

論文 アルカリ骨材反応を生じたコンクリート擁壁の劣化性状

栗林 健一^{*1}・米倉 亜州夫^{*2}・伊藤 秀敏^{*3}・牛尾 正孝^{*4}

要旨：アルカリ骨材反応（ASR）による構造物の劣化は，含まれる反応性骨材やセメントに加え，供用される環境条件や拘束条件によって左右される。そこで ASR による劣化を受けた実構造物より，コアを擁壁前面より背面に至るまで採取し，促進膨張試験，元素分析，強度試験，ならびに温度分布の測定を行い，環境条件（温度，水分）について考察を行った。その結果，温度が ASR に及ぼす影響は大きく，直射日光によって高温になる擁壁前面から温度変化が生じる 300mm の範囲で ASR によるひび割れが，顕著に生じていることが確認された。

キーワード：アルカリ骨材反応，環境条件，ひび割れ，残存膨張量，温度分布，

1. はじめに

アルカリ骨材反応（ASR）によるコンクリート構造物の劣化は，骨材の反応性やコンクリートの配合などのコンクリート材料に起因する条件に加え，構造物が供用される環境条件（水分および温度等の条件）および，コンクリートの拘束条件（鋼材量や外部拘束の有無）によって決まると言われている。

しかし実構造物においては，諸要因が多く，ASR による劣化に及ぼす要因については不明な点が多い。

コンクリート擁壁や橋台の場合，ASR によるひび割れは，前面側に多く，土に接している背面側には，水分が多く供給されているにも関わらず，ほとんど存在していないという事例を見出している¹⁾。

そこで本研究では，建設後約 30 年経過し，ASR によるひび割れを生じた擁壁からコアを採取し，残存膨張量，強度，及び元素分析を行った。またコア採取後の削孔跡に熱電対を埋設して，7 日後に温度分布の測定を行った。室内に

おいても作製した供試体を用いて温度分布の測定を行った。測定結果より温度やその他の要因が ASR に及ぼす影響について検討し，コンクリート構造物の補修補強方法の基礎資料を得ることを目的とした。

2. 実験概要

2.1 対象構造物

対象構造物は図 - 1 に示すように半重力式コンクリート擁壁であり，鉄筋は背面側のみ配置されている。

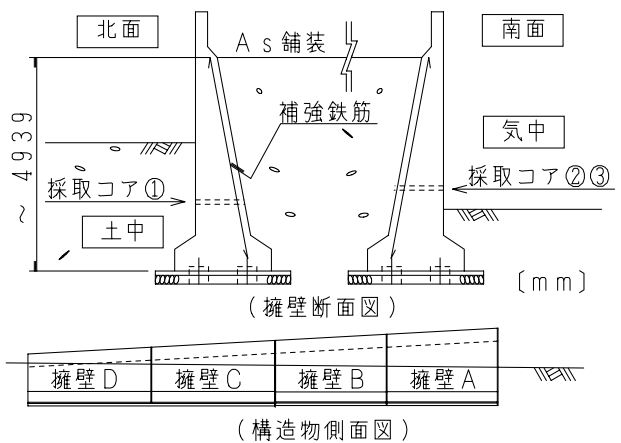


図 - 1 対象構造物図

*1 ショーボンド建設（株） 中国支店（正会員）

*2 広島工業大学 工学部建設工学科 工博（正会員）

*3 広島工業大学 工学部建設工学科 工修（正会員）

*4 国土交通省 中国地方整備局広島国道工事事務所

対象構造物のコンクリートの物性を表 - 1 に示す。表 - 1 より南面・北面それぞれのコンクリートの物性に大差は見られない。そこで対象構造物で使用されたセメント及び骨材のアルカリ反応性は同一と仮定した。

表 - 1 対象構造物のコンクリートの物性

試験項目	南面擁壁	北面擁壁
塩化物イオン濃度 : Cl^- (kg/m ³)	0.804	1.114
採取コアの外観観察	白色生成物・反応リム 貝殻混入・粗骨材割れ	
骨材の岩種判定	玻紋質安山岩 頁岩・チャート	
含有アルカリ量 : Na_2O_{eq} (kg/m ³)	3.08	3.08

2.2 採取コア

表 - 2 に示すように、環境条件（北面側・南面側・気中部・土中部）、ひび割れの有無、および採取コア径サイズをパラメータとして分類を行い、コンクリート擁壁からコアを水平方向に前面側より背面側に至るまで採取を行った。

2.3 試験項目及び方法

2.3.1 促進膨張試験

採取したコアは乾燥しないように湿った布とビニールシートで処置し、ひび割れにより大きく破損している個所を除いて、表面より平均

250mm の長さでスライスした。

促進膨張試験の養生は、湿潤（常時 40 の霧室、湿度 100%）にて行い、一部のコアは、水中（水没 40 の霧室）で養生を行った。また長さ変化の測定は、コンタクトゲージ（コア中央部 2箇所、測長 100mm）にて行った。

養生開始より 3 日間は水分を吸収して膨潤を生じているとし、残存膨張量は、養生開始 3 日目の測定値を基点として求める。

2.3.2 温度分布測定

コア採取後の削孔跡に熱電対を所定の深さ毎に埋設し、9月中旬の太陽光直射の場合における深さ方向の温度分布を測定した。

また室内実験においても、熱電対を埋め込んだコンクリート供試体（W/C = 50%、幅 700mm × 奥行 700mm × 高さ 600mm）を作成し、断熱材で側面及び底面を覆い、白熱灯にて表面を加熱した場合の温度分布の測定を行った。

2.3.3 元素分析

EPMA により元素（Na, K, Si）について面分析を行った。表 - 2 に分析断面位置を示す。

表 - 2 分析断面位置（mm）

採取コア長さ	分析位置（表面からの距離）
L=835	150, 380, 680
L=720	180, 330, 550

表 - 1 採取コアの種類

環境条件	採取表面	コア径	本数	試験項目	
南面	気中	ひび割れ有	100	6	促進膨張, 元素分析, 圧縮強度, 静弾性係数, 温度
		ひび割れ有	50, 150	2	促進膨張
	土中	ひび割れ無	100	1	"
		ひび割れ無	100	2	"
北面	気中	ひび割れ有	100	3	促進膨張, 元素分析, 圧縮強度, 静弾性係数, 温度
		ひび割れ有	150	1	促進膨張
	土中	ひび割れ無	100	1	"
		ひび割れ無	100	1	"

採取コアを表 - 2 の分析断面個所にて 1cm の厚みで輪切りにし、分析面を鏡面状態になるまで研磨し、分析前処理として分析面に金のコーティングを行った。また分析領域は 25.60mm × 25.60mm とした。

2.3.4 圧縮強度試験および静弾性係数測定

採取コアを用いて、深さ方向（における物性値を得る為に、それぞれ圧縮強度試験および静弾性係数測定を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 外観調査

環境条件の差異による劣化（ひび割れ）の状態を確認するためにひび割れ調査を行った。ひび割れ幅については 0.2mm 以上を対象とした。

南面と北面の全面におけるひび割れ密度を図 - 2 に示し、南面の気中部と土中部のひび割れ密度を図 - 3 に示す。

ひび割れ密度は、ひび割れ延長を躯体表面積で除した値を示し、横軸の A~D は図 - 1 に示す擁壁のブロック（目地間）を示す。

図 - 2 より、北面と南面のひび割れ密度には、明確な差は確認できなかった。

図 - 3 より、土中部に比べ気中部の方が、ひび割れ密度が多い傾向を示した。

3.2 採取コアの外観調査

ひび割れが生じている採取コアの外観調査を行ったところ、ひび割れ深さは表面より 150 ~ 300mm で、それより深部はひび割れが生じていなかった。この一例を写真 - 1 に示す。



写真 - 1 採取コア

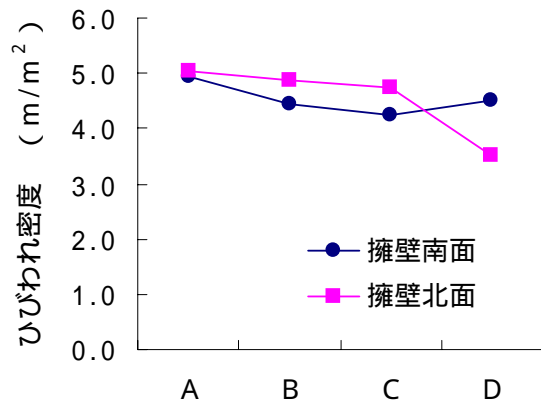


図 - 2 南面と北面のひび割れ密度

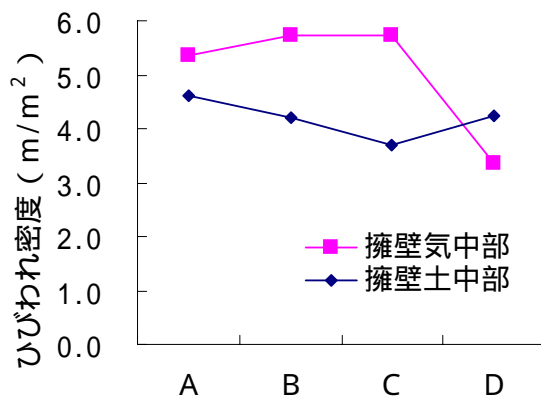


図 - 3 気中部と土中部のひび割れ密度

3.3 環境条件の相違による促進膨張試験

図 - 4 は南側の気中部で採取したコア（100 × 735mm：前面側コア断面内にひび割れを含む）を 3 分割し、それぞれの膨張量の経時変化を示したものである。

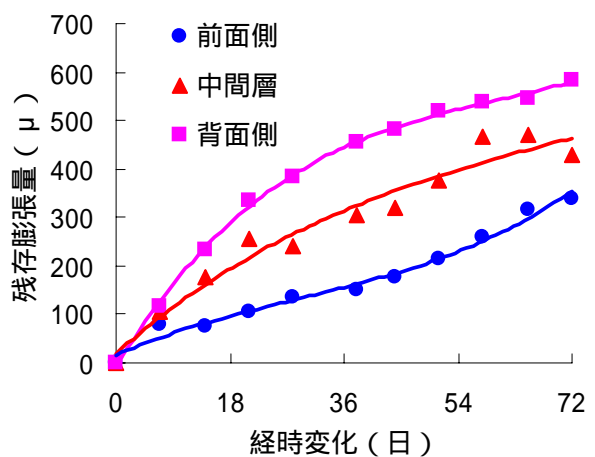


図 - 4 残存膨張量（経時変化）

この図より、測定後 72 日時点での膨張量は、前面側コアの 340 μ に比べ、背面側コアは 585 μ と大きかった。また促進膨張試験を行った他の部位における採取コアや他の構造物での報告¹⁾においても、背面側に向かって大きくなる傾向が認められている。

図 - 5 は環境条件が異なる位置（南面の気中部と土中部）で採取したコア（採取位置は図 - 1 に示す）の前面側より背面側に至る残存膨張量（測定後 72 日時点）を示したものである。

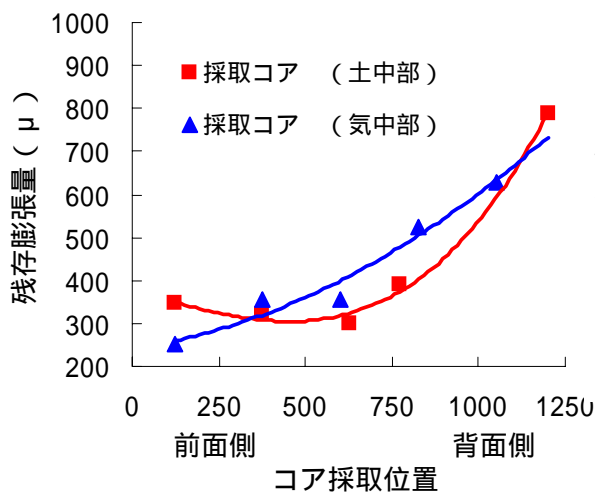


図 - 5 環境条件の相違による残存膨張量

この図より、前面側（コンクリート表面より 150mm）のコアの残存膨張量は、土中部に比べ気中部の方が小さい。しかし約 300mm より深い部分では、土中部、気中部に関わらず、明確な差は確認できなかった。

以上より、コンクリート表面より 300mm までの前面側には、ひび割れが確認され、また土中部と気中部での残存膨張量に差が生じていた。一方 300mm よりも深い中間層や背面側の部分では、残存膨張量に明確な差は確認できなかった。前面側は ASR による劣化が相当進行しているものと考えられる。

ASR は化学反応により生じることから、ASR による劣化は、温度の影響を受けられる^{1) 2)}。そこで前面側の ASR の進展に影響を及ぼした要因について考察を行うために、温度分布の測定を行った。

3.4 温度分布

コア削孔跡の深さ方向における温度分布の測定結果の一例を図 - 6 に示した。

直射日光の当たる日中の表面温度は 50 を越えており、内部に比べ非常に高い温度であった。また太陽光の強さによって、コンクリート表面より約 300mm までは、測定時間によって温度差が生じているが、それより深部の測定箇所において、時間に関わらず一定であった。

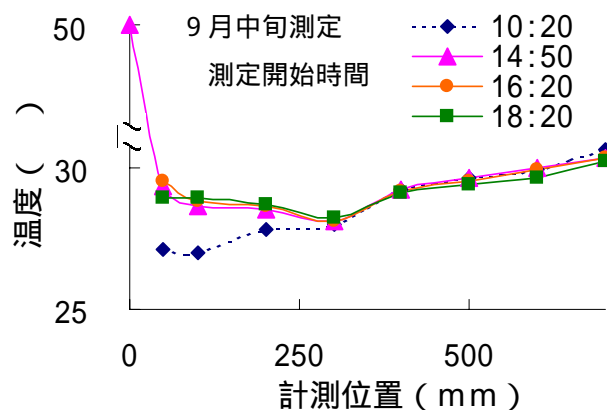


図 - 6 擁壁の深さ方向の温度

供試体を用いた室内試験結果を図 - 7 に示す。この図は白熱灯により約 20 時間コンクリート表面を加熱後し、加熱を中止してからの温度低下を示している。

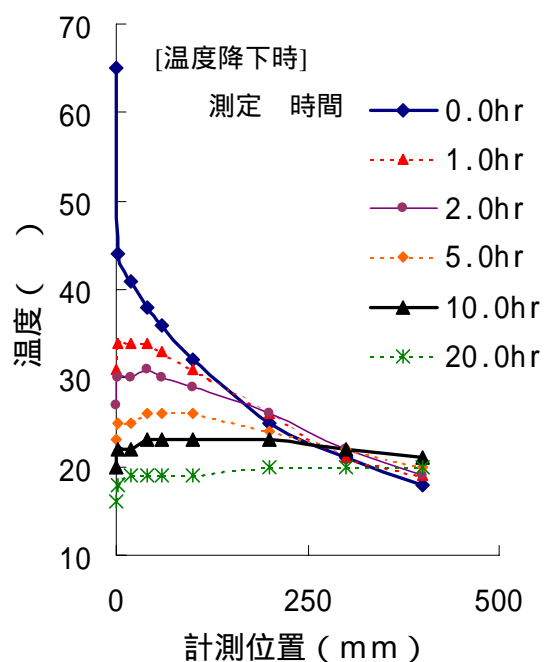


図 - 7 供試体の温度測定結果

室内試験においても，実構造物と同様にコンクリート表面より約 300mm より深部では，測定時間によって温度差は生じていない。

以上より，擁壁前面側は太陽の直射によって高温になり，ASR が促進される。また内部との温度差によってひび割れが生じやすくなると思われる。

3.5 試験方法の相違による残存膨張量

図 - 8 に擁壁の同一部位よりコアの採取径を変えて行った促進膨張試験結果(測定後 72 日時点)を示す。

また図中に丸囲みした測定個所は，養生条件を水中(水没 40 の霧室)で行い，その他の測定個所は湿潤(常時 40 の霧室)で行った。

この図より採取径または養生方法(湿潤・水中)の相違によって明確な違いは確認できなかった。

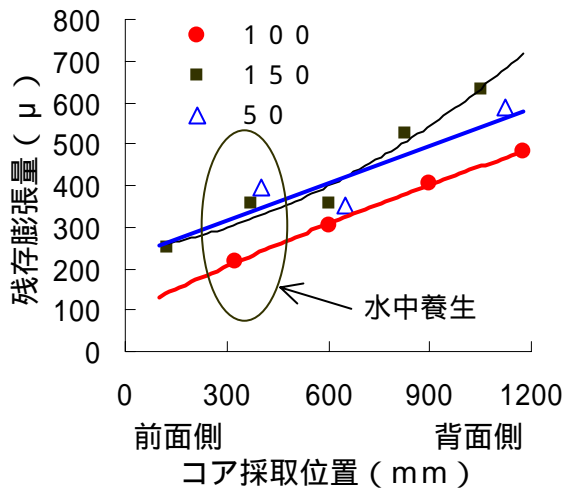


図 - 8 試験方法の相違による残存膨張量

3.6 元素分析

南面気中部の A 擁壁中央部にて採取したコア(採取位置は図 - 1 に示す)の EPMA による Na の分析結果を，前面側と背面側について，それぞれ図 - 9 及び図 - 10 に示す。

白色が骨材を示す。前面側断面の骨材周辺は濃色(赤色)にリングが形成されている。一方，背面側断面には前面側断面ほどはっきりとしたリングが形成されていない。この濃色(赤色)は Na を示し，周辺のセメントペースト部であ

る薄色(水色)に比べ，Na 濃度が高いことを示す。K に関しても同じ傾向が確認された。

以上より，骨材周辺の Na, K の濃度は ASR による膨張が進行している前面側に近い断面ほど高くなる傾向が確認された。また Si に関しては顕著な分布は確認できなかった。

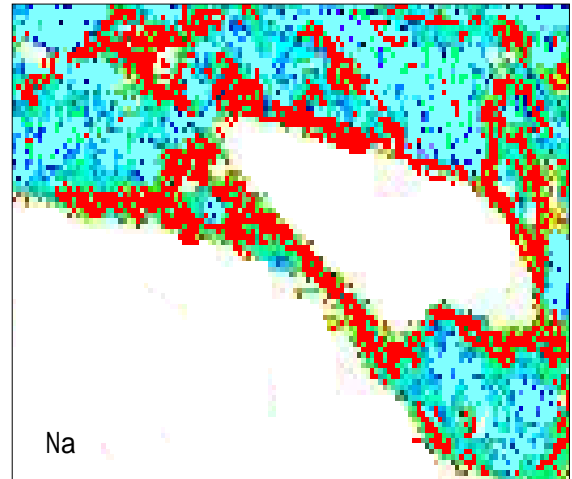


図 - 9 前面側断面(表面より 150mm)

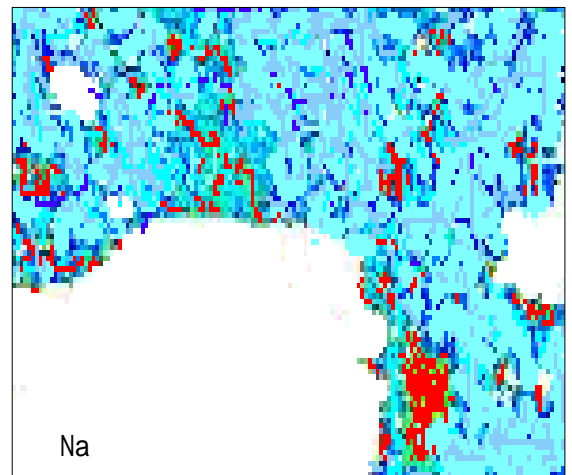


図 - 10 背面側断面(表面より 680mm)

ASR は，化学反応によりアルカリシリカゲルが生成する化学反応過程と，アルカリシリカゲルが吸水することにより膨張する物理過程からなり，これらは同時に進行するのではなく，化学反応過程が十分に進んだ後に，膨張過程が始まることが知られている³⁾。

前面側は背面側に比べ骨材周辺の Na, K が高い濃度であったことから，前面側がより化学反応が生じやすい環境であったものと考えられる。

3.7 圧縮強度試験・静弾性係数測定

図 - 11 に圧縮強度試験と静弾性係数の測定結果を示す。図中の普通コンクリートの値は、一般的なコンクリートの静弾性係数⁴⁾を示す。

採取コアの静弾性係数は、普通コンクリートに比べ、著しく低下していることから、ASRに

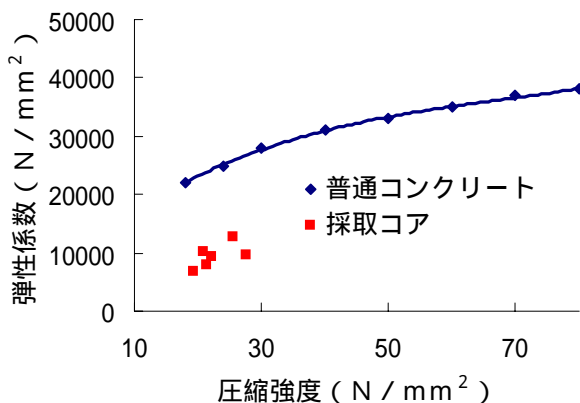


図 - 11 圧縮強度と静弾性係数の関係

4 まとめ

建設後 30 年経過した ASR によるひび割れを生じた擁壁からコンクリートコアを採取し、各種試験結果より以下のような知見が得られた。

- 1) ASR による劣化(ひび割れ)は、擁壁の土中部に比べ、気中部ほど多かった。
- 2) 採取コアのひび割れは、表面より 300mm まで生じており、それより深部では生じていなかった。
- 3) 残存膨張量は、前面側より背面側に向かって多くなる傾向を示した。
- 4) 擁壁表面は、夏場 50 以上となり、表面より 300mm の深さまでは、太陽光の強さによって、測定時間において温度差が生じているが、それより深部では時間に関わらず温度は一定であった。
- 5) 背面側に比べ前面側は骨材周辺の Na, K が高い濃度であったことから、前面側は化学反応が生じやすい環境である。
- 6) 静弾性係数は著しく低下しており、ASR による劣化が進行していた。採取位置における圧縮強度及び静弾性係数にほとんど差はなかった。

より劣化が進行していることを示している。

また図 - 12 に深さ方向の採取位置における圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。採取位置に関わらず、圧縮強度及び静弾性係数に差は生じていなかった。

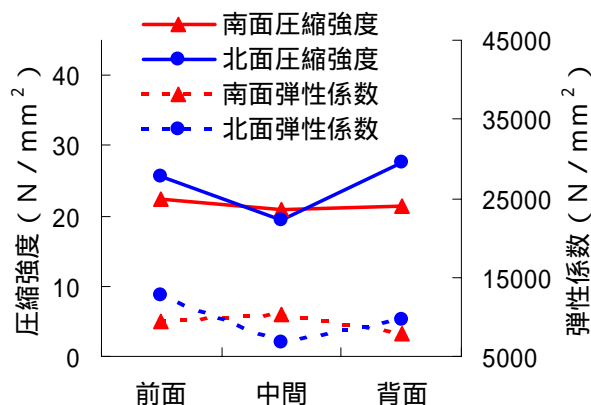


図 - 12 採取位置における圧縮強度と弾性係数の関係

上記のことを総合的に判断して、実構造物の ASR はコンクリートの温度(変化)に影響を受けることが明らかとなった。

謝辞

実構造物でのコア採取、温度測定の際、宮川興業(株)下手所長のご協力を得た。また本研究を行うにあたり広島工業大学の釣田(大学院生)、江戸、小下、西開地(4年生)の諸氏のご協力を得た。ここに記して深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 釣田修宏, 米倉亜州夫, 伊藤秀敏, 万治孝二: アルカリ骨材反応を生じたコンクリート橋台の劣化性状, 土木学会第 55 回年次学術講演, 2000.9
- 2) 岸谷孝一ほか: コンクリート構造物の耐久性シリーズ アルカリ骨材反応, 技報堂出版, p73-75, 1986
- 3) コンクリート標準示方書[維持管理編]: 土木学会, p142-156, 2000
- 4) コンクリート標準示方書[設計編]: 土木学会, p25, 1996