

論文 打継ぎ面に生じた微小欠陥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: 本研究では、打継ぎ面の表面処理程度が打継ぎ部の付着性状に及ぼす影響について、空気たまり等の打継ぎ部欠陥に着目して検討した。超音波法を用いた評価、切断面の観察および曲げ試験による評価を行った。その結果、小さな凹凸の程度が高いほど空気たまり等の打継ぎ部欠陥が多く生じることを明らかにした。また、ひび割れの進行方向に一致する平行な方向の打継ぎ面の凹凸は、曲げ付着強度の増加に効果が少ないことを明らかにした。エアキャップを型枠に用いて大きな凹凸を加工し、さらに遅延剤を用いた洗い出しによって小さな凹凸を設けることにより、曲げ強度の80%程度の大きな曲げ付着強度が得られた。

キーワード: 打継ぎ部、付着性状、表面処理、打継ぎ部欠陥、超音波法

1. はじめに

コンクリート構造物の新設時、既設コンクリート構造物の増設時あるいは補強時に設けられる打継ぎ部は、構造物の耐荷性能や耐久性能の低下の原因となりやすい。

打継ぎ部の施工にあたっては、付着性能を向上させるため、旧コンクリートの表面のレイターンスや弱点部を除去したり、表面処理により適切な凹凸が設けられる。表面処理方法や表面処理程度により異なる旧コンクリートの表面の凹凸の形状が、打継ぎ部の付着性状に与える影響について検討されており^{1, 2)}、超音波法により非破壊的に評価する試みもなされている³⁾。また、表面処理を行った場合、打継ぎ部での新・旧コンクリートの付着面積の増加などにより、付着特性は改善されるが、過大な不陸を有する打継ぎ面は、空気たまりなどに起因する欠陥が生じ易く、付着に悪影響を及ぼすことが明らかにされている⁴⁾。

本研究では、打継ぎ面に生じた空気たまり等の打継ぎ部欠陥が打継ぎ部の付着性状に及ぼす影響について検討するため、2種類の実験（実験1、実

験2）を行った。

打継ぎ部欠陥は打継ぎ面の表面処理程度に大きく依存することが予想される。したがって、実験1では、遅延剤シートを用いた打継ぎ部の表面処理程度、すなわち表面処理深さと打継ぎ部欠陥との関係について検討を行った。実験2では、遅延剤シートを用いた処理に加え、コンクリート打継ぎ部の表面に型枠などを用いて粗骨材の最大寸法より大きい人工的な凹凸を設け、打継ぎ面の表面積を増加させた場合に、打継ぎ部欠陥が打継ぎ部の曲げ付着性状に与える影響について検討を行った。また、実験1、2ともに打継ぎ部欠陥については、超音波による評価や切断面の観察を行った。

2. 実験概要

実験1および実験2とともに、セメントには、脱型時に打継ぎ部にもある程度の強度が期待できるように、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の玉碎石（密度：2.61 g/cm³）を使用した。

*1 岐阜大学大学院 生産開発システム専攻 (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(実験1)

新 旧	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	0.54	175	324	821	922	0.972	53.2	3.57	6.70
新	0.54	176	325	826	928	0.975	49.5	3.32	6.21

Ad(混和剤):AE 減水剤

表-2 表面処理方法(実験1)

供試体 形状	シリ ーズ名	表面処理方法
はり供 試体	AN	打継ぎ部無(一体打ち)
	AO	無処理
	AW	ワイヤブラシ
	AS2	S : 目標洗い出し深さ 2mm
	AS4	S : 目標洗い出し深さ 4mm
	AS6	S : 目標洗い出し深さ 6mm
立方供 試体	BO	無処理
	BS2	S : 目標洗い出し深さ 2mm
	BS4	S : 目標洗い出し深さ 4mm
	BS6	S : 目標洗い出し深さ 6mm

S : 遅延剤シート(コンクリート凝結遅延剤を付けたシートであり、遅延剤の量で表面処理深さの調節が可能)を打継ぎ面となるコンクリート型枠面に貼り付けておき、脱型後に水を用いて未硬化のモルタル部分を洗い出した。

2.1 供試体概要 (実験1)

表-1に、実験1のコンクリートの配合および強度試験結果を示す。実験1では、図-1に示すように、はり供試体と立方供試体の2種類の供試体を作製した。はり供試体(寸法: 10×10×40cm)については、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と打継ぎ部が無い一体打ち供試体を作製し、3等分点曲げ載荷試験を行った。また、立方供試体(寸法: 10×10×10cm)については、断面観察を目的として、中央部に打設方向に平行な打継ぎ部を設け、切断と研磨により4カ所程度(打継ぎ面に直角)の面を取り出し、打継ぎ部の観察を行った。表面処理程度の違いと打継ぎ部欠陥との関係について検討を行うため、はり供試体および立方供試体とともに、表-2に示すように遅延剤シートを用いた洗い出し法などにより、

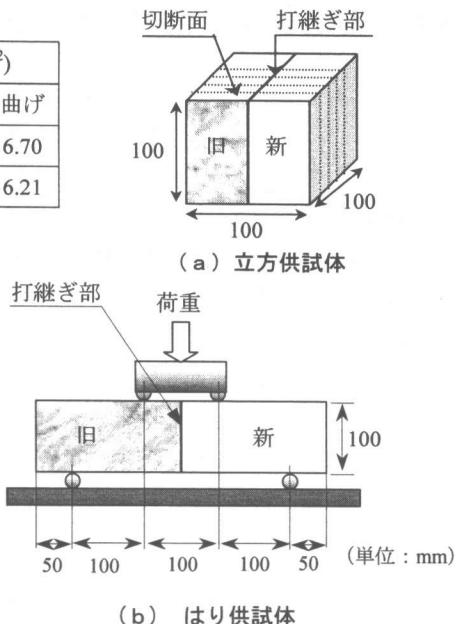


図-1 立方供試体およびはり供試体(実験1)

表面処理を施した。

2.2 供試体概要 (実験2)

はり中央部の打継ぎ面に、型枠による大きな凹凸や、遅延剤シート(洗い出し深さ: 4mm)を用いた洗い出しによる小さな凹凸を設けたはり供試体(寸法: 10×10×40cm)を、表-3に示す配合のコンクリートにより、各シリーズともに3本ずつ作製した。はり供試体の打継ぎ部の引張り側には、発砲スチロールを埋設する方法により切欠き(深さ: 20mm)を設けた。供試体の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。図-2に示すように、型枠による大きな凹凸の形状は波形とエアキャップ(梱包用クッション材)形の2種類とした。また、表-4に示すように波形の場合は、さらに遅延剤シート(洗い出し深さ: 4mm)を用いて洗い出しを行ったものを作製した。エアキャップ形については、遅延剤をエアキャップ型枠に散布してから洗い出しを行ったものも作製した。

2.3 超音波測定概要

超音波測定を行うため、超音波探傷器と広帯域垂直探触子(直径 56mm, 0.5MHz)を用いた。

表-3 コンクリートの配合と強度(実験2)

新 旧	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	0.54	174	321	823	925	0.963	54.6	3.86	6.34
新	0.54	176	325	828	931	0.975	55.8	3.92	6.81

表-4 はり供試体(切欠き深さ20mm)の表面

処理方法および曲げ強度(実験2)

シリーズ名	凹凸の形状	表面処理方法	曲げ強度(N/mm ²)
CN	—	—	4.07
CS	平ら	S4*	2.65
CW	波形	—	1.78
CWS	波形	S4*	2.56
CA	エアキャップ形	—	2.15
CAS	エアキャップ形	SR*	3.19

S4*:遅延剤シート(目標洗出し深さ4mm)による洗出し。
SR*:遅延剤散布による洗出し。

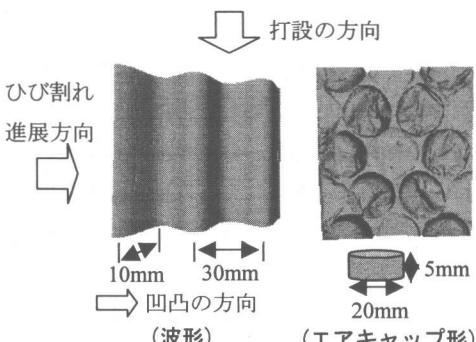


図-2 型枠の凹凸の形状(実験2)

接触媒質を用いて供試体表面に探触子を密着させ、接触圧が一定となるよう固定具を使用した。実験1および実験2とともに、図-3に示すように、超音波入射方法は、2探触子による透過法とした。打継ぎ部をはさんで、上下相対する面に探触子を設置し、最大振幅値を求めた。

2.4 表面粗さの測定

打継ぎ面の粗さを定量的に評価するため、新コンクリートを打設する前に、旧コンクリートの継ぎ面の表面形状をシリコンゴムで型取りし、触針

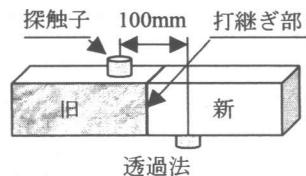


図-3 超音波探触子配置

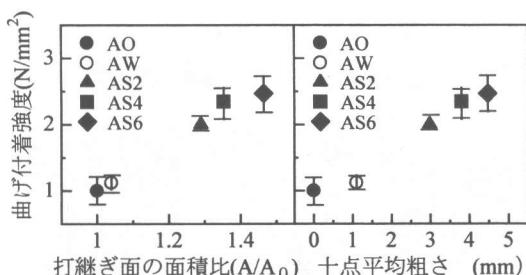


図-4 表面粗さと曲げ付着強度(実験1)

式3次元形状計測器を用いて、打継ぎ面の中央部70×70mmの範囲を0.4mmの間隔で計測した。また、はり供試体については、表面処理程度が打継ぎ部の付着性状に及ぼす影響について検討を行うため、破断面の形状を同じ方法により計測した。また、計測点のデータを用いて、以下の2つの定量化指標により、打継ぎ面の表面粗さの定量化を行った。

(1)表面積(A)：計測点を三角形で結び、その三角形の面積の総和とした。付着面積を表わす指標。

(2)十点平均粗さ(Rz)：粗さ曲線ごとの高い方から順に5番目の山までの山頂の高さの平均値と低い方から5番目の谷までの谷底の高さの平均値との差を求め、さらに対象領域全体で平均の値を求めた。凹凸の程度を表わす指標。

3. 実験結果および考察(実験1)

3.1 表面粗さと曲げ強度

図-4にはり供試体の打継ぎ面の面積比A/A₀(投影面積A₀に対する計測された表面積Aの比)および十点平均粗さと曲げ強度との関係を示す。無処理の場合では、面積比を1、十点平均粗さを0とした。いずれの指標においても、表面処理程

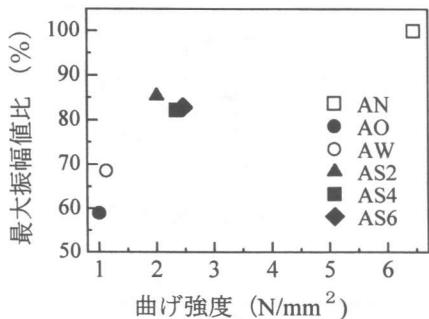


図-5 最大振幅値比と曲げ強度(実験1)

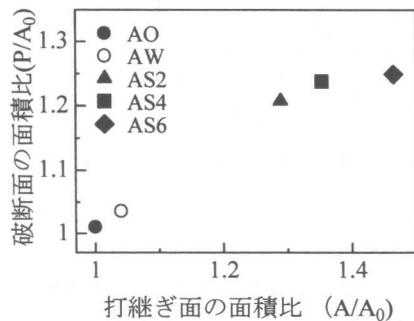


図-7 破断面と打継ぎ面の面積比(実験1)

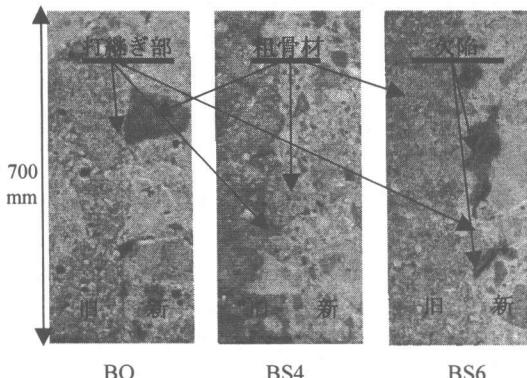


図-6 打継ぎ面の切断面写真(実験1)

度による違いが現れ、AS6 シリーズが面積比および十点平均粗さとともに最も大きく、AS4, AS2, AW 順に低くなつた。定量化指標と曲げ強度との関係においては、定量化指標の数値が増加するに伴い曲げ強度は増加する傾向を示した。しかし、洗い出し処理の場合、目標洗い出し深さを大きくすることにより打継ぎ面の面積比ならびに十点平均粗さが大きくなつてゐるが、曲げ強度の増加は小さい。

3.2 超音波法による評価

透過法により得られた受振波の最大振幅値比(AN シリーズの最大振幅値に対する割合)と曲げ付着強度との関係を図-5 に示す。最大振幅値比は、打継ぎ部を有さない AN シリーズのものが最も高い値を示しており、洗い出し処理を行つたもの、ワイヤブラシ処理を行つたもの、無処理のものの順に小さくなつた。超音波の伝播経路上に、打継ぎ部という境界面がある場合は、ここで超音波の一部が反射し、透過する超音波が減衰するも

のと考えられる。洗い出し処理を行つた場合は、表面処理深さが深いほど曲げ強度は大きくなつてゐるが、最大振幅値はほぼ同程度の値となつた。

図-6 に図-2 の立方供試体の切断により得られた写真的例を示す。無処理の面では、打継ぎ面に直角な切断面のすべてにおいて、空気たまりなどによる打継ぎ部欠陥が見あたらなかつた。しかし、遅延剤シートにより洗い出し処理を行つた場合、打継ぎ部欠陥が BS2 と BS4 シリーズの切断面ではわずかに認められ、BS6 シリーズでは全ての切断面に多く認められた。空気たまりによる打継ぎ部欠陥は、突出している骨材の周辺部分に多く形成される傾向となつた。打継ぎ部が無処理の場合には、空気たまりなどによる打継ぎ部欠陥は生じないが、打継ぎ部のレイターンスなどにより、付着の悪い層が生じると考えられる。また、本研究の範囲内では、打継ぎ面の表面処理により付着性能の改善は期待できるが、その処理程度が洗い出し深さ 4 mm (AS4 シリーズ) 以上では、過大な凹凸の形成により打継ぎ部欠陥が生じ曲げ付着強度が増加しないと考えられる。

3.3 打継ぎ部の破断面による評価

曲げ試験後、供試体の破断面の座標を触針式 3 次元形状計測器により計測した。図-7 に打継ぎ面の面積比 A/A_0 と破断面の面積比 P/A_0 (投影面積(A_0))、打継ぎ面の面積(A)、破断面の面積(P)との関係を示す。破断面の面積には、表面処理程度による違いが現れ、遅延剤シートによる洗い出し処理 (AS6, AS4, AS2)、ワイヤブラシ (AW)、無処理(AO)順に面積が小さくなつた。打継ぎ面の

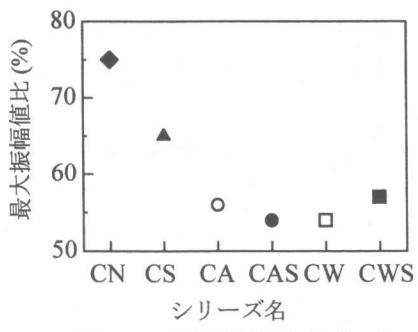


図-8 最大振幅値比(実験2)

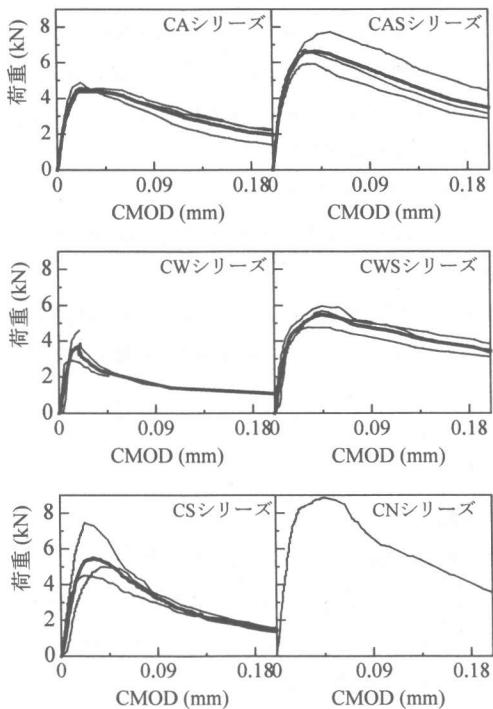


図-9 荷重-CMOD曲線(実験2)

面積比と破断面の面積比を比べると、AS6 シリーズの面積比の差が最も大きく、AS4, AS2, AW, AO シリーズ順に小さくなつた。また、載荷試験後に新コンクリートのモルタル成分が旧コンクリートの凹部分に残つてゐることが、目視による破断面の観察により確認できた。打継ぎ面に表面処理を行つた場合、ひび割れは表面から突出してゐる骨材の突出部と突出部とを結びながら進行する傾向にあり、凹凸の凹部分に付着してゐる新コンクリートのモルタル分は、旧コンクリートの表面

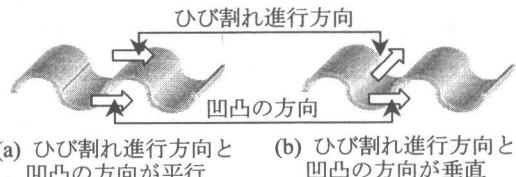


図-10 ひび割れ進行方向と凹凸の方向

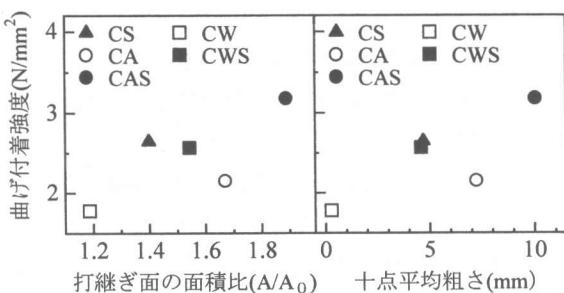


図-11 表面粗さと曲げ付着強度(実験2)

に残つてしまつ、これによつて表面処理程度が高いほど打継ぎ面の面積比と破断面の面積比の差が大きくなつたと考えられる。

4. 実験結果および考察(実験2)

4. 1 超音波による評価

透過法により得られた受振波の最大振幅値比(基準値に対する割合)を図-8 に示す。超音波の伝播経路上に欠陥が有る場合、超音波の減衰により最大振幅値は小さくなる。打継ぎ部を有さない CN シリーズは打継ぎ部を有する供試体より大きな最大振幅値を示した。また、型枠により凹凸を設けた場合は、洗い出し処理の有無に関係なくほぼ同程度の最大振幅値となり、洗い出し処理のみの場合(CS シリーズ)より小さい値を示した。

4. 2 表面粗さと曲げ強度

図-9 に、実験により得られた荷重-CMOD 関係を示す。CN シリーズの場合は、計測上のミスのため、3 本の供試体のうち 1 本の供試体の結果を載せた。なお、図中には、それぞれの平均曲線も太線で示す。荷重-CMOD 曲線の形状から分かるように、型枠による凹凸面にさらに遮断剤シートにより洗い出し処理を行うことの効果は、エアキャップ形より波形のほうが大きく現れた。また、

CW シリーズが他のシリーズに比べ、曲げ強度も小さく、軟化領域における荷重-CMOD 曲線の傾きが急であった。図-10 に示すように、他のシリーズと比べ、CW シリーズでは、凹凸の方向は、ひび割れの進行方向に平行(図-10(a))に形成されているが、ひび割れの進行方向に垂直(図-10(b))には形成されていない。CS シリーズと CWS シリーズの曲げ付着強度が同程度であることから、凹凸の方向とひび割れ進行方向が垂直でなければ、曲げ付着強度に効果が少ないことが分かる。また、CA シリーズの軟化領域における荷重-CMOD 曲線の勾配が CW シリーズより緩やかであることから、凹凸の形状が最大荷重以降の破壊性状にも大きく影響を与えることが分かる。

実験 2 の CW および CWS シリーズでは型枠による凹凸が十点平均粗さに与える影響を除くため、ひび割れ進行方向に直角な方向の荒さ曲線を測定した。図-11 に打継ぎ面の面積比 A/A_0 および十点平均粗さと曲げ付着強度との関係を示す。面積比および十点平均粗さが大きくなると曲げ強度も大きくなる傾向を示した。このことは、打継ぎ面の付着面積や表面処理深さが大きくなることに伴い、ひび割れに対する抵抗性などの増加により大きな曲げ付着強度が得られると考えられる。CA シリーズの場合、表面積および十点平均粗さとともに、CS シリーズより大きいが、打継ぎ表面でのレイターンズや弱点部の除去不足などにより、曲げ強度の増加はそれほどではなかったと考えられる。しかし、CAS シリーズでは打継ぎ部がない供試体の 78% 程度の曲げ強度が得られた。これより、ひび割れの進行方向に垂直な方向の大きな凹凸をもつエアキャップ形で加工し、さらに遮延剤による洗い出しにより小さな凹凸を加工することにより、大きな曲げ付着強度が得られることが明らかとなった。

5.まとめ

本研究では、打継ぎ部の欠陥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。以下に本実験で得られた結果を示す。

- (1) 実験 1 および実験 2 とも、面積比および十点平均粗さの増加に伴い曲げ強度も増加する傾向にあった。
- (2) 打継ぎ部を含むの切断面の観察により、遮延剤シートを用いた表面処理程度が高いほど打継ぎ部欠陥が多く生じる傾向があることが明らかとなった。また、空気たまりによる打継ぎ部欠陥は突出している骨材の周辺に多く形成される傾向が認められた。
- (3) 破断面の観察により、ひび割れは表面から突出している骨材の突出部と突出部を結びながら進行する傾向が認められた。表面処理程度が高いほど打継ぎ面の面積比と破断面の面積比の差が大きくなる傾向となった。
- (4) ひび割れ進行方向と凹凸の方向とが同じ場合には、曲げ付着強度の増加に効果が少ないことが分かった。
- (5) エアキャップの型枠により大きな凹凸を設け、さらに遮延剤を用いて小さな凹凸を加工することにより、大きな曲げ付着強度が得られることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 金子林爾、山田一久：超遮延剤を用いたコンクリートの表面粗さの評価と打継ぎ目強度に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.19, No.1, pp.517-522, 1997.6
- 2) Kamada, T., Kunieda, M., Kurihara, N., Nishida, Y. and Rokugo, K. : Evaluation of Roughness of Joint Concrete Surfaces and Bond Properties, Fracture Mechanics of Concrete Structures, AEDIFICATIO Publishers, Vol.3, pp.1645-1654, 1998.10
- 3) 鎌田敏郎、松裏寛、長滝重義、大即信明：超音波によるコンクリートの打継目の評価に関する研究、セメント・コンクリート論文集、No.46, pp.314—319, 1992
- 4) 野島昭二、吉田敦、上東泰：ウォータージェット工法を用いたコンクリート構造物のはつり処理技術の検討、コンクリート工学、Vol.38, No.8, pp.40-54, 2000.8