

アルカリ骨材反応による劣化被害を受けた 橋脚の耐震補強方法の検討

東京土木施工管理技士会
奥村組土木興業株式会社

現場代理人 田 中 良 介[○]
岡 本 泰 彦

1. はじめに

アルカリ骨材反応（以下、ASR）は「コンクリートのガン」とも言われ、構造物の耐久性を大きく損ねる原因となっている。近年、ASRによる劣化被害を受けた事例が数多く報告され、社会問題として取り上げられるようになった。ASRは、セメント・コンクリートに含有されるアルカリ分（NaとK）が非晶質のシリカなどの反応性鉱物を含む骨材と反応し、反応によって生じたアルカリシリカゲルの吸水・膨張により、コンクリート内部からひび割れを生じさせる。

今回、工事の対象となった神戸新交通ポートアイランド線（ポートライナー）の橋脚は、1978、79年に建設され、1981年頃から亀甲状のひび割れが入りはじめ、約8割の橋脚がASRを起こしていた。使用された骨材は、香川県小豆郡土庄町の豊島（てしま）産であり、後の調査でこの碎石は「国内で反応が最も顕著で有害である」という結果が得られている。豊島産の碎石は、戦後からコンクリート用骨材として使われ始め、最盛期の1970年代は年間3万tを関西中心（マンションなど）に出荷してきた。

ここでは、ASRによる劣化被害を受けた橋脚に対して、調査の結果をもとに耐震補強方法について検討した事例について紹介する。

2. 工事概要

新交通システムの下部工として供用されている築後25年の橋脚に耐震補強として、RC巻立てと落橋防止の取り付けが計画されていた。施工対象となった橋脚は、ASRによる劣化が生じていたことから、既存橋脚の劣化調査を行い、ASRに対する適切な処置を行ったうえで、耐震補強を行なわなければならなかった。

表-1 工事概要

工事名	神戸新交通ポートアイランド線耐震補強工事その2
発注者	神戸新交通株式会社
受注者	奥村組土木興業株式会社 神戸支店
工事場所	神戸市中央区港島中町地内
工 期	自) 平成17年11月17日 至) 平成19年 1月26日
工 種	工場製作工 1式 準 備 工 1式 耐震補強工 7基 復 旧 工 1式



写真-1 施工前

3. 現場における課題・問題点

施工対象となった橋脚では、ASR 対策として橋脚の地上部分のひび割れ（図-1）に対してエポキシ樹脂が注入され、躯体表面には軟質樹脂が塗装されていた。しかし、経年による水分の浸透により劣化が進行し、幅の大きいひび割れが生じていた（写真-2）。また、橋脚を供用しながら施工しなければならなかったため、設計されている耐震補強方法では、施工時の安全性や耐震補強効果が得られないことが問題となった。問題点を以下に示す。

- ① ASR が顕在化している構造物には、微細なひび割れや骨材との縁切れにより、チッピングなどによる、はつり深さの制御が難しく、工程への影響が大きい。
- ② 柱部では、強度の低下により柱基部の損傷が懸念され、上部工荷重を仮受けする必要がある、ベントの設置撤去による工程への影響が大きい。
- ③ 活線施工となるため、上部工をベントによって仮受けした場合、基礎地盤の沈下やベントのなじみなどにより軌道に悪影響を及ぼす恐れがあった。



柱 フーチング
写真-2 ひび割れ発生状況



写真-3 ひび割れ深さ調査状況

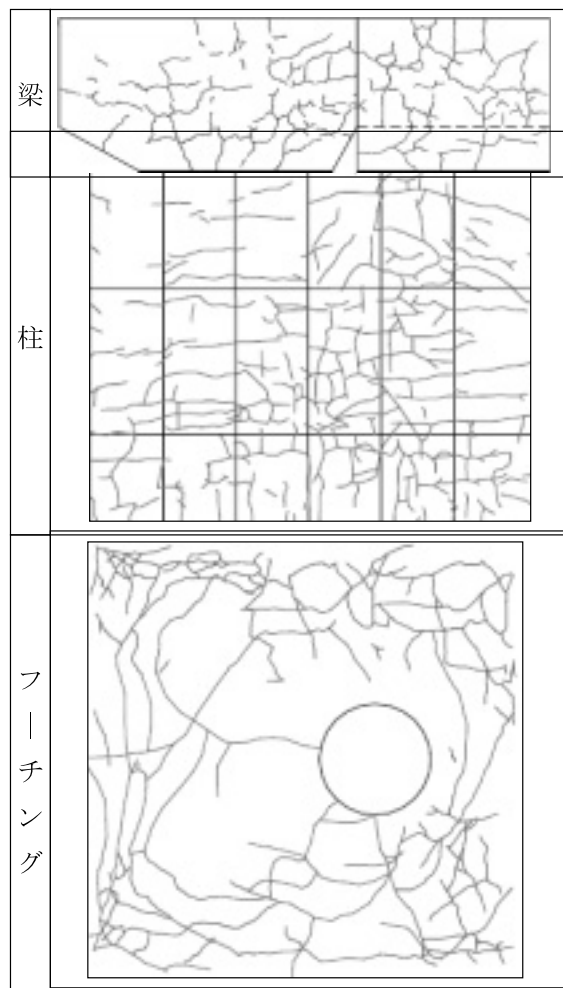


図-1 既存橋脚のひび割れ図

4. 対応策・工夫・改良点

「3.」で抽出した問題点を解決するために、既存橋脚の劣化の程度を把握することを目的として、以下の調査・試験を行った。

- ・強度試験（写真-4）・コアの目視観察（写真-5）・残存膨張量（写真-6）



写真-4 抜き取りコアの圧縮強度、ヤング係数測定試験

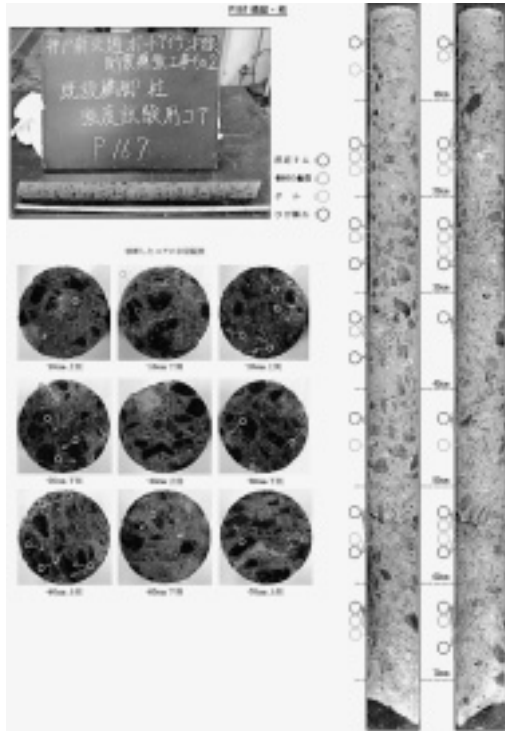


写真-5 抜き取りコアの目視観察

コア観察の結果、躯体表面からの深さに関係なく反応リム・ゲルが確認できた。今後の ASR による劣化の程度を短期間で評価する必要があったため促進養生試験（カナダ法）を行ったが、無害という結果となった。既存橋脚の強度については、圧縮強度だけでなく、ヤング係数も大きく低下していた。強度については、ひび割れの発生状況との相関がみられた。試験結果の概要を表-2 に示す。



写真-6 抜き取りコアの残存膨張量

「3.」で述べた問題点と調査した結果を踏まえて、耐震補強方法を提案し、発注者、設計会社との三者協議を繰り返し行った結果、耐震補強方法は、以下の内容に決定した。

◎フーチング、柱

圧縮強度やヤング係数の低下（表-2）を考慮した設計計算により、厚さ250mmのRC巻立てのみで十分であるという結果となった。しかし、経年による水分の浸透によって ASR に再劣化が懸念されたことから、ASR の進行抑制と既存橋脚の強度回復を目的として、ひび割れ注入（写真-7、8）を行った。

表-2 試験結果

		フーチング	柱	梁
ひび割れ	延長	400m	240m	60m
	幅	平均 2.0mm	平均 1.0mm	最大 0.5mm
	密度	10 個/m	6 個/m	5 個/m
強度試験結果	圧縮強度	平均 18N/mm ² (強度の低下は全体的)	平均 18N/mm ² (強度の低下は表面から 40cm)	平均 30N/mm ² (強度の低下は表面から 20cm)
	ヤング係数	平均 10000MPa	平均 12000MPa	平均 15000MPa



写真-7 柱部へのひび割れ注入状況 1



写真-8 柱部へのひび割れ状況 2



写真-9 柱部へのコンクリート打設状況

◎梁

梁は、RC 巻立てによる落橋防止の設置が主目的で、アンカー定着により作用力に抵抗する構造であった。しかし、強度低下に伴い、アンカー削孔長や本数の増加による対応では施工での信頼性に課題があり、危険が伴うと考え、「鋼板併用 RC 巻立て工法」を採用した。さらに、アンカーによる定着を期待できない分、鉄筋量が増加したため（写真-10）、コンクリートの充填性に問題が生じた。この問題を解決するために、配合を「27-8-20BB」から「27-18-15BB」へと設計変更した。梁部での施工状況を写真-11に示す。



写真-10 梁部の配筋状態



写真-11 梁部への打込み状況

5. おわりに

今回の工事では、ASR による劣化が顕著であったことから、多くの工種で設計変更の対象とすることができた。とくに、落橋防止の設置方法が問題となり、鋼板併用 RC 巻立てを採用したが、鉄筋量の増大によりコンクリートの充填性が懸念されるという新しい問題が生じた。しかし、当社の技術部門と協力し、迅速に対応でき、コンクリートの配合も設計変更とすることができた。

既存構造物を対象とする耐震補強工事などでは、構造物の形状、寸法だけでなく、劣化の程度を把握した上で、劣化の程度によっては補強方法を再選定し、施工時の安全性と橋脚の性能を確保することが重要であると考えられる。

ASR による劣化の生じた橋脚の調査を行った中で、これまでの事例や当現場での事例から、ASR の劣化過程と外観による区分は、表-3 に示すような関係があることを改めて確認することができた。

表-3 ASR における変状過程の区分の例（鉄道総合研究所）

劣化過程	外観による区分
潜伏期	ASR は発生しているが、外観状の変状が見られない。
進展期	ASR による膨張によってひび割れが発生し、変色、ゲルの滲出が見られる。 ・ひび割れ幅：0.2mm 以下のひび割れ。 ・ひび割れ密度：2 個／m 以下。 ・ひび割れが密な領域：部材総面積の 30% 程度。
加速期	ASR によるひび割れが進展し、ひび割れの本数、幅および密度が増大する。 ・ひび割れ幅：ほとんどが 0.2～0.5mm 以上のひび割れ。 ・ひび割れ密度：5 個／m 以下。 ・ひび割れが密な領域：部材総面積の 50% 以上。 ・静弾性係数の低下：50% 以上。
劣化期	ASR によるひび割れが多数発生し、構造物に段差、ずれなどが見られる。 ・ひび割れ幅：2mm 以上のものが認められる。 ・かぶりの部分的なはく離・はく落が発生する。 ・鋼材腐食が進行し、錆汁が見られる。 ・変位、変形が大きい。

*：現時点でひび割れに対するしきい値を設定することは困難であるが、鉄道構造物に関する文献及び事例、解析を参考に示した。



写真-12 施工完了