

超遅延コンクリートを用いたケーソン躯体の翌日連續打設工法に関する 検討と現場適用事例

STUDY AND FIELD APPLICATION OF NEXT-DAY CONTINUOUS CASTING METHOD USING ULTRA-RETARDANT CONCRETE FOR CAISSON STRUCTURES

守屋 健一^{*1}, 田中 徹^{*2}, 岩永 祐治^{*3}
MORIYA Kenichi, TANAKA Tooru and IWANAGA Yuji

This study evaluated the effectiveness and practicality of the next-day continuous pouring method that uses ultra-retardant concrete for caisson framework construction in deep underground structures. Concrete containing an ultra-retardant, which can control the setting time, was adopted to reduce the workload and shorten the time associated with conventional joint treatment. This helps ensure the integrity of joints during continuous pouring over two days.

Laboratory and field tests showed that the ultra-retardant concrete had compressive strength and durability equal to or greater than that of regular concrete, as well as excellent resistance to carbonation in the joints. Construction quality was ensured by taking specific measures on-site to address technical issues, such as optimizing the rate of retarder addition according to the concrete temperature, removing bleeding water, controlling the setting process, and applying appropriate compaction methods.

As a result, the structural construction period from the eighth lot onward was successfully shortened by approximately three months. This construction method has proven effective in saving labor, shortening construction time, and ensuring quality.

Keywords : Ultra-retardant concrete, Caisson construction method, Laitance removal, Continuous casting
超遅延コンクリート, ケーソン工法, レイタンス処理, 連続打設

1. はじめに

中央新幹線は、品川・名古屋間で工事が進められ、品川駅と神奈川県駅（仮称）間の約37kmの区間は全区間がトンネルであり、そのほとんどが大深度地下に計画されている。トンネル区間では、概ね5kmごとにシールドトンネルの発進・到達立坑が設置され、開業後は非常口として利用される計画である。今回対象とする立坑は、東京都町田市に位置し、ニューマチックケーソン工法による構築としては日本最大級の深さを有する発進・到達立坑の構築である。本工事では、作業の効率化を図るために、超遅延剤を添加したコンクリート（以下、超遅延コンクリート）を採用した。

大規模構造物においてコンクリートを大量に打設する場合、レディーミクストコンクリートの供給量や打設時間に制約を受けることが多い。このため、一般的な施工方法ではコンクリートの打設回数が増え、打継目も多くなる。従来、コンクリートの打継目については、レイタンスの除去やチッピング等の目荒し処理を行いコンクリートの一体性を高めていたが、大規模構造物では多大な時間と労力を要する。また、打継目の処理が完了するまで、後続の鉄筋工や型枠工などの作業を行うことができないため、打設回数が増えるほど全体の工期にも大きく影響する。特に地下構造物では水密性が要求されるため、適切な打継目処理が行われなければ構造物の耐久性や美観の低下、漏水の発生等のリスクが高まる。

そこで、超遅延コンクリートを用いることでレイタンス処理を不要とし、打継目の不良発生を抑制するとともに、2日間の連續打設によって省力化および工期短縮が図れる工法を検討した。

本報では本工法の実用性と有効性を評価するために、室内試験および実機試験を実施し、さらに実際の現場において実施した適用事例について報告する。

2. 工事概要および工法概要

2.1 工事概要

図1に立坑躯体の鉛直断面形状および打設高さを示す。立坑躯体の平面形状は、外径41.5mの大規模な円形であり、躯体の高さは約110mにも及び、日本最大級規模の深さとなる。作業室スラブの厚さは8.5m、側壁の厚さは4.5～7mと部材厚さが大きい。打設数量（V=11,500m³）が多い作業室スラブの打設リフトは9層（刃先+8層）に分割し、側壁の1ロット当たり最大高さは1日の打設可能量を考慮して、壁厚7m部で約4m、壁厚4.5m部で5.4mに設定した。躯体全体で計21ロット（底版1ロット+側壁20ロット）に分割し、コンクリートを打設する計画とした。

本工事では、躯体構築の工程短縮および品質確保を図るため、第8ロットの側壁（厚さ4.5m）以降で超遅延剤を使用し、2日間の連續打設を可能にした。超遅延剤を用いたコンクリートで打継ぐ場合には、構造的には水平

* 1 戸田建設(株)技術研究所 修士（工学）

Technology Research Institute, TODA CORPORATION, M.Eng.

* 2 戸田建設(株)技術研究所 工学修士

Technology Research Institute, TODA CORPORATION, M.Eng.

* 3 戸田建設(株)首都圏土木支店 修士（工学）

Metropolitan Area Civil Engineering Branch, TODA CORPORATION, M.Eng.

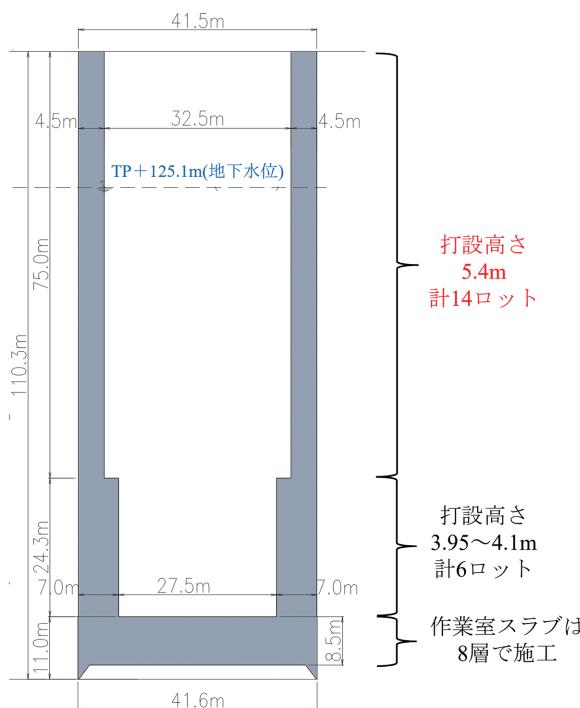


図1 立坑躯体の鉛直断面形状および打設高さ

打継目が通常の打重ねと同じ扱いとなり、止水性確保の上でも弱点となる打継目を低減できるため、工期短縮や品質確保に寄与することになる。

2.2 超遅延コンクリートを用いた工法の概要

土木学会コンクリート標準示方書施工編には、打重ねを行う場合、コンクリートの凝結試験による貫入抵抗値が 0.1N/mm^2 を超えると締固めが困難となり、コールドジョイントが生じる危険性が高いことが示されている^{1,2)}。

超遅延剤は通常コンクリートに添加することで、凝結時間を調整することが可能な化学混和剤である。本工法は超遅延剤の添加量を増減させることで、翌日でもコンクリートの貫入抵抗値を 0.1N/mm^2 未満となるように調整することが可能なため、レイターン処理を行うことなく、2日間連続打設が可能となる³⁾。また、本工法は打継目の不良等の発生を低減させるとともに、2日間連続打設することで、施工の省力化や工期短縮が期待できる。

図2に本工法の施工イメージを示す。また、下記に本工法の施工の流れを示す。

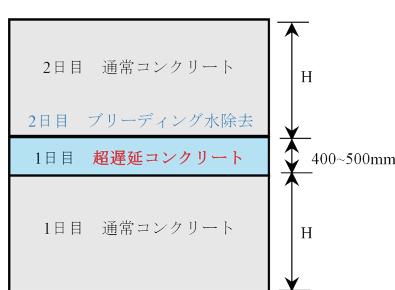


図2 本工法の施工イメージ

- ① 1日目に通常コンクリートを打設
- ② 1日目の最終層（400～500mm）は超遅延コンクリートを打設
- ③ 翌日（2日目）の早朝に超遅延コンクリートを再振動（ブリーディング除去作業）
- ④ 超遅延コンクリートの貫入抵抗値が 0.1N/mm^2 未満であることを確認
- ⑤ 通常コンクリートを打設

3. 工法の検討試験

3.1 検討試験の概要

(1) 試験概要

試験は、大規模構造物を想定しマスコンクリートを対象に、コンクリートには低熱ポルトランドセメントを使用し、配合は30-15-20Lとした。室内試験では超遅延剤の影響を把握し、実機試験においては模擬体による打重ね部の性能を評価した。

表1に室内試験および実機試験の検討内容を示す。室内試験では、試し練りにおいて超遅延剤の添加率を決定し、その後、フレッシュ性状、強度特性および収縮特性を確認した。実機試験では、予備実機試験で超遅延剤の添加率を決定し、その後、コンクリートの評価試験および模擬体による評価試験を実施した。

表1 室内試験および実機試験の検討内容

検討項目		試験（規格値等）
室内	超遅延剤の添加率 (試し練り)	凝結（ 0.1N/mm^2 , 始発, 終結）
	フレッシュ性状	スランプ（ $15.0 \pm 2.5\text{cm}$ ） 空気量（ $4.5 \pm 1.5\%$ ） コンクリート温度（ $10^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$ ）
	強度特性	圧縮強度（材齢7, 28, 56日）
	収縮特性	長さ変化（—）
実機	超遅延剤の添加率 (予備実機試験)	凝結（ 0.1N/mm^2 , 始発, 終結）
	コンクリート評価 (実機試験)	スランプ（現着 $15.0 \pm 2.5\text{cm}$ ） 空気量（現着 $4.5 \pm 1.5\%$ ） コンクリート温度（—） 凝結（ 0.1N/mm^2 , 始発, 終結） 圧縮強度（材齢28日, 56日）
	模擬体による 打重ね部の評価 (実機試験)	コア供試体による評価（通常コン以上） 圧縮強度（材齢28日, 56日） 引張強度（材齢28日, 56日） 中性化抵抗性（促進材齢28日）

(2) 使用材料およびコンクリートの配合

表2に使用材料、表3に使用した超遅延剤の性能等の試験結果（JIS A 6204に準拠）、表4にコンクリートの配合を示す。

コンクリートは30-15-20Lとし、粗骨材に石灰石を50%使用しているレディーミクストコンクリート工場の配合を用いた。また、高性能AE減水剤は、環境温度 10°C および 20°C には標準形を使用し、環境温度 30°C および 35°C には遅延形を使用した。目標スランプは $15.0 \pm 2.5\text{cm}$ 、目標空気量は $4.5 \pm 1.5\%$ とし、化学混和剤の添加

量でスランプおよび空気量を調整した。

なお、超遅延剤は使用量を予め単位水量から差し引いておき、ベースコンクリートが練上がった後、ミキサに添加した。

表2 使用材料

	記号	種類	密度 (g/cm ³)
セメント	C	低熱ポルトランドセメント	3.22
	S1	東京都八王子市美山町 碎砂	2.64
	S2	千葉県富津市湊 砂	2.63
細骨材	S3	埼玉県秩父郡横瀬 碎砂	2.66
	G1	埼玉県秩父郡横瀬 碎石2005	2.70
	G2	東京都八王子市美山町 碎石	2.65
粗骨材	G3	神奈川県相模原市緑区小倉 碎石	2.66
	Ad1	高性能AE減水剤 標準形	—
	Ad2	高性能AE減水剤 遅延形	—
超遅延剤	—	変性リグニンスルホン酸化合物とオキシカルボン酸化合物の複合体	—

表3 超遅延剤の性能等の試験結果

品質項目	規定値※	試験値
減水率 (%)	4以上	7
ブリーディング量の比 (%)	100以下	69
凝結時間 の差 (min)	始発	+60～+210
	終結	0～+210
圧縮強度比 (%)	材齢7日	110以上
	材齢28日	110以上
長さ変化率 (%)	120以下	101

※減水剤遅延形の規定値

表4 コンクリートの配合

配合	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							
			W	C	S1	S2	S3	G1	G2	G3
30-15-20L	53.9	49.1	165	307	451	225	227	478	282	189

3.2 室内試験

(1) 室内試験の水準および検討方法

表5に試験の水準を示す。室内試験は、試し練りにおいて24時間で貫入抵抗値が0.1N/mm²となる超遅延剤の添加率を決定し、試し練りで決定した添加率でフレッシュ性状、強度特性および収縮特性の確認を行った。なお、試験は大規模構造物への適用を想定しており、通年使用するために環境温度は10, 20, 30および35°Cで実施した。

表5 試験の水準

要因	水準
コンクリート温度 (°C)	10, 20, 30, 35
超遅延剤の添加率 (C×%)	10°C 0, 1.05 (0.70, 0.90, 1.10)
	20°C 0, 1.15 (0.80, 1.00, 1.20)
	30°C 0, 1.05 (0.90, 1.10, 1.30)
	35°C 0, 1.20 (1.00, 1.20, 1.40)
	※ () 内は予備試験の添加率

(2) 試験項目および方法

表6に試験項目および試験方法を示す。フレッシュ性

状はスランプ、空気量およびコンクリートの凝結を確認した。凝結試験は、始発時間、終結時間および貫入抵抗値が0.1N/mm²となる時間を確認した。圧縮強度は、超遅延剤の添加の有無による影響を確認するために標準養生を行った試験体について試験を行った。また、長さ変化試験は、環境温度20°Cで試験体を作製し、JIS A 1129-3ダイヤルゲージ法を用いて測定を行った。

表6 試験項目および試験方法

試験項目	試験規格	詳細
スランプ	JIS A 1101	目標値 : 15.0±2.5cm
空気量	JIS A 1128	目標値 : 4.5±1.5%
コンクリート温度	JIS A 1156	—
コンクリートの凝結	JIS A 1147	試験 : 0.1N/mm ² , 始発, 終結
圧縮強度	JIS A 1108	材齢7, 28, 56日 (標準養生)
長さ変化	JIS A 1129-3	第3部 : ダイヤルゲージ法

3.3 実機試験

(1) 実機試験の水準および検討方法

実機試験に先立ち実施した予備実機試験では24時間で貫入抵抗値が0.1N/mm²となる超遅延剤の添加率を決定した上、実機試験のコンクリートのフレッシュ性状を確認し、模擬体による性能評価試験を実施した。なお、実機試験は凝結時間が遅延し、打重ね部に影響を及ぼす可能性がある冬期に実施した。

(2) 試験項目および方法

表7に予備実機試験と実機試験の試験項目および試験規格、表8に模擬体による性能評価方法を示す。

予備実機試験では、超遅延剤の添加率が0.75%, 0.90%および1.05%の3点で凝結試験を実施した。

実機試験では、コンクリートの評価として、スランプ、空気量、コンクリート温度、凝結、試験体による圧縮強度および模擬体による評価試験を実施した。模擬体

表7 予備実機試験と実機試験の試験項目および試験規格

試験項目	試験規格	備考
予備実機試験	スランプ	JIS A 1101 15±2.5cm
	空気量	JIS A 1128 4.5±1.5%
	コンクリート温度	JIS A 1156 —
	凝結試験	JIS A 1147 試験 : 0.1N/mm ²
実機試験	スランプ	JIS A 1101 15±2.5cm
	空気量	JIS A 1128 4.5±1.5%
	コンクリート温度	JIS A 1156 —
	凝結試験	JIS A 1147 0.1N/mm ² , 始発, 終結
	圧縮強度	JIS A 1108 材齢28, 56日
模擬体による評価	圧縮強度 (コア供試体)	JIS A 1107 材齢28, 56日
	割裂引張強度 (コア供試体)	JIS A 1113 材齢28, 56日
	中性化 (コア供試体)	— 促進材齢4週

表8 模擬体による性能評価方法

試験体	試験項目	種類	試験方法	
模擬体による性能評価 □1,000×1,500mm	圧縮強度(コア供試体)	超遅延コンによる打重ね	JIS A 1107	材齢28, 56日
	割裂引張強度(コア供試体)		JIS A 1113	材齢28, 56日
	中性化(コア供試体)	通常コン(一体打ち)	<ul style="list-style-type: none"> コア供試体による圧縮強度と割裂引張強度と同じ試験体から、$\phi 100 \times 1500\text{mm}$のコアを採取し、コア供試体全面を対象に促進中性化試験を実施 促進条件は温度20°C、相対湿度60%、二酸化炭素濃度5%の環境 	
		超遅延コンによる打重ね	<ul style="list-style-type: none"> 試験は促進材齢4週とし、コア供試体を割裂し、割裂面にフェノールフタレイン1%エタノール溶液を噴霧して中性化深さを測定 	

による評価は、圧縮強度、割裂引張強度および中性化により打重ね部の性能を評価した。

模擬体による性能評価試験は図3に示す□1,000×1,500mmの試験体を使用した。超遅延コンクリートを用いて打ち重ねる模擬体は、1層目に通常コンクリート、2層目に超遅延コンクリートを打設し、翌日、3層目に通常コンクリートを打設した。また、通常コンクリートで一体打ちの模擬体は、3層に分け連続で打設した。模擬体の締固めは、実打設を想定し、 $\phi 50\text{mm}$ のバイブレータを用いて、1層4箇所を1箇所10秒で行った。なお、超遅延コンクリートは、翌日の打設開始時にコンクリート上面に溜まっているブリーディング水を除去し、バイブレータで再振動を行ってから通常コンクリートを打ち重ねた。

(3) 模擬体のコア採取位置

図3にコア供試体による圧縮強度、割裂引張強度および中性化評価用模擬体を示し、図4に模擬体のコア採取位置を示す。圧縮強度および割裂引張強度用の模擬体は各

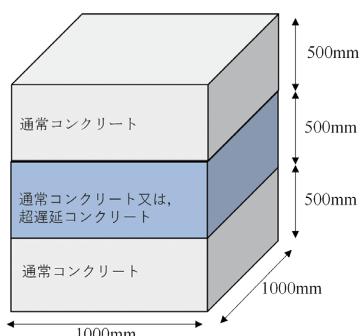


図3 コア供試体による評価用模擬体

2体作製し、図4に示すように材齢28日と材齢56日でコア供試体を採取し、中性化試験用の供試体は、材齢28日に圧縮強度および割裂引張強度用の模擬体から採取した。

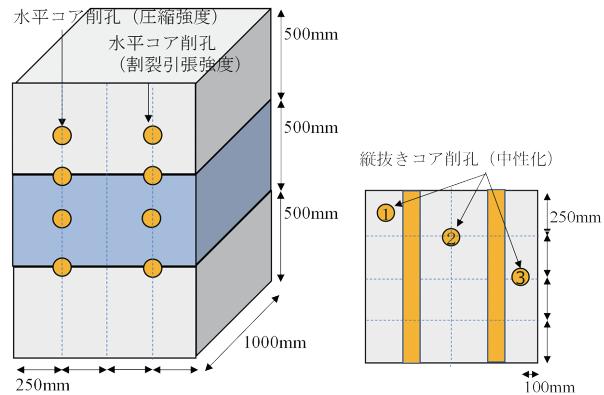


図4 模擬体のコア採取位置

4. 工法の検討試験結果

4.1 室内試験

(1) 試し練りによる超遅延剤の添加率確認試験

図5に各温度の超遅延剤添加率と貫入抵抗値が 0.1N/mm^2 となる時間の関係を示す。試し練りにおいて24時間で貫入抵抗値が 0.1N/mm^2 となる超遅延剤の添加率を確認した。この結果、環境温度10°Cは1.05%，環境温度20°Cは1.15%，環境温度30°Cは1.05%，環境温度35°Cでは1.20%となった。

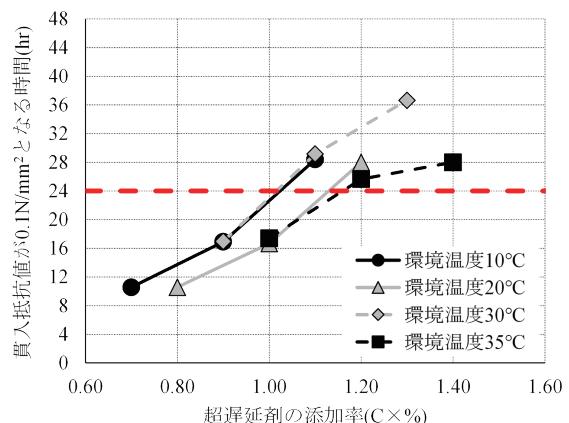


図5 各温度の超遅延剤添加率と貫入抵抗値が 0.1N/mm^2 となる時間の関係（室内試験）

(2) フレッシュ性状

表9にフレッシュ試験結果、図6に超遅延コンクリートの凝結時間を示す。超遅延剤には減水効果があるため、超遅延コンクリートは高性能AE減水剤の添加率を減らすことでスランプを調整し、すべての配合で目標値を満足した。超遅延コンクリートの貫入抵抗値が 0.1N/mm^2 となる時間は、21時間～26時間となり、環境温度毎に超遅延剤の添加率を設定することで35°Cにおいてもコントロールできることを確認した。

環境温度10°Cでは他の環境温度より始発～終結時間間

表9 模擬体によるコア供試体の圧縮強度（実機試験）

種類	混和剤 (C×%)		フレッシュ性状		
	Ad	超遅延剤	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)
10°C通常	0.75	—	15.5	4.3	10
20°C通常	0.80	—	16.0	4.3	20
30°C通常	0.70	—	16.5	4.5	29
35°C通常	0.70	—	16.5	4.7	34
10°C遅延	0.40	1.05	14.5	4.9	11
20°C遅延	0.45	1.15	15.5	4.9	20
30°C遅延	0.40	1.05	16.0	4.7	29
35°C遅延	0.40	1.20	15.5	5.1	34

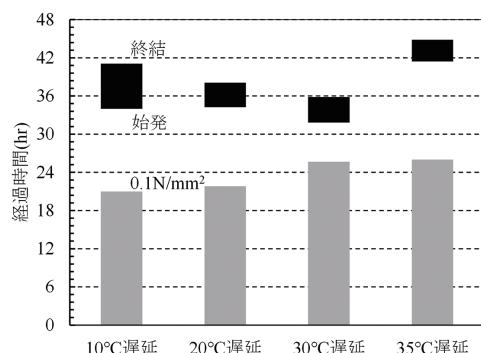


図6 超遅延コンクリートの凝結時間 (室内試験)

隔が長くなった。また、35°Cは最も始発－終結時間間隔は短くなつたが、貫入抵抗値0.1N/mm² 始発時間間隔は長くなつた。これは超遅延剤の添加率が多く、環境温度が高いため、超遅延剤の効果が大きくなつた可能性が考えられる⁴⁾。

(3) 強度特性および収縮特性

表10に圧縮強度試験結果、図7に乾燥期間と長さ変化率の関係を示す。圧縮強度は練上がり時の環境温度の影響ではなく、材齢56日では超遅延コンクリートは通常コンクリートと比較して同等以上の圧縮強度となつた。

乾燥期間26週時点における超遅延コンクリートの長さ変化率は、通常コンクリートより約10%小さく、超遅延剤の添加によって乾燥収縮が増大する傾向は認められなかつた。

4.2 実機試験

(1) 予備実機試験

図8に超遅延剤添加率と貫入抵抗値が0.1N/mm²となる時間を示す。コンクリート温度は11～12°Cであり、超遅延剤の添加率を0.75%，0.90%，1.05%の3点で予備実機試験を行つた。この結果、24時間で貫入抵抗値が0.1N/mm²となる超遅延剤の添加率は0.95%であることを確認した。

(2) 実機試験によるコンクリートの評価

表11に模擬体に使用したコンクリートのフレッシュ性状と圧縮強度の試験結果を示す。フレッシュコンクリートの試験結果は、超遅延コンクリートは超遅延剤に減水性があるため、高性能AE減水剤の添加率を減らすこととスランプを調整し、すべての配合で目標値を満足した。超遅延コンクリートの貫入抵抗値が0.1N/mm²となる

表10 圧縮強度試験結果 (室内試験)

種類	圧縮強度 (N/mm ²)		
	材齢7日	材齢28日	材齢56日
10°C通常	12.6	42.8	53.7
20°C通常	12.0	40.2	51.6
30°C通常	12.5	40.7	52.9
35°C通常	12.8	39.7	53.3
10°C遅延	13.8	43.5	57.3
20°C遅延	10.3	38.4	52.9
30°C遅延	12.6	41.4	55.7
35°C遅延	12.4	40.5	53.8

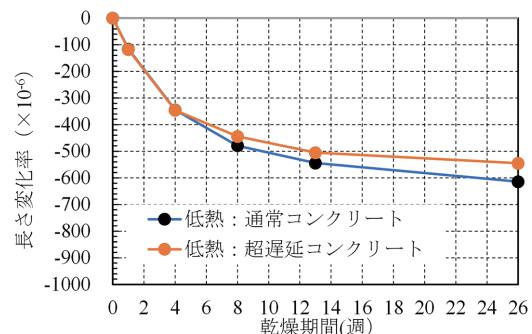


図7 材齢と長さ変化率の関係 (室内試験)

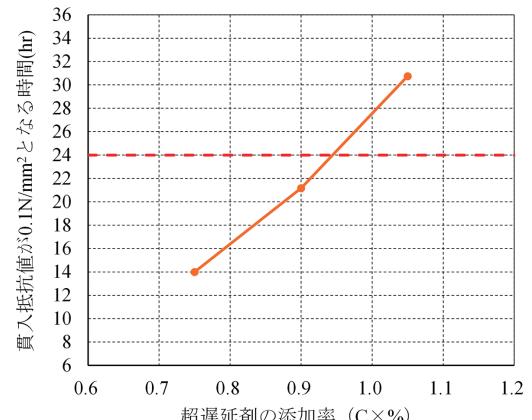


表11 フレッシュ性状と圧縮強度の試験結果 (実機試験)

配合	遅延剤 添加率 (C×%)	フレッシュ			圧縮強度 (N/mm ²)	
		スランプ (cm)	空気量 (%)	コンク リート 温度 (°C)	28日	56日
通常コンクリート	—	15.0	4.8	13	37.2	42.7
超遅延コンクリート	0.95	15.5	4.6	12	38.5	52.7

時間は24時間25分、始発時間は39時間45分、終結時間は48時間35分であった。

(3) 模擬体による評価

実際の打継ぎ方法を想定し、超遅延コンクリート打設後から18時間経過した後に通常のコンクリートを打ち重ねて作製した模擬体を用いて、打重ね部の圧縮強度、割裂引張強度および中性化抵抗性に関する試験を行い、構

造的な性能を評価した。

図9に模擬体によるコア供試体の圧縮強度、図10に模擬体によるコア供試体の割裂引張強度を示す。

超遅延コンクリートを使用した模擬体から採取したコア供試体の圧縮強度および引張強度は、通常コンクリートで一体打ちした模擬体から採取したコア供試体と比較して同等以上の強度となった。特に超遅延コンクリート部の圧縮強度および引張強度は、通常コンクリートより高くなる傾向となった。

図11に打重ね部の中性化状況(促進材齢28日)を示す。

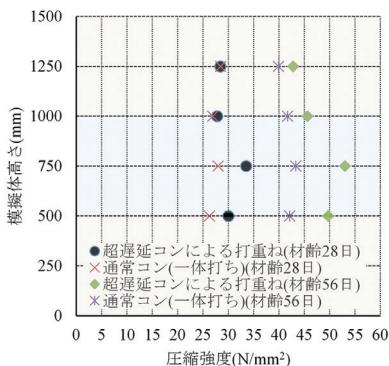


図9 模擬体によるコア供試体の圧縮強度（実機試験）

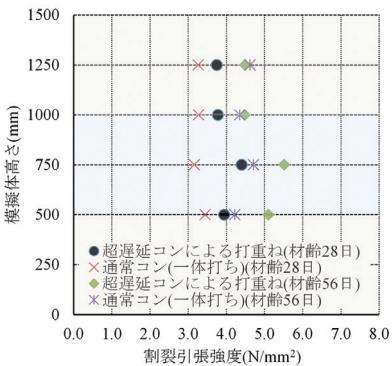
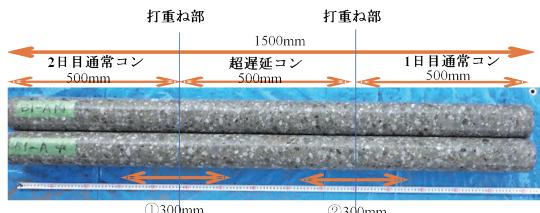


図10 模擬体によるコア供試体の割裂引張強度（実機試験）



	①打重ね部	②打重ね部
①		
②		
③		

図11 促進材齢28日の打重ね部の中性化状況（実機試験）

中性化抵抗性による評価は、模擬体から採取したコア供試体を用いて促進中性化試験（温度20°C、相対湿度60%、二酸化炭素濃度5%）を行った。超遅延コンクリートを用いた打重ね部においては、一般部と同程度の中性化深さが確認され、打重ね部の一体性が確保されていることを確認した。このことから、超遅延コンクリートを用いた水平打継方法は有効であることが確認された。

5. 現場適用

5.1 施工上の問題点と対策

本工事では、躯体構築の工程短縮および品質確保を図るために、第8ロットの側壁（厚さ4.5m）以降で、超遅延コンクリートを使用し、2日間の連続打設を適用した。図12に第8ロットのリフト割を示す。当社としては、超遅延コンクリートを躯体構造物に適用した施工事例が無かつたため、発注者や施工業者が主催する技術検討会（コンクリートに精通した技術者も参画）を事前に別途開催し、超遅延コンクリートを現場に適用した場合の施工上の問題点や対策等を抽出した。表12に施工上の問題点と対策を示す。

本報では、より重要性が高い以下の4項目への具体的な対応について述べる。

- ①超遅延剤の添加量の設定・調整
- ②超遅延コンクリートの凝結管理方法
- ③ブリーディング水の除去方法
- ④締固め方法

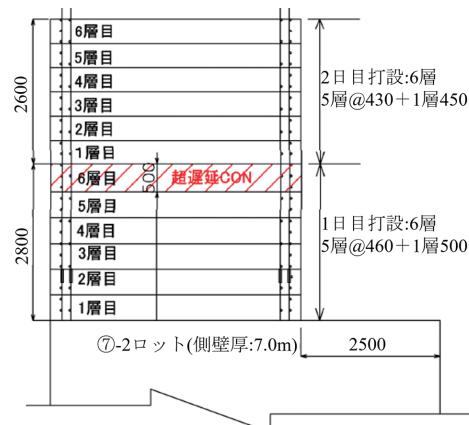


図12 第8ロットのリフト割

5.2 超遅延剤の最適な添加量の設定・管理方法

本工事はケーソン側壁の1日の打設量が約1,400m³と非常に多いことから、3箇所のプラントからコンクリートを供給できる体制を講じた。しかしながら、プラント毎に使用しているセメントや骨材等の製造および供給業者は異なる。よって、2日の打設は超遅延コンクリートが硬化するリスクを考慮して、打設完了から24時間経過後の貫入抵抗値が0.1N/mm²となる添加率を把握するため、各プラントにて事前に予備試験を実施した。また、打設時期は通年に及ぶため、コンクリート温度は10～

表 12 施工上の問題点と対策

No.	問題点	対策
①	超遅延剤の添加量の設定・管理	<ul style="list-style-type: none"> 超遅延剤はプラント敷地内で出荷時にアジャデータ車に添加 コンクリート温度と添加量の相関をプラント毎に把握 打設当日のベースコンクリートの温度を考慮して、添加量を打設 3 時間前に決定
②	遅延コンクリートの凝結管理方法	<ul style="list-style-type: none"> 前日打設した供試体で貫入抵抗試験により確認し、貫入抵抗値 0.1N/mm^2 未満を目安にして、ブリーディング水の除去前後に実施 打設現場では N 式貫入試験を実施し、貫入深さ 70mm を目安にして、ブリーディング水の除去後に実施
③	ブリーディング水の除去方法	<ul style="list-style-type: none"> 1 日目は側壁中央部を 30~50mm 程度嵩上げし型枠の排水窓から除去 2 日目は打設 2 時間前に再振動をかけブリーディング水をスポンジ等で除去
④	フレッシュ試験の管理値の設定と管理方法	<ul style="list-style-type: none"> (独) 鉄道・運輸機構の品質管理基準を踏襲 ベースコンクリートの混和剤添加率を調整し、超遅延剤添加後のスランプを管理 添加前: スランプ 8cm (目標値) 添加後: スランプ 15±2.5cm (管理値) 材料メーカーと JV 職員によるチェック
⑤	打設厚さ・管理方法	<ul style="list-style-type: none"> 透明型枠を配置して目視で確認 鉄筋架台にマーキングして打設高さを管理 打設高さは 500mm で適用を開始 ⇒沈降ひび割れを防止するため、コンクリートの余剩水を極力低減するため、打設高さは 400mm へ変更
⑦	鉄筋・型枠に付着したモルタルの除去方法	ワイヤブラシや布を用いて、コンクリート打設時に飛散したモルタルの清掃
⑧	締固め方法 (2 日目再振動)	<ul style="list-style-type: none"> バイブレータの挿入間隔は 500mm 以下を目安 1 日目は下層の通常コンクリートに 100mm 程度挿入できるようバイブルレータにマーキング 2 日目は前日打設の超遅延コンクリートに約 390mm (変更後 290mm) 挿入できるようバイブルレータにマーキング

35°Cまでを想定した。

実施工では、前述の予備実機試験の結果や、超遅延コンクリートを実際に運用して 8~10 ロットの打設の中で得られた超遅延剤の添加率データも加味してコンクリート温度と超遅延剤の添加率の相関関係を改めて同定し、得られた回帰直線を用いて添加率の設定を行った。メインプラントであるプラント A の結果を図 13 に示す。

実施工では、打設当日の 3 時間前に外気温を参考にしてコンクリート温度を概定し、図 13 で得られた回帰直線を用いて、プラント毎に超遅延剤の添加量を最終決定し、出荷前に超遅延剤の添加状況を品質管理担当者 (JV 職員 + 混和剤メーカー社員) が隨時確認する計画とした。写真 1 に超遅延剤の添加状況を示す。

5.3 超遅延コンクリートの凝結管理方法

超遅延コンクリートの凝結の程度は、テストピースを用いた貫入抵抗試験および、原位置でも凝結の程度を迅速かつ容易に計測することができる N 式貫入試験 (突き棒の落下により貫入量を把握する試験) を併せて実施した。

図 14 に N 式貫入試験の概要を示す。N 式貫入試験は、(社) 土木学会「コンクリートライブラー 103 : コンクリート構造物におけるコールドジョイント問題と対策」において、貫入抵抗値 0.1N/mm^2 の検出精度が非常に高い方法であると示されている。

図 15 に貫入試験抵抗値と N 式貫入試験での突き棒の貫入深さの相関関係を示す。貫入抵抗値 0.1N/mm^2 に相当す

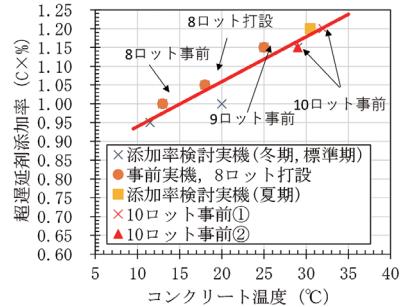


図 13 コンクリート温度と添加率の関係



写真 1 超遅延剤添加状況

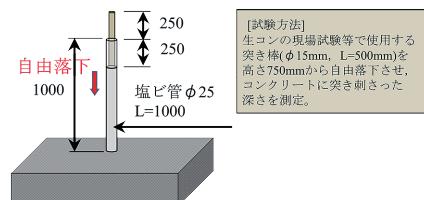


図 14 N 式貫入試験の概要

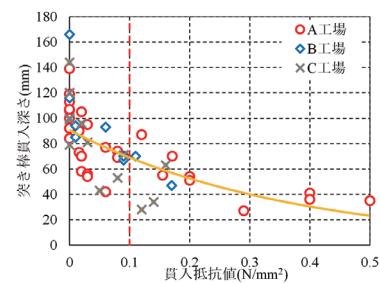


図 15 貫入試験抵抗値と N 式貫入試験での突き棒の貫入深さ



写真 2 貫入抵抗試験の立会い



写真 3 N 式貫入試験の実施

る突き棒の貫入深さは 70mm であり、プラントによって大きな差異はないことを確認した。

実施工では、2 日目の朝に前日に打設した供試体にて貫入抵抗試験を行い、打設現場ではコンクリートの打継面で N 式貫入試験を行い、発注者の立会いの下、超遅延コンクリートの凝結状況を把握しながら打重ねの可否を

都度判断した。写真2に貫入抵抗試験の立会い状況、写真3にN式貫入試験の実施状況を示す。

5.4 ブリーディング水の除去方法

1日目の打設で超遅延コンクリートを締固める際には、ブリーディング水の発生が想定された。そのため、超遅延コンクリートの仕上がり天端に発生するブリーディング水を確実に排水するための排水窓(500×300mm)を円周方向に3.5m間隔で設けた(写真4)。さらに、排水窓からの排水を円滑に行うため、側壁中央部は30~50mm程度嵩上げして打込む計画とした。

2日目は、前日に打設した超遅延コンクリートに含まれる余剰水を排水するため、打設の2時間前(前日の打設完了から約12時間経過後)に再振動を行った。また、前日打設した超遅延コンクリートが下層ベースコンクリートへ混入することを防止する観点から、超遅延コンクリートへのバイブレータの挿入量は390mmに設定した。なお、再振動させる際のバイブルーテタの挿入高さを適切に管理するため、バイブルーテタのホースにはビニルテープでマーキングした。加えて、再振動をかけるタイミングで水平打継界面にブリーディング水が多量に残存している場合には、ケーン軸体の構造安全性、品質および耐久性等に大きな影響を及ぼす打継不良の発生や沈設後の漏水が懸念されるため、吸水スponジを用いて人力にてブリーディング水の処理を確実に実施した。

5.5 コンクリートの締固め方法の策定

1日目の超遅延コンクリートの締固めは、通常のコンクリートの場合と同様にバイブルーテタの挿入間隔は500mm以下を目安にして行う計画とした。また、鉄筋が過密に配置された側壁のかぶり部分のコンクリートの充填不良の発生を防止するため、円周方向に10m間隔に透明型枠(幅500mm)を設置して入念に充填管理を行った(写真5)。

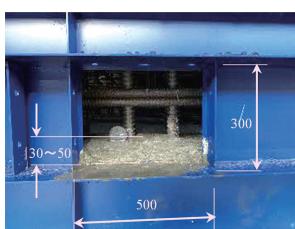


写真4 排水窓の設置状況



写真5 透明型枠の設置状況

5.6 不具合の発生原因と追加対策

施工初期には、打設窓の段差やコンクリートの不均一な沈降等により仕上げ面の一部に微細なひび割れや砂じが生じた。これらの不具合は、超遅延コンクリートの硬化遅延に伴う過度なブリーディング水の発生が主因であると考えられた。そこで、以下の追加対策を講じた結果、打設後の出来栄えは改善された。図16に超遅延コンクリートの打設状況を示す。

①ブリーディング水の除去効果を高めるため、排水窓の外縁に吸水スponジの設置

②沈降ひび割れを防止するため、超遅延コンクリートの

打設天端位置の変更(排水窓天端+50mm→排水窓天端)

③コンクリートの余剰水を極力低減するため、他社での過去の施工実績を参考にして、超遅延コンクリートの厚さを変更(500mm→400mm)。併せてバイブルーテタの挿入量は290mmに変更

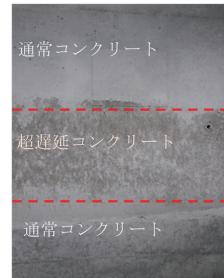


図16 超遅延コンクリートの打設状況

6. おわりに

本検討で得られた結果を示す。

- 1) 環境温度に応じて超遅延剤の添加率を補正・設定することで、貫入抵抗値 0.1N/mm^2 に達するまでの時間を調整できる。
- 2) 室内試験における圧縮強度試験の結果より、超遅延コンクリートは材齢56日において、通常コンクリートと同等以上の圧縮強度を示すことを確認した。
- 3) 室内試験による長さ変化試験の結果より、乾燥期間26週時点における超遅延コンクリートの長さ変化率は通常コンクリートより約10%小さく、超遅延剤の添加によって乾燥収縮が増大する傾向は認められなかった。
- 4) 模擬体から採取したコア供試体の圧縮強度および割裂引張強度は、通常コンクリートの模擬体から採取したコア供試体と同等である。
- 5) 超遅延コンクリートを用いた模擬体における打重ね部の中性化抵抗性は通常コンクリートと同程度であり、打重ね部の一体性は確保できている。
- 6) 超遅延コンクリートを用いることで、水平打継目処理の削減による作業効率の向上と品質確保を実現した。なお、本工法の適用により、第8ロット以降の軸体構築期間を約3ヶ月短縮することができた。

以上の検討結果から、大規模地下構造物への超遅延コンクリートの適用に際しては、適切な超遅延剤の添加量と打設管理により打重ね部の品質を確保できることが確認された。本工法は施工の省力化や工期短縮に有効である一方、凝結はセメントや骨材の品質、さらには外的要因に大きく左右されるため、事前試験による十分な検討が不可欠である。

本報の成果が、今後の同様な工事において、施工方法の検討・適用に際し、参考となれば幸いである。

謝辞

本検討の遂行にあたり、多くの皆様より多大なるご支援とご協力を賜りましたことに、心より感謝申し上げます。特に、貴重なご助言を賜りました発注者の独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構の皆様、施工業者の皆様、ならびに混和剤メーカの皆様に、厚く御礼申し上げます。また、社内関係部署の皆様のご尽力により、本工法の検討および現場への適用が円滑に進められましたことに、深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会 : 2017年制定 コンクリート標準示方書 施工編
pp.118-120
- 2) 土木学会 : コンクリート構造物のコールドジョイント問題
と対策
- 3) 守屋健一, 田中徹, 西祐宜 : コンクリート構造物の打継ぎ部
の耐久性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文
集, Vol.42, No.1, 2020
- 4) 竹内徹, 長瀧重義 : 超遅延剤を用いたコンクリートの特性,
コンクリート工学, Vol.37 No.11, 1999.11