

地下連続壁への高流動コンクリートの適用に関する基礎的研究

井戸 勇二* 藤原 正稔**
 北本 利男** 結城 知史***
 阿部 哲良* 大村 隆一郎*

要 旨

近年の地下連続壁工法の規模・用途の拡大にともなう、機械や安定液の改良はもとより、適用するコンクリートも高品質化が要求されている。特に、コンクリートの充填不足は著しい品質低下となるため、今回溝壁内の過密配筋下でも、密実な充填が可能なコンクリートの適用性について検討した。実験では、①スランプ18cmの普通コンクリート、②スランプフロー55cmの高流動コンクリート、③スランプフロー65cmの高流動コンクリートの3種類を対象とした。これら3種類のコンクリートについて、地下連続壁の過密配筋状態を模擬したモデルに安定液中でトレミー管打設する充填性確認実験を行い、充填性の違いを評価した。

1. まえがき

地下連続壁工法のコンクリートの高品質化への要求と自己充填性のある高流動コンクリートの開発・普及にともない、地下連続壁にも高流動コンクリートを採用する例が見られるようになった。高流動コンクリートを採用する理由としては、過密配筋下での施工性・充填性・均質性を確保することがあげられ、今後もその採用は増えるものと思われる。ここでは、呼び強度40N/mm²の流動性の異なる3種類のコンクリートについて、過密配筋を模擬した試験体への打設を試み、その充填性の違いを確認した。

2. コンクリートの仕様

地下連続壁の過密配筋下へのコンクリート打設にあたって、充填性の高いと考えられる以下の3種類のコンクリートを選定した。

- ①普通コンクリート
(スランプ18cm、以後SL18と呼ぶ)
- ②高流動コンクリート
(スランプフロー55cm、同SF55)
- ③高流動コンクリート
(スランプフロー65cm、同SF65)

これら、3種類のコンクリートの配合は、設計基準強度40N/mm²を満足し、材料分離の無いものとする。コンクリートの基本仕様を表-1に、使用材料および物性・成分を表-2に示す。普通コンクリートについては、配合強度が高く、セメント量も多くなるので、高性能AE減水剤を使用するものとする。高流動コンクリートについては、増粘剤および高性能AE減水剤を使用する増粘剤系高流動コンクリートとする。また、コンクリートの練混ぜ方法は、図-1に示すようにセメントと

骨材による空練りを行ったあと、加水して本練りを行うものとする。

表-1 コンクリートの基本仕様

項目	①SL18	②SF55	③SF65
	基準値		
呼び強度	40N/mm ²		
配合強度	48.8N/mm ²		
空気量	4.5% ± 1.5%		
スランプ	18cm ± 2.5cm		
スランプフロー		55cm ± 5cm	65cm ± 5cm

表-2 使用材料

名称	記号	種類	物性および成分
水	W	上水道水	比重1.0
セメント	C	高炉セメントB種	比重3.04、 比表面積4080cm ² /g
細骨材	S	市原産山砂	表乾比重2.61、吸水率2.06、 FM2.75、洗い試験0.9%
粗骨材	G	美祿産碎石	表乾比重2.70、吸水率0.54、 FM6.87、洗い試験0.72%、 実積率61.0%、最大寸法20mm
混和剤	VA	増粘剤	低界面活性型メチルセルロース系、 比重1.0、②③に適用
	SP1	高性能AE減水剤	アミノホリン酸系、比重1.05、 ①に適用
	SP2	〃	マリン酸系、比重1.05、 ②③に適用、
	AE	AE剤	比重1.0



図-1 練混ぜ方法

*技術研究所 **東京支店 ***第一技術部

3. 室内試験による配合検討

3. 1 配合設計

室内試験により、3種類のコンクリートの配合設計を行った。コンクリートの性状は表-3の試験項目の管理値を製造後60分間満たすものとした。練混ぜは、水平2軸強制練りミキサー（容量100リットル）で行った。

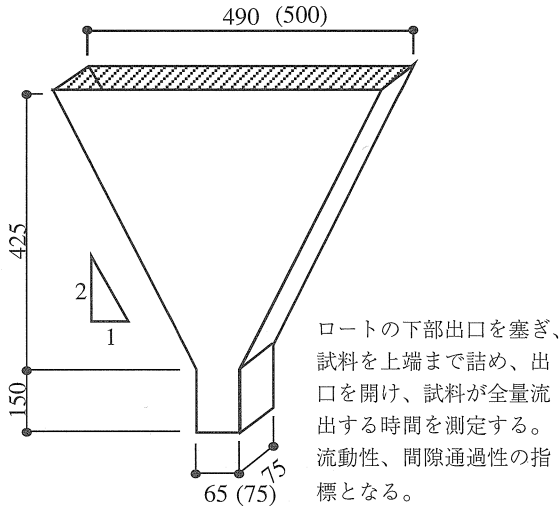
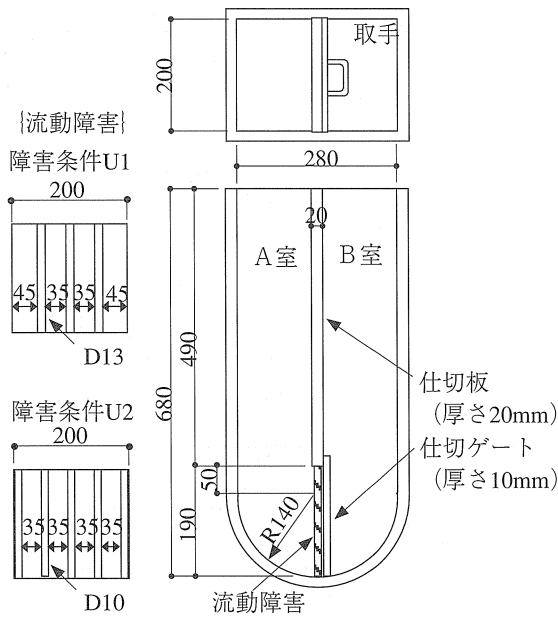


図-2 V 65 (75) ロート試験器²⁾



流動障害を取付、仕切ゲートを閉じ、試料をA室に上端まで詰め、仕切ゲートを開き、B室に流れ込んだ試料の高さを測定する。間隙通過性、自己充填性の指標となる。

図-3 U型充填試験器²⁾

表-3 試験項目および管理値

試験項目	試験方法	管理値
スランプ [°]	JIS A 1101	①の場合、18cm ± 2.5cm
スランプ [°] フロー	JIS A 1101	②の場合、55cm ± 5cm、 ③の場合、65cm ± 5cm
スランプ [°] フロー 50cm到達時間	スランプ [°] フローが 50cmに達 する時間	10秒以下が標準、 3秒以下で分離気味
V 65 [°] フロー 流下時間	図2参照	②③の場合、20秒以下
V 75 [°] フロー 流下時間	図2参照	
U型充填高さ	図3参照	配合決定参考値：
空気量	JIS A 1128	4.5 ± 1.5 %
コンクリート温度	棒状温度計	35℃以下
単位容積質量	空気量試験 試料による	
圧縮強度	JIS A 1108	設計基準強度以上

配合設計は図-4のフローに従って行った。まず、配合強度により水セメント比が与えられ、単位水量、単位セメント量を設定する。次に、粗骨材量は、試し練りの性状を見ながら設定する。さらに、高性能AE減水剤、増粘剤量を所定の品質管理値が得られるように調整する。所要の品質が得られるまで、各材料の単位量の補正を行い、配合を決定する。

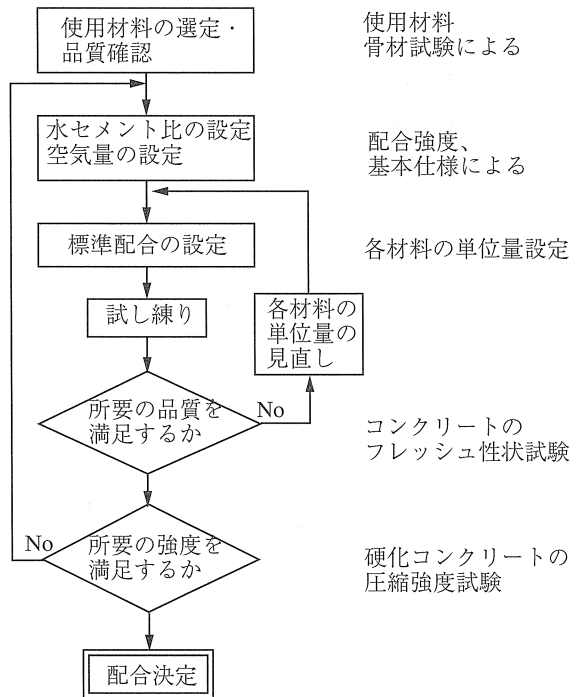


図-4 配合設計フロー

3. 2 決定配合

室内試験より得られた3種類の性状のコンクリートの示方配合を表-4に示す。スランプフロー55cmの高流動コンクリートは、スランプフロー65cmの高流動コンクリートの配合の混和剤添加量を調整することにより得られた。

これらの3種類の配合のコンクリートは、生コンクリートプラントの実機ミキサ(水平強制2軸練り、容量3m³)による試し練りでも、品質管理値内の性状が得られた。

普通コンクリート(SL18)と高流動コンクリート(SF65)による靴型充填試験器への充填状況を写真-1に示す。同試験器の内部には棒状の障害物φ16mmが配置されており、その純間隔は35mmで、対象とする模擬試験体の鋼材最小間隔とほぼ同等のものである。

この容器の上部からコンクリートの流し込みを行っ

たところ、普通コンクリート(SL18)は、開口の直下まではコンクリートが届いたが、そこで閉塞し、横方向への流動はなく容器内は充填されなかった。一方、高流動コンクリート(SF65)は振動・締め固め無しに、容器全体に充填された。

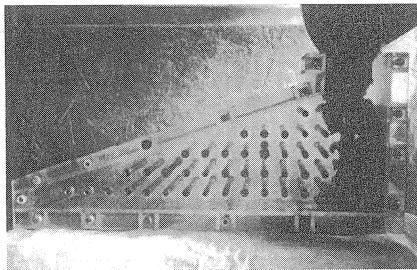
4. 充填性確認実験

4. 1 実験概要

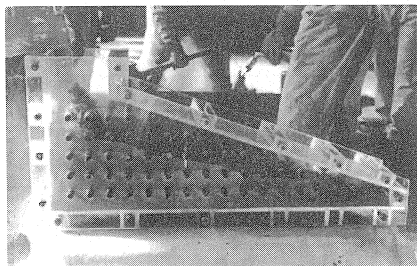
前項で得られた3種類の性状のコンクリートを、壁厚1.5mの地下連続壁の継手部の過密配筋部を模擬した4体の試験体に打設し、充填状況を観察した。高流動コンクリート(SF65)については気中および安定液中で打設し、高流動コンクリート(SF55)と普通コンクリート(SL18)については安定液中で打設した。試験体(1.5m×1.5m×2m)の形状、鉄筋配置を図-5に示す。鉄筋部は4段重ねとし、1試験体当たり2タイプの配

表-4 示方配合

No	品質管理値			W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				増粘剤添加量 (W%)	高性能AE減水剤添加量 (C%)	AE剤添加量 (C%)
	スランプ (cm)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)			W	C	S	G			
1		65 ± 5	4.5 ± 1.5	36.0	49.2	180	500	784	837	0.22	1.80(SP2)	0.030
2		55 ± 5	4.5 ± 1.5	36.0	49.2	180	500	784	837	0.22	1.20(SP2)	0.030
3	18 ± 2.5		4.5 ± 1.5	36.0	41.0	170	472	834	836	0.27	1.70(SP1)	0.012



普通コンクリート (SL18) の充填状況



高流動コンクリート (SF65) の充填状況

写真-1 靴型試験器充填試験

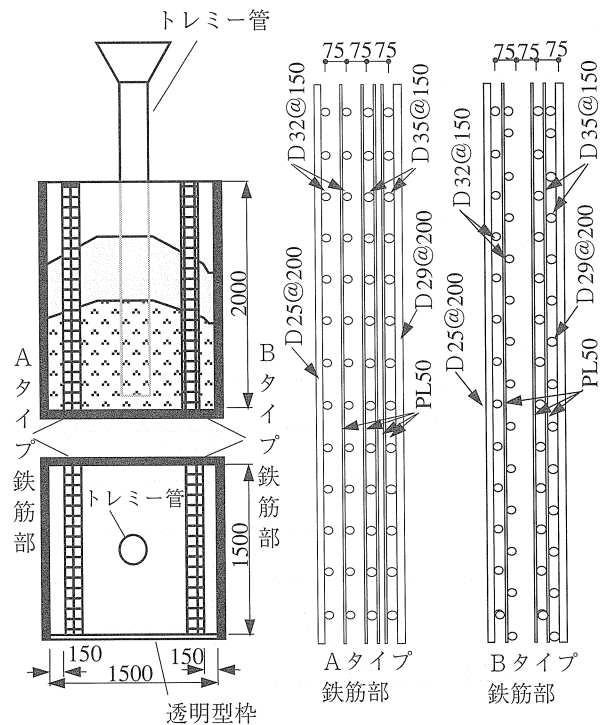


図-5 充填実験試験体

筋状態 (Aタイプ、Bタイプ) を両端部に設置した。試験体の配筋状況を写真-2に示す。型枠の側面1面は透明型枠とし、側面から充填状況が確認できるようにした。各試験体の打設条件および試験内容を表-5に示す。

コンクリートの製造は試験体ごと (4.5m³) に行った。配合は前項より得られた配合から、当日の骨材の微粒分量、表面水率を考慮し、現場配合に修正した。5 m³ 積みのアジテータ車1台に1試験体分のコンクリートを積載し、表-3の項目の品質管理試験を工場出荷時および現場荷卸時に実施した。現場における試験値が管理値内にあることを確認して、それぞれの試験体に打設した。なお、試験値が管理値外となる場合は、配合修正を行い、再度製造、品質管理試験を行うこととした。いずれの試験体も、アジテータ車の運搬時間は約30分で、製造から打込み終了までは60分以内であった。

コンクリートの打設はφ250mmのトレミー管の筒先を試験体の中央で底面から300mmの位置に固定し、ここに品質管理試験で合格となったコンクリートをポンプ車により打設速度20m³/hrで圧送した。

トレミー管位置でのコンクリート高さがH=1m、1.5m、2m時に打設を一時中断し、コンクリート天端の勾配と高さを測定した。

安定液中打設の試験体については、打設前に試験体の天端まで安定液を満たし、コンクリートを打設するとともに、泥水を回収した。

3種類の配合のコンクリートについては、強度管理用供試体を採取し、材齢7日、28日で圧縮強度試験を行った。また、コンクリート硬化後、試験体No.2、No.4

において、コア供試体を採取し、圧縮強度、密度の確認と、垂直に断面を切断し、充填状況を観察した。

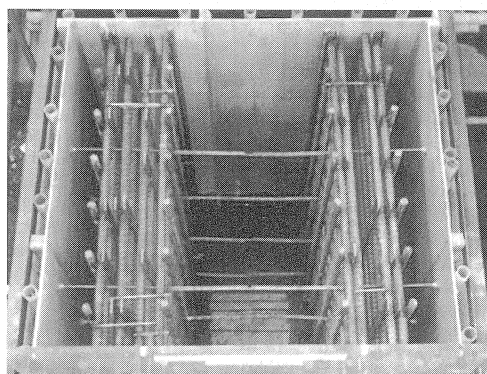


写真-2 配筋状況

表-5 実験条件と試験内容項目

試験体No.	コンクリート配合	打設条件	試験内容
1	高流動コンクリート スランプ ^o フロ-65cm	気中打設	・工場出荷時および現場荷卸時のフレッシュ試験 ・流動性、充填状況の観察
2	高流動コンクリート スランプ ^o フロ-65cm	安定液中打設	・工場出荷時および現場荷卸時のフレッシュ試験 ・充填状況の観察 ・コア供試体の密度、圧縮強度 ・カット断面の観察
3	高流動コンクリート スランプ ^o フロ-55cm	安定液中打設	・工場出荷時および現場荷卸時のフレッシュ試験 ・充填状況の観察 ・コンクリート強度の確認
4	普通コンクリート スランプ ^o 18cm	安定液中打設	・工場出荷時および現場荷卸時のフレッシュ試験 ・充填状況の観察 ・コア供試体の密度、圧縮強度 ・カット断面の観察

表-6 フレッシュ試験結果

試験体No	配合打設条件	試験場所	スランプ ^o (cm)	スランプ ^o フロ- (cm)	50cm到達時間(sec)	V75ロ-ト 流下時間(sec)	V65ロ-ト 流下時間(sec)	U2型 充填高さ(mm)	空気量(%)	単位容積質量(t/m ³)	コンクリート温度(°C)
1	高流動コンクリート SF65 気中打設	工場		64.0	7.58	9.99	12.40	357	4.8	2.30	10.8
		現場		64.0	8.37	9.30	9.89	355	4.0		7.5
2	高流動コンクリート SF65 安定液中打設	工場		58.5	6.35	10.83	15.20	352	5.0	2.30	10.5
		現場		64.0	7.54	9.66	11.50	358	4.6		10.3
3	高流動コンクリート SF55 安定液中打設	工場		49.5	8.37	13.19	15.60	342	5.8	2.25	11.0
		現場		57.0	11.97	10.33	14.00	345	5.0		10.5
4	普通コンクリート SL18 安定液中打設	工場	22.5						6.0	2.26	10.7
		現場	20.5						5.3		11.0

4.2 フレッシュ性試験結果

使用したコンクリートのフレッシュ性試験の結果を表一六に示す。試験体に打設されたコンクリートは、現場荷卸時においては、いずれも設定した品質管理値内にあり、材料分離の無いものであった。特に2種類の高流動コンクリートはU2型充填試験の充填高さが300mm以上となり、自己充填性に優れたものが製造できた。

4.3 安定液品質試験結果

コンクリート打設前の新液と打設完了後の回収液の品質試験の結果を表一七に示す。打設前後で安定液の比重および粘性についての劣化は無く、コンクリートの充填性に安定液の品質による悪影響はなかったと考えられる。

4.4 打設状況観察結果

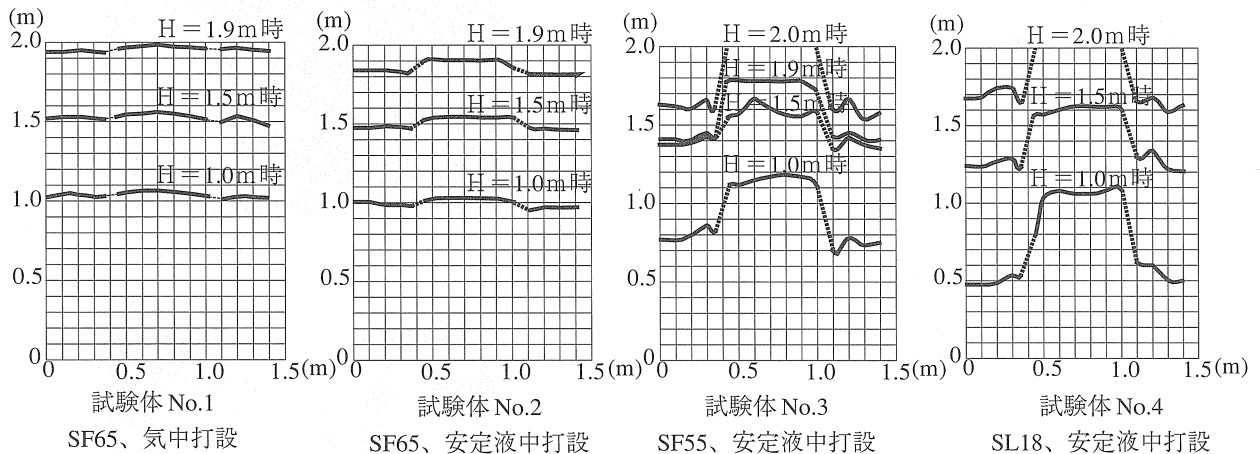
透明型枠面において打設中のコンクリート天端位置を測定した結果を図一六に示す。また、鉄筋部内側と鉄筋部外側の型枠面でのコンクリート天端の段差、勾配を表一八に示す。いずれも打設を途中で中断し、コンクリートの流動が停止したときに測定した。

高流動コンクリート(SF65)の気中打設(試験体No.1)および安定液中打設(試験体No.2)では、段差・

勾配は違いは無く、Aタイプ鉄筋側で段差5cm、勾配1/14、Bタイプ鉄筋側で段差7cm、勾配1/10となった。一方、試験体No.3(SF55)では、段差、勾配が大きくなり、試験体No.4(SL18)においては、それがさらに大きくなり、Aタイプ鉄筋側で段差43cm、勾配1/1.6、Bタイプ鉄筋側で段差45cm、勾配1/1.6となった。

表一七 安定液品質試験結果

測定項目	新液	回収液
比重	1.028	1.022
粘性(秒)	23.31	22.34
見掛粘度(cp)	11.0	10.0
ろ水量(cc)	13.4	14.4
ケーキ厚(mm)	0.8	0.7
pH値	9.90	10.11
砂分率(%)	-	0.1以下
電気伝導率(μ S/cm)	1613.0	1534.0



図一六 試験体ごとのコンクリート天端

表一八 試験体ごとのコンクリート天端の勾配

試験体No.	コンクリートの種類	打設条件	Aタイプ側		Bタイプ側	
			段差	勾配	段差	勾配
1	高流動コンクリート(SF65)	気中打設	5cm	1/14	7cm	1/10
2	高流動コンクリート(SF65)	安定液中打設	5cm	1/14	7cm	1/10
3	高流動コンクリート(SF55)	安定液中打設	33cm	1/2.1	35cm	1/2.0
4	普通コンクリート(SL18)	安定液中打設	43cm	1/1.6	45cm	1/1.6

高流動コンクリート (SF65) の場合、図-7 に示すように、打設中はコンクリート天端が、鉄筋かご内側およびかぶり部共に均等に押し上がって充填されていった。普通コンクリート (SL18) の場合は、図-8 に示すように、鉄筋かご内側が、まず盛り上がり、鉄筋部、かぶり部分では内側のコンクリートの天端付近からコンクリートが崩れるように落下して充填されていった。そのため、落下したコンクリートの下部に安定液が巻き込まれることが確認された。

4. 5 硬化後の充填状況観察結果

試験体脱型後の状況を写真-4～6 に示す。試験体 No.2 (SF65) は表面に未充填部が無く、密実に充填されている。試験体 No.3 (SF55) は、Aタイプ鉄筋が一

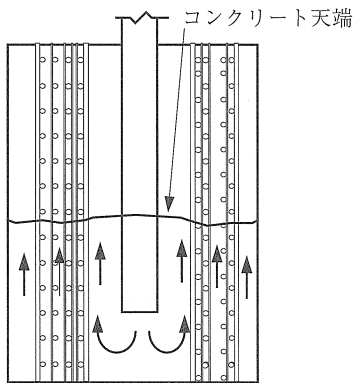


図-7 高流動コンクリートの充填状況

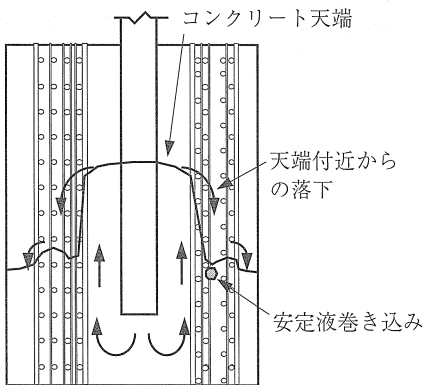


図-8 普通コンクリートの充填状況

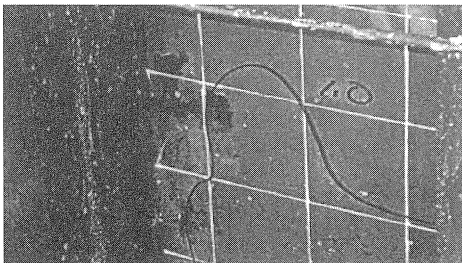


写真-3 普通コンクリートの泥水巻き込み

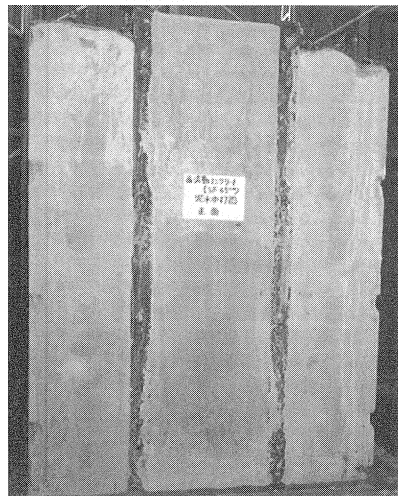


写真-4 試験体 No.2 (SF65) のコンクリート表面

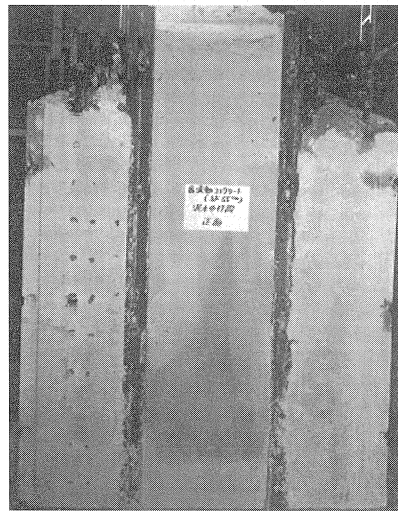


写真-5 試験体 No.3 (SF55) のコンクリート表面



写真-6 試験体 No.4 (SL18) のコンクリート表面

部露出しており、充填性が不十分である箇所も見られた。試験体No.4 (SL18) はAタイプ、Bタイプ共に鉄筋が大きく露出しており、充填性がさらに悪いものであった。

14日間の養生後、ワイヤーソーで試験体を切断したところ、試験体No.2 (SF65) は、密実に充填されていたが、試験体No.4 (SL18) では、鉄筋周辺部外側に空洞箇所があることが確認された。(写真-7)

4.6 硬化コンクリート試験結果

試験体No.2と試験体No.4については図-9に示す位置でコア供試体φ100mmを採取し、密度試験と圧縮強度試験を行った。

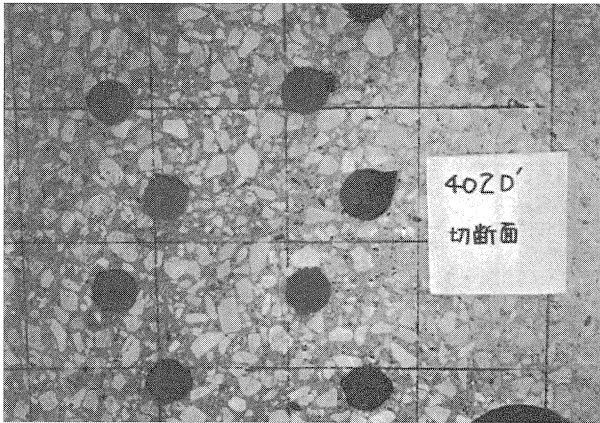


写真-7 試験体No.4 (SL18) の切断面

試験体No.2 (SF65) と試験体No.4 (SL18) のコンクリートコア供試体の密度試験の結果を図-10に示す。コア④~⑦の水平方向のそれぞれの位置での平均密度を算出した。

試験体No.2 (SF65) では鉄筋かごの内側と外側では有意な差は見られず、ほぼ均等な密度となっており、コンクリートが密実かつ均質に充填されたものと思われる。一方、試験体No.4 (SL18) では、かぶり部分にお

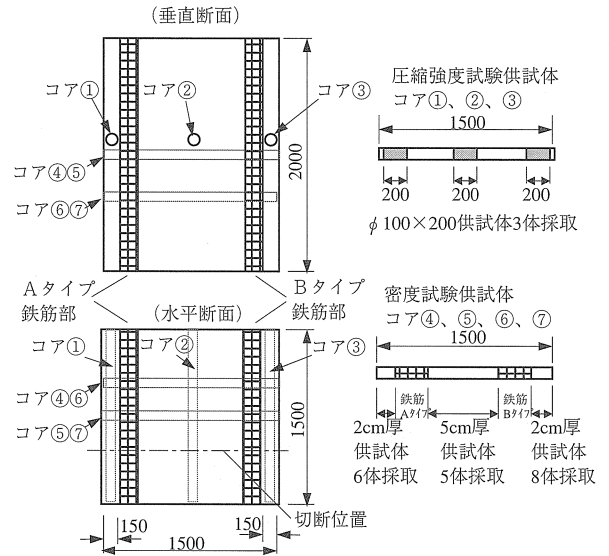


図-9 コア供試体採取位置

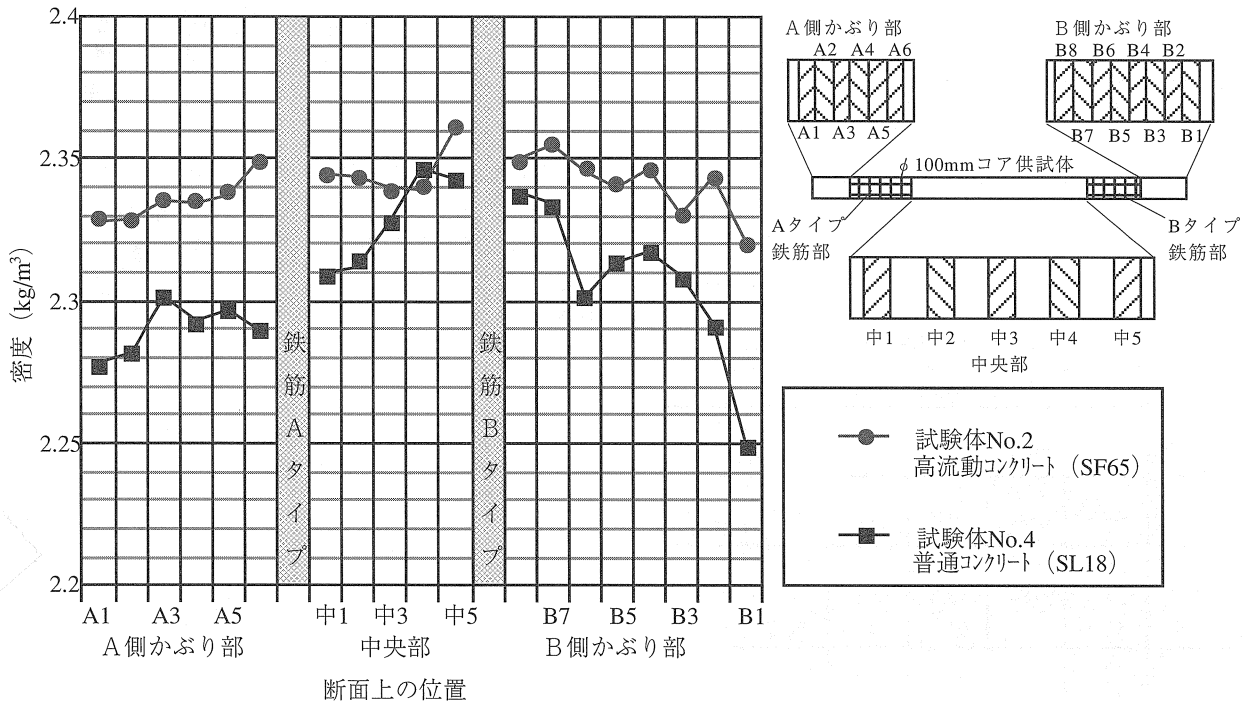


図-10 密度試験

いて、密度の低下、バラツキが見られ、骨材の偏り、安定液の巻き込みなどあったことが考えられる。

荷卸時に採取した標準供試体の圧縮強度は、表-9に示すように高流動コンクリート (SF65、SF55) と普通コンクリート (SL18) のいずれの配合も材齢28日で呼び強度40N/mm²を満足する結果となったが、表-10に示すように試験体から採取したコア供試体①~③では、高流動コンクリート (SF65、試験体No.2) は、鉄筋かぶり部、中央部とも呼び強度を満足しているが、普通コンクリート (SL18、試験体No.4) は、鉄筋かぶり部で、呼び強度を下回る結果となった。これは、安定液巻き込みによる欠陥、充填不足が原因と思われる。

試験体No.2の高流動コンクリート (SF65) と試験体No.4の普通コンクリート (SL18) についての実験結果からの比較を表-11にまとめて示す。これより、本実験で採用した鉄筋間隔では、高流動コンクリート (SF65) は、確実に充填され、高品質なコンクリート構造物を施工できるといえる。

表-9 荷卸時採取供試体の圧縮強度

試験体 No.	コンクリートの種類	圧縮強度 (N/mm ²)			
		材齢7日		材齢28日	
		強度	平均強度	強度	平均強度
2	高流動コンクリート SF65	37.1	37.4	59.6	60.2
		37.4		61.1	
		37.6		59.8	
3	高流動コンクリート SF55	35.9	35.8	55.1	54.3
		35.4		54.4	
		36.0		53.3	
4	普通コンクリート SL18	31.3	31.9	48.9	49.2
		32.3		49.4	
		32.0		49.3	

表-10 コア供試体の圧縮強度 (材齢28日)

試験体 No.	圧縮強度 (N/mm ²)					
	①Aタイプ かぶり部		②中央部		③Bタイプ かぶり部	
	強度	平均強度	強度	平均強度	強度	平均強度
2	55.3	54.4	61.1	60.5	54.5	55.7
	54.6		58.8		56.0	
	52.3		61.5		56.7	
4	35.8	37.2	47.6	48.7	18.6	18.6
	36.5		51.9		23.3	
	39.4		46.5		13.9	

表-11 高流動コンクリート (試験体No.2) と普通コンクリート (試験体No.4) の比較

試験項目	高流動コンクリート (SF65、試験体No.2)	普通コンクリート (SL18、試験体No.4)
充填状況の観察結果	鉄筋部の内外とも下部から均等に上昇して充填する	かぶり部で泥水中を落下し、泥水の巻き込みも見られる
段差・勾配	ほぼ平坦	中央部とかぶり部で大きな落差
硬化後の観察結果	未充填部なし 鉄筋との付着良好 密実な表面	かぶり部の表面に未充填箇所あり 鉄筋廻りに数カ所空洞部あり 気泡が表面部に多い
密度	かぶり部、中央部ともに均一	かぶり部でバラツキ、低下
圧縮強度	かぶり部、中央部とも、荷卸時供試体とほぼ同等	かぶり部で呼び強度以下

5. まとめ

過密配筋の地中連続壁に適用可能と思われる3種類のコンクリートの配合設計を行い、過密配筋を模擬した試験体に打設し、その充填性について検討した。その結果、本実験で採用した鉄筋間隔では、従来使用されているスランプ18cmのコンクリートでは、充填が不確実で、安定液の巻き込みが発生する可能性があるが、スランプフロー65cmの高流動コンクリートを適用することにより、密実で、全断面が均質に充填されることがわかった。

参考文献

- 1) 青木ほか：地下連続壁用コンクリートの現状と動向、セメント・コンクリートNo.580、pp.8-16、1995.6
- 2) 土木学会：高流動コンクリートに関する技術の現状と課題、コンクリート技術シリーズ15、pp.8-13、1996.12