

論文 新・旧コンクリートの養生方法が打継ぎ部の付着性状に及ぼす影響

林 承燦^{*1}・国枝 稔^{*2}・鎌田 敏郎^{*3}・六郷 恵哲^{*4}

要旨：旧コンクリートの養生方法，打継ぎ表面の乾湿状態および打継ぎ後の養生方法が打継ぎ部の付着性状に及ぼす影響について，曲げ試験，水分移動特性の計測ならびに打継ぎ部の微細構造の観察により検討を行った。旧コンクリートを気中養生し，打継ぎ表面を乾燥状態として新コンクリートを打設し，水中養生を行うと，最も大きな曲げ強度が得られた。打継ぎ表面が湿潤状態の場合は，乾燥状態より結晶の寸法が大きく，空隙部分の割合が多かった。また，打継ぎの後に，新コンクリートの水分が旧コンクリートへ移動することが明らかとなった。

キーワード：打継ぎ部，付着性状，SEM 観察，水分移動，引張軟化曲線

1. はじめに

コンクリート構造物の打継ぎ部は，力学的な弱点であるとともに，水密性や耐久性の点でも弱点となりやすい。打継ぎ部の付着性状は表面の凹凸の形状や打継ぎ面積などに大きく影響を受けることが知られている¹⁾。Pacelli²⁾らは打継ぎ表面が湿潤状態の場合よりも乾燥状態の場合の方が打継ぎ強度が大きいことを報告している。また，応力³⁾や Dong-UK⁴⁾は，打継ぎ後に，気中養生を行った供試体より湿潤養生を行った供試体の方が，曲げ強度ならびにせん断強度がともに大きいことを明らかにしている。

本研究では，旧コンクリートの養生方法，打継ぎ表面の乾湿状態および打継ぎ後の養生方法が打継ぎ部の付着性状に及ぼす影響について，曲げ試験，新旧コンクリート内の水分移動特性の計測ならびに電子顕微鏡(SEM)による打継ぎ部の微細構造の観察により検討を行った。

セメントには 早強ポルトランドセメント(密度：3.12 g/cm³)を用い，細骨材には川砂(密度：2.59 g/cm³)，粗骨材には最大骨材寸法 15mm の玉砕石(密度：2.61 g/cm³)を使用した。表 - 1 に，新旧コンクリートの配合および強度試験結果を示す。

はり中央部に打設方向に平行な打継ぎ部を設けたはり供試体(寸法：100×100×400mm)を，各シリーズともに4個ずつ作製した。旧コンクリートの打継ぎ面には，遅延剤シート(洗出し深さ：4mm)を用いて洗出し処理を行った。はり供試体の打継ぎ部の引張り側には，発泡スチロールを埋設する方法により切欠き(深さ：20mm，厚さ：5mm)を設けた。図 - 1 に示すように，新コンクリートの材齢 28 日目(旧コンクリートの材齢：53 日)に3等分点曲げ載荷試験により，荷重と切欠き口の開口変位(以下，CMOD と表記する)とを計測した。また，荷重 - CMOD 曲線の平均曲線を用いて引張軟化曲線を推定した。引張軟化曲線は，はり供試体の中央に1本の仮想ひび割れモデルを組み込んだ有限要素法を用

2. 実験概要

2.1 曲げ試験用はり供試体

* 1 岐阜大学大学院 生産開発システム専攻 工修 (正会員)

* 2 岐阜大学助手 工学部土木工学科 工博 (正会員)

* 3 岐阜大学助教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

* 4 岐阜大学教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

表 - 1 コンクリートの配合と強度

	W/C	単位量(kg/m ³)					強度(N/mm ²)		
		W	C	S	G	Ad	圧縮	引張	曲げ
旧	50	170	340	768	1002	1.02	50.3	3.6	5.9
新	50	170	340	768	1002	1.02	55.8	4.1	5.5

W:水, C:セメント, S:細骨材, G:粗骨材, Ad:AE 減水剤

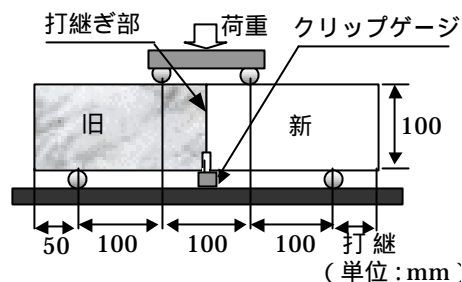


図-1 最荷方法 (単位: mm)

表 - 2 コンクリートの養生方法と

打継ぎ表面の乾湿状態

実験	旧コンクリートの養生方法	打継ぎ表面の状態	打継ぎ後の養生方法	シリーズ名
-a	水中(23日)	湿潤	水中	WWW*
			気中	WWA*
-b	水中(22日) 気中(1日)	乾燥	水中	WDW
			気中	WDA
	水中(18日) 気中(5日)	湿潤	水中	MWW
			気中	MWA
		乾燥	水中	MDW
			気中	MDA
	水中(8日) 気中(15日)	湿潤	水中	AWW
			気中	AWA
		乾燥	水中	ADW*
			気中	ADA*

*:SEM 観察も行った

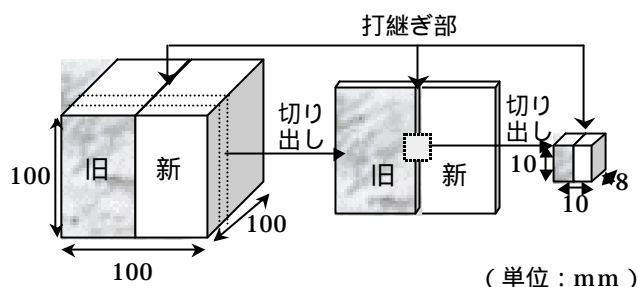


図 - 2 SEM 観察用供試体 (単位: mm)

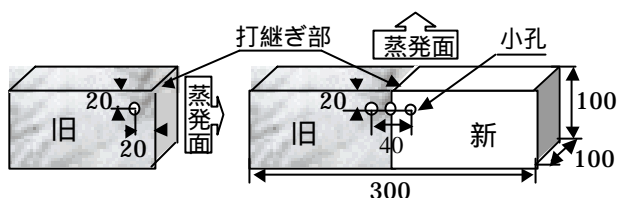


図 - 3 水分移動試験用供試体

い, 多直線近似解析法により推定した。

表 - 2 に示すように, 旧コンクリートの養生方法や打継ぎ表面の乾湿状態および打継ぎ後の養生方法を変えることにより, それぞれの因子が打継ぎ部の付着性状に及ぼす影響について検討を行った。旧コンクリートは, 水中養生のものと水中養生後気中(実験室内)養生期間が異なるもの(1日, 5日と15日)を用いた。打継ぎ表面は, 打継ぎ前に湿布を用いて表面を湿潤状態としたものと, 表面を乾燥状態としたものの2種類とした。実験のWDWおよびWDAシリーズでは, 打継ぎ表面を乾燥状態とするため, 新コンクリートの打設1日前に水中から出し気中養生を行った。打継ぎ後の養生方法は, 水中養生と気中養生の2種類とした。また, 新旧コンクリートと同一条件で養生を行った一体打ちの曲げ供試体を用い, 養生方法の違いがコンクリートの曲げ強度に及ぼす影響について検討を

行った。

2.2 SEM 観察用供試体

図 - 2 に示すように, 中央部に打設方向に平行な打継ぎ部を設けた立方供試体(寸法: 100×100×100mm)を作製し, 打継ぎ面を含む試験片(寸法: 10×10×8mm)を切り出し, 電子顕微鏡(SEM)による観察を行った。SEMによる観察は, 表 - 2 に示す4シリーズについて, 打継ぎ面で突出している粗骨材と新コンクリートのセメントマトリックスとの境界面で行った。打継ぎ面には, 遅延剤シート(洗出し深さ: 4mm)を用いた洗出し処理を行った。

2.3 水分移動試験用供試体

図 - 3 に示すように, 小孔(10mm)を設け, 水分移動について検討を行った。まず, 10日間水中養生を行った旧コンクリート供試体について, 新コンクリートを打継ぐ直前までのコンクリートの乾燥について検討を行った。旧コンク

表 - 3 曲げ強度及び質量減少率

	区分	曲げ強度 (N/mm ²)	質量減少率
旧	実験 -b	5.9	0.002
	実験	5.4	0.005
	実験	5.4	0.011
新	水中	5.5	
	気中	5.0	

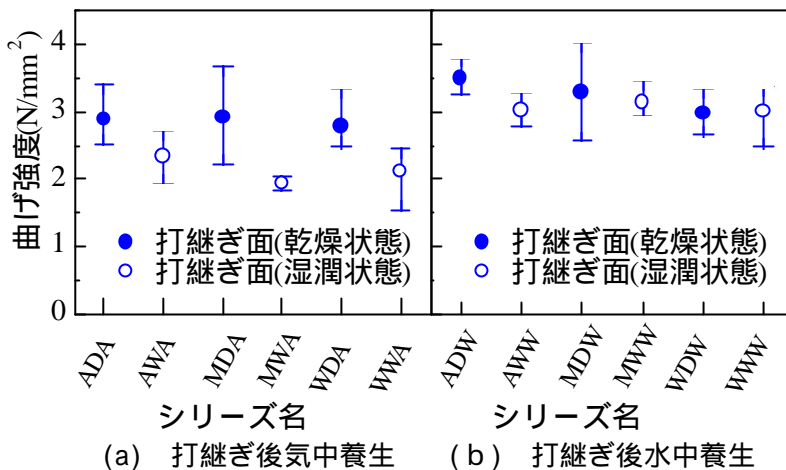


図 - 3 曲げ強度

リート供試体には、打継ぎ面を除くすべての面をアルミ箔でシールし、打継ぎ面のみを蒸発面とした。

打継ぎ後では、新旧コンクリート間の水分移動について検討を行うため、供試体のすべての面をアルミ箔でシールした。また、新コンクリートの材齢28日目に供試体の上面のアルミ箔を取り除き、乾燥による水分移動について検討を行った。供試体中の水分移動に伴う、小孔中の相対湿度の変化は、小孔中に埋設した小型電気湿度計にて測定した。打継ぎ面には、遅延剤シート(洗出し深さ：4mm)を用いた洗出し処理を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 曲げ強度による評価

表 - 3 に実験 , , の新旧コンクリートと同一条件で養生を行った一体打ち供試体の曲げ強度(いずれも材齢28日で試験)を示す。また、表 - 3 に、気中養生に伴う旧コンクリート供試体の質量の減少率を示す。質量の減少率は、旧コンクリートを水中から出し表面の水分を布で拭き取った時点での質量に対する減少量の質量率である。

気中養生を行った供試体より水中養生を行った供試体の曲げ強度が大きく、気中での期間が

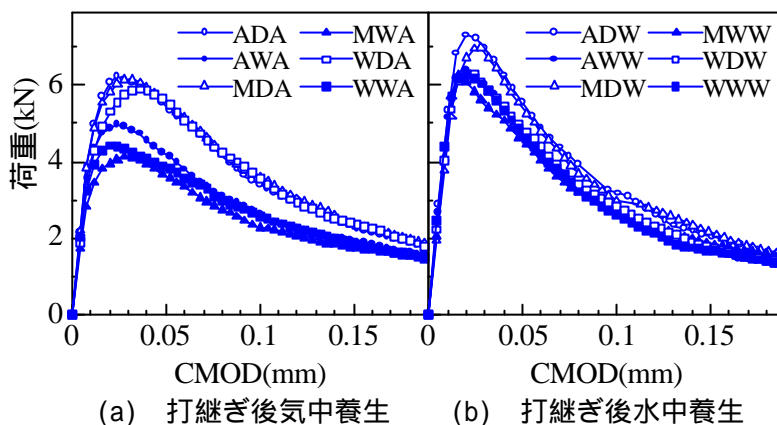


図 - 4 荷重 - CMOD 曲線(平均)

長いほど、旧コンクリート内の水分の蒸発により供試体の質量が減少した。

図 - 3 と図 - 4 に打継ぎ供試体の曲げ強度と荷重 - CMOD 曲線の平均を示す。打継ぎ後に気中養生を行った供試体よりも水中養生を行った供試体の曲げ強度が大きく、打継ぎ表面が湿潤状態より乾燥状態であった供試体の曲げ強度が大きくなった。

まず、打継ぎ後に気中養生を行った供試体については、旧コンクリートの気中養生期間による曲げ強度の差は無かったが、打継ぎ表面が湿潤状態の供試体と比べ、乾燥状態にした供試体の曲げ強度が大きくなる結果となった。

打継ぎ後に水中養生を行った供試体については、打継ぎ後に気中養生の供試体と比べ、打継ぎ表面を湿潤状態とした供試体の曲げ強度が大

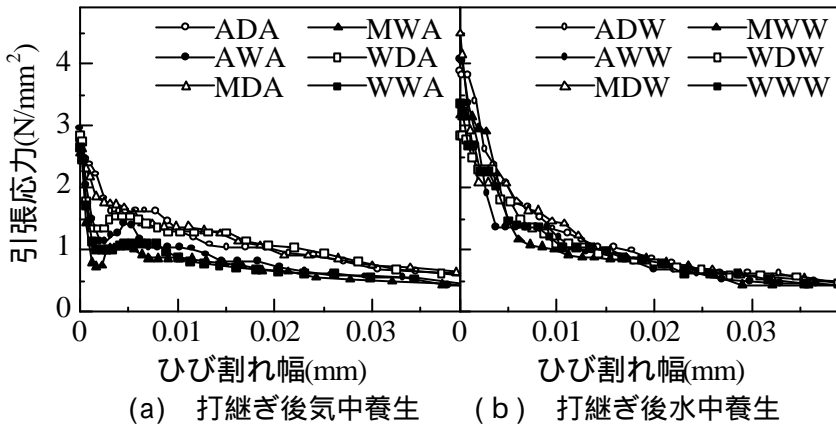


図 - 5 引張軟化曲線

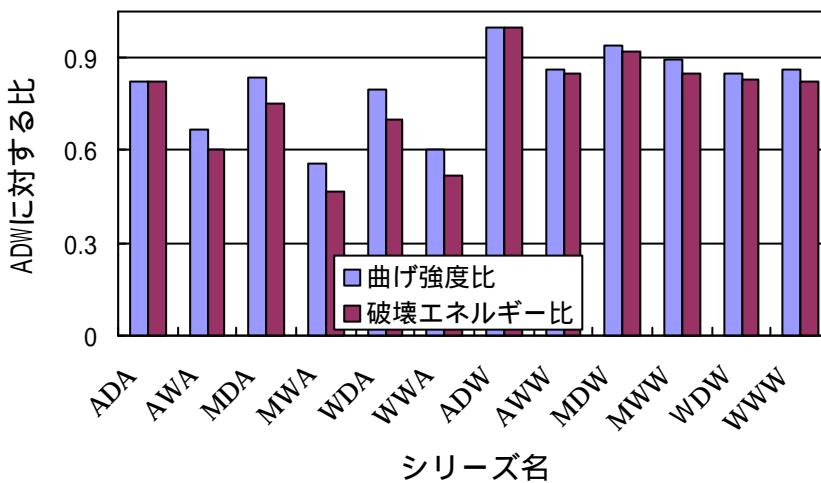


図 - 6 曲げ強度比及び破壊エネルギー比

きくなった。打継ぎ表面を乾燥状態にした場合では、旧コンクリートの気中養生期間が長いほど、曲げ強度が大きくなる結果となった。

一般的に、鉛直な打継ぎ部を有する場合、打継ぎ面に沿ってブリーディングによる水みちが形成され、打継ぎ部の付着に悪い影響を及ぼすことが知られている。旧コンクリートを気中養生とした場合や打継ぎ表面を乾燥状態とした場合、新コンクリートの水分が旧コンクリートに吸い込まれることにより、打継ぎ部でのブリーディングによる水みちが形成されにくくなることにより、見掛けの水セメント比が小さくなることにより、打継ぎ部の曲げ強度が高くなったものと考えられる。一方、旧コンクリートを水中養生とした場合や打継ぎ表面が湿潤状態である場合には、旧コンクリート側の吸水が小さく、打継ぎ表面での水幕により、水みちが形成され

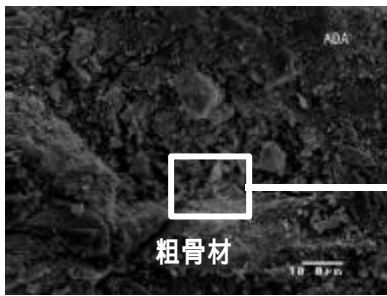
やすくなり、打継ぎ部の曲げ強度が低くなったものと考えられる。旧コンクリートを乾燥させた後、打継ぎ表面を乾燥状態として新コンクリートを打設し、水中養生を行うと、それ以外の供試体と比べ、大きな曲げ強度が得られることが明らかとなった。

3.2 引張軟化曲線と破壊エネルギー

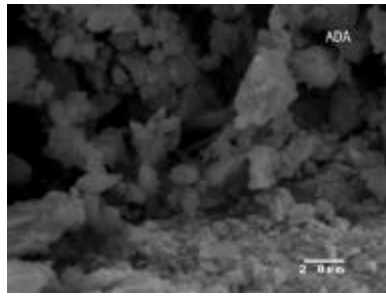
各シリーズの荷重 - CMOD 関係の平均曲線を用いて推定した引張軟化曲線を図 - 5 に示す。引張軟化曲線において、ひび割れ幅の小さい領域での応力が大きいことは、ひび割れ抵抗性に優れていると考えられる。引張軟化曲線におけるひび割れ幅の小さい領域での応力は、打継ぎ表面が乾燥状態にあるものが湿潤状態にあるものより大きく、打継ぎ

後に水中養生を行ったものが気中養生を行ったものより大きくなっており、これらの傾向は、曲げ強度の傾向と一致する。

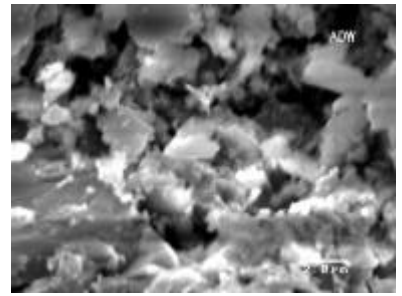
荷重 - CMOD 曲線から得られた引張軟化曲線において、ひび割れ幅 0.01mm までの引張軟化曲線下の面積(以下、単に破壊エネルギーと呼ぶ)を算定し、ADW シリーズを基準とした破壊エネルギー比を図 - 6 に示す。この図に曲げ強度比も併記する。破壊エネルギーの大小関係は、いずれの実験においても曲げ強度の大小関係と同様な傾向となった。しかし、乾燥状態である打継ぎ表面に新コンクリートの打設を行い、気中養生を行った供試体(ADA, MDA, WDA シリーズ)の場合、曲げ強度はほぼ同程度であるが、破壊エネルギーは、旧コンクリート供試体の気中での養生期間が短いほど破壊エネルギーも小さくなる結果となった。



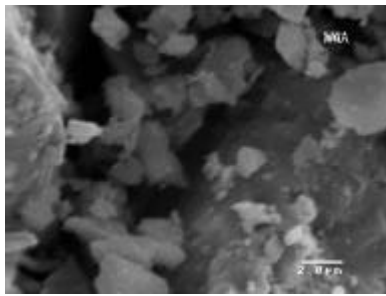
(a - 1) ADA シリーズ(1000 倍)



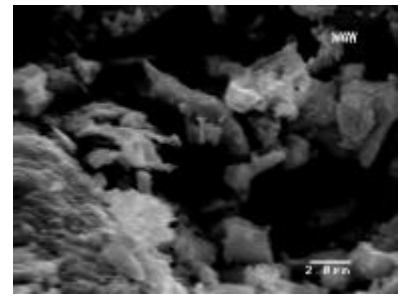
(a) ADA シリーズ(5000 倍)



(b) ADW シリーズ(5000 倍)



(c) WWA シリーズ(5000 倍)



(d) WWW シリーズ(5000 倍)

図 - 7 打継ぎ部の SEM 写真

3.3 SEM 観察による評価

打継ぎ面で突出している粗骨材と新コンクリートのセメントマトリックスとの境界面の SEM 写真(観察時の倍率:5000 倍)を図 - 7 に示す。ADA シリーズについては粗骨材表面の写真であることを示すため、1000 倍の写真も示す。打継ぎ表面が湿潤状態の場合(WWA, WWW シリーズ)は乾燥状態の場合(ADA, ADW シリーズ)より水和生成物の結晶が大きく、組織も粗く、空隙部分の割合が多い結果となった。既往の研究⁵⁾によれば、粗骨材表面に自由水の水幕が厚いほど粗骨材周辺部の組織の結晶が大型化して空隙寸法も大きくなり、空隙率が一定であっても、寸法の大きい空隙が多いほど強度は小さくなることが知られている。本研究においても、打継ぎ表面が湿潤状態である場合は、打継ぎ面で突出している粗骨材周辺部に水幕が形成され、結晶が大型化して空隙寸法も大きくなり、打継ぎ部の曲げ強度も低くなったと考えられる。なお、粗骨材表面以外の部分については、打継ぎ部であることを SEM 観察により識別することは困難であった。

3.4 水分移動による評価

水分移動の試験において、供試体周辺の温度は 20 一定とした。供試体周辺の相対湿度を図 - 8 に示し、打継ぎ前後での供試体の小孔中の相対湿度測定結果を図 - 9 に示す。打継ぎ前(旧コンクリートのみ)では、供試体周辺の相

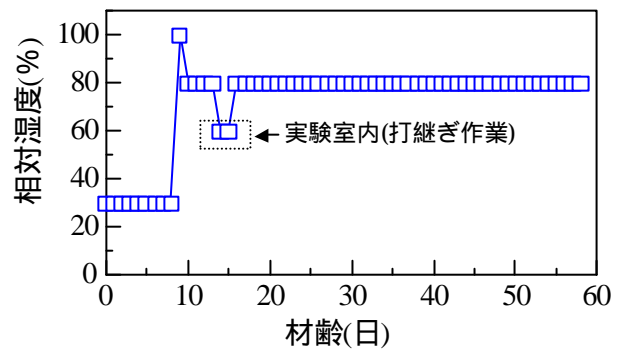


図 - 8 供試体周辺の相対湿度

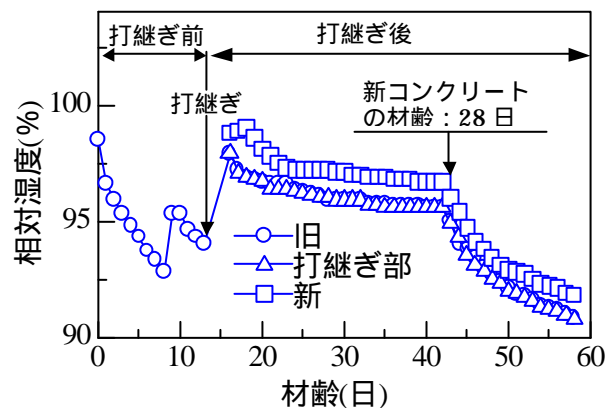


図 - 9 小孔中の相対湿度

対湿度が 30% と低いため、打継ぎ面からの蒸発により、材齢の経過とともに供試体の小孔中の相対湿度も低下した。旧コンクリート供試体周

辺の相対湿度を 30% から 100% に増加させると、供試体の小孔中の相対湿度も上昇した。旧コンクリート供試体周辺の相対湿度を 100% から 80% に低下させると、供試体の小孔中の相対湿度も低下した。これらより、コンクリート内部の水分の移動は供試体周辺の相対湿度の変動と深い関係があることが分かる。

打継ぎ後(新旧コンクリート)では、供試体のすべての面がアルミ箔でシールされており、供試体と周辺環境との間で水分の移動が無いにも関わらず、旧コンクリート側の小孔中の相対湿度が急激に上昇した。また、新コンクリートの硬化の進行に伴い、新コンクリートおよび旧コンクリート側の相対湿度は、ともに低下するが、打継ぎ直前の旧コンクリート側の相対湿度より高い値で安定する結果となった。これらは、新コンクリートを打設した後に、新コンクリート側の水分が旧コンクリートに吸水されるためであると考えられる。新コンクリートの水和や旧コンクリート内部での水分の拡散などにより、若材齢時に相対湿度が低下するが、材齢の経過とともに、相対湿度は安定したと考えられる。

新コンクリートの材齢 28 日目には、供試体の上面のアルミ箔を取り除いたことにより、供試体内部の相対湿度は低下するが、打継ぎ部とそれ以外での相対湿度の変動量の差は無かった。

4. まとめ

本研究では、新旧コンクリートの養生方法が打継ぎ部の曲げ強度に及ぼす影響について、打継ぎ部の微細構造や水分移動特性と関係させて検討を行った。以下に本実験で得られた結果を示す。

- (1) 打継ぎ後に気中養生を行った供試体に比べ、水中養生を行った供試体の曲げ強度が大きく、打継ぎ表面が湿潤状態であった供試体よりも乾燥状態であった供試体の曲げ強度が大きくなった。
- (2) 打継ぎ後に気中養生を行った場合、打継ぎ表面が乾燥状態のものが湿潤状態のものより

も曲げ強度が大きくなった。水中養生行った場合では、打継ぎ表面の乾燥状態による曲げ強度の差は小さいが、旧コンクリートの気中養生期間が長いほど曲げ強度が大きくなった。

- (3) 旧コンクリートを気中養生し、打継ぎ表面を乾燥状態として新コンクリートを打設し、水中養生を行うと、本研究における各シリーズの中で最も大きな曲げ強度が得られた。
- (4) 打継ぎ表面が湿潤状態の場合は、乾燥状態の場合より結晶の寸法が大きく、空隙部分の割合が多いところがあることを SEM により観察した。
- (5) 旧コンクリートが乾燥していると、新コンクリートの打設の後に、新コンクリートの水分が旧コンクリートへ移動することが水分移動の計測により明らかとなった。

参考文献

- 1) 栗原哲彦, 西田好彦, 鎌田敏郎, 六郷恵哲: コンクリート打継ぎ部における表面処理粗さの定量化と付着性状の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.20, No.2, pp.1261-1266, 1998.6
- 2) W. A. Pacelli, F. R. Andriolo, G. S. Sarkaris: Treatment and Performance of Construction Joint in Concrete Dams, International Water Power & Dam Construction, Vol.45, No.11, pp.26-31, 1993
- 3) 応力, 迫田恵三, 内海秀幸, 足立一郎: 養生条件が新旧コンクリートの打継ぎ強度に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, pp.1327-1332, 2000.6
- 4) Dong-UK Choi, David W. Fowler, James O. Jirasa: Interface Shear Strength of Concrete at Early Ages, ACI Structural Journal, Vol.37, No.131, pp.343-347, 1999
- 5) 例えば, 羽原俊祐: コンクリート構造物とその物性, セメント・コンクリート, No.549, pp.3-43, 1992