

論文 愛知県の ASR 劣化構造物と反応性骨材に関する研究

岩月 栄治^{*1}・森野 奎二^{*2}

要旨: 愛知県内の ASR 劣化構造物の分布状況をまとめた。また、調査した構造物から採取したコアから、骨材岩種の構成比率を調べ、偏光顕微鏡などを用いて反応状況を観察した。さらに残存膨張の測定、強度試験を行った。結果では、愛知県の ASR 劣化構造物は尾張・西三河・東三河の全域に分布しており、反応に関与していた岩種はチャートと珪質粘板岩であった。コアは施工 30 年が経過していても残存膨張の測定で膨張していた。さらに愛知県から岐阜県にかけて採取したチャートと珪質粘板岩の骨材を用いて、劣化構造物と同様に骨材を混合したモルタル・コンクリートでは高い反応性が確認され、実構造物の劣化と一致していた。

キーワード: アルカリシリカ反応, 劣化構造物, チャート, 珪質粘板岩, 残存膨張

1. はじめに

アルカリシリカ反応 (以下 ASR) の特徴は反応性骨材の岩種や構造物の立地環境に影響される。反応性骨材は火成岩の安山岩や堆積岩のチャートなどが主であるが、これらは骨材を採取する地質によって異なる。さらに生産された骨材を使用する場合にも運搬距離などの理由で範囲が限定される。このことから ASR は地域や県などの範囲で反応の特徴がみられる。また、立地環境については、寒冷地などで散布される融雪剤や海岸付近の海水飛沫などの影響がある。

このようなことから、ASR による劣化は地域毎の特徴を有しており、その特徴を把握することは重要であり、劣化構造物の調査・維持管理・補修の基礎資料としても活用できる。しかし、これまで ASR に関する調査は官公庁や学協会などで度々行われてきたが、公表されているものは少なく、さらに県単位等の地域の特徴をまとめた研究・報告は少ない^{1),2),3),4)}。

本研究は、愛知県内の ASR 劣化構造物の分布を調べ、コアを採取して反応状況や、反応性骨材の岩種の特定、残存膨張率の測定、強度試験を行い、その特徴をについて整理した。さらに、実構造物で反応が確認された同種の岩石を用いてモルタルとコンクリートを作製して反応の特徴を検討した。

2. 試験方法

2.1 ASR 劣化構造物から採取したコアの残存膨張測定及び強度試験

ASR 劣化構造物から採取したコアは、ひび割れや骨材の反応状況を観察した後に、残存膨張の測定を行った。残存膨張率の測定方法は、コアの上面、底面の中心に膨張率測定用のステンレスビスをエポキシ樹脂で接着、も

しくはドリルで孔を開けてステンレスビスをセメントペーストで固定し、JIS A1146 モルタルバー法と同様にダイヤルゲージを用いて測定した。コアの長さは原則 20cm としたが、採取状況によっては 20cm 以下のものもあり、状況に応じて適宜、測定器と基長を作製して測定を行った。膨張率測定の前に、乾燥収縮している場合もあることから、測定ビス装着後、20℃の水に 6 時間程度浸漬して乾燥収縮が無いことを確認してから、20℃湿潤で膨張測定を行った。その後、膨張率が平衡状態になったら 40℃湿潤貯蔵に移した。一部のコアは ASTM C1260 の貯蔵方法である 80℃の NaOH1mol/l 溶液にも浸漬した。

コアの強度試験では、圧縮強度の測定時に歪みゲージを縦方向と横方向に貼り付けてヤング係数とポアソン比も測定した。

2.2 モルタル及びコンクリート供試体の膨張率測定

ASR 劣化構造物に用いられていた反応性骨材と同じ岩種の骨材を用いてモルタル及びコンクリート供試体を作製して膨張率測定を行った。使用骨材を表-1 に示す。チャート Yo は岐阜県養老郡の中・古生層の岩盤から採取した砕石であり、反応性が非常に高く ASR 実験用のサンプルとして用いた。チャート Se は山砂利であり、愛知県東部の丘陵地の洪積世の地層に堆積しているもので、チャートの他に砂岩、粘板岩等を含んでいる。この山砂利の起源はチャート Yo と同様の中・古生層の地

表-1 モルタル及びコンクリート供試体作製に用いた骨材

骨材	産地	化学法の結果 (mmol/l)			
		Sc	Rc	Sc/Rc	判定
チャートYo	岐阜県	344	145	2.37	無害でない
チャートSe	愛知県	313	178	1.76	無害でない
珪質粘板岩	岐阜県	209	65	3.22	無害でない
川砂	愛知県	60	153	0.39	無害

*1 愛知工業大学 工学部都市環境学科土木工学専攻講師 工修 (正会員)

*2 愛知工業大学 工学部都市環境学科土木工学専攻教授 理博 (正会員)

表-2 チャート及び珪質粘板岩を用いたコンクリート供試体の配合

コンクリート供試体に使用した細・粗骨材		粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単用量 (kg/m ³)				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
粗骨材	細骨材								
チャート及び珪質粘板岩	川砂	20	51.3	41	154	300	741~761	1025~1137	-

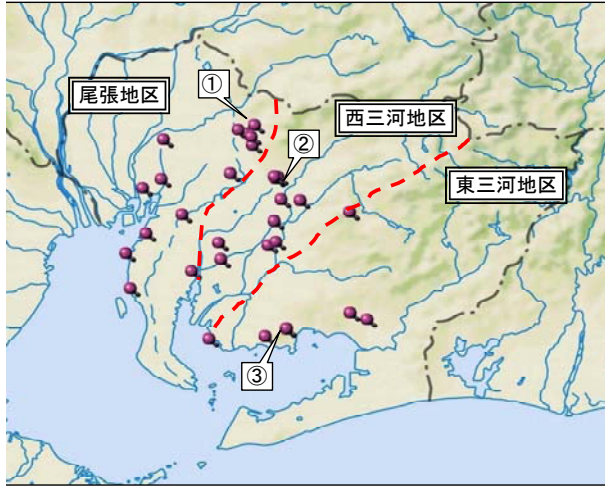


図-1 愛知県内の ASR 劣化構造物の分布

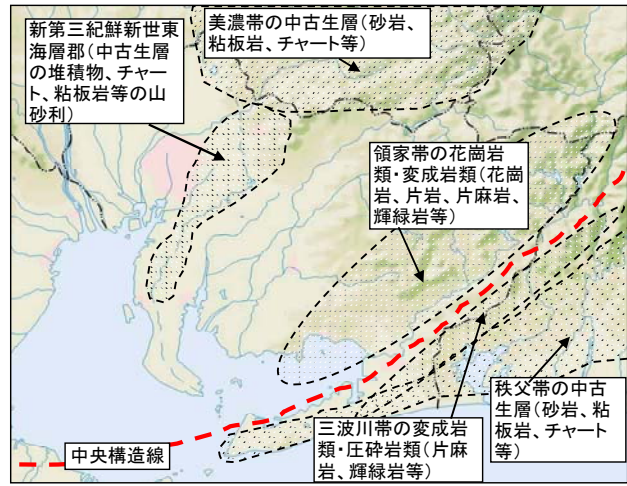


図-2 愛知県の地質概要と骨材岩種

層である。珪質粘板岩は愛知～岐阜県境の中・古生層の岩盤から採取した砕石であり、過去にチャート山砂利に混合して用いられていたことが判っているものである。

実験で作製したモルタルバーは JIS A1146 に従い、ペシマムを検討するために無害の川砂を質量比で 20, 40, 60, 80, 100% 混入した。コンクリートは細骨材に無害の川砂を、粗骨材に反応性骨材を用いて供試体を作製した。粗骨材はチャート Yo, Se 及び珪質粘板岩を単独で使用する他に、チャート Yo, Se に珪質粘板岩を質量比で 50% 混合した供試体も作製した。コンクリートのアルカリは全アルカリ量を 3kg/m³ と 9kg/m³ になるように NaOH 試薬を添加して調整した。貯蔵は 40℃ 湿潤で行った。表-2 にコンクリートの配合を示す。

3. 結果及び考察

3.1 愛知県の ASR 劣化構造物の分布と地質概要

愛知県内の ASR 劣化構造物の分布を図-1 に示す。図中の構造物は、ASR の劣化調査のためにコアを採取したものや、目視観察によって ASR による劣化の可能性が高いものである。地域毎に確認した劣化構造物の数は尾張地域 (名古屋周辺・知多半島) が 15 カ所、西三河地域が 11 カ所、東三河地域が 6 カ所であった。劣化構造物がプロットしていない尾張地域の西部、西三河の北東部、東三河の東部は、今後さらに調査を進めていく予定である。

愛知県の地質概要と骨材岩種を図-2 に示す。愛知県の東部には新第三系鮮新世に堆積した東海層群が分布している。この地層には美濃帯の中・古生層を起源としたチャート、砂岩、粘板岩等が山砂利として堆積したものであり、瀬戸市や豊田市東部ではコンクリート用骨材として採取されている。同時に採取される砂は基盤岩の花崗岩が風化・堆積した物で、珪砂やコンクリート用細骨材として使用されている。この珪砂は、以前は良質な石英・長石からなっており、アルカリシリカ反応性は「無害」であったが、近年はチャートが混入する場合があります。「無害でない」に判定されることもある。東三河地域には中央構造線を境に、北側に領家帯の花崗岩類・変成岩類が、南側に三波川帯の変成岩類・圧砕岩類と秩父帯の中・古生層が分布している。岩種はチャート、砂岩、粘板岩、輝緑岩、片麻岩等であり、砕石としてコンクリート用骨材に使用されている。

愛知県中央の西三河地区の矢作川や東三河の豊川では 1970 年頃まで川砂・砂利が採取されており、その岩種は河川上流の堆積物や地質に起因していることから、チャート、砂岩、粘板岩、花崗岩などが主であり、構造物に使用されている場合もある。

3.2 ASR 劣化構造物に使用されていた反応性骨材の特徴

ASR 劣化構造物から採取したコアの骨材岩種の調査結果を表-3 に示す。調査では骨材岩種とその構成比率を調べ、さらに目視観察、実体顕微鏡観察、薄片による

表-3 コアを採取した愛知県内の ASR 劣化構造物

地域	No.	構造物	施工年	調査年	骨材の種類	骨材岩種および構成比率の概略(%)	反応していた骨材岩種	構造物のひび割れ幅	図1の位置
尾張	O-1	橋台	1922	1985	砂利	チャート:74 砂岩:17 珪質粘板岩:9	チャート	約10mm	—
	O-2	橋脚	1958	2003	砂利	珪質粘板岩及び頁岩:75 チャート:25	チャート 珪質粘板岩	約5mm	—
	O-3	橋脚 フーチング	1970	2002	碎石	チャート:67 珪質粘板岩:33	チャート 珪質粘板岩	約20mm	①
	O-4	歩車道境界 ブロック	1971	1984	砂利	チャート:71 砂岩:17 珪質粘板岩:12	チャート	約5mm	—
	O-5	ボックス	—	2004	砂利	チャート:90 珪質粘板岩:10	チャート 珪質粘板岩	約5mm	—
	O-6	橋脚	1969	2005	砂利	チャート:40 砂岩:50 珪質粘板岩:10	チャート 珪質粘板岩	約2mm	—
	O-7	擁壁	1974	2005	砂利	チャート:90 砂岩:10 一部珪質粘板岩、黒雲母花崗片麻岩	チャート 珪質粘板岩	約2mm	—
	O-8	橋脚	1980	2005	砂利・碎石	チャート:40 砂岩:50 珪質粘板岩:10 一部橄欖岩	チャート 珪質粘板岩	約2mm	—
西三河	N-1	橋脚	1968	2003	砂利・碎石	チャート:57 珪質粘板岩:27 砂岩:10 花崗岩:6	チャート	約5mm	—
	N-2	橋脚拡幅部	1969	1985	砂利	チャート:95 砂岩:4 珪質粘板岩:1	チャート	約10mm	—
	N-3	橋脚	1973	2006	砂利(一部碎石)	チャート:80 珪質粘板岩:20 一部両雲母花崗片麻岩	チャート	約10mm	②
	N-4	擁壁	1979	1998	砂利・碎石	チャート:44 砂岩:20 片麻岩:36	チャート	約3mm	—
	N-5	橋台	—	2004	砂利	チャート:90 珪質粘板岩:10	チャート 珪質粘板岩	約5mm	—
	N-6	橋脚・橋台	—	2004	砂利	チャート:80 珪質粘板岩:20	チャート 珪質粘板岩	約5mm	—
東三河	H-1	橋台	1979	2007	砂利	輝緑岩:80 珪質粘板岩:20 極少量のチャートを含む	珪質粘板岩	約5mm	—
	H-2	橋台・横桁	—	2004	碎石・砂利	輝緑岩:80 珪質粘板岩:20 極少量のチャートを含む	珪質粘板岩	約5mm	③
	H-3	ボックス	—	2004	碎石・砂利	輝緑岩:80 珪質粘板岩:20 極少量のチャートを含む	珪質粘板岩	約5mm	—

偏光顕微鏡観察を行い、反応に関与していた骨材を特定した。

劣化構造物に使用されていた骨材岩種は、尾張地域はチャートと粘板岩、西三河地域はチャート、粘板岩、砂岩および片麻岩、東三河地域は輝緑岩、粘板岩、チャートであった。このうち ASR を起こしていた岩種は主としてチャートと粘板岩であり、地域による違いはみられなかったことから愛知県の反応性骨材の特徴といえる。1990 年頃までの愛知県の ASR 反応事例はチャートによるものが多かったが、調査を進めることによって粘板岩の反応事例も明らかになった⁵⁾。さらに、東三河地域では片麻岩による劣化事例も報告されている⁶⁾。これらのことから反応性骨材に注目した岩石学的調査は重要である。

調査時に判明した骨材使用の特徴としては、表-3の

No.O-3 構造物は施工当時の骨材不足のために愛知～岐阜県境で生産された珪質粘板岩碎石をチャート山砂利に混合していたことが判った。この構造物のひび割れ状況を写真-1に、コア破断面の反応状況を写真-2に、偏光顕微鏡を写真-3に示す。また、西三河に位置する No.N-3 構造物は東三河の無害の両雲母花崗片麻岩の碎石をチャート山砂利に混入していたことが判った。これらから、施工時の骨材生産事情が使用骨材に影響を与えていることがわかる。さらに東三河地域の特徴は No.H-2 構造物のように無害の輝緑岩に珪質粘板岩が混入していることが特徴といえる。

3.3 ASR 劣化構造物から採取したコアの残存膨張の特徴

チャートの ASR によって劣化した構造物の No.N-2 のコアの膨張挙動を図-3に、粘板岩とチャートの反応による No.O-3 の膨張挙動を図-4に、粘板岩の反応に

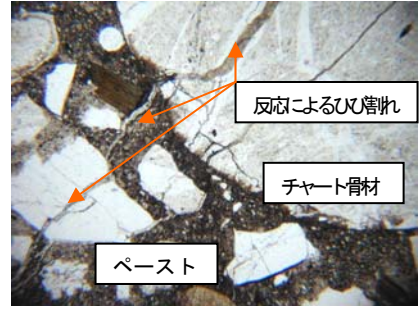
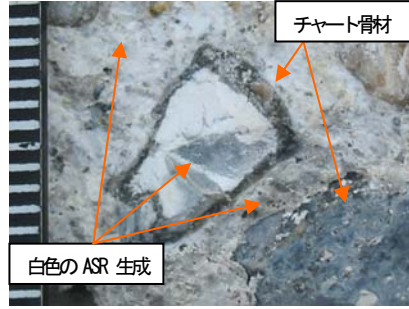


写真-1 No.0-3の劣化状況

写真-2 No.0-3のコアの破断面

写真-3 No.0-3の偏光顕微鏡写真

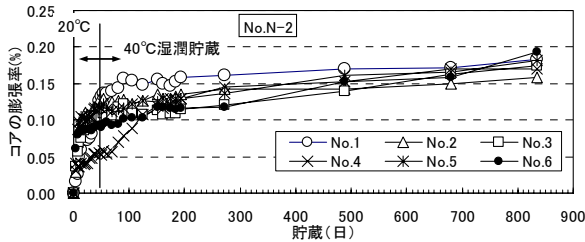


図-3 No. N-2のコアの膨張挙動

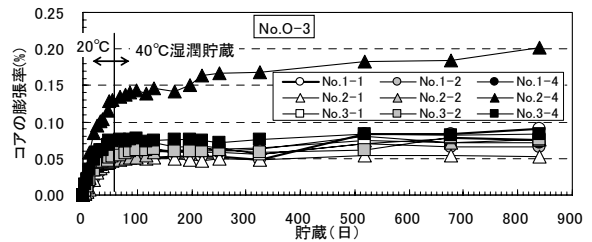


図-4 No.0-3のコアの膨張挙動

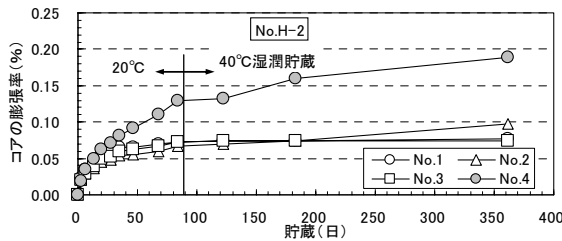


図-5 No. H-2のコアの膨張挙動

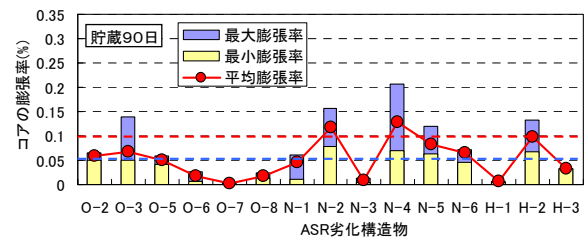


図-6 貯蔵90日のコアの膨張率

よる No.H-2 の膨張挙動を図-5 示す⁷⁾。No.N-2 は測定開始直後から急激に膨張し、40°C 貯蔵に変更したのちの 850 日においても膨張が継続している。No.O-3 も測定直後から膨張しており、9 本のコアの内、1 本は貯蔵 840 日で膨張率 0.2% であり、他は 0.05~0.09% であった。また、No.H-2 は粘板岩の反応であるが、膨張率は貯蔵 360 日で 0.07~0.19% であった。各構造物のコアの、貯蔵 90 日と 180 日における残存膨張率を図-6 と図-7 に示す。残存膨張は、試験開始後 90 日でほとんどが 0.05% 以上膨張しており、さらに 180 日まで測定を継続してもその傾向は変わらなかったことから、測定 3 ヶ月で残存反応性の有無が判定できると思われる。

No.O-6, No.O-7, No.O-8 を 80°C NaOH 1mol/l 溶液浸漬貯蔵 (ASTM C1206 による貯蔵方法) と、20~40°C 湿潤貯蔵の膨張挙動を図-8 に示す。湿潤貯蔵では膨張しないが、ASTM による方法では No.O-6 と No.O-8 は膨張し、No.O-7 は膨張していない。チャートが 90% を占める No.O-7 は、高温のアルカリによって骨材自体の溶解や、反応生成物の $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ の比率の変化によって剛性の低い生成物になったためと考えられる。また、砂岩を 50% 含む No.O-6 と No.O-8 は砂岩中の無害な石

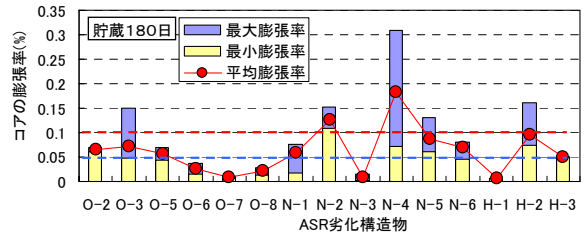


図-7 貯蔵180日のコアの膨張率

英が過剰に反応して剛性の高い生成物ができたと思われる。同様の現象はモルタルバーによる既往の実験でも確認されており^{7,8)}、今後、生成物の化学組成の違いを詳細に調べる必要がある。また、ASTM C1260 の貯蔵方法をコアに適用するには使用骨材の岩種を事前に検討する必要がある。

3.4 ASR 劣化構造物から採取したコアの強度性状

ASR 劣化構造物から採取したコアの圧縮強度とヤング係数の関係を図-9 に示す。コンクリート標準示方書の圧縮強度とヤング係数の関係に対して、コアのヤング係数は 1/2 程度まで低下しており、ASR の劣化の特徴を示している。この中で、No.O-2 は主に珪質粘板岩の反応によるもので、No.N-4 はチャートによるものである

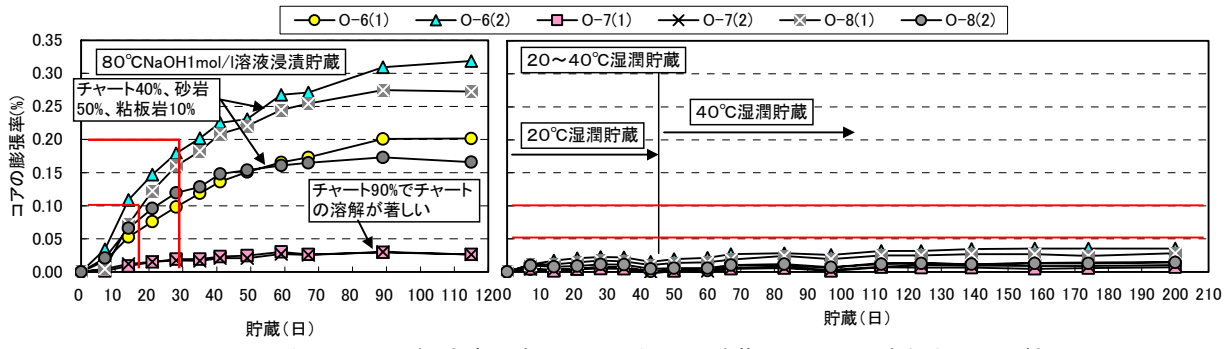


図-8 80°CNaOH1mol/l 溶液浸漬と 20~40°C湿潤貯蔵したコアの残存膨張の比較

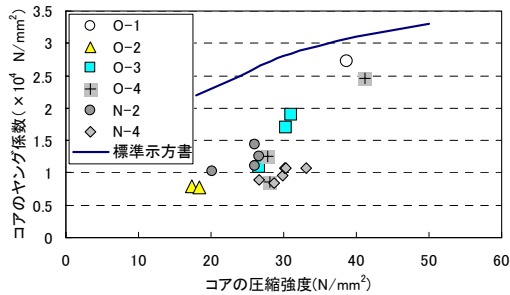


図-9 コアのヤング係数と圧縮強度の関係

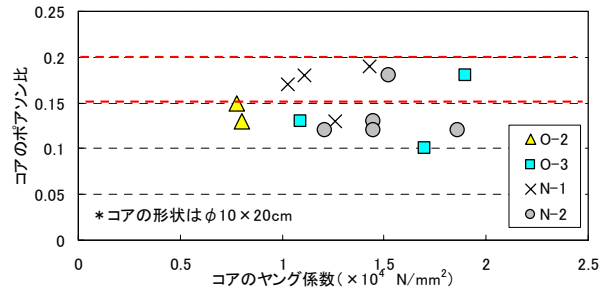


図-10 コアのポアソン比とヤング係数の関係

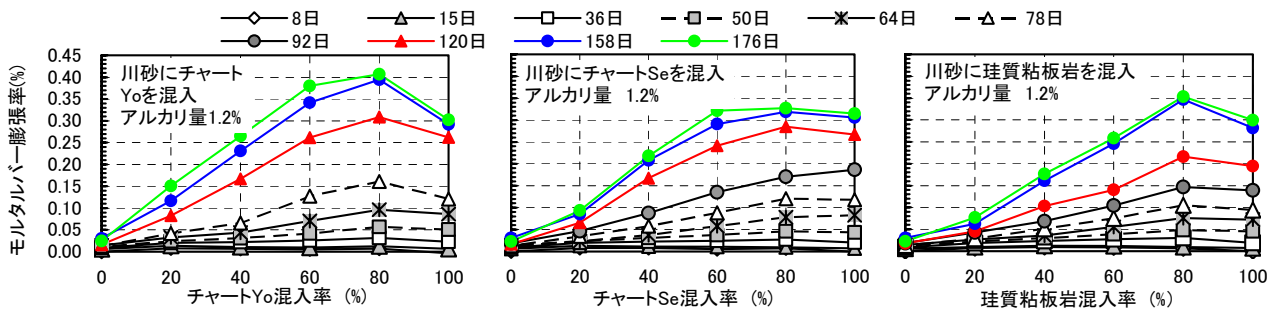


図-11 チャート Yo, Se 及び珪質粘板岩のモルタルバー膨張率

が、圧縮強度に対するヤング係数の低下はチャートのほうが大きいようである。また、ポアソン比とヤング係数の関係は図-10に示すように相互の関係はみられないがポアソン比は 0.10~0.19 であり、一般的な値 (0.14~0.20) と較べて小さいようである。

3.5 チャート及び珪質粘板岩のモルタル及びコンクリートの ASR 膨張性状

無害の川砂にチャート Yo, Se 及び珪質粘板岩を混入したモルタルバーの膨張率を図-11に示す。貯蔵 176 日ではチャート Yo は混入率 60~80%にペシマムがあり、Se は 60~100%, 珪質粘板岩は 80%であった。いずれも膨張率が 0.32~0.4%であり反応性が高い。さらに珪質粘板岩にチャート Yo と Se を混入したモルタルバーの各材齢の膨張率(図-12)は、貯蔵 176 日では、チャート Yo は珪質粘板岩混入率 40%, チャート Se では珪質粘板岩混入率 40~80%で最大膨張を示しており、チャートと珪質粘板岩を混合使用すると、それぞれを単体で使用し

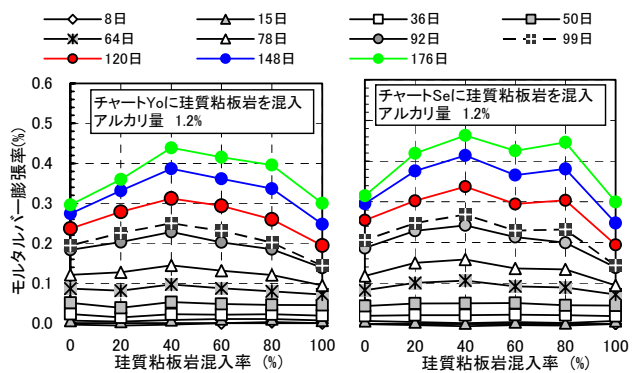


図-12 チャート Yo 及び Se に珪質粘板岩を混入したモルタルバーの膨張率

た場合と較べて膨張率が高くなっている。

コンクリート供試体の膨張挙動を図-13, 図-14に示す。アルカリ量 3kg/m³ (図-13) では貯蔵 414 日において膨張率 0.01~0.015%であり、ほとんど膨張していないが、アルカリ量 9kg/m³ (図-14) ではチャート

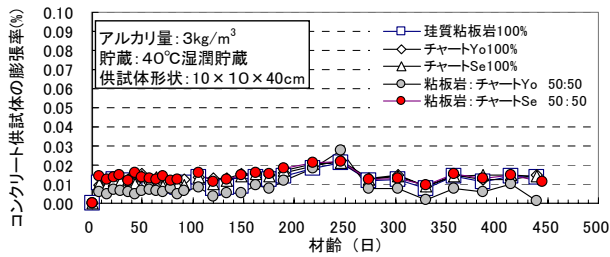


図-1-3 チャート Yo, Se 及び珪質粘板岩のアルカリ量 3kg/m³ のコンクリート膨張挙動

Yo と Se は貯蔵 441 日で膨張率 0.13~0.14%であった。それぞれに珪質粘板岩を質量比で 50%混入した場合は膨張率 0.25%となり、チャートと珪質粘板岩を混合すると膨張率が高く、モルタルバーと同様の結果となった。さらに、珪質粘板岩の単体使用では膨張率 0.67%であり、高アルカリ状態では珪質粘板岩は非常に反応性が高いが、細骨材に無害の川砂を用いていることも原因なのかもしれない。これらから、チャートと珪質粘板岩を混合使用することによって ASR が助長されることがわかり、実構造物においても同様の現象が起きていると考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- (1)愛知県の ASR 劣化構造物は県全域に分布しており、反応性骨材は堆積岩のチャートと珪質粘板岩であり、チャートや珪質粘板岩の単体の場合や、チャートと珪質粘板岩が混合している場合があった。
- (2)ASR 劣化構造物から採取したコアの残存膨張は、施工後 30 年を経過していても膨張を示すものがあり、反応が長期間継続している。
- (3)コアの残存膨張は、試験開始後 90 日でほとんどが 0.05%以上膨張しており、さらに 180 日まで測定を継続してもその傾向は変わらなかったことから、測定 3 ヶ月で残存反応性の有無が判定できると思われる。
- (4)ASTM C1260 の貯蔵方法である 80℃の NaOH1mol/l 溶液に貯蔵して残存膨張を測定する場合は、チャートの溶解や無害の岩石鉱物が過剰に反応することから注意が必要である。
- (5)チャートと珪質粘板岩を混合使用するとチャート単体使用より膨張率が高くなる現象が確認され、ASR による劣化が著しい構造物の骨材構成と同様であった。

謝辞

本研究は、矢作建設工業㈱の服部啓二氏、野村敬之氏、桐山和也氏、渡辺義規氏に協力いただいた。また平成 18

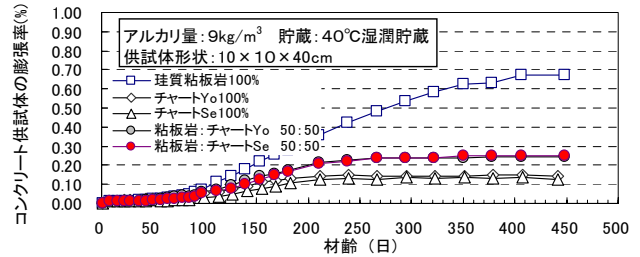


図-1-4 チャート Yo, Se 及び珪質粘板岩のアルカリ量 9kg/m³ のコンクリート膨張挙動

年度卒業生の香村裕右君、小島考貴君、篠田吉弘君にはデータ整理に協力いただいた。本研究の一部は平成 19 年度科学研究費補助金（課題番号 19560466）によった。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 建設省：総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発 報告書 第一編, pp.459-505, 1989
- 2) 鳥居和之, 野村昌弘, 本田貴子：北陸地方の反応性骨材の岩石学的特徴と骨材のアルカリシリカ反応性試験の適合性, 土木学会論文集, No.767, pp.185-197, 2004
- 3) 大代武志, 平野貴宣, 鳥居和之：富山県の反応性骨材と ASR劣化構造物の特徴, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.1251-1256, 2007.7
- 4) 山戸博晃, 南善導, 大代武志, 鳥居和之：石川県産骨材のアルカリシリカ反応性の評価に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.1257-1262, 2007.7
- 5) 森野奎二, 柴田国久, 岩月栄治：チャート質岩のアルカリ骨材反応性, 粘土科学, 第 27 巻, 第 4 号, pp.199-210,1987
- 6) Tetsuya,K. Yoshinori,S. Yoshimi, H. Akihiko,H. : Late-Expnsive Alkali-Silica Reaction in The OHNYU and FURIKUSA Headwork Stractuers, Central Japan, Proceeding of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, pp.1086-1994, Sept.2004
- 7) 岩月栄治,森野奎二：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, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.957-962, 2004.6
- 8) 岩月栄治, 森野奎二：ASTM C1260及びJIS A5308による ASRモルタルバーの膨張挙動と微細構造, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.687-692, 2002.6