

論文

[1024] 超大地下連壁コンクリートの施工方法に関する実験的研究

正会員 ○宮野一也 (間組 技術研究所)
 正会員 大崎幸雄 (間組 技術研究所)
 正会員 庄野 昭 (間組 土木設計部)
 正会員 杉山 律 (間組 土木設計部)

1. まえがき

大規模な地中構造物の本体を兼ねる地下連続壁は、部材厚が大きく、非常に密な配筋となることが予想される。そのため、鉄筋によるスクリーニング作用によって水中コンクリートの流動が妨げられることが考えられる。高い信頼性を確保するためには、骨材分離および強度変動の少ない均質なコンクリートをかぶり部にまで十分充填させることが、非常に重要な課題となる。

本研究は、超大型地下連続壁を実験対象とし、密な配筋とコンクリートの配合条件が流動性、充填性に及ぼす影響を調査するため、特に密な配筋となる3箇所配筋モデルを想定した実規模程度の模型を使用し、その影響を検討したものである。

2. 実験概要

2.1 実験条件

実験は、①スターラップが連壁水平方向（壁長手方向）へのコンクリートの流動性に及ぼす影響、②主筋（鉛直筋）の重ね継手が連壁水平方向（壁短手方向）へのコンクリートの流動性に及ぼす影響、③軀体との接合用水平埋込み筋と主筋の重ね継手が連壁水平方向（壁短手方向）と連壁鉛直方向へのコンクリートの流動性に及ぼす影響、を把握するために行なった。

コンクリートの種類、パイプレタ使用の有無、配筋概要および連壁の配筋のモデル化と着目したコンクリートの流動方向を表-1に示す。

表-1 実験概要一覧表

No	配筋タイプ	コンクリートの種類	パイプレタの使用	配筋概要				連壁のモデル化
				スターラップ (水平筋)	主筋 (鉛直筋)	主筋の継手	軀体との接合用埋込筋 (水平筋)	
1	I	通常水中	×	・D16 ・3重たばね ・200ピッチ	—	—	—	
2		通常水中	○					
3		流動化水中	×					
4		特殊水中	×					
5	II	通常水中	×	・D32 ・2重たばね ・3段 ・190ピッチ	—	・継手なし	—	
6	III	通常水中	×					
7		通常水中	○					
8	IV	通常水中	×					
9	V	通常水中	○	・D32 ・2重たばね ・3段	—	・D32 ・3段 ・200ピッチ		
10		特殊水中	×					

2.2 使用材料

コンクリートの使用材料を表-2に示す。

2.3 コンクリートの配合

コンクリートは、通常水中コンクリート、流動化水中コンクリートおよび特殊水中コンクリートの3種類とした。配合を表-3に示す。

コンクリートは、生コンプラントで製造するものとし、流動化剤、高性能減水剤およびスラリー状にした特殊混和剤（SP剤）を添加する場合には、現場において添加する後添加方法とした。

表-2 使用材料

	種類	備考
セメント	普通セメント	比重 3.16
細骨材	川砂	鬼怒川産 比重 2.60
粗骨材	川砂利+碎石	鬼怒川産 比重 2.62
水	地下水	
混和剤	A E減水剤	リグニンスルホン酸塩化合物
	流動化剤	ナフタレンスルホン酸と変性リグニンの共縮合物
	高性能減水剤	高縮合トリアジン化合物
	特殊混和剤（SP剤）	セルロース系高分子化合物

表-3 コンクリートの配合

コンクリートの配合	粗骨材最大寸法 (mm)	スラブおよびスラブフローの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)							
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 (5~25) G	混和剤			
										A E減水剤 (L)	流動化剤 (L)	高性能減水剤 (L)	SP剤
通常水中コンクリート	25	20±1	4±1	50.0	44.4	185	370	759	958	4.11			
流動化水中コンクリート	25	23±1	4±1	50.8	46.9	188	370	798	912	4.11	5		
特殊水中コンクリート	25	55±2.5	4±1	50.0	40.0	185	370	712	1079	4.11		10	1.5

2.4 配筋

各モデルの配筋を図-1～図-3に示す。各図とも、A-Aが連壁の短手方向、つまり部材厚となり、B-Bは連壁長手方向の断面である。図-2に示す3種類の配筋図は、主筋の重ね継手の方法を検討するためのものである。また、バイブレータを使用する場合のその入位置も同図に示す。

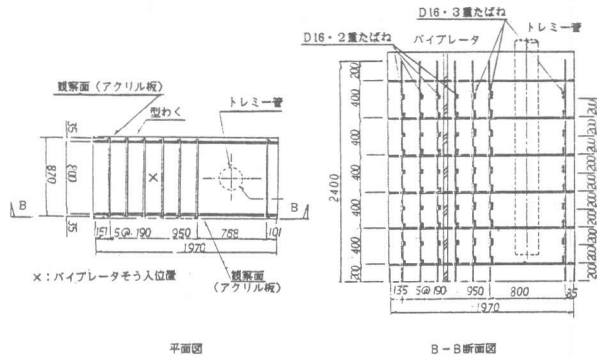


図-1 タイプIの配筋図

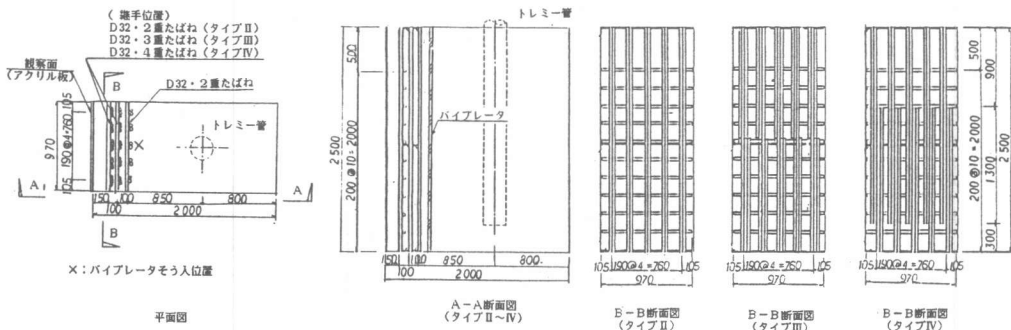


図-2 タイプII～IVの配筋図

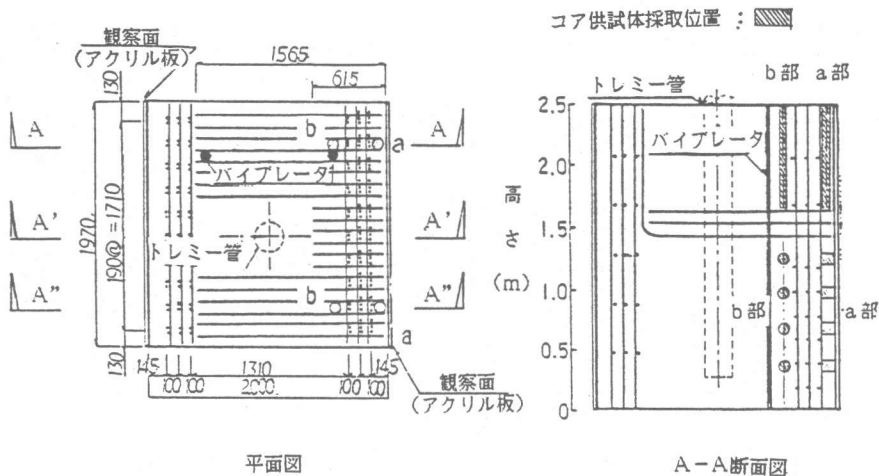


図-3 タイプVの配筋図

2.5 試験項目および試験方法

フレッシュコンクリートは、スランプおよび空気量を測定し、性状を確認した。流動化水中コンクリートおよび特殊水中コンクリートについては、現場において混和剤をアジテータトラックに投入し高速で攪はん後、スランプまたはスランプフロー（特殊水中コンクリートマニュアルに準拠）、空気量およびコンクリート温度を測定した。流動状況は、コンクリートの打上がり高さを観察面ではスケール、連壁内部ではレッドを用い測定することによって把握した。

また、圧縮強度試験は、標準養生供試体、コア供試体（かぶり部以外φ100 × 200mm）ともに材令28日に実施した。コア供試体は、コンクリート硬化後、図-3に示した位置で接合用埋込み筋（水平筋）より上部では鉛直方向から、埋込み筋より下部では水平方向から採取した。また、かぶり部では供試体の高さが140mm程度であるため、圧縮強度は h/d を補正して求めた。

2.6 実験方法

実験は、清水を満たした型わく内に、それぞれのタイプの鉄筋を配置しコンクリートを打設した。コンクリートは、トレミー管（直径8インチ）にプランジャーを挿入した後、上部ホッパーにコンクリートを投入し、その先端を型わく下端から10cmの位置まで一旦引上げ、その後流出に合わせて30cm位置に固定した。打上がり速度は、4 m/hrとした。打設は5分間連続して行なった後コンクリートの流動状況を測定するため一時中断した。測定後直ちに打設を再開し、高さ2 mまでこのサイクルをくりかえした。また、型わくは、コンクリートの流動状況を観察するために両面あるいは片面をアクリル板とした。

表-4 フレッシュコンクリートの性状

No	配筋タイプ	コンクリートの配合	バイブレータの使用	フレッシュコンクリートの性状		
				スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
1	I	通常水中	×	20.1	4.5	16.0
2		通常水中	○	19.2	4.2	18.0
3		流動化水中	×	23.3	3.8	20.0
4		特殊水中	×	スランプ70-55.0	4.1	20.0
5	II	通常水中	×	20.4	4.5	21.0
6	III	通常水中	×	20.0	4.7	18.5
7		通常水中	○	20.2	5.0	20.0
8	IV	通常水中	×	20.7	5.4	18.5
9	V	通常水中	○	19.3	5.4	25.0
10		特殊水中	×	スランプ70-57.5	4.0	29.0

バイブレータは、定位置で 5 分間の打設時間における最終の 30 秒間稼働させた。

3. 実験結果と考察

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の性状を表-4に示す。スランプ試験時の目視観察では、流動化水中コンクリートの場合、スランプが23cm程度で、やや分離ぎみであったが、特殊水中コンクリートは、スランプフローが55cmでも、骨材の分離はほとんどみられなかった。そのため、流動化水中コンクリートではコンクリートが分離ぎみでトレミーを落下していたのに対し、特殊水中コンクリートは、高い粘性により落下速度が遅く、骨材の分離のない良好な打設状況であった。

3.2 コンクリートの打上り高さの経時変化および充填性

各配筋タイプにおけるコンクリートの打上り高さの経時変化、流動状況、充填状況を図-4～図-6に示す。

スターラップの影響を調査したタイプ-Iにおいて、通常水中コンクリートの場合、打設の途中（打設開始から15分後）からバイブレータを使用すると、流動均配は約1/2になり、その効果が認められた。流動化水中コンクリートは、打設経過に伴い流動先端部で流動均配は大きくなる。一方、特殊水中コンクリートでは、ほぼレベルに打ち上がり骨材の分離もスライムの発生もほとんどみられなかった。

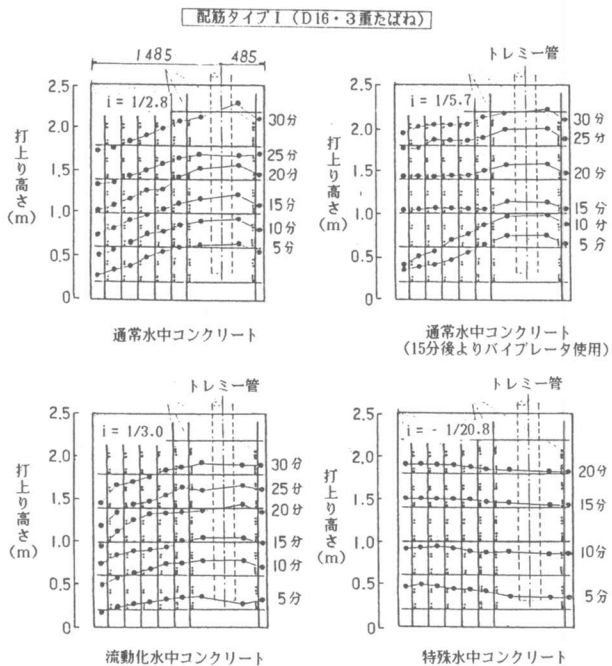


図-4 打上り高さの経時変化
(配筋タイプ I)

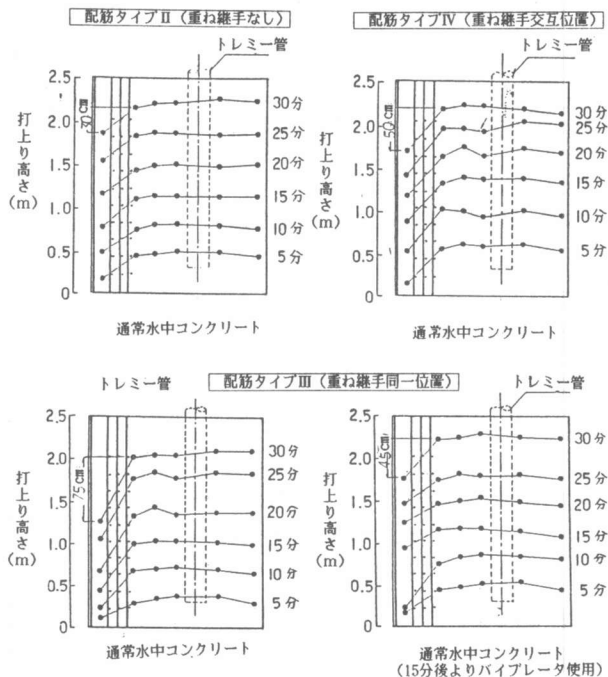


図-5 打上り高さの経時変化
(配筋タイプ II～IV)

配筋タイプV (水平埋込筋+主筋重ね継手交互位置)

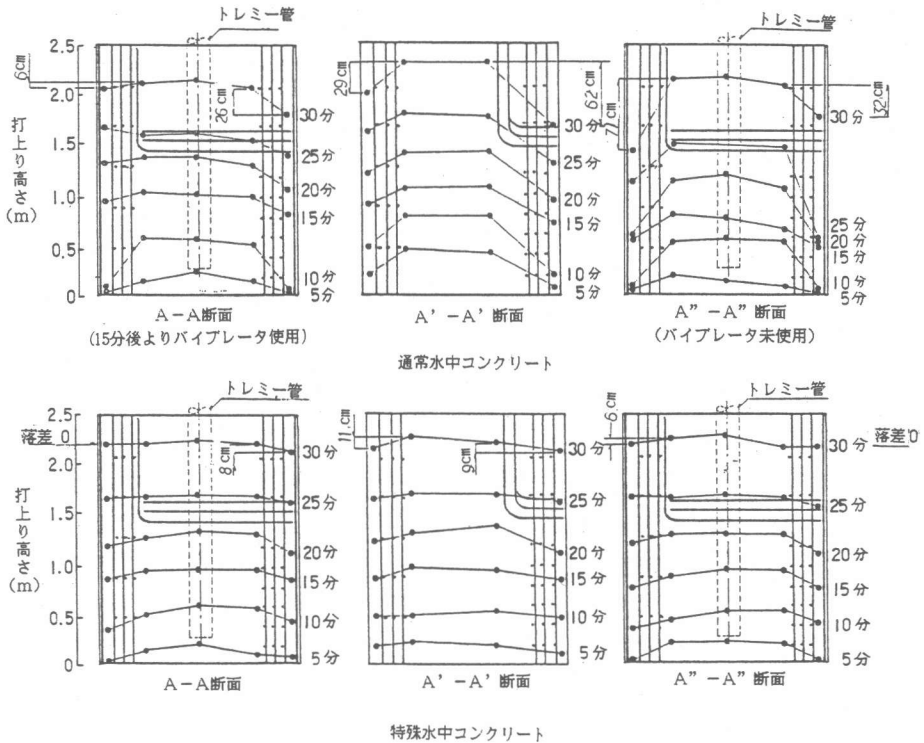


図-6 打上り高さの経時変化 (配筋タイプV)

タイプII~IVでは、重ね継手の影響を検討したが、交互位置で重ね継手を設ける場合、重ね継手のない場合より主筋の内外部のコンクリートの落差は20cm程度増加した。しかし、同一位置で継手を設ける場合より25cm減る。これらの比較から、継手位置により、コンクリートの充填性が異なることが実験的に確認された。また、パイプレタの使用により、重ね継手同一位置におけるコンクリートの落差が半減したことを考え合わせれば、重ね継手の位置を交互にし、パイプレタを使用すれば充填性はさらに向上するものと考えられる。

主筋と埋込み筋とを併設したタイプ-Vは、コンクリートの充填が最も困難であると考えられたモデルである。通常水中コンクリー

表-5 コンクリート打設直後の流動状況測定値

コンクリートの配合	パイプレタの使用	平均流動勾配		主筋内外の平均コンクリート落差 (cm)	
		主筋内部	かぶり部	連壁内面	連壁外面
通常水中コンクリート	無部	1/5.2	1/1.4	32	71
	有部	1/4.3	1/12.9	26	6
特殊水中コンクリート	全領域無し	1/14.4	1/25.8	6	6

凡例 △-通常水中コンクリート
▲-通常水中コンクリート (パイプレタ使用)
□-特殊水中コンクリート

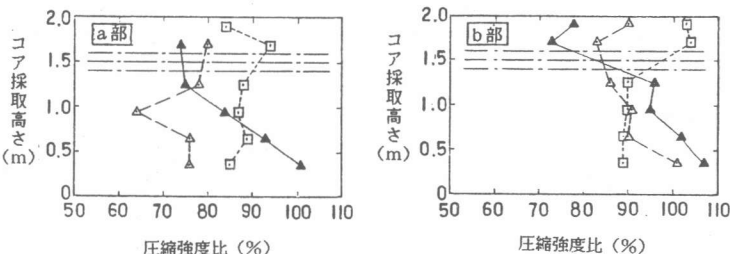


図-7 コア供試体鉛直方向の強度分布

トにおいて、バイブレータを使用した領域（A-A）では、流動性、充填性が使用しない領域（A''-A''））に比べて向上している。また、特殊水中コンクリートを用いた場合、打設開始からバイブレータの使用以上の流動性があった。

3.3 硬化コンクリートの特性

コア供試体の圧縮強度比および単位容積重量差とコア採取高さとのそれぞれの関係をタイプVについて、図-7、8に示す。

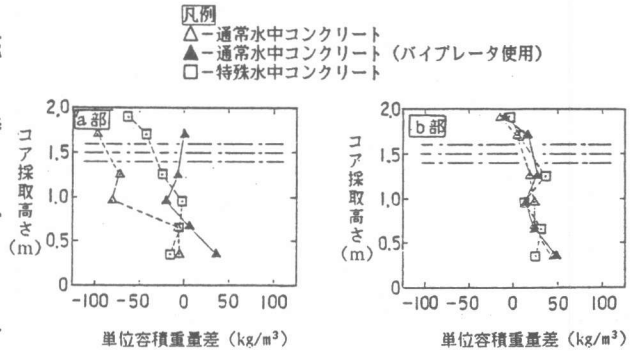


図-8 コア供試体鉛直方向の単位容積重量差

圧縮強度比とは、各試験体から採取したコア供試体強度の標準養生供試体強度（材令28日：284～369 kgf/cm³）に対する比、単位容積重量差とは、各試験体から採取したコア供試体の平均単位容積重量（材令28日：2246～2282kg/m³）との差を示す。

通常水中コンクリートの場合、主筋のかぶり部の上部では、単位容積重量が小さくなり、主筋によるスクリーニング作用によって骨材が分離している。また、圧縮強度比も小さい。

バイブレータを使用した場合、かぶり部の単位容積重量の差は小さくなり、バイブレータを使用しない場合に比べて、圧縮強度比は、平均的に大きくなっている。しかし、単位容積重量差ではむしろ最も小さいにもかかわらず、圧縮強度比は、試験体上部と下部で30%の差が生じている。これは、下部の余剰水がバイブレータの振動により上方に押し上げられたためと思われる。

特殊水中コンクリートを用いた場合では、圧縮強度比は85～95%と高く、通常水中コンクリートに比べて10～25%高い。また、上下方向の強度差も小さく、均質なコンクリートが打設されていることが検証された。

4. まとめ

- (1) スターラップがコンクリートの流動に及ぼす影響は小さい。
- (2) 主筋を3段配置した場合、主筋をはさんだコンクリートには大きな勾配が生じるが、バイブレータの使用により、充填性は改善される。
- (3) バイブレータを定位置で使用すると上下方向の圧縮強度差は20～30%と大きくなる。
- (4) 主筋を重ね継手する場合、継手作業は繁雑となるものの鉄筋の純あき間隔を大きくするための工夫が必要である。
- (5) 特殊水中コンクリートを用いると、水平方向、上下方向およびかぶり部コンクリートにおいて圧縮強度比は85%以上であり、均質なコンクリートが得られる。

これらの結果より、配筋が密な超大型地下連続壁コンクリートを打設する場合、通常の水中コンクリートをバイブレータを使用しながら打設することで対応できる。その場合、バイブレータの使用位置や使用時間に十分配慮する必要がある。また、配筋が特に入り組んでいるようなエレメントでは、特殊水中コンクリートを使用することも有効な施工方法と考えられる。