

大粒径解体ガラを用いた再生コンクリートの開発と適用

清水建設(株) 正会員 ○山田 雄太 久保 昌史
清水建設(株) 正会員 高力 雅人 田尾 一憲

1. はじめに

環境負荷やコストを低減することを目的に、工事現場で発生したコンクリート解体ガラや残コンクリートを「解体骨材」として現場内で完全再利用する技術を開発した。今回、本技術の妥当性を確認するために実施した室内試験および試験施工の結果を基に、ダム建設現場において場内放流設備下部の置換コンクリートに適用したので報告する。

浜ノ瀬ダム建設工事においては、当初、解体ガラは場外搬出による産業廃棄物処理を行い、購入した生コンクリートで置換コンクリートを打設する計画であった。しかし、環境負荷やコストの低減の観点から、解体骨材の場内再利用を検討した。解体骨材の再利用にあたって、関係各所と協議・調整した結果、解体ガラの粒度を管理することによって、市場性のある有価物相当品であるコンクリート用骨材と評価し、全量使用が可能となった。

2. 技術の概要

本技術は、最大粒径 400mm 程度に粒度調整した解体骨材と、解体骨材の粒度分布を考慮して配合したモルタルを振動ローラで転圧してコンクリートを構築する工法である。本工法は、従来技術の「解体骨材転圧コンクリート工法(ポストパacked工法)」¹⁾を基に、コンクリートダムにおける超硬練りコンクリートを使用する RCD 工法の技術を参考にして、コンクリートの配合設計手法と施工方法を見直すことで、使用する骨材の最大粒径を約 400mm 程度まで上げたものである。

本技術は、解体骨材に含まれる細粒分（粒径 5mm 以下）が多い場合の「プレミックス工法」と少ない場合の「ポストパacked工法」に分類している。施工フローを図-1 に示す。

プレミックス工法は場内に別途準備した大型攪拌槽にモルタルと解体骨材を投入して、バックホウ等で攪拌し、ダンプ等に積込んで施工箇所に運搬後、バックホウやブルドーザーで敷き均し、振動ローラやタンパで振動転圧を行うものである。

一方、ポストパacked工法は、施工箇所に直接モルタルを打込んだ後、解体骨材の投入、敷き均し、振動転圧を行うものである。解体骨材の細粒分が少ないため振動転圧によりモルタルが解体骨材間の空隙に確実に充填される。

本技術の適用可能な用途として、置換コンクリート(マンメイドロック)、中埋めコンクリート、凍害環境にない重力式擁壁などの低強度コンクリートや、防潮堤の根固め部、地盤の嵩上げ部等が挙げられる。

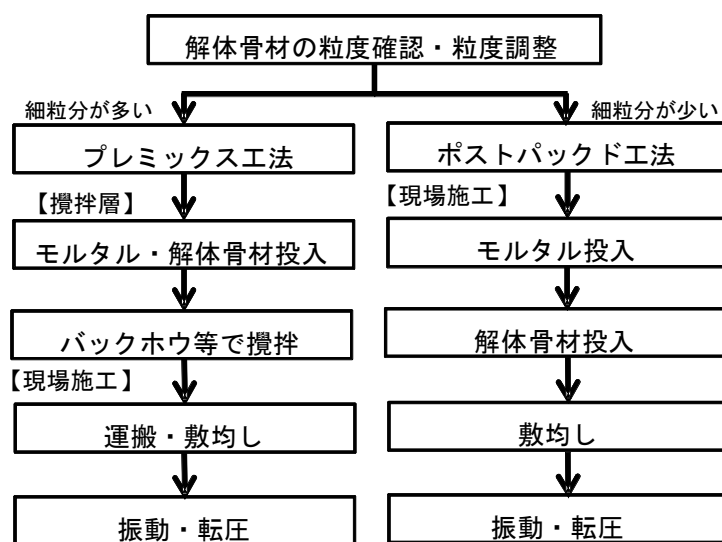


図-1 施工フロー

キーワード 解体ガラ、コンクリート、再利用

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋2丁目16-1

Tel. 03-3561-3915 Fax. 03-3561-8673

3. 使用解体骨材の種類および圧縮強度

本工事で使用した解体骨材は、残コンクリート仮置き場および骨材貯蔵設備の撤去時に発生したコンクリート解体ガラである。解体骨材の圧縮強度は、残コンクリートで 31.5N/mm^2 、骨材貯蔵設備で 43.0N/mm^2 であった。

4. 試験概要

試験は室内試験および試験施工からなる。室内試験では、ポストパacked工法およびプレミックス工法を模擬した試験を行い、実施工で使用するモルタルの配合を選定する。

試験施工では、実際に使用する建設機械を用いて、解体骨材の粒度分布をパターンにして、プレミックス工法とポストパacked工法における、振動ローラの転圧回数を決定する。

5. 室内試験

5. 1 概要

室内試験では、本施工で使用するモルタルの配合および解体骨材の粒度分布の違いによる充填性への影響についての検討を行い、施工方法(ポストパacked工法とプレミックス工法)の選定を行った。

モルタルは既往の文献²⁾に示される解体骨材粒径 40mm 以下のポストパacked工法用として検討された、セメント量が比較的多い $1:0.7$ (セメントと細骨材との質量比)モルタルおよび経済性と汎用性を考慮した $1:3$ モルタルおよび $1:5$ モルタルを使用した(表-1)。解体骨材は、解体骨材中に含まれる細粒分量による充填性への影響を検討するために、粒径 $0\sim40\text{mm}$ 、 $2.5\sim40\text{mm}$ および $5.0\sim40\text{mm}$ を使用した。試験に用いた解体骨材の粒度分布を図-2 に、試験ケースを表-2 に示す。

モルタルの選定は、ポストパacked工法およびプレミックス工法を模擬した試験で行った。ポストパacked工法を模擬した試験では、 $\phi 150\times 300$ のモールドにモルタルと 40mm 以下の解体骨材を2回に分けて投入し、タンパでそれぞれ 40 秒程度転圧して行った。一方、プレミックス工法を模擬した試験では、モルタルと解体骨材を事前に混合し、モールドに2回に分けて投入し、タンパでそれぞれ 40 秒程度転圧して行った。ここで、モルタルの投入量は、解体骨材間の空隙率を測定し、充填性を確保するために空隙率の約 1.2 倍とした。なお、空隙率は、モールドに解体骨材を投入し、モールドの天端まで解体骨材が満たされるように転圧を行った後に、水を投入することで測定した(表-3)。空隙率を考慮したコンクリートの配合を表-4 に示す。

モルタル充填状況は、目視および脱型後の供試体により確認を行った。また、供試体の一部について供試体作製後 28 日で圧縮強度試験を実施した。

表-1 各種モルタルの配合

	W/C (%)	単位量(kg/m^2)			Ad ^{※3} (%)
		W	C ^{※1}	S ^{※2}	
$1:0.7^{2)}$	51.0	455	911	624	$C\times 0.25^{※4}$
1:3	65.0	301	463	1389	$C\times 0.25$
1:5	57.4	200	348	1740	

※1：高炉セメント B 種

※2：密度 2.54g/mm^3

※3：ポゾリス No.70(AE 減水剤)

※4：論文に明記されていなかったため $C\times 0.25\%$ とした。

表-2 試験ケース

	モルタル	解体骨材粒径 (mm)	工法
CASE1	$1:0.7^{2)}$	$0\sim40$	ポストパacked工法
CASE2	1:3		
CASE3	1:5		
CASE4	1:3	$2.5\sim40$	
CASE5	1:3	$5.0\sim40$	
CASE6	1:3	$0\sim40$	プレミックス工法

表-3 空隙率試験結果

解体骨材の粒径(mm)	0～40	2.5～40	5.0～40
モールドの容量(cm ³)	5299		
解体骨材質量(kg)	8.59	8.1	7.42
水の投入量(kg)	1.3	1.74	2.03
空隙率(%)	24.5	32.8	38.3
解体骨材の密度(g/cm ³)	2.15	2.28	2.27

表-4 コンクリートの配合

	G _{max} (mm)	W/C (%)	単位量(kg/m ³)					備考
			W	C	S	G ^{※2}	Ad ^{※3}	
CASE1	40	50	137	273	187	1505	C×0.25%	空隙率 ^{※1} ：30%，使用骨材：G _{0～40}
CASE2		65	90	139	417	1505		
CASE3		57	60	104	522	1505		
CASE4		65	120	185	556	1362		空隙率 ^{※1} ：40%，使用骨材：G _{2.5～40}
CASE5		65	135	208	625	1249		空隙率 ^{※1} ：45%，使用骨材：G _{5.0～40}
CASE6		65	90	139	417	1505		空隙率 ^{※1} ：30%，使用骨材：G _{0～40}

※1：空隙率試験結果を 1.2 倍した数値

※2：全量解体骨材とした

※3：ポゾリス No.70(AE 減水剤)

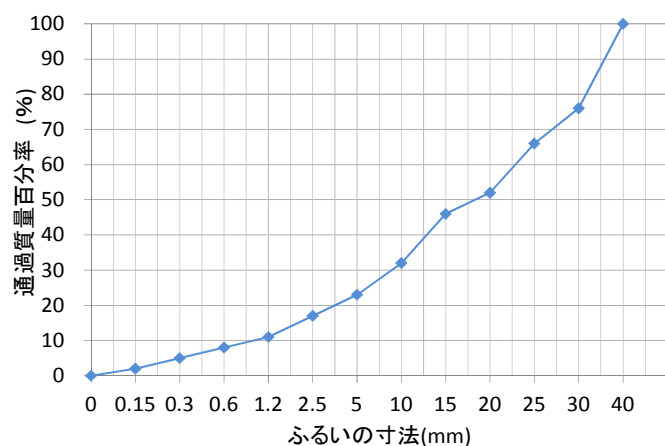


図-2 解体骨材 (40mm 以下) の粒度分布



写真-1 充填試験状況

5. 2 試験結果

試験結果を表-5 に示す。ポストパacked工法において 1:0.7 モルタルは、細粒分が含まれている場合の充填性は良好であった(CASE1)。これに対し、1:3 および 1:5 モルタルを使用した場合、2.5mm 以下の細粒分があると充填性が悪い結果となった(CASE2, 3, 4)。ただし、1:3 モルタルは、細粒分(5.0mm 以下)が無い場合のポストパacked工法(CASE5)および細粒分が有る場合のプレミックス工法(CASE6)では、充填性が良好であり、十分強度を有していることから適用可能と判断した。

これらの結果から、使用するモルタルは、ポストパacked工法およびプレミックス工法でも対応できることや、経済性も考慮して 1:3 モルタルとした。

表-5 室内試験結果

	モルタル	工法	充填性	充 填 状 況	圧縮強度 (N/mm ²)	備考
CASE1 (G _{0~40})	1:0.7	ポストパッキング	○		未実施	充填良好
CASE2 (G _{0~40})	1:3		△		3.6 (×)	充填不良箇所 が点在する
CASE3 (G _{0~40})	1:5		×	モルタルの材料分離	未実施	振動時に材料 分離が確認さ れたため、供 試体採取を行 っていない
CASE4 (G _{2.5~40})	1:3		△		9.3 (△)	打込み上方に モルタルが浮 いてこない。
CASE5 (G _{5.0~40})	1:3		○		14.5 (○)	充填良好
CASE6 (G _{0~40})	1:3	プレミックス	○		12.6 (○)	充填良好

注) ○：優，△：可，×：不可

6. 試験施工

6. 1 概要

本施工を行う前に、実際に使用する解体骨材を用いて現場で試験施工を行い、使用するモルタルの量および施工方法を決定した。試験施工に先立ち、骨材の分級および空隙率試験を実施した。なお、モルタルの配合は室内試験結果より 1:3 モルタルとした。

6. 2 骨材の分級

解体骨材は、所定の管理を行うために粒度 150mm 以下と 150～350mm との 2 種類に分級した(写真-2)。各々の粒度分布を図-3 に示す。

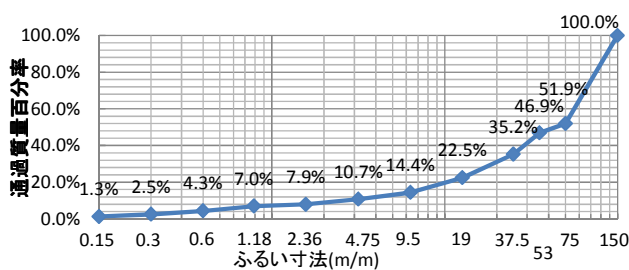


(a) 粒径 150 mm 以下の解体骨材

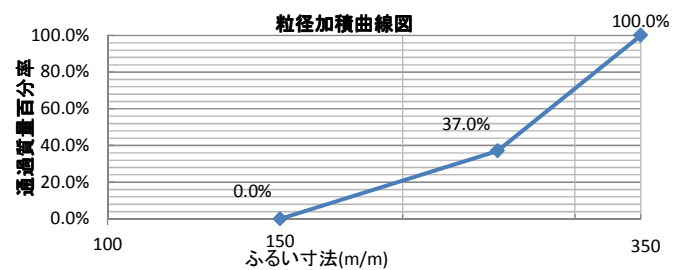


(b) 粒径 150～350 mm の解体骨材

写真-2 解体骨材の分級状況



(a) 粒径 0～150mm



(b) 粒径 150～350mm

図-3 解体骨材の粒度分布

6.3 空隙率試験

使用するモルタルの量を決めるために解体骨材の空隙率試験を行った。空隙率は、容量 2.46m^3 のベッセルに解体骨材を投入後転圧し、満水になるまで投入した水の量より求めた。試験は、解体骨材を分級していない $0\sim350\text{mm}$ 、分級した $0\sim150\text{mm}$ および $150\sim350\text{mm}$ について行った。 $0\sim150\text{mm}$ および $150\sim350\text{mm}$ の混合率については、それぞれの解体骨材の発生量を考慮して $2:1$ とした。試験結果を表-6 に示す。 $0\sim350\text{mm}$ および $150\sim300\text{mm}$ の解体骨材の密度が大きくなったのは、ベッセル内に解体骨材を投入した際に、大粒径の解体骨材が含まれているために、表面部を平らに均せず、結果的に水の投入量が多くなったことが影響していると考えられる。



写真-3 空隙率試験状況

表-6 空隙率試験結果

解体骨材粒径(mm)	0～350※ ¹	0～150	150～350
容量(m^3)	2.46	2.46	2.46
解体骨材の質量(t)	4.1	4.1	3.2
水の投入量(m^3)	0.8	0.7	1.2
空隙率(%)※ ²	33	28	49
解体骨材の密度(g/cm^3)	2.47	2.33	2.55

※1：混合比率 0～150：150～350＝2：1

※2：空隙率(%)＝水の投入量/ベッセルの容量×100

6.2 試験施工

試験施工は、幅 3m×長さ 10m の試験ヤードを 3 区画設け、実際に使用する重機（数均し：0.45m³ バックホウ、振動転圧：4t 振動ローラ）や材料を用いて 1 層（層厚 50cm）の施工性試験を行った。試験は解体骨材の混合比率やモルタル量、施工方法の組合せにより表-7 に示す 3 ケースで行った。なお、細粒分があるケース 1、2 では、解体ガラ有空隙にモルタルを確実に充填するためモルタル量は空隙率の 1.2 倍とした。施工方法は、プレミックス工法およびポストパックド工法である。なお、ポストパックド工法には、G_{150~300} の解体骨材を用いた。試験施工では、施工性、モルタル荷卸し後から振動転圧が完了するまでの施工時間、転圧回数、転圧による沈下量、硬化後のコア採取によるモルタル充填性および圧縮強度（材齢 28 日）を確認した。試験結果を表-8 に、ケース 3 の試験状況を写真-4、5 に、モルタルの充填状況の例を写真-6 に示す。

施工性は、いずれのケースも良好であり、実施工は可能であることを確認した。また、圧縮強度は 10.0N/mm² 以上であった。なお、振動転圧後の仕上がり面に波打ちが生じる場合あった。これはモルタルの投入量が多いために間隙水圧が発生したことおよびモルタルと解体骨材がよく混合されていなかったことが原因と考えられる。このため実施工では別途大型攪拌槽で規定量のモルタルと解体骨材をあらかじめよく攪拌してから敷き均すこととした。

表-7 試験ケース

	解体骨材混合比率		モルタル量 %	施工方法
	G _{0~150}	G _{150~300}		
ケース 1	2	1	40	プレミックス工法
ケース 2	1	1	40	
ケース 3	0	1	50	ポストパックド工法

表-8 試験施工結果

	施工時間 (分)	転圧回数 (回)	沈下量 (mm)	採取コア	
				充填状況	圧縮強度 (N/mm ²)
ケース 1	40	6	10~20	良好	17.5
ケース 2	40	6	10~20	良好	16.0
ケース 3	50	10	50~80	良好	12.7



写真-4 モルタル投入状況(ケース 3)



写真-5 転圧状況(ケース 3)



写真-6 コアの充填状況(ケース 3)

7. 現場適用状況

施工箇所は、幅約 5m×延長約 40m×高さ 6.5m の場内放流設備下部で、置換コンクリート(設計基準強度は地盤相当の 1.0N/mm^2)の打設量は約 1100m^3 である。

使用した解体骨材は、解体ガラを全量使用するために、粒度 150mm 以下と 150～350mm の割合は容積比率 2 : 1 とした。解体骨材の粒径分布 $G_{0\sim350}$ を図-4 に示す。解体骨材に含まれる 5mm 未満の細粒分量が 7.1% と多かったためにプレミックス工法を採用し、モルタルと解体骨材との攪拌には大型攪拌層を用いた。また、モルタルは市中生コン工場より購入する 1 : 3 モルタルを使用し、投入量は空隙率試験結果(33%)の 1.2 倍の 40% とした。モルタルの示方配合は表-1 に示したものである。

品質管理は、2 回/日のモルタルスランプフロー測定 (JIS A 1101)、1 回/日の粒径 40(mm)以下のウェットスクリーニング試料を用いた圧縮強度試験 (供試体寸法 $\phi 150 \times 300$) ¹⁾により行った。

施工は 10 日間に分割して、施工方法は 1 層 50cm で 13 層に分け、 0.45m^3 バックホウにより 1 層毎に敷均し、4 t 振動ローラにより 1 層 6 回の振動転圧を行った。施工状況を写真-6 に示す。モルタルのスランプフローは 455～570mm(図-5)、コンクリートの圧縮強度は $6.7 \sim 14.6\text{N/mm}^2$ で平均 10.7N/mm^2 であり、標準偏差は 2.2N/mm^2 であった。(図-6)。

施工の結果、場外に搬出する産業廃棄物が無くなるとともに、生コンクリートの購入が不要となり、当初計画と比較してコストは約 35%削減された。

表-9 コンクリートの示方配合

骨材の最大寸法 (mm)	W/C (%)	単位量(kg/m^3)					
		W	C※1	S※2	$G_{0\sim150}$	$G_{150\sim350}$	Ad※3
350	65.0	120	185	556	932	510	$C \times 0.25\%$

※1：高炉セメント B 種

※2：モルタルの粗骨材+解体骨材粒径 5mm 未満

※3：ポゾリス No.70(AE 減水剤)

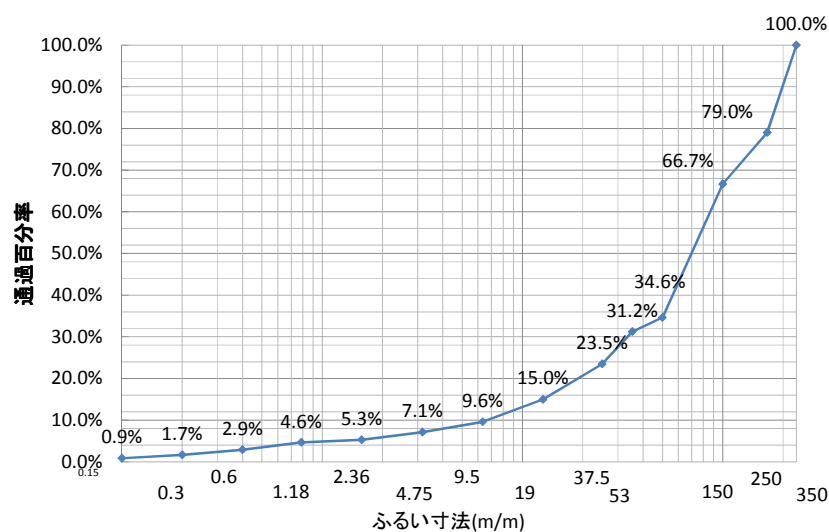


図-4 $G_{0\sim350}$ (混合率, $G_{0\sim150} : G_{150\sim350} = 2 : 1$) の粒度分布

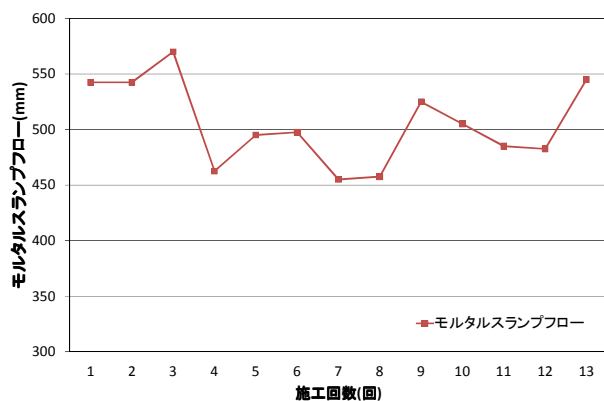


図-5 モルタルのスランプフロー

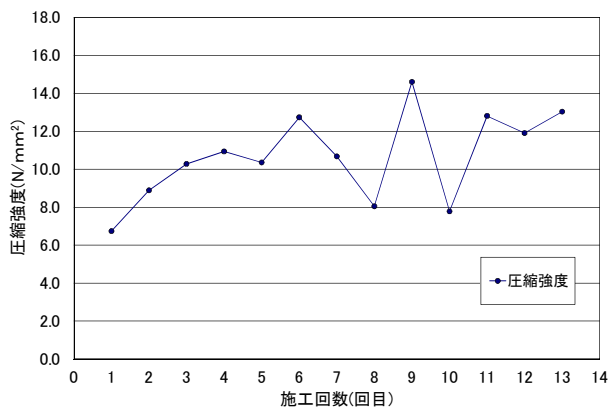


図-6 圧縮強度(材齢 28 日)



(a) 攪拌状況



(b) 転圧状況

写真-6 実施工状況

8. おわりに

本技術は、大量の解体ガラが発生する大型コンクリート工事をはじめ、震災復興等の大量の解体処理を含む工事にも適用可能と考えられる。今後、適用事例を増やして施工データの蓄積や技術改良等のブラッシュアップを図っていく所存である。

【参考文献】

- 1) 渡辺俊朗 他：解体骨材転圧コンクリート工法の研究，日本建築学会大会学術講演便概集（北海道），1995 年 8 月
- 2) 土木学会，コンクリートライブラリー96：資源有効利用の現状と課題， p94，1999 年 10 月