

新旧コンクリートの打継ぎ面の強度に関する研究

河本 裕行¹, 鹿島 政重²

^{1~2}福岡建設専門学校

概要：維持補修工事における新旧コンクリートの打継ぎ部における強度について実験的に検討を行った。その結果、表面含浸作用のある接着材を用いることで、より接着性が向上する結果となった。また、非破壊試験を用いた打継ぎ後の欠陥の確認、強度についての評価法の検討を行った。欠陥部においては音速法を用いることで評価できる傾向が見られた。

1. はじめに

昨今の地球温暖化問題の対策にむけて低炭素化社会の形成に取り組む動きがみられる。コンクリート構造物においても、より高い耐震性・耐久性がもたらされており超長期的に使用可能な構造物を形成する技術が望まれる。また、耐久性の向上に加え、資源の枯渇問題等も課題となってくることから産業副産物の有効活用や省エネルギー化・省人化・省力化等を可能とする技術が今後の最重要課題であるといえる。

構造物の劣化における対応として、維持補修工事の増加が予測される。コンクリートの劣化における主な要因としては塩害・中性化等があるが、補修工事において、劣化部分を除去し新たにコンクリートを打設するが、収縮等の影響を含めた最適な打継ぎ方法はいまだ確立されていないのが現状である。調査段階における非破壊・微破壊試験の手法から工事段階における断面修復方法に対して、最も費用対効果の高い維持管理技術の確立が求められる。

2. 研究の背景

建設工事における施工段階において、施工上の都合により一度に打込みを完了出来ない場合や維持管理、修繕時におけるコンクリートの補修を行う場合、すでに硬化したコンクリート（以下、旧コンクリート）と新たに打込むコンクリート（以下、新コンクリート）をしっかりと付着させる必要がある。一般に、新旧コンクリートの打継ぎに際して十分な強度、耐久性および水密性を得るためには、旧コンクリートについては脆弱化した部分を完全に除去し、強固な凸凹を有する打ち継ぎ処理面をつくり、そこにブリーディングの少ない新コンクリートを

打設することが重要とされる。これに関しては吉田徳次郎博士による書籍や、国分正胤博士の研究¹⁾をはじめとして今日に至るまで多くの研究成果が発表されている。

様々な研究成果²⁾により、エポキシ樹脂、ポリエステル樹脂などの合成樹脂系接着剤（有機系・無機系）を打継ぎ面に塗布する方法から、打継ぎ面の凹凸における接着面積を大きくすることや、新コンクリート打設後一定時間において再振動締めを行うことで、新旧コンクリートの一体をもたせることに有効であることが知られている^{3) 4)}。しかしながら、建設工事における打継ぎ面積は非常に大きく、旧コンクリートを完全な湿潤状態に保った上で打継ぐことが困難であること、新コンクリートの自己収縮・温度応力などの影響により新旧コンクリートの付着性能が十分に得られない可能性も考えられる。そのため、現在提案されている処理方法が新旧コンクリートの付着強度において最適であるかは未だ不明である。本研究では、多種多様な処理方法によるコンクリート打継ぎ部の強度向上と耐久性向上について検討し、最適な打継ぎ処理方法の検討を行った。

3. 実験計画

3.1 打ち継ぎの手法に関する検討

打継ぎ面に対する処理の方法として、表面に凹凸をつけるチップング処理、ワイヤブラシで目荒らしを行う方法、新旧コンクリートの水セメント比以下のモルタルを敷く方法が従来からみられる一般的な断面処理方法である。近年では、サンドブラストを用いた方法やウォータージェットを用いた手法からエポキシ樹脂接着剤等を塗布する工法などがある。

断面修復工法における打ち継ぎ用接着剤については、

エポキシやアクリル等の樹脂を主とした有機系とポリマーセメントモルタルの無機系に大別され非常に多くの製品が各種メーカーより販売されている。今回実験を行う上で選定した接着剤として、一般的に九州において工事に使用する頻度が高いと予測されるものを選びこととした。その上で、無機系接着剤は、ポリマーセメントモルタル（前田工織：マグネライン）を用いた。また、有機系接着剤はエポキシ樹脂系打継ぎ接着剤（ショーボンD：#202）とアクリルポリマーエマルジョン（ライオン：ジョイントエース）を用いた。

本研究における打ち継ぎ面の処理方法として、レイタンス等の脆弱部をそのままの状態にした無処理のもの、表面積を大きくとるために深さ5mm程度の凹凸をはつり工具を用いて表面形状を作成したチップング処理を施したものと、打継ぎ面を研磨した上で、接着剤を塗布したもので比較を行うこととした。

3.2 供試体

コンクリートの圧縮強度試験用供試体は、直径×高さが10φ×20cmの円柱を用いた。一体打ちの曲げ強度試験用供試体は、縦×横×長さが10cm×10cm×40cmの角柱型枠を用いた。打継ぎ試験用供試体は、まず旧コンクリートを10cm×10cm×20cmで作成し、材齢が28日および63日になるまで標準養生(20°C, 水中)を行った上で図1に示すように新コンクリートを打設した。打設時の水平打ち継ぎ面は図1の状態を横に回転させた状態で打継ぎを行った。

打ち継ぎ面における処理として、エポキシ樹脂接着剤は0.8kg/m²で、アクリル樹脂系接着剤は、0.3kg/m²、無機系ポリマーセメントモルタルは塗布厚さ2mmで塗布した。

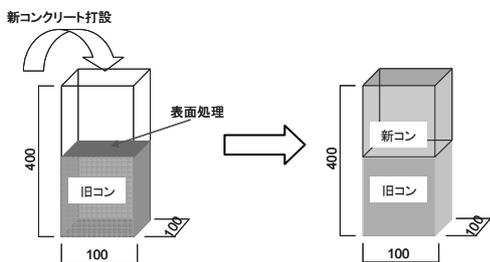


図1 コンクリートの打ち継ぎ方法（鉛直打ち継ぎ面）

3.3 材料および配合

実験に使用したコンクリートの材料の性質を、表1に示す。試験成績表によるセメントの圧縮強さは、普通ポルトランドセメントが、3日で28.0N/mm²、7日で43.6N/mm²、28日で63.3N/mm²のものを用いた。高炉セ

メントB種は、3日で21.9N/mm²、7日で36.2N/mm²、28日で60.3N/mm²である。骨材の粒度分布は図2に示す状態で、全て表乾状態で使用した。また、実績率は細骨材が62.8%、粗骨材が61.4%のものを使用している。

表1 コンクリートに使用した材料

セメント		密度	比表面積
普通ポルトランドセメント		3.15	3520
高炉セメントB種		3.02	3850
骨材	表乾密度	吸水率	F.M
福岡県玄海沖産海砂	2.55	1.99	2.65
福岡県篠栗産角閃岩碎石	2.81	0.89	6.83
混和剤		密度	
リグニンスルホン酸系AE減水剤		1.25	

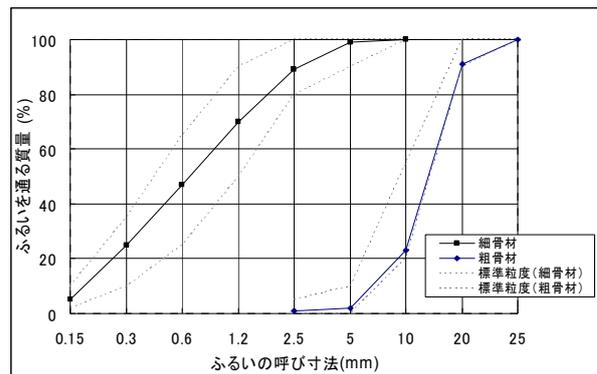


図2 骨材の粒度分布

配合条件（表2）はW/C=50%、スランプ15cmに統一し、普通ポルトランド（N）、高炉セメント（BB）において、新旧コンクリートは同一のセメントとして供試体を作成した。

表2 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 mm	セメントの種類	スランプ cm	空気量 %	W/C %	s/a %	単位量			
						水 kg/m ³	セメント kg/m ³	細骨材 kg/m ³	粗骨材 kg/m ³
20	N	15	4.5	50	43.0	168	373	716	1113
	BB					170	340	737	1100

3.4 載荷方法および測定方法

コンクリートの強度を確認するために円柱供試体に対し28日、91日において新旧コンクリートそれぞれに対して圧縮強度試験を行った。

各種打継ぎ処理方法において、3等分点曲げ載荷試験を行った。試験体は、一体打ちと打設方向に鉛直および水平な供試体に対して図3に示すように打継ぎ面が載荷方向と平行となるように載荷した。

圧縮強度および曲げ強度の荷重は、500kN 万能試験機にロードセルを取り付け測定した。圧縮試験においては側面2面にひずみゲージを貼付し、ひずみを測定した。

曲げ試験においては、載荷時に偏心が無いことを確認

することを目的として変位計を用いた。

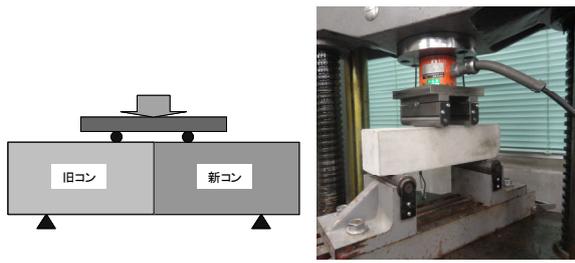


図3 曲げ試験の載荷方法

3.4 非破壊試験による検討

維持修繕工事の調査において、推定強度およびひび割れ深さ等を予測する目的で、超音波測定器が用いられる。ただし、強度においては一般的に超音波試験機のみでの測定結果では推定強度の精度が低いためリバウンドハンマーを併用することが多い。また、このような非破壊および微破壊試験における推定強度に対して、より精度の高い評価手法の確立が望まれる現状もある。

今回、コンクリートの打ち継ぎ部における接着の評価に対して精度よく評価できるか確認することを目的として、測定を行う。建設工事における品質の向上を含め、事前調査だけでなく工事完了後の検査として内部に欠陥がないか確認できる技術の確立が最終的な目標である。

測定を行う供試体は、圧縮強度試験用の円柱供試体および曲げ強度試験用の角柱供試体に対して、伝播速度、反発度および強度推定式と圧縮強度との相関関係の確認を行った(図4)。曲げ強度試験用の供試体は、一体打ちに関しては1回練り当り2本の試験体に対して試験を行ったが、打ち継ぎを行った試験体に対してはリバウンドハンマーの衝撃により、打ち継ぎ部にひび割れが発生する恐れがあることからリバウンドハンマーを用いる試験体の本数は打ち継ぎ手法により1本ないし2本とした。

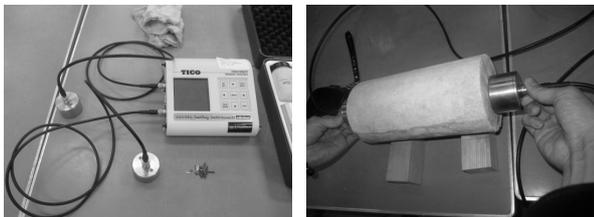


図4 超音波測定試験

同様に非破壊で行う試験方法として電磁波を利用したRCレーダー(鉄筋探査機)がある。これは、主に鉄筋の位置情報および内部空隙の把握を目的として使用されている。過去に学内で行った試験においてコールドジョイ

ントが発生した試験体において明確に誘電反応を示していることから、打継ぎ後の内部探査としての有効性を確認する目的で計画の一部として検討したが、今回は試験体寸法が小さいこと、実在の構造物においては指し筋や後うちアンカーなどを用いた鉄筋が存在するため本研究における無筋コンクリートのみの評価では明確に判定が出来ないことを理由に実験計画には含んでいない。今回は参考資料として、無筋コンクリートの梁試験体における一体打ちの場合(図5)とコールドジョイントが発生した場合(図6)のデータを示しておく。

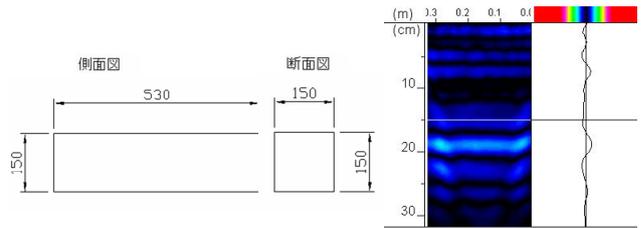


図5 一体打ちの場合の電磁波の反応

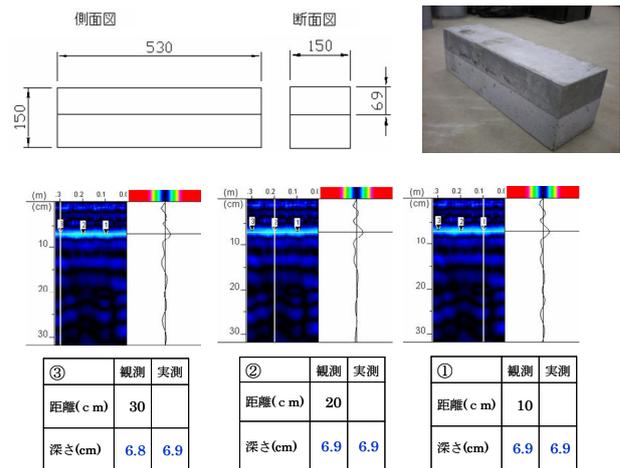


図6 コールドジョイントが発生した時の電磁波の反応

電磁波のデータは縦軸が深さ、データの右側における反射波のデータは右側が誘電反応を示し、みだり側および中央は非誘電反応を示している。コールドジョイントが深さ69mmで発生している時、電磁波の同じ深さの位置に誘電反応がみられた。

4. 実験結果

新旧コンクリートの打継ぎ方法の違いを比較することを目的として、曲げ強度試験を行った。また、打継ぎにおける施工結果の確認を含め、超音波試験器による非破壊試験を行い、その伝播速度が一体打ちに対して違いが現れるかを確認し検討を行った。実験に使用したコンクリートの圧縮強度の平均は、普通ポルトランドセメント

を用いたコンクリートの28日強度は、 32.8N/mm^2 、91日強度が 40.8N/mm^2 であり、高炉セメントB種の場合は、28日強度が 36.6N/mm^2 、91日強度が 43.9N/mm^2 であった。

4.1 曲げ強度試験

各種打継ぎ処理方法において、3等分点曲げ載荷試験を行った。試験体は、一体打ちと打説方向に鉛直および水平な供試体に対して図3に示すように打継ぎ面が載荷方向と平行となるように載荷した。データの記録として、荷重および変位量はデータロガーを用いた。また、打ち継ぎにおける破壊断面の位置は目視による記録とした。

曲げ試験を行った結果、打ち継ぎ方法の違いにおいて表3に示す結果がえられた。

表3 曲げ強度試験結果 (単位: N/mm^2)

処理方法	曲げ強度		曲げ強度比	
	水平打継ぎ	鉛直打継ぎ	水平打継ぎ	鉛直打継ぎ
一体打ち	5.3	5.3	1.00	1.00
未処理	1.6	0.7	0.30	0.13
チップング	3.5	2.5	0.66	0.47
エポキシ	3.7	2.5	0.70	0.47
アクリル	4.0	4.0	0.75	0.75
無機系	4.5	4.3	0.85	0.81

4.2 打継ぎ方法の違いによる比較

曲げ強度試験を行った結果を図7および図8に示す。旧コンクリートの材齢が63日の時点で打ち継ぎを行い、新コンクリートの材齢が28日および旧コンクリートが材齢91日時点での比較をしている。比較は、打継ぎ試験体の強度を旧コンクリートの一体打ち試験体の強度で除した比(一体打ちの場合1.00)で表している。一般的に既往の文献等において、曲げ強度比による強度の確認を行う場合において、後から打設する新コンクリートの曲げ強度を基準に行っている。これは、打継ぎにおける間隔が1日~7日と短いこと、強度発現において新コンクリートの強度発現が材齢からもわかるように強度が低いことなどが要因として挙げられる。今回の実験においては打ち継ぎ間隔が63日と長いことや既設の構造物の補修を行う場合には既設の状態に強度を近づけることが評価として望ましいと考え本実験においては基準とする曲げ強度として旧コンクリートの曲げ強度を用いた。水平打継ぎ面を有する試験体では、未処理の試験体を除き60%以上の強度が得られた。鉛直打継ぎの場合は、有機系アクリルポリマーエマルジョンと無機系ポリマーセメントモルタルを使用した試験体の強度が一体打ちに比べて80%程度の強度が得られたがチップングおよびエポキシ系の接着では強度が低くなる結果となった。これは、旧コンクリートへの含侵作用がある接着工法には、アンカー効

果・キレート効果などによる浸透性のある効果が現れていると考えられる。このため水平打ち継ぎ面を補修する場合、完全に新コンクリートの自重等により、ずれによるせん断力が生じると考えられることから含侵作用の効果は大きいものと考えられる。

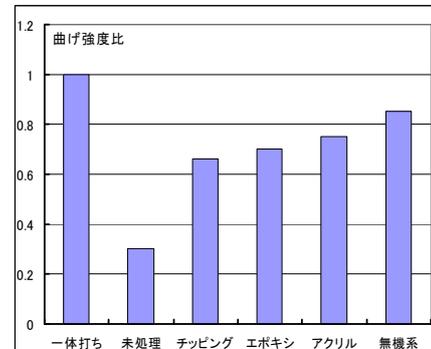


図7 水平打継ぎ面を有する試験体の曲げ強度比

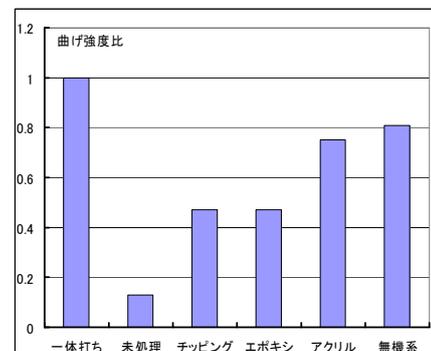


図8 鉛直打継ぎを有する試験体の曲げ強度比

4.3 接着剤の違いが曲げ強度に及ぼす影響

本実験で使用した打継ぎ用接着剤は、本来指し筋やうちアンカーなどの鉄筋を用いた場合に用いることから打継ぎ面の処理における補助的な役割が多いため、無筋コンクリートに対して行われている実験においては中性化に対する抑制効果や透水性の低減への目的として使用されている側面が強い傾向にある。しかし、維持補修を目的とした場合、その役割はかぶりコンクリートを含め接着剤が主となる役割を果たさなければならない。今回使用した有機系接着剤2種類と無機系接着剤について比較すると、表面に含侵作用があることで打継ぎ面における強度発現がある程度安定しているため、汎用性が非常に高いと考えられる。それぞれの利点として、可使時間による比較を行った場合、エポキシ樹脂の接着剤が最も時間が短いため工程が安定するともいえる。アクリル系接着剤は、1液性のためじょうろ等での散布も可能であるため作業性が良い。無機系接着剤は、コンクリートと同じ無機であるため、経年劣化による再度の補修工事

においても接着面への検討がしやすいことを含め超長期にわたる構造物の補修サイクルに期待がもてる。また、こて等を用いた左官工事として行えることからポリマーセメント単独での補修工事も可能になる等の利点がみられる。今回の結果においては、コンクリートと同じ無機系ポリマーセメントモルタルが最も性能を発揮しており、同質の材料で一体性を近づけることが既存構造物の維持管理および補修・補強工事においても良いと考える。

4.4 非破壊試験における打継ぎ状況の確認

超音波測定器を用いて、打継ぎ部を有する試験体の伝播速度について検討をおこなった。試験体は全て表乾状態で統一している。また、一般的に推定強度は圧縮強度示すが打ち継ぎの影響がどのように現れるかを確認するために曲げ強度試験結果と伝播速度の関係を図9に示す。

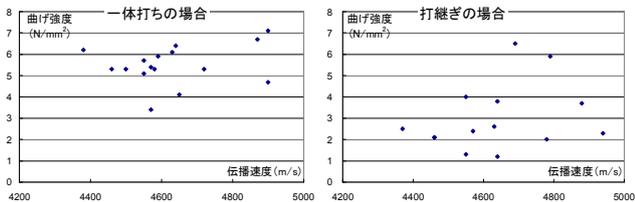


図9. 伝播速度と曲げ強度の関係

試験結果より伝播速度のみでは曲げ強度に対する差が伝播速度に現れていないことがより図9よりわかる。打ち継ぎにおけるデータにおいては、打ち継ぎに欠陥が出現している場合は、伝播速度が2000m/s～3500m/sと遅くなる傾向を示していた。このことから、超音波試験による欠陥部の判定には有効であっても強度に対する判定は現状として行えないため、今後、判定に有効な手法を検討する必要がある。

曲げ強度に対しては、伝播速度による判定が困難であったため打ち継ぎを模擬した直径×高さが10φ×20cmの円柱供試体を鉛直打ち継ぎ面に対して数体作成し検討を行った。一体打ちに対しては、コンクリートの圧縮強度試験用の試験体を使用した。その結果を図10に示す。その結果、強度に対する伝播速度の傾向は一体打ちと打ち継ぎの試験体は同様の傾向を示した。

一般に非破壊試験における強度においては、リバウンドハンマーと超音波試験器を併用した条件での推定強度で表されるため、併用した条件での推定強度を圧縮強度試験を行った結果について検討を行った。その結果を図11に示す。強度推定式においては日本土木学会、日本建築学科等からいくつか

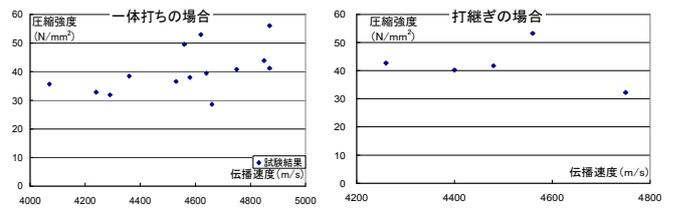


図10. 伝播速度と圧縮強度の関係

発表されている。今回は、その中で、建築学会の式(以下、AIJ式)を用いることとした。以下に用いた強度推定式を示す。

$$F_C = 0.82R_0 + 26.9V_p - 109 \dots \text{式(1)}$$

ここで、 F_C ：推定圧縮強度

R_0 ：反発度

V_p ：伝播速度 (km/s)

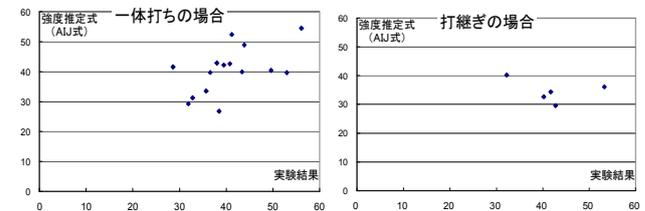


図11. 強度推定式と実験の関係

推定強度式を用いて圧縮強度試験結果との関係を比較した結果、多少のばらつきは見られるものの概ね強度の評価が行えている。一体打ちだけでなく打継ぎに対しても相関性が現れているといえる。ただし、圧縮強度に対する曲げ強度の比は、一体打ちで1/5～1/8とばらつきが大きいことに加え、打ち継ぎの場合には接着面の処理方法により曲げ強度が大きく変動することから非破壊試験による打ち継ぎ強度の評価に関しては検討の余地が大きい。

4.5 圧縮強度試験による打継ぎ強度の検討

橋脚等の大きな軸力を負担する部材の補修においては、耐震補強工事を含め新旧コンクリートの打継ぎによる補強の効果の検討も必要になる。打継ぎを行う場合、大きな軸力を負担する面においては水平打継ぎ面を設けないことが一般的であるが耐震補強工事等では増し打ちに加えて鋼管や炭素繊維巻き立てによる横補剛を追加しており、構造躯体となるコンクリートには少なからずとも打継ぎ面が生ずることとなる。そこで、非破壊試験に用いたコンクリートに対してどのような影響を及ぼすか検討を行った。鉛直面に対する打継ぎにおいては、一体打ち、

無処理、アクリル接着剤を用いた場合で比較を行った。水平面の打継ぎには、同一のコンクリートで無処理のものとアクリル接着剤を用いて打継ぎを行い、旧コンクリートは普通コンクリート、新コンクリートには靱性を高くすることを目的として、鋼繊維補強コンクリートを用いた試験体を作成した。鋼繊維は、安田工業株式会社の $0.6\phi \times 40\text{mm}$ のものを 1m^3 あたり 40kg の割合で混入した。鉛直面による打継ぎの場合と耐震補強等を想定した水平面の打継ぎに対して試験を行った結果の応力ひずみ関係を図12に示す。

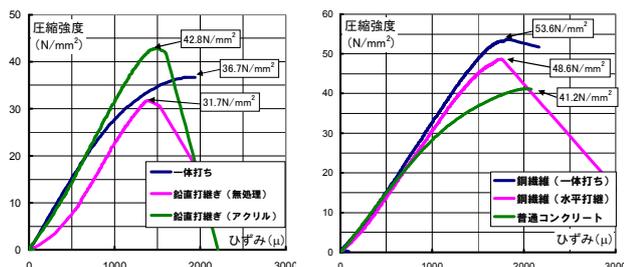


図12. 打継ぎを行った試験体の応力ひずみ関係

鉛直面における打継ぎの場合接着剤が高くなると一体打ちより圧縮強度が高い結果となっているが、これは供試体形状における端面拘束の影響から軸圧縮をうける部分に対して影響が大きいためであると考えられ、上下に $10\phi \times 10\text{cm}$ が2つある事による寸法・直径の比が小さくなってしまったと思われる。寸法・直径の比が1の時およそ比が2のときの1.2倍程度といわれていることからその傾向が伺える。水平面における打継ぎにおいてはコンクリートを同一のもので無処理のものは一体打ちよりも大幅に小さな強度で脆性的に破壊した。鋼繊維を混入した場合、旧コンクリートと同一の配合としていても混入した繊維の効果による強度の上昇がみられることや静弾性係数の低下が小さいことから、軸力の大きな部分の補修に鋼繊維を用いたコンクリートでの断面修復・増打ちの有用性がみられた。また、打継ぎ試験体の破壊状況は図13に示すように、繊維を混入した場合は大きな剥落が少ないため、災害時の安全性の面でも有効であるといえる。



図13. 打継ぎ試験体の圧縮試験後の破壊状況

5. まとめ

新旧コンクリートについて、処理方法の違いにより曲げ強度にどのような違いが現れるか検討を行った。その結果、構造物において床板などの、鉛直面に対しては打継ぎを行う場合に適切な処理を行えば大きな差は生じていないが、水平面に打継ぎを行う梁断面や橋梁の桁などに対しては処理方法にに対して大きな差が生じるため、より良い性能と施工性を踏まえた打継ぎ手法および施工後における適切な評価方法の確立が必要であるといえる。今回比較を行った実験結果において以下のことがいえる。

- (1) 構造物の劣化に対する補修工事においては、表面積を大きくとること、含浸作用がある接着工法とすることで打継ぎ面の向きにあまり影響を受けずに一体打ちにより近い強度えられる。
- (2) 維持補修における打継ぎを行う場合、超長期的に構造物を維持することを考えれば再補修工事の面から考えてもコンクリートと同じ無機系の接着剤を用いたほうが良いといえる。
- (3) 非破壊試験を用いることで打継ぎ不良等の内部欠陥の確認ができる。

今後は、本実験の結果を元に接着剤の塗り厚さの違い、コンクリート材齢による影響、コンクリート強度による影響および非破壊試験による打継ぎ部の評価方法について検討を行っていく予定である。

【謝辞】 試験体製作および載荷試験において福岡建設専門学校建築工学科の学生に協力を得た。ここに謝意を記す。

本報告内容は、(社)セメント協会が主催するセメント技術大会に投稿している。

【参考文献】

- 1) 国分正胤：新旧コンクリートの打継ぎ強度に関する研究，土木学会論文集，No.8，1950
- 2) 長井 宏憲，野口 貴文，越替 裕彦 [他]：有機表面処理剤を用いたコンクリート打継ぎ部の特性，コンクリート工学年次論文集 29(2)，217-222，2007
- 3) 土木学会：コンクリート標準仕方書 2010
- 4) 建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 2009 (JASS5)