ASR損傷コンクリート構造物の調査と補修・補強に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 奥田, 法 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/16275

氏　　名	奥 田 由 法
生 年 月 日	
本　　籍	石川県
学 位 の 種 類	博士(工学)
学 位 記 番 号	博甲第336号
学位授与の日付	平成12年3月22日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	ASR損傷コンクリート構造物の調査と補修・補強に関する研究
論文審査委員(主査)	鳥居　和之(工学部・教授)
論文審査委員(副査)	川村　満紀(工学部・教授)　梶川　康男(研究科・教授) 桝谷　　浩(工学部・助教授)　宮川　豊章(京都大学大学院・教授)

学 位 論 文 要 旨

Abstract

After Hanshin-Awaji Earthqake, various rehabilitation and retrofitting methods have been proposed. However, there are some issues that these rehabilitation and retrofitting methods have not been actually applied to concrete piers damaged by ASR. The author turned my attention to "PC confined method" which uses PC wires as a hoop reinforcement.

Reinforced concrete columns containing reactive andesitic aggregates were prepared in order to examine the effects of prestressing force on the confinement of the cracks due to ASR and the improvement of load-bearing capacity of ASR affected concrete columns. From the experimental results of RC column strengthened by prestressing steel wire, it was concluded that the prestressing force given around RC column could confine the cracks due to ASR and increase both the strength and the ductility of RC column in the compression test. Based on the results of the laboratory test, the PC confined method was successfully adopted in the strengthening for the existing ASR affected RC piers of two bridges, which are T bridge and K bridge in the Noto peninsula in Ishikawa prefecture. After completing the strengthening work of the T bridge, the monitoring of both the induced stress in concrete and the confinement of cracks due to ASR is going on continuously.

The monitoring data for 2 years also have shown that the prestressing force given around the RC piers of the T bridge is effectively controlling both the extention of ASR cracks and the expansion of concrete.

1. はじめに

1995年（平成7年）1月17日に発生した兵庫県南部地震による経験を踏まえ，既設道路橋において，地震の影響の大きい橋脚，基礎，支承および落橋防止装置などの耐震補強が実施されている。この中で，鉄筋コンクリート橋脚の耐荷力および靭性を改善させる工法として，主として鋼板巻き立て工法と鉄筋コンクリート巻き立て工法が施工されている。しかしながら，アルカリシリカ反応（以下ＡＳＲ）で劣化したコンクリート橋脚に対するこれらの工法の適応性に対しては十分な解明がなされておらず，種々の問題点が指摘されており，新しい工法の開発が要請されているのが現状である。

本研究は，コンクリートに圧縮応力を与えておくことにより，ひび割れの発生および進展を抑制する効果があるプレストレストコンクリート（以下ＰＣ）の優れた特徴に着目し，ＡＳＲにより損傷を受けたコンクリート橋脚にＰＣ鋼材を巻き付けプレストレスを与えると，ＡＳＲの抑制ならびに耐震性能の向上に大きな効果が得られると考え，その工法の適用性を研究したものである。

2. ＰＣ鋼材巻き立て工法の概要とＡＳＲ損傷コンクリート橋脚への適用の問題点

元々，橋脚をＰＣ鋼材で巻き立てる工法は，鉄筋コンクリート巻き立て工法の問題点である多量の横方向鉄筋を，高強度のＰＣ鋼材で置き換えて横方向鉄筋量を削減し，施工性の改善を計ることを目的に開発された工法である。この工法の特徴は，既設コンクリート橋脚に高強度のＰＣ鋼材を巻き付けてプレストレスを導入することにより，新旧コンクリートを一体化し，横拘束（コンファインド）効果を高めるとともに，少量のＰＣ鋼材量で鉄筋と同程度のじん性改善を行うことができることである。ＡＳＲで損傷を受けたコンクリート橋脚では，柱軸方向に大きなひび割れが何本も走り，軸方向鉄筋とかぶりコンクリートとの付着力が低下しているのが特徴の一つである。このような橋脚にＰＣ鋼材を巻き付ける工法を適用した場合は，ＰＣ鋼材による締め付け力がＡＳＲによるひび割れの進展を抑制し，同時にかぶりコンクリートの剥落を防止することにもつながり，大きな補強効果が期待できると考えられる。しかしながら，ＡＳＲ損傷橋脚にＰＣ鋼材を巻き付けプレストレスを与えた場合のひび割れの拘束挙動およびコンクリートの軸方向応力度と軸方向ひずみの関係が明らかになっていない。また，ＡＳＲの進行にともなって発生した軸方向鉄筋および帯鉄筋のひずみが，地震時に水平力を受けた場合の力学的挙動にどのような影響を及ぼすかについての検討も十分になされていない。

3. 鉄筋コンクリート試験体による補強効果の検証試験

ＡＳＲ損傷コンクリート橋脚に対するＰＣ鋼材巻き立て工法の適用性を照査ならびに評価するため，ＡＳＲを再現した試験体を用いて，ＡＳＲの発生によるコンクリートの膨張過程，各種補強工法の補強効果の相違および力学的試験などを行った。大型円柱コンクリート試験体による長期屋外暴露試験では，ＡＳＲによるコンクリートの膨張は季節変動による温度依存性が極めて高く，試験体に発生するひび割れは水分などの環境要因に依存す

ることが明らかとなり，実構造物での調査結果との相関が認められた。また，鋼板巻き立ておよびＰＣ鋼材巻き立てを施した試験体では，無補強試験体および樹脂塗装試験体と比較して補強後の半径方向の膨張量は小さくなり，ＡＳＲによる膨張の抑制効果が認められたが，鋼板の場合はコンクリートと比較して熱伝導率が高いことから，**図-1**に示すように，暴露方向によってひずみ履歴が大きく異なり，日射の影響を受ける側面では，ひずみが暴露200日で2000μにも達しており，温度上昇によりＡＳＲが促進されることと，局部的なコンクリートの膨張のために鋼板の溶接部分等に変状が発生する可能性があることが明らかになった。

小型円柱コンクリート試験体による中心軸圧縮載荷試験では，帯鋼板補強試験体およびＰＣ鋼材巻き立て補強試験体とも無補強試験体と比較して最大応力度が増加したが，**図-2**に示すように，コンクリートが降伏点強度に達した後のひずみ曲線の二次勾配の軌跡は，両試験体の横拘束鋼材の体積比が同じであるにも関わらず，前者は緩やかな形状を示したのに対して後者は上昇傾向を示し，プレストレスの影響により，降伏後の二次勾配領域においても大きな横拘束効果が得られることを示しているものと推察された。

さらに，水平力交番載荷試験では，ＰＣ鋼材巻き立て補強試験体は，無補強試験体と比較してコンクリートの剥離開始時期，かぶり剥落時期とも大幅に遅れることが明らかとなり，ＰＣ鋼材に導入された円周方向のプレストレス力により，

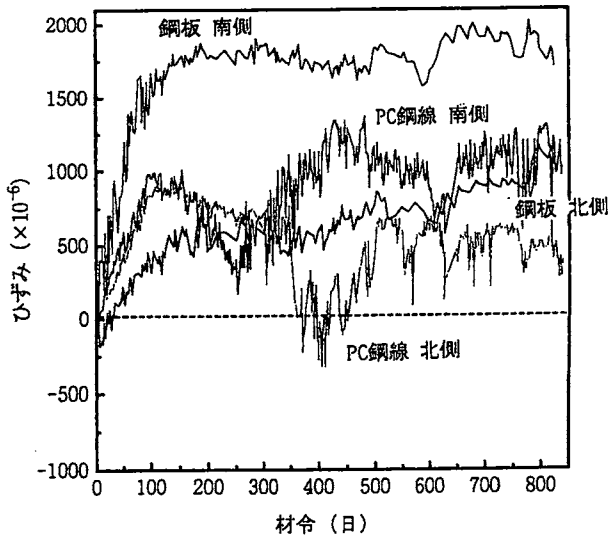

図-1 大型試験体での鋼板およびＰＣ鋼線に発生するひずみの経時変化

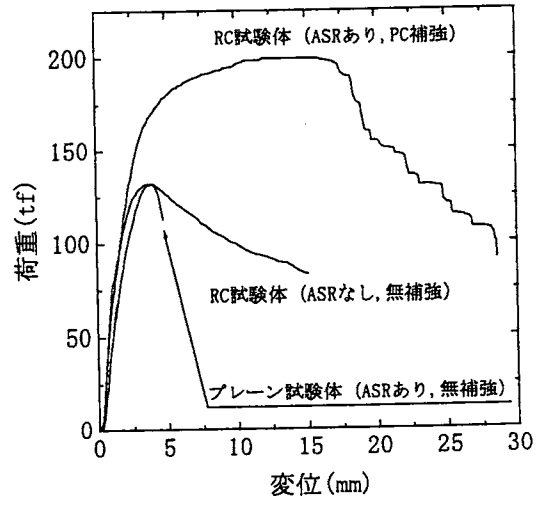

図-2 中心軸載荷試験での軸圧縮応力度とひずみ

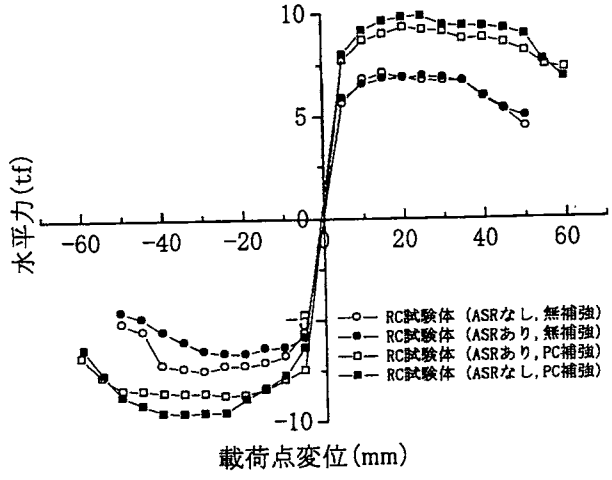

図-3 水平力載荷試験での水平荷重と水平変位

かぶりコンクリートの剥離に対する抵抗力が増大したためと考えられた。また，図-3に示すように，吸収エネルギー履歴を表す水平荷重-水平変位の包絡線においても，無補強試験体ではＡＳＲが進行している南面で吸収エネルギーの減少傾向がみられたが，補強試験体ではＡＳＲ損傷の影響を受けずほぼ同じ履歴が確保され，ＡＳＲ損傷を受けていない試験体と同程度まで改善できることが確認できた。

これらの試験結果から，ＡＳＲにより損傷を受けた試験体にＰＣ鋼材により補強を行うと，ひび割れの拘束効果のみならず耐震補強性能も向上することが確認できた。

4. ＰＣ鋼材巻き立て工法によるＡＳＲ損傷コンクリート橋脚の実際の施工および補強効果の検証

ＰＣ鋼材巻き立て工法では，図-4に示すように，プレキャストパネルを用いることにより工期の短縮を図ることが可能となり，設計上も耐震性能を満足することができ，設計および施工を合理的に行うことができた。パネル内のＰＣ鋼材はスパイラル状に連続的に配置し，特殊ジャッキを使用してプレストレスを与え，既設橋脚との一体性を確保している。また，プレキャストパネルを使用することで日射によるコンクリート内部の温度の上昇が緩和され，中埋めコンクリートのひずみは，2年間の長期計測では夏期においても10μ程度と膨張傾向は認められず季節変動による変化のみであったことから，温度依存性の大きいＡＳＲ損傷構造物に対しては適当な工法であるといえる。

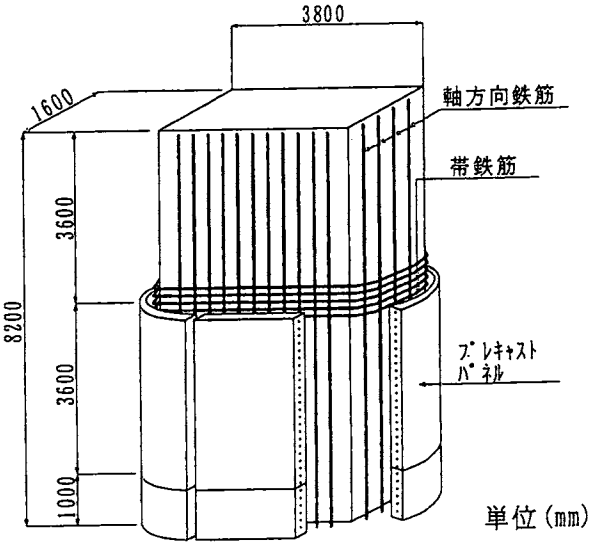

図-4 ＰＣ鋼材巻き立て工法の概念図

補強効果の検証のため埋設したセンサーの測定結果からは，与えたプレストレスは導入直後にその効果が認められるのではなく，徐々に現れてくるのが既設橋脚のひび割れ幅の挙動から判明した。また，与えたプレストレスは，プレキャストパネルおよび中埋めコンクリートを介して導入され，その大きさも降伏点荷重の1/3程度と比較的少ない量であるので発生ひずみは小さな値となり，導入された応力度を直接検証することは困難であったが，施工後の既設橋脚表面のひび割れ幅の進展に減少傾向が認められたことから，プレストレスによるひび割れの拘束効果が発揮されていると判断した。

5. 結論

ＰＣ鋼材巻き立て工法は，損傷を受けていないコンクリートと同様に耐荷力および靭性を改善するとともに，ＡＳＲによる膨張を抑制する効果があることが実証され，今後はＡ

ＳＲ損傷構造物に対する有効な補強工法になると思われる。しかしながら，今回の試験および実施工では，与えたプレストレス力を降伏点強度の1/3程度と一義的に定めており，ＡＳＲの将来の膨張に対して最適プレストレス力であったか否かは今後の追跡調査等により解明されなければならないと思われる。

また，本研究の始めに実施したＡＳＲにより損傷したコンクリート構造物の調査を通して，ＡＳＲによる劣化は，環境要因および構造要因などの影響を受け，個々の構造物毎に異なっていることが判明し，調査の重要性が認識された。

今後の課題として，ＡＳＲ損傷橋脚の補修・補強設計に際しては，調査手法の確立および調査結果から現状の既設橋脚の性能を評価する方法ならびに耐震補強設計に反映させる手法を早急に確立する必要があると思われる。

学位論文審査結果の要旨

当該学位論文に対して，個別に審査するとともに２回にわたる審査委員会を開催し，提出論文および関係資料について詳細に検討した。２月１日の口頭発表後の最終審査会における協議の結果，以下のように判定した。本論文は，北陸地方の代表的なコンクリート構造物の損傷事例であるアルカリシリカ反応(ASR)に関して，ASRによる損傷を受けたコンクリート構造物の損傷の特徴を綿密に計画された調査により明らかにするとともに，ASR損傷コンクリート構造物の新しい補強法としてのPC鋼材巻き立て工法の適用性をコンクリート試験体による各種屋内試験により検証している。また，本論文の研究成果に基づいて，能登有料道路の２つの橋梁にてPC鋼材巻き立てによる橋脚の補強工事が実際に施工された。

得られた主要な研究成果は次のようである。

(1) 能登地方のコンクリート構造物の損傷状況の調査より，ASRによる損傷は環境要因と構造要因の影響を大きく受けるとともに，凍結防止剤(塩化ナトリウム)の散布がASRを促進することを明らかにし，ASR損傷構造物の調査にコアの強度試験と残留膨脹性試験による新しい評価手法を提案している。

(2) 耐震補強の対象となった３つの橋脚の詳細調査を実施し，ASRを引き起こした要因を明らかにするとともに，橋脚の損傷状況を評価して，その結果を補修・補強設計に反映する手法を提案している。

(3) ASR損傷コンクリート試験体の一軸圧縮載荷試験，水平力交番載荷試験および屋外長期暴露試験の結果より，PC鋼材巻き立て工法により補強したコンクリート試験体におけるASRによるひび割れの拘束効果および強度，変形性能の改善効果を明らかにしている。

(4) ３つの橋梁でのPC鋼材巻き立て工法による実施例に関して，ASR損傷橋脚に対する設計手法および施工計画を提案するとともに，橋脚に埋め込んだひずみ計およびひび割れ変位計の長期試験結果より実際の橋脚でのプレストレスト力の導入とひび割れの抑制効果を確認している。

以上のように，本論文はASR損傷コンクリート構造物の補修・補強の設計および施工法の開発に大きく貢献するものであり，本論文は博士(工学)の学位を受けるに値するものと判定される。