

論文 ASR により損傷したコンクリート構造物の内部湿度分布について

久保 善司^{*1} 平 俊勝^{*2} 野村 昌弘^{*3} 鳥居 和之^{*4}

要旨: アルカリ骨材反応(ASR)はコンクリート構造物の代表的な劣化原因として挙げられ、それらに対する補修・補強対策を含めた維持管理手法の確立が必要とされている。ASRが生じた実構造物において環境からの水分供給はきわめて複雑であり、目視による調査では十分に評価できない場合も多い。本研究では、実構造物の内部湿度分布を測定することによって、外部からの水分の供給の影響を把握し、水分供給を中心とした環境条件の影響を評価する手法として、湿度分布測定について検討を行った。その結果、コンクリート内部の湿度測定によって外部からの水分供給のASRに与える影響を把握することができた。

キーワード: ASR, 内部湿度分布, 環境条件, 補修・補強, 維持管理

1. はじめに

アルカリ骨材反応(ASR)はコンクリート構造物の代表的な劣化原因として挙げられ、これらに対する補修・補強を含めた維持管理手法の確立が必要とされている。ASRを生じた構造物の膨張抑制対策としてコンクリート中の水分制御を目的とした表面処理工法が適用されてきたが、十分な効果を発揮せず再劣化を生じた事例も多く、実構造物において十分な効果を発揮する適切な対策が確立されていない現状にある¹⁾。これらの原因としてASRを生じた実構造物において環境からの水分供給の影響はきわめて複雑であり、目視による調査では十分に評価できないため、外部からの水分供給の把握が十分でないことが挙げられる。

本研究では、積雪寒冷地のトンネルおよび橋台のコンクリート内部の湿度分布を測定するこ

とによって、外部からの水分供給の影響を把握し、水分供給を中心とした環境条件の影響を評価する手法として、携帯型湿度センサを用いた湿度分布測定について検討した。

2. 事前調査

ASRにより劣化損傷したコンクリートの内部湿度分布測定に先立ち、劣化状況等を把握するために対象構造物の事前調査を行った。

2.1 調査構造物

調査対象とした構造物は積雪寒冷地域のトンネルおよび橋台であり、いずれも凍結防止剤の影響を受けている。トンネルは山間部に位置する。寒冷積雪地域においては凍結防止剤を含む水分が、路面からの排水の飛散および継ぎ手等の漏水によって構造物に供給され、それらの影響を受けた箇所が損傷が顕著であることが報告

表-1 調査対象構造物の概要

構造物	供用年数 (年)	環境条件			骨材	コンクリート	
		温度 変化	日射の 影響	水分の供給		粗骨材 最大寸法	設計基準 強度
トンネル	26	小	小	地山	川砂利 (輝石安山岩含む)	25mm	18N/mm ²
橋台	橋大A, B: 27年 橋台C: 21年	大	大	背面土砂 路面排水	川砂利 (輝石安山岩含む)	25mm	24N/mm ²

*1 金沢大学助手 工学部土木建設工学科 工博 (正会員)

*2 日本道路公団 金沢技術事務所調査技術課 (正会員)

*3 (株)クレストエンジニア 土木調査設計部土木設計課 (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)

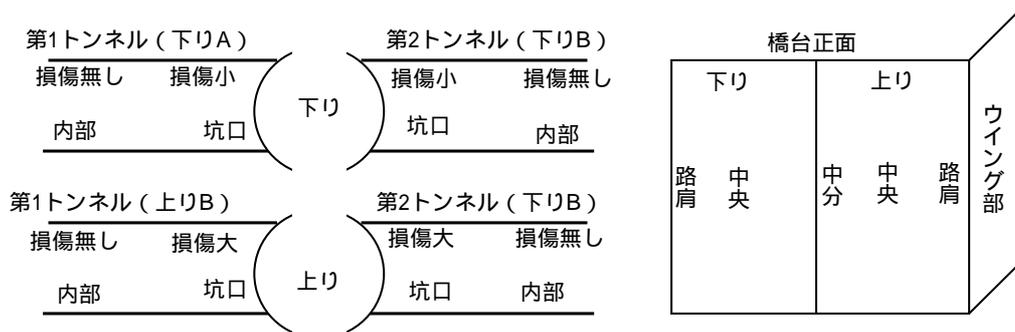


図-1 トンネルおよび橋台の略図（測定箇所）

表-2 トンネル損傷状況

位置	坑口	内部
上りA	きわめて	損傷
上りB	大きい	無し
下りA	大きい	損傷
下りB		

表-3 橋台の損傷状況

構造物名	損傷状況
橋台A	コンクリート表面の広範囲（1/2以上）にASRによるひび割れが生じている
橋台B	
橋台C	コンクリート表面の1/2～1/3にわたりASRによるひび割れが生じている

されている²⁾。トンネルにおいては、遮水対策の施されていないものは地山からの水分の影響を受けているものと考えられる。また、橋台において背面の土中水の影響を常時受けるため、これまでの補修対策では十分な効果が期待できないとした報告がされている³⁾。これらに対する適切な維持管理対策を検討するために、本研究では上記の構造物を調査対象とした。

2.2 調査概要

調査構造物は目視による劣化状況の調査に加えて、調査構造物よりコアを採取し、アルカリ量の測定および残存膨張試験を行った。アルカリ量の測定は、0.15～0.3mmに粉碎した試料2gを蒸留水20mlに混合し、10分間沸騰した後、濾過液のアルカリ濃度を原子吸光法により測定した。トンネルでは表面から深さ50cmの試料を用い、橋台では深さ10cmまでの表面近傍の試料を用いた。積雪寒冷地域においては、凍結防止剤等の影響によって外部からアルカリが供給されるため、ASR膨張が促進されるとの報告があり⁴⁾、以下に示す促進残存膨張試験を行った。測定方法として、コンクリートコア（55mm、長さ150mmに整形）を温度80℃、1NのNaOH溶液に浸漬し、膨張率の経時変化を測定した。残存膨張性の判定基準として、既往の研究を参考にして促進21日後の膨張が0.1%以上を残存膨張性あ

りとした⁵⁾。

2.3 調査結果

(1) 目視観察による劣化状況

調査構造物の概要を表-1に示す。いずれの構造物もASR防止対策が実施される以前のものであり、反応性骨材を含み、供用開始後20年を過ぎている。トンネルおよび橋台の略図を図-1に示す。

トンネルおよび橋台の損傷状況を表-2および表-3にそれぞれ示す。トンネル坑口正面部はASRによるひび割れが著しく、樹脂ライニングあるいはガラス繊維シート貼付けによるはく落防止策を実施している。対象としたトンネルでのASR損傷は上下線および坑口・内部で損傷状況が異なる。これまでの損傷事例においては坑口の劣化が顕著で、内部での劣化進行は比較的軽微あるいは損傷を生じていない場合が多く、対象トンネルにおいても同様の状況であった。上下線での劣化損傷度の違いが顕著であるのが対象トンネルの特徴である。

また、橋台は劣化損傷状況が異なる3橋を対象とした。橋台においては、上下線の中分付近および路肩の隅角部、さらに路面排水の漏水の影響を受けた箇所に損傷が著しく、橋台の典型的な損傷パターンとして確認された。橋台AおよびBには昭和63年にエポキシ系のひび割れ注入材お

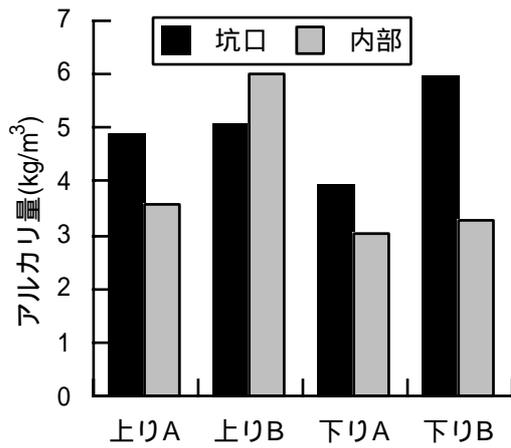


図-2 アルカリ量 (トンネル)

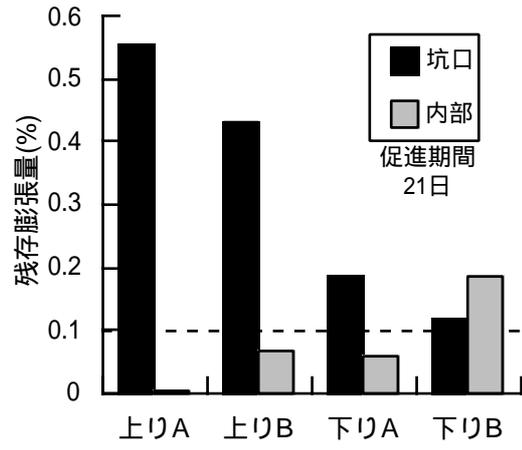


図-4 残存膨張量 (トンネル)

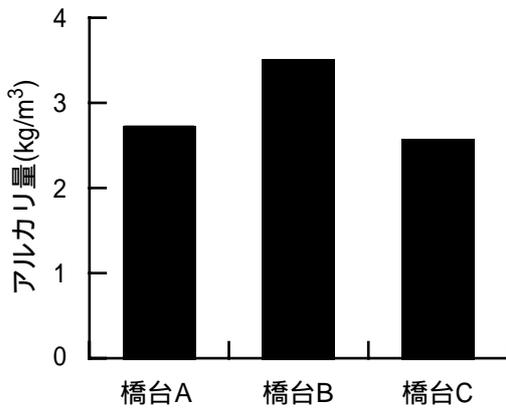


図-3 アルカリ量 (橋台)

および防水ライニングによる補修が行われた。しかし、その後、補修前と同じ箇所ではひび割れが再開口し、再変状を生じた。橋台Cには平成7年にエポキシ系のひび割れ注入材による補修のみが行われ、同様にひび割れの再開口が生じた。

(1) アルカリ量

トンネルのアルカリ量測定結果を図-2に示す。損傷程度にかかわらず、いずれの位置においてもアルカリ量が大きいのが特徴である。全体として坑口におけるアルカリ量が大きい傾向にあるものの、内部におけるアルカリ量も3.0kg/m³を越えており、坑口と内部の損傷度の違いはアルカリ量の影響によるものではないものと考えられる。対象としたトンネルにおいてはトンネル内の路面にも凍結防止剤が散布されていることから、トンネル内のコンクリートも凍結防止剤の影響を受けているものと考えられる。

橋台のアルカリ量の測定結果を図-3に示す。橋台AおよびCのアルカリ量は3.0kg/m³を若干下回っているものの、膨張が継続していること

からASRを進行するのに十分なアルカリ量が維持されているものと考えられる。橋台の損傷は橋台AおよびBのものが進行していたが、アルカリ量の顕著な違いは認められない。

トンネルおよび橋台のアルカリ量に関する調査結果からは、今回の採取されたコアのアルカリ量のみからでは、現状の損傷程度を説明することはできないものと考えられ、他の要因による影響を考慮する必要があるものと考えられる。

(2) 残存膨張性

トンネル構造物の残存膨張量試験結果を図-4に示す。損傷程度の大きい上り線坑口の残存膨張量はいずれも大きいものとなった。これに対して、損傷程度の比較的小さい下り線坑口の残存膨張量は上りに比べると小さくなった。また、内部の残存膨張量はいずれも小さくなった。損傷程度が大きいものほどASRが進行しているとすると、損傷程度の大きなものは残存膨張量が小さくなると思われる。しかし、調査結果は反対の傾向を示した。

上下線での違いについては、コンクリート自身の反応性が異なるとすると、上り線に使用されていた骨材の反応性が高いということが考えられる。また、上り線において坑口と内部で残存膨張量に顕著な違いが生じた原因としてはASRのゲル生成過程における温度および乾燥の影響により、ゲルの化学組成や生成量が異なり、残存膨張性が異なったものと考えられる。これらの点に関しては今後の調査を継続し、原因を解明する必要がある。

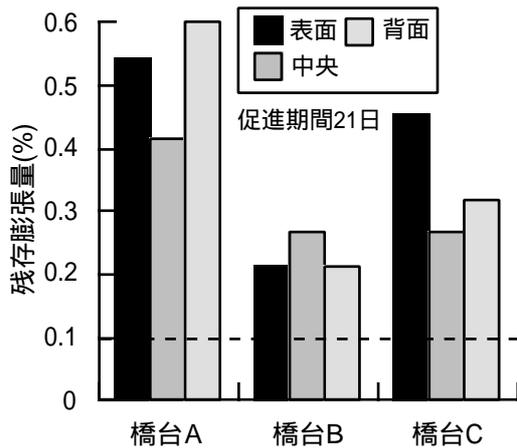


図-5 残存膨張量 (橋台)

橋台の残存膨張量試験結果を図-5に示す。橋台Bは他のものより小さくなっているものの、いずれのものも大きな残存膨張量となっており、既にASR膨張が生じていることから、今後も膨張が進行するものと考えられる。現在の損傷程度は、橋台Bが最も大きく、橋台Cが最も小さい。ASR膨張が最も進行している橋台Bの残存膨張量が最も小さくなった。今回の調査の対象とした橋台においては損傷の進行程度と残存膨張量の結果が一致する傾向が認められた。橋台については骨材の反応性そのものが同程度であったために、損傷程度と残存膨張性の整合性が高かったものと考えられる。このような場合においては残存膨張性とASRの進行度との関係はある程度評価できるものと考えられる。

3. 内部湿度測定

ASRの進行およびASR損傷程度と外部からの水分供給との関連を検討するために、内部湿度、膨張挙動および表面水分率の測定を同時に行った。トンネルの覆工厚および橋台の部材厚はそれぞれ50cmおよび160cm程度であり、その背面に地山および土砂が存在する。

3.1 測定項目

対象構造物のASRの進行を把握するためにコンタクトゲージをコンクリート表面に貼付け、膨張量の経時変化を測定した。また、表面近傍の含水状態を把握するため、表面処理を行う際に用いられる高周波表面水分計を用いて表面水分率を測定した。

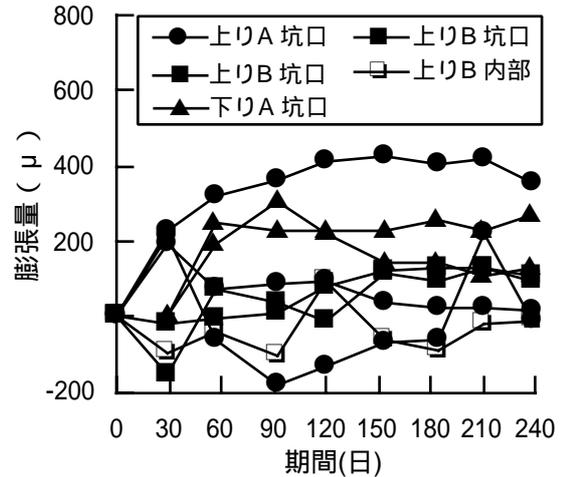


図-6 膨張量経時変化 (トンネル)

外部からの水分供給およびASRゲルの吸水の影響によって構造物内部の湿度分布は変化を生じる。これまでの供試体レベルでの水分分布^{1),6)}を測定した報告はあるものの、ASR損傷を受けた構造物の内部湿度の分布については明らかにされていない。そこで、測定位置において所定の深さまで20mmの削孔を行い、その内部の相対湿度を測定し、相対湿度分布により内部の水分状態を検討することとした。削孔後に防水キャップを設置し、測定を行わないときには外部からの影響を受けないようにした。相対湿度の測定には、感量0.1%の静電容量式湿度センサを用いた。測定は平成13年3月に開始した。

3.2 膨張量

トンネルおよび橋台の測定開始後の膨張量の経時変化を図-6および図-7にそれぞれ示す。トンネルにおいては測定開始後から膨張傾向にあった。残存膨張性が大きいと判断された上り線坑口のもの、膨張傾向にあるものと考えられる。しかし、膨張量は最大のものでも400μ程度であり、夏季の温度による影響とも考えられ、今後の測定による確認が必要である。ただし、坑口の膨張は他のものより大きいことから、ASR膨張である可能性は高いと考えられる。

橋台においてもトンネルと同様な膨張が認められる。橋台ごとの違いは現段階では明確ではないものの、橋台Cのものは若干膨張の進行が小さい傾向にある。橋台Cは残存膨張性が大きいと判断されたが、損傷程度は他のものより軽微と

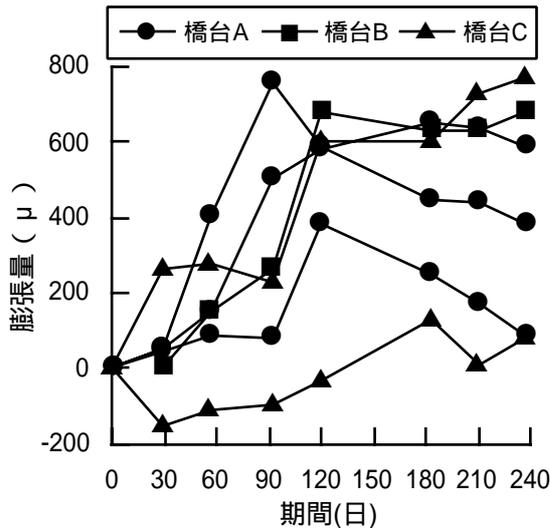


図-7 膨張量経時変化(橋台)

なっており、環境によるASR膨張の促進作用が他のものより小さいものと考えられる。これに対して、損傷程度の大きな橋台Bは、他のものよりASR膨張が進行していると考えられるものの、同程度の膨張進行を示した。橋台Bにおいては環境によるASR膨張の促進作用が他のものより大きいものと考えられる。しかし、測定期間が短いため今後の測定を継続して検討を行う必要がある。

3.3 表面水分率

表面水分率の測定は夏季から開始した。トンネルにおいては、上り線の表面水分率は5~7%の範囲であり、下り線は4~6%の範囲であった。位置による違いは現状では明確に現れなかったものの、上り線の方が高い水分率となった。トンネル内面または地山からの水分の供給量が上下線で異なるものと考えられる。橋台の表面水分率の経時変化を図-8に示す。橋台Aでは中分の表面水分率は中央より大きく、橋台Cでは中央の表面水分率は路肩より大きくなった。路面排水の漏水等による流出した水分の影響と考えられ、この結果は損傷状況と一致する。

3.4 内部湿度分布

降雨の影響が比較的大きい場合と比較的乾燥した場合のトンネルの内部湿度分布を図-9および図-10にそれぞれ示す。降雨の影響の大小にかかわらず、下り線の内部において深さ20~30cmまでの湿度が低くなっており、比較的乾燥状態

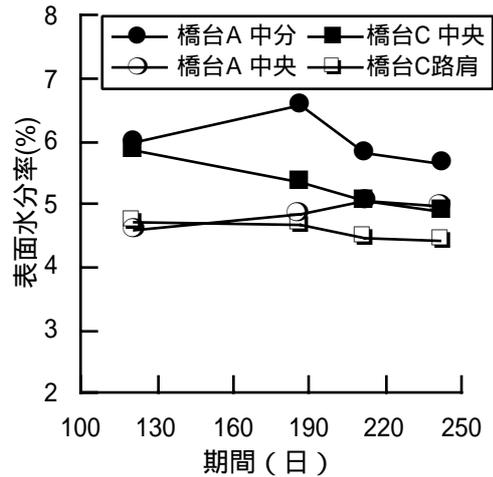


図-8 表面水分率の経時変化(橋台)

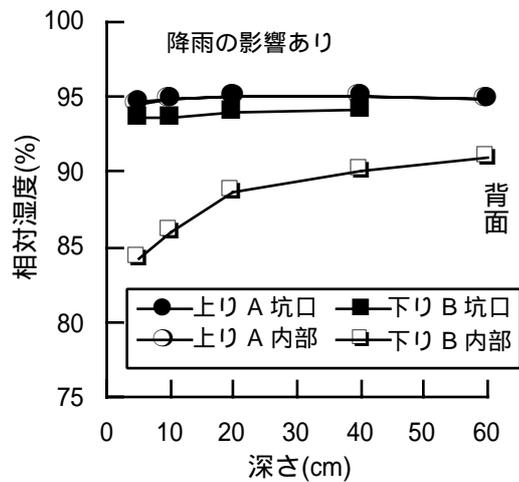


図-9 トンネルの内部湿度分布(降雨の影響)

にあるものと考えられる。また、降雨の影響の小さい時期に測定され、比較的乾燥状態にある湿度分布によれば、下り線においては、坑口・内部にかかわらずコンクリート表面の湿度が低くなっている。その場合にも、内部の方が坑口に比べて湿度が低くなっている。これに対して、上り線においては、坑口・内部にかかわらず、高い湿度を示している。また、この上下線での違いは表面水分率の測定結果と一致している。これまでの結果を総合すると、上り線は高い含水状態に維持されているため、ASRの進行程度が下り線に比べて大きくなったものと考えられる。しかし、上下線で骨材の反応性が異なる可能性も考えられる。また、上下線での湿度分布の相違の原因も地山の影響によるものか、コンクリート表面からの水分の供給の影響によるものであるかは明らかになっていない。これらについては、今後の測定の継続とともに、コンクリートに使用

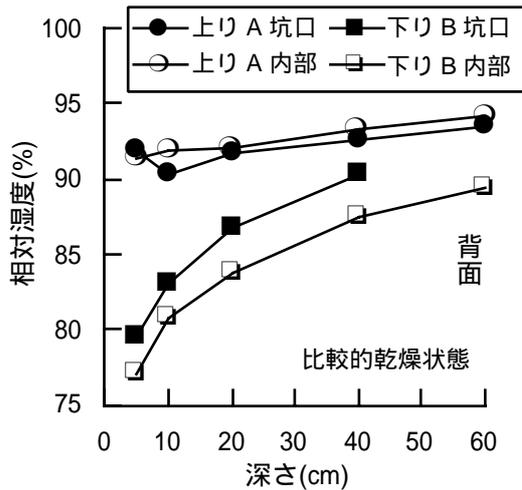


図-10 トンネルの内部湿度分布(乾燥状態)

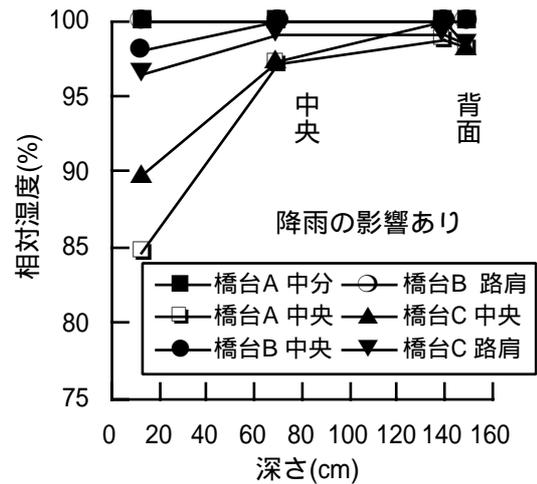


図-11 橋台の内部湿度分布(降雨の影響)

された骨材の反応性を検討することによって明らかにする必要がある。

橋台の内部湿度分布を図-11に示す。降雨の影響の大きい場合のみを示したが、乾燥時においては表面の湿度が低下するものの、中央および背面の湿度は常に高く維持されていた。降雨の影響が大きい場合には、外部の水分が内部のひび割れを通り、水分が削孔内に貯まっている場合が多く見られた。既にASR膨張によるひび割れが内部に存在する場合には、ひび割れを通して水分の移動が行われ、ASRを生じていないものに比べて水分の移動が容易となる。したがって、上部あるいは背面からの水分の供給があるような場合には、構造物内部の水分状態は高い状態に保たれたままとなるものと考えられる。

コンクリート内部の湿度が85～95%以上¹⁾の時にASR膨張は進行するとの報告がある。橋台において内部にひび割れが存在する場合、内部は常に高い湿度に維持されるため、表面処理の効果が十分に発揮されず、多くの場合に再劣化が生じたものと考えられる。中分・路肩など位置による違いについては現段階では明らかでないため、今後の検討が必要である。

5. まとめ

本研究の検討結果から、コンクリートの内部湿度測定によって外部からの水分供給の影響を把握することが可能であると考えられる。現段階では測定期間が短く、データの蓄積が十分に

はない。測定の継続を含めた今後の検討を行うことで、外部からの水分供給の影響について、内部湿度測定を用いてより詳細な情報が得られるものと考えられる。少なくとも、外部からの水分供給条件の違いがASRを生じた実構造物中の湿度分布に反映されていることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 久保ほか, ASRにより劣化したコンクリート構造物のシラン系表面処理による補修効果の検討, 土木学会論文集, No.690, V-53, pp. 95-107, 2001.11
- 2) 熊谷ほか, ASRと凍結防止剤による複合劣化を受けた橋脚の調査と補修・補強, 複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計画に関するシンポジウム論文集, pp. 89-96, 2001.5
- 3) 池富ほか, ASRが発生したコンクリート構造物の耐久性調査, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp. 1141-1146, 2001.7
- 4) 日本コンクリート工学協会, 融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会報告書・論文集, pp. 45-76, 1999,11
- 5) 野村ほか, コアコンクリートによるコンクリート構造物のアルカリシリカ反応の判定, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp. 1147-1152, 2001.7
- 6) 湯浅昇, 笠井芳夫: 非破壊による構造体コンクリートの水分測定方法, コンクリート工学, Vol.32, No.9, pp.49-55, 1995.6