

性能規定時代の道路橋の耐久性向上技術

国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター

上席研究員 玉越 隆史



技術基準の性能規定化

- ① 要求性能とその明確化
- ② 性能達成の見込みを保証
- ③ 要件を満たす技術の採用を妨げない

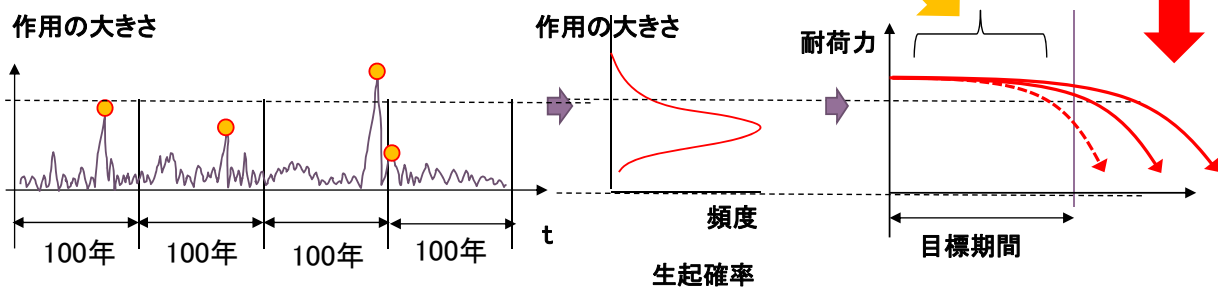
①. 要求性能とその明確化

■ 耐荷性能

供用中の「任意の時刻」の耐荷力を保証

■ 耐久性能

目標期間中、耐荷性能が保持されることを保証



要求性能とその明確化

■ 耐荷性能

所要の限界状態を越えないことを保証

- 部分的にも損傷が生じておらず、**機能が損なわれていない状態。**
- 部分的に損傷が生じているが、**機能に及ぼす影響は限定的であり、速やかに機能の回復が行いうる状態。**
- 致命的でない状態**

(道路橋示方書 (H29))

■ 耐久性能

設計供用期間に対する説明性を要求

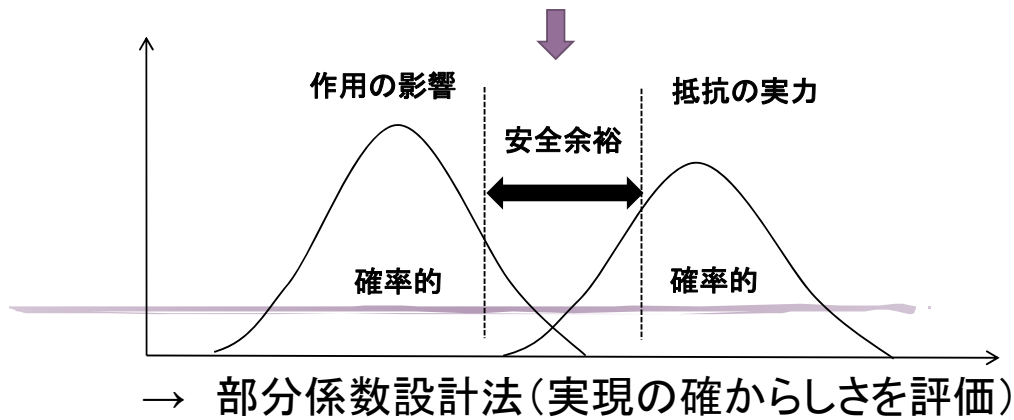
- 橋の設計にあたっては、**設計供用期間を定めなければならない。**
- 橋の設計供用期間は**100年を標準とする。**

(道路橋示方書 (H29))

②. 性能達成の見込みを保証

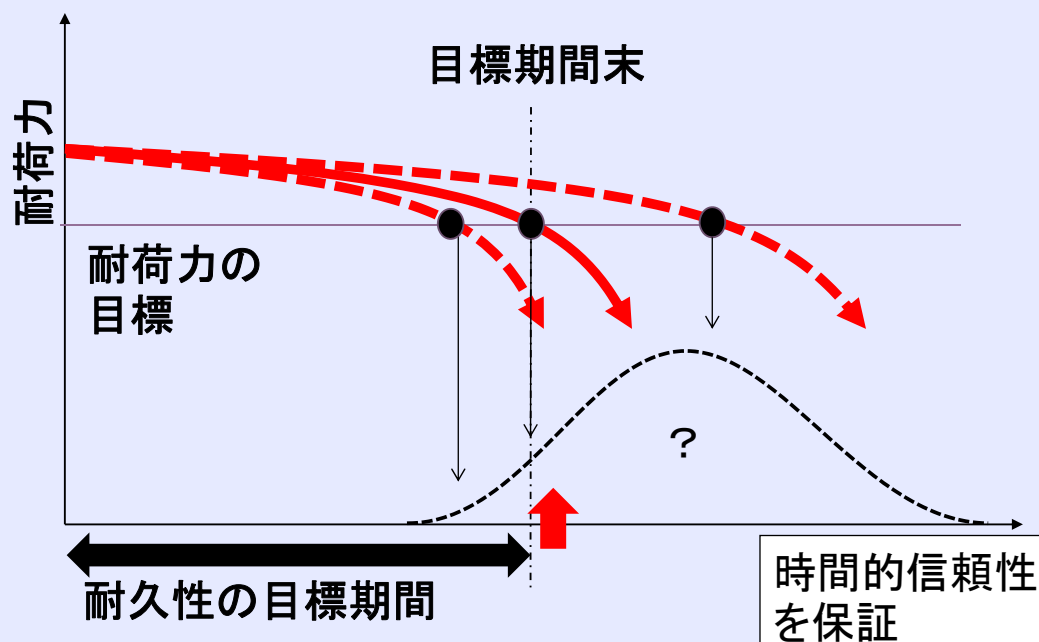
■ 耐荷性能における性能達成の見込み

作用の影響が、抵抗の実力を上回らない可能性を保証



では、耐久性能の達成見込みの保証は？

耐荷性能が、目標期間末まで維持される可能性が保証される必要がある。



目標とは別に、先の見えない長い供用期間も



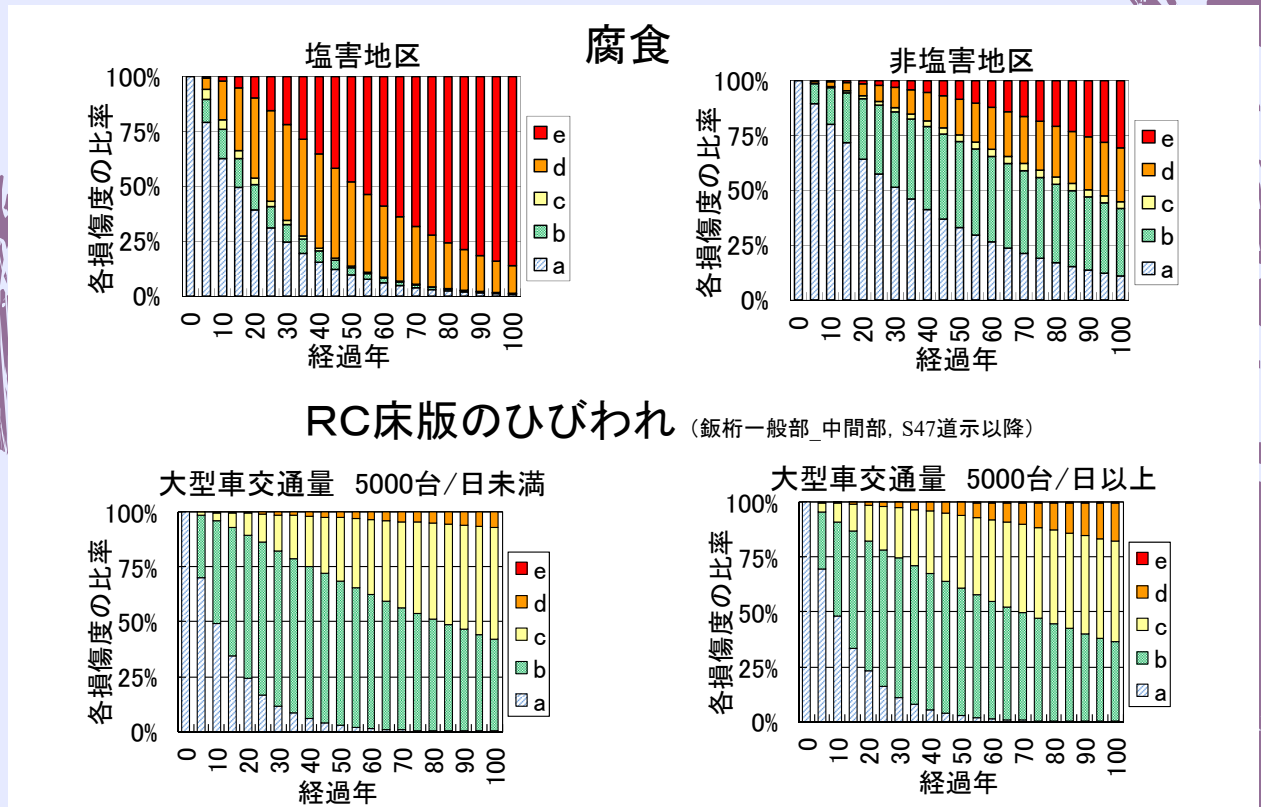
➡ 社会的要請や、財政的事情によっても、建設時の想定によらず、長期に安定した機能維持が求められることも想定される

千差万別で極めて多様で厳しい供用条件



➡ 外的要因、内的(構造的)要因、マクロ~ミクロスケールまで予測困難な多岐多様な環境条件に晒される

属性で特徴に差のあるものもあるが、劣化のばらつきは大



↓ 圧倒的な不確実性も考慮し、各種の対策が導入されてきた

■ 設計基準での配慮 (H24～)

□ 設計の基本理念

橋の設計にあたっては、… **維持管理の確実性及び容易さ**, ……を考慮しなければならない。

□ 構造設計上の配慮

供用期間中の点検及び事故や災害時における橋の状態を評価するために、行う調査並びに計画的な維持管理を適切に行うために必要な維持管理設備の設置。

供用期間中に更新することが想定される部材については、維持管理の方法等の計画において、あらかじめ更新が確実かつ容易に行えるよう考慮しなければならない。

(道路橋示方書(H24))

■ 法定点検 (H26～)

…必要な知識および技能を有する者が行うこととし、**近接目視により、5年に1回の頻度**で行うことを基本とする

(道路法施行規則(省令))

■設計基準での配慮（道路橋示方書（H29））

□耐久性が確保できる見込みの**説明性を要求**

	戦略の選択肢	考えられる例
方法1	着目部材そのものについて 時間的信頼性を具体的に設計 で考慮	応力による疲労照査 塩害かぶり
方法2	着目部材を、それ以外で保護 保護策の補修・更新も考慮	塗装
方法3	着目部材を、(実質)劣化の心 配のないものとする	十分な高耐食材料

↑ 不確実性も考慮したうえで、「**達成戦略を宣言・選択**」
＝ 信頼性の向上により、経済的で合理的な対策に

③ 要件を満たす技術の採用を妨げない



要件を満たす(＝**説明性がある**)耐久性向上技術の開発

(1) 「圧倒的な不確実性」に対する包容力

(2) 説明性＝信頼性・確実性の評価

作用側の評価の高度化

抵抗側の評価の高度化

(1) 「圧倒的な不確実性」に対する包容力

□制御可能なエラーの削減



□不測の予測と継続的維持管理の前提



→ 例: 経験のナレッジ化(事例集、標準化による基準への反映) 空間設計技術(維持管理性の定量化手法)の確立 など

(2) - 1 作用側の評価の高度化

■ 研究課題例: 耐候性鋼材適用性評価の精緻化

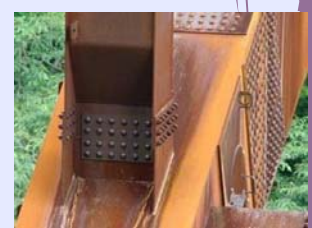
海岸線からの距離を目安とした塩分環境のマクロ評価を標準



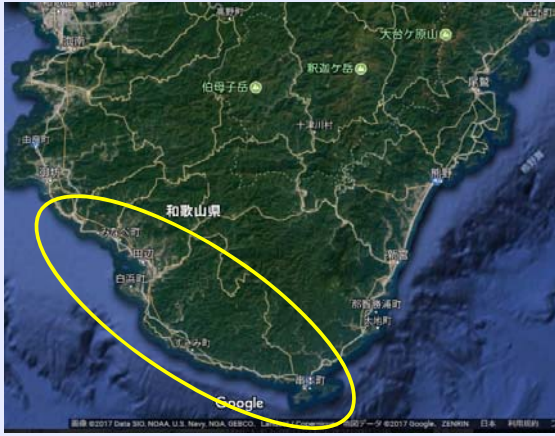
架橋位置や部位毎には、標準と大きく乖離する環境



架橋後の腐食環境(作用)の推定精度の向上により、耐久性の信頼向上余地



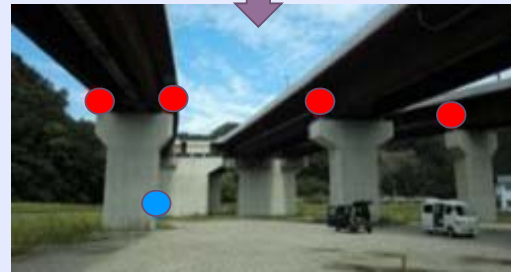
平均的には適用標準内に短期間に同時に架橋された橋梁群の架橋後環境および腐食状況の追跡調査



- ・地形や植生など立地環境の違い
- ・部材等との位置関係や高さ
- ・離隔や遮蔽の影響の違い



比較



(2) - 2 抵抗側の評価の高度化

■ 研究課題例： 溶接継手の疲労強度等級の細分化

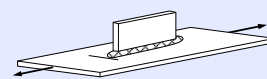
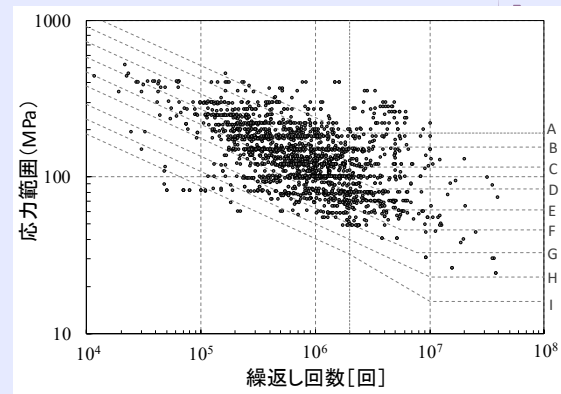
極めてばらつきのある大きな疲労試験結果を大まかな継手形式で差別化



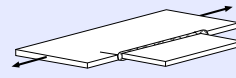
母集団を適切に分割することでより信頼性の高い継手強度に分類できる可能性



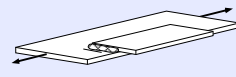
詳細な継手条件に応じて、寿命推定精度を向上することによる、耐久性の信頼向上余地



面外ガセット



面内ガセット



重ねガセット

⋮

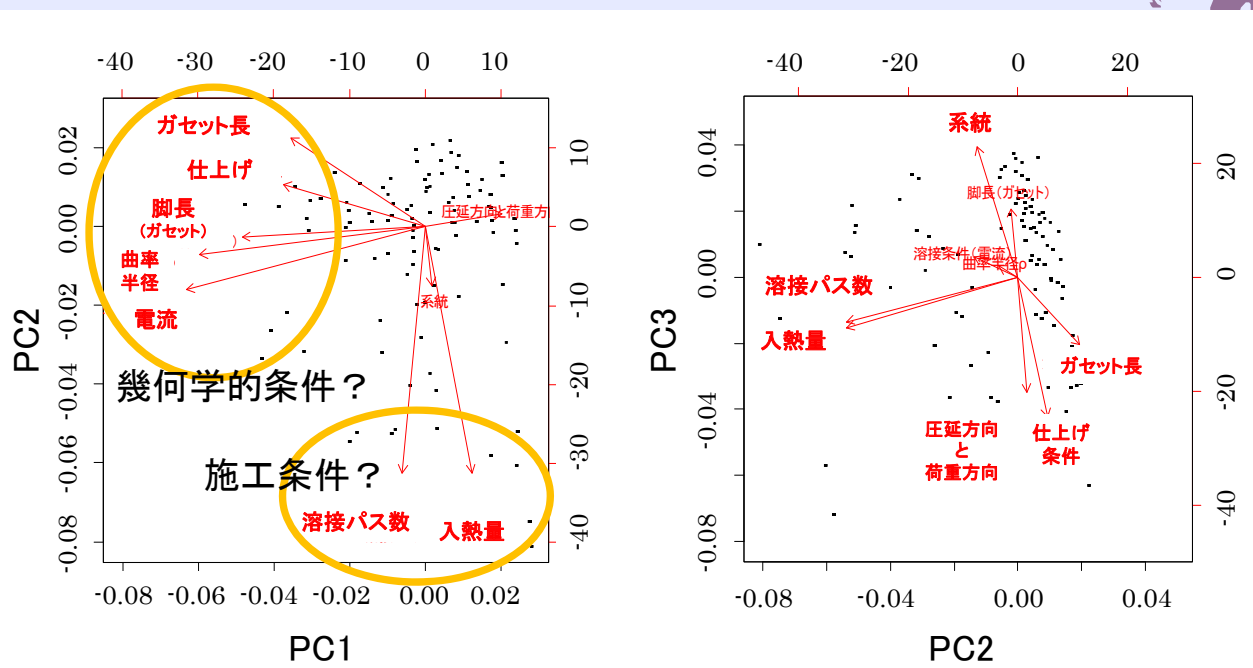
⋮

例1 : 蓄積された実験データベースの統計分析

疲労試験データベース(ガセット)の項目の例

- | | | |
|--------------------|---------------|-------------|
| 1. 使用材料 | 14. 脚長(主桁) | 27. 試験体板厚 |
| 2. 材料規格 | 15. 脚長(ガセット) | 28. ガセット板厚 |
| 3. 圧延と荷重の方向 | 16. 溶接材料規格 | 29. ガセット長さ |
| 4. 降伏点 | 17. 溶接材の系統 | 30. ガセット高さ |
| 5. 引張強さ | 18. 溶接棒・ワイヤー径 | 31. 溶接仕上げ条件 |
| 6. 衝撃値 | 19. 溶接姿勢 | 32. 表面処理方法 |
| 7. 伸び | 20. 溶接条件(電流) | 33. 熱処理方法 |
| 8. 化学成分 | 21. 溶接条件(電圧) | 34. 溶接欠陥 |
| 9. 溶接方法 | 22. 溶接条件(速度) | |
| 10. グループ形状 | 23. 入熱量 | |
| 11. 溶接パス数 | 24. 予熱温度 | |
| 12. 曲率半径 ρ | 25. 試験体寸法(幅) | |
| 13. フランク角 θ | 26. 試験体寸法(長さ) | |

主成分得点と因子負荷量



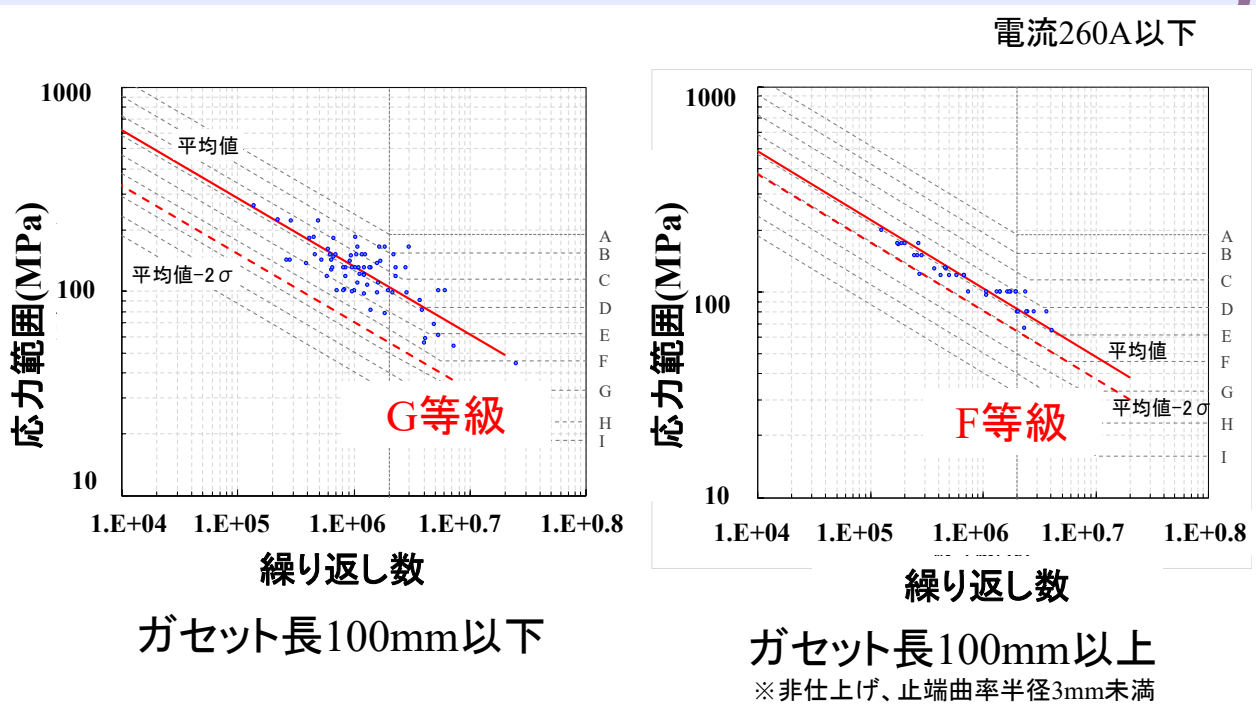
↑ 既存データにも様々な差別化候補の情報が隠れている可能性が高い

説明変数の絞込み(変数減少法)

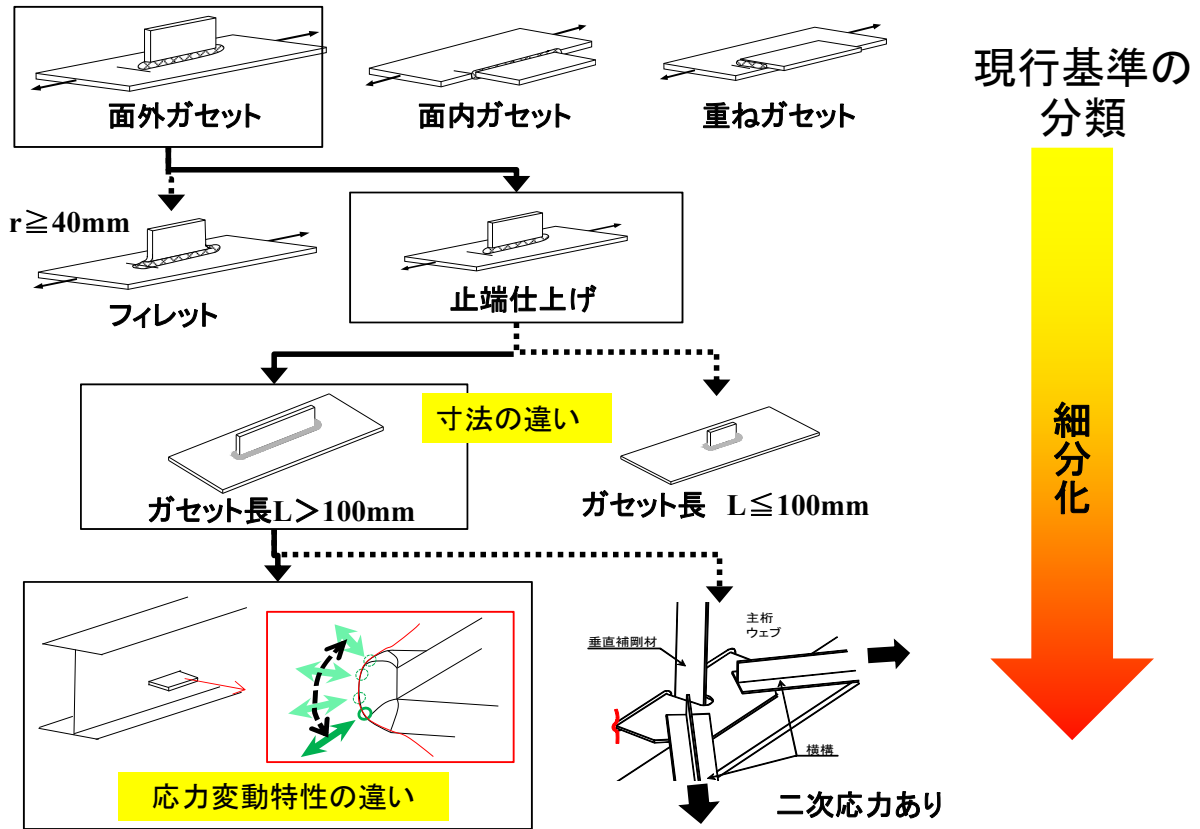
1回目	2回目	3回目
3. 圧延と荷重の方向		
11. 溶接パス数		
12. 曲率半径 ρ	12. 曲率半径 ρ	12. 曲率半径 ρ
15. 脚長 (ガセット)	15. 脚長 (ガセット)	15. 脚長 (ガセット)
17. 溶接材の系統	17. 溶接材の系統	17. 溶接材の系統
20. 溶接条件 (電流)	20. 溶接条件 (電流)	20. 溶接条件 (電流)
23. 入熱量	23. 入熱量	23. 入熱量
29. ガセット長さ	29. ガセット長さ	29. ガセット長さ
31. 仕上げ条件	31. 仕上げ条件	

↑ 既存データにも様々な差別化候補の情報が隠れている可能性が高い

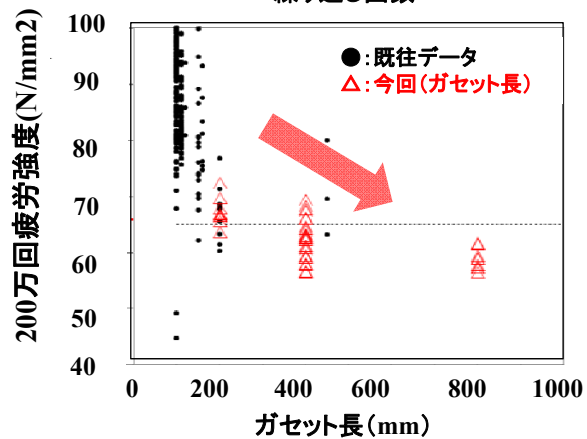
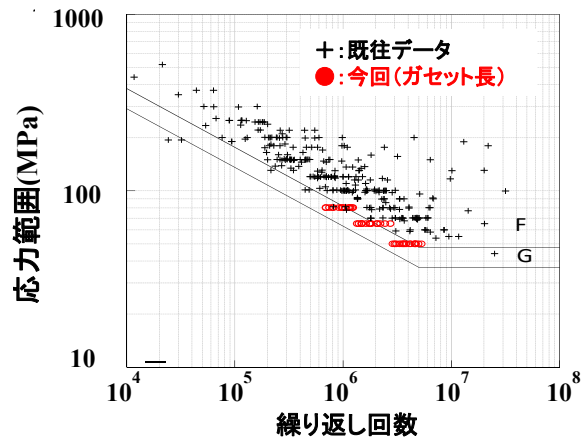
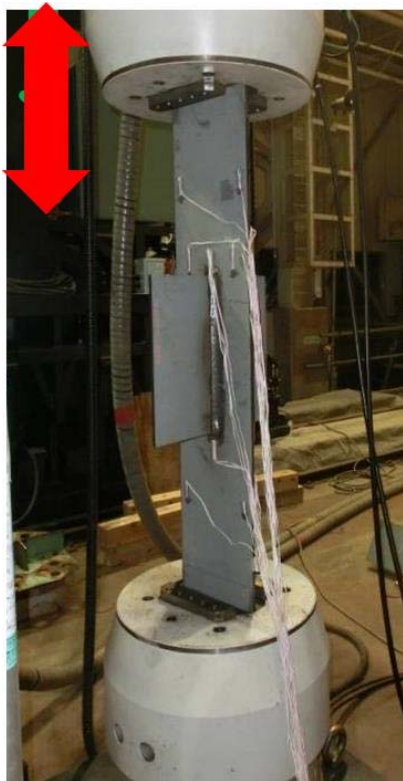
疲労設計曲線(S-N線)の試算



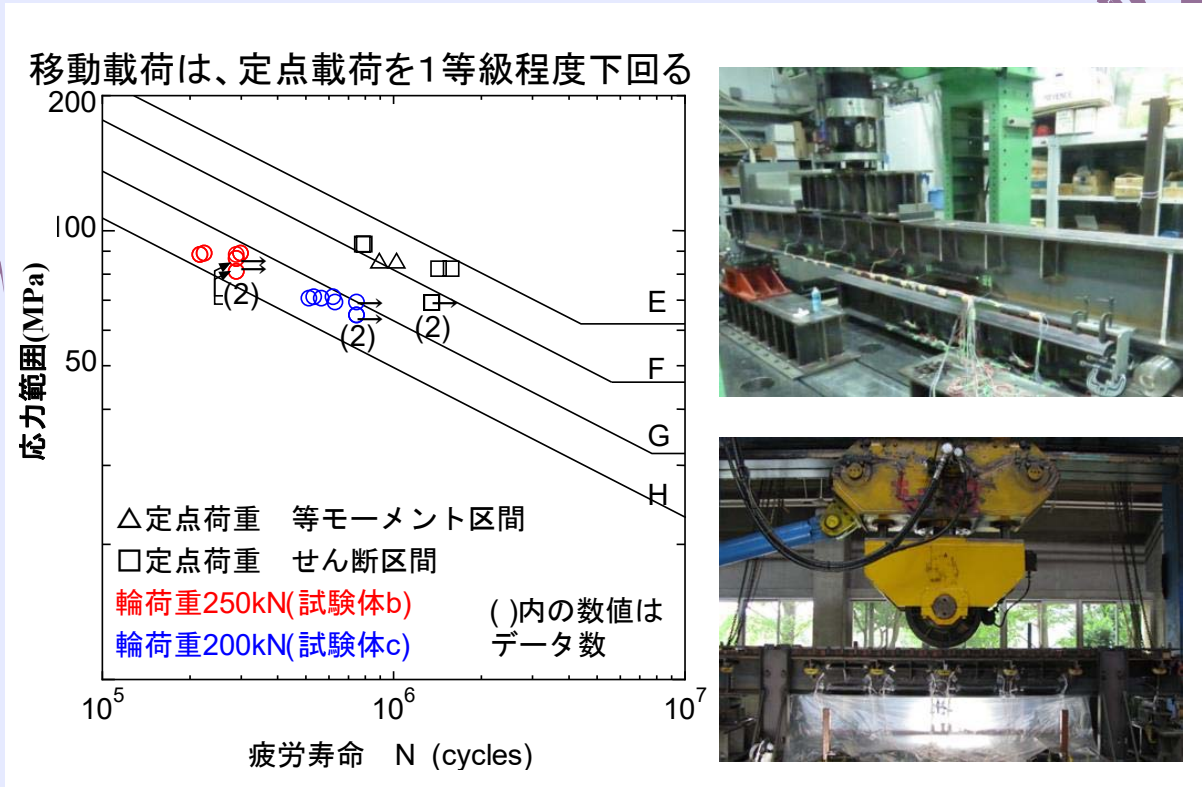
例2 : 実験による実力評価の精緻化



ガセット寸法の違いによる差別化



応力変動の特性の違いによる差別化



↑ 精緻化の観点での照査基準を見直しによる合理化の余地

(2) - 2 抵抗側の評価の高度化

■ 研究課題例: 耐久性を確実にするダメージコントロール

被災時の破壊形態によっては機能回復が困難となったり、抜本的対策を余儀なくされる

不測の外力に対しても、できるだけ挽回可能な状態に誘導することで期待される回復を約束

損傷形態の誘導の観点からは設計と実態のかい離の縮小余地



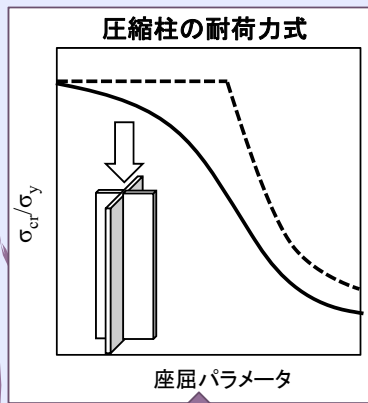
弦材の座屈

ガセットの破断

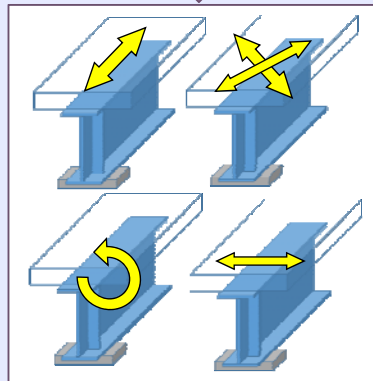


支点部主桁の曲げ破壊

例1：地震時水平力を考慮した支点部挙動の解明

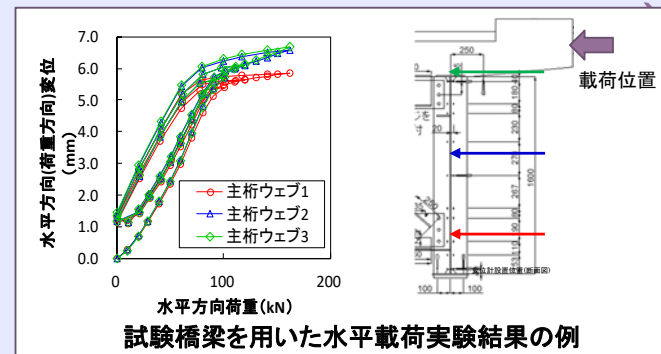
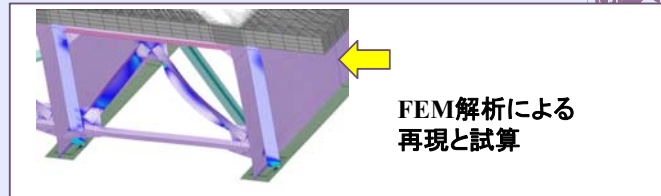


乖離



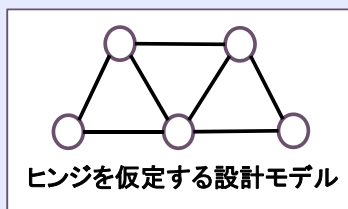
目標

定式化
構造細目

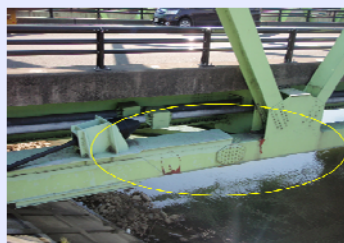


↑ 実態に即した照査基準の導入による設計の再現性向上余地

例2：トラス格点のダメージコントロール

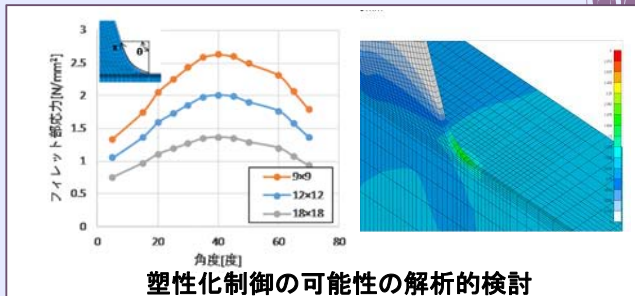
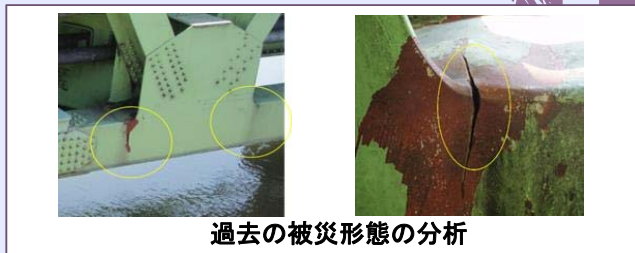


乖離



目標

定式化
構造細目



主な着目

- ・ガセット板厚式
- ・塑性化順序・部位の制御
- ・残存耐荷力(変形能)



↑ 実挙動に則した照査基準による損傷制御の実現と信頼性向上

実橋部材による破壊実験と解析的検討

■斜材の局部座屈先行



■ガゼットの局部座屈先行



既設診断、新設設計の両面で塑性化制御可能な条件を抽出

まとめ

- 供用期間が長いインフラでは、所要の機能が目標期間確実に発揮されることの時間的信頼性の保証レベルの向上が急務
- 新技術も柔軟に取り入れ、耐久性の信頼性を向上するためには、以下を取り入れた技術基準と対応技術の開発が不可欠
 - (1) 「圧倒的な不確実性」に対する包容力
 - (2) 作用と抵抗の評価の高度化
- 各機関と連携して引き続き関連研究を推進する予定