# 報告 ASR が発生したフーチングの補修・補強とモニタリング

奥山 和俊\*1・石井 浩司\*2・奥田 由法\*3・鳥居 和之\*4

要旨:橋脚の柱部や梁部に代表されるように,地上の構造物における ASR 劣化は数多く確認されており,その対策工法が実際に施工されている。しかし土中に埋設されている橋脚フ ーチング部に関する劣化事例の報告はほとんど無く,そのために抑制対策も確立されていないのが現状である。そこで本報告は ASR により劣化した橋脚フーチング部の劣化状況,対 策工法および ASR 抑制効果のモニタリング結果について述べるものである。適用した対策 工法はフーチングに対して外周並びに鉛直方向に PC 鋼材を配置・緊張する PC 鋼材巻立て 工法である。

キーワード:橋脚フーチング, PC 鋼材巻立て工法,膨張拘束効果,モニタリング

#### 1. はじめに

近年,アルカリシリカ反応(以後 ASR とする) による構造物の劣化事例が多数報告されており いろいろな対策工法が実施されている<sup>1)</sup>。従来, ASR 劣化ではコンクリートの圧縮強度や静弾性 係数の低下,鉄筋とかぶりコンクリートの付着 性能の低下が懸念されてきた。これらに加え近 年,ASR による膨張が長期にわたり継続するこ とや,それによるひび割れがコンクリート内部 にまで進展すること,さらに配力筋や折曲げ鉄 筋の曲げ加工部で鉄筋破断が生じている事例な どが報告され<sup>2)</sup>構造物の耐荷力にも影響を与え る劣化として大きな問題になっている。

一方,ASR 劣化構造物は橋脚の梁部,柱部, 橋台,擁壁,カルバートやロックシェッド等の 構造物で確認されているが,土中に埋設されて いる橋脚フーチング部に関する劣化事例の報告 はほとんど無いのが現状である。

本稿で報告する橋脚フーチング部は,もとも とASRにより劣化した梁部を打ち換える際に上 部構造を支柱で支持するための土中掘削時にお いて発見されたものである。ここではASRによ り劣化したフーチングの状況,対策の基本的な 考え方と対策方法および対策後のモニタリング について報告する。

2. 対象橋梁の概要

今回, ASR 劣化による補修・補強を実施した 橋梁の概要を以下に述べる。

また,写真-1に本橋梁の全体写真を,図-1に橋脚の構造一般図を示す。



「写真 - 1 橋梁の全体写真

橋 梁 名: 徳田 2 号橋位 置: 石川県能登有料道路

\*1 (株)ピーエス三菱 大阪支店 開発営業部 工修 (正会員)
\*2 (株)ピーエス三菱 土木本部 メンテナンス部 工博 (正会員)
\*3 アルスコンサルタンツ(株) 地域整備部 工博 (正会員)
\*4 金沢大学大学院 自然科学研究科社会基盤工学専攻教授 工博 (正会員)

# 完成年月:1980年

橋梁形式:上部工 9 径間単純 P C ポストテン ション T 桁橋

> 下部工 逆T式橋台 矩形柱張出式橋脚

橋 長:302.0m

橋脚高さ:約27m

3. フーチングの劣化調査

3.1 外観劣化状況

フーチングは図 - 1 に示すように底面の保護 コンクリート上面部分まで掘削した。天端面は 全面にわたってひび割れが発生していた。ひび 割れ幅は約 5mm 程度で,一部では亀甲状のパタ ーンを呈していた。特にフーチング天端面と側 面が接する隅角部には多数のひび割れが発生し ており,コンクリートが脆弱化している箇所も あった。

隅角部においては前述の脆弱化ならびに土砂 掘削等の影響によりコンクリートが部分的に剥 離しており、その一部では鉄筋が露出していた。 フーチング側面の上方は天端面と同程度の密度 でひび割れが発生しており,特に起点側および 終点側のコーナー部には最大で幅 20mm に達す る水平方向の亀裂が生じていた。この箇所の鉄 筋はほとんどの鉄筋が破断している状態であっ たため、このような亀裂が生じたものと思われる。 側面は下方にいくにしたがってひび割れ幅およ び本数も少なくなる傾向にあった。また,全周 にわたって隅角部をはつり取って露出した鉄筋 の曲げ加工部は,ほとんど破断していた。写真 - 2 にフーチング上面の劣化状況, 写真 - 3 に コーナー部および側面の劣化状況を示す。 3.2 コアの劣化状況

外観の劣化状況を考慮してフーチングの鉛直 方向および水平方向から,図-2に示すような 位置から直径100mm,長さ約2.5mのコアをそれ ぞれ2本採取した。水平コアは何れも表面から 20~30cmの位置で破断した状態で採取され,破 断面には浸水した痕跡が確認された。





写真 - 2 フーチング上面の損傷状況

また,粗骨材の周囲のみならず骨材の内部ま で白色析出物が多く観察された。これは,ASR により骨材がひび割れした後侵入したアルカリ 分と反応した結果,ゲルが生成したものと考え られる。コア断面を写真-4に示す。

3.3 コンクリートの圧縮強度および静弾性係数

採取したコアを用いてコンクリートの力学的 性状を把握するため圧縮強度試験ならびに静弾 性試験を行った。コア No.1 は表面付近から,コ ア No.2 およびコア No.3,No.4 は表面から約 1.3m の深さについて試験を行った。コアの圧縮強度 と静弾性係数/圧縮強度比の関係を図 - 3 に示 す。いずれの試験体も圧縮強度は設計基準強度 (21N/mm<sup>2</sup>)に近いが,静弾性係数の低下が著し く,表面付近のコアは道路橋示方書が示す値の 45%まで低下しており外観観察結果との相関性 が認められた。

3.4 コンクリートの残存膨張量

コンクリートの残存膨張性を確認する目的で 促進養生試験を実施した。試験方法はカナダ法 およびデンマーク法とし,それぞれ4本の試料 を用いて行った。なお,試料は前述の圧縮強度 および静弾性係数測定用のコア No.3, No.4 の表 面付近と表面から約2.0mの深さから採取したも のである。残存膨張性試験の結果を図 - 4 およ び図 - 5 示す。

カナダ法では,コア No.3 から採取した試料が 表面および断面奥ともに大きく膨張し,その膨 張率は養生材齢28日時において0.35%程度にま で達した。コア No.4の試料の膨張率は小さなも のであったが,表面から採取した試料の膨張率 は養生材齢28日において0.2%に達した。一方, デンマーク法による試験結果では,いずれの試 料も残存膨張性不明確の判定となった。試験方 法により多少の違いがあるが100mmのコアで は NaOH 溶液および NaCI 溶液が試験体中心部ま で浸透するためには判定材齢よりも長い日数が 必要であり,コア内部まで浸透していない事か ら判断すると,フーチングコンクリートの残存 膨張性は高いと考えられた。



写真 - 3 コーナー部および側面の損傷状況



\_\_\_\_ 面\_\_\_

図 - 2 コア採取位置



写真 - 4 採取コアの断面(100mm)

### 4. 補強方針

目視調査の結果,橋軸・直角方向上面主鉄筋 のコーナー部における曲げ加工部において多数 の鉄筋破断が認められた。しかしながら,フー チング全体としては脆弱部を除き圧縮強度はほ ぼ基準値以上に保たれていること,フーチング 側面下方部は保護コンクリート(図-1参照) により施工当初から拘束されていることより下 面の鉄筋(フーチングの主鉄筋)は健全であろ うと推測したことから,適切な対策を施せばフ ーチングの耐荷力の確保は可能であると判断し た。対策の基本方針としてはフーチングの構造 体としての機能回復をめざすとともに,ASR の 膨張を拘束する工法をとることとした。

これらを満たす工法対策として,ASR に対す る補強として柱部で実績のあるPC鋼材巻立て 工法<sup>1)</sup>を選定し,フーチングの側面の周方向およ び鉛直方向にプレストレスを与えて構造体の一 体化を図る工法を採用した。

# 5.補強の工程

5.1 既設フーチングのはつりおよび鉄筋補強

まず,フーチング側面ならびに上面のコーナ ー部から1mの範囲については手はつりとウォ ータージェットにより約200mmはつり出し,鉄 筋を露出させた。事前調査においてコーナー部 の鉄筋には破断が確認されたため,鉄筋に防錆 剤を塗布して破断している鉄筋には添え筋をし て補強を行った。写真-5にコンクリートはつ り完了時の状況を示す。

5.2 鉛直・フープ方向のプレストレス導入

ASR による膨張を拘束するため,鉛直・周方 向に PC 鋼材を配置し,緊張を行った。鉛直方向 の PC 鋼材は付着強度を確保できる全ネジ鋼材 のゲビンデスターブ D32 を用いた。鋼材の下端 部には 500mm の定着区間を設けその先端には付 着力を向上させる目的でナットをセットした。 さらに緊張力を広く分布させるため上端の定着 プレートに 250mm × 250mm を使用した。 また,導入するプレストレス力は ASR による膨 張の拘束効果が期待できる応力度0.2N/mm<sup>2</sup>以上 <sup>2)</sup>を導入できる本数とした。





写真-5 コンクリートはつり完了状況

円周方向補強用の PC 鋼材は 1S21.8mm とし, フーチングコーナーにおいて復圧を発生させる ため最小曲げ半径 R=3.8mで配線することとし た。導入するプレストレス力は鉛直方向と同様 に 0.2N/mm<sup>2</sup>以上した。なお, PC 鋼材に与える 緊張力は ASR の膨張進行に伴う増加や地震時の 挙動による PC 鋼材応力度の増加を考慮し,有効 緊張力を降伏点荷重の 0.3~0.4 程度に設定して いる。図 - 6 および写真 - 6,7に鉛直方向と 水平方向の PC 鋼材の配置状況を示す。

#### 6. 補強後のモニタリング

前述のように ASR 劣化フーチングに対して調 査および補修・補強を行った。そこで本工法に よる補強の妥当性,ならびに今後の補強工法の 確立に対する基礎データの収集を目的として各 種計測機器によるモニタリングを実施した。

なお,モニタリングの期間は 2005 年 5 月~ 2006 年 10 月までの約 1 年半(540 日)である。 6.1 既設フーチングの膨張拘束

既設フーチングの膨張について側面のひび割 れ部に設置した亀裂変位計による計測を行った。 亀裂変位計は比較的大きな主要ひび割れを選定 し,このひび割れに対して鉛直および水平方向 に対して設置した。図 - 7にひび割れ幅の経時 変化を示す。

この結果より既設フーチングのひび割れ幅は 初期値(補強終了時)を基準にとるとほぼ一定 の値推移をしているが,夏期にひび割れ幅が若 干減少する傾向が見られた。

6.2 鉛直方向 PC 鋼材ひずみ

フーチングの鉛直方向に対する膨張抑制効果 を確認するため鉛直方向 PC 鋼材にひずみゲー ジを貼り付け,計測を行った。

図 - 8 にひずみゲージの添付位置,図 - 9 に 経時変化を示す。計測結果より PC 鋼材は全体的 に時間の経過とともにひずみが減少する傾向に ある。この理由としては ASR によりマイクロク ラックが多く存在し,緊張直後に弾性的に収縮 はしたがその後ある段階で再びマイクロクラッ クがつぶされてひずみが進行したものと考えられる。この傾向は春から秋にかけて顕著であり 秋から冬にかけては反対に緊張力が増加する状態となった。

6.3 鉄筋ひずみ

フーチングの折曲げ鉄筋や配力筋が ASR 膨張 により破断していたことから,補強用の鉄筋に ひずみゲージを貼り付けて,鉄筋に作用する応 力状態を確認した。なお鉄筋には曲げ加工部の 内側と外側にゲージを貼り付けた。

図 - 10に鉄筋のひずみの経時変化を示す。





写真 - 6 周方向の PC 鋼材配置状況



写真 - 7 鉛直方向の PC 鋼材の配置状況

これは折曲げ鉄筋のひずみであるがひずみの変 化は鉛直方向 PC 鋼材と同様に収縮傾向にある 状態となった。

# 7.まとめ

これまでほとんど報告がない ASR により劣化 したフーチングに対して劣化調査をおこない, 補修方法を考案し、PC鋼材巻立て工法による 実施工をおこなった。そして工法の妥当性を検 証する目的で現在モニタリングを継続中である。 モニタリングの結果から、鉛直方向の PC 鋼材緊 張力の減少や折曲げ鉄筋ひずみが圧縮されてい る傾向を示している。この結果はフーチング全 体が鉛直方向に縮小していることを示しており, クリープによるマイクロクラック等の変形が関 係していると予想される。このひずみの経時変 化については今後もモニタリングを実施し,さ らに観察を継続する予定である。今回補強工法 として選定した PC 鋼材巻立て工法は柱部に対 する ASR の拘束効果として期待できる工法<sup>2)</sup>で あるが、フーチング等の部位においてはその効 果がまだ明確となっていないのが現状である。 しかし, PC 技術を応用したプレストレスを導入 することにより, ASR の拘束効果が十分に得ら れるものと考えられる。今回の補強方法ならび にモニタリング結果が今後の補強工法の確立に つながっていくものと期待している。

謝辞:本研究の実施において,ご協力頂いた石 川県道路公社に感謝いたします。

#### 参考文献

- 鳥居和之ほか: PC 鋼材巻立てにより補強し た ASR 損傷コンクリート柱の交番載荷試験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.1051-1056, 1999
- 石井浩司ほか:ASR により劣化したコンク リート橋脚も補修・補強工法による抑制効果, コンクリート工学,Vol.43,No.7,pp.42-50, 2005.7



