

論文 ウォータージェット技術による新旧コンクリートの一体化処理に関する検討

岡村 雄樹^{*1}・舌間 孝一郎^{*2}・足立 一郎^{*3}

要旨：本研究は、コンクリートの打継ぎを要する補修・補強を対象として、既設コンクリートに対して施す表面処理(はつり)にウォータージェット技術を適用した場合、新旧コンクリートの一体化がどの程度得られるかについて検討した結果について報告するものである。ウォータージェット技術によって、表面処理条件を変化させた新旧コンクリートの付着性状について、両引き試験と鉄筋コンクリートはりを用いた繰返し荷重載荷試験を実施して調べた。この結果、一定以上の処理深さを確保することで、良好な新旧コンクリートの一体性状が得られることが明らかとなった。

キーワード：ウォータージェット，はつり，補修補強，新旧コンクリートの一体化

1. はじめに

わが国の公共施設を支えるコンクリート構造物は膨大なストック量となり、高度成長時代に建設されたものには、要求性能を満たさなく補修補強をしなければならない構造物が増加しつつある。

コンクリート構造物の補修補強では、既設コンクリートに新たなコンクリートを打ち継ぎ、新旧コンクリートを一体させるケースが増大している。コンクリート構造物の断面を修復する前には、劣化部分をはつり取る作業が必要となる。はつりが小規模であればピックハンマーなどによる人力によるが、大断面ではウォータージェット(以下、WJ)を用いる場合が増えてきている。

新旧コンクリートの打継ぎに際しては、コンクリート表面が良好な接着力を発揮できるようにしておく必要がある。新旧コンクリートの良好な接着が得られないと、この部分での水分の浸透等により早期に補修・補強部分のはく離または鉄筋の腐食等の変状を生ずる恐れがある。

WJ によるはつり処理では、単に硬い粒子を

衝突させたり、機械的に破碎するのとは異なり、その特有な処理効果により、粗骨材を破碎せず、主にモルタル部を掘り起こすため、粗骨材による明瞭な凹凸部を形成し、かみ合わせ効果により良好な付着が期待できる。

本論文は、WJ 技術を用いて、既設コンクリートに対して行うはつり処理について、WJ による処理深さと新旧コンクリートの一体性の関係を、静的試験および動的試験を実施して検討し、その有用性について論じた。具体的には、新旧コンクリートの一体性を評価する試験方法を検討し、この結果に基づき処理面の表面性状と一体性について考察している(シリーズ 1)。また、引張り鉄筋側を WJ によりはつり処理補修した鉄筋コンクリートはりを用いて、繰返し荷重載荷試験を実施し、打継ぎ処理面の変状について考察を加え、疲労の面からも検討している(シリーズ 2)。

2. 実験概要(シリーズ 1)

2.1 使用材料およびコンクリートの配合

セメントは、早強ポルトランドセメント(密

*1 前橋工科大学 工学部建設工学科助教授 工博 (正会員)

*2 前橋工科大学 工学部建設工学科助手 博士(工学) (正会員)

*3 千葉工業大学 工学部土木工学科教授 工博 (正会員)

度:3.14g/cm³)を使用した。細骨材および粗骨材は、それぞれ群馬県鮎川産川砂(密度:2.65g/cm³，粗粒率:2.83)および群馬県神流川産砕石(密度:2.63g/cm³，最大寸法:25mm)を用いた。コンクリートについては、水セメント比を40%、50%、70%の3段階に変化させた。また、高性能 AE 減水剤を適量添加し、スランプおよび空気量を12±2cm および 5.0±0.5%に調節した。なお、新旧コンクリートは同一配合とした。

2.2 一体性判断試験方法の検討

本研究では、WJ 処理面における新旧コンクリートの一体性評価を行うにあたり、まず、一体性を評価するための適切な判断試験方法の検討を行った。

コンクリート打継ぎ面における一体性評価試験方法としては、従来より中央部に打継ぎ部を設けた角柱供試体による曲げ強度試験が一般的に用いられている。しかし、この試験方法は、簡便ではあるが、打継ぎ面の引張縁に存在する小さな欠陥が強度結果を支配してしまうため、目視による破断面の評価と併用しなければ、一体性評価基準が大きく安全側に出てしまう可能性が高い。

よって、今回は、一般的な曲げ強度試験に加え、両引き試験についても検討を行った。両引き試験では、載荷開始時から全断面が有効であるため、打継ぎ面に小さな欠陥があったとしても、その影響が比較的小さいと考えられるためである。

2.3 供試体寸法の決定

両引き試験を行うにあたって、供試体の寸法および鉄筋サイズの決定が必要となる。よって、両引き試験用供試体については、断面寸法、供試体の長さ、中央に配置する鉄筋径を変化させて予備実験を実施した。実験の結果、供試体寸法は、断面(15cm×15cm)、長さ90(cm)とし、中央長手方向に配置する鉄筋として D32(SD345)を用いることとした。なお、曲げ強度試験には、最も一般的な10×10×40(cm)の角柱供試体を用

いた。

2.4 供試体作成

両引き試験用供試体については、供試体長さ方向中間部までコンクリートを鉛直方向に打設し、打設上面を打継ぎ面とした。一方、曲げ強度試験用供試体については、角柱型枠中央部に仕切りを設けて水平方向に打設し、打設側面を打継ぎ面とした。

旧コンクリートは、打込み後、室温20℃、相対湿度40%RHの環境下で17日間湿布養生を行った後、コンクリート打継ぎ面をWJによって表面処理した。

WJ処理については、打継ぎ面の凹凸状態を3段階(目視判断で処理深さ2mm、5mm、8mm)に変化させ実験を行った。実験の要因および水準は表-1に示すとおりであり、同一水準における供試体本数は、両引き試験2本、曲げ試験3本とした。なお、試験時におけるコンクリートの圧縮強度は、表-2に示すとおりである。

2.5 実験方法

両引き試験については、万能試験機を用い、供試体両端の鉄筋を掴み引張する方法である。供試体側面には、π型変位計(標点距離120mm)を、打継ぎ面を中心に供試体の対面する2面にそれぞれ7個ずつ設置し、単調増加載荷を行い、供試体側面の引張ひずみを測定した。

曲げ強度試験では、打継ぎ面が載荷点中央に

表-1 実験要因および水準
(シリーズ1)

水セメント比(%)	目標処理深さ(mm)
40	5
50	2, 5, 8
70	5

表-2 新旧コンクリートの圧縮強度(N/mm²)
(シリーズ1)

水セメント比(%)	40	50	70
旧コンクリート	47.7	43.5	30.8
新コンクリート	51.4	38.8	26.8

なるように供試体を設置し，3 等分点载荷で供試体が曲げ破壊するまで単調増加载荷した。

2.6 WJ 処理面の表面性状評価方法

WJ 処理面の表面性状の測定・評価方法については，目視による処理深さの判断に加えて，高精度 CCD レーザ変位計(分解能 3 μm)を用いて凹凸状態の測定を行った(図 - 1 参照)。

測定には，レーザ変位計および単軸移動ユニットを用い，処理面と平行に一定速度(6.1035mm/s)でレーザ変位計を移動させながら WJ 処理面の凹凸状態を計測した。得られた凹凸曲線から(1)式により平均粗さ Ra (JIS B 0601-1994)を算出し，処理面の表面性状を示す指標とした。

$$Ra(\text{平均粗さ}) = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} |f(x)| dx \quad (1)$$

$f(x)$: 計測された各地点の凹凸高さ

L : 計測長さ

x : 計測距離

なお，平均粗さ Ra とは，図 - 2 に示すように，測定により得られた凹凸曲線とその平均値を表す基準線とで囲まれた部分の面積を計測距離で除した値として表される。なお，測定箇所は，同一処理面において 3 ケ所とした。

2.7 WJ 処理面における一体性評価方法

一体性の評価には強度比を用いた。具体的には，1) 両引き試験においては，一体打ち供試体のひび割れ発生荷重に対する，打継ぎ面を有する供試体のひび割れ発生荷重の比，2) 曲げ強度試験においては，一体打ち供試体の曲げ強度に対する，打継ぎ面を有する供試体の曲げ強度の比，を用いた。

また，両引き試験における初期ひび割れ発生位置および曲げ強度試験における破壊面が打継ぎ面であるか否かについても目視によりチェックした。

3. 実験概要(シリーズ 2)

3.1 使用材料およびコンクリートの配合

使用材料は，シリーズ 1 と同様とした。また，新旧コンクリートは同一配合とし，W/C: 50%，スランプ: $8 \pm 2\text{cm}$ ，空気量: $5.0 \pm 0.5\%$ とした。

3.2 供試体作成

実験に用いた供試体の形状および寸法を図 - 3 に示す。引張鉄筋には D22(SD345)を用いた。

打継ぎ面を有する RC はりの製作は以下の手順で行った。

A) 引張鉄筋(かぶり 30mm)が上側に配置されるよう製作された型枠内にコンクリートを鉄筋下部まで打込む。B) 室温 20℃ 相対湿度 40%RH の環境下で 28 日間気中養生を行う。C) 打継ぎ面となる鉄筋下部コンクリート面を WJ で処理する。D) レイタンスを除去し，処理面を表乾に保った状態でコンクリートを打ち足す。E) 20

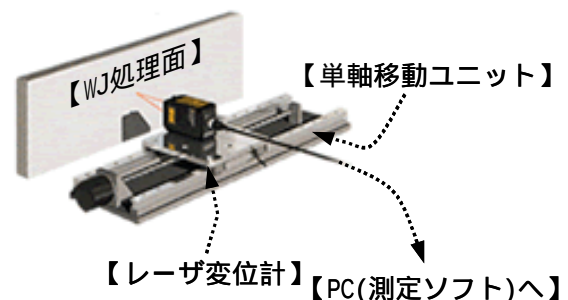


図 - 1 レーザ変位計による測定方法

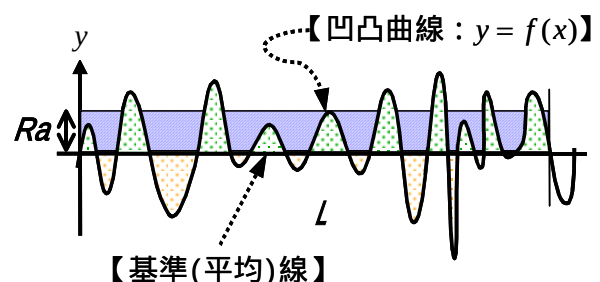


図 - 2 平均粗さ Ra について

表 - 3 打継ぎ面の凹凸状態(シリーズ 2)

供試体 No.	S-0	S-1	S-2	S-3
平均粗さ Ra(mm)	-	0.31	0.36	0.56

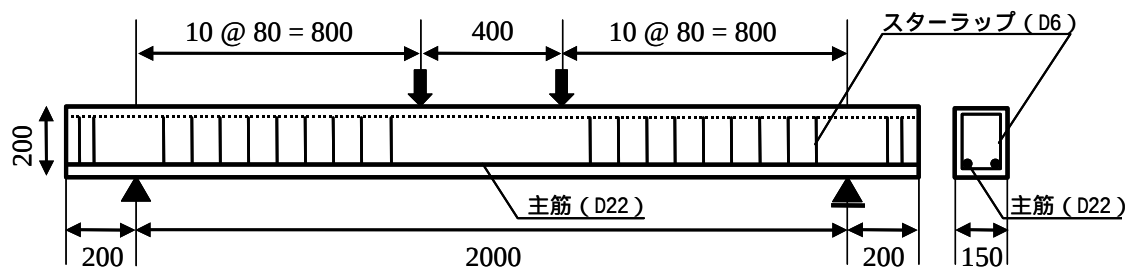


図 - 3 供試体の形状および寸法(シリーズ 2) [単位: mm]

日間以上気中養生(B と同様の環境)を行う。

表 - 3 は, WJ 処理面の凹凸状態をまとめたものである。WJ 処理については, シリーズ 1 の結果をもとに, 打継ぎ面の凹凸状態を 2 段階に変化させた(S-2 および S-3)。また, 比較用として打継ぎ部を設けない一体打ち供試体(S-0)および打継ぎ面の WJ 処理を行わない供試体(S-1) (ワイヤブラシによるレイタンス除去のみ)についても実験を行った。なお, 供試体本数は各水準 1 本とし, 試験時の新旧コンクリートの圧縮強度は, すべて 40N/mm^2 程度であった。

3.3 載荷試験

繰返し載荷試験は, 等モーメント区間 400mm, 支点間距離 2000mm の 2 点載荷とし, 繰返し回数 0 回, 1 千回, 1 万回, 10 万回, 100 万回, 200 万回に達した段階で静的載荷試験を行った。なお, 繰返し載荷試験では, 荷重の上限値を 46kN, 下限値を 5kN とした。供試体中央部におけるたわみ, 圧縮縁のコンクリートひずみ, 引張鉄筋ひずみ, ひび割れ幅等を, 上限荷重 46kN まで 5kN 間隔で測定した。なお, 200 万回繰返し載荷終了後には, 破壊までの静的載荷試験を実施した。

3.4 WJ 処理面の表面性状評価方法

WJ 処理面の表面性状の測定・評価方法については, シリーズ 1 と同様に, 目安としての目視による処理深さの評価およびレーザ変位計を用いた凹凸状態の測定による数値評価を行った。

4. 実験結果および考察

4.1 シリーズ 1

図 - 4 は, コンクリートの水セメント比 50%

の場合における, WJ 処理面の平均粗さと強度比の関係を実験の種類別にプロットしたものである。

図より, 強度比が 1.00 を下回る点における平均粗さが, 試験の種類によって異なる値を示した。すなわち, 曲げ強度試験の場合は, 平均粗さが 0.55(mm)以下になると一体性が損なわれると評価されたのに対して, 全断面有効である両引き試験の場合は, 平均粗さが 0.35(mm)以下となると一体性が損なわれると評価された。

また, 両引き試験において, 平均粗さが 0.35(mm)の場合では, 打継ぎ面で最初のひび割れが発生した。このことより, 少なくとも平均粗さ 0.35(mm)を下回る場合には, 新旧コンクリートの一体性は損なわれると考えられる。

一方, 曲げ試験において, 処理面の平均粗さ 0.55(mm)の供試体の破壊断面を観察してみると, 破断面は打継ぎ面を含んでいるが, 全断面が打継ぎ面ではなく, 一体化している痕跡が多く見受けられた。これより, 曲げ強度試験では, 打継

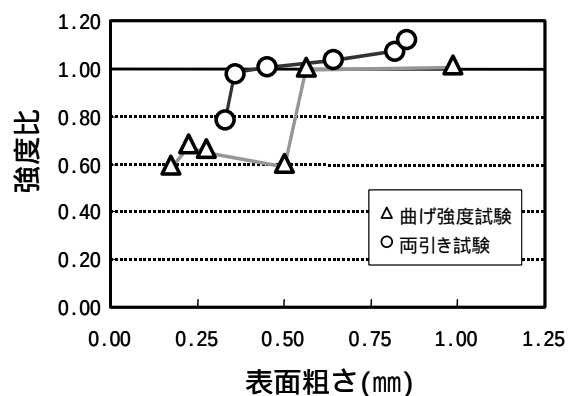


図 - 4 処理面の平均粗さと強度比の関係 (W/C=50%) (シリーズ 1)

ぎ面の引張縁周辺における一体性のみが評価されていると考えられる。

さらに，表 - 4 は，処理面の平均粗さが 0.5(mm)程度の場合において，コンクリートの一体性を評価した結果を，水セメント比別に示したものである。

この表より，両引き試験ではいずれの水セメント比においても新旧コンクリートが一体化していると判定されるが，曲げ強度試験では，いずれの水セメント比でも，一体化していないとの判定になってしまうことがわかる。

以上より，新旧コンクリートの打継ぎ面の一体性評価においては，曲げ強度試験による評価と両引き試験による評価では，その判定基準に異なる結果が得られ，簡易な曲げ強度試験ではその判定基準は大きく安全側に出てしまう傾向にある。

これまでの結果から，一体性をより正確に評価する試験方法としては，両引き試験が適しているといえる。また，WJ 処理面の一体性は，平均粗さ R_a を用いて評価することができ，その場合の判断基準ラインは，0.40(mm)程度と考えてよいと思われる。

4.2 シリーズ 2

図 - 5 は 200 万回繰返し載荷後の静的載荷試験荷重 46kN におけるひび割れ発生状況を示したものである。S-0 と S-3 については同様なひび割れ性状を示していることから，S-3 では新旧コンクリートが一体化していることがわかる。一方，S-1 および S-2 では，打継ぎ面に沿ってひび割れが発生している。このひび割れは，S-1 の場合，初回載荷時より等曲げモーメント区間全域で観察された。また，S-2 の場合についても，繰返し回数 10 万回終了時に発見され，100 万回終了時には等曲げモーメント区間全域で打継ぎ面に沿ったひび割れが観察された。

ひび割れ発生状況から判断すると，より条件の厳しい繰返し荷重環境下においては，WJ 処理面における新旧コンクリートの一体性の基準

ライン付近である平均粗さ 0.35(mm)程度では，新旧コンクリートの一体性は十分確保できないことを示している。

表 - 5 は 200 万回繰返し載荷後の静的試験に

表 - 4 処理面の平均粗さと強度比の関係
(平均粗さ 0.5mm 程度の場合)(シリーズ 1)

水セメント比 (%)	試験方法	平均粗さ (mm)	強度比
40	両引き	0.48	1.05
	曲げ	0.42	0.82
50	両引き	0.45	1.06
	曲げ	0.50	0.60
70	両引き	0.52	1.10
	曲げ	0.52	0.96

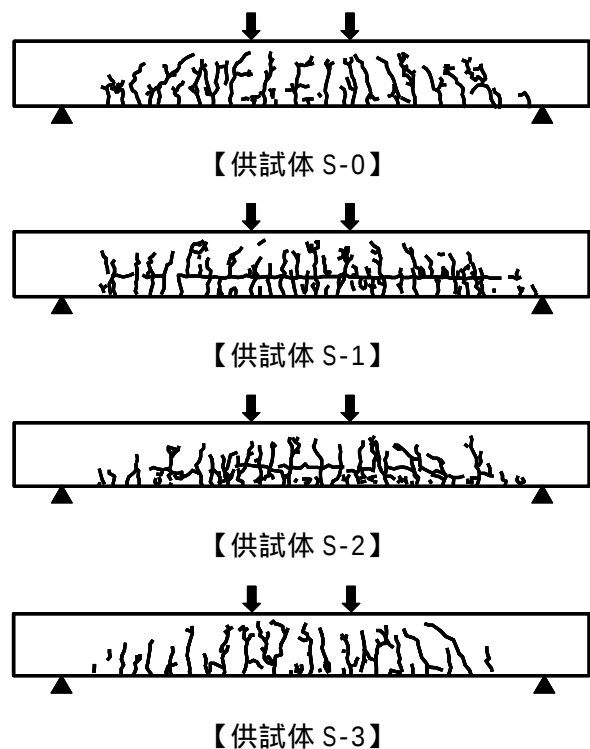


図-5 ひび割れ発生状況
(繰返し載荷 200 万回終了後)(シリーズ 2)

表 - 5 各供試体の最大耐力(シリーズ 2)

供試体番号	S-0	S-1	S-2	S-3
最大耐力(kN)	98.9	100.5	101.1	99.8

よって得られた最大耐力を示したものである。
処理の有無および打継ぎ面の処理程度の違いによる最大耐力の差はほとんど認められなかった。

図-6, 7, 8, 9は, 所定の繰返し载荷回数を終了した後, 46kN 静的载荷時における RC はりの引張鉄筋ひずみ, 圧縮縁コンクリートひずみ, 供試体中央部のたわみ, 等曲げモーメント区間におけるひび割れ幅を示したものである。

S-3 については, S-0 と同等の値を示しており, ひび割れ発生状況と併せて, 新旧コンクリートの一体化が確認された。一方, S-1 および S-2 については, 引張鉄筋ひずみ, 圧縮縁コンクリートのひずみについては顕著な差は認められないが, 供試体中央部のたわみ, 等曲げモーメント区間におけるひび割れ幅は, 打継ぎ面に沿ったひび割れの発達に伴い, 大きく増加する傾向がみられる。

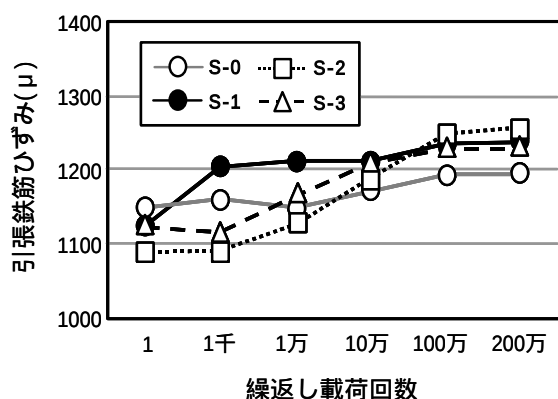


図-6 载荷回数と引張鉄筋ひずみの関係 (シリーズ 2)

5. まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 新旧コンクリートの打継ぎ面の一体性の評価においては, 曲げ強度試験と両引き試験では異なる結果が得られ, 新旧コンクリートの一体性を評価する試験方法としては, 両引き試験が適していると考えられる。
- (2) WJ による打継ぎ面処理においては, 平均粗さ R_a を用いることにより, より正確に境界面の一体性を評価できる。また, その判断基準ラインは 0.40(mm) 程度と考えられる。
- (3) 引張縁に打継ぎ面を有する RC はりの繰返し载荷時における耐荷性能は, WJ 処理の程度に関わらず, 一体打ち供試体と同等であるが, 新旧コンクリートの一体性を損なうような表面処理状態では, 処理面に沿ったひび割れが発生する傾向がある。

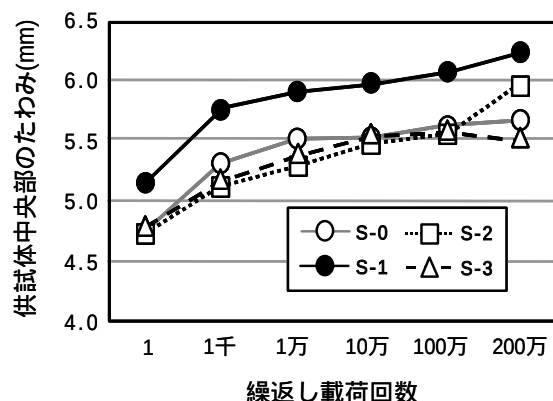


図-8 载荷回数と供試体中央部のたわみの関係 (シリーズ 2)

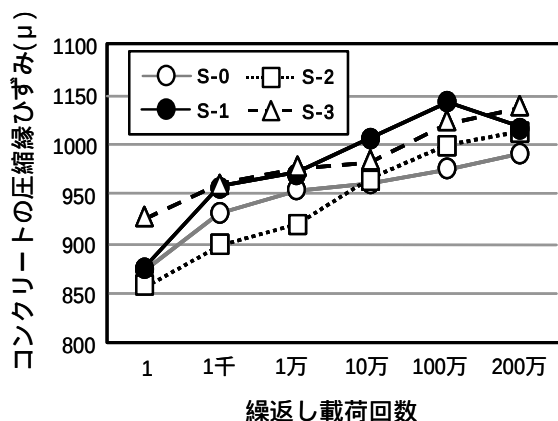


図-7 载荷回数と供試体圧縮縁ひずみの関係 (シリーズ 2)

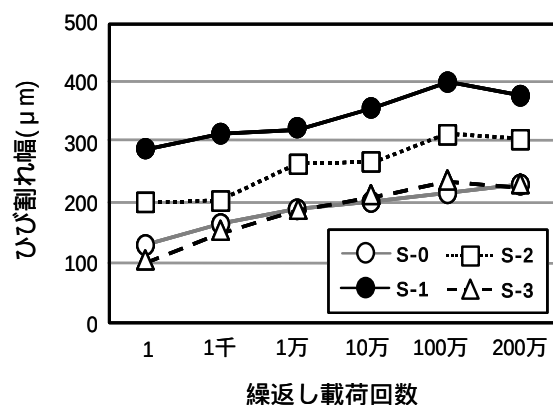


図-9 载荷回数と等曲げモーメント区間におけるひび割れ幅の関係 (シリーズ 2)