

防災・減災に向けた研究成果報告会
～東日本大震災から3年～

東日本大震災での経験に基づいた 橋の耐震性能評価

2014年3月19日

(独)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター

星隈 順一



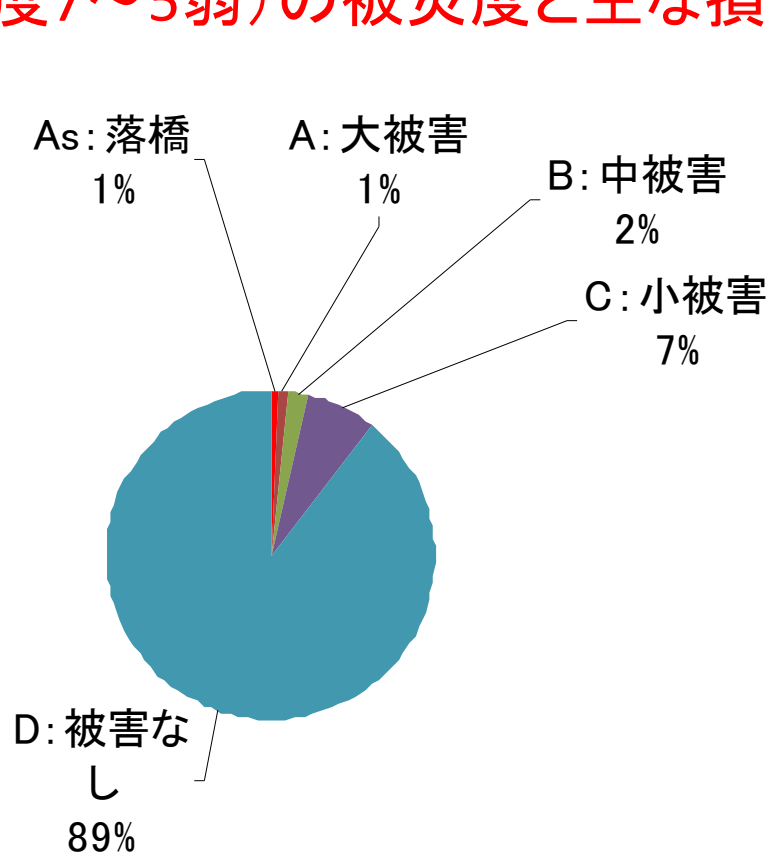
報告の内容

地震動や津波の影響による被害経験だけでなく、橋としての機能が確保できた経験からも学びとる

1. 橋に強い影響を及ぼす地震動が観測された地域周辺を対象とした橋の被災マクロ分析
2. 強い短周期成分をもつ地震動に対する橋の挙動評価と実際の被害との比較
3. 津波により桁が浸水した橋の中で流出した橋と流出しなかった橋の違いとその影響度評価

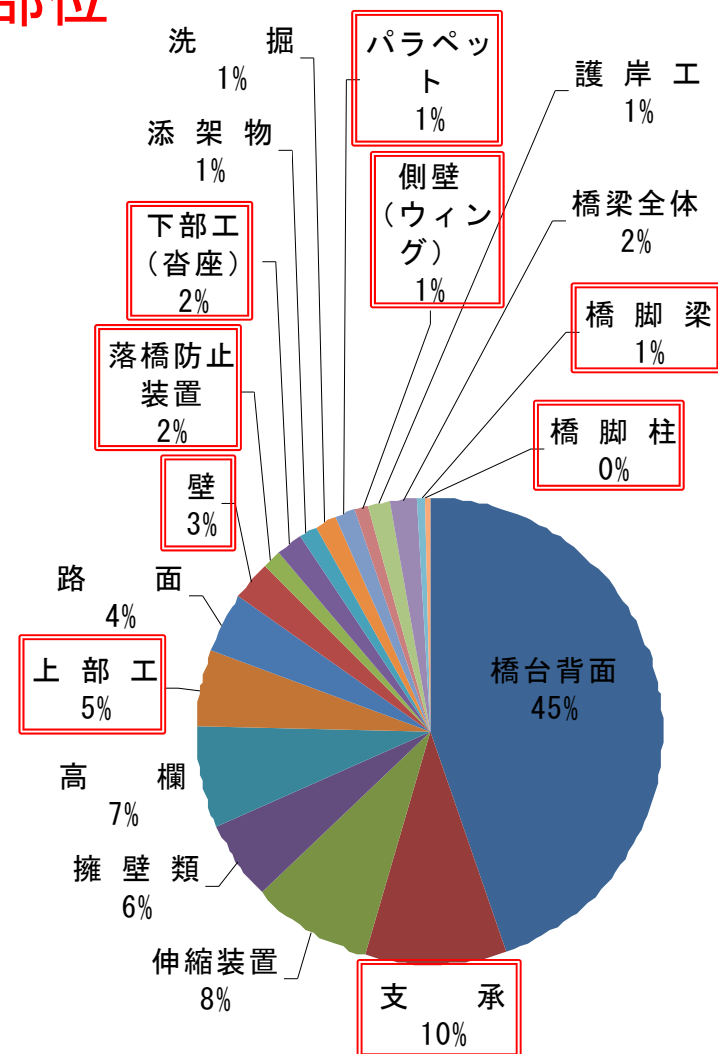
道路橋の被災度のマクロ分析

岩手県，宮城県，福島県内の直轄国道11路線上の1,504橋
(震度7～5弱)の被災度と主な損傷部位



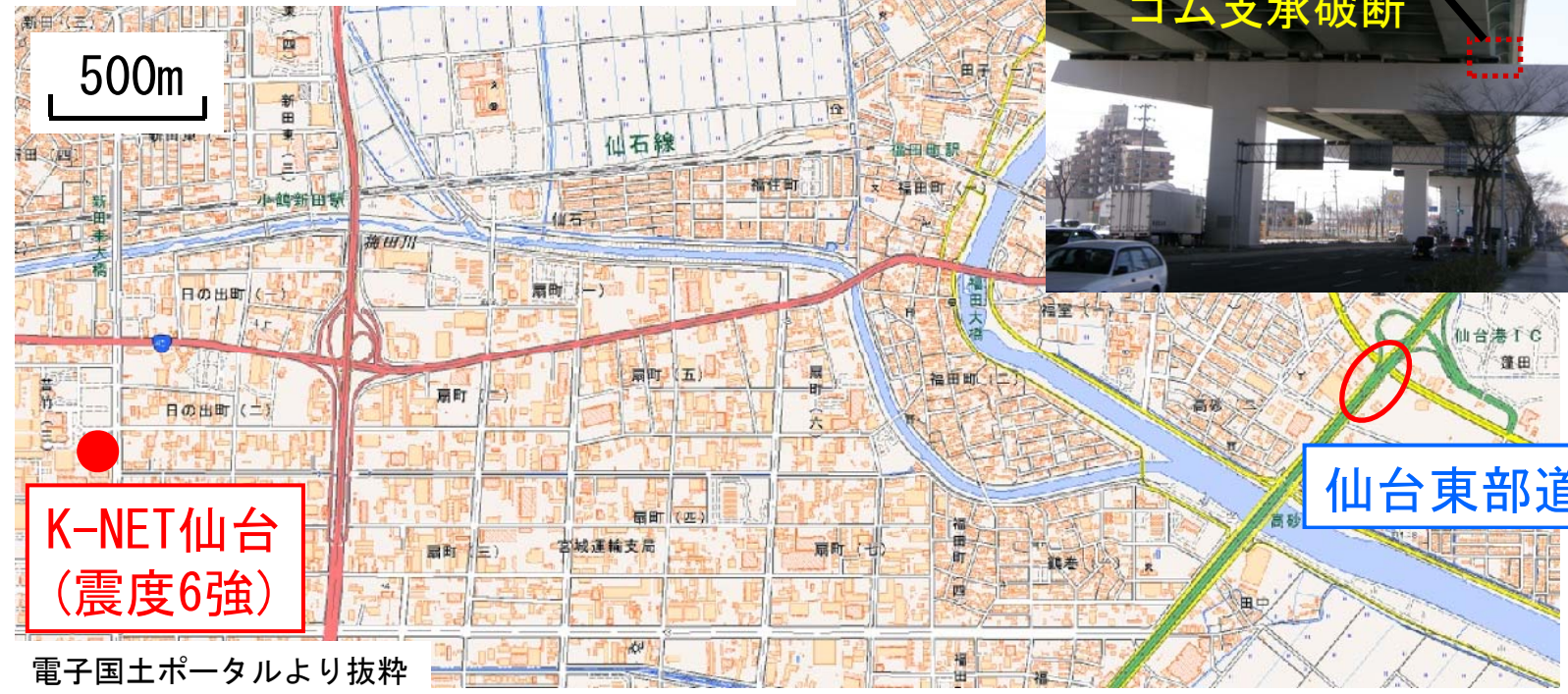
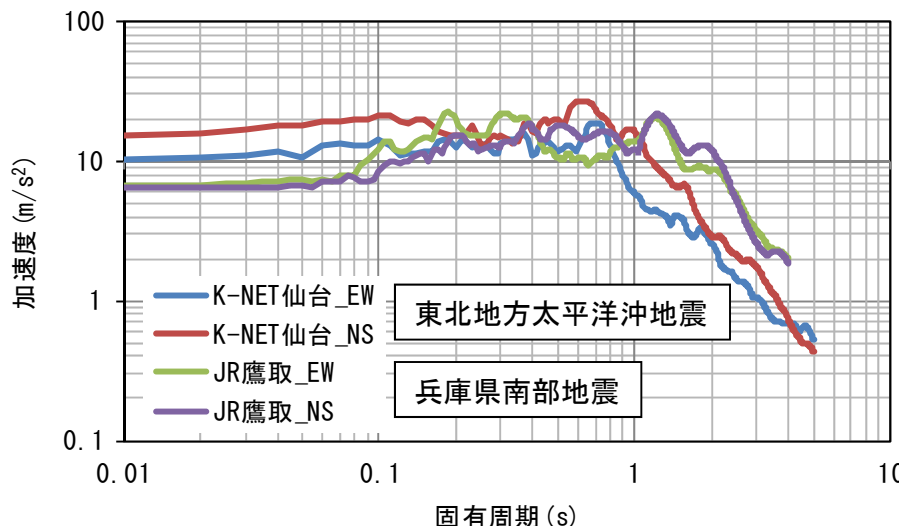
※被災度判定は震災対策便覧に基づいて実施

情報提供：国土交通省東北地方整備局
(第4回CAESAR講演会資料から抜粋)

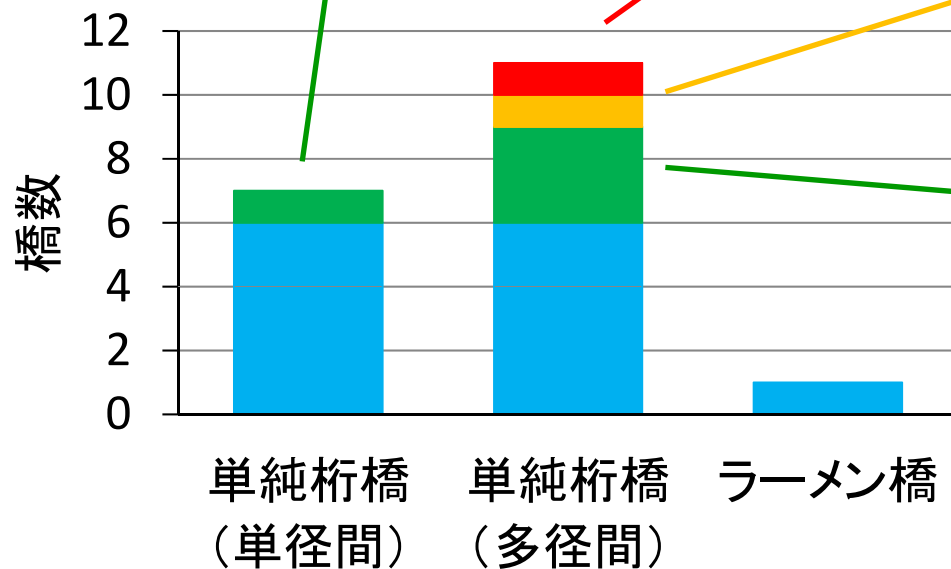


※損傷箇所は、主な損傷で1橋1箇所に代表

橋に強い影響を及ぼす地震動の観測とその周辺の橋



周辺に存していた他の19橋の構造形式と被災度の関係



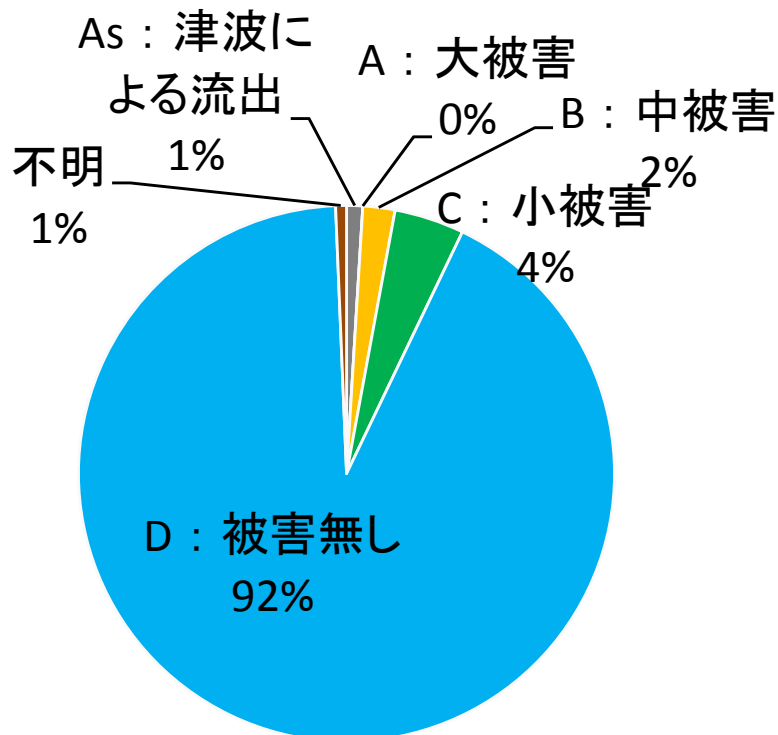
※道路管理者からの提供
情報を基に分析して作成

■ 被災度A (大被害) の部材がある橋	■ 被災度B (中被害) の部材がある橋
■ 被災度C (小被害) の部材がある橋	■ 被災度D (軽微又は被害なし) の橋

※被災度は震災対策便覧に基づく

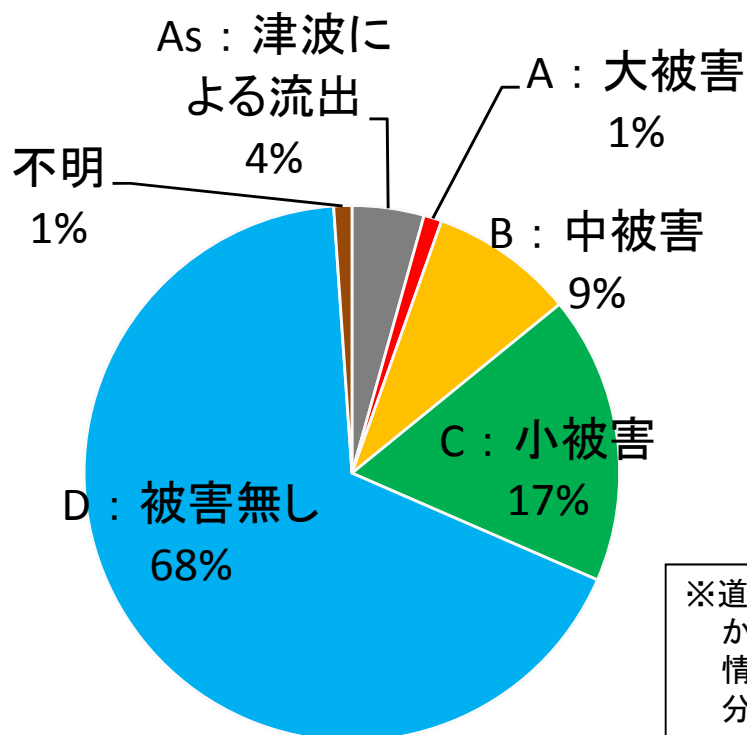
もう少し広範囲な橋で構造形式と被災度の関係を検証

両端橋台の単径間単純桁橋
(309橋)の被災度



対象橋の橋長の範囲: 2~65m

複数径間の単純桁橋または
連続桁橋(92橋)の被災度



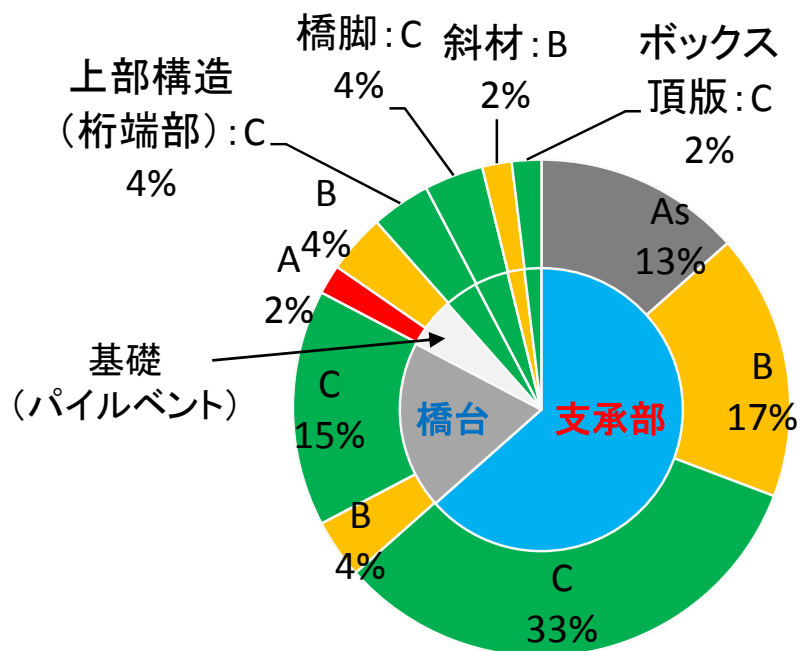
対象橋の橋長の範囲: 7~305m

※道路管理者からの提供情報を基に分析して作成

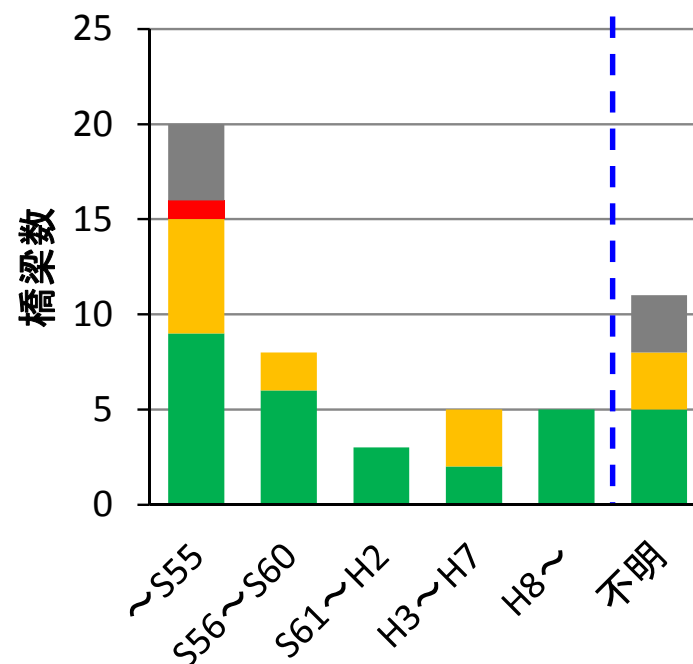
橋に強い影響を及ぼす地震動を受けた地域であっても両端橋台の単径間単純桁橋は被害が限定的

当該範囲の対象橋で被害があった橋の損傷部位と竣工年

被災が生じた52橋の損傷部位とその被災度



被災が生じた52橋の竣工年別の被災度



- ・損傷部位としては支承部が多いが、パイルベント基礎の損傷も生じている
- ・古い年代の橋の方が被災度の高い損傷が生じている

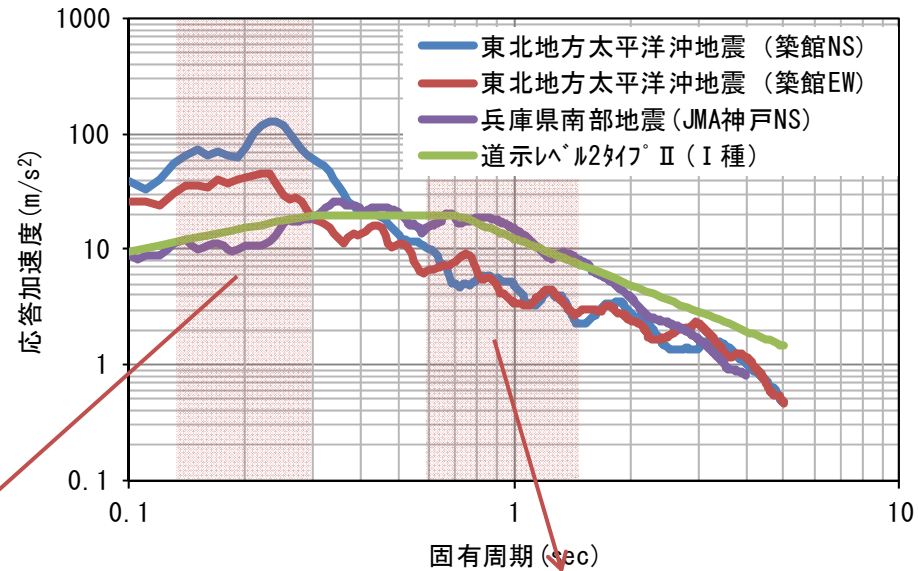
- 被災度As(落橋)の橋
 - 被災度A(大被害)の部材がある橋
 - 被災度B(中被害)の部材がある橋
 - 被災度C(小被害)の部材がある橋
- ※被災度は震災対策便覧に基づく

短周期成分が卓越した地震動が橋の挙動に及ぼす影響



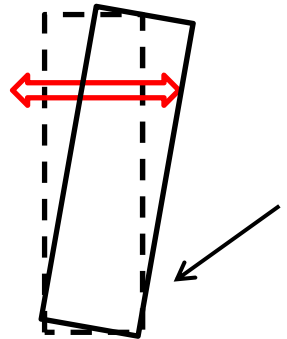
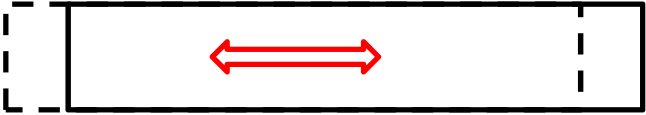
電子国土ポータルより抜粋

K-NET築館
(震度階7)

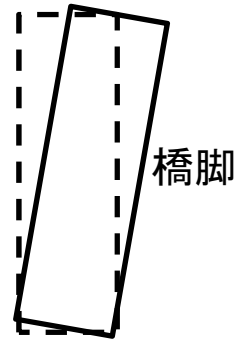


固有周期が短い振動に対してゴム支承で支持された橋に生じる振動モード

固有周期が長い振動に対してゴム支承で支持された橋に生じる振動モード



動的解析では、橋脚自身の重量に起因する慣性力により橋脚基部に大きなせん断力が作用すると評価

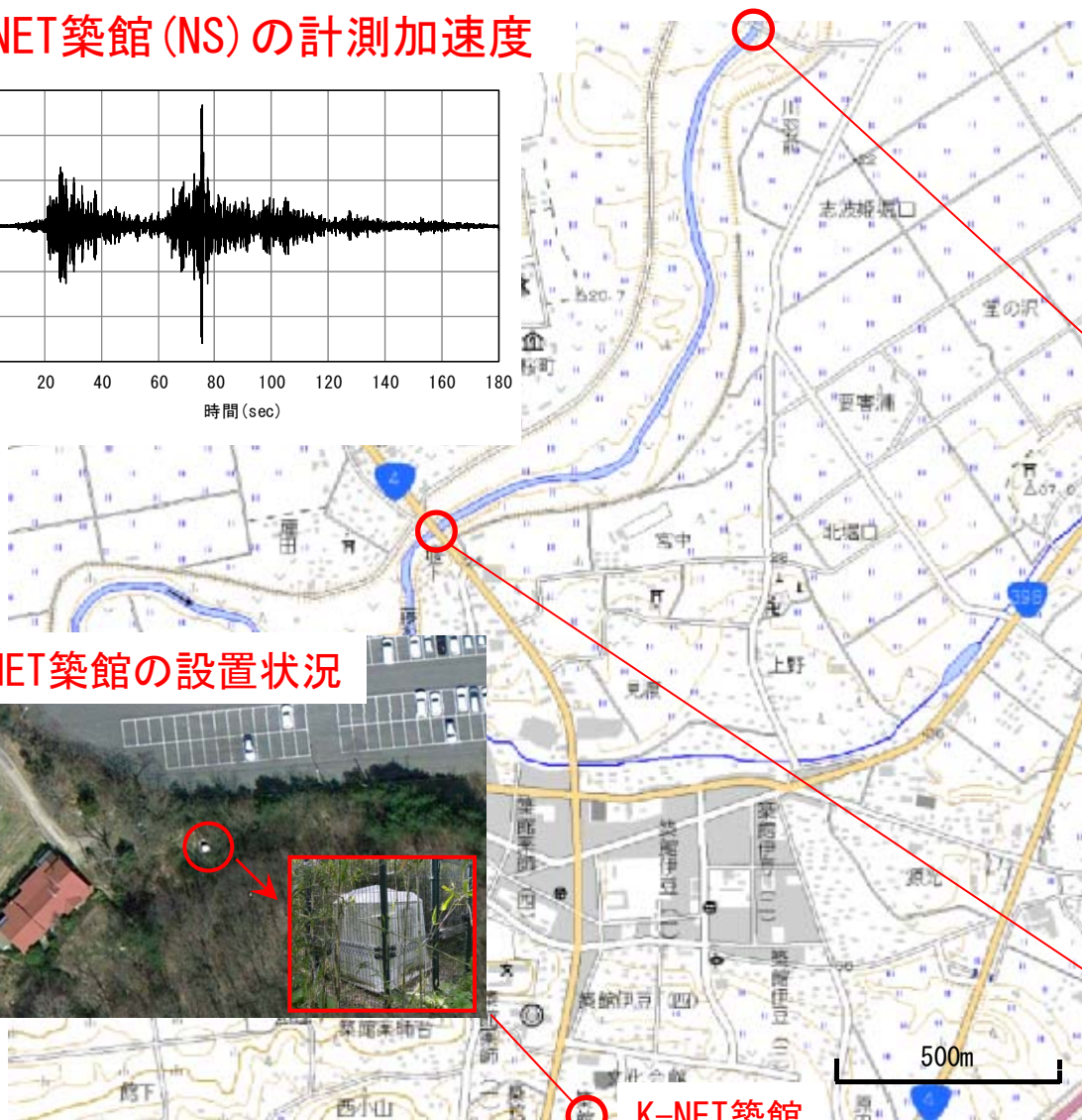
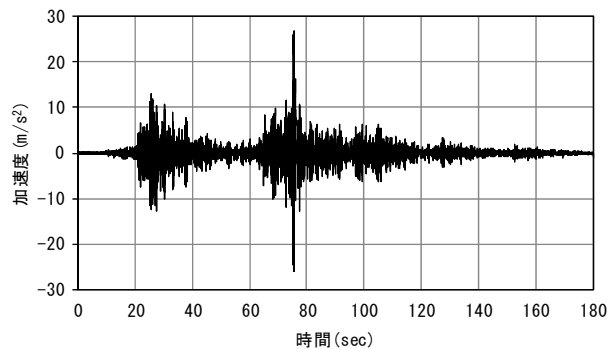


上部構造と橋脚が逆位相で振動(橋軸2次)

上部構造と橋脚が同位相で振動(橋軸1次)

短周期成分が卓越した地震動に対する橋の被害は？

K-NET築館 (NS) の計測加速度



K-NET築館の設置状況



K-NET築館

地図は電子国土ポータルより抜粋

写真は土木研究所資料第4263号より抜粋

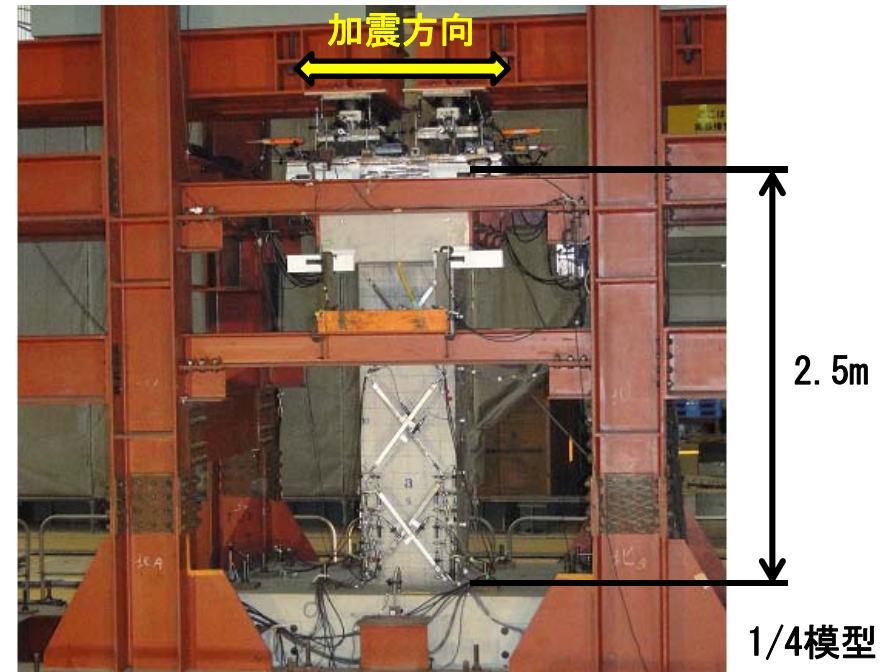
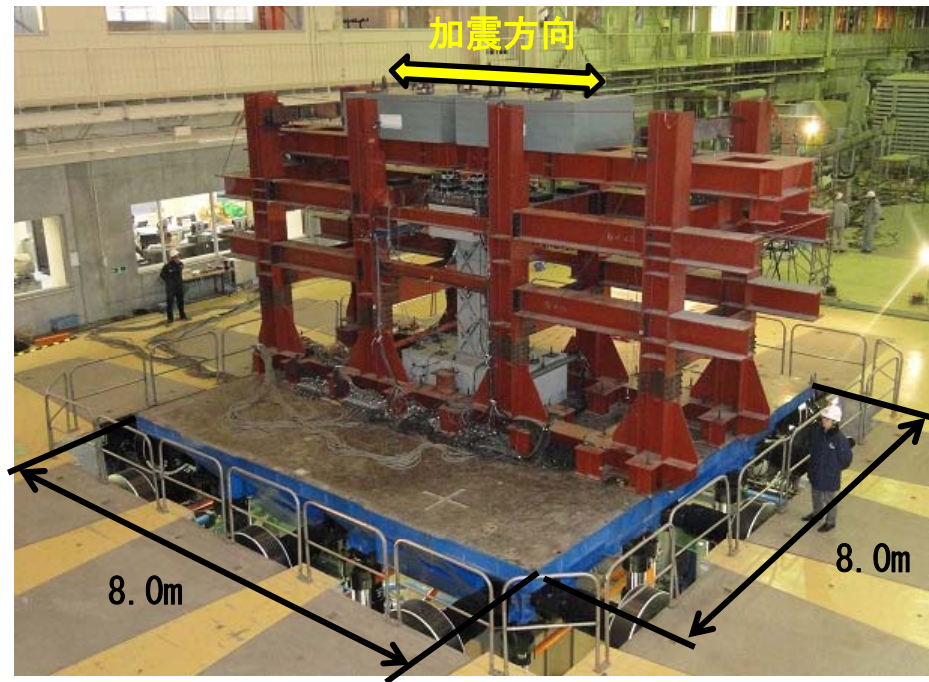


5径間連続PC箱桁橋



単純鋼鉄桁橋 (3連)

大型振動台による橋の挙動の検証実験



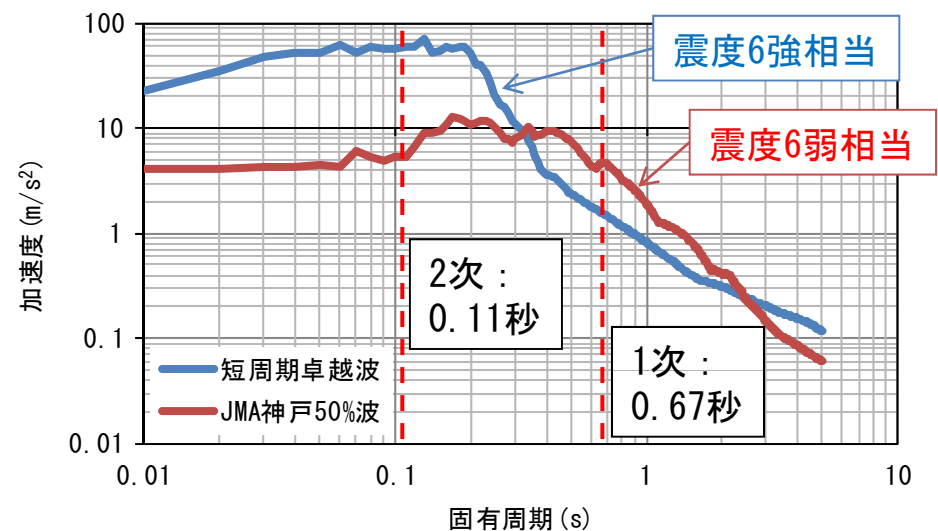
入力地震動

①短周期卓越波

→K-NET築館で観測されたような短周期帯で大きな加速度を示す地震動

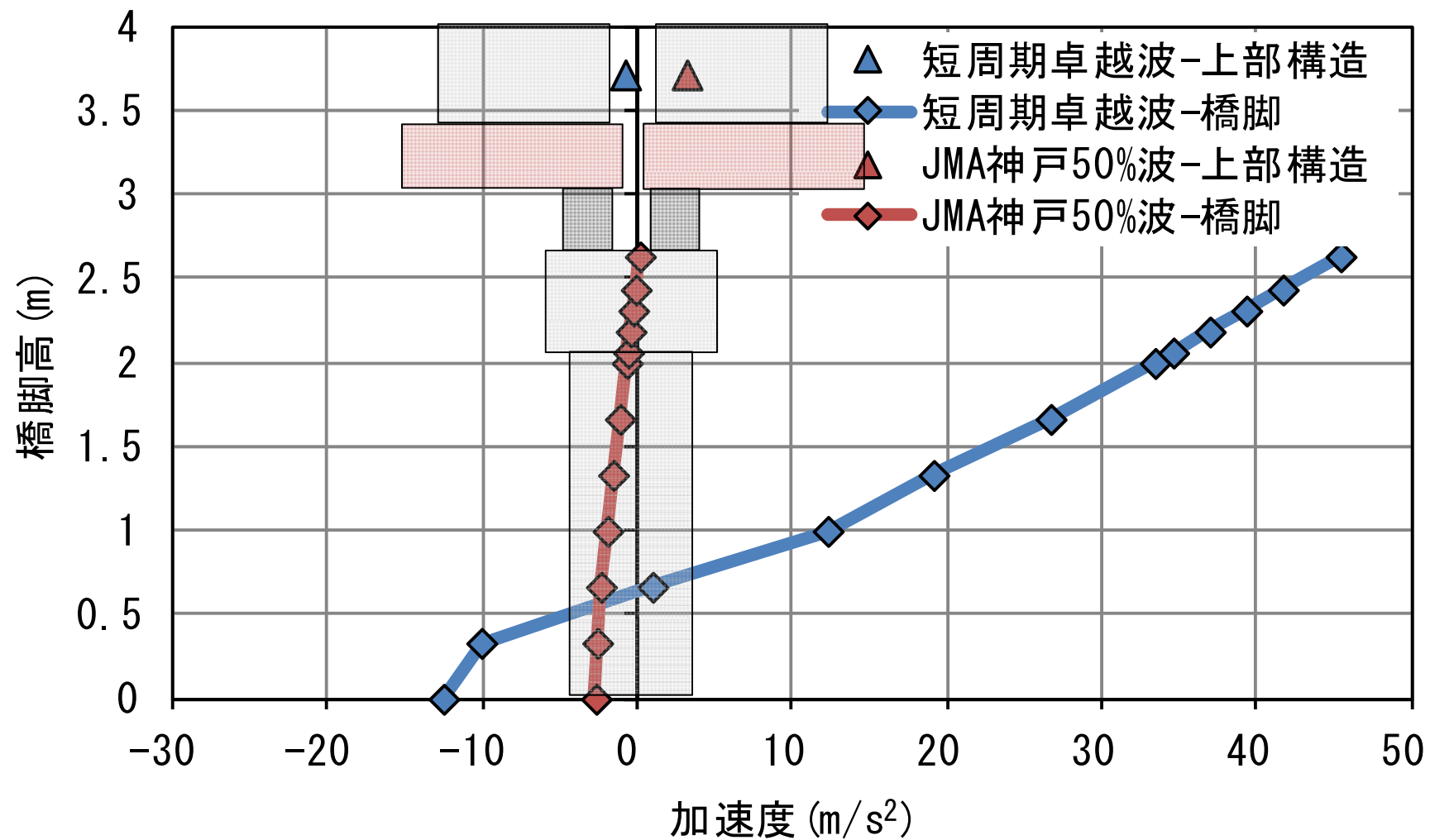
②兵庫県南部地震-JMA神戸50%波

→現行の耐震設計で考慮している周期特性の地震動(加速度は50%に低減)



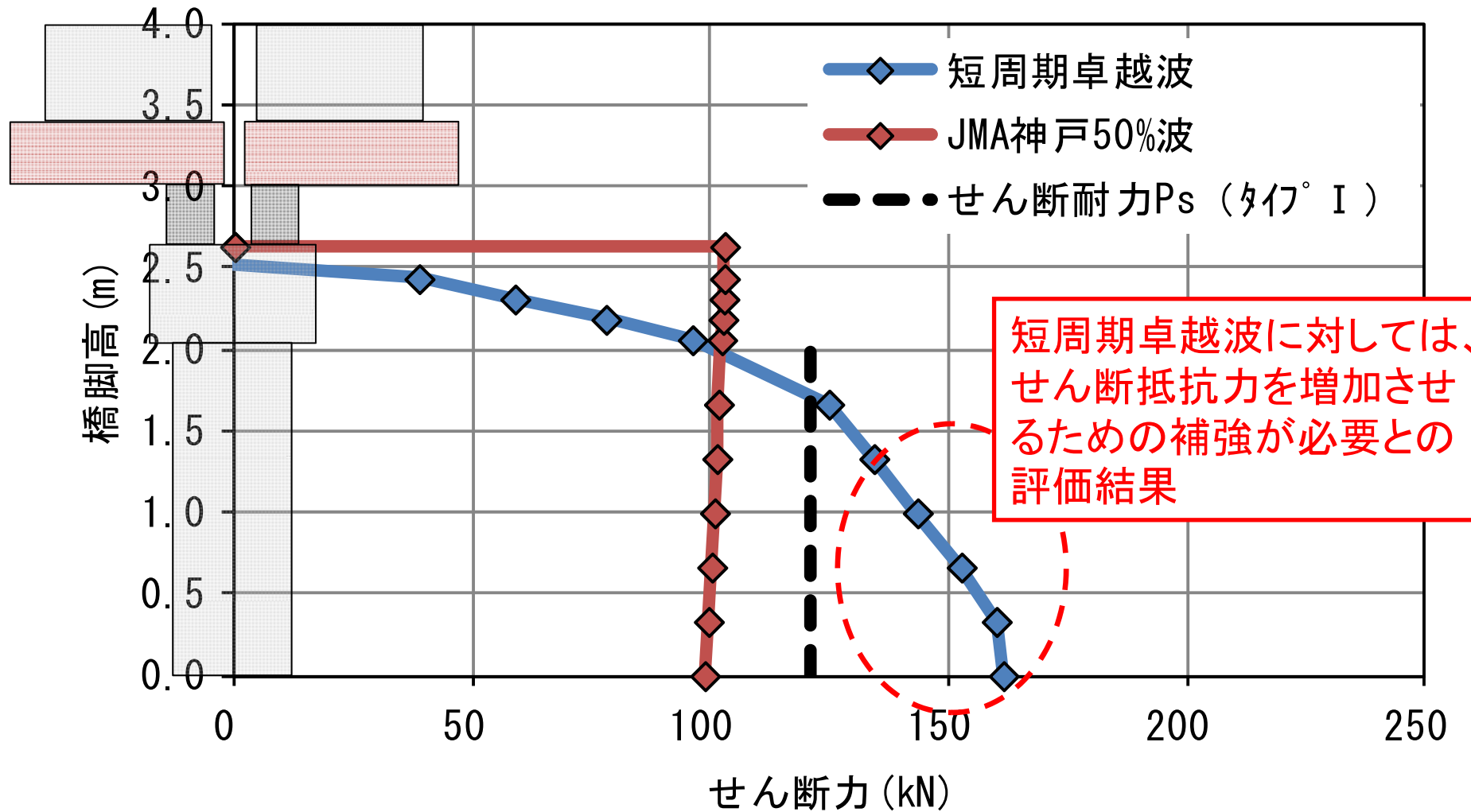
道路橋示方書に基づく動的解析の結果

橋脚に最大の変位が生じる時の水平加速度分布

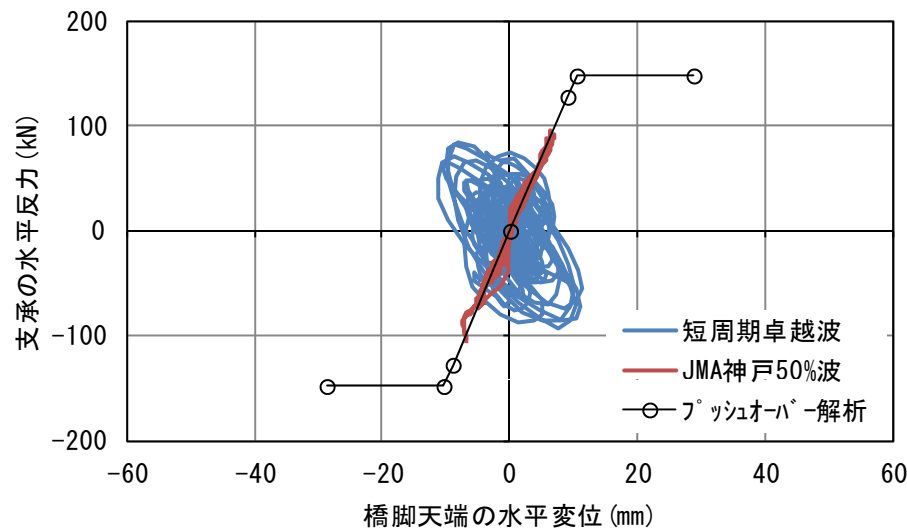
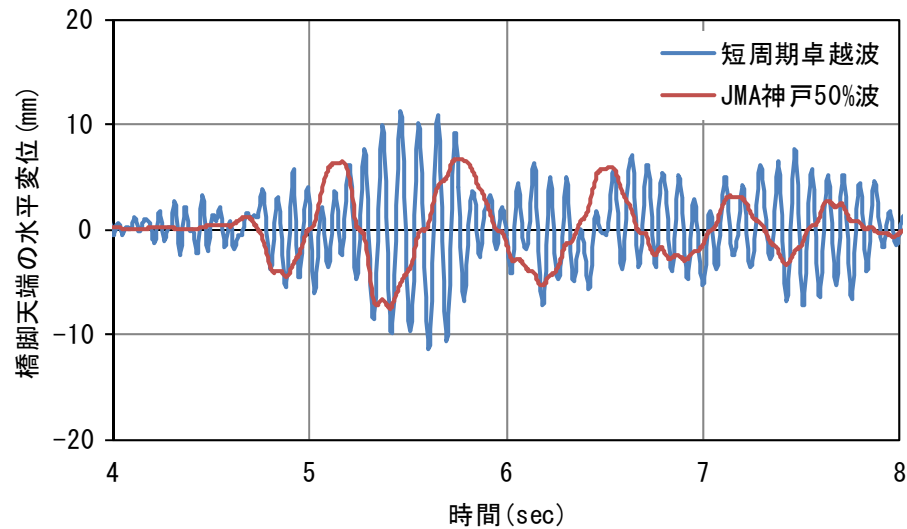


道路橋示方書に基づく動的解析の結果

橋脚に最大のせん断力が発生する時のせん断力分布



大型振動台による橋の挙動の検証実験



短周期卓越波



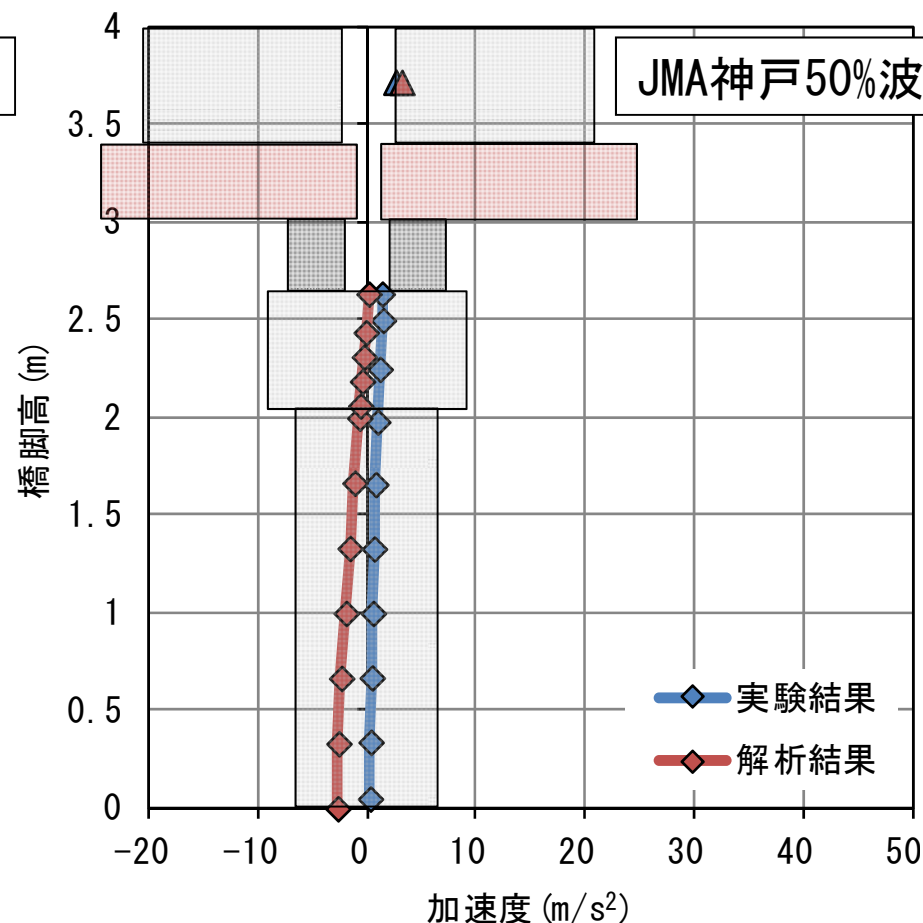
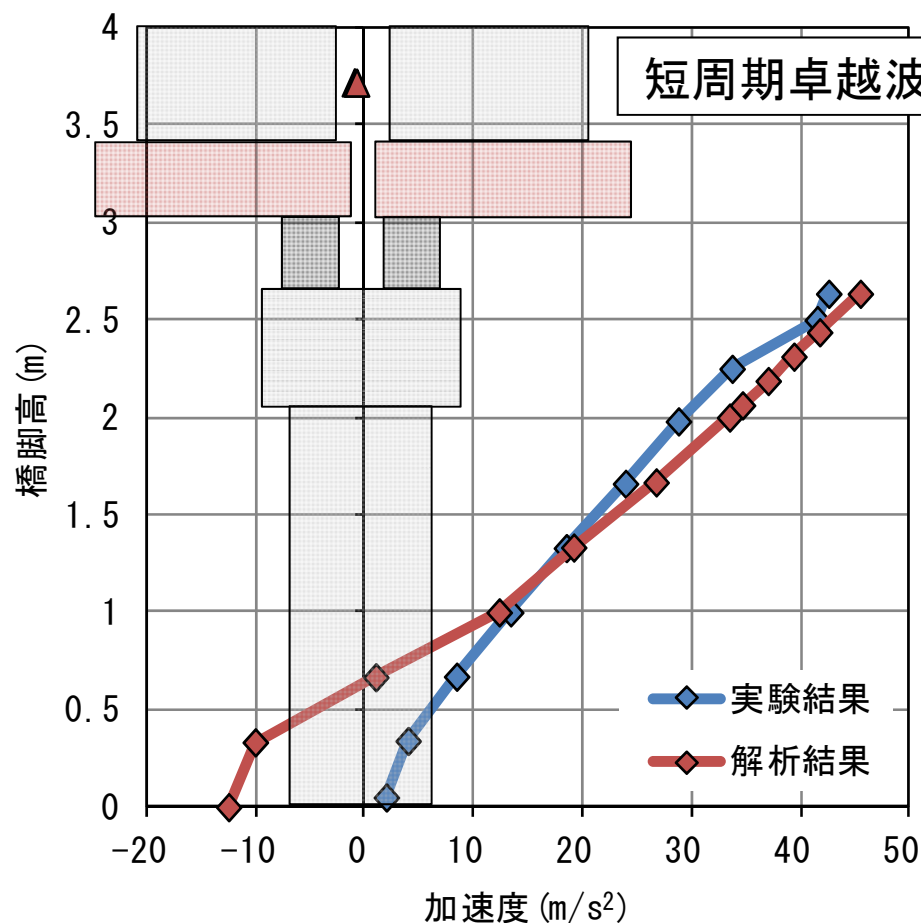
JMA神戸50%波



短周期卓越波に対しては、JMA神戸50%波の場合よりも橋脚に生じた応答変位が大きいにも関わらず、損傷が生じていない

実験結果と動的解析による評価結果の比較

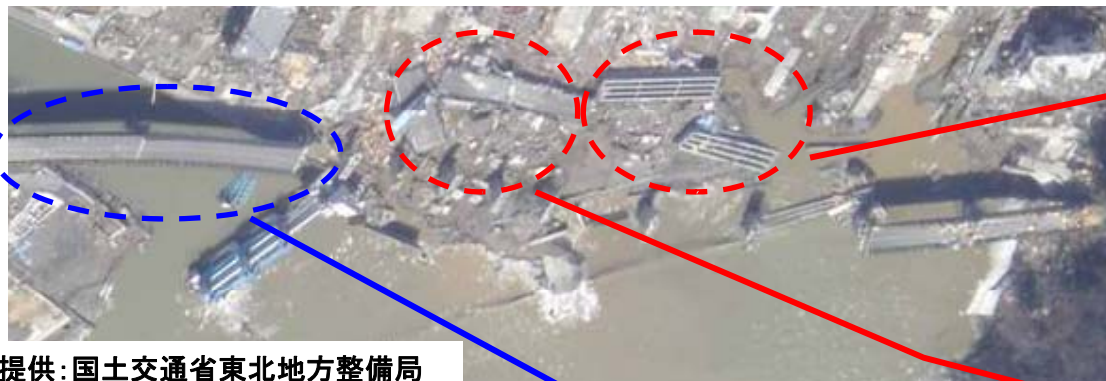
橋脚に最大の変位が生じる時の水平加速度分布



- ・最大水平加速度や水平加速度の分布形状は概ね実験結果と整合
- ・上部構造と橋脚が逆位相で振動するモードにおいて橋脚に生じるせん断力及び当該せん断力作用時における橋脚のせん断耐力の評価手法の検証

海岸近くにある橋の津波による被害の状況

橋桁まで浸水し、支承が破壊したことで橋桁が流出



提供: 国土交通省東北地方整備局

東側(ポステンT桁)



中央(プレテンT桁)



西側(ポステンT桁)



橋桁まで浸水したが、橋桁は流出しなかった橋



津波の影響を受ける橋の構造計画

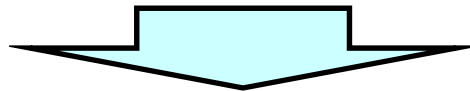
H24道路橋示方書 V 耐震設計編

2.1 耐震設計の基本方針

(2) 耐震設計にあたっては、地形・地質・地盤条件、立地条件、津波に関する地域の防災計画等を考慮した上で構造を計画するとともに、橋を構成する各部材及び橋全体系が必要な耐震性を有するように配慮しなければならない。

構造計画の考え方の例

- ・津波に関する地域の防災計画等を参考にしながら津波の高さに対して桁下空間を確保する
- ・津波の影響を受けにくいような構造的工夫を施す
- ・上部構造が流出しても復旧しやすいように構造的な配慮をする



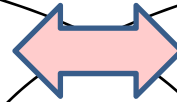
構造計画を検討する上での課題

- ・津波により橋が受ける影響度合いの評価手法
- ・津波による影響低減のための構造的な配慮の具体策

津波－橋梁構造間の相互作用の要因

津波側の特性

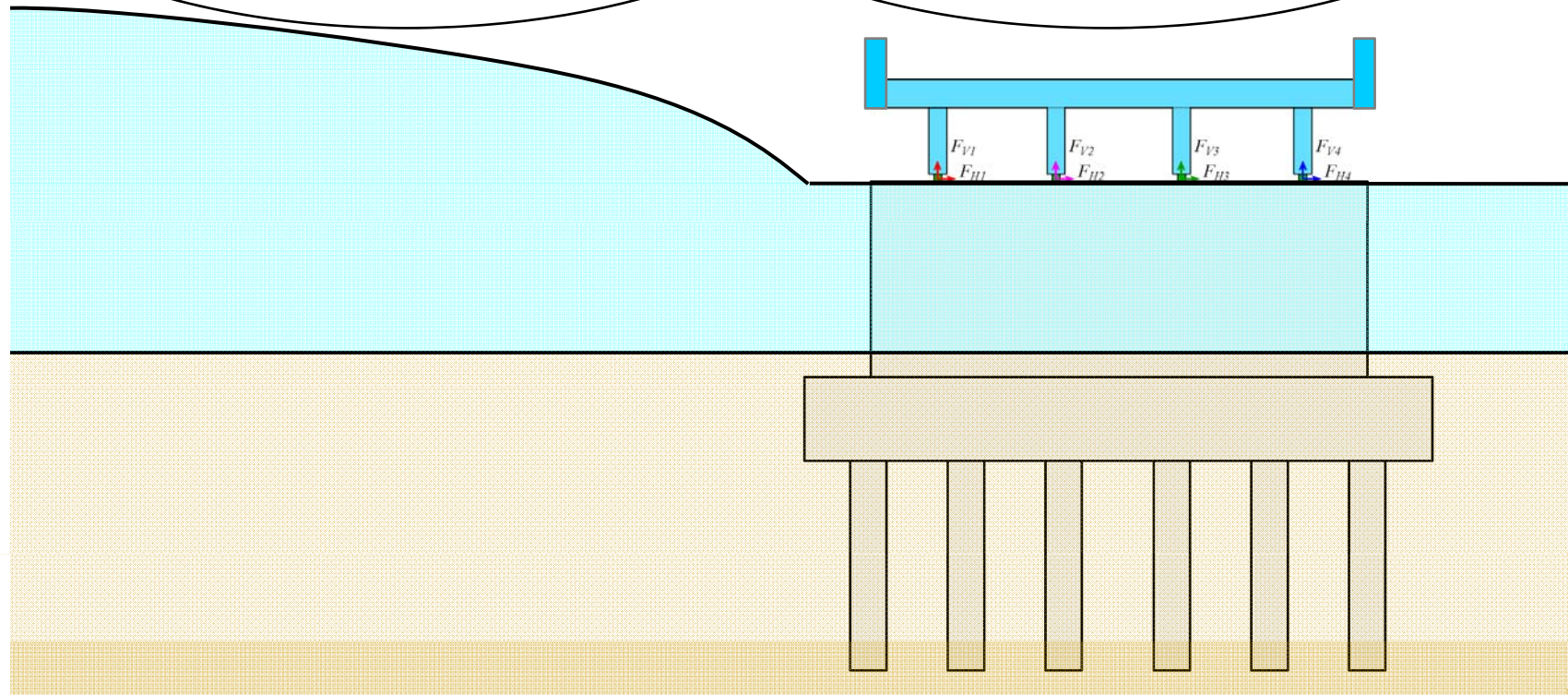
- ・ 津波高さ
- ・ 津波の流速
- ・ 段波到達前の静水位
- ・ 水位上昇速度
- 他



相互
作用

橋梁構造側の特性

- ・ 上部構造断面形状
(桁高、高欄、床版張出し長)
- ・ 主桁間隔 (本数)
- ・ 桁間の空気溜まりの体積
- ・ 並列側道橋の影響 他



津波の影響を受ける橋の抵抗特性に関する研究

①津波に対する橋の挙動メカニズムの解明

- ・ 上部構造の断面特性が津波の影響によって橋に生じる作用に及ぼす影響の解明
- ・ 津波によって生じる作用によって弱点となる部位とその部位の抵抗特性の評価

②津波の影響を受ける橋の影響度評価手法の構築

実橋の被災経験とその分析に基づいた津波の影響を受ける橋の挙動評価手法

③津波の影響を受けにくくするための構造的工夫

津波により橋に力が作用するメカニズムを踏まえた構造的工夫の考え方の提示とその検証

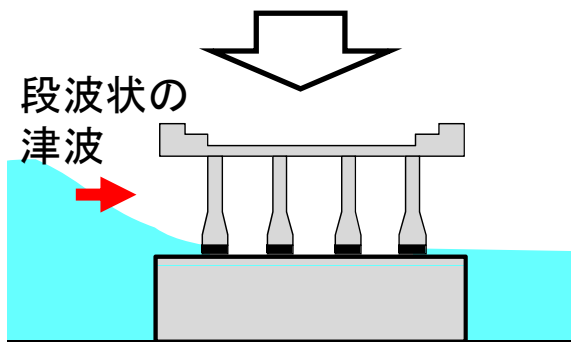
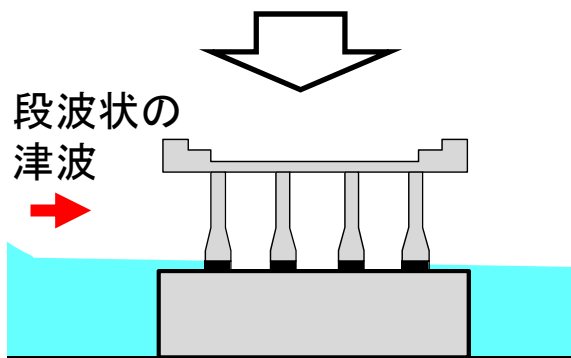
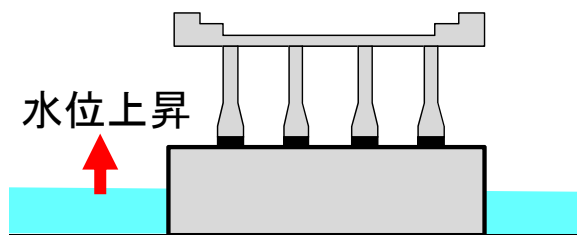
④津波の影響を受ける既設橋への対策技術の開発



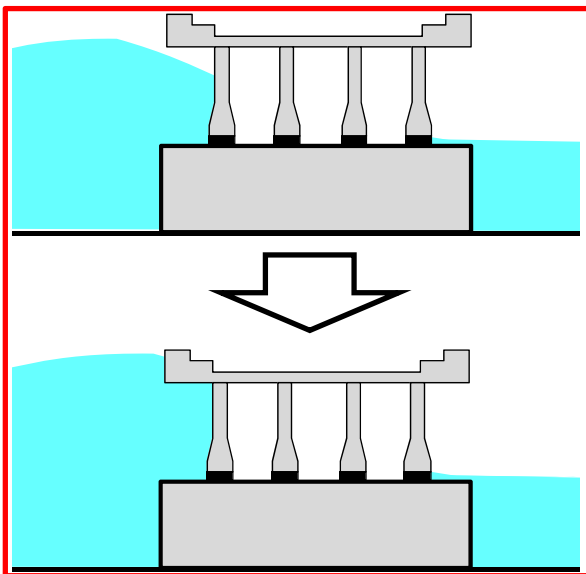
津波によって生じる支承反力に及ぼすフェアリングの設置効果の検証実験

橋に影響を及ぼす津波と支承に生じる反力特性の関係

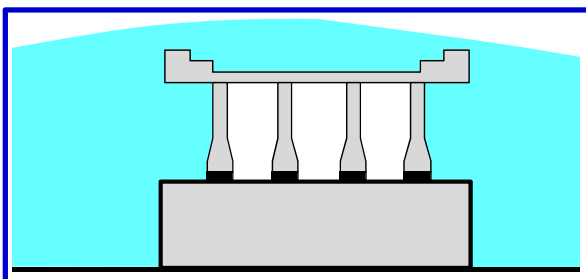
津波が橋桁に到達する
前の段階



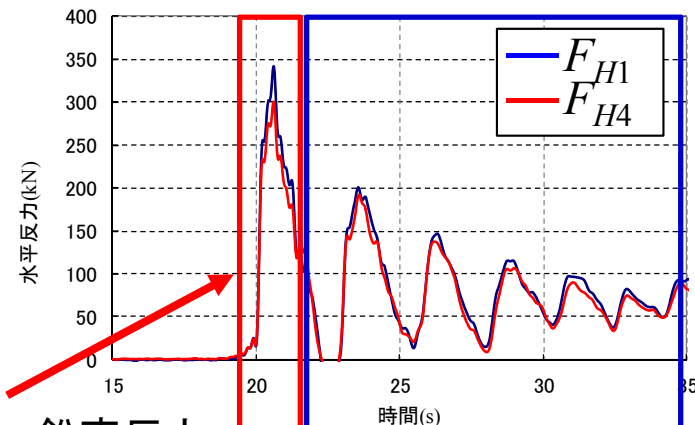
津波が橋桁に到達した
段階



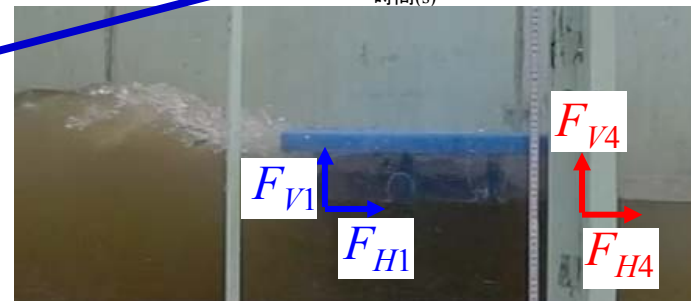
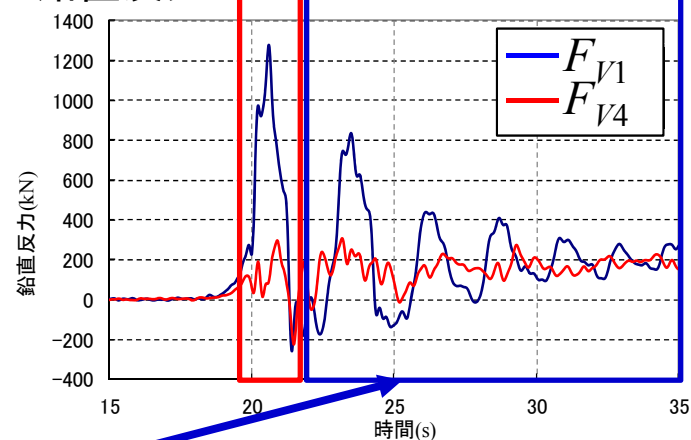
津波が橋桁の上を通過
している段階



水平反力

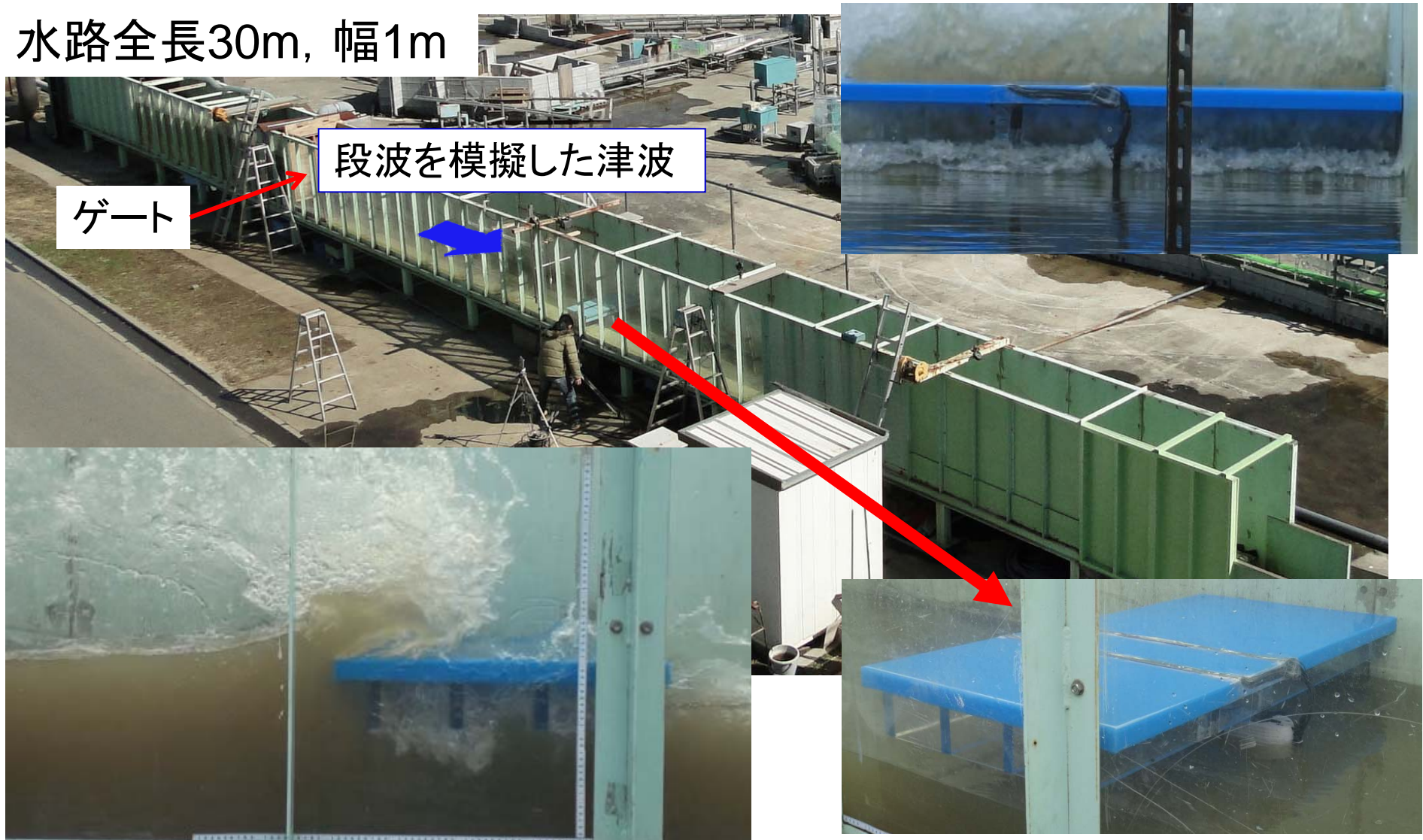


鉛直反力



段波状の津波の影響を受ける橋に生じる 圧力と支承部の挙動把握のための水路実験

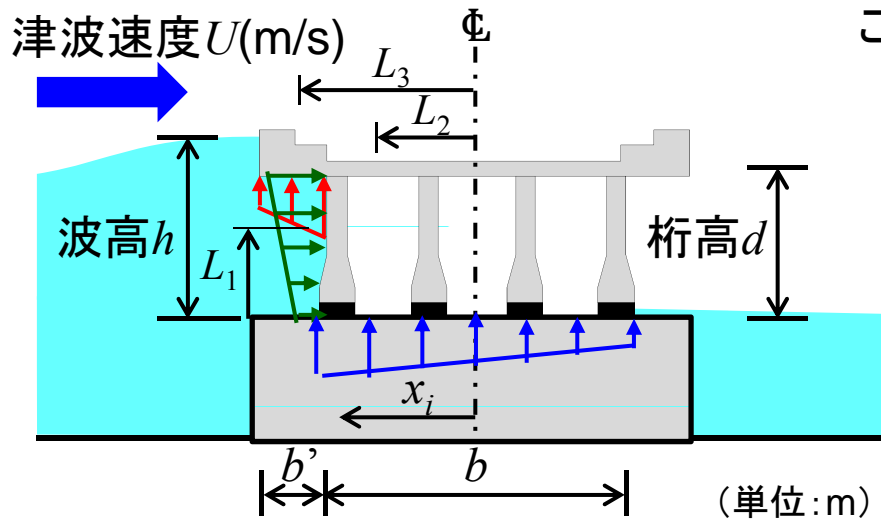
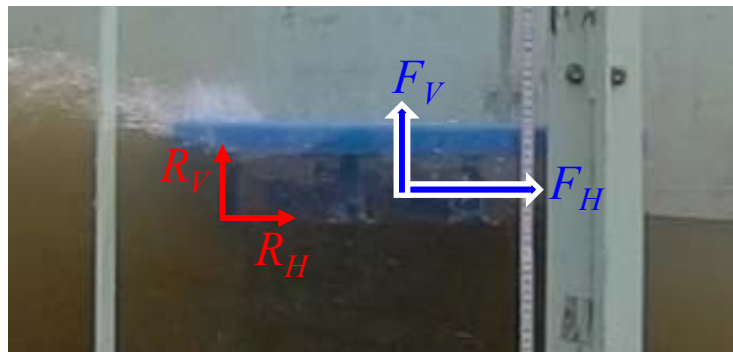
水路全長30m, 幅1m



橋に対する水路実験としては1/20スケール

津波の影響を受ける橋の支承部の評価手法の構築

段波状の津波が橋桁の位置に到達した時の流れの状態



支承に作用する反力の評価手法(案)

水平反力(津波作用側耳桁支承) $R_H(N)$

$$R_H = \frac{F_H}{N}$$

鉛直反力(津波作用側耳桁支承) $R_V(N)$

$$R_V = \frac{F_H \times L_1 + F_{Vs} \times L_2 + F_{Vd} \times L_3}{\sum(x_i^2)} \times x_1 + \frac{F_V}{N}$$

ここで,

$F_H(N)$: 水平作用力

$$F_H = \frac{1}{2} \rho U^2 d C_D C_H C_r l$$

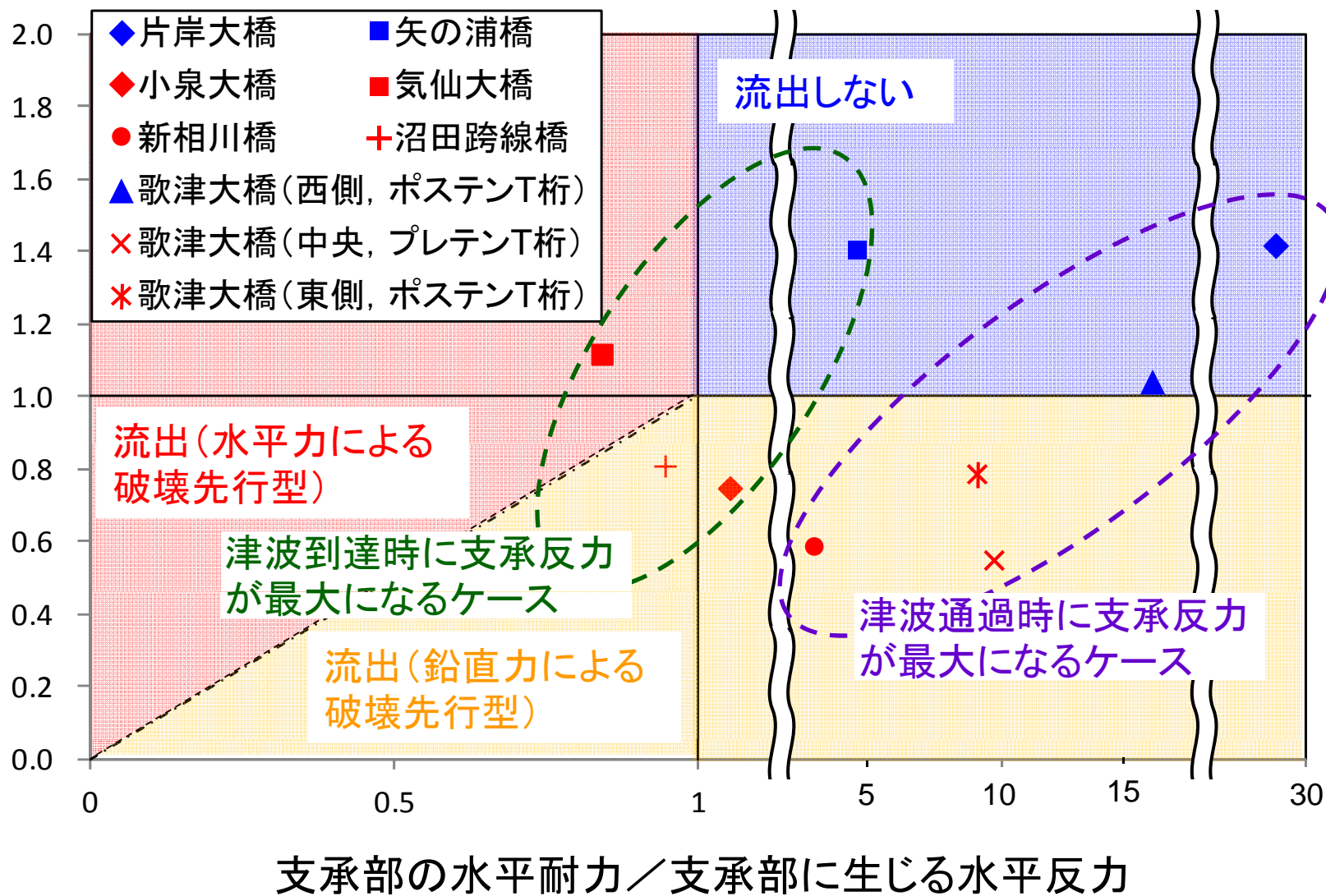
$F_V(N)$: 鉛直作用力

$$F_V = F_{Vs} + F_{Vd} \\ = \frac{1}{2} \rho g h b C_{Vs} l + \frac{1}{2} \rho U^2 C_D b' C_{Vd} l$$

F_{Vs} : 静圧力による力成分	g : 重力加速度(9.8m/s ²)	N : 主桁数
F_{Vd} : 動圧力による力成分	l : 支間長(m)	C_D : 抗力係数
C_r : 浸水率(0 ≤ C_r ≤ 1)	C_H, C_{Vs}, C_{Vd} : 津波特性による補正係数	ρ : 密度(1,000kg/m ³)

支承部の耐力評価と実橋での被災状況との整合性

(支承部の鉛直耐力+自重) / 支承部に生じる鉛直反力



※橋の立地地点における津波速度及び支承部を含めた橋の構造条件の詳細情報が得られた橋を対象として検討

支承部の耐力評価と実橋での被災状況との整合性

鉛直反力

2.0
1.8

気仙大橋 (津波推定速度 6.9m/s)



被災前

提供: 国土交通省
東北地方整備局



被災後

片岸大橋 (津波推定速度 3.3m/s)



(支承部の鉛直耐力+自

0.4
0.2
0.0

流出 (鉛直力による
破壊先行型)

0

0.5

1

支承部の水平耐力 / 支承

新相川橋 (津波推定速度 2.0m/s)



被災前

提供: 国土交通省
東北地方整備局



被災後

※橋の立地地点における津波速度及び支承部
得られた橋を対象として検討

震災経験を最大限に活かしていく

1. 橋の挙動メカニズムの解明

- ・短周期卓越地震動や津波の影響に対する橋の挙動解明
→ 被害が生じなかったメカニズムも解明

2. 既設橋の耐震性能評価

- ・求められる耐震性能を満たす各部材の限界状態の組合せ方
- ・地震時挙動の評価手法、部材耐力の評価手法の合理化
- ・実橋における流出、非流出の差異を合理的に評価可能な津波に対する橋の性能評価

3. 耐震対策と優先度評価

- ・挙動メカニズムを踏まえた耐震性能向上対策
- ・耐震性能の観点からよりリスクの高い構造条件の選定