

報告 未洗浄砂礫を用いたコンクリートのフレッシュおよび硬化性状

坂田 昇*¹・渡邊 賢三*²・信田 佳延*³・太田 匠*⁴

要旨：未洗浄の河床砂礫を骨材として用いたコンクリートを本設構造物に適用することを目指し、そのコンクリートのフレッシュ性状および硬化性状を実験的に検討した。その結果、未洗浄骨材を用いても十分な強度が得られるコンクリートを製造できること、水セメント比 55%の場合、細骨材の表面水率の設定誤差がある程度生じた場合でも十分な強度が得られ、それをスランプで管理できること等が明らかとなった。

キーワード：未洗浄砂礫, 硬練りコンクリート, コンシステンシー, 硬化性状

1. はじめに

コンクリートダムの施工の合理化, 資源の有効利用, 環境保全およびコスト縮減の観点から, 未洗浄の河床砂礫をそのまま利用する技術が注目されている。具体的には, 未洗浄河床砂利やトンネル掘削ズリ等の現地発生材にセメントを混合し, 堤体の強度や越流抵抗性の増強を狙った CSG(Cemented Sand and Gravel)工法¹⁾が開発され, ダム上流仮締切りに適用される²⁾等, 実績が増えつつある。また, 最近では, 粘土シルト分を多く含む現地掘削材を用いた CSG 工法についても検討が進められている³⁾。しかし, この工法で製造したコンクリートは, 強度が小さく, かつ遮水性および耐久性に乏しいこと, 品質がばらつきやすい, 法面転圧が困難である等の課題があることから, 仮設構造物に用いられているのが実状である。

そこで, 未洗浄砂礫を骨材として用いたコンクリートを本設構造物に適用することを目指し, そのコンクリートのフレッシュ性状および硬化性状を実験的に検討した。

2. 使用材料およびコンクリート配合

2.1 使用材料

使用材料を表-1に示す。使用材料として, 粗骨材には栃木県利根川水系で採取した未洗浄砂礫を用いた。ここで, 未洗浄砂礫は, 0~5mm, 5~40mm, 40~80mmの3つに分級し, 80mm以上の骨材は廃棄した。未洗浄砂礫の細骨材(0~5mm)および粗骨材(5~40mm, 40~80mm)の骨材試験の結果を表-2に示す。表に示すように, 細骨材, 粗骨材ともに骨材中に含まれる粘土塊量が土木学会 RC 示方書の規準を満足しておらず, 細骨材の有機不純物試験においても判定は不合格であった。さらに, 細骨材の吸水率は3.43%, 粗骨材の吸水率は1.85%であり, 規準内であったものの, 高い値であった。その他の試験結果は, 規準と比較して特に問題のない値であった。このような結果となった理由としては, 未洗浄の砂礫は泥分が骨材の表面に多く付着しているためである。細骨材および粗骨材のふるい分け試験結果を図-1および図-2に示す。同一水系にて, 採取場所が異なる6つのサンプルの粒度分布はほぼ同じであり, 細骨材は0.15~0.3mmが少なく, 1.2~2.5mmが多い。また, 粗

*1 鹿島技術研究所 土木技術研究部 材料・施工グループ 主管研究員 工博 (正会員)

*2 鹿島技術研究所 土木技術研究部 材料・施工グループ 研究員 (正会員)

*3 鹿島技術研究所 土木技術研究部 材料・施工グループ グループ長 工修 (正会員)

*4 鹿島建設(株) 建設総事業本部 土木技術本部 工務部技術課 (正会員)

表-2 骨材試験結果

項目	単位	測定値			判定(土木学会規準)		
		S	G _小	G _大	S	G _小	G _大
細・粗骨材の表乾密度試験	kg/L	2.57	2.65	2.65	○	○	○
細・粗骨材の吸水率試験	%	3.43	1.85	1.15	○	○	○
骨材のふるい分け試験	—	図-1, 2を参照			×	△	△
骨材の単位容積質量試験	kg/L	1.67	1.57	1.59	—	—	—
骨材の実積率試験	%	67.4	60.3	60.1	—	—	—
骨材中に含まれる粘土塊量の試験	%	7.63	1.06	0.52	×	×	×
骨材の微粒分量試験	%	1.23	1.01	0.69	○	○	○
細骨材の有機不純物試験	—	不合格	—	—	×	—	—
硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験	%	3.19	20.98	12.18	○	△	△
ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験	%	—	17.0	16.7	—	○	○

○：合格，△：サンプルによって一部不合格，×：不合格，—：該当せず

骨材はほぼ規準値を満足するものである。混和剤については、一般的なAE減水剤（リグニンスルホン酸系）の他に、貧配合においても流動性を改善できる可能性のあるAE減水剤（カルボキシル基含有ポリエーテル系）を用いた。

2.2 コンクリート配合

一般に、規準を満足した品質のよい骨材を用い、適正な配合とすることによって、より合理的にかつ品質の高いコンクリートを製造できる。しかし、資源の有効利用、骨材製造の合理化・低コスト化、濁水処理等による環境に与える影響の低減等の観点から、未洗浄砂礫を用いることはかなりのメリットがある。ただし、未洗浄砂礫を用いることによって、コンクリートの品質が低下することが考えられる。ここでは、一般的なダム内部コンクリート（単位セメント量150kg/m³）と、ダム外部コンクリート（単位セメント量210kg/m³）を想定し、水セメント比および細骨材率を要因として、コンクリート配合を選定し、そのコンクリートのスランプおよび圧縮強度等の品質を試験的に確認した。なお、コンクリートのスランプおよび圧縮強度等の品質を安定させるために、未洗浄砂礫は0~5mm, 5~40mm, 40~80mmの3つに分級したものをを用いた。試験に供したコンクリート配合を表-3に示す。なお、スランプの目安は、0~6cm程度とした。

表-1 使用材料

材料	記号	摘要
セメント	C	高炉セメントB種 密度:3.04g/cm ³ ブレン値:3920cm ² /g
細骨材	S	未洗浄細骨材, 表乾密度:2.57kg/l 吸水率:3.43%, FM 3.65, 利根川産
粗骨材	G _小	未洗浄粗骨材(5~40mm), 表乾密度:2.65kg/l 吸水率:1.85%, FM 7.02, 利根川産
	G _大	未洗浄粗骨材(40~80mm), 表乾密度:2.65kg/l 吸水率:1.15%, FM 8.55, 利根川産
混和剤	AE減水剤	リグニンスルホン酸 カルボキシル基含有ポリエーテル系
	AE助剤	天然樹脂酸塩系

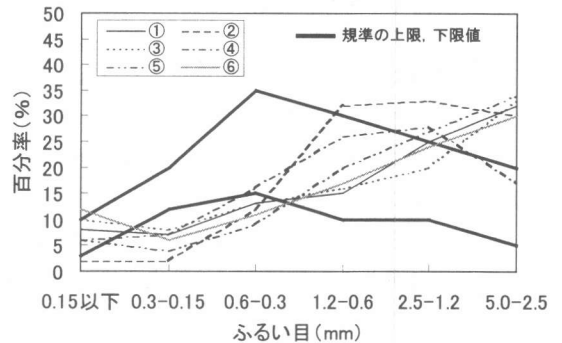


図-1 細骨材の粒度分布

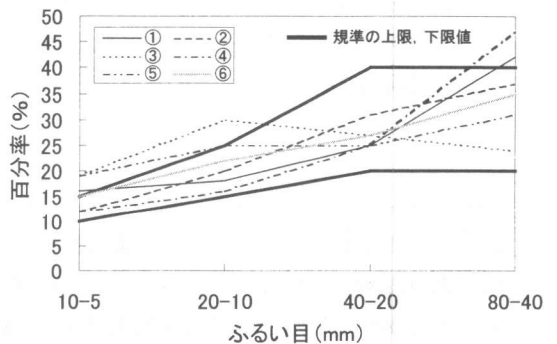


図-2 粗骨材の粒度分布

表-3 コンクリート配合

配合No.	Gmax mm	空気量 %	水セメント比 %	細骨材率 %	単位量kg/m ³					AE減水剤 g/m ³	
					水	セメント	細骨材	粗骨材 (4005)	粗骨材 (8040)		
1-1	80	4.5	79	40	118	150	810	660	592	375	
1-2				35	118	150	708	715	642		
1-3				30	118	150	607	770	691		
2-1			55	35	115	210	693	797	531		525
2-2				30	115	210	594	858	572		
2-3				25	115	210	495	919	613		
2-4				20	115	210	396	981	654		

3. 実験概要

室内試験における練混ぜについては、練混ぜ容量 110 リットルのアジテータ (回転数 17rpm) に、細骨材、セメント、水+混和剤の順に投入し、モルタルとして 3 分間練り混ぜ、さらに粗骨材投入後 2 分間練り混ぜた。ここで、練混ぜには実施工において簡易的な練混ぜを想定して、ミキサではなくアジテータを用いた。練り上がったコンクリートを 40mm ふるいでウェットスクリーニングし、そのコンクリートについてスランプ試験、打撃スランプ試験⁴⁾および空気量試験を行うとともに、圧縮強度試験用供試体 (φ 125×250mm) を作製し、所定の材齢で圧縮強度試験を行った。また、100×100×400mm の試験体を作製し、凍結融解抵抗性試験を行った。ここで、打撃スランプ試験は以下のとおりである。まずスランプ試験を行い、スランプ測定後、スランプコーンの中心から 25cm の位置に突き棒を自由落下させることによってスランプ板に打撃を与える。そのときの突き棒の落下高さは 15cm 一定とする。打撃は 1 秒に 1 回とし、打撃回数 15 回および 30 回の時点でのスランプを測定する。そして、打撃スランプは、打撃後のスランプから打撃前のスランプを差し引くことによって算出する。

試験は次の 5 シリーズについて行った。

(シリーズ 1)

水セメント比 55% および 79% について、細骨材率を変化させ、スランプおよび圧縮強度への影響を確認した。

表-4 試験ケース

	水セメント比 %	細骨材率 %	セメント量 kg/m ³	細骨材	粗骨材
1	79	35	150	未洗浄	未洗浄
2					洗浄
3				洗浄	未洗浄
4					洗浄

(シリーズ 2)

水セメント比 79% について、細骨材および粗骨材に洗浄、未洗浄のものを用いた場合の圧縮強度への影響を把握するため、表-4 に示す 4 ケースについて試験を行った。

(シリーズ 3)

水セメント比 55% および 79% について、細骨材の表面水率の設定誤差によるスランプおよび圧縮強度への影響を把握するため、設定誤差 +1% ~ -3% について試験を行った。ここで、未洗浄砂礫を用いたコンクリートは、表面水率の管理が困難であることから、表面水率誤差を大きめに設定し、硬練りとなり練混ぜが困難となるプラス側の幅を小さくした。

(シリーズ 4)

一般的な AE 減水剤 (リグニンスルホン酸系) と、貧配合においても流動性を改善できる可能性のある AE 減水剤 (カルボキシル基含有ポリエーテル系) の 2 種類を用い、混和剤の違いによるスランプへの影響を把握するため試験を行った。

(シリーズ 5)

水セメント比 55% の選定した配合について凍結融解抵抗性試験を行った。使用骨材は、細骨材、粗骨材ともに未洗浄のものを用いた。

4. 実験結果および考察

4. 1 細骨材率の影響

細骨材率とスランプの関係を図-3に示す。図に示すように、最適細骨材率は、W/C=55%の場合 25%、W/C=79%の場合 35%となる。しかし、W/C=55%の場合、s/a=25%ではコンクリートが荒々しく分離気味であったため、最適な細骨材率は30%と判断してその後のシリーズ試験での配合とした。ここで、使用した未洗浄の細骨材は、粗粒率が3.65と極めて粗かったことから、特に単位セメント量が 150kg/m^3 と少ないW/C=79%の配合では、コンクリートが荒々しく分散気味となることが考えられたが、比較的ワーカブルなコンクリートが得られた。この理由としては、未洗浄細骨材および未洗浄粗骨材に含まれる泥分の影響が考えられる。材齢91日の圧縮強度は、W/C=55%の場合、s/a=25~35%の範囲で $27.3\sim 30.6\text{N/mm}^2$ とほぼ同じであった。また、W/C=79%の場合、s/a=30~35%の範囲で $14.9\sim 15.8\text{N/mm}^2$ とほぼ同じであった。

4. 2 洗浄・未洗浄の影響

洗浄粗骨材としては未洗浄砂礫を洗浄したものを用いた。この粗骨材の粘土塊量は0.0%であり、規準を満足し、吸水率も0.85%と低いものとなった。また、洗浄細骨材として、規準を満足する川砂(密度2.57, 吸水率1.60%, F.M.2.51)を用いた。骨材の洗浄・未洗浄と圧縮強度の関係を図-4に示す。材齢91日の圧縮強度で評価すると、細骨材、粗骨材ともに洗浄したものに比べて、粗骨材に未洗浄を用いたものが 2N/mm^2 程度の低下であったのに対し、細骨材に未洗浄を用いたものが 5N/mm^2 程度の低下であった。このことより、粗骨材より細骨材に未洗浄のものを用いる方が強度低下への影響が大きいものと考えられる。また、細骨材、粗骨材ともに未洗浄のものを用いた場合、洗浄のものに比べて 7N/mm^2 程度低下し、7割程度の強度となった。このように、未洗浄の骨材を用いることによる強度低下は、骨材に付着する泥分などの不純物の影響によるものと考えられる。し

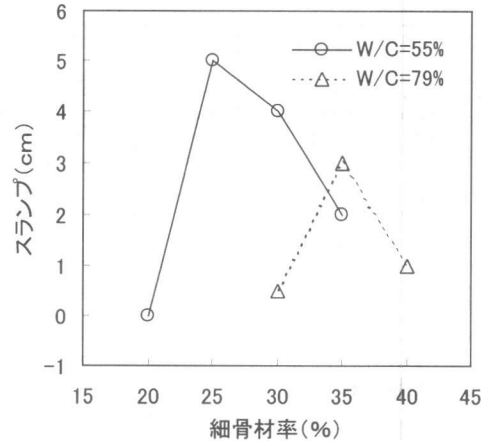


図-3 細骨材率とスランプの関係

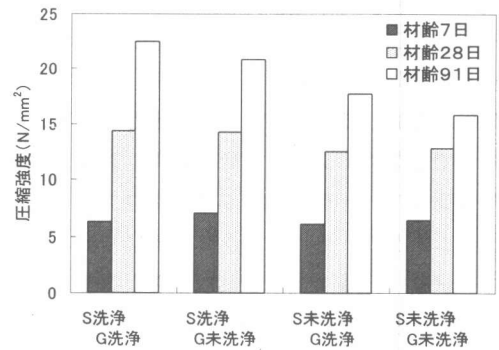


図-4 骨材の洗浄・未洗浄と圧縮強度の関係

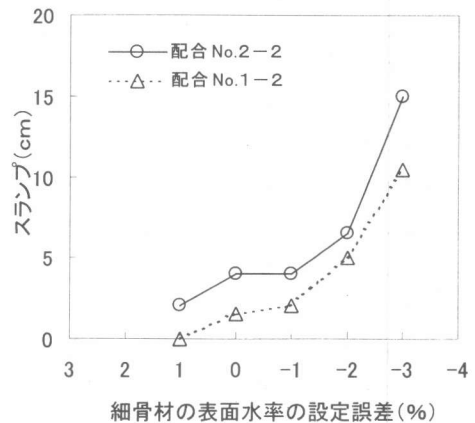


図-5 表面水率の設定誤差とスランプの関係

しかし、今回の試験では、水セメント比79%で、骨材すべてに未洗浄のものを用いた場合でも材齢91日において 15.8N/mm^2 の圧縮強度が得られており、砂防ダムや重力ダムの内部コンクリー

トとしては十分な品質が得られるものと考えられる。

4. 3 表面水率の設定誤差の影響

未洗浄骨材を用いる場合には、泥分などが付着しているため、その表面水率を測定することが困難である。また、製造を簡易にするためにも骨材の表面水率をある程度目視などで推定して練り混ぜることが望まれる。そこで、細骨材の表面水率の設定誤差が、コンクリートのスランプおよび圧縮強度にどの程度影響するかについて検討した。

図-5に細骨材の表面水率の設定誤差とスランプの関係を示す。ここで、表面水率の設定誤差+1~-3%は、単位水量にして、W/C=55%の場合、-5~+15kg/m³に、また、W/C=79%の場合、-7~+21kg/m³に相当する。図に示すように、W/C=55%、W/C=79%ともに設定誤差2%まではスランプの変化が少ないが、設定誤差3%では、W/C=55%で15.0cm、W/C=79%で10.5cmと大幅にスランプが増大する結果となった。図-6に細骨材の表面水率の設定誤差と圧縮強度の関係を示す。単位水量が増える方向に設定誤差の幅が大きくなるほど、圧縮強度は小さくなり、W/C=55%で設定誤差3%、W/C=79%で設定誤差2%において強度が大幅に低下した。これらのことから、表面水率の設定誤差がある程度生じたとしても、W/C=55%でスランプ6cm程度以下にすることによって、20N/mm²以上の圧縮強度が得られるものと考えられる。

4. 4 A E 減水剤の種類の影響

図-7に使用したA E 減水剤の種類とスランプの関係を示す。図に示すように、W/C=55%、W/C=79%の配合ともに、A E 減水剤の種類にかかわらずスランプはほぼ同じであり、W/C=55%の配合ではスランプ4.0cm、W/C=79%の配合ではスランプ4.5~5.0cmであった。しかし、30回打撃スランプは、W/C=55%においてリグニン系で9.0cmに対しポリエーテル系で12.0cm、W/C=79%においてリグニン系で3.5cmに対しポリエーテル系で8.5cmと、ポリエーテル系のA E 減水剤

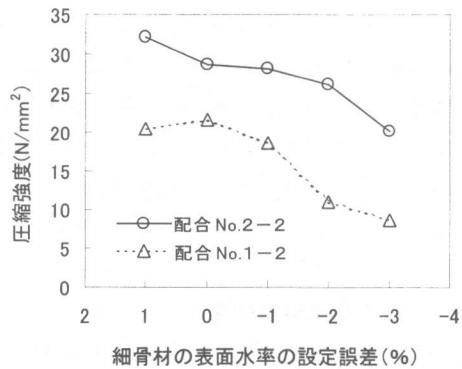


図-6 表面水率の設定誤差と圧縮強度の関係

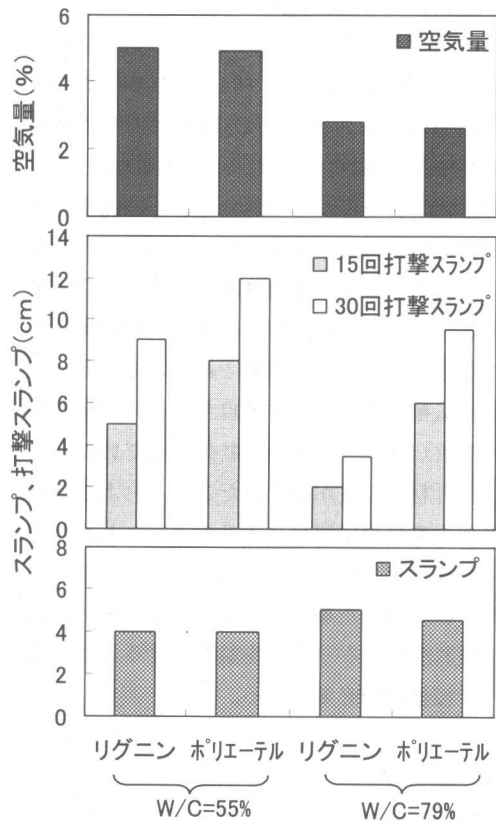


図-7 混和剤の種類と打撃スランプの関係

を用いた方が明らかに大きくなった。ここで、空気量が多いほど打撃スランプが大きくなるという報告⁴⁾があるが、今回の実験の空気量は、W/C=55%において4.9~5.0%、W/C=79%において2.6~2.8%とほぼ同じであった。したがって、振動に対する変形性が大きくなった要因としては、A E 減水剤の種類によるところが大きいも

のと考えられる。この理由としては、カルボキシル基含有ポリエーテル系AE減水剤を用いたモルタルは、振動時にはリグニン系と同様にチクソトロピー性により減粘するが、リグニン系よりも高い粘性を付与できるため、振動時の粗骨材の接触を抑制して均一性を持って流動したためと考えられる。

4.5 凍結融解抵抗性

図-8に空気量を3水準変化させたコンクリートについての凍結融解抵抗性試験結果を示す。図に示すように、水セメント比55%として、空気量を6.0%および3.9%とした場合、300サイクルでの相対動弾性係数は60%以上であったが空気量1.8%のコンクリートは210サイクルで相対動弾性係数が60%以下となった。このように、室内試験において、今回対象とした未洗浄骨材を用いた場合、水セメント比を55%とし、示方配合でコンクリートを練り混ぜ、所定の空気量を確保すれば、所定の凍結融解抵抗性が得られた。ただし、現場施工実験⁵⁾において、同一配合で空気量が4%以上でも300サイクルで相対動弾性係数が60%以下という結果も出ている。これは、骨材の品質が変化したこと、および骨材の表面水率の設定誤差により水セメント比が大きくなったことが考えられる。したがって、未洗浄骨材を用いた場合、必ずしも凍結融解抵抗性に優れるコンクリートを製造できるとは言えず、今後検討が必要である。

5. まとめ

未洗浄砂礫を骨材として用いたコンクリートを本設構造物に適用することを目指し、そのコンクリートのフレッシュ性状および硬化性状を実験的に検討した。その結果、今回用いた未洗浄骨材について以下のことが分かった。

(1)未洗浄の骨材を用いることによって、規準に合致した洗浄骨材を用いる場合に比べて圧縮強度が7割程度となったが、未洗浄骨材を用いても十分な強度が得られるコンクリートを製造できる。

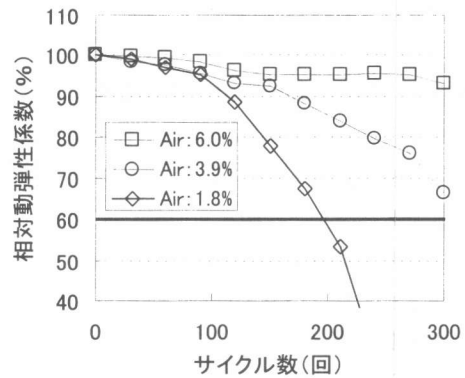


図-8 凍結融解抵抗性試験結果

(2)水セメント比55%の場合、細骨材の表面水率の設定誤差が2%程度生じた場合でも十分な強度が得られた。また、スランプを管理することにより、ある程度の強度を確保することが可能である。

(3)水セメント比を55%とし、示方配合でコンクリートを練り混ぜ、所定の空気量を確保すれば、所定の凍結融解抵抗性が得られたが、条件によっては劣る場合もあり、今後検討が必要である。

参考文献

- 1) 永山功, 渡辺和男, 西澤賢太郎: 貧配合コンクリートの力学特性, ダム技術, No. 139, pp25~32, 1998.4
- 2) 松長敏美: 久婦須川ダムの概要とCSG工法の材料試験結果について, ダム日本, No. 612, pp53~72, 1995
- 3) 大矢通弘, 天明敏行, 村上祐治, 小林貞之: 粘性土を含んだCSGのフレッシュ特性および硬化特性について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 21, No. 2, pp1399~1404, 1999
- 4) 越澤哲, 坂田昇, 渡邊賢三, 信田佳延: 硬練りコンクリートの適切なコンシステンシー評価方法の開発, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 21, No. 2, pp1423~1428, 1999
- 5) 太田匠, 坂田昇, 渡邊賢三, 信田佳延: 未洗浄砂礫を用いたコンクリートの製造方法に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 22, No. 2, 2000, 投稿中