7. 骨材のリサイクルを目的としたC S G工法技術の開発

Technical Development of Cemented Sand and Gravel (C.S.G.) Method for the purpose of Aggregate Recycle

陣門 謙一*・国峯 紀彦*

Kennichi JINMON, Norihiko KUNIMINE

ABSTRACT : In the 21 century the Resource Exhaustion and the Industrial Wastes will become intensified . This report, to be based on the thus society circumstances , relates Technical Development of Cemented Sand and Gravel(C.S.G.)Method for the purpose of Aggregate Recycle.

C.S.G. Method is the Construction Technique to mix up the field material as the riverbed sand and gravel with cement. Generally speaking, Quality Control about Water Content and Grading of C.S.G. Method was not sufficient, and so the fluctuations coefficient of the Compressive Strength was big.(the fluctuations coefficient more than 30 %)

However , this technique utilizes crushed stone in the process of aggregate manufacturing, and Dust (2.5~0 mm),that was always exhausted, and other two aggregates(80~40mm、40~0 mm) are mixed up .

This C.S.G. Method executed various Aggregate Tests, and Mixing Tests, verified the Mixing Tests such as RCD Concrete, and manufactured various material as ' Blend Ratio' .

After all, this quality control enabled to minimize the fluctuations coefficient of the Compressive Strength (the fluctuations coefficient less than 25 %).

KEYWORDS : Cemented Sand and Gravel(C.S.G.)Method, Aggregate Recycle, Quality Control , Blend Ratio, the fluctuations coefficient of the Compressive Strength

1. はじめに

C S G工法は、河床砂礫等の現地発生材にセメントを添加混合して製造し、ダンプトラックで運搬、ブルドーザで敷均し、振動ローラで転圧することにより、コンクリートに準じた構造物を築造する工法であり、昨今、注目を浴びている工法である。このC S G工法は、元来、フィルダムの材料の強度増加を目的としている工法である。

従来のC S G工法は、現地発生材を①洗浄しない、②分級しない、③加水しない、という自然状態のものをそのまま用いる点に特徴があり、その特徴ゆえにコスト低減が可能であると考えられてきている。このような従来型のC S G工法は、天然材料が河床砂礫など、コンクリートの細骨材、粗骨材をほどよくブレンドした材料に依存している傾向が強かった。このため、材料が悪い場合には、①利用できない、②水密性が悪くなる、③強度のばらつきが多い、などの問題点が指摘されている。

本論文で開発したC S G工法技術は前述した問題点を克服した工法であり、基本的なスタンスとしては、どんな材料であっても、所要の粒度管理、含水比管理をきめ細かく行うことにより利用可能なものとなり、さらに、圧縮強度の変動係数を小さくすることができる点に大きな特徴がある。

* (株) 間組東北支店盛岡営業所大志田ダム出張所 Ooshida Dam Branch Office, Hazama Corporation, Ooshida 7,Hiranuka,Ichinohe-machi,Ninohe-gun,Iwate,Japan 028-5224

このような管理手法を用いることにより、従来、廃棄物として利用できなかった材料は有効できることになる。21世紀はますます資源の枯渇、産業廃棄物処理の深刻化が社会問題となっており、本論文は、このような社会情勢を踏まえ、特に骨材のリサイクルを目的としたCSG工法技術の開発について述べるものとする。

2. 材料の選定

2. 1 概要

骨材の選定については、地元の砕石業者の現地調査を実施し、5mm以上の粗骨材を生産する際に最終的に不要となるダスト分(2.5~0mm)の処理に問題を抱えている現状が判明した。この材料は原石山の一部の箇所に仮置きしている状態で、処理については未決定であった。ただし、原石山での仮置きの状態を確認すると、水洗い後の材料であり粘土・シルト分は少なく砂(細骨材)としての利用はできないものの廃棄するのも「もったいない」と思える材料であった。このダスト分自体はただ単体としての使用は難しいが、粒径の大きい材料と混合することにより、有効利用を図ることは可能であると判断した。

さらに、粒径の大きい材料についても、骨材の製品を購入するのでは高コストとなるため、一次ふるいでふるいにかけたままの水洗い前の2種類の原石(40~80mm、0~40mm)と混合することにより、低コストで所定の粒度のものとなる材料を選定した。

2. 2 骨材の種類

骨材の種類を以下に示す。

G1 ; 80~40mm —— 一次ふるいで発生したオーバーサイズ(水洗いせず)

G2 ; 40~20mm —— 一次ふるいで残った次工程に行く前の材料(水洗いせず)

S ; 2.5~0mm —— 最終工程で余った材料(水洗い後)

また、表-1に骨材の物理試験一覧表、表-2にCSGの示方配合表を示す。

表-1 骨材の物理試験一覧表

骨材	粒径	比重		粗粒率 FM	実積率 (%)	吸水率 (%)	洗い試験	安定性 試験
		表乾	絶乾					
G1	80~40mm	2.62	2.55	—	59.4	3.1	—	—
G2	40~5mm	2.50	2.33	6.69	66.2	7.3	—	—
	5~0mm	2.36	2.12	3.47	65.7	11.2	—	—
S	2.5~0mm	2.63	2.55	2.27	67.7	3.0	19.1	2.0

表-2 CSGの示方配合表(室内試験で求めた示方配合)

粗骨材の 最大寸法 Gmax (mm)	目標 VC値 (秒)	水結合材 比 W/C+F (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				水 W	結合材 C+F	S 2.5~0	G1 80~40	G2 40~0
80	5~20	200	32.5	160	80	483	536	1012

3. CSG材料の室内試験

3. 1 CSG示方配合決定までのフロー図

CSG材料の示方配合の決定フロー図を図ー1に示す。

手 順	試験細目	目 的	目 標 数 値	根 拠
1	骨材ふるい分け 試験	粗骨材のブレンド比 (2:1)の決定	シンプルでほどよいブレンド比が良い。	コンクリート標準示方書
2	骨材実積率試験	ダスト分をどのくらい 混合したら良いかを 算出する。	ダストは多くても少なくてもいけない。	JISの試験方法参照
3	α 値・ β 値算出	砂、セメント、水の最 低量の目安決定	砂、セメント、水は多いほど α 値、 β 値が大きくな るなるべく少なくしたい。 セメント量は最低でも 60~80kg/m ³ 以上が良 い。	α 値、 β 値の参考値参 照
4	CSG試験 ダスト混合比と VC値の関係	最適なダスト混合比を 決定する。	一定の単位セメント量でのVC値が最小となる適 切なダスト混合比を決定	一般的なs/aに換算し ておく
5	CSG試験 単位水量と VC値の関係	単位水量とVC値の比 例関係をつかむ	決定されたダスト混合比での一定の単位セメント 量での単位水量とVC値の相関図算出水が多い ほどVC値小さい	目標VC値が決定すれ ば、自動的に算出される 相関図
6	CSG試験 単位セメント量と VC値の関係	単位セメント量とVC 値の比例関係をつか む	決定されたダスト混合比での一定の単位水量で の単位セメント量とVC値の相関図算出 セメントが多いほどVC値が小さい場合が多い	目標VC値が決定すれ ば、自動的に算出される 相関図
7	CSG試験 圧縮強度とセメント 水比の関係	圧縮強度とセメント水 比の相関をつかむ	セメントが多いほど、水が少ないほど強度が大き くなる。	目標圧縮強度により、最 低のセメント量を算出 セメント 80kg/m ³ 以上 でOK
8	CSG試験 VC値の経時変化 の関係	初期VC値の違い、単 位セメント量の違いに よるVC値の経時変化 を測定する。	VC値が10秒以下の方が経時変化が少なく良い。 単位セメント量は 80kg/m ³ の方が経時変化が少 ない。

示方配合の決定	総合的に判断して決定する。
---------	---------------

図ー1 CSG工法示方配合の決定フロー図

3. 2 骨材試験

(1) はじめに

骨材試験は、現在ある材料を的確に判定することを目的とするものであるが、特に、滑らかな粒度曲線を描けるような粒度分布にすること、材料が密実となるような実積率とすることが重要である。

(2) 骨材のブレンド比の決定

骨材のブレンド比は、図—2に示すようにG 1、G 2の2種類を混合し、コンクリート標準示方書ダム編に示す粒度分布とチェックすることにより決定する。これより、今回のブレンド比は示方書の範囲内に収まるG 1 : G 2 = 1 : 2とした。

(3) 骨材の実積率試験

ダスト混合比については、図—3に示すようにJ I Sに定める実積率試験を実施し、G 1 : G 2 : S = 1 : 2 : 1.2 以上のダスト分があれば、絶乾単位容積重量が 1.700 t / m³ あり、十分密実なものとなることがわかった。このため、細骨材率（ダスト混合率）も以下に定める数値とした。

$$s/a = 1.2 \div (1 + 2 + 1.2) \times 100 = 28.5 \% \text{ 以上}$$

3. 3 C S G試験

(1) ダスト混合比とV C値の関係

上記で算出した、粗骨材の比率、および細骨材と粗骨材の比率をベースとして、ダスト混合率を変化させたV C試験を実施した。V C試験は、R C D工法で良く用いられるコンクリートのコンシステンシーを把握する試験方法であり、超硬練りコンクリートにおけるスランプ試験の代替試験であり、R C D工法の場合、V C値 = 20 ± 10 秒が一般的である。本試験でもセメント量をA配合 120kg、B配合 80kg、C配合 40kg の3種類で変化させ、細骨材率を変化させることによる各セメント量の変化における最小V C値を与える最適 s/a を算出した。

ダスト混合率とV C値の関係を図—4に示す。

(2) 単位水量・単位セメント量とV C値の関係

単位水量とV C値の対数の関係は逆比例の関係にあり、施工性の観点からの最適V C値を算出し、このときの各単位セメント量における最適単位水量を算出することができる。

単位水量・単位セメント量とV C値の関係を図—5に示す。

(3) 水セメント比と圧縮強度の関係

水セメント比と圧縮強度については、一般的に水セメント比と圧縮強度は逆比例関係にある。このグラフより最低圧縮強度を満足させる水セメント比を算出することができる。

図—6に水セメント比と圧縮強度の関係を示す。

図—2 C S G購入骨材混合比率

図—3 ダスト混合比と絶乾単位容積重量
(実積率試験)

図—4 ダスト混合率とV C値の関係

図—5 単位水量・単位セメント量
とV C値の関係

(4) VC値の経時変化の関係

VC値の経時変化の関係は、本工法の場合、非常に重要な意味をもっている。本工法は、バックホウを用いて、一度に60m³程度を練り混ぜるため、これらの練混ぜ後の材料を運搬、敷均し、転圧するまでの過程の材料のコンシステンシーの変化（VC値の増加）により施工性が大きく左右される。

一般、セメントは初期強度が遅く長期強度の伸びが大きい中庸熟フライアッシュセメントを用いているものの、経時変化によるスランプロスが大きい。このことは、図-7に示すように特に単位セメント量が、80kgと120kgでの経過時間100分のときに顕著となる。これより、単位セメント量の極力少ない、80kgを採用した。

(5) 室内品質管理結果まとめ

室内での品質管理結果をまとめ、表-2 CSGの示方配合表に示す。単位セメント量 80kg、単位水量 160kg、水セメント比 200%、細骨材率 32.5%とした。

4. 現場施工

CSG施工においては、以下のフローで作業を行った。

- (1) 骨材搬入；G1とG2は碎石工場にて、Sは現場にてブレンドを行う。
- (2) 骨材ブレンド；現場にて骨材調整（G1、G2のブレンド材にダスト分を現場でバックホウを用いて混合）を行う。
- (3) 練混ぜヤードでの混練；60m³のCSG製品を製造するために、練混ぜヤードにてセメントを投入、バックホウで約10分攪拌（空練り）、散水車で加水、再度約20分攪拌（湿潤練り）を行う。
- (4) 運搬；10tダンプトラックにて運搬する。
- (5) 敷均し・転圧；ブルドーザ6t級 1層25cm×2層で敷均しを行い、振動ローラ（BW200）にて無振動1往復、振動3往復で転圧を行う。
- (6) 法面仕上げ；法面バケット付きバックホウにて整形する。

5. 品質管理結果

本施工における、品質管理項目および結果を表-3に示す。これより得られたポイントを以下に示す。

(1) 含水比および粒度試験結果

含水比については、フライパン試験による急速含水比管理による加水量の調整を行ったため、バラツキを押さえることができたが、粒度については、材料の量管理が難しく、ややバラツキが生じる結果となった。

(2) VC値

VC値は、CSGコンクリートにおいても、RCDコンクリートと同様、コンシステンシーを知る上で重要な指標であると考えられ、今後、この試験を正確に行うことは重要な課題である。

(3) 圧縮強度

圧縮強度は7日強度で平均1.8N/mm² 変動係数32.2%、91日強度で平均5.5N/mm² 変動係数 21.6%

図-6 水セメント比と圧縮強度の関係

図-7 単位セメント量とVC値の経時変化

と、CSGの圧縮強度の変動係数は一般に30%以上と言われているのにもかかわらず、特に長期強度における品質の安定性が確認できた。

このように適切な管理を行うとでバックホウ等の一般重機による施工でも十分な品質を得られることがわかった。

(4) 締固密度

現場における締固密度は、室内試験の密度が92.6%と小さかったのに対し、平均97.9%、変動係数3.4%と転圧状況は大変良好であった。これより、本工法は、室内試験の強度の変動係数が小さいだけでなく、原位置での品質の安定性も確保できたといえる。

表－3 品質管理項目および結果

品質管理項目		測定回数	品質試験結果				備 考
			単位	最大値	最小値	平均値	
骨材	含水比	2 6	%	13.8	8.5	10.9	フライパン法
	粒度(湿潤)	2 6	%	45.9	12.7	25.7	0～5 mm含有率
	粒度(絶乾)	1 4	%	41.3	22.9	31.7	0～5 mm含有率
フレッシュ CSG	CSG温度	2 8	度	27.5	19.0	23.8	練上がり温度
	現場気温	2 8	度	29.2	17.5	23.1	
	空気量	2 4	%	2.4	0.2	1.1	
	VC値	2 2	秒	120	3	44	
	密度(締固前)	2 6	%	98.2	82.0	88.6	
	密度(締固後)	2 6	%	101.6	83.8	92.6	
硬化 CSG	$\sigma 7$	2 6	N/mm ²	3.0	0.8	1.8	変動係数 32.2%
	$\sigma 28$	2 6	N/mm ²	4.6	2.0	3.3	変動係数 23.0%
	$\sigma 91$	2 6	N/mm ²	8.2	3.4	5.5	変動係数 21.6%
現地構造物	沈下量	2 2	mm	55.7	11.3	23.2	3点/回測定
	RI締固密度	2 1	%	104.0	94.0	97.9	湿潤密度/理論密度
	RI含水比	2 1	%	10.0	14.1	11.8	
	RI乾燥密度	2 1	t/m ³	2.128	1.843	1.975	

6. まとめ

以上のような示方配合を決定するプロセス、および品質管理手法を用いることで、現地で発生するさまざまな材料に対し、最適な水、セメント量を算出し、均一で一定の強度を持つ改良土を製造することができた。本工法は、仮締切工、法面保護工、構造物基礎など幅広い適用が可能であり、安価で高品質な施工を実現した。また、本工法を用いることにより、コスト縮減や環境負荷の低減につながるができる。

さらに、練混ぜ機械も一般重機(バックホウ)を用いることにより、簡便、迅速で、コンクリート製造と比較してトータルコストの低減となる技術開発となった。

さらに、骨材資源の有効利用(廃棄骨材の使用)、ダストを有効利用することによる産業廃棄物発生量の低減、およびG1、G2を乾式製造にするため濁水処理量の低減、等の地球環境負荷低減の技術開発となった。

<参考文献>

- 1) 国峯紀彦・陣門謙一・野村貢：堤体掘削材料を利用したCSG工法の施工管理手法の確立，土木学会第54回年次学術講演会概要集 VI-117, pp. 234-235, 1999