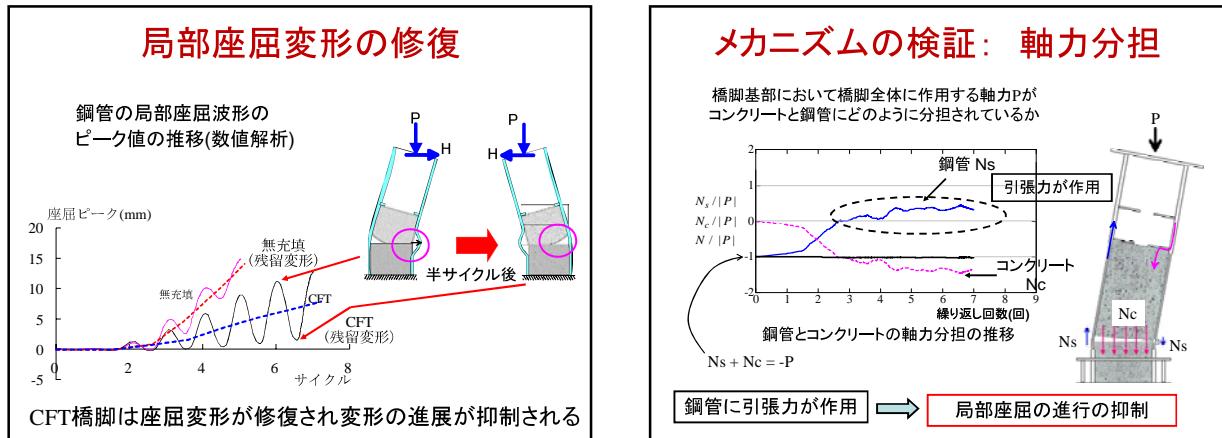
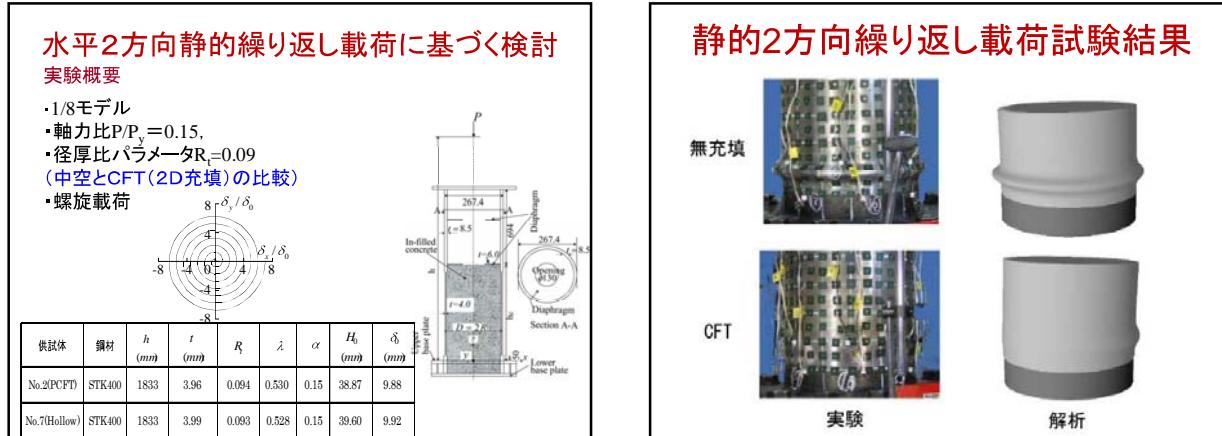
FEM解析で明らかになった局部座屈の自己修復メカニズム

- 1方向繰り返し荷重下での検討(後藤ら, 2009, 2010)

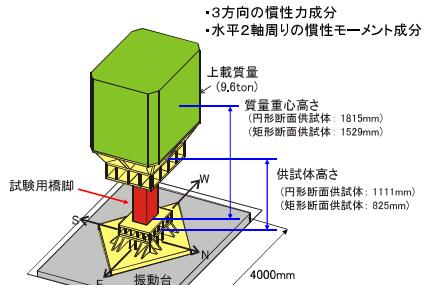


CFT橋脚の持つ自己修復特性の実験による検証

- 水平2方向静的繰り返し載荷実験
- 水平2方向同時入力での振動台実験



3次元振動台試験(6自由度)



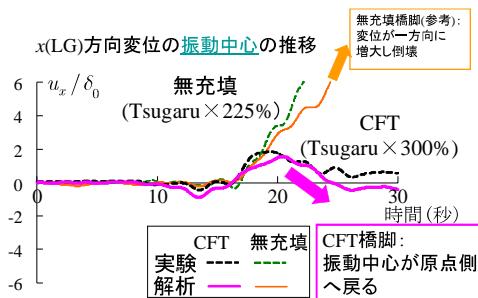
無充填円形断面橋脚の振動台実験とFEM解析 水平2方向成分入力(Tsugaru-Ig+tr 225%)



円形断面CFT橋脚の振動台実験とFEM解析 水平2方向成分入力(Tsugaru-Ig+tr 300%)



橋脚頂部変位の自己修復特性



CFT橋脚では振動中心が原点側へ戻っていき、最終的な残留変位が非常に小さい

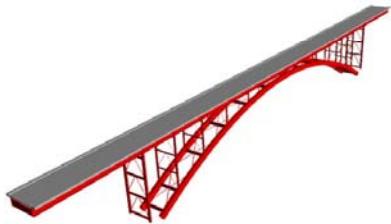
まとめ

- ・円形断面コンクリート充填鋼製橋脚における、局部座屈を修復し残留変位を回復する特性を検討
 - 水平2方向静的繰り返し載荷試験
 - ・局部座屈変形の抑制・修復を確認
 - ・鋼管・コンクリートの軸力分担からメカニズムを検証
 - 振動台実験
 - ・橋脚頂部残留水平変位の自己修復特性を確認
- ・今後の課題
 - 局部座屈の自己修復効果にあたえる軸力比、径厚比パラメータの影響(効率的な構造の検討)

「自己修復型制震・免震構造」

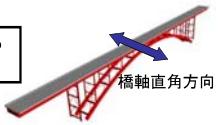
1. コントロールされたロックイング挙動を利用した上路式アーチ橋の制震・免震化
2. PTED接合 + コントロールされたロックイング挙動を利用したラーメン橋脚の制震化

1. コントロールされたロックング挙動を利用した上路式アーチ橋の制震・免震化

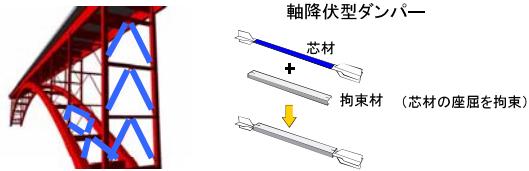


上路式鋼アーチ橋の耐震補強の現状

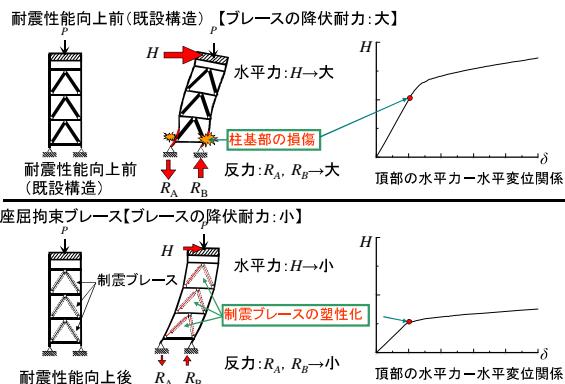
橋軸直角方向のレベル2地震動に対する耐震性能の確保が困難



軸降伏型ダンパーの設置が多い



座屈拘束プレースによる既往の耐震性能向上策



制震プレースを用いた従来の耐震補強の問題点

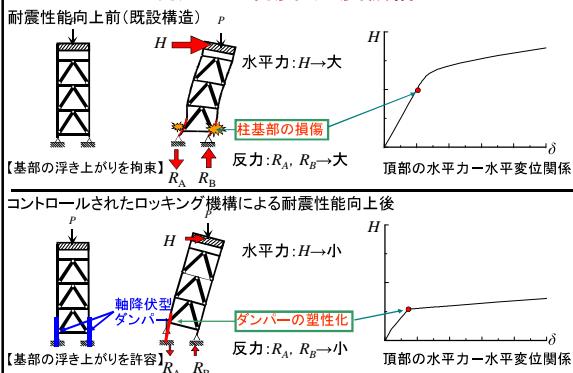
1. 設置・交換が困難

- ・高所作業と支保工が必要

2. ダンパーの塑性変形により構造体に残留変形、残留応力が発生する可能性

- ・残留変位の矯正・除去が困難→ダンパーの交換

ダンパーでコントロールされたロックング挙動を利用した制震・免震機構



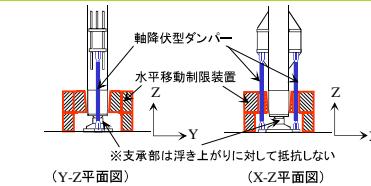
ダンパーでコントロールされたロックング挙動を利用した自己修復型制震・免震機構

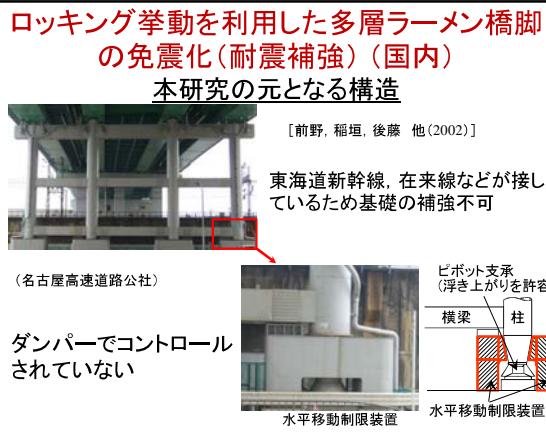
1. 残留変位が発生しないように設計可能(自己修復機構)

条件: ダンパーの降伏軸力 < 死荷重による柱基部の初期軸力

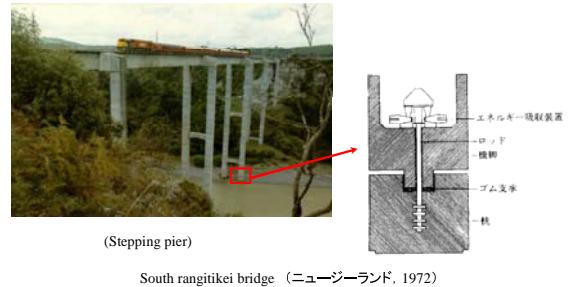
2. 設置・交換が容易

- ・高所作業を必要としない
- ・死荷重作用下での設置・交換が可能(支保工不要)

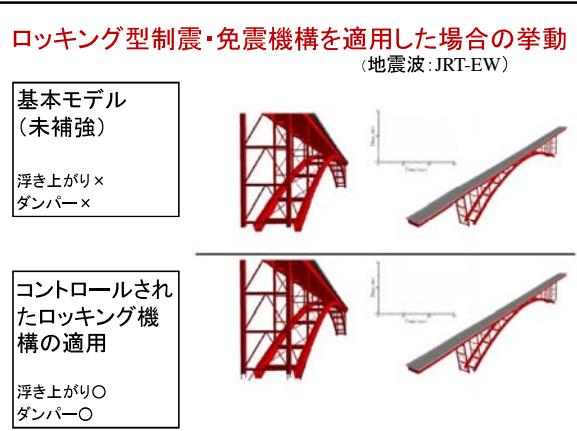
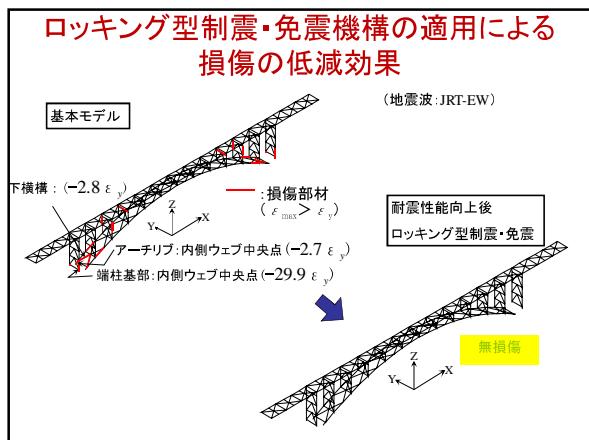
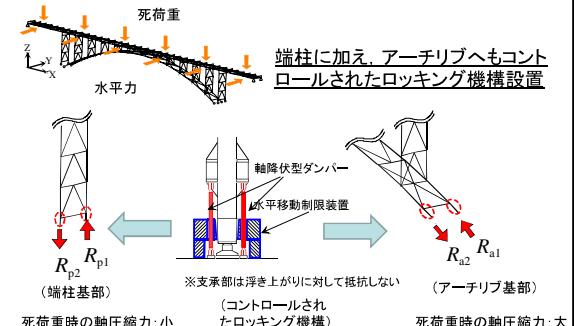


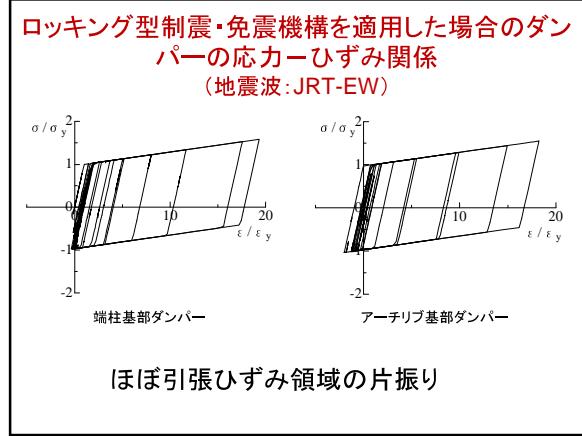
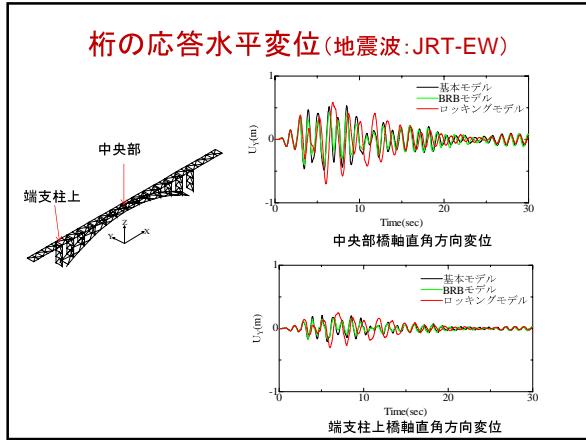


コントロールされたロッキング挙動を利用した高橋脚の免震・制震機構(海外)



コントロールされたロッキング型制震・免震機構の上路式鋼アーチ橋への適用

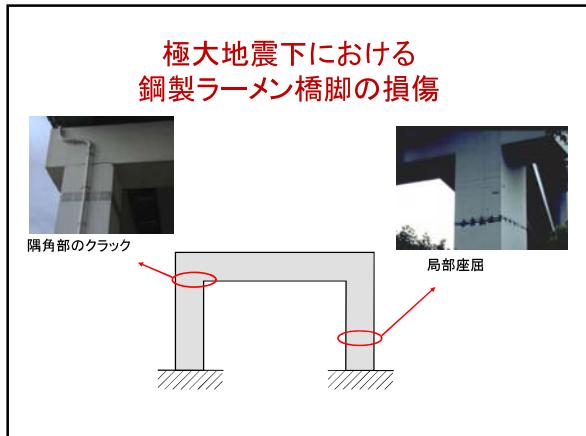




まとめ

- ・コントロールされたロッキング型制震・免震機構を導入することで、レベル2地震動に対するアーチ橋本体の損傷や基礎への作用力を大幅に低減できる。
- ・軸降伏型ダンパーが受けるひずみ履歴は、ほぼ両振りのひずみ引張ひずみ領域の片振りである。
(履歴を受ける座屈拘束プレースに較べて条件は厳しくない)
- ・ロッキング型免震・制震機構は特にプレースの降伏耐力が高く、端柱基部に負反力が大きく生じる場合に有効である。

2. PTED接合+コントロールされたロッキング挙動を利用した自己修復型制震ラーメン橋脚

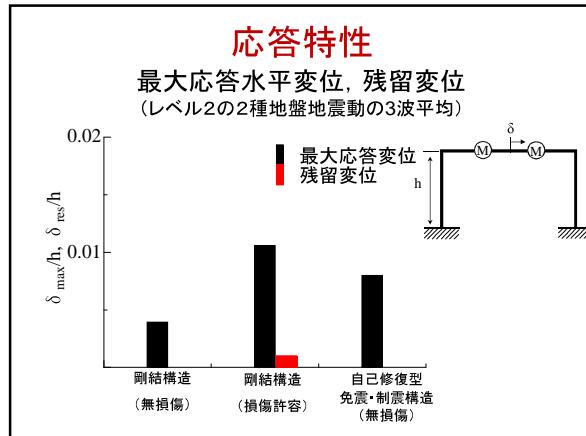
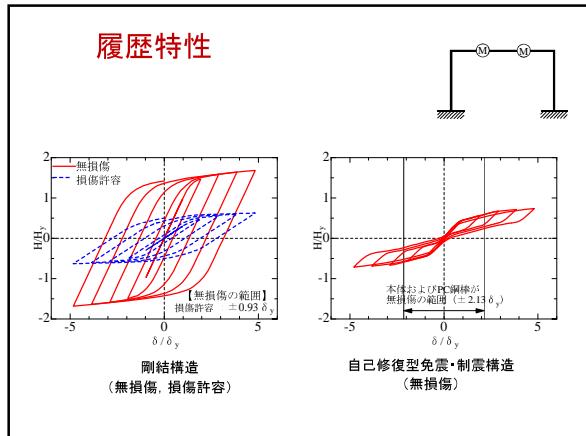
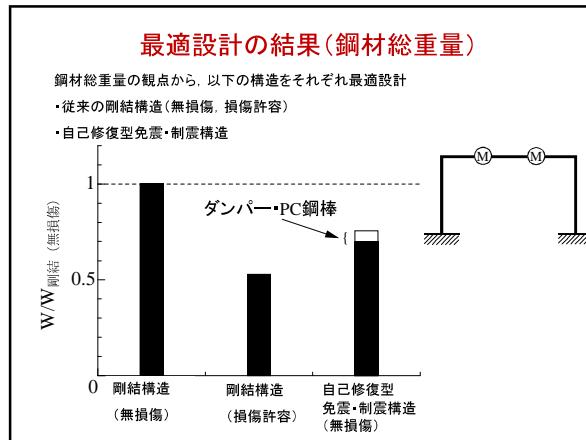
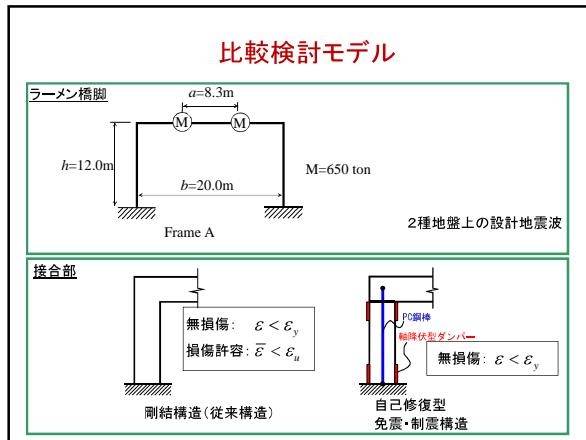
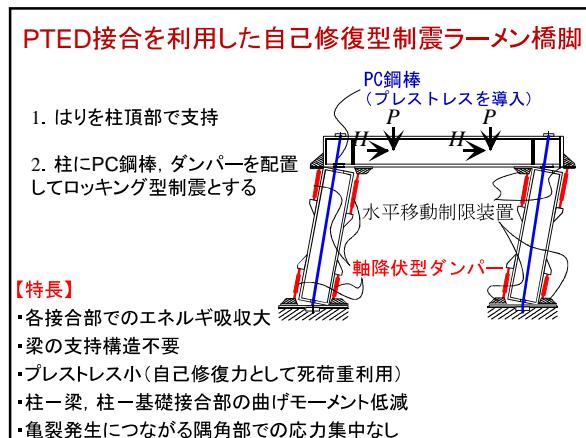
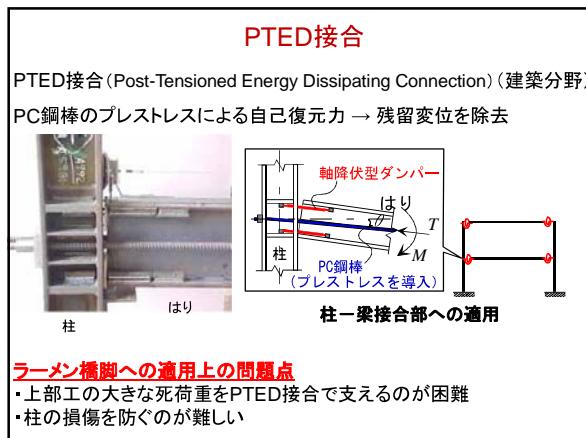


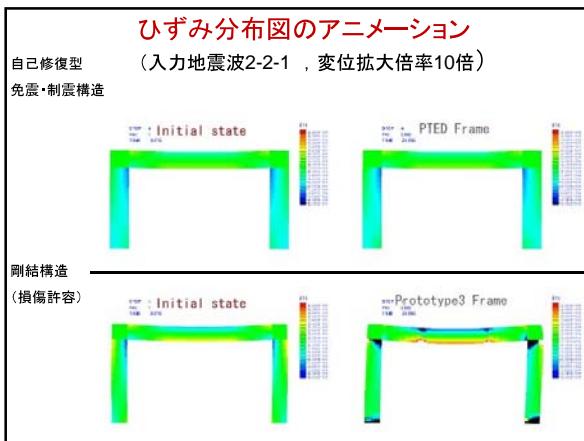
鋼製ラーメン橋脚に対する既往の耐震性能向上策

制震デバイスの適用

「問題点」

- ・ダンパーの塑性化による残留変位発生の可能性
- ・基部反力の上昇
- ・橋脚内側の自由空間の占有





まとめ

- 無損傷を目標とした場合、本自己修復型免震・制震構造は通常の剛結ラーメン橋脚よりも鋼材総重量を20%程度小さく設計することができる。
- 設計地震動に対して、最大応答変位は耐震設計された剛結ラーメン橋脚(損傷許容)に比べ十分小さく、残留変位も零となる。



履歴型制震ダンパーの設計と問題点



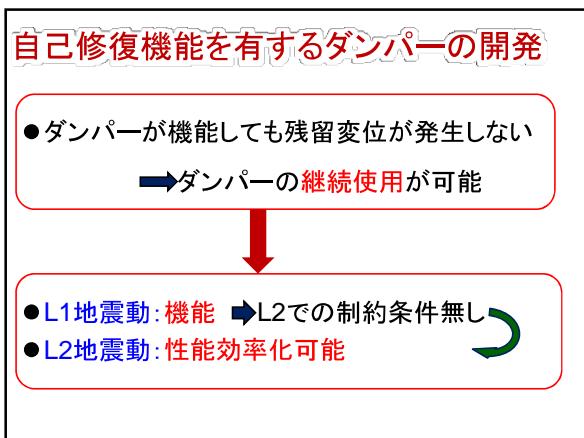
ダンパーが機能すると残留変位が発生

→ ダンパーの交換や原位置復帰作業必要

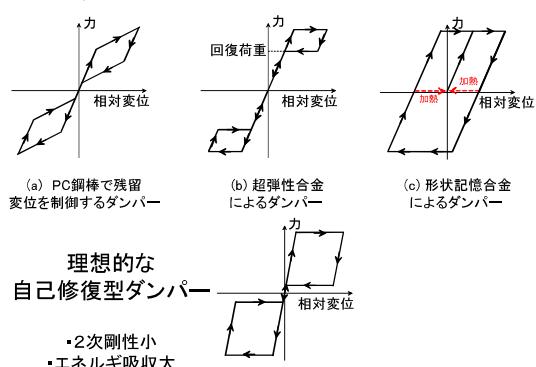
- (設計) • L1地震動では塑性化させない
• L2地震動でのみ塑性化させる

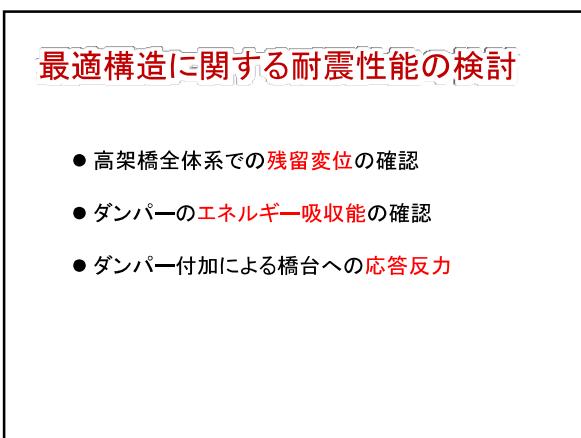
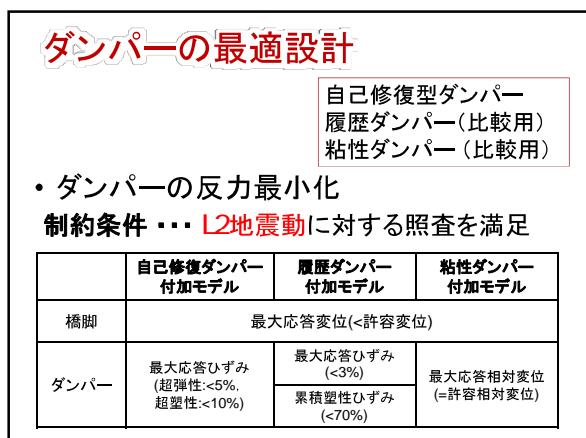
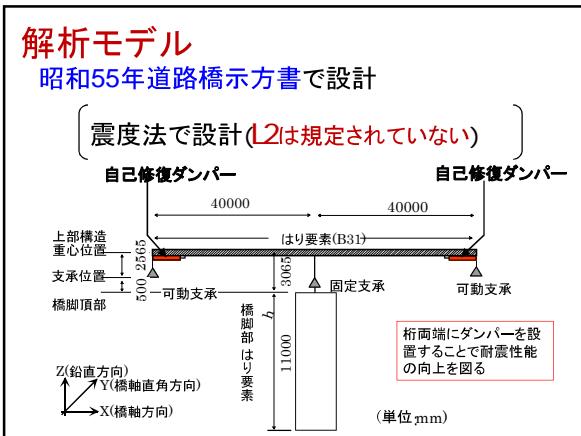
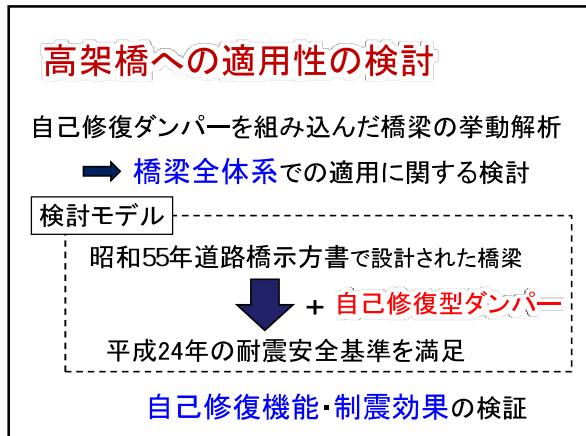
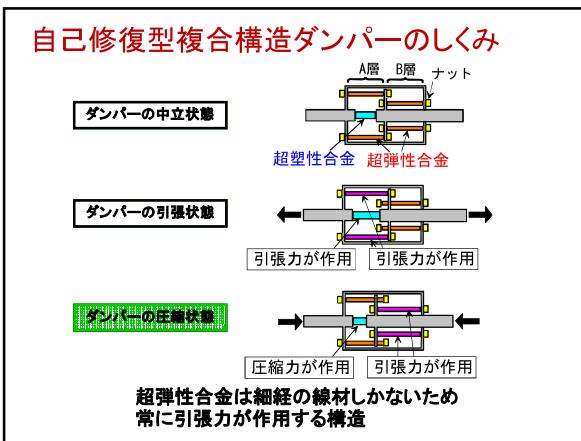
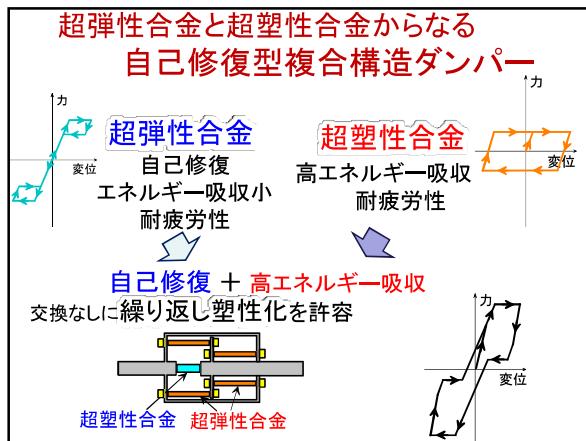
(問題点)

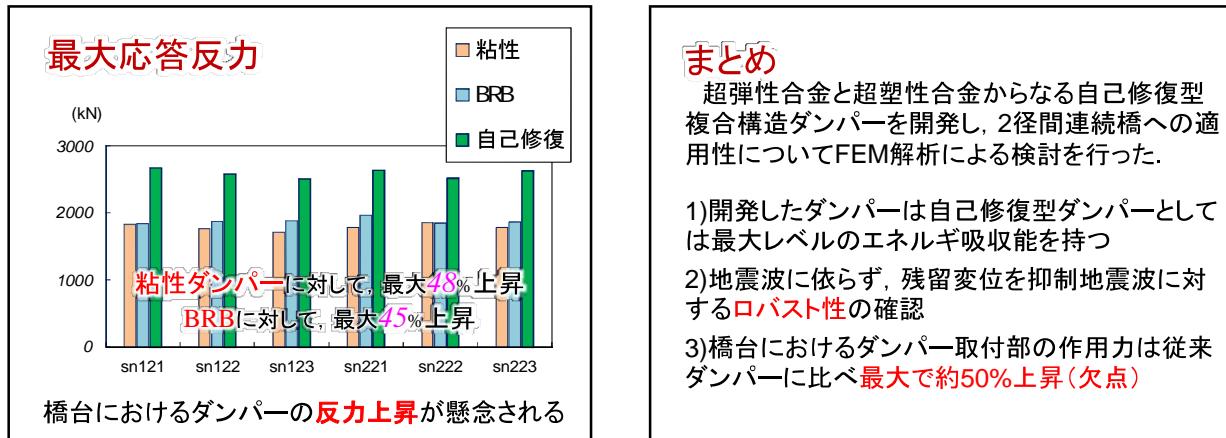
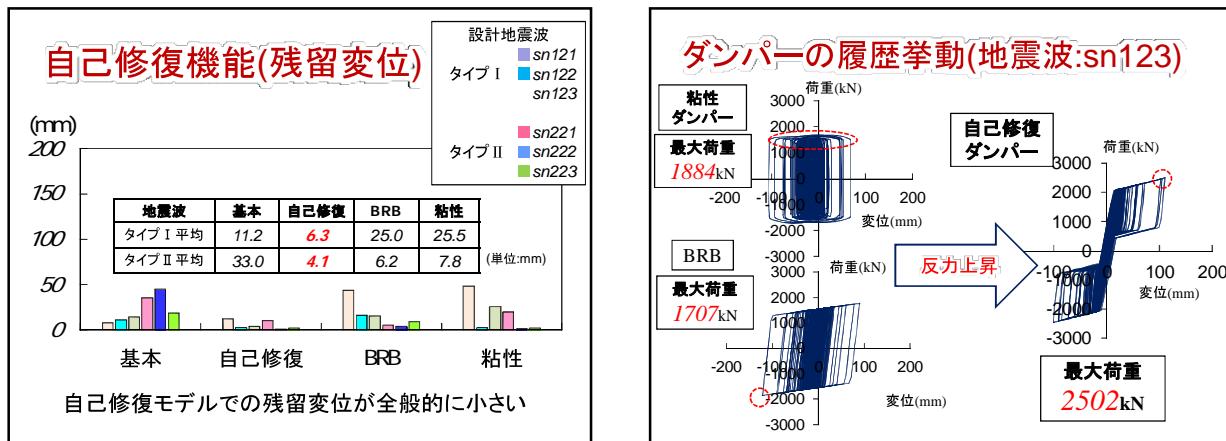
- ✓ L1地震動: 機能しない → L2での制約条件
- ✓ L2地震動: 性能効率化の障害



各種自己修復型ダンパーの履歴挙動







SGST 第4回定期研究会

● ● ● 高架橋の維持管理のための環境解析技術

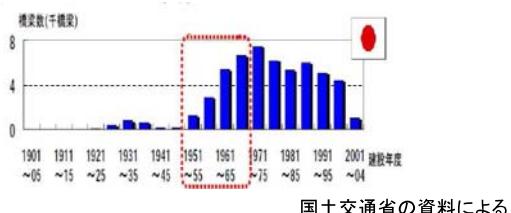
小畠 誠
名古屋工業大学 社会工学専攻

構成

- はじめに
- 腐食環境の数値予測のためのフレームワーク
- 数値的な飛来塩分量予測とその問題
- まとめ

● ● ● 日本の橋の状況(1)

- 15m以上の橋梁(約14万)を対象とした場合、現在約6%が供用開始後50年以上経過
- 2016年には20%を超える。



● ● ● 日本の橋の状況(2)



腐食による損傷

● ● ● 日本の橋の現状(4) X橋(福井県)



● ● ● 日本の橋の現状(3) X橋(福井県)





鋼橋の腐食に対する維持管理の手順

- 腐食環境の把握
 - ◆ 温度、湿度、風、結露、大気汚染物質(飛来塩分等)
- 特定の環境下での劣化進行予測
 - 防蝕
- 腐食劣化した鋼橋の強度把握
 - 補修

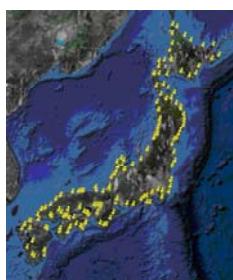


効果的な対策のために

- 沿岸地域の鋼橋に対する付着塩分量の適切な評価
- 沿岸部の橋桁への塩分付着量の数値的予測法の必要性



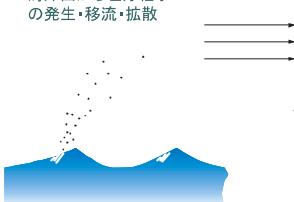
腐食環境について



提案するフレームワーク

大域的現象

海洋面から塩分粒子
の発生・移流・拡散



局所的現象

浮遊粒子の付着
局所的な解析

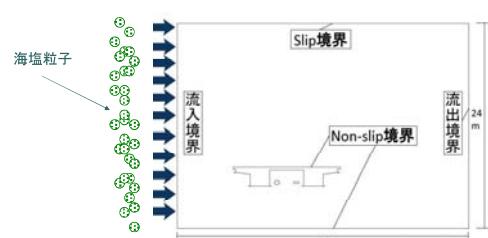


局所的な解析

- 浮遊塩分の橋桁への付着
 - 汚れの程度は一様ではない
 - 桁中央部より桁端部
 - 桁外側より桁内部

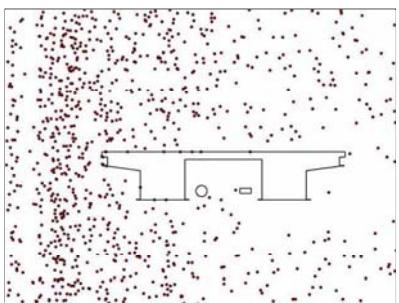


CFDを使ったシミュレーション





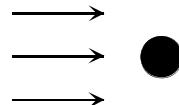
塩分付着のシミュレーション



粒子の移動の取り扱い

- 流体から浮遊固体への影響のみを考慮
(One way approximation)

$$m_p \frac{d\vec{u}_p}{dt} = \vec{F}_{dr} + \vec{F}_p + \vec{F}_{vm} + \vec{F}_b$$



付着のモデル

$$\dot{v_n} = \begin{cases} -ev_n & 0 \leq v_n < v_c : \text{反撥} \\ 0 & v_c \leq v_n : \text{付着} \end{cases}$$

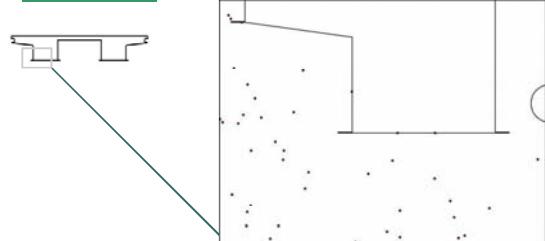
$v_c \leq v_n : \text{付着}$

$0 \leq v_n < v_c : \text{反撥}$

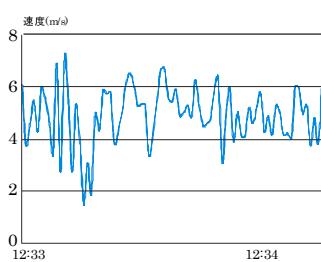


付着の多い点での粒子の挙動

流入面側箱桁付近



観測された風速変動



風速変動の有無による影響

同平均風速(3m/sec)での橋梁での付着の様子

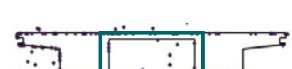
一定風速



変動風速

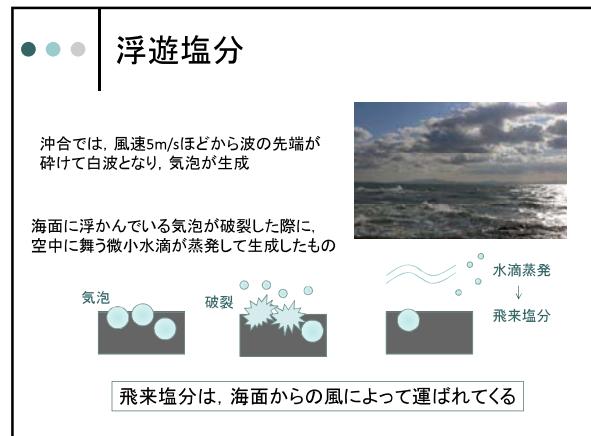
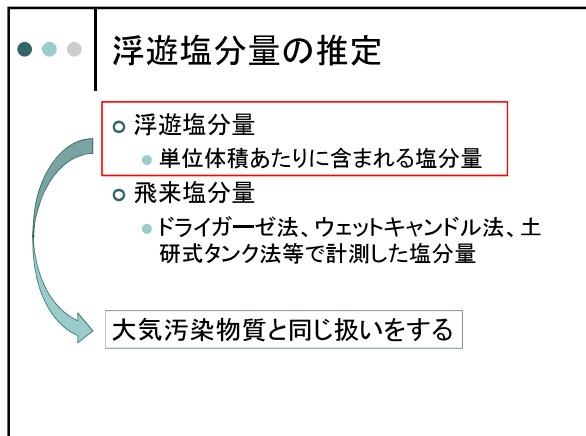
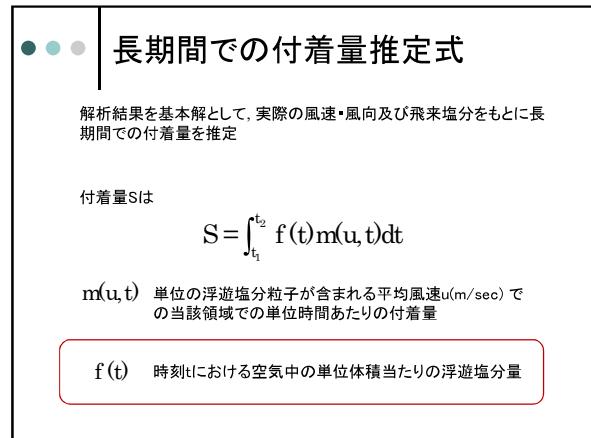
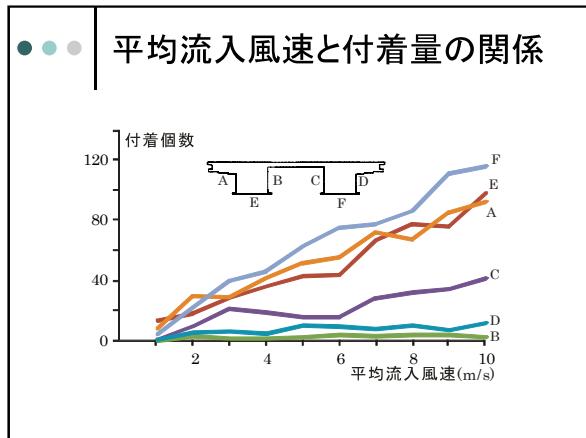
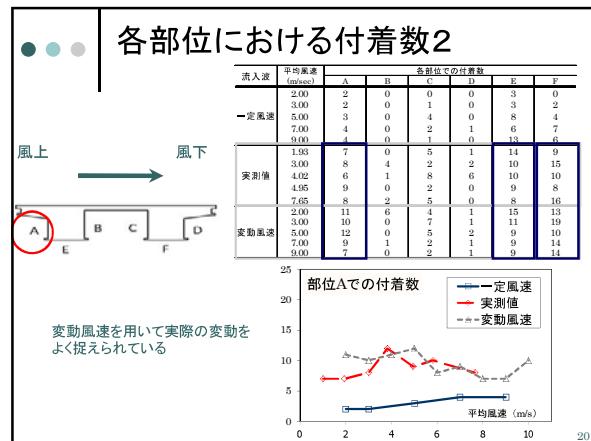
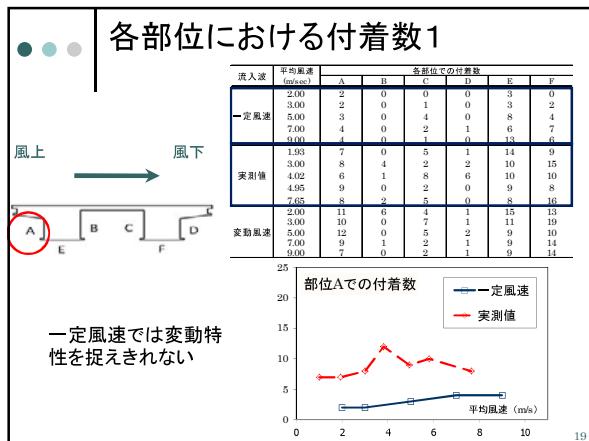


実測値

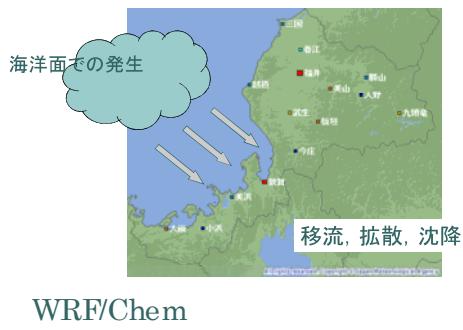


変動あり(正弦波・実測値)は付着しやすく、とりわけ内面において増加

18



● ● ● 気象現象の一部として解析



WRF/Chem

● ● ● 気象の数値シミュレーション

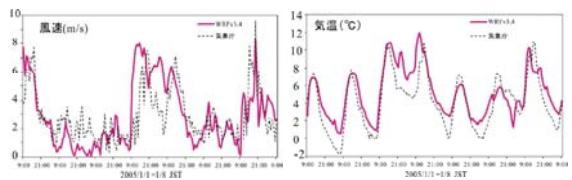
- WRF
メソスケール気象プログラム

予想だけでなく過去のデータから時間および空間的な内挿が可能

特定地点の特定時の気象データの取得が可能

大気汚染等の気象関連現象の予測も可能

● ● ● 解析例(温度、風)



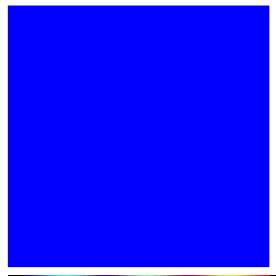
名古屋市 2005年1月1日～8日

● ● ● 飛来塩分シミュレーション

2008年1月の飛来塩分状況

季節風の影響によって、日本海側から塩分が飛来している

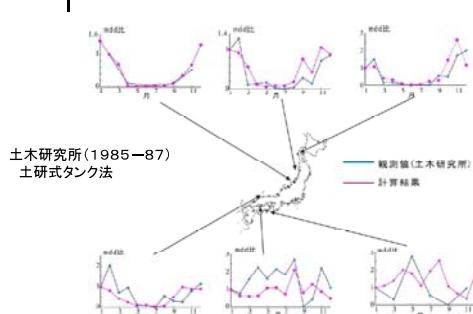
海面上で塩分が発生し、飛来しているのが確認できる



[WRF \(Weather Research and Forecasting\)](#)

米国大気研究センター(NCAR), 米国環境予測センター(NCEP)などが中心となり開発

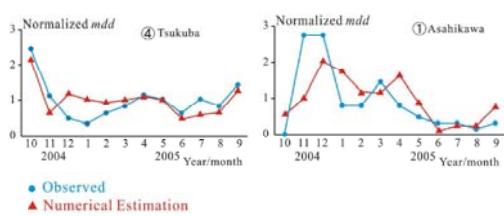
● ● ● 観測値との比較

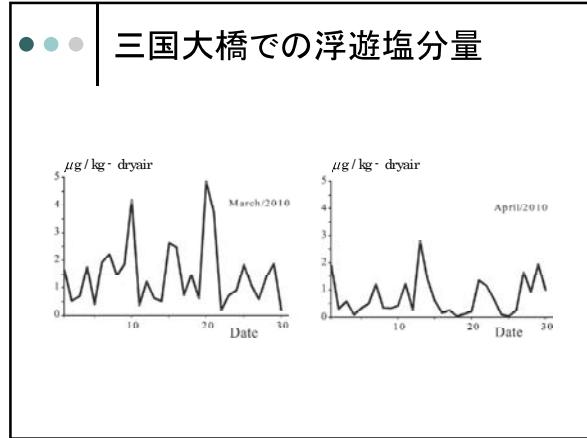
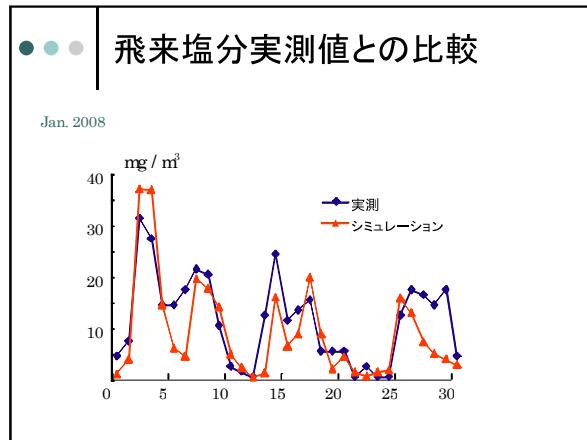
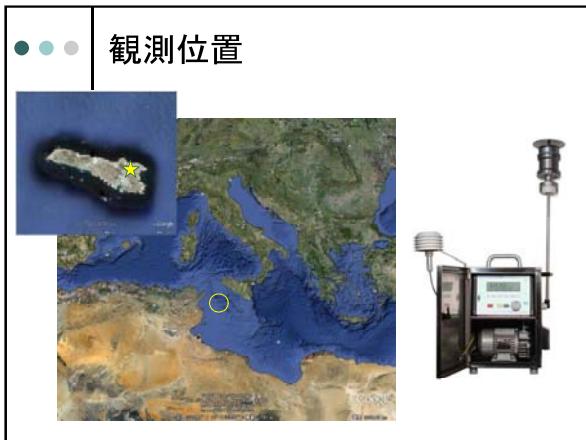
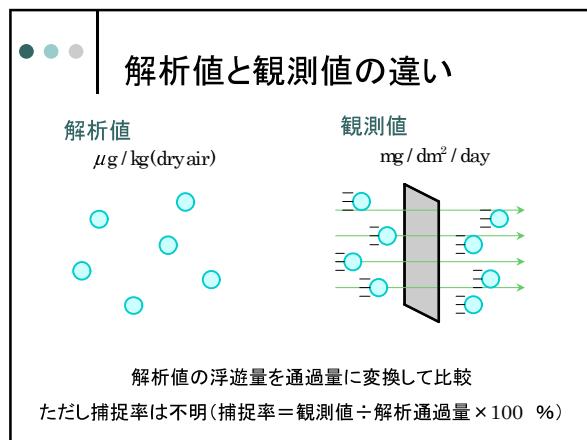
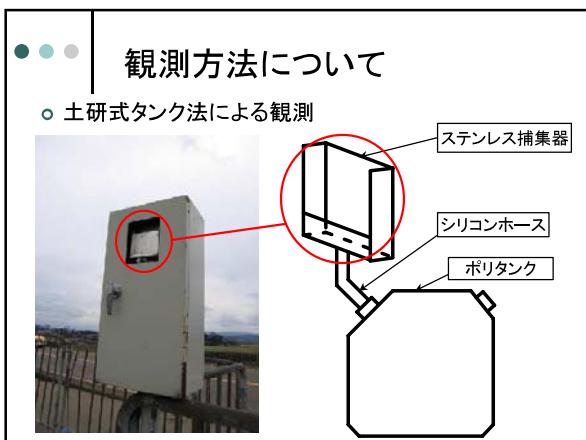


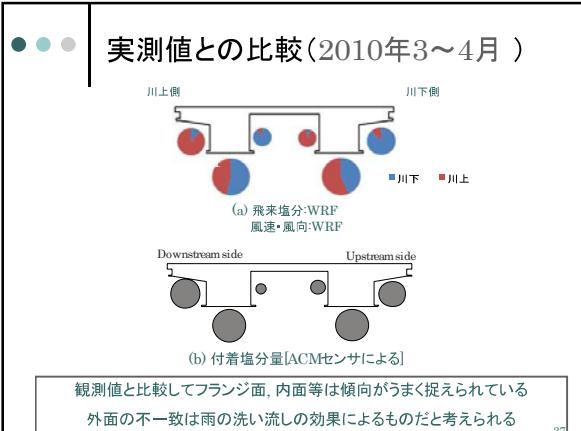
● ● ● 観測値との比較 2

NEDO(2004–2006)

ドライガーゼ法







● ● ● 予測に重要なこと

$$S = \int_{t_1}^{t_2} f(t) m(u, t) dt$$

$m(u, t)$ 単位の浮遊塩分粒子が含まれる平均風速(m/sec)で
の当該領域での単位時間あたりの付着量

$f(t)$ 時刻tにおける空気中の単位体積当たりの浮遊塩分量

浮遊塩分量の予測精度を高めること

● ● ● 飛来塩分の予測

WRF/V3

- 気象情報(風速、風向)
- 海洋面からの塩分供給

✓ 塩分粒子の輸送、拡散を予測
✓ その他の排気ガス、煤煙等にも応用可能

● ● ● 飛来塩分考慮モデル

飛来塩分粒子の発生率F

$$F = F(U_{10}, r)$$

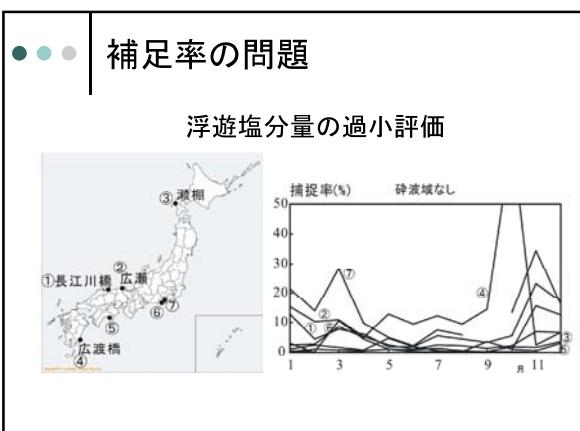
U_{10} : 10m風速
 r : 相対湿度80%時の粒径

U_{10} の3.41乗に比例
北大西洋上での観測に基づくモデル

U_{10} (10m風速)とは
地上10mの高さの風速
一般的に地上気象観測では地上約10mの高さで観測される

● ● ● 塩分量予測における問題点

- 浮遊塩分粒子の発生関数
- 適切な地形データの利用
- 観測値との比較





発生関数の改良

- 海岸の碎波域での発生を考慮する。

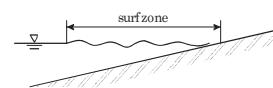


碎波域での塩分発生について

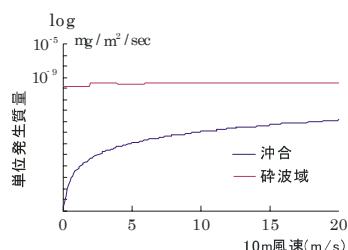
- 碎波により冲合より多量の塩分粒子が発生
- 浮遊粒子は白波から発生する



出典:Google Earth



碎波域での発生関数



G. Leeuw, et al., Production of sea spray aerosol in the surf zone, J. Geophys. Res., Vol 105, No. D24, 2000

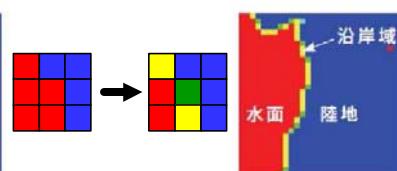


碎波域の取り扱い

- 水陸判別データに新たに沿岸域を追加
- 沿岸域は海岸線の数と方向の情報を含む



(a) 元データ



(b) 改良データ

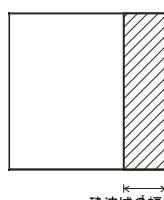


解析条件

- 発生関数のパラメーターである、係数cを調整

$$\frac{dF_{NS}}{dD} = acD^{-b} \quad (\mu\text{m}^{-1}\text{m}^{-2}\text{sec}^{-1})$$

(1.6 ≤ D ≤ 20 μm)

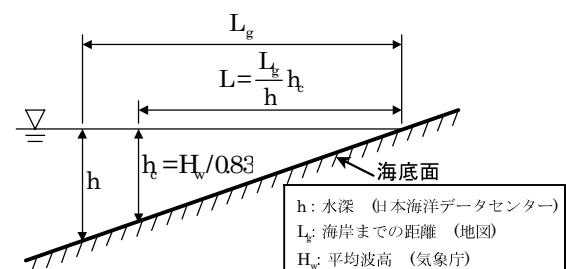


風速(m/s)	a	c	b
0-2	1.62		1.64
2-4	2.14		1.51
4-6	2.01		1.53
6-	7.84	10 ⁷	1.90



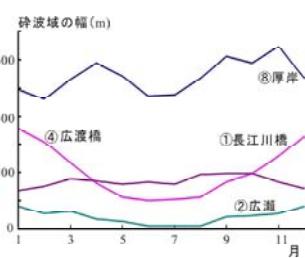
碎波域の幅の決定方法

- 碎波発生に関する理論式と各種データを使用



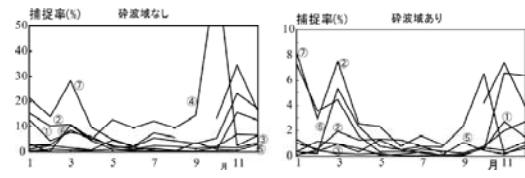
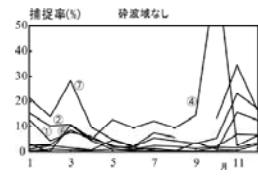


解析地点と碎波域の大きさ



タンクの捕捉率

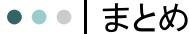
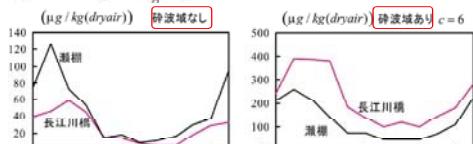
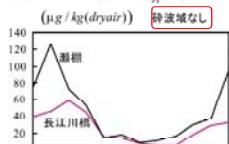
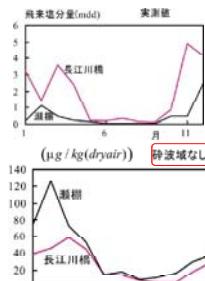
- 捕捉率は妥当な範囲へ



係数 $c = 1.0 \times 10^6$ のときのタンクの捕捉率



地点間の矛盾の解決



まとめ

- 数値的な腐食環境シミュレーションは可能

先にあるもの

- ✓ 適切な腐食環境指標の導入
- ✓ 合理的な劣化予測プログラムの作成
- ✓ 新たな維持管理手法の試み