

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¹⁾。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、さらに配筋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²⁾構造物の耐荷力にも影響を与え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PC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。

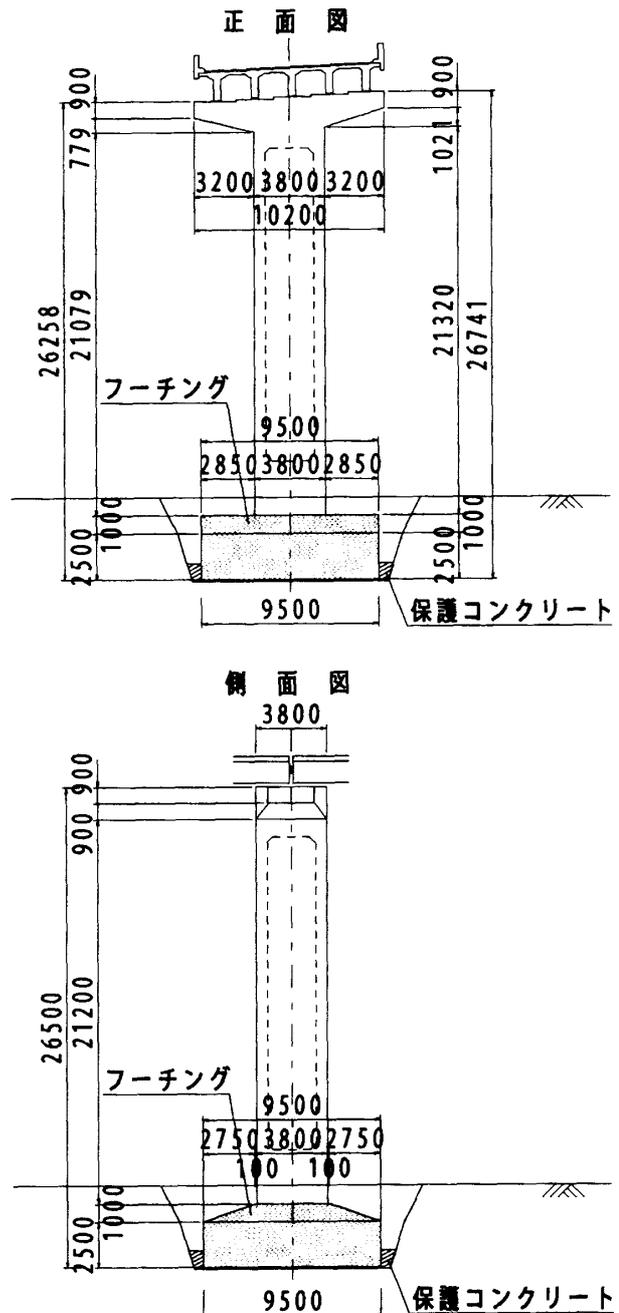


図-1 橋脚の一般図



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^2) 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 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 $\phi 100\text{mm}$ のコアでは NaOH 溶液および NaCl 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

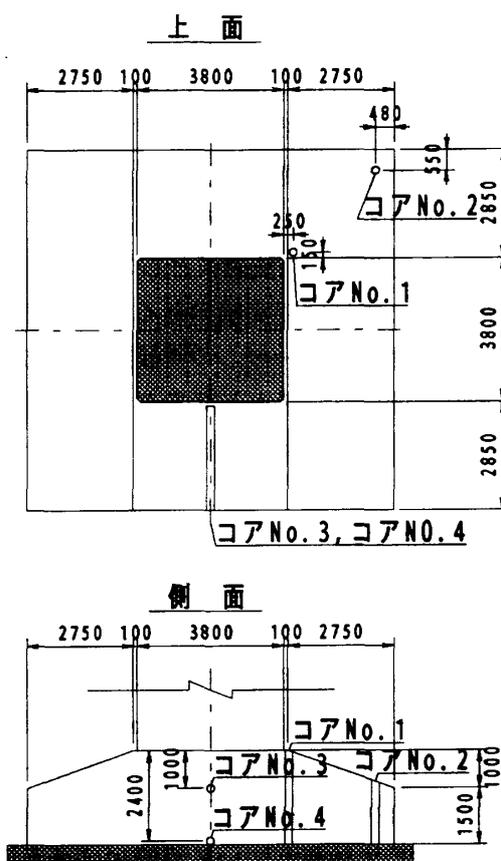


図-2 コア採取位置

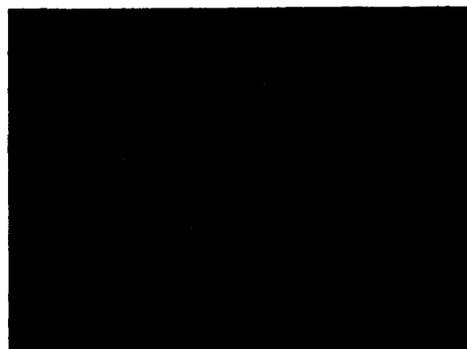


写真-4 採取コアの断面 ($\phi 100\text{mm}$)

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¹⁾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^2 以上²⁾を導入できる本数とした。

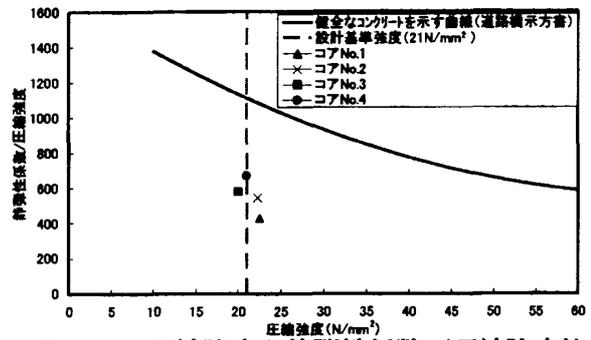


図-3 圧縮強度と静弾性係数/圧縮強度比

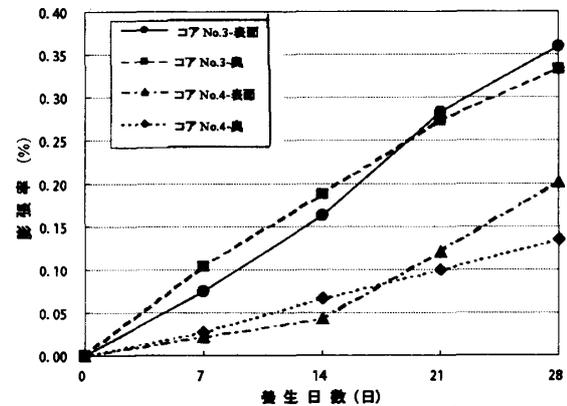


図-4 促進養生試験結果（カナダ法）

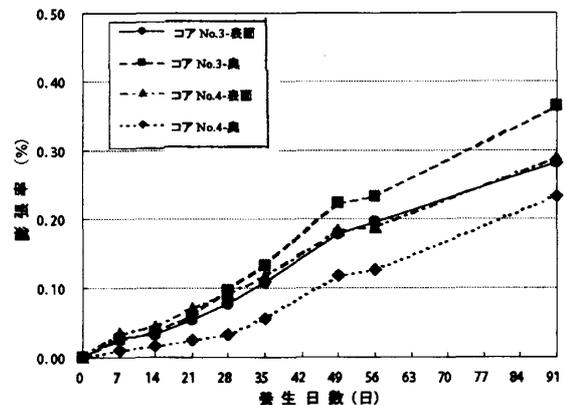


図-5 促進養生試験結果（デンマーク法）



写真-5 コンクリートはつり完了状況

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²⁾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

- 1) 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
- 2) 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

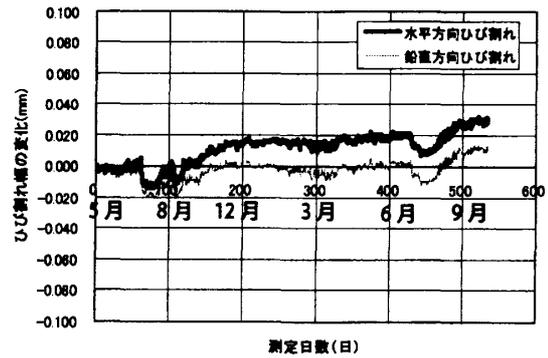


図-7 ひび割れ幅の経時変化

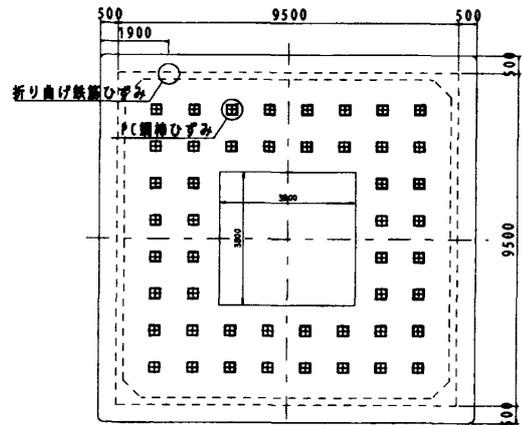


図-8 PC 鋼棒および折り曲げ鉄筋のひずみゲージ位置

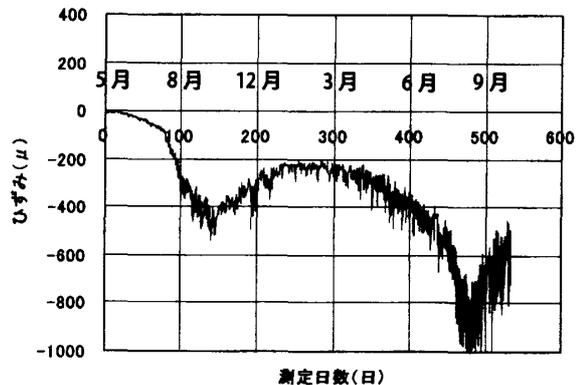


図-9 鉛直 PC 鋼棒のひずみ変化

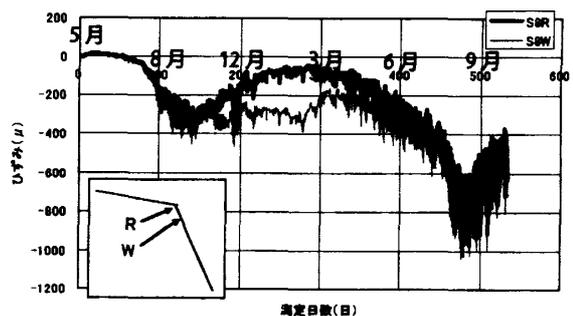


図-10 鉄筋のひずみ変化