

SEM, EPMA を用いた劣化調査による構造物改修工費の縮減

広島県 広島地域事務所建設局 廿日市支局 百合野 博司
 広島県 広島地域事務所建設局 廿日市支局 坂上 美穂
 (株)ヒロコン 高本 明
 (株)ヒロコン 正会員 岩原 英司
 (株)太平洋コンサルタント 正会員 ○小川 洋二

1. 目的

供用から 34 年が経過した、広島湾に近接する国道と交差する陸橋取付擁壁の劣化補修に関する調査・診断を実施し、補修設計を提案した。一次目視調査では、アルカリ骨材反応（以下 ASR）特有のひび割れが目立ち、内在鉄筋に沿った浮き、コンクリートの剥離、鉄筋の剥離が観察された。また、ASR によるゲルと見られる析出物も数か所から確認されたことから、ASR による劣化損傷の可能性が高まった。さらに実施した詳細調査として、コンクリート強度や中性化深さ、および鉄筋状況の測定のほか、走査型電子顕微鏡（SEM）および電子線マイクロアナライザ（EPMA）による調査を加えた。その結果、同じ構造物でありながら、場所ごとに劣化の進行状況が異なることが判明し、部位ごとに補修計画を見直すことで、工費予算が大きく縮減できる補修設計を提案できた。本稿では、その事例について紹介する。

2. 対象構造物

構造物の諸元と詳細調査を行った試験項目について、表 1、表 2 にそれぞれ示す。構造物は海から数百メートルの場所に位置し、日射、降雨、飛来塩分の影響を受ける環境に位置していた。

表 1 対象構造物諸元

記号	部位	形式	最大高さ (m)	側長 (m)
I	A2広島側-山側	扶壁型および、逆 T 型擁壁	10.6	300
II	A2大竹側-山側	逆 T 型擁壁	10.2	300
III	A1-海側	逆 T 型擁壁	7.5	150×2

表 2 調査項目

試験項目	試験目的	採取箇所	備考
中性化試験	中性化深さ	17	現位置
電磁誘導	鉄筋位置、かぶり、ピッチ	20	現位置
はつり試験	鉄筋径、かぶり	4	現位置
圧縮強度	コンクリート強度	8	室内
EPMA	塩化物イオン濃度、成分調査	9	室内
SEM-EDS	ASR確認、ゲル観察・組成特定	9	室内

3. 試験結果

表 3 試験結果

試験結果の概要を表 3 に示す。圧縮強度は、コアの最小結果（17.2N/mm²）が設計基準強度の 80%以上を確保しており、構造的には問題はない。鉄筋かぶりは、

記号	鉄筋かぶり (mm)	中性化深さ (mm)	圧縮強度 (N/mm ²)
I	60-80	10 (扶壁), 37-40	26.0-39.5
II	60-80	14-51	17.2-25.1
III	60-80	10-31	22.1-31.7
設計値	70	—	21.0

ほぼ設計通りであることが判明したが、中性化深さは、部位により鋼材までの中性化残りが 20mm 以下に到
 キーワード 補修設計, アルカリ骨材反応, 塩害, SEM, EPMA

連絡先 〒285-0802 千葉県佐倉市大作 2-4-2 (株)太平洋コンサルタント研究センター Tel. 043-498-3882

達していることが判明した。

3. 1 EPMA

塩化物イオン（以下 Cl）の浸透状況を把握する目的で EPMA を実施した。図 1 に代表例として記号 I（A2 広島側-山側ブロック 15）のマッピング結果の一例を示す。図 1 より、表面（図の上側）から約 40mm の範囲では炭酸化によりフリーデル氏塩が分解され、Cl 濃度が低い領域であり、そこから内部に進むにつれ徐々に Cl 濃度が増加し、表面から 55mm 付近で最大値（約 5kg/m^3 ）を示した。また Ca のマップにより貝殻の混入も判明し、海砂が使用されていたことが判明した。得られたピクセルごとの Cl 濃度データを深さ方向で平均化してプロット

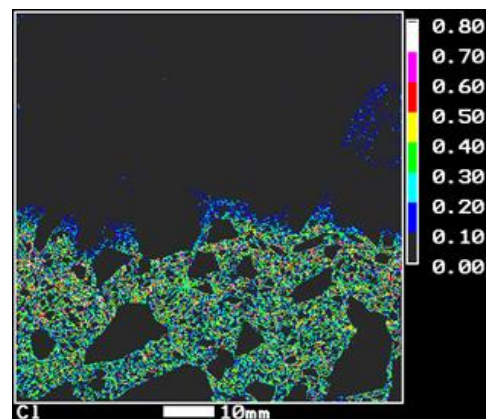


図 1 マッピング (Cl)

したものを図 2 に示す。図 2 より、中性化深さおよび鉄筋位置での Cl 濃度が判明し、鉄筋位置では 3kg/m^3 を超えており、発錆限界濃度とされる 1.2kg/m^3 を大きく超えていた。

3. 2 SEM-EDS

ASRを確認することを目的として SEM を用いてゲルの観察を行った。同時に EDS による元素の定性分析を行い、成分組成を調べた。それらの結果の一例を図 3、図 4 に示す。

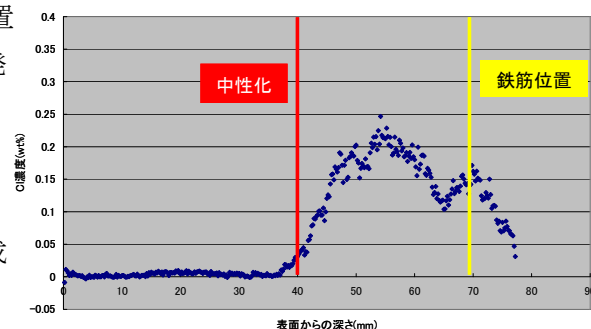


図 2 Cl 濃度分布

図 3 より、骨材とペースト界面に生成したゲルを確認し、図 4 より EDS 分析により、シリカを主成分とする「アルカリ-カルシウム-シリカ型」ゲルと判明した。

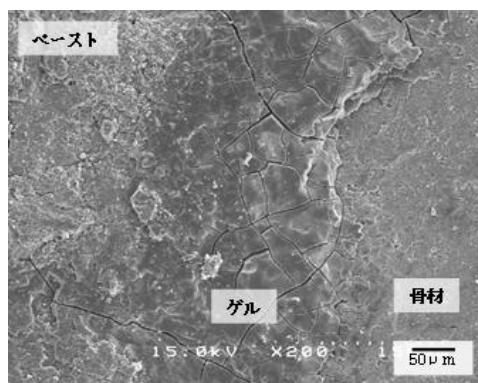


図 3 SEM 写真

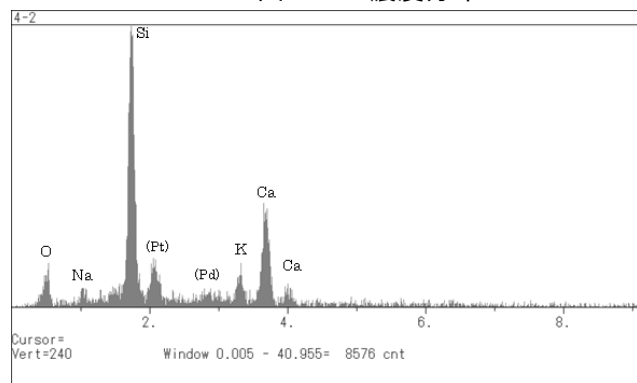


図 4 EDS 分析結果

4. 補修工法の選定

当初、ASR による損傷劣化を予想していたが、EPMA により、海砂の使用が判明し、内在塩分の濃縮による塩害劣化と推

表 4 判定結果と補修工法

記号	形式	判定結果	補修工法
I	扶壁型	健全であり補修の必要なし	通常点検
I	逆T型	加速期、早急な塩害補修対策がASR対策と併せて必要	WJはつり、吹付け工法による断面修復、表面被覆、化学的改善対策（防錆剤、リチウム浸透）
II		進展期、予防保全対策が望ましい	点検強化の実施
III			

定した。SEM においても ASR の進行を確認し、塩害による ASR 促進の複合劣化と診断した。一次調査時には全ての擁壁（4 面）に補修が必要と予想していたが、EPMA によりコンクリート内部の定量的な塩分濃度が把握でき、塩害劣化予測が可能となったため、表 4 に示すように補修を 2 面に限定できることが判明した。

5. コスト縮減

以上の調査・診断結果から、補修範囲を細かく算出することが可能となり、従来工法を用いた試算では、全擁壁を補修対象とした場合よりも、約 40% の大幅なコスト縮減計画が提案できた。現在、計画の一部は採用になり、補修工事が実施中である。

最後に、塩害、ASR、中性化調査は、小径コア（ $\phi 25\text{mm}$ 程度）でも実施できるよう検討が進められている。構造物への影響を小さくし、予防保全や、合理的な補修設計の提案につながる調査技術として今後期待される。