

# 論文 コンクリート打継ぎ部の付着特性およびその評価

西田好彦\*1・国枝 稔\*2・栗原哲彦\*3・六郷恵哲\*4

要旨：コンクリートの打継ぎ部の表面処理方法および打継ぎ材がコンクリートの付着特性に与える影響について評価するために、従来の曲げ強度による評価に加え、コンクリートの引張軟化曲線および破壊エネルギーを用いた評価を試み、これらの評価方法について比較検討を行なった。その結果、打継ぎ材を用いることにより、打継ぎ部のない場合と同程度の曲げ強度に改善されること、ならびに引張軟化曲線の初期の応力低下の度合には付着特性の差が明確に現れることが明らかとなった。

キーワード：打継ぎ部、打継ぎ材、付着特性、引張軟化曲線、多曲線近似解析

## 1. はじめに

コンクリート構造物を建設する場合には、一般に打継ぎ部が設けられている。打継ぎ部は、打継ぎ部を有さないものと同程度の性能を有していることが望ましい。しかし、打継ぎ部は、完全には一体となりにくく、構造物の耐力、耐久性、水密性および外観に悪影響をもたらす場合がある。コンクリート打継ぎ部の付着性能は、通常、曲げ試験により評価されている。

一方、コンクリートのひび割れの進展に伴う破壊現象は、引張軟化曲線（ひび割れ幅とそのひび割れ間で伝達される引張応力との関係）や破壊エネルギー（単位面積あたりのひび割れを形成するのに必要なエネルギー）で表わされるコンクリートの引張軟化特性を、数値解析に組み込むことにより、解析的に説明されるようになってきた。引張軟化曲線は、通常、曲げ試験から求めてはいるが、一軸引張試験を最大荷重以降も安定に制御しながら行った場合に得られる、ひび割れ部のひび割れ幅と引張応力との関係に相当するものである。

本研究では、打継ぎ部の付着特性に及ぼす付着面の表面処理の影響および打継ぎ材の影響について検討し、曲げ強度による評価に加え、コンクリートの引張軟化曲線および破壊エネルギーを用いた評価を試み、これらの評価方法について比較検討を行なった。

## 2. 実験概要

普通コンクリートを用い、供試体中央部に打継ぎ部を設けたはり供試体を作製した。表-1に打継ぎ方向および表面処理方法を示す。はり供試体の寸法は、幅10×高さ20×長さ120cmとした。各はり供試体は、表-1に示すように、配合番号①、②、③のコンクリートにより作製した。表-2にコンクリートの示方配合を示す。配合①、②、③の試験時材齢における強度試験結果を表-3に示す。なお、後述のように、はり供試体の試験時材齢は、表-3に示すコンクリートの強度試験時の材齢と必ずしも一致しない。セメントには比重3.12の早強ポルトランドセメントを使用し、粗

\*1 岐阜大学大学院 工学研究科土木工学専攻（正会員）

\*2 岐阜大学大学院 工学研究科生産開発システム工学専攻、工修（正会員）

\*3 岐阜大学助手 工学部土木工学科、工修（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 表面処理法と打継ぎ方向

実験	シリーズ	コンクリート 旧&新*1	打継ぎ 面	表面処理方法*2
1	HS	① & ②	水平	S
	HR	① & ②	水平	R
	HSM	① & ②	水平	S + 普通モルタル
	HN	① & ②	水平	無処理
2	VS	② & ③	鉛直	S
	VSM	② & ③	鉛直	S + 普通モルタル
	VSK	② & ③	鉛直	S + 高強度モルタル
3	SW	① & ②	鉛直	S + エポキシ(水中)
	SA	① & ②	鉛直	S + エポキシ(気中)
	NW	① & ②	鉛直	無処理 + エポキシ(水中)
	NA	① & ②	鉛直	無処理 + エポキシ(気中)

\*1 表-2 に示す番号の配合で打設した

\*2 S : 遅延剤シート洗出し R : 遅延剤噴霧洗出し

表-2 コンクリートの示方配合

配合 番号	空気 量 (%)	水セメント 比 W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Ad.
①	2.0	50.4	173	343	789	1031	1.026
②	2.5	50.4	172	341	787	1029	1.024
③	2.9	50.3	171	340	782	1022	1.017

Ad. : AE減水剤

骨材には最大骨材寸法15mmの玉砕石(表乾比重: 2.63、粗粒率: 6.53)を使用した。

実験1では、打継ぎ部の付着特性に及ぼす付着面の表面処理の影響を検討するため、打継ぎ面の表面処理として、遅延剤シートを用い洗出し処理を行なったもの(HS)、遅延剤を直接噴霧し洗出し処理を行なったもの(HR)、全く処理していないもの(HN)、遅延剤シートを用い洗出し処理を行なった後に普通モルタルA(C:W:S=1.0:0.33:2.3)を敷いたもの(HSM)の計4種類とした。打継ぎ面は、図-1に示すように打設方向に直角(水平面)とした。

実験2では、打継ぎ部の付着特性に及ぼす打継ぎ材の影響を検討するため、あらかじめ遅延剤シートにより洗出し処理を施しておいた長さ60cmの供試体(はり供試体の半分の長さ)に打継ぎ材を介して新コンクリートを打継いだ。打継ぎ材には、普通モルタルB(C:W:S=1.0:0.35:2.35)を用いるもの(VSM)、高強度モルタルC(C:W:S=1.0:0.27:1.8)を用いるもの(VSK)、モルタルを用いないもの(VS)の3種類とした。打継ぎ面は、打設方向に平行(鉛直面)

表-3 強度試験結果

配合 番号	強度(N/mm <sup>2</sup> )			弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	材齢 (日)
	圧縮	引張	曲げ		
①	43.7	3.47	5.19	$3.00 \times 10^4$	31
②	46.5	3.74	5.59	$2.97 \times 10^4$	30
③	54.0	4.22	5.90	$3.16 \times 10^4$	28

圧縮:  $\phi 10 \times 20$ cm 引張:  $\phi 15 \times 15$ cm  
曲げ:  $10 \times 10 \times 40$ cm

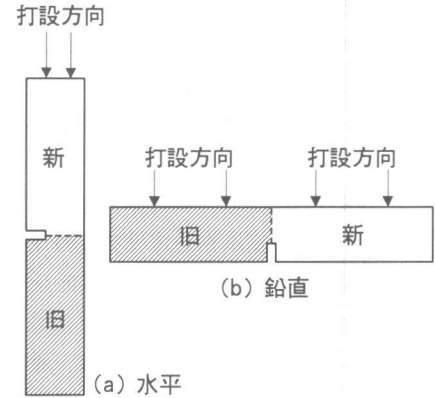


図-1 打設方向と打継ぎ方向

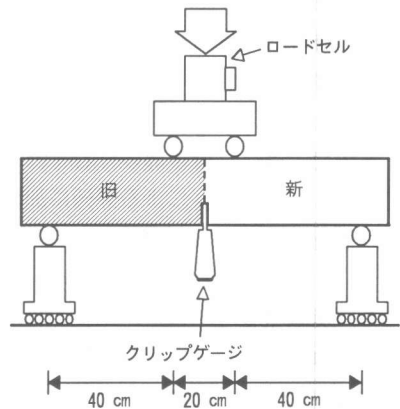


図-2 載荷方法

表-4 使用したエポキシ樹脂の性質

試験項目	硬化養生	単位(N/mm <sup>2</sup> )
圧縮強度	20°C × 2日	23.5
	20°C × 7日	63.7
弾性係数	20°C × 7日	3720
曲げ強度	20°C × 7日	58.8
引張強度	20°C × 7日	39.2

とした。

実験3では、コンクリートの接着特性について検討するため、表-4に示すような性質の粘性の小さい水中硬化型エポキシ樹脂を用いて、コンクリート供試体(幅10×高さ20×長さ60cm)の端面(あらかじめ洗出し処理を施した面および処理をしていない型枠面)を水中および気中で接着した。水中接着では接合部の空間の水をエポキシ樹脂で置換した。接着面は、打設方向に平行(鉛直面)とした。

荷重方法は図-2に示すような4点曲げ荷重(せん断スパン:40cm、モーメントスパン:20cm)とした。実験1、2では、荷重、ならびに供試体下面の切欠き口の開口変位(CMOD)を、それぞれロードセル(容量10tonf)とクリップゲージ(感度1/400mm)により測定し、実験3では、最大荷重のみを測定した。また、実験1、2では、供試体中央の打継ぎ部には、供試体の破断が打継ぎ部で生じるようにするために、コンクリートカッターによりはり高さの1/3の切欠きを設けた。

### 3. 解析概要

曲げ荷重試験結果から、橋高らの提案した多直線近似解析法[1]に基づき供試体中央に仮想ひび割れモデルを組み込んだ有限要素法[2]により引張軟化曲線を推定した。この推定法は、ひび割れ発生後、ひび割れが1節点ずつ進展するごとに逐次引張軟化曲線を仮定し、解析値と実験値とが一致するように引張軟化曲線を推定するものである。コンクリートは線形弾性体(ポアソン比:0.2)とし、弾性係数については、圧縮試験時に、ロードセルとコンプレッソメータを用いて実測した値を解析に使用した。引張軟化曲線の推定には、荷重-CMOD曲線の計測結果を用いた。

### 4. 実験結果および考察

図-3~9に実験1、2より得られた荷重-CMOD曲線(ともに、細い実線)を示す。なお、図中には、荷重-CMOD曲線の平均曲線(太い実線)も示す。各シリーズの曲げ強度(供試体の実験値の最大荷重から算出したものの平均値)を表-5に示す。表に示す数値は、ロードセル、荷重ビーム等の重量と供試体の自重を考慮して修正した値である。なお、比較のために、本研究と同様の試験条件で求めた、切欠きを設けた打継ぎ部のないはり供試体(NJシリーズ)の曲げ強度[3]も表-5に併記する。表面処理方法の違いに関する実験1(HS、HR、HSM、HNシリーズ)では、HSMシリーズの曲げ強度が $3.59\text{N/mm}^2$ と最も高く、HNシリーズが最も低くなった。HSとHRシリーズの曲げ強度は、両者ともHSMシリーズの8割程度となった。HSとHRシリーズについては、同様な洗出し面となっているため、同程度の曲げ強度となった。

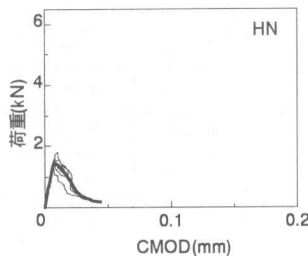


図-3 荷重-CMOD曲線(HN)

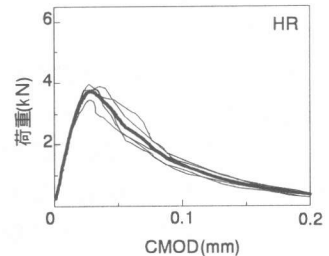


図-4 荷重-CMOD曲線(HR)

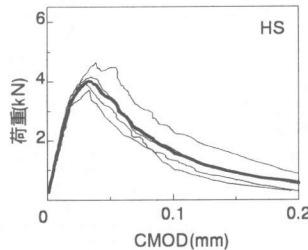


図-5 荷重-CMOD曲線(HS)

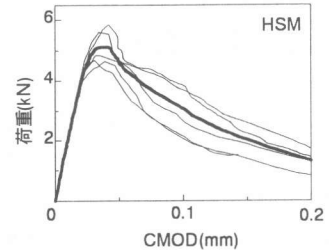


図-6 荷重-CMOD曲線(HSM)

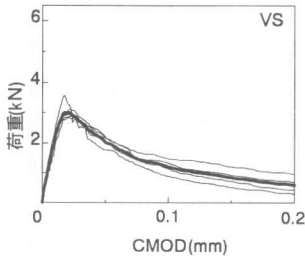


図-7 荷重-CMOD曲線(VS)

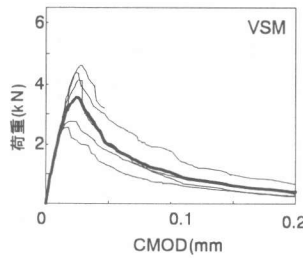


図-8 荷重-CMOD曲線(VSM)

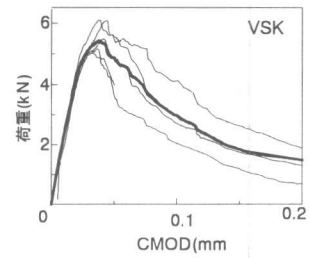


図-9 荷重-CMOD曲線(VSK)

打継ぎ材の違いに関する実験2(VS、VSM、VSKシリーズ)では、VSKシリーズの曲げ強度が $3.80\text{N}/\text{mm}^2$ と最も高くなり、VSM、VSシリーズの順に低くなった。NJシリーズ[3]の曲げ強度が $3.67\text{N}/\text{mm}^2$ であることを考慮すると、打継ぎ材にモルタルを用いた場合には、モルタルを高強度にすることで、一体打ちと同程度の曲げ強度を有することが分かる。VSMとVSシリーズにおいて明確な差が認められなかった理由としては、VSMシリーズでは、破壊面がモルタル内で形成されたものと、モルタルとコンクリートとの界面で形成されたものとに分かれたためであると考えられる。すなわち、VSMシリーズにおいて、モルタルとコンクリートとの界面で破壊面が形成された場合、モルタル内で破壊面が形成された場合に比べ、最大耐力が小さくなる。その結果、平均曲線の最大耐力も小さくなり、VSシリーズとの差が小さくなったためと考えられる。

表面処理方法が同じで、打設方向が異なるHSとVSおよびHSMとVSMについて比較すると、打継ぎ面を打設方向に平行(鉛直面)としたVS、VSMの方が、材齢を考慮しても、打継ぎ面を打設方向に直角(水平面)としたHS、HSMより曲げ強度が小さくなった。これは、鉛直打継ぎ面において、ブリーディングにより、水道が形成されたこと、あるいは逆に、水平打継ぎ部が新コンクリートの自重により緻密化されたことによるものと推察される。また、高強度モルタルを用いたVSKシリーズは、打継ぎ面を水平とし普通モルタルを用いたHSMシリーズと同程度の曲げ強度となった。これも同様の理由によるものと考えられる。

エポキシ樹脂による接着に関する実験3(SW、SA、NW、NAシリーズ)において、SWとSAおよびNWとNAについて比較すると、水中で接着しても、気中で接着した場合に近い曲げ強度を有していた。接着面の処理の違いについては、SA、SWシリーズでは、破壊面がエポキシ樹脂部分ではなく、コンクリート部分で破壊した(コンクリートの材齢が大きく曲げ強度も表-3の値に比べ大となった)が、NA、NWシリーズでは、コンクリートと樹脂との界面で破壊し、接着面に洗出し面を用いたものの方が曲げ強度が

表-5 実験および解析結果

実験	シリーズ	曲げ強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	破壊エネルギー ( $\text{N}/\text{mm}$ )	材齢*1 (日)		
				①	②	③
1	HS	2.93	0.0268	31~32	30~31	—
	HR	2.70	0.0237	31~32	30~31	—
	HSM	3.59	0.0360	31~32	30~31	—
	HN	1.34	0.00451	31~32	30~31	—
2	VS	2.19	0.0169	—	129~130	28~29
	VSM	2.56	0.0183	—	129~130	28~29
	VSK	3.80	0.0362	—	129~130	28~29
3	SW	4.63	—	152	151	—
	SA	5.98	—	152	151	—
	NW	3.43	—	152	151	—
	NA	4.53	—	152	151	—
	NJ[3]	3.67	0.0369	12		

\*1 表-2に示す示方配合により作製したコンクリートの材齢

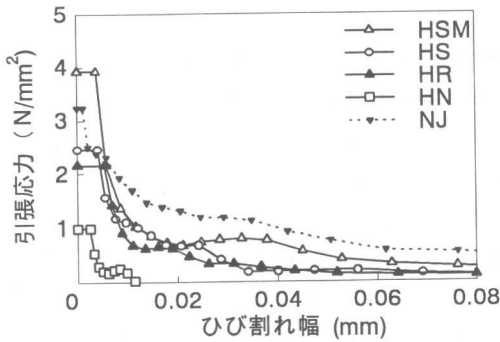


図-10 引張軟化曲線(実験1)

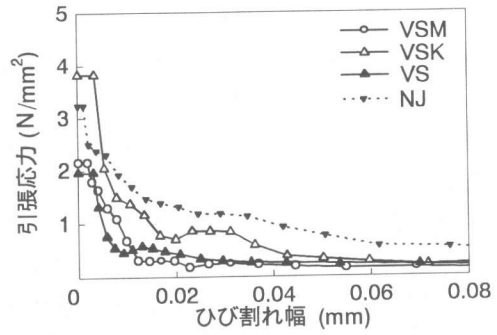


図-11 引張軟化曲線(実験2)

高くなった。このことから、接着面にある程度の粗さをもたせることにより、コンクリートとエポキシ樹脂との接着特性を向上させることができ、水中における接着によっても十分な接着強度が得られることが分かる。

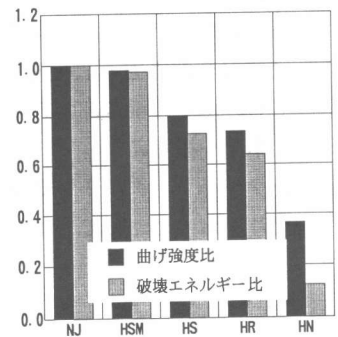
### 5. 解析結果および考察

各シリーズの荷重-CMOD曲線から推定された引張軟化曲線を比較したものを図-10、11に示す。図中には比較のためにNJシリーズ[3]の引張軟化曲線を点線で示す。図から分かるように、各シリーズの引張軟化曲線の形状に打継ぎ部の付着性状の違いが現れている。ひび割れ幅の増大に伴う応力低下が小さいほどひび割れ抵抗性が優れていることとなる。引張軟化曲線は、部材の荷重-変位関係に大きな影響を与え、特にひび割れ幅の小さい領域は、最大荷重に、ひび割れ幅が大きい領域は、最大荷重以降の挙動に大きな影響を与えることが知られている[4,5]。

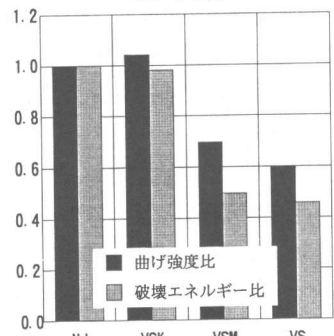
本実験においては、打継ぎ面がある場合、いずれのシリーズの供試体も、打継ぎ面のないNJシリーズほどのひび割れ抵抗性を有していないことが分かる。中でも、HNシリーズは、ひび割れ抵抗性は最も小さいことが分かる。

実験1では、HSMシリーズが最もひび割れ抵抗性に優れており、HNシリーズが最も劣っている結果となった。HSおよびHRシリーズでは、曲げ強度と同様に引張軟化曲線においても明確な差は認められなかった。このことにより、本実験では、遅延剤シートの貼付と遅延剤の噴霧では同程度の効果が得られることが分かる。実験2では、VSKシリーズが最もひび割れ抵抗性に優れ、VSM、VSシリーズは、同程度の形状の引張軟化曲線が得られた。打継ぎ材として用いるモルタルを高強度にすることの効果が認められた。

NJシリーズの引張軟化曲線と比較すると、どのシリーズもひび割れ幅が大きい領域においてはひび割れ抵抗性がNJシリーズより劣っていることが分かる。HSM、VSKシリーズは、曲げ強度はNJシリーズと同程度で、軟化開始点応力(引張軟化曲線の縦軸上の点)がNJシリーズよりも高いが、ひび割れが形成されたあとは急激に応力が低下し、NJシリーズとは異なる引張軟化曲線の形状を示し



(a) 実験1



(b) 実験2

図-12 曲げ強度比および破壊エネルギー比

た。

荷重-CMOD曲線から得られたそれぞれの引張軟化曲線から破壊エネルギーを求め、表-5に示す。破壊エネルギーは、曲げ強度には反映されない、軟化域の挙動を含めた定量化が可能である。ここでは便宜上0.02 mmのひび割れ幅までの面積を破壊エネルギーとした。

破壊エネルギーの大小関係は、曲げ強度の場合と同じとなった。また、NJシリーズに対する、実験1および実験2の各シリーズの曲げ強度比と破壊エネルギー比を図-12に示す。NJシリーズと他のシリーズとの曲げ強度ならびに破壊エネルギー差については、曲げ強度の差よりも破壊エネルギーの差が大きくなった。以上より、引張軟化曲線や破壊エネルギーを推定することにより、曲げ強度からだけでは不可能である荷重-変位関係全体を考慮した評価が可能であることが確認された。

## 6. まとめ

打継ぎ部の付着特性に及ぼす付着面の表面処理および打継ぎ材の影響について、曲げ強度による評価と、引張軟化曲線および破壊エネルギーを用いた評価の2つの評価方法で検討を行なった。以下に、本研究で得られた結果をまとめる。

- (1) 引張軟化曲線や破壊エネルギーを推定することにより、曲げ強度からだけでは不可能である荷重-変位関係全体を考慮した付着性状の評価が可能であることが確認された。
- (2) 本実験の範囲では、遅延剤シート貼付と遅延剤噴霧では、それらの効果に明確な差は認められなかった。
- (3) 打継ぎ材としてモルタルを用いることにより打継ぎ部のない場合と同程度の曲げ強度を有することが分かった。モルタルの強度が大きい方が、効果が大きであった。
- (4) 同様な表面処理方法を施した、水平打継ぎ部と鉛直打継ぎ部を比較した場合、材齢を考慮しても、水平打継ぎ部の方が、曲げ強度が大きであった。
- (5) エポキシ樹脂によってコンクリートを接着する場合、接着面に洗出しを行うことにより、コンクリートとエポキシ樹脂との接着特性が向上し、水中硬化型エポキシ樹脂を用いることにより、水中においても十分な接着強度が得られることが分かった。

## 参考文献

- [1] 橋高義典、上村克郎、中村成春：コンクリートの引張軟化曲線の多直線近似解析、日本建築学会構造系論文集、第453号、pp.15-25、1993.
- [2] 栗原哲彦、安藤貴宏、国枝 稔、内田裕市、六郷恵哲：多直線近似法による引張軟化曲線の推定と短繊維補強コンクリートの曲げ破壊性状、土木学会論文集、No. 532/ V-30、pp.119-129、1996. 2.
- [3] 栗原哲彦、安藤貴宏、内田裕市、六郷恵哲：引張軟化曲線によるコンクリート打継ぎ部の付着性状の評価、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 18、No. 2、pp.461-466、1996.
- [4] Alvaredo, A.M. and Torrent, R.J. : The effect of the shape of the strain-softening diagram on the bearing capacity of concrete beams ; Mater. Struct., Vol. 20, pp.448-454, 1987.
- [5] Roelfstra, P.E. and Witlman, F.H. : Numerical method to link strain softening with failure of concrete ; Fracture Toughness and Fracture Energy of Concrete, in edited by F.H. Wittman, Elsevier, pp.163-175, 1986.