

## 論文 ASR 損傷コンクリート橋脚の補修・補強効果の長期確認試験

佐々木 浩文\*1・青山 實伸\*2・奥田 由法\*3・鳥居 和之\*4

**要旨:** ASR による損傷を受けた鉄筋コンクリート橋脚の補修・補強効果を確認する目的で、実物大の鉄筋コンクリート試験体を用いた屋外暴露試験を実施し、樹脂塗装、鋼板巻立て及び PC 鋼材巻立てにより補修・補強した鉄筋コンクリート試験体のコンクリート及び鉄筋のひずみの変化を 5 年間にわたり測定した。その結果、樹脂塗装では ASR 膨張を効果的に減少できないが、鋼板巻立て及び PC 鋼材巻立てでは ASR 膨張を長期にわたって拘束できることが判明した。

**キーワード:** ASR, 補修・補強, 樹脂塗装, 鋼板巻立て, PC 鋼材巻立て

### 1. はじめに

近年、ASR 損傷を受けたコンクリート構造物の維持管理が重要な課題となっており、補修・補強方法の確立が必要とされている。現在、ASR 損傷コンクリート構造物の補修・補強方法として様々な方法が提案されているが、実構造物に補修・補強を適用した場合の ASR 膨張抑制効果に関する報告は少なく、その効果が十分に明らかになっていないのが現状である<sup>1)</sup>。従来、ASR 損傷コンクリート構造物の耐荷力は大きく低下しないと報告されてきた<sup>2)</sup>。しかし、最近の調査結果によると、ひび割れは表面部のみでなく、長期的に ASR が進行している段階では、内部にまで進展していることが報告されている<sup>3)</sup>。また、ASR による劣化が顕著になると、鉄筋がコンクリートの膨張により隅角部で破断していることも報告されている<sup>4)</sup>。

著者らは、ASR によるひび割れが発生した実物大の RC 試験体に、樹脂塗装、鋼板巻立て及び PC 鋼材巻立てによる補修・補強工法を実施し、暴露 2 年までの ASR 膨張の抑制効果を報告した<sup>5)</sup>。

本研究では、5 年間(1997 年 6 月測定開始)にわたり ASR 膨張の測定を継続し、ASR の補修・

補強工法の長期にわたる抑制効果及びそれらの適用性を比較検討したものである。

### 2. 実験概要

#### 2.1 コンクリートの配合及び試験体の形状

コンクリートに使用したセメントは普通ポルトランドセメント(等価 Na<sub>2</sub>O 量:0.68%)である。骨材は、細骨材として非反応性の川砂(富山県早月川産)を使用し、粗骨材として非反応性の砕石(富山県早月川産)と反応性骨材として火山ガラスおよびクリストバライトを含有する両輝石安山岩(石川県能登半島産)を使用した。両輝石安山岩のアルカリ反応性試験(化学法)の結果は、**S<sub>c</sub>=609mmol/l**, **R<sub>c</sub>=223mol/l**であった。使用したコンクリートの配合は一般的な橋脚に使用されているものとし、それを表-1に示す。また、ASR を促進させる目的で、コンクリートの等価アルカリ量が **8 kg/m<sup>3</sup>** となるように NaOH を練混ぜ水に添加した。試験体の形状図を図-1に示す。試験体は、Φ800×1500(mm)の円柱体であり、軸方向鉄筋比および帯鉄筋比をそれぞれ 0.81%および 0.50%として、軸方向鉄筋に D22 mm の異形鉄筋及び帯鉄筋に D16mm の丸鋼を使用した。また、コンクリート及び鉄筋のひず

\*1 前田建設工業(株) (正会員)

\*2 (株)クエストエンジニア 土木調査設計部長 (正会員)

\*3 (株)ピー・エス 北陸支店 技術部長 博(工) (正会員)

\*4 金沢大学教授 工学部土木建設工学科 工博 (正会員)

表-1 コンクリートの配合

スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
				水	セメント	細骨材	非反応性骨材	反応性骨材
8±2	2±1	53	42	164	308	784	562	563

みを測定するために、埋込型ひずみゲージ計及び貼付けひずみゲージを設置した。

2. 2 暴露条件および補修・補強工法

試験体は脱型終了後、ASR を促進させるために材令 1 ヶ月まで蒸気養生(温度:60 度)に供した。その後、ASR によるひび割れ幅の最大値が 0.5mm に達した材令 1 年で、補修・補強を行った。4 体の試験体の 1 体を未補修として、残りの試験体には樹脂塗装による補修、鋼板巻立て及び PC 鋼材巻立てによる補強を行った。鋼板巻立ておよび PC 鋼材巻立てによる補強図を図-2 に示す。

樹脂塗装工法は、アクリルゴム系の表面被覆材(厚さ:1mm)で全面を塗装し、外部からの水分の浸入を遮断した。鋼板巻立て工法は、SS235 の鋼板(厚さ:9mm)を接着し、試験体と鋼板の隙間(4mm)及び鋼板表面にはエポキシ樹脂を注入した。PC 鋼材巻立て工法は、2 本の PC 鋼より線(Φ2.9mm)を 75mm 間隔で配置し、PC 鋼線の降伏強度の 30%の緊張力で円周方向に締め付けた。その後、試験体側面の全面に無収縮モルタルを使用して、50mm の増し厚を行った。

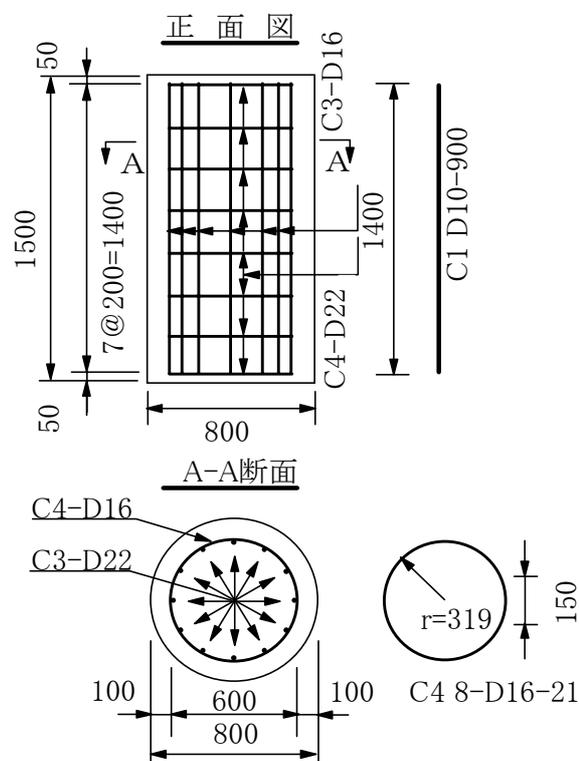


図-1 RC 試験体の形状図

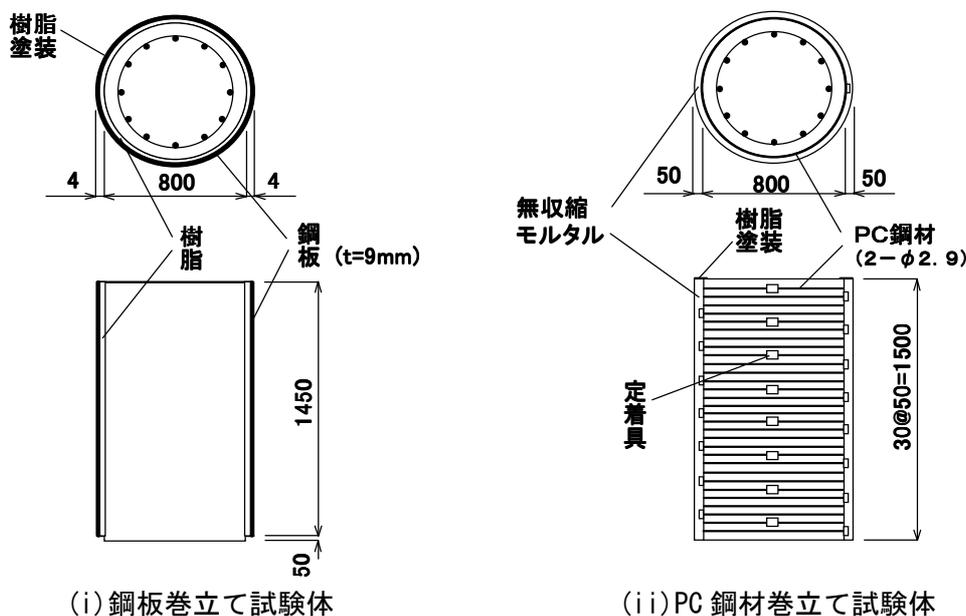


図-2 RC 試験体の補強図

### 3. 試験結果と考察

#### 3. 1 樹脂塗装による ASR 膨張抑制効果

未補修及び樹脂塗装により補修した RC 試験体のコンクリート表面の膨張率の経時変化を図-3に示す。未補修および樹脂塗装のいずれの供試体も、コンクリートの表面の膨張は夏季に進行し、冬季に停滞するという季節変動をともなう膨張挙動を示した。未補修試験体には、南側の上部に大きなひび割れが発生していたことから、日射や降雨による温度および湿度変化といった環境条件の相違により ASR による劣化の程度が異なることが確認された。2001 年 6 月には、コンクリートの表面の膨張率が 0.8% にもなり、ひび割れ幅は 1~2 mm に達した。一方、樹脂塗装試験体のコンクリートの表面の膨張率は、未補修のものと比較して小さくなったが、ひび割れの抑制効果はあまり期待できなかった。ASR の進行が終了していない段階では、表面被覆材により外部からの水分を遮断した場合でも、試験体内部に存在する水分の影響で ASR が進行することが確認された。

未補修及び樹脂塗装により補修した RC 試験体のコンクリート内部の膨張率の経時変化を図-4に示す。未補修および樹脂塗装のいずれの試験体においても、コンクリート内部の半径方向のひずみは軸方向のひずみの 2~3 倍になり、未補修試験体の南北における半径方向のひずみは 8000 $\mu$  に達していた。コンクリートの内部におけるひずみの発生のはたらき、円形の断面形状や、軸鉄筋比と帯鉄筋比の拘束比の違いにより生じたものと考えられた。

未補修及び樹脂塗装により補修した RC 試験体のコンクリートの表面および内部における膨張率の比較を図-5に示す。暴露初期の段階(膨張率 0.2%)では、表面及び内部の膨張率はほぼ等しいが、暴露長期においては、内部の膨張率が帯鉄筋の内部拘束力の低下により、表面の膨張率を上回るようになった。

未補修及び樹脂塗装により補修した RC 試験体の超音波パルス速度の経時変化を図-6に示

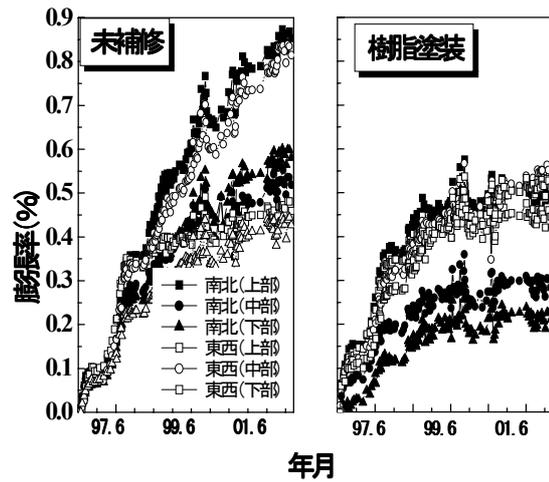


図-3 コンクリート表面の膨張率の経時変化

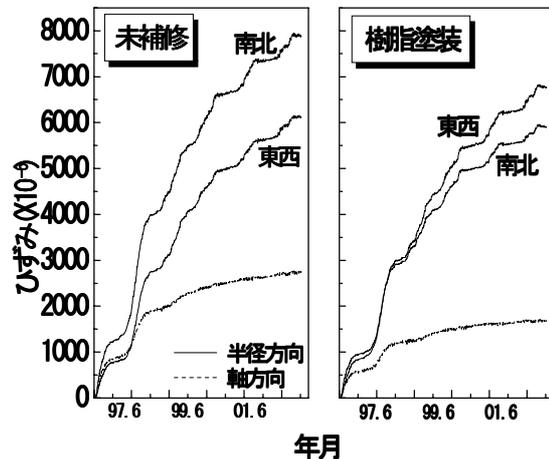


図-4 コンクリート内部のひずみの経時変化

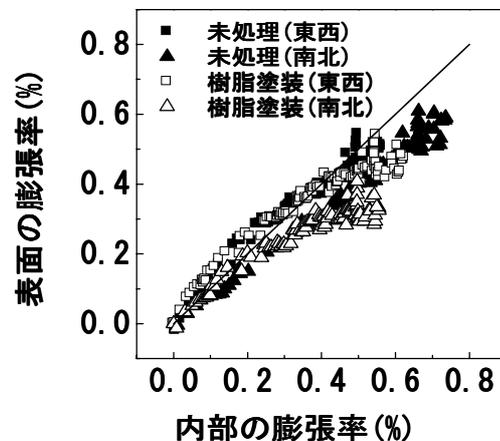


図-5 コンクリートの表面および内部における膨張率の比較

す。いずれの試験体も測定長は 800mm である。未補修試験体においては、暴露 1 年目の超音波パルス速度は約 4000m/s であったが、暴露 5 年目には、約 3100m/s まで低下していた。同様に、樹脂塗装試験体においても、暴露時間の経過とともに超音波パルス速度は低下する傾向を示したが、その値は未補修試験体よりも小さくなった。これは、超音波パルス速度の低下が補修完了後に継続して発生していることから、ASR 膨張により発生した内部ひび割れの進展が原因であると推察される。未補修及び樹脂塗装により補修した RC 試験体の軸鉄筋および帯鉄筋のひずみの経時変化を図-7 に示す。未補修試験体の帯鉄筋は、暴露 5 年目に、 $3500\mu$  を超える引張ひずみが発生していたことから、ASR による膨張のために帯鉄筋は局部的に降伏している可能性があった。また、未補修及び樹脂塗装試験体の軸方向鉄筋のひずみは、それぞれ  $1250\mu$  及び  $1000\mu$  に達したが、暴露 2 年目以降は、ひずみの増加はほぼ停止した。

### 3. 2 鋼板巻立て及び PC 鋼材巻立てによる補強効果

鋼板巻き立て及び PC 鋼材巻立てにより補強した RC 試験体のコンクリート内部の膨張率の経時変化を図-8 に示す。鋼板巻き立て工法は ASR によるコンクリートの膨張を抑制するのに有効であり、コンクリートのひずみの増加が全体に抑制されるとともに、半径方向及び軸方向におけるコンクリートのひずみの差がなくなった。一方、PC 鋼材巻立てにおけるコンクリートの膨張は、半径方向および軸方向において増加しており、拘束効果は鋼板巻立てよりも小さなものになった。これは、鋼板巻立ての換算拘束鋼材体積比が PC 鋼材巻立ての約 6 倍であることに起因している。鋼板巻立て及び PC 鋼材巻立てにより補強した RC 試験体の超音波パルス速度の経時変化を図-9 に示す。鋼板巻立て試験体においては、補強時の樹脂接着層の影響で若干低下したが、それ以降は 3800m/s に保持

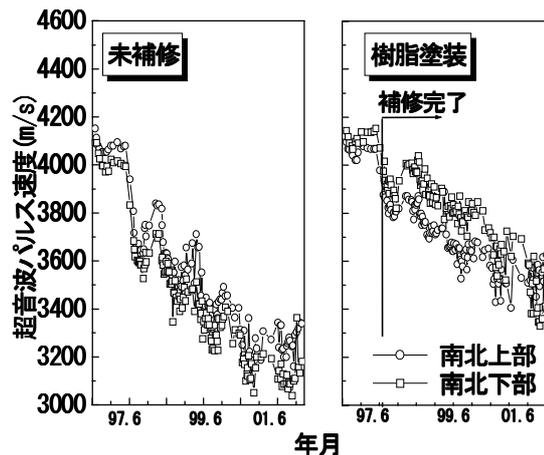


図-6 超音波パルス速度の経時変化

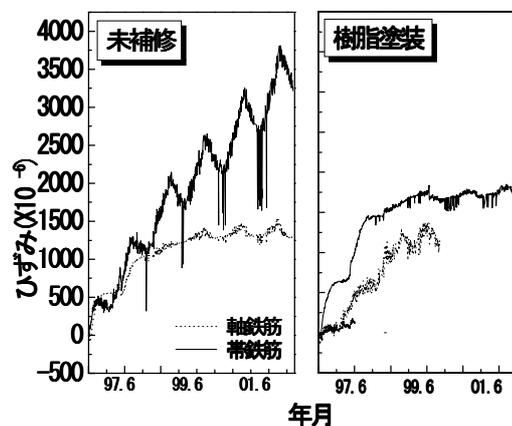


図-7 軸鉄筋および帯鉄筋のひずみの経時変化

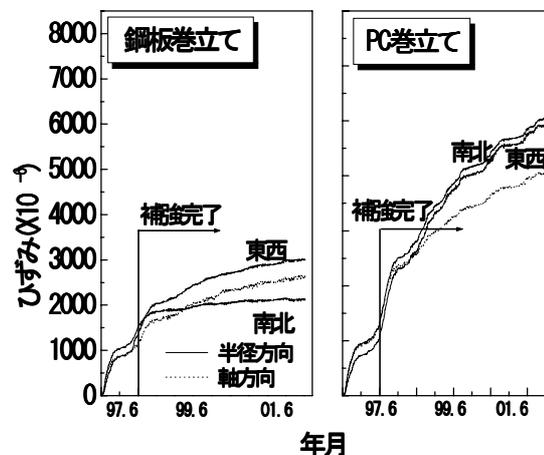


図-8 コンクリート内部の膨張率の経時変化

されていることから、ASRによるひび割れの進展が抑制されていることが確認された。一方、PC鋼材巻立て試験体においては、鋼板巻立て試験体とは異なり、補強後も暴露時間の経過に伴い、超音波パルス速度が減少する傾向を示した。このことより、ASRにより損傷したコンクリート構造物の補強効果を判定するのに、超音波パルス速度の測定が有効であることが確認された。

鋼板巻立て及びPC鋼材巻立てにより補強したRC試験体の軸鉄筋及び帯鉄筋のひずみの経時変化を図-10に示す。鋼板巻立て及びPC鋼材巻立て試験体では、帯鉄筋に引張ひずみが発生していないが、これはASR膨張が帯鉄筋ではなく鋼板に効果的に伝達されたものと推察された。また、補強材による横拘束効果から生じるコンクリートのポアソン効果によって、軸鉄筋のひずみは鋼板巻立て及びPC鋼材巻立てともに $1500\mu$ 程度になり、この値は未補修試験体とほぼ同程度であった。

PC鋼材巻立て試験体のASR膨張の補強効果を改善する要因としては、ASRの進行状況を考慮した最適なプレストレス力の決定が今後の課題になる。

### 3. 3 鋼板に発生するひずみの経時変化

鋼板の引張ひずみの経時変化を図-11に示す。鋼板の縦方向における引張ひずみは、補強終了後も大きく増加することはなかったが、円周方向におけるひずみは、暴露期間とともに増加する傾向を示した。また、鋼板の引張ひずみの発生は、RC試験体の方角によって異なった挙動を示した。すなわち、南側における円周方向の鋼板の引張ひずみは、夏季の日射によりASR膨張が促進された結果、早期に $2000\mu$ になり、北側のひずみの2倍に達していた。なお、鋼板は局部的に降伏しており、ASRによるコンクリートの膨張が今後も継続されると、鋼板の溶接部に亀裂が発生する可能性があった。

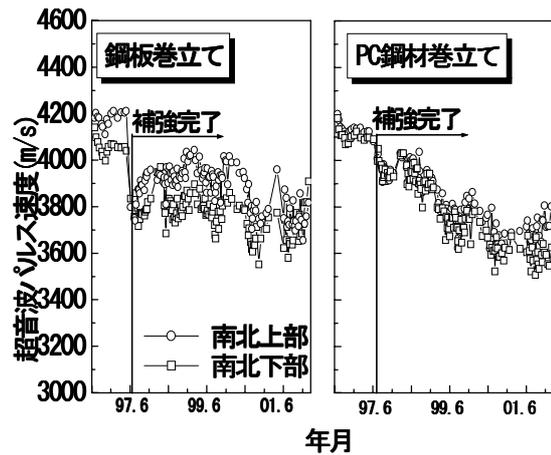


図-9 超音波パルス速度の経時変化

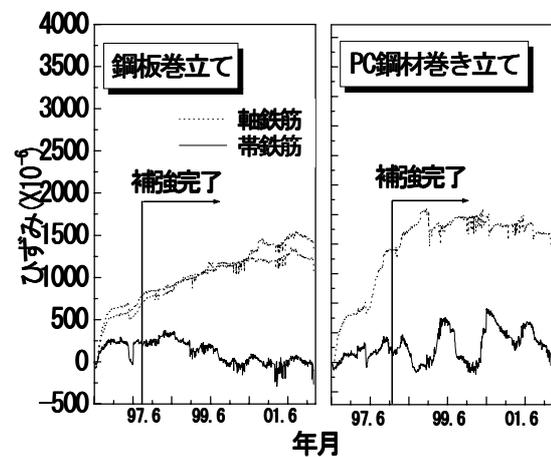


図-10 軸鉄筋および帯鉄筋のひずみの経時変化

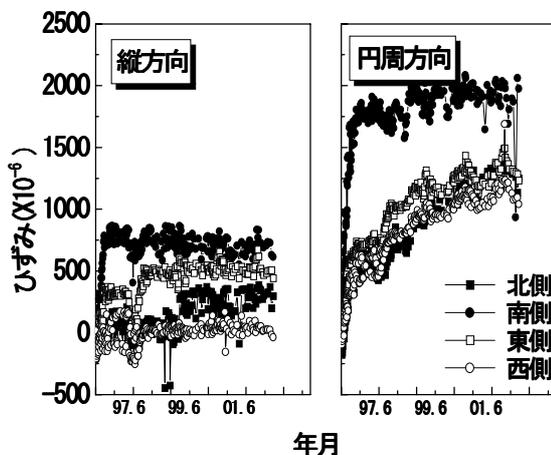


図-11 鋼板巻立ての鋼板の引張ひずみの経時変化

### 3. 4 PC鋼線に発生するひずみの経時変化

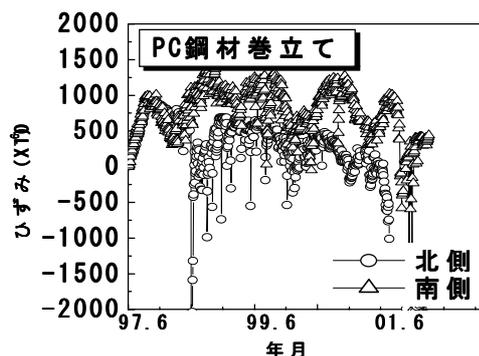
PC鋼材のひずみの経時変化を図—12に示す。ひずみの測定位置は北側及び南側の中央部であり、測定点数はそれぞれ1箇所である。PC鋼材のひずみは鋼板巻立てと異なり、北側及び南側による方角の相違は認められなかった。PC鋼線のひずみは、夏季に増加し、冬季に低下するという季節変化にともなう挙動を示しているが、暴露期間にともなうひずみの増加は発生していないことが確認された。これは、試験体そのものが季節変動にともないある程度の膨張及び収縮を繰り返すために、PC鋼材にかかる応力がそれに応じて変化したことによるものと推察された。

### 4. まとめ

ASRによる損傷を受けた鉄筋コンクリート橋脚の補修・補強方法を検討する目的で、各種補修・補強工法のASRによる膨張抑制効果を長期にわたり比較検討した。

本研究で得られた主要な結果をまとめると次のようである。

- (1) ASR膨張により未補強試験体のコンクリートのひずみは $8000\mu$ に達し、帯鉄筋が降伏する可能性が認められた。
- (2) 樹脂塗装試験体は、コンクリート中に存在する水分のみでASRによる膨張が進行し、樹脂塗装のみでは膨張の抑制効果は期待できなかった。
- (3) 鋼板巻立て試験体は、鋼板による横拘束効果により、コンクリート内部の膨張を効果的に低減することができ、帯鉄筋の引張ひずみの発生を抑制できた。
- (4) 鋼板巻立て試験体は、ASR膨張により鋼板の円周方向に大きなひずみが発生し、ASRによる膨張が継続すると、鋼板の溶接部に亀裂が発生する可能性があった。
- (5) PC鋼材巻立て試験体は、鋼板巻立て試験体と比較して、ASR膨張の横拘束効果は小さかった。



図—12 PC鋼材巻立てのPC鋼材のひずみの経時変化

(6) ASRによる損傷を受けたコンクリート構造物の補修・補強効果を確認するのに、超音波パルス速度の測定は有効であった。

### 謝辞

本実験の遂行に当たり終始御指導頂いた、金沢大学 川村満紀教授並びに御協力頂いた、(株)ピーエス 石井浩司氏、福井県 尾崎文亮氏に感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) Torii, K. et.al: Strengthening Method For ASR Affected Concrete Piers Using Strengthening Steel Wire, 11<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, pp.1225-1333, 2000.
- 2) 阪神高速道路公団：アルカリ骨材反応に関する調査研究委員会報告, 1986.
- 3) Ono, K. and Taguchi, M.: Long-Term Behavior of AAR Bridge Pier and the Internal Deterioration, 11<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, pp.1167-1174, 2000.
- 4) 鳥居和之ほか：ASR膨張によるコンクリート構造物の鉄筋破断の検証，コンクリート工学年次論文報告集, Vol.23, No.2, 2001.
- 5) 奥田由法ほか：ASR損傷コンクリート橋脚の補修・補強に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.1, 1998.