

論文 吸水調整剤の塗布が打継ぎ面の付着性状に及ぼす影響

緑川 猛彦*1・江本 久雄*2・徳光 卓*3・杉江 匡紀*4

要旨: コンクリート工事の合理化・省力化を目的とし、部材の標準化やプレキャスト化が図られている。プレキャストコンクリートでは接合部が構造上・耐久性上の弱点になりやすいため、それを回避するために接合部の洗い出し仕上げ等で多大な労力をかけて入念に施工することが求められる。本研究ではプレキャストコンクリート接合部における打継面処理の軽減化を目的とし、目荒し深さを変化させたケースや打継面に吸水調整剤を塗布したケースについて、目荒し深さの定量的評価や接合部側面の乾燥収縮ひずみ測定および曲げ強度試験を実施した。その結果、目荒し深さにより吸水調整剤の効果が異なること等が明らかになった。

キーワード: プレキャストコンクリート, 打継部, 目荒し, 吸水調整材, 曲げ強度試験

1. はじめに

労働力の大幅減少に応じた生産性向上のため、国土交通省主導でi-Constructionが進められている。コンクリート工事では、部材の標準化およびプレキャスト化により工事の合理化・省力化を図ることが求められる。

プレキャスト部材では部材間の継手の存在は不可避である。一般に構造物の接合部は構造上および耐久性上の弱点となりやすいことから入念な打継面の処理が求められる¹⁾。一般的に打継面は、コンクリート表面をはつるチップングや凝結遅延剤の塗布あるいは高圧水の噴射によるコンクリート表面層の除去が行われる。しかしながら、これらの作業は比較的重労働を伴うものであり、作業の省力化の観点からは出来るだけ少ない方が望ましい。

一方、突起シートや波型を型枠に貼り付ける方法や、あるいは塗布するのみで通常の打継ぎ処理と同等の性能を確保できる吸水調整剤が開発され、様々な現場で適用されている。これらの製品は打継面の性能を向上させることは元より^{2),3),4)}、作業の省力化の観点からも歓迎すべきものである。

以上のことから本研究では、打継面の処理方法がコンクリートの付着性状に及ぼす影響を検討することとし、従来の工法により目荒しされた打継面と吸水調整剤が塗布された打継面について、目荒し深さの定量的評価や曲げ引張試験の結果から考察した。

2. 実験概要

2.1 実験ケース

本実験では、打継面における目荒しの状態や打継面に塗布する吸水調整剤の有無が、打継面の伸縮挙動や付着性および透水性に及ぼす影響を検討するために、表一

に示すケースにおいて実験を行った。供試体数はそれぞれ3本とした。

2.2 使用材料

実験に用いた材料を表一2に示す。打継面処理剤としては市販の凝結遅延剤を用いた。また、コンクリートの配合を表一3に示す。先行打設部はプレキャスト部材を想定しコンクリートの設計基準強度を50N/mm²とし、後行打設部は間詰コンクリートの一例としてコンクリートの設計基準強度を30N/mm²とした。

2.3 供試体の作製

図一1に供試体の製作および実験手順を示す。

150mm×150mm×530mmの鋼製型枠の断面中心部に鉄筋を設置し、長さ方向中心部に仕切り板(打継部)を設け、片側にプレキャスト部材を想定したコンクリートを打設した。仕切り板にはあらかじめ凝結遅延剤を所定量

表一1 実験の組合せ

		洗い出し仕上げ		
		無し	浅い	深い
吸水調整剤	無し	N00	N01	N04
	有り	E00	E01	E04

表一2 使用材料

材 料	種 類
セメント	早強ポルトランドセメント, $\rho_c=3.14\text{g/cm}^3$
細骨材	山砂, $\rho_s=2.56\text{g/cm}^3$, $Q=1.9\%$, $F.M.=2.88$
粗骨材	陸砂利, $\rho_g=2.68\text{g/cm}^3$, $G_{max}=20\text{mm}$
高性能減水剤	ポリカルボン酸系化合物*1
AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物*2
AE剤	アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤
凝結遅延剤	グルコン酸ナトリウム, 塗布量 110g/m ²
吸水調整剤	アクリル樹脂エマルジョン系, 塗布量 150g/m ²
鉄筋	SD295, D16

*1 福島工業高等専門学校 都市システム工学科 教授 博士(工学) (正会員)

*2 福島工業高等専門学校 都市システム工学科 准教授 博士(工学) (正会員)

*3 株式会社富士ピー・エス 技術研究センター センター長 博士(工学) (正会員)

*4 株式会社富士ピー・エス 技術研究センター 次長 (正会員)

表-3 コンクリートの配合

	f'_{ck} (N/mm ²)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 f'_c (N/mm ²)	シリーズ
				W	C	S	G	SP(%)	AE(%)				
先行打設コンクリート	50	35	41.0	154.9	442.7	675.8	1018.4	0.9※1	0.8	12.5	1.9	59.5	N
										17.0	3.2	61.4	E
後行打設コンクリート	30	50	44.4	164.5	329.0	762.7	1001.0	1.0※2	0.8	8.5	4.9	37.7	N
										10.0	7.2	36.6	E

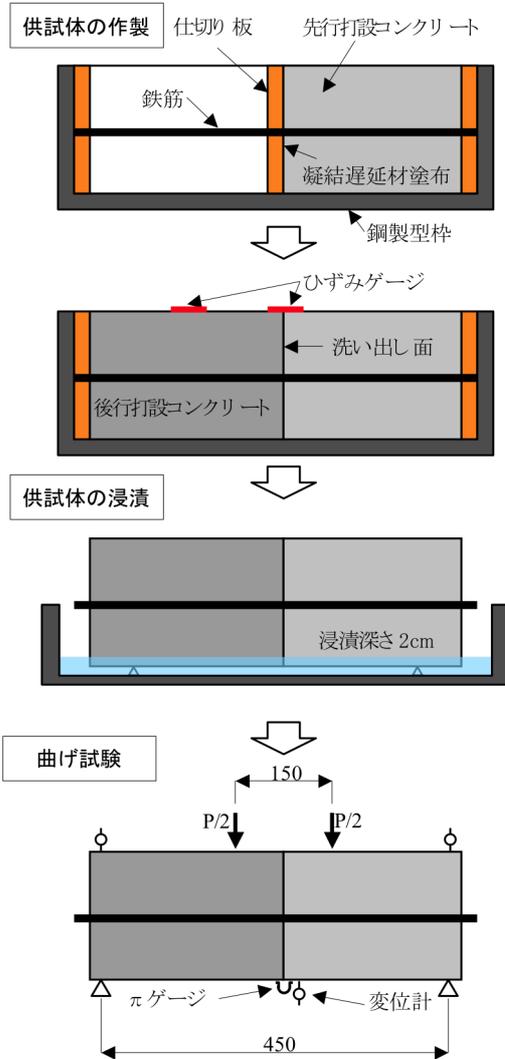


図-1 供試体の製作および実験手順

(110g/m²:カタログ値)塗布しておき、材齢1日で脱枠した後、高圧洗浄機を用いて打継部に洗い出し仕上げを施した。目荒し深さは凝結遅延剤の種類(メーカー指定の番号)を変えて、「無し(記号:00)」、「浅い(01)」、「深い(04)」の3種類とした。その後、水中養生を1週間、気中養生を3週間行った後、供試体を再び鋼製型枠に設置し、間詰めコンクリートを想定したコンクリートを打設した。吸水調整剤の効果を検討する供試体(Eシリーズ)では、後行コンクリート打設前にあらかじめ所定量の吸水調整剤を先行コンクリートの打設面に塗布した。それ以外の供試体(Nシリーズ)では、打設の30

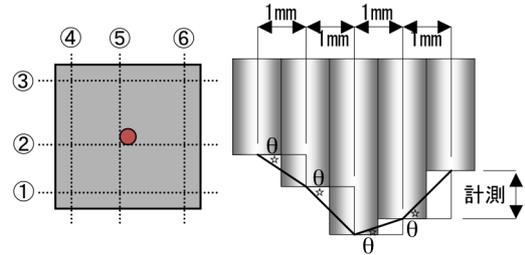


図-2 凹凸度の測定箇所と評価方法

分前からスプレーにより打設面に水を噴霧し水湿しを行った。打設後湿潤養生を3日行った後に脱枠し、気中養生を3週間行った。

2.4 打継面の目荒し深さの評価

目荒し深さを定量的に評価するために、洗い出し面の凹凸度を計測した。図-2に凹凸度の測定箇所と評価方法を示す。計測には楕円定規⁵⁾を用いて、楕円の太き間隔(1mm)で洗い出し面の高さを0.1mmの精度で計測し、高さの差と測定間隔から斜部の距離を計算した。その後、その合計を測定した長さで除したものの2乗を凹凸係数として表した。言い換えれば凹凸係数は洗い出し面の平均 $\sec \theta$ の2乗であり、目荒しをしない打継面の面積に対する打設面積の増加率を示すものである。なお、測定した長さは断面幅の両端10mmを除いた130mmとした。

また、目荒し面の噛み合わせの影響を検討するために、隣り合う高さの差を求め、その平均値を隣り合う段差高さとして表した。

測定箇所は1つの供試体断面で6箇所とし、その平均値を採用した。

2.5 打継部のひずみ測定

打継面の伸縮挙動を測定するために、後行コンクリート打設後湿潤養生を3日間行った後に、打継面と後行打設コンクリート中心部にコンクリート用ひずみゲージを設置した。測定は1時間毎に自動計測とし約3週間計測した。

2.6 打継部の浸漬試験

気中養生終了約2ヶ月後に作製した供試体の底面から2cmまで着色した水に1週間浸し、毛管現象による濡れ具合を観察し打継面の浸水状況を把握した。曲げ試験終了後に供試体を切断し、打継面の着色状況を観察した。



図-3 洗い出し仕上げの様子

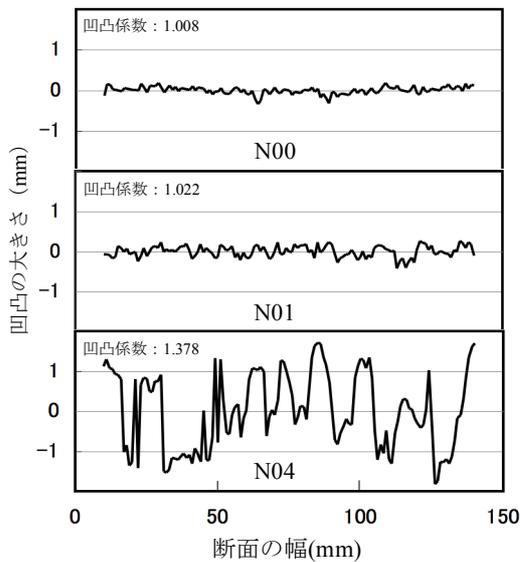


図-4 供試体断面の凹凸状況

2.7 供試体の曲げ強度試験

作製した供試体の曲げ強度試験を JIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」に準拠して実施し、打継面の曲げ引張強度を求めた。測定項目は、載荷荷重、スパン中央（打継部）のたわみ量、打継部の開口変位、支点の沈下量とし、試験開始後から1秒毎に自動計測した。

3. 実験結果及び考察

3.1 打設面の目荒し深さの評価

図-3 に洗い出し仕上げを施した断面の様子を示す。洗い出し仕上げは市販の高圧洗浄機を用い一定の水圧で行ったが、凝結遅延剤の種類の違いにより仕上げの程度に差異が生じた。「N00, E00」は洗い出し仕上げを施さない断面、「N01,E01」は表面コンクリートの除去厚が約1mmの洗い出し仕上げ、「N04,E04」は表面コンクリートの除去厚が約4mmの洗い出し仕上げである。

図-4 に楕形定規で測定したコンクリート断面の凹凸の例を示す。図中では凹凸の大きさの平均を0として、それより凸を+側に、凹を-側に表している。図-4 では

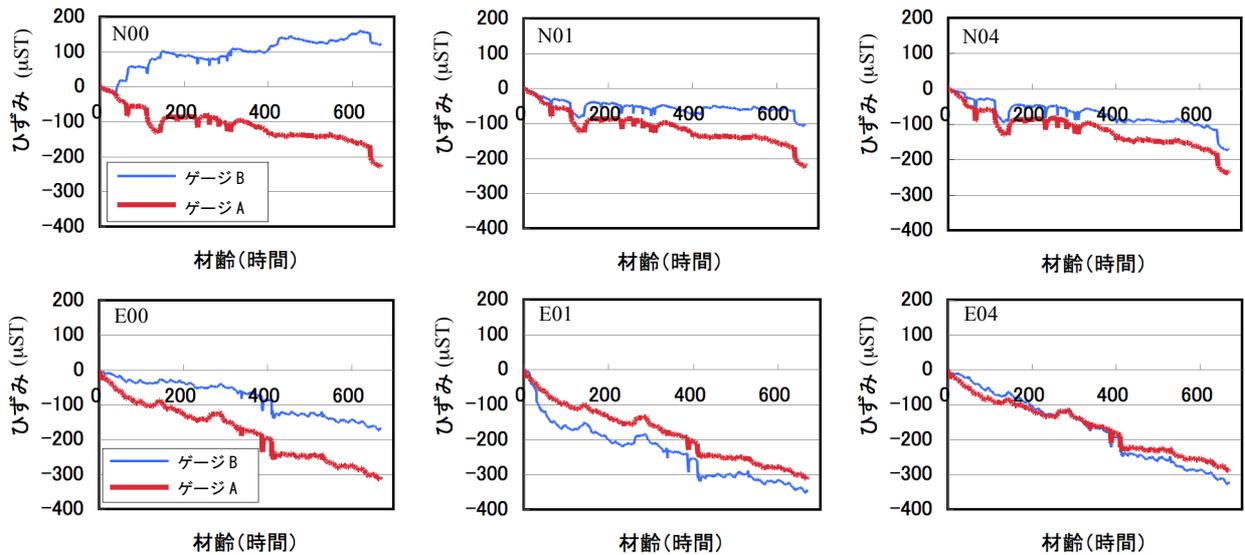
表-4 断面の凹凸係数と段差

供試体	凹凸係数		隣り合う段差(mm)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
N00	1.008	0.002	0.408	0.219
N01	1.063	0.026	1.313	1.079
N04	1.350	0.035	2.881	0.626
E00	1.006	0.005	0.317	0.522
E01	1.057	0.010	1.082	0.611
E04	1.474	0.044	3.282	0.689

図-3 に示す断面の目荒し深さの違いが良く表れており、洗い出し仕上げを深くするほど凹凸が大きくなる傾向となった。

このデータをもとに凹凸係数を算出した結果を表-4 に示す。ここで凹凸係数は3本の供試体の平均値とした。凹凸係数は微視的に見た時の平均斜面長の2乗であるため、目荒しの深さや凹凸の頻度が大きくなるほど大きな値となる。00シリーズに比べて01シリーズや04シリーズと、洗い出し仕上げの深さが大きくなるにつれて凹凸係数が大きくなり、断面が粗くなってくる事が表された。また、N00とE00（およびN01とE01やN04とE04）は吸水調整剤の有無が異なるのみであり、洗い出し仕上げの状況は同じものであるが、算出された凹凸係数がほぼ同じとなり、定量化の再現性が確認された。以上のことから、定性的に表されている図-2の傾向を凹凸係数により定量的に表現することができると考えられる。

一般的に打継部の付着強さは、引張力に対しては凹凸係数で表されるような打継面積が、せん断力に対しては骨材の凹凸のような噛み合わせが大きく関係すると思われる。今回の実験では付着力を曲げ強度試験で評価することから、せん断力に関する噛み合わせは無関係であると思われるが、参考まで隣り合う測定値の差、言い換えれば隣り合う段差の大きさの平均値を計算した。表-4 に隣り合う段差の数値を示す。00シリーズでは約0.4mm

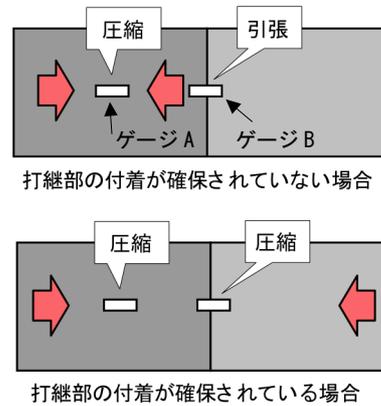


図一五 打継部と打設中心部におけるひずみの経時変化

の段差、01 シリーズでは約 1.2mm の段差、04 シリーズでは約 3.0mm の段差となり、洗い出し仕上げの深さが大きくなるほど段差が深くなっており、噛み合わせも大きくなる事が分かる。氏家らの研究では、断面の表面積が平均深さと比例関係にあることが示されているが⁶⁾、本研究においても、算出した凹凸係数と隣り合う段差の傾向が一致することが確認された。

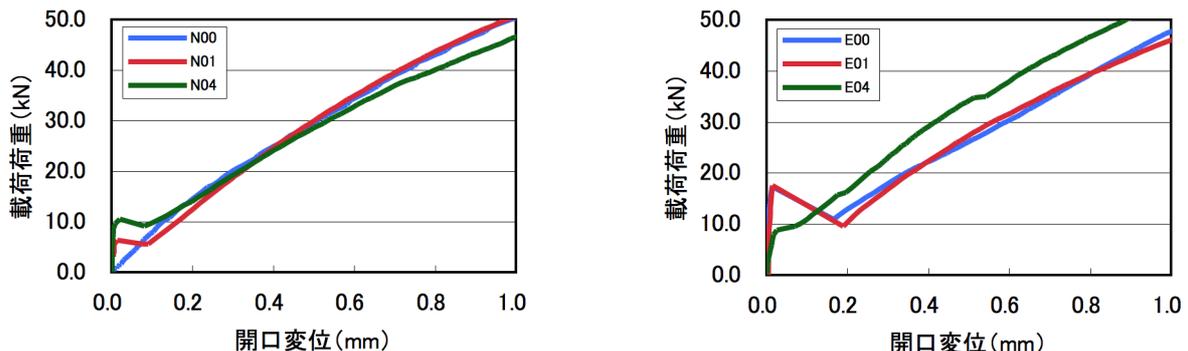
3.2 打継部のひずみ挙動

図一五 に後行コンクリート打設後に測定した、打継部（ゲージ B）と後行打設コンクリート中心部（ゲージ A）におけるひずみの経時変化の一例を示す。後行打設コンクリート中心部は時間の経過とともにひずみが負の方向に増加し、コンクリートが収縮している様子が示された。これは供試体を気中養生としたことから時間の経過とともに乾燥収縮が生じたものと考えられる。N シリーズと E シリーズとでは後行打設コンクリート中心部のひずみに約 100 μ ST の差が生じている。乾燥収縮ひずみは養生環境に左右されるため、打設時期の差（約 1.5 ヶ月）に伴う養生環境の違いがこのような差を生じたものと考えられるが、詳細は今後の課題である。

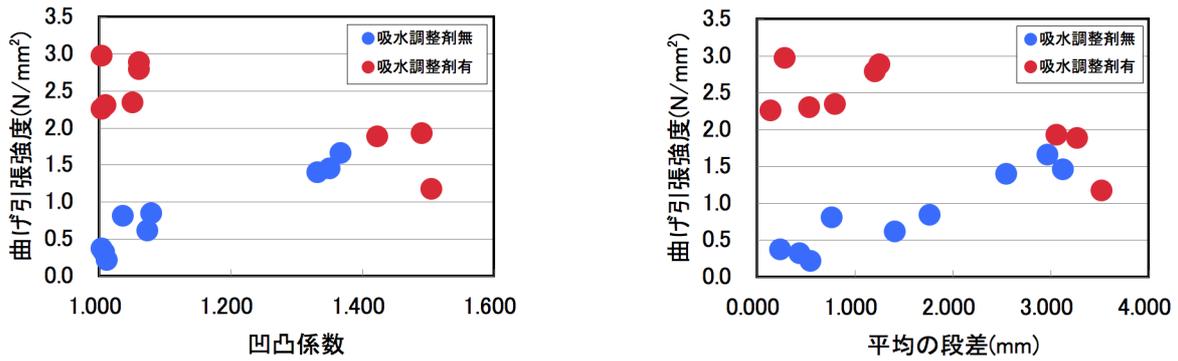


図一六 ひずみ挙動の概念図

一方、N00 における打継部のひずみは膨張傾向を示した。これは図一六 に示すように、乾燥収縮によってコンクリート中心部へ後行打設コンクリート全体が引っ張られることにより、打継部に肌離れが生じていることを示すものと思われる。打継部の付着が確保されていれば供試体全体として乾燥収縮が生じることとなり、打継部においても収縮ひずみが生じるものと思われる。実際、N00



図一七 曲げ強度試験における載荷荷重と開口変位



図一八 断面の粗度と曲げ引張強度

以外のケースでは打継部のひずみが収縮傾向を示しており、また以後に示す結果からも、これらの供試体では打継部が一体化していると思われた。さらに、E01 および E04 のケースでは、打継部と打設部中心の収縮ひずみ量がほぼ同じであったことから、吸水調整剤の効果によりいっそう強固な一体化が達成されているものと推察された。

3.3 曲げ強度試験

図一七 に曲げ強度試験時の載荷荷重と開口変位との関係の一例を示す。載荷初期は荷重の増加にも関わらずほとんど開口変位を示さず、ある荷重に達した時点で小さな破壊音とともに打継部が開口して変位が一気に増加した。その後は、荷重の増加とともに開口変位が増加を示したが、最大荷重時においても供試体に異変は生じず、開口変位のみが増加する傾向であった。また、いずれの供試体においても開口後における荷重と開口変位との関係はほぼ同じであった。

N00 においては打継部の付着が弱く、破壊音もなく載荷初期から荷重に比例して開口変位が大きくなった。これは図一五の結果からも推察されるように、打継部に肌離れが生じていたためと考えられる。また、E04 は比較的 low 荷重で破壊音とともに開口したものの、その後破壊音が断続的に複数回続きその都度開口変位が急増する傾向を示した。また、荷重に対するひずみ量がほかの供

試体より小さく、あまり開口しない傾向を示した。

図一八 は開口時の荷重から求めた引張応力を曲げ引張強度として、凹凸係数や隣り合う段差との関係を示したものである。吸水調整剤を塗布しないものは、凹凸係数や平均の段差が大きくなるにつれて曲げ引張強度も増加し、目荒しの効果が表れた結果となった。しかしながら吸水調整剤を塗布した供試体では、E00 と E01 は目荒しにより曲げ引張強度が増加するものの E04 では低下する傾向を示した。

吸水調整剤による付着力向上の効果は、先行打設コンクリートに一定の厚みを持った連続皮膜を形成し、後行打設コンクリート中の水分が先行打設コンクリートへ移動することを抑止し、セメントペーストのドライアウトを防止することにより得られるものとされている⁷⁾。さらに、旧コンクリートと新コンクリートとの接触面に電気的な結合力を付与するキレート効果⁸⁾、あるいは旧コンクリート表面の細孔内への新コンクリートのセメント



図一九 打継部の浸水の様子

ペーストの投錨効果等も明らかになっている⁹⁾。これらのことを考慮すると、吸水調整剤の塗布による付着力の増加は、先行打設コンクリート断面にある程度のペースト分が付着していることが必要であると推察される。

以上のことを鑑みると、E04においては、洗い出し仕上げにより多くの粗骨材が露出しており、吸水調整剤が効果的に働くペーストの面積が少なかったことが付着力低下の原因であると考えられる。また、断面のペースト部分と粗骨材部分における新旧コンクリートの付着力の違いのために、破壊が不連続となり断続的に複数回の開口が生じた可能性がある。

図-8からは曲げ引張強度に及ぼす凹凸係数と平均の段差の影響が見て取れる。しかしながら、断面の付着性状に及ぼす凹凸係数と段差の影響の大小については、どちらの図も傾向が同じであることから今回の評価からは明らかにすることが出来なかった。

3.4 浸漬試験

図-9に浸漬試験後の打継部の様子を示す。吸水調整剤無塗布のNシリーズでは、洗い出し仕上げを施していないN00のみが着色を呈しており、打継部において新旧断面の肌離れが生じていたことが推察される。このことは、先にも触れたひずみの挙動や曲げ引張強度の結果からも明らかであり、何も施さない断面での打継ぎではコンクリートの乾燥収縮の影響により付着強度がほぼゼロとなることが明らかになった。N01やN04では、洗い出し仕上げを施してあることから断面の着色は少ないが、最も乾燥収縮の影響を受ける断面縁部において多少の着色が見られた。

吸水調整剤を塗布したEシリーズでは、全体に涉って着色が少なく、新旧コンクリートが良好な付着を保っていたことが分かる。なお、E04における着色は施工ミスによる豆板の影響であると考えられるが、この豆板の影響が曲げ引張り強度に影響を及ぼした可能性もある。これに関しては今後の課題である。

4. まとめ

本研究ではプレキャストコンクリート接合部における打継面処理の軽減化を目的として、目荒し深さを変化させたケースや打継面に吸水調整材を塗布したケースについて、目荒し深さの定量的評価や接合部のひずみ測定および曲げ強度試験を実施した。その結果、本研究範囲内で以下の知見を得た。

(1) コンクリート打継部の目荒し部について凹凸係数および隣り合う段差で断面の粗度を定量的に評価することが出来た。

(2) 断面の付着性状に及ぼす凹凸(面積)や段差(高低差)の影響の大小については今回の実験からは明らかに出来なかった。

(3) コンクリート打継部のひずみ挙動を測定することで、新旧コンクリートの肌離れの程度をある程度把握することが出来る。

(4) 粗骨材が露出した断面への吸水調整剤の塗布は、ペーストの面積が少ないことから付着力を高める効果が小さくなる可能性がある。

(5) 新旧コンクリートの打継部に浸入する水の浸透深さは、目荒し深さが深いほどかつ、吸水調整材を塗布したもののほど少なくなる。

参考文献

- 1) 國分正胤：新旧コンクリートの打設目に関する研究，土木学会論文集，第8号，pp.1-24，1950
- 2) 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
- 3) 俵道和，呉承寧，古鷹康博，福井正：新旧コンクリートの打継ぎ特性に及ぼす打継目処理方法の影響に関する研究，プレストレストコンクリート技術協会，第20回シンポジウム論文集，pp.155-160，2011
- 4) 長井宏憲，野口貴文，越替裕彦，長谷川和男：有機表面処理剤を用いたコンクリートの打継ぎ部の特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.2，pp.217-222，2007
- 5) 榎原彩野，村上祐治，木村聡，恋山吾郎：鉛直打継処理方法の違いがコンクリートの直接引張強度およびせん断強度に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，pp.358-363，2014
- 6) 氏家勲，菊地一義，佐藤良一，長瀧重義：新旧コンクリートの打継目の透気性状に影響を及ぼす要因に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.17，No.1，pp.747-752，1995
- 7) 阿部宏，本橋健司：モルタル塗り用吸水調整材の初期接着機構に関する研究，日本建築仕上学会1994年大会，pp.44-48，1994
- 8) 前中敏伸，門中章二，森田浩，伊藤篤司：超微粒子タイプの樹脂エマルジョンを水平打継ぎ面処理に用いた検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，pp.1201-1206，2001
- 9) 浜中昭徳，丸田浩：界面活性効果により打継ぎ一体化を助長するプライマーの検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.1，pp.1941-1946，2016