

プレストレストコンクリート構造物の 断面修復による補修技術



(独) 土木研究所・材料地盤研究グループ基礎材料チーム
(社) プレストレスト・コンクリート建設業協会

PC橋の改造技術に関する共同研究委員会

(独) 土木研究所		委員	篠崎 英二
首席研究員	渡辺 博志		中田 順憲
主任研究員	古賀 裕久		伊藤 良二
交流研究員	田中 秀治		佐藤 徹
交流研究員	竹内 祐樹		濱田 讓
交流研究員	天谷 公彦		横川 勝則
東北大学大学院			束原 実
准教授	久田 真		正村 浩
(社) プレストレスト・コンクリート建設業協会			油野 博幸
委員長	藤田 学		北山 良
副委員長	手塚 正道		立石 陽輝
委員	葛西 康幸		鈴木 雅博
	竹中 秀樹		中村 定明
	安藤 健		徳光 卓
	中村 雅之		谷口 秀明
	北野 勇一		

発表内容

1. プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き(案)・概要説明資料
2. 断面修復後のマクロセル腐食に関する検討
3. 断面修復材の物理的性質の調査例
4. 断面修復および外ケーブル補強を実施したPC桁に関する検討

コンクリート構造物の維持管理

- 長寿命化 / 維持管理の合理化が重要課題
 - 維持管理に関わる技術指針整備
- 補修効果に対する期待は大
 - 電気防食工法
 - 脱塩工法
 - 表面被覆工法 / ひび割れ注入工法
 - 断面修復工法
 - 外ケーブルによる補強
 - 損傷状況原因、構造物に対する要求性能に応じた選択
 - 補修対策について幅広い選択肢を確保しておくことも重要

断面修復系補修対策

- 比較的古くから実施はされてきている。
 - 損傷程度に応じてプレストレスの補強など柔軟に対応できる
 - 電気化学的補修工法に見られる難しさはない。
 - 断面修復工法が必ずしも簡単というわけではない
 - 一方で、信頼性に対する疑問(再劣化)
 - 補修材料などの選択も含めた設計施工指針の充実余地
 - 今回手引きとして作成
-

手引きの構成

- 総則
 - 補修設計
 - 施工
 - 補修後の状態観察
 - 記録
 - 付属資料編
 - 本手引き作成のために実施した実験や解析
 - 参考資料編
 - 試験方法や他の参考図書の概要
-

構成を定める上で議論となった点

- 手引きの記述範囲に対する議論
 - 補修工法の計画・選定
 - 多種多様の工法があり得る
 - 性能照査の考え方からすれば選定から記述が理想
 - 各種工法の特徴・得失を鳥瞰する必要
 - 今回は断念 今後の課題
 - 調査手法に関する章は？
 - 本来であれば健全度評価・および調査方法も記述すべき
 - 塩害維持管理マニュアルを参照(塩害橋梁維持管理マニュアル(案) 平成20年4月北陸地方整備局・道路局)
-

1. 総則

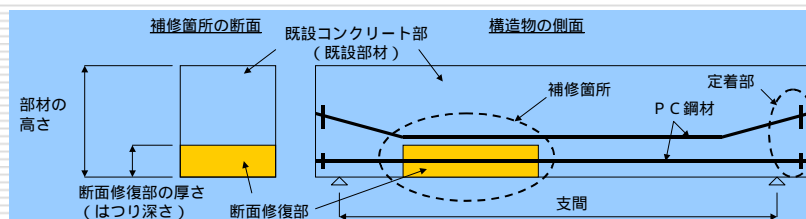
- 一般
 - 本手引きのねらいと、想定した主たる適用範囲
 - ねらいとしては
 - 断面修復補修での再劣化リスクの低減
 - はつりの影響適切に(PC構造物独特)
 - 補修後の性能への配慮(PC再導入?)
 - 多種の断面修復材に対して(要求性能は?)
 - 塩害を受けたPC上部構造
 - 用語の定義
 - 補修と補強など、混乱が生じないよう
-

2. 補修設計

- 一般
- 補修範囲の設定
- 補強の必要性および補強方法の検討
- 補修材料と工法
- 他工法との併用の検討
- 補修後の維持管理計画

補修範囲の設定について

- 多量の塩化物イオンを含むコンクリートの除去
- 部材の耐荷性能に深刻な影響を与えない
 - はつり深さの増加に伴う変形とプレストレスの変動に注意
- 施工後、所要の性能を確保
 - 施工時(中)の安全性
 - 施工後の耐荷性能復元の可能性
 - 塩化物イオンの確実な除去による耐久性確保
 - 事前検討による適切な決定が重要

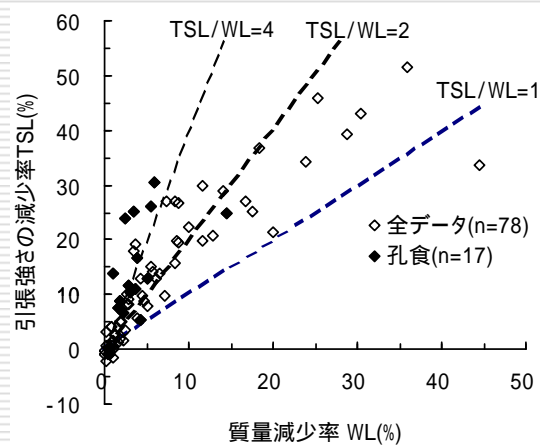


補強の必要性および補強方法の検討

- 既設部材の耐荷性能確認
 - PC鋼材の破断・予想外の断面欠損があった
 - PC鋼材の伸び能力低下と既設部の有効プレストレスに配慮
 - 損傷はクリティカルな断面位置に生じているとは限らない
- 追加プレストレス量の決定
 - 追加プレストレスの導入方法・導入力にも配慮
 - 既設コンクリート部分の弾性係数や材令の影響配慮
- 鉄筋の修復・交換
 - 著しい腐食
 - 断面修復材の剥落防止

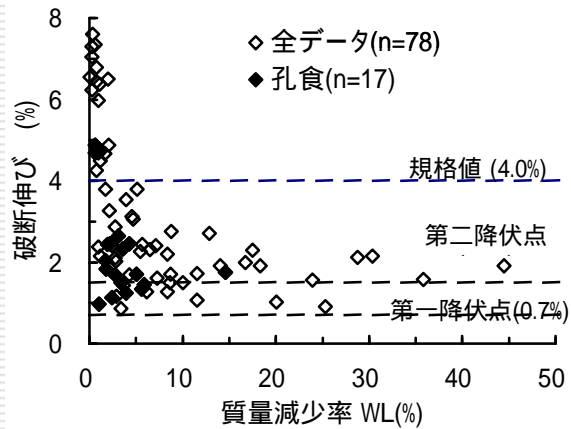
腐食した鋼材の特徴(1)

□ 引張強度



腐食した鋼材の特徴(2)

□ 伸び能力



PC鋼材の腐食状況

分類	腐食状況	質量減少率	< 錆落とし前 >	< 錆落とし後 >
1	薄錆が全面にあるが、ブラシで磨くと地鉄がでる	1%程度未満		
2	錆が全面にあり、点状の錆が目立つ	1 ~ 2.5%程度		
3	錆が全面にあり、ブラシで磨くと欠損が目立つ。	10%程度未満		
4	径が小さくなって	10%程度以上		

追加プレストレス量の決定

- 追加プレストレスの導入位置 / 導入順序
 - 他の桁の応力状態に影響
 - 追加プレストレスによる二次応力の発生
 - 剛性に注意
 - はつりの影響
 - 局所応力については、FEMによる解析結果参考
 - 既設部分の影響考慮
-

補修材料と工法：配慮した事項

- 補修材料が多種多様
 - ともすれば、要求性能が十分整理できてない
 - 何が求められるか？
 - 確認方法は？
 - 補修後の応力状態は？
 - 剥離が心配だが？
 - 様々な要求性能があり得るスタンスで記述
-

補修材料と工法

□ 一般

- 要求性能を満たすよう
 - 断面修復材料の選定で考慮する性能
 - 物理的性質
 - 鋼材保護性能
 - 電氣的性質
 - ひび割れ抵抗性
 - 剥離抵抗性
 - 施工性
 - 気象作用に対する耐久性
-

断面修復材料の性質(1)

□ 物理的性質

- 外ケーブルによる追加プレストレス導入が必要な場合特に注意
 - 弾性係数、圧縮強度、引張強度
 - クリープ性状、収縮ひずみ
 - 線膨張係数(冷温繰り返しによる剥離抵抗に關与)

□ 鋼材保護性能

- 断面修復材料の物質透過性(塩化物イオン・水分・透氣性)
 - 促進試験が必要な場合が多い(浸せき試験データ蓄積不足のため)
 - 促進条件と実環境の關連づけ、結果の適用性に注意
 - 例えば中性化
-

断面修復材料の性質(2)

- 電気的性質
 - 修復材料の種類による電気抵抗の違いに注意
 - マクロセル電流に關与する可能性あり
- ひび割れ抵抗性
 - 断面修復材の収縮ひずみ量の制限
 - 実際の施工厚みも考慮した試験によるひび割れの確認が望ましい。
- 剥離抵抗性



凍結融解作用を与えた供試体の損傷例

断面修復材料の性質(3)

- 施工性
 - 未充填部の防止
 - 既設断面との密着性



充填状況の確認例

補修後の維持管理計画

- 補修後の維持管理計画を定めておく
 - 100%の信頼性は不可能
 - 何らかの不具合に備えた調査 / 測定計画
 - 例えば
 - 外ケーブル緊張力
 - 打音調査(うき・剥離の確認)
 - 自然電位の測定(鋼材の腐食傾向)
-

3. 施工

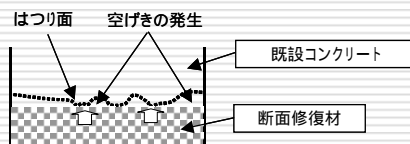
- 施工にあたっての一般事項
 - 施工準備
 - 断面はつり / はつり面処理
 - 既設鋼材の処理
 - 修復
 - 追加プレストレス
 - 他工法との併用
 - 品質管理
-

施工計画一般について

- 配慮すべき一般事項(例えば...)
 - プレストレスが作用している箇所でのはつり作業の安全性
 - 構造物の状況
 - 特に詳細調査の結果、補修設計時の想定と異なっている場合 設計へ戻って見直し
 - 環境条件や周辺状況
 - 施工後の構造物の性能へ影響する項目
 - 水分の供給状況

はつり / はつり面の処理

- 鋼材や健全部コンクリートに悪影響を与えない
- はつり範囲の形状・寸法を確認しながら施工
- 下地処理方法の確認, うきや脆弱層の処理
- はつり面の不陸修正
- 素地調整(プライマー・含水状態調整)



既設鋼材の処理 / 断面修復 / 追加プレストレス

- 既設鋼材の清掃と防錆処理
 - 高流動コンクリートなどの施工の概要
 - 外ケーブル緊張時の材料強度確認
 - 参考図書の紹介
-

4. 補修後の状態確認

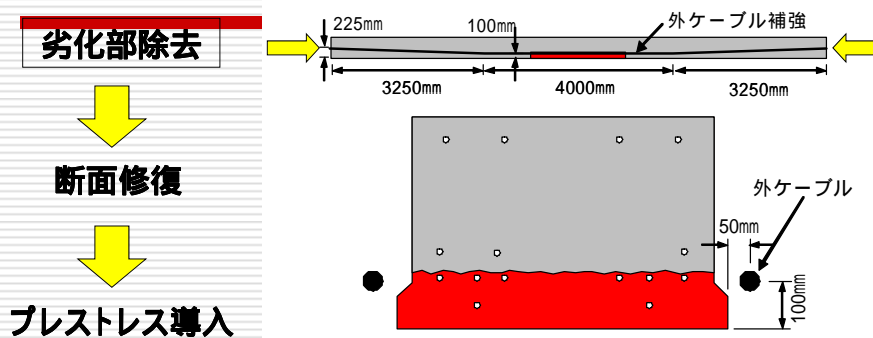
- 調査方法の例

項目	方法	得られる情報
断面修復	目視確認	補修後の外観状態 (不陸, 色むら, 汚れなど)
	打音確認	断面修復部のはく離の有無
	自然電位測定	補修後の自然電位の初期値
外ケーブル	張力測定	追加プレストレスの導入量

5. 記録

- 補修の設計施工記録は重要
- 確実な方法を提案するも完璧ではない
 - 維持管理データベース
 - 改善点の抽出
 - 実績として、次の補修施工の参考
- 主な記録内容の例示
 - 補修範囲
 - 補修設計
 - 補修後の調査記録

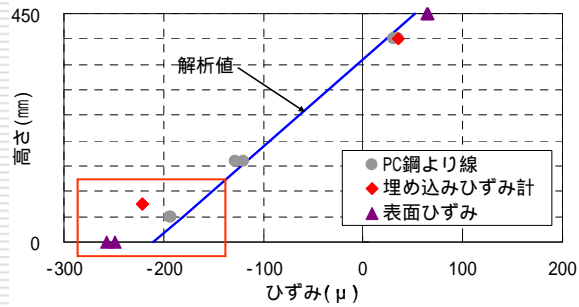
外ケーブルによるプレストレス導入



- ・外ケーブルによりプレストレスを導入
- ・PC鋼より線 (φ11.1mm) を7本束ねたケーブル

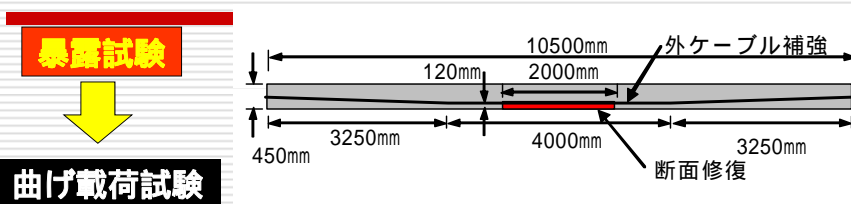
実験結果(外ケーブル導入時)

プレストレス導入によるひずみ変化

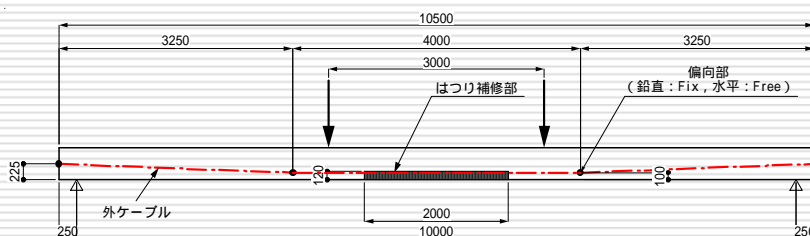


- ・ ひずみ分布が直線であることより既設部と断面修復部が一体であることがわかる。
- ・ 解析値と計測したひずみ変化量は比較的良く整合している。

暴露試験(時間依存性挙動)



非線形FEM解析モデル



- ・断面分割: はつり箇所では長さ方向50mm, 高さ方向30mmと他の部分と比べて細かく分割
- ・偏向部は鉛直方向に拘束、水平方向に自由

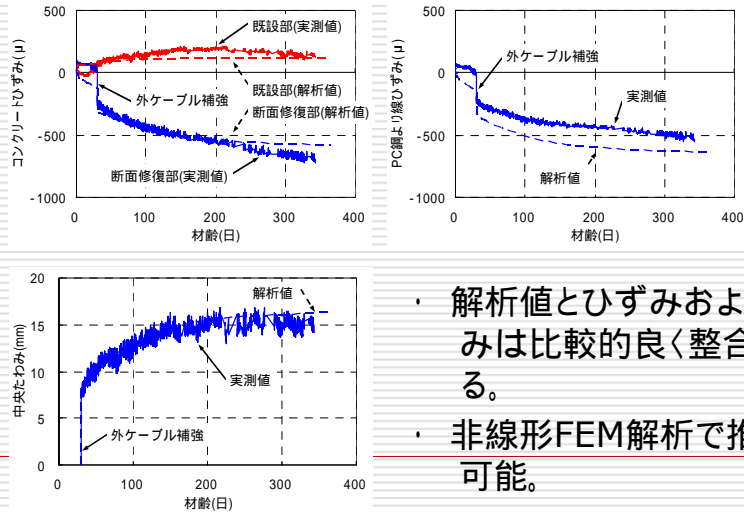
材料試験結果

	コンクリートの種類	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比
プレストレス 導入時	母材コンクリート	477	67.6	38.5	0.22
	断面修復材	30	71.6	34.5	0.19
曲げ載荷 試験時	母材コンクリート	812	73.6	41.6	0.21
	断面修復材	365	92.0	41.9	0.20

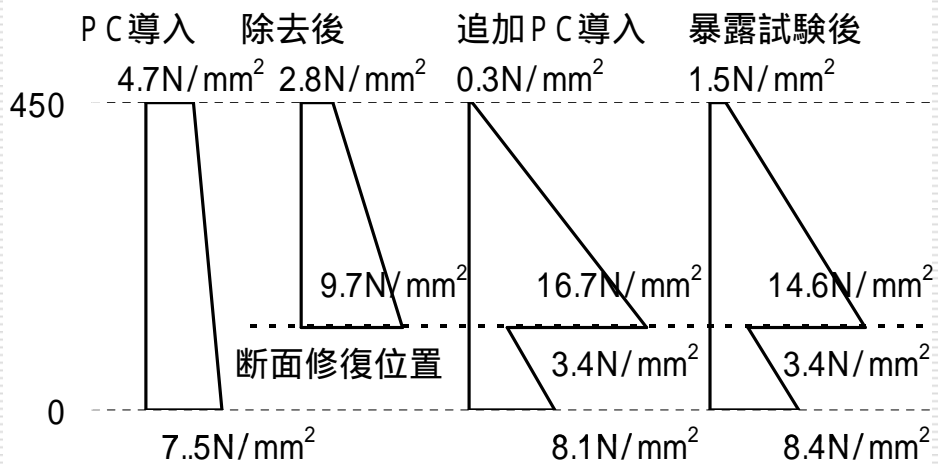
曲げ載荷試験時では、
圧縮強度は母材コンクリート以上
ヤング係数は同等程度

実験結果(暴露試験)

コンクリート・PC鋼より線ひずみ・たわみ



- ・ 解析値とひずみおよびたわみは比較的良く整合している。
- ・ 非線形FEM解析で推定が可能。

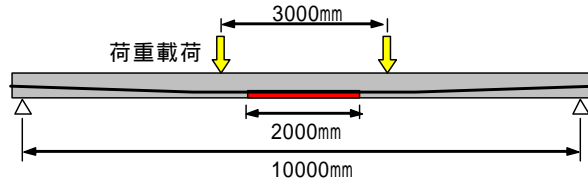


中央断面応力分布

曲げ載荷試験(耐荷性状)

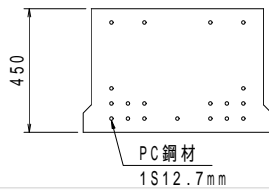
暴露試験

曲げ載荷試験



曲げ載荷試験の結果

case1:健全桁



case2:補修・補強桁

