

ASRにより損傷した橋梁フーチングの調査方法の提案

廣江亜紀子・行藤晋也・堀内智司・桐山孝晴

1. はじめに

既設道路橋のフーチングがアルカリシリカ反応（以下「ASR」という。）により損傷する事例が複数報告されている¹⁾。日本でASRが顕在化した昭和57年以降各種の研究が行われ、ASRを抑制するための対策が採られたため、新設構造物にASRが発生する懸念は低くなった一方で、既にASRによる損傷を受けた既設構造物への対応が求められる。しかし、フーチングは地中に埋設されており、ASRの損傷状況を目視で確認するためにはフーチング全体を掘り起こさなければいけないほか、供用中の橋梁に対してはコア採取など躯体を損傷させる調査手法をとりづらいなど、調査に制約が多い。

本報告では、供用中の橋梁のフーチングの調査を想定し、ASRによる損傷状況を確認する調査手法のうち、非破壊または躯体損傷が少ない微破壊による調査に着目した。その中でも掘削量を低減させるため、フーチングの上面側から実施可能な手法を、長期間暴露によりASRを発生させたフーチング供試体を対象に試行した上で、その他の調査手法と合わせて、措置の優先度を判定する方法を提案する。なお上記の理由から、外観目視や鉄筋レーダーによる鉄筋破断の確認、コアの採取によるコンクリート強度の確認やはつり調査等、従来から用いられている調査手法の詳細については、本報告では言及していない。

2. 対象とする供試体

調査の試行には、平成18年度から実施された暴露環境をパラメータに実環境下におけるフーチングのASRによる損傷状況や環境による進行の差異を検討するための屋外暴露実験りに用いられた供試体3体のうち、別途載荷試験に使用された1体を除く2体を用いた。今回報告する調査を実施した時点では、暴露開始から約15年が経過していた。供試体の概要、使用材料、暴露環境を図-1、表-1、図-2に示す。

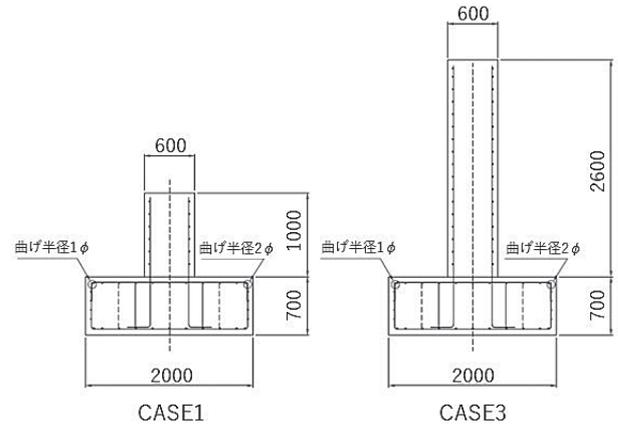


図-1 供試体の概要

表-1 使用材料

セメント種類	普通ポルトランドセメント	
反応性骨材の配合割合	粗骨材 反応：非反応=50：50	細骨材 反応：非反応=40：60
コンクリート	$\sigma_{ck} = 21\text{N/mm}^2$	
鉄筋	SD295A ($\sigma_y = 358\text{N/mm}^2$)	
鉄筋径と鉄筋間隔	柱	主鉄筋D19@180
	底版	下面D19@200 上面D10@200

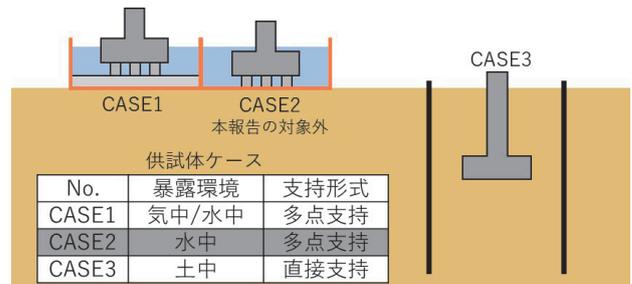


図-2 供試体ケースと暴露環境の概要図



写真-1 フーチング上面まで掘削したCASE3の供試体

図-2でCASE1の支持条件が多点支持となっているのは、供試体底面が水槽に着底しないようにする

ためである。柱の長さが異なるのは、CASE3は地下水位の変動がフーチング周辺となるよう地表より約2.8mの深さに設置したためである。屋外暴露実験¹⁾の供試体製作に先立ち、骨材種、配合等が異なる小型供試体の暴露実験を行い、供試体の表面ひずみ等の計測により各供試体のASRの進行の調査を行っている。今回用いる供試体には、その実験においてASRが進行することが確認された骨材種、配合(表-1)が用いられている。土中暴露を行ったCASE3については、供試体周囲の土を掘削して調査を行った(写真-1)。

3. コンクリートの非破壊・微破壊による調査

3.1 表面走査法による弾性波速度計測(非破壊)

コンクリートの強度や損傷状況を、躯体を損傷させることなく推定する方法としてコンクリート内を伝わる弾性波の伝搬速度を利用する方法がある。方法としては、コンクリート面に弾性波を入力し、反対側の面でコンクリート内部を透過した弾性波を受信し、その伝搬時間を測定する方法(透過弾性波法)と、同一面でインパルスハンマーによる弾性波の入力とセンサーによる弾性波の受信を行い、伝搬時間を測定する方法(表面走査法)がある²⁾。ここでは、フーチング上面のみから調査することを想定し、同一面で調査できる表面走査法を用いて弾性波速度の計測を行うこととした。弾性波の入力・受信点間距離を300~1000mm程度(深度200~300mm程度)の範囲で25mmずつ変化させて行い、波動の伝搬時間差を求め、入力・受信点間距離との関係から弾性波速度を算出した。表面が劣化したコンクリート面における弾性波の伝搬のイメージを図-3に示す。入力点と受信点が近い場合は表面付近を伝搬する弾性波を受信するが、入力点と受信点が離れると劣化した表面を伝搬する弾性波よりもコンクリート内部を伝搬する弾性波の方が受信点に速く到達することから、入力・受信点間距離を変えて計測することにより、コンクリート内部における弾性波の伝搬速度を得ることができる。

測定の様子を写真-2に、CASE1、CASE3の調査位置(L1~L3)と計測結果を図-4に示す。文献³⁾における弾性波速度から暫定的に圧縮強度を得るための関係式を用いると健全なコンクリートでの弾性波速度は3600m/s程度(設計基準強度相当)となるが、CASE1、CASE3はともに、いずれの調査位置にお

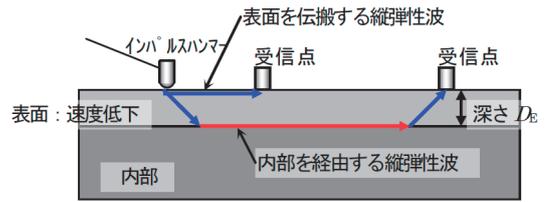


図-3 表面の弾性波速度が低下した構造物での弾性波の伝搬イメージ²⁾



写真-2 測定状況

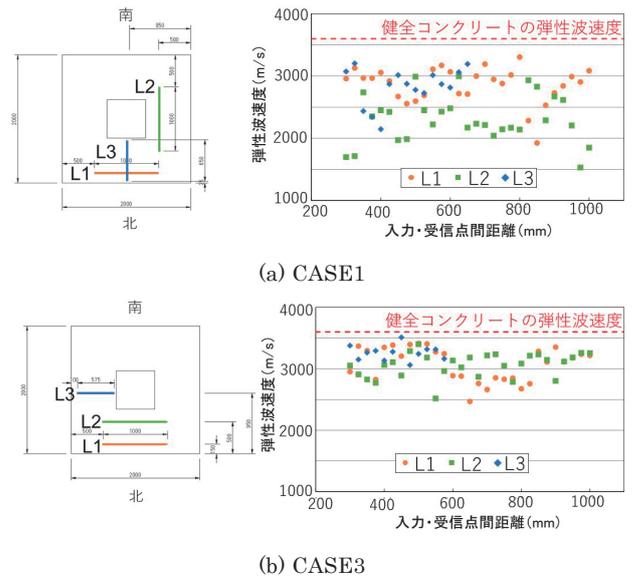


図-4 表面走査法による弾性波速度

いても計測結果はそれを下回ったことから、フーチング内部でひび割れやコンクリートの強度低下が生じていると考えられる。ただし、文献³⁾の弾性波速度から暫定的に圧縮強度を得るための関係式は複数種の配合のコンクリートで製作された円柱供試体における試験をもとにしているため、ここで示した健全なコンクリートでの弾性波速度は目安である。既設構造物の圧縮強度と弾性波速度の関係を精度よく求めるためには、文献³⁾に示されるように、対象構造物に用いられたコンクリートと同一の配合で製作した試験体や対象構造物から採取したコアによる補正が必要となる。

3.2 小径削孔による内部ひび割れ観察（微破壊）

本研究の対象とした2体の供試体は、表面に複数のひび割れが確認された。これらのひび割れが表面上のみでなく、コンクリートの内部でも発生していれば、構造物自体の強度に影響すると考えられる。

コンクリート内部のひび割れを直接的に観察でき、かつ躯体への損傷をできるだけ少なく調査するために、フーチング上面より小径でコンクリートを削孔し、上面鉄筋より内側のフーチング内部のコンクリートの損傷状態を小型内視鏡により観察する調査⁴⁾を行った。この調査方法ではオレンジ色のカラー樹脂を注入することでひび割れを着色する。調査手順を図-5に示す。

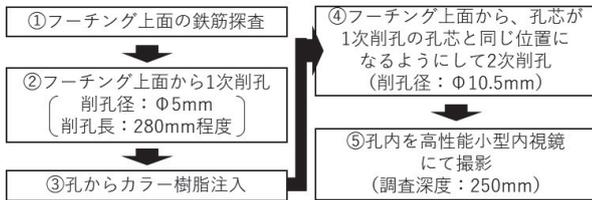


図-5 小径削孔による内部ひび割れ観察の調査手順

図-6に調査位置を示す。図-7にはCASE1のうち図-6に示す調査位置2のひび割れ状況を示す。図-6の左側に小型内視鏡で撮影した画像の拡大写真を掲載しているが、オレンジ色に着色されている部分がひび割れである。図-7の右側の柱状図には、拡大した部分以外において確認されたひび割れの位置、形状も図示している。この図と同様に、今回調査を行ったすべての孔で、水平方向や鉛直方向のひび割れが確認できた。図-8に撮影画像から確認されたCASE1とCASE3におけるフーチング内部のひび割れ位置とひび割れ幅の分布図を示す。フーチング上面の鉄筋位置は表面から85mm（鉄筋中心位置）であり、かぶりコンクリートと内部コンクリートにおけるひび割れの分布（確認したひび割れ個所数）に差は見られない。また、ひび割れは幅0.5mm以下が多く確認できた。

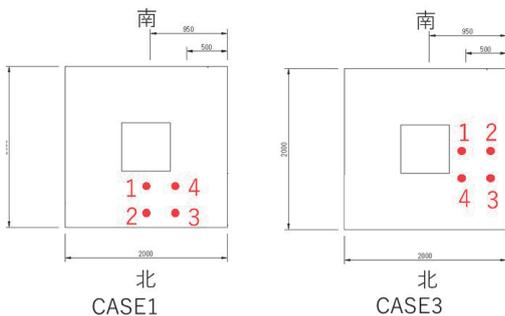


図-6 小径削孔による内部ひび割れ観察調査位置

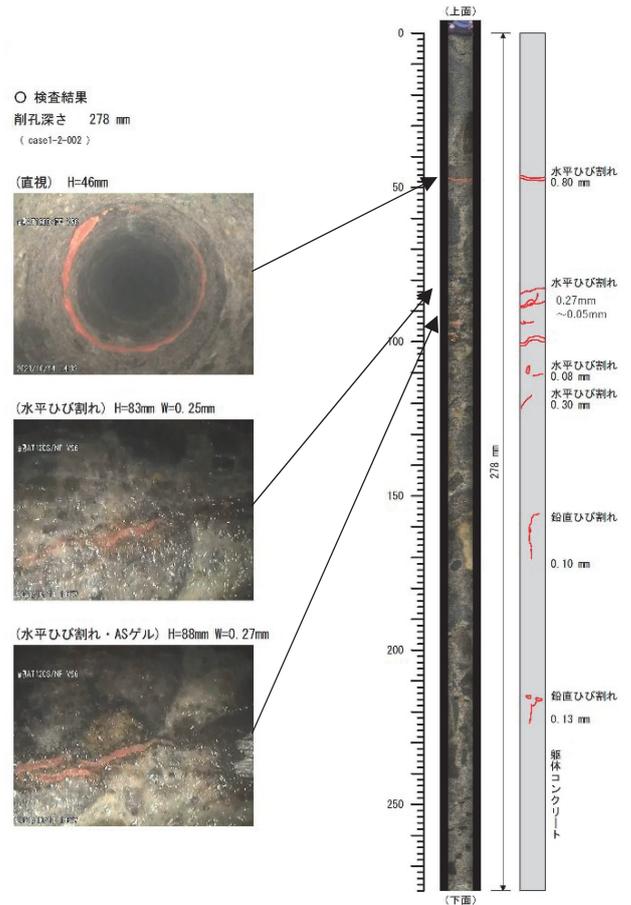


図-7 フーチング内部のひび割れ（CASE1 調査位置2）

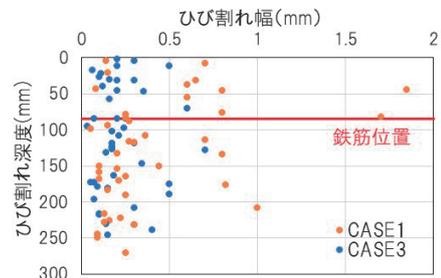


図-8 フーチング内部のひび割れ位置とひび割れ幅

4. ASRにより損傷したフーチングの措置の優先度判定方法（案）

3章で示した方法による調査と、外観目視や鉄筋レーダーによる鉄筋破断の確認、コアの採取によるコンクリート強度の確認やはつり調査等の従来から用いられている手法による調査をもとに、図-9にASRにより損傷したフーチングの措置の優先度判定フロー（案）を提案する。このフローでは、まずは従来実施されている手法で外観の目視や非破壊による調査などを行い、フーチングの強度低下やひび割れが想定される場合には微破壊、破壊の順で調査を進めるといふ、躯体への損傷が少ない試験から順

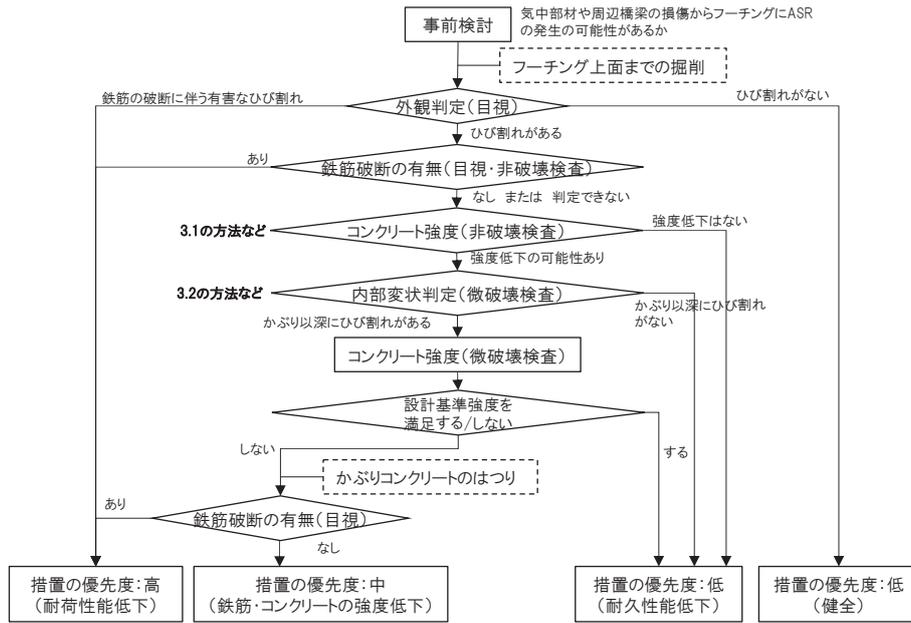


図-9 ASRにより損傷したフーチングの措置の優先度判定方法 (案)

に試みるものである。また、図中の微破壊によるコンクリート強度の調査については、通常の試験に用いるコアよりも小径のコアによる調査（例えば文献⁵⁾）も想定される。かぶりコンクリートをはつった後の目視による鉄筋の破断の有無の判断は、破断なしと判断された鉄筋が降伏しているかどうかにより、さらに優先度を細分化できる可能性がある。しかし、はつり調査の段階で鉄筋の応力を正確に計測することは困難であることからここでは細分化していない。

5. まとめ

屋外暴露実験によりASRを促進させ損傷させたフーチング供試体を用いて、実橋への適用を想定した非破壊・微破壊による調査を行い、それらの調査結果と従来の調査手法を組み合わせ、ASRにより損傷したフーチングの措置の優先度判定方法（案）を提案した。今後の課題として、措置の優先度をよ

り精度よく決定するためには、ASRの損傷状況や各種試験の結果とフーチングの耐荷力との相関を明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所：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
- 2) 一般社団法人iTECS技術協会：iTECS法規格 弾性波の伝搬時間差の測定方法および伝搬時間差による弾性波速度の測定方法、2013.7
- 3) 岩野聡史、森濱和正、渡部正：衝撃弾性波法と微破壊試験の併用による構造体コンクリートの圧縮強度推定方法の提案、土木学会論文集 E2、Vol.69、No.2、pp138~153、2013.
- 4) 谷倉泉、渡邊晋也：コンクリート内部に発生した微細ひび割れの微破壊試験法に関する研究、建設機械施工 Vol.67、No.9、2015.9
- 5) 皿井剛典、田中徹、澤口啓希：孔内局部載荷試験による構造物の深さ方向のコンクリート物性評価に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vo1.34、No.1、pp.1828~1833、2012

廣江亜紀子



土木研究所 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 主任研究員
HIROE Akiko

行藤晋也



研究当時 土木研究所 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 交流研究員、現 (株)建設技術研究所 大阪本社構造部
YUKITO Shinya

堀内智司



研究当時 土木研究所 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 主任研究員、現 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部道路基盤研究室 主任研究官
HORIUCHI Satoshi

桐山孝晴



土木研究所 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 耐震研究監
KIRIYAMA Takaharu