

砕砂の微粒分を有効利用した高流動コンクリートの開発

Development of Super-Flowable Concrete Using Limestone Crushed Sand

広島製作所 逸見 雄 人*¹ 木原 一 禎*²
 技術本部 寺本 尚 夫*³ 田村 一 美*⁴
 広島大学 田澤 榮 一*⁵

粉体系の高流動コンクリートは、一般に 500 kgf/m³程度の粉体を必要とし、セメント以外の粉体として微粉碎高炉スラグ、フライアッシュ、石粉等が別添加されている。本報では、一般の生コン材料として使用されている砕砂の微粒分を粉体として有効利用した高流動コンクリートの配合検討を行った。その結果、細骨材率を 56~58%程度に設定することにより、従来の微粉碎高炉スラグ、フライアッシュ、石粉等を用いた高流動コンクリートと同等の性能を確保できることが判明した。すなわち、砕砂の微粒分は高流動コンクリートの粉体として十分使用可能である。

Super-Flowable concrete, using high volume of powder, generally requires powder materials more than 500kgf/m³ of concrete, finely granulated blast furnace slag, fly ash, and stone powder are added as powder materials besides cement. This paper describes the mix proportions of Super-Flowable concrete made with crushed sand, which contains fine powder, ordinarily used in ready-mixed concrete. In this study, crushed sand is used as the powder material component. We can produce the Super-Flowable concrete using crushed sand at a proportion of about 56% and this mix has about the same properties as a mix that employs finely using granulated blast furnace slag, fly ash, and stone powder. In short the fine powder of crushed sand be used as a satisfactory powder material for Super-Flowable concrete.

1. ま え が き

高流動コンクリートは、通常のコンクリートに比べてセメントを含めた粉体をより多く必要とする⁽¹⁾。このため、一般にはセメント以外の粉体として微粉碎高炉スラグ、フライアッシュ及び石粉等が添加されている。ところが、一般に生コン工場にはこれらの粉体を貯蔵するサイロを備えていないことが多く、これらの粉体を使った高流動コンクリートの製造過程では、粉体を人力でミキサーに投入する必要があるなど実際には種々の問題点がある。

一方、コンクリート用細骨材としては主に海砂が使用されるが、海砂は塩分除去のため水洗いされ微粒分が流出することから、微粒分を多く含む砕砂を混用することが多い。

本報では、このような砕砂の微粒分に着目し、上述のようなセメント以外の特別な粉体を別添加せず、砕砂の微粒分を有効利用した粉体系の高流動コンクリートを開発し、問題点の解決を図ったのでこの開発状況について述べる。まず、高流動コンクリートの配合試験及びその特性試験を行い、十分な性能を確保できることを述べる。次に、ハイブリッド構造の浮桟橋を想定した実物大模型による施工実験の概要を述べる。最後に、ハイブリッド浮桟橋への適用例を紹介し、施工概要、施工管理手法について述べるとともに、本高流動コンクリートが十分な性能、実用性を有することを述べる。

2. 高流動コンクリートの配合試験

2.1 使用材料

セメントは高炉セメント B 種、細骨材は石灰岩砕砂⁽²⁾、粗骨材は石灰岩碎石 (最大骨材径 20 mm)、高性能 AE 減水剤は、ポリカルボン酸系のもを使用した。また、乾燥収縮の補償を目的として CSA 系の膨張材を使用した⁽³⁾。

砕砂は粒径 0.15 mm 以下の微粒分を約 10% 含む。この微粒分のレーザ回折式粒度分析装置による粒度分布曲線を図 1 に示す。

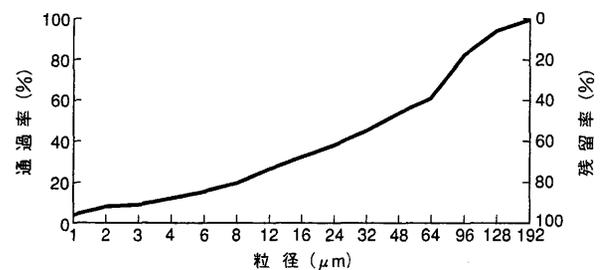


図 1 砕砂の微粒分の粒度曲線 砕砂の微粒分 (0.15 mm 以下) のふり分析曲線を示す。比表面積が約 1880 cm²/g でやや粗い。
Grading curve of crushed limestone powder

表 1 高流動コンクリートの仕様
Specification of Super-Flowable concrete

圧縮強度 (kgf/cm ²)	$f'_{ck}=270$
スランブフロー (cm)	60±5
V ロート 流下時間 (s)	10~30
空気量 (%)	4.5±1.5
水セメント比 (%)	45 以下

平均粒径は約 40 μm、比表面積は 1880 cm²/g で、微粉碎高炉スラグ等と比較すると粗粒である。この砕砂は大分県産で、広島地区の生コン工場では、海砂の微粒分を補うためによく使用されているものである⁽³⁾。

2.2 配合試験

目標としたコンクリート仕様を表 1 に示す。土木学会の海洋コンクリート仕様を満足するものである。配合決定に当たっては、水セメント比、単位水量、細骨材率、高性能 AE 減水剤添加率等を変化させた約 50 ケースについて試験練りを行った。ミキサーは強制練りミキサー (最大容量 50 l) を用い、1 回の練り混ぜ量は 30 l と

*1 鉄構技術部橋梁設計課長
*2 鉄構技術部橋梁設計課
*3 広島研究所鉄構・土木研究室

*4 広島研究所鉄構・土木研究室主務 工博
*5 工学部第 4 類教授 工博

表2 高流動コンクリートの配合
Mix proportion of Super-Flowable concrete

W/(C+E) (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単 位 量 (kg/m ³)						粉体量 (kg/m ³)	水粉体 容積比 (%)
			W	C	S	G	E	Ad		
43	56	4.5	165	342	975	788	42	4.99	482	101

注(1) E: 膨張材, Ad: 高性能 AE 減水剤

(2) 粉体量は, 細骨材の 10% (0.15 mm 以下) を加えた値を示す。

した。なお, 試験は 20℃ にコントロールした恒温室内にて行った。

例として, 後述する施工実験及び浮棧橋の施工に用いた配合を表 2 に示す。細骨材の微粒分 (0.15 mm 以下) を粉体として利用するため細骨材率が大きくなっている。本高流動コンクリートでは, 砕砂中の微粒分量の変動が問題となることが考えられるが, これについては 4.3 節で述べる。

2.3 試験結果及び考察

図 2 に表 2 に示した配合の高流動コンクリート (高性能 AE 減水剤の添加量のみを調整した) のスランプフローの経時変化を示す。これは恒温打設室の温度を 5, 20, 30℃ にコントロールして行ったものである。スランプフローは, ポリカルボン酸系の高性能

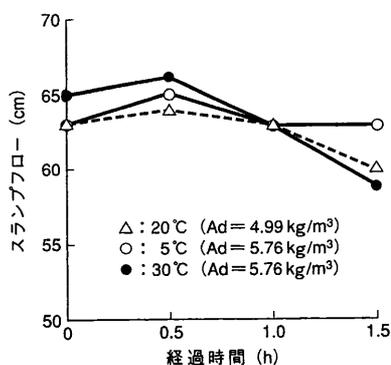


図2 スランプフローの経時変化
コンクリートの練り上がり温度を変化させたときのスランプフローの経時変化を示す。30 min 以降の変化が大きい。
Slump flow at age between 0 and 1.5 hours

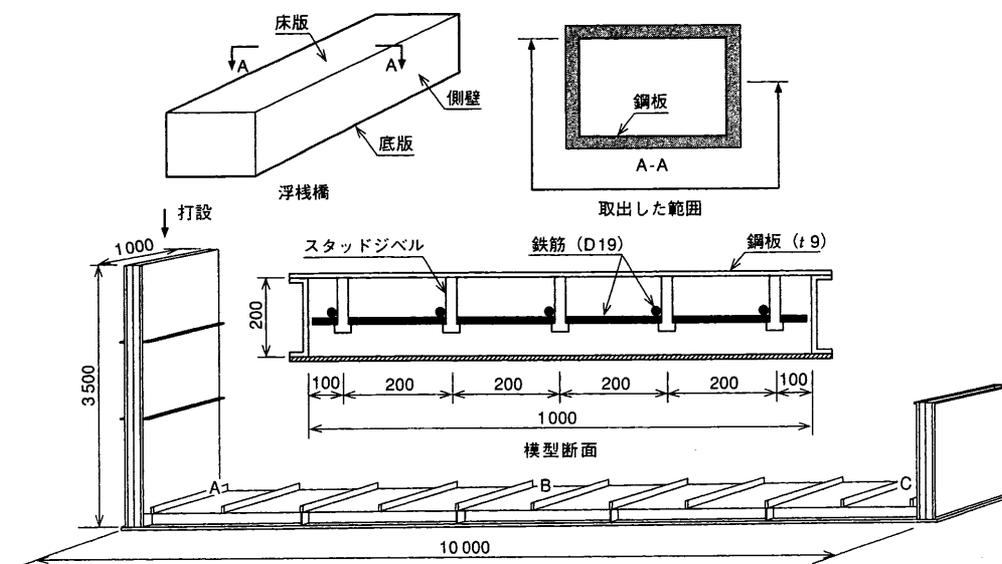


図3 実物大部分模型 施工実験を行った実物大の部分模型の外観, 断面, 配筋状況を示す。
Test specimen

AE 減水剤を用いた高流動コンクリートによく見られるように, 練り混ぜ後 30 min 程度で一度大きくなり, その後減少した。その変動は, 温度が高いほど大きくなった。一方, V ロート流下時間は練り混ぜ後 30 min 程度から急激に長くなり, スランプフローと同様に気温が高いほどその変動は大きくなった⁽³⁾。このように, 気温 (コンクリート温度) の違いにより, コンクリートの性状は大きく変化した。しかし, 高性能 AE 減水剤の添加量を調整することにより, 十分ワーカブルなコンクリートとすることができる。

3. 実物大部分模型による施工実験

3.1 模 型

ハイブリッド浮棧橋の底鋼板下部への充てん性確認, 充てん中の高流動コンクリートの流動状況, 高所 (模型では 3.5 m) から落下させ横移動した場合の材料分離の有無等を検討するため, 図 3 に示す模型による施工実験⁽³⁾を行った。模型は, 直方体の形状をした浮棧橋の断面を長さ方向に単位長さ (1 m) を取出したものである (図 3 参照)。高流動コンクリートの充てん状況を目視確認するために, 側面部分をアクリルとし, その他は鋼製とした。

3.2 実験方法

浮棧橋の高流動コンクリートの施工方法として, 側壁天端から高流動コンクリートを落し込み, 底版の鋼板直下を流動させ, 反対側の側壁まで立ち上げることを想定した (図 3 参照)。実験では容量 0.5 m³ のホップを用いて図 3 の左側側壁から高流動コンクリートを落下させ (落差 3.5 m), 底版部を充てんしながら反対側側壁へと流動させた。なお, 用いた高流動コンクリートの配合は表 2 に示したものである。

3.3 実験結果及び考察

充てん状況の模式図を図 4 に示す。コンクリートは, 縦横の鉄筋, スタッドジベル等の障害物の存在する高さ 3.5 m の側壁を落下し, 底版へと流動する。打設は, 計 2.5 m³ を 0.5 m³ ずつ 5 回に分けて行った。底版内では, 既に打設されたコンクリートを次に打設したコンクリートが押し出しながら流動し, 底鋼板にはヘッド差による圧力が絶えず作用する。このため, 硬化後の脱枠後の観察では, 底鋼板直下の空げきは全く見られなかった。ただし, 高性能 AE 減水剤の使用に伴って生じる直径 1 ~ 3 mm 程度の気泡

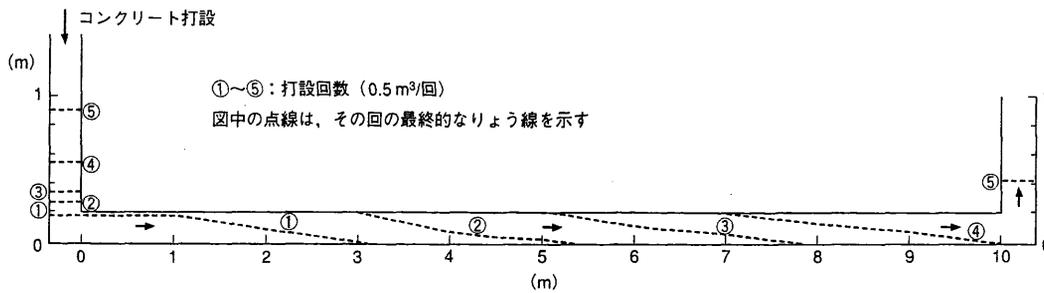


図4 高流動コンクリートの充てん状況 コンクリートを0.5m³単位で打設したときの模型内への充てん状況を示す。コンクリートのりょう線もなだらかで流動性、充てん状況は良好である。
Flow behavior of Super-Flowable concrete

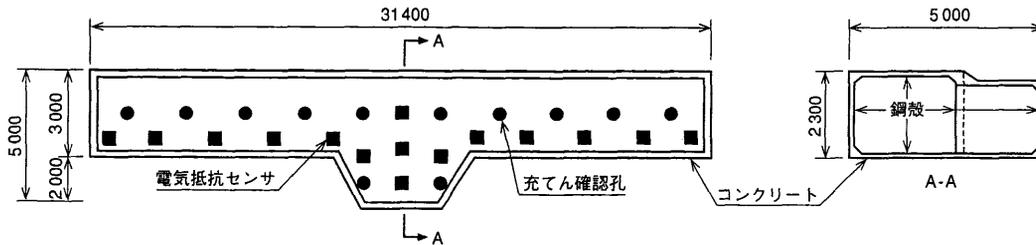


図5 浮棧橋概要 高流動コンクリートを適用したハイブリッド構造の浮棧橋の概要、充てん確認センサの位置を示す。
Outline of floating stage

は見られた。

模型の両端及び中央から採取したコアの観察結果から、コンクリートの粗骨材量は、打設側に比較してやや流動先が少ないものの、厚さ方向にもほぼ一様に分布していることが分かった⁽⁹⁾。また、打設側の側壁下部のコンクリート落下位置での材料分離が懸念されたが、脱枠後のコンクリート表面の目視観察及び上記コアの観察では、材料分離は全く見られなかった。

次に、採取したコアのA部、B部及びC部(図3参照)の28日圧縮強度は534、529及び529 kgf/cm²(試験体打設時に採取したテストピースの圧縮強度は542 kgf/cm²)であり、十分な強度が出ているとともに、落下点A部～流動先C部の部位の違いはほとんど見られなかった。

4. 適用例

本高流動コンクリートをハイブリッド構造の浮棧橋(広島県坂町に設置)に適用した例⁽⁴⁾を示す。

4.1 浮棧橋概要

浮棧橋は図5に示すように、直方体状で鉄骨により支持された内部鋼板の全周にコンクリートを配したオープンサンドイッチ式のハイブリッド構造である。版厚は、床版130 mm、側壁140 mm、底版160 mmで、いずれもD16の鉄筋が縦横それぞれ200 mmピッチで、スタッドジベル(φ16×50 mm)が縦横200~400ピッチで配されている。

4.2 コンクリートの施工方法

まず、普通コンクリートを用いた従来の施工法は次のとおりである。始めに、底版を上にしてコンクリートを打設し、コンクリート硬化後(約1週間後)に反転して側壁、床版コンクリートを打設していた。このため、反転作業が必要であり、底版と側壁との間には打継ぎ目が存在し、打設工期も10日間ほど要していた。

これに対し、高流動コンクリートを用いた新しい施工法は次のとおりである。

- ① 架台上で鋼殻を組立てる。
- ② 底版の配筋を行う。

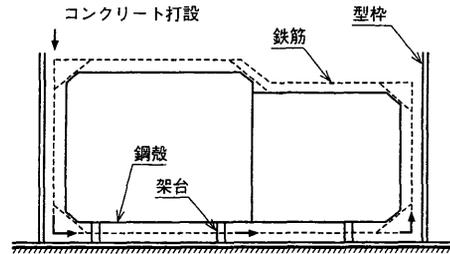


図6 高流動コンクリートの施工方法 浮棧橋底版への高流動コンクリートの打設方法を示す。
Method of placing Super-Flowable concrete

- ③ 整地した地盤上に設置した型枠(合板)の上に、鋼殻を置く。なお、底鋼板には、底版の厚さ確保のための架台(コンクリート製)をあらかじめ設置しておく。
- ④ 側壁、床版の配筋を行い、側壁の型枠を設置する。
- ⑤ 側壁の一端から打設し、反対側の側壁まで流動させる(図6参照)。
- ⑥ 底版打設後、側壁、床版と打設する。なお、側壁及び床版は普通コンクリートを使用した。

使用した高流動コンクリートの配合は表2のとおりである。

4.3 施工管理、充てん確認方法

高流動コンクリートの品質管理試験として、4台のアジテータ車すべてについて表3に示す試験を行ったが、いずれも管理値(表1参照)内に収まった。本高流動コンクリートでは、砕砂中の微粒分量の変動が問題となることが考えられるが、本適用例を含めて数十m³の実績では、管理値内に収まらなかったケースはなかった。すべて、砕砂の特別な管理は行っておらず(普通コンクリートとの並行出荷であり、管理することは実際上不可能)、砕砂の微粒分量の変動は非常に小さいものと推測される。その要因として、細骨材(ここでは砕砂)は絶乾状態で使用されることはまずなく、ある程度の水分を含んでおり微粒分のみが分離しにくいこと、1バッチ当たり2~3tの細骨材をミキサに投入して混練することか

表3 高流動コンクリートの受入れ検査結果
Test results on fresh super flowable concrete

アジテータ車	スラブフロー (cm)	Vロート流下時間 (s)	空気量 (%)	ブリーディング率 (%)	コンクリート温度 (°C)
1号車	63×63	27	4.6	0	15
2号車	63×63	19	—	—	—
3号車	63×62	10	—	—	—
4号車	61×60	14	4.8	—	17

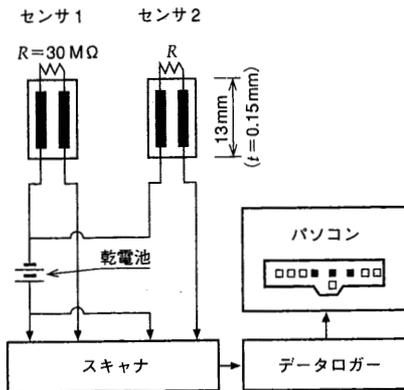


図7 充てん確認センサ及び計測システム
底版の鋼板直下の高流動コンクリートの充てん確認に用いたセンサ及び計測システムの概要を示す。
Sensor and measuring system for tests on filling Super-Flowable concrete

ら、微粒分の偏在が多少あっても平均化されること、等が考えられる。

充てん確認については、鋼板直下にコンクリートを流動させることから、φ30の充てん確認孔による目視確認及び電気抵抗センサにより行い万全を期した(図5、図7参照)。電気抵抗センサは電極としてのゲージ端子、抵抗器からなる簡単なものでコンクリートの有無を電極間の抵抗値の違いから判断するものである。乾電池はこの抵抗値の違いを電圧として計測するためのものであり、通常のひずみ計測用のデータロガーを利用するために挿入した。抵抗器はリード線を含めた回路全体の導通チェックが行えるように入れた。計測は、データロガーのインタバル計測を利用し10s刻みで計測し、結果をパソコン画面に表示した。

このような非常に簡便な充てん確認法であるが、充てん確認孔による結果との対比により、鋼板直下の充てん確認は十分可能であることが判明した。

次に、底版を流動させたコンクリートの単位粗骨材量の変化は配合設計値に対し、張出部で-10%、一般部で-8%となり、標準値(-10%~0)以内に収まった。

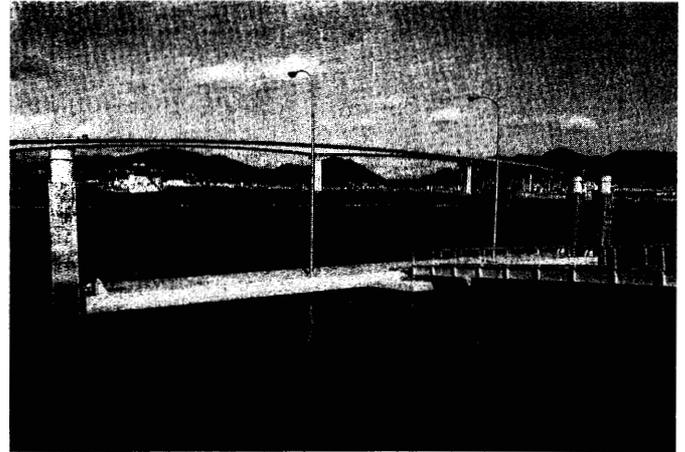


図8 浮栈橋の状況
Behavior of floating stage

最後に、浮栈橋吊り上げ進水時に行った底版の目視検査では、空げき、ジャンカ等の欠陥は全く見られず、非常に良好な仕上がりであったことを付記する。供用中の浮栈橋の状況を図8に示す。

5. ま と め

- (1) 石灰岩砕砂の微粒分を粉体として有効利用した高流動コンクリートの配合検討、施工実験を行い良好な結果を得た。石灰岩砕砂の微粒分(0.15mm以下)は、高流動コンクリートの粉体として十分使用可能である。
- (2) 本高流動コンクリートは、生コン工場に別添加粉体用サイロを増設する必要もなく、普通コンクリートと全く同様に製造できるため、コスト的にも有利である。
- (3) ハイブリッド構造の浮栈橋に高流動コンクリートを適用することにより、打継ぎ目のない一体化した函(かん)体がわずか1日で施工できるようになった。
- (4) 鋼板直下のコンクリートの充てん確認は、簡便かつ非常に安価な電気抵抗センサで十分可能である。

参 考 文 献

- (1) 岡村 甫ほか、ハイパフォーマンスコンクリート、技報堂出版(1993)
- (2) 野田鐵平ほか、石灰岩砕砂を用いた高流動コンクリートの諸特性、第2回超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集(1994)
- (3) 田澤栄一ほか、石灰岩砕砂の微粒分を粉体として利用した高流動コンクリートの研究、土木学会第51回年次学術講演会講演概要集(1996)
- (4) 木原正豪ほか、SCハイブリッド浮栈橋への高流動コンクリートの適用、土木学会第51回年次学術講演会講演概要集(1996)