

一般財団法人
大阪地域計画研究所

第13回 ブリッジマネジメントフォーラム

限界状態設計法からRisk-based・ Resilience-based designへの移行 の模索

早稲田大学 秋山充良

1995年兵庫県南部地震



1995年1月：東北大学・卒業論文提出間際...

「累積損傷を考えた鉄道RC橋の耐震安全性評価に関する基礎的研究」



1978年宮城県沖地震での観測波を用いた鉄道RC単柱・
ラーメン高架橋の耐震性評価より、耐震性は十分との結論



「1995年阪神・淡路大震災スライド集」日本建築学会／土木学会

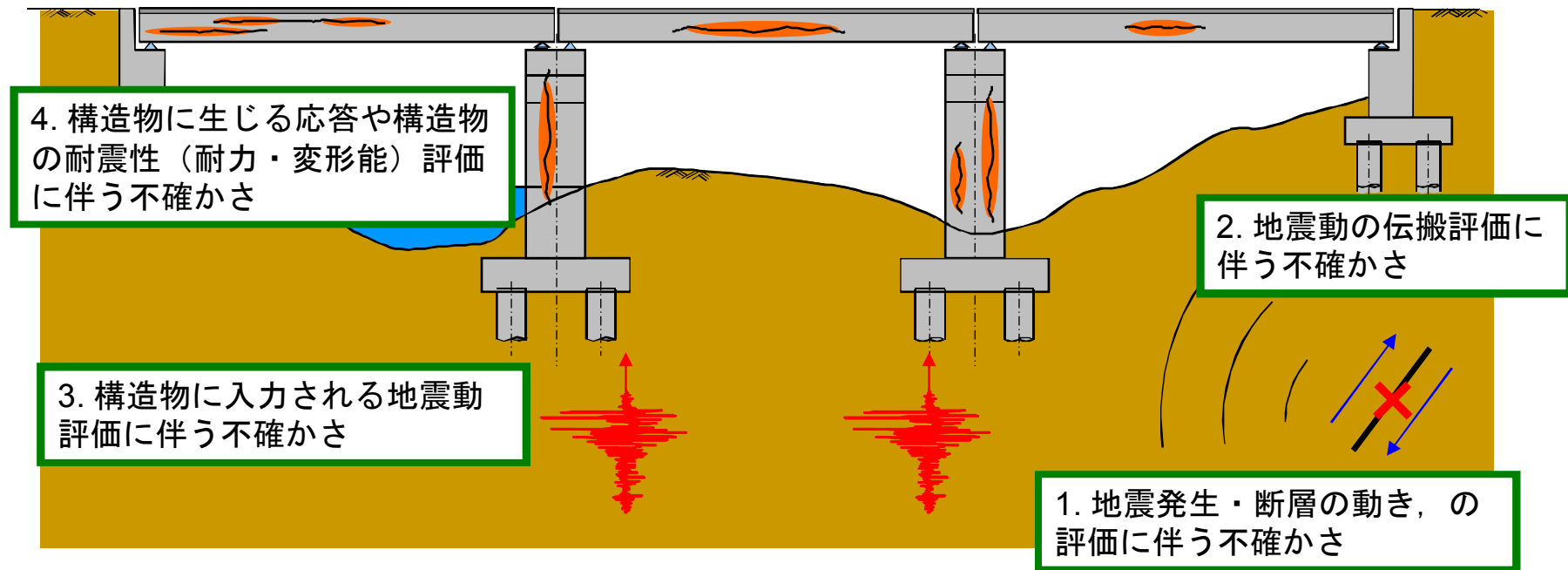


Waseda University

兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究



耐震安全性評価に係わる「不確かさ」と向き合う



- 耐震設計時に想定した限界状態を超えるイベントの生起は否定できず、限界状態を超えた後の影響度評価が必要
⇒地震リスク評価・危機耐性
- 地震動評価(図中1と2)に伴う不確定性が圧倒的であり、耐震安全性を確かなものとするには、何よりも超高性能な部材開発が必要
⇒超高性能耐震構造部材の開発・ダメージフリー橋の開発

目次

1. 信頼性評価から危機耐性・リスク評価へ

1.1 耐震信頼性評価

1.2 マルチハザードの検討

1.3 信頼性評価・限界状態設計の限界とリスク評価へ

2. 危機耐性を有する構造開発への取組

2.1 超高強度材料の活用

2.2 ダメージフリー構造は可能か？

2.3 盲点はないか？

3. ライフサイクル地震工学

3.1 2011年の震災とライフサイクルの視点の重要性

3.2 SEI-ASCE-Technical Council

目次

1. 信頼性評価から危機耐性・リスク評価へ

1.1 耐震信頼性評価

1.2 マルチハザードの検討

1.3 信頼性評価・限界状態設計の限界とリスク評価へ

2. 危機耐性を有する構造開発への取組

2.1 超高強度材料の活用

2.2 ダメージフリー構造は可能か？

2.3 盲点はないか？

3. ライフサイクル地震工学

3.1 2011年の震災とライフサイクルの視点の重要性

3.2 SEI-ASCE-Technical Council

兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究



土木学会包括設計コード策定基礎調査
伊東温泉での合宿(2002年7月27日)

兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究



設計基準類の国際化

構造設計では性能を規定し，その性能を照査するため
信頼性理論を援用する動向

確率的設計

「確率的設計とは，ある期間において破壊確率が規定された値を超過しないように構造物を設計すること．数式で表現すると次式．

$$Pf < Pf_{all}$$

」

● 参考文献) ISO : International Standard ISO/DIN 2394, General Principles on Reliability for Structures, 1998.

現行設計規準の問題点．

- ・ 残留変位に対する照査のように，応答値のばらつきが極めて大きいと思われる限界状態も，様々な安全側の配慮がなされた上で確定的な照査をするため，どの程度安全性が確保されているのかを定量的に把握できない．ISO2394など，国際的な構造設計への対応から，信頼性理論に基づく設計対象構造物の耐震性能評価が求められる．
- ・ 確率的に見た構造物相互の保有安全性が均一化されていない

兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究



安全係数を用いたRC橋脚の耐震設計の規準式

せん断照査：

$$\gamma_{shear} \cdot \frac{V_{act}}{V_{cap}} \leq 1.0$$

作用せん断力とせん断耐力の比較

応答変位照査：

$$\gamma_{def} \cdot \frac{\delta_p}{\delta_r} \leq 1.0$$

応答変位と変形性能の比較

残留変位照査：

$$\gamma_{res} \cdot \frac{\delta_{pr}}{\delta_{rr}} \leq 1.0$$

残留変位と許容残留変位の比較

複数の限界状態を考慮した破壊確率値に基づき3つの安全係数を決定

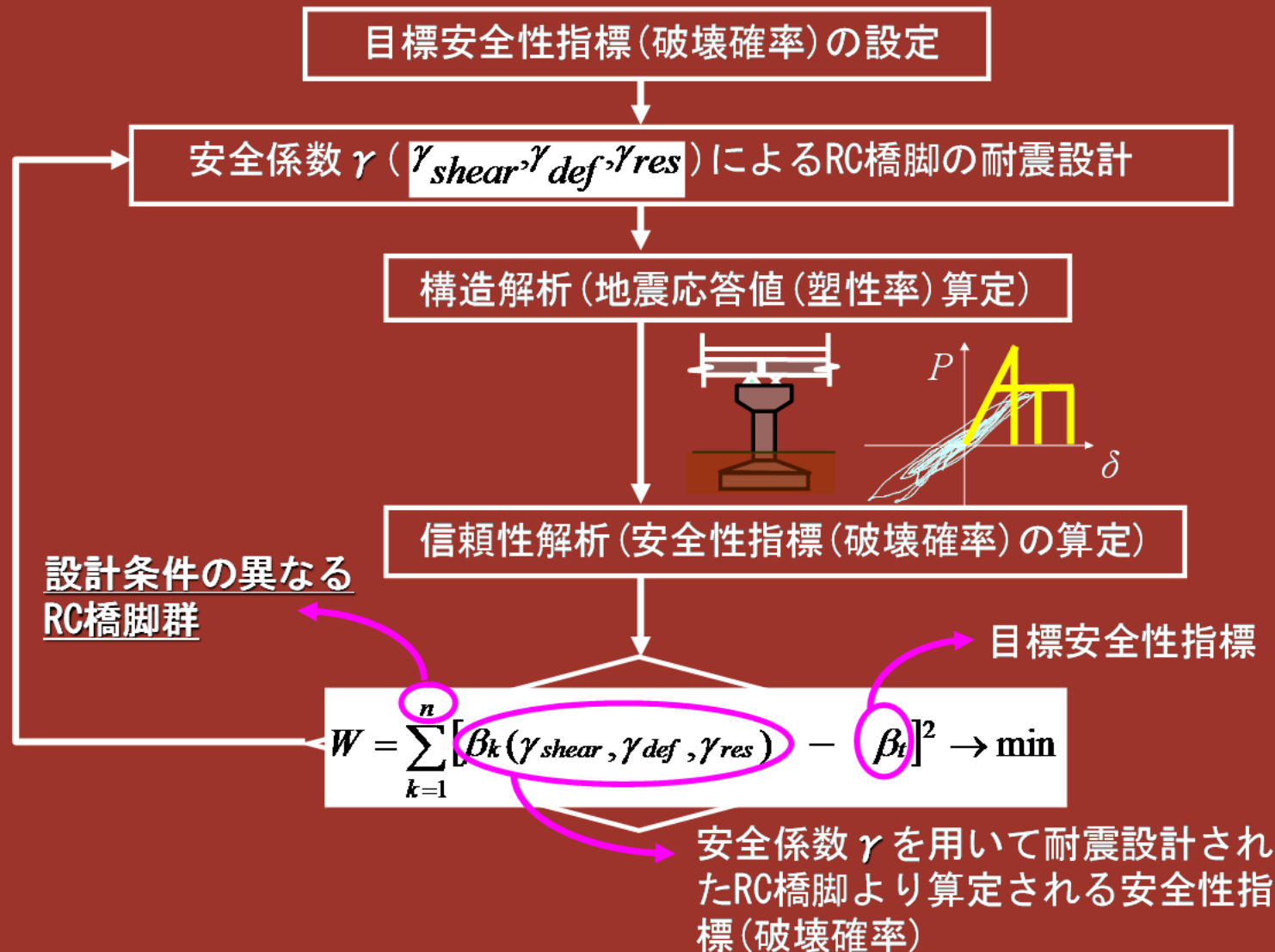


確率・統計の計算などは一切行うことなく、設計対象構造物群に対して、所定の目標安全性を付与した構造設計を行うことが可能

兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究



システム信頼性を考慮した安全係数算定フロー



目次

1. 信頼性評価から危機耐性・リスク評価へ

1.1 耐震信頼性評価

1.2 マルチハザードの検討

1.3 信頼性評価・限界状態設計の限界とリスク評価へ

2. 危機耐性を有する構造開発への取組

2.1 超高強度材料の活用

2.2 ダメージフリー構造は可能か？

2.3 盲点はないか？

3. ライフサイクル地震工学

3.1 2011年の震災とライフサイクルの視点の重要性

3.2 SEI-ASCE-Technical Council

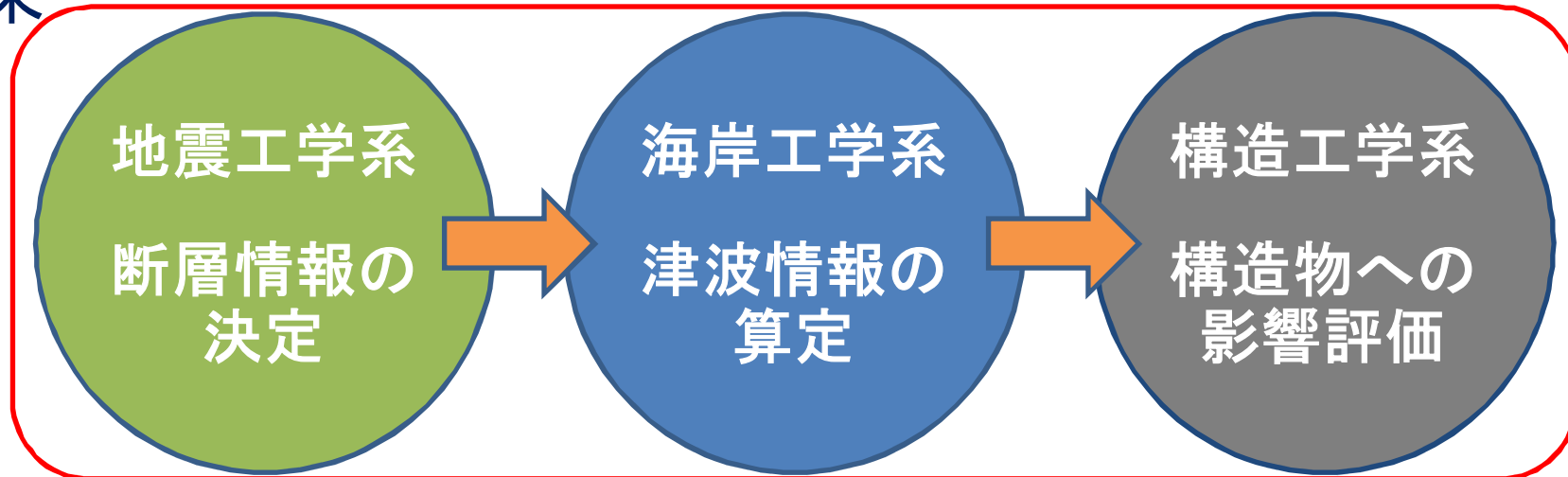
兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究



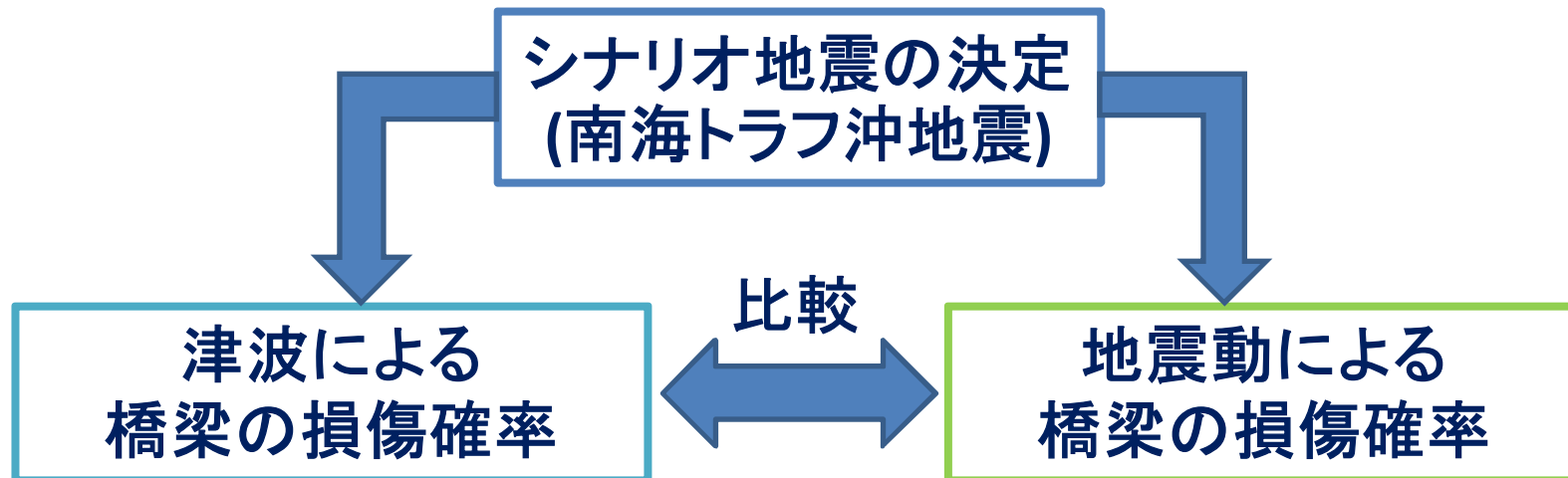
兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究



従来



地震の発生から津波の伝播，構造解析までの一貫評価が必要

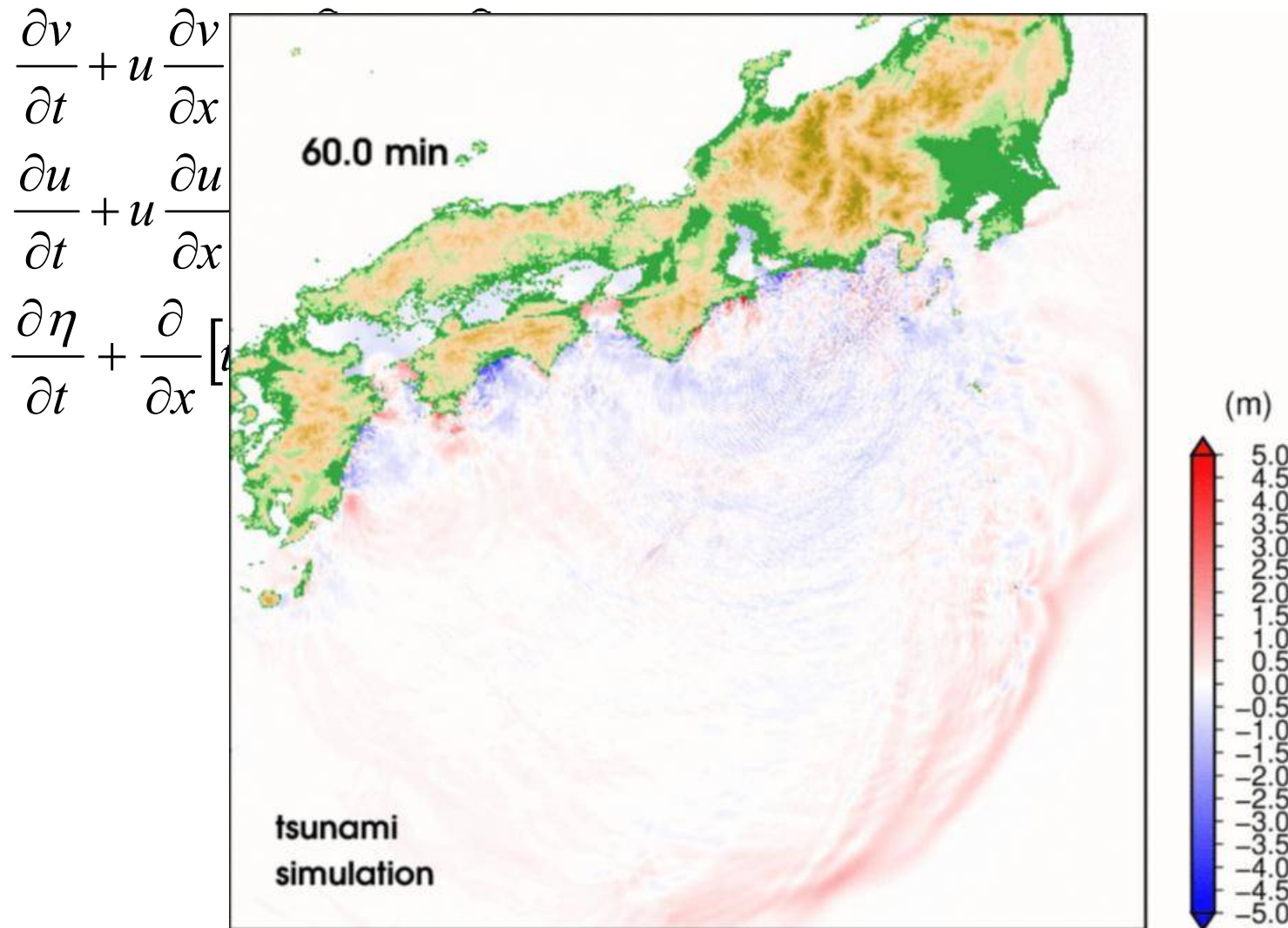


➤ 支配的なハザードを判定 ➤ 津波への対策が必要な条件

兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究



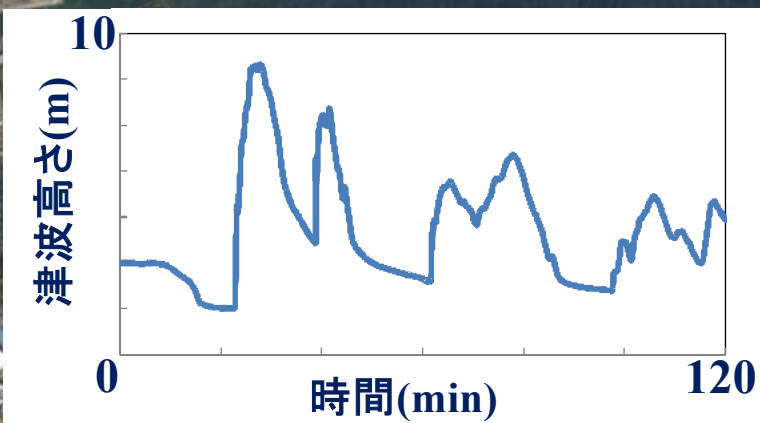
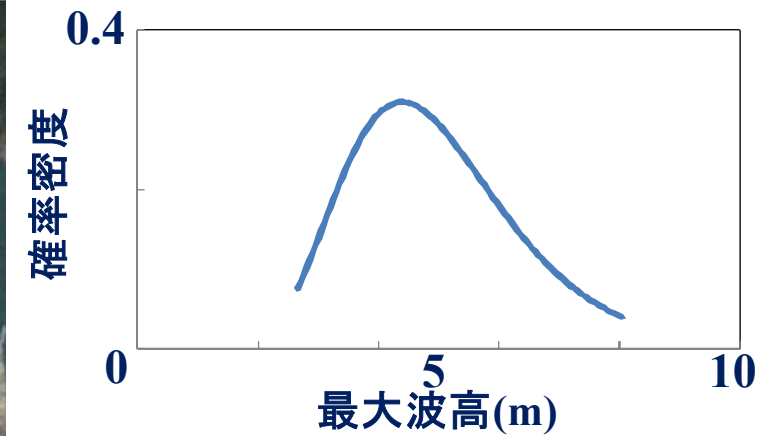
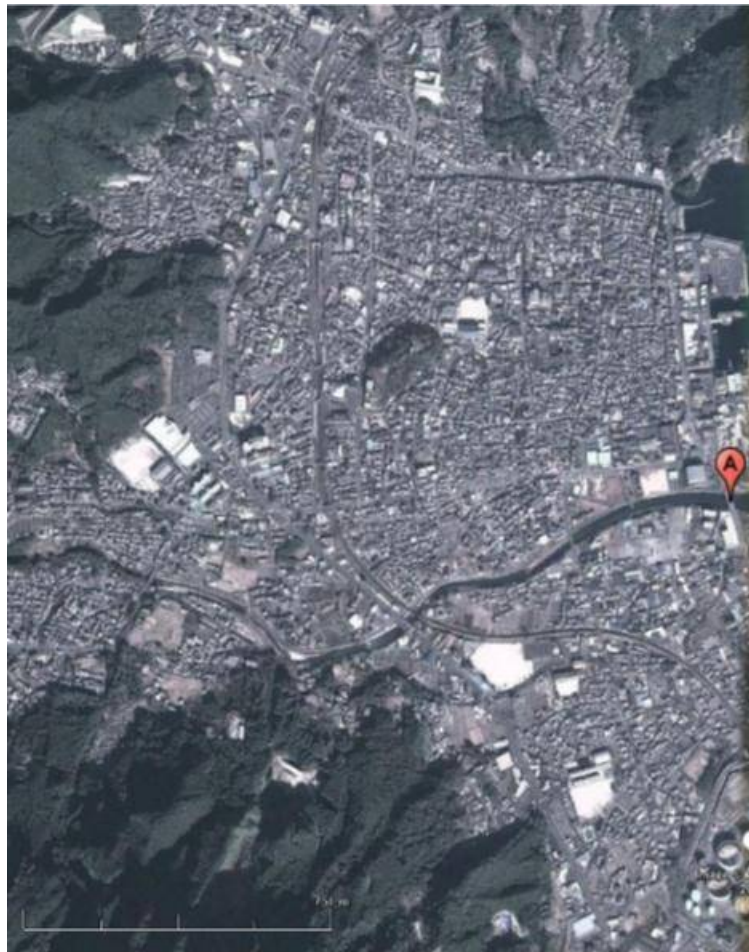
- 長波理論式を東北大学の今村・越村による
伝播計算プログラムを使用して解析



兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究



- 得られた初期水位から対象地点における
津波の時刻歴を算出

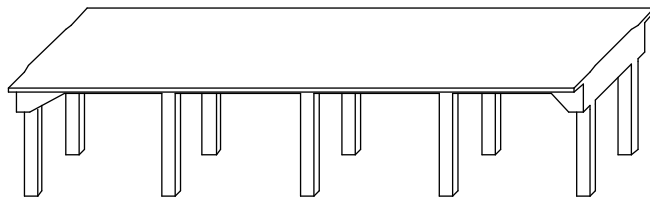


兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究



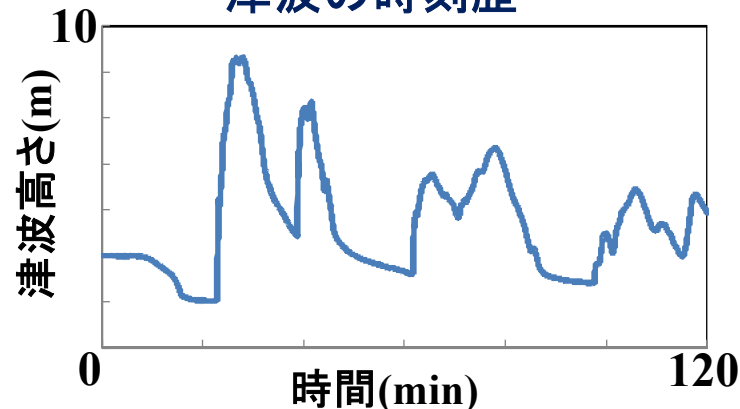
解析対象:

鉄筋コンクリートラーメン橋



着目する限界状態: せん断破壊点
※ラーメン構造のため
桁の落下は考慮していない

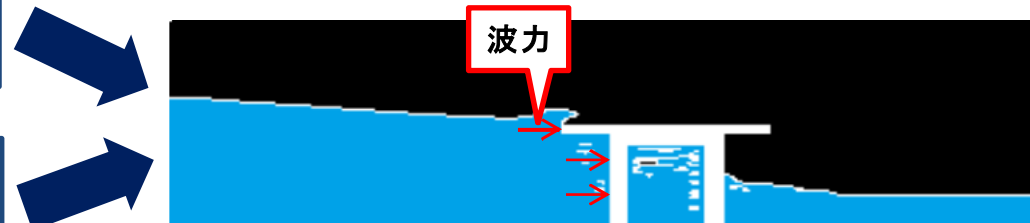
対象地点における
津波の時刻歴



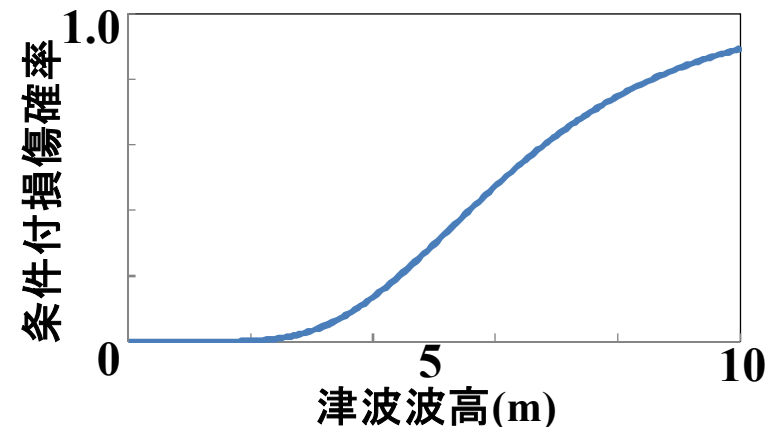
海岸工学系
津波波高の
ばらつき

構造工学系
波力の
ばらつき

➤ 数値波動水槽CADMAS-SURF/3Dを使用
波高-時間関係を再現, 作用波力を算定



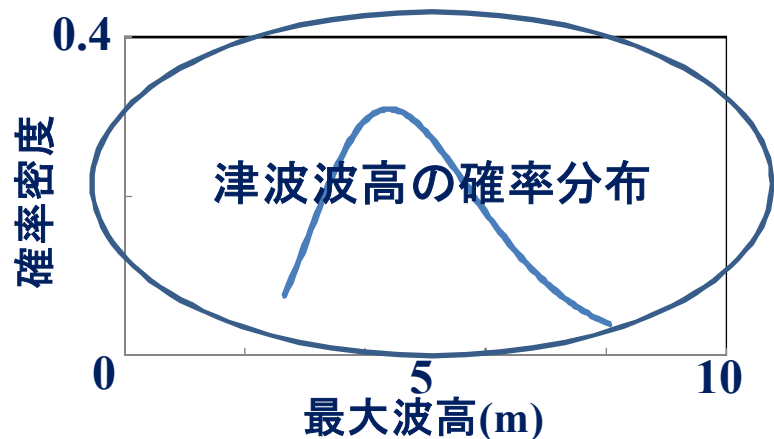
➤ 津波波高が決定した際の損傷確率を算定



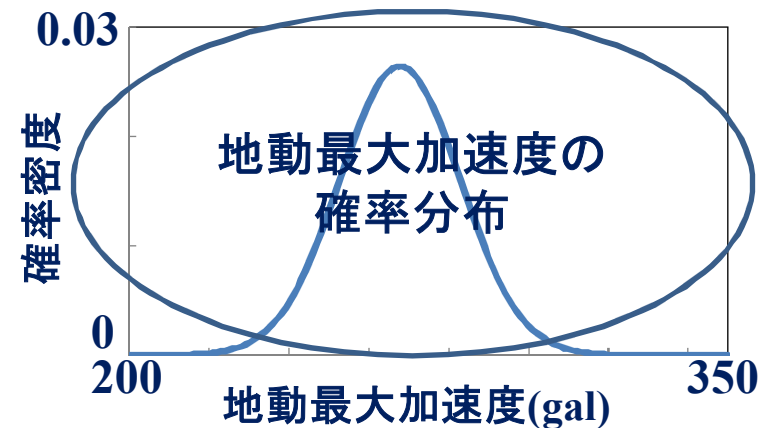
兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究



津波による 橋梁の損傷確率



地震動による 橋梁の損傷確率



津波及び地震動による損傷確率を
算定・比較

損傷確率(津波)	損傷確率(地震動)
0.300	<u>0.361</u>

※南海トラフ沖地震が発生した場合の条件付損傷確率

目次

1. 信頼性評価から危機耐性・リスク評価へ

1.1 耐震信頼性評価

1.2 マルチハザードの検討

1.3 信頼性評価・限界状態設計の限界とリスク評価へ

2. 危機耐性を有する構造開発への取組

2.1 超高強度材料の活用

2.2 ダメージフリー構造は可能か？

2.3 盲点はないか？

3. ライフサイクル地震工学

3.1 2011年の震災とライフサイクルの視点の重要性

3.2 SEI-ASCE-Technical Council

兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究



確率的設計

「確率的設計とは、ある期間において破壊確率が規定された値を超過しないように構造物を設計すること。数式で表現すると次式。

$$Pf < Pf_{all}$$

」

- 参考文献) ISO : International Standard ISO/DIN 2394, General Principles on Reliability for Structures, 1998.

確定論的設計(部分係数書式)

$$\gamma_i \cdot S_d / R_d \leq 1.0$$

部分係数が確定的、あるいは確率・統計的に決定されていても、結局のところ、設計者は部材や構造物の強度(抵抗)が作用や荷重により生じる応答を上回ることを確認するのみである。今後生じる地震や津波を確かに予測できない現状では、仮にこの照査式を満足することを確認したとしても、構造物が有している安全性を100%保証することはできない。結局のところ、限界状態設計法の枠組みの中では、想定した状態を超える事象が生起したときに引き起こされるシナリオを描くことが難しい。

→危機耐性, Risk-based designあるいはResilience-based designへ

兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究



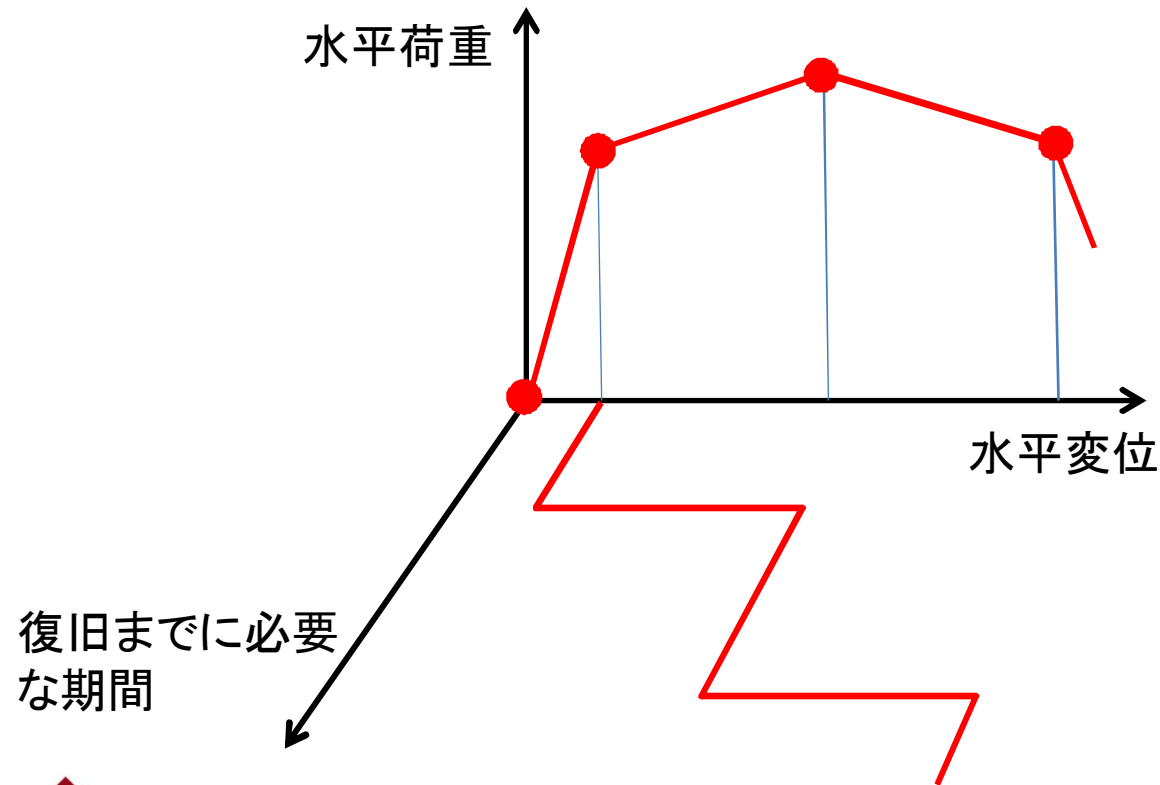
→危機耐性, Risk-based designあるいはResilience-based designへ

構造物の安全性の程度を定量化し, それを許容値以下に抑えるようにコントロールしたとしても, $\gamma_i \cdot S_d / R_d \leq 1.0$ を用いて照査をする限り, 想定した限界状態を上回る作用が生じたときに, 構造物, あるいは構造物を含むネットワークや社会に何がもたらされるのかを設計者が評価をすることはない. 想定を上回る作用や荷重を受けたときに, どのような影響(consequence)が生じるのかを評価し, 構造物が持つ破壊の可能性(probability)を見直したり, 構造物が役割を果たせなくなってもネットワークの機能低下を最小化するように冗長性(redundancy)を持たせたりすることを検討する. つまり, 構造物の安全性は100%確保できないことを前提に, その一方で, 安全でない状態になったときの影響を最小化するような手段を講じる.

兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究



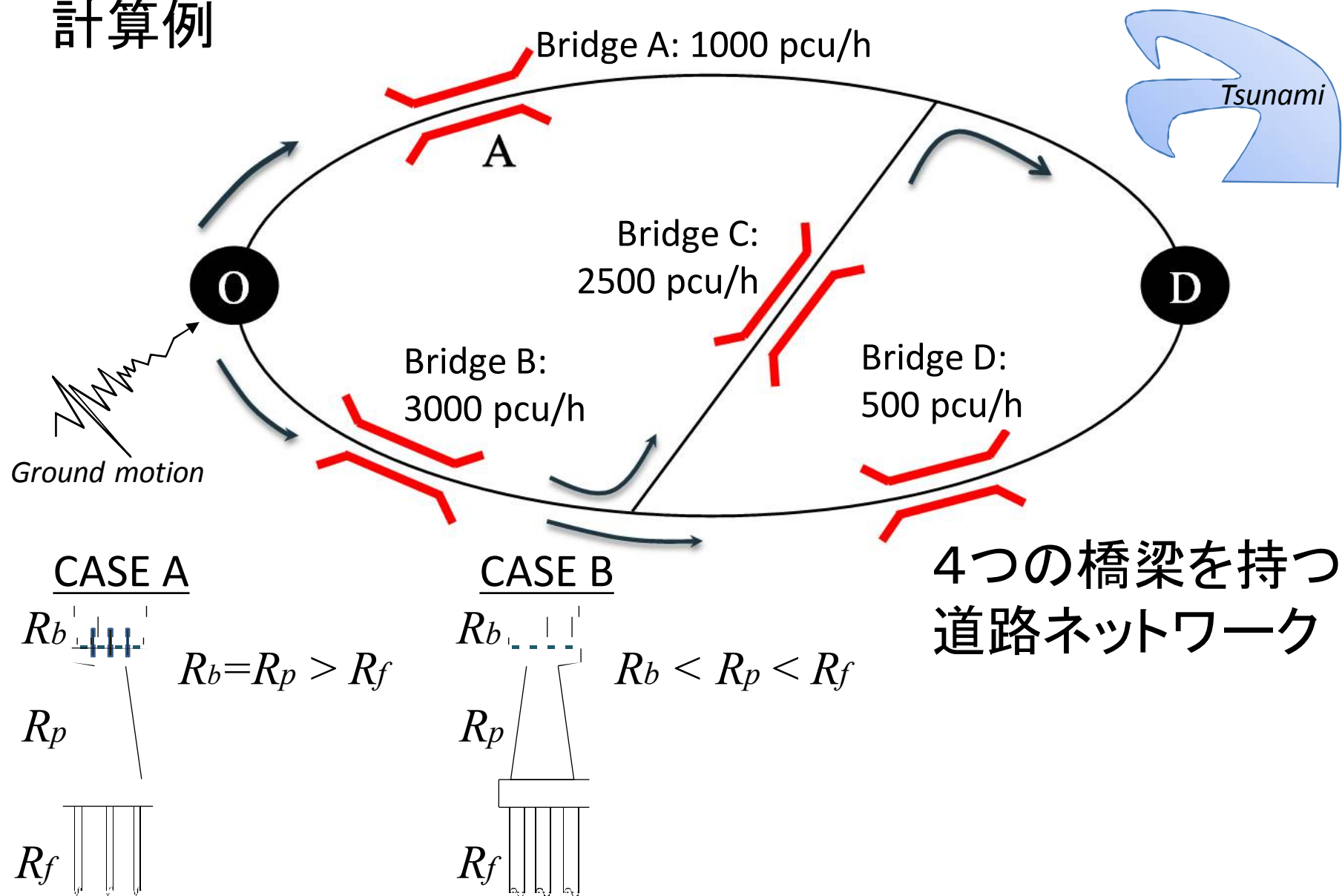
設計の想定を上回る作用を受けたときに生じる経済的損失，機能の回復までに要する時間と費用，を算定



兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究



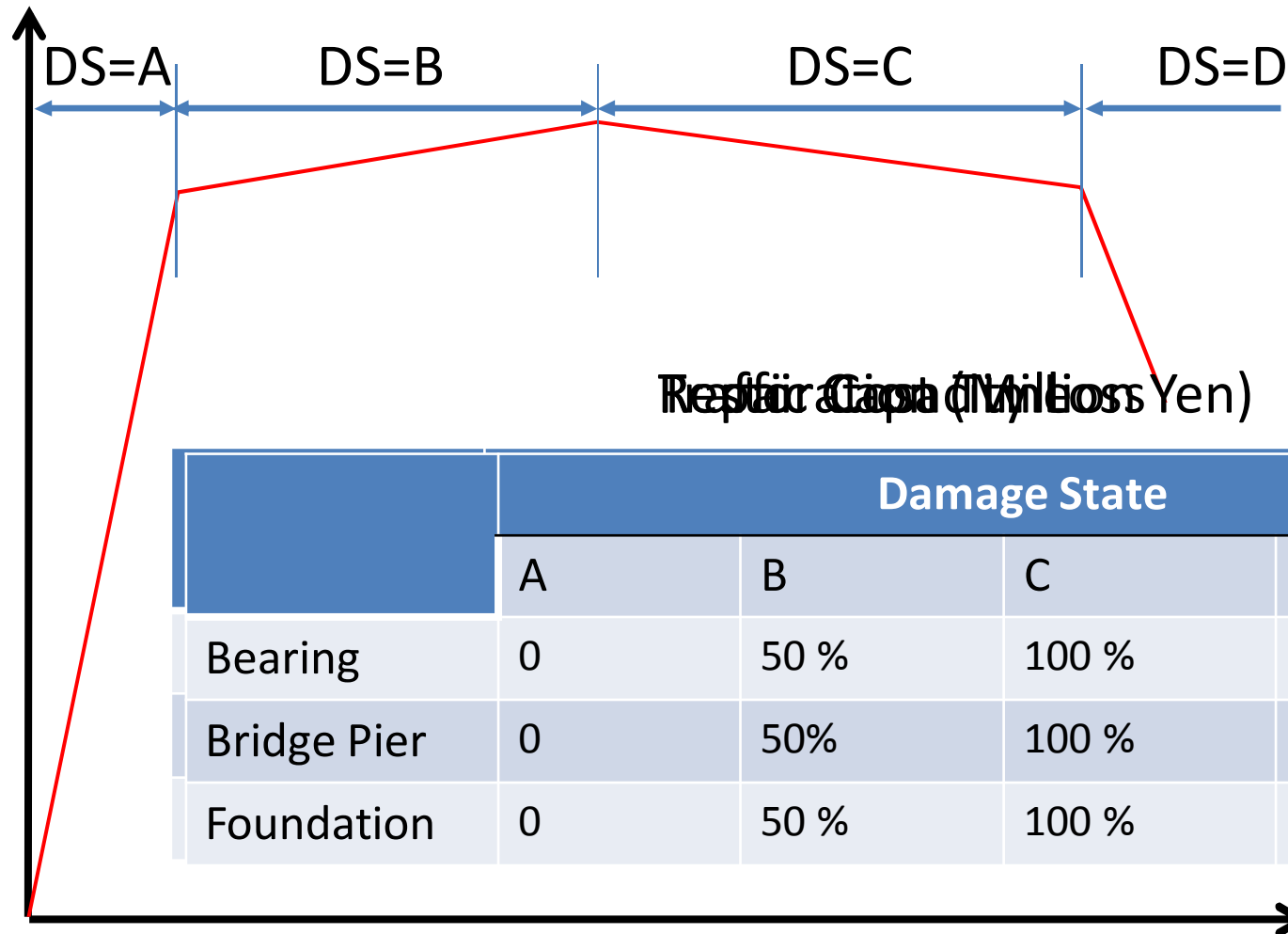
計算例



兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究



Lateral force

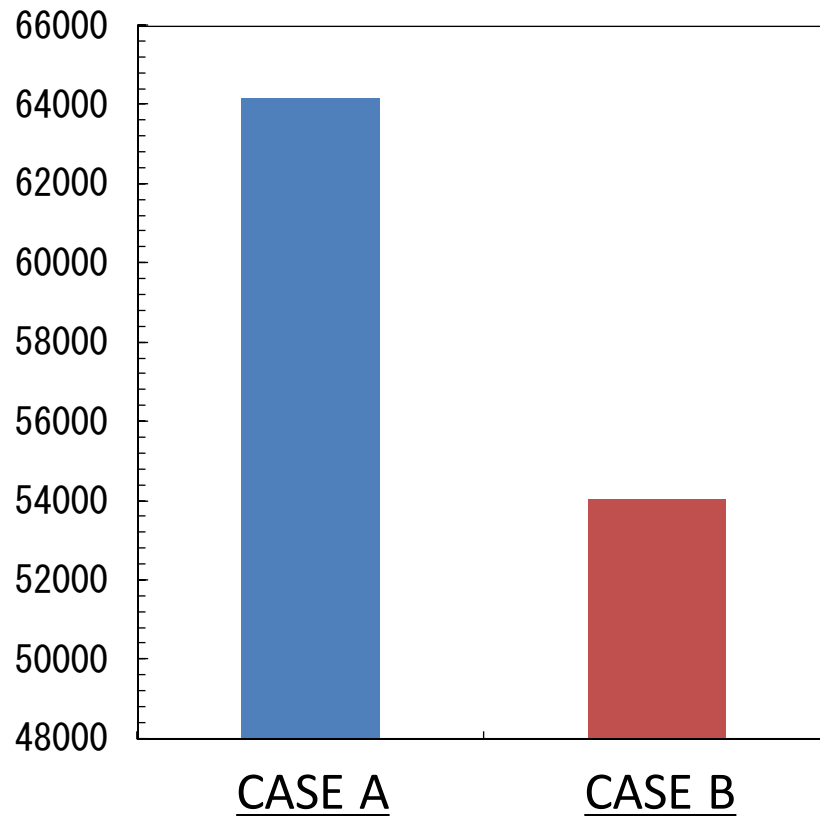


Horizontal displacement

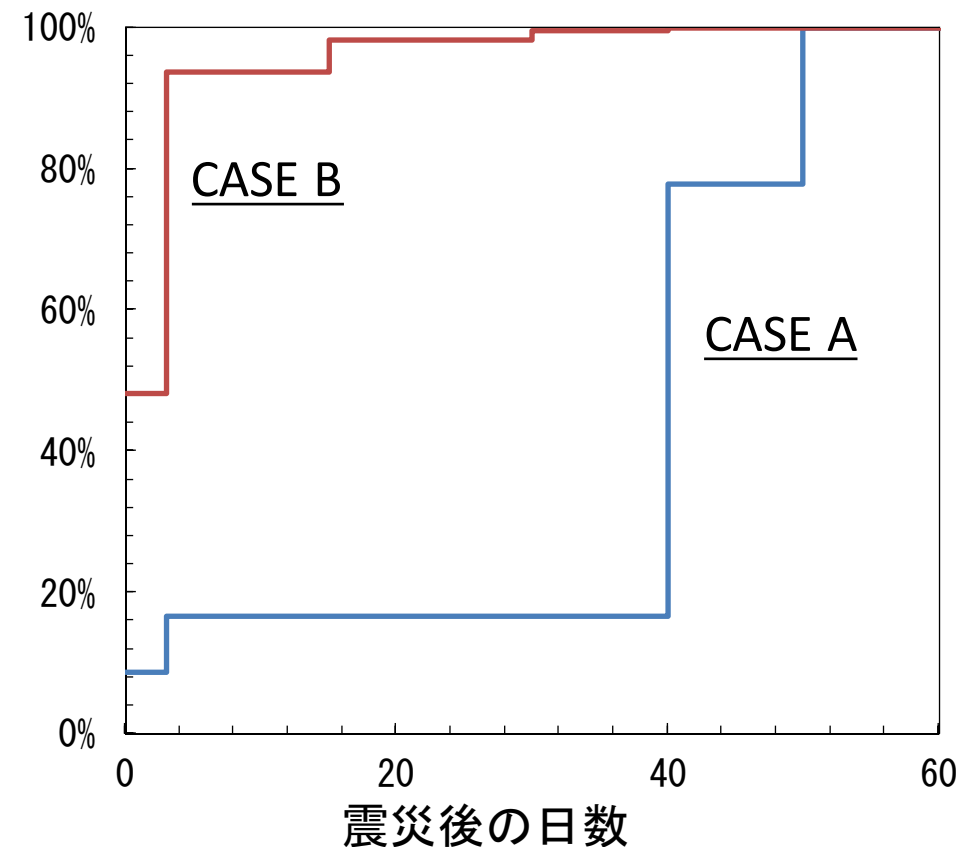
兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究



ライフサイクルコスト (万円)



震災後に期待されるネットワークの交通可能量



兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究



危機耐性, Risk-based designあるいはResilience-based design

JSCE

- 地震工学委員会 危機耐性
- 原子力土木委員会

ASCE

- Technical Council on Life-Cycle Performance, Safety, Reliability and Risk of Structural Systems
- Infrastructure Resilience Division

ISO

- ISO2394 (2015年版)
- ISO13824



Waseda University

目次

1. 信頼性評価から危機耐性・リスク評価へ

1.1 耐震信頼性評価

1.2 マルチハザードの検討

1.3 信頼性評価・限界状態設計の限界とリスク評価へ

2. 危機耐性を有する構造開発への取組

2.1 超高強度材料の活用

2.2 ダメージフリー構造は可能か？

2.3 盲点はないか？

3. ライフサイクル地震工学

3.1 2011年の震災とライフサイクルの視点の重要性

3.2 SEI-ASCE-Technical Council

兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究2



高耐力構造
じん性構造
に係わる構造実験



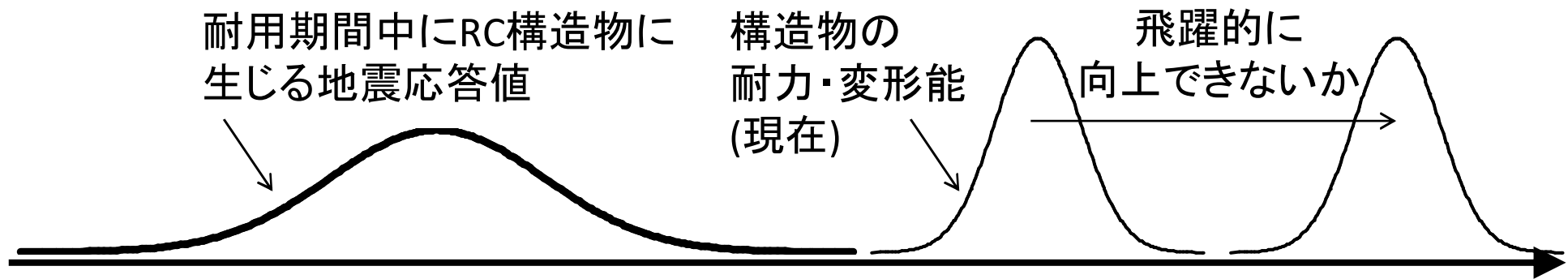
- RC構造の弾性応答限界を材料の高強度化により拡大するための諸課題に取り組む(⇒高強度材料の扱いの難しさ・他部材に大きな力を伝達してしまう).
- RC構造の塑性変形能の改善に取り組む(⇒地震中の安全性は確保できるが、修復性の問題を抱える).

兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究2



ダメージフリー構造の必要性

視点①: 地震動評価に伴う不確かさを打ち消すほどの超高性能化



視点②: 二段階設計法からの脱却



耐震設計法の基本: 脆性的な破壊を防ぎ, 十分な塑性変形能を与えた犠牲部材を定め, そこを確実に破壊させて地震エネルギーの吸収を図る.



地震動のレベルに関係なく, 地震後の即時の供用再開を可能にする部材開発.

視点③: 途上国でも使用可能な材料・構造であり, 経済性を有する

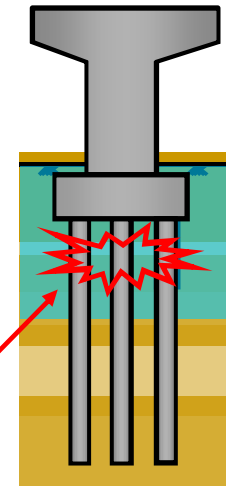
兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究2



基礎の降伏が懸念される条件

- ・ 橋脚が大きな曲げ耐力を有する場合
- ・ 地盤変位の影響を受ける基礎
- ・ 液状化地盤中の基礎

(既製杭の耐力の限界, 経済性への配慮によって)



基礎の損傷の発見・修復は困難

基礎の降伏が懸念される条件下でも

塑性ヒンジ発生箇所を確実に橋脚基部へ誘導する

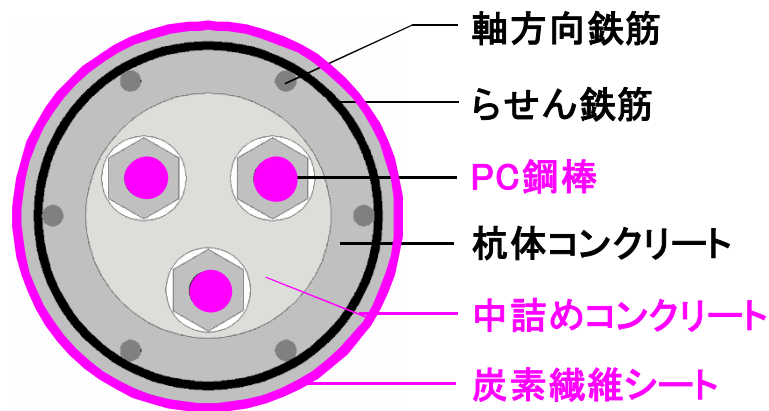
→杭基礎の地震時保有耐力の飛躍的向上を可能にする杭体の開発



兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究2



杭基礎の地震時保有耐力の向上が可能な超高耐力RC杭体を開発



コンクリート	80～120N/mm ²
PC鋼棒	SBPR1080/1230
軸方向鉄筋	SD685
らせん鉄筋	USD1275
プレストレス	22N/mm ²
PC鋼棒配置位置	中心部分

超高耐力RC杭体の構造的な特徴

1. 大きなプレストレスの導入
2. PC鋼棒を断面の中心部に配置
3. 構成材料の高強度化
4. 炭素繊維シートの被覆
5. 中詰めコンクリートの充填



兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究2



杭基礎の地震時保有耐力の向上が可能な超高耐力RC杭体を開発

超高耐力RC杭体の主な特徴

1. 大きなプレストレスの導入
2. PC鋼棒を断面の中心部に配置
3. 構成材料の高強度化
4. 炭素繊維シートの被覆
5. 中詰めコンクリートの充填



かぶりの早期剥落を防止し、大きな横拘束力を与えることで曲げ耐力を向上



Waseda University

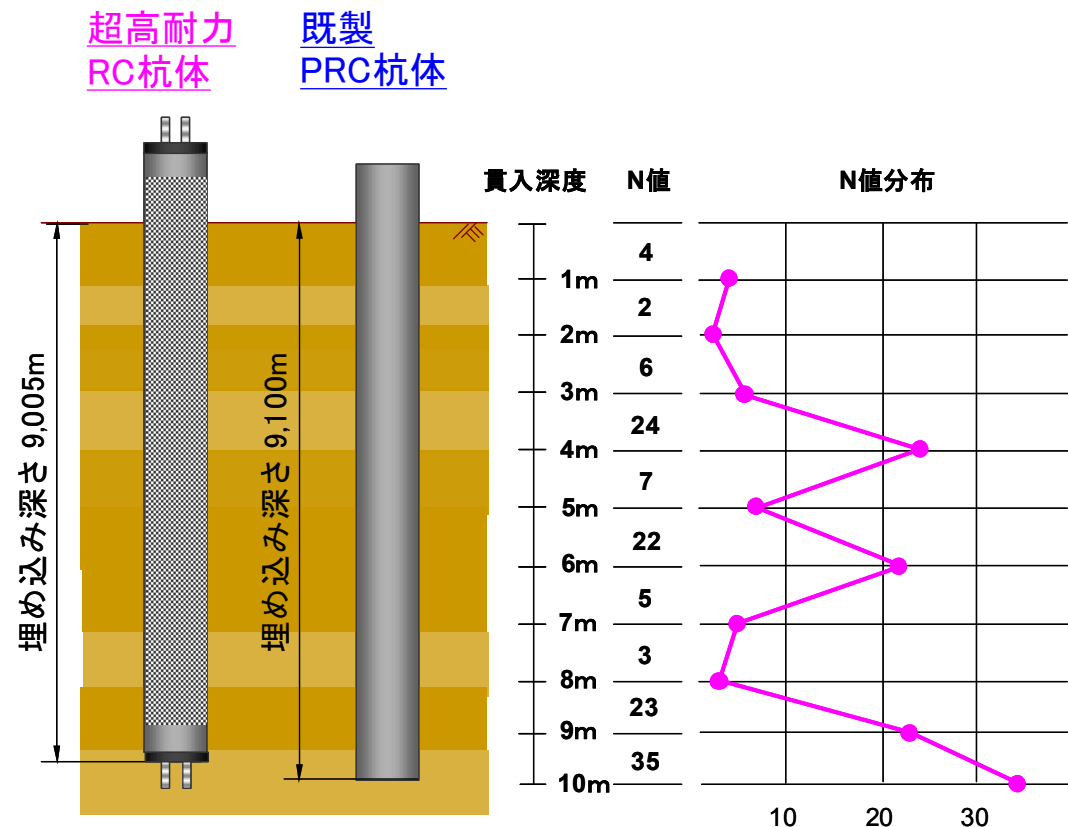
兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究2



実験地盤および試験体設置状況



最終軽打状況

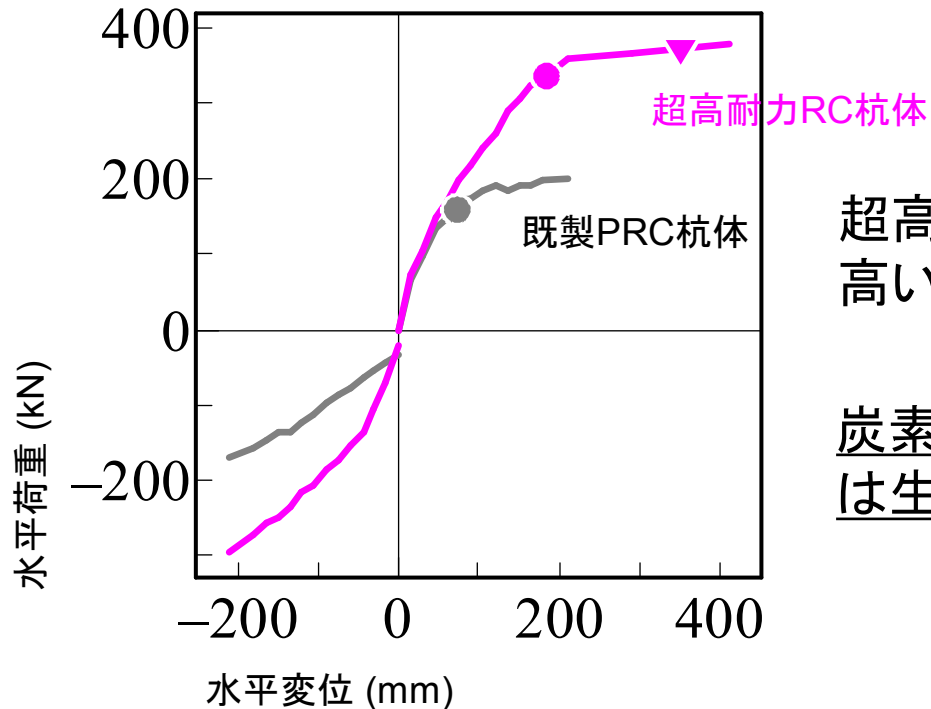


プレボーリング併用打撃工法にて杭体を打込み
表層付近はN値10程度以下の比較的軟弱地盤

兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究2



水平荷重－水平変位関係の比較



超高耐力RC杭体は既製PRC杭体に比べて
高い水平荷重が得られた

炭素繊維シートの破断後も急激な荷重低下
は生じなかった



目次

1. 信頼性評価から危機耐性・リスク評価へ

1.1 耐震信頼性評価

1.2 マルチハザードの検討

1.3 信頼性評価・限界状態設計の限界とリスク評価へ

2. 危機耐性を有する構造開発への取組

2.1 超高強度材料の活用

2.2 ダメージフリー構造は可能か？

2.3 盲点はないか？

3. ライフサイクル地震工学

3.1 2011年の震災とライフサイクルの視点の重要性

3.2 SEI-ASCE-Technical Council

兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究2



新耐震構造への検討

構造分野の話

振動波 ⇨ 構造物に作用 ⇨ 振動

耐震: 「振動」に耐えられる耐力を構造物へ与える.

制震: 「振動」の運動エネルギーを他のエネルギーへ変換して消費する.

免震: 「構造物に作用」する振動を作用元で変形とエネルギー吸収を集中させる.

同じ枠の中で考えていても, 似たような対策しか生まれない...



Waseda University

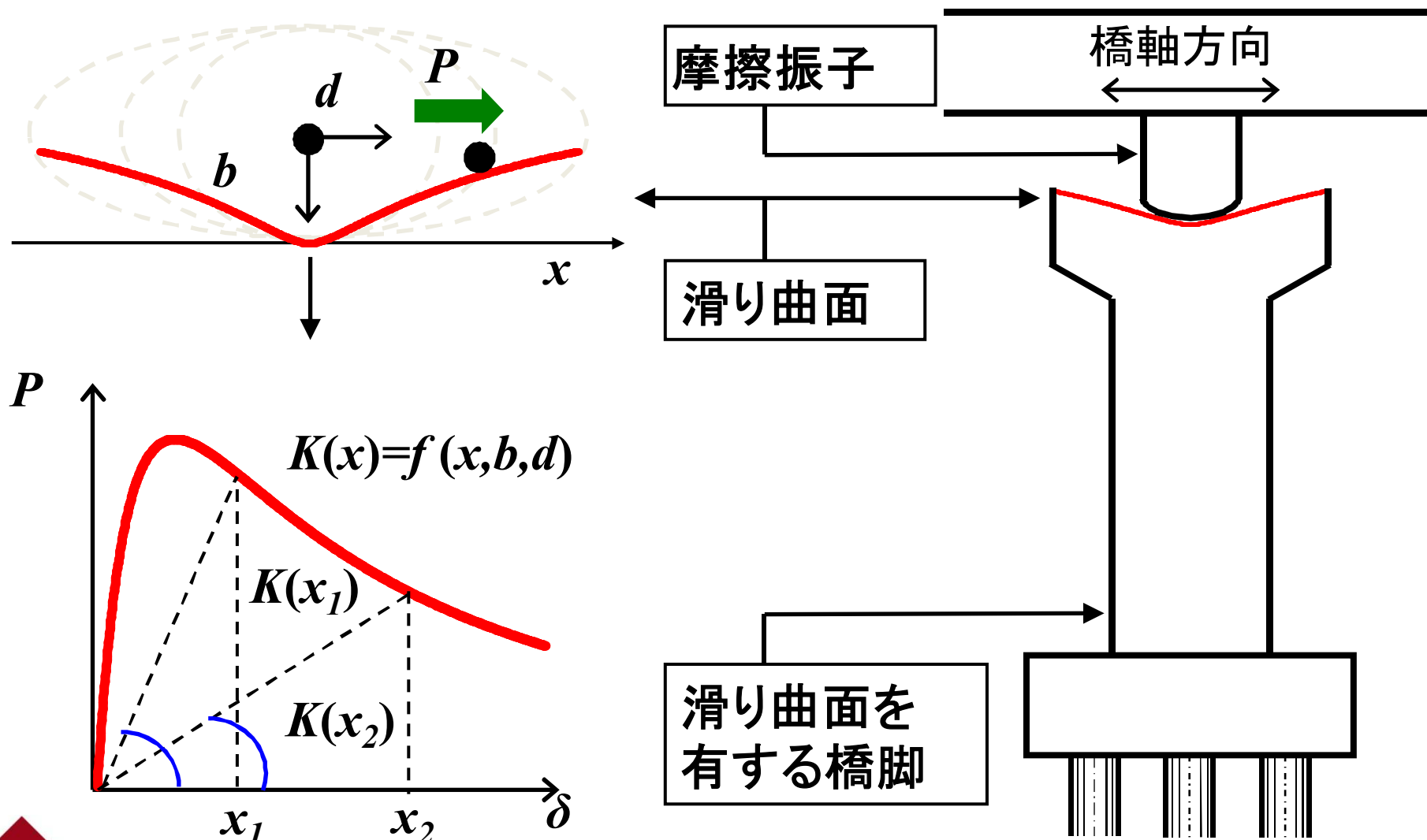
もっと色々なアイデアがあって良いはず!

兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究2



Waseda University

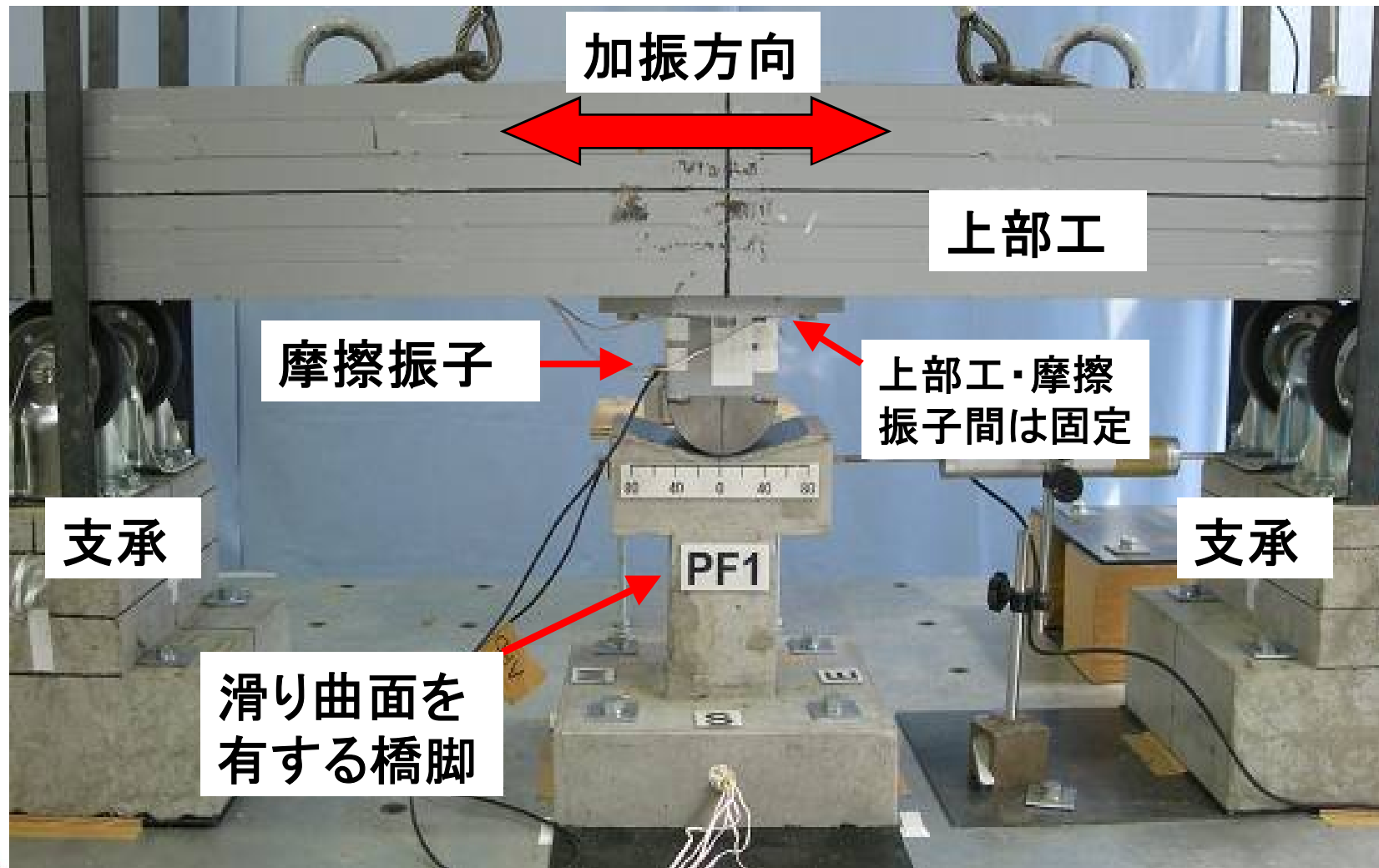
兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究2



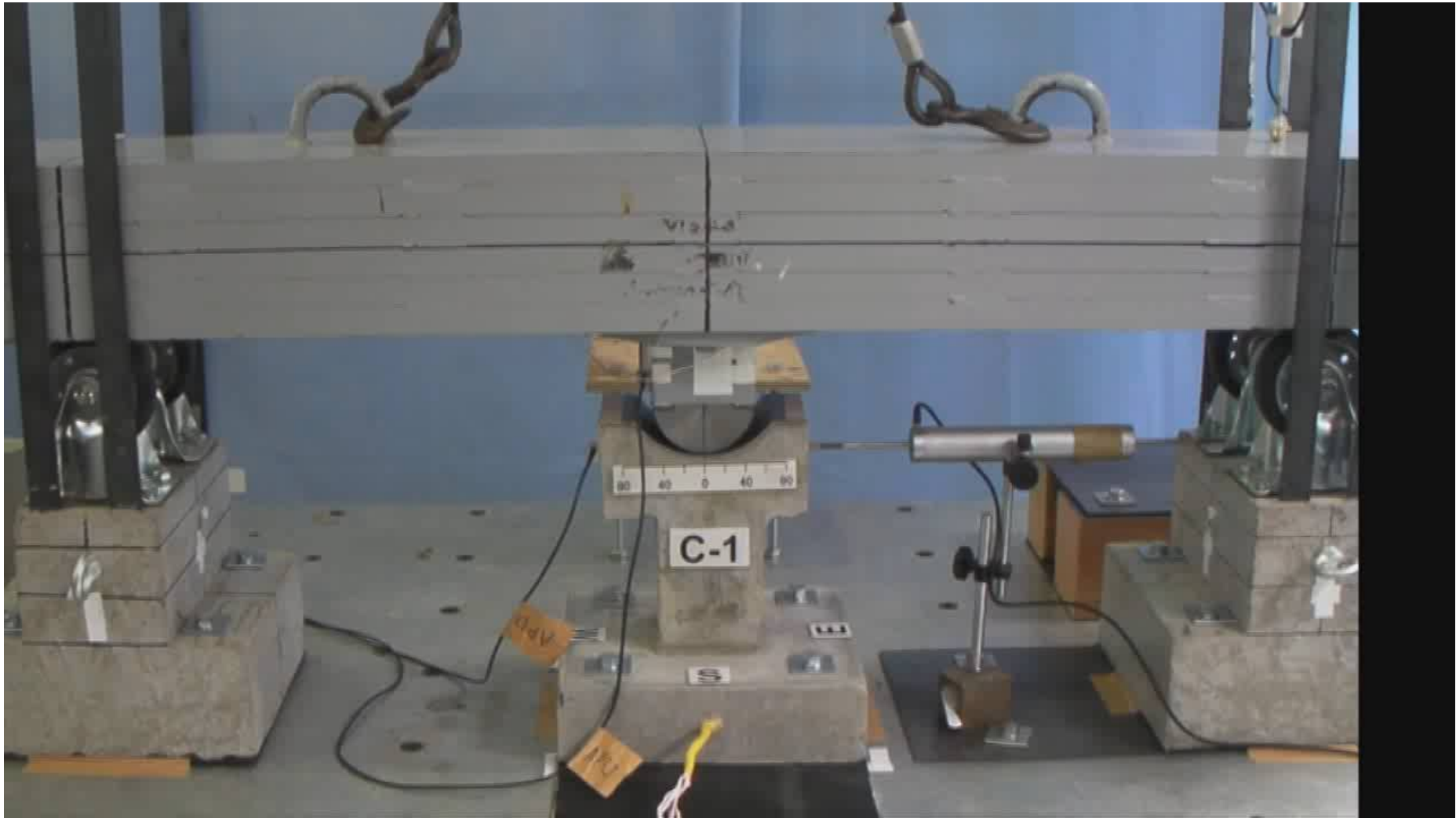
兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究2



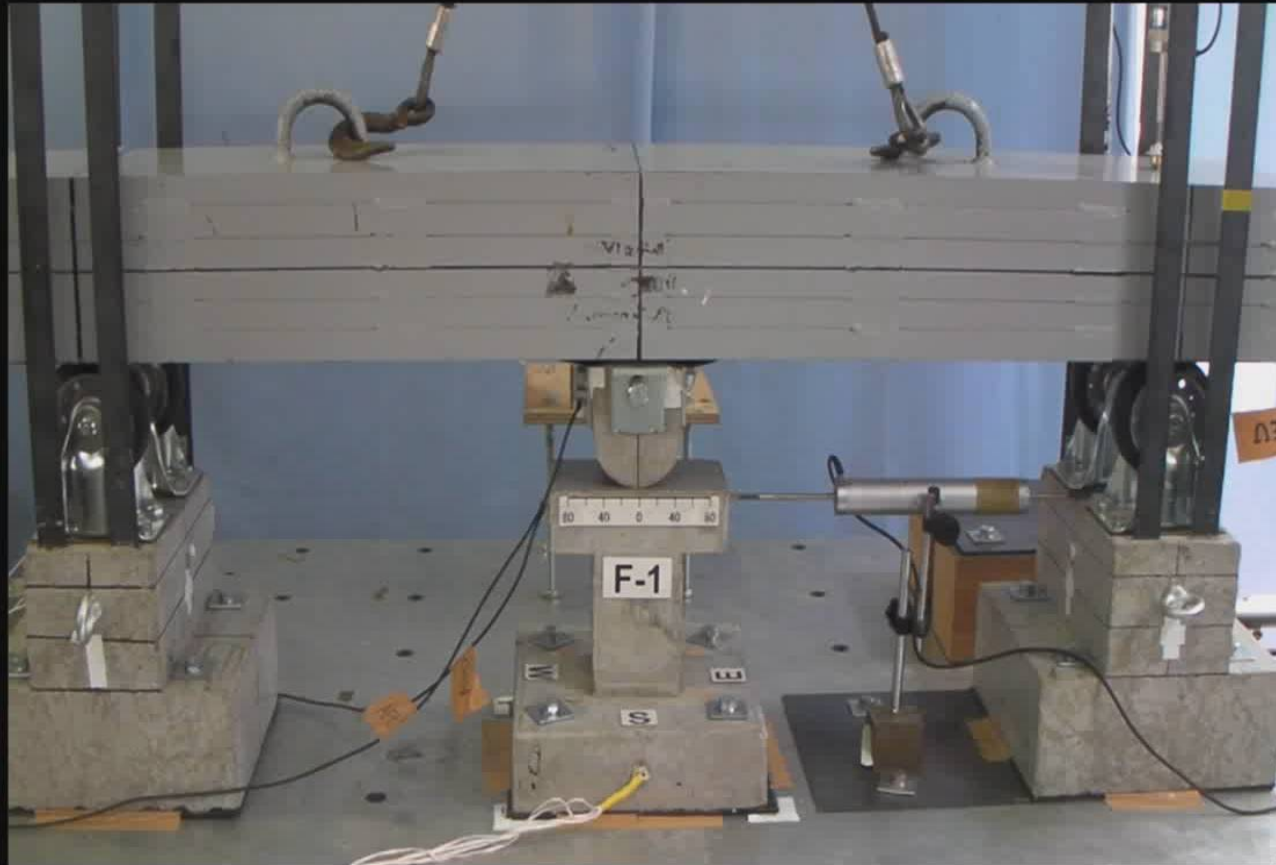
供試体概要



兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究2



兵庫県南部地震後に行った RC構造物の耐震安全性に係わる研究2



目次

1. 信頼性評価から危機耐性・リスク評価へ

1.1 耐震信頼性評価

1.2 マルチハザードの検討

1.3 信頼性評価・限界状態設計の限界とリスク評価へ

2. 危機耐性を有する構造開発への取組

2.1 超高強度材料の活用

2.2 ダメージフリー構造は可能か？

2.3 盲点はないか？

3. ライフサイクル地震工学

3.1 2011年の震災とライフサイクルの視点の重要性

3.2 SEI-ASCE-Technical Council

盲点はないか？



今後の課題

- ・ 設計法の高度化
壊さないようにする設計→
 - 壊した後の影響度を最小化
 - 壊した後の復旧時間を最小化
 - 壊した後の復旧シナリオの事前の作成
- ・ 外力評価に伴う圧倒的な不確定性を打ち負かすほどの構造性能の飛躍的改善
 - 新材料の利用
 - 構造形態の工夫
 - その他

盲点はないか？



新しい設計思想・要求性能

新しい知見・技術

Resilience

Redundancy

Robustness

危機耐性

地震被害

サイトスペシフィックな
地震動

鈍構造

津波の新情報

➡ 既存インフラ構造物に速やかに反映させるには？

耐震性能の低い既存構造物の補強のスピードを
上げる, 予算確保に必要な手段は？

盲点はないか？



東北地方太平洋沖地震で被災したRC橋梁

- ➡ 兵庫県南部地震から17年が経過しても、東北地方太平洋沖地震程度の地震力で損傷する構造物が未だに多数ある。地震工学分野の研究の進展、あるいは耐震技術の進歩が予算制約のために社会に還元されない。
- ➡ 1995年以降、 $M_w=6.5$ 以上の地震が頻発しているのに耐震性能が低いまま放置されている構造物が多数ある。結局、技術が向上しても、予算的な問題から放置される構造物が多数出てしまうのではないか？

盲点はないか？



既存構造の耐震補強の必要性について市民の理解を得るには？

膨大な数の既存構造物

構造物管理者は、配分された予算で最大の効果を上げるため努力されている。これ以上に耐震補強のスピードを上げるためにはプラスαの何かが必要。

安全性が十分でない構造物の補強を進める上でのチャレンジは、自然災害についての知識・経験が少ない市民にその必要性を提示することか？ 負担への理解。

被害が出るくらいなら、負担してでも既存インフラ構造の耐震補強を進めることを望んでいないか？



学会からの情報発信は十分か？

盲点はないか？



アメリカ土木学会 (ASCE) の例 (4年に一度, 情報を更新)



Waseda University

2020年までに3.6兆ドルの投資が必要と試算
ホームページ公開・学会等で発表

目次

1. 信頼性評価から危機耐性・リスク評価へ

1.1 耐震信頼性評価

1.2 マルチハザードの検討

1.3 信頼性評価・限界状態設計の限界とリスク評価へ

2. 危機耐性を有する構造開発への取組

2.1 超高強度材料の活用

2.2 ダメージフリー構造は可能か？

2.3 盲点はないか？

3. ライフサイクル地震工学

3.1 2011年の震災とライフサイクルの視点の重要性

3.2 SEI-ASCE-Technical Council

現在の取り組み～今後の課題 ライフサイクル地震工学の必要性



Lehigh大学（米国・ペンシルバニア州）

→2008年10月～2009年9月まで鹿島学術振興財団の援助を受け
Lehigh大学・フランゴポール先生の研究室に留学する機会を頂きました。



Waseda University

現在の取り組み～今後の課題 ライフサイクル地震工学の必要性



2011年東北地方太平洋沖地震後の調査
⇒材料劣化の変状が観察される

- ・材料劣化が橋梁の地震時挙動や耐震安全性に及ぼす影響評価？
- ・耐震部材や装置類の点検や検査方法？
- ・耐震性照査に時間軸の導入？



現在の取り組み～今後の課題 ライフサイクル地震工学の必要性



竣工後数十年先の耐震性をどのように確保するのか？

問題1: 腐食ひび割れを有する構造物はどの程度
初期状態より耐震安全性が低下しているのか？

問題2: あと何年間, 耐震性を有するのか？
(余寿命は何年か？)

問題3: どのような点検・検査結果が得られた場合が
倒壊の危険信号か？

問題4: 適切な補修・補強の実施時期は？

医療の現場

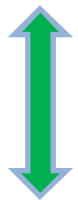
誕生

成長・青年期

老化の進行

発病・悪化

死亡



膨大なサンプルの蓄積
⇒ 点検・検査に基づき, 患者の
状況に応じた適切な診断



インフラ構造

竣工・健全

潜伏期

劣化の顕在期

損傷・倒壊

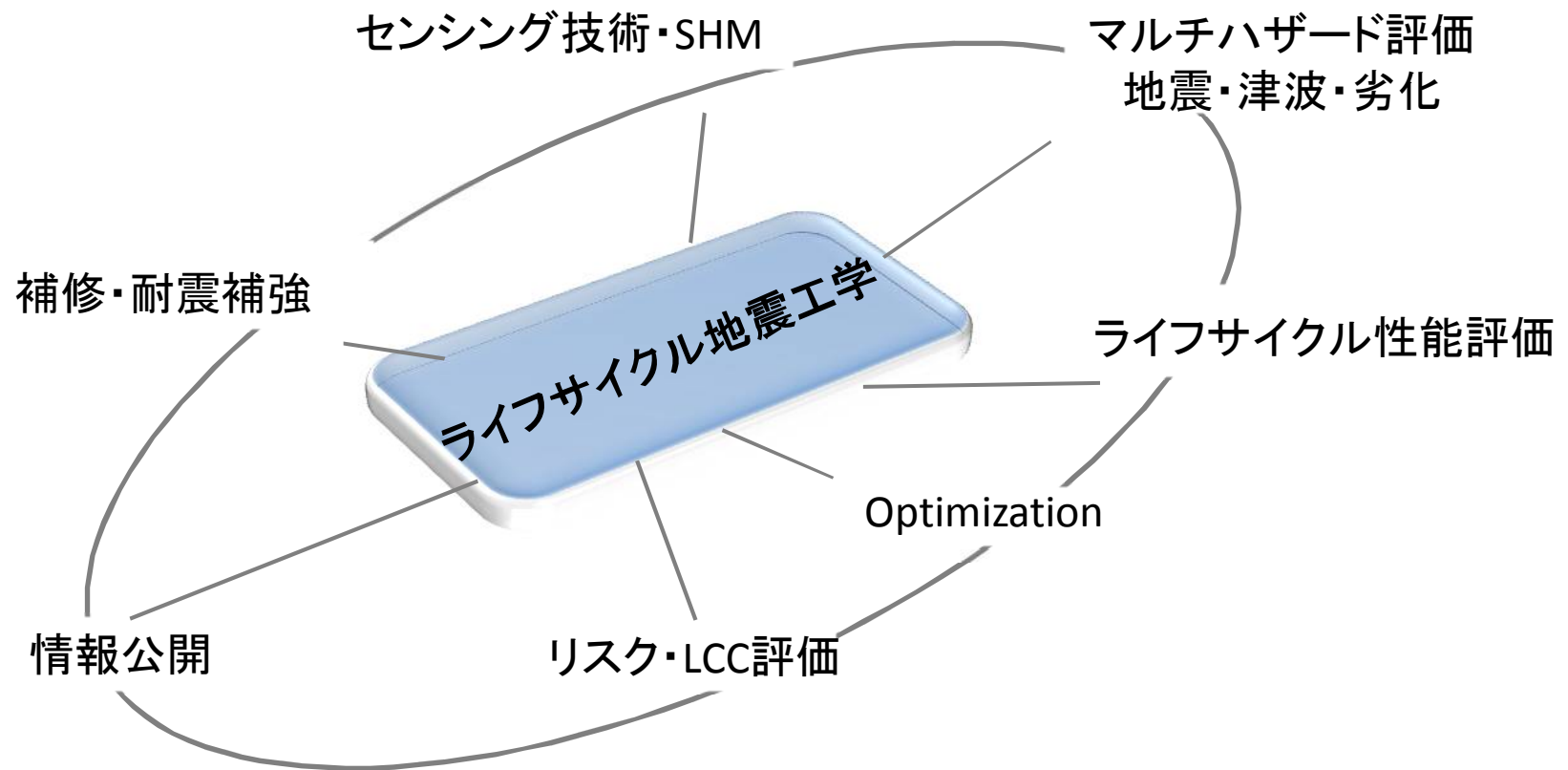
架け替え

竣工から倒壊までの劣化の変状をモニターした事例が皆無
⇒ 点検・検査に基づきインフラ構造の余寿命評価が現時点で困難

現在の取り組み～今後の課題 ライフサイクル地震工学の必要性



ライフサイクル地震工学の構築に向けて
様々な要素技術のインテグレーション



100年先の耐震安全性を確保する仕組み作り



Waseda University

目次

1. 信頼性評価から危機耐性・リスク評価へ

1.1 耐震信頼性評価

1.2 マルチハザードの検討

1.3 信頼性評価・限界状態設計の限界とリスク評価へ

2. 危機耐性を有する構造開発への取組

2.1 超高強度材料の活用

2.2 ダメージフリー構造は可能か？

2.3 盲点はないか？

3. ライフサイクル地震工学

3.1 2011年の震災とライフサイクルの視点の重要性

3.2 SEI-ASCE-Technical Council

現在の取り組み～今後の課題 ライフサイクル地震工学の必要性



SEI/ASCE Technical Council on
Life-Cycle Performance, Safety, Reliability and Risk of Structural Systems
Task Group 1 on Life-Cycle Performance of Structural Systems under Uncertainty



STATE OF RESEARCH: Aging and Deterioration

Moderator: Mitsuyoshi Akiyama, Waseda University, JAPAN

Bruce R. Ellingwood, Colorado State University, USA

Michel Ghosn, The City College of New York/CUNY, USA

Zoubir Lounis, National Research Council Canada, CANADA

Adam D. Matteo, Virginia Dept. of Transportation, USA

Ehsan Minaie, Intelligent Infrastructure Systems, USA

Samantha Sabatino, Lehigh University, USA

Behrouz Shafei, Iowa State University, USA

Iris Tien, Georgia Tech, USA

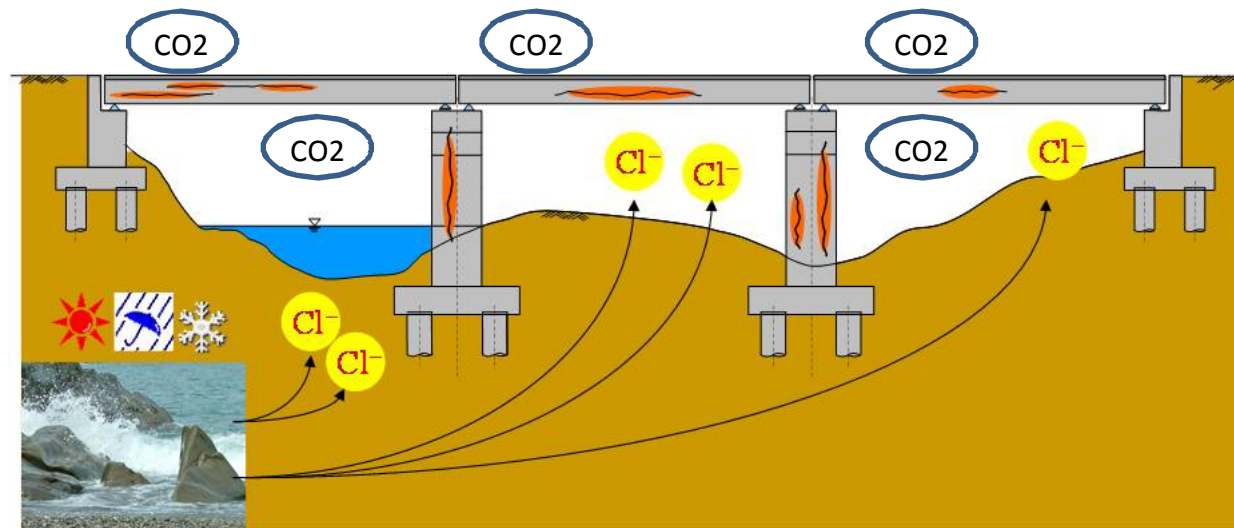
Lucia Tirca, Concordia University, CANADA

Arnold Yuan, Ryerson University, CANADA

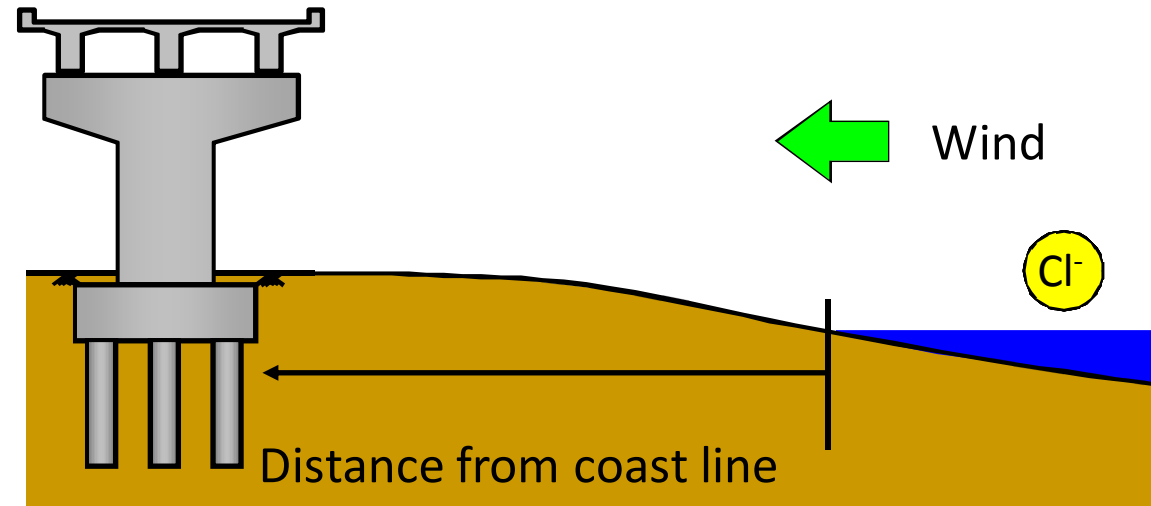


Material deterioration in concrete structures

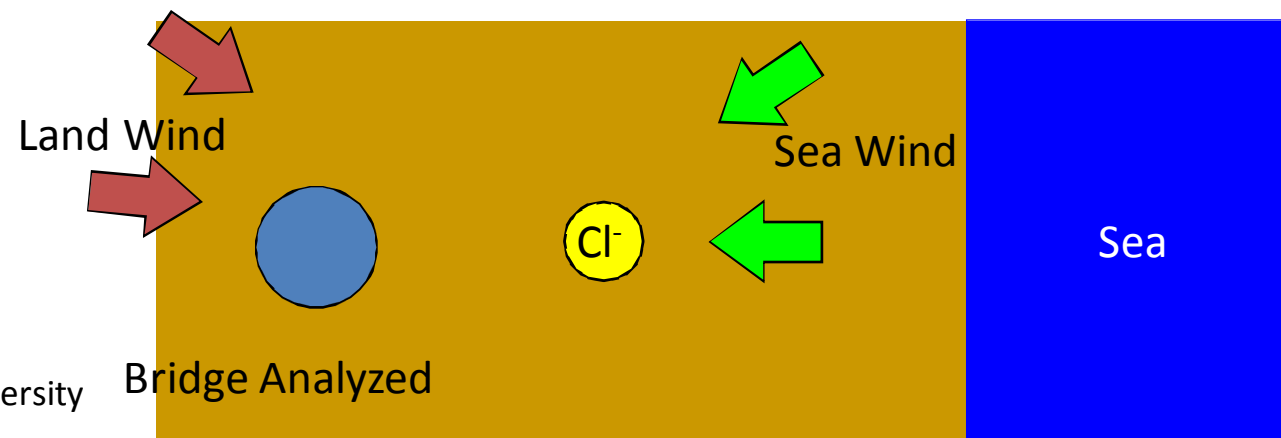
- Material deterioration due to carbonation
- Material deterioration due to chloride attack
- Material deterioration due to frost attack
- Material deterioration due to chemical attack
- Material deterioration due to alkali-aggregate reaction



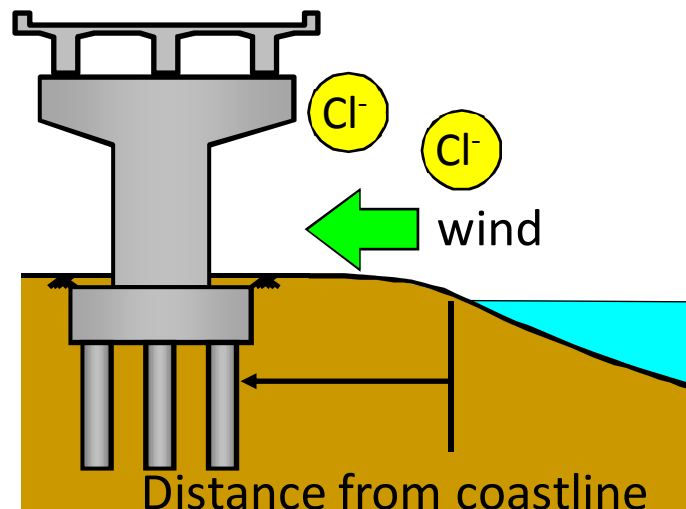
Hazard associated with continuous deterioration



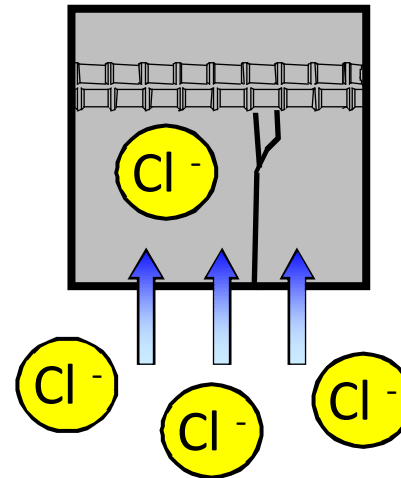
Airborne Chloride = f (Distance from coast line, wind speed, the ratio of sea wind)



Material deterioration due to airborne chloride

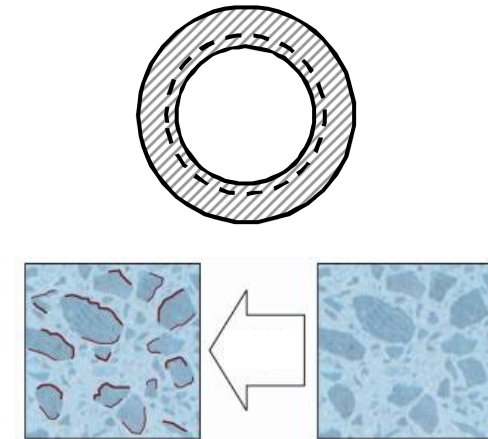


Transportation of airborne
chlorides



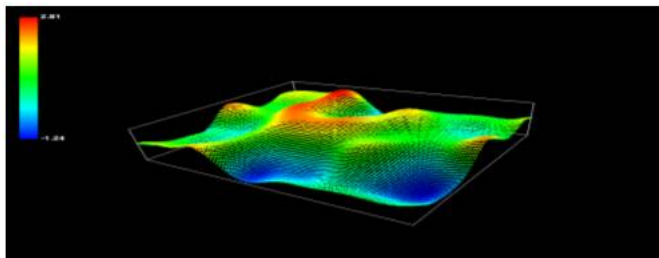
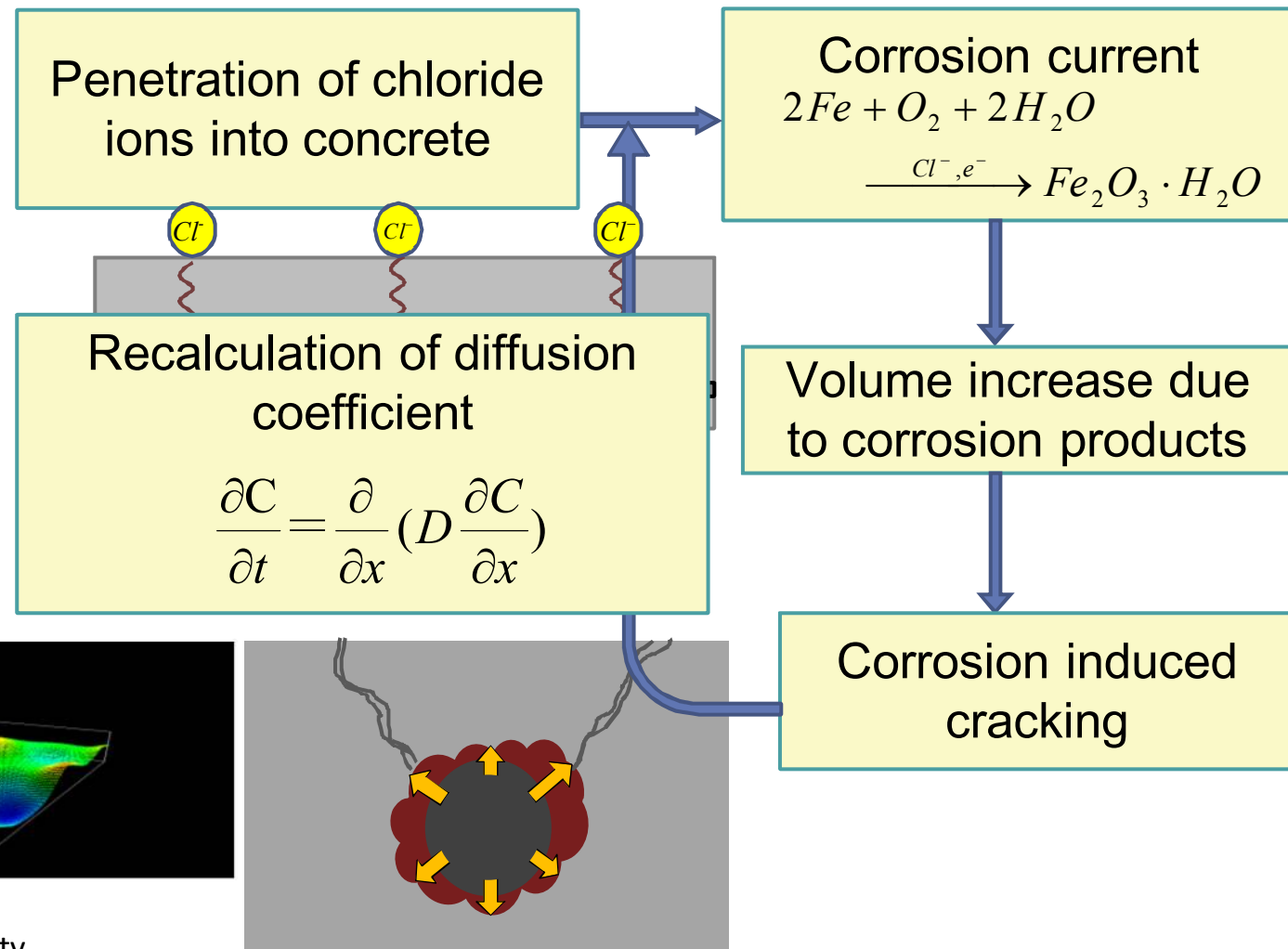
Diffusion of Chlorides

Corroded steel bar



Material deterioration

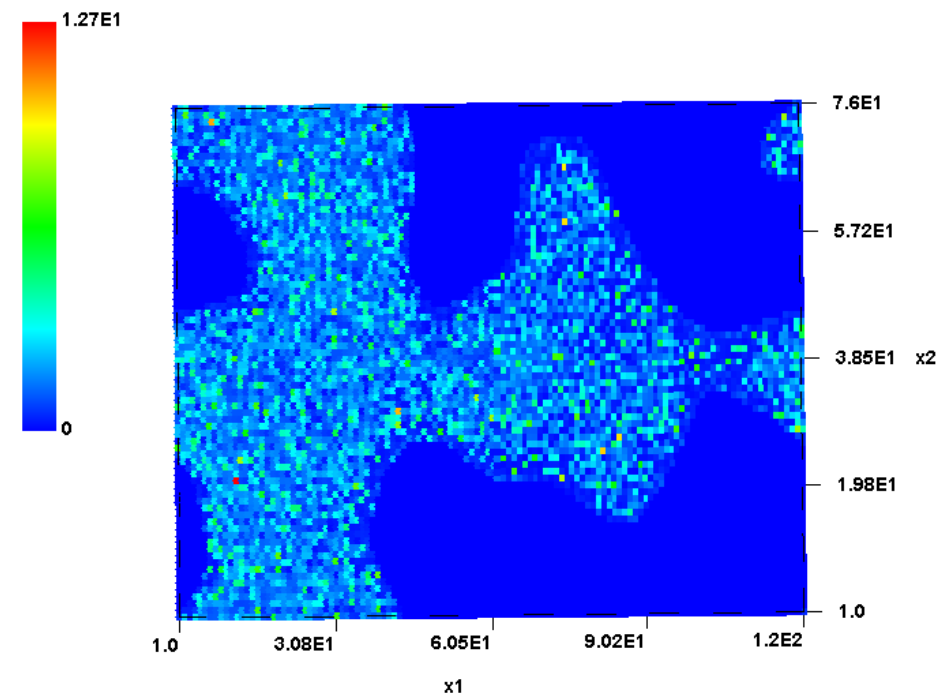
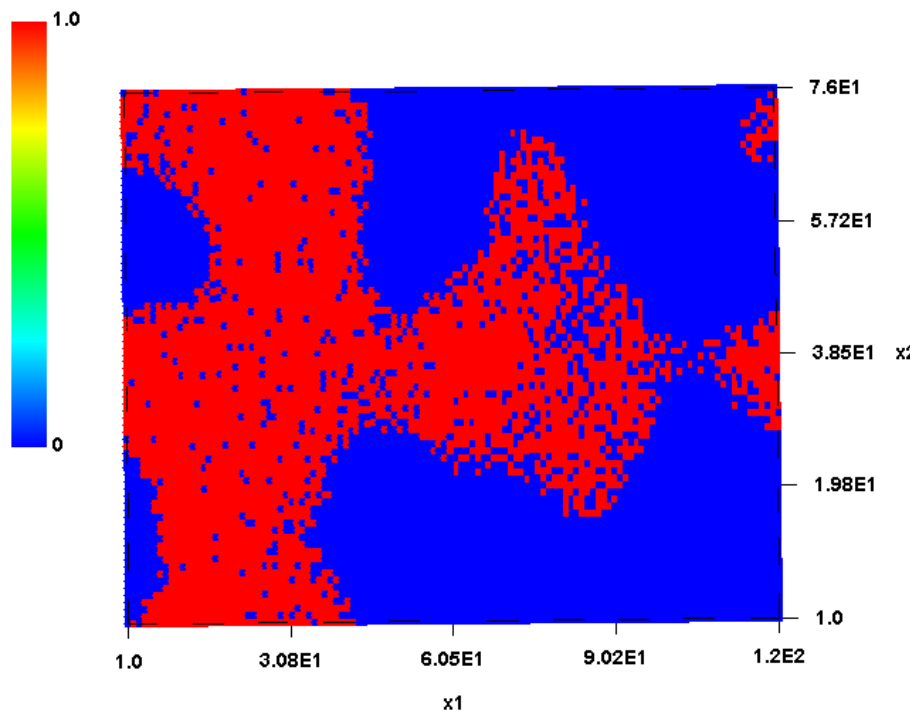
Steel corrosion process due to the chloride attack



Spatial-time-dependent analysis for corrosion in RC structures

Corrosion cracks spatial pattern
(Red: Element with corrosion crack)

Corrosion current density



$t = 100$ years

*SEI/ASCE Workshop on
Life-Cycle Performance of Civil
Structure and Infrastructure Systems*



STRUCTURAL
ENGINEERING
INSTITUTE



Material deterioration in steel structures

- Material deterioration due to chloride attack
- Material deterioration due to fatigue
- Material deterioration due to ???



Waseda University

*SEI/ASCE Workshop on
Life-Cycle Performance of Civil
Structure and Infrastructure Systems*



STRUCTURAL
ENGINEERING
INSTITUTE



Challenges

- Site specific issues on environmental conditions
- Research to real-life applications (size effects, accelerated aging, interaction between different mechanisms)
- Set of standardized tests
- New materials - issues related to modeling and long-term performance (high-performance materials and advanced composites)
- Uncertainty modeling with respect to climate change
- Spatial variability



Waseda University

*SEI/ASCE Workshop on
Life-Cycle Performance of Civil
Structure and Infrastructure Systems*



STRUCTURAL
ENGINEERING
INSTITUTE



Challenges (continued)

- Make decision maker understand life-cycle cost
- Simplicity vs accuracy of tools and models – consider who is using model
- Providing appropriate tools (service life prediction tool)
- Benchmark studies to demonstrate benefits of life-cycle analysis
- Design of new structures vs. retrofit of existing structures
- performance criteria
- Uncertainty in modeling capacity
- Impact of deterioration on system behavior



Waseda University

まとめ

1. 信頼性評価から危機耐性・リスク評価へ

1.1 耐震信頼性評価

1.2 マルチハザードの検討

1.3 信頼性評価・限界状態設計の限界とリスク評価へ

2. 危機耐性を有する構造開発への取組

2.1 超高強度材料の活用

2.2 ダメージフリー構造は可能か？

2.3 盲点はないか？

3. ライフサイクル地震工学

3.1 2011年の震災とライフサイクルの視点の重要性

3.2 SEI-ASCE-Technical Council