

既設橋コンクリート部材のASRと技術開発

石田雅博・七澤利明・古賀裕久

1. はじめに

アルカリ骨材反応（以下「ASR」という。）は、コンクリート構造物の劣化原因の一つである。本報では、ASRに対するこれまでの土木研究所や国土交通省における取り組みの概略を示し、近年の研究内容を整理して報告する。

2. ASRの現状と課題

ASRに関する出来事、国の対策等の経緯について表-1に示す。海外では1940年代からASRによるコンクリート構造物の劣化について研究されていたが、我が国では、ASRにより劣化した構造物の事例が広く知られるようになったのは、1980年代からである。

建設省は、建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」（昭和60～62年度、以下「耐久性総プロ」という。）を実施し、その中で塩害、ASRに対する研究開発を行った。その結果を受けて、新設構造物における抑制対策や既設構造物の維持管理方法が提案されている。

耐久性総プロにおける検討で、既設構造物の耐荷性状に関しては、例えば、ASRを生じさせた梁の静的載荷試験や疲労試験が行われている。その結果、スターラップ量が通常の配筋量よりも少ない（または無い）場合にせん断耐力が低下するおそれがあったものの、通常は耐力への影響はほとんどない結果が得られている。このため耐久性総プロ時の報告書では、水の供給を防ぐための表面保護やひび割れ注入による補修について多くの紙数が割かれていた。

しかし、その後、ASRで著しく劣化した橋脚で、鉄筋の破断（図-1）が生じている事例があることが明らかになった。鉄筋による拘束力が失われると、耐久性総プロ報告書でも予想されたように、部材の耐力が低下するおそれがあり、各所で

検討が行われた。

表-1 ASRに対する出来事、対策等の経緯

| 年（代） | 出来事等 (黒色：国内，茶色：海外) |
|-----------|---|
| 1940年代 | Stanton (米) がアルカリ骨材反応を指摘 セメントのアルカリ含有量の最大値、骨材の 反応性試験 (ASTMの化学法，モルタルパー 法) など検討 |
| 1950～70年代 | (国内で事例報告があるものの、注目されな かった。) |
| 1980年代前半 | 大規模構造物でASR発生例確認、社会問題化 |
| 1985年 | 建設省が総合技術開発プロジェクト「コンク リートの耐久性向上技術の開発」を開始 |
| 1986年 | 建設省が「アルカリ骨材反応暫定対策につ て」を通達 |
| 1990年代 | (新設での劣化事例が減少し、ASRに関する研 究発表数等はやや減少) 海外では、例えば、NaOH浸せきによる促進モ ルタルパー法、ASTM C 1260 (1989年) など、 遅延膨張性骨材等に関する検討も進む。 |
| 2000年代前半 | 鉄筋破断の発生例確認 |
| 2003年 | 国土交通省が「道路橋のアルカリ骨材反応に 対する維持管理要領(案)」を通知 |
| 2008年 | ASRに関する対策検討委員会が「アルカリ骨 材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋 台躯体に関する補修・補強ガイドライン (案)」を公表 |



図-1 ASRによる鉄筋破断の例

国土交通省道路局では、平成15年3月、「道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理要領(案)」を通知し、全国の直轄国道および高速道路等の橋梁でASRに起因する橋梁の損傷状況等の調査を実施した²⁾。

また、ASRに関する対策検討委員会（委員長宮川豊章京都大学大学院教授）を設置して検討し、補修・補強対策を検討する場合の指針として、「アルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン(案)」(以下「ガイドライン(案)」という。)を定めた。

ガイドライン(案)は、目視による外観の詳細調査が可能な道路橋の張出しを有する橋脚（T型橋

ASR Deterioration of Concrete Members in Existing Bridges and Development of Coping Measures

脚)を念頭において作成されている。この部位は、ASRによる鉄筋破断事例が確認された部位でもある。

ところでASRによる鉄筋破断は、地中にあるフーチングでも報告^(例えば3)されており、その維持管理等が課題となっている。これに関する対応について次章で紹介する。



図-2 フーチングのASR損傷例

3. 土木研究所の取組み

3.1 フーチングのASR損傷への対応

近年、橋梁基礎のフーチングにおいてASRにより劣化を受けた事例が報告されている。中には図-2に示すように非常に幅の広いひび割れや鉄筋破断を伴い、耐力低下が疑われる甚大な損傷が生じているものもある。

2章で示したように、道路橋等のASR損傷に対してはこれまでの調査研究により一定の知見が得られているが、これらは主に梁や柱などの気中部材を対象としたものであり、地中部材に関しては損傷実態も含めて十分な知見がないのが現状である。特に、フーチングのような厚い版部材において、①地中でASRがどのように進展し損傷が生じるのか、②損傷状態をどうやって調査するのか、また③損傷形態に応じた効果的な補強方法は何か、について明らかになっていない。

このため、現在土木研究所では、2つの構造形式の大型フーチング模型に対する長期暴露試験を実施し、ASR損傷の進展に関する調査・分析を行っている。1つは直接基礎タイプのフーチング模型であり、水位を変動(Case1)、常に浸水(Case2)、土中に埋設(Case3)と環境条件を変えた3種類の暴露試験⁴⁾、もう1つの杭基礎タイプについては2体の土中暴露試験を行っている⁵⁾。配筋等については表-1に示す建設省通達が出される以前の昭和50年代の道路橋基礎を想定して定めている。図-3に4年9ヶ月経過後の直接基礎タイプ

Case2のひび割れ状況を示すが、フーチング表面にASR特有の亀甲状のひび割れが生じている。また、図-4は直接基礎タイプ各供試体の内部温度変化(上段)および鉄筋ひずみ進展(下段)を比較した図であるが、温度変化の乏しいCase3ではひずみの発生や進展は遅いものの、最終的な膨張量は他を上回ることを確認している。また、超音波透過法による非破壊検査を実施して鉄筋ひずみ分布と比較し、超音波伝搬速度がひずみ増加と概ね比例関係にあること、フーチング表面に比べて内部では劣化があまり進展していないことなどを確認している⁴⁾。

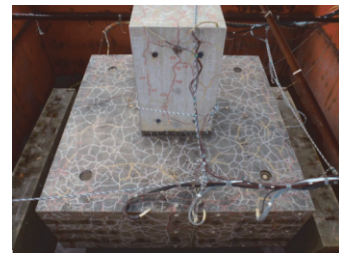


図-3 直接基礎タイプCase2のひび割れ状況

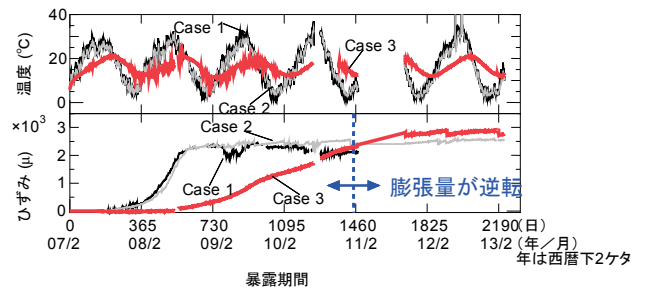


図-4 直接基礎タイプの内部温度およびひずみ進展状況

一方、効果的な補強方法に関しては、これまで膨張材によりASR損傷を模擬したフーチング模型の載荷試験等を実施している⁴⁾。図-5にせん断破壊試験結果の比較を示すが、損傷を有する場合せん断耐力は大きく低下するものの、ひび割れ補修とせん断補強鋼材の挿入により耐力が回復することなどを確認している。今後は暴露試験供試体に対する載荷試験等を行い、補強設計法や施工法について提案していく予定である。

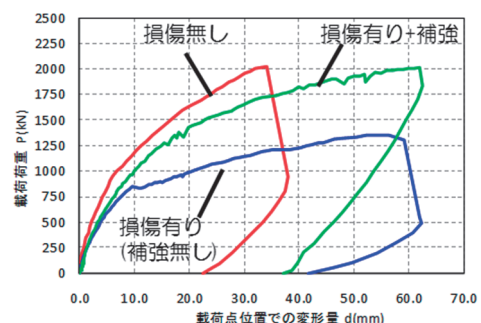


図-5 ASRフーチング模型せん断破壊試験結果の比較

3.2 ASRの対応事例

土木研究所では、これまでの研究経験などを活用し、ASRで劣化した構造物の技術相談を受けている。たとえば、図-6に示す昭和60年（1985年）に建設された単純PCプレテン中空床版橋（橋梁37.92m，幅員8.75m，2径間）であるA橋は、PC桁にはPC鋼材の方向に沿ったひび割れ（図-7）があり白色のゲル状物質の析出が確認されていること、SEM-EDS試験（走査型電子顕微鏡により電子線を試料に照査し、試料表面から放出される二次電子、反射電子、特性X線を利用して元素分析、試料観察を行う試験）の結果及び書類調査の結果からASRによる変状であることが疑われ、以下の項目について相談があった。

- ① 緊急の補強対策の実施有無
- ② 補修方法・補修後の監視方法

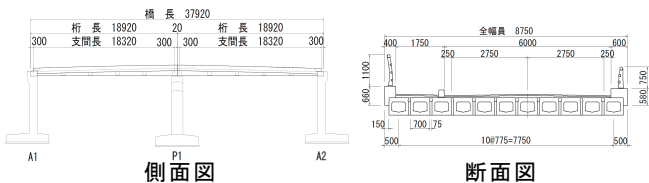


図-6 橋梁一般図



図-7 桁側面のひび割れ状況

① 緊急の補強対策の実施有無について

当該橋梁では、橋梁上部工の弾性域における挙動を確認し、予測した挙動に比べて大きな差異がないかどうかを確かめる目的で静的載荷試験が実施されている。図-8に試験状況、結果を示す。載荷試験の結果、解析値（たわみ）に対する計測たわみ量の比は約8割程度であった。このことから、設計で想定した剛性が概ね失われていないと考えられる。また、点検・調査結果では、桁間の間詰部や横締め部からの漏水は見られず、ひび割れ箇所が乾燥状態であった。このことから現況において路面から桁内に水が供給されている可能性が低く、内部でASR以外の損傷が進行している可能性は低いと考えられる。さらに、通行車両の殆どは普通自動車であり、大型車が通行するのは稀であること、桁下面の鉄筋が健全であったことから、耐荷性能が大きく低下している状態ではなく、今

後損傷が進行し橋の耐荷力が急激に低下する可能性も低いと考えられた。以上より、当該橋梁の相談においては、今すぐに補強が必要な状態とは考えられないと判断した。

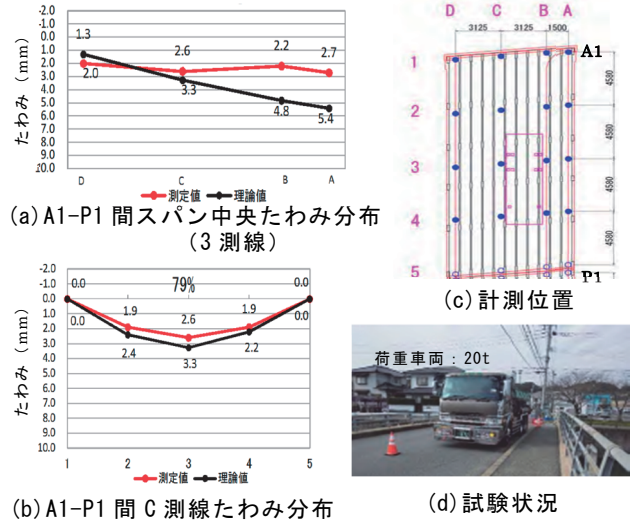


図-8 静的載荷試験

② 補修方法・補修後の監視方法について

ASRは、水により反応が促進されるため、遮水対策が重要である。しかし、コンクリート中の内在水分により新たな水分供給がなくても反応が続く可能性もあり、その進行を完全に抑制することは困難だといわれている。そのため、今後、A橋においても遮水を基本とした対策工を実施した上で、重点的な監視を行う必要があると考えられる。補修方法としては、橋面防水工に加え側面への防水工の実施、地覆からの浸水に留意した歩道構造改良などの遮水対策を実施するとともに、舗装下面に橋軸直角方向の排水を促すよう勾配をつけたコンクリートの施工、桁間の間詰部へのスラブドレーンの設置、PC桁中空部に水抜き孔を設けるなど、万が一の浸水に備えた滞水をさせないための工夫についても考慮し行う必要がある。経過観察においては、補修工の効果が得られているか（漏水・ひび割れの進行、新たな発生がないか

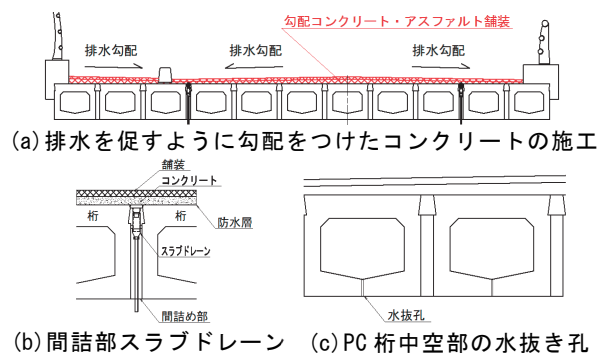


図-9 補修工のイメージ

等)を確認する必要があると考えられる。

PC橋の点検や診断にあたっては、ひび割れや鉄筋腐食といった損傷状態、作用荷重状況、たわみ分布等の総合的な情報を基に、安全性や使用性を判断することが重要である。補修方法については、遮水および滞水対策を実施するとともに、定期的な追跡調査が必要になることが多い。

ところで、現場からの技術相談を受けると、ASRで劣化した構造物の調査として、JCI-DD2「アルカリ骨材反応を生じたコンクリート構造物のコア試料による膨張率の測定方法(案)」による残存膨張率試験を行っている場合が多い。これは、構造物から採取したφ100×250mmのコアを気温40℃、相対湿度95%以上の環境で促進養生して膨張率を測定する試験方法である。しかし、近年の研究によるとJCI-DD2法では、試験中に試料からアルカリがコンクリートから溶脱することなどにより、試験結果が実構造物と十分に対応しないことも指摘されている⁶⁾。また、試験に時間がかかることも課題である。土木学会のコンクリート標準示方書⁷⁾では、ASRが生じた構造物の詳細調査方法として、調査目的に応じて種々の方法を提案しているので、診断に求められる迅速性なども考慮し、適切な方法を選定するのがよい。

また、「道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理要領(案)」⁸⁾にASR対応の基本的考え方、「アルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン(案)」⁹⁾にASRで劣化した構造物の補強の要否や補強方法に関する性能評価上の仮定方法や評価式などが示されているので、参考にされるとよい。

4. おわりに

ASRにより劣化した既設橋コンクリート部材の維持管理に関するこれまでの研究の状況を概説

し、土木研究所における取り組みを紹介した。

ASRによる構造物の劣化は1980年代に社会問題となったことから、このころに多くの研究が行われており、各種の技術情報にもその結果を受けた記述が多い。しかし、その後も鉄筋破断など重要な事実が判明しており、調査技術等についても新たな技術の活用が進んでいるので、参考にされるとよい。なお、新設構造物におけるASR抑制については、文献10)を参照されたい。

最後に、点検資料や写真提供にご協力いただいた道路管理者の皆さまに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 土木研究センター：建設省総合開発プロジェクトコンクリートの耐久性向上技術の開発、p.232、1989.5
- 2) 河野広隆、古賀裕久：道路橋に見るアルカリ骨材反応の実態、土木技術資料、第47巻、第12号、pp.66～71、2005.12
- 3) 鳥居和之、宮村雅之、湊俊彦、西川元気：能登有料道路の基礎構造物のASR劣化とその対策、コンクリート工学、Vol.46、No.4、pp.27～33、2008.4
- 4) 中谷昌一、七澤利明、白戸真大、竹口昌弘、河野哲也：アルカリシリカ反応による損傷を受けたフーチングに対する損傷度評価および補修・補強方法に関する研究、土木研究所資料第4304号、2015.3
- 5) 真弓英大、七澤利明、河野哲也：ASRによる損傷を受けたフーチングの暴露試験、第70回年次学術講演会、土木学会、2015.9
- 6) 日本コンクリート工学会：ASR診断の現状とあるべき姿研究委員会報告書、pp.264～266、2014.7
- 7) 土木学会：コンクリート標準示方書〔維持管理編〕、pp.220～222、2013.10
- 8) 国土交通省道路局：道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理要領(案)、2003.3
- 9) 国土交通省近畿地方整備局：アルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン(案)、2008.3
- 10) 古賀裕久、渡辺博志：コンクリート用骨材について考える(第3回)ーコンクリートのアルカリ骨材反応ー、土木技術資料、第56巻、第3号、pp.51～52、2014

石田雅博



土木研究所研構造物メンテナンス
研究センター橋梁構造研究グループ 上席研究員
Masahiro ISHIDA

七澤利明



土木研究所研構造物メンテナンス
研究センター橋梁構造研究グループ 上席研究員
Toshiaki NANAZAWA

古賀裕久



土木研究所研先端材料資源研究
センター材料資源研究グループ
上席研究員
Hirohisa KOGA