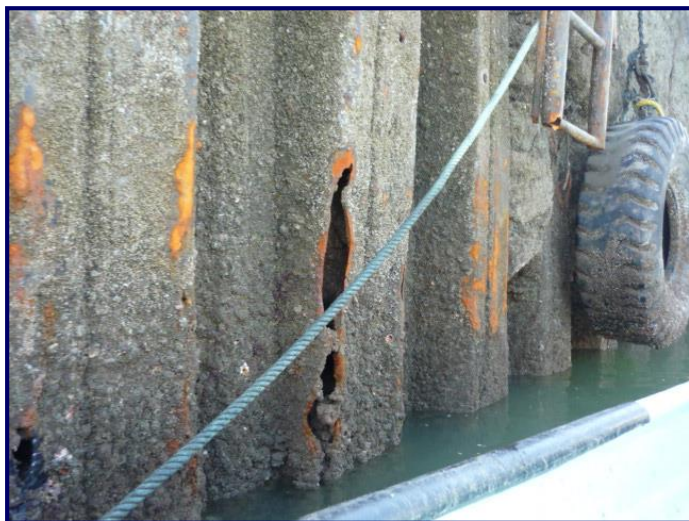


インフラメンテナンスの今後の展望

東京工業大学

岩波 光保

インフラメンテナンスの現状と課題

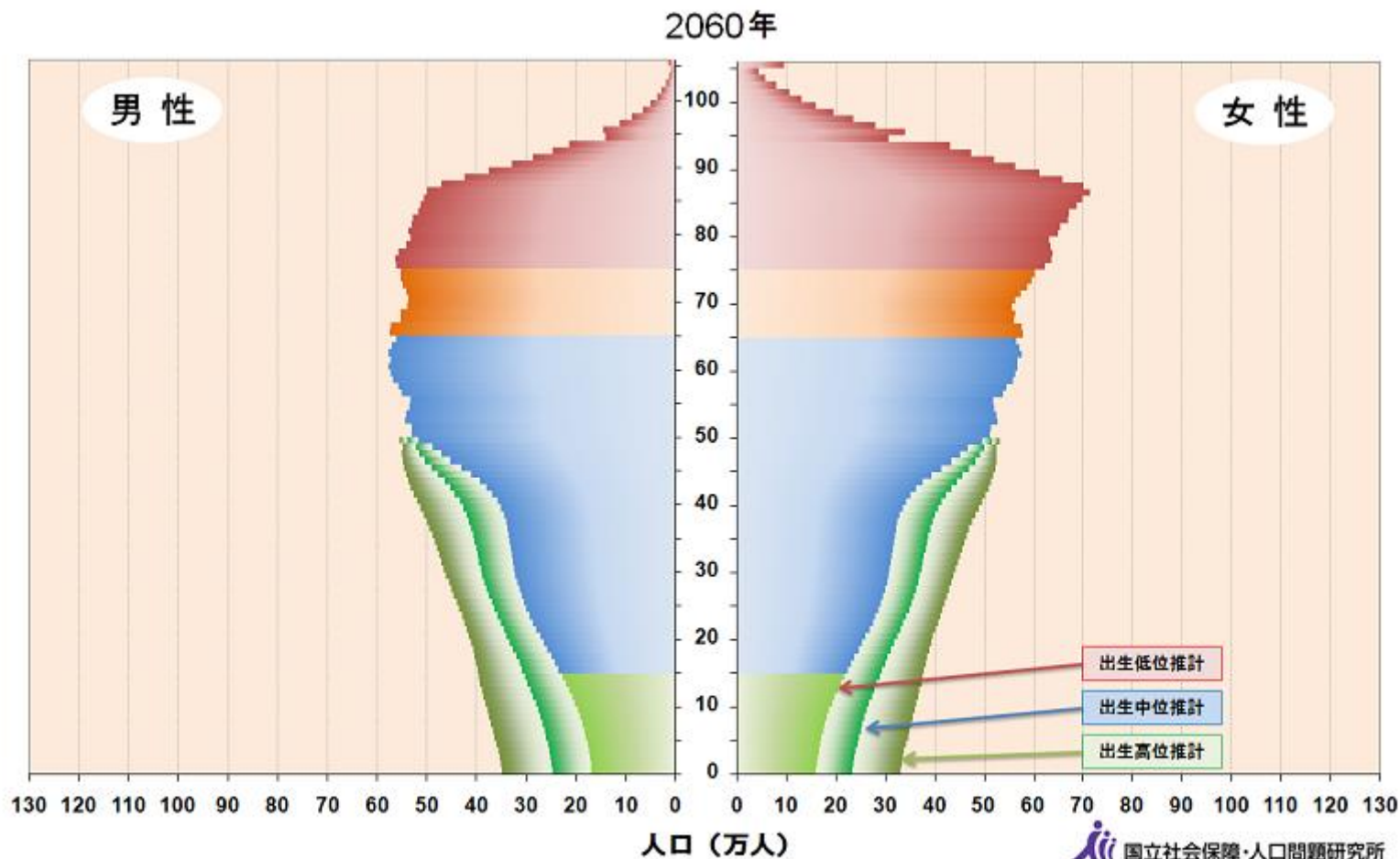


インフラメンテナンスの現状と課題

建設後50年を経過するインフラの割合と
今後の維持管理・更新費

	2013年3月	2023年3月	2033年3月
道路橋 (年代が分かる約40万橋)	約18%	約43%	約67%
トンネル (約1万本)	約20%	約34%	約50%
河川管理施設(水門等) (約一万施設)	約25%	約43%	約64%
下水道管きょ(約45万km)	約2%	約9%	約24%
港湾岸壁 (約5千施設)	約8%	約32%	約58%
維持管理・更新費 (国土交通省試算)	約3.6兆円	約4.3～5.1兆円	約4.6～5.5兆円

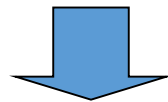
インフラメンテナンスの現状と課題



資料：1920～2010年：国勢調査、推計人口、2011年以降：「日本の将来推計人口（平成24年1月推計）」。

インフラメンテナンスの現状と課題

- ・劣化が顕在化した構造物が急増（高度成長期に整備）
- ・予算上の制約（人口構成、少子高齢化）
- ・インフラの特殊性（社会的役割、耐用年数）
- ・制度上の制約（管理者の規模）
- ・維持管理のための技術が未確立

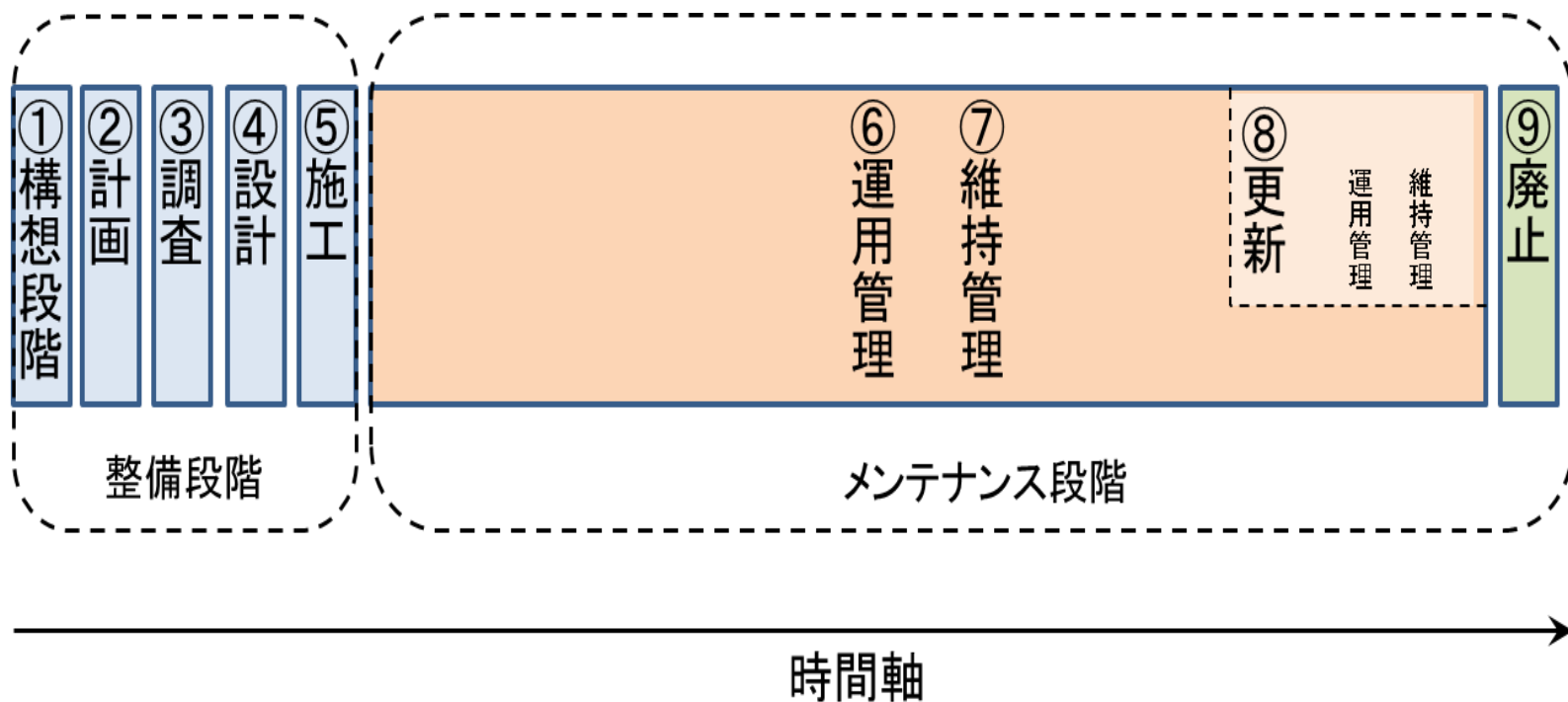


2013年が社会インフラのメンテナンス元年と位置付けられ、
国を挙げた様々な取組みが実施されてきている。

インフラメンテナンスのポイント



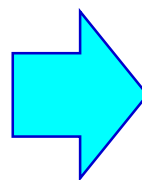
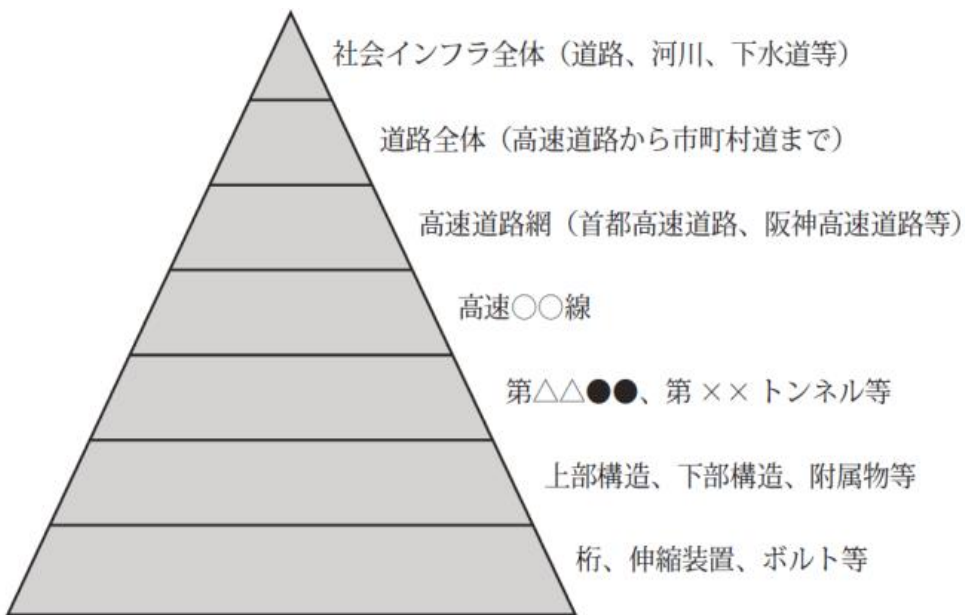
インフラの特徴



- ◆ よりよい維持管理には、計画・設計段階における維持管理への配慮から施工段階における品質管理まで、各段階における適切な対応が重要。
- ◆ 個別に取り扱われていた、計画・調査・設計・施工・維持管理・解体（廃止）・更新を統合して扱うライフサイクルマネジメント（LCM）の概念が重要。
- ◆ メンテナンスに関する技術改革に加えて、社会インフラの更新や廃止に関する方法論・技術論が重要。

インフラの特徴

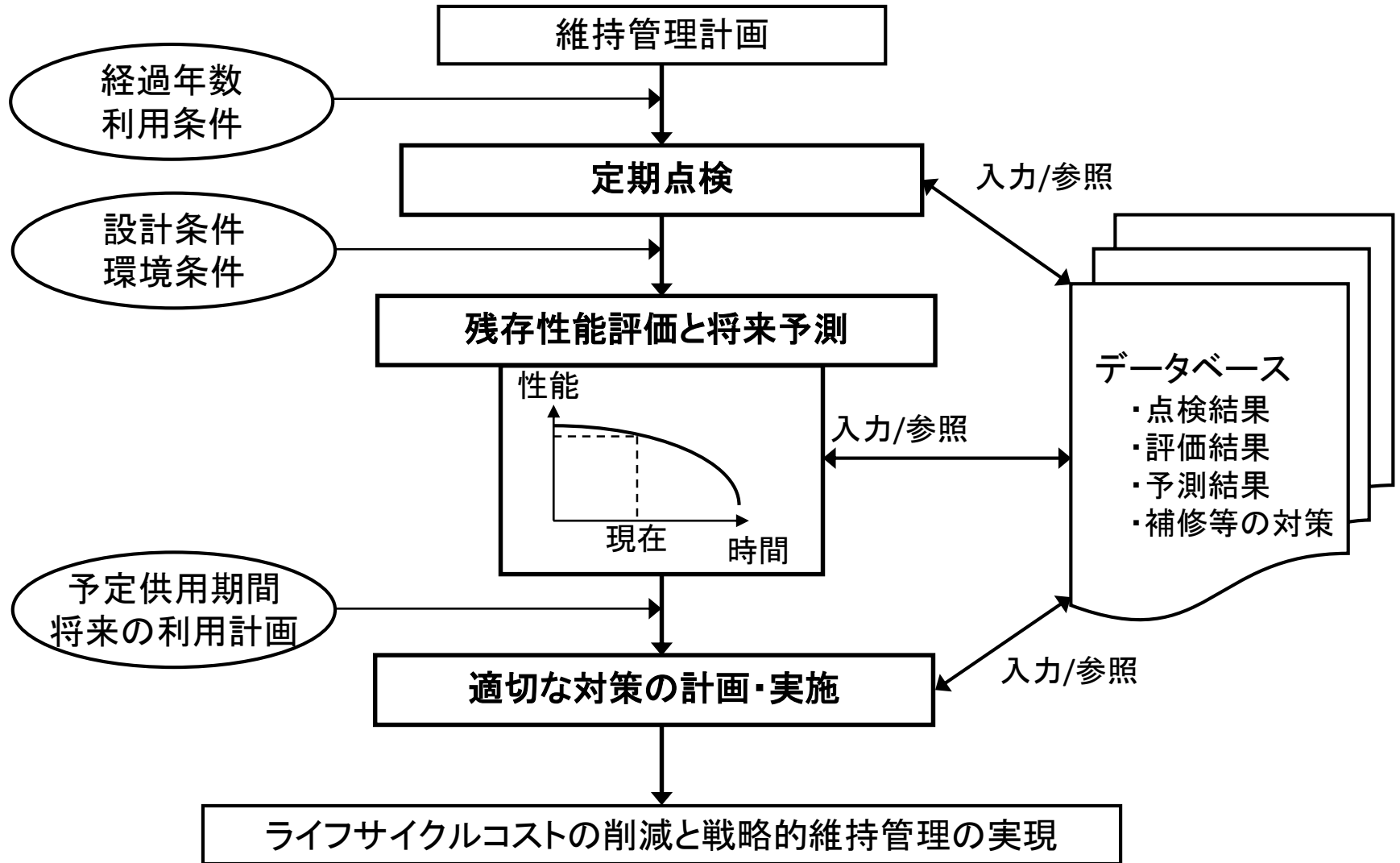
社会インフラは、多くの階層からなる複雑なシステムであるとともに、同種の構造物であっても設置位置に応じて環境条件や荷重条件が異なり、その管理主体も国から都道府県、また、市町村のように様々であるといった多様性を有する。



多様性を考慮・反映したマネジメントを行う必要がある。

社会インフラの階層構造

インフラメンテナンスのフロー



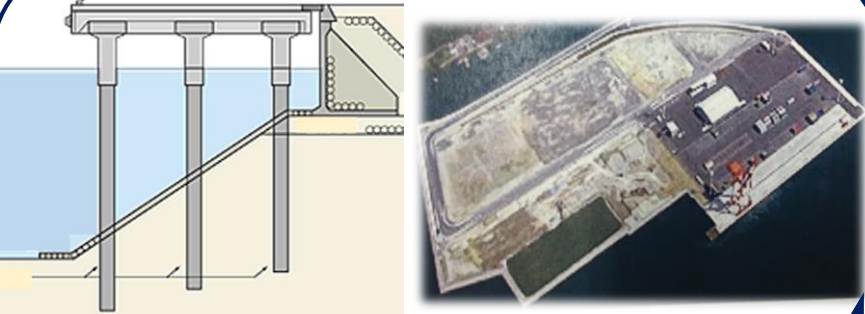
インフラメンテナンスの高度化の取組み

1. 構造性能を考慮した点検診断の効率化

中村 董, 千々和伸浩, 岩波光保: コンクリート中の鉄筋腐食を考慮した構造解析に基づく栈橋の維持管理の負担軽減に関する検討, 土木学会第72回 年次学術講演会講演概要集, 第V部門, V-439, pp.877-878, 2017.9.

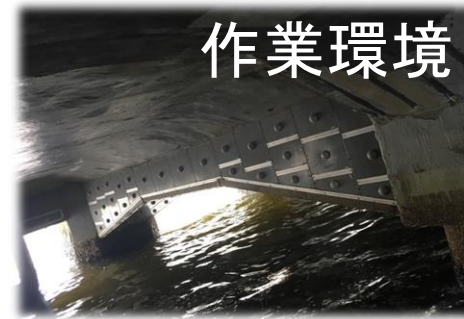
背景

棧橋



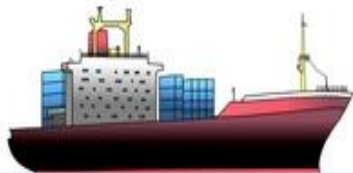
- 港湾機能を支える重要施設
- 厳しい自然・荷重条件

維持管理のモチベーション？

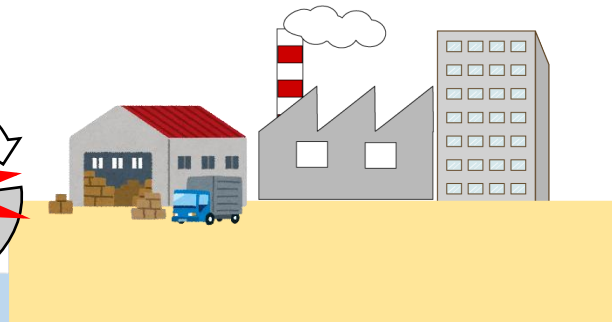


コスト

万が一、巨大地震が発生したら...



物流の停滞



目的

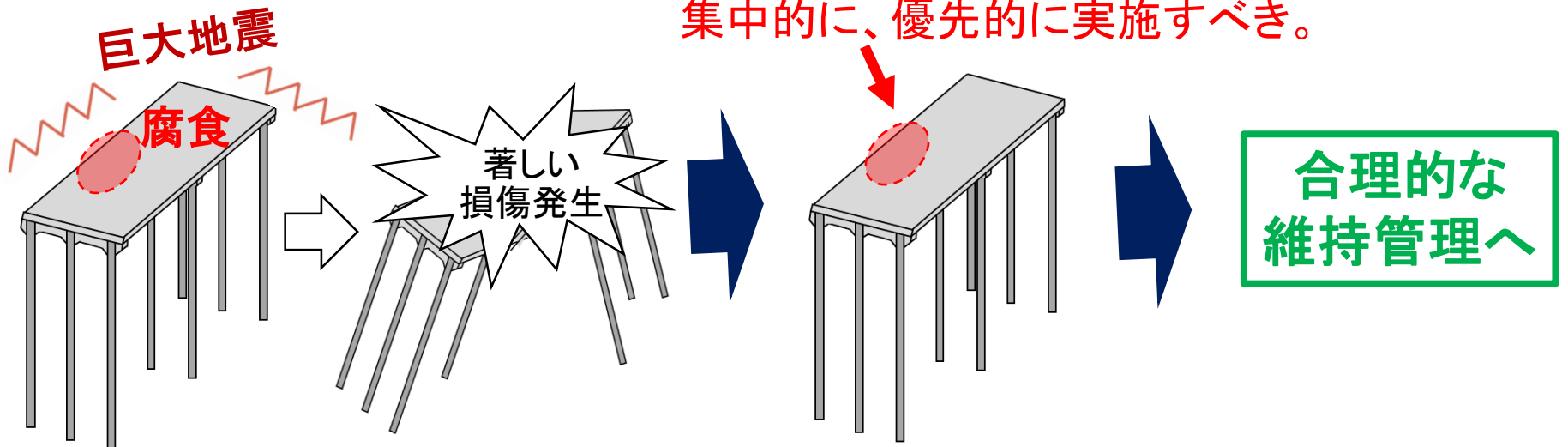
栈橋等の港湾施設の維持管理の負担軽減

維持管理の確実な実施

地震に対する安全性確保

栈橋の維持管理負担軽減方策の提案

〈〈提案〉〉

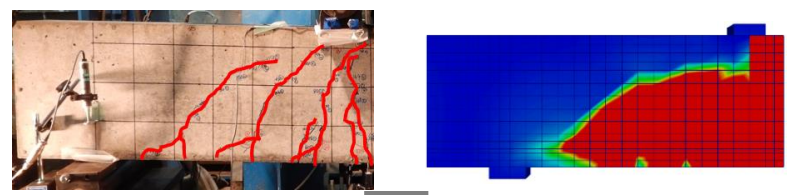


研究のフロー

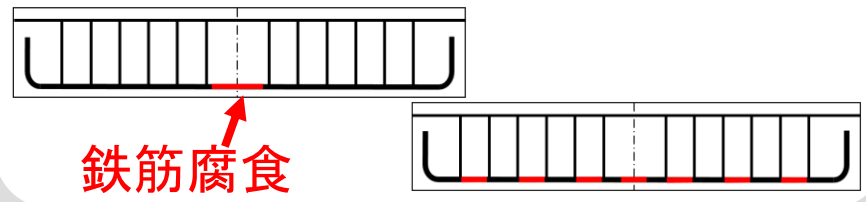
対象部材 → 上部工のRCはり部材

部材レベル

荷重実験による解析手法の
妥当性検証



不均一な鉄筋腐食を有する
RCはり部材の数値解析

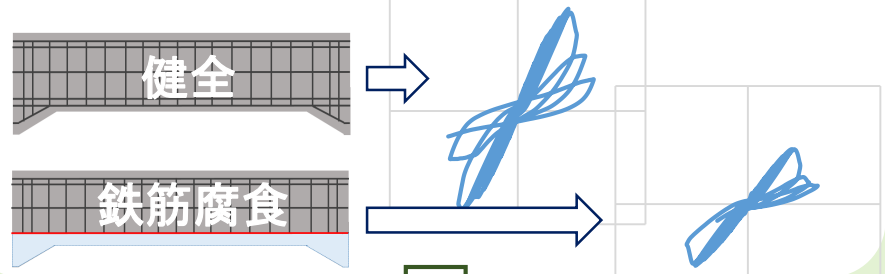


鉄筋腐食

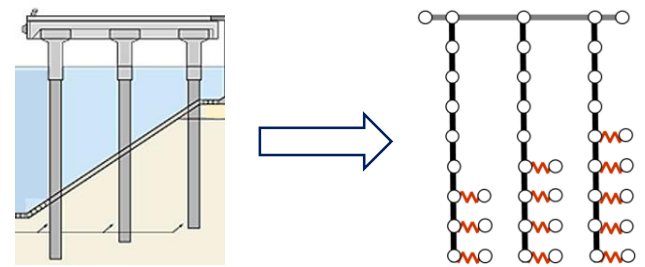
不均一な鉄筋腐食の影響把握

構造物レベル

RCはりの構成則の設定



構造物の全体系解析

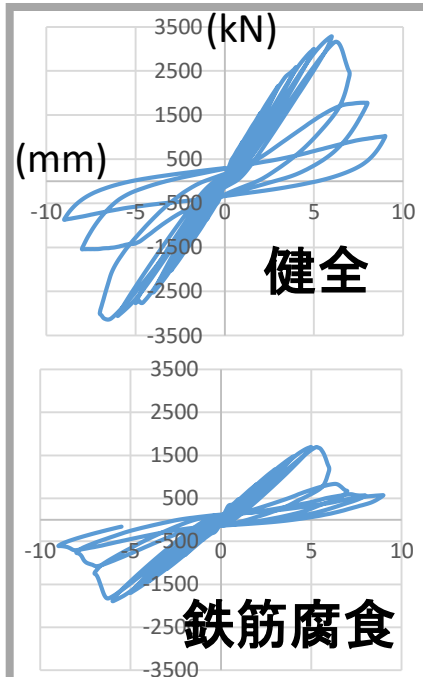
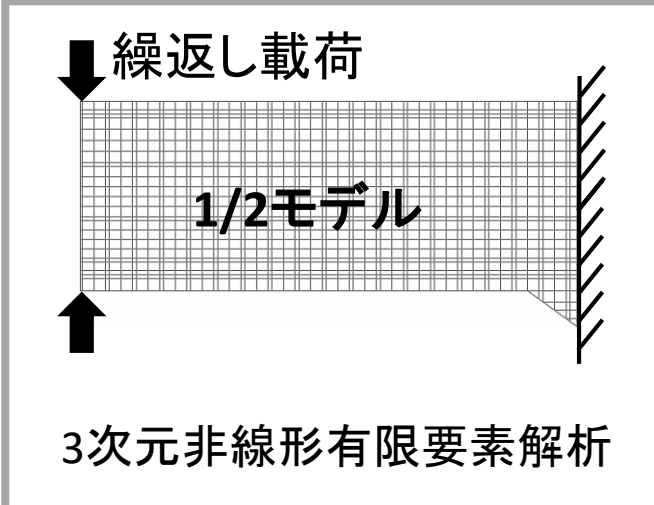
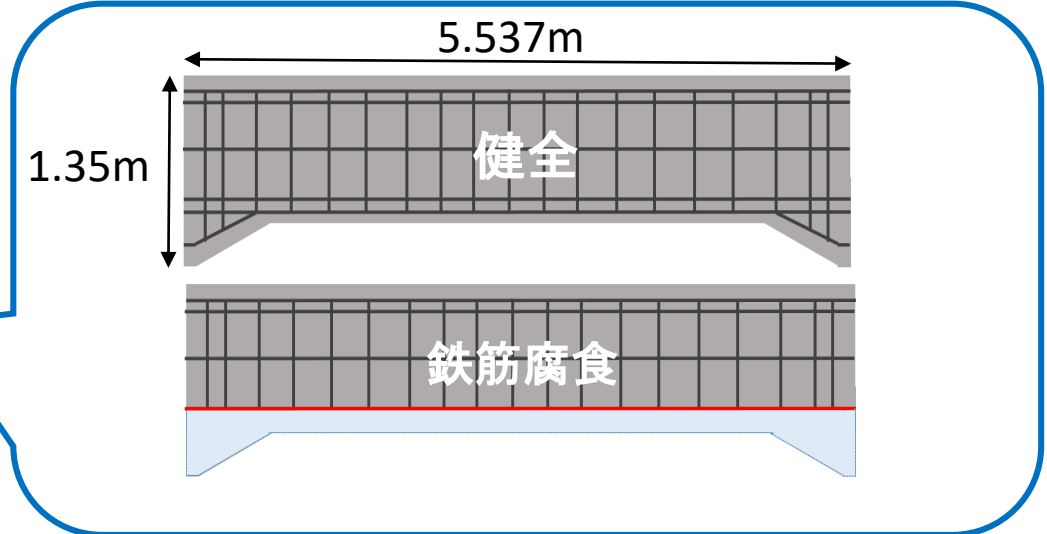
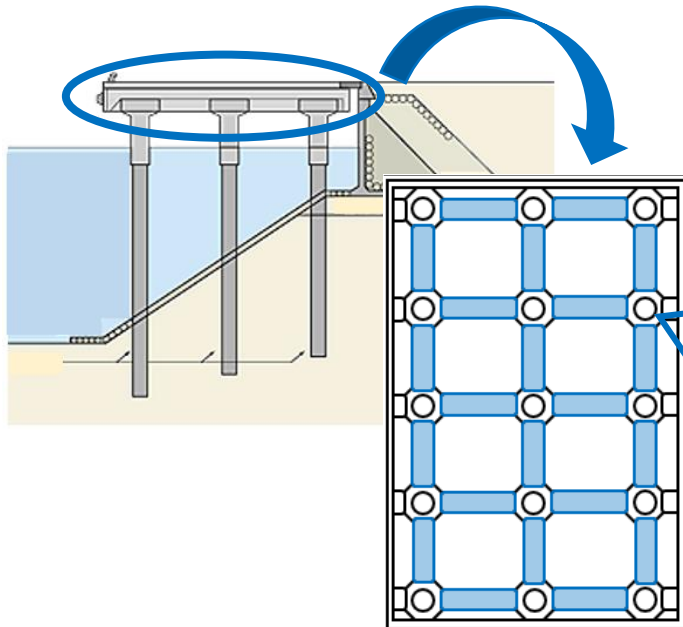


鉄筋腐食部材の位置

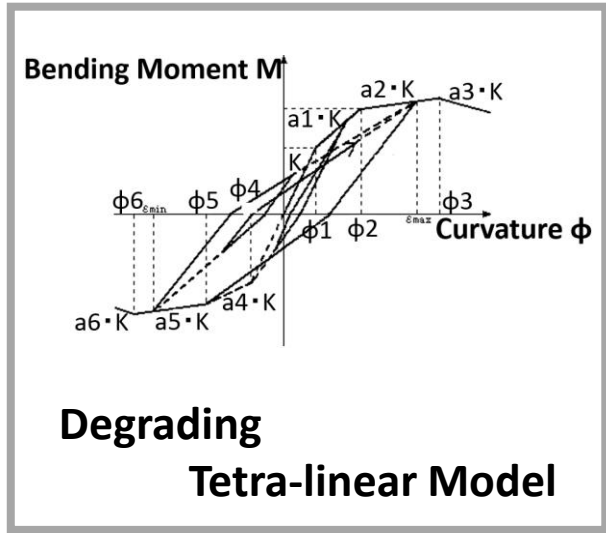
⇕
栈橋の耐震性

構造解析に基づく栈橋の維持管理負担軽減方策の提案

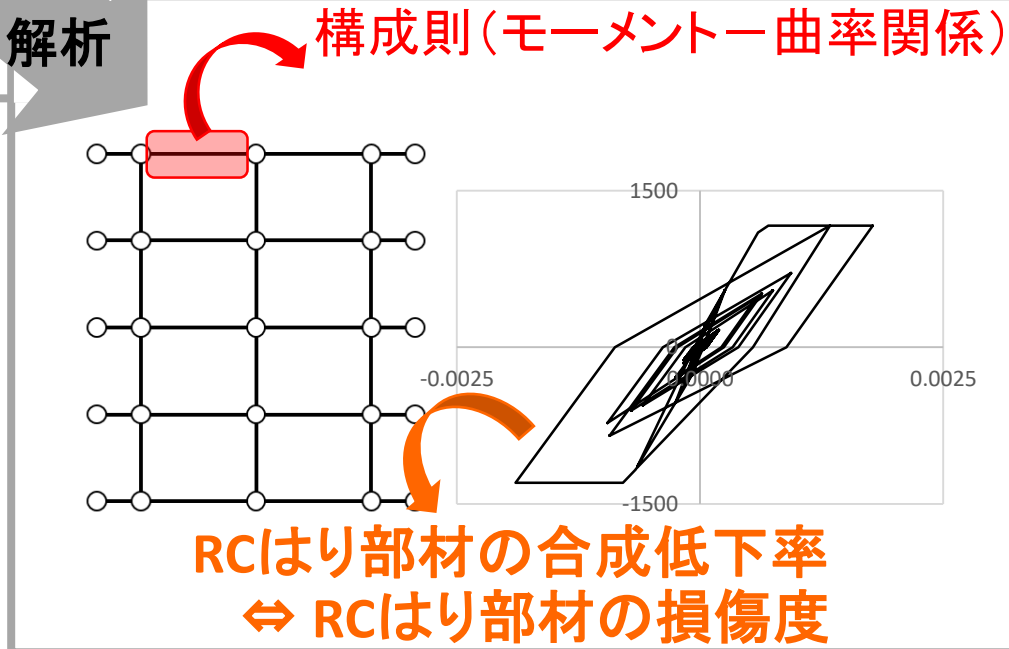
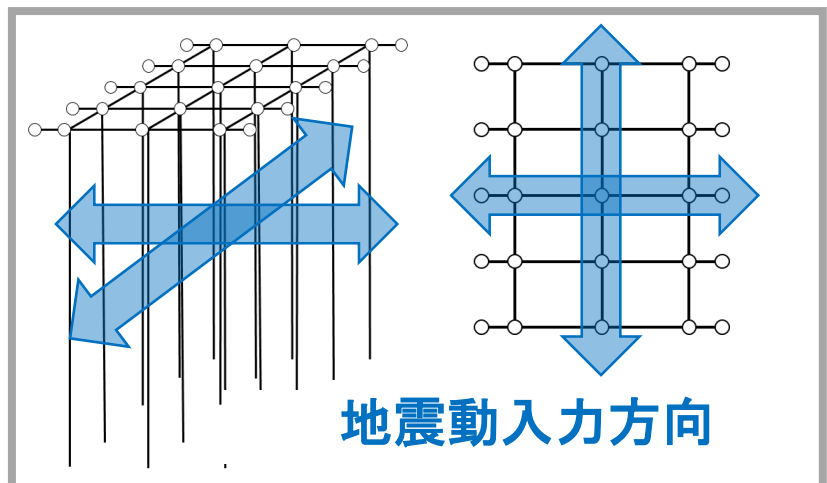
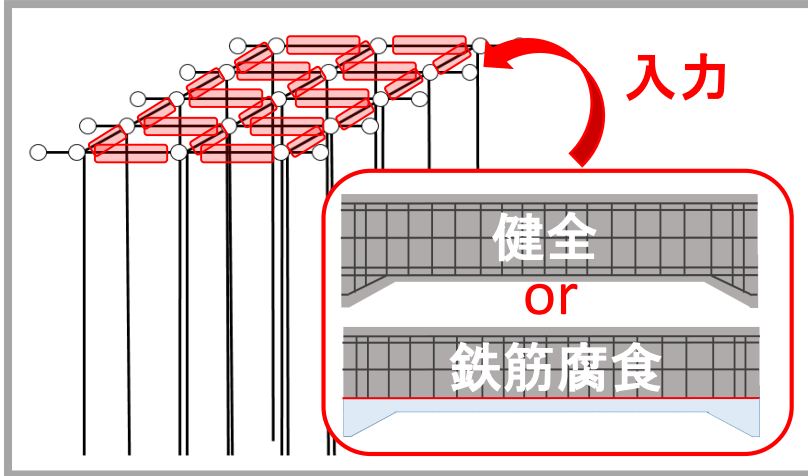
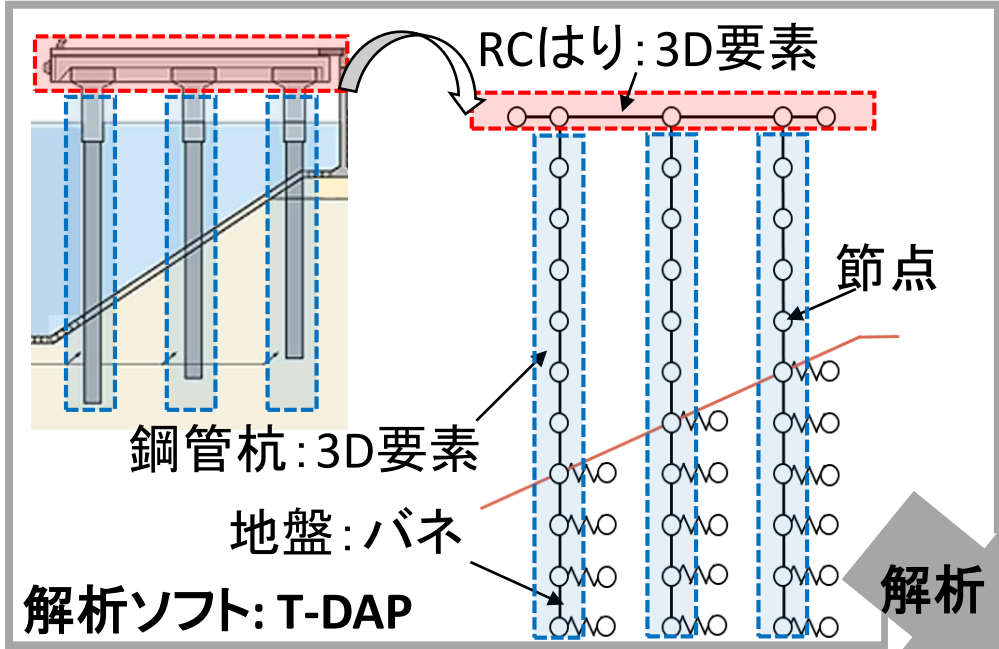
構成則の設定



変換



栈橋の全体系解析

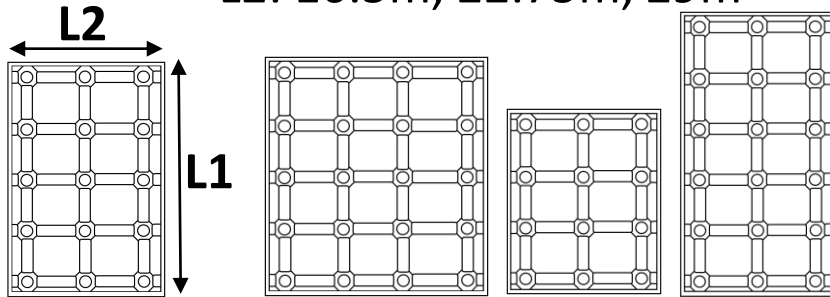


解析パラメータ

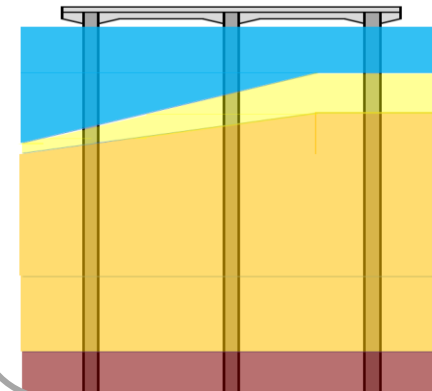
上部工寸法

L1: 25m, 18.75m, 31.25m

L2: 16.5m, 22.75m, 29m



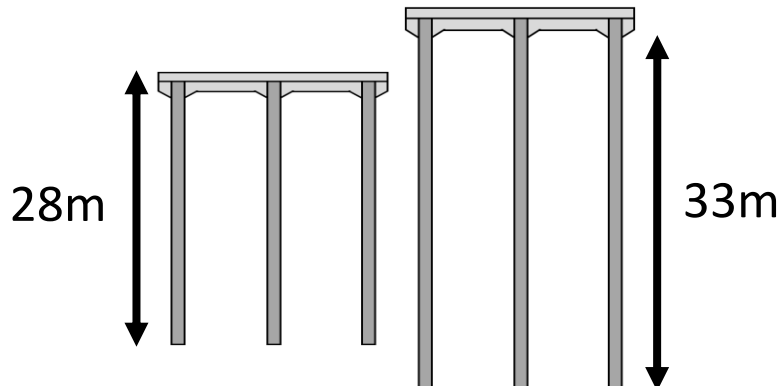
地盤条件



N=5,10,
40

上部工RCはりの鉄筋腐食を考慮した場合、
いずれのケースにおいても共通した傾向が得られた。

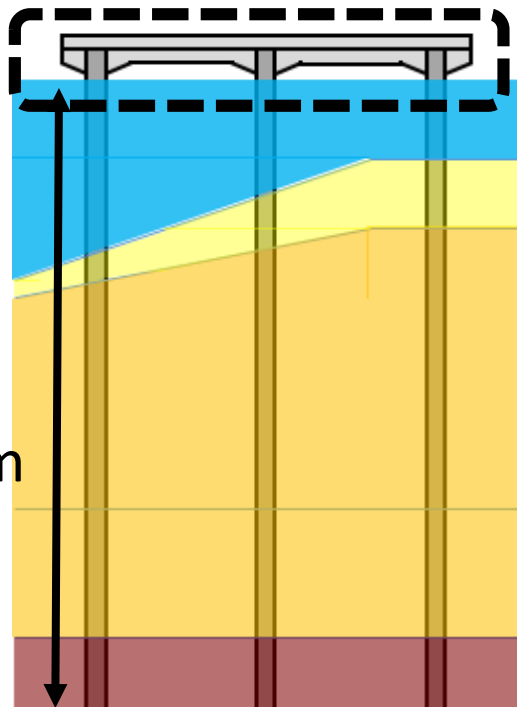
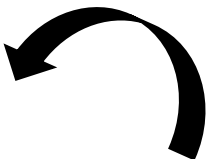
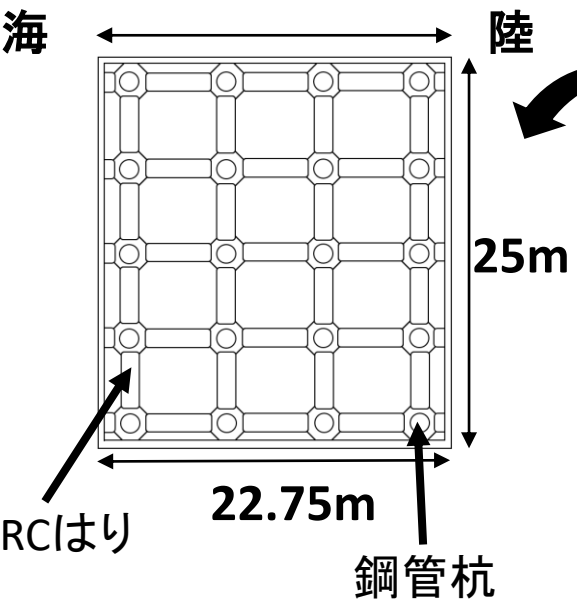
鋼管杭の長さ



地震動の種類



解析ケースの1例

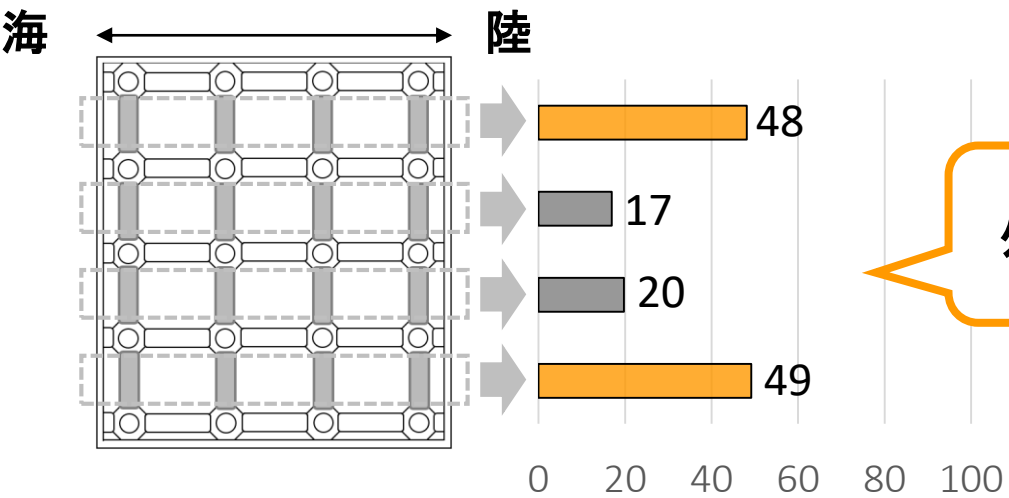


1995兵庫県
南部地震



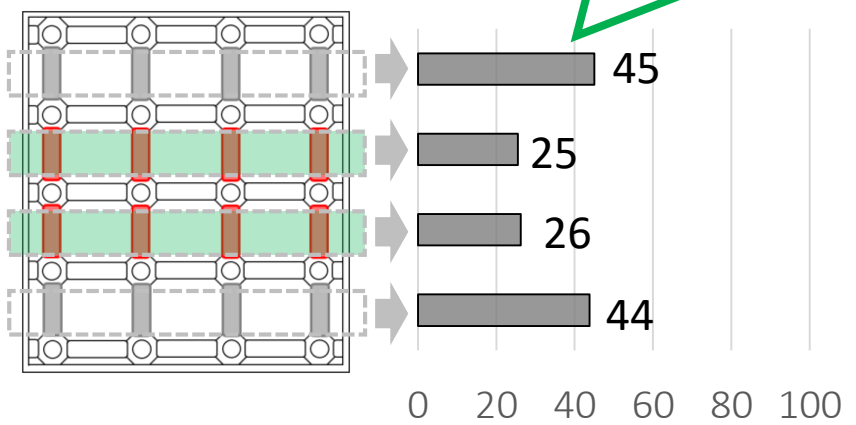
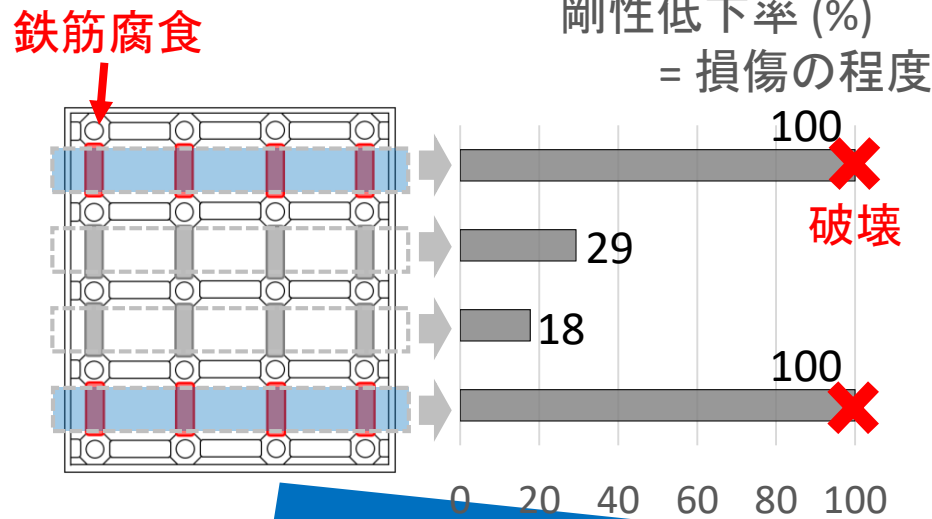
N=10

解析により得られた共通した傾向(1)



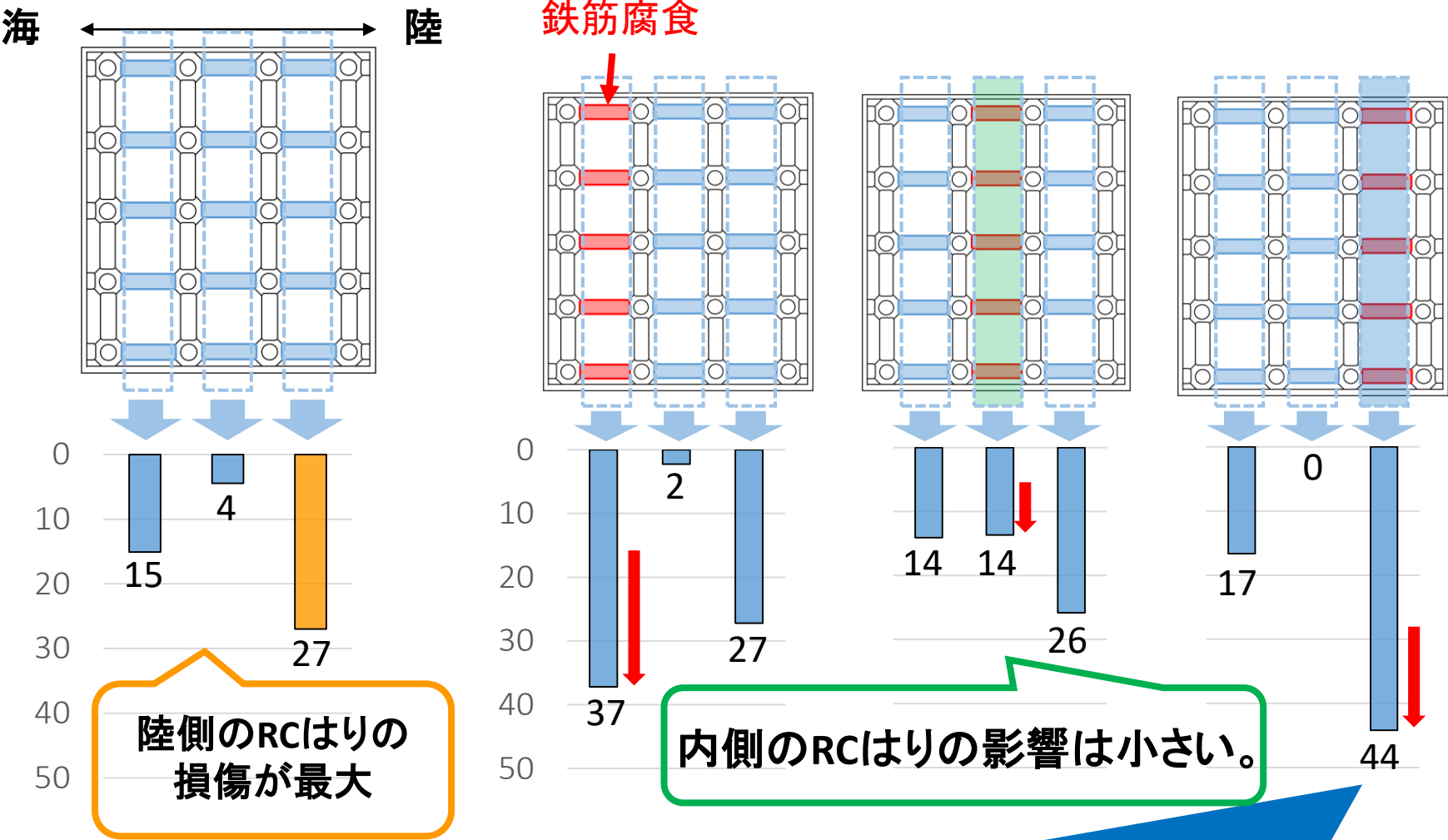
外側のRCはりの損傷が顕著。

内側のRCはりにはあまり影響を受けない。



外側のRCはりに生じる鉄筋腐食の方が、
 栈橋の耐震性低下に及ぼす影響は大きい。

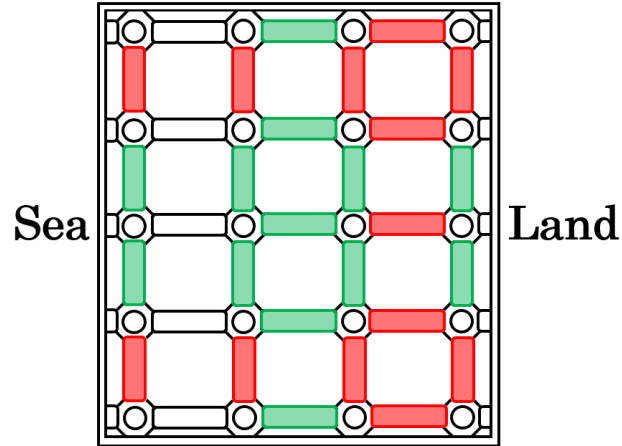
解析により得られた共通した傾向(2)



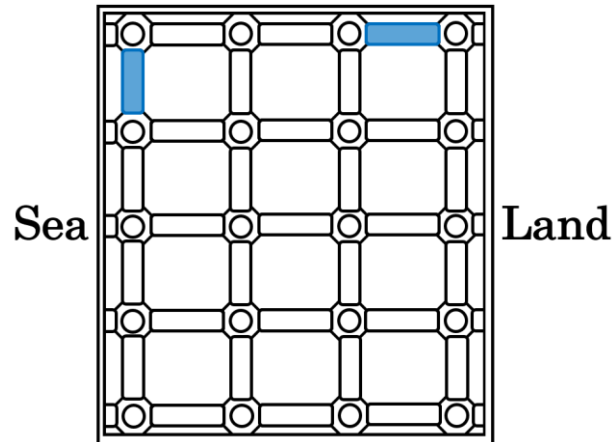
陸側のRCはりに生じる鉄筋腐食の方が、
 栈橋の耐震性低下に及ぼす影響は大きい。

まとめ

1. 上部工RC部材の重み付け



2. 鉄筋腐食モニタリングのためのセンサの配置



インフラメンテナンスの高度化の取組み

2. X線回折によるコンクリート構造物中の鉄筋の作用応力推定

小田切勝也, 田中樹由, 野末秀和, 岩波光保: X線回折法による鉄筋の残留応力推定手法の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.1867-1872, 2017.7.

はじめに

➤ 目視点検

⇒ 定性的



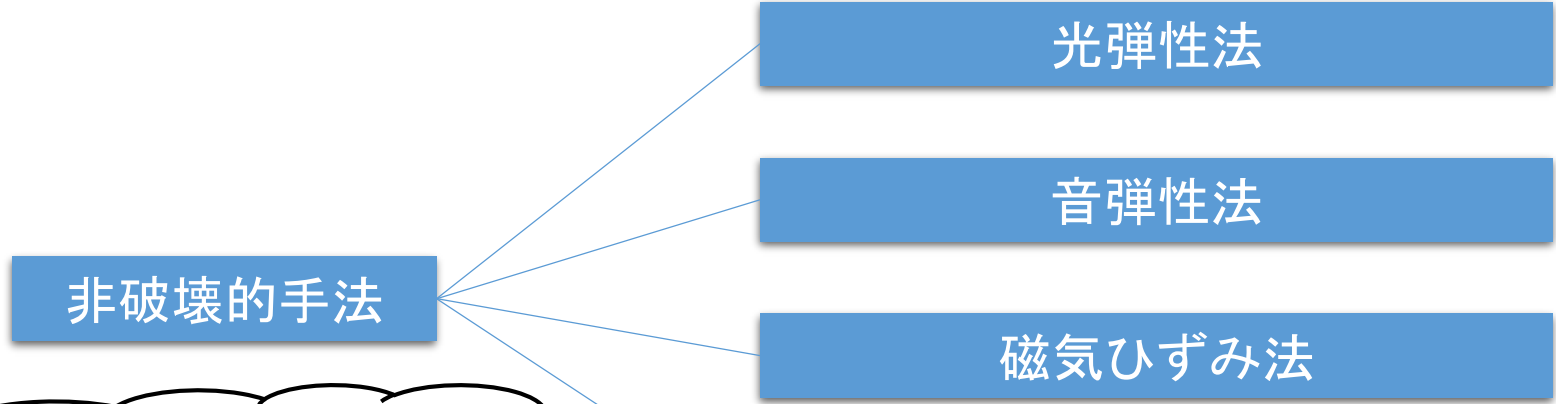
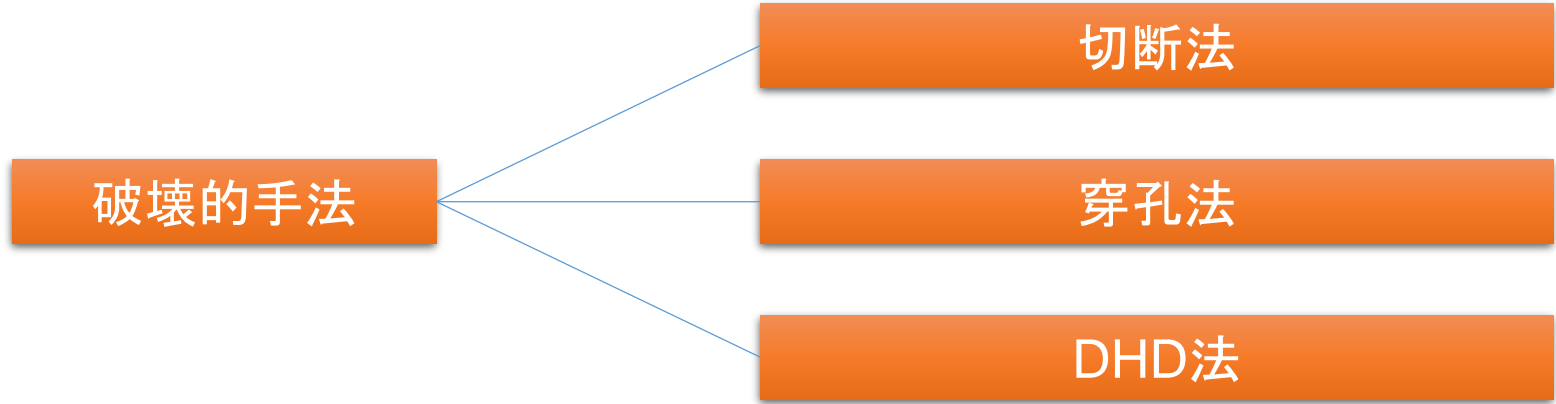
➤ 応力推定

⇒ 定量的



より効果的な対策の実施が可能

作用応力推定手法



技術的にほぼ確立
測定が容易...



X線回折法の特徴

- コンクリート構造物中の鉄筋やPC鋼材の状態を調査する手法としては、従来から使われている**X線法**、近年注目されている**中性子線法**などがある。



X線測定装置



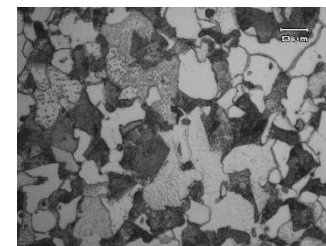
中性子線測定装置 (RESA)

- **X線の侵入深さは中性子線よりも浅い。**
侵入深さ: X線 1 μ m ~ 1mm \Leftrightarrow 中性子線 1mm ~ 100mm
 \Rightarrow X線回折法は材料の表面での作用応力推定手法として利用できる。
- **測定装置は小型で持ち運びも可能**
- **測定時間が非常に短い** (X線入射:30秒 + データ解析:60秒 = 90秒)

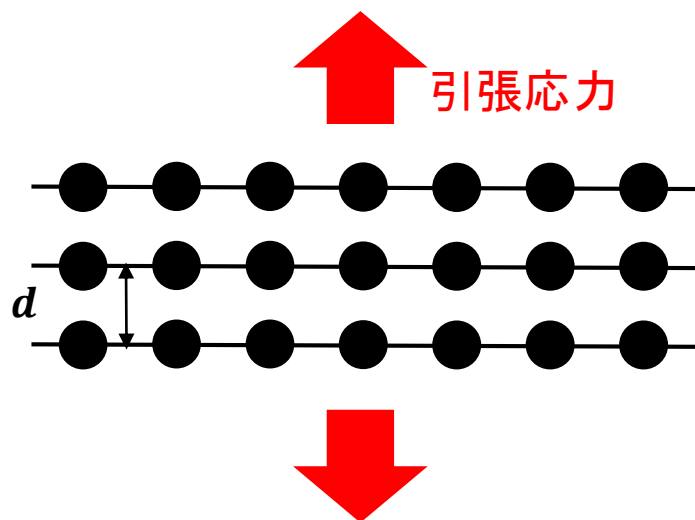
\Rightarrow X線回折法は実構造物への適用可能性が高い。

X線回折法の原理

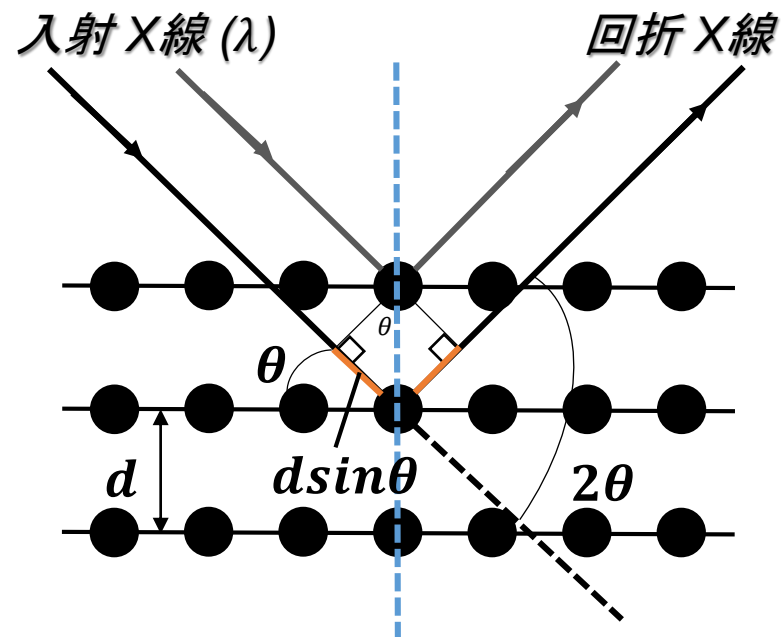
- X線の回折現象から金属結晶の格子面間隔の変化を測定する。
- 無応力状態における格子面間隔と比較する。



金属結晶



応力が負荷されると...



格子面間隔 (d) が応力の大きさに応じて変化する。

$$2d \sin \theta = n \lambda \text{ (Braggの法則)}$$

研究の目的

現状

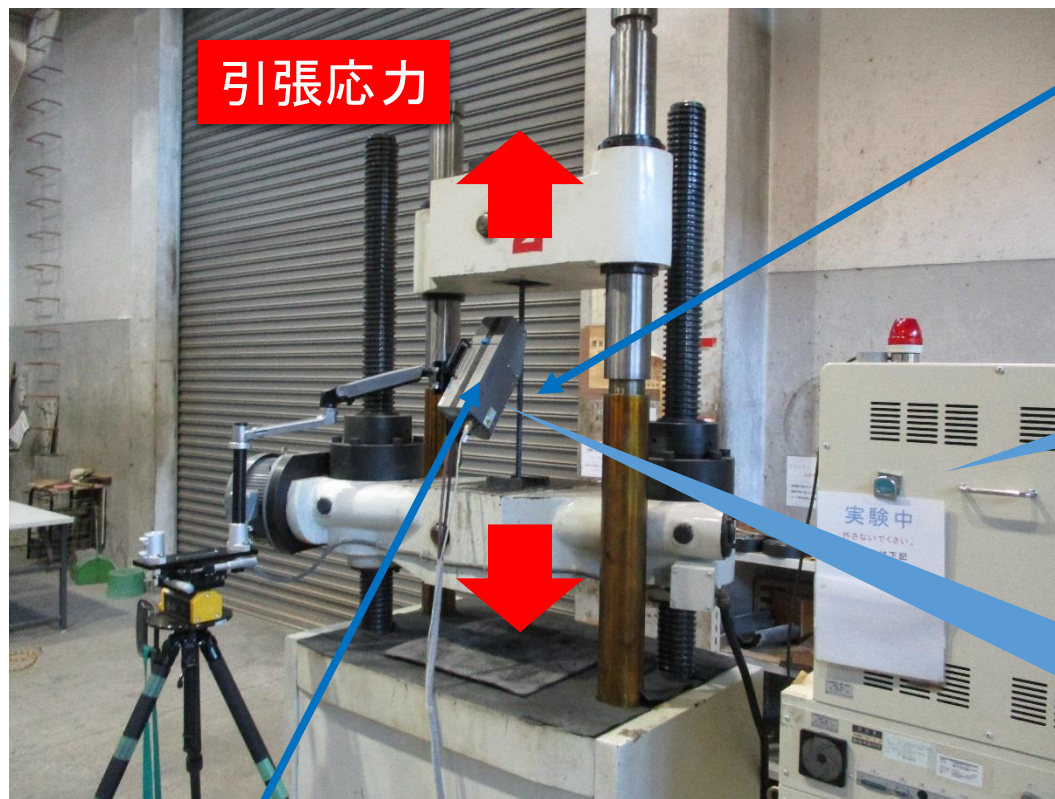
- X線回折法は技術的にほぼ確立されている。
- 自動車分野など他の分野ではすでにX線回折法が適用されている。



- コンクリート構造物中の鉄筋に適用された事例はほとんどない。
- 鉄筋には表面が酸化皮膜で覆われていること、リブや節などといった特有の形状があることなど特殊な条件がある。

X線回折法によりコンクリート構造物中の鉄筋の作用応力を推定する手法を開発する。

実験概要



引張応力

鉄筋

公称応力 = □▽MPa

比較

測定応力 = ◇☆MPa

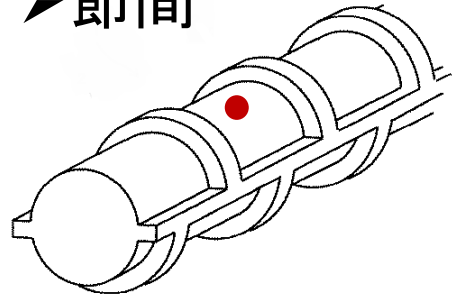
X線測定装置

- X線測定装置により推定した「測定応力」と実際に載荷試験機によって加えた「公称応力」とを比較する。

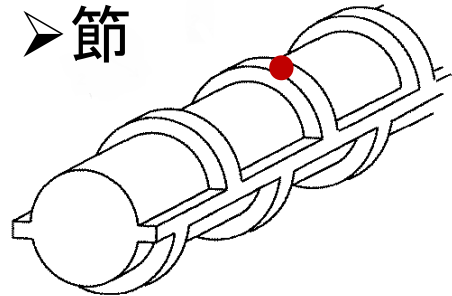
実験結果

測定位置

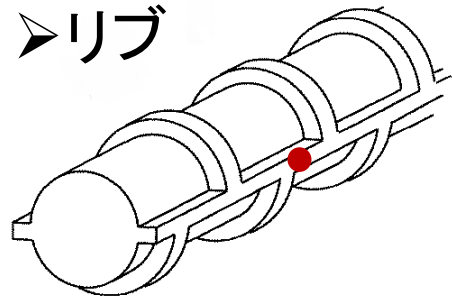
➤ 節間



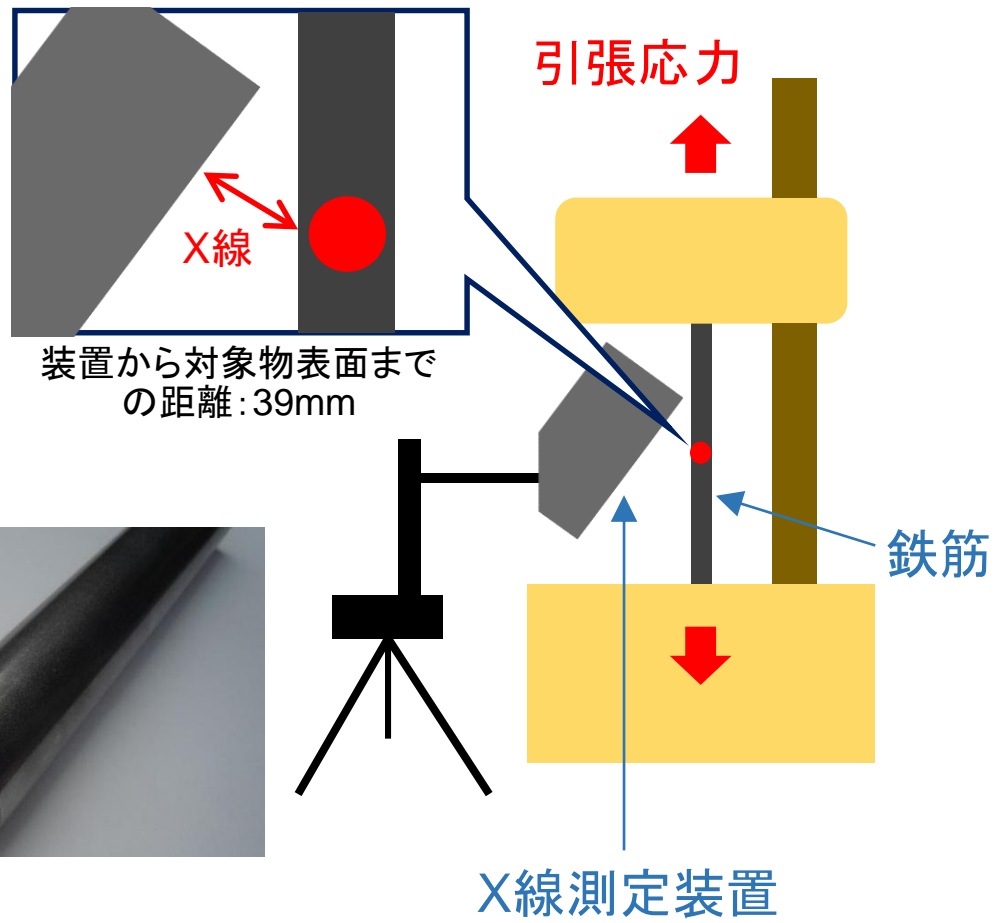
➤ 節



➤ リブ



➤ 丸鋼



➤ 鉄筋の径と鋼種

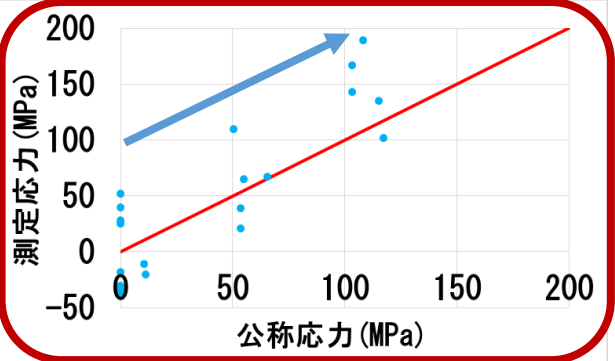
SD345 D16 (節間、節、リブ)

SR235 D16 (丸鋼)

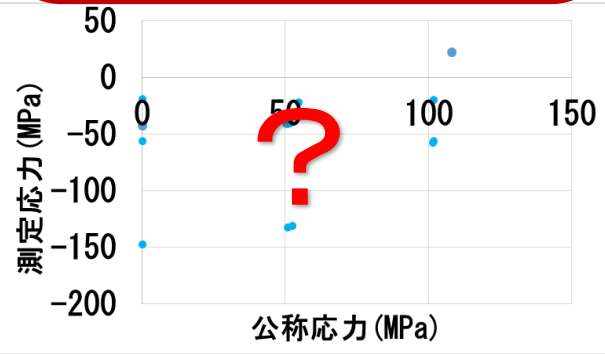
実験結果

測定位置

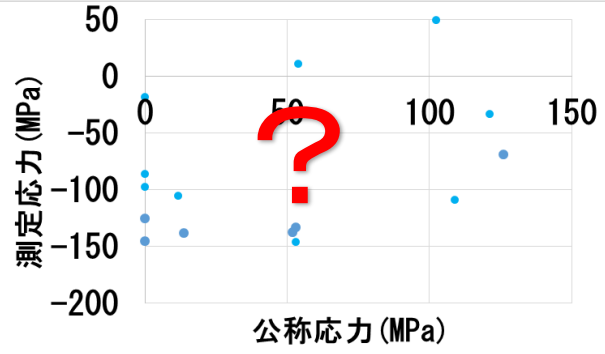
➤ 節間



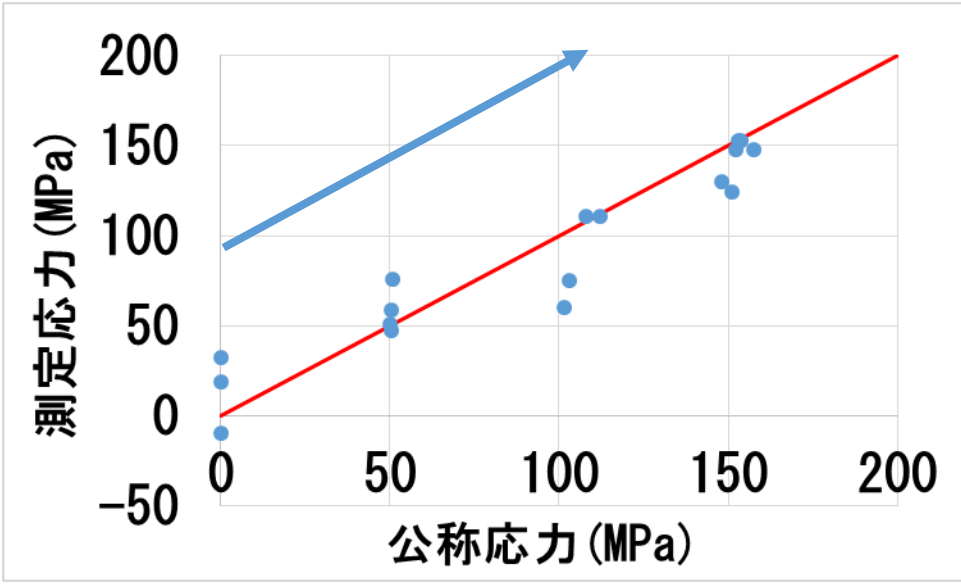
➤ 節



➤ リブ



➤ 丸鋼



⇒ 異形鉄筋の応力測定位置としては節間がふさわしい。

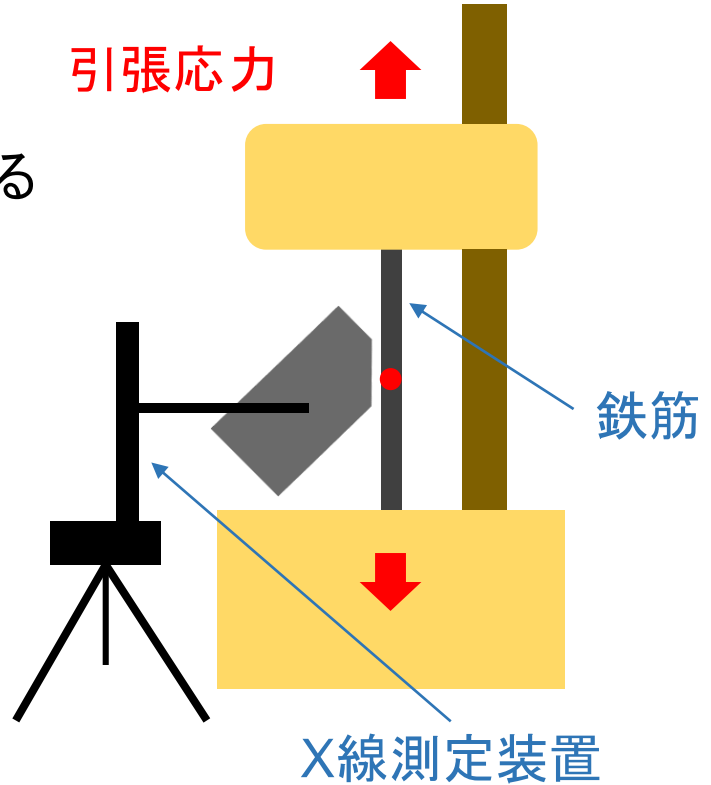
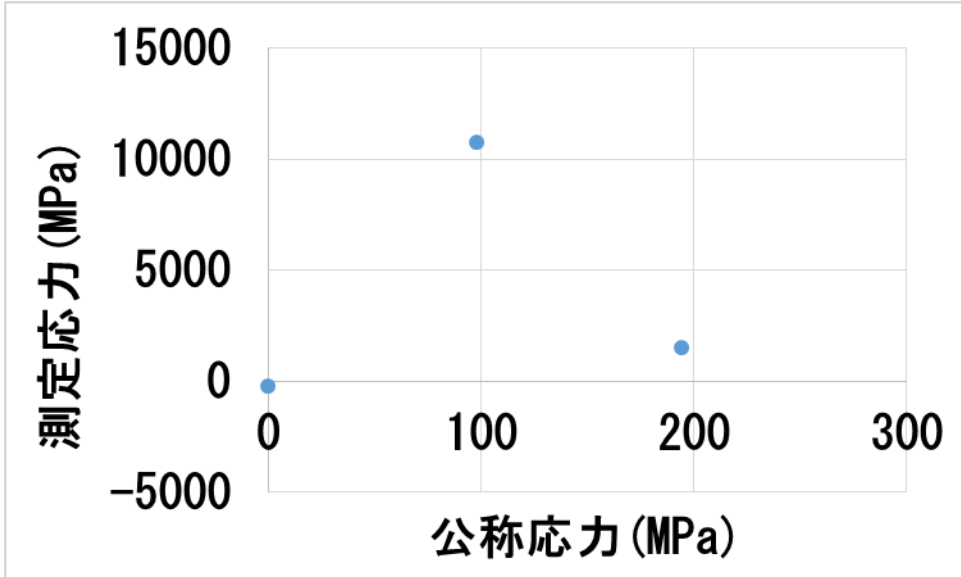
実験結果

表面処理

➤ 一般に、鉄筋は黒い酸化被膜で覆われている



① 酸化皮膜に覆われた状態



➤ 測定位置

節間

➤ 鉄筋の径と鋼種

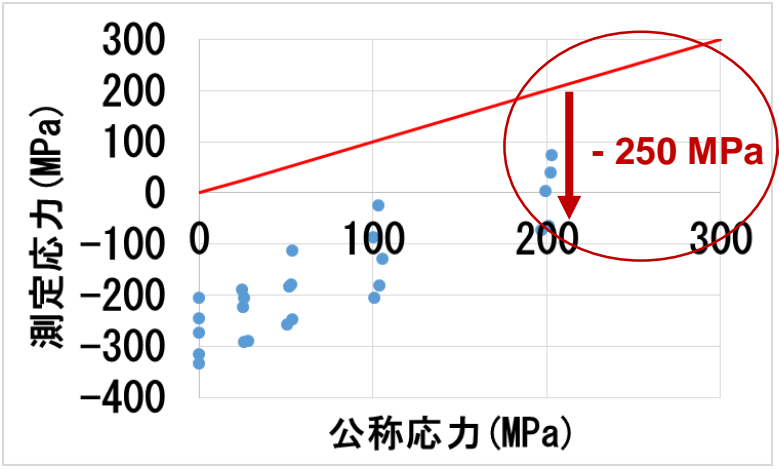
SD345 D16

⇒酸化被膜に覆われた状態で鉄筋の応力を推定することは不可能。

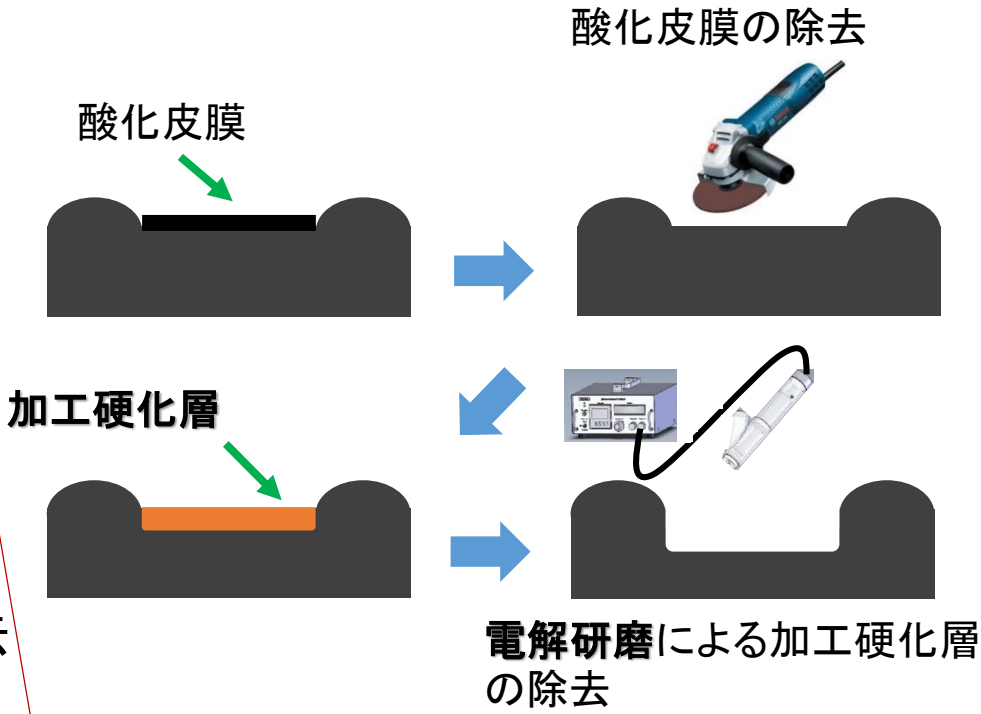
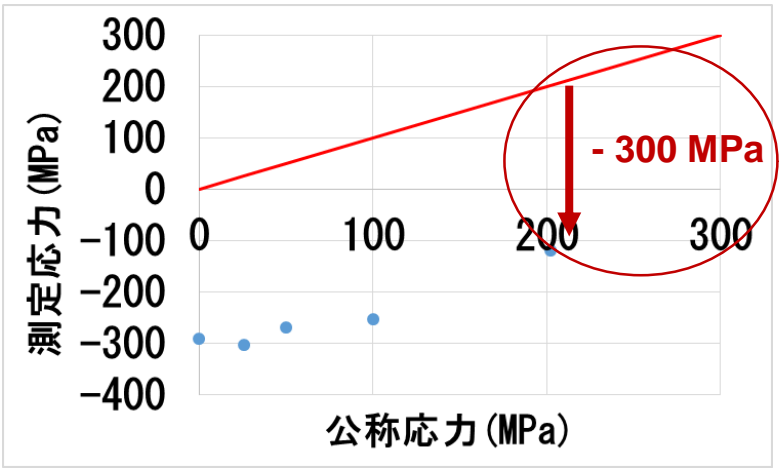
実験結果

表面処理

② グラインダーによる酸化皮膜除去



③ サンドペーパーによる酸化皮膜除去



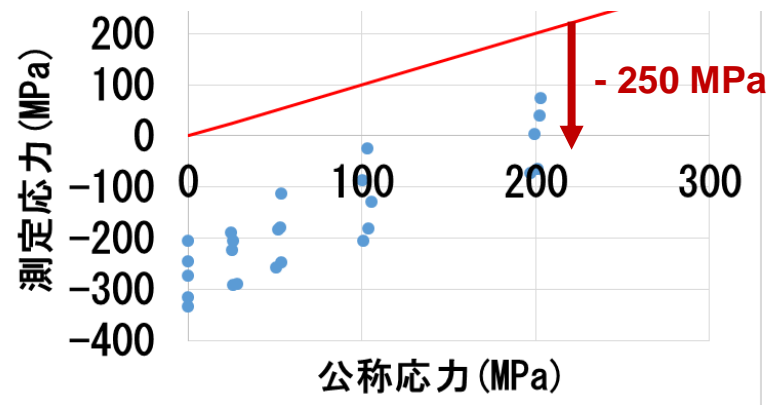
⇒加工硬化層による影響

⇒ 電解研磨による加工硬化層の除去
(電流: 1A - 時間: 3分)

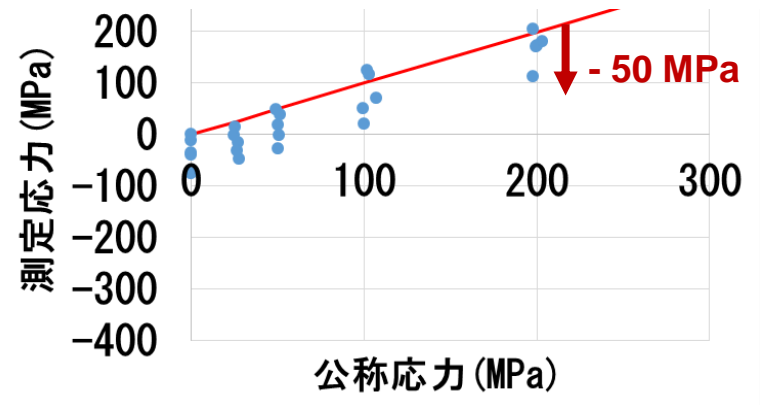
実験結果

表面処理

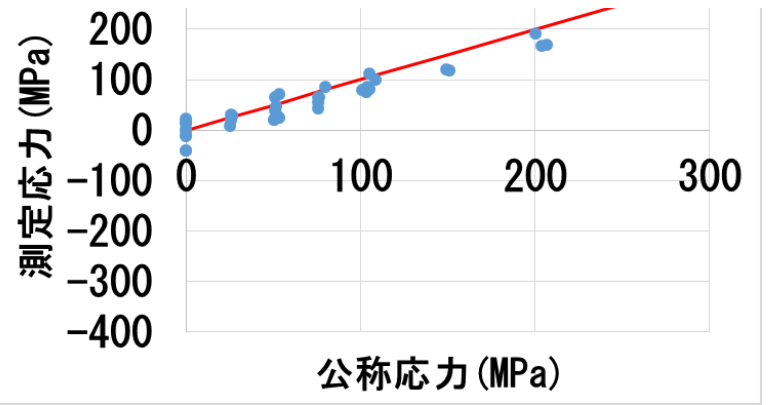
② 酸化皮膜除去のみ



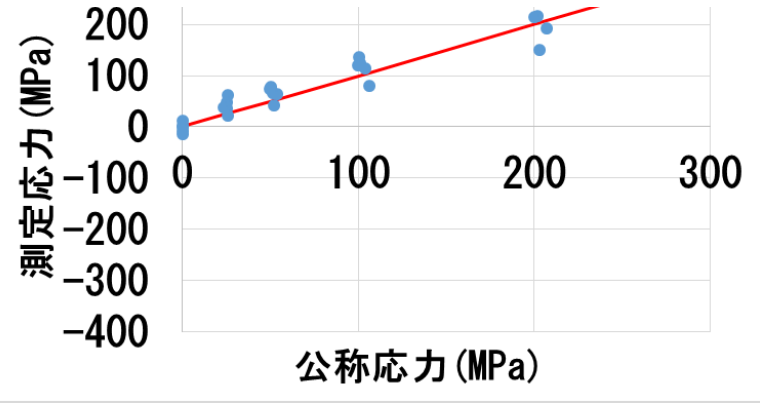
④ 電解研磨1回



⑤ 電解研磨2回



⑥ 電解研磨3回



⇒作用応力推定を行うためには、酸化皮膜を除去し、さらに電解研磨を行うことが有効である。

実験結果

鉄筋の径と鋼種

➤ SD345 D16



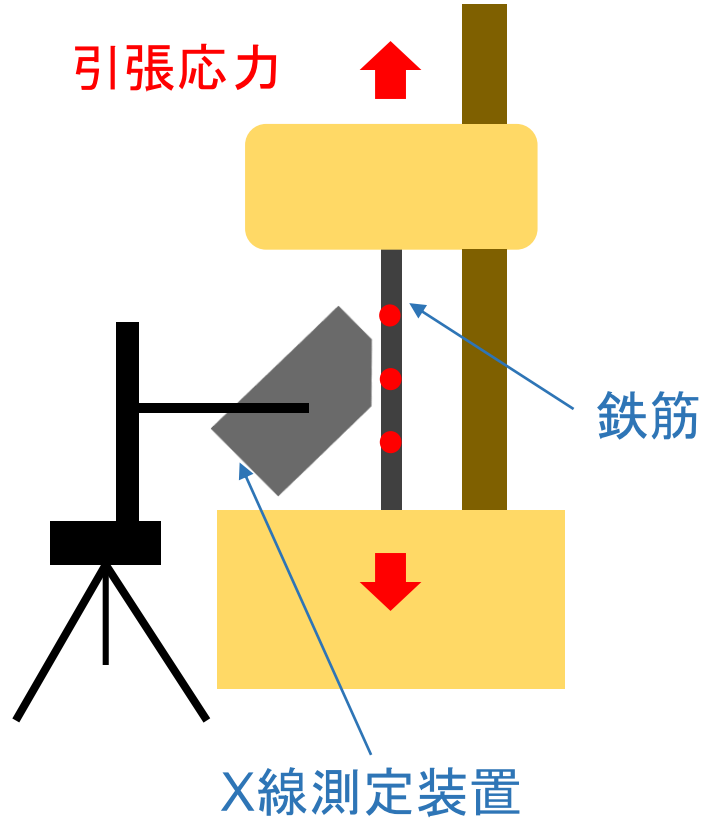
➤ SD345 D32



➤ SD295 D16



➤ SD345 D51



➤ 測定位置

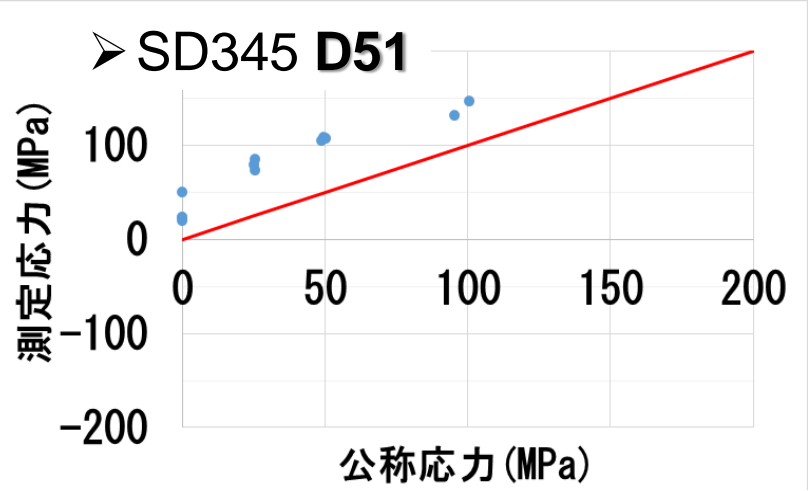
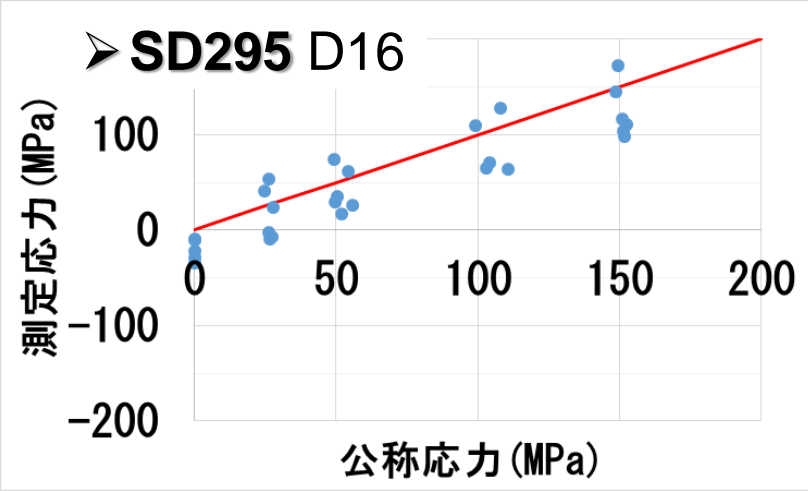
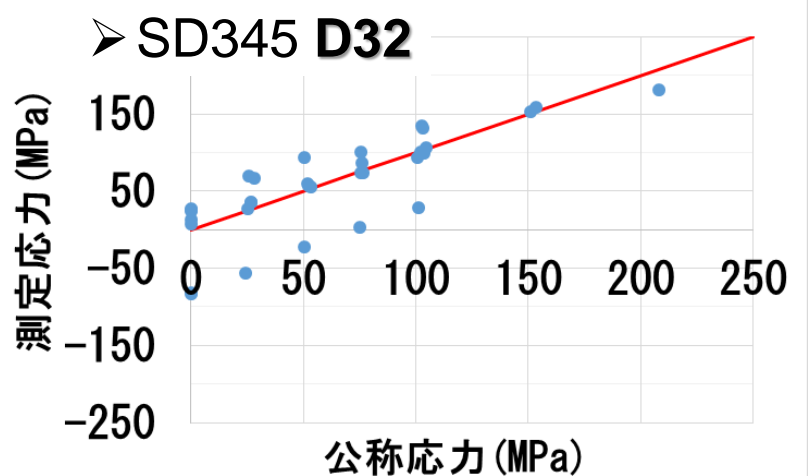
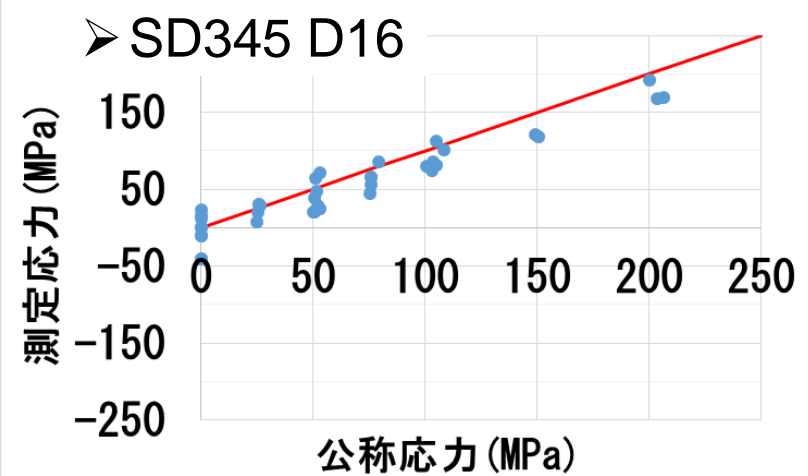
節間

➤ 表面処理

酸化皮膜除去および電解研磨(1A-3分) 2回

実験結果

鉄筋の径と鋼種



⇒鉄筋の径は16mmから51mm、鋼種はSD295からSD345の範囲で適用可能。

鉄筋の作用応力推定手法の提案

➤ 測定位置

節間

➤ 表面処理

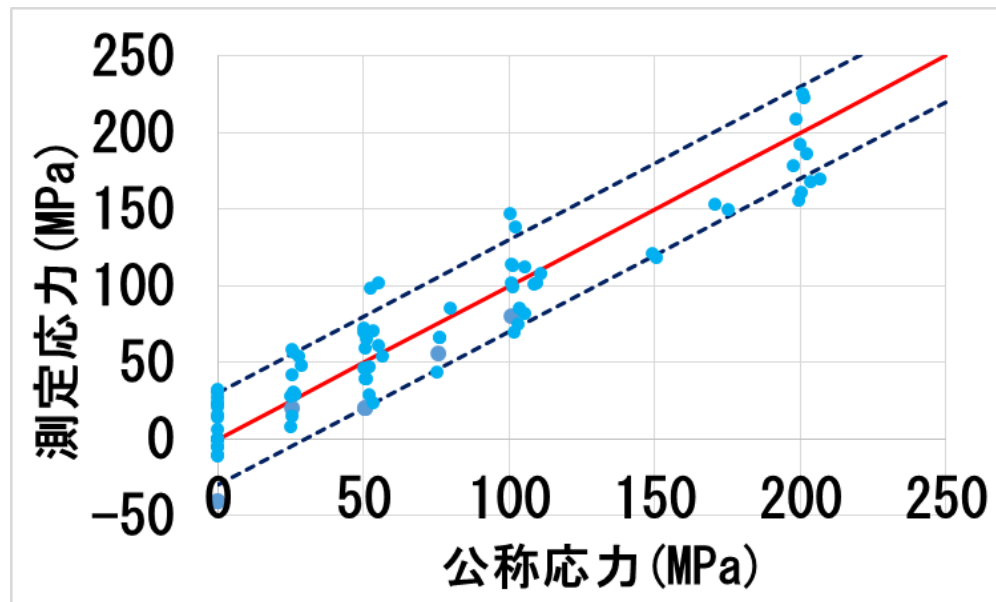
① グライNDERやサンドペーパーを用いた鉄筋の酸化皮膜除去

② 電解研磨(1A-3分) 2回

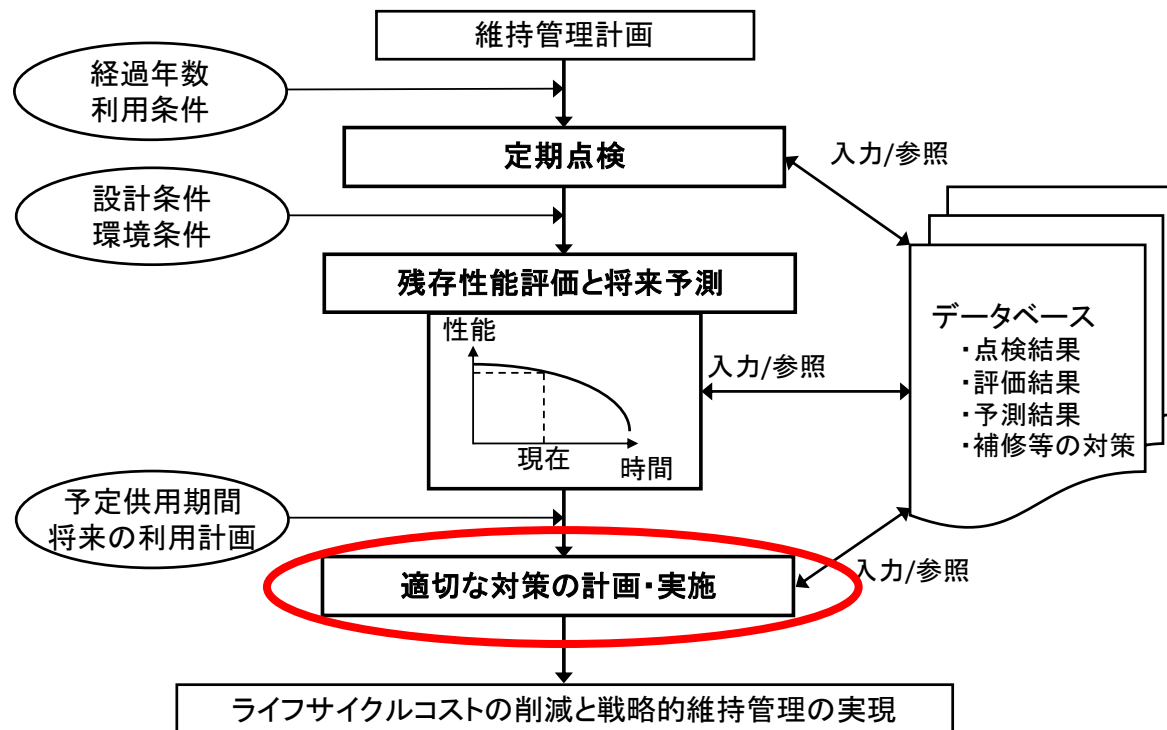
➤ 鉄筋の径と鋼種

・ 径 : 16mm~51mm

・ 鋼種 : SD295~SD345



インフラメンテナンスの高度化の取組み



補修・補強技術の高度化のために

- ・環境条件や劣化状況に応じた工法・材料の選定
- ・長期にわたる効果の検証
 - データの蓄積、劣化促進試験、など
- ・補強や改良のための工法開発
 - 既存の枠組みのとらわれない発想

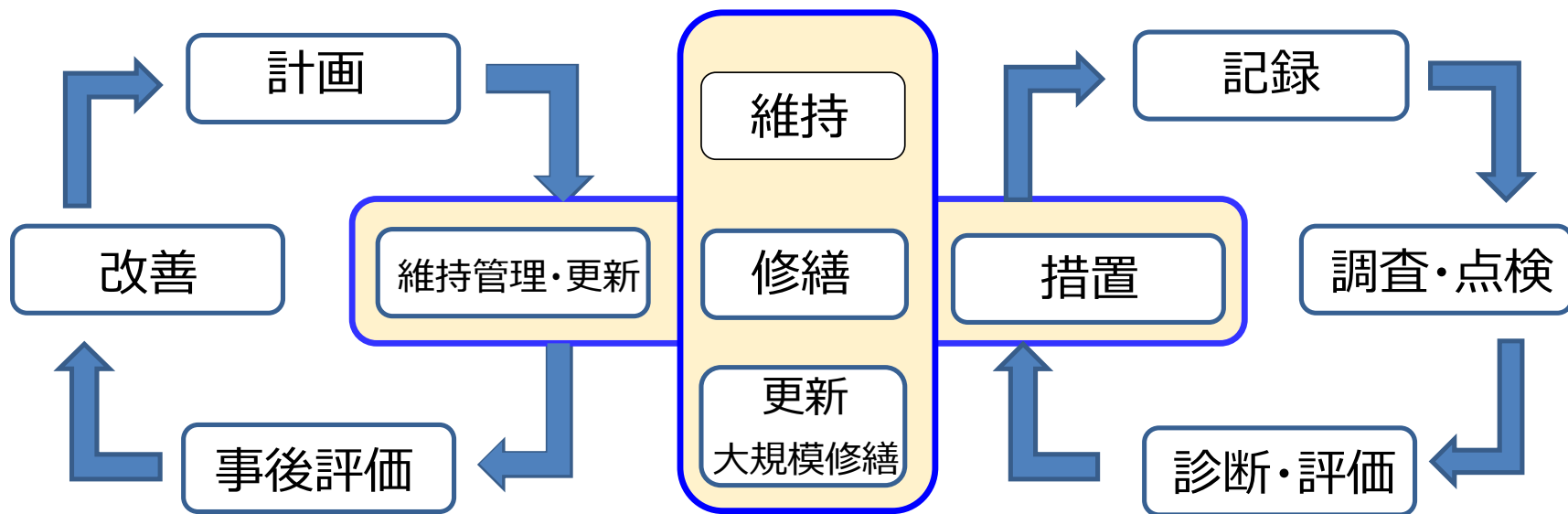
インフラメンテナンスの今後の展望



メンテナンスからマネジメントへ

マネジメントサイクル

メンテナンスサイクル



インフラマネジメントの実現に向けて

・資金のマネジメント

- － 入札・契約方式の改善（包括化，性能発注，プロセス間連係）
- － 納税者・国民の理解（見える化，コンパクトシティ）
- － 民間活力の活用（PFI/PPP，CM，コンセッション）

・人材のマネジメント

- － 担い手の確保（官民とも，仕組みづくり）

・技術のマネジメント

- － ICTの導入・普及（i-Construction，データベース）

まとめ



これからのインフラメンテナンス

○ 社会構造の変化

- － 少子高齢化の進行 → 維持管理の重点化・メリハリ、使い切る発想

○ 定期点検の確実な実施

- － 維持管理データの蓄積 → 技術の発展
- － 現場を見る機会の増加 → 意識の変化(様々な立場で)
- － モニタリングへのシフト → 目的の明確化

○ 実施主体の多様化

- － 予算や人員に制約のある管理者、市民の参画・関与 → 国民の理解

○ 人材育成の推進

- － 過度な分業制への反省

○ さらなる技術開発

- － 計画・設計・施工へのFB、点検・モニタリング技術、マネジメント

○ 他にも・・・

- － データベース、アセットマネジメント、入札制度、積算体系、法令・制度・予算、等

今後に向けて

○ 維持管理 + α

- 維持管理 + 新設
- 維持管理(公) + 民 (+市民)
- 維持管理(負担) + 付加価値
- 維持管理(義務) + 権利

○ インフラマネジメントによる社会課題解決