

委員会報告

「コンクリート構造物の補修工法研究委員会報告」

幹 事 大賀宏行（東京大学生産技術研究所）

1. 委員構成

委員長：魚本健人（東京大学生産技術研究所）

顧問：蒔田 實（日瀝化学）

幹 事：伊部 博（小野田リフレッシュ事業部）

米澤敏男（竹中工務店技術研究所）

大賀宏行（東京大学生産技術研究所）

委員：阿部道彦（建設省建築研究所）

田村 博（日本建築総合試験所）

上田多門（北海道大学土木工学科）

出村克宣（日本大学建築学科）

宇治公隆（大成建設技術研究所）

平松和嗣（日本電信電話建築部）

笠井 浩（鹿島技術研究所）

前田孝一（千葉大学建築学科）

金津 努（電力中央研究所我孫子研究所）

守屋 進（建設省土木研究所）

上條達幸（ショーボンド建設首都圏本部）

守屋正裕（大林組技術研究所）

坂井悦郎（電気化学工業特殊混和材事業部）

山住克巳（鉄道総合技術研究所）

櫻井 宏（北見工業大学開発工学科）

結城正洋（首都高速道路公団）

武若耕司（鹿児島大学海洋土木開発工学科）

2. 委員会の目的

本州四国連絡橋、東京湾横断道路、大規模地下空間の開発、ウォーターフロントの開発等、最近のビッグプロジェクトの推進により、従来に比べ厳しい環境下において鉄筋コンクリート構造物を建設する場合が増え、鉄筋コンクリート構造物の耐久性が重要な検討課題となっている。新たに建設する構造物に対しては、高い耐久性を確保する方法について種々検討されているが、既存の構造物に対しては、各種の要因により劣化した構造物を取り壊して、新規構造物へと取り換える方法と、劣化箇所を補修することにより延命策をとる方法とがある。この際、新規構造物へ取り換えるか、もしくは補修を行うかの判断が重要であるとともに、補修を行う場合には、どのような材料、工法を用いるか、補修後の耐久性がどの程度であるかを判定することが必要となる。しかし、補修材料についての評価方法はいくつも提案されているものの、補修を施した鉄筋コンクリート構造物に対しての評価方法が確立されていないため、補修材料供給会社や補修施工会社独自の判断で補修が行われ、補修効果についての評価は十分に行われていないのが現状である。また、補修工法の効果に対して、どの要因がどの程度寄与しているかについても定量的な検討が行われていない。

本委員会は、鉄筋コンクリート構造物に劣化を引き起こす要因を塩化物による鋼材腐食に限定し、従来から行われているコーティングに代表される補修工法を定量的に評価するとともに、より望ましい補修工法を確立することを目的として以下に示す項目について検討を加えた。

- ① 委員会で計画した各種要因分析のための試験体と、全26社の補修材料供給会社および補修施工会社が独自の材料、工法により補修を施した試験体の海洋環境下への暴露実験
- ② 既往の論文・報告の調査による現在使われている補修材料や補修工法の特性、効果、評価

方法等についての現状報告の作成

③補修された鉄筋コンクリート構造物を対象とした補修効果の解析的な評価

3. 委員会の活動

3. 1 はじめに

「委員会の目的」で記した3つの検討項目に対応し、以下に示す3つのワーキンググループ(WG)を設置した。全体委員会とは別に各WG作業委員会を開催し、それぞれの項目について検討を加え、全体委員会で各WGにおける検討事項について討議を重ねてきた。ここでは、全体委員会での討議を踏まえ各WGにおいて検討した項目について報告する。

①暴露WG

委員構成：米澤主査、伊部、宇治、大賀、笠井、上條、守屋(正)の各委員

②調査WG

委員構成：伊部主査、阿部、金津、平松、守屋(進)、山住、結城、米澤の各委員

③解析WG

委員構成：大賀主査、上田、坂井、櫻井、武若、田村、出村、前田、守屋(正)、米澤の各委員

3. 2 各WGの活動

(1) 暴露WG

暴露WGでは、実用化されている補修工法の性能の評価と補修工法の効果に寄与している諸要因を明らかにする目的で、同一形状・寸法で塩化物により劣化を受けたコンクリート部材に補修を施した試験体を海洋環境下に暴露し、経時的に調査を行った。補修工法としては、「損傷箇所の被りコンクリートの撤去⇒鉄筋の除錆ケレン⇒防錆処理⇒断面修復⇒コンクリート表面のコーティング」を基本工程とした工法を対象とした。

海洋暴露の実験は、伊豆海洋暴露実験場(写真-1)を使用した。この実験場は波打ち際であり、主たる環境条件とそれによる劣化促進要素および評価される補修材の性能は定性的に表-1のように想定される。

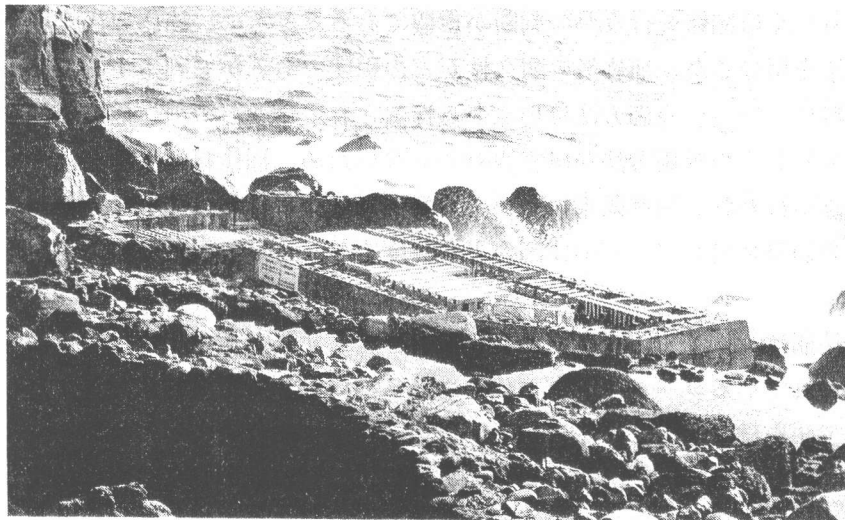


写真-1 伊豆海洋暴露実験場

表-1 暴露環境条件と補修材料・工法に及ぼす影響

環境条件	促進要素	評価される性能
波しぶきがかかる	塩分の浸透	遮塩性
紫外線が多い	コーティング材の劣化	耐候性
乾湿繰り返しを受ける	水分、酸素、塩化物の供給	防水性、透気性
強い波浪を受ける	物理的衝撃と摩擦	耐損傷、耐摩耗性
気温が高い	補修材の熱劣化、腐食反応速度	鉄筋周囲の防錆力

補修工法を対象とした試験のため、鉄筋の腐食被害が発生して補修した状態をモデル化した試験体を用いた。試験体の形状を図-1に示す。鉄筋の腐食要因としては、コンクリート中に有害量の塩分が存在し、かつ被り厚さが小さい条件を想定した。また、補修工法を適用する箇所の鉄筋は、塩水塗布によって予め腐食させた。

試験は、本委員会で計画した各種要因分析のための基礎データ取得試験と全26社の補修材料供給会社および補修施工会社が独自の材料、工法により補修を施した試験体による実用化補修工法性能評価試験に分かれるが、補修を施した試験体の形状は同一のものとした。基礎データ取得試験においては、切欠き部の有無（補修の有無）、鉄筋の防錆処理の有無、補修材の種類（普通モルタル、ポリマーセメントモルタル、エポキシモルタル）、塗膜の有無と厚さ（90, 500 μ m）の影響について検討を加えた。基礎データ取得用試験体の種類を表-2に示す。

試験体の主な製作条件を以下に示す。

- 1) コンクリートの配合条件：水セメント比 ----- 60%
- 最大粗骨材寸法 --- 15mm
- 混和剤 ----- AE剤
- 塩分添加量 ----- 0 および 2.4kg/m³
- (CaCl₂を練混ぜ水に溶かして添加)
- スランプ ----- 12cm
- 目標空気量 ----- 4%

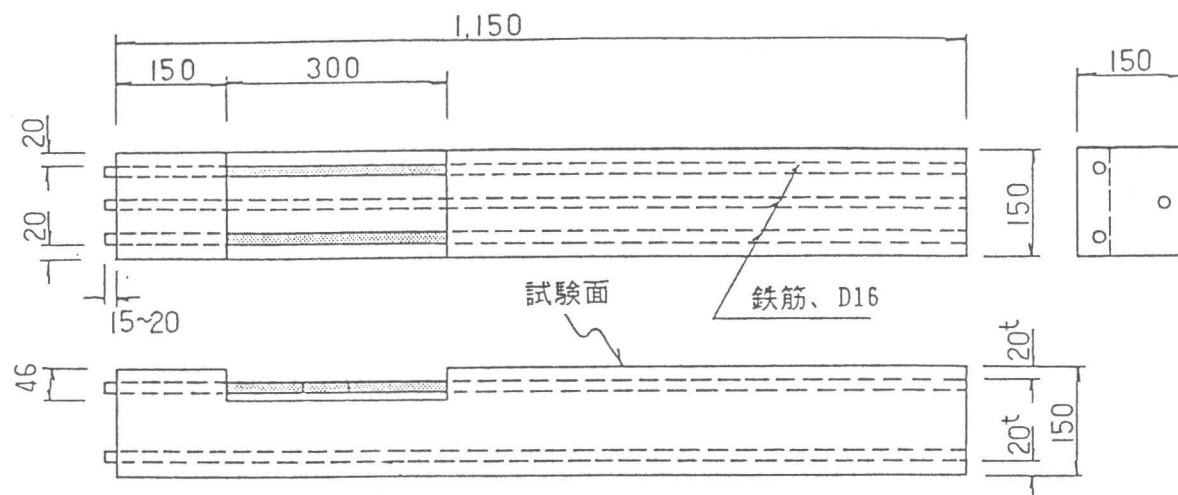


図-1 試験体の形状

表-2 基礎データ取得用試験体の種類

試験体記号	切欠き	防 錆 処 理	補 修 材	塗 膜
A-1	無	無	無	無
B-1	有	無（錆落としのみ）	普通モルタル	無
C-1	有	無（錆落としのみ）	普通モルタル	90 μ m
C-2	有	無（錆落としのみ）	普通モルタル	500 μ m
D-1	有	ポリマーセメント	ポリマーセメントモルタル	90 μ m
D-2	有	無（錆落としのみ）	ポリマーセメントモルタル	90 μ m
E-1	有	エポキシ	エポキシモルタル	90 μ m
E-2	有	無（錆落としのみ）	エポキシモルタル	90 μ m
F-1	有	無（切欠き部の錆落としのみ）	普通モルタル	90 μ m

2) 鋼材の種類 : 異形鉄筋 (SD30A、D16)

3) 補修面以外の被覆 : 補修工法施工面を除く面は全面被覆を行う。ただし、被覆材有無の効果の評価するための基礎データ取得用試験体の場合には、被覆を行わない試験体も作製した。

なお、圧縮強度は材令7日で238kgf/cm²（塩分添加量0kg/m³）、260kgf/cm²（塩分添加量2.4kg/m³）、材令28日で363kgf/cm²（塩分添加量0kg/m³）、358kgf/cm²（塩分添加量2.4kg/m³）であった。

コンクリート打設後翌日に脱型し、7日間湿布養生を行い、以後気乾養生を行った。露出部の鉄筋は塩水を繰り返し塗布することにより錆を発生させた。補修作業終了後、約2週間養生を行い暴露に供した。なお、補修作業は補修面を垂直にして行った。原則として同一場所において、各社が材料および施工機器を持ち込み補修作業を行った。

補修施工を行った会社からは、作業時の写真、補修工法および補修材料の特徴、補修材料名と主成分、標準使用量、施工手順、補修工事費の概算を提出していただいた。補修工事費の概算の算出に関しては、施工対象面積を100m²、はつりを必要とする箇所の延べ面積を10m²、はつり深さを40mm、錆処理（錆落としおよび防錆）を必要とする鉄筋の延べ長さを100m、断面修復の総量を0.4m³とし、垂直面の施工で、足場費用、電気、水道代は含めない条件とした。

塩分添加量0kg/m³のもの1体、2.4kg/m³のもの2体の計3体の試験体に補修工法を適用した。このうち、海洋暴露用に2体（塩分添加量0kg/m³と2.4kg/m³）を使用し、残り1体（塩分添加量2.4kg/m³）を比較のため内陸（茅ヶ崎）の一般屋外暴露用に使用した。海洋暴露では、試験体の補修施工面を下にして、暴露架台に上下2段（塩分添加量0kg/m³の試験体を上段、2.4kg/m³の試験体を下段）に固定した。固定用の金具はすべてステンレス鋼製とした。

外観調査および鉄筋の電気化学的性質を定期的（約半年毎）に行い、変状の有無とその種類、発生状況および程度を記録した。外観調査の項目と調査方法の概略を表-3に示す。塗膜の無い

表-3 調査項目と調査方法

調査項目	対象面	調査方法
外観写真	全面	試験体の外観を写真撮影する。顕著な変状（劣化症状）が認められた場合には、スケールを添えてクローズアップの撮影も行う。
塗膜面の調査		
白亜化	上段上面	目視および指触で塗膜風化物（白色粉末状）の発生有無を調査する。
汚れ洗浄性	全面	保護塗装面をウェスで水拭きし、汚れの残留状態を目視調査する。
光沢	上面	軽く水拭き後に、携帯型光沢度計を使用し、JIS K 5400の60度鏡面光沢度を3～5箇所測定する。
色差	上段上面	携帯型色差計を使用し、3箇所でL、a、bの色特性値を測定する。
ふくれ	全面（4面）	目視観察でふくれの有無と発生部位、大きさを調査してデータシートに記録する。
ひびわれ	全面（4面）	目視観察でひびわれの有無と発生部位、程度を調査し、データシートに記録する。
はがれ	全面（4面）	目視観察で保護塗膜のはがれを調査し、発生部位と大きさをデータシートに記録する。
ハンドリング傷	全面（4面）	ハンドリングに伴う塗膜の損傷が認められた場合には、参考までに部位と箇所数をデータシートに記録する。
コンクリート・鉄筋		
発錆	全面（4面）	鉄筋からの発錆の有無、錆の流出状況を目視調査してデータシートに記録する。
ひびわれ	全面（4面）	コンクリートや補修材のひびわれの有無とその程度（幅、長さ、部位）を目視調査し、データシートに記録する。
浮き・剥離	全面（4面）	コンクリートや補修材の浮き・剥離の有無とその様子を目視調査しデータシートに記録する。
その他	全面（4面）	上記の項目以外に、変状が認められた場合には、その内容と様子を記録する。

試験体については、鉄筋の自然電位と分極抵抗、液抵抗を100mmまたは150mm間隔で測定した。塗膜のある試験体に対しては、補修工法施工面の中央に幅1mの濡布をかぶせ、試験体中央に電極を設置して、鉄筋の自然電位と分極抵抗、液抵抗を測定した。この方法により試験体にかぶせた濡布の範囲における塗膜の欠陥やピンホールの有無を評価できるものと考えられる。

(2) 調査WG

JCIの防食研究委員会に取りまとめた「鉄筋腐食による損傷を受けたコンクリート構造物の補修技術 -技術の現状-」（1989年1月発行）作成時に調査した文献以降の論分、報告を調査し、最近の補修に関する研究、報告の動向と補修材料・工法の有効性について取りまとめている。セメント技術年報、土木学会年次学術講演会、日本建築学会大会、JCI年次大会において1986年から1991年の6年間に発表された論文、報告を調査対象とした。これらの文献により、劣化要因の種類、対象物（試験研究、実構造物の調査）、条件（自然暴露試験、促進試験）、補修の有

無、補修材の種類、補修工法等について調査を行った。その結果、検討されている補修材は表面被覆材に関するものが最も多く、次いで含浸材となっていた。また、補修を行う場合、各種材料を組み合わせて用いる場合が多いため、システムとして検討されているものが多かった。シンポジウムでは、これらの調査研究の動向をまとめるとともに、各補修材料の効果、機構に関する新しい情報を取りまとめ、補修材料・工法の選定に関する提案をする予定である。

(3) 解析WG

既往の研究を調査することにより、提案されている各物質の移動速度式、拡散係数をまとめ、コンクリートにおける鉄筋の腐食性状に関する解析手法の問題点と解析に必要なパラメーターを明確にし、コンクリート構造物を補修した場合の鉄筋の腐食性状に関する解析的研究の現状についてまとめている。さらに、鉄筋の腐食に関する基礎方程式を確立し、このモデルを用いて腐食性状に及ぼす塗膜、補修材の効果、塩化物の影響等について解析的に検討を加えている。

シンポジウムでは、コンクリート構造物における補修効果に関する解析的研究の現状とWGにおいて検討を加えたモデルを用い、塗膜および補修材の鉄筋腐食に及ぼす効果について解析的に検討を加えた結果について報告するとともに、今後の課題について報告する予定である。

3. 3 シンポジウムの開催

本委員会では3つのWGを設置し、それぞれの項目について検討を加え、全体委員会における討議を重ねることにより委員会報告書の作成を行っているが、委員会報告を兼ね下記のような要領でシンポジウムを開催することとした。シンポジウムでは、委員会報告に加え、コンクリート構造物の補修工法に関する研究論文または実構造物の適用例に関する報告であって、最新の結果を盛り込んだものについての講演を予定している。委員会報告では、3. 2で述べた海洋暴露試験結果の中間報告、鉄筋腐食に関する補修工法の現状報告、補修されたコンクリート構造物の鉄筋腐食に関する解析法の問題点の提起と解析モデルの提案を行う予定である。

日時：平成4年10月23日（金）

場所：東京・サンケイ会館ホール

4. あとがき

研究委員会で定められた2年の期間では、海洋暴露試験を1年半程度しか行えなかったが、塗膜および補修材の種類、塗膜の有無の影響が認められた。しかし、さらに継続して暴露を行うことにより、劣化が進行し、補修効果を明確に判断できるものと判断し、新たに委託の研究委員会を設立し研究を継続することになった。新しい委員会では、海洋暴露試験を継続し（定期的に塗膜および補修材の劣化程度、鉄筋の電気化学的性質等を測定）、補修効果について実験的に検討を加えるとともに、最終的には外観調査に加え暴露試験体を解体し、鉄筋の腐食状況の目視観察、発錆面積の測定、腐食減量の測定、コンクリート中の塩化物イオン濃度の測定を行う予定である。また、提案した解析法についてもさらに検討を加え、モデルの修正やより良い解析法について検討を加える予定である。