## 論文 チャート骨材使用劣化コンクリート構造物から採取したコアの アルカリシリカ反応性

岩月 栄治\*1·森野 奎二\*2

要旨:ASR によって劣化した2橋梁および1擁壁(施工後19~33 年経過)からコアを採取し,強度試験,ヤング係数測定,残存膨張測定,微細構造の観察とEDX分析,粗骨材の化学法試験を行った。結果では、2橋梁のコアの残存膨張は測定約2年で0.08~0.20%,擁壁は測定約5年で0.05~0.42%であり、今後も膨張傾向にある。コアから回収した粗骨材のチャートと珪質粘板岩の化学法の試験結果は「無害でない」を示し、施工後33年経過しても反応性が認められた。反応生成物のEDX付電子顕微鏡観察・分析では、2橋梁からNa<sub>2</sub>O:81%,K<sub>2</sub>O:0.5%,SiO<sub>2</sub>:8%を示すような極めてNaの多い反応生成物が観察された。 **キーワード**:アルカリシリカ反応、劣化構造物、コアの残存膨張、チャート、反応生成物

#### 1. はじめに

アルカリシリカ反応(以下ASRと称す)は長 期にわたって反応が継続することがこれまでの 実験・研究で解っている<sup>1)</sup>。そのような反応を 示す骨材として,チャートなどの珪質堆積岩を あげることができる<sup>2)</sup>。しかし,これらの岩種 を用いた実構造物から採取したコアの膨張や強 度特性に関する報告は少ない。さらに実構造物 内でのチャート骨材の反応の特徴,残存反応性 の有無や反応が継続する期間など未知なところ が多く,その調査・研究が必要である。

本研究では、チャート骨材の使用量の多い ASR劣化構造物からコアを採取し、膨張率、強度、ヤング係数の測定および微細構造の観察を行い、チャート骨材が実構造物内でどのような反応の特徴を示すか、あるいはいっまで反応が継続するかなどについて検討した。

#### 2. コアを採取した劣化構造物

コアを採取した構造物を表-1に示す。 いずれも愛知県内の構造物である。A橋梁は 1970年に施工された橋脚であり、2002年に拡幅 工事のために基礎部分を掘り出したときにフー チングに幅5~20mm程度のひび割れが多数み られたものである。B橋梁は1969年に施工され、 1985年に第1回調査が行われて、ひび割れ観察、 コアの強度試験、反応生成物の観察がなされ、 劣化原因がASRであること確認されたものであ る。その後、補修・再発を3回繰り返し、2002 年に再度コアが採取された。C擁壁は1979年に 施工された逆L型擁壁で背面の地盤から水が常 時供給される状態であり、1998年の調査では、 ひび割れの発生状況は施工ブロック毎に差が見 られ、最も著しいところで約3mmであった。

表一1 ASR 劣化構造物と使用骨材岩種

							111	
構造物		施工年	調査実 施年	ASRによる ひび割れ	骨材の 種類	骨材岩種および 構成比率(%)	構造物の最大ひ び割れ幅(mm)	
A橋梁 橋脚フーチング		1970	2002	有り	砕石	チャート:67 珪質粘板岩:33(注1)	約20mm	
B橋梁	P8橋脚 枕梁 02年調査	1969	2002 (注3)	有り	砂利	チャート:96 砂 岩 :3 粘板岩:2 (注2)	約5mm	
	P9橋脚 枕梁 02年調査	1969	2002 (注3)	有り	砂利	チャート:89 砂 岩 :6 粘板岩:5(注2)	約5mm	
C擁 壁		1979	1998	有り	砂利およ び砕石	チャート:44 砂 岩:20 片麻岩:36(注2)	約3mm	

注1:コアを希硝酸でモルタル分を熔解させて粗骨材を取り出て算定した 注2:コアの表面に見られた骨材をカウントして算定した 注3:1985年にも調査を実施している

- \*1 愛知工業大学 工学部土木工学科講師 工修(正会員)\*2 愛知工業大学 工学部土木工学科教授 理博(正会員)
  - -957-

各構造物に使用されていた粗骨材の特徴は次 のようである。A橋梁はチャート:67%, 珪質粘 板岩:33%であった。B橋梁のチャートの割合は, P8橋脚:96%, P9橋脚:89%であり,他に砂岩, 粘板岩,頁岩を少量含んでいた。C擁壁はチャー ト44%,砂岩20%,片麻含36%であった。骨材の 形状はA橋脚のみが砕石であり,他は砂利,ま たは砂利と砕石の混合であった。

#### 3. 試験方法

#### 3.1 コアの残存膨張率測定

図-1,図-2,図-3に各構造物から採取し たコアの試験位置を示す。コアの直径はいずれ も φ 100mmであり,圧縮強度試験と残存膨張測 定のために長さ200mmになるように切断した。

残存膨張測定のコアは、両端の切断面に長さ

変化測定用チップを接着(エポキシ系接着剤使 用)した後に,20℃水中に8~12時間浸漬し,そ の後に,コアに保湿紙を巻き,金属製の貯蔵箱 (図-4)の底部には4cmの底上げをして水を













図-3 C 擁壁から採取したコアの各種試験位置

図-4 コア貯蔵箱の概要

入れ,供試体に直接水が触れないようにコアを 入れた。貯蔵箱は20℃の測定室に設置し,定期 的に膨張率を測定し,膨張が平衡状態になって から,40℃の恒温室に移した。膨張率測定は常 に20℃の室内で行った。

#### 3.2 コアの強度試験

圧縮強度試験を行うコアは、切断後に載 荷面の両端を研磨した。圧縮強度と同時に ヤング係数を測定するために長さ60mmの ひずみゲージを縦方向に2枚ずつ貼付した。 試験後のコアから化学法の試験用骨材を回 収した。

### 3.3 骨材のX線回折および化学法試験と 微細構造の観察

粗骨材の化学法試験(JIS A 1145)はA 橋梁のみで行った。試料の採取は圧縮強度 試験後のコアを最大粒径約20mmに破砕し, それを希硝酸(濃度67.5%)に48時間浸漬(粗 骨材300g,希硝酸1Lの割合)してモルタル分 を溶解させて粗骨材を取り出した<sup>3)</sup>。直径 10cm,長さ20cmコアを作製した残りの切断 片から顕微鏡観察試料を作製した。観察に は、実体顕微鏡,偏光顕微鏡,走査電子顕 微鏡を使用し,反応生成物にはEDX分析を 走査電子顕微鏡(SEM)と併用して化学組 成を測定した。 示す。A橋梁(図-5)のコアは貯蔵519日時点 で0.05~0.18%膨張している。図中のNo.1-1と No.2-4は325日で一旦膨張は平衡状態になった が,その後,膨張し始め,さらにその後も膨張 傾向にある。図-8の左図のコアの採取深さと 膨張率の関係ではNo.2の深さ92cm(No.2-4)が



#### 結果および考察

4.1 コアの残存膨張挙動

A橋梁、B橋梁、C擁壁のコアの残存膨張挙動を図−5,図−
6,図−7に、またコアの採取深さと膨張率の関係を図−8に









0.18%膨張しているのに対して,他は0.05~ 0.08%であることから同じ構造物から採取した コアであっても採取位置や深さによって膨張率 が異なる。B橋梁(図-6)の膨張率は,貯蔵 679日でP8橋脚は0.15~0.17%,P9橋脚は0.09~ 0.20%であり,P8とP9ではコアの膨張率に差が みられ,またコアの採取位置別にみても図-8 の中央図のように,採取位置と膨張率に一定の 関係はみられない。C擁壁(図-7)の膨張は, 貯蔵1800日以降は殆ど増加していなく2510日で は0.05~0.42%であり,採取位置と膨張の関係は 図-8の右図のように表面よりも背面の膨張の ほうが大きい傾向がみられる。

このことから、同じ構造物から採取したコア であっても採取位置や深さによって膨張に差が みられる。しかし、3構造物とも0.1%以上の残 存膨張を示すコアがみられることから施工後19 ~33年経過していてもASRの反応は継続すると いえる。

#### 4.2 コアの強度性状

3構造物のコアのヤング係数と圧縮強度の関係を図-9に示す。圧縮強度に対してヤング係数は通常の場合の20~70%低下しており、ASRの劣化の特徴がみられる。この中で、B橋梁のP8橋脚では、1985年の調査結果と比べると同じ強度であってもヤング係数が低くなっていて、劣化が進んでいることがわかる。

A橋梁のコアのヤング係数の低下率と採取位



置の関係を図-10に示す。No.1, No.2, No.3 のコア採取位置は、フーチングの同一面で、それ ぞれ1~2m程度離れているが,強度を測定した コアの深さは71~79cmの範囲であることから, 同じような深さであっても位置が1~2mほど離 れるだけでヤング係数の低下率に33~59%の差 がみられる。B橋梁は、図-11に示すように P8橋脚のほうがP9橋脚よりもヤング係数の低 下率が大きい。コア採取位置のヤング係数の低 下は、両橋脚とも表面のほうが大きい傾向がみ られるが、2.5~3mの深さであっても20~53%低 下がみられる。また、C擁壁は図-12に示す ように背面のほうが表面よりも低下率が大きい 傾向がみられ、前述のコアの残存膨張も背面の ほうが大きい。この原因は、背面の盛土から常 に水が供給されているからであると考えられる。

これらのことから、ASRによる劣化は同じ構 造物であってもコアを採取した場所や深さに よって差があり、さらに、表面から2.5~3mの 深部であっても劣化が進んでいることがわかる。





写真-1 B橋梁P8コアの深さ 293cmの破断面

写真-2 A橋梁No.3 コアの深さ55cmの破断面



写真-3 B橋梁 P8 橋脚の深さ 30cm 付近のコア側面

#### 4.3 コアの劣化状況の観察

コア破断面およびコア側面の観察状況を写真 -1~写真-3に示す。B橋梁P8の表面から293 cmの破断面(写真-1)には,骨材やモルタル 部分に白色の生成物が多量に生成していた。こ のような生成物はA橋梁,C擁壁にも同様にみら れ,構造物の深部であっても反応が著しいこと がわかる。写真-2のA橋梁コアの破断面では, チャート骨材の他に珪質粘板岩にも反応生成物 が生成していた。またチャート骨材の一部が溶 解して空隙ができてゲルが流れ出している状態

(写真-3)がみられた。ヤング係数の低下原 因の一つは、このように骨材自体の脆弱化や空 隙が無数に形成されることにあると推測される。

# 4.4 コアに含まれていた粗骨材の

#### 化学法とX線回折結果

A橋梁に含まれていた粗骨材のチャートと珪 質粘板岩の化学法試験(JIS A 1145)を行った。 試験用の骨材は, コアを約20mmに破砕した後 に希硝酸でモルタル分を溶解させて得たもので ある。結果は, チャートはSc=216mmol/l, Rc= 185mmol/l, 珪質粘板岩はSc=200mmol/l, Rc= 115mmol/lでいずれも「無害でない」に判定され, 施工後33年経過していても骨材には反応性が残 存している。

また,3構造物から回収した骨材のX線回折か ら求めた石英の結晶性指標CIを表-2に示す。3 構造物のチャートはCI=3.6~5.2であり,A橋梁 の珪質粘板岩はCI=6.4であった。既往の研究<sup>4)</sup> ではCI=7.5以下でASRの可能性があることが認

表-2 コアから取り出した各粗骨材に含ま れる石英の結晶性指標

推進	結晶性指標(CI)						
伸迫初	チャート	砂岩	珪質粘板岩	片麻岩			
A橋梁	5.1	—	6.4	—			
B橋梁	3.6	6.5	_	-			
C擁壁	5.2	8.5	_	10			

められているから,鉱物学的にも反応性が残存 しているといえる。

#### 4.5 反応生成物の観察と化学組成

走査電子顕微鏡観察で得られたASR生成物の 数例を写真-4~写真-7に、そのEDX分析 (点分析)の結果を表-3に示す。ASR生成物 の典型的な形態である花弁状(写真-4)とゲ ル状(写真-5)の生成物は3構造物ともに観察 された。これらのEDX分析も既往の文献<sup>5,6)</sup> と同じような化学成分であった。また、写真-6は反応によって非晶質シリカが溶解した後に 残った生成物で、EDX分析では SiO<sub>2</sub>:89%, Na<sub>2</sub>O:1.5%を示す。

一方で、A橋梁とB橋梁では写真-7の中央に 示す生成物が写真-5の周囲やその上面に生成 しており、そのEDX分析値は、Na<sub>2</sub>O:81.5%、 K<sub>2</sub>O:0.5%、SiO<sub>2</sub>:7.9%、CaO:3.2%であり、 その周りのゲル状生成物(Na<sub>2</sub>O:13.8%、K<sub>2</sub>O: 5.3%、SiO<sub>2</sub>:60.2%、CaO:11.8%)と比較して も著しく異なるものである。このことを確認す るために行ったNaとSiのマッピングした結果で は写真-8に示すように明らかに中央の生成物 はNaが多く、Siが少ないものであった。既往の 研究<sup>5,6)</sup>ではASR生成物のNa含有量は0~30%



写真-4 花弁状の ASR 生成物 (A 橋梁 No. 1 コア, 深さ 70cm 付近)



写真-7 Naを81%含む生成物 (A橋梁No.1コア,深さ70cm付近)

程度であり,Naを70~80%も 含む生成物は初めてではない かと思われる。この生成物が みられたA橋梁およびB橋梁 は,施工後33年経過でもコア が膨張し,さらに残存膨張測 定時にはゲルの滲出によって 保湿紙がコアに張り付いてい

る状態がみられ、反応が継続していることが明 らかであった。このような多量のNaはどこから 供給されたか、あるいはまたこのように集中す るのは何故なのか今のところ不明である。いず れにしても長期間反応が継続している証拠であ り、このことがチャートや珪質堆積岩のASRが 長期間継続する原因の一つとも考えられる。

#### 5. まとめ

本研究の結果を以下にまとめる。

- (1) チャートや珪質粘板岩は施工後 33 年を経 過していても ASR を進行させ,長期にわたっ て反応が継続する。
- (2) 構造物内部の ASR の劣化程度や進行性は 場所によって異なり、3m 程度の深部であって



写真-5 ゲル状のASR 生成物 (B橋梁P8 コア,深さ145cm 付近)





(C 擁壁 No. 4 コア、深さ 45cm 付近)



写真-8 写真-7のマッピング像

表一3 反応生成物の EDX 分析値

構造物	ASR生成物 の形状	写真 No.	EDX分析值(点分析)(%)								
			Na <sub>2</sub> O	K₂O	SiO2	CaO	SO3	CI	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	PtO₂(コー ティング)
A橋梁	花弁状	4	4.2	8.4	55.1	10.8	1.6	-	-	-	19.0
	ゲル状	5と形 状同じ	5.3	2.6	63.6	14.6	0.6	-	-	0.2	13.3
	高アルカリ生成物	7	81.5	0.5	7.9	3.2	1.0	0.2	-	-	5.8
	(高アルカリ生成 物の周囲のゲル 状生成物)	7	13.8	5.3	60.2	11.8	-	-	-	0.1	8.8
B橋梁	花弁状	4と形 状同じ	2.7	9.1	58.5	9.7	1.3	0.2	0.2	-	18.5
	ゲル状	5	2.0	1.3	40.3	37.8	0.2	-	4.2	0.1	14.3
	高アルカリ生成物	7と形 状同じ	73.8	3.9	16.2	4.6	0.1	0.7	0.5	-	-
C擁壁	花弁状	4と形 状同じ	3.2	3.5	65.7	15.0	-	0.3	0.6	0.3	11.5
	ゲル状	5と形 状同じ	1.2	1.2	45.5	35.5	1.0	-	4.4	-	11.2
	粒 状	6	1.5	0.3	89.5	_	0.4	-	0.1	0.1	8.1

も反応が進行する。

 (3) Na<sub>2</sub>O を 70~80%含む生成物が A 橋梁と B 橋梁で確認された。このことは長期間に渡っ て ASR が継続する原因の一つではないかと考 えられる。

#### 参考文献

- 治月栄治、森野奎二:長期間貯蔵した反応性骨材混入コンク リートの膨張と強度性状、コンクリート工学年次論文集、 Vol.22, No.2, pp.277-282, 2000.6
- 2)高田潤、立松英信、立屋敷久志、永嶋正久:アルカリ骨材反応とコアの膨弱局式験一とくに骨材の特徴について一、骨材資源、No.75、Vol.19、pp.133-141、1987
- 源, No.75, Vol.19, pp.133-141, 1987 3) 岩月栄治, 森野奎二:再生骨材コンクリートのアルカリシリ カ反応に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.1229-1234, 2003.6
- 4) 森野奎二, 岩月栄治: 偏光顕微鏡観察とX線回折分析による コンクリートの劣化診断, コンクリート構造物の耐久性診断 に関するシンポジウム, pp. 13-18, 1988.5
- 5) 森野奎二:わが国のチャート質骨材のアルカリ骨材反応例, 骨材資源, No.70, pp.63-73, 1986
- 6) 立松英信,高田潤,滝永進:アルカリ骨材反応生成物のキャ ラクタリゼーション,粘土科学, Vol.26, No.3, pp.143-150, 1986