

## ASR劣化橋脚の対策事例紹介

|      |             |       |
|------|-------------|-------|
| 北陸支店 | 工事部         | 櫻井外夫  |
| 北陸支店 | 工事部 PC 工事 G | 多比良裕士 |
| 北陸支店 | 工事部工務 G     | 川島孝夫  |
| 北陸支店 | 土木技術部       | 北山耕造  |

**概要:** ASRにより損傷を受けた構造物の十分な抑制効果を持つ補修対策は見いだされていない現状にある。また、RC曲げ部材の耐荷性能確保の補強が実施された事例もきわめて少ない。本報告では、梁・脚・フーチングの橋脚における全部位に対して実施された補強対策を2例紹介する。また、高橋脚の事例では供用中の上部桁を仮受ける支保工の安全性を確保する対策も紹介する。

**Key Words:** ASR抑制, PC鋼材補強, 梁打替え, 支保工の安全性

### 1. はじめに

近年、アルカリ骨材反応（以下ASRとする）の過大な膨張によりコンクリートの強度低下、鉄筋とかぶりコンクリートとの付着性能の低下、曲げ加工部域の鉄筋破断等、著しく劣化したコンクリート構造物が報告されている。ASRの損傷の特徴は、反応初期ではコンクリートのひび割れが網目状または格子状に達し、ひび割れ部分からゲル状の分泌物の滲出や、コンクリート表面のポップアウト現象が現れることである。また、鉄筋コンクリート構造物では拘束される鉄筋に沿ったひび割れの発達も知られている。

橋脚・橋台構造物の劣化損傷の特徴は環境条件の影響が大きく、同一の構造物においても局所的な使用・環境条件に大きく左右されるのが特徴である。特に橋脚の損傷の特徴としては、降雨および日射の影響を受けやすい橋脚の張出し部は写真-1に示すように他の場所よりASRが進行し、損傷が大きいことである。さらに、伸縮装置目地部の損傷などから路面排水が流出する箇所では、水分及び凍結防止剤が原因でASRが促進され、他の部位に比べ損傷の進行が速い。

北陸地方においても反応性鉱物を含んだ岩石がコンクリート骨材として長年にわたって使用されており、石川県能登地域及び富山県西地域にASRが原因で損傷を受けたコンクリート構造物が多く確認されている。

本稿では北陸地方のASRにより著しく損傷を受けた下部構造に対する補強の事例を紹介する。



写真-1 橋脚張出し部の劣化損傷状況



櫻井外夫



多比良裕士



川島孝夫



北山耕造

## 2. 工事概要

### 2.1 A橋

本橋の上部構造は1980年3月に竣工した9径間単純ポストテンション方式T桁橋，下部構造は矩形柱張出式中空橋脚（直接基礎）である。本工事では，平成13年～平成14年における調査，補修・補強の検討の結果，梁部の取壊し・打替え，脚柱部のPCコンファインド工法による補強が採用された。

さらに，工事開始時にフーチングの状態を確認した結果，上面主鉄筋の曲げ加工部の破断と上面側コンクリートの著しい劣化が確認された。一方，コンクリートコアから下面側コンクリートの状態はほぼ健全であることが判明した。この調査結果より，補強の基本方針を，①部材の剛性回復，②ASRによる膨張の抑制とし，さらに，補強後の効果を確認するために長期モニタリングの実施を決定した。

フーチングの補強工事内容は，①劣化コンクリートの除去および破断鉄筋の補強，②ひび割れ注入，③フーチングの鉛直・フープ方向にASR抑制効果が期待できる応力度 $0.2\text{N/mm}^2$ 以上のプレストレスの導入である。

写真-2にA橋の補強完了時の状況を示す。

### 2.2 B橋

本橋の上部構造は1978年5月に竣工した2径間単純鋼合成I桁橋，下部構造は張出式中空橋脚（直接基礎）である。本橋では，平成13年度以降，現地調査，コンクリート試験，モニタリング調査および対策工の検討が実施されてきた。その結果，膨張の進行による損傷が著しいこと，配筋図より膨張を拘束する鉄筋がないことが判明した。

この調査結果及び日常の維持管理の困難さから，梁部は打替えによる抜本的な対策が必要と判断された。一方，脚柱部の補強は橋脚高が約38mと高く，PCコンファインド工法による補強では重量増の影響が大きいため，鋼板巻き立て工法が採用された。また，新規に打替えた梁部とASR劣化の進行する脚柱部の膨張により一体化が損なわれる可能性があるため，プレストレスの導入が計画されている。

なお，フーチング部の状態を確認した結果，ASRによる劣化が顕著ではないことを確認できたことから，補修・補強は実施しない。

## 3. ASRによる損傷状況

### 3.1 A橋

#### 3.1.1 梁部・脚柱部の損傷

写真-4に示すように梁部のひび割れは全体に確認されたが，特に鉛直面と，下面側に集中して発生して

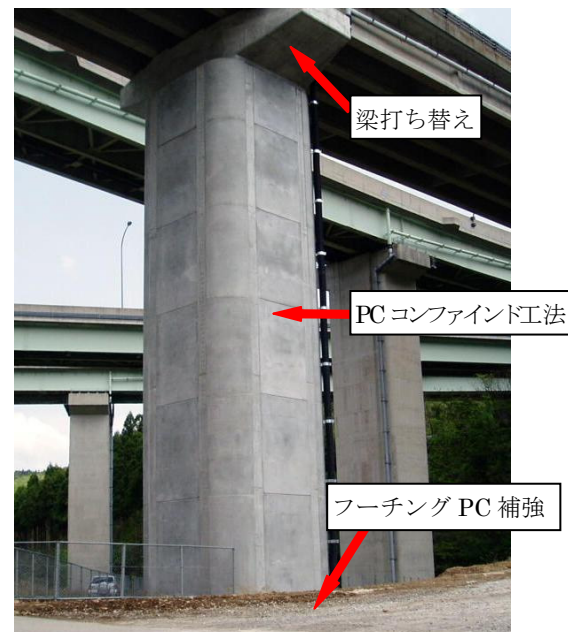


写真-2 A橋補強完了状況



写真-3 B橋着工前状況



写真-4 A橋梁部の損傷状況



いた。これは、上部工のゴムジョイントの亀裂・破損箇所から進入した雨水の流出跡から推測すると、雨水が階段状の橋座面を横断勾配の低い側に流れ伝わっていたことに加え、冬季の路面に散布される凍結防止剤による塩害の影響を受けて、損傷が最も進行したと考えられた。また、写真-5、写真-6に示すように脚柱部は全体のひび割れに加え、コーナーに沿った亀裂や連続したひび割れも確認された。



写真-5 脚柱部 A 橋の損傷状況 (側面)



写真-6 脚柱部 A 橋の損傷状況 (正面)

### 3.1.2 フーチング部の損傷

フーチングの損傷状況は、写真-7に示すように上面コンクリートの劣化が著しく、亀甲状の幅 5mm 程度のひび割れが確認された。特にコーナー部について鉄筋曲げ箇所の破断と共に 10mm 以上のひび割れが通し鉄筋の位置に発生し、コンクリートも剥落していた。また、鉛直面については、写真-8に示すように網目状のひび割れが上面と同程度の密度で発生していた。



写真-7 A 橋フーチング上面の損傷状況



写真-8 A 橋フーチング鉛直面のひび割れ状況



## 3.2 B橋

### 3.2.1 梁部の損傷

写真-9～写真-11に見られるようにB橋の梁部全体にひび割れが確認された。調査およびモニタリングの結果、橋脚柱頭部で最大8mmに達する水平方向のひび割れが見られ、張出部まで連続していた。また、ひび割れは春から夏にかけての気温上昇に伴って大きく進展し、19ヶ月で約0.83mm程度の増加が確認され劣化の進行が著しいことが判明した。さらに、超音波法の斜方向透過法により超音波が伝播しなかったため、ひび割れが構造物奥深くまで達している、あるいは貫通している可能性が認められた。



写真-9 B橋梁部の劣化状況（柱頭部）

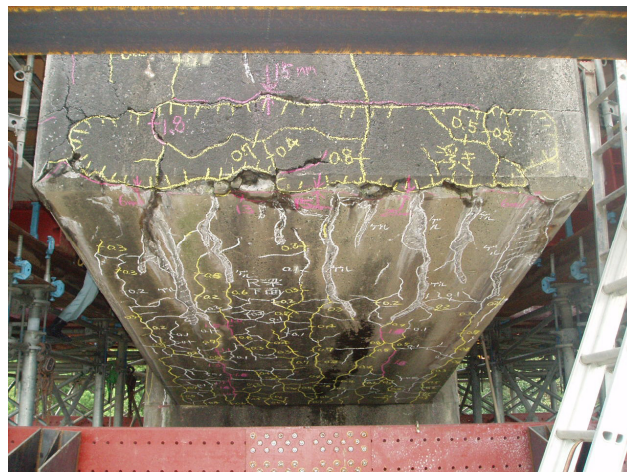


写真-10 B橋梁部の劣化状況（張出し先端）

### 3.2.2 脚柱部の損傷

脚柱部の損傷は梁部の柱頭部・張出部に比べて著しくないものの、脚基部の計測結果から膨張の進展は継続していることを確認した。

## 4. 補強工法の選定

A S R 損傷部位の対策は、各部位の周辺環境、重要性、構造特性および損傷状況・進行程度を適切に評価、判断して適切な対策を選定することが重要である。しかし、これらの部位に対する補強方法は現状では確立されていないため、専門家を交えた検討委員会において補強方針・方法を決定しているケースが多い。

本報告の2橋は、事前調査結果を基にA S R 検討委員会で各部位ごとの対策（補修・補強）が検討・決定された。

### 4.1 A橋

#### 4.1.1 梁部

橋脚の梁は常時に荷重が作用するため、安全性確保が最優先される重要な部位である。張出部ではスタラップ曲げ加工部と上面主鉄筋の圧接部に鉄筋破断が確認され、A S R 反応性骨材を残したままとなる補強工法を選定した場合は再劣化の可能性が残るため、現状ではA S R 反応性骨材を全て取り去ることが最も効果のある工法であると判断された。

#### 4.1.2 脚柱部

A S R と塩害によるコンクリートの劣化が著しく、今後も膨張性が進行すると推定される構造物の基礎への影響を少なくし、耐力向上よりもじん性の向上させる工法を決定するものとした。

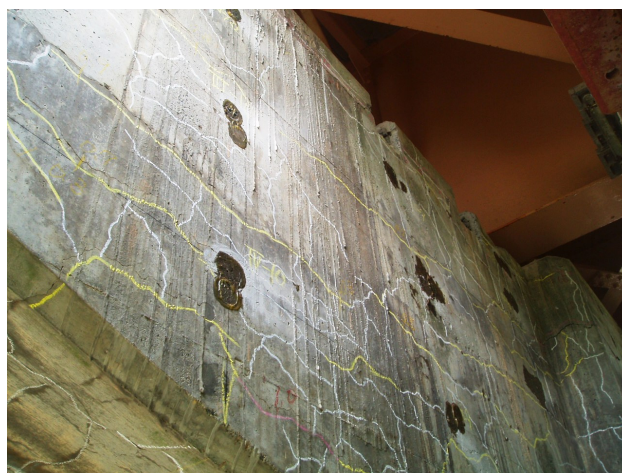


写真-11 B橋梁部の劣化状況（正面）



具体的には、橋脚柱の耐震補強として一般的に用いられる、①RC巻立て工法、②鋼板巻立て工法、③PC鋼材巻立て工法、④連続繊維巻立て工法の4案に対して、ASRによる躯体膨張に対する抵抗力が不明な④を除外した工法を比較検討した。その結果、補強効果、現場における施工性、維持管理の観点で優位なPC鋼材巻立て工法に決定した。

#### 4.1.3 フーチング部

詳細調査の結果、橋軸・直角方向上面主鉄筋および側面鉄筋の曲げ加工部において鉄筋破断が確認された。一方、下面コンクリートの状態をコンクリートコアからほぼ健全であることが確認されたことから、下面側鉄筋が健全であればフーチングの耐荷機能の確保は可能であると判断した。そこで、補強の基本方針を、部材としての剛性を回復し、ASRによる膨張を抑制できる工法を選定することとした。その結果、劣化コンクリートの除去、破断鉄筋の補強およびひび割れ注入工法による補修を行うとともに、フーチングの鉛直、フープ方向にプレストレスを与えて一体化を図る方法に決定した。

### 4.2 B橋

#### 4.2.1 梁部

梁部はASRによる膨張が進行していることに加え、既設配筋図から柱頭部ではスターラップがなく、かぶせ鉄筋のみ配置されているのみで、膨張を拘束する鉄筋が存在しないことが判明した。また、はつり調査の結果、調査箇所の数カ所でスターラップの破断が確認されたこと、梁部全体の鉄筋破断状況が全て確認できないこと、本橋脚梁部は約42mの高さを有しており日常における維持管理が困難であることなどから、不確定要因を抜本的に解消できる梁の打替え工法に決定した。

#### 4.2.2 脚柱部

対策の基本方針は、高橋脚のため地震時の基礎への影響をできるだけ少なくし、ASRの抑制効果を期待できる工法を選定する必要があった。検討の結果、鋼板巻立て工法が現時点では最も良いと判断された。

一方、打ち替えた新コンクリートの梁部と既存の脚柱頭部との接合部位は、ASRの膨張により一体化を損なう可能性があるため、ASR抑制対策工として橋軸方向および橋軸直角方向にコンクリート応力度 $0.2\text{N/mm}^2$ 以上のプレストレスを導入する計画である。

## 5. 対策工事

### 5.1 A橋

本橋の梁および橋脚補強工法において、梁の打ち替えは標準的な手バツリの実施であり、橋脚の補強も耐震補強におけるPCコンファインド工法における手順等は変わらないため、今回、本工事の特徴であるASR対策として実施したフーチングの補強について報告する。

#### 5.1.1 施工手順

補修・補強の施工手順を以下に示す。

- ① ひび割れ注入による補修
- ② 写真-12、写真-13に示すように鉛直面とコーナーから1m範囲の上面のはつり(ウォータージェットにより200mmを切削)
- ③ コーナー部の破断した鉄筋補強および増し厚部500mmに対する鉄筋の組立
- ④ 写真-14に示すフープ方向のシース配置
- ⑤ 鉛直補強鋼棒用の削孔および定着部の拡底・目荒らし
- ⑥ 補強コンクリート型枠組立および打設



写真-12 A橋のはつり完了状況



- ⑦ 鉛直鋼棒の緊張・グラウト
- ⑧ フープ方向のP C鋼材配置・緊張
- ⑨ モニタリング用の光ファイバーの設置



写真-13 鉛直面はつり完了状況



写真-14 補強鉄筋・シース配置状況

### 5.1.1 鉛直・フープ方向のプレストレス導入

A S Rによる膨張を抑制するため鉛直・フープ方向にP C鋼材を配置した。図-1に鉛直およびフープ方向の補強P C鋼材の配置を示す。

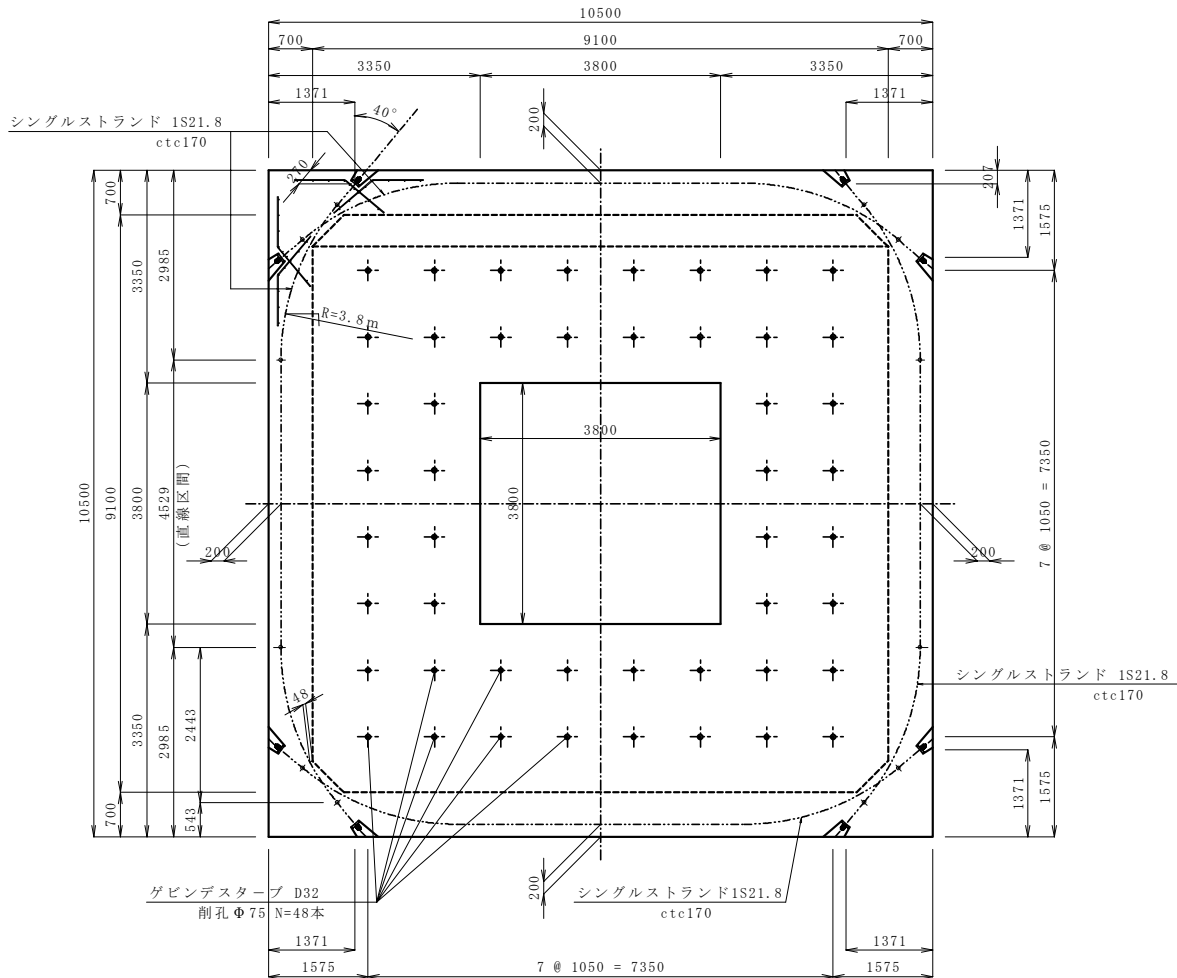


図-1 補強P C鋼材の配置



鉛直方向補強用の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 D32mm 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、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。

なお、補強するのは（プレストレスを導入する断面）は、脚柱下端は上部工反力と受梁部・脚柱部の重量により鉛直力が作用しているため、脚柱部 3.8m×3.8m と鉛直力分布する面積を除いた範囲とした。また、導入するプレストレス力は対象断面積に対して応力度 0.2 N/mm<sup>2</sup> 以上を導入できる本数とした。

写真-15 はサンドブラスト工法を用いた定着部の目荒らし作業状況を、写真-16 は定着部の目荒らし作業完了後の状態を示す。



写真-15 サンドブラストによる目荒らし



写真-16 定着部目荒らし完了状況

フープ方向補強用のPC鋼材は 1S21.8mm とし、フーチングコーナーにおいて腹圧を発生させるため最小曲げ半径の R=3.8 m で配線することに決定した。導入するプレストレス力は、脚柱補強の等価水平力に対する平均せん断応力度と同レベルとなる腹圧力を与えるものとした。

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。

写真-17 に鉛直・フープ方向の PC 鋼材配置およびコンクリート増厚完了後の状況と、図-2 に鉛直補強 PC 鋼材の詳細を示す。



写真-17 鉛直・フープ鋼材配置状況

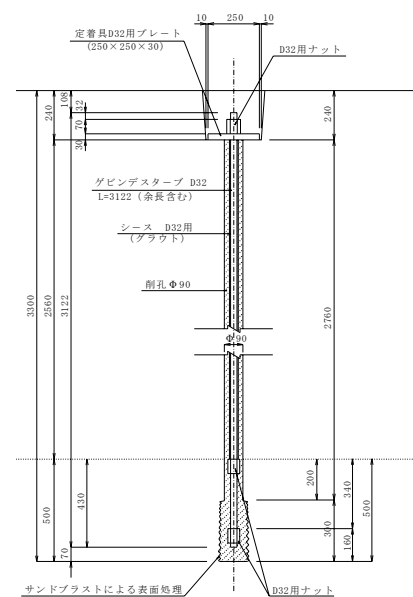


図-2 鉛直補強 PC 鋼材



## 5.2 B橋

橋脚において、ASR劣化対策および耐震補強を目的とした梁打替え、落橋防止装置ならびに脚部の鋼板巻立てによる補修・補強工事を行うものである。

図-3に工事全体の施工フローを示す。

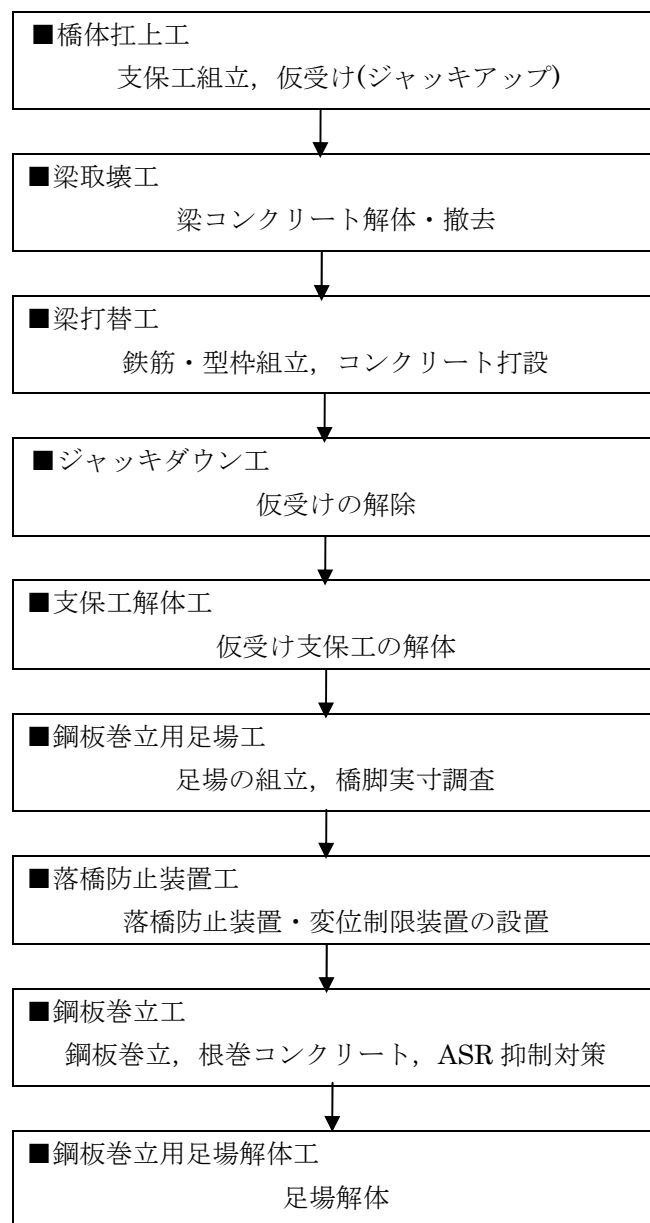


図-3 工事全体施工フロー

### 5.2.1 橋体扛上工

橋梁補修工事において、上部工の荷重を仮受けするために図-4に示す橋脚廻りに支保工の組み立てを行った。梁の補修作業は、上下2車線を片側交互通行にした形で施工を行い、積雪時期までの3ヶ月で梁打替までを完了し、上下線の通行を復旧しなければならなかった。厳しい工程と38mという高い支保工であることを考慮し、折りたたみ式のバンド支柱材を使用し施工性・安全性を向上させた。

劣化した梁を解体し、上部工の荷重を支保工に受けて、一般車両を通行させた状態で作業を行うことから、以下に示す安全対策を行った。

- ① 一般車両の通行による荷重が支保工に対して、不均等な状態にならないように、走行2車線を中央部1車線の片側交互通行(24時間体制)とし、仮受け支保工にかかる荷重・振動を軽減させた。

- ② 支保工と橋面の点検表を作成し、当社職員と道路公社職員によりお互いに点検を毎日行い確認を取り合った。
- ③ 地震計・風速計・変状センサーの設置により、異常時の対応(通行止め)が迅速に行えるよう連絡体制を強化した。
- ④ 図-4に示す桁仮受け支保工は地震・暴風に対する安全確保のため、写真-18に示す橋脚の頂部をH鋼材で取り囲み支保工と連結することで水平反力を橋脚に取らせる水平支持補強を行った。さらに、写真-19に示す支保工の水平方向変形を拘束するための水平拘束梁を支保工外廻りに4段取り付け、鋼棒で締め付け、橋脚に一体化させた。

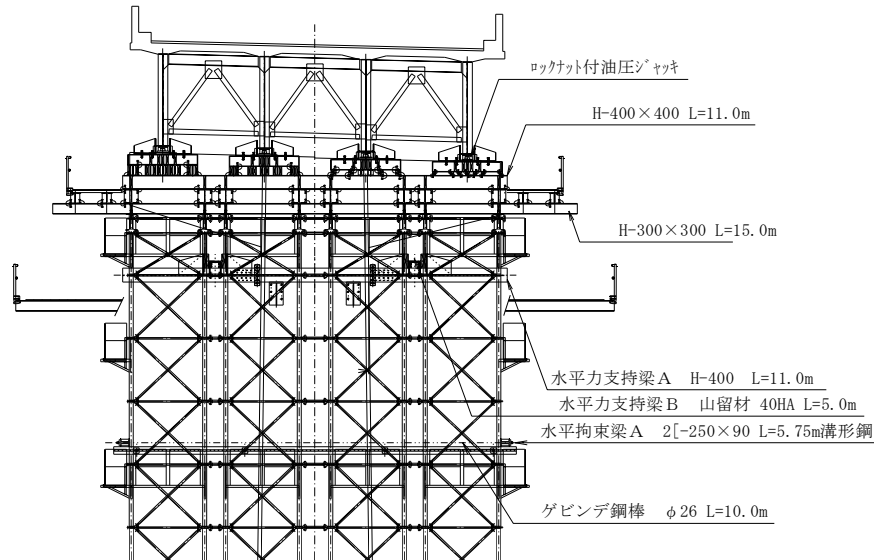


図-4 桁仮受け支保工



写真-18 水平支持補強梁



写真-19 水平拘束補強梁

### 5.2.2 梁取壊工

梁の取り壊しは、ワイヤーソーとチップパーなどによる手ばつりで行い、既設コンクリートとの打ち継ぎ面は、ウォータージェットで処理を行った。

取り壊しに併せて解体調査が実施された内容や計画を以下に示す。

① ASR 損傷調査

橋脚梁の解体前および解体中に、外部のひび割れ、内部劣化(超音波法)、鉄筋破断を確認した。

② 載荷・除荷試験

P1 橋脚上の各支点付近に 200 t ジャッキとロードセルを設置し、大型車両を模擬した荷重を載荷または除荷することにより、ASR 損傷を受けた橋脚の現況耐力を推定した。



③ 解体する梁部から供試体をコア削孔およびワイヤーソーによる切断により採取し、強度試験・鉄筋付着強度試験などを行った。

④ コンクリート解体がらを利用して再生骨材に関する研究を行う計画である。

写真-20はコア削孔とワイヤーソーにより供試体を切り出している状況を、写真-21は張出梁の根本をワイヤーソーで切断している状況を示す。



写真-20 供試体の取り出し

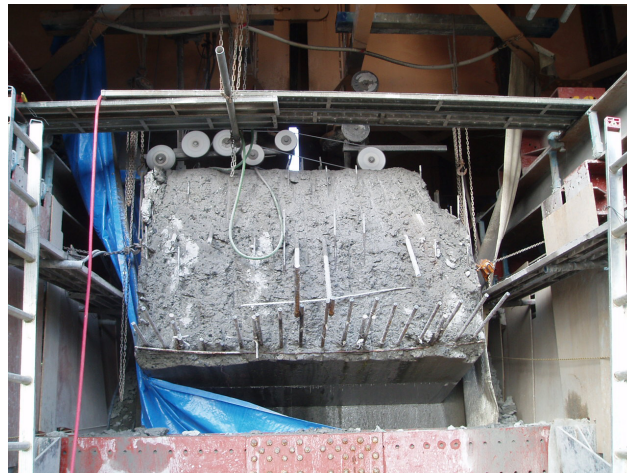


写真-21 ワイヤーソーによる切断

### 5.2.3 梁打替工

梁の打替えは、梁撤去後に新たに鉄筋・型枠の組立、コンクリート打設の順序に行った。コンクリート打設においては、以下の4点について留意した。

① 水和熱による温度応力

県外産を含め良質な非反応性骨材を選定し、単位水量およびセメント量を減らし発熱量を抑えた。

② 乾燥収縮

コンクリート上表面にφ3.2網目50mmのメッシュ筋を配置し表面クラックを防止すると共に、コンクリート打設後には被膜養生剤を散布し、養生マットおよびシートにて全面を覆い養生した。

③ コンクリート温度管理

温度センサーをコンクリート内部および表面に埋め込みコンクリートの発熱による温度管理を行い、硬化温度の低下状況を確認して脱枠した。

④ 浸透性吸水防止剤の塗布

除雪による融雪剤の悪影響を受けないように浸透性吸水防止剤を新設梁部全体に塗布した。

写真-22は張出し部撤去後の柱頭部取壊し完了状況を、写真-23は新設梁部の鉄筋組立状況を示す。



写真-22 取壊し完了状況



写真-23 鉄筋の配筋状況

### 5.2.4 鋼板巻立て工

鋼板の巻立てにおいては、橋脚の倒れ・幅（橋脚面の凹凸を確認した上）などの現地測量を行い、鋼板パネル製作の発注を行った。

鋼板の建て込みは、橋脚を囲むように足場を36m立ち上げ、梁部にあらかじめ埋め込んでおいたインサートからブラケットを取り付け、電動チェーンブロック4台を設置し、その4台のチェーンブロックから橋脚を囲むI型レールを吊り下げ、手動トロリーをセットし鋼板の建て込みを行うこととした。

図-5に鋼板巻立て工の施工フローを示す。

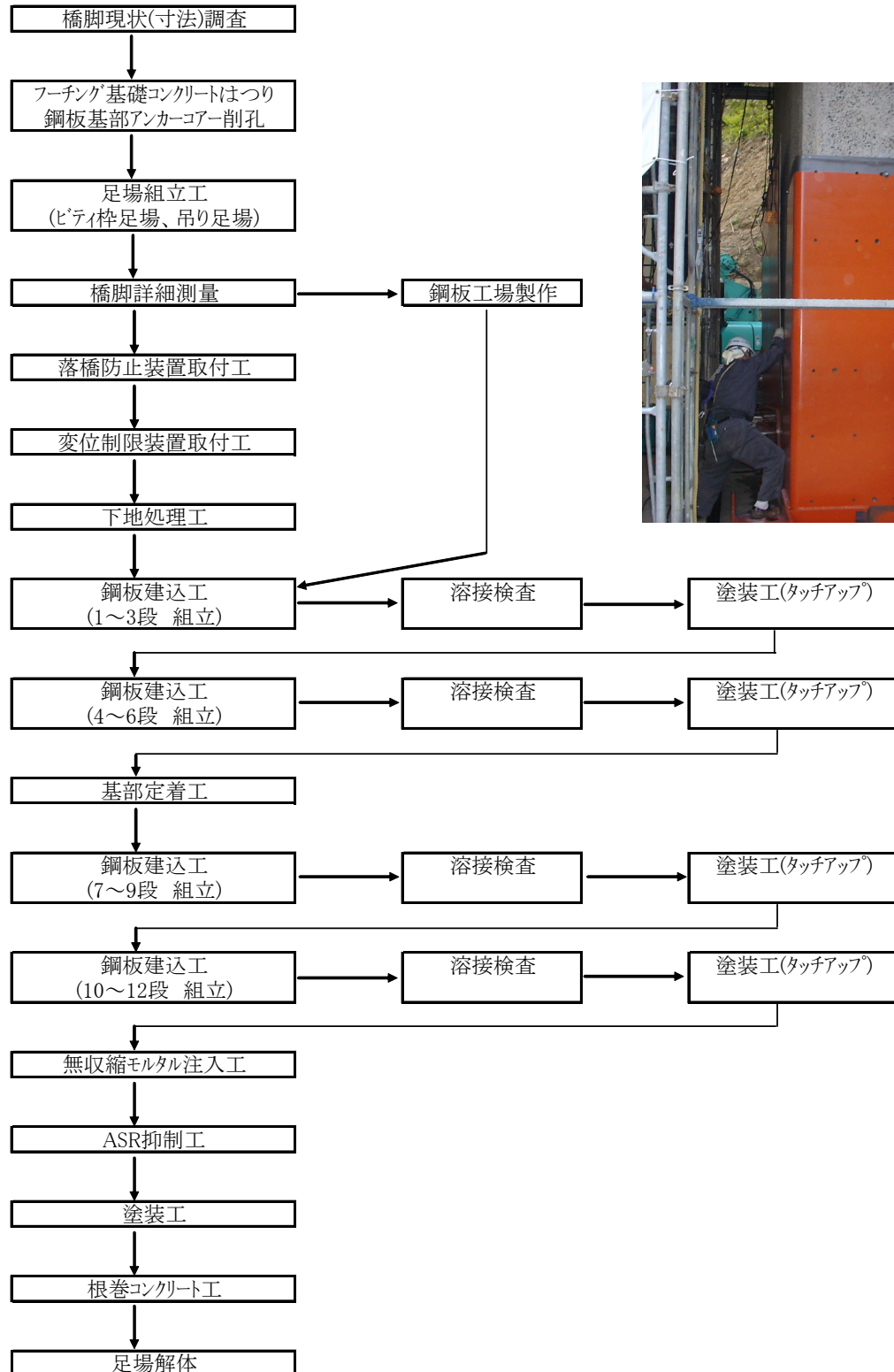


図-5 鋼板巻立て工の施工フロー



写真-24にI型レールの鋼板吊り上げ装置を、写真-25に鋼板の搬入と組立状況を示す。



写真-24 鋼板吊り上げ装置



写真-25 鋼板組立状況

### 5.2.5 A S R抑制対策工

A S Rによる膨張の影響による鋼板のめくれや、鋼板補強部と新設コンクリートとの膨張差などの抑制対策として、梁と柱の境界付近にPC鋼棒φ26（B種1号）を橋軸・橋軸直角方向に4本×2方向の計8本で締め付けを行った。

## 6. まとめ

A S Rにより損傷したコンクリート橋脚の耐荷性能評価及び補強技術が未熟な現段階では、部分的な打換えのみではなく全面的な架替えも視野に入れた選択肢が必要となる。また、脚柱部に対するPC鋼材巻立て工法は、プレストレスを導入した方向に対してA S R抑制効果が認められる報告もあり、現行では有効な補強工法の一つであるといえる。一方、その他の部位に対する補修・補強の方法やA S R抑制効果はまだ明確となっていないのが現状である。

本稿で紹介したフーチング部の補強では以下に示す課題がある。

- ① 鉛直方向の補強PC鋼材の定着方法と使用鋼材の選定方法
- ② フープ方向の補強に関しては、導入するプレストレス量と鋼材配置の選択方法

以上の課題は、現在実施しているモニタリングの結果を待ち評価を行いたいと考えている。しかしながら、A S Rが原因で損傷を受けたコンクリート構造物に対してPC技術を応用したプレストレスを導入することにより、A S Rの抑制効果を十分得られると考えられる。

最後に、今回の各部位に対する補強事例が少しでも参考となり、次のステップへつながっていくことを期待している。

### 参考文献

- 1) 奥田由法・鈴木義晃・森拓也・久保欣也：PC巻き立て工法によるA S R劣化橋脚の補強，コンクリート工学，Vol.35，No.8，1997.8
- 2) 石井浩司・奥田由法・谷川伸・鳥居和之：A S Rにより劣化したコンクリート橋脚の補修・補強工法による抑制効果，コンクリート工学，Vol.43，No.7，2005.7