

論文 地下連続壁用水中コンクリートの安定液中の過密配筋への打込み性能の評価

大友 健*1・大槻 茂雄*2・皆川 康博*3・梅津 芳樹*4

要旨：過密配筋の連壁剛体基礎を模擬した試験体を対象として、一般の水中コンクリート（スランプ21cm）と高流動コンクリートの安定液中への打込み性能および打込んだコンクリートの性質を評価した。その結果、高流動コンクリートは一般の水中コンクリートに比べて安定液中での流動勾配が小さくスライムの巻き込みがないこと、トレミー先端からの流動や鉄筋の流越しによる強度低下がなく全体が均質であることを確認した。

キーワード：地下連続壁用水中コンクリート、高流動コンクリート、流動性、打込み性能

1. はじめに

基礎工事において地下連続壁（以下、連壁と称する）により矩形の構造物を構成する場合には、非常に過密な配筋や継手構造をとまることが多い。本研究が対象とした連壁は橋脚の剛体基礎構造として使用されるもので、図-1に示すように連壁が複雑に組み合わせられる構造（連壁深度47m）であり仮設ではなく本体構造として供用される。

この構造体では高剛性が要求されるため鉄筋径が大きく配筋が密な状態となり、かつ多くの部位が重ね継手により構成されるため m^3 当たりの鋼材量が $350kg/m^3$ を越えるものとなっている。さらに鉄筋には高強度鉄筋（SD490）が使用されており継手部での確実な応力伝達も要求された。

そこで工事に先だって、この構造物の過密配筋・継手構造を模した水槽模型を製作し、一般の地下連続壁用水中コンクリート（スランプ21cm）と自己充てん性を有する高流動コンクリートの安定液中の過密配筋への打込み実験を行ない、コンクリートの充てん状況および硬化した構造体の品質を調査することで、本構造物の施工に適したコンクリートの配合を選定した。

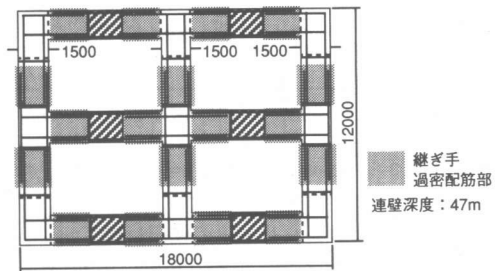


図-1 構造物の形状・寸法

2. 実験に供したコンクリートの性質

実験に供したコンクリートの仕様・配合・使用材料を各々表-1～表-3に示す。スランプ21cmの連壁用の一般の水中コンクリートは、生コンプラントにおける実績配合である。高流動コンクリートには、過密配筋であることを考慮し自己充てん性ランク1の併用系の高流動コンクリートを使用した。粉体に高炉セメントB種とフライアッシュを使用（プレミックスの3成分系セメントとして納入）し、ポリカルボン酸エーテル系の高性能AE減水剤と多糖類ポリマー系の増粘剤を加えたものである。

スランプフローの範囲は、自己充てん型の高流動コンクリートにより施工された連壁の施工実績¹⁾を考慮して $650 \pm 50mm$ とし、 $500mm$ フ

*1 大成建設(株)技術センター土木技術研究所主任研究員 博士(学術) (正会員)

*2 東日本旅客鉄道(株)東北工事事務所仙台工事区 区長

*3 東日本旅客鉄道(株)東北工事事務所仙台工事区

*4 J R 利府橋梁工事仙台北部道路大成・佐藤共同企業体係長

表-1 コンクリートの仕様

コンクリートの種類	一般の水中コン	高流動コン
設計基準強度	24N/mm ²	24N/mm ²
設計基準強度指定材齢	28日	28日
水中施工を考慮した保証強度(呼び強度)	30N/mm ²	30N/mm ²
粗骨材の最大寸法	20mm	20mm
水セメント比最大値	55%	55%
単位セメント量最低値	350kg/m ³	350kg/m ³
セメントの種類	普通ポルトランド	高炉B種
混和材の種類	—	フライアッシュ
コンシステンシー	スランプ 21±1.5cm	スランプフロー 650±50mm
空気量	4.5±1.5%	4.5±1.5%

表-2 コンクリートの配合

種類	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)							
			水	セメント	混和材	細骨材	粗骨材	AE減水剤	高性能AE減水剤	増粘剤
一般水中	46.5	45.9	187	403	—	753	1003	4.03	—	—
高流動	32.4	53.2	162	400	100	839	844	—	11.0	0.5

表-3 コンクリートの使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 密度3.14g/cm ³ (UM社製) 高炉セメントB種 密度3.04g/cm ³ (UM社製)
混和材	フライアッシュ 密度2.29kg/cm ³ (TK社N工場産)
細骨材	山砂(鶴巣産) 表乾密度2.55g/cm ³ , 吸水率2.10%, FM.2.76
粗骨材	碎石(大倉産) 表乾密度2.91g/cm ³ , 吸水率1.09%, FM.6.58
AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物 (N社製)
高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテルと架橋ポリマーの複合体 (N社製)
増粘剤	多糖類ポリマー系分離低減剤 (T社製)

ロー時間は、U形充てん高さ (R1障害)²⁾ を300mm以上にできる範囲を考慮して5~12秒とした。試験練りにおいて最終的に確認したコンクリートの性質は表-4に示すものである。実際に試験体の打込みに際しても表-5に示すように所要の性能であることを確認した。

3. 模擬試験体と打込み方法

図-2に模擬試験体の形状寸法および配筋状態を示す。トレミー位置を境に鉛直継手部を模擬したダブル配筋部(先行エレメント側相当:鉛直D35@150×水平D35@150+鉛直D35@300×水平D35@150を組み合わせて帯鉄筋D29@300

表-4 コンクリートの性質

項目	高流動コンクリート		一般の水中コン
	設定	実際	
充てん性のランク	1	1	—
U形充てん高さ(R1障害)(mm)	300以上	355	閉塞
単位粗骨材絶対容積(m ³ /m ³)	0.28~0.30	0.290	0.345
スランプフロー(mm) (スランプ(cm))	650±50	660	340 (20.5)
500mmフロー時間(秒)	5~12	6.4	—
流動性の保持時間(hr)	1.5	1.5	—
空気量(%)	4.5±1.5	4.2	4.4
コンクリート温度(°C)	—	14.0	13.0
圧縮強度 (N/mm ²)	7日	—	30.2
	28日	—	50.9
			44.2

表-5 打込み時のコンクリートの性質

測定項目	一般の水中コン	高流動コン
スランプ (cm)	20.5	—
スランプフロー (mm)	—	660
空気量 (%)	4.5	5.0
温度 (°C)	13.0	13.0
500mmフロー時間 (秒)	—	5.3
U形充てん高さ (R1障害) (mm)	—	355
圧縮強度 (7日) (N/mm ²)	28.3	31.1
	(15日) (N/mm ²)	34.2

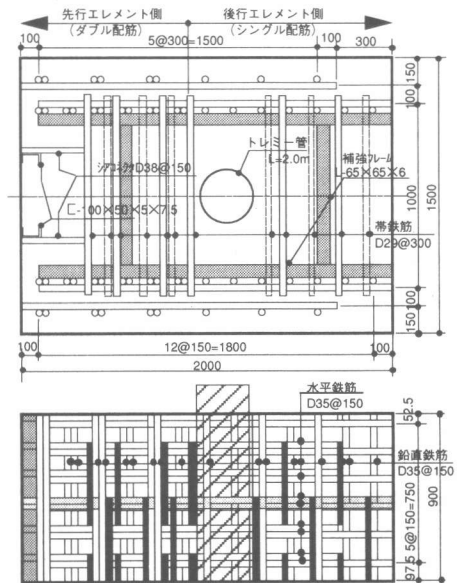


図-2 試験体の形状寸法と配筋状態

配置)と一般部を模擬したシングル配筋部(後行エレメント側相当:鉛直D35@150×水平D35@150+帯鉄筋D29@300)を設けた。水平鉄筋は、建込み時の施工誤差を想定し、外側水平筋と内側水平筋を鉄筋1本分の高さをずらして配

置した。せん断補強筋の他、実際に建て込む補強フレーム・ガイド・シアコネクタも配置し実施工に近い状態とした。

トレミーは図-3に示すように配置し、型枠内に安定液を張った後、トレミー内に安定液が逆流しないようにトレミーの引上げ量を確認しながら、打上がり高さ13~15cm/分(90cm/6~7分)の速度でコンクリートを打ち込んだ。打込み終了はトレミー位置における天端高さが90cmとなった状態とした。

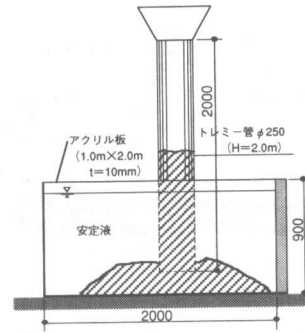


図-3 コンクリートの打込み方法

4. コンクリートの充てん状況

コンクリート打込み中に確認した流動勾配の状態を図-4および図-5に示す。図中の数字は打込み開始時間からの経過時間(分)を示したものである。

一般の水中コンクリートでは中心部から表面にかけて流動勾配が1/2.5程度になるのに対して、高流動コンクリートではほとんどレベル状態になり流動性が優れていることが確認された。また、一般の水中コンクリートでは、鉄筋や鋼材が障害になる部分で充てん高さに段差ができ、これらによってコンクリートの流動を妨げられていることが明らかであったのに対して高流動コンクリートではそのような障害は全く認められなかった。

脱型後の試験体の状態を写真-1および写真-2に示す。高流動コンクリートは型枠の隅々まで均質になっていたのに対して、一般の水中コンクリートでは角部や上面にスライムが噛み込んでいる様子が見られた。

試験体をワイヤソーで切断し観察した例を写真-3および写真-4に示す。一般の水中コンクリートでは鉄筋の近傍には空隙が生じていることが確認された。これに対して、高流動コンクリートではそのような欠陥は全く認められなかった。また、普通水中コンクリートに比較して高流動コンクリートは全体的に密実で、骨材も均質に分布している状況が観察された。

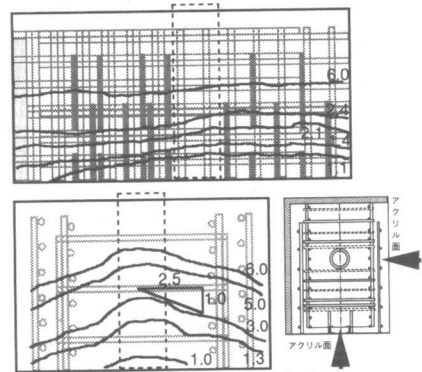


図-4 型枠内での流動状況 (一般の水中コン)

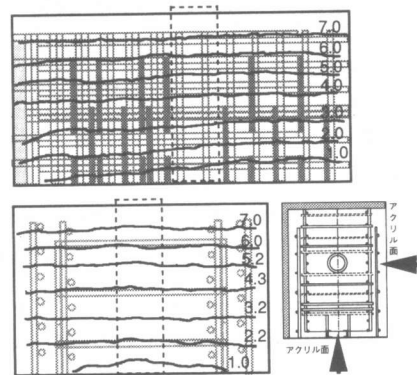


図-5 型枠内での流動状況 (高流動コン)

5. 硬化コンクリートの状態

脱型した表面および切断面の表面強度をシュミットハンマーにより測定した結果を図-6~図-9に示す。図示した値は、表面あるいは切断面を10cmメッシュで計測した結果を高さ方向に平均したものである。

一般の水中コンクリートでは、打込み場所か

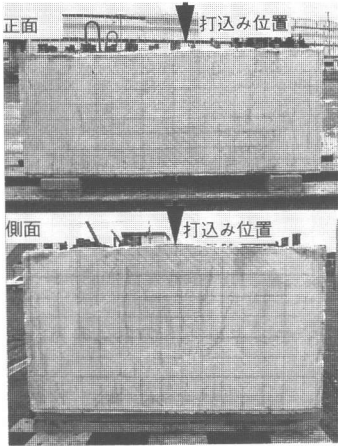


写真-1 脱型時の状態（一般の水中コン）

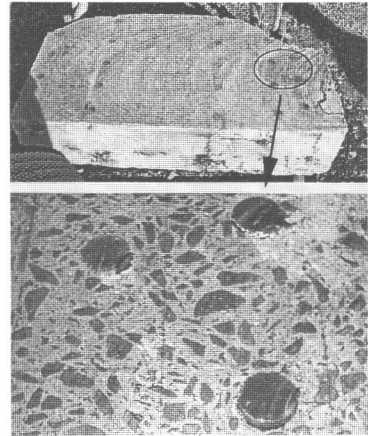


写真-3 切断面と鉄筋周囲の状態（一般水中コン）

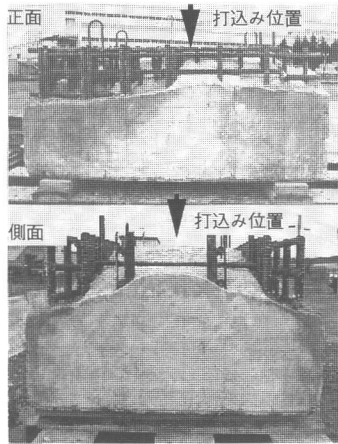


写真-2 脱型時の状態（高流動コン）

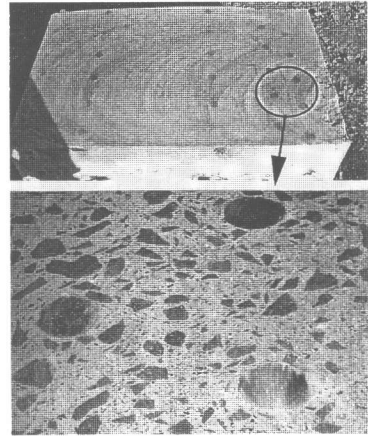


写真-4 鉄筋周囲の状態（高流動コン）

ら離れるほど表面硬度が小さくなる傾向が明らかである。とくに周辺部や上端・下端では表面硬度が測定不可能なほど小さくなっている部分（読み値が10以下の部分）も認められた。また、図-7に示されるように外側ほど表面硬度が著しく低下することから、鉄筋を流れ越すことによって強度の低下がより顕著になっているものと考えられる。

これに対して高流動コンクリートでは、表面部や縁端部での強度の低下が小さく、全体的にはほぼ均質といえるような表面硬度の分布を示した。すなわち4.に示した見かけ上の充てん状態の相違が数値的に表われたものとなっている。

鉄筋の流れ越しによって強度が低下するメカ

ニズムについては、鉄筋を乗り越える時に下流側で安定液を巻き込むことによる³⁾と考えられていたり、山形のなだれこみが影響している⁴⁾とも考えられている。本実験における観察においても、表面硬度が大きく低下した部分では、障害物によってコンクリート面に大きな流動勾配が生じ、かつ巻き込むような動きをしていたことが観察されていたので、これらのコンクリートの動きが強度低下を発生させたものと推察される。

図-10には配筋の内側の部分において採取したコアによる圧縮強度試験の結果（材齢15日において実施）を、図-11にはこの圧縮強度試験と同時に測定した標準養生供試体の強度に対す

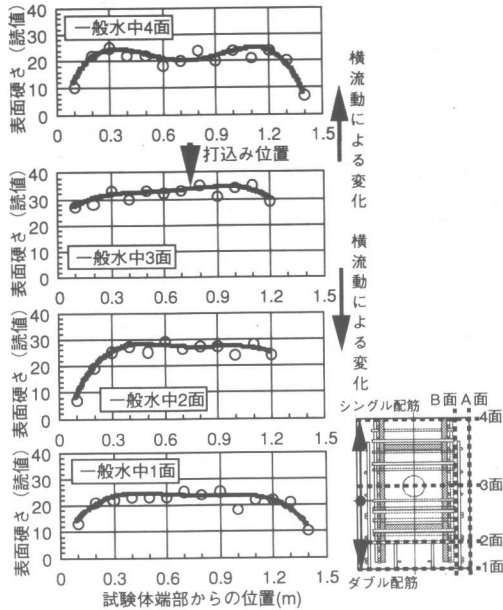


図-6 表面硬度の横流動による変化(一般水中)

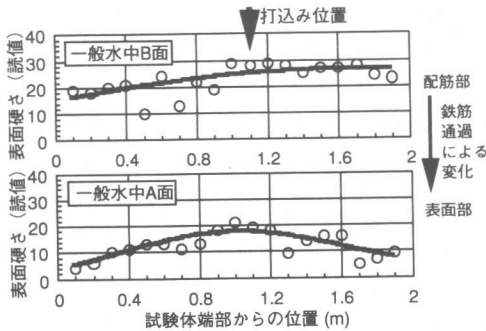


図-7 表面硬度の鉄筋流越による変化(一般水中)

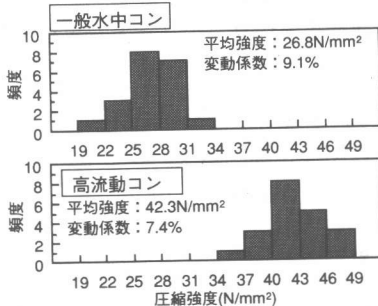


図-10 コア強度の分布状態

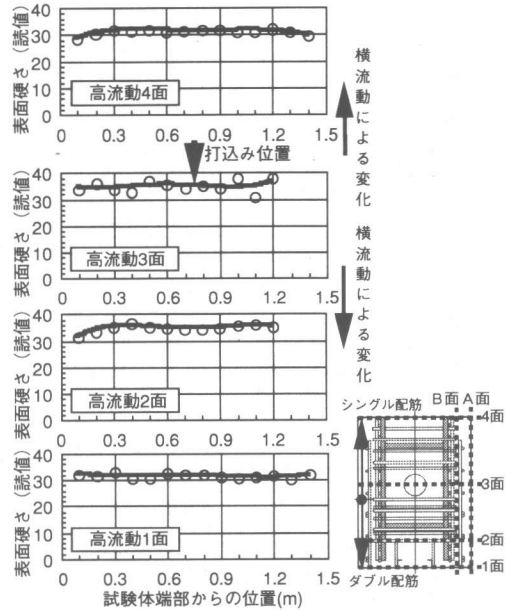


図-8 表面硬度の横流動による変化(高流動)

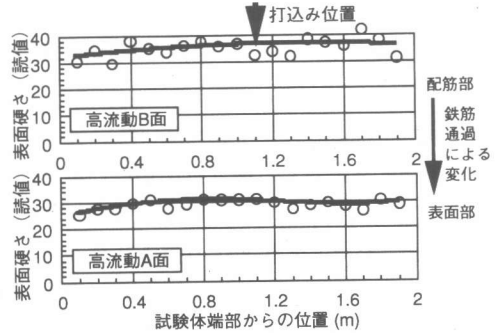


図-9 表面硬度の鉄筋流越による変化(高流動)

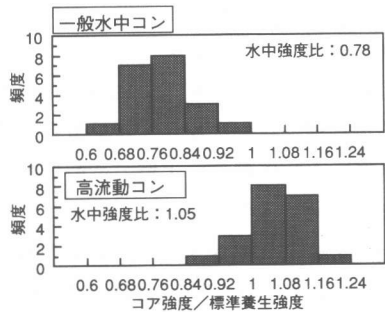


図-11 強度比の分布状態

る比を示した。また図-12はコア圧縮強度を表面部から内部への深さ方向への変化として示したものである。

一般の水中コンクリートではコア強度の平均値が標準養生供試体強度の26%まで低下したの

に対して、高流動コンクリートでは、コア強度の平均値が標準養生供試体強度と同等かそれ以上(平均で105%)となった。すなわち、高流動コンクリートの105%を基準とすると26%の圧縮強度の低減が生じた。またコア圧縮強度の

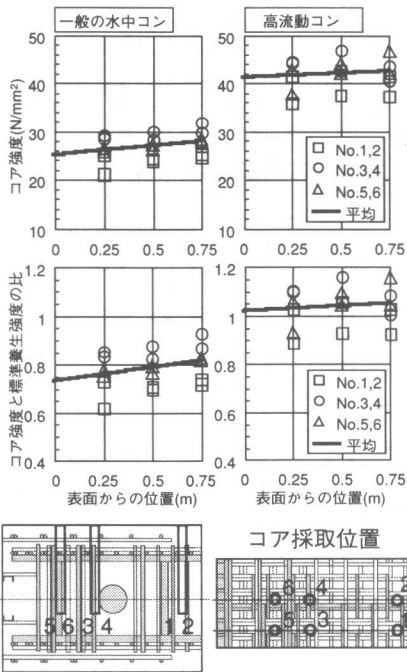


図-12 採取位置によるコア強度と強度比の変化

変動係数も1.33倍大きくなっていった。

コア強度を測定した部分は配筋の内側部分のみであり、図-6に示す表面硬度の変化傾向および図-12における強度変化の傾き具合から推察すると、かぶり部分においてはさらに大きい強度の差および強度のばらつきが発生しているものと推察される。

今回の実験では、コンクリートの打込み自体は、試験ということもあり、比較的連続して、トレミーも揺動させたりせずに慎重な打込みを行なっている。実際の施工時の変動要因を考慮すれば、一般の水中コンクリートでは、さらに安定液やスライムを巻き込む可能性があると考えられる。これに対して、自己充てん型高流動コンクリートは、実際の施工においても優れた流動性と均質性を確保できると考えられる。

6.まとめ

過密配筋の連壁剛体基礎を模擬した試験体を対象として、一般の水中コンクリート（スランブ21cm）と高流動コンクリートの安定液中へ

の打込み性能および打ち込んだコンクリートの性質を評価した。その結果以下が明らかとなった。

1) 一般の水中コンクリートでは流動勾配が1/2.5程度になるのに対して、高流動コンクリートではほとんどレベル状態になり、流動性が優れていることが確認された。

2) 脱型後、一般の水中コンクリートでは角部や上面にスライムが噛み込んでいたのに対して高流動コンクリートは型枠の隅々まで均質になっていた。また一般の水中コンクリートでは鉄筋の近傍には空隙が生じており十分にコンクリートが充てんされていないのに対して、高流動コンクリートではそのような欠陥は全く認められず密実であった。

3) 一般の水中コンクリートでは、打込み位置から離れるほど、また鉄筋を流れ越すことにより表面硬度の低下が顕著になる。これに対して高流動コンクリートはほぼ均質といえるような表面硬度の分布を示した。

4) 配筋の内側から採取したコアにより構造体強度を評価したところ、一般の水中コンクリートではコア強度が標準養生供試体の78%まで低下したのに対して高流動コンクリートはコア強度が標準養生供試体と同等かそれ以上となった

このように、過密な配筋を有する構造体では一般の連壁用水中コンクリートによってかぶりの外側あるいは継手部に均質なコンクリートを充てんすることが難しいことが分かったため、実施工に際しては、充てん性ランク1の高流動コンクリートを適用した。

参考文献

- 1) 大友健, 坂本淳, 新藤竹文: 高性能連続地中壁「ハイパー連壁」の適用事例, 大成建設技術研究所報, Vol.32, 2000.11
- 2) 土木学会: 高流動コンクリート施工指針, 1998.7
- 3) 吉田正吾: 地中連続壁における水中コンクリート, コンクリート工学, Vol.28, No.3, 1990, pp.23-26
- 4) 建設機械化研究所: 地下連続壁工法設計・施工ハンドブック, 1975