

論文 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

守屋 健一*1・田中 徹*2・西 祐宜*3

要旨: コンクリートの打継目は、適切な施工や処理が行われない場合、構造物の弱点となり易い。特に、大規模な地下構造物などの水密性が要求される構造物では、高水圧下における漏水の発生等により、打継目の耐久性の低下や美観が損なわれる等の課題がある。本研究は、打継ぎ方法が打継部の付着強度、中性化抵抗性および水密性に与える影響について明らかにすることを目的として、各種試験を行った。コンクリートに超遅延剤を添加し、下層コンクリートの凝結をコントロールして、打継面のレイタンス除去等の処理を行うことなく上層コンクリートを打ち重ねることで打継部を一体化させることができることを確認した。

キーワード: 打継部, 超遅延剤, 打継目処理剤, 促進中性化, 付着強度, 水密性

1. はじめに

コンクリートの打継目は、適切な施工や処理が行われない場合、構造物の弱点となり易い。従来、レイタンスの除去やチッピングなどの処理が行われているが、現場では鉄筋や型枠が組まれており、十分な打継処理を行うのが困難なケースが多い。特に、大規模な地下構造物などの水密性が要求される構造物では、高水圧下における漏水の発生等により、打継目の耐久性の低下や美観が損なわれる等の課題がある。

土木学会コンクリート標準示方書施工編¹⁾には、打ち重ねを行う場合、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。また、凝結時間をあらかじめ試験により確認した上で、実施工における許容打重ね時間間隔の限度を設定すると示されている。

コンクリートの凝結時間を調整する方法として、一般的に化学混和剤の超遅延剤が使用されている。超遅延剤の添加量を増減することにより、任意に凝結時間を調整することが可能である。超遅延剤を用いた研究は、暑中コンクリートのスランプロス低減やコールドジョイント発生防止、コンクリートのスランプ長時間保持などの検討が行われている^{2),3),4),5),6)}。

一方、大規模構造物でのコンクリート大量打設において、レディーミクストコンクリートの供給量や打設時間の制約から、夜間の施工を中断する場合がある。通常の施工方法では、打継目が生じることになるが、コンクリートに超遅延剤を添加して、コンクリートの凝結を遅延させることで、打継目を設けずに翌日打設を行った報告がある⁷⁾。

本研究は、下層のコンクリートに超遅延剤を添加して

コンクリートの凝結をコントロールし、打継面のレイタンス除去等の処理を行うことなく 24 時間または 48 時間後にコンクリートを打ち重ねることで、一体化を図った打継ぎ方法について、打継部の付着強度、中性化抵抗性および水密性に与える影響について明らかにすることを目的として、各種試験を行った。

2. 試験概要

2.1 試験ケース

表-1 に試験ケースおよび打継ぎ方法を示す。

打継ぎ方法は、コンクリートに超遅延剤を添加して(以下、遅延コンクリート)、コンクリートの凝結をコントロールすることで、レイタンス除去等の処理を行わずに翌日(ケース T24)または翌々日(ケース T48)に打ち重ねる方法、打継面に打継目処理剤を用いた方法(ケース C)、従来のコンクリート表面凝結遅延剤を用いたレイタ

表-1 試験ケースおよび打継ぎ方法

ケース	混和剤 処理剤	打継ぎ方法
T24	超遅延剤	下層に遅延コンクリートを打設し、打継面のレイタンス除去等の処理を行うことなく翌日(24 時間後)にコンクリートを打ち重ねる。
T48	超遅延剤	下層に遅延コンクリートを打設し、打継面のレイタンス除去等の処理を行うことなく翌々日(48 時間後)にコンクリートを打ち重ねる。
C	打継目処理剤	下層コンクリートを打設後、ブリーディング水が引き始めたときに打継目処理剤を打継面に散布し、打継面のレイタンス除去等の処理を行うことなく翌日にコンクリートを打設。
N	表面凝結遅延剤	下層コンクリート打設後、打継面に遅延剤を散布し、翌日にレイタンス処理(ワイヤーブラシで洗出し)を行い、コンクリートを打設。
B	—	打継目を設けずに連続打設(一体打ち)。

*1 戸田建設株式会社 技術開発センター 社会基盤再生ユニット 工修(正会員)

*2 戸田建設株式会社 技術開発センター 社会基盤再生ユニット マネージャー 工修(正会員)

*3 株式会社フローリック 技術本部 コンクリート研究所 所長代理 博士(工学) (正会員)

ンス処理（ケース N）および打継目を設けずに連続で打設する方法（ケース B）について試験を実施した。

表-2 に試験に用いた混和剤および処理剤を示す。

ケース T24 および T48 は事前検討により貫入抵抗値 $0.1\text{N}/\text{mm}^2$ が得られる超遅延剤の添加率を確認して添加率を決定し、試験体の作製を行った。超遅延剤の添加率は、事前検討はセメント質量に対して $0.6, 0.8$ および 1.0% 、試験体作製時はケース T24 で 0.7% 、ケース T48 で 0.85% とした。打継目処理剤はコンクリート打設後ブリーディング水がコンクリートに引き込まれる時点で標準量 $0.3\text{kg}/\text{m}^2$ を打継面に散布した。また、表面凝結遅延剤は打継面に $0.3\text{kg}/\text{m}^2$ 散布し、翌日にレイタンスを除去した。

2.2 試験体作製

打継部の付着強度、中性化抵抗性および水密性は、 $500 \times 500 \times 400\text{mm}$ の試験体を用いて確認試験を行った。試験体は1層目（以下、下層コンクリート） 200mm を打設後、打継面の処理および養生を行い、翌日または翌々日に2層目（以下、上層コンクリート）を打設した。

コンクリートの締固め位置は試験体中央部とし、パイプレータを用いて5秒間締固めた。上層コンクリートを打ち重ねる場合は、下層コンクリートにパイプレータを 10cm 程度挿入させて締固めた。

試験体の養生は、材齢 14 日まで環境温度 20°C の室内でシート養生を行い、その後、脱型・コア削孔を行い、材齢 28 日から各試験を開始した。

2.3 コンクリートの使用材料および配合

表-3 にコンクリートの使用材料、表-4 にコンクリートの配合を示す。

セメントは高炉セメント B 種を使用し、水セメント比 55% 、細骨材率 47.5% 、スランブ $15 \pm 2.5\text{cm}$ 、空気量は $4.5 \pm 1.5\%$ とした。

遅延コンクリートは、打重ね時間間隔を 24 時間および 48 時間に設定し、超遅延剤をセメント質量に対して $0.6 \sim 1.0\%$ の範囲で添加した。なお、超遅延剤は単位水量の一部とし、練混ぜ水として添加した。

2.4 試験項目および方法

表-5 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ブ、空気量、ブリーディング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が $0.1\text{N}/\text{mm}^2$ となる時間を測定した。圧縮強度は、遅延コンクリート、上層および下層コンクリートの材齢 28 日標準養生行った供試体について確認した。また、打継ぎ方法の性能を確認するため、打継部の付着強度、促進中性化および水密性について確認した。なお、一体打ちのケース B についても同様に試験を行った。

図-1 に付着強度試験、促進中性化試験および水密性

表-2 試験に用いた混和剤および処理剤

混和剤, 処理剤	成分	使用量	
		事前検討	試験体作製
超遅延剤	オキシカルボン酸塩	0.6%	0.70%
		0.8%	0.85%
		1.0%	
打継目処理剤	特殊合成樹脂エマルジョン系	-	$0.3 \text{ kg}/\text{m}^2$
表面凝結遅延剤	オキシカルボン酸塩	-	$0.3 \text{ kg}/\text{m}^2$

表-3 コンクリートの使用材料

記号	使用材料	物性値
W	水	水道水
C	高炉セメント B 種	密度 $3.04 \text{ g}/\text{cm}^3$
S	山砂	表乾密度 $2.56 \text{ g}/\text{cm}^3$
G	砕石 2005	表乾密度 $2.64 \text{ g}/\text{cm}^3$
Ad	AE 減水剤	リグニンスルホン酸塩 ポリカルボン酸系化合物

表-4 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				
		W	C	S	G	Ad
55.0	47.5	165	300	844	958	3.30

表-5 試験項目および試験方法

分類	試験項目	試験方法
フレッシュ性状	スランブ	JIS A 1101
	空気量 (圧力法)	JIS A 1128
	ブリーディング	JIS A 1123
	凝結試験	JIS A 1147
硬化性状	圧縮強度	JIS A 1108
	付着強度試験	-
	促進中性化試験	JIS A 1153
	水密性試験	-

● 促進中性化試験 L=400mm×5 本 ● 付着強度試験 L=300mm×4 本 ● 水密性試験 L=300mm×1 本

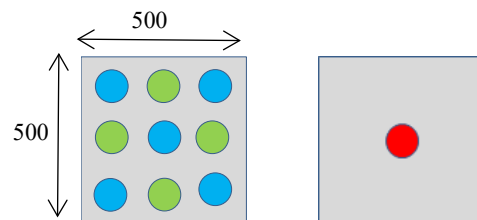


図-1 コア採取位置

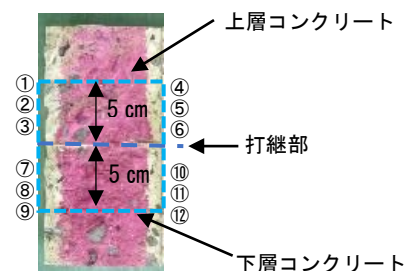


写真-1 中性化深さ測定箇所

試験のコア採取位置、写真-1 に中性化深さの測定箇所、写真-2 に付着強度試験状況を示す。

付着強度試験は、試験体上面からφ100mmのコアを深さ300mmの位置まで削孔し、コアの上面を引っ張ることで打継部の付着強度を測定した。

促進中性化試験は付着強度試験と同じ試験体から、φ100×400mmのコアを5本採取し、コア供試体全面を対象に行った。促進条件は温度20℃、相対湿度60%、二酸化炭素濃度5%の環境とした。試験は促進材齢4、8および13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した。上層コンクリートおよび下層コンクリートは、打継部から5cmまでの位置を3等分し、左右の6箇所を測定した。なお、打継部は左右2箇所を測定した。

写真-3 に水密性試験の試験体、写真-4 に水密性試験状況を示す。

水密性試験は中央にφ100mmのコアを深さ300mmまで削孔し、コアを折って取出し、コア孔から0.7MPaの水圧をかけて透水量を測定した。なお、圧力は10分で0.1MPa上昇させ、60分で0.7MPaまで水圧を上げ、3日間透水量を測定した。

3. 試験結果および考察

3.1 遅延コンクリート

表-6 にコンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度試験結果を示す。

超遅延剤の添加率を確認するため事前の検討試験により、ケースT24およびT48の下層コンクリートに用いる、遅延コンクリートが24時間後または48時間後に貫入抵抗値0.1N/mm²が得られる超遅延剤の添加率を確認した。超遅延剤は単位水量の一部とし、セメント質量に対して0.6%、0.8%および1.0%添加した。

超遅延剤を0.6、0.8、1.0%添加したコンクリートのスランブは17.0~17.5cmとなり、無添加のコンクリートのスランブは13.5cmであった。超遅延剤を添加することで、

スランブは大きくなったが、すべての添加率で目標値を満足した。また、空気量についてもすべての添加率で目標値を満足した。

図-2 に超遅延剤の添加率と凝結試験からプロクサー貫入抵抗値0.1N/mm²が得られた時間の関係、図-3 に凝結試験で得られた始発、終結時間を示す。



写真-2 付着強度試験 写真-3 水密性の試験体

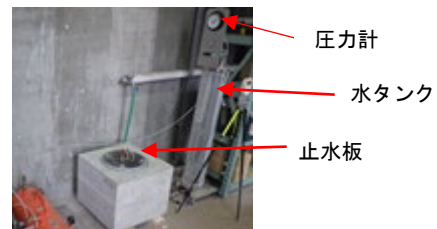


写真-4 水密性試験状況

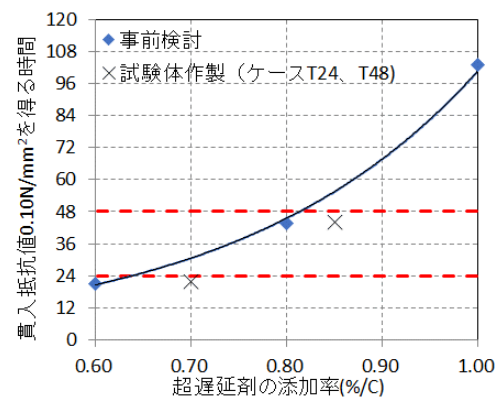


図-2 超遅延剤の添加率と貫入抵抗値0.1N/mm²を得る時間の関係

表-6 コンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度結果

種類	超遅延剤 (%/C)	スランブ (cm)	空気量 (%)	ブリーディング		凝結時間(h:min)			標準養生圧縮強度 (N/mm ²)
				(cm ³ /cm ²)	(%)	0.1N/mm ²	始発	終結	
遅延コンクリート 事前検討	0.00	13.5	4.5	-	-	-	5:50	8:15	-
	0.60	17.5	4.5	-	-	21:00	28:15	32:00	-
	0.80	17.0	4.5	-	-	43:40	59:25	66:45	-
	1.00	17.0	4.6	-	-	102:55	123:00	134:50	-
下層コンクリート	0.00	13.0	5.1	0.04	1.00	-	6:00	8:10	34.8
遅延コンクリート(24時間)	0.70	17.5	4.8	0.66	16.1	21:45	30:10	35:05	40.0
遅延コンクリート(48時間)	0.85	17.5	5.2	-	-	44:15	53:25	58:50	36.9
上層コンクリート	-	13.5	4.4	-	-	-	-	-	34.9

事前検討試験の凝結結果より、遅延コンクリートの超遅延剤の添加率は、打重ね時間間隔が 24 時間で 0.65%，48 時間で 0.80%となったが、遅延効果のばらつきを考慮してケース T24 で 0.70%，ケース T48 で 0.85%添加した。始発・終結時間については、超遅延剤の添加率が大きくなると遅延し、始発時間と終結時間の間隔も長くなった。

遅延コンクリートの打重ね時間間隔の目安である、プロクター貫入抵抗値 $0.1\text{N}/\text{mm}^2$ が得られる時間は、図-2 に示すように事前検討よりも早くなり、添加率が 0.7%では 21 時間 45 分、0.85%では 44 時間 15 分となった。試験体は、プロクター貫入抵抗値を確認して打設を行い、貫入抵抗値が $0.1\text{N}/\text{mm}^2$ 以下で上層コンクリートを打継ぎ、試験体を作製した。

超遅延剤を 0.7%添加した遅延コンクリートのブリーディング率は 16.1%となり、無添加のコンクリートより増加した。しかし、上層コンクリートの打設時には付着強度、促進中性化および水密性を確認した、ケース T24 および T48 の試験体表面には、ブリーディング水が確認できなかった。

遅延コンクリートの圧縮強度は、初期の強度発現は低下するものの、材齢 28 日では無添加のコンクリートよりも高い圧縮強度を示した。

3.2 打継部の付着強度

図-4 に付着強度試験結果、写真-5 に打継部の付着強度試験体の破断状況を示す。

遅延コンクリートを用いたケース T24 および T48 の打継部の付着強度は、打重ね時間間隔の影響は見られず、

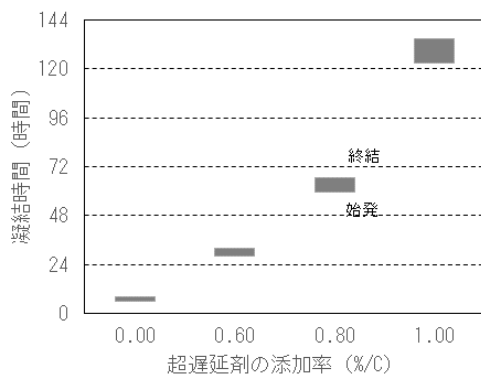


図-3 凝結時間

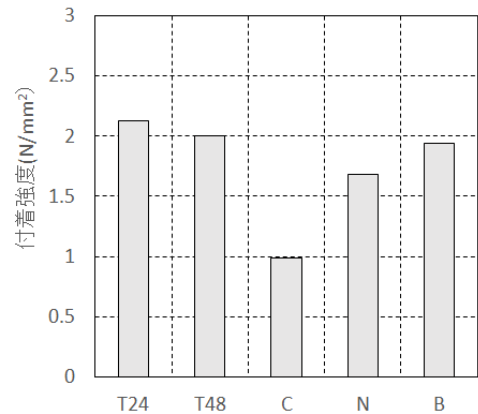


図-4 付着強度

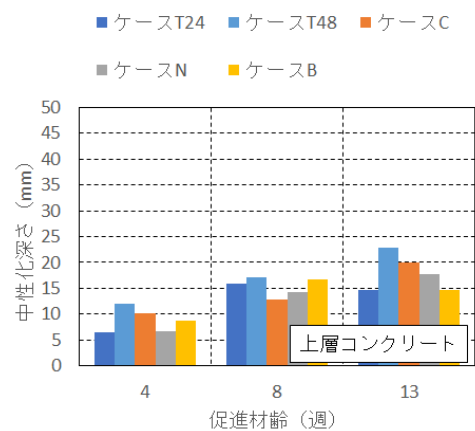


図-5 上層コンクリートの中和化深さ

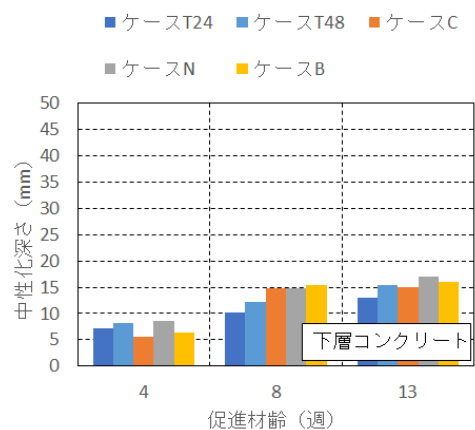


図-6 下層コンクリートの中和化深さ

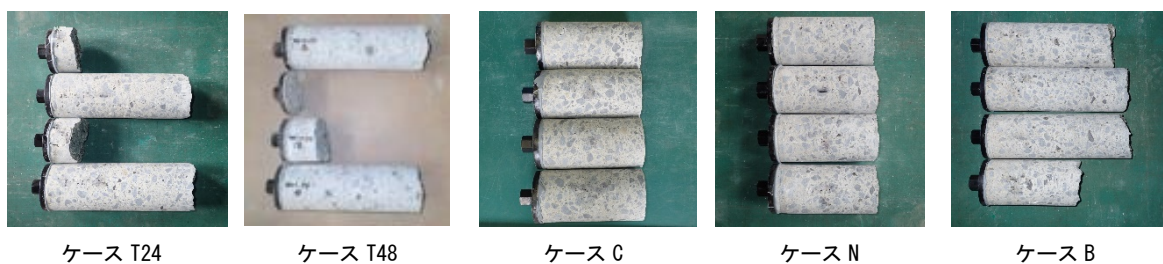


写真-5 付着強度試験体の破断状況

打継目処理剤を用いたケースCおよび一体打ちのケースBと同等となった。ケースT24およびT48の下層に用いた遅延コンクリートは、ブリーディングが多かったが、影響はなく打継部で破断することなく、一体化させることができた。一方、レイタンス処理を行ったケースNおよび打継目処理剤を用いたケースCの場合、打継部で破断し、一体打ちのケースBより付着強度は低くなった。

3.3 打継部の中性化

写真-6に促進材齢8週時点での中性化状況、図-5に上層コンクリートの中性化深さ、図-6に下層コンクリートの中性化深さ、図-7に打継部の中性化深さ、図-8に促進材齢8週時点での中性化深さの比較を示す。

中性化深さは、試験体からコアを採取して行ったため、採取位置による影響により、ばらつきはあるが下層コンクリートより上層コンクリートの方が大きくなった。特に、遅延コンクリートを用いたケースT24およびT48は下層コンクリートより上層コンクリートの方が大きくなった。これは、打ち重ね時にはケースT24およびT48の打継面にはブリーディング水は存在していなかったが、下層コンクリートの余剰水が締め固めにより上層コンクリートと混ざり合い、上層コンクリートの方が下層コンクリートより水メント比が高くなったためと考えられる。

また、遅延コンクリートを用いたケースT24およびT48の打継部の中性化深さについても採取位置による影響により、ばらつきはあるが遅延コンクリートのブリーディングの影響はなく、レイタンス処理を行ったケースNや一体打ちのケースBと同程度の中性化抵抗性である。一方、打継目処理剤を用いたケースCは写真-6に示すように材齢8週時点で打継面も中性化しており、打継部の中性化抵抗性が著しく低下した。これは、既存の研究⁸⁾も同様であり、打継目処理剤を用いた場合、ケースNのレイタンス処理と比べ、打継部の中性化抵抗性が低下する可能性がある。

3.4 打継部の水密性

図-9に経過時間と累加透水量の関係を示す。

水密性はケースT24、ケースC、ケースNおよびケースBについて試験を行った。遅延コンクリートを用いたケースT24は一体打ちのケースBと同程度の透水量となり、付着強度および促進中性化試験の結果と同様に打継部の水密性は一体打ちと変わらないことが確認できた。一方、打継目処理剤を用いたケースCは、高水圧下で打継部の付着が低下し、打継部から漏水し水密性が低下した。

4. まとめ

本稿では、下層コンクリートに超遅延剤を添加して、コンクリートの凝結をコントロールし、24時間または48

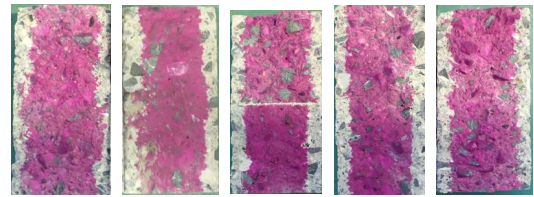


写真-6 促進材齢8週時点の中性化状況

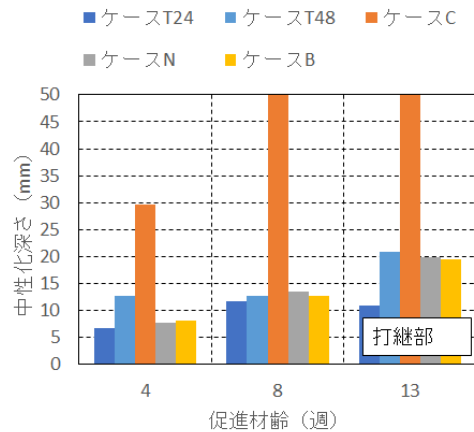


図-7 打継部の中性化深さ

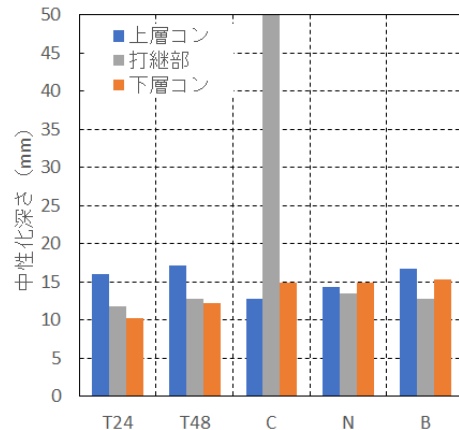


図-8 促進材齢8週時点での中性化深さの比較

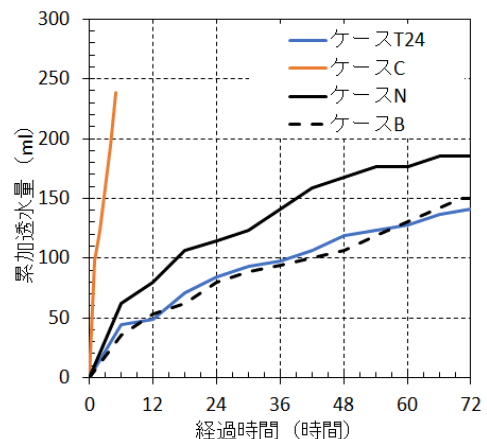


図-9 経過時間と累加透水量の関係

時間後に打継目を設けずに打ち重ねることで、一体化を図った打継ぎ方法について検討を行った。本試験の範囲内において得られた知見を以下に示す。

- (1) コンクリートに超遅延剤を添加することで、24 時間または 48 時間後に貫入抵抗値 0.1N/mm^2 以下にコントロールすることができる。
- (2) 下層コンクリートに超遅延剤を添加することで、コンクリートの凝結を調整し、レイタンス除去等の処理を行うことなく打ち重ねても、一体化させることができる。
- (3) 下層コンクリートに超遅延剤を添加し 48 時間遅延させた試験体についても、打継部の付着強度および水密性は一体打ちと同程度となった。
- (4) 下層コンクリートに超遅延剤を添加した試験体の中性化深さは、下層コンクリートより上層コンクリートの方が大きくなった。
- (5) 打継目処理剤を用いた場合、レイタンス処理と比べ、打継部の耐久性が低下する可能性がある。

以上の結果より、下層コンクリートに超遅延剤を添加しコンクリートの凝結をコントロールすることで、打継面のレイタンス除去等の処理を行うことなく上層コンクリートを打ち重ねても打継部を一体化させることができることを確認した。

今後の課題として、本試験において下層のコンクリートに超遅延剤を添加することで、打継部を一体化させることができることを確認できたが、コンクリートの凝結は、セメントの品質や外的要因により大きく影響を受け、コントロールが難しいのが現状であり、実用化に向けてさらに検討を行う予定である。

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) 安田敏夫, 原田暁, 坂本健, 藤田康彦：凝結遅延剤を添加したコンクリートの諸性質に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.18, No.1, pp.633-638, 1996
- 3) 浦野和子, 青木茂, 菅野滋, 青木浩之, 中野正文：暑中環境下におけるマスコンクリートの打重ね面の品質向上に関する一考察, 土木学会論文集, No.707, VI-55, pp.141-152, 2002
- 4) 竹内徹, 長瀧重義, 大即信明, 番匠谷英司：コンクリートのスランプの長時間保持に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.571, V-36, pp.15-25, 1997
- 5) 唐沢敏之, 土井至朗, 川又篤, 松岡茂：超遅延剤を用いた高流動コンクリートに関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1169-1174, 2006
- 6) 太田達見, 内川陽平, 高田良章, 友澤史紀：遅延剤を用いたコンクリートの実施工条件下における凝結特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, 2007
- 7) 酒井実, 金岡伸幸, 河原由史, 星原孝一, 嵩英雄, 和泉意登志：超遅延性減水剤を用いた冷凍倉庫のコンクリート施工, コンクリート工学, Vol.19, No.6, pp.19-26, 1981
- 8) 酒井貴洋, 清宮理, 水谷征治, 田中亮一：打継処理剤の性能評価に関する各種実験検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1379-1384, 2011