

報告 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

太田 匠*1・坂田 昇*2・渡邊 賢三*3・信田 佳延*4

要旨：ダム施工の合理化、資源の有効利用、環境保全およびコスト削減の観点から、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。本研究では、本設構造物に適用できる品質のコンクリートを、未洗浄砂礫を骨材に用いて製造する方法を実験的に検討した。その結果、移動式分級機により簡易分級した骨材を用い、連続ミキサで予め 40mm 以下のコンクリートを練り混ぜ、アジテータ車への投入時に 40mm 以上の粗骨材と均一に投入する製造方法により、品質の安定したコンクリートを簡易に、かつ安価に製造できることが分かった。

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

ダム施工の合理化、資源の有効利用、環境保全およびコスト削減の観点から、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、未洗浄の河床砂礫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、フィル材料の強度や越流抵抗性の増強を狙った C S G (Cemented Sand and Gravel) 工法¹⁾が開発されている。この工法は、ダム上流仮締切に適用される²⁾等、実績が増えつつある。しかし、この工法で製造した C S G 材は、強度が小さい、遮水性および耐久性に乏しい、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、本設構造物に適用できる品質のコンクリートを、未洗浄砂礫を骨材として用いて製造するシステムを開発した。本稿では、品質の安定したコンクリートを簡易に、かつ安価に製造する方法について報告する。

2. 使用材料およびコンクリート配合

使用材料を表-1に示す。骨材には栃木県利根川水系で採取した未洗浄の河床砂礫を用いた。未洗浄砂礫は、0~5mm, 5~40mm, 40~80mm に3分級し、80mm以上の礫は廃棄した。分級した未洗浄の細骨材(0~5mm)および粗骨材(5~40mm, 40~80mm)の試験結果を表-2に示す。

同一水系の異なる場所から採取した6つのサンプルの粒度分布はほぼ同一であり、細骨材は0.15~0.3mmが少なく、1.2~2.5mmが多かった。

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 比表面積:3920cm ² /g
細骨材	S	未洗浄細骨材(0~5mm) 密度:2.57 吸水率:3.27%, FM 3.65, 利根川産
粗骨材	G _小	未洗浄粗骨材(5~40mm) 密度:2.62 吸水率:2.11%, FM 7.02, 利根川産
	G _大	未洗浄粗骨材(40~80mm) 密度:2.64 吸水率:1.53%, FM 8.55, 利根川産
混和剤	AE減水剤	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

*1 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)

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

*4 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)

表-2 骨材試験結果

項目	単位	測定値			判定		
		S	G _小	G _大	S	G _小	G _大
細・粗骨材の表乾密度試験	g/cm ³	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	—	—	—	—	×	△	△
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	—	○	○

<凡例> ○:合格, △:一部サンプルが不合格, ×:不合格, -:該当せず *判定は、「土木学会規準」に則った。

また、20~80mm の粗骨材は規格値をほぼ満足するものであった。

試験に供したコンクリート配合を表-3に示す。なお、スランプは0~6cmを目標とした。混和剤は、室内試験結果³⁾を踏まえて、貧配合でも流動性を改善できるAE減水剤（カルボキシル基含有ポリエーテル系）を用いた。

3. コンクリート製造システム

コンクリート簡易製造システムの全体フローを図-1に示す。本システムは、既存の機械や設備をそのまま用いることによって、品質の安定したコンクリートを安価に、かつ簡易に製造することを目的としたものである。

表-3 コンクリート配合

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)	
80	4.0	55	30	115	210	596	857	578	525

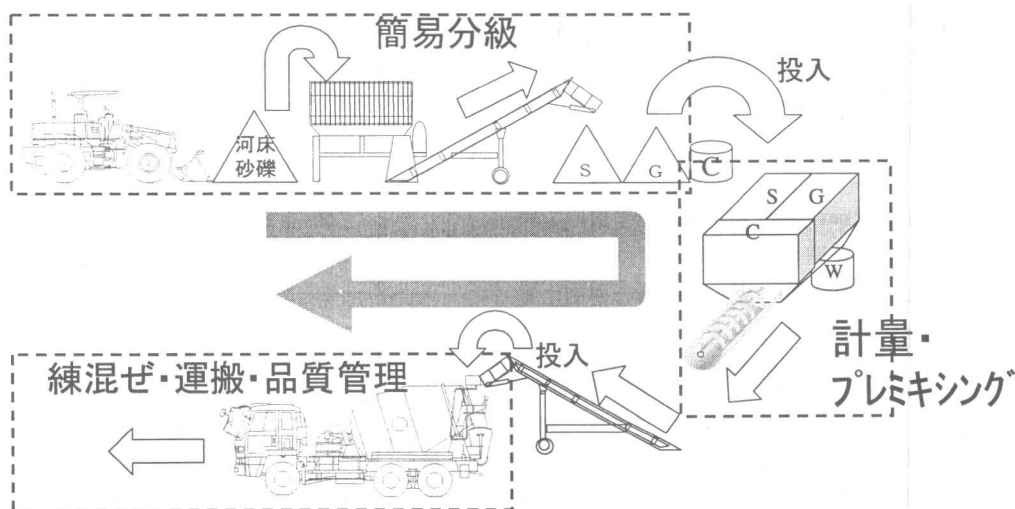


図-1 コンクリート簡易製造システム 全体フロー

4. 骨材分級実験

バックホウ(0.4m³級)にて、河床より表土を厚さ約10cm程度除去した後、河床砂礫を採取し、ダンプトラック(4t級)で移動式骨材分級設備まで運搬した。この設備は、骨材をふるい分け、分級するだけの至って簡易なシステムである。この設備の改良点は、80mm以上の礫を除去する一次分級で、100mmのグリズリバーの上部に80mmの織り網を重ねて設置したこと、二次分級で骨材の衝撃に耐えられるように5mmふるいの材料をピアノ線としたことである。

骨材の分級は、バックホウにて未洗浄砂礫を80mm織り網に載せ一次分級し、その骨材をベルトコンベヤにて二次分級用の織り網まで運搬し、織り網のふるいで0~5mmの細骨材、5~40mmおよび40~80mmの粗骨材に3分級する手順である。骨材分級状況を写真-1に示す。骨材分級能力を、表-4に示す。分級能力は、バックホウによる投入およびタイヤショベルによる引出しの作業能力で決まっており、約2m³/hと低いため改善の余地がある。

5. コンクリート製造実験

5.1 実験概要

本実験では、品質の安定したコンクリートを製造できる材料投入方法および練混ぜ方法を検討した。

図-1に示すように、まず連続ミキサ(25m³/h型)で、水+混和剤、セメント、細骨材、40mm以下の粗骨材を計量し、別系統で、40~80mmの粗骨材を計量した。練混ぜ方法は、後述の3方法を試みた。コンクリートの製造状況を写真-2に示す。なお、未洗浄砂礫の表面水率を考慮して水量の計量を行った。

次に、最良の製造方法について、製造に要する時間およびアジテータ車からの排出に要する時間を測定して、製造および施工ペースを把握した。

さらに、コンクリートの品質確認のために、以下の試験等を行った。



写真-1 骨材分級状況

表-4 骨材分級能力

	分級量 (m ³)	分級時間 (h)	分級能力 (m ³ /h)
細骨材	19.2	10.9	1.76
粗骨材(4005)	18.0	10.9	1.65
粗骨材(8040)	28.8	10.9	2.64

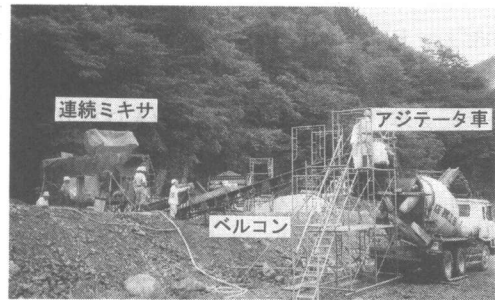


写真-2 コンクリート製造状況

練り混ぜたコンクリートを、アジテータ車からの排出順に前・中・後から各々採取し、40mmふるいでウェットスクリーニングして、40mm以下のコンクリートと40mm以上の粗骨材の重量を測定した。また、ウェットスクリーニングしたコンクリートのスランプ試験および空気量試験を行い、材齢28日および91日の圧縮強度試験も行った。

図-2に示す1辺1mの立方体の型枠内にコンクリートを打ち込み、パイプレタ等による振動締固め性状を確認するとともに、硬化したコンクリートブロックの図示の位置からコアを採取し、骨材の分布を観察した。さらに、コア孔に水を注入し、JGS1314に準じてコンクリートの透水性を測定した。さらに、室内試験でも

DIN1048 に準じて透水性を測定した。

耐凍結融解性を調べるために、ASTM C666 A 法によって凍結融解抵抗性試験を行った。

コンクリートは、以下の3通りの方法で製造した。製造方法の手順を表-5 に示す。

- ①セメントと 40mm 以下の骨材を連続ミキサで混合し、その混合物をベルトコンベアでアジテータ車(積載容量 4.5m³)の投入口まで連続的に運搬し、そこで水を同時に投入する。次に、アジテータ車のドラムの回転によって、まず 1 m³分の 40mm 以下のコンクリートを練り混ぜ、次いで 1 m³分の 40~80mm の粗骨材を投入してコンクリートを練り混ぜる。すなわち 40mm 以下のコンクリート材料と 40~80mm の粗骨材を交互に投入してアジテータ車のドラムの回転によって練り混ぜる方法。
- ②セメントと 40mm 以下の骨材を連続ミキサで混合し、その混合物をベルトコンベアでアジテータ車(積載容量 4.5m³)の投入口まで連続的に運搬し、そこで水と 40~80mm の粗骨材を同時に投入し、アジテータ車のドラムの回転によってコンクリートを練り混ぜる方法。
- ③セメント、40mm 以下の骨材および水を連続

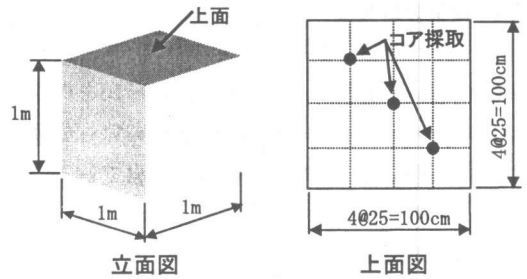


図-2 1 m³供試体寸法図

ミキサで練り混ぜて 40mm 以下のコンクリートを製造し、そのコンクリートをベルトコンベアでアジテータ車(積載容量 4.5m³)の投入口まで連続的に運搬し、そこで 40~80mm の粗骨材を同時に投入し、アジテータ車のドラムの回転によってコンクリートを練り混ぜる方法。

5.2 実験結果および考察

実施規模で比較的多量のコンクリートを製造する際には、未洗浄砂礫の表面水率の測定が困難となる。それは、未洗浄砂礫の密度や吸水率が規準に合致した骨材に比べて変動しやすく、また表面水率の変動が大きいためである。

室内試験³⁾で、本実験に用いた骨材の粒度

表-5 コンクリート製造方法

ケース	連続ミキサ	アジテータ車
①サンドイッチ法 (1.0m ³ ×3回=3m ³)	コンクリート 空練り (40mm アンダー)	水投入 → 高速攪拌 : 1分間 → 粗骨材投入 (40~80mm) → 高速攪拌 : 1分間
1m ³ を3分割して練り混ぜ		
②一括法 (1.0m ³ ×3回=3m ³)	コンクリート 空練り (40mm アンダー)	水・粗骨材投入 (40~80mm) → 高速攪拌 : 1分間 + 低速攪拌 : 2分間
1m ³ を3分割して練り混ぜ		
③プレミックス法 (4.0m ³ ×1回=4m ³)	コンクリート 練混ぜ (40mm アンダー)	粗骨材投入 (40~80mm) → 低速攪拌 : 5分間 + 高速攪拌 : 30秒間
↓ 排出		

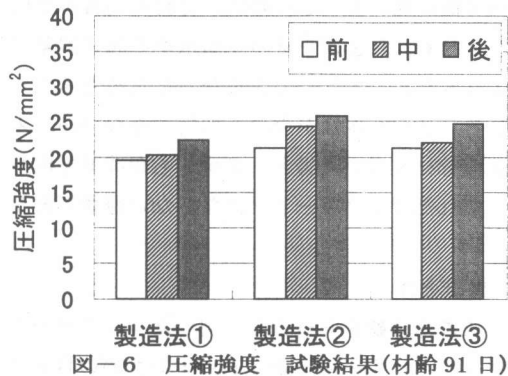
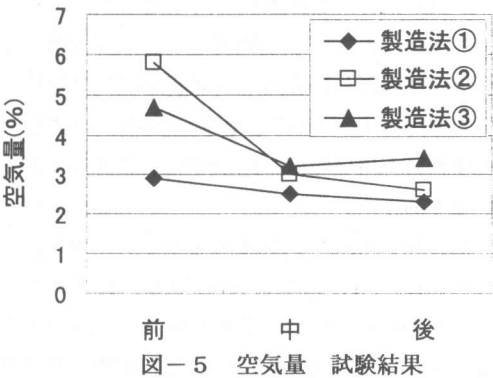
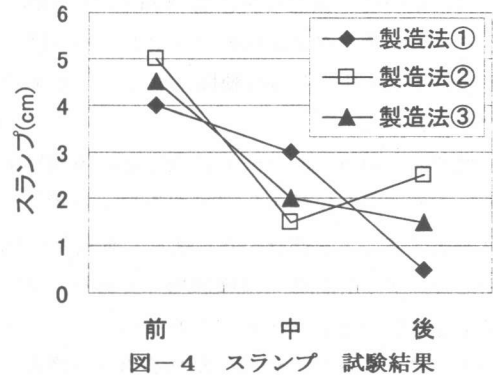
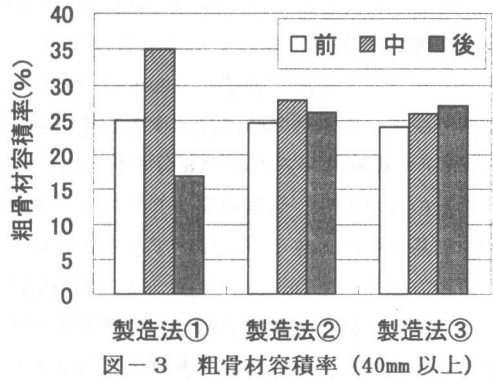
がほぼ一定であることから、スランプをある程度管理することにより、強度等の品質を確保できることが明らかとなっていた。よって、スランプがある程度適正な値となるように、骨材の表面水率を設定し、配合修正した現場配合でコンクリートを練り混ぜた。

製造方法①および②は、コンクリートを 1.0m³ 毎に 3 回に分けて合計 3.0m³ を練り混ぜた。製造方法③は、コンクリート 4.0m³ を連続して練り混ぜた。

図-3に、製造方法別に、アジテータ車からの排出順に採取した前・中・後のコンクリート中の 40mm 以上の粗骨材容積率を示す。製造方法①は、初めに 40mm 以下のコンクリートを空練りし、それに 40mm 以上の粗骨材を挟み込んで投入するので、より確実に練り混ぜられると考えた。しかし、アジテータ車から排出されたコンクリートは、特に 40mm 以上の粗骨材の分離傾向が大きく、粗骨材容積率もばらついた。これに対し、すべての材料をアジテータ車に同時に投入した製造方法②および③は、採取場所による粗骨材のばらつきは小さく、ほぼ理論配合のとおりであった。特に、連続ミキサで予め 40mm 以下のコンクリートを練り混ぜ、40mm 以上の粗骨材とアジテータ車に同時に投入する製造方法③は、練混ぜ量が 4.0m³ と最も多かったにもかかわらず、材料分離のないコンクリートが製造できた。

図-4および図-5に、スランプおよび空気量の試験結果を示す。スランプ、空気量ともに、製造方法にかかわらず、排出順に低下する傾向を示しているが、これは試験開始から終了までに約 90 分を要したために、経時変化の影響が大きかったためと考えられる。

図-6に材齢 91 日での圧縮強度試験結果を示す。図に示すとおり、製造方法②、③の方が製造方法①よりも圧縮強度が 1 割程度大きくなった。また、採取場所による圧縮強度のばらつきは、製造方法にかかわらず、練混ぜ時間が長くなる排出後半の方が大きくなる傾向を示した。



製造方法①, ②は 3.0m³ を練り混ぜるのに約 20 分を要したが, 連続ミキサで予め 40mm 以下のコンクリートを練り混ぜ, 40mm 以上の粗骨材とアジテータ車と同時に投入する製造方法③は 4.0m³ を練り混ぜるのに約 8 分であった。

以上のことから, 品質の安定したコンクリートを簡易に製造できる方法は③であると言える。

製造方法③の場合, コンクリートの製造時間(連続ミキサによる練混ぜ時間)はアジテータ車 1 台(4m³)当たり約 8 分であり, これより時間当たりの最大練混ぜ量は約 30m³/h と推定される。アジテータ車からのコンクリートの排出量は, コンクリートの流動性によるが, 20m³/h 程度であった。

型枠内へのコンクリート打設では, 棒状パイプレータで十分に締固めができるワーカビリティを有することを確認した。また, 硬化後に採取したコアの骨材分布はほぼ均一であり, コア表面も空隙などはなく密実であった。

さらに, CSG 工法で行われる透水試験として, コア孔に水を注入し 1 日後にその水位を測定したが, 水位は全く低下していなかった。

室内試験における透水試験結果は, 拡散係数が $70 \times 10^{-4} (\text{cm}^2/\text{sec})$ となり, 規準に合致した洗浄骨材を用いた同一配合のコンクリートと同程度であった。

凍結融解抵抗性試験結果を図-7 に示す。今回の試験では, 空気量が 5.7% と多めであったにもかかわらず, 相対動弾性係数が 270 サイクルで 60% を下回る結果となった。室内試験に比べて抵抗性が低下したのは, 骨材の品質が変化したため, 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ためと考えられる。サンプル数が少なく断定できないが, 未洗浄骨材を用いた場合, 必ずしも耐凍結融解性に優れたコンクリートとはならない懸念がある。

6. まとめ

未洗浄砂礫を骨材として用いたコンクリートについて, 本設構造物へ適用するためのコンク

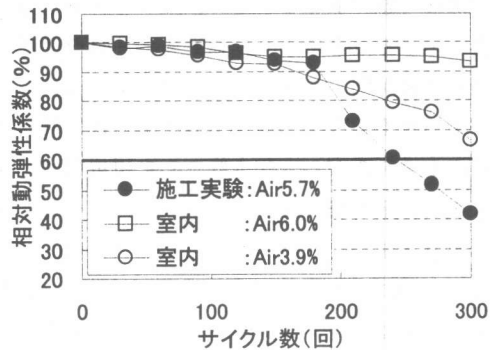


図-7 凍結融解抵抗性 試験結果

リートの製造方法について実験的に検討した。その結果, 連続ミキサで予め 40mm 以下のコンクリートを練り混ぜ, アジテータ車への投入時に 40mm 以上の粗骨材と均一に投入することにより, 品質の安定したコンクリートを簡易に, かつ安価に製造できることが分かった。

本研究で得られた主な結果を以下に示す。

- (1) 本システムは, コンクリートを連続し安定して製造することが可能で, 実施工規模でも十分な製造能力(約 30m³/h)を有する。
- (2) フレッシュコンクリートのワーカビリティは良好である。
- (3) 硬化コンクリートについては, 圧縮強度は所要強度を確保できる。また, 規準に合致した骨材を用いた同一配合のコンクリートと比べて, 透水性は同程度であるが, 耐凍結融解性はやや劣る懸念がある。

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, pp. 25~32, 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, pp. 53~72, 1995
- 3) 坂田昇, 渡邊賢三, 信田佳延, 太田匠: 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, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 22, No. 2, 2000, 投稿中