

塩害を受けたコンクリート 構造物の耐荷性能

令和 8年10月14日

長岡技術科学大学名誉教授
丸 山 久 一

内 容

1. 塩害を受けたRC桁の耐荷性能
2. 塩害を受けたPC桁の耐荷性能
3. 塩害を受けたPC橋の耐荷性能
4. まとめ

謝 辞

ここでとりまとめた内容は、講演者が所属していた
長岡技術科学大学コンクリート研究室、金沢工業
大学田中泰司教授および国土交通省北陸地方整
備局の皆様のご協力によるものです。

厚く御礼申し上げます

1. 塩害を受けたRC桁の耐荷性能

検討内容

- 1) 載荷実験
- 2) 内部鉄筋の腐食状態の
詳細調査
- 3) FEM解析

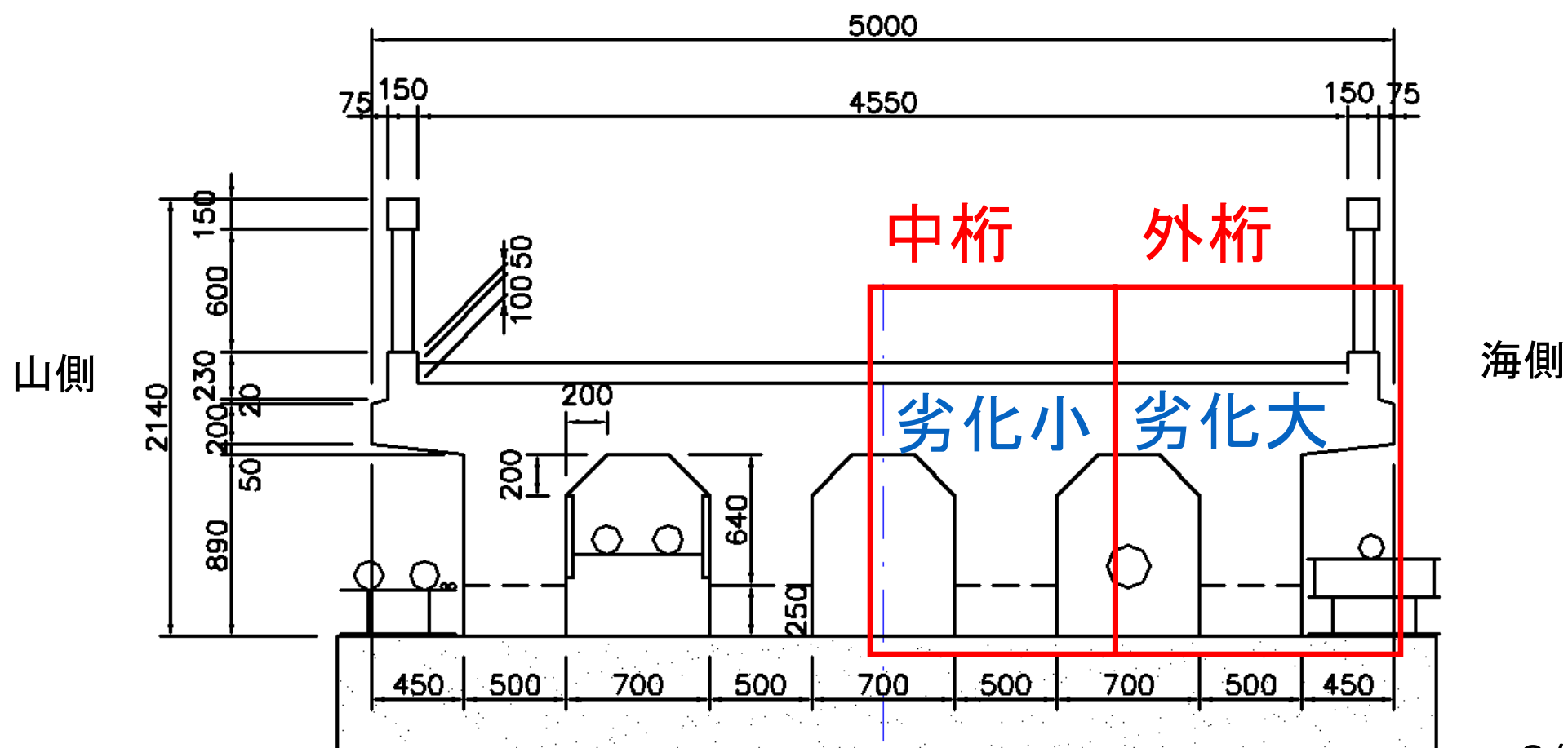




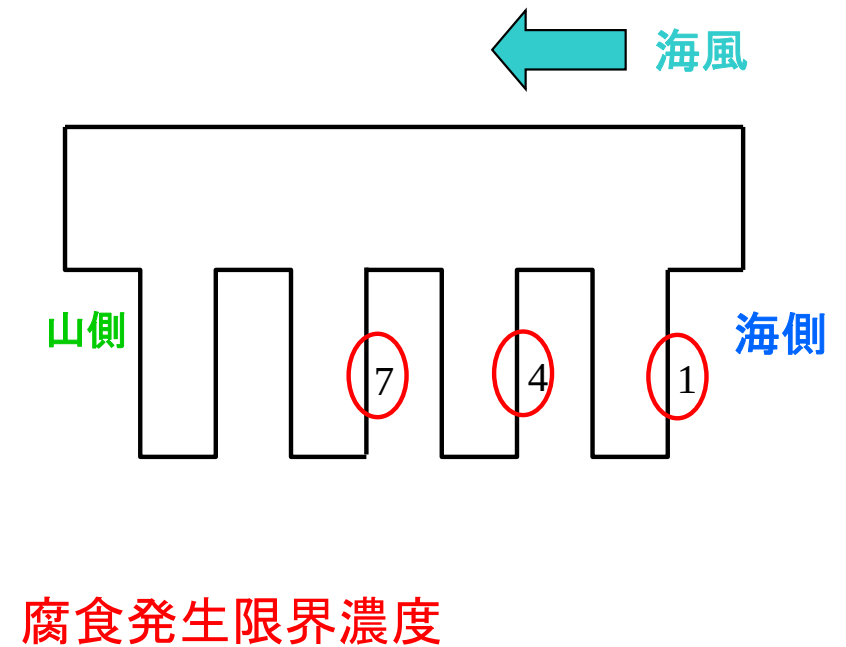
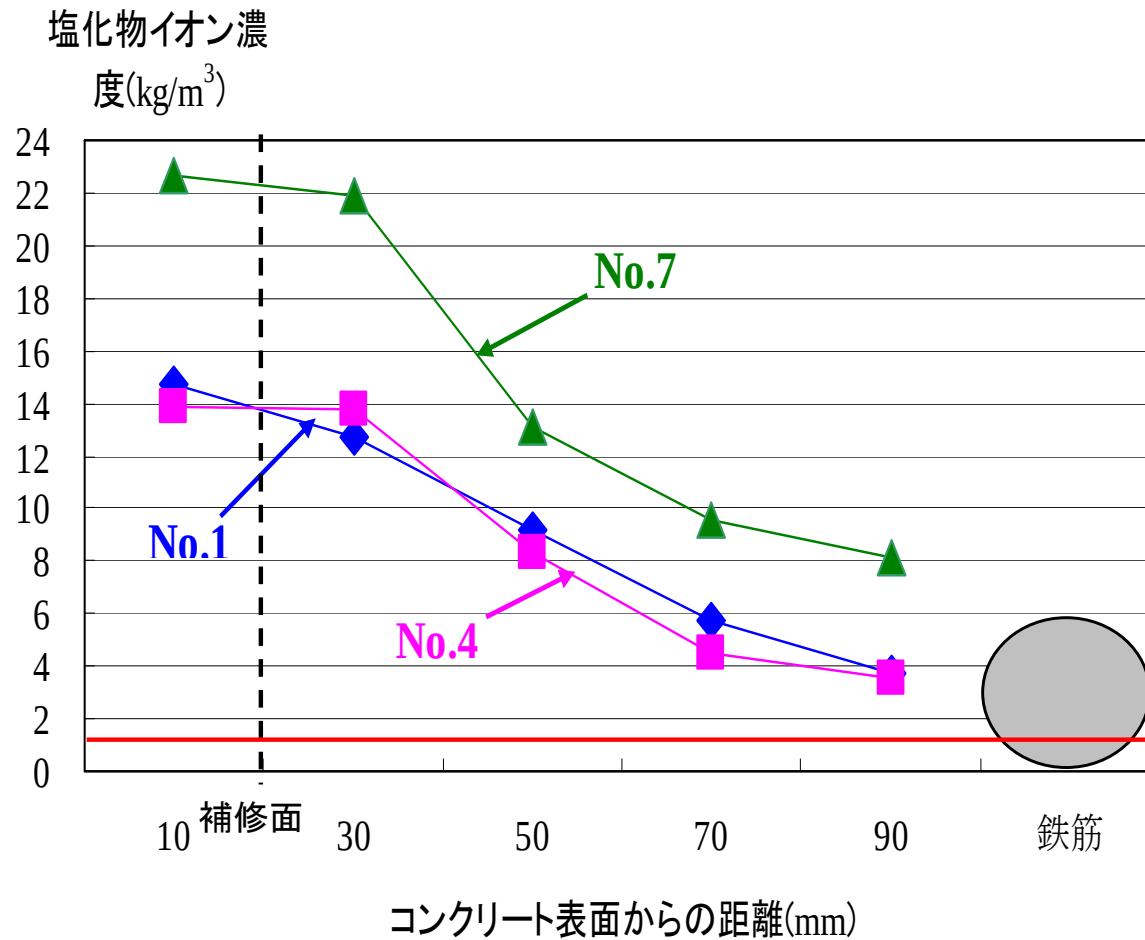
実橋梁から切り出したRC桁の
実験室への搬入状況

1) 載荷実験

腐食RC桁の概要



浸透塩分量の測定結果



劣化状況

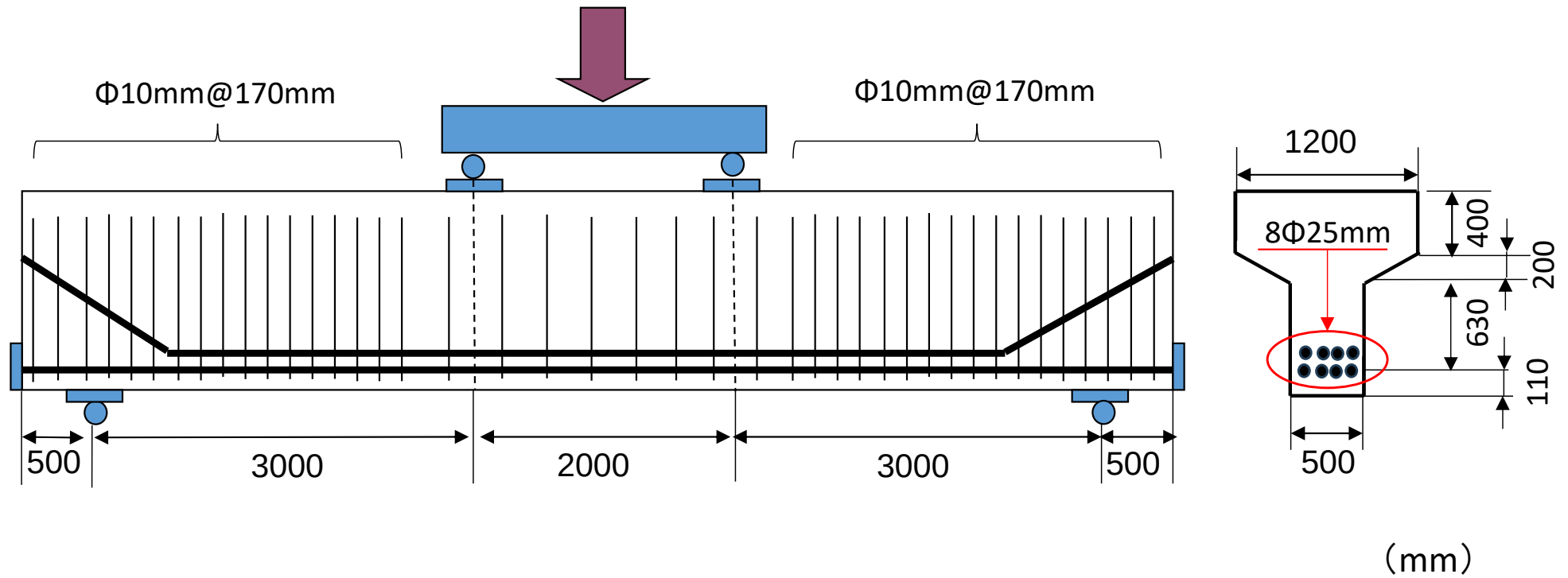
(中桁の外観)



(外桁の外観)



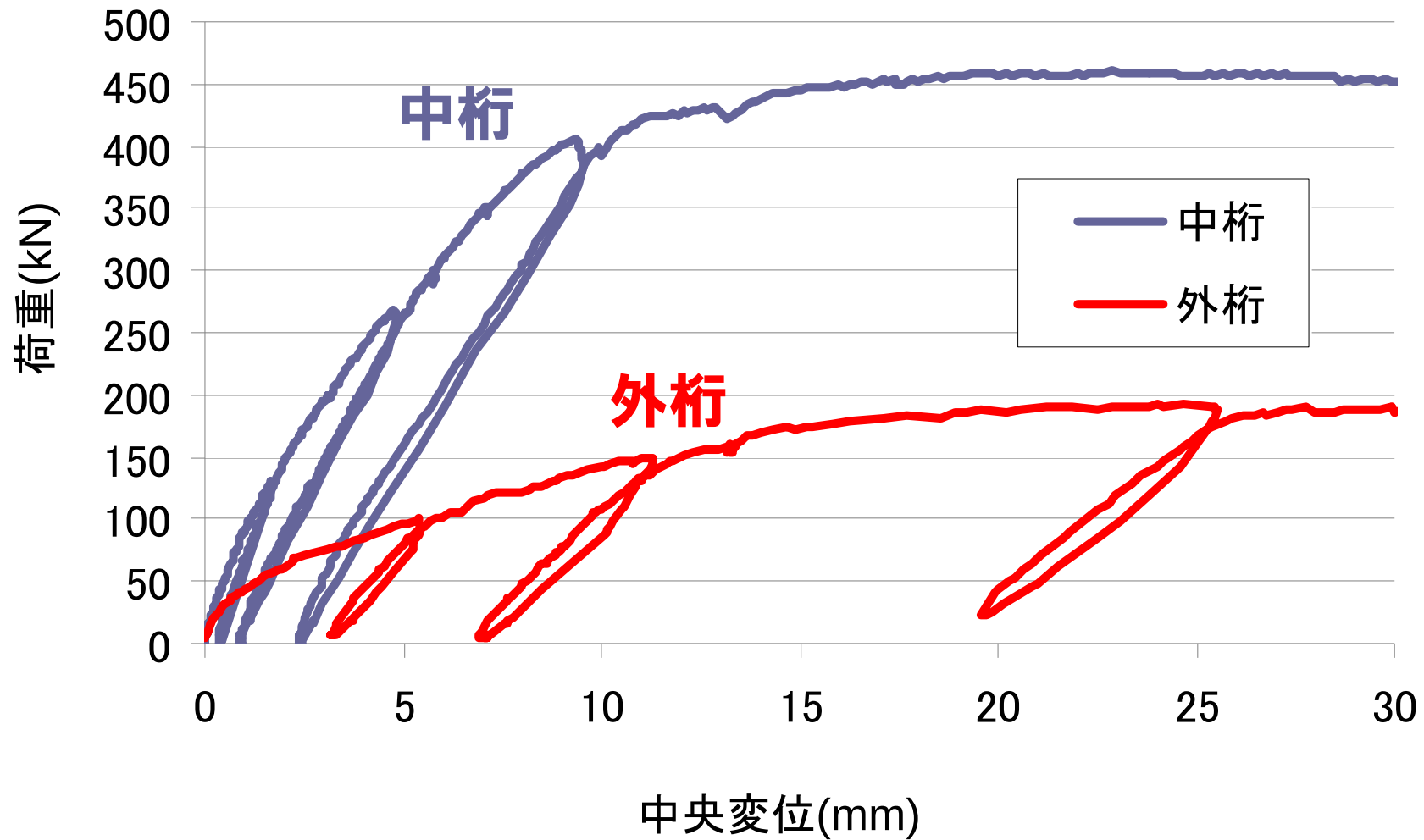
試験体概要





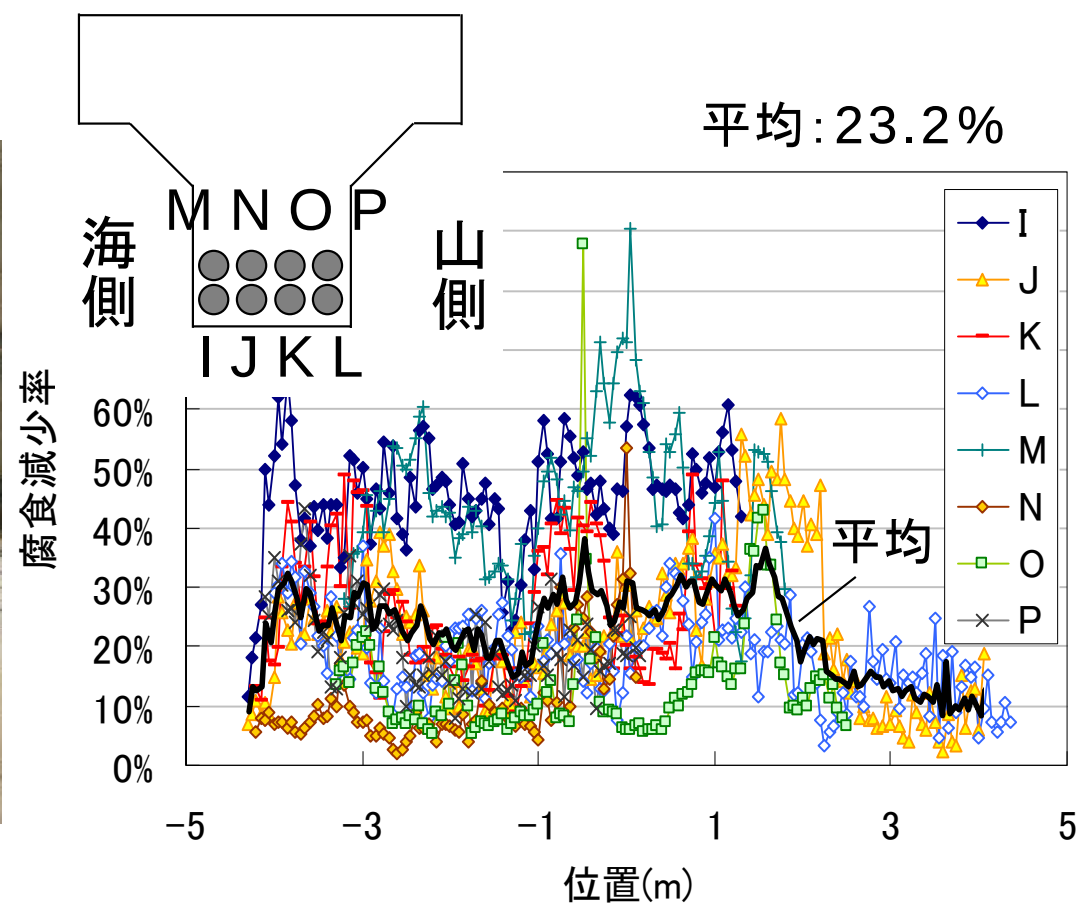
載荷終了時の中桁の外観

桁の荷重－中央変位関係



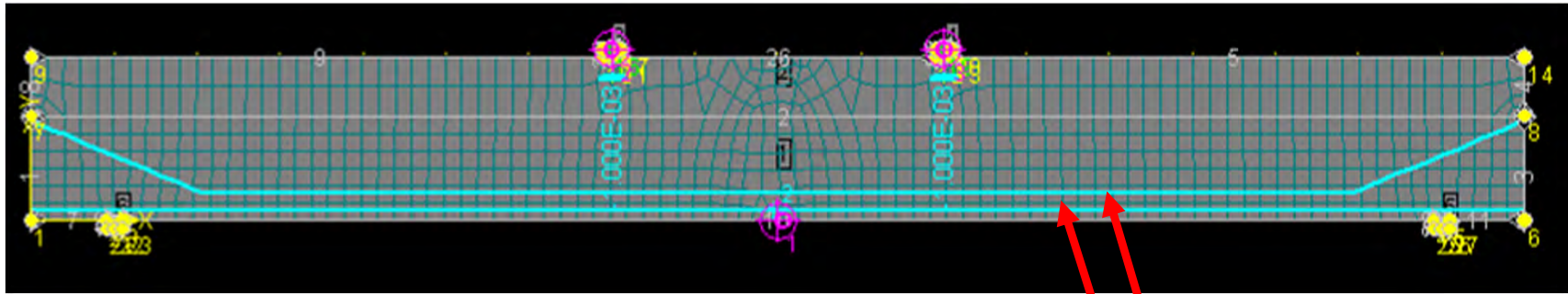
2) 内部鉄筋の腐食状態の詳細調査

長手方向の鉄筋の断面欠損量



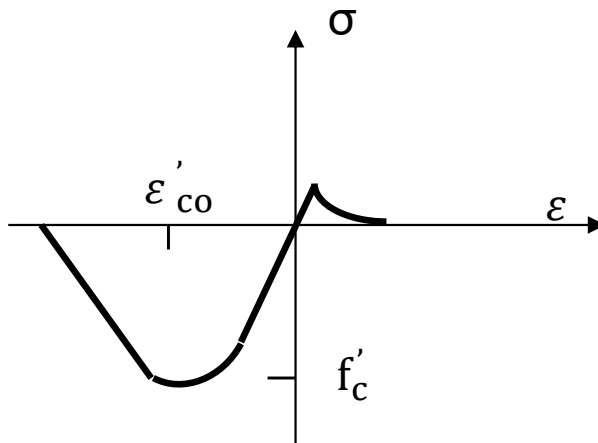
3) FEM解析

【ATENA2D】

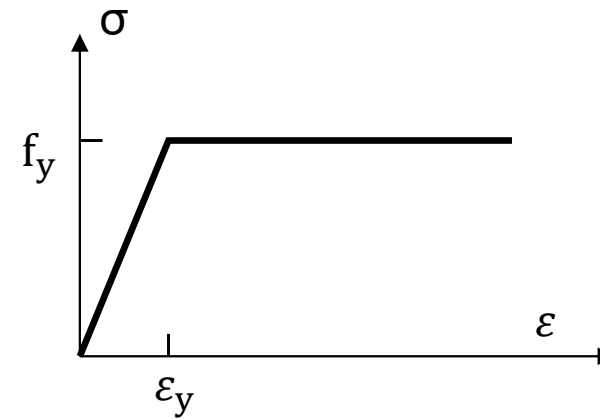


鉄筋単体としてモデル化

材料の構成側 (CEB-FIP1990)



コンクリート

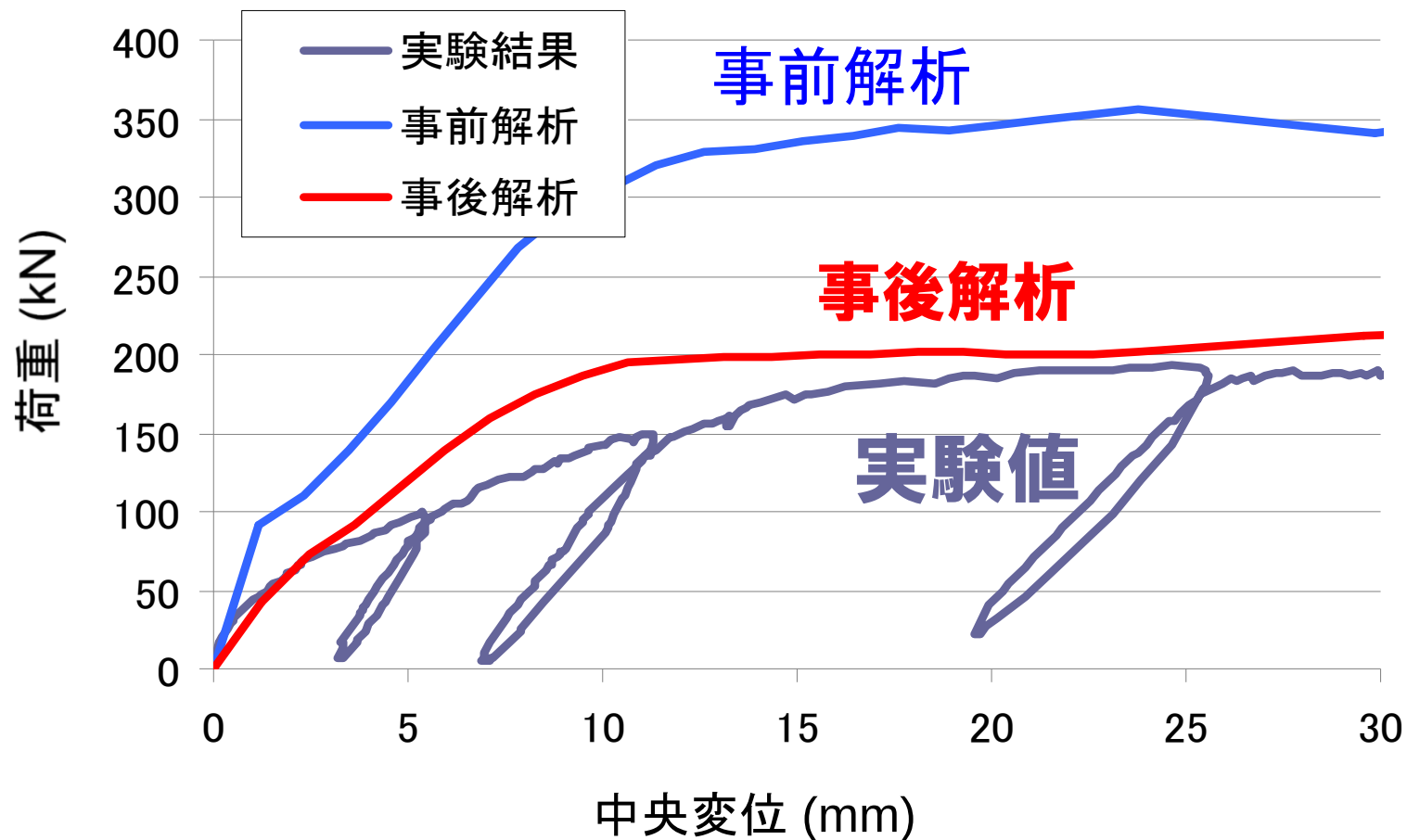


鉄筋

事前解析：鉄筋は設計図書の通り

事後解析：鉄筋の腐食状況、継手状況を考慮

外 桁



2. 塩害を受けたPC桁の耐荷性能

検討内容

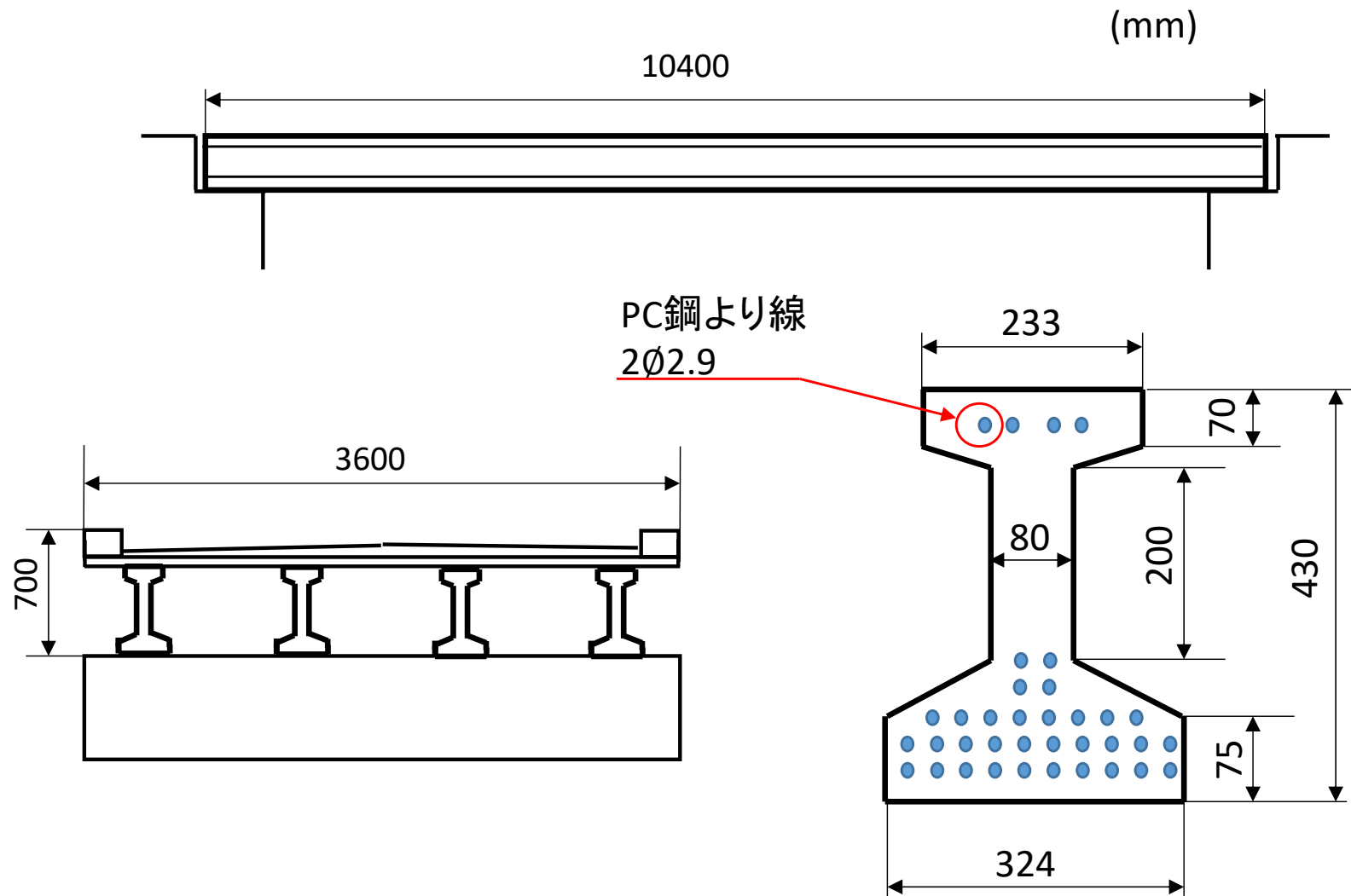
- 1) 載荷実験
- 2) 内部PC鋼線の腐食状態の詳細調査
- 3) FEM解析



PC桁(歩道橋)

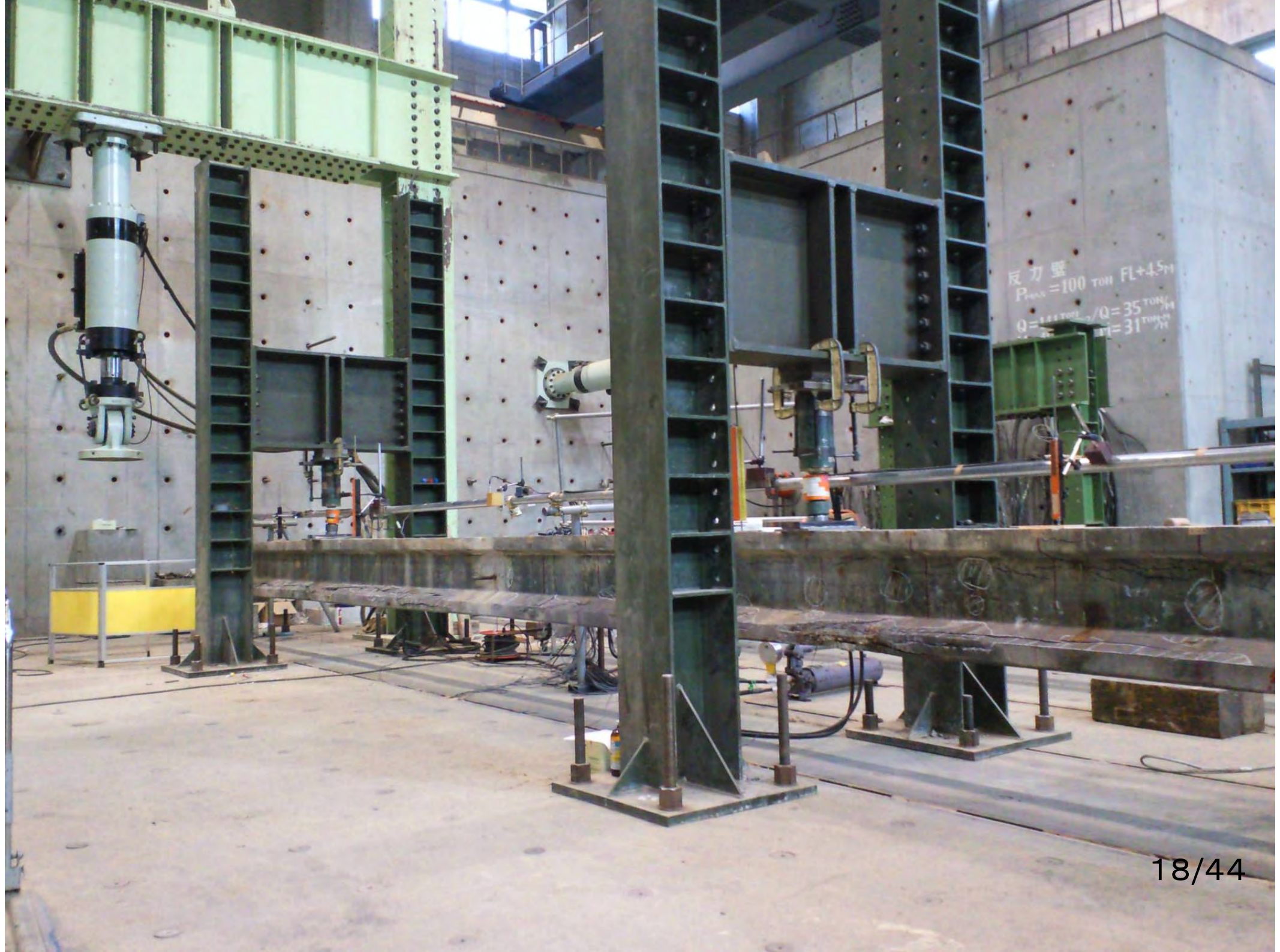
1) 載荷実験

PC桁の形状・寸法

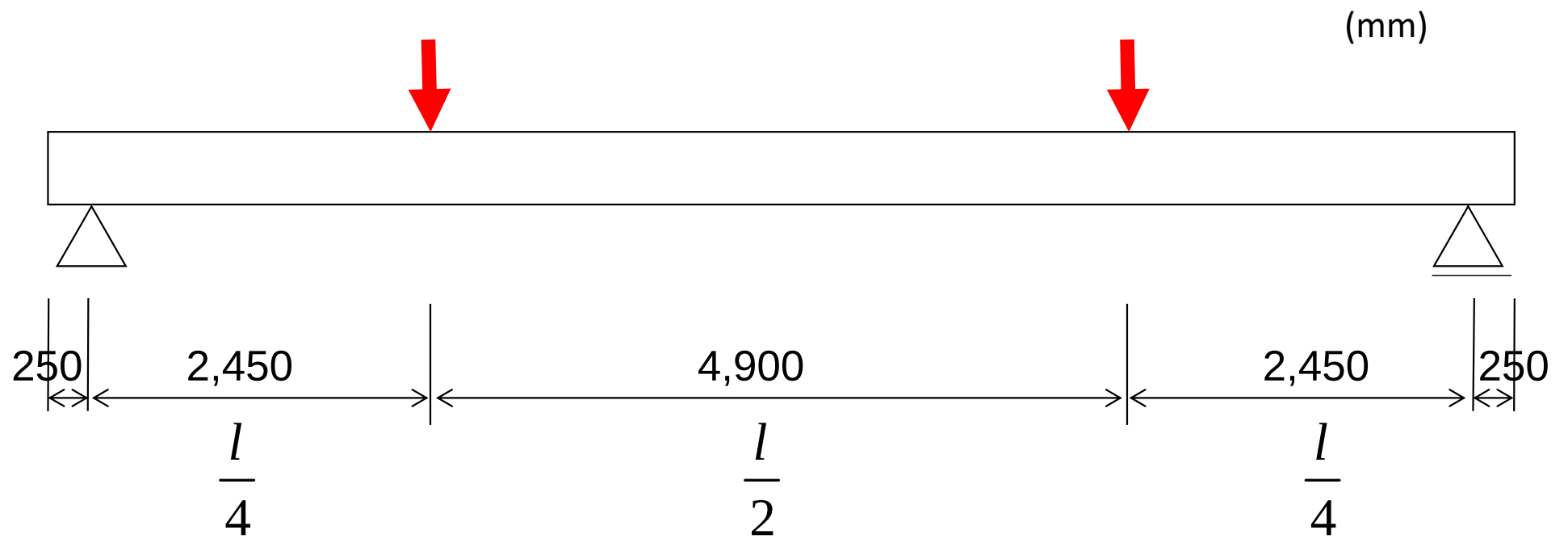


プレテンションPC桁の ひび割れ状況

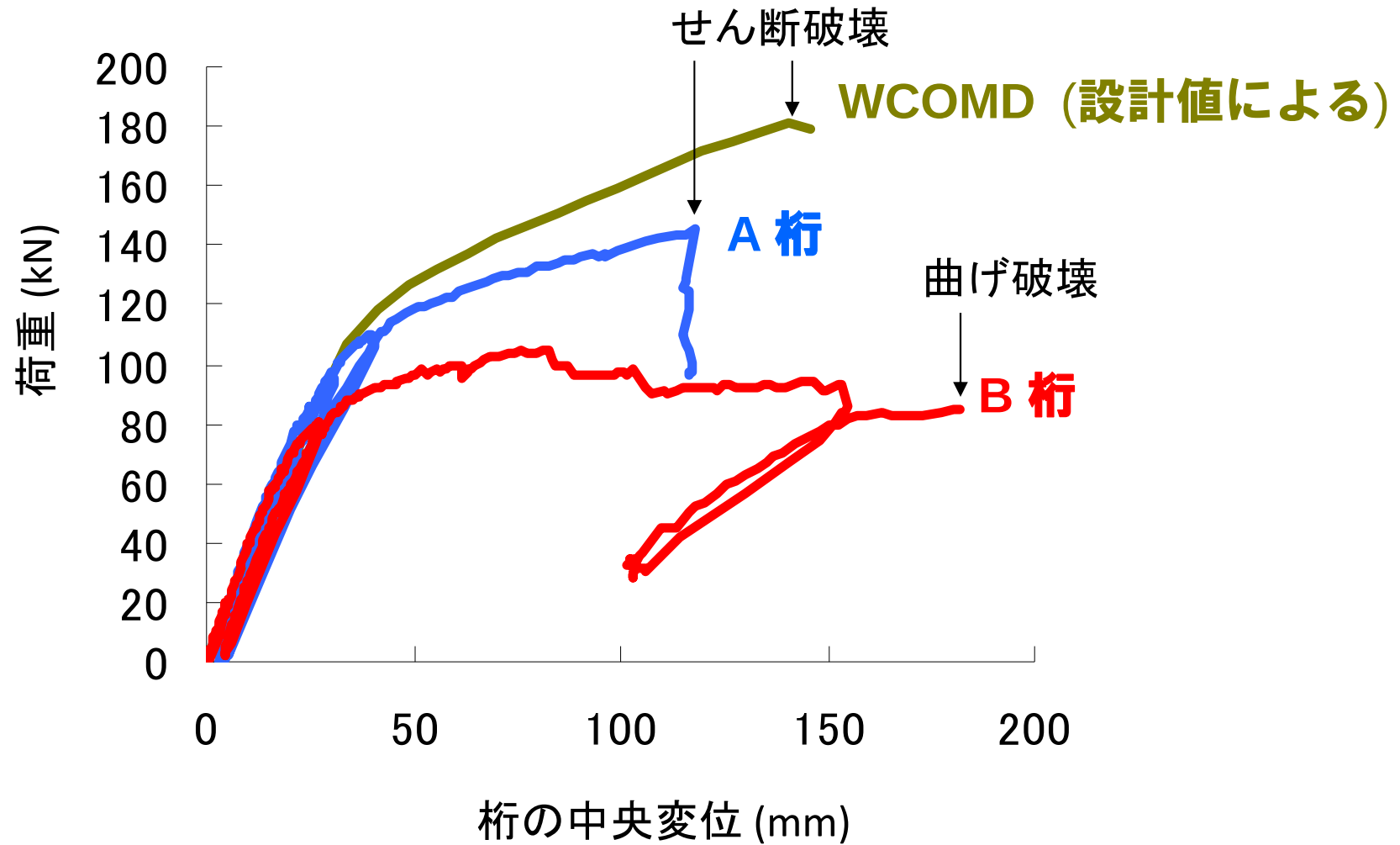




載荷状況



荷重変位関係



破壊形状

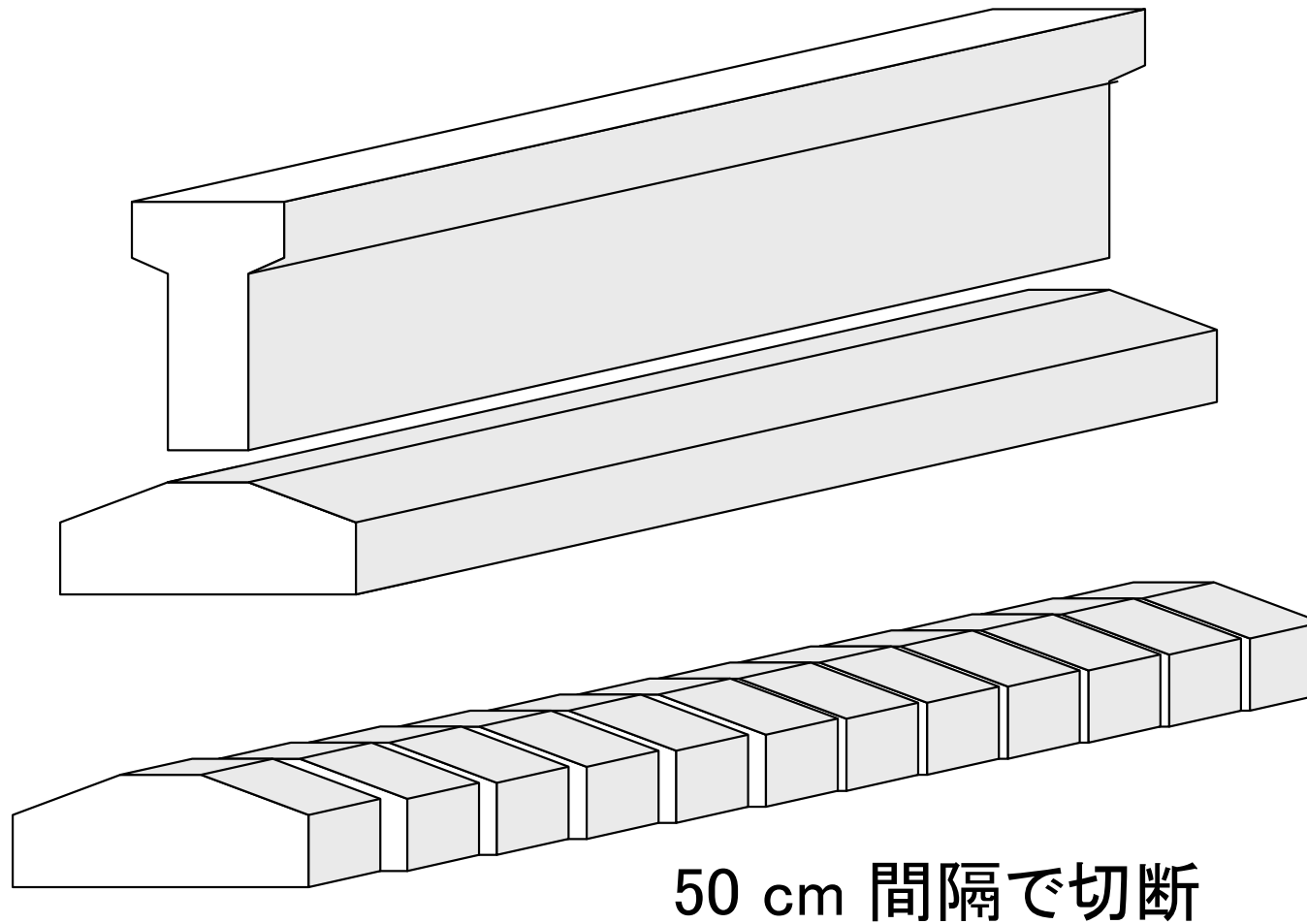


A 桁
(せん断破壊)



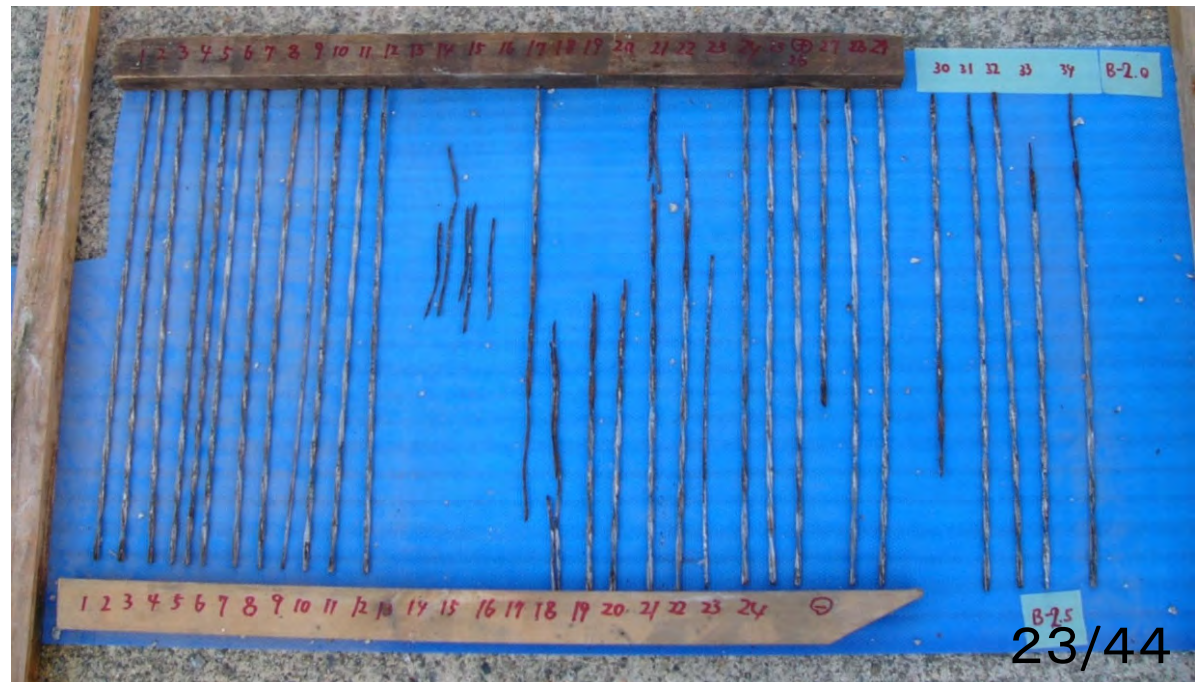
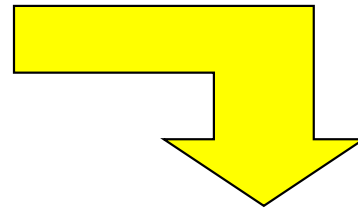
B 桁
(曲げ破壊)

2) 内部PC鋼線の腐食状態の詳細調査

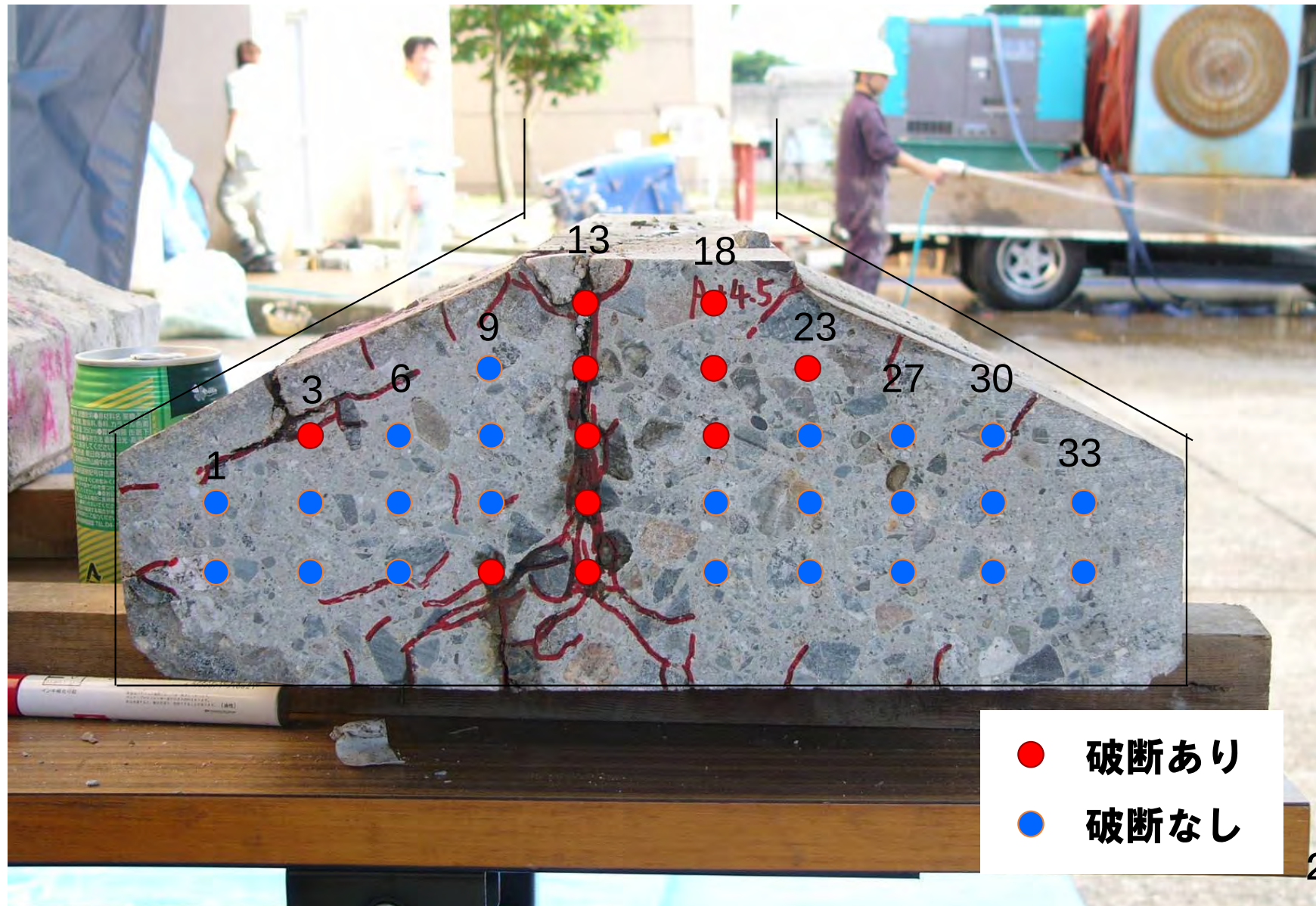




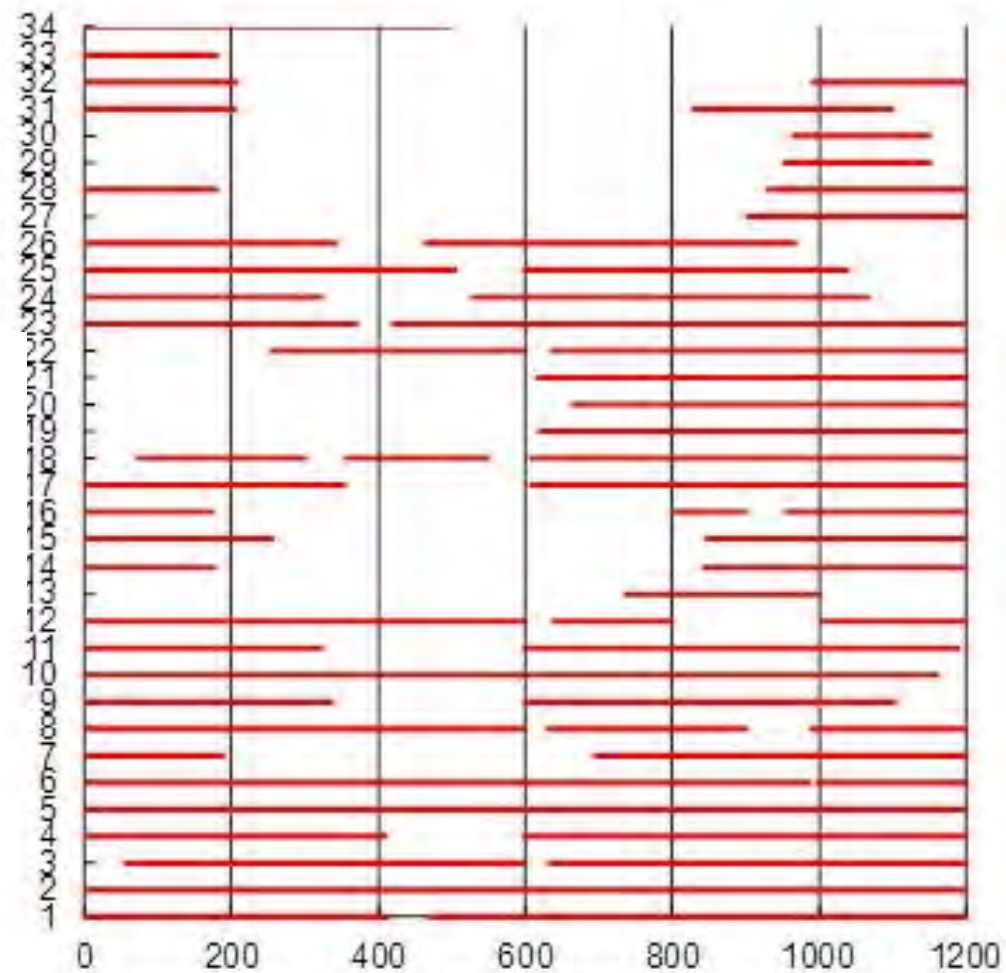
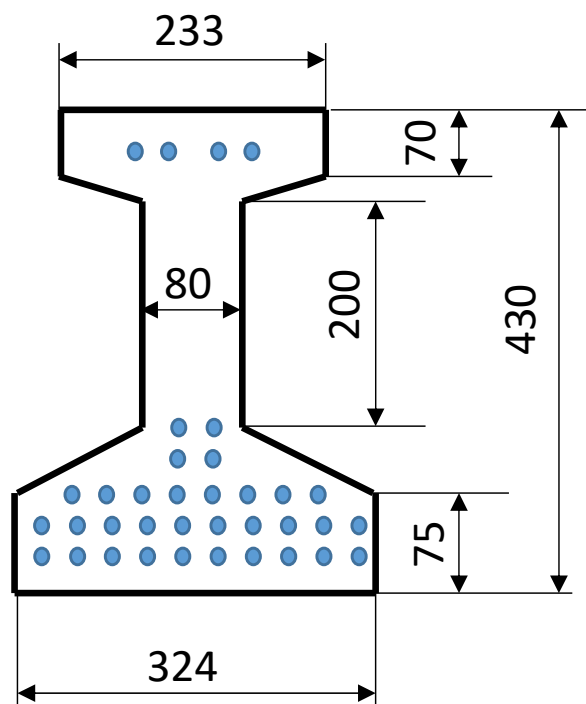
コンクリートを破碎して
取り出した PC 鋼線



A桁+4.0～+4.5mのPC鋼材破断状況

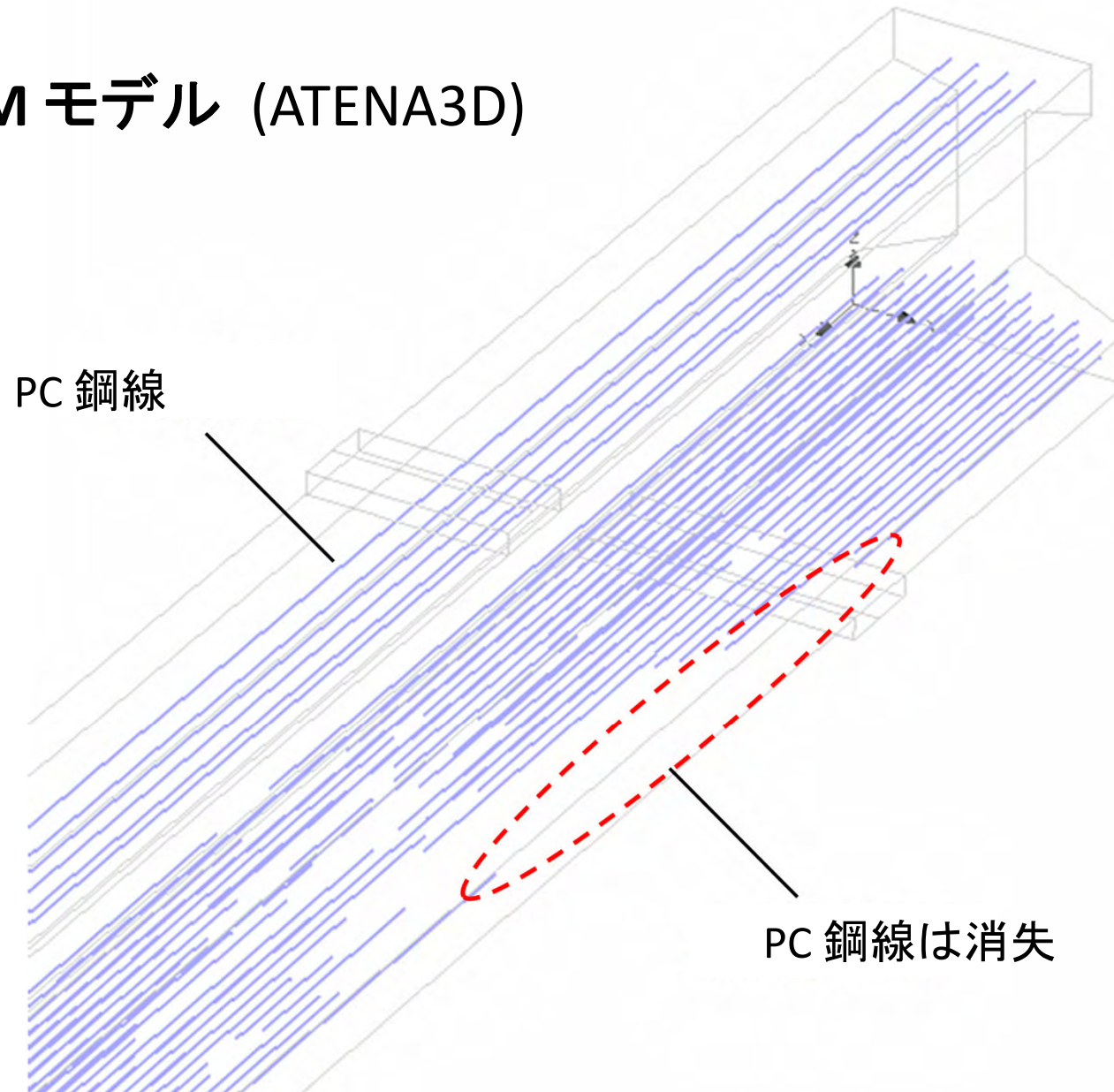


PC 鋼線の状態

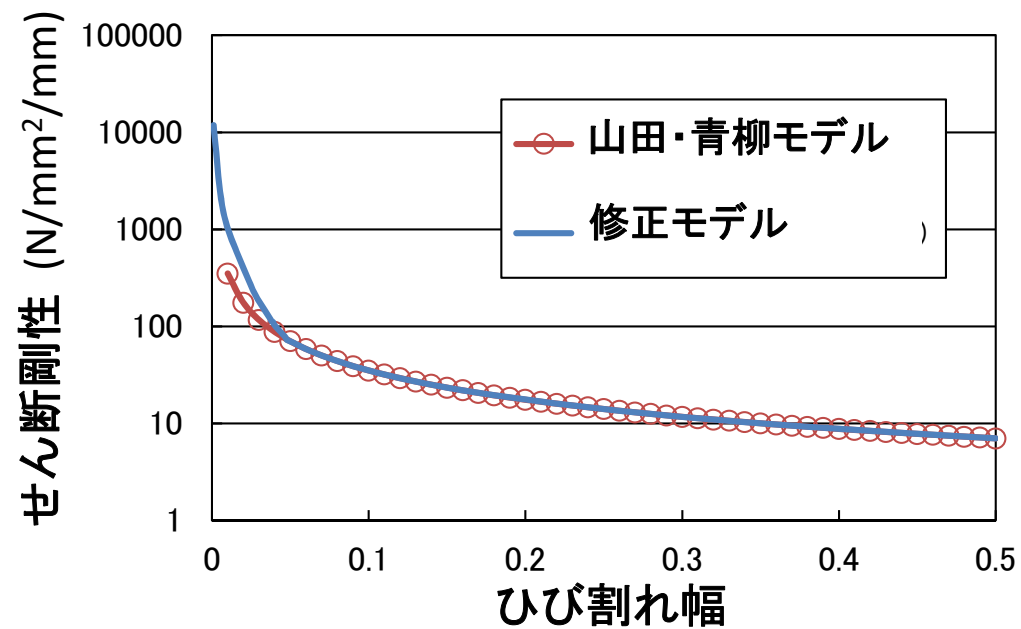
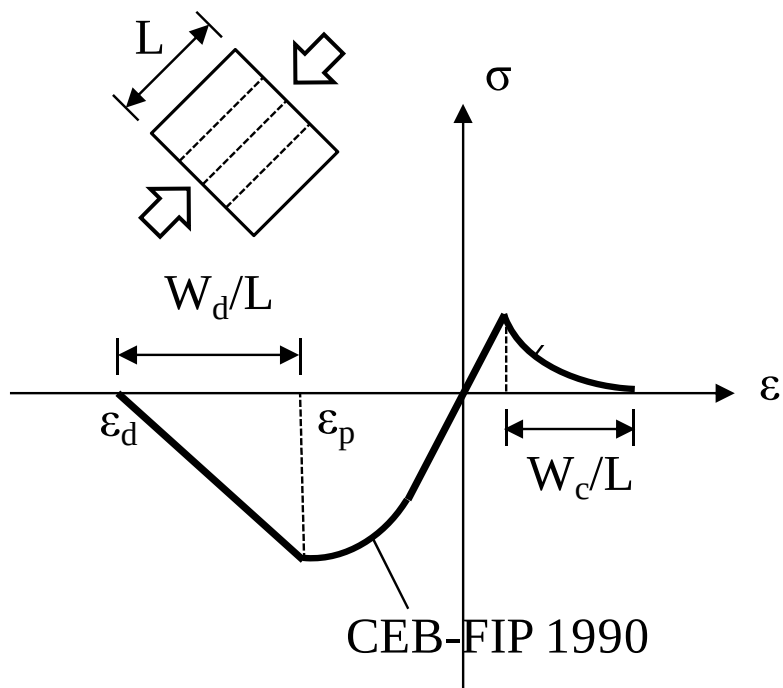


3) FEM解析

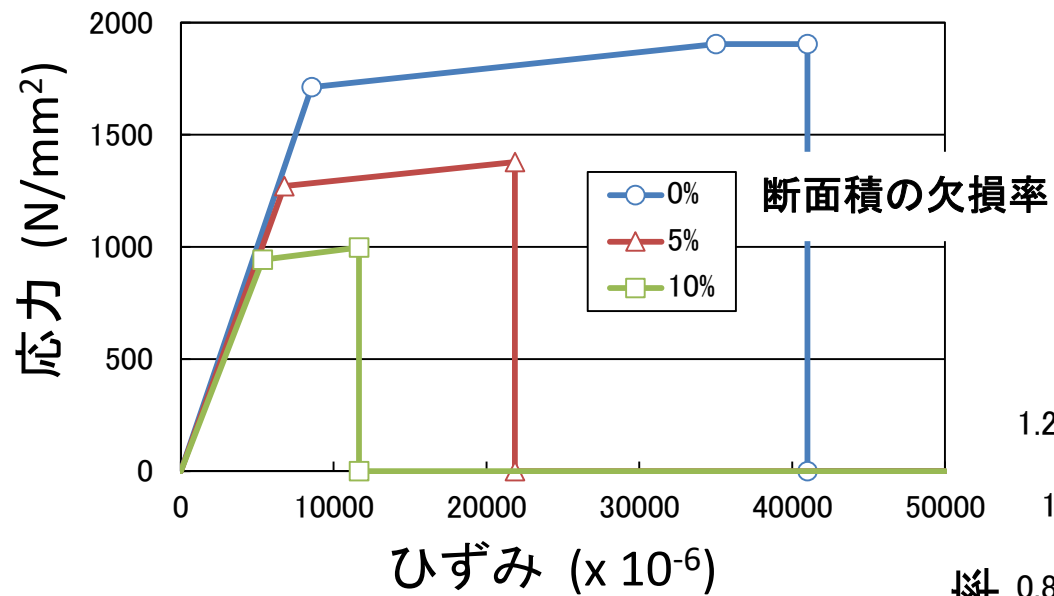
FEM モデル (ATENA3D)



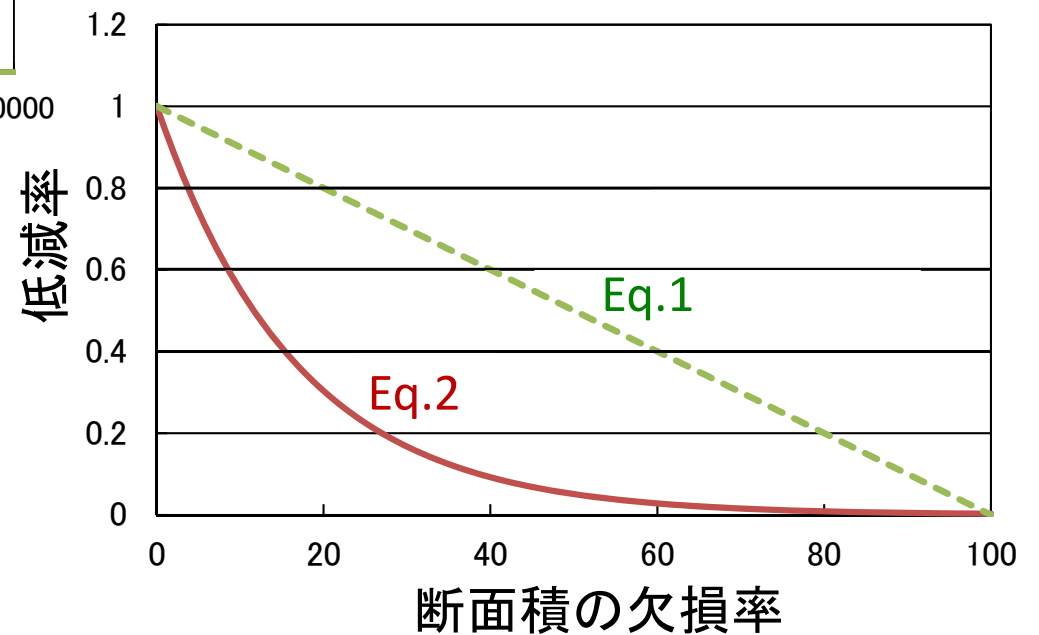
コンクリートの構成則



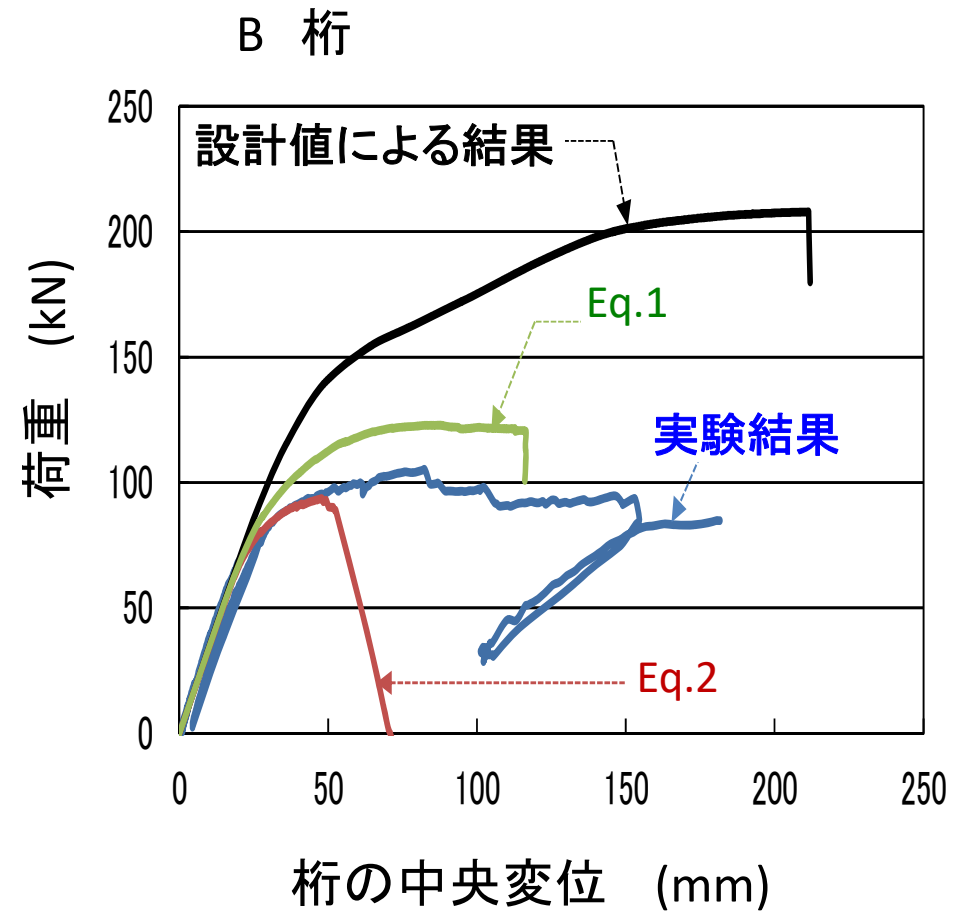
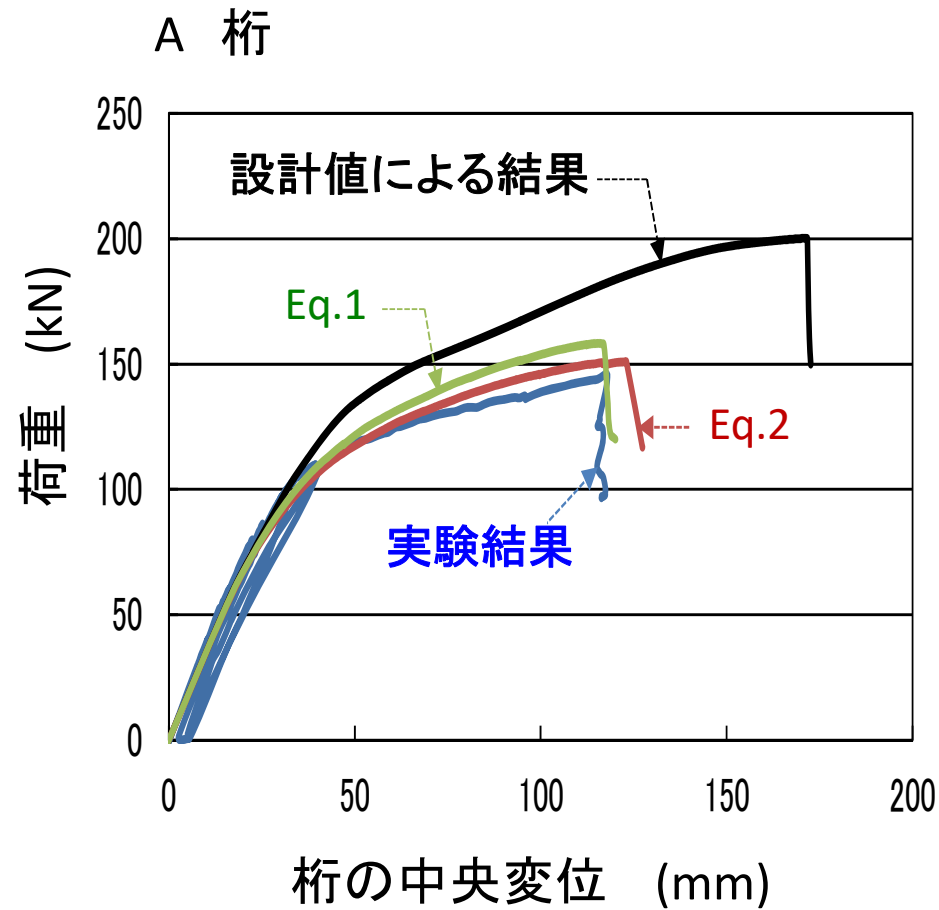
PC 鋼線の構成則



降伏耐力の低減



実験値と計算値の比較



3. 塩害を受けたPC橋の耐荷性能

検討内容

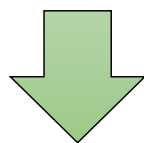
- 1) PC鋼材の腐食状況
- 2) トラック荷重による載荷試験とFEM解析
- 3) ジャッキ荷重による載荷試験とFEM解析



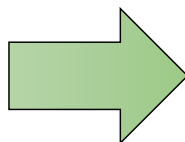
1) PC鋼材の腐食状況

2009年

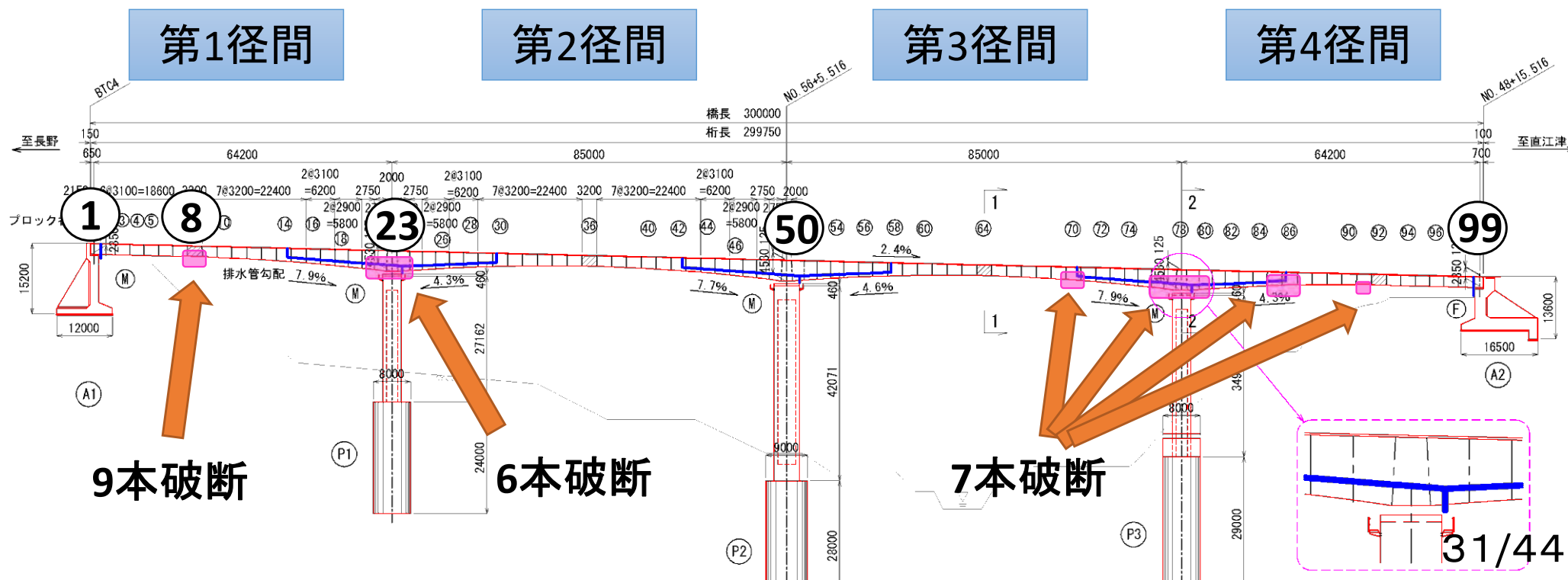
PCケーブルの破断を発見



約1200ヶ所の調査

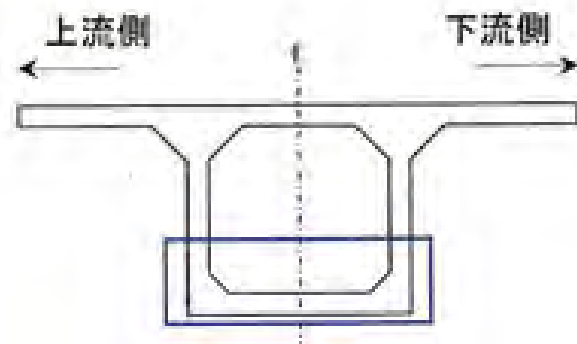


22本のPCケーブル破断を確認

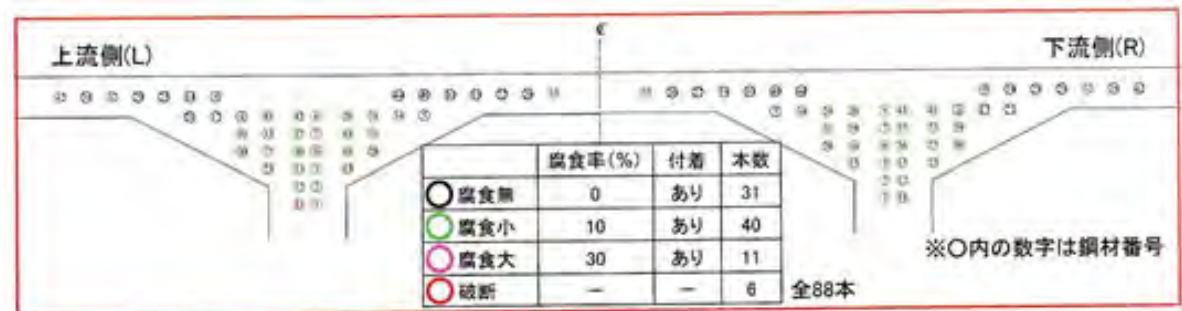
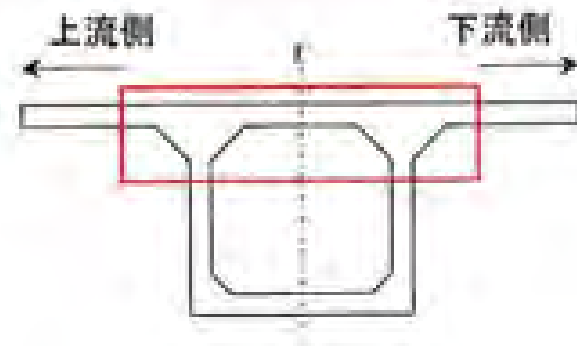


PC鋼材の腐食状況(詳細)

連続ケーブル



張出ケーブル

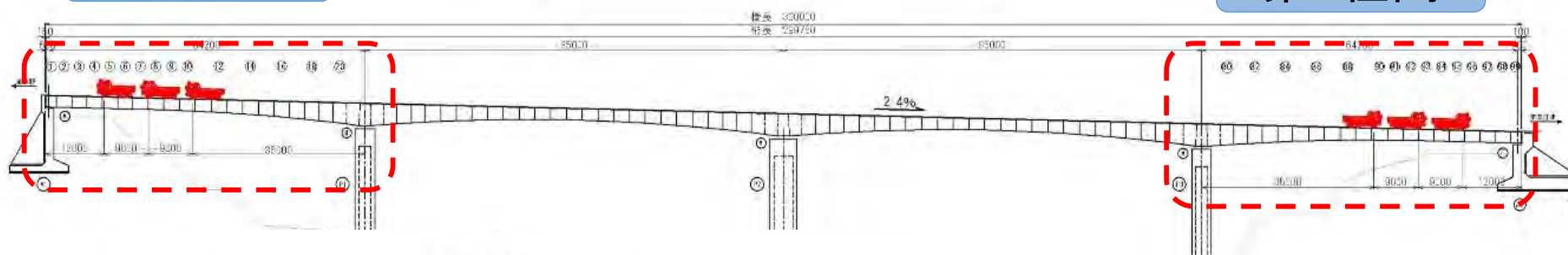


2)トラック荷重による載荷試験とFEM解析

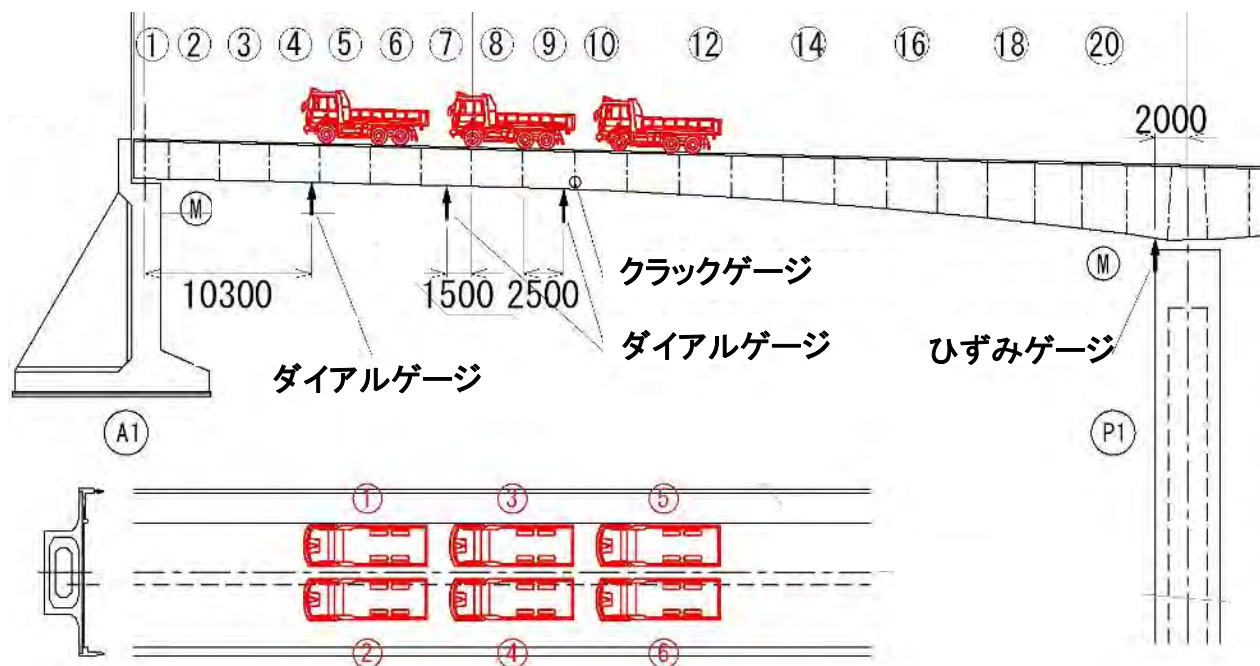
20トンダンプトラック6台

第1径間

第4径間



セグメントの番号



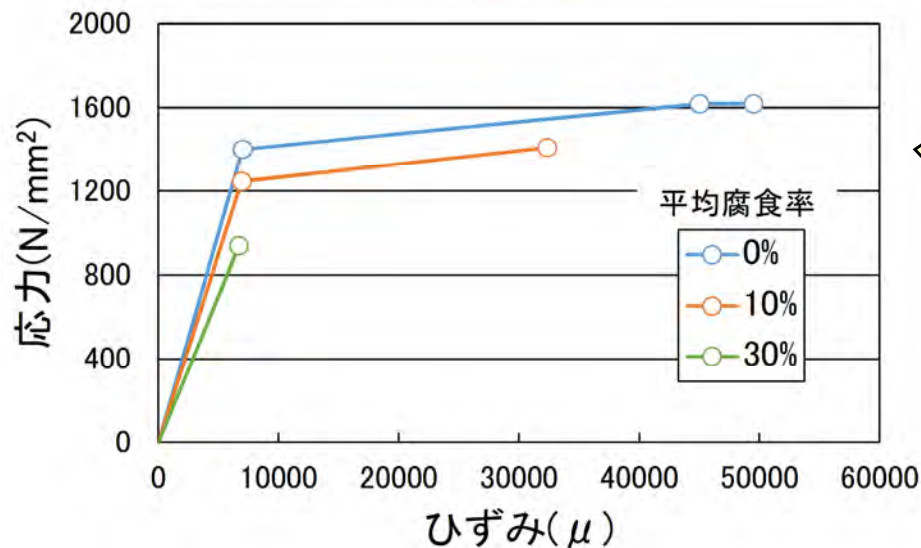
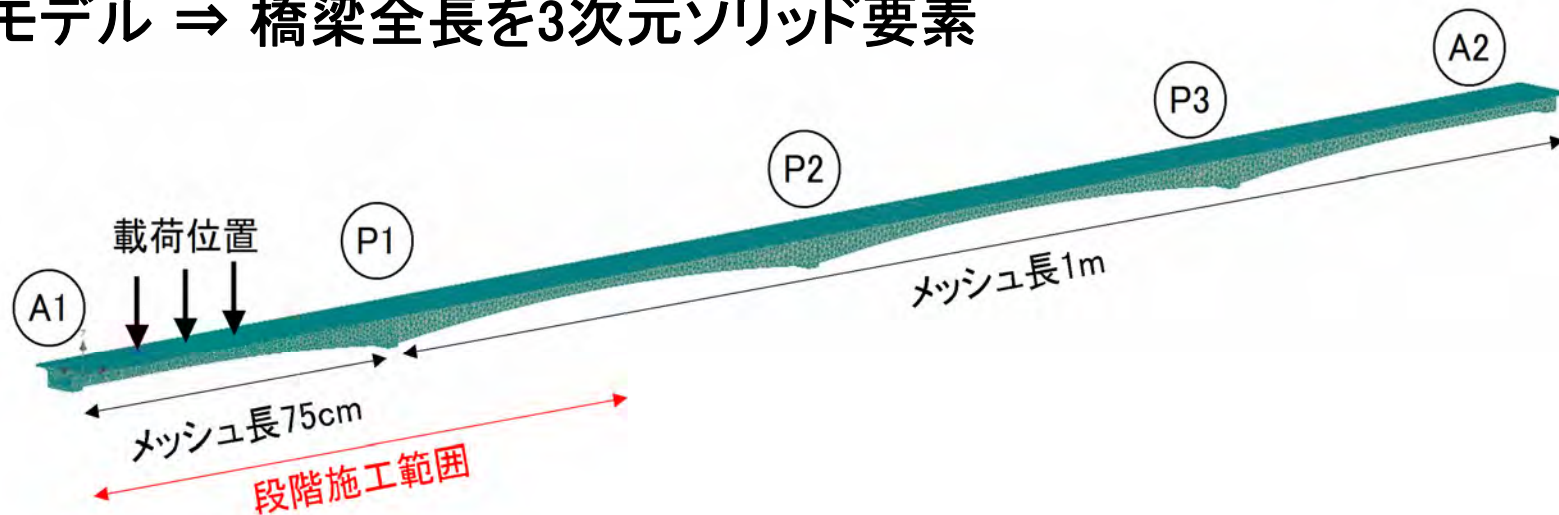
第1径間：損傷が著しい
第4径間：損傷は軽微



解析モデル

解析ソフト ⇒ ATENA-3D

解析モデル ⇒ 橋梁全長を3次元ソリッド要素



物性値は道路橋示方書に準拠。
H21調査結果を踏まえ、

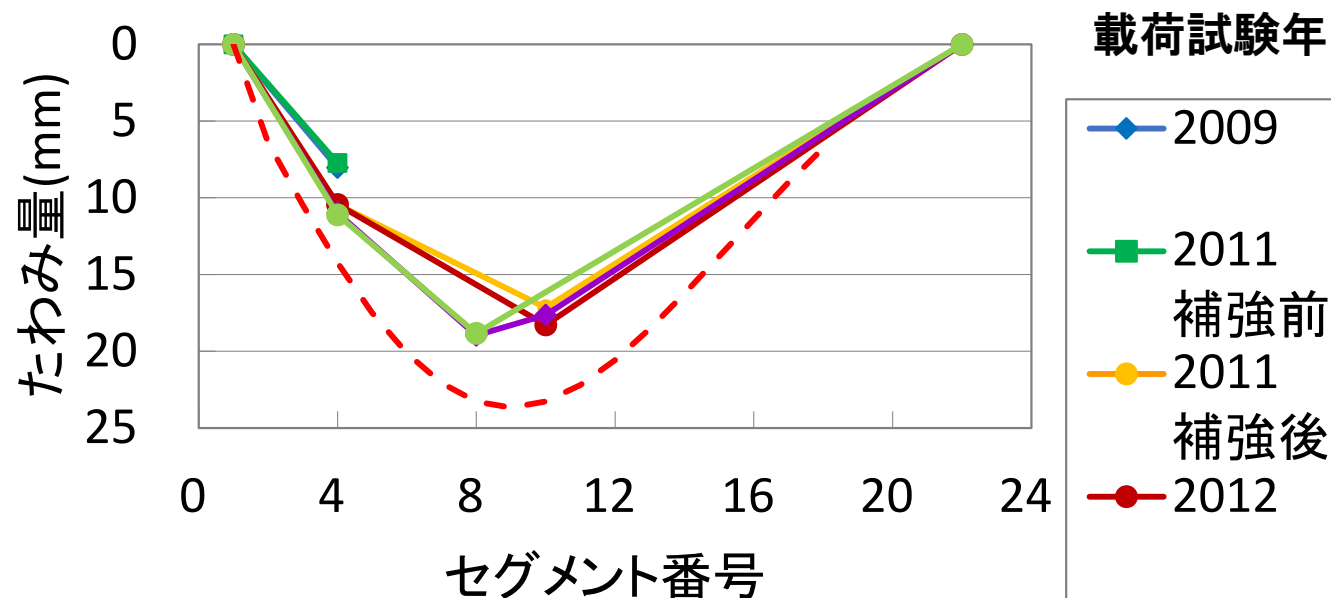
- ・ケーブルの腐食
- ・ケーブルの破断
- ・グラウト有無

を解析に考慮。

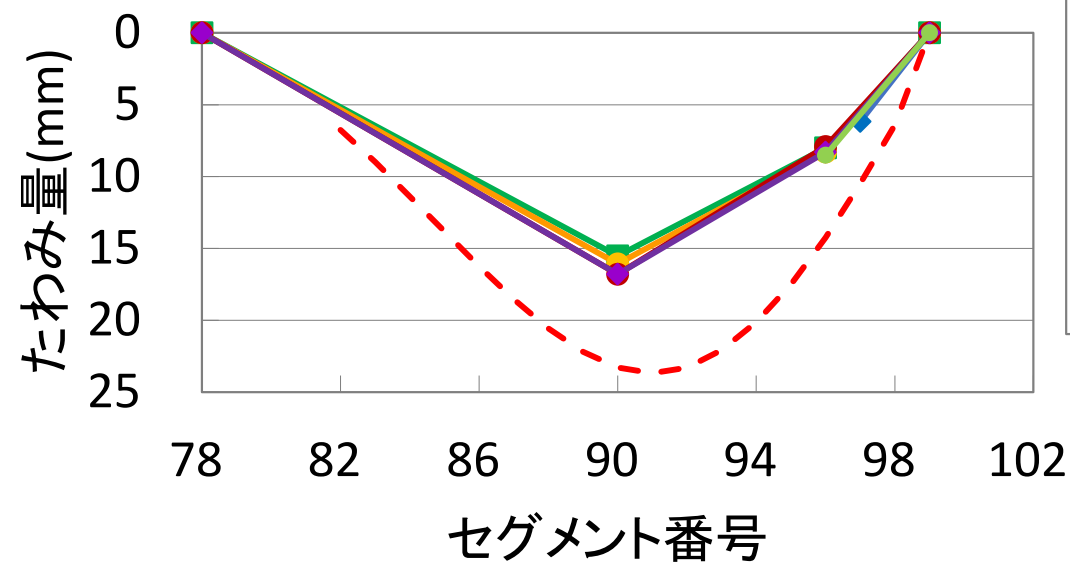
PCケーブルの応力-ひずみ関係

計測結果と計算結果との比較

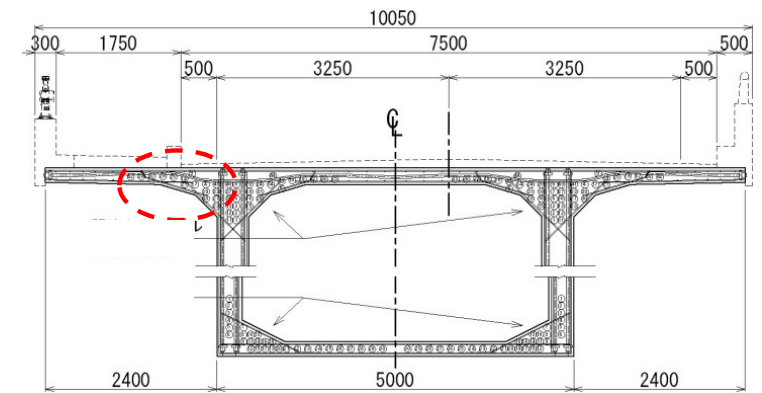
第1径間



第4径間



PCケーブルの腐食進行



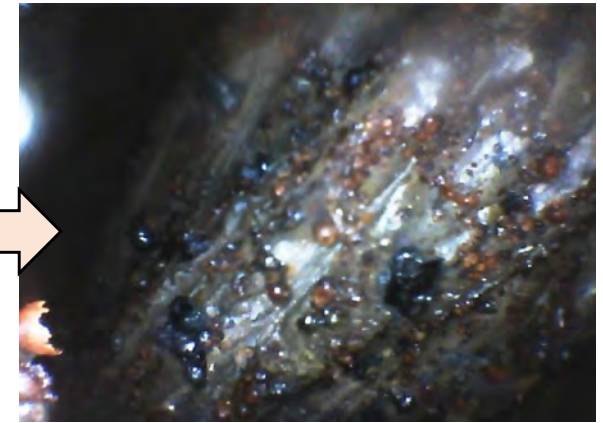
2010



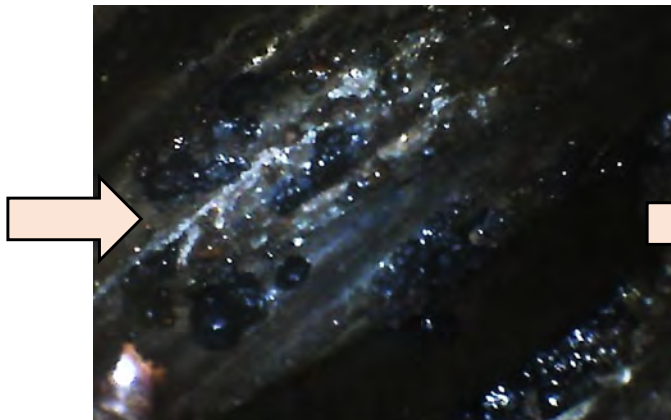
2011



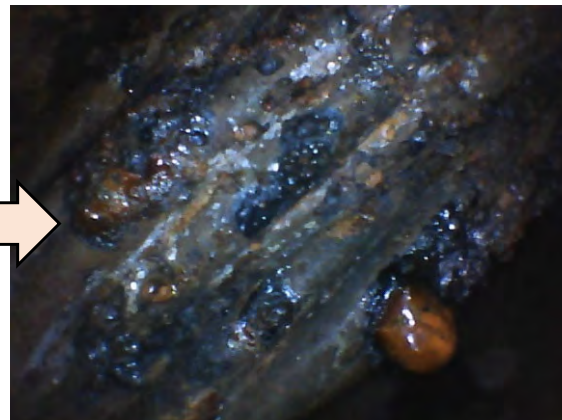
2012



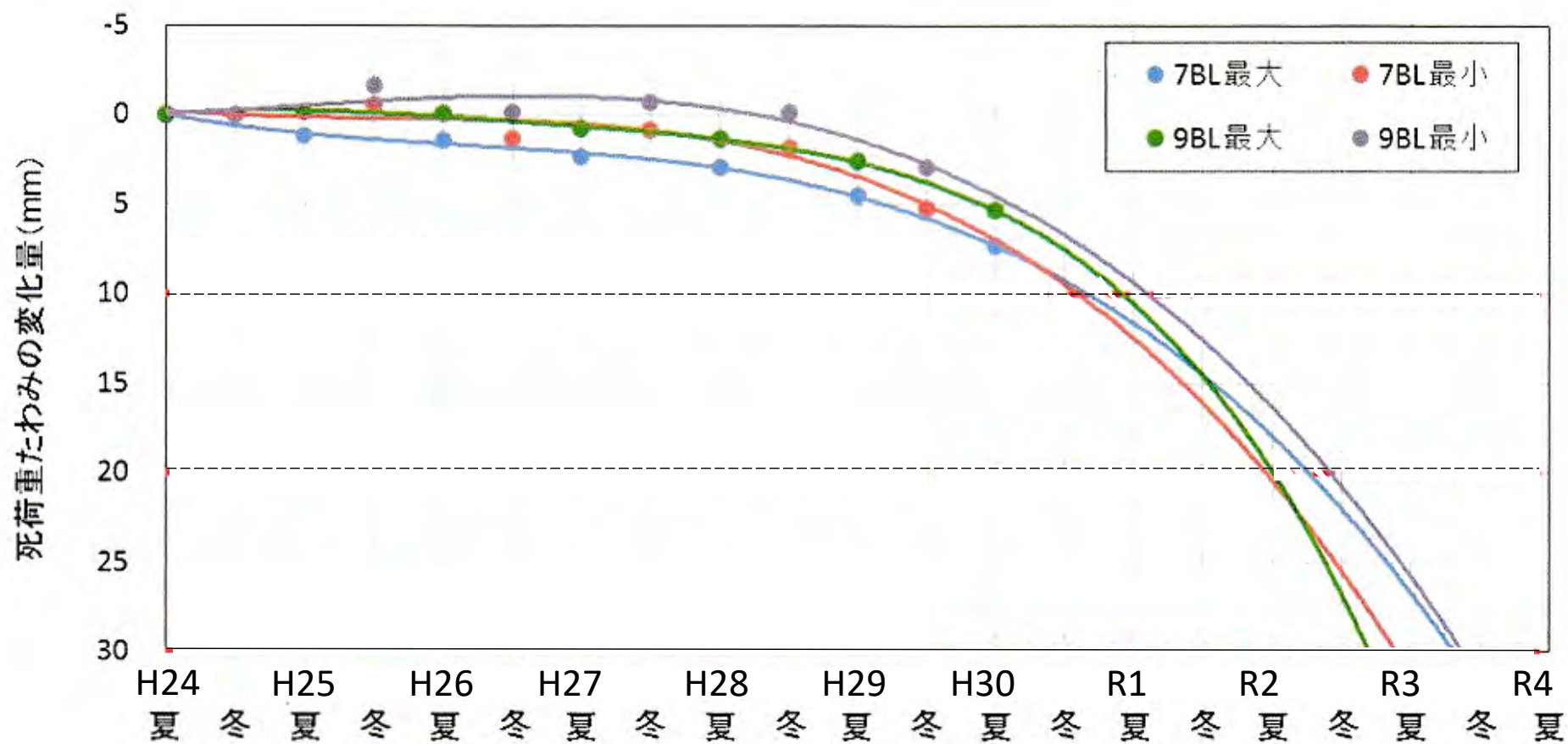
2013



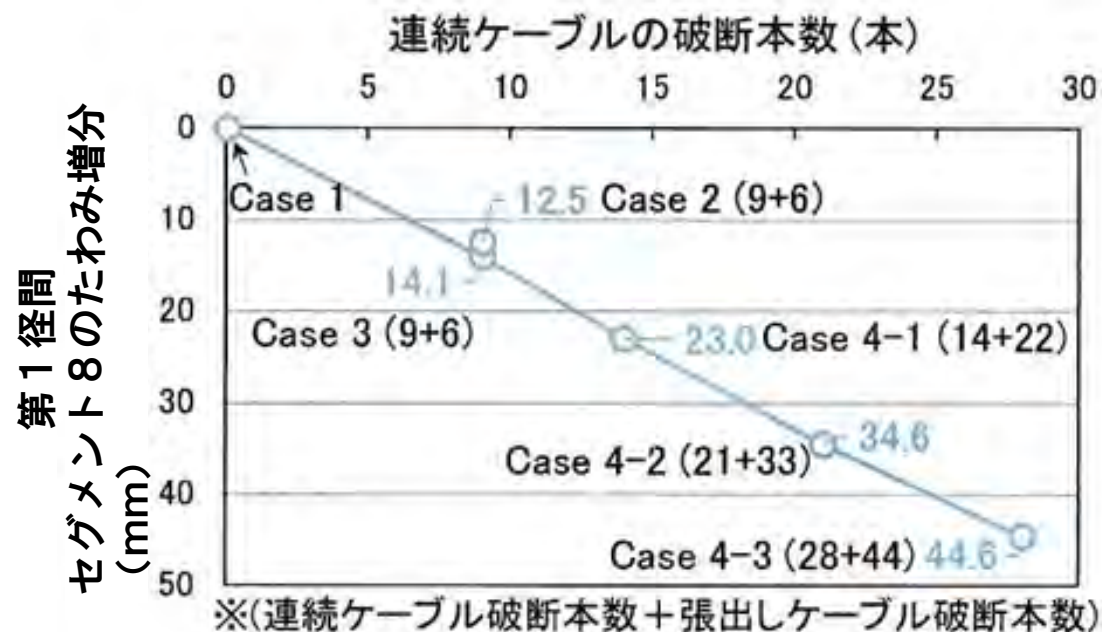
2015



死荷重でのたわみの経年変化量



PCケーブルの破断本数と桁のたわみ増分 (死荷重のみの場合のFEM解析結果)



設計時(健全)
連続ケーブル 60本
張出ケーブル 88本

破断本数とたわみの増加傾向

Case	破断本数※	死荷重たわみ	Case. 3 からの増分	たわみ増加率
Case3	9 本	14. 1mm	-	-
Case4-1	14 本	23. 0mm	5 本破断 8. 9mm 増	1. 78mm/本
Case4-2	21 本	34. 6mm	12 本破断 20. 5mm 増	1. 71mm/本
Case4-3	28 本	44. 6mm	19 本破断 30. 5mm 増	1. 61mm/本

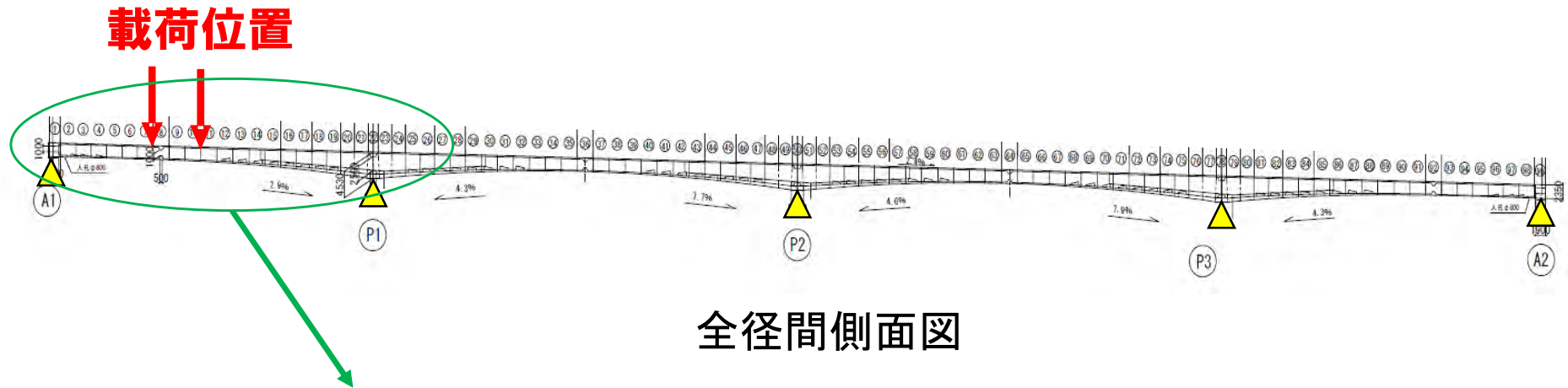
※ 連続ケーブル破断本数を示す。

3) ジャッキ荷重による載荷試験とFEM解析

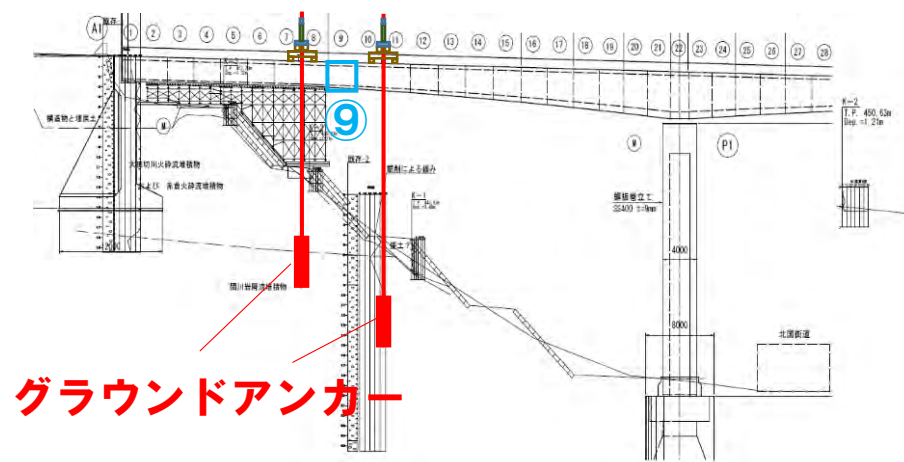
国交省のプロジェクト(CART:R3~R4)で採択され、田中泰司 教授
(金沢工業大学)のリーダーシップの下で実施



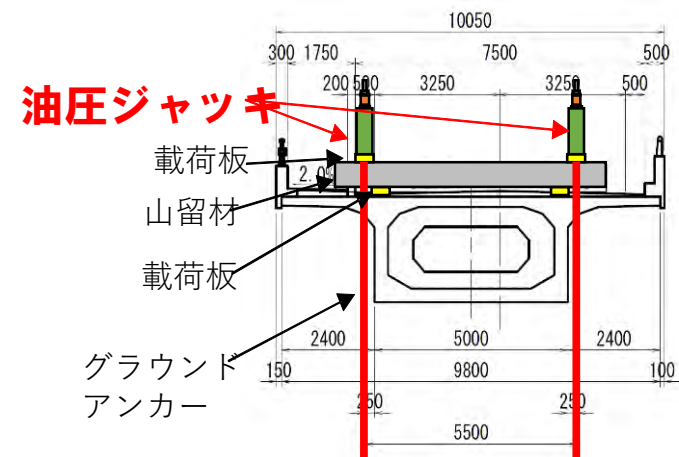
概要図



全径間側面図

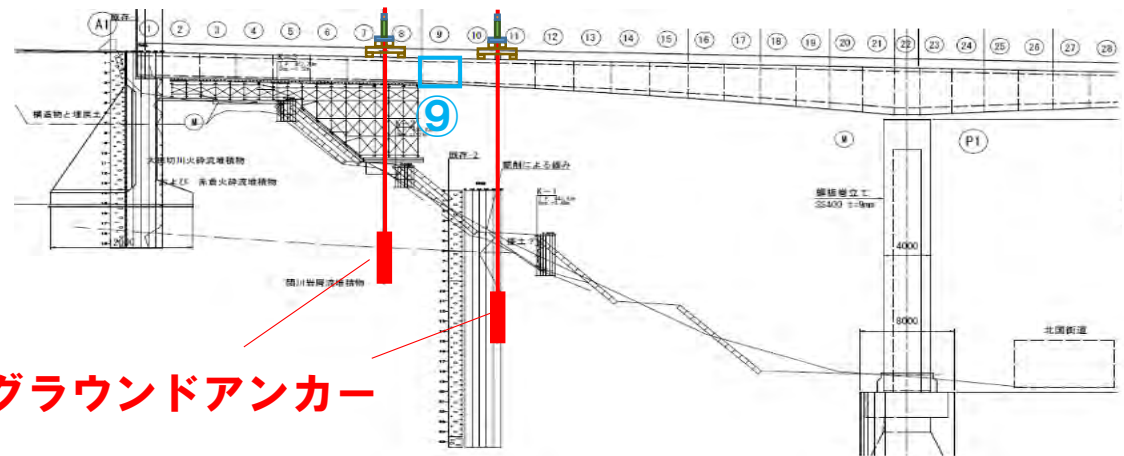


第1 径間側面図

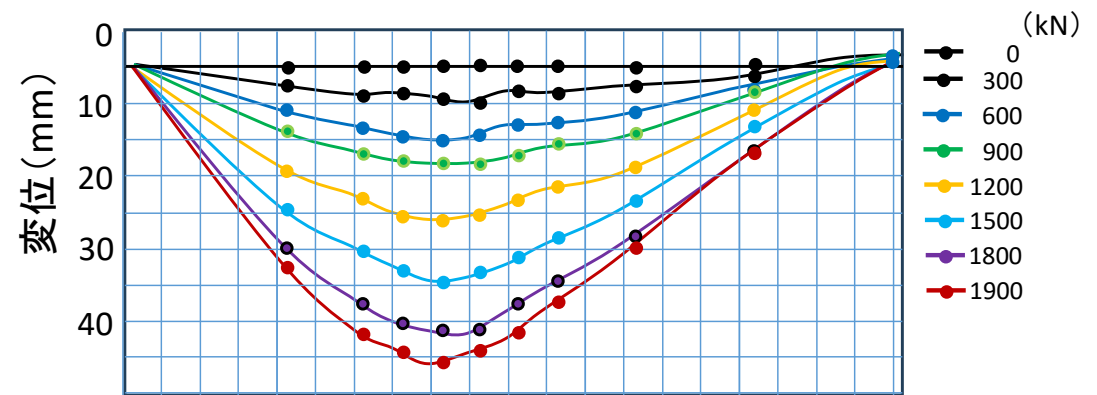


第1径間断面図

桁変位の計測

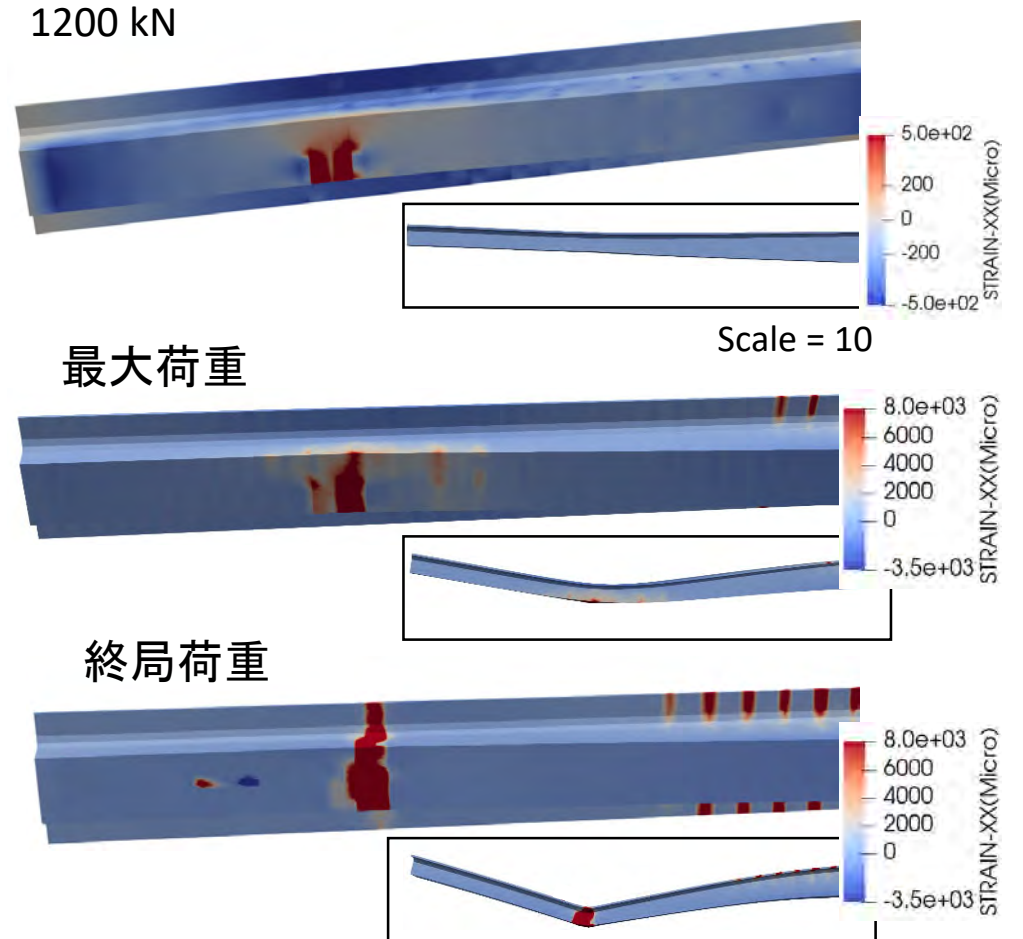
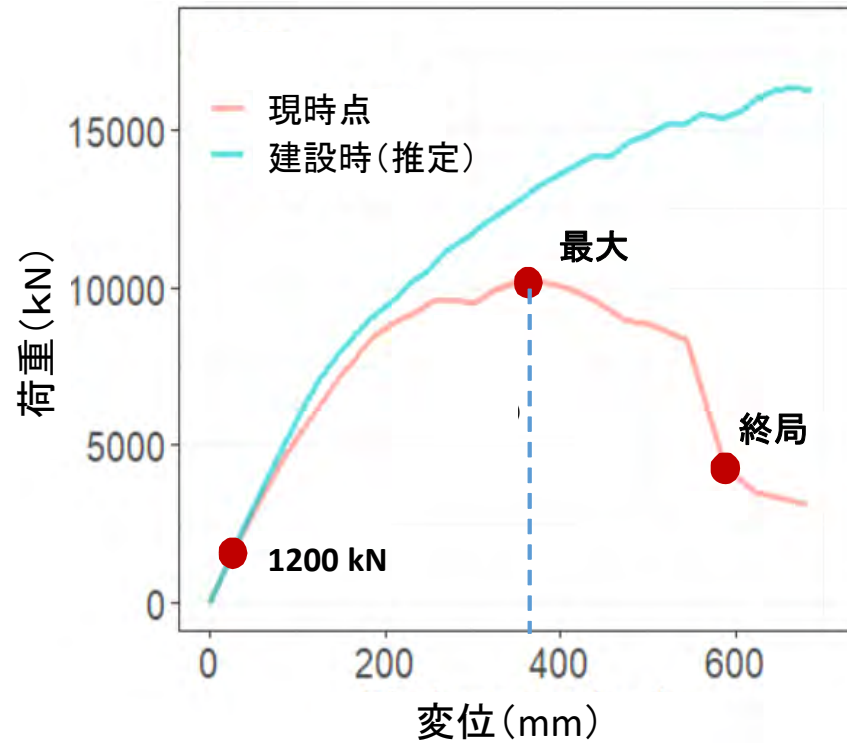


グラウンドアンカー



変位分布(レベル測量)

FEMによる解析結果



4. まとめ

塩害を受けたRC桁、PC桁およびPC橋の載荷試験およびFEM解析を通して得られた知見は以下のようにまとめられる。

1. 塩害を受けたコンクリート桁の耐荷性能は、内部鋼材の腐食状態を定量的に評価できれば、現在の数値解析技術で精度よく評価することが可能である。
2. PC橋(PC桁)では、残存プレストレス量の評価も重要である。外的に負荷された荷重状態でも部材断面が弾性状態にある場合には、負荷時の変位・変形に及ぼすPC鋼材腐食の影響は小さく、変位・変形の計測結果から腐食状態を推定することは難しい。

ご清聴ありがとうございました