

3. 碎石粉高流動コンクリートの実構造物への適用

立松 和彦 山崎 順二
高見 錦一

要 旨

碎石・砕砂を製造する際の副産物として発生する碎石粉を有効利用する手段の一つである碎石粉高流動コンクリートを実構造物へ適用する機会があった。その結果、使用した高流動コンクリートのフレッシュ性状、経時変化性状、施工性および圧縮強度発現性に関して全く問題のないことを確認した。2本の柱を通過させてコンクリートを約15m流し打ちしたが、粗骨材の分離はほとんどなく、均質な構造体コンクリートを得ることができた。長さ変化率も、通常のコンクリートとほぼ同等の値であった。

キーワード

碎石粉／高流動コンクリート／実構造物／流動勾配／粗骨材面積率／側圧

目 次

1. はじめに
2. 実験概要
3. 試験結果および考察
4. ま と め

3. APPLICATION OF HIGH-FLUID CONCRETE CONTAINING CRUSHED STONE FINES FOR REAL STRUCTURE

Kazuhiko Tatematsu Junji Yamasaki
Kin-ichi Takami

Abstract

An effective way to utilize crushed stone fines, which is a by-product of crushed stone and sand production process, is to mix it into high-fluid concrete. This paper describes method and results of tests performed upon an application of the high-fluid concrete containing crushed stone fines for a real structure. The results indicated that with respect to the said concrete, no problem was found in terms of the characteristics exhibited while fresh, the changes occurring with the passage of time, workability, and compressive strength. Furthermore, the said concrete was made to flow a distance of about 15 m, passing through a pair of columns. In this case there was few separation of coarse aggregate, indicating that homogeneous structural concrete has been obtained. Moreover, the rate of change in length was almost equal in value to that of conventional concrete.

1. はじめに

スランプフローが55cm～70cm程度の高流動コンクリートを得るためには、コンクリートの粘性を上げ、かつ、流動性も大きくすることが必要である。粘性を上げるためには、大きく分けて粉体を添加する方法と増粘剤を添加する方法の2通りの方法があり、流動性をあげるためには、通常、高性能A E減水剤が用いられている。粉体としては、フライアッシュや高炉スラグ微粉末などの潜在水硬性を持つものと、石灰石微粉末や碎石粉のように水硬性を持たない無機質の微粉末がある。増粘剤にはセルロース系、アクリル系、多糖類ポリマーなどがあり、これらの粉体や増粘剤を組み合わせる対象とする構造物に対応できる多種多様な高流動コンクリートが開発されており、土木構造物を中心として数多く実用に供されている。

一方、環境問題、資源の有効利用といった観点から、碎石・砕砂製造の際の副産物として発生する碎石粉を有効利用しようと、研究会（CSFC研究会^{*1}）が発足し、その研究会を通じて碎石粉高流動コンクリートの開発が行われ、実用化をめざして一定の成果¹⁾をあげてきた。その成果をもとに、いくつかの点で改善を試み、実構造物への碎石粉高流動コンクリートの適用を図ったのが本報の内容である。

2. 実験概要

碎石粉高流動コンクリートを実施工に適用したのは当社技術研究所の3階建ての構造実験棟（増築工事）であり、2階部分の躯体に碎石粉高流動コンクリートを適用した。打設量は54m³（生コン車12台）であった。

2.1 使用材料および調合

碎石粉は、岩石を破碎機で砕く過程で集塵して得られる集塵微粉と、乾式砕砂を製造する過程で空気分級により得られる乾燥状微粉、湿式砕砂の分級から得られるケーキ状微粉がある。田村らは、集塵微粉と乾燥状微粉についてはコンクリート用混和材料として使用可能である²⁾としている。今回の工事では、宝塚産の集塵微粉を用いた。事前の試験練りにより、今回の碎石粉は比較的少ない使用量でも適度な粘性が得られる

表－1 使用材料

セメント	C	普通ポルトランドセメント（S社製） 比重3.15
水	W	上水道水・回収水
細骨材	S 1	城陽産山砂[80] 比重2.57, 吸水率1.88%
	S 2	高機産砕砂[20] 比重2.63, 吸水率1.84%
粗骨材	G	高機産碎石（G _{max} =15mm） 比重2.69, 吸水率0.65%, 実績率55.1%
碎石粉	F	宝塚産集塵微粉 DU-13（石英班岩） 比表面積4500cm ² /g, 絶乾比重2.67 吸着水率1.6%
混和剤	ADM	ポリカルボン酸系高性能A E減水剤 SP-8 S

表－2 調 合

水セメント比 W/C %	水粉体量比 W/(C+F) %	粗骨材 かさ容積 m ³ /m ³	細骨材率 s/a %	単 位 量 kg/m ³					
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	碎石粉 F	混和剤 ADM
50.0	40.0	0.540	53.2	175	350	874	800	87.5	3.8
50.0	38.0	0.520	52.6	170	340	863	813	107	3.3

(C+F)×%

上段：今回の調合（碎石粉；DU-13）

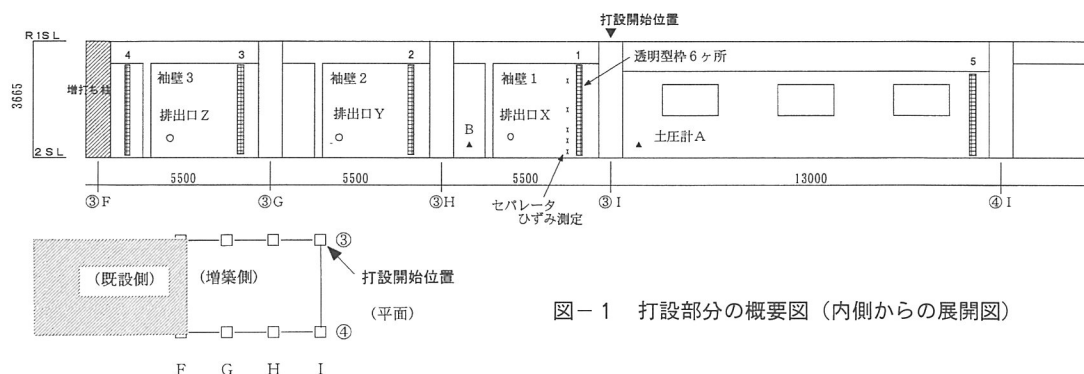
下段：CSFC研究会実大施工実験の調合（碎石粉；DU-4）

ことが確認できたため、CSFC研究会の実大施工実験での調合¹⁾よりも碎石粉の量を少なくし、水粉体量比[W/(C+F)]を40%とした。粗骨材かさ容積は0.540m³/m³と、やや大きめの値とした。水セメント比は50%、細骨材率は53.2%である。間隙通過性を向上させるため、骨材の最大寸法を15mmとした。目標スランプフローは60±5cmとした。表－1に使用材料を、表－2にコンクリートの調合を示す。なおCSFC研究会の実大施工実験での調合¹⁾も表-2に示す。

2.2 打設部位および打設方法

碎石粉高流動コンクリートを打設した2階部分の概略図（内側からの展開図）を図－1に示す。構造実験棟であるため大部分は3階まで吹き抜けであり、2階部分は外周部が壁・柱・梁のみで構成されており、コの字形をしている。そのうち図－1に示す③通壁で各種試験を実施した。コア採取用の袖壁を3カ所設けた。流動後のフレッシュ試料採取用として排出口を3カ所、流動勾配測定用の透明型枠を6カ所配置した。側圧測定のため土圧計を2カ所、ひずみゲージを貼り付けたセパレータを5カ所とりつけた。

^{*1} CSFCは、Crushed Stone Fines Concrete の略。近畿碎石協同組合、大阪兵庫生コンクリート工業組合、日本建築総合試験所、王水産業、松村組、竹中工務店、奥村組、鴻池組、新井組、浅沼組、花王、ボゾリス物産、エフ・ピー・ケー、竹本油脂のメンバーで1992－1997まで活動。



図－１ 打設部分の概要図（内側からの展開図）

③通壁の躯体寸法は厚さ165mm、配筋はD10@200チドリで、I 通壁が175mmのD10@200ダブルである。柱断面は1030×730mmの主筋が14-D25および16-D25、フープはD13@100である。打設は、ポンプ車に生コン車を1台付けとし、③通I柱から開始し、柱天端まで連続して打ち込んだ。その間の打設速度は平均して22m³/hであった。その後③通G柱へ移動し、順次打ち上げていった。

2.3 試験項目・試験方法

表－3に試験項目を示す。試験方法は、JISおよび関連標準によった。流動した試料の採取は、排出口よりコンクリート天端が約30cm高くなった時点で行った。流動した試料から単位容積質量、圧縮強度、また、骨材を洗い出して粗骨材容積率を求めた。写真－1に排出口Xでの流動試料採取の状況を示す。

コア採取は材齢27日で行い、28日で強度試験に供した後、側面の粗骨材断面をトレースし、5mm×3mm以上の断面のものを粗骨材とみなして粗骨材面積率を求めた。

3. 試験結果および考察

3.1 フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートおよびスランプフローの試験結果を表－4および図－2に、1台目の経時変化試験の結果を表－5に示す。最初の数台はスランプフロー、空気量とも若干の変動があったが、打設には問題がなかった。経時変化試験では、出荷時から筒先の試験まで約50分経過しているが良好な流動性を保持していた。

3.2 管理用供試体の強度

管理用供試体の圧縮強度試験結果を図－3に示す。標準養生28日で、平均値は59.6N/mm²であった。各車ごとの若干のばらつきはあったが、十分すぎるほどの

表－3 試験項目

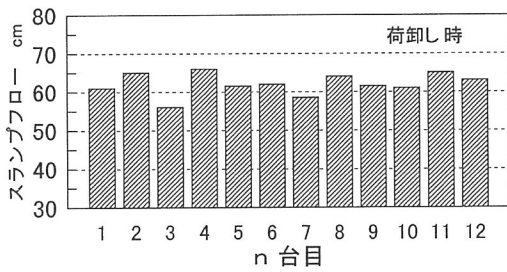
試験時期	試験項目		備考
	フレッシュコンクリート	硬化コンクリート	
出荷時		圧縮強度	1, 7台目のみ
荷卸し時	スランプフロー、空気量、温度、50cmフロー時間、単位容積質量	圧縮強度	全車
		長さ変化率	
筒先	(荷卸し時に同じ)	圧縮強度	1台目のみ
流動後	単位容積質量、粗骨材容積率	圧縮強度	排出口3ヶ所
	流動勾配		透明型枠6ヶ所
(流動中)	側圧		土圧計2ヶ所、セパレータひずみ5ヶ所
硬化後		コア強度、コアの粗骨材面積率	袖壁から5ヶ所、10本



写真－1 流動試料採取の状況

表－4 フレッシュコンクリートの試験結果

台数 台目	スランプフロー cm×cm	50cmフロー 時間sec	空気量 %	単容質 kg/L	コンクリート 温度℃
1	62×60	15.8	1.6	2.398	16.0
2	65×65	6.3	2.0	2.383	16.0
3	57×55	10.2	4.0	2.332	17.0
4	66×66	6.2	2.7	2.348	17.0
5	64×59	3.9	2.9	2.325	16.0
6	62×62	8.3	2.4	2.359	16.5
7	59×58	11.3	2.6	2.367	18.0
8	64×64	9.3	3.2	2.344	18.0
9	63×60	10.1	3.1	2.348	18.0
10	62×60	9.8	3.3	2.345	18.0
11	66×64	7.7	2.5	2.362	18.0
12	64×62	8.7	3.1	2.350	19.0



図－２ スランプフローの試験結果

強度が得られた。

3.3 長さ変化率

長さ変化試験の結果を図－４に示す。乾燥材齢13週で、長さ変化率は -9.6×10^{-4} とやや大きな値であったが、同じ建物の3階で使用した27-15-20Nでは、同じ材齢13週で -11.4×10^{-4} であった。現在まで構体には両者とも顕著なひび割れは発生していない。

3.4 流動試料の性状

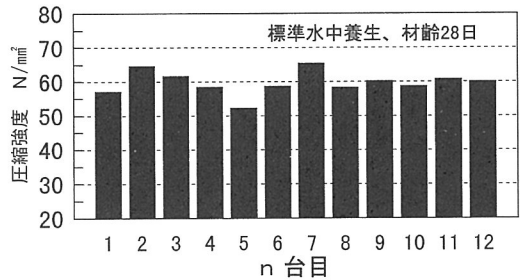
排出口からの流動試料によって洗い試験で求めた粗骨材容積率を図-5に、圧縮強度および単位容積質量(共に標準養生材齢28日)を図－６に示す。流動距離0 mのデータは、1, 2 台目の荷卸し地点でのデータの平均値とした。流動距離が長くなるに従っていずれもやや低下する傾向が見られるが、極端な低下は認められない。骨材寸法を小さくしたことで、2本の柱を通過し約15m流動しても、粗骨材もほとんど分離することなく流動していることがうかがえる。

3.5 流動勾配

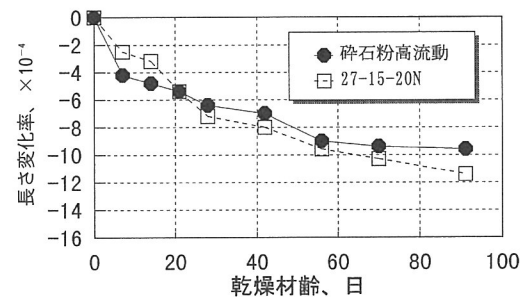
流動勾配を表－６および図－７に示す。5 台目終了時で、透明型枠2－3間の流動勾配は11.1度(19.7%)、透明型枠3－4間の流動勾配は4.2度(7.4%)、と差があった。粗骨材が分離して透明型枠3－4間ではモ

表－５ 経時変化試験結果

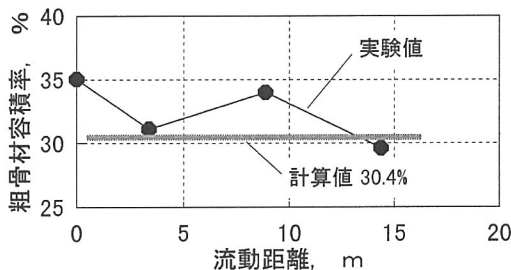
	(1 台目)		
	出荷時	荷卸し時	筒 先
スランプフロー cm×cm	61×59	62×60	65×61
50cmフロー時間 sec	13.0	15.8	7.3
空 気 量 %	2.0	1.6	3.2
単位容積質量 kg/L	2.404	2.398	2.336
コンクリート温度 °C	16.0	16.0	16.0



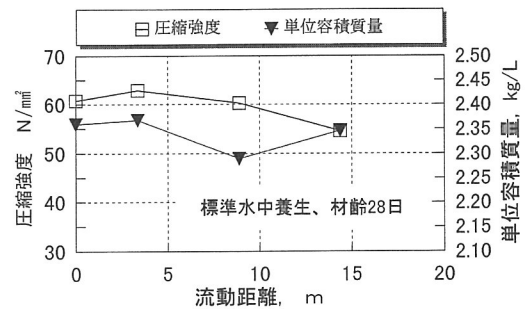
図－３ 管理用供試体の強度試験結果



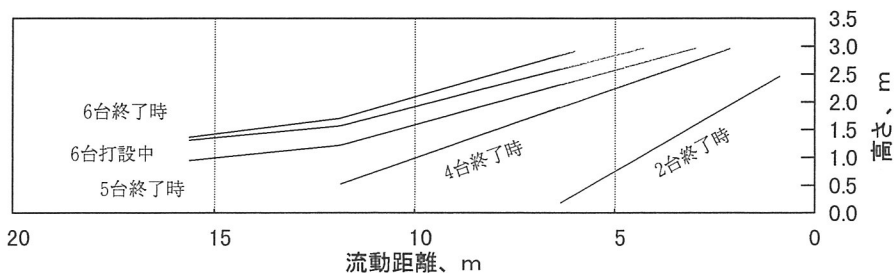
図－４ 長さ変化試験結果



図－５ 流動試料による粗骨材容積率



図－６ 流動試料による圧縮強度・単位容積質量

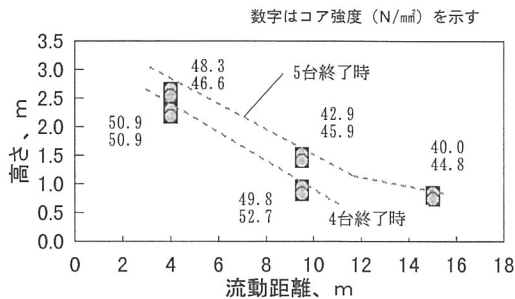


図－7 流動勾配

表－6 流動勾配

	透明型枠 1－2間	透明型枠 2－3間	透明型枠 3－4間
2台終了時	22.5(41.5)	—	—
4台終了時	—	14.1(25.1)	—
5台終了時	—	11.1(19.7)	4.2(7.4)
6台打設中	—	10.4(18.4)	4.0(7.0)
6台終了時	—	11.6(20.6)	5.1(9.0)

単位：度、()内は%



図－8 採取したコアの位置および強度



写真－2 ③通壁の竣工後の状況

ルタルが多くなり流動勾配が小さくなったと考えると、図－5、図－6の結果と矛盾する。この流動勾配の違いは、透明型枠1－2間、2－3間は間に柱があるが透明型枠3－4間では柱がないことによると考えられる。柱部分では鉄筋が錯綜しており、また、部材断面が壁から柱へと大きくなるために柱内にコンクリートが滞留し、次に壁部分に流れ込むには流動が若干阻害される。そのため柱を含んだ部分で勾配が大きくなったものと推測できる。壁部分（透明型枠3－4間）での流動勾配は4.0～5.1度（7.0%～9.0%）であった。文献では、流動勾配が8%（4.6度）以下になると粗骨材が分離している可能性がある³⁾としている。しかし今回の実験では、骨材寸法を小さくして間隙通過性の向上を図ったこともあり、図－5、図－6からうかがえるように、粗骨材が分離している可能性は小さい

と考える。写真－2に打設した③通壁の竣工後の状況を示す。一番奥の右側にある柱からコンクリートの打設を開始した。

3.6 採取したコアの試験

図－8に採取したコアの位置と流動勾配のラインを表した図を、図－9に流動勾配とコアの圧縮強度および粗骨材面積率の関係を示す。袖壁（幅250mm、奥行265mm）からのコア採取は、流動勾配のラインにあわせた位置で行い、流動方向に直角に採取した。袖壁3（流動距離約15m）のコアは圧縮強度、粗骨材面積率ともにやや低い値であった。全体的にみても流動距離とともに圧縮強度は若干低下する傾向がみられた。柱2本を通過したことにより、図－5の流動試料の粗骨材容積率からもうかがえるように、粗骨材がやや少なくなったためと考えられるが、図－6での、流動試料によるテストピースでの強度の差よりもコア強度の強度差の方がやや大きくなっている。しかし極端に強度の低い部分はみられず、構造体コンクリートとしてまず問題はないと考えられる。

図－10にコアの粗骨材面積率とコア強度との関係を示す。ばらつきはあるものの、面積率が大きくなるとコア強度も高くなる傾向がみられた。

3.7 側 圧

側圧の測定結果を図-11に示す。打設時の側圧は土

圧計とセパレータに貼り付けたひずみゲージとで測定した。打設開始からコンクリートヘッドが3.20m（4台目）になるまで約45分であった。低い位置のセパレータは、コンクリートヘッドが上昇しても値はほとんど変化せず、壁の中央より上にあるセパレータで

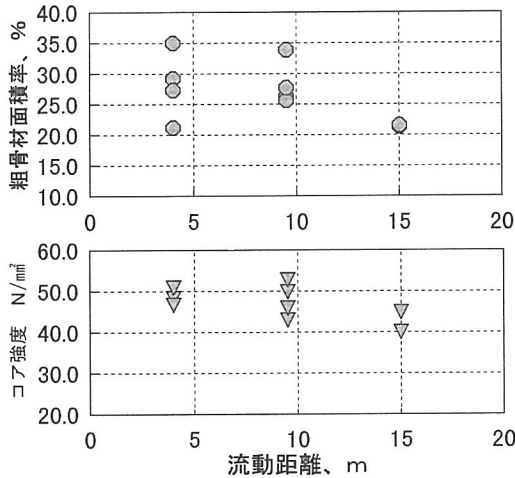


図-9 コアの圧縮強度・粗骨材面積率

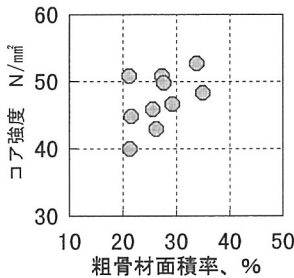


図-10 コアの粗骨材面積率とコア強度の関係

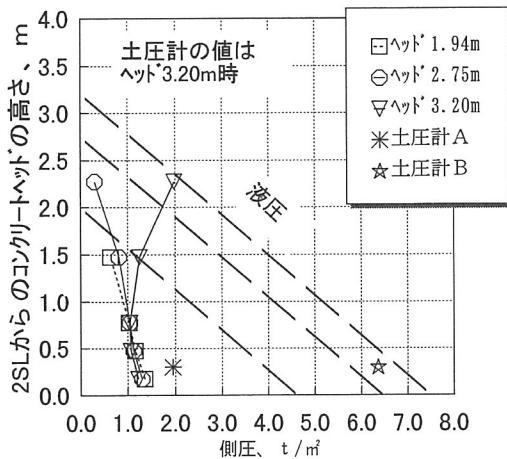


図-11 側 圧

はコンクリートヘッドの上昇に伴って値が大きくなった。セパレータ位置および土圧計Aは、打設柱に近く、また、図-7の流動勾配でも打設柱付近では勾配が大きい。1台目、2台目のコンクリートは数値以上に流動性が悪く、そのため、打設柱付近ではコンクリートがあまり動かず、3台目以降のやや流動性の良いコンクリートが1台目、2台目のコンクリートの上を滑るような状態で流れたのではないかと考えられる。その結果、低い位置では上部の荷重が十分に伝達されず、側圧も小さい値になったのではないかと推測する。一方、壁の上部および土圧計B付近ではコンクリートがよく流動しているため、液圧に近い値が得られたと思われる。このように、コンクリートの流動状況などによって型枠に作用する側圧も大きく異なっており、場所によっては液圧がそのまま作用する場合も有り得ることがわかった。

4. ま と め

砕石粉高流動コンクリートを実構造物へ適用し、いくつかの項目について検討した結果、以下のことが確認できた。

- 1) 砕石粉、すなわち粉体の使用量が少なくても、砕石粉の種類や調合を工夫することで適度な流動性および分離抵抗性を有する高流動コンクリートを得ることができる。
- 2) 建築構造物のような密な配筋であっても、骨材寸法を15mmとすることで、間隙通過性が向上し、柱2本を通過させてもコンクリート中の骨材量はあまり低下しない。
- 3) コアの強度や粗骨材面積率では流動距離、採取位置によってややばらつきがみられたが、ほぼ均質な構造物コンクリートが得られた。

〔参考文献〕

- 1) 例えば、芝池ほか：砕石粉使用高流動コンクリートの実大施工実験（その1～14）、建築学会大会梗概集、1996. 9
- 2) 田村、高橋ほか：砕石粉の品質評価に関する実験的研究（その1～その4）、建築学会大会梗概集、pp.577-584、1992
- 3) 木村、大嶋、梶山：砕石粉使用高流動コンクリートの実大施工実験（その7）、建築学会大会梗概集、pp.61-62、1996. 9