

閉鎖空間へのコンクリートの充てんに関する実験的検討

Experimental Study on the Filling of Concrete to Closed Space

安田 昭二^{*1}

Shouji Yasuda

【要旨】

本論文は、立坑側壁における閉鎖空間かつ高い配筋量の部位への確実なコンクリートの充てんについて検討した経緯と結果を述べるものである。

本立坑は、レベルIIの耐震構造で設計されていることや地盤が軟弱なことなどから壁厚が2mと厚く鉄筋量も360kg/m³と多い。さらに、立坑の土留として設置された連壁には、開口補強としてかまち梁が2段配置されているため、かまち梁下部へのコンクリートの充てんがきわめて難しいものとなっている。

そこで、スランプ21cmの流動化コンクリートによる施工性を実寸法の模擬試験体によって適用を評価した。その結果、流動化コンクリートでは、十分な充てんが確保できないことが確認され、自己充てん性を有する高流動コンクリートの適用を検討することとした。なお、高流動コンクリートの閉鎖空間への充てん性および2mの流動性については、U形充てん試験および構造物を模擬した箱形充てん試験によって確認を行った。

【キーワード】 閉鎖空間 高密度配筋 流動化コンクリート 自己充てん性 高流動コンクリート

1. はじめに

東京都水道局では、効率的な水の運用や地震時の非常におけるバックアップ機能の強化を目的として、浄水場と給水所及び給水所間を連絡するネットワークの構築を進めている。本工事はその一環として整備される「品川区八潮一丁目から同区八潮五丁目間の送水管新設及び立坑築造工事」である。現場位置図を図-1に示す。

本工事では、立坑を築造する際に立坑の土留めとして設置された連壁の一部に開口補強としてかまち梁が2段設置されていた。そのため、既設のかまち梁の下部には通常のコンクリート打設による充てんが困難な部位が存在した。この箇所に適用するコンクリートとして、流動化コンクリートと高流動コンクリートを対象にその適用を検討した。

この結果、実施工において信頼性の高い躯体構築が可能となった。本報告は、検討の経緯と、施工に適用されたコンクリートの品質について報告するものである。

2. 工事概要

表-1に工事概要を、図-2に立坑断面図を示す。本立坑は、地震時の非常時におけるバックアップ機能の強化を目的として計画されており、耐震構造（レベルII）で設計されていることや、地盤が軟弱なことなどから、



図-1 現場位置図

*1. 関東土木事業部 東大井その2作業所

壁厚が2mと厚く鉄筋量も360kg/m³と非常に多い。配筋状況を写真-1に、側壁内部の状況を写真-2に示す。

また、立坑の土留としては、壁厚1.0mの連壁が設置されており、一部に推進管(φ1350mm)が接続されるため、開口補強としてかまち梁が2段設置されている。

この結果、既設かまち梁の下部へのコンクリートの打設には、閉鎖された空間が生じることと高密度の配筋となることで高い充てん性を有するコンクリートが要求された。

3. 施工方法の検討

側壁の配筋は、縦筋径がD22mmで内・外側各3列、リング筋がD38mmで各縦筋は、鉄筋軸間距離125mmで配置されている。このため、鉄筋間の実有効空間は105mm×87mmとなっている。なお、設計コンクリートの仕様は、設計基準強度21N/mm²、スランプ8cm、高炉スラグB種セメントを用いたコンクリートとなっている。

このため、施工にあたっては、地上から最長約40mとなる下向きのポンプ圧送および側壁内部にポンプ筒先を挿入し、写真-2に示す側壁内部に入った作業員によって締固めを行い、コンクリートの打設を行っている。

なお、立坑側壁には先に示したように、既設のかまち梁が二箇所あり、かまち梁の下面は、作業員が入っての締固めが出来ない閉鎖された空間となっている。このため、この閉鎖空間の確実な充てんを可能とするためには、以下のような方法が候補として挙げられた。

- ① 流動化コンクリートおよび無収縮モルタルの適用
- ② 無収縮モルタルの適用
- ③ 高流動コンクリートの適用
- ④ 既設かまち梁の撤去

ただし、上記項目のうち②については、耐震構造物としての性能を満たさないと判断し、検討対象から除外した。④については、効率性や経済性から合理的でないと判断し検討対象から除外した。

①については、経済性からも最も効率の良い方法であると考えられたが、締固め作業が十分に行えない部位であることから、流動化コンクリートを用いることで確実な充てんが可能であるかが課題と考えた。そこで、流動化コンクリートの適用の可能性を判断する目的で模擬試験体による実証実験を行うこととした。

3.1 流動化コンクリートの適用評価

(1) 実験概要

実験に用いた側壁の模擬試験体を写真-3に示す。模擬試験体は、長さ3.0m、高さ1.0m、奥行2.0mとし、実寸法の部分カットモデルの閉鎖空間を作った。配筋は、設計通りとした。型枠上部には、コンクリートを流し込むための補助型枠を設置した。補助型枠は、上部を拡張

表-1 工事概要

	仕様
立坑築造工事	外径: φ20.0m 内径: φ16.0m 深さ: 46.0m(地下6階) コンクリート量: V=4250m ³ 鉄筋量(D13~D38): T=1514t
立坑内配管	φ1350mm L=41.9m
トンネル内配管	φ1800mm L=1413.3m

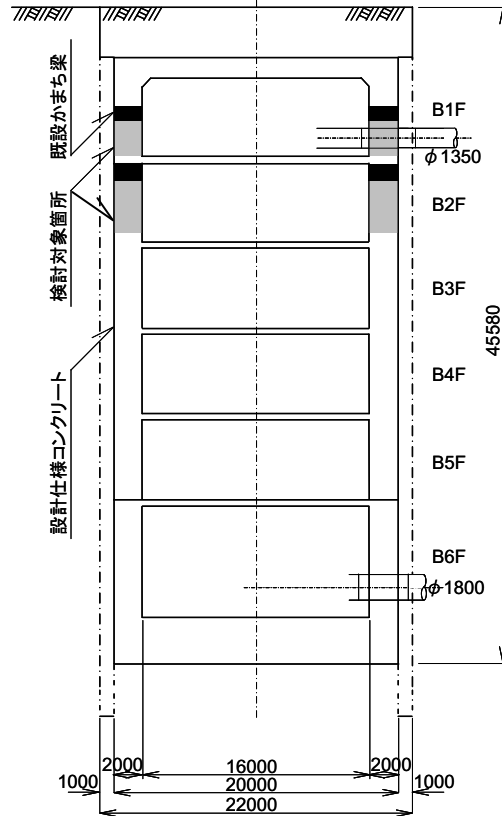


図-2 立坑断面図



写真-1 側壁配筋状況



写真-2 側壁内部状況

した構造（以降、あさがお構造と称す）とし、状況を確認するため下面以外をアクリル板で構成した。

評価の対象とした流動化コンクリートは、表-2に示す配合とし、スランプ 15cm のコンクリートに現地で流動化剤を後添加して21cmのスランプとした。

なお、流動化コンクリートの打込みは、あさがお構造の打設孔中央部より投入した。締固めは、作業性は低いものであるが打設孔より振動締固機を用いて補助的に行った。

(2) 実験結果

流動化コンクリートの打設状況を写真-4、写真-5に示す。写真に見られるように、コンクリートが中央部から側面に向けて移動し、振動締固機の効果によって打設孔と反対側の背面まで達することが確認された。

しかし、鉄筋によりコンクリートの流動が阻害されることや、内部の締固め作業が十分に行えないことから、不充てん箇所が観察された。

この結果から、流動化コンクリートでは一定の充てんは可能であるが、確実な充てん性は得られないとの結論に至った。

3.2 高流動コンクリートの検討

(1) 実験概要

流動化コンクリートの実験結果を受けて、締固めすることなく充てんが可能な高流動コンクリートの適用について検討を行った。

高流動コンクリートの配合条件については、土木学会のコンクリート標準示方書¹⁾および高流動コンクリート施工指針²⁾を参考に、対象部位の鉄筋量から自己充てん性のランクおよびスランプフローの目標を設定することにした。

対象構造物の鉄筋量が 360 kg/m^3 であるため、目標とする自己充てん性のレベルをランク 1 とした。また、鉄筋量に応じたスランプフローの範囲 (600~700mm) より、目標スランプフローを 600mm と設定した。

なお、鉄筋量の多い当該部位への充てん性は、JSCE-F 511-199「高流動コンクリートの充てん装置を用いた間げき通過試験方法 (案)」によって評価した。また、狭隘部への流動性と充てん性については、構造物を模擬した箱形容器を用いて評価した。

充てん装置を用いた間げき通過試験では、ランク 1 の自己充てん性の評価として、障害 R1 を用いた充てん高さ 300mm 以上を合格とした。また、箱形充てん装置を用いた試験では、実部材の奥行きが 2.0m であることから、同寸法の閉鎖空間を模擬した充てん装置を作製し、端部上面からの流し込みにより 2.0m 水平移動が可能となる流動性を評価した。また、容器内が確実に充てんされる充填性を確認することとした。なお、この充てん装



写真-3 模擬試験体（充てん試験用）

表-2 設計コンクリート及び流動化コンクリートの配合

	目標スランプ (cm)	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					混和剤	
			C	W	S	G	Ad		
							Ad1	Ad2	
設計コンクリート	8.0	66.0	240	158	855	1057	2.4	—	
流動化コンクリート	15.0	53.9	318	171	815	993	3.2	0.24	

※ C:セメント, W:水, S:細骨材, G:粗骨材
Ad1:AE減水剤, Ad2:流動化剤



写真-4 流動化コンクリート打設状況（側面）



写真-5 流動化コンクリート打設状況（背面）

表-3 高流動コンクリートの配合

	目標スランプフロー (cm)	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				
			C	W	S	G	Ad
高流動コンクリート	60.0	33.7	505	170	834	869	8.58

※ C:セメント, W:水, S:細骨材, G:粗骨材,
Ad:高性能AE減水剤

置は実部材形状よりも狭い空間となっているため、実際よりも厳しい評価になっているものとする。

検討の対象とした高流動コンクリートの配合を表-3に示す。表に示すように、製造工場で実績のある普通ポルトランドセメントを用いた粉体系の自己充てん型高強度コンクリートの配合を採用した。

(2) 実験結果

充てん装置を用いた間げき通過試験の結果、充てん高さが340mmであり、目標充てん高さ300mmを満足することを確認した。間げき通過試験状況を写真-6に示す。

箱形充てん装置を用いた充てん状況の評価では、流し込みだけで、2.0mまで移動する高い流動性と、空隙が生じることなく先端まで充てんしていることを確認した。箱形充てん試験実施状況を写真-7に示す。

以上の結果から、評価対象とした高流動コンクリートの高い流動性と充填性が確認されたことにより、スランプフロー値600mmの高流動コンクリートを実施工に適用することとした。

4. 実施工への適用

4.1 施工状況

試験結果を踏まえて、二箇所の既設かまち梁下部の閉鎖空間に高流動コンクリートを適用した。打設孔には、あさがお構造の型枠を設置し、その型枠の高さは充てん面から300mmの位置となるよう設置した。また、打設高さを充てん面より100mm高い位置とし、型枠脱型後にハツリにより除去することとした。写真-8に高流動コンクリートの打設状況を示す。

高流動コンクリートの充てん状況は、あさがお構造の型枠を脱型し、ハツリを行った後に打継面を目視観察によって確認した。写真-9にハツリ後の状況を示す。目視観察では、打設面に隙間は見られず確実な充てんがされたものと判断された。また、完成後に漏水の発生も生じていないことから良好な充てんが行えたものと判断した。

この結果から、鉄筋量が非常に多く壁厚の厚い閉鎖空間への高流動コンクリートの適用は有効であることが確認できた。

4.2 高流動コンクリートの品質

今回の施工は、1回目が9月に、2回目は11月に行われた。高流動コンクリートの品質管理試験結果を表-4に示す。表に示すように、いずれの施工時期においても目標とするスランプフローが得られていることが確認され、安定した品質管理が行えた。なお、高流動コンクリートの50cmフロー時間およびフロー停止時間を見ると、9月期に比べ、11月期の流動時間が増加している傾向であった。このことは、同じスランプフローでも粘



写真-6 間げき通過試験実施状況



写真-7 箱形充てん試験実施状況



写真-8 高流動コンクリート打設状況



写真-9 あさがお部ハツリ後の状況

性に差異が生じていたことを示すものであり、充てん状況にも差異が生じていた可能性があったものと考えられる。

ここで生じた粘性の差異としては、使用した混和剤のタイプの違いが考えられた。9月期に使用した高性能AE減水剤は、スランプフローの保持性の高い夏期タイプを用いたのに対して、11月期では標準期タイプを使用した。さらに、9月期には目標とするスランプフローを確保するために、使用量を増加させることで調整を行った。この結果、9月期のコンクリートの粘性が、11月期に比べて粘性が低くなっていたものと考えられる。

今回のような配筋量が多く閉鎖された空間への施工性を考えると、11月期においても9月期と同様の粘性が確保できるタイプの混和剤を使用することが、安定した性能を確保する上で有効であったものと考ええる。

5. 今後の課題

本件では、充てん状況の確認を、外部からの目視および漏水の有無によって行った。ただし、より確実な確認を行うためには、閉鎖空間の上面に充てん性を評価するセンサーを設置するなどの方法も考えられ、実施工への適用にあたっては検討すべき課題と考える。

また本件では、コンクリートの流動性や充てん性の評価として部材を模擬した試験装置を用いて評価を行った。高流動コンクリートの充てん性については充てん装置を用いた間げき通過試験方法が規準化されている³⁾が、水平移動距離に応じた流動性の評価方法については、確立した試験方法がない。模擬部材を用いることなく高流動コンクリートの性質を評価できる試験方法の確立が望まれる。

さらに、今回のように従来のコンクリートで設計されたコンクリート構造物に高流動コンクリートを適用する場合、流動性や自己充てん性を確保するために所要の強度を大きく上回ることとなる。そのため、高流動コンクリートを用いる条件で構造計算を実施し、鉄筋量を再検

表-4 高流動コンクリートの品質管理試験結果

打設時期	試験回数	スランプフロー (cm)	フロー時間 (秒)		空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	外気温 (°C)
			50cm	停止			
9月	1	60.0	5.2	24.0	2.0	30	28
	2	62.8	5.1	23.2	2.2	30	28
	3	63.3	5.3	24.5	1.8	33	28
	4	61.5	5.2	24.6	1.9	32	28
	5	63.5	5.1	24.8	2.1	32	28
	6	63.0	5.3	25.1	2.0	32	28
	7	61.5	5.2	24.6	1.9	32	28
	平均	62.2	5.2	24.4	2.0	32	28
11月	1	63.5	6.6	34.5	2.1	22	17
	2	60.0	6.4	36.2	2.0	24	18
	3	61.5	6.1	30.3	2.3	25	19
	4	63.0	5.4	29.9	2.1	25	20
	5	60.5	5.3	28.5	2.4	24	19
	6	63.5	5.7	31.8	2.0	23	18
	7	62.5	5.3	30.1	2.0	23	18
	平均	62.1	5.8	31.6	2.1	24	18

討することも経済性や信頼性の上で合理的な方法になりうるものと考ええる。

6. まとめ

今回の検討によって、従来のコンクリートで施工できない限定的な閉鎖部位への適用を検討した。この結果、高流動コンクリートは、流動性、充てん性、強度など各種の高い性能を有していることが確認された。

近年では、高流動コンクリートは超高層建築工事などで使用される例が増えているが、今後、土木構造物においても高密度配筋の増加や部材のスリム化が進む中、充てんの困難な場所で幅広く活用できることが信頼性の高い構造物の構築には必要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 土木学会：2002年制定 コンクリート標準示方書 施工編，18章高流動コンクリート，P277-287，2002。
- 2) 土木学会：高流動コンクリート施工指針，コンクリートライブラリー93，1998。
- 3) 土木学会：2005年制定 コンクリート標準示方書 規準編，P197-199，2005。

Summary This paper describes the process and result of a study conducted to ensure the filling of concrete in closed space and in sections with densely arranged reinforcement of the side walls of a vertical shaft. The shaft has been seismically designed against level-II ground motion and is installed in soft ground. The wall has therefore a great thickness of 2 m and the volume of reinforcement is high at 360 kg/m³. The earth retaining diaphragm for the shaft is provided with two tiers of beams at the opening for reinforcement. Filling concrete below the beams is therefore extremely difficult. Ease of construction using plasticized concrete with a slump of 21 cm was evaluated by full-scale model testing. As a result, it was verified that no plasticized concrete could ensure adequate filling of concrete. Then, the application of self-compacting concrete was considered. The compaction of plasticized concrete in closed space and its flowability in the direction of wall thickness (over a thickness of 2 m) were verified by testing using U- and box-shaped apparatuses.

Key Words : closed space, high density bar arrangement, plasticized concrete, self-compacting property, self-compactable concrete,