

論文 打継ぎ面の様相および吸水調整剤の塗布が付着性状に及ぼす影響

緑川 猛彦^{*1}・徳光 卓^{*2}・杉江 匡紀^{*3}・吉次 優祐^{*4}

要旨：コンクリート工事の合理化・省力化を目的として、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弱点になりやすいが、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、化粧型枠を用いて成型した打継面に目荒しを施したケースや吸水調整剤を塗布したケースについて、断面の様相や目荒し量の定量的評価、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、凹凸係数は断面の模様深さに比例して増加すること、凹凸係数が小さい断面の打継面において吸水調整剤の効果が確認されたこと等が明らかになった。

キーワード：打継部, 化粧型枠, 目荒し, 吸水調整剤, 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。

プレキャスト製品では製品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、模擬化粧型枠を用いて成形した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の付着性状について、打継面の様相の定量的評価や曲げ引張試験の結果から検討することとした。

2. 実験概要

2.1 実験ケース

本実験では、打継面の様相や目荒しの状態および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

付着性および浸水性に及ぼす影響を検討するために、表-1に示すように、①目荒しのみを行い吸水調整剤を塗布しないケース (M シリーズ)、および②目荒し無しに吸水調整剤を塗布したケース (A シリーズ) の2ケースについて実験を行った。図-1に模擬型枠表面の模様を示す。模擬型枠は押出し発泡ポリスチレンを用いて自作し、打設面の模様は2cm角の市松模様とした。突起の深さは3mm, 6mm, 10mmの3種類とした。なお、M0およびA0では市松模様のない平面であることからウレタン塗装コンパネを用いた。供試体数はそれぞれの組合せで3本(6×3=18本)とし、以降に示す試験結果は代表的な試験結果を示している。

2.2 使用材料

実験に用いた材料を表-2に示す。打継面処理剤として

表-1 実験の組合せ

打継面の処理方法	市松模様の深さ			
	0mm	3mm	6mm	10mm
目荒し処理	M0*	M3	M6	M10
吸水調整剤の塗布	A0*	A3	A6	A10

※ M0, A0は前回の実験データを参照した。

表-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 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)

*3 株式会社富士ピー・エス 技術研究センター 次長 (正会員)

*4 株式会社富士ピー・エス 技術研究センター (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)						スランブ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 f'_c (N/mm ²)
				W	C	S	G	SP(%)	AE(%)			
先行打設コンクリート	50	37	43.0	162.4	440.0	733.0	1016.0	0.7 ^{*1}	0.8	17.5	4.0	68.7
後行打設コンクリート	30	50	44.4	164.5	329.0	762.7	1001.0	1.5 ^{*2}	0.8	16.6	6.4	33.1

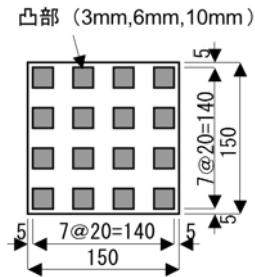


図-1 模擬化粧型枠の様相

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-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を想定し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-2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、長さ方向中心部に化粧型枠を模した仕切り板(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。断面中心部に配置した鉄筋は、打継部の付着強度が低く供試体セッティング時に自重により曲げ破壊を生じてしまうことを防止するために配置したものである。目荒しを施す供試体の化粧型枠にはあらかじめ凝結遅延剤を所定量塗布しておき、材齢1日で脱枠した後、高圧洗浄機を用いて打継部の洗い出し仕上げ(コンクリート表面層のおおよその除去厚は2mm)を行った。その後、気中養生を4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。打設面には30分前からスプレーによる水の噴霧をし水湿しを行った。目荒しを施さない供試体では、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。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 打継面の模様および目荒し量の定量的評価

断面の模様および目荒し量を定量的に評価するために、断面の凹凸度を計測した。計測にはレーザー変位計⁵⁾を用いて1mm間隔で断面の高さを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、その合計を測定した全長で除したものの2乗を凹凸係数として表

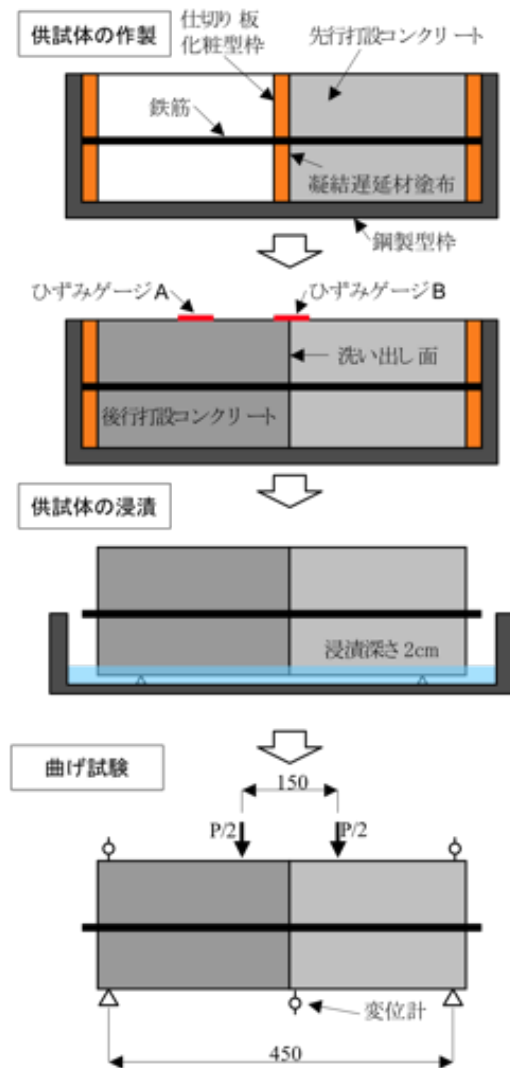


図-2 供試体の製作および実験手順

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。凹凸の上面と底面に挟まれる垂直面上の測定では、レーザー光の乱反射で高さを測定することが出来なかった。このためデータ整理では、距離の近い前後の測定値で置き換えた。乱反射のデータは1断面の測定で平均2回程度であり、全断面に平均して存在したことから凹凸係数への影響は相対的には少ないと考えられる。

測定箇所はブリーディングの影響を考慮し、供試体断面の上から55mmと下から55mmの2箇所とした。上部と下部で大きな差異が認められなかったことから凹凸係

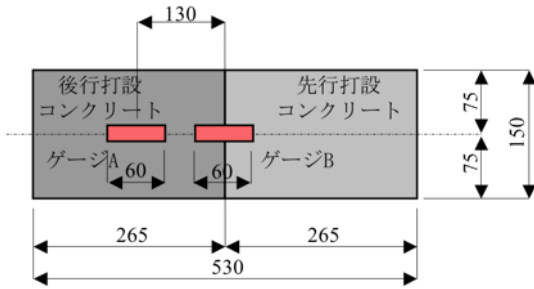


図-3 ひずみゲージの貼付位置

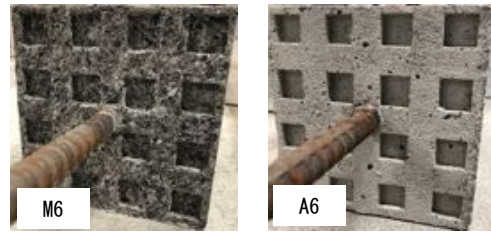


図-4 打継面の状況

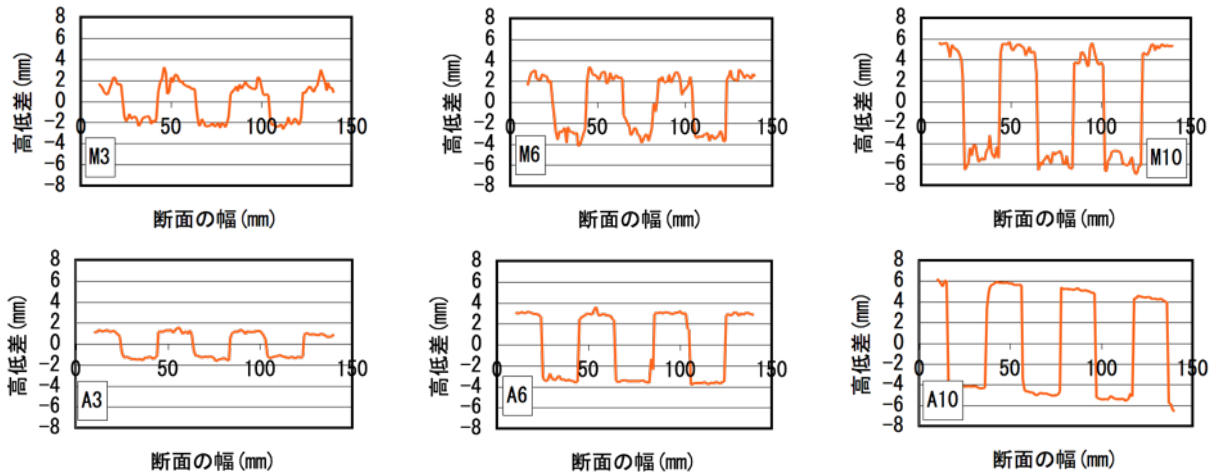


図-5 打継面の凹凸状況

数として平均値を採用した。

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（ゲージB）と後行打設コンクリート中心部（ゲージA）にコンクリート用ひずみゲージ（長さ60mm）を設置した。ひずみゲージの貼付測定を図-3に示す。測定は1時間毎に自動計測とし4週間計測した。

2.6 打継部の浸漬試験

作製した供試体の底面から2cmまで着色した水に3日間浸し、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。

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、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。載荷初期から載荷荷重の増加とともにたわみ量は増加したが、ある荷重に達した時点で小さな破壊音とともにたわみ量が一気に増加した。実験中の観察では、開口部の開きが非常に小さいことから開口の瞬間を肉眼では確認することができな

かったが、この小さな破壊音はそれまで付着していた打継部が荷重に耐えきれず開口した際に生じる音であり、たわみ量の急激な増加は開口によりもたらされたものと判断された。また、同時に生じた載荷荷重の減少は開口による応力解放によるものと推察された。したがって本実験では、載荷荷重が減少する直前の載荷荷重を打継部が耐えうる最大荷重と考え、その載荷荷重から算出された曲げ引張強度で付着性能を評価することとした。供試体によっては破壊音が無く載荷荷重とともにたわみ量が徐々に増加するものもあったが、この場合には一定間隔で測定している単位時間当たりで最も急激にたわみ量が増加した直前の載荷荷重を用いて曲げ引張強度を算出した。また、断面中心部に配置した鉄筋が載荷荷重とたわみ量との関係に影響を与える可能性も考えられたが、本実験では全てのケースにおいて同一条件としたことから相対的な比較から考察を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 打設面の様相および目荒し量の評価

図-4に打継面の様相および洗い出し仕上げの状況を示す。使用した模擬化粧型枠による市松模様の様子が分かり、また、洗い出し仕上げを行った供試体（M6）では表面に目荒しが施され、骨材が露出している様子が分か

表-4 打継面の凹凸係数

供試体	凹凸係数		供試体	凹凸係数	
	平均値	標準偏差		平均値	標準偏差
M0*	1.008	0.002	A0*	1.006	0.005
M3	1.318	0.033	A3	1.145	0.011
M6	1.569	0.061	A6	1.542	0.083
M10	2.274	0.109	A10	2.012	0.089

※ M0, A0は前回の実験データを参照した。

る。

図-5 にレーザー変位計で測定したコンクリート断面の凹凸の例を示す。凹凸の計測では特に基準となる高さはないが、高低差が分かりやすいように、図-5 では一応の目安として凹凸の中心と思われる部分を高低差 0mm としている。M シリーズでは目荒しにより断面に細かい凹凸が生じているが、A シリーズでは型枠による大きい凹凸のみであり表面は滑らかであった。また、M6 は A6 と同じ型枠で作製したにもかかわらず、高圧水による洗い出しにより高低差が 5mm 程度となっている。このように図-5 では図-4 に示した断面の模様の様子や目荒し量の違いが良く表れており、洗い出し仕上げを施すと表面の凹凸具合が大きくなる事が分かる。

このデータをもとに凹凸係数を算出した結果を表-4 に、また、断面の模様の深さと凹凸係数との関係を図-6 に示す。図には計算で求めた理論的な数値も示しているが、A シリーズおよび M シリーズとも、凹凸係数は断面の模様の深さにほぼ比例して増加する事が分かる。さらに、目荒しが凹凸係数に与える影響は、断面の模様の影響に比較してそれほど大きくなく、M シリーズでは A シリーズに対して約 2 割程度の増加であった。打継部の付着強さは、引張力に対しては目荒し等による断面積の増

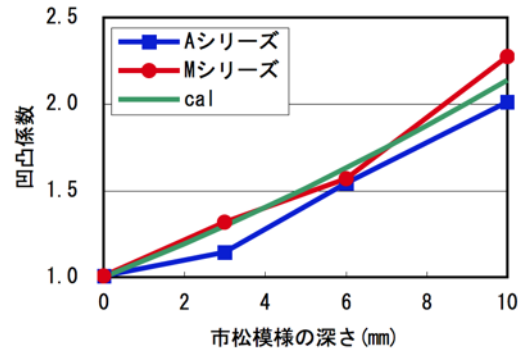


図-6 市松模様の深さと凹凸係数との関係

加が、せん断力に対しては断面の模様のような噛み合わせが大きく関与すると思われる。しかしながらその境界は明確でなく、また、断面性状は引張力やせん断力のどちらか一方だけに寄与するものでもないと考えられる。今回の実験では付着力を引張強度で評価する観点から、目荒しの延長上に模様の深さを位置づけることとし、両者の違いを断面積の増加を表す凹凸係数で評価することとした。言い換えると、市松模様が打継部の付着強度におよぼす影響を断面積の増加という観点から検討することを試みた。

3.2 打継部のひずみ挙動

図-7 に後行コンクリート打設後に測定した、打継部と後行打設コンクリート中心部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(ゲージA)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。この収縮ひずみは全ての供試体において最終的に 300 μ ST 程度であり、供試体の養

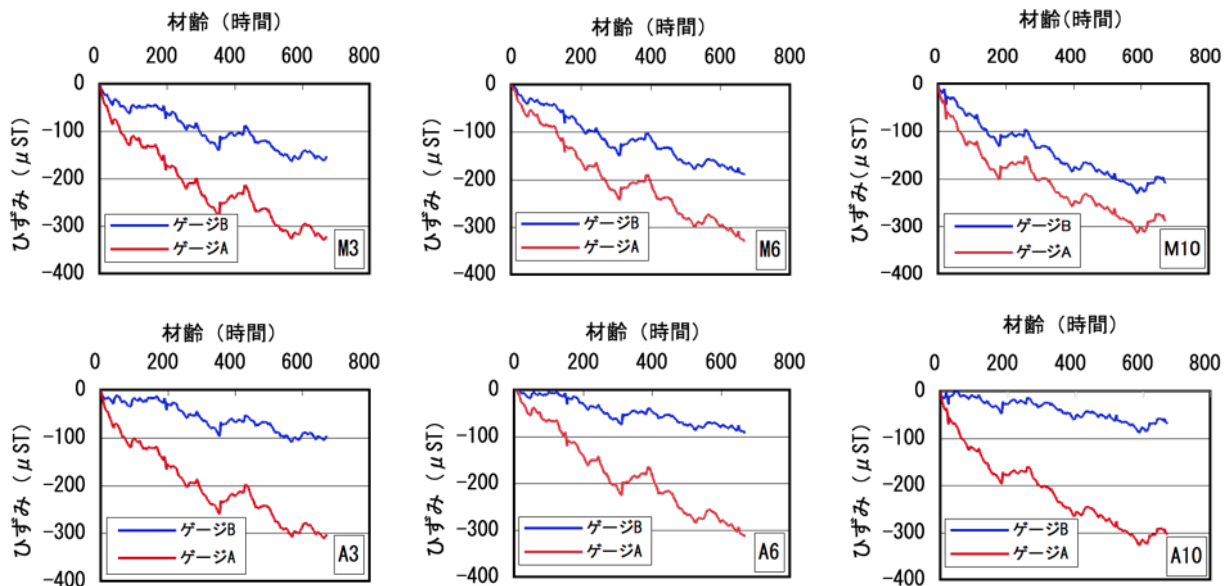


図-7 打継部(ゲージB)と打設中心部(ゲージA)におけるひずみの経時変化

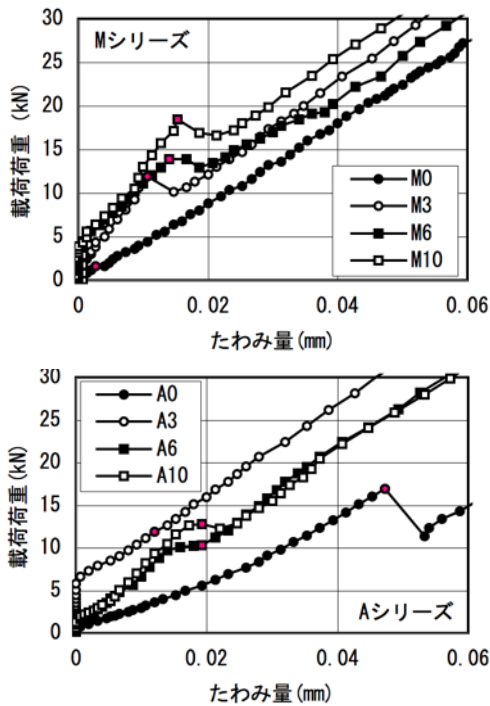


図-8 曲げ強度試験時の載荷荷重とたわみ量

生状態が全供試体でほぼ等しかったものと思われる。

一方、打継部のひずみ（ゲージ B）は市松模様の深さが異なることから、ひずみを測定する部位の先行打設コンクリートの部分長、市松模様の深さ部分および後行打設コンクリートの部分長がケース毎に異なることになる。また、市松模様の深さが同じであっても、市松模様の凸部と凹部とではひずみ挙動が異なることになる。さらに、供試体の表面で測定されたひずみが全断面を代表する値とは考え難い等の理由により、詳細な比較は困難である。したがってここでは、全体的な傾向についての考察にとどめる。

市松模様の深さが異なる M シリーズでは、全体的に市松模様が深くなるほど収縮ひずみが大きくなる傾向を示した。一方、吸水調整剤を塗布した A シリーズでは市松模様の深さに関わらずほぼ同じ収縮ひずみであった。また、同じ市松模様の深さである M3 と A3（M6 と A6 および M10 と A10）を比較すると、目荒しを施した M シリーズにおいて収縮ひずみが大きく吸水調整剤を塗布した A シリーズでは収縮ひずみが小さくなる傾向を示した。

吸水調整剤の塗布は、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行することを抑制する効果がある⁹⁾。この効果を鑑みると、吸水調整剤を塗布した A シリーズでは、市松模様の深さに関わらず水分の移動が制限されるため収縮ひずみが減少し、ほぼ一様な収縮ひずみ量となったものと推察される。一方、M シリーズでは市松模様の深さが深くなるほど断面積が増

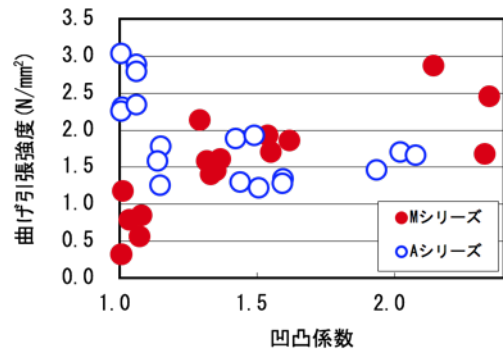


図-9 凹凸係数と曲げ引張強度との関係

加することから、後行打設コンクリートから先行打設コンクリートへ移動した水分の総量が増加し、それに伴い収縮ひずみが増加したものと推察される。

3.3 曲げ強度試験

図-8 に曲げ強度試験の載荷荷重とたわみ量との関係を示す。この図は今回の実験結果とともに先に実施した市松模様の無いケース（深さ 0mm）のデータ⁷⁾を加えたものである。また、図中の赤部分は打継部が開口したと判断し曲げ引張強度を算出した箇所である。目荒しを施した供試体（M シリーズ）や市松模様が深い供試体（A6、A10）では、ある荷重に達した時点で小さな破壊音とともにたわみ量が一気に増加する傾向を示した。

開口と判断した時点（図の赤部分）の載荷荷重から曲げ引張強度を算出し、凹凸係数との関係を示したものを図-9 に示す。吸水調整剤を塗布せず目荒しのみもの（M シリーズ）は、凹凸係数が 1.0 から 1.5 の間では凹凸係数の増加に応じて曲げ引張強度が大きくなるものの、それ以降の曲げ引張強度はそれほど高くならなかった。一方、吸水調整剤を塗布した供試体（A シリーズ）では、凹凸係数が 1.0 付近で曲げ引張強度が最大値を示すものの、その後は凹凸係数によらず、ほぼ一定の曲げ引張強度であった。

凹凸係数が小さい場合、打継部表面は細かい凸凹で覆われている場合が多い。一方、凹凸係数が 1.5 以上になると今回の実験の M6 または M10（同様に A6 や A10）のように打継部表面は比較的大きな凸凹となる。今回の実験で採用した曲げ強度試験では、供試体を 3 等分載荷するため、曲率の関係から開口部分の挙動は純粋な引張試験とは異なるものになる。凹凸係数が小さい場合には、曲げ強度試験における供試体のスパンと高さから導かれる曲率に対して凸凹による噛み合わせが無視でき、純粋な引張試験と同等な結果が得られると考えられる。一方、凹凸係数が 1.5 以上に大きくなると、試験の曲率に対する表面の凸凹が大きく、噛み合わせの効果やほぞ作用の効果が卓越することから引張試験とは異なる結果となる可能性がある。

以上のことを鑑みると、凹凸係数が小さい範囲においては比較的正確に打継面の付着強さを評価していると考えられることから、吸水調整剤の塗布によって付着強さが高くなるが見て取れる。一方、凹凸係数が大きな範囲においては、噛み合わせ効果やほぞ作用の効果が卓越することから吸水調整剤の有無による違いが表れにくく、吸水調整剤の効果を評価できないものと考えられる。

3.4 浸漬試験

図-10 に浸漬試験後の打継部の様子を示す。図では浸水した部分の赤色が不明瞭であることから、浸水部分との境界を黄色い線で示してある。また、供試体断面の方向は上方が打設面、下方が浸漬面である。全体的に打設上部や乾燥収縮の影響が大きい断面縁部でのみ浸水が認められたが、吸水調整剤を塗布しない目荒しみのみのケースにおいて若干多くの浸水が見られた。吸水調整剤を塗布したケースにおいては浸水は少なかった。このことから長期的な耐久性確保を論んで遮水するためには、吸水調整剤の塗布は有効であると考えられる。

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、模擬化粧型枠を用いて打継面の様相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、目荒し量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) 凹凸係数は断面の模様の深さにほぼ比例して増加した。また、目荒しが凹凸係数に与える影響は、断面の模様が凹凸係数に与える影響に比較してそれほど大きくなく、今回の実験では約2割程度であった。

(2) 吸水調整剤を塗布した供試体では、先行打設コンクリートと後行打設コンクリート間の水分の移動が制限されるため、模様の深さに関わらずほぼ一様の収縮ひずみとなった可能性がある。一方、目荒しを施した供試体では模様の深さが深くなるほど断面積が増加することから、後行打設コンクリートから先行打設コンクリートへ移動した水分の総量が増加し、それに伴い収縮ひずみが増加したものと推察される。

(3) 曲げ強度試験では、凹凸係数が小さい場合には、スパンと高さから導かれる曲率に対して凸凹による噛み合わせが無視でき、純粋な引張試験と同等な結果が得られるが、凹凸係数が1.5以上に大きくなる場合には、曲率に対する表面の凸凹の比率が大きくなり、噛み合わせの効果やほぞ作用の効果が卓越することから引張試験とは異なる結果となる可能性がある。

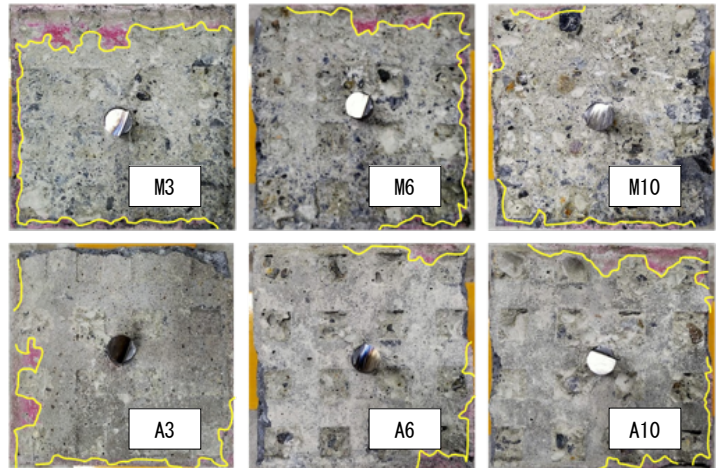


図-10 打継部の浸水の様子

(4) 曲げ引張強度では、凹凸係数が小さい範囲において吸水調整剤の塗布によって付着強さが高くなることが認められたが、凹凸係数が大きな範囲においては吸水調整剤の有無による違いが表れにくく、その効果を評価できなかった。

(5) 新旧コンクリートの打継部への水の浸入は、特に打設上面や断面縁部で多かったが、吸水調整剤を塗布した供試体では浸入量が少なかった。

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) 依道和，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) 氏家勲，菊地一義，佐藤良一，長瀬重義：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
- 6) 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
- 7) 緑川猛彦，江本久雄，徳光卓，杉江匡紀：吸水調整剤の塗布が打継面の付着性状に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.41，No.2，pp.625-630，2019