

アルカリシリカ反応により劣化した構造物の劣化度評価と細孔溶液分析による劣化進行の予測

鍵本 広之¹・佐藤 道生²・川村 満紀³

¹正会員 工修 電源開発株式会社 建設部 設計室 (〒104-8165 東京都中央区銀座6-15-1)

²正会員 工修 電源開発株式会社 茅ヶ崎研究センター (〒253-0041 神奈川県茅ヶ崎市茅ヶ崎1-9-88)

³フェロー 工博 金沢大学工学部土木建設工学科教授 (〒920-8667 石川県金沢市小立野2-40-20)

本研究は、アルカリシリカ反応（以下、「ASR」）により劣化した実在の構造物を対象として、環境条件の違いがASRの劣化程度に及ぼす影響を明らかにし、構造物から採取したコンクリートコアを用いて実施した種々の試験にもとづいた将来の劣化進行予測手法を提案したものである。凍結融解の繰り返しが増加しはじめた年を境にしてASR劣化が急激に進行しはじめたこと、劣化程度は気温、湿度あるいは外部から供給される水分などの環境条件によって影響を受けることが明らかとなった。またコアから抽出した細孔溶液中の水酸化アルカリの分析とNBR I法による膨張率測定結果を組合せることにより、ASR劣化した構造物の将来の劣化進行予測が可能であることを示した。

Key Words : ASR, environment, evaluation of deterioration, pore solution, prediction of deterioration, NBR I test

1. はじめに

ASRについてはこれまでに多くの研究が積み重ねられ、それらの研究成果によりASRのメカニズムや反応を促進する要因が明らかになっている。なかでも、ASRはコンクリート中の細孔溶液と骨材中の反応性物質との間の化学反応であることや、セメント、細骨材、混和剤および外部環境から供給されるアルカリ、また温度、湿度、あるいはこれらの要因の複合によってASRが促進されることはよく知られている。またASRによるコンクリートの損傷状況およびその程度は環境条件によって異なることが指摘されてきた。さらに、海水や融雪剤の影響を受ける構造物においては、外部より供給されるNaClによりASR劣化が促進されることを室内実験や屋外曝露試験によって示した研究¹⁾があるが、実際の構造物において自然条件下におけるASR劣化の進行状況を詳細に検討した研究は極めて少ない。

一方、ASR劣化構造物の将来における劣化進行度の予測は構造物の維持管理において重要であるが、合理的な予測手法がないというのが現状である。ASR劣化構造物の劣化進行度はコンクリート中の細孔溶液

の水酸化アルカリ濃度と残留反応成分の有無によって支配される。前者については、細孔溶液の組成からASRのメカニズムを論じた研究^{2), 3)}もいくつか行われているが、これらもモルタル、セメントペーストを対象として行った室内実験を主とするものであり、実際のコンクリート構造物中の細孔溶液の組成について検討した研究はほとんどない。また後者についても、反応成分の有無を判定する具体的な提案はほとんど見られない。

このように、従来のASRに関する研究は室内における実験的研究が主体であり、実際の構造物を対象とした研究は極めて少ないのが現状である。

そこで本研究では、自然環境下に置かれたASR劣化コンクリート構造物を対象として以下に示す内容について実験的検討を行ったものである。

i) 異なる環境条件下での劣化度の評価

これまで室内実験で明らかになっているASRの劣化促進要因（温度、湿度など）が、実構造物におけるASRを主因とする劣化に及ぼす影響を評価した。

ii) 構造物の劣化進行予測を目的とした細孔溶液分析とその評価

ASRがコンクリート中の細孔溶液と骨材中の反

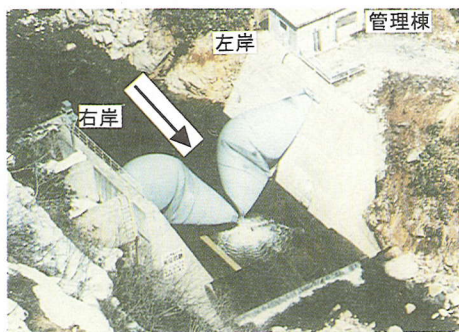


写真-1 ASRによって損傷を受けたコンクリート擁壁

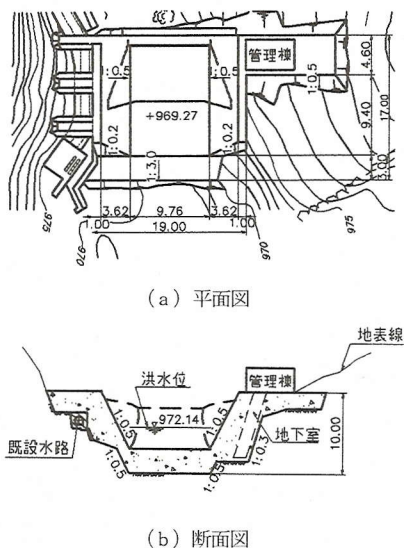


図-1 写真-1に示す構造物の平面および断面図

応性物質との間の化学反応であることに着目し、実際の構造物から採取したコンクリートコア中の骨材の残留反応性成分の有無の判定と、細孔溶液中の水酸化アルカリ濃度との組合せにより、将来の劣化進行予測の可能性について検討した。

2. 研究の概要

(1) 研究対象の構造物

本研究において対象とした構造物は、実証試験設備として建設されたゴム引布製起伏堰（以下、「ゴム堰」）に付帯するコンクリート擁壁などである。一般に河川最上流部に設置されるコンクリート堰は、流下土石による衝撃、磨耗、すりへりなどのために劣化が激しい。本構造物は、この影響を最小限におさえる目的でゴム堰の起立倒伏により流水をせき止める構造と

したものであり、1982年に建設された。

設置されたゴム堰は、左右岸に設けられた高さ10m、幅14m、法勾配1:0.5のコンクリート擁壁に耐磨耗性ゴム堰を固定したものであり、水位を自動的に感知し、空気膨張形式により水深5.3mになるとゴム堰が倒伏し、0.2mになると起立するよう設計されていた（写真-1、図-1参照）。

また、右岸コンクリート擁壁背面には控えコンクリート壁が配置され、左岸側コンクリート擁壁背面の大部分は土砂による埋戻しがなされていた。

本研究を開始した1996年には、構造物は建設後14年を経過し、既にASRを主因とする著しい劣化が生じていた。

(2) 細孔溶液抽出試験

ASRはコンクリート内部で生ずる化学反応に起因する劣化の一つである。この化学反応は、骨材中の反応性物質とコンクリート中の液体成分である細孔溶液との間で行われる。したがって、ASR劣化を考える場合、この細孔溶液の組成（水酸化ナトリウムと水酸化カリウムが主成分）を評価することが重要となるが、これは高圧装置を用いて採取することができる²⁾。

細孔溶液の分析は主として Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 OH^- イオンについて実施するが、陽イオン（ $\Sigma+$ ）と陰イオン（ $\Sigma-$ ）は常に電気的にバランスしていることから、これらを比較することにより分析精度をチェックする。このとき、 $\Sigma+$ 、 $\Sigma-$ に1割程度の差を許容している（式(1)参照）。

$$\begin{aligned} \Sigma- &= [\text{OH}^-] \\ \Sigma+ &= [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + 2[\text{Ca}^{2+}] \end{aligned} \quad (1)$$

さらに、 Ca^{2+} イオン濃度は Na^+ 、 K^+ イオン濃度と比較して1~2オーダー低いことから、アルカリ量を OH^- イオン濃度で論ずることもある。

$$[\text{Na}^+] + [\text{K}^+] \approx [\text{OH}^-] \quad (2)$$

1. で述べたように、本研究においては、実際のASR劣化構造物から採取したコアの細孔溶液の組成と残留反応成分の有無の判定により、その構造物の将来における劣化進行度を予測することが1つの目的である。しかし、種々の水セメント比のセメントペーストやモルタル中における細孔溶液の組成についてのデータが報告された例がないので、本実験では、まずセメントペーストやモルタルの細孔溶液分析を実施し、水セメント比の細孔溶液の組成におよぼす影響を明らかにした。その後、構造物から採取したコンクリートコ

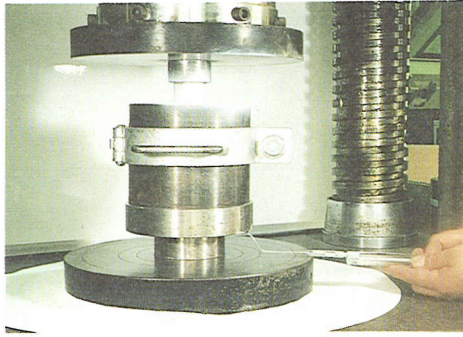


写真-2 細孔溶液抽出試験状況

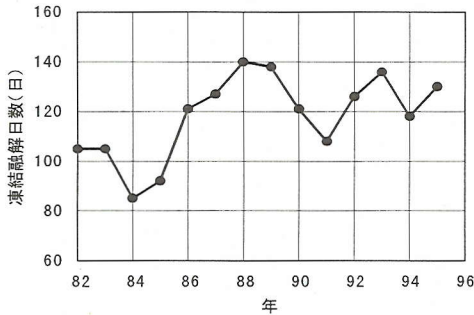


図-2 年間の凍結融解日数

アからの細孔溶液の抽出およびそれらの分析を行った。

細孔溶液は写真-2 に示す細孔溶液抽出高圧装置を2000kN 万能試験機にセットし、最大荷重約 600N/mm²まで段階的に载荷除荷を繰り返すことにより得られたものである。採取した細孔溶液を直ちに100~200倍に希釈し、Na⁺、K⁺、Ca²⁺イオン濃度をICP溶液分析法により、OH⁻イオン濃度はフェノールフタレインを試薬とした塩酸滴定法により測定した。

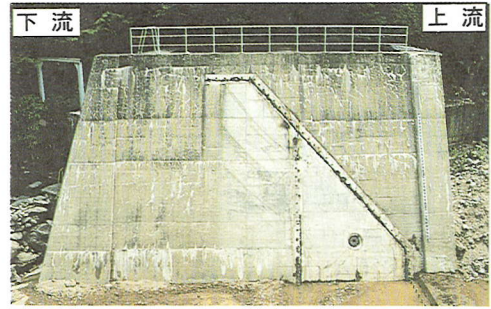
また、現地で採取したコア試料(直径96mm)はアルカリの溶出を防止するために、細孔溶液抽出時点まで水分の出入りを許さないようにただちにビニール袋に密閉した。その後、実験室にてコアの中心部より直径46mm、長さ60~100mmのコア試料を切り出し、30分~1時間後にそれぞれのコア試料から2~3mlの細孔溶液を抽出した。

3. ASR劣化を受けた構造物の現場調査と劣化度評価

(1) 構造物の置かれていた環境条件

a) 付近の気象条件

ゴム堰地点およびその南東約8kmの場所に設置され



(a) ゴム堰側の表面劣化状況(右岸)



(b) 背面劣化状況(右岸)

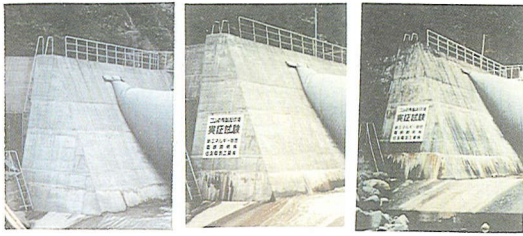
写真-3 擁壁の劣化状況

た気象観測所における記録によると、夏季最高気温は35℃を越え、冬季最低気温はマイナス15℃を下回る年もあり、積雪量も多い。ゴム堰が竣工した1982年から1995年までの14年間の凍結融解日数(1日間の最低気温が氷点下で、最高気温がプラスとなる日数)の変化を図-2に示す。これによると1985年までは年間で100日程度であったが、1988年には140日に達し、近年まで130日前後で推移していることがわかる。

b) コンクリート擁壁の環境条件

ゴム堰右岸側は急峻な崖となっており、コンクリート擁壁は一年を通じて日射の影響をあまり受けないが、左岸側は日射の影響を強く受けていた。出水期である初夏から秋にかけてはゴム堰が倒伏し、低水位の状態であり、冬季にはゴム堰は起立しているため水位は高く保たれていたことが水位観測結果からわかっている。したがってコンクリート擁壁上流部下段は、冬季間は常に水中に没していたため、建設後一度も凍結融解作用を受けたことはないと考えられる。また下流部は常に大気に曝露されていたため、冬季に凍結融解作用を受けていたと推察される。

また、写真-3(a)に示すように、コンクリート擁壁表面部のうちゴム堰で覆われていた部分(中央の台形部分)は、竣工以来外部環境に直接に接することがな



1986年 1989年 1992年
写真-4 ゴム堰擁壁の経年劣化状況 (右岸)

く、他の部位のコンクリートとは全く異なった劣化状況を呈している。その他コンクリート擁壁の曝露環境の特徴は以下の通りである。

【右岸】

擁壁背面と控えコンクリート部にはシダ等の植物が繁茂し、湿潤状態であった(写真-3(b))。

【左岸】

擁壁背面は大部分が土砂で埋戻されており、湿潤状態に保たれていた。また管理棟地下には機械室が設置されており、内部は比較的乾燥状態にあった(写真-1および図-1)。

(2) 調査試験結果と劣化度評価

a) コンクリート擁壁の経年劣化

写真-4 に下流面より見たコンクリート擁壁(右岸)の経年劣化状況を示す。これらより 1989 年から 1992 年までの間に著しく劣化が進行したことがわかる。特に 1989 年と 1992 年におけるコンクリート体全体の外観を比較すると、1986 年においてはコンクリート体表面にほとんどゲルがみられないが、1992 年にはひび割れを通して多量のゲルが染み出していることがわかる。これは以下のように説明できると思われる。

コンクリート擁壁建設後間もない頃よりコンクリート擁壁にはASRによる多数のひび割れが発生していたと考えられるが、図-2 からわかるように、凍結融解日数が多くなった 1988 年頃よりASRと凍結融解の複合作用によってひび割れが著しく進行し、また、ひび割れを通して水分が進入したことによりASRによるゲルの吸水膨張が促進されるとともに、ゲルのゾル化に伴う表面への移動が進行しはじめたものと思われる。したがって、ASR劣化の進行には、凍結融解によるひび割れ進行の促進も大きく関係し、それら諸要因の複合作用により劣化が促進したものと推定される。

b) コンクリート擁壁表面のひび割れ密度

擁壁表面の劣化状況を目視により評価した結果、断面の薄い上部では日射によるコンクリートの温度上昇が大きく、そのためにASRが促進されたことを推測

表-1 コンクリート擁壁表面のひび割れ密度

		ひび割れ密度 (n/L)			備考
		左岸	右岸	平均	
正	上	3.55	2.36	2.96	右岸側は背面の多湿条件の影響が大きい。
	上段	2.55	0.64	1.60	
	下段	3.05	1.50	2.28	
面	下	3.95	4.95	4.45	
	下段	3.32	2.68	3.00	
	平均	3.64	3.82	3.73	
ゴム固定部		0.00	0.00	0.00	微細なひび割れ
背面		—	6.79	—	植物繁茂の多湿条件

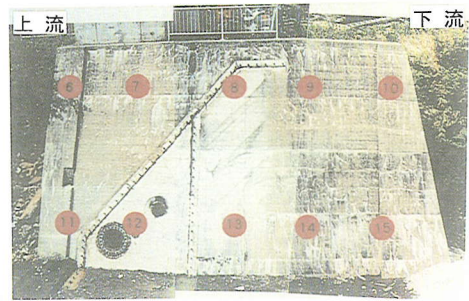


写真-5 シュミットハンマー試験における打点位置(左岸)

させる亀甲状のひび割れが著しく発達し、その密度も大きいこと、また、左右のコンクリート体表面を比較すると、日射時間の長い左岸側のものが右岸側のものに比べてひび割れの数が多いことが判明した。

また、凍結融解の影響を強く受けていたと考えられる下流部は、冬季に水中に没していた上流部下段に比較してひび割れ数が多く、さらにゴム堰固定部(ゴム堰で覆われていた部分)では、数少ない微細なひび割れのみが確認される程度であった(写真-3(a)、写真-4および写真-5参照)。

局所的な劣化度の相違を定量的に評価するため、各部分のひび割れ密度を表-1に示す。ここでひび割れ密度とは、10 cm間隔に設けた測線と交差するひび割れの数(1.2m平方の部分で評価)を測線の総延長で除した値をいう。各部位のひび割れ密度について次のようなことが判明した。

- (i) 日射時間の長い左岸側(上流:3.05)が、右岸側(上流:1.50)に比べて大きい。
- (ii) 断面が小さく日射による温度上昇が大きかったと推定される上段(上流:2.96, 下流:4.45)が、下段(上流:1.60, 下流:3.00)に比べて大きい。
- (iii) 植物の繁茂で常に湿潤状態にあった部位(右岸背面:6.79)は、他の部位に比べて大きい。
- (iv) 凍害が複合していた下流部下段(3.00)が、上流

表-2 シュミットハンマーにより推定したコンクリート強度
(単位: N/mm²)

測点	場所	暴露環境	強度	備考
左岸	上段	露出部	20.2	上段平均 =26.3
		"	25.3	
		ゴムの陰	34.2	
		露出部	27.9	
		"	24.0	
	下段	露出部	22.8	下段平均 =29.9
		ゴム固定部	36.8	
		ゴムの陰	36.8	
		露出部	25.3	
		"	27.9	
平均				=28.1
右岸	上段	露出部	24.0	上段平均 =27.4
		"	26.6	
		ゴムの陰	34.2	
		露出部	24.0	
		"	27.9	
	下段	露出部	22.8	下段平均 =31.2
		"	30.4	
		ゴムの陰	38.1	
		ゴム固定部	33.0	
		露出部	31.7	
平均				=29.3
全体平均				=28.7

部下段 (1.60) に比べて大きい。

(v) ゴム堰固定部は日射、水分の供給が遮断されており、微細なひび割れは確認できるものの、目立ったひび割れは生じていない。

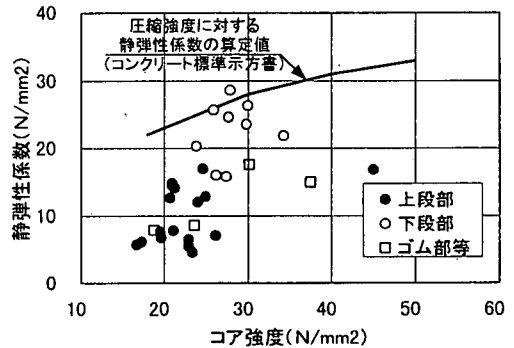
以上により、温度、湿度、凍害やそれらの複合によって、ASRによるコンクリートの劣化の度合いが局部的に異なること、また、ゴム堰固定部の劣化状況より、温度や湿度の変化の軽減および水分の供給の遮断により、コンクリート表面に発生するひび割れが極めて軽微となることが明らかとなった。これらの結果より、局所的な環境条件の差違がASRによるコンクリートの損傷に及ぼす影響はかなり大きいことがわかった。

c) コンクリート擁壁表面の強度

擁壁表面においてシュミットハンマーによってコンクリートの強度を推定した。試験およびデータ処理は、土木学会コンクリート標準示方書規準編に準じ、20点の測点から得られた反発度をもとに強度換算図から強度推定を行った。シュミットハンマーによって強度を測定した箇所は写真-5に示す通りであり、得られた結果を表-2に示す。これらの測定結果より以下のことがわかった。

表-3 コア採取位置の環境条件

コア No.	長さ (cm)	前面の状況			背面の状況			日照条件		背面湿度			
		露出	ゴム固定	機械室	埋戻し	樹木の陰	コンクリート	前面	背面	側面	湿度変化		
左岸	上段①	199	○					○	◎	-	×	中	小
	上段②	192	○		○			○	◎	×	-	大	小
	上段③	192	○	△		○			◎	-	-	大	小
	上段④	216	○				○		◎	×	◎	中	小
	下段⑤	215											
	下段⑥	215											
右岸	上段⑤	204	○				○	○	-	○	-	小	小
	上段⑥	179	○			○		○	×	-	-	大	小
	上段⑦	180		△			○		×	×	-	大	小
	上段⑧	182	○				○	○	○	-	-	-	-
	下段①	214		○				○	×				
	下段②	211		○				○	×				
	下段③	195		△				○	△				
	下段④	204	○					○	○				
	下段⑤	193	○					○	○				



※ ◎: 非常に良い, ○: 良い, △: 悪い, ×: 非常に悪い

図-3 コア強度と静弾性係数の関係

(i) 断面寸法が小さいことで、日射による温度上昇が大きい上段 (左岸: 26.3 N/mm², 右岸: 27.4 N/mm²) と比較し、温度上昇の小さい下段の強度 (左岸: 29.9 N/mm², 右岸: 31.2 N/mm²) はやや大きい。また、日射時間の長い左岸側の強度は、右岸側の強度と比較して、やや小さい傾向にある。

(ii) 日射、水分の供給が遮断されていたゴム堰固定部の強度 (34.2~36.8 N/mm²) は、他の部位と比較して非常に大きい。

以上より、ASRによるコンクリートの劣化度が日射の程度によって影響されること、また温度変化の軽減および水分の供給を遮断することによってASRによるコンクリートの強度低下が著しく小さくなることがわかった。

d) コアの圧縮強度と静弾性係数

左岸および右岸の擁壁からコンクリートコア (直径 96 mm, 長さ約 2m) を採取した。コア採取位置の環境条件は表-3の通りであり、湿度、日射条件、表面からの深さに注目してコアの強度を比較した。

コアの圧縮強度と静弾性係数の関係を示すと図-3

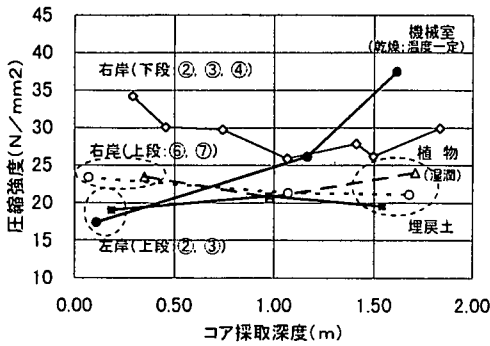


図-4 コア採取深度と強度の関係

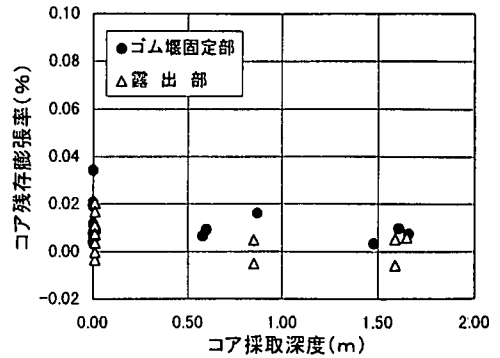


図-5 コア採取深度と残存膨張率の関係

のようである。両者の間にはある程度の比例関係が見られるが、土木学会コンクリート標準示方書に示されている算定値と比較すると、すでに報告されているように⁴⁾、コアの静弾性係数が算定値を大きく下回っている。また、擁壁上段部からのコアの圧縮強度および静弾性係数が下段部からのコアと比較して小さいという結果は、ひび割れ発生度合いの違いを反映していると考えられる。つぎにコア採取深度と強度の関係を図-4に示すが、これから以下のことがわかった。

- (i) 日照時間の長い左岸上段②、③の表面付近の強度が、右岸上段⑥、⑦と比較して小さい。
- (ii) 埋戻し土、植物の繁茂の影響で湿度が常に高く保たれていた右岸上段⑥、⑦および左岸上段③の背面付近の強度は小さい。
- (iii) 機械室の近くで乾燥状態に置かれていた左岸上段②の背面付近の強度は大きい。
- (iv) 擁壁下段部は上段部と比較し強度が大きい。

ここで、擁壁の上段部と下段部とで強度が異なるのは、下段部の方が断面が大きいことに加え、地盤からの拘束によって膨張が抑制され(写真-4参照)、ひび割れ発生が抑えられたのが原因と推定される。このことは強度と静弾性係数との関係にも現れている(図-3)。

このように、温度および湿度の劣化コンクリートの強度におよぼす影響は、前項のシュミットハンマーにより推定された強度の結果と同様である。

4. A S R劣化コンクリートの将来における損傷進行予測

(1) 促進条件下におけるコアの膨張率

擁壁より採取したコア(直径96mm;表-3ほか)を用いて残存膨張率を測定した。コア供試体は130~250mm程度の長さで切断した後、温度40℃、湿度95%以上⁵⁾の密閉容器中に保存し6ヶ月間長さ測定した。試験の結果、いずれの部位から採取したコアの膨張率も

表-4 骨材の岩種構成とアルカリ骨材反応性

岩種	重量比 (%)	化学法 (mmol/l)		膨張率 (%)	判定	備考
		Sc	Rc			
安山岩	10.6	59.2	69.4	—	無害	反応リング確認
流紋岩	9.4	61.9	73.8	—	—	—
ホルンフェルス	8.1	35.7	57.7	—	—	—
凝灰岩	36.4	73.8	81.2	—	—	—
凝灰角礫岩	12.6	52.7	66.7	—	—	可能性あり
デイスイト	11.3	66.7	72.7	—	—	—
花崗岩、閃緑岩、斑岩	11.6	31.3	45.7	—	—	可能性低い
粗骨材(混合)	—	45.9	80.2	0.035	—	—
細骨材	—	154.6	89.2	0.025	無害でない	—

※1 膨張率の測定はJISモルタルバー法によった。

※2 判定は化学法のみのものである。

0.02%程度以下であり、A S R膨張はほぼ収束していると判断される。また前述のように、ゴム堰固定部は日射および湿度の変化の影響が緩和されていたと考えられるが、この部分より採取したコアの平均膨張率は0.015%であり、その他の部位のコンクリートと同様にA S Rはほぼ収束していると考えられる(図-5参照)。

(2) 骨材のA S R反応性の判定

ゴム堰擁壁のコンクリートから粗骨材および細骨材を取出し、目視による分類ののち薄片を作成し、岩種の同定を行った。粗骨材(約13kg)の岩種構成を表-4に示す。このうち薄片の偏光顕微鏡観察により反応環が確認されたものは安山岩、流紋岩、ホルンフェルスであった。モルタル部分の薄片観察から、細骨材の岩種構成は明らかにできなかったものの、粗骨材と同様、安山岩、流紋岩、ホルンフェルスに反応リングが観察された。

また、これらの骨材のアルカリ反応性を知るために化学法を実施した結果、細骨材が無害でないと判定された他は全て無害となった。またモルタルバー法ではいずれの試料とも膨張率が0.03%前後(6ヶ月)となり、細・粗骨材とも無害と判定された。しかし、すでにA S Rがかなりの程度進行しているコンクリートから取出された骨材においては、反応成分の量がかなり

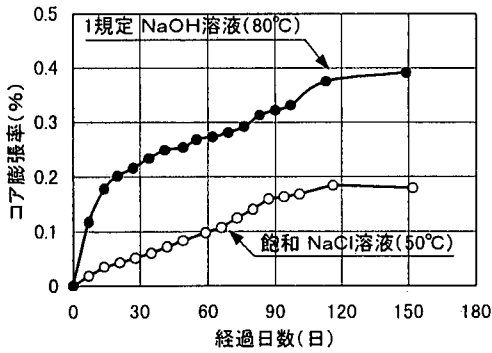


図-6 コアによる促進膨張試験結果

減少している可能性がある。また、モルタルバー法においては、供試体から水酸化アルカリが漏出するために危険側の判定となることが指摘⁶⁾されている。そこで擁壁から採取したコア(直径48×100mm)を用いて50°C飽和塩化ナトリウム溶液浸漬法(デンマーク法⁷⁾)、80°C1規定水酸化ナトリウム溶液における促進試験(NBR I法⁸⁾)を実施した。

密閉容器中(温度40°C、湿度95%以上、6ヶ月間養生)でのコアの残存膨張率は図-5に示す通りであったが、図-6に示すように、いずれの促進試験においても、コアは急速に膨張し、建設後14年を経過した現在においても、ゴム堰擁壁コンクリートの骨材には反応性成分は未だ残留していることが確認された。

(3) セメントペーストおよびモルタルの細孔溶液の分析

水セメント比が異なる場合の細孔溶液の組成変化を調べるため、水セメント比30、40、50、60、70%の5種類のセメントペーストおよびモルタル(セメント:砂=1:2)試料を用いて、細孔溶液の抽出およびそれらの分析(Na⁺、K⁺、Ca²⁺、OH⁻イオン濃度)を行った。用いた材料はT社製普通ポルトランドセメント(全アルカリ量0.61%)、標準砂である。試料は直径50mm、高さ100mmの円柱型枠に打込み後翌日に脱型し、材齢7日まで20°Cの密閉容器内で養生を行い、高压装置に挿入し細孔溶液を抽出した。分析結果を図-7、表-5に示す。

表-5より、細孔溶液中の陽イオン濃度(Σ+)と陰イオン濃度(Σ-)のバランスはほぼ良好であることから、分析精度は概ね問題ないことを確認した。図-7は水セメント比とNa⁺+K⁺、Ca²⁺イオン濃度の関係を示すが、同一水セメント比においてはモルタルおよびセメントペーストのNa⁺+K⁺、Ca²⁺イオン濃度はほぼ同等と評価できる。また水セメント比の増加とほぼ比例してNa⁺+K⁺イオン濃度は減少するが、

表-5 セメントペースト、モルタルを用いた細孔溶液分析結果

試料	OH ⁻	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ+	Σ-	備考	
								(mmol/l)
W/C =30%	ペースト	720.0	1.7	323.8	471.7	798.9	720.0	
		708.0	1.2	335.1	451.2	788.7	708.0	
		628.0	1.2	272.0	397.2	671.6	628.0	
	平均	685.3	1.4	310.3	440.0	753.1	685.3	
"	モルタル	-	-	-	-	-	-	採取できず
		-	-	-	-	-	-	-
W/C =40%	ペースト	550.0	2.3	269.3	330.5	604.4	550.0	
		500.0	1.8	236.1	301.7	541.4	500.0	
		500.0	1.8	229.3	310.7	543.6	500.0	
	平均	516.7	2.0	244.9	314.3	563.2	516.7	
"	モルタル	528.0	2.1	245.2	319.4	568.8	528.0	
		464.0	4.5	282.2	303.9	595.1	464.0	
		472.0	1.1	251.5	290.8	544.6	472.0	
	平均	488.0	2.6	259.6	304.7	569.5	488.0	
W/C =50%	ペースト	422.0	2.1	225.9	237.8	467.9	422.0	
		410.0	3.3	213.1	230.1	449.8	410.0	
		400.0	3.3	205.3	225.7	437.6	400.0	
	平均	410.7	2.9	214.8	231.2	451.8	410.7	
"	モルタル	388.0	2.4	191.6	219.6	416.0	388.0	
		424.0	2.3	228.5	239.9	473.0	424.0	
		398.0	2.6	205.5	228.6	439.3	398.0	
	平均	403.3	2.4	208.5	229.4	442.8	403.3	
W/C =60%	ペースト	346.0	3.1	172.8	194.0	373.0	346.0	
		352.0	3.1	168.5	194.4	369.1	352.0	
		350.0	3.0	181.7	202.8	390.5	350.0	
	平均	349.3	3.1	174.3	197.1	377.6	349.3	
"	モルタル	350.0	2.7	167.6	194.6	367.6	350.0	
		336.0	3.8	155.4	186.2	349.2	336.0	
		328.0	3.6	159.2	196.6	363.0	328.0	
	平均	338.0	3.4	160.7	192.5	360.0	338.0	
W/C =70%	ペースト	318.0	4.5	158.0	163.2	330.2	318.0	
		308.0	4.1	158.2	159.7	326.1	308.0	
		310.0	3.6	155.6	161.1	323.9	310.0	
	平均	312.0	4.1	157.3	161.3	326.8	312.0	
"	モルタル	300.0	3.7	153.1	159.1	319.6	300.0	
		292.0	4.3	142.5	153.1	304.2	292.0	
		300.0	3.4	151.1	157.8	315.7	300.0	
	平均	297.3	3.8	148.9	156.7	313.2	297.3	

※ Σ+ = [Na⁺] + [K⁺] + 2[Ca²⁺]、Σ- = [OH⁻]

[]はイオン濃度(mmol/l)である

Ca²⁺イオン濃度は逆に増加する。水セメント比70%においてもNa⁺+K⁺イオン濃度は300mmol/l程度であり、ASRを発生させるOH⁻イオン濃度(前述のとおり、Na⁺+K⁺イオン濃度とほぼ同じとみなすことができる。)の限度値は250mmol/lと言われているので、この濃度はASRを引起すのに十分な濃度である⁹⁾。

(4) 細孔溶液の分析による劣化進行診断と評価

ASRで劣化した構造物の将来の劣化進行予測を行うため、構造物より採取したコンクリートの細孔溶液分析を行った。用いたコア試料は前述のゴム堰擁壁より採取したコア(A;表-3参照)のほか、同一地域内の変電所擁壁コンクリート(B)、および雪崩防護柵コンクリート(C)、水槽擁壁コンクリート(D)から採取したものも含まれている。このうち変電所擁壁は、建設後38~40年を経過した高さ12m、壁厚0.5~1.2mのコンクリート擁壁であり、雪崩防護柵コンクリ

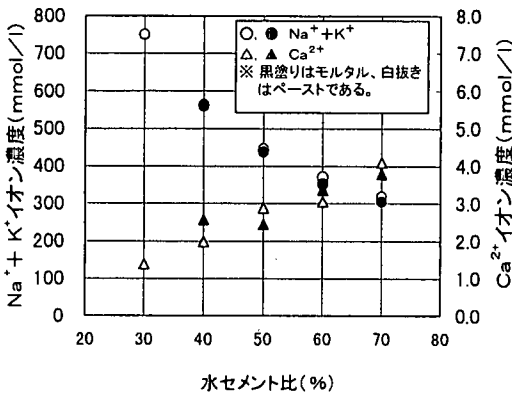


図-7 セメントペーストおよびモルタルにおける水セメント比が細孔溶液組成に及ぼす影響

表-6 構造物の環境条件

	前面	背面	日照条件	経過年数	
B	変電所擁壁	露出	埋戻土	△	38~40
C	雪崩防護柵	露出	露出	△	38~40
D	水槽擁壁 山側部	露出	埋戻土	○	23
	谷側部	露出	埋戻土	◎	23

表-7 構造物のコンクリート配合

構造物	C _{max} (mm)	SI (cm)	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)			
						W	C	S	G
A	40	12	59	5.0	41.3	156	265	764	1,101
D	40	8	54	4.0	40.0	152	280	776	1,145

※ セメントは普通ポルトランドセメントである。
 ※ 構造物B, Cのコンクリート配合は不明。

ート(縦1.3m×横12.4m×高さ1.8m)とともに、東側斜面に位置していることから、ゴム堰擁壁右岸側と同様日照条件は良くない。また水槽擁壁は、建設後23年を経過した高さ3.5m、壁厚0.5~1.4mのコンクリート擁壁であり、西側斜面に位置していることから日照条件は非常に良いが、山側部は陰となることから谷側部と比較して日照時間は短くなる。これらの構造物の環境条件を表-6に、コンクリート配合を表-7に示す。変電所擁壁コンクリート(B)、雪崩防護柵コンクリート(C)の配合は不明であるが、ゴム堰擁壁(A)、水槽擁壁(D)の配合から推定して水セメント比は50~60%程度であったと思われる。試験結果を表-8(a)~(c)に示す。これらの細孔溶液の分析の結果、以下のことがわかった。

a) ゴム堰擁壁コンクリート

表-8(a)~(c)より細孔溶液中の陽イオン濃度と陰イオン濃度のバランスは良好であることがわかる。コア採取位置と細孔溶液中の(Na⁺+K⁺)イオン濃度と

表-8 (a) 細孔溶液抽出試験結果(ゴム堰内部)

コア No.	コア採取位置(m)	(mmol/l)					Σ+	Σ-	備考
		OH ⁻	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ+			
左岸	下段⑥-1	0.52-0.66	70.0	5.0	45.1	24.5	79.6	70.0	
	下段⑥-2	1.00-1.10	104.0	5.1	72.5	40.8	123.5	104.0	
	下段⑥-3	1.10-1.19	80.0	3.6	63.8	32.0	103.0	80.0	
	下段⑥-4	1.54-1.61	110.0	3.8	70.8	44.2	122.6	110.0	
	下段⑥-5	1.95-2.08	120.0	4.6	83.7	49.2	142.1	120.0	
	下段⑥-6	1.95-2.08	98.0	3.8	68.0	37.6	113.2	98.0	
	平均		97.0	4.3	67.3	38.1	114.0	97.0	
右岸	下段①-1	0.00-0.10	122.0	2.1	74.9	51.8	130.9	122.0	
	下段①-3	1.05-1.20	108.0	5.5	67.1	46.7	124.8	108.0	
	下段①-4	1.38-1.48	140.0	1.8	86.7	62.9	153.2	140.0	
	下段①-5	1.93-2.03	64.0	1.0	38.5	28.4	68.9	64.0	
	下段②-1	0.30-0.36	92.0	1.4	51.6	44.5	98.9	92.0	
	下段②-2	0.70-0.87	124.0	2.5	75.9	52.6	133.5	124.0	
	下段②-3	1.20-1.30	98.0	3.9	58.7	39.5	106.0	98.0	
	下段②-4	1.89-1.95	116.0	0.7	64.0	46.6	112.0	116.0	
	下段③-1	0.47-0.58	72.0	9.2	39.6	26.5	84.5	72.0	
	下段③-2	0.85-0.95	134.0	4.7	83.9	57.4	150.7	134.0	
	下段④-1	0.56-0.65	84.0	3.7	64.0	32.0	103.4	84.0	
	下段④-2	1.15-1.27	128.0	2.5	98.4	53.3	156.7	128.0	
	下段④-3	1.76-1.87	142.0	2.5	88.7	63.0	156.7	142.0	
	下段⑤-1	0.33-0.42	126.0	2.7	81.8	57.5	144.7	126.0	
	下段⑤-2	0.78-0.89	136.0	5.2	90.4	53.4	154.2	136.0	
	下段⑤-3	1.27-1.37	132.0	3.1	88.1	59.0	153.3	132.0	
	下段⑤-4	1.49-1.59	160.0	3.9	98.2	66.8	172.8	160.0	
	下段⑤-5	1.83-1.95	120.0	2.9	76.6	51.4	133.8	120.0	
	平均		116.6	3.3	73.7	49.6	129.9	116.6	
	総平均		111.7	3.6	72.1	46.7	126.0	111.7	

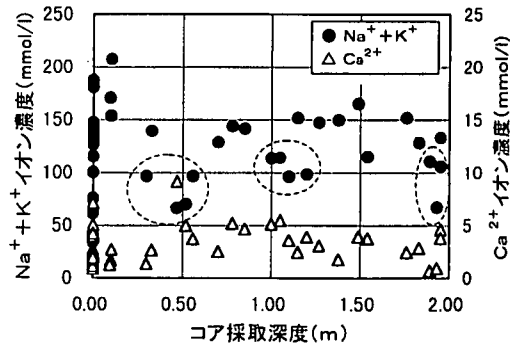


図-8 コア採取深度と細孔溶液のイオン濃度(ゴム堰擁壁)

の関係を示す図-8からもわかるように、内部と比較して表面部分ではばらつきが大きい。このことは、別途計算した(Na⁺+K⁺)イオン濃度の標準偏差が、表面部で44.3 mmol/lであるのに対し、内部では28.1 mmol/lであり、表面部ではコア採取位置によるアルカリイオン濃度の変動幅が大きいことは明らかである。

この結果は、コンクリート体表面においては内部よりもより多数のひび割れが存在することに起因すると考えられる。すなわち、表面近傍に存在する多数のひび割れを通しての炭酸ガスの侵入による炭酸化、および乾燥によるアルカリの固定⁹⁾がひび割れの周辺で特に活発に進行するので、コアの採取位置によるアルカリイオン濃度の変動が大きくなったものと思われる。

図-8において点線で囲んだ試料のイオン濃度が他と比較して低いが、この部位のコンクリートコア近傍

表-8 (b) 細孔溶液抽出試験結果 (ゴム堰表面部)

コア No.	コア採取位置 (m)	OH ⁻	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ+	Σ-	備考
左								
ゴム部-1	0.00-0.10	120.0	4.0	77.2	50.4	135.6	120.0	
ゴム部-2	0.00-0.10	104.0	2.7	78.8	49.9	134.1	104.0	
ゴム部-3	0.00-0.10	166.0	2.9	115.1	72.3	191.4	166.0	
平均		130.0	2.0	90.4	57.5	153.7	130.0	
岸								
露出部-1	0.00-0.08	90.0	1.5	62.2	38.0	103.2	90.0	
露出部-2	0.00-0.06	158.0	0.9	106.2	74.6	182.6	158.0	
露出部-3	0.00-0.06	48.0	7.1	21.7	12.6	48.5	48.0	
平均		98.7	3.2	63.4	41.7	111.5	98.7	
右								
ゴム部-1	0.00-0.10	150.0	3.9	69.6	74.7	152.1	150.0	
ゴム部-2	0.00-0.10	134.0	5.0	78.6	59.3	147.9	134.0	
ゴム部-3	0.00-0.10	65.7	0.9	42.4	32.7	76.9	65.7	
ゴム部-4	0.00-0.10	72.0	2.5	42.0	33.7	80.7	72.0	
ゴム部-5	0.00-0.08	44.0	2.4	21.5	19.2	45.5	44.0	
ゴム部-6	0.00-0.08	82.0	2.3	55.5	72.2	132.3	82.0	
ゴム部-7	0.00-0.10	94.0	1.8	84.4	50.7	118.7	94.0	
平均		91.7	2.7	53.4	48.9	107.7	91.7	
露出部-1	0.00-0.10	128.0	2.4	84.7	54.6	144.1	128.0	※
"	0.10-0.21	150.0	1.7	93.6	60.1	157.1	150.0	
露出部-2	0.00-0.11	132.0	4.0	79.3	52.1	139.4	132.0	※
"	0.11-0.21	192.0	2.7	116.0	91.3	212.7	192.0	
露出部-3	0.00-0.10	118.0	4.3	81.7	51.0	141.3	118.0	※
"	0.10-0.18	150.0	1.3	102.2	68.4	173.2	150.0	
露出部-4	0.00-0.09	60.0	1.1	33.7	27.5	63.4	60.0	
露出部-5	0.00-0.09	110.0	1.9	86.3	61.0	151.1	110.0	
平均		130.0	2.4	84.7	58.3	147.8	130.0	
総平均		112.7	2.7	72.0	52.7	130.1	112.7	

にはひび割れが存在し、局部的にコアが破断していた。コア採取時の観察からこれらのひび割れおよび破断はコア採取時に発生したものではないと推定されるので、濃度低下の原因としては、これらのひび割れを通しての雨水の侵入によるコンクリート中のアルカリの溶出、ひび割れを通しての炭酸ガスの流入による炭酸化、およびひび割れ部分近傍における乾燥によるアルカリの固定¹⁰⁾等が考えられる。

前述のとおり、細孔溶液中の陰イオン濃度と陽イオン濃度は常に電氣的にバランスがとれていることから、Na⁺、K⁺、Ca²⁺などのアルカリイオン濃度(Σ+)はOH⁻イオン濃度(Σ-)と同じとみなすことができる。このことから、表-8 (b)において※印で示すように、同一コア採取位置で表面部分とより深い部分のOH⁻イオン濃度を比較すると、表面付近のOH⁻イオン濃度は深部と比較し低くなっている。これは、表面部のコンクリートは乾燥湿潤のくり返しを受けているので、コンクリート表面近傍の細孔溶液中のアルカリイオンは乾燥時に固定されるという結果¹⁰⁾を裏付けるものである。さらに本コンクリートの製造において使用されたセメントのアルカリ量は不明であるが、セメントペーストおよびモルタルの細孔溶液分析(4.(3)参照)の結果と比較すると、コアからの細孔溶液のNa⁺、K⁺、OH⁻イオン濃度はセメントペーストやモルタルの初期材齢時における各イオン濃度と比較し、ほとんどが1オーダー低い値となっている。

このようにコンクリート中のアルカリイオン濃度が低いのは、14年という長年月にわたって進行したASRによってアルカリイオンが消費されたためと推定さ

表-8 (c) 細孔溶液抽出試験結果 (その他構造物)

コア No.	コア採取位置 (m)	OH ⁻	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ+	Σ-	備考
変電所擁壁								
擁壁①-1	0.00-0.10	62.5	1.2	50.4	15.4	68.2	62.5	
擁壁①-2	0.00-0.10	24.0	2.7	12.1	4.6	22.1	24.0	
擁壁①-3	0.00-0.11	80.0	1.7	60.8	24.9	89.1	80.0	
擁壁②-1	0.00-0.06	56.0	0.6	40.4	17.2	58.8	56.0	
擁壁②-2	0.00-0.07	58.0	1.0	41.4	19.1	62.5	58.0	
擁壁②-3	0.00-0.07	50.0	0.8	34.4	14.7	50.7	50.0	
擁壁②-4	0.00-0.06	66.0	0.8	43.3	16.8	61.7	66.0	
擁壁②-5	0.00-0.04	32.0	0.9	30.3	10.4	42.5	32.0	
擁壁③-1	0.00-0.08	30.0	0.5	21.3	7.5	29.8	30.0	
擁壁③-2	0.00-0.13	68.0	0.3	64.7	18.2	83.5	68.0	
擁壁④-1	0.00-0.10	62.0	1.7	49.5	19.5	72.4	62.0	
擁壁④-2	0.00-0.13	38.0	1.0	32.6	12.4	47.0	38.0	
擁壁⑤-1	0.00-0.09	46.0	5.9	22.2	10.5	44.5	46.0	
擁壁⑤-2	0.00-0.08	48.0	3.0	30.0	15.0	51.0	48.0	
平均		51.5	1.6	38.1	14.7	56.0	51.5	
雪崩柵								
柵⑥-1	0.00-0.10	110.0	1.2	88.8	33.2	124.4	110.0	
柵⑥-2	0.00-0.10	50.0	3.2	35.3	16.7	58.4	50.0	
柵⑦-1	0.00-0.10	40.0	4.8	23.2	10.4	43.2	40.0	
柵⑦-2	0.00-0.04	40.0	2.0	32.1	16.9	53.0	40.0	
柵⑦-3	0.00-0.06	56.0	2.5	35.0	17.6	57.6	56.0	
柵⑧-1	0.00-0.08	70.0	1.8	55.8	25.6	85.0	70.0	
柵⑧-2	0.00-0.08	40.0	2.1	27.7	15.9	47.8	40.0	
柵⑨-1	0.00-0.10	50.0	2.3	41.9	16.4	62.9	50.0	
柵⑩-1	0.00-0.07	48.0	1.9	26.7	16.5	47.0	48.0	
柵⑩-2	0.00-0.10	80.0	0.3	55.1	38.7	94.4	80.0	
柵⑪-1	0.00-0.05	60.0	3.5	38.0	16.5	61.5	60.0	
柵⑪-2	0.00-0.08	16.0	0.7	8.4	2.9	12.7	16.0	
柵⑫-2	0.00-0.10	122.0	1.5	86.8	44.1	133.9	122.0	
柵⑬-3	0.00-0.10	100.0	0.9	68.0	38.1	107.9	100.0	
平均		63.0	2.1	44.5	22.1	70.8	63.0	
水槽擁壁								
山-1	0.15-0.27	42.0	3.8	22.2	8.8	38.6	42.0	
山-2	0.12-0.27	124.0	2.3	96.5	29.0	130.1	124.0	
山-3	0.12-0.27	110.0	2.2	81.5	20.0	105.9	110.0	
平均		92.0	2.8	66.7	19.3	91.6	92.0	
擁壁谷-1	0.12-0.28	52.0	3.7	29.9	8.9	46.2	52.0	
擁壁谷-2	0.13-0.27	30.0	4.1	16.7	5.3	30.2	30.0	
擁壁谷-3	0.11-0.24	32.0	6.2	13.7	5.4	31.5	32.0	
平均		38.0	4.7	20.1	6.5	36.0	38.0	

れる。したがって、前述のように骨材中にはまだ反応性成分が残留しているにも関わらずコアの残存膨張率が小さいのは、細孔溶液のOH⁻イオン濃度が限度値以下に低下したためと推察される。

b) 変電所擁壁、雪崩柵、水槽擁壁コンクリート

変電所擁壁、雪崩柵の細孔溶液中のOH⁻イオン濃度は51~63 mmol/l程度であり、ゴム堰擁壁コンクリートと比較して低い、これは調査対象のコンクリートが、建設後38~40年を経過しており、ASRの進行と雨水などによるアルカリの溶出の程度がより進んでいるためであろう。

また表-8(c)より、水槽擁壁では日射の影響を強く受けASRが促進されていたと推定される谷側部(38 mmol/l)が山側部(92 mmol/l)と比較して細孔溶液中のOH⁻イオン濃度が小さいことがわかる。

また20°Cでの水酸化カルシウム飽和溶液中のOH⁻イオン濃度は42 mmol/lであり、本実験において得られたほとんどのコアのOH⁻イオン濃度はこれを上回っている。

(5) 将来における劣化進行予測法の考え方

以上において得られた結果より、骨材の反応性成分

表-9 劣化進行予測判定法の考え方

		細孔溶液分析による OH ⁻ イオン濃度 (mmol/l)	
		250 以上	250 未満
NBRI試験による	0.1%以上	判定 A	判定 B
コアの膨張率(14日)	0.1%未満	判定 C	判定 D
判定 A : 骨材中の残留反応性成分、細孔溶液中の水酸化アルカリとも多く、将来劣化が進行する可能性が大きい。 判定 B* : 骨材中の残留反応性成分は多いが、水酸化アルカリ濃度は低いいため、将来の劣化進行の可能性は小さい。 判定 C : 水酸化アルカリ濃度は高いが、骨材中の残留反応性成分は少ないため、将来の劣化進行の可能性は小さい。 判定 D : 骨材中の残留反応性成分も少なく、細孔溶液中の水酸化アルカリ濃度も低いので、将来の劣化進行は殆ど無い。 ※ コア採取箇所のひび割れなどの影響でOH ⁻ イオン濃度にばらつきがあることから、これらに対する考慮が必要である。			

が未だ残存しているにもかかわらず、ASRの進行によってコンクリート中のOH⁻イオン濃度が低下したために、40℃、相対湿度 100%での促進条件下においてもコンクリートコアの残存膨張がほとんど生じなかったことが判明した。またASRを引き起こすOH⁻イオン濃度の限度値はDiamondの提案を参考にすれば250 mmol/l⁸⁾と考えられるが、本実験の結果はこのような提案とも矛盾しないようである。

一般に、構造物中でASRが進行するか否かは、骨材中に反応性成分が残存しているかどうか、細孔溶液中のOH⁻イオン濃度が、反応を生じさせる限度値をこえているかどうかで決まるものと考えられる。

これらを評価するために、1例として、前者についてはNBRI法によるコアの迅速反応性試験の適用¹¹⁾が考えられる。現在NBRI法の判定には、養生材齢、膨張率の閾値について種々の提案¹²⁾がなされているが、今回は養生材齢14日、膨張率の閾値0.01%を利用することとした。また、後者については、Diamondの提案しているOH⁻イオン濃度250 mmol/lを利用することを考えた。

上記の実験方法および閾値を採用した場合、1つの考え方として、表-9に示すような劣化進行予測が可能となるものと考えられる。

ここで表中の「判定B」については、OH⁻イオン濃度が低いことを予測の判断基準としている。しかし前述のように構造物から採取したコンクリートコア中のOH⁻イオン濃度は、ひび割れの存在などが原因でばらつきが大きいことが判明しているため、OH⁻イオン濃度の評価についてはばらつきを考慮する必要があるものと思われる。

また、3. で述べたように、ASRの進行は局所的な環境条件に大きく影響を受けるが、構造物の劣化補

修への適用を考えた場合、何れの部位で劣化が進行しても、構造物全体としての機能に問題が生じることとなる場合が多い。したがって、ここでは環境条件については考慮していない。

今回提案した劣化進行予測の考え方および用いた種々の閾値については、今後室内実験などにより多くのデータを積み重ねる必要がある。

5. 結論

本研究では自然環境下に置かれたASR劣化コンクリート構造物を対象として、異なる環境条件がコンクリートのASR劣化に与える影響の評価、および劣化進行予測を目的としたコア供試体の細孔溶液分析とその評価を行った。

本研究により得られた結論をまとめると以下のようである。

- (1) 温度、湿度が高い条件下のコンクリートは、ASRが主因と思われる劣化が著しく、ひび割れ密度は大きく、コンクリート強度は小さい。これに反し、日射、水分が遮断されていた部位では、ひび割れ密度は小さく、強度は大きい。
- (2) ASR劣化の進行には凍結融解により発生するひび割れや、湿潤・乾燥のくり返しによるひび割れが大きく関与するものと考えられ、それらとの複合作用により劣化が促進されるものと推定された。
- (3) セメントペースト、モルタルによる室内実験によりNa⁺、K⁺、Ca²⁺、OH⁻イオン濃度を比較したところ、同一水セメント比のモルタルの細孔溶液濃度は、セメントペーストの値とほぼ同等と評価できる。
また、水セメント比の増加と比例してNa⁺、K⁺、OH⁻イオン濃度は減少するが、Ca²⁺イオン濃度は増加する傾向にあった。
- (4) ASR劣化を受けたコンクリート構造物においては、建設当初と比較してNa⁺、K⁺、OH⁻イオン濃度はASRの進行の結果、ほとんどが1オーダー低い値となっていた。
- (5) 表面近傍に存在する多数のひび割れを通しての炭酸化および乾燥によるアルカリの固定の結果、表面部ではアルカリイオン濃度の変動幅が大きい。また、日射の影響を強く受けASRが促進されていたと推定される部位は、そうでない部位と比較して、細孔溶液中のOH⁻イオン濃度が低い。
- (6) 本論文では、ASRが骨材中の反応性物質とコンクリート中の細孔溶液との間の化学反応であることに着目した劣化進行予測法の考え方を示した。

この考え方は、NBR I 試験による骨材中の残留反応性成分の有無の判定と、細孔溶液中のOH⁻イオン濃度の組合わせにより実施するものであるが、判定に用いる閾値や実験材齢など、未だ不十分な部分も多く、今後多くのデータを積み重ねる必要がある。

参考文献

- 1) 竹内勝信, 川村満紀, 鳥居和之, 谷川伸: 自然環境下に曝露したコンクリートのアルカリシリカ反応による膨張とひびわれ, コンクリート工学論文集, 第6巻第1号, pp. 11-19, 1995.
- 2) Barneyback, R.S. and Diamond, S.: Expression and Analyses of Pore Fluids from Hardened Cement Paste Mortars, Cement and Concrete Research, Vol.11, No.2, pp.279-285, 1981.
- 3) 川村満紀, 竹内勝信, 杉山彰徳: 外部より供給されるNaClがアルカリシリカ反応によるモルタルの膨張に及ぼす影響のメカニズム, 土木学会論文集, No.502/V-25, pp. 93-102, 1994.
- 4) 日本材料学会: アルカリ骨材反応に関するシンポジウム, pp.29-41, 1985.
- 5) コンクリート工学協会: 耐久性診断に関する技術の現状, 耐久性診断委員会報告書, 1989.
- 6) 川村満紀: コンクリート構造物の耐久性上の問題点とその対策, アルカリ骨材反応(その2), コンクリート工学, Vol.11, No.5, pp.68-75, 1994.
- 7) Chatterji, S.: An Accelerated Method for the Detection of Alkali-Aggregate Reactivities of Aggregate, Cement and Concrete Research, Vol.8, No.5, pp.647-649, 1978.
- 8) Oberholster, R.E. and Davies, G.: An Accelerated Method for Testing the Potential Alkali Reactivity of Siliceous Aggregates, Cement and Concrete Research, Vol.16, pp. 181-189, 1986.
- 9) Diamond, S.: Alkali Reactions in Concrete-Pore Solution Effects, Proc. 6th Intl. Conf. Alkalis in Concrete, Copenhagen, pp.155-166, 1983.
- 10) Diamond, S.: Alkali Silica Reaction-Some Paradoxes, Proc. of the 10th Intl. Conf. on AAR in Concr., Melbourne, pp.3-14, 1996.
- 11) ACI: States-of-the-Art on Alkali-Aggregate Reactivity, ACI 221.1R-98, pp.18-19, 1998.
- 12) Grattan-Bellew, P.E.: A Critical Review of Accelerated ASR Test, Proc. 10th Intl. Conf. on AAR in Concr., Melbourne, pp. 27-38, 1998.

(1999. 7. 14 受付)

EVALUATION OF THE DEGREE OF DETERIORATION IN ASR DAMAGED CONCRETES AND ANALYSES OF THEIR PORE SOLUTIONS

Hiroyuki KAGIMOTO, Michio SATO and Mitsunori KAWAMURA

This study aims at investigating the influences of local environmental conditions on the degree of damage in existing ASR damaged concrete structures and proposing a method for predicting the progress of ASR damages in future on the basis of the data obtained in the investigations. The ASR damages in the structures were found to rapidly proceed after the freezing-thawing repetitions due to changes in climate started to increase. It was also found from these investigations that the degree of deterioration in concretes depended on the local environmental conditions such as temperature, humidity and the supply of water from the outside. The combination of the alkalinity of pore solutions extracted from damaged concrete structures and the expansion of concrete cores from the structures by the use of the NBR I test was useful for predicting the progress of ASR damages in concrete structures.