

論文

[1127] 頁岩を含む砕石の品質変化とコンクリートの性質への影響

正会員 ○河野 清 (徳島大学工学部)

正会員 堀井克章 (阿南工業高等専門学校)

村上信夫 (運輸省第三港湾建設局)

1. まえがき

四国地方では、高速道路の建設工事が本格化し、耐久性を必要とする多量のコンクリートが継続して使用されている。骨材は、コンクリート容積の約70%を占め、その良否はコンクリートの品質に影響を与え、近年、低品質骨材によるコンクリートの低品質化が指摘され¹⁾、その対応がなされて来た。四国地区においても、昭和40年代の後半から海砂や砕石が盛んに使用されるようになり、塩分問題、反応性骨材を主に対策がとられて来た。最近では、東予から中予にかけての縦貫道の工事では、採石地山の多くが和泉層群の砂岩・頁岩互層よりなるために、風化しやすい頁岩砕石が混入する可能性があり、その影響を調査しておく必要がある。

したがって、本研究では、まず最初に、四国の愛媛地区で産出される頁岩を含む砕石(頁岩質砕石と記す)の乾湿繰返しによる粒度、破砕値、軟石量その他の品質変化について調査したのちこの風化性の頁岩質砕石中の軟石量の混入率を2種に変えて、砕石コンクリートの圧縮強度、引張強度、動弾性係数、乾燥収縮、水密性、塩分浸透性、乾湿繰返しによる品質変化など諸性質に及ぼす影響について、頁岩のきわめて少ない良品質の砂岩質砕石と比較して調査に行った。

2. 頁岩を含む砕石の乾湿繰返しによる品質変化

2.1 使用砕石

愛媛県温泉郡重信町の砕石工場の原石山において、頁岩層から採取した頁岩質砕石(軟石量40%を目標)と、砕石層から採取して軟石量0%を目標とした砂岩質砕石とを用いた。入手した砕石について、物理試験を行った結果を表-1に示す。

表-1 使用した砕石の物理試験結果

砕石の種類	比重	吸水率 (%)	粗粒率 (F.M.)	40 t 破砕値 (%)	軟石量 (%)	すりへり減量 (%)	安定性損失重量百分率 (%)
頁岩質砕石 40 *	2.62	2.06	6.71	12.5	36.2	13.5	12.5
砂岩質砕石 00 *	2.64	1.07	6.64	8.2	1.7	11.6	1.8

* 目標にした砕石中の軟石量を示す

砕石工場で生産された20~5mmの砕石を、10mmフルイでふるい分けて、20~10mmのものを使用した。

2.2 乾湿繰返し方法と砕石の品質試験

頁岩質砕石は、軟石量試験を行うと表-1にみられるように軟石量が多くなっており、風化しやすくなると考えられるので、乾湿繰返しによる品質変化を最初に調査した。

乾湿繰返しの方法は、砕石を大型乾燥器に入れ80±3℃の熱風下で8時間乾燥のち、20±2℃の水そうに16時間浸漬してこれを1サイクルとし、56サイクル継続した。

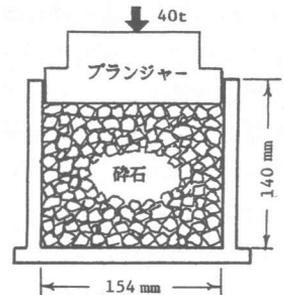


図-1 40 t 破砕値の試験

碎石の品質試験としては、試験開始時(0)、7、21、42および56サイクルにおいて粗骨材のふるい分け試験(JIS A 1102)、図-1に示す40t破砕値試験(BS規格)、比重および吸水率試験(JIS A 1110)およびひっかき硬さによる軟石量試験(JIS A 1126)を行った。

2.3 碎石品質試験結果とその考察

表-1に示した20~5mmの頁岩碎石の品質をコンクリート用碎石(JIS A 5005)の品質規定に照合すると、頁岩碎石は安定性の値が12.5%とJIS規格値12%を上廻っており、不合格となっているが、比重および吸水率、すりへり減量などは規格値を満足している。一方、土木学会の舗装・ダム編では、軟かい石片が5%以下という規定があり、頁岩碎石は表-1にみられるようにきわめて多くの軟石量を含んでいるので、これが大きな問題点となる。

頁岩碎石は、軟石量試験で軟石に属するものがほとんどであり、乾湿繰返しを受けると風化しやすいといわれているので²⁾、頁岩質碎石と良品質の砂岩質碎石について粗骨材自体の乾湿繰返しの促進試験を行い、粗粒率、40t破砕値、軟石量および比重・吸水率を調査し図-2に示した。

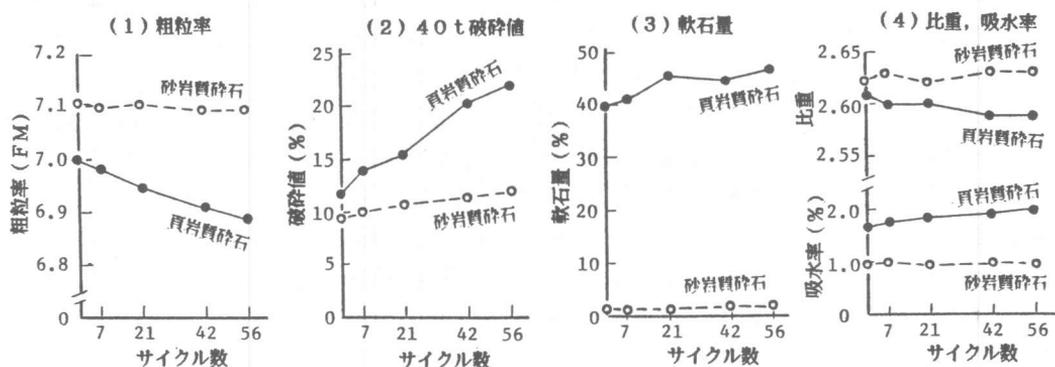


図-2 頁岩碎石と砂岩碎石の乾湿繰返し試験結果

図-2(1)の粗粒率の試験結果にみられるように、砂岩質碎石では粗粒率の変化がほとんどないのに対して頁岩質碎石は乾湿繰返しによって明らかに粗粒率が低下している。これは、乾湿繰返しを受けると風化作用によって砕粒化が進む傾向にあることを示すものといえる。40t破砕値については、図-2(2)のように頁岩質碎石は砂岩質碎石に比べて増加率が大きく、乾湿繰返しによって碎石が破砕しやすくなることを示している。爾見ら³⁾は、骨材中に軟石が存在する破壊値が大となり、それがコンクリート強度にも影響すると述べている。軟石量については、砂岩質碎石は量がきわめて少なく変化もみられないが、頁岩質碎石は若干増加傾向があり(図-2(3)参照)、乾湿繰返しによって表面の劣化が徐々に進行するためと思われる。比重および吸水率については、良品質の砂岩質碎石は横ばい状態にあるのに比べ、頁岩質碎石は、比重がわずかに低下し、吸水率は増加する傾向が図-2(4)にみられている。

結局、軟骨量を含む頁岩質碎石は、乾湿繰返しによって品質低下を生じることを示しており、自然暴露条件下で長期間放置され、乾湿繰返しや温度変化を受ける構造物に使用する場合には、頁岩質碎石中の軟石量を規制する必要があることを示している。

3. 頁岩を含む碎石を使用したコンクリートの性質

3.1 使用材料とコンクリートの配合

コンクリート試験に使用したセメント、粗・細骨材、混和剤などの材料を表-2に示す。碎石は、頁岩質碎石、砂岩質碎石とこれらを1:1の割合に混ぜた混合碎石の計3種を使用した。

表-2 コンクリートの使用材料

分類	名称	諸元
セメント	普通ポルト	比重3.15, プレーン比表面積3110cm ² /g, 28日圧縮強さ41.1MPa
細骨材	川砂	比重2.61, 吸水率1.45%, 粗粒率2.53
粗骨材 (20~5mm)	頁岩質碎石40	表1参照
	混合碎石20	比重2.63, 吸水率1.66%, 40t破砕値10.8, 安定性8.2%, 軟石量22.4%
	砂岩質碎石00	表1参照
混和剤	標準型減水剤	比重1.25 液状 リグニンスルホン酸化合物ポリオール複合体
	A E 剤	比重1.05 液状 ポリオキシエチレンエチルアルルエテル化合物

コンクリートの配合は、最大寸法20mm、目標スランプ12cm、目標空気量4%で水セメント比を40、50および60%の3種類に変えたものを用いた。示方配合表を表-3に示す。

表-3 コンクリートの示方配合

配合の種類	最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位水量 (kg/m ³)				減水剤 (ml/m ³)	A E 剤 (ml/m ³)
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G		
Mix×I	20	12±1	4±0.5	40	43	175	438	723	360	1260	42
II	20	12±1	4±0.5	50	45	173	347	793	364	1000	33
III	20	12±1	4±0.5	60	47	184	307	830	354	880	28

3.2 コンクリートの練りませ、供試体の作製および養生

コンクリートの練りませは、容量50%のパン型強制練りミキサーを用いて、最初に粗骨材、細骨材およびセメントを投入して20秒間練りませ、その後A E 剤と減水剤とを混入した練りませ水を加え、100秒間コンクリートの練りませを行った。練りませ終了後、直ちにスランプ試験および空気室圧方法で空気量試験を行い、フレッシュコンクリートの管理を行った。

コンクリートを所定の型枠に一層に詰め、振動数5000vpm、振幅1.0mmの振動台を用いて30秒間締め固め形成を行った。なお、透水試験用供試体は、φ15×30cmの円柱形型枠を用い、その中央に直径2cmの鋼棒をセットしてコンクリートを打込み作製した。なお、硬化コンクリートの試験項目、供試体の形状・寸法、打込み、養生方法などを表-4に示す。

表-4 コンクリートの試験項目、供試体の形状・寸法および養生方法

試験項目	供試体の形状・寸法	養生方法
動弾性係数 (JIS A 1127)	φ10×20cm円柱	標準養生 (20±2℃水中)
圧縮強度 (JIS A 1008)	φ10×20cm円柱	標準養生
引張強度 (JIS A 1113)	φ10×20cm円柱	標準養生
乾燥収縮 (JIS A 1129)	□10×10×40cmはり	標準養生, 材令7日後乾燥養生
水密性 (外圧法)	φ15×30cm中空円柱	標準養生
塩分浸透性 (促進法)	φ10×20cm円柱	海水養生, 材令7日後乾湿繰返し①
乾湿繰返し (動弾性係数)	□10×10×40cmはり	標準養生, 材令7日後乾湿繰返し②

注) ①80℃乾燥1日, 20℃人工海水浸漬1日を1サイクルとした。
②80℃乾燥8時間, 20℃水槽16時間浸漬を1サイクルとした。

3.3 硬化コンクリートの試験

(1) 動弾性係数の測定、圧縮強度試験は材令7日と28日、引張強度試験は材令28日で行った。

(2) 乾燥収縮による長さの変化の測定は、 $10 \times 10 \times 40$ cmはり上面に乳白ガラスをはりつけて温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $65 \sim 75\%$ の恒温室内で気中養生し、コンパレータ法で行った。

(3) 透水試験は、材令28日まで標準養生した供試体を外圧式透水試験に同時に3個取り付け、 30MPa の水圧をかけて透水量を求め、透水係数を算出した。

(4) 塩分浸透深さは、脱型後人工海水に入れ恒温室内で7日間養生し、以後14サイクルの乾湿繰返しを行ったのち、円柱供試体を切断し、試薬を散布して平均透水深さを求めた。

(5) コンクリートの乾湿繰返しによる劣下試験は、米国開拓局の方法⁴⁾を参考にして条件を定め、1日1サイクルで42サイクルの乾湿繰返しを行い、動弾性係数を求め、品質変動を調査した。

なお、各試験とも供試体は原則として3個を使用し、その平均値を測定値とした。

3. 4 実験結果の検討と考察

(1) 動弾性係数、圧縮強度および引張強度

圧縮強度試験の前に測定した動弾性係数の値を示した図-3(1)にみられるように、頁岩質砕石を用いると動弾性係数は明らかに低下しており、その値は材令28日で $9 \sim 12\%$ であり、水セメント比の小さい高強度コンクリートほど顕著になっており、(財)高速道路技術センターの報告書²⁾でも指摘されている。

材令7日および28日の圧縮強度試験結果を示した図-3(2)にみられるように同一セメント水比の配合では、頁岩質砕石のコンクリートは強度は低下し、その割合は $4 \sim 5\%$ であり、動弾性係数に比べると小さい。鈴木ら⁵⁾は、河川産の砂岩質軟石では 30% 混入しても強度に影響しなかったと報告しているが、頁岩質軟石では影響が現れている。引張強度については図-3(3)のように、その影響が圧縮強度よりやや顕著である。

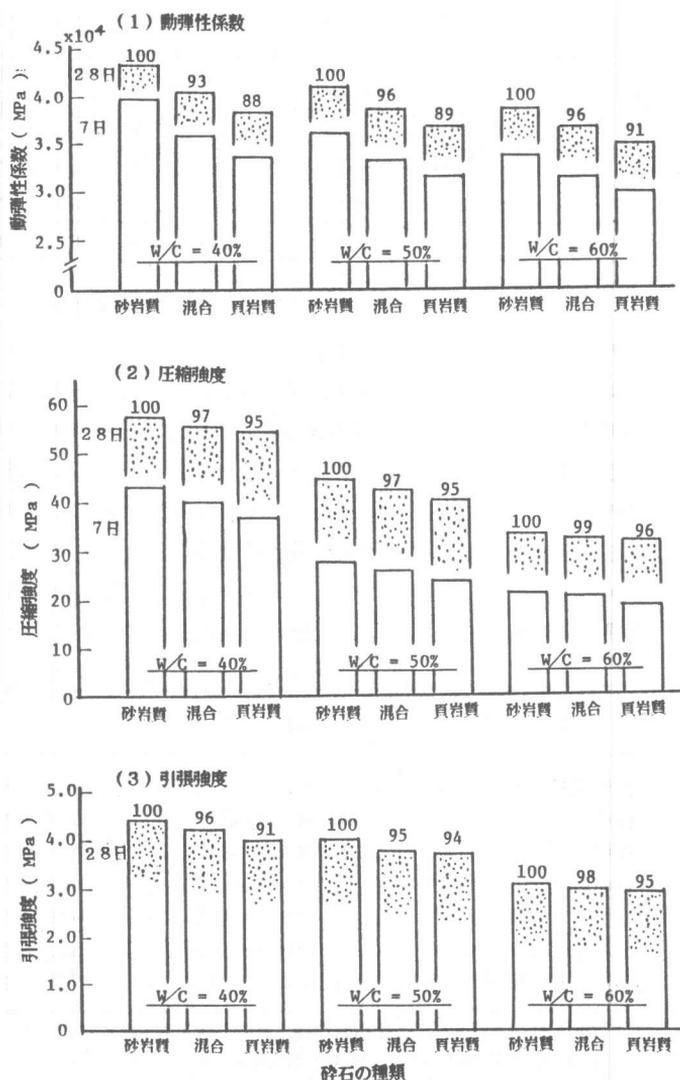


図-3 砕石の種類がコンクリートの動弾性係数、圧縮強度および引張強度に及ぼす影響

(2) セメント水比と圧縮強度および引張強度との関係

水セメント比40、50および60%の3種のコンクリートの強度試験を行ったので、セメント水比と圧縮強度および引張強度との関係をそれぞれ図-4(1)および(2)に示し、式を記入した。圧縮強度、引張強度とも水セメントによる強度増加率が頁岩質砕石では砂岩質砕石に比べ低くなっている。特に、高強度になると直線がねる傾向がみられるので注意を要する。河野ら⁶⁾は比重、吸水率がJIS規格に不合格の低品質骨材を用いた場合、セメント水比が2.5から直線の勾配が変わることを示している。

頁岩質砕石では砂岩質砕石に比べ低くなっている。特に、高強度になると直線がねる傾向がみられるので注意を要する。河野ら⁶⁾は比重、吸水率がJIS規格に不合格の低品質骨材を用いた場合、セメント水比が2.5から直線の勾配が変わることを示している。

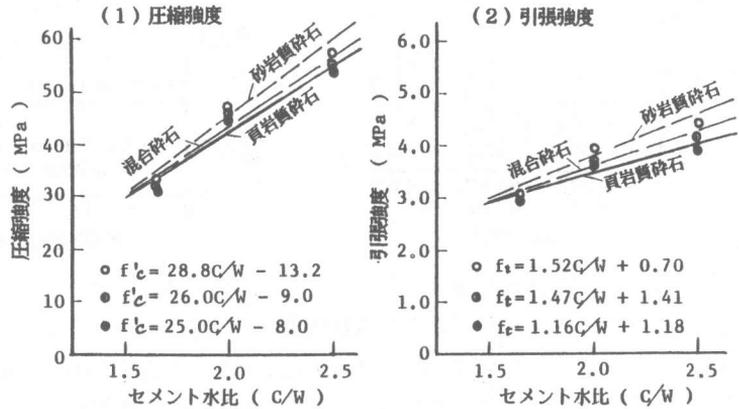


図-4 セメント水比と圧縮強度および引張強度との関係

(3) コンクリート乾燥収縮

3種の砕石を用い、標準配合の水セメント比50%のコンクリートについて乾燥収縮を測定した結果を示した図-5にみられるように、頁岩質砕石を用いたものは、砂岩質砕石を用いたものに比べて明らかに乾燥収縮が大きく、約1.4倍増加している。低品質砕石をきびしい乾燥を受けるコンクリート構造部材に使用するとひびわれ発生のおそれがあることを示している。

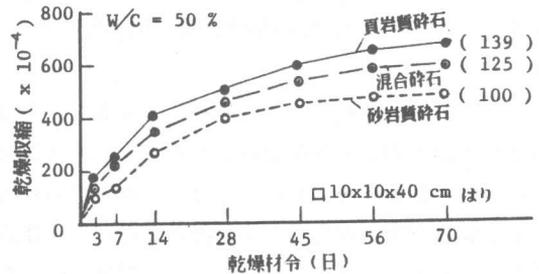


図-5 コンクリートの乾燥収縮測定結果

(4) コンクリートの水密性

頁岩質砕石と砂岩質砕石とを用いたコンクリートの透水試験結果を比較して図-6に示す。風化性の頁岩質砕石を用いたコンクリートでは、水セメント比が60%と大きくなると透水係数が大となり、水密性は劣るが、水セメント比を50%にすると透水せず、きわめて良好な結果が得られている。やむを得ず、水セメント比を大きくしなければならない場合には、水密性向上に有効な混和材料である良品質のフライアッシュ、シリカフェーム、高性能減水剤などの使用が望まれる。

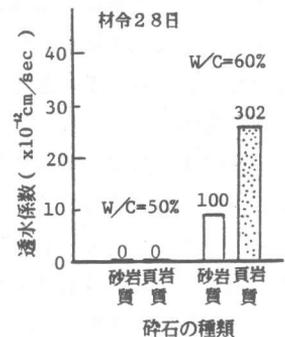


図-6 透水係数試験結果

(5) コンクリート塩分浸透性

図-7に、試験のサイクル数は少ないが、促進試験によってコンクリート中への塩分浸透深さを測定した結果を示す。この図にみられるように、3種の水セメント比のコンクリートとも砂岩質砕石を用いたものに比べて頁岩質のものが塩分浸透深さは大となっている。また、水セメント比の小さい高品質コンクリートにすると、明らかに透水深さは

小となっており、水セメント比60%から40%になると、浸透深さの値は半減している。

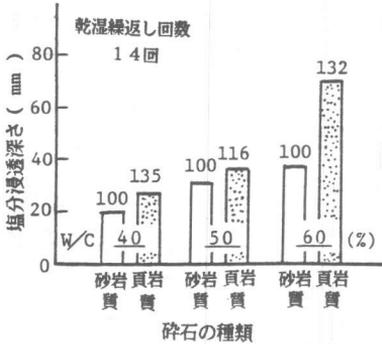


図-7 塩分浸透性試験結果

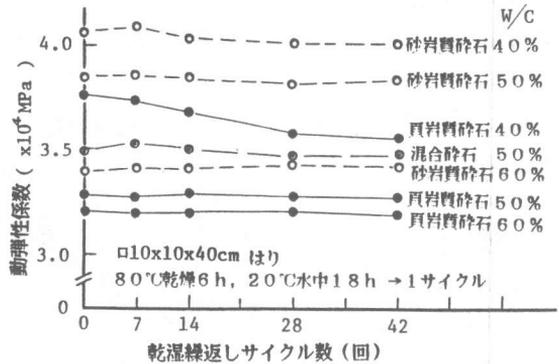


図-8 コンクリートの乾湿繰返し試験結果

(6) コンクリートの乾湿繰返し試験結果について

コンクリートの自然乾燥下における劣化を判定する方法として、米国の開発局で乾湿繰返し試験方法が提案されており、これを参考にして乾湿繰返し試験を行い、動弾性係数を測定して品質変動を調査した結果を図-8に示す。水セメント比40%の頁岩質砕石のコンクリートでやや低下の傾向がみられるものの、42サイクルまでの結果では、変化がほとんどみられておらず、さらに長期の測定が必要と思われる。なお(財)高速道路技術センターの報告書では²⁾、軟石量20%程度の砕石を用いた180日間の試験で動弾性係数への影響はほとんど認められないと述べている。

4. むすび

頁岩は軟石量試験を行うと軟石に属するものがほとんどであり、本研究に用いた頁岩質砕石は高温乾燥器を用いて乾湿繰返しを行うと、風化作用により細粒化してろくなり、破砕値が大きくなり、強度低下を生じる。また、これを用いたコンクリートは、圧縮強度、引張強度、動弾性係数、乾燥収縮、水密性、塩分浸透性などの諸性質が良品の砂岩質砕石を用いたものに比べて劣り、悪影響を受ける。したがって、頁岩質砕石を使用する場合、構造物の重要度によって混入率を規制する必要がある。本研究は試験期間が比較的短いので、さらに長期間にわたっての挙動を調査するとともに、耐凍害性、耐摩耗性などについても今後研究しなければならない。

なお、試料入手について日本道路公団高松建設局ならびに(株)建設材料試験所に御協力いただいたことに対して感謝の意を表す。

[参考文献]

- 1) 渡辺明: 骨材の低品質化への対応, 土木学会誌 Vol. 70, No. 11, 1985, pp. 12~16.
- 2) (財) 高速道路技術センター: 四国高速道路ローコスト化に関する技術的研究-低品質骨材を用いたコンクリートの性質とその対策に関する研究報告書, 1989年3月。
- 3) 爾見軍治, 嶋谷宏文: コンクリート用骨材の破砕強度に及ぼす含水量と軟石の影響について, セメント技術年報, Vol. 21, 1967, pp. 316~320.
- 4) 米国開拓局編・近藤泰夫訳: 土木材料試験便覧, 国民科学社, 1955年9月
- 5) 鈴木登, 坊所勝弥, 堀川貢佑: 砂岩質軟石骨材のコンクリートに及ぼす影響, セメント技術年報, Vol. 21, 1967, pp. 342~345.
- 6) 河野清, 向井恒好: 低品質砕石を用いた硬練りコンクリートの諸性質に関する検討, セメント技術年報, Vol. 38, 1984, pp. 170~173.