

高流動コンクリートの品質管理に関する考察

藤原 敏弘* 井戸 勇二*
 田中 英紀* 阿部 哲良**
 大村 隆一郎* 瀬尾 正幸*

要 旨

高流動コンクリートを実施工に適用した事例が増えているが、適用に当たっては普通コンクリートと比較して、より密度の濃い品質管理体制が必要である。今後、部材の高品質化の要請に伴い高流動コンクリートを適用する事例の増加が予想され、品質管理体制の省力化が必要となる。

本報告では、諸性状の変化による影響を鋭敏に受ける高流動コンクリートの汎用的な配合設計と品質管理方法について考察を加えた。その結果、コンクリート製造プラントの選択が高流動コンクリートの配合選定と安定供給に重要な影響を持つこと、高流動コンクリートのフレッシュ性状は細骨材表面水率の変動による影響を敏感に受けるため、細骨材表面水率の管理が重要であること等が明らかになった。

1. まえがき

高流動コンクリートは、打ち込み時に振動・締固め作業を行わずに型枠の隅々まで材料分離を生じさせることなく充てんすることが可能な自己充てん性を有し、従来のコンクリートと異なる特有な性能を持つコンクリートとして1990年代初期から実用化され、注目されている。高流動コンクリートの主な特徴を以下に示す。

流動性が良く、打込みの際の締固め作業を省略しても密実に充てんすることができる。

フレッシュコンクリートは、使用材料やコンクリート温度の変動の影響を受けやすい。

時間経過により、フレッシュコンクリートの性状が変化する。

工事ごとに材料および品質の異なるコンクリート材料を用いた最適な配合を迅速に見いだす必要がある。

骨材の表面水率や粒度構成の変動、温度変化、時間の経過、不測のトラブル等に対して即座に品質管理上または施工管理上の対応を行う必要がある。

当社に於いても、技術研究所で「高流動コンクリート施工管理マニュアル」を作成し、高流動コンクリートを用いた工事の汎用化を推進している。高流動コンクリートを適用した当社の施工実績を表-1に示す。

本報告では表-1中に示す、福川伏越カルバート工事を例に挙げ、配合選定方法、施工体制、品質管理体制、品質管理結果について報告し、諸条件の変動で極めて鋭敏にフレッシュ性状が変化する高流動コンクリートの汎用的な配合設計と品質管理方法について述べる。

2. 高流動コンクリートの種類と配合の選定

高流動コンクリートは使用する材料の組み合わせによって粉体系、増粘剤系、併用系の3つの種類に分類される。高流動コンクリートの3つの種類は表-2に示すような配合上の特徴、物性上の特徴、施工上の特徴を持つ。さらに、表-3に示す5つの制約条件を考慮した上で最も適切な種類と自己充てん性のランクを選択しなければならない。土木学会施工指針¹⁾では表-4に示すように、U型充てん試験(図-1参照)の充てん高さでランク分けしている。

3. 配合選定

3.1 工事概要

当該工事は、延長62mのパイプルーフ直下に設けるボックスカルバート頂版へコンクリートを打設するもので、図-2に該当部位の横断面図を示す。

表-1 当社における高流動コンクリートの打設実績

工事名	打設数量(m ³)	打設場所	高流動コンクリートを適用した理由
五洋建設技術研究所新築工事	10	研究所施設壁部材	高流動コンクリートの適用性確認のため。
大阪南港トンネル築造工事	600	沈埋函Vブロック	フルサンドイッチ構造のため。
原町火力発電所 放水口連絡橋	200	橋脚鋼管中詰め	締固めを行うことなく確実に鋼管内に充てんするため。
永代幹線立抗工事	2372	地下連続壁	過密配筋(最小鉄筋あきが ϕ 34mm)のため。
神戸港港島トンネル	520	沈埋函Vブロック	フルサンドイッチ構造のため。
福川伏越カルバート頂版部	1100	パイプルーフ直下のカルバート頂版	構造上、締固めが困難なため。

* 技術研究所 ** 九州支店

表 - 2 系の違いによる高流動コンクリートの特徴

	粉体系	増粘剤系	併用系
配合上の特徴	<p>選定できる水粉体比の範囲が狭い。</p> <p>単位粉体絶対量を0.16m³/m³以上とする必要がある。</p> <p>選択することができる粉体の種類が多い。</p>	<p>単位粉体量が300~500kg/m³と他の高流動コンクリートに比較して少なく、単一の結合材の使用例が多い。</p> <p>増粘剤の種類によっては、単位水量が180kg/m³を越える場合がある。</p> <p>増粘剤と高性能AE減水剤あるいは高性能減水剤とはお互いに適合性の良否がある。さらに結合材の種類との間にも同様の適合性の良否があるため、それらを考慮して各材料の種類を選定しなければならない。</p>	<p>選定できる水粉体比の範囲が狭い。</p> <p>単位粉体絶対量を0.13m³/m³以上とする必要がある。</p> <p>選択することができる粉体の種類が多い。</p>
物性上の特徴	<p>水結合材比を小さくすることが可能なため、高強度コンクリートとすることができる。</p> <p>使用する粉体の種類によっては、自己収縮が大きくなる場合がある。</p>	<p>増粘剤の添加率の増減により、塑性粘度の調整が容易に行える。</p> <p>増粘剤の種類によっては、増粘剤の増加に伴いスランプフロー保持性能が向上するが、凝結時間が遅延する場合がある。</p>	<p>水結合材比を小さくすることが可能なため、高強度コンクリートとすることができる。</p> <p>使用する粉体の種類によっては、自己収縮が大きくなる場合がある。</p>
施工上の特徴	<p>細骨材の表面水や粗粒率の変動がフレッシュコンクリートの品質変動に与える影響が大きい。</p> <p>粉体の種類が多いため、製造にあたって従来のコンクリートよりも多くのサイロを必要とすることができる。</p>	<p>製造時に、粉末状の増粘剤をコンクリートに微量添加する作業が必要となる場合が多い。</p> <p>単一の粉体（結合材）の使用例が多いため、製造時に混和材用のサイロの追加が必要となる場合が少ない。</p>	<p>粉体の種類が多いため、製造時に従来のコンクリートよりも多くのサイロを必要とする場合がある。</p>

表 - 3 制約条件

制約条件	概要
構造物の種類	部材の配筋量
	部材の形状
	複合構造物
構造条件	断面形状
	断面寸法
	鉄筋のあき
	鋼材量
施工条件	型枠の形状
	作業に要する時間
	ポンプ圧送距離
	自由落下高さ
	最大流動距離
入手可能な材料の種類	セメントの種類
	混和材の種類
	骨材の種類
	混和剤の種類
コンクリート製造プラントの制約条件	コンクリートの運搬距離
	コンクリートの運搬時間
	ミキサーの練混ぜ能力
	ミキサーの練混ぜ容量
	貯蔵設備
	サイロの保有状況
	材料の計量方法
	材料の投入方法

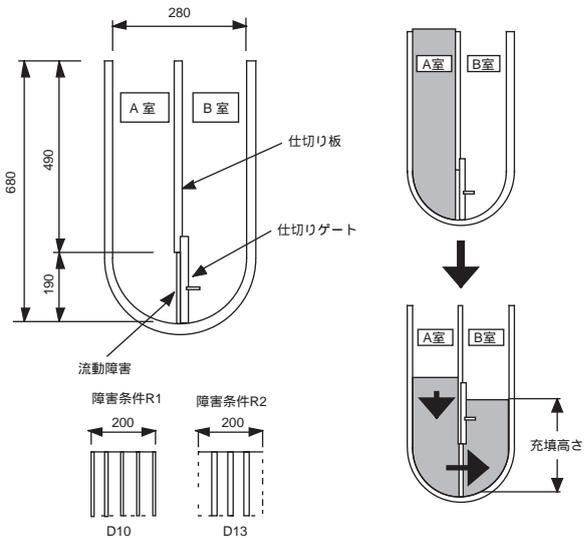


図 - 1 U型充てん試験器

表 - 4 自己充てん性の要求性能の例

評価手法	ランク		
	I	II	III
主な対象構造物	高密度配筋部材、複雑・異形型枠を使用した構造物	通常のRC構造物や複合構造物	配筋量の少ないマスコンクリート構造物や無筋構造物
構造物の条件 (最小鋼材あき)	35~60mm程度	60~200mm程度	200mm程度以上
U型またはボックス形充てん高さ(mm)	300mm以上 (障害R1)	300mm以上 (障害R2)	300mm以上 (障害なし)

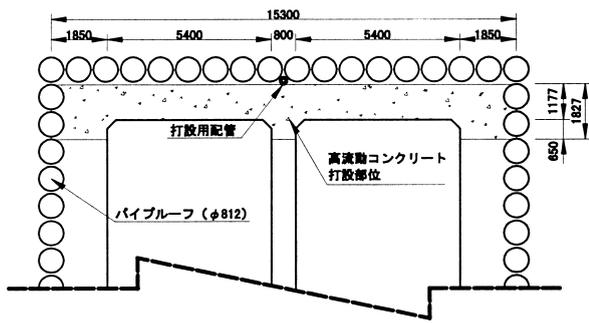


図 - 2 高流動コンクリート打設部横断図

パイプルーフと頂版との空間が狭いためにコンクリート打設作業が困難であり、さらに、パイプルーフの受け桁および鉄筋が密に配筋されているために通常の施工方法では締固め作業が困難となることが予想された。

3.2 配合選定条件

パイプルーフ直下のカルバート頂版へコンクリートを打設する場合に、普通コンクリートまたは流動化コンクリートを適用すると以下の欠点が生じるおそれがある。

棒状パイプルーフによる締固めが困難なために、十分な締固めができない。

打継ぎ部が多くなるために、止水性が不利となる。

以上の欠点を補うために、本工事では、締固めの程度に左右されずにセルフレベルリング性を期待できる高流動コンクリートを適用することとなった。また、配管筒先位置を容易に移動できないことから図 - 2 の断面中央に配管を固定し、端部まで7.5mを自然流動させることとした。

鋼材の最小あきが95mmであることから、前述の自己充てんランク2に相当する高流動コンクリートであれば対応可能と考えられ、表 - 5 に示すフレッシュ性状の目標管理値を設定した。

表 - 5 目標管理値

試験項目	試験方法・測定方法	目標管理値
スランプフロー	土木学会規準 (案)	625±75mm
500mm到達時間	上記試験におけるフローが500mmに達する時間	3~15秒
V75漏斗流下時間	土木学会規準 (案)	20秒以下
U型充てん高さ	土木学会規準 (案)	300mm以上 (障害R2)
空気量	土木学会規準 (案)	4.5±1.5%

表 - 6 検討配合

配合 No.	粗骨材の最大寸法 (mm)	自己充填性のランク	水結合材比 (%)	空気量 (%)	単位粗骨材絶対容積 (m ³ /m ³)	単位量				混和剤	
						水 (kg/m ³)	セメント (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	高性能AE減水剤 SP (C×wt%)	AE剤 (C×wt%)
1	20	2	33.6	4.5	0.315	172	512	802	847	1.1	0.003
2	20	2	33.7	4.5	0.315	166	493	833	847	1.4	0.002
3	20	2	33.2	4.5	0.300	175	527	821	807	1.1	0.002

高流動コンクリートの系は、増粘剤の投入手間および経済性を考慮した結果、粉体系を採用した。また、コンクリート製造工場 (以下、工場) の材料貯蔵ビン数の関係から、複数の粉体を使用することが困難であり、セメント単味とした。セメントには、打設した高流動コンクリートの水和熱を低減するために低発熱型であり、低水セメント比でも高い流動性を持つ高ピーライト系ポルトランドセメントを採用した。

当工事で採用した工場には細骨材表面水率の自動計測装置が設置されており、細骨材表面水率の変動に対して自動的に現場配合の修正を行うことができる。その結果、細骨材表面水率の変動による高流動コンクリートの品質変動を抑制することが期待できる。

3.3 配合選定実験

3.3.1 配合選定手順

高流動コンクリートは使用材料やコンクリート温度の変化によってフレッシュ性状が大きく変化する。したがって、工事ごとに試し練りを行い、高流動コンクリートの諸性状を確認する必要がある。当工事に適用する高流動コンクリートの配合選定手順を図 - 3 に示す。

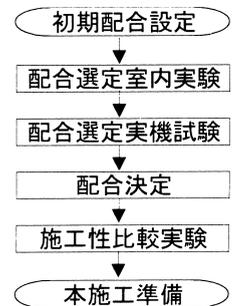


図 - 3 配合選定手順

3.3.2 室内実験 (基礎性状の把握)

まず、表 - 2 中の粉体系高流動コンクリートに関する記述にもとづいて、初期配合を机上検討と予備実験とによって設定した。設定した初期配合のフレッシュ性状を室内実験により確認した上で配合修正を加え、表 - 6 に示す配合を得た。

続いて、表 - 6 に示す3種類の配合について、表 - 5 に示す項目の経時変化について確認した。表 - 6 に示す配合のスランプフロー、V75 漏斗流下時間、U型充てん高さの経時変化を図 - 4 ~ 6 に示す。配合 No.1、3は目標管理値を90分間保持できたが、配合 No.2は90分の試験時に、スランプフロー以外の項目について目標管理値を満たせなかった。したがって、以後の検討は配合 No.1、3について行った。

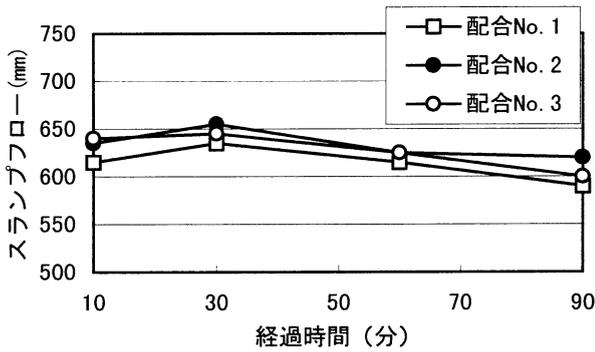


図-4 スランブフロー値の経時変化

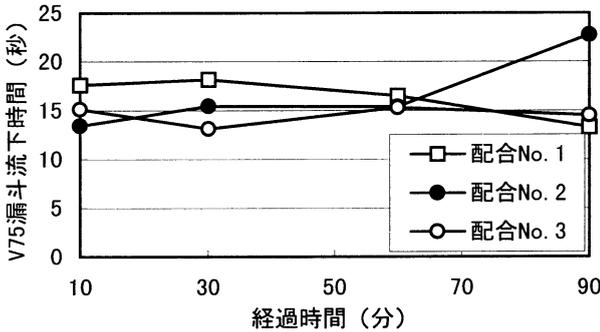


図-5 V75漏斗流下時間の経時変化

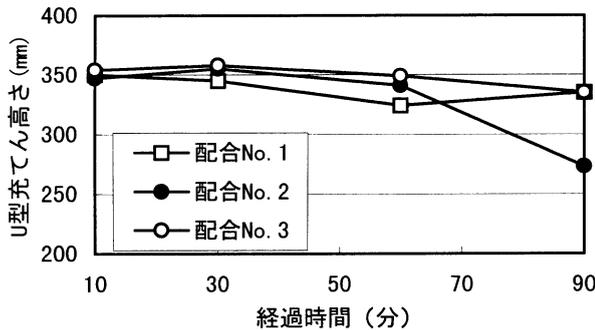


図-6 U型充てん高さの経時変化

圧縮強度試験を実施した結果、いずれの配合も材齢7日の圧縮強度が50N/mm²を上回る結果となり、設計基準強度が21N/mm²であることを考慮すると、圧縮強度については問題がないことが確認できた。

なお、比較のためにスランブ15cmの普通コンクリートと、スランブ18cmの流動化コンクリートの配合についても予備実験で決定した。

3.3.3 室内実験(変動要因の影響)

表-6に示す3種類の配合のうち、フレッシュ性状が比較的良好であった配合No.1、No.3について表-7に示す項目を、環境温度が20および10のもとで試験を行い、凝結時の特性を確認した。

また、高流動コンクリートのフレッシュ性状が、環境要因の変動によってどの程度影響を受けるかを把握することは配合の微調整およびトラブル対策を実施する場合

表-7 コンクリート試験項目

試験項目	試験方法・測定方法
ブリーディング試験	JIS A 1123
凝結試験	JIS A 6204 付属書1
断熱温度上昇試験	簡易断熱温度上昇試験器

表-8 コンクリート試験項目

要因	変動幅
細骨材の表面水率の錯誤	±1.0%
高性能AE減水剤添加量	±0.1%
環境温度の変化	20°C、10°C

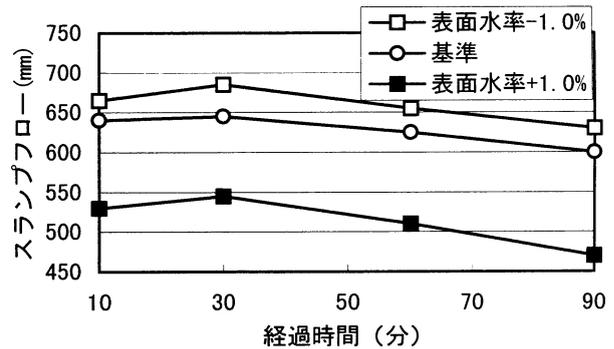


図-7 スランブフロー値の経時変化 (細骨材表面水率錯誤量による影響)

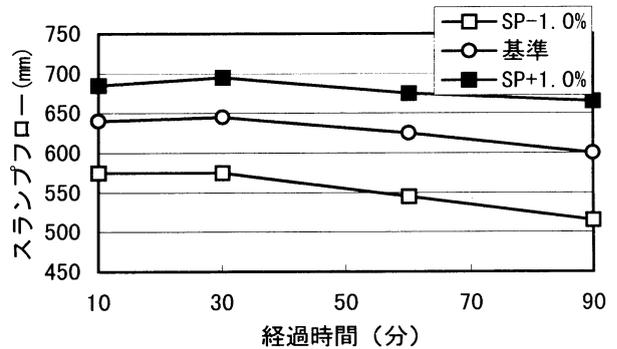


図-8 スランブフロー値の経時変化 (高性能AE減水剤添加量による影響)

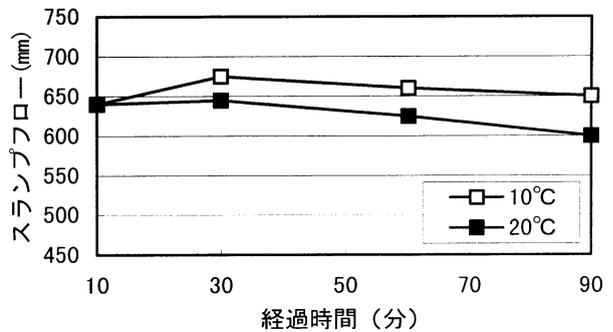


図-9 スランブフロー値の経時変化 (環境温度による影響)

に不可欠である。そこで、表 - 6 に示す配合について、表 - 8 に示す要因の変動によって、フレッシュ性状がどの程度変動するかを確認した。配合No.3のスランブフロー試験結果を図 - 7 ~ 9 に示す。細骨材表面水率および高性能 AE 減水剤添加量（図中 SP と表示）が変動しても、スランブフロー値は30分で最大値を示し、その後低下する傾向は共通している。しかし、細骨材表面水率の誤差が+1.0% の場合は基準結果と比較してスランブフロー値が約100mm程度低下する傾向を示し、高性能 AE 減水剤添加量を 1.0% 減じるとスランブフローが70mm程度低下した。したがって、細骨材表面水率の設定を誤るとスランブフロー値は大きく変化し、高性能 AE 減水剤添加量を加減することによってスランブフロー値をある程度制御することが可能と考えられる。また、コンクリート温度が10 の場合は20 の場合と同一の高性能 AE 減水剤添加量であるにも関わらず、フレッシュ性状の保持性が向上する結果となった。

3.3.4 配合選定実機試験

実機試験では、コンクリートの品質確認試験と部材の一部を再現したモデル供試体を用いたコンクリートの充てん性比較実験を同時に実施した。この際、コンクリートの打設はポンプ車を用い、図 - 10 に示す手順で実験を行った。実施工の際に使用する工場において、表 - 6 に示す配合 No.3 をもとに高性能 AE 減水剤の量を修整して表 - 5 に示す目標管理値を満足する高流動コンクリートを得た。

高流動コンクリートの品質確認試験結果を表 - 9 に示す。品質確認試験は、表 - 5 に示す項目について工場出荷時とポンプ圧送前後の3回行い、その結果、ポンプ圧送後のスランブフロー値は圧送前と比較して40mm程度低下することを確認した。

充てん性比較実験は、高流動コンクリートとスランブ 15cm の普通コンクリートおよびスランブ 18cm の流動化コンクリートとの充てん性能の比較を目的として、以下に示す7項目を実施した。

- 流動勾配の測定
- モデル供試体側面の観察
- テストピースの圧縮強度試験
- コンクリートコアの採取
- コンクリートコアの圧縮強度試験
- コンクリートコアの単位容積質量の測定
- コンクリートコアの充てん状況の観察

充てん性比較実験の結果、普通コンクリートおよび流動化コンクリートは未充てん部が多く確認されたが、高流動コンクリートは密実に充てんしており優れた充てん性を持つことが確認された。また、流動距離が7.5mの時に、打設面の勾配が 1/50 以内におさまった。

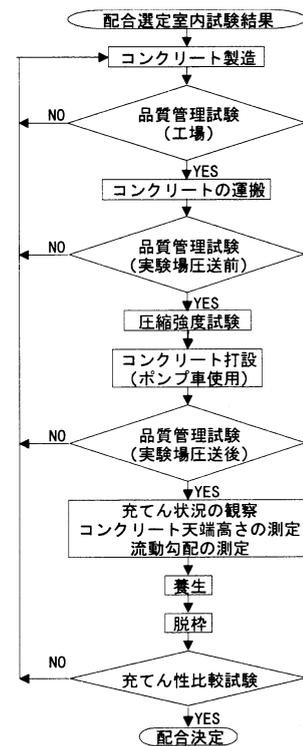


図 - 10 配合選定実機試験の手順

表 - 9 フレッシュ試験結果

試験項目	工場	圧送前	圧送後
スランブフロー (mm)	665	670	630
500mm到達時間 (秒)	2.7	4.0	3.8
V75漏斗流下時間 (秒)	5.7	6.1	5.8
U型充てん高さ (mm)	-	362	358
空気量 (%)	3.9	3.8	4.1

4. 施工体制

4.1 管理項目

高流動コンクリートのフレッシュ性状は、製造からの時間経過にともなって変化し、可使時間を90分以内にする事が多い。したがって、打設が終了する時点まで高流動コンクリートのフレッシュ性状が十分な性能を保持できるように、高流動コンクリートの製造開始から打設終了までの作業を連続的に行わなければならない。施工中のトラブルを未然に防ぎ、トラブルが発生した場合にも迅速かつ的確に対応するため、以下の項目について一元管理できる体制を整える必要がある。

- ・連続して製造される高流動コンクリートのフレッシュ性状の変動
- ・高流動コンクリートの製造状況
- ・打設地点までの運搬状況
- ・打設状況
- ・充てん状況

なお、高流動コンクリートの品質の変化が工事の進捗

または出来形に与える影響として以下の項目が考えられる。

- ・流動性に欠ける高流動コンクリートが打設された場合は、ポンプの筒先にコンクリートが堆積するため、それ以降に打設される良好な品質の高流動コンクリートの充てん性を阻害する。
- ・高流動コンクリートが分離した場合は、骨材が含まれない、モルタルまたはセメントペーストのみの箇所が生じる。
- ・高流動コンクリートが分離した場合は、ポンプ車の配管が閉塞しやすくなる。
- ・高流動コンクリートは粉体が多いため、ポンプ車の配管を洗浄せずに1時間程度放置すると高性能AE減水剤の分散効果が低下して水セメント比の低いモルタル分がこぼれを生じ、管内抵抗が大きくなる。

4.2 品質管理体制の省力化

高流動コンクリートの不良バッチが生じた場合に迅速な対応が必要となる沈埋函を対象とした五洋マニュアル中に示される品質管理体制の組織図を、図-11に示す。当工事では施工時に要する人的資源の省力化を、4.1

章および図-11を念頭に置いて以下の項目について検討した。

- ・生コン工場責任者と打設現場担当者との連携
- ・各担当者間の連絡方法
- ・工場の材料管理能力
- ・品質管理試験の頻度

検討の結果、図-12に示す品質管理体制を採用した。省力化した施工体制によっても、施工は順調に進捗し、高流動コンクリートの製造開始または待機の指示伝達、打設状況の把握、高流動コンクリートのフレッシュ性状の変動傾向を把握できた。

5. 実施工

5.1 細骨材表面水率の変動

細骨材表面水率計測装置によって測定した、細骨材表面水率の変動を図-13に示す。製造開始直後、砕砂の表面水率が2.0%程度の幅で変動した原因は、骨材貯蔵サイロが円筒形をしているためにサイロ下部に水分が移動したことが原因と考えられる。

スランブフロー値の変化を図-13中にあわせて示す。

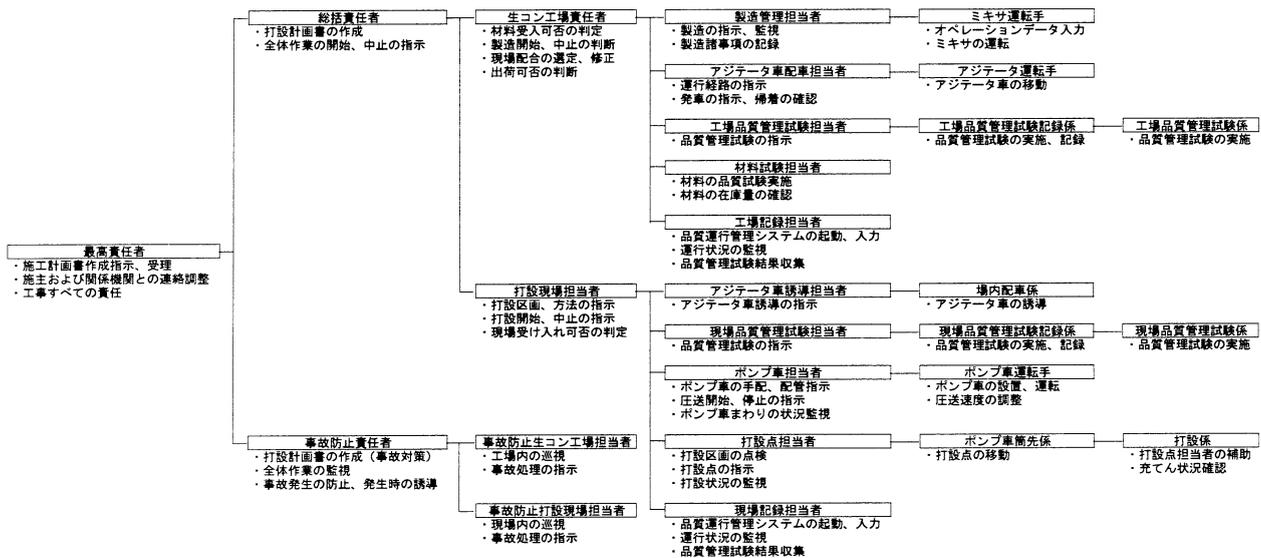


図-11 沈埋函を対象とした品質管理体制の組織図

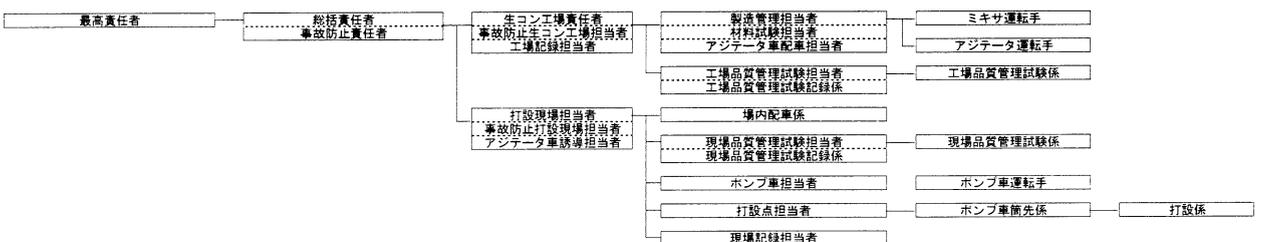


図-12 省力化後の品質管理体制の組織図

細骨材表面水率が不安定であった製造番号20番以前では、スランプフロー値も大きく変動している。その後、細骨材表面水率の変動幅が小さくなるのにもなって、スランプフロー値の変動も小さくなった。

5.2 高性能AE減水剤添加量の変化

高性能AE減水剤添加量とスランプフロー値の関係を図-14に示す。スランプフロー値は、表面水率が安定すると高性能AE減水剤添加量によって制御される。打設後半では、流動性を大きくしたいとの施工上の要求があり、高性能AE減水剤添加量を大きくしてスランプフロー値を管理値範囲内で大きくした。

5.3 温度の変動

外気温度と現場品質管理試験時のコンクリート温度の変動を図-15に示す。施工日の外気温度は3～16程度の範囲で変化し、一方、コンクリート温度は13～17程度の範囲で変化し、製造番号20番以降は17程度で安定した。表面水率の安定と同様に、コンクリート温度の安定もスランプフロー値が安定した原因と考えられる。

5.4 練混ぜ時間

工場では練混ぜ時にミキサーに作用する負荷値が、電流値または作動油圧として表示される。練混ぜ時間と負荷値の例を図-16に示す。ミキサー内に粗骨材以外の材料を投入し練混ぜを開始すると負荷値が上昇し、後に若干低下する。粗骨材を投入すると再び負荷値は増加し、その後、練混ぜが進行すると徐々に低下してある値に収束し、負荷値が収束した後も練混ぜは最初に規定した時間まで継続される。しかし、負荷値が収束すれば高流動コンクリートは十分に練混ぜられていると考えられる。施工上、高流動コンクリートの製造時間を短縮したいとの要求もあり、負荷値の変動傾向とフレッシュ試験の結果とを考慮して練混ぜ時間の短縮を表-10に示す要領で行った。

最終負荷値とスランプフロー値の関係を図-17に示す。施工を行った範囲のスランプフロー値では、最終負荷値との間に明確な相関関係は見られないが、最終負荷値が2.2～3.0MPaの範囲であれば、現場での品質管理試験の際にスランプフローの目標管理値を満たす結果となった。

5.5 時間経過に伴うスランプフロー値の変化

工場でのスランプフロー値と現場品質管理試験時でのスランプフロー値とを比較した結果を図-18に示す。表-9に示す実機試験の結果では工場と現場で5mmのスランプフロー値の差しかなかったが、実施工時には50mm～100mmの差が見られ、この差を考慮して工場出荷時のスランプフローを調整した。

なお、高流動コンクリートの練り上がりから、現場品質管理試験の開始までに要した時間は最大11分であった。

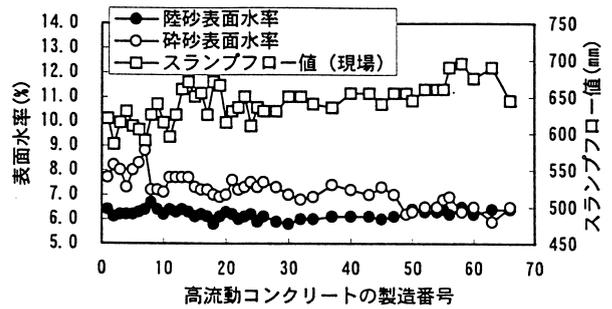


図-13 表面水率とスランプフローの変化

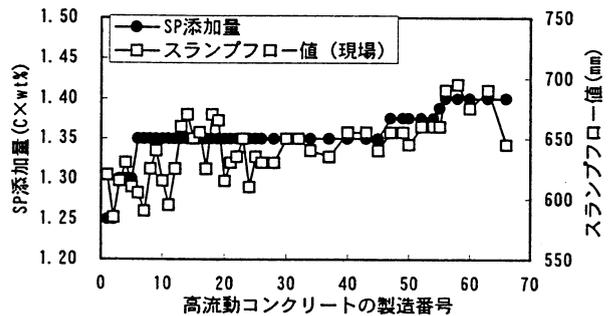


図-14 SP添加量とスランプフローの変化

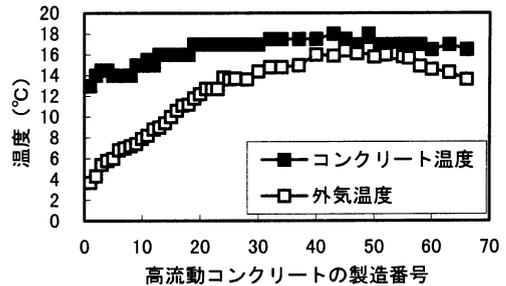


図-15 温度変化

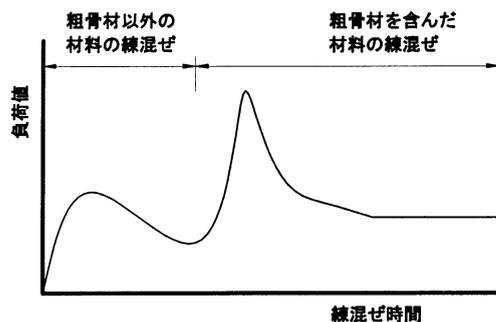


図-16 負荷値の経時変化の例

表-10 練混ぜ時間の推移

製造番号	練混ぜ時間		
	モルタル部分	コンクリート	全体
1～13	30秒	90秒	120秒
14～19	30秒	70秒	100秒
20～66	30秒	60秒	90秒

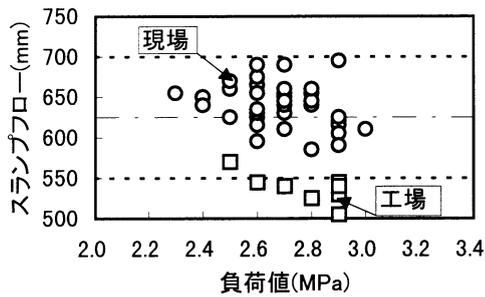


図 - 1 7 最終負荷値とスランプフローの関係

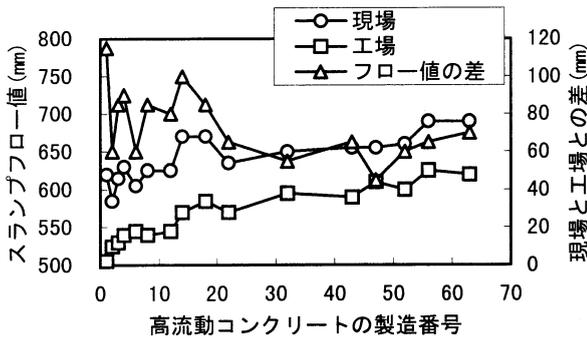


図 - 1 8 スランプフロー値の変化

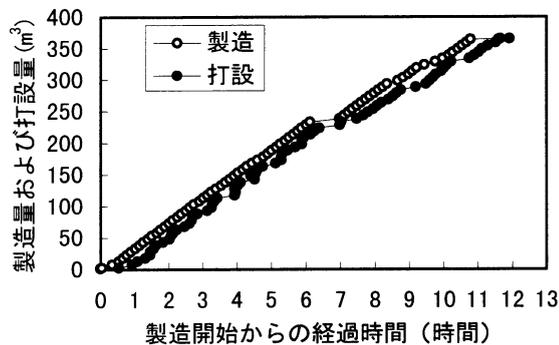


図 - 1 9 製造量および打設量の累計

5.6 高流動コンクリートの製造と打設量

高流動コンクリートの製造量または打設量と製造開始からの経過時間の関係を図 - 1 9 に示す。製造と打設は、製造開始後 6 時間程度までほぼ一定の速度で実施され、この間は工場が高流動コンクリートを連続製造した。その後、施工上の要求により打設速度を低下させたため、現場打設責任者からの生コン工場担当者への指示に従って高流動コンクリートを製造した。

以上のように、図 - 1 2 に示す品質管理体制によって、打設速度の変化にあわせて、高流動コンクリートの製造速度を変化することができ、コンクリートの可使用時間を有効に利用することができた。

6. あとがき

福川伏越カルバート工事を例として、高流動コンクリートの汎用的な配合設計と品質管理手法について考察を加えた結果、以下の知見を得た。

施工条件を熟慮し、適切な高流動コンクリートの種類とランクを選択しなければならない。

高流動コンクリートの種類とランクを選択する際、工場による制約が大きいため、工場の選択は慎重に実施する必要がある。

室内試験では、実施工の際に使用する材料を用いて実験を実施しなければならない。また、施工時の環境温度を再現する必要がある。

実施工の際に予想される変動要因によって、高流動コンクリートのフレッシュ性状がどの程度変化するかを把握する必要がある。

粉体系高流動コンクリートでセメント量が多い場合は、水和発熱量が大きい。したがって、温度ひび割れの懸念が予想される場合は、発熱量を低下させるための考慮が必要である。

細骨材表面水率の変動に伴って、高流動コンクリートのフレッシュ性状も変化する。したがって、細骨材表面水率の管理を徹底する必要がある。

高性能 AE 減水剤の添加量を変化させることによって、高流動コンクリートのフレッシュ性状をある程度制御できる。

高流動コンクリートは、時間の経過、運搬、ポンプ圧送などによって、フレッシュ性状が変化する。したがって品質の変化を予測し、打設時点で目標管理値を満たす高流動コンクリートを製造しなければならない。練混ぜ時間は、ミキサー負荷値と品質管理試験結果をもとに、短縮が可能と判断される場合がある。

謝 辞

本報告は、福川伏越本体工事の施工例をもとに執筆致しました。工事に関係した JV 職員、(株)古郡生コン、太平洋セメント(株)、(株)ボゾリス物産の各位に、紙面を借りて謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートライブラリー 93、高流動コンクリート施工指針、1998.7