

超遅延コンクリートを使用した日をまたいだ連続打設工法

Continuous Concrete-placing Method Done Across Days Using Super-Delayed Concrete

向 俊 成 渡 邊 賢 三 芦 澤 良 一¹⁾
澤 拓 寿²⁾ 塩 見 尚 潔²⁾ 須 崎 浩 二²⁾

要 約

底版などの大型のスラブ構造物を構築する場合は、コンクリートの供給量や作業時間の制約から、日を分けて複数のリフトに分割して施工することが一般的である。そのため、リフト間の打継面処理が必要になるが、大量に発生するアルカリ水の処理にコストを要することや、狭隘な配筋内部での作業となることから、生産性が低いことや打継面処理の品質の確保が課題となっている。そこで、打込みから24時間経過後も打重ねが可能なコンクリートを開発し、打継面処理を不要とすることで現場の生産性の向上を図ることを目的に検討を行った。

室内での超遅延コンクリートの配合試験の結果、コンクリートに遅延剤を適正量添加することで、打込みから24時間経過後も打重ね可能な性状を保持できること、および凝結の遅延により増大するブリーディングは増粘剤の添加により制御可能であることを明らかにした。また、モックアップ試験の結果、超遅延コンクリートを使用した打重ねは十分に一体化が可能であり、一般的な打重ねと同程度の引張強度、表面吸水速度や中性化抵抗性をはじめとする耐久性を持つことを確認した。さらに、このコンクリートを実際の構造物に適用した結果、超遅延コンクリートによる施工が実施可能であることを確認するとともに、日をまたいだ連続打設工法により、工程短縮効果に加え、コスト削減効果も得られることを明らかにした。

目 次

- I. はじめに
- II. 室内試験による超遅延コンクリートの配合選定
- III. モックアップ実験による一体性の確認
- IV. 構造物への適用事例
- V. おわりに

I. はじめに

1. 検討の背景

大型のスラブ構造物を構築する際は、コンクリートの1日あたりの供給可能量などの各種条件に応じて鉛直や水平打継目を設けて、複数のブロックに分割してコンクリートを打ち込むことが一般的である。ブロック間の鉛直打継目は凹凸状のシートや凝結遅延剤を用いて骨材を洗い出す方法などが適用されている。一方、水平打継目に着目すると、高圧水を用いてレイタンスやぜい弱層を除去する手法が一般的であり、打継面処理に伴う濁水処理や過密配筋内での作業にな

ることによる生産性低下などが大きな課題となっている。また、狭隘な配筋内部での作業となることから、打継面処理の品質確保も課題である。さらに、打継目を多数設けることは構造物の一体性、止水性の低下につながる可能性がある。これらを改善するため、遅延剤を混和することでコンクリートの打重ね可能な時間を延長して、2日間に分けて連続的にコンクリートを打ち込む日またぎ連続打設工法について検討を行った。

2. 適用の対象とした構造物

本論文では横浜環状南線公田笠間トンネル工事の回転立坑底版部への適用を目標に検討を行った。対象の構造物は住宅地に構築されるW40×L28×H3mの底版で、深さ25mの立坑内に構築した。住宅地であるため、工事用車両の通行可能な時間帯が9:00~17:00であり、また通行可能な台数も制限されていた。したがって、1日のうちコンクリートの打込みが可能な時間は6時間程度であり、供給可能なコンクリート量は400m³/日程度に制限されていた。通常の施工方法で

1) 土木管理本部 Civil Engineering Management Division

2) 東京土木支店 Tokyo Civil Branch

キーワード : コンクリート, 超遅延コンクリート, 打継面処理, 打重ね, 遅延剤, 増粘剤, ブリーディング

Keywords : concrete, super-delayed concrete, surface treatment, stacked concrete, retardant, thickening agent, concrete bleeding

底版を構築する場合、多数のブロックに分割する必要があり、工期の長期化と多数の打継目の設置による一体性、止水性の低下などが懸念された。これらの点を改善するため、日またぎ連続打設工法を適用し、工期の短縮と打継目の削減を図った。

II. 室内試験による超遅延コンクリートの配合選定

1. 試験の目的

日またぎ連続打設工法の実現のため、打込みから 24 時間経過後でも打重ねが可能な超遅延コンクリートの配合選定を室内試験により実施した。適用対象の現場が、冬期打設かつ計画上の打重ね時間間隔が 19 時間であったことから、室内試験での目標値を、環境温度 10℃において許容打重ね時間間隔 24 時間と設定した。また、遅延剤のみの添加ではブリーディング量が著しく大きくなり、硬化したコンクリートの品質に悪影響を与えることが懸念されたため、増粘剤の添加を検討した。

2. 試験方法

使用材料を Table 1 に示す。一般的なコンクリート用材料に加え、凝結時間を調整するためにオキシカルボン酸系遅延剤、およびブリーディングを抑制するためにセルロース系増粘剤を使用した。なお、適用対象の構造物は、温度ひび割れが過大となるおそれがあったことから、セメントには低熱ポルトランドセメントを使用した。コンクリートの配合を Table 2 に示す。試験は通常のコンクリート、遅延剤のみを使用したもの、遅延剤と増粘剤を併用したものの 3 ケースとした。全ケースでスランプ 16.5±2.5cm、空気量 4.5±1.5%とな

るように化学混和剤添加量を決定した。コンクリートは水平 2 軸型強制練りミキサ（容量 50L）を用いて練り混ぜ、練上り直後および 30 分静置後にコンクリート温度、スランプ、

Table 1 使用材料 (Properties of Material)

材料名	記号	種類	摘要
水	W	上水道水	密度 1.00g/cm ³
セメント	C	低熱ポルトランドセメント	密度 3.24g/cm ³
細骨材	S	山砂	表乾密度 2.62g/cm ³ 粗粒率 2.60
粗骨材	G	碎石 2005	表乾密度 2.69g/cm ³ 実積率 62.0%
化学混和剤	SP	高性能 AE 減水剤 (標準形 I 種)	ポリカルボン酸系
	AD	減水剤 (遅延形 I 種)	オキシカルボン酸系
	Vis	増粘剤	セルロース系
	AE	AE 剤	ロジンのカリウム塩

Table 2 室内試験でのコンクリート配合 (Mix Proportions for Laboratory Test)

配合	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							
			W	C	S	G	SP	AE	AD	Vis
通常	48.8	45.3	165	338	815	1009	2.70	0.01	—	—
遅延剤							0.34	0.01	2.03	—
遅延剤+増粘剤							2.70	0.01	2.03	0.20

Table 3 試験結果 (Results of Laboratory Test)

配合	フレッシュ試験				圧縮強度試験		凝結試験	ブリーディング試験	
	経過時間 (分)	コンクリート温度 (°C)	スランプ (cm)	空気量 (%)	材齢 7 日 (N/mm ²)	材齢 28 日 (N/mm ²)	0.1N/mm ² (時間:分)	ブリーディング率 (%)	ブリーディング量 (cm ³ /cm ²)
通常	0	9	17.0	4.4	14.8	36.2	4:45	2.06	0.09
	30	10	12.0	4.5					
遅延剤	0	10	18.0	4.7	17.4	40.8	22:15	13.87	0.59
	30	10	18.0	4.5					
遅延剤+増粘剤	0	10	18.0	4.7	15.6	38.8	28:35	8.06	0.34
	30	11	18.0	4.7					

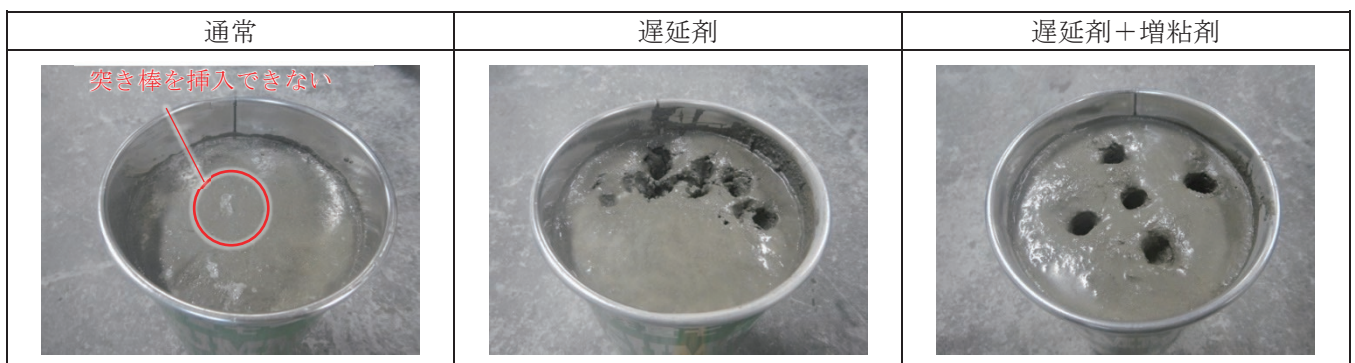


Fig. 1 24 時間後のコンクリート表面の状況 (Condition of Concrete Surface after 24 hours)

Table 4 実機製造でのコンクリート配合
(Mix Proportions of Actual Equipment)

配合	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)							
		W	C	S	G	SP	AE	AD	Vis
通常	48.8	165	338	815	1009	2.70	0.01	—	—
超遅延						2.87	0.01	2.03	0.20

Table 5 コンクリートの性状
(Properties of Concrete)

配合	スランプ [荷卸し] (cm)	空気量 [荷卸し] (%)	圧縮強度 [現場封緘] (N/mm ²)	静弾性 係数 [現場封緘] (kN/mm ²)	割裂引張 強度 [現場封緘] (N/mm ²)
通常	15.5	4.5	31.9	31.0	2.69
超遅延	17.5	5.4	30.1	28.9	2.69

空気量を測定した。また、コンクリートの圧縮強度試験、凝結試験 (JIS A 1147) およびブリーディング試験 (JIS A 1123) を実施した。なお、冬期の打設を模擬して試験室の環境温度を 10℃とし、練上がりコンクリート温度は 10℃とした。

3. 試験結果

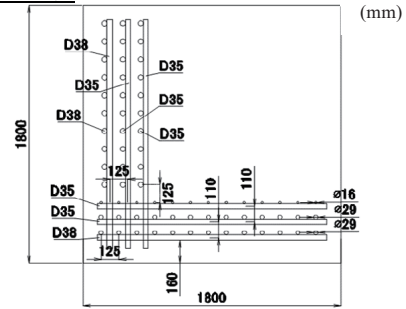
コンクリートの試験結果を Table 3 に示す。練上がりから 30 分間静置することで通常のコンクリートはスランプが 5cm 低下した。一方で遅延剤を添加したコンクリートおよび遅延剤+増粘剤を添加したコンクリートはスランプの低下が見られなかった。これは遅延剤の使用により水和反応が抑制された効果と考えられる。また、材齢 7, 28 日における圧縮強度は、遅延剤を添加したコンクリートでやや大きくなった。これは後述するブリーディング量が多くなったことで、練混ぜ水の一部がブリーディング水として除去され、コンクリートが脱水され実質の水セメント比が小さくなったためと考えられる。

Fig. 1 に練混ぜから 24 時間経過後のコンクリート表面の状況を示す。通常のコンクリートは既に硬化していたが、遅延剤コンクリートおよび遅延剤+増粘剤コンクリートはまだ軟らかい状態を保持しており、打込み上面を容易にかき乱すことができた。

凝結試験の結果を Table 3 に示す。凝結試験では一般にコンクリートの打重ねが可能とされているプロクター貫入抵抗値が 0.1N/mm² に達する時間¹⁾を測定した。その結果、通常のコンクリートは練上がりから 4 時間 45 分であったのに対し、遅延剤コンクリートは 22 時間 15 分、遅延剤+増粘剤コンクリートは 28 時間 35 分となり、24 時間経過後でも打重ね可能な性状を保持できることが確認された。

また、ブリーディング試験の結果を Table 3 に示す。遅延剤を使用したコンクリートは通常のコンクリートに比べてブリーディング量が増加した。これは遅延剤によりコンクリートの水和が遅れることで、ブリーディングが継続したためと考えられる。遅延剤+増粘剤のものは遅延剤のみを添加し

模擬鉄筋の配置



試験体リフト割および計測位置

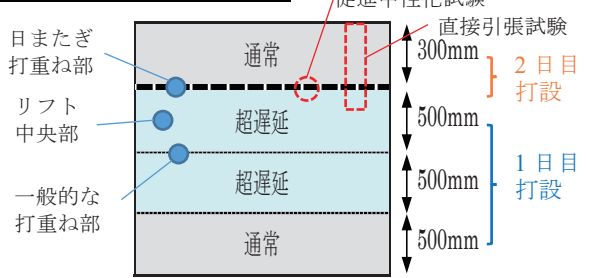


Fig. 2 試験体の概要 (Specimen Overview)

たコンクリートに比べてブリーディング水の発生が抑制された。これは、増粘剤によって保水性が改善されたためと考えられる。なお、遅延剤+増粘剤コンクリートのブリーディング量は 0.34 cm³/cm² となり、一般的なコンクリートのブリーディング量の上限值²⁾とされる 0.35cm³/cm² を下回る量に抑制することができた。

3. まとめ

本検討では打重ね可能な時間を 24 時間まで延長できるコンクリートについて検討を行った。その結果、遅延剤と増粘剤を併用して適正量添加することで、過度なブリーディングの発生を抑えつつ、練混ぜから 24 時間経過後でも打重ね可能な性状を保持できることを確認した。

III. モックアップ実験による一体性の確認

1. 実験の目的

日またぎ連続打設工法の技術の成立性を確認するため、超遅延コンクリートの施工性、および構築された構造物の品質について、実施工を模擬したモックアップ試験により検討した。

2. 実験方法

Table 1 に使用材料を、Table 4 にコンクリートの配合を示す。試験には通常のコンクリートおよび通常のコンクリートに遅延剤と増粘剤を添加した超遅延コンクリートを用いた。遅延剤と増粘剤の添加量は前述の試験により決定したものととした。高性能 AE 減水剤と AE 剤の添加量は、配筋条件から荷卸し時のスランプが 16±2.5cm、空気量が 4.5±1.5%となるように事前に実機試験練りを行って決定した。コンクリートの製造は遅延剤を除いた材料を市中プラントで練り混ぜ、遅延剤はアジテータ車に所定量を投入し後添加すること

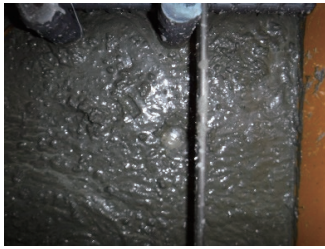


Photo 1 19時間後の状況
(Condition of Specimen Surface after 19 hours)

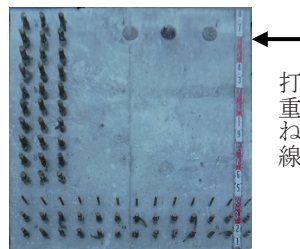


Photo 2 脱型面
(Formwork Face)

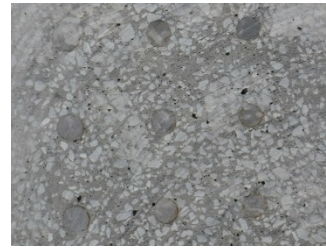


Photo 3 切断面鉄筋周辺
(Rebar Edge of Cut Surface)

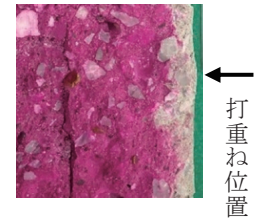


Photo 4 中性化試験
(Results of Accelerated Carbonation Test)

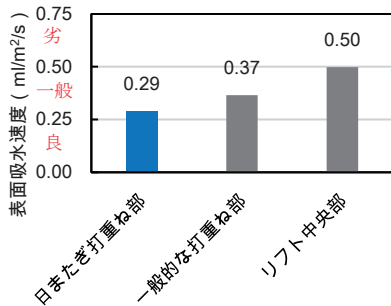


Fig. 3 SWATの結果 (Results of Surface Water Absorption Test)

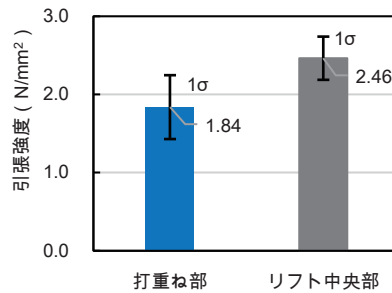


Fig. 4 直接引張試験結果
(Results of Tensile Test)

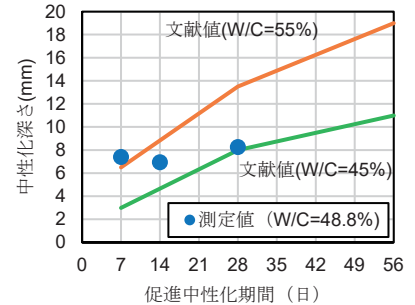


Fig. 5 促進中性化試験結果
(Results of Accelerated Carbonation Test)

で製造した。コンクリートは、実施工を模擬してブーム付きコンクリートポンプ車で25m下方まで圧送した。Fig. 2に示すように試験体の寸法は1800×900×1800mmとし、実構造物を模擬した鉄筋を配置した。通常のコンクリートを1層で500mm(0.8m³)、次に超遅延コンクリートを2層で1000mm(1.6m³)を打ち込み、表面をシートで覆い乾燥を防止した状態で打ち込み完了から19時間保持した。日をまたいだ翌日、さらに通常のコンクリートを300mm打ち込み、パイプレータで締固め、超遅延コンクリートと通常のコンクリートを一体化させた。

コンクリートの硬化後、ワイヤーソーにより試験体を縦方向に切断し、切断面の状況を確認した。また、表面吸水試験(SWAT)により表層部のコンクリートの品質の評価を行った。日またぎ打重ね部分からFig. 2に示すコア試料を採取し、直接引張試験および促進中性化試験を行った。直接引張試験は垂直方向に採取したコア試料の両端に治具を接着し、材齢28日にて打重ね面に垂直な方向に毎分2.5N/mm²で引張荷重を行い、破断時の強度を測定した。促進中性化試験は、Fig. 2に示す位置で水平方向に採取したコア試料の側面をアルミテープで封緘し、材齢21日から20℃、RH60%、CO₂濃度5%の環境下で促進中性化を行い、日をまたいだ打重ねが中性化深さに与える影響を評価した。

2. 実験結果

使用したコンクリートの性状をTable 5に示す。また、打ち込み完了から19時間経過後の超遅延コンクリートの状況をPhoto 1に示す。超遅延コンクリートはフレッシュな状態を

保っており、突き棒やパイプレータを容易に挿入することができた。超遅延コンクリートの硬化状態をN式貫入試験¹⁾で確認したところ、貫入量が206mmとなり、打重ね可能とされている貫入量の下限值60mmに比べて十分に大きく、硬化が抑制できていることが確認された。また、超遅延コンクリートの表面で局所的に硬化が進んでいる場所などは生じていなかった。翌日の超遅延コンクリートの表面には、ブリーディング水が滞留している様子は見られなかった。

Photo 2に脱型後の試験体の側面を、Photo 3に切断面の状況を示す。側面には日またぎ打重ね部分に打重ね線がみられたが、ひび割れや隙間は見られなかった。また、切断面は骨材が一様に分布しており打重ね線やブリーディング水の滞留による鉄筋下部の空隙は見られなかった。

Fig. 3にSWATにより得られた表面吸水速度の3回の平均値を示す。日またぎ打重ね部、一般的な打重ね部、リフト中央部ともに一般のランクとなり、日またぎ打重ね部は一般的な打重ね部と同等程度の品質を有していたと判断された。

Fig. 4に直接引張試験の4回の平均値を示す。日またぎ打重ね部の引張強度は1.84N/mm²であり、リフト中央部から採取した打重ね部のないコンクリートの引張強度2.46N/mm²に比べやや小さくなった。打重ね部の強度がリフト中央部に比べて低下した理由については今後更なる検討が必要であるが、打重ね部の強度は一般的に断面修復等で一体化とみなされる付着強度³⁾1.5N/mm²を超えており、日またぎ打重ね部は十分に一体化できていると考えられる。

Photo 4に促進中性化試験の結果を示す。中性化は表面から一様に進行しており、打重ね部で大きく中性化が進行している状況は確認されなかった。また、Fig. 5に促進中性化試

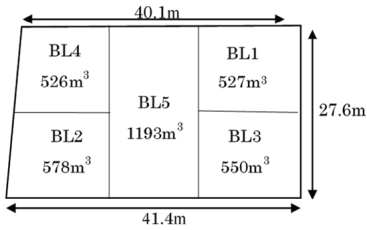


Fig. 6 ブロック割 (平面図)
(Block Layout (flat view))

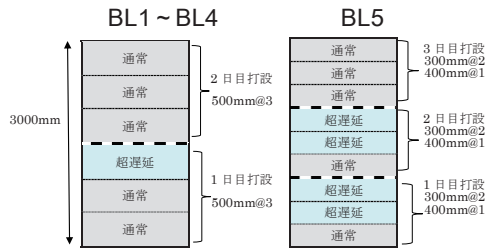


Fig. 7 施工ステップ (Steps in Construction)



Photo 5 19 時間後の表面の状態
(Condition of Concrete after 19 hr)

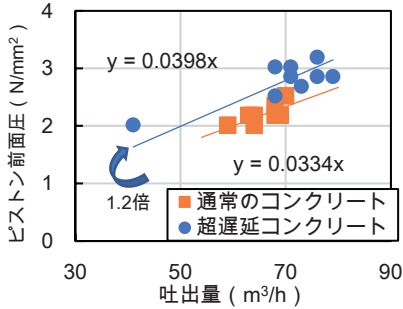


Fig. 8 ポンプの吐出量と圧力 (Results of Pump Discharge Volume and Pressure)

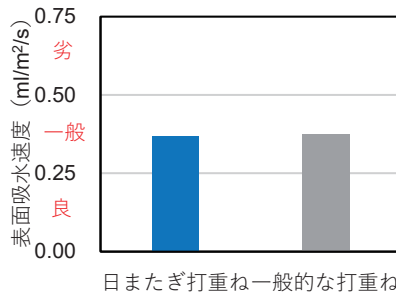


Fig. 9 SWAT による評価結果
(Results of SWAT)



Photo 6 構築された底版
(Constructed Base Plate)

験の結果を示す。試験に使用したコンクリートは W/C=48.8% であり、既往の文献⁴⁾に示された低熱ポルトランドセメントを使用したコンクリートと同等程度の中性化深さとなった。

3. まとめ

超遅延コンクリートを使用した日をまたいだ打重ねについて大型のモックアップ試験体を作製して検討を行った。その結果、超遅延コンクリートは打込み完了から 19 時間経過後もバイブレータが容易に挿入できる程度にフレッシュな状態を保っており、打重ね部分にコールドジョイントの発生は見られなかった。また、日またぎ打重ね部は十分に一体化できていること、一般的な打重ねと同等程度の中性化抵抗性を有していることが確認された。

IV. 構造物への適用事例

1. 材料の概要

コンクリートの配合、フレッシュ性状の目標値は Table 1 および Table 4 に示すようにモックアップ試験と同様とし、モックアップ試験と同様の手順でコンクリートを製造した。

2. 対象構造物と施工方法

実際の底版構築においては Fig. 6 に示すように、底版を 5 つのブロックに分け、BL1~BL4 の 4 つのブロック (各ブロック約 550m³) は 2 日間に分けて、BL5 (1193m³) は 3 日間に分けて日またぎ連続打設工法による打込みを行った。

3. 施工結果

Fig. 7 に施工ステップを示す。BL1~BL4 は通常のコンクリートを 1 層 500mm で 2 層に分けて打ち込んだ後、超遅延コンクリートを 500mm 打ち込んだ。超遅延コンクリートの打込み後、打込み上面をシートで被覆し、夜間の作業中断時

における表面の乾燥を防止した。翌日、打込み作業開始前のコンクリートの状況を Photo 5 に示す。打込みから 19 時間経過後もコンクリートは軟らかい状態を保持しており、締固め用のバイブレータを容易に挿入しコンクリートを締め固めることができた。ここで打重ね管理として、超遅延コンクリートに N 式貫入試験¹⁾を実施した結果、約 60 カ所 (測定 190 回) の平均で貫入量が 68mm となった。文献値¹⁾および事前の試験から、打重ね可能な貫入量は 60mm に相当すると考えられたため、この貫入量よりも大きいことを確認した後、通常のコンクリートを打ち込んだ。2 日目の 1 層目における通常のコンクリートの打込みの際は、下層の超遅延コンクリートにバイブレータの先端を 100mm 程度挿入し、上層の通常のコンクリートと一体化するように締め固めた。一方、BL5 は施工ブロックを大きくし、1 層あたりの厚さを薄くすることで、3 日間に分けて打込みを行った。コンクリートの供給能力を勘案し、通常のコンクリートを許容打重ね時間間隔以内に打重ねを行うため、1、2 日目は通常のコンクリートを 300mm 打込み後、700mm の超遅延コンクリートを 2 層に分けて打ち込んだ。3 日目は全ての層を通常のコンクリートとした。1、2 日目の夜間の作業中断および翌朝の作業再開時の手順は BL1~BL4 と同様の手順とした。施工時における外気温は平均 12°C、コンクリート温度は平均 14°C であった。

超遅延コンクリートの場内運搬は、立坑外にコンクリートポンプ車を設置し、ブームにより 25m 下方まで圧送した。BL1 の打設時のコンクリートポンプの実吐出量とポンプ主油圧から換算したピストン前面圧の関係を Fig. 8 に示す。なお、スランプは、通常のコンクリートで 16.0cm、超遅延コンクリートで 17.0cm であった。同一吐出量でコンクリートポ

ンブに作用する圧力は、超遅延コンクリートの方が通常のコンクリートに比べて約 1.2 倍程度に大きくなった。これは、超遅延コンクリートに添加した増粘剤によってコンクリートの粘性が増加し、管内圧力損失が大きくなったことによるものと考えられる。圧送後の超遅延コンクリートに材料分離は見られず、良好なワーカビリティを有していた。

硬化後のコンクリート表面には日またぎ打重ね部に打重ね線が見られたが、隙間やひび割れ等は見られず、コールドジョイントは確認されなかった。表面吸水試験 (SWAT) により表面吸水速度を測定した結果を Fig. 9 に示す。日またぎ打重ね部の表面吸水速度は、モックアップ試験と同様に許容打重ね時間間隔以内に通常のコンクリートを打ち重ねた一般的な打重ね部と同程度となり、同等程度の耐久性を有しているものと考えられた。

4. まとめ

超遅延コンクリートを使用し、許容打重ね時間間隔を 19 時間まで延長することで、夜間の作業中断を挟んだ連続打設を可能とする日またぎ連続打設工法の実適用を行った (Photo 6)。実際の施工において超遅延コンクリートが作業再開時においても打重ね可能なフレッシュ性状を保持できること、日またぎ打重ね部は一般的な打重ね部と同程度の一体性を有することを確認した。さらに、日またぎ連続打設工法の適用により、本底版構築の工期は従来工法に比べ約 1 か月間短縮を実現した。

V. おわりに

打込みから 19 時間経過後まで打重ねが可能な超遅延コンクリートを使用し、2 日間に分けて連続的にコンクリートを打ち込む日またぎ連続打設工法を開発した。その結果、打継面処理を不要とすることで、工程短縮効果と、これによるコスト削減効果が得られることが分かった。また、構築されたコンクリートは一般的な打重ねと同程度の引張強度や耐久性を有することも確認された。今後は本技術のさらなるブラッシュアップに努める次第である。

謝 辞

遅延剤の検討にご協力を頂いた(株)フローリックに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会コンクリート委員会；コンクリートライブラリー103 コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策，2000.
- 2) 流動性を高めたコンクリートの活用検討委員会：流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン，2017.
- 3) 東日本高速道路(株)，中日本高速道路(株)，西日本高速道路(株)；構造物施工管理要領 3 章保全編.
- 4) (社)セメント協会；コンクリート専門部会報告書 F-55 各種セメントを用いたコンクリートの耐久性に関する検討，2008.

Continuous Concrete-placing Method Done Across Days Using Super-Delayed Concrete

*Toshinari Mukai, Kenzo Watanabe, Ryouichi Ashizawa¹⁾,
Hirotooshi Sawa²⁾ Hisayuki Shiomi²⁾ and Koji Suzuki²⁾*

To construct a large slab structure such as a bottom slab, it is common to divide the construction into several blocks on separate days due to the limitation of concrete supply and working time. Therefore, it is necessary to treat the joints between lifts, but a large amount of alkaline water is generated, which is costly to dispose of. Another issue is that the productivity of the work done on the inside of narrow reinforced bars is low. The purpose of this study is to develop super-delayed concrete that can be placed on the surface of a slab structure even after 24 hours of casting. This will make the joining treatment unnecessary and improve productivity at the site.

The results of laboratory mixing tests showed that the addition of a retardant could keep the properties of the concrete ready for placement even after 24 hours, and the addition of a thickening agent could control concrete bleeding that increases due to delayed setting. The results of a mock-up test showed that the super-delayed concrete could be integrated well enough and had the same tensile strength and durability as normal concrete. An application of the super-delayed concrete to actual structures showed that construction is possible with it. In addition, it was clarified that costs could be reduced and the construction process shortened by using the continuous concrete-placing method across multiple days.