

## 論文

## [1020] 高流動コンクリートの配合が施工性及び充填性に及ぼす影響

坂田 昇\*<sup>1</sup>・中下 兼次\*<sup>2</sup>・深田 敦宏\*<sup>3</sup>・万木 正弘\*<sup>4</sup>

## 1. はじめに

東京大学・岡村研究室においてハイパフォーマンスコンクリート [1] が提唱されて以来、コンクリート施工の省力化及びコンクリート構造物の信頼性向上を目指し、高密度配筋部においても自重のみで密実に充填する高流動コンクリート（あるいは超流動コンクリート）に関する研究が盛んに行われ、実用化されつつある。しかし、現時点では実構造物に高流動コンクリートを適用する場合、各構造物ごとに室内試験や施工実験をそれぞれ行って配合、施工法を定めているが、構造物の複雑さの程度や必要流動距離に対して要求されるフレッシュコンクリートの品質について総合的な検討は行われておらず、個々の構造物に対して目標品質やその管理の範囲を定めているのが現状である。今後、高流動コンクリートを一般的に普及させていくためには流動距離や鉄筋間隔等の施工条件に応じてフレッシュコンクリートに要求される品質を明確にする必要がある。

そこで、本研究では品質が異なる高流動コンクリートを製造し、それらを鉄筋間隔等の施工条件が異なる壁体に締固めを行わずに打込む施工実験を行ったので、その結果について報告する。

## 2. 施工実験の内容

## 2.1 概要

実験に用いた部材は、図-1に示す長さ25m、幅1.15m、高さ2.6mの壁体(土留壁の一部)である。この壁体の鉄筋密度を5段階変化させ、フレッシュコンクリートの品質が異なる3種類の高流動コンクリートをそれぞれ締固め作業を行わずにポンプによって壁体に打込んで施工する場合の充填性について検討した。また、製造時の品質のばらつきは、配合及び使用材料によって変化することが考えられ、そのことを実機プラントミキサで製造することによって確認した。

## 2.2 施工実験に供したコンクリート配合及びその性状

今回の実験では、特に製造時のコンクリートの流動性のばらつきを抑制できる特殊増粘剤 [2] の使用の有無及びスランプフローを要因として3種類の高流動コンクリートの配合を選定した。なお、3種類の配合とも水セメント比W/C=53.0%、水微粉末体積比w/p=95.0%とし、石粉を使用した。表-1に示すコンクリート配合を練りませ試験によって選定し、そのコンクリートを施工実験に供した。タイプIは、特殊増粘剤を0.35kg/m<sup>3</sup>使用し、目標スランプフローを65±5cmとした配合であり、また高い充填性を得るために粗骨材量G<sub>vol</sub>を0.33m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>とした。この配合は高い流動性と高い分離抵抗性を有しており、高密度配筋部で比較的流動距離の長くなる施工条件に適しているものと考えられる。タイプIIは、特殊増粘剤を0.20kg/m<sup>3</sup>使用し、目標スランプフローを55±5cmとした配合であり、粗骨材量G<sub>vol</sub>を0.35m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>とした。この配合は比較的流動距離が短くなる施工条件に適しているものと考えられる。タイプIIIは、特殊増粘剤を使用せず、目標スランプフ

\*1 鹿島(株)鹿島技術研究所第二研究部 研究員, 工修(正会員)

\*2 東京ガス(株)生産技術部工場建設グループ

\*3 鹿島(株)建設総事業本部東京支店

\*4 鹿島(株)鹿島技術研究所第二研究部 主管研究員, 工修(正会員)

- コア採取位置
- 採取用窓口
- ▨ 透明型枠

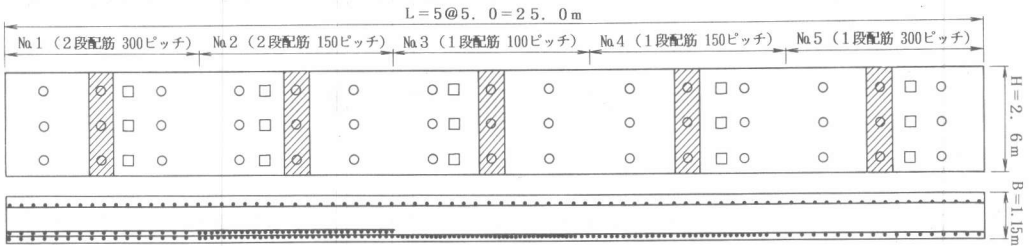


図-1 施工実験に供した壁体

表-1 コンクリート配合及び試験結果

タイプ	W/C (%)	Gvol <sup>1)</sup> (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	目標スランブフロー (cm)	目標空隙率 (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					SP剤 P×% <sup>2)</sup>	AE剤 P×% <sup>2)</sup>	特殊増粘剤 kg/m <sup>3</sup>	スランブフロー (cm)	Vロート 流下時間 (s)	空気量 (%)	凝結時間 (h:min)		圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> ) 材令28日
					W	C	SD	S	G							始発	終結	
I	53.0	0.33	65±5	4±1	175	331	216	701	891	1.55	0.02	0.35	66.5	6.3	4.4	7:20	10:10	437
II	53.0	0.35	55±5	4±1	170	321	208	680	942	1.30	0.02	0.20	51.0	9.2	4.1	6:40	9:00	457
III	53.0	0.37	65±10	4±1	164	309	203	657	995	1.35	0.02	0.0	67.0	12.0	3.4	10:00	13:00	452

1) 1 m<sup>3</sup>当りの粗骨材容積比率 (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)

(コンクリート温度: 21.0°C)

2) P = セメント + 石粉

(使用材料)

セメント: 普通ポルトランドセメント (比重3.16)

石粉(SD): 舗装用石灰石粉 (JIS A 5008, 比重2.70)

細骨材: 山砂 (比重2.60, 粗粒率2.71, 含水率1.43%)

粗骨材: 碎石 (Gmax20mm, 比重2.69, 粗粒率6.62, 実積率62.7%)

混和剤: 高性能減水剤 (SP剤, β-ナフタリンスルホン酸系),

A E 剤 (アルキルアクリル系),

特殊増粘剤 (水溶性ポリサッカライド)

ローを65±10cm とした配合であり、粗骨材量 Gvolを0.37m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>とした。ここで、スランブフローの管理範囲は一般に±5cmとされているが、特殊増粘剤を使用しない高流動コンクリートでは、多くの場合±10cm 程度ばらつくことが実状であり、実際にはこの程度の管理幅でも一般的な配筋部への打込みにおいては十分に充填することが報告されている [3]。このようなタイプⅢは比較的流動距離が長くなるが鉄筋間隔が比較的大きい施工条件に適しているものと考えられる。なお、タイプⅡ、Ⅲでは、スランブフローを60分程度保持させるため、徐放剤混入型の高性能減水剤を用いた。事前の配合選定試験において得られた各タイプのスランブフロー及びV型ロート試験 [4] の流下時間 (以下、Vロート流下時間) 等のフレッシュコンクリートの性状及び硬化コンクリートの性状を表-1に示す。

### 2.3 配筋

一回の実験で高密度配筋部及び一般的な配筋部へのコンクリートの充填性を検討できるように、図-1に示す長さ25mの壁体をNo.1~No.5の5つの区間に分け、各区間で型枠側の配筋を変化させた。具体的には、全域において横筋をD29ctc150mmとし、縦筋をNo.1でD25ctc300mm, No.2でD25ctc150mm, No.3でD25ctc100mm, No.4でD25ctc150mm, No.5でD25ctc300mmとし、かぶりを100mmとした。なお、No.1及びNo.2の区間では、それぞれ2段配筋とし、鉄筋網を壁厚方向に100mm間隔で配置した。

### 2.4 コンクリートの製造及び施工

コンクリートの製造は、プラントミキサ (強制二軸式, 容量3m<sup>3</sup>) を用いて行い、1バッチ2.5m<sup>3</sup>を練りませ、2バッチ分をアジテート車に積んで約30分間隔で出荷した。練りませ時間は配合にかかわらず60秒一定とした。アジテート車一台ごとに細骨材の表面水率を測定し、水分補正を行った。施工は、ポンプを用いてタイプⅠ、Ⅱ、Ⅲの順に各々30, 25, 30m<sup>3</sup>ずつ打込んだ。ポンプの筒先は、壁厚方向の中央部に設置し、コンクリートの打込み状況に応じて筒先を適宜壁長

表-2 測定項目

目的	測定項目
製造時の品質のばらつきの確認	スランプフロー、Vルート流下時間、空気量
流動性状の確認	打込み時の流動勾配
流動による品質変化の確認	スランプフロー、洗い試験による粗骨材量、コアの圧縮強度及び静弾性係数
表面部への充填及び鉄筋による粗骨材の分離の確認	壁体表面の観察、コアの表面部と中央部の粗骨材面積

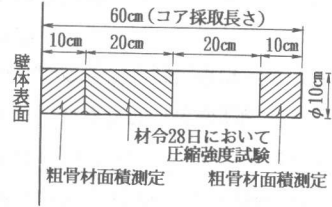


図-2 コア供試体

さ方向に移動させた。打込み速度は平均打上り高さで40cm/hとした。

### 2.5 測定項目

施工実験において、目的に応じて表-2に示す測定を行った。製造時の品質のばらつきを確認するため、アジテート車全車について、プラント出荷時及び現場着時のスランプフロー、Vルート流下時間及び空気量を測定した。また、流動状況を確認するため、図-1に示す位置に透明型枠を設けて流動勾配を測定した。さらに、流動による品質変化を確認するため、フレッシュコンクリートの性状として筒先及び流動先端部のスランプフローを、硬化コンクリートの性状として壁体各部から採取したコア供試体の圧縮強度及び静弾性係数を測定した。ここで、流動先端部の試料は図-1に示す位置に設けた採取用窓口より採取した。また、長さ60cm、φ10cmのコアを図-1に示す位置から材令14日~21日において水平方向に45本採取し、図-2に示す位置の供試体について材令28日において試験を行った。かぶり部への充填性及び鉄筋による粗骨材の分離を確認するため、壁体表面部の観察及びコアの表面部より10cmまでの区間(かぶり部)と中央部の10cmの区間について粗骨材面積を測定した。

表-3 現場着時のフレッシュコンクリートの性状

タイプ	データ数	スランプフロー(cm)				Vルート試験の流下時間(s)			
		平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
I	6	66.8	69.5	62.5	2.5	7.3	9.6	5.7	1.3
II	5	53.3	57.5	50.5	2.6	8.3	10.0	6.8	1.3
III	6	70.7	73.5	65.5	3.8	11.9	24.0	4.6	11.9

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 製造時の品質のばらつき

各タイプのコンクリートの現場着時のフレッシュコンクリートの性状及びそのばらつきを表-3に示す。また、図-3に細骨材の表面水率の測定結果を示すとともに、プラント出荷時及び現場着時のアジテート車ごとのスランプフロー、Vルート流下時間及び空気量の変動を示す。なお、プラントから現場までの運搬時間は15~20分であった。試験当日降雨がありその影響も受け細骨材の表面水率は7.1~8.6%の範囲で変動した。これらの測定値を用いて現場配合を補正し、コンクリートを練り混ぜた結果、タイプIでは現場着時のスランプフローが平均66.8cm、標準偏差2.5cmで、Vルート流下時間が平均7.3s、標準偏差1.3sであり、バッチ間のばらつきが極めて小さい結果と

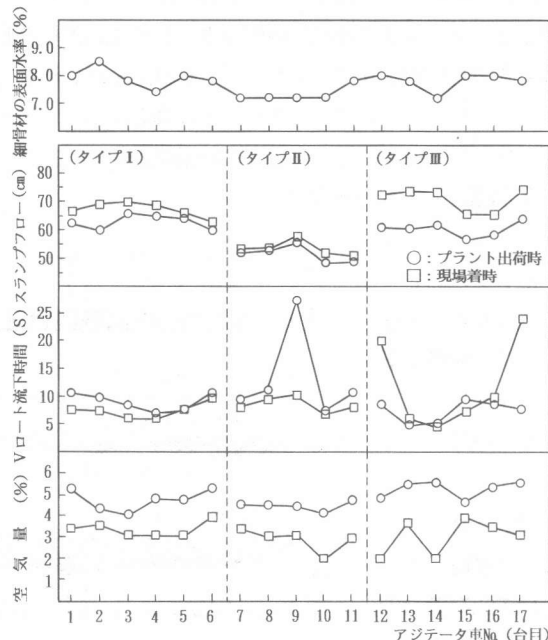


図-3 表面水率測定結果及びフレッシュコンクリートの品質のばらつき

なった。また、プラント出荷時と現場着時の差もスランプフローで約2cm、Vロート流下時間で約2sと小さかった。タイプIIではプラント出荷時においてVロート流下時間が25s以上のコンクリートが存在したが、現場着時のスランプフローが平均53.3cm、標準偏差2.6cmで、Vロート流下時間が平均8.3s、標準偏差1.3sであり、タイプIと同様にバッチ間のばらつきが小さい結果となった。このようにスランプフローのばらつきが小さくなった理由として、特殊増粘剤の添加による高性能減水剤の鋭敏な分散効果の緩和が考えられる[2]。また、Vロート流下時間のばらつきが小さくなった理由の一つとして、特殊増粘剤の添加によるモルタル部の粘性の増加が粗骨材のブロッキングを緩和したことが考えられる。これに対し、タイプIIIではスランプフローが平均70.7cm、標準偏差3.8cmで、Vロート流下時間が平均11.9s、標準偏差11.9sであり、バッチ間のばらつきが大きい結果となった。特に、Vロート流下時間は、6回の測定のうち、2回が20秒以上となっている。これはタイプIIIでは粗骨材量が多いことと特殊増粘剤を使用していないことから粗骨材のブロッキングが生じやすくなり、流下時間が大幅に遅くなったものであり、打込んだコンクリートの充填性は良くないものと予測された。また、プラント出荷時に比べて現場着時のスランプフローは10cm程度増大する結果となった。この理由の一つとして、高性能減水剤に含まれる徐放剤の効果が考えられる。空気量は各タイプともにプラント出荷時に比べて現場着時の方が小さくなる傾向を示したが、その変動はタイプIが最も小さく、次いでタイプII、IIIの順であった。

このように、特殊増粘剤を適正量添加することによって、スランプフロー及びVロート流下時間のバッチ間のばらつきを小さくできるのに対し、特殊増粘剤を使用せず、粉体と高性能減水剤によって高流動したコンクリートは、バッチごとに細骨材の表面水率を補正してもスランプフローのばらつきがある程度生じる結果となった。

### 3.2 流動状況

図-4に各タイプのコンクリートのポンプの筒先位置と打上り状況を示す。タイプIではポンプの筒先をほとんど移動させなくとも、片側12.5mをコンクリートが流動勾配1/30~1/83程度で流動した。タイプIIでは流動性が小さいため長距離を流動させることができず、3か所にポンプの筒先を随時移動させてコンクリートを打込んだ。流動勾配は1/10~1/13と比較的大きくなった。タイプIIIではタイプIIでコンクリートの表面に起伏ができたこともあって、ポンプの筒先を移動させてコンクリートを打込み、その結果流動勾配は1/28~1/58と比較的小さくなった。

### 3.3 流動による品質変化

図-4に示すように、ポンプの筒先を移動させたことから各タイプの流動距離は、タイプIで0~12.5m、タイプIIで0~6m、タイプIIIで0~6mであった。図-5に現場着時、ポンプの筒先及び流動先端部（5か所の試料

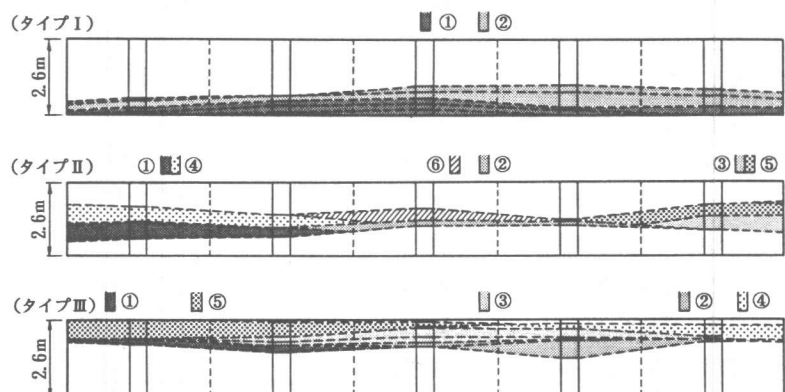


図-4 打込み時の流動勾配

採取用窓口から採取)のスランプフローの比較を示す。ここで、現場着時及び筒先の値は測定値の平均である。したがって、現着及び筒先と流動先端部は同一のコンクリートのスランプフローを比較したものではないが、ここではスランプフローの変動が概ねどの程度であるかについて検討した。

タイプIのスランプフローは採取位置にかかわらずその変動は小さいものであった。タイプIIでは流動先端部においてスランプフローの低下が認められ、流動先端部のスランプフローは38~41cmであった。タイプIIIではタイプIと比較するとスランプフローの変動が大きくなった。流動先端部より採取したコンクリートの洗い試験の結果、各タイプともに採取場所にかかわらず配合の粗骨材量に対して90~110%程度の粗骨材が存在する結果となった。

硬化後採取したコア供試体の圧縮強度及び静弾性係数の試験結果を表-4に示す。圧縮強度の変動係数はそれぞれサンプル数15個に対して、タイプIで3.5%、タイプIIで9.9%、タイプIIIで7.3%であり、いずれも10%以下であり、特にタイプIではばらつきが極めて小さい結果となった。図-6に各タイプごとに各区間より3本ずつ採取したコアの圧縮強度及び静弾性係数の平均値及びその範囲を示す。図-6に示すように各タイプともに鉄筋密度による影響はほとんど認められなかった。また、流動距離がタイプIで12.5m、タイプIIIで6.0m以下では、圧縮強度のばらつきへの影響はほとんど認められなかったが、タイプIIでは流動距離が4~6mとなる区間No.2及びNo.4で圧縮強度のばらつきが比較的大きくなり、また、流動距離が2m以下となる区間No.1、No.3及びNo.5でそのばらつきは比較的小さい結果となった。静弾性係数の変動係数は、タイプIで4.2%、タイプIIで10.6%、タイプIIIで12.1%であり、タイプIではばらつきが小さかったが、タイプII、IIIではばらつきが大きく、特にタイプIIでは区間No.2、タイプIIIでは区間No.3の静弾性係数のばらつきが大きくなった。静弾性係数が $2.0 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 程度と小さくなったコアはともに粗骨材は均一に分布していたが、圧縮強度及び単位容積重量は、コア平均値に対しそれぞれ80~85%、95~96%であった。このようなことから、区間No.2では、流動距離が4mと比較的長く部分的に充填が不十分であったことが考えられる。また、区間No.3では流動距離が2mと比較的短かったことから主にフレッシュコンクリートの品質のばらつきの影響を大きく受けたものと考えられる。

このように、壁体にポンプによって締固めずにコンクリートを打込む条件で、かぶり部の鉄筋が横筋D29ctc150mm、縦筋D25ctc100mmを1段配筋あるいは横筋D29ctc150mm、縦筋D25ctc150mmを2段

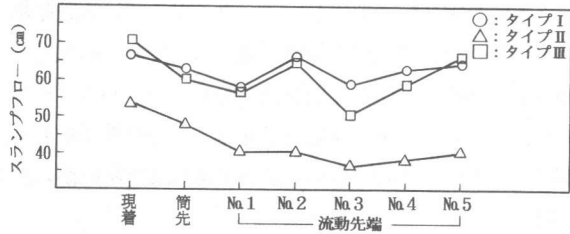


図-5 採取位置によるスランプフローの変化

表-4 コア供試体の圧縮強度及び静弾性係数

タイプ	データ数	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )				静弾性係数 (x10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )			
		平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
I	15	479	503	444	16.6	3.11	3.28	2.92	0.13
II	15	437	493	352	43.1	3.10	3.36	2.00	0.33
III	15	455	503	398	33.4	3.21	3.58	2.06	0.39

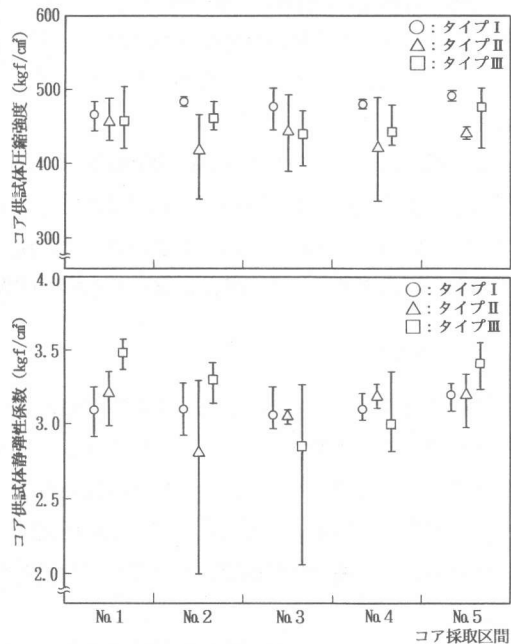


図-6 コア供試体の圧縮強度及び静弾性係数

配筋と比較的密な配筋部において、タイプⅠでは流動距離12.5m以下で鉄筋密度及び流動距離にかかわらず圧縮強度及び静弾性係数が均一である結果となった。また、タイプⅡでは、流動距離が2m以下の条件で鉄筋密度及び流動距離にかかわらず圧縮強度及び静弾性係数が均一である結果となった。さらに、タイプⅢでは部分的に静弾性係数のばらつきが大きくなり、タイプⅠより品質が劣るものの、流動距離が6m以下であれば流動距離にかかわらず圧縮強度がほぼ均一である結果となった。

### 3.4 壁体表面部への充填及び鉄筋による粗骨材の分離

壁体の表面は、タイプⅡで流動距離が4~6mとなる一部分で空気あばた（直径1~3cm, 深さ0.5~1cm）が観察されたが、壁体表面全体に対するあばたの面積は0.01%であった。また、タイプⅠ及びⅢでは、あばた、ジャンカ等はまったくなく、極めて平滑であった。

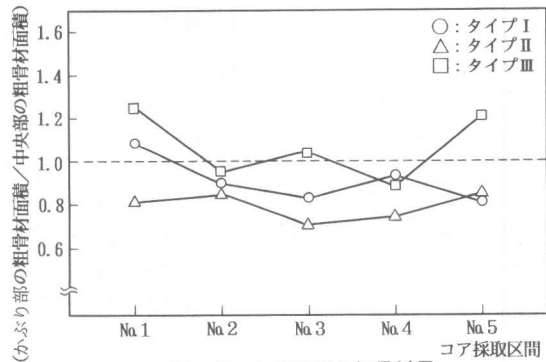


図-7 かぶり部の粗骨材量

コア採取区間ごとのコア供試体の壁体かぶり部と中央部の粗骨材の面積の比を図-7に示す。図に示すように鉄筋量が多い区間No. 2及びNo. 3でかぶり部の粗骨材が少なくなる傾向が認められるが、全体的に壁体中央部に対するかぶり部の粗骨材の面積はタイプⅠ, Ⅲで80%以上、タイプⅡで70%以上であり、かぶり部においても壁体中央部と同程度の粗骨材が存在する結果となった。

## 4. まとめ

本研究で得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- (1)特殊増粘剤を添加することによってスランプフロー等のばらつきの小さいコンクリートを製造できることを確認した。また、充填性の良い高流動コンクリートの配合でフレッシュコンクリートの性状を均一にすることによって、水平距離12.5mを流動させてもコンクリート中の粗骨材が一樣に分布し、高密度配筋部においても圧縮強度及び静弾性係数等の品質が均一になることが分かった。
- (2)タイプⅡのように、材料分離抵抗性を考慮した配合でスランプフローが55cm程度と流動性が比較的小さいコンクリートでは、流動距離が2m以下の条件で鉄筋密度及び流動距離にかかわらず圧縮強度及び静弾性係数等の品質が均一になることが分かった。
- (3)タイプⅢのように、スランプフローが65cm程度と大きく、その範囲が±10cmとばらつきが比較的大きいコンクリートでは、部分的に静弾性係数のばらつきが大きくなるものの、流動距離が6m以下であれば流動距離にかかわらず圧縮強度等の品質がほぼ均一になることが分かった。

このように、今回の実験では、壁状構造物といった限られた施工条件ではあったが、3種類の高流動コンクリートの配合について、フレッシュコンクリートの品質と打込んだコンクリートの充填度や強度等の品質との関係にある程度定量的に把握することができた。

今後はさらにフレッシュコンクリートの品質と施工条件との関係を定量的に把握し、高流動コンクリート配合設計手法及び施工法の提案を行っていく予定である。

#### 参考文献

- [1] 小沢一雅・前川宏一・岡村 甫：ハイパフォーマンスコンクリートの開発，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.11.No.1 pp699-704,1989.6
- [2] 万木正弘・坂田 昇・岩井 稔：特殊増粘剤を用いた締固め不要コンクリートに関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14.No.1 pp51-56,1992.6
- [3] 平野利光ほか：LNGタンク防液堤における超流動コンクリートの導入，土木学会第47回年次学術講演会概要集，第5部 pp606-607, 1992.9
- [4] 坂田 昇・伊藤孔一・若松 岳・小沢一雅・岡村 甫：フレッシュコンクリートの充填性評価のためのロード試験，土木学会第47回年次学術講演会概要集，第5部 pp566-567, 1992.9