

構造物の維持管理と検査技術への期待

丸山久一*

*長岡技術科学大学 環境・建設系

kmaru@vos.nagaokaut.ac.jp

要旨：

セメントあるいはコンクリートの歴史は古く、今から 2000 年前の古代ローマ帝国の時代には既にコンクリートで構造物が建造されていた。現在のセメントに至るものは、1824 年に英国で特許が取得されたもので、また、鉄筋コンクリートのさきがけとされる植木鉢の製作は 1867 年にフランスでなされている。わが国にセメントが入ってきたのは幕末の頃で、最初に官営工場ができたのは 1872 年といわれている。殖産興業の中で、鉄筋コンクリートの倉庫やコンクリート護岸が建設されたが、当時のコンクリート構造物で 100 年を超えて現在にまで残っているのは小樽港岸壁など数少ない。ただ、築後 80 年程度のものであれば、現存している橋梁はいくつかある。

1960 年代の後半から 1970 年代にかけてわが国が高度経済成長期にあった頃、社会基盤の整備のために、鉄筋コンクリート構造物の建造が飛躍的に進められた。ところが、1980 年代に入ると、海砂を用いた構造物に鉄筋の発錆によるコンクリートのひび割れや剥落が報告され、また、北陸や東北地方の海岸沿いのコンクリート橋梁（鉄筋コンクリート橋梁、プレストレストコンクリート橋梁）では、海からの飛来塩分がコンクリート中に浸透し、鋼材（鉄筋や PC 鋼材）の発錆で、種々の不具合が生じ始めた。

塩化物イオンによる鉄筋の発錆やその予防対策についてはこの 30 年間でかなり研究がなされ、新たに建造するコンクリート構造物については、エポキシ樹脂塗装鉄筋、錆びない材料（FRP、ステンレス鉄筋）などの使用が可能となっており、電気防食工法も新設、既設を問わず鋼材の錆の進行を抑制する上で有効であることが実証されつつある。ところが、問題は、塩化物イオンが浸透する環境（塩害環境）下であって、高度経済成長期に建造された数多くのコンクリート構造物が著しい劣化の徴候を示し始めていることである。

この劣化は偏に鋼材の発錆によるもので、コンクリートのひび割れ、剥離に始まり、鋼材の断面欠損や破断によるコンクリート構造物の耐荷性能の低下が維持管理上の大きな問題となっている。管理者にとっては、①現状での耐荷性能がいくら、②今後の劣化の進行はどのような、がもっとも知りたい事項である。そのためには、構造物全体にわたって鋼材の腐食量が具体的にいくらであるかを把握する必要があり、それがわかれば、現在の解析技術で構造物の耐荷性能は精度よく推定可能である。経年劣化については、基礎的な研究がさらに必要であるが、コンクリート中の鋼材の腐食量を非破壊で検出できるならば、その技術を経年で適用することにより、劣化の進行速度を把握することも可能となる。

参考文献

- [1] 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書、維持管理編、2007
- [2] 日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術 '09、2009
- [3] 国土交通省：塩害橋梁維持管理マニュアル、2008
- [4] 土木学会：コンクリートライブラリー131、古代ローマコンクリート、2009
- [5] 長瀧重義監修：コンクリートの長期耐久性－小樽港百年耐久性試験に学ぶ－、技報堂出版、1995
- [6] 田村浩一・近藤時夫：コンクリートの歴史、山海堂、1984
- [7] 国土交通白書 <http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h20/hakusho/h21/index.html>、国土技術政策総合研究所資料、平成 19 年度

構造物の維持管理と検査技術への期待

2010年6月30日

長岡技術科学大学

丸 山 久 一



内 容

1. コンクリートの略歴
 2. 塩害環境下にあるコンクリート構造物の維持管理
 3. 必要とされる技術と現状
 4. 開発が望まれる検査技術
-

1. コンクリートの略歴

セメント

- 古代セメント(BC.9000 天然セメント)
(1796 J.Parker ローマンセメント)
- 近代セメント(1824 J.Asplin(英)
ポルトランドセメント)
- 1865年頃 わが国に輸入
- 1872年 わが国最初のセメント工場設立

1. コンクリートの略歴

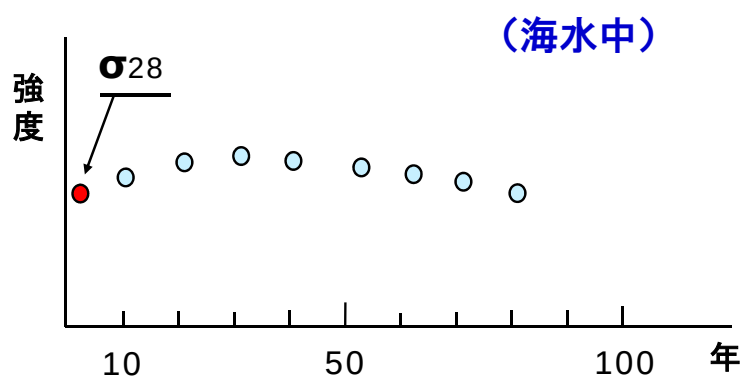
無筋コンクリート構造物

- 1889年 横浜港の築港着手(1896年完成)
(1892年 多数のひび割れ発生)
- 1896年 函館港改良工事着手
- 1897年 大阪港築港着手
(1899年 ひび割れ発生)
- 1897年 小樽港築港着手(廣井 勇)
(100年試験用供試体)

鉄筋コンクリート構造物

- 1895年頃 鉄筋コンクリートの導入
- 1903年 若狭橋(神戸市) 最古のRC橋
(スパン 3.7m 床版式桁橋)
- 1903年 琵琶湖疏水路上の弧形桁橋
(スパン 7.3m 田辺朔朗)
- 1929年 万代橋(新潟市)
(スパン 42.4m アーチ橋)

小樽港のコンクリートの経年劣化状況



コンクリートの劣化要因

□ 穏やかな劣化：

セメントの水和反応の停止、水和生成物あるいはCa溶脱による硬化ペースト組織の粗大化、脆化

□ 進行の速い劣化：

塩化物イオンの浸透(鉄筋の腐食)、アルカリ骨材反応、凍害、化学的腐食

コンクリートの耐用年数

□ 穏やかな劣化：

小樽港の例なら100年は充分保証できる。
RCおよびPC橋梁で50年以上供用しているものがある。

□ 急激な劣化：

建設後10～20年で劣化(ひび割れ、剥離等)が顕在化。40年～50年で架け替え。

2. 塩害環境下にある コンクリート構造物の維持管理

国土交通省

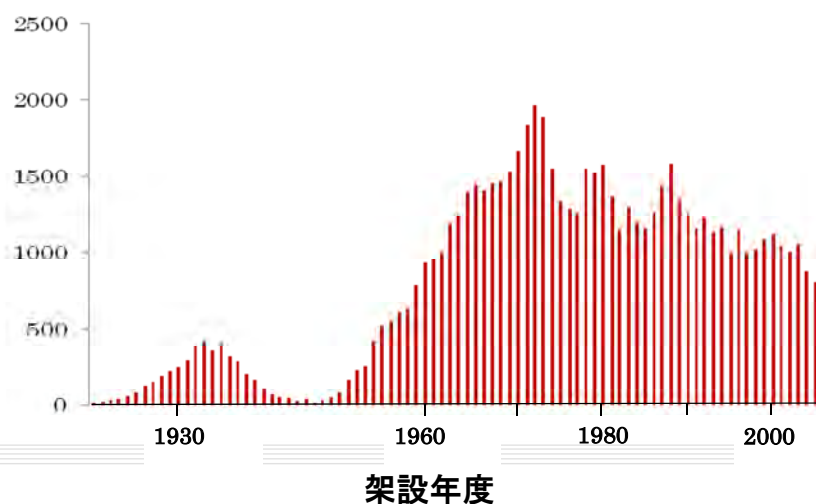
橋梁塩害対策検討委員会（H16～H21）

塩害橋梁維持管理マニュアル

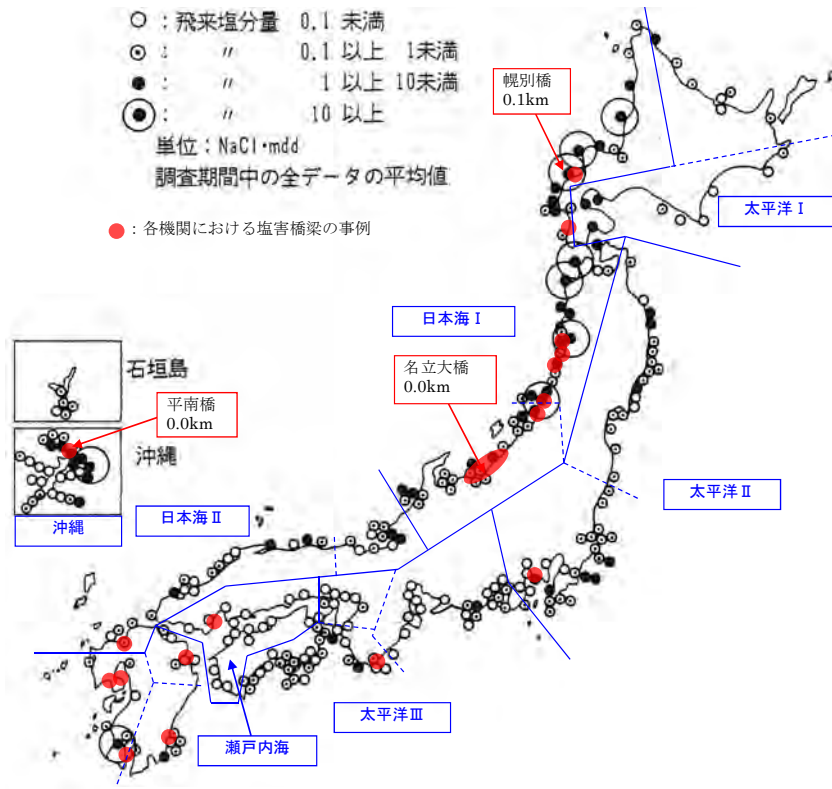
2. 維持管理

橋梁の架設数の変遷

架設橋梁数



2. 維持管理



2. 維持管理

維持管理マニュアルの要点

1. 構造物の現在の状態を**健全度判定**で評価
2. これまでの経緯（補修歴等）から**将来を予測**
3. 現在の知見に基づき**適切な対策**を実施
4. 対策の効果を**継続的に観察**

健全度の判定方法

健全度：偏に鉄筋の腐食状況による

グレード判定の資料

- 外観変状の区分け（5区分）
- 鋼材腐食状況の区分け（5区分）

外観変状の区分け

判定区分	損傷状況
①	ごく軽微なひび割れ、わずかな錆汁
②	ひび割れ、錆汁、剥離、部分的剥落
③	ひび割れ、錆汁、剥離、連続的な剥落
④	コンクリートの断面欠損、鉄筋露出
⑤	コンクリートの断面欠損、鉄筋の破断

判定には、過去の補修歴も考慮する

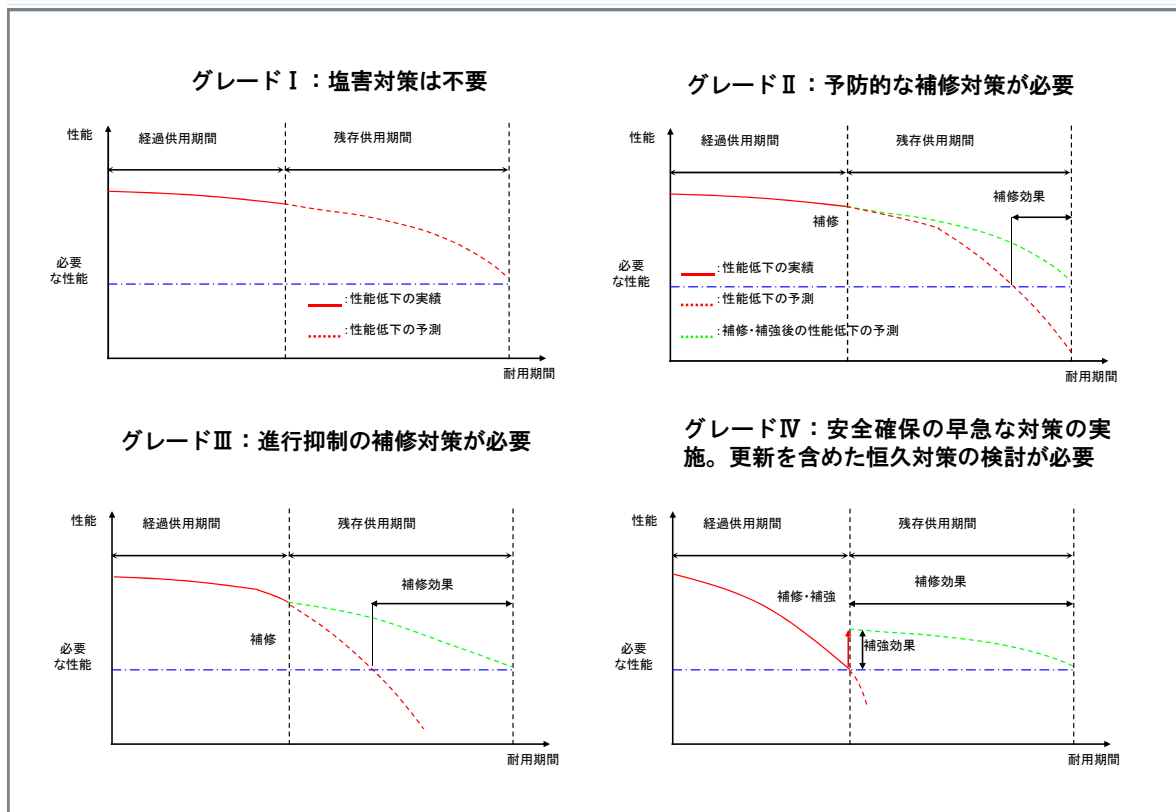
鋼材腐食の区分け（はつり調査）

判定区分	鋼材の腐食状況
①	腐食なし
②	ごく表面的な腐食
③	浅い孔食、軽微な腐食
④	断面欠損が著しい腐食
⑤	鋼材の破断

健全度のグレード

健全度	対策方法の分類
グレードⅠ	塩害対策は不要
グレードⅡ	予防的な補修対策が必要
グレードⅢ	進行抑制の補修対策が必要
グレードⅣ	耐荷性能の確認と安全確保のための早急な対策の実施。 更新を含めた 恒久対策の検討が必要

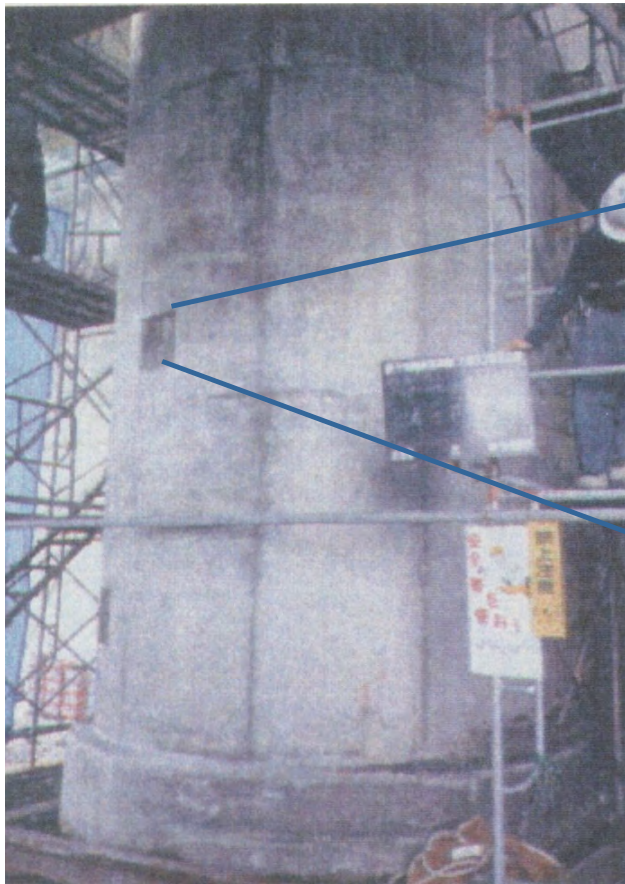
2. 維持管理



2. 維持管理

問題点

- ❑ 鉄筋の腐食状況の定量的な把握は、コンクリートをはつらないと分からない。
- ❑ コンクリート構造物の耐荷性能は、コンクリート中の全鉄筋の腐食状況によるので、部分的な検査では分からない。
- ❑ 実構造物において、鉄筋の腐食進行速度を予測する技術はまだない。



R C 橋 脚



R C 桁下面の点錆



はつり前

はつり後



目視による判定区分④
PC桁の軸方向鋼材の腐食に沿ったひび割れ。部分的に鋼材の露出も見られる。



PC鋼材に沿ったひび割れ





栈橋の床スラブ下面の鉄筋の錆

3. 必要とされる技術と現状

1. 鉄筋の腐食状況の把握
 2. 鉄筋の腐食進行速度の評価
 3. コンクリート構造物の耐荷性能の評価
 4. 補修工法の有効性の評価
 5. 補強工法の有効性の評価
-

3. 技術と現状

鉄筋の腐食状況の把握

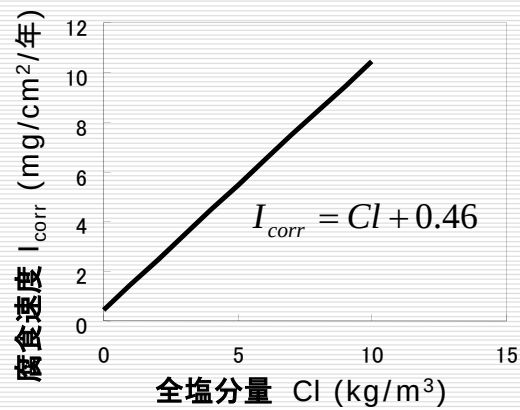
測定方法と有効性

- ☐ 自然電位の測定
 - ☐ 分極抵抗の測定
 - ☐ レーダー
-

鉄筋の腐食進行速度の把握

腐食速度→全塩分量の式

(土木学会338委員会報告書の**実験回帰式**)



コンクリート構造物の耐荷性能の評価

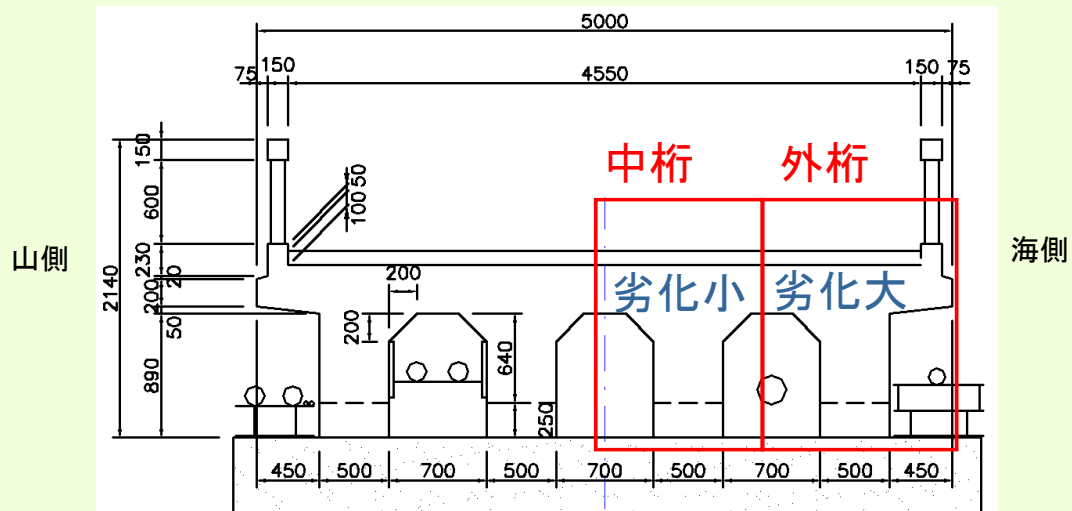
76年間日本海沿岸で供用され、塩害劣化が進行したRC橋梁から切り出した桁の載荷試験



試験体の切り出し箇所

海側の2主桁を切り出した。

試験体は2体。呼称は「中桁」・「外桁」とする。

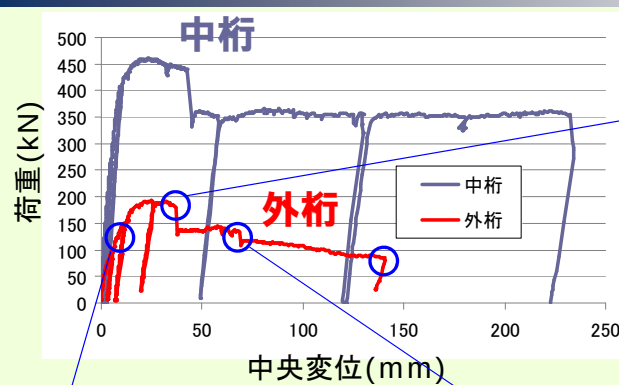


劣化状況(中桁の外観)





荷重—中央変位関係



中央変位=141mm
残存耐力が80kNまで低下したところで
載荷終了

増厚コンクリート剥離

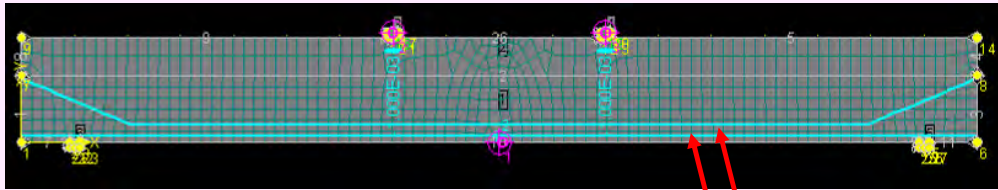


中央変位=68mm
海側+1m付近で鉄筋破断



FEM解析

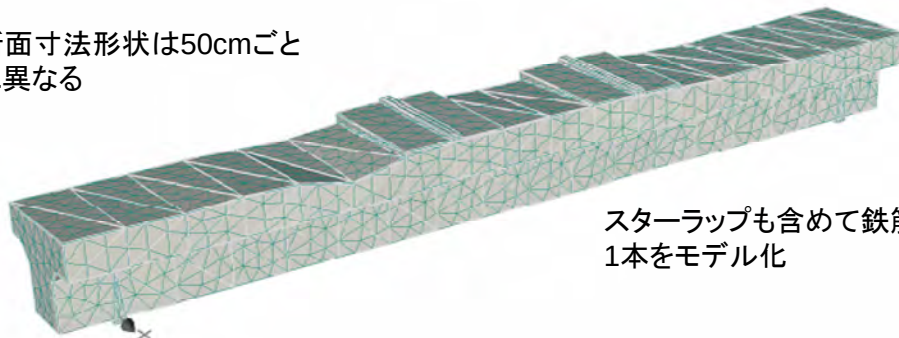
【ATENA2D】



鉄筋単体としてモデル化

【ATENA3D】

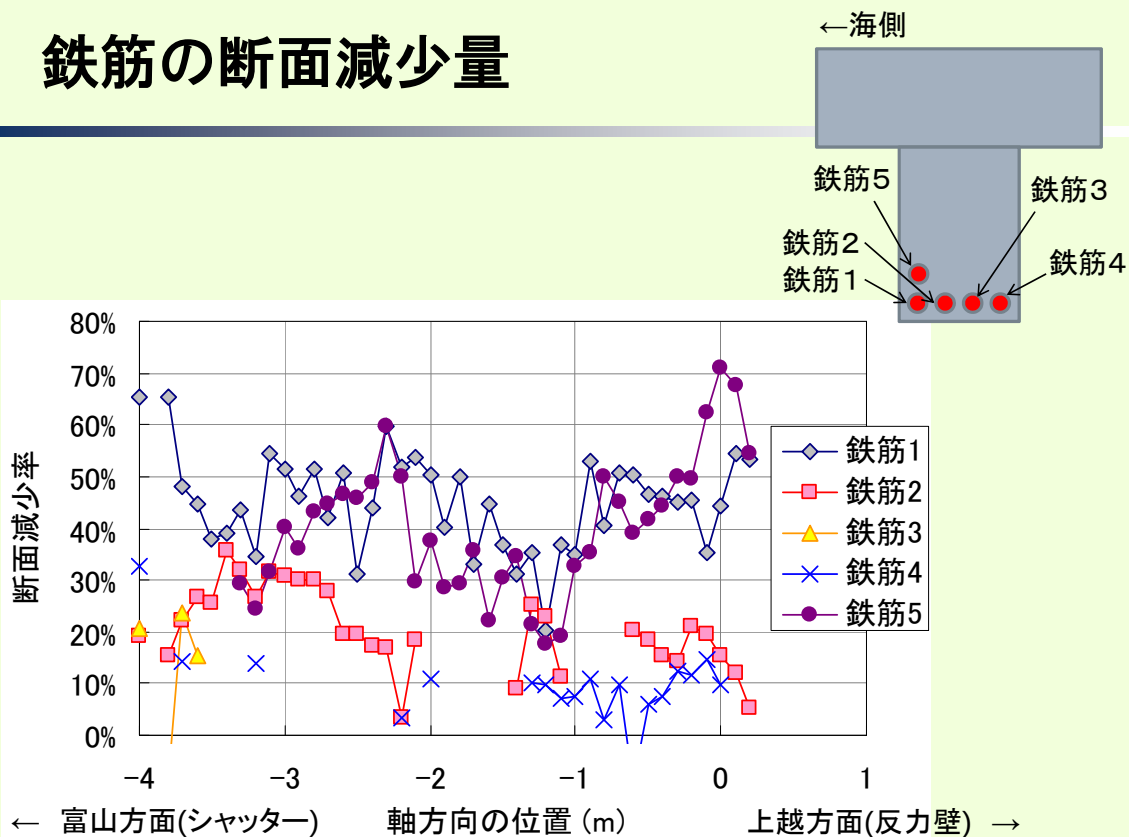
断面寸法形状は50cmごとに異なる



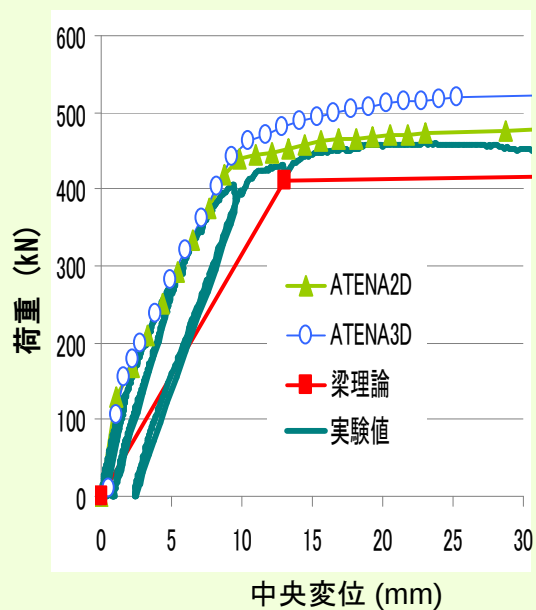
スターラップも含めて鉄筋1本1本をモデル化

解析モデルを単純化しても差し支えないことを確認

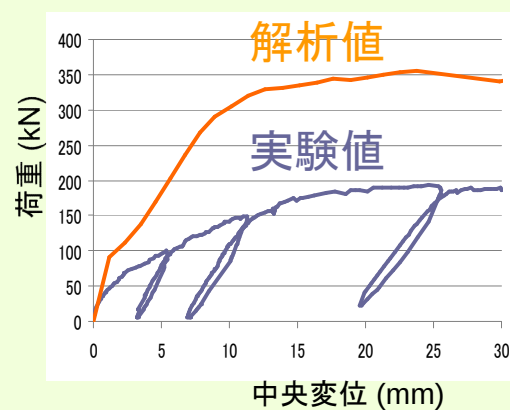
鉄筋の断面減少量



解析結果と実験結果の比較（事前解析）



中桁（劣化度は中程度）



外桁（劣化度は大きい）

山側

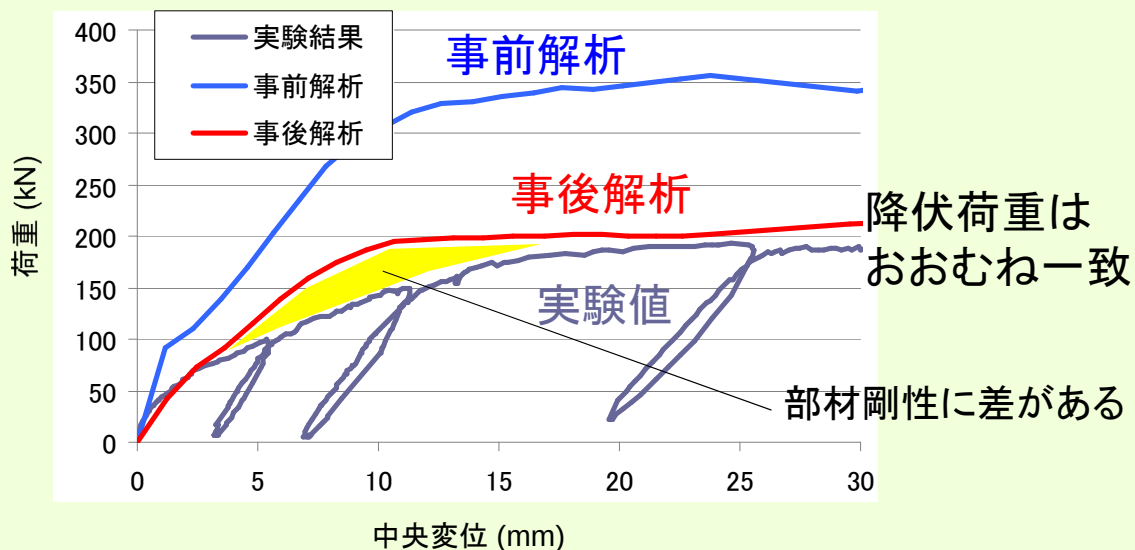
事前解析で考慮していない

モルタルとコンクリートの
境界は、鉄筋の配置面

継ぎ手露出

外桁の実験値と解析値の比較（事後解析）

事後解析：継ぎ手が露出した鉄筋を除去



3. 技術と現状

補修工法の有効性の評価

補修工法

- ☐ 表面塗装
- ☐ 断面修復＋表面
- ☐ 電気防食

3. 技術と現状

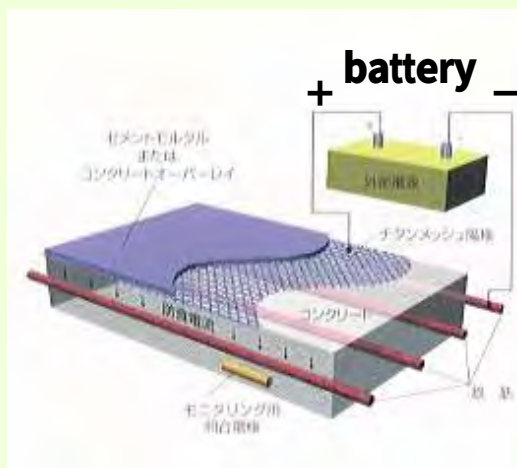
電気防食工法

チタンメッシュ方式
チタングリッド方式
チタンリボン方式
チタン溶射方式

外部電源

流電陽極（亜鉛板）方式

3. 技術と現状

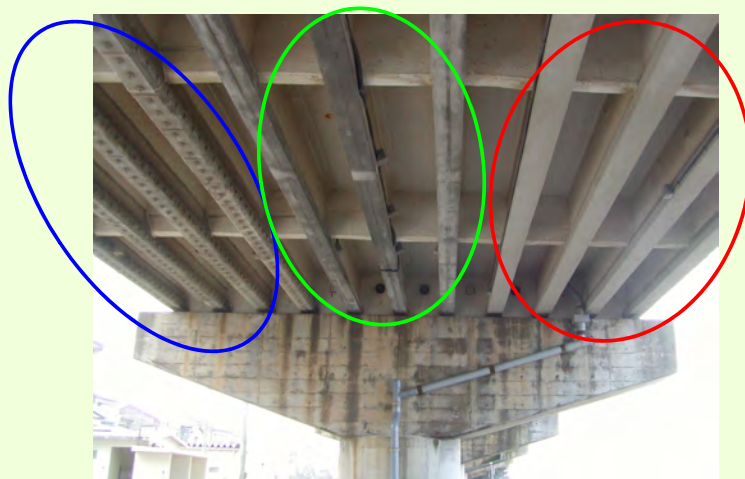


チタンメッシュ方式

適用工法と防食対象桁(第8径間)

適用後12年

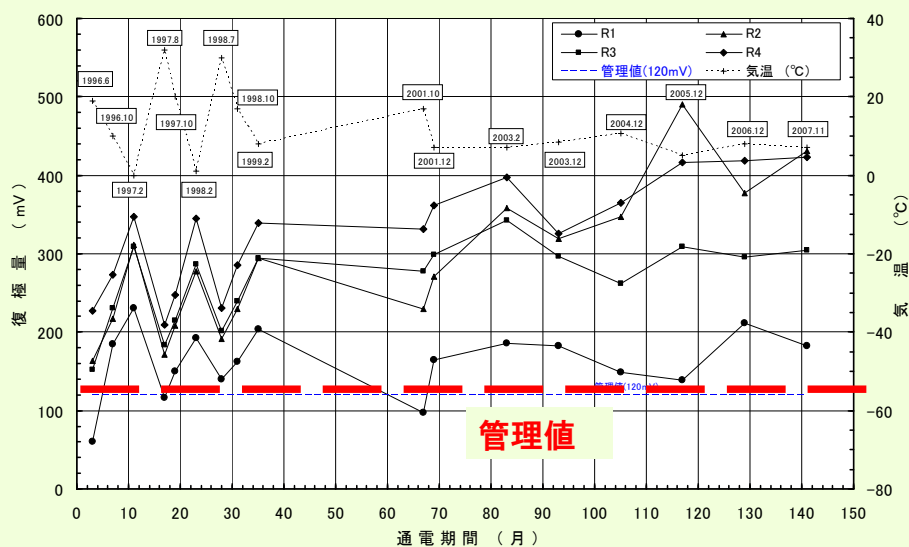
適用工法	陽極の形状	防食対象桁		備考
チタンメッシュ工法	面状陽極	海側	G8, G9, G10, G11	外部電源方式
チタングリッド工法	帯状陽極	中間	G5, G6, G7	
流電陽極工法	面状陽極	陸側	G1, G2, G3, G4	犠牲陽極方式 (亜鉛シート)



3. 技術と現状

評価方法（復極量）

チタンメッシュ工法

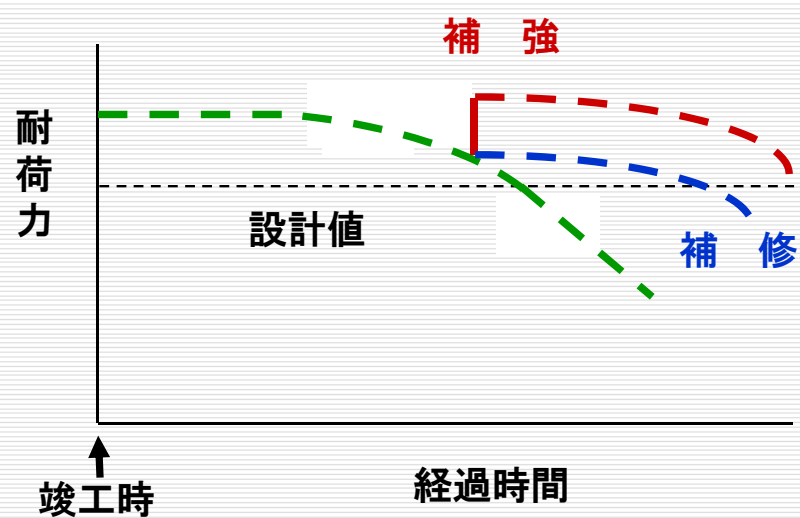


補強工法の評価

補強工法

- 断面修復＋FRPシート
- 外ケーブル工法

評価方法（耐荷力）



4. 開発が望まれる検査技術

□ 鉄筋の腐食状態を把握できる技術

(Better)



はつり	→	非破壊
定性的	→	定量的
局部的	→	全長にわたって
平均的	→	ばらつきの状態
部分的	→	全鉄筋
1本の桁	→	全桁

ご清聴ありがとうございました。
