

# 論文 補修・補強工事におけるコンクリート切削面の損傷程度が打ち継ぎ後の付着強度に及ぼす影響

藤倉 裕介<sup>\*1</sup>・青景 平昌<sup>\*2</sup>

**要旨**：補修・補強工事において、経済的で効率的なコンクリート劣化部分の切削方法を提案する目的で、ウォータージェット（WJ）工法や機械的切削工法、手持ちブレーカによる切削実験を行い、切削面に発生したマイクロクラックの状況、打ち継ぎ後の付着強度への影響を調べた。その結果、WJ 工法は、切削による損傷が非常に少ない工法であること、機械的切削工法は、ある程度のクラック発生は避けられないが、損傷は切削面の近傍に限定されることを確認し、WJ 工法と機械的切削工法等を組み合わせた切削方法を提案した。

**キーワード**：コンクリート切削、マイクロクラック、付着強度、WJ 工法、機械的切削工法

## 1. はじめに

近年、コンクリート構造物のひび割れやはく落を伴う劣化が問題となり、補修・補強工事が行われている。コンクリート構造物を補修・補強する際には、コンクリートの劣化部分をはつり処理し、新たにコンクリートやモルタルを打ち継ぐ場合が多い。事前のはつり処理としては、各種切削工法が提案されているが、切削工法によっては既設コンクリートに損傷を与えることが報告されており<sup>1)</sup>、新旧コンクリートの良好な一体化性状が得られるウォータージェット工法（以下、WJ 工法）による、はつり処理が行われている<sup>2)</sup>。しかしながら、はつり処理を行う部位によっては、WJ 工法の適用が困難な場合もあり、効率的な切削方法が望まれている。

そこで、本論文では、経済的で効率的な切削工法を提案する目的で、WJ 工法やチゼルロッドストローク式切削工法（以下、機械的切削工法）、手持ちブレーカによる切削実験を実施し、切削面の損傷程度として、切削面に発生したマイクロクラックの本数や深さ、打ち継ぎ後の新旧コンクリートの付着強度について調べた結果について報告する。さらに、母材コンクリートへの損傷を最小限に抑え、品質を確保しつつ合理的

に切削する方法として、機械的切削工法と WJ 工法を組み合わせた方法について提案する。

## 2. 切削工法

### 2.1 機械的切削工法

機械的切削工法は、写真-1 に示すようにピストンの前面に組み込んでいる多数のチゼルロッドと呼ばれる打撃部によって、コンクリート面を切削する工法を採用した。チゼルロッドは、圧縮空気で駆動するエア打撃方法であり、チゼルロッドの段差部分には常時圧縮空気が入っているため、コンクリート面を打撃したチゼルロッドは直ちに後退し、再び打撃を受けて飛び出し、これを繰り返す仕組みである。

すなわち、チゼルロッドがストロークして切削するため、切削面に対して強く押し付ける必



写真-1 打撃部（チゼルロッド）<sup>3)</sup>

\*1 (株)フジタ 技術センター土木研究部 工修 (正会員)

\*2 (株)フジタ 土木本部 技師長 工修 (正会員)

要は無く、コンクリート面を細かく破碎するので、従来のブレーカーを用いた工法に比べて効率的な切削が可能で、既存コンクリートへの損傷が少ない工法である。

機械的切削工法の施工システムとしては、一般的にパワーショベルに装着する方法が採用され、施工箇所によっては専用の取り付け装置に装着する方法を用いている。なお、切削範囲は、鉄筋に接触しないかぶりコンクリートの範囲が対象である。

## 2.2 ウォータージェット工法<sup>1), 4)</sup>

ウォータージェット工法は、洗浄作業の分野で大きな成果を上げてきた技術で、高圧式のポンプで加圧した水を小口径のノズルから高速の水噴流として噴射させることによってコンクリート面を切削する工法へと発展したものである。この水噴流がコンクリート面に衝突したときに生じる圧力および水くさび作用により切削を行うもので、適切な圧力、流量によって脆弱部を集中的に切削できる。また、鉄筋を損傷することなく、コンクリートを除去でき、切削後の既存コンクリートの健全性を確保でき、打ち継ぎ後の新旧コンクリートの付着力が確保できる。

## 3. 実験方法

### 3.1 切削および断面復旧

コンクリート試験体を作製し、切削実験を実施した。実験のケースを表-1に示す。ケースAは、切削を行わない場合であり、ケースB～Dでは、機械的切削工法、WJ工法、および手持ちブレーカ(CB-20)による切削を、それぞれコンクリート表面から約20mmの深さまで実施した。機械的切削工法は、表-2に示す仕様のとおり、2種類のタイプのハンマーを使用した。WJ工法の切削時の仕様を表-3に示す。表-2、3中には切削深さ20mmにおける切削能力を参考値として示す。

切削後、切削深さ約20mmの断面復旧をポリマーセメントモルタルにより行った。断面復旧は、次節以降に示すコア採取作業の際のコンク

リート切削表面の保護、打ち継ぎ後の付着強度試験の実施を目的としており、ケースAについても、コンクリート表面に厚さ20mmのモルタルを塗布した。ポリマーセメントモルタルは、セメントと珪砂がプレミックスされた粉体とポリマー混和液(エポキシ変成アクリル樹脂)を配合する仕様の補修材料であり、水セメント比は39.4%、ポリマーセメント比は10%である。

ケースD-2については、ケースD-1と同様に手持ちブレーカによる切削を行った後、ひび割

表-1 実験のケース

記号	切削方法、仕様		断面復旧
A	切削なしの場合		ポリマー混和液塗布後に断面復旧
B-1	機械的	KA-200型	
B-2	切削工法	KA-95型	
C	WJ工法(Hi-Jet300型)		
D-1	手持ちブレーカ (CB-20)		エポキシ樹脂塗布後に断面復旧
D-2			

表-2 機械的切削工法の仕様<sup>3)</sup>

項目	KA-200	KA-95
ハンマー重量(kg)	300	66
ハンマー圧力(kgf/m <sup>2</sup> )	5.0	5.0
速度 (m/min)	3.0	3.0
ビット径(mm)×本数	φ70×6	φ40×6
打撃力(kgf-m)	8.3	3.6
ビット束径(mm)	φ235	φ134
切削能力(m <sup>2</sup> /Hr)	86	22

表-3 WJ工法の仕様

項目	Hi-Jet 300型
水圧(MPa)	250
ノズル径(mm)	0.9
流量 (ℓ/min)	24
速度 (m/min)	1.0
回転速度 (min-1)	200
切削能力(m <sup>2</sup> /Hr)	24

れ含浸効果のある、100mPa・s 程度の低粘度エポキシ樹脂をプライマーとして切削面に塗布した。エポキシ樹脂が硬化後、モルタルによる断面復旧を行った。なお、コンクリート試験体および断面復旧用のモルタルの材齢 28 日における圧縮強度は約 30N/mm<sup>2</sup> である。

### 3.2 マイクロクラックの観察

マイクロクラックの観察フローを図-1 に示す。表-1 に示す各実験ケースに関し、切削作業および断面復旧の実施後、φ100mm のコア試験体を任意に 2 体ずつ採取した。試験体の採取後、対称に 2 分割に切断して切断面を整形し、観察のためにコンクリート表面を鏡面研磨し、各ケース 4 面を観察面とした。次に、マイクロクラックを鮮明に浮き出させる目的で、探傷液を塗布し、顕微鏡観察を行った。なお、本研究では、倍率 50 倍～100 倍の顕微鏡で観察できる幅 0.01mm 程度のひび割れをマイクロクラックとして調査を行った。観察領域は、図-2 に示すように、切削表面から深さ 10mm を対象とした。ただし、切削表面に粗骨材が存在する場合は、粗骨材の下面のペースト周辺までを観察領域とした。

### 3.3 付着強度試験

モルタルを塗布後、材齢 7 日にて付着強度試験を実施した。試験では、まず塗布したモルタルの表面を研磨して、凹凸を除去した後、鋼製の引張試験用治具 (40mm×40mm) をエポキシ樹脂系の接着剤で貼付け、鋼製治具の周りの 4 辺に、コンクリート試験体に達するまで切込みをカッターで入れた。次に、試験体に貼り付けた鋼製治具を試験機に設置し、建研式接着力試験機であるセンターホール型簡易油圧式ジャッキを使用して、1 回転 3 秒程度の载荷速度で载荷し、付着強度を算定した。

## 4. 実験結果および考察

### 4.1 切削状況

各切削の状況を写真-2～4 に示す。写真-2 は、機械的切削工法における切削状況を示し、

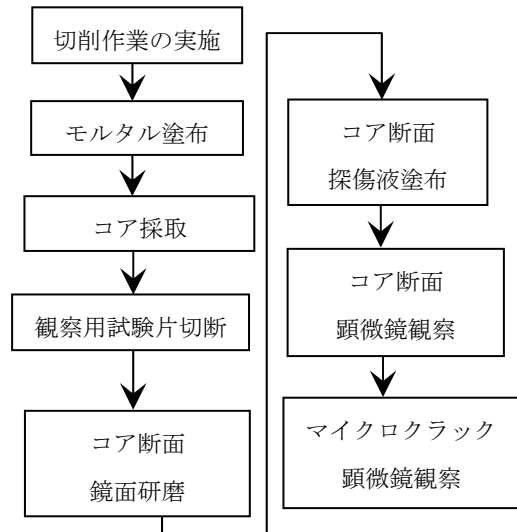


図-1 マイクロクラック観察のフロー

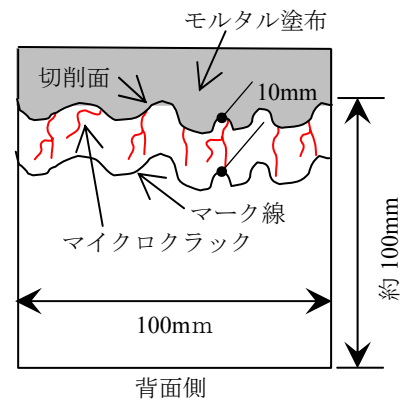


図-2 観察領域の概念図



写真-2 機械的切削工法における切削状況 (KA-95 使用の場合)

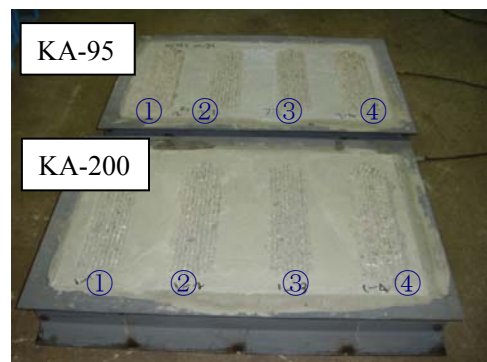


写真-3 SH 工法による切削後の試験体

写真-3 は機械的切削工法による切削後の試験体を示す。機械的切削工法では、試験体作製用に切削機械を設置し、コンクリート試験体を立てて横向き方向に切削を行った。また、WJ 工法における切削後の試験体を写真-4 に示す。

#### 4.2 マイクロクラックの観察結果

写真-5 に切削を実施していない箇所（ケース A）におけるマイクロクラックの観察状況例を示す。写真-5 に示すように、コンクリート中には潜在的に長さ1~2mm程度のマイクロクラックが存在する。写真-6 には機械的切削工法により切削した試験体におけるマイクロクラックの状況の一例を示す。切削により発生したマイクロクラックは、主に切削表面に露出した骨材に沿って発生し、骨材界面やペースト部へと至っている。マイクロクラックは切削表面近傍に集中しており、進展の深さ（長さ）は2~5mm程度であり、幅は0.01mm程度であった。また、写真-7 には WJ 工法によるマイクロクラックの状況の一例を示す。写真-7 に示すように、WJ 工法により生じたマイクロクラックは、切削面近傍の骨材とペーストの界面に沿った箇所に限定されて発生しており、ペースト部分にまで進展しているクラックは観察されなかった。WJ 工法では、切削表面に浮き出ている骨材に水圧が作用して骨材とペーストとの界面を緩めるが、それがコンクリート内部にまでは進展せず、周辺部分に影響を与えることなく脆弱部を集中的に切削できるものと推察できる。写真-8 には、ブレイカによる切削後に低粘度のエポキシ樹脂を塗布した場合の観察状況を示す。手持ちブレイカによる切削では、ブレイカのビットをコンクリート表面に押し当てる方法であり、表面近傍および内部のペーストまでマイクロクラックが進展していた。写真-8 に示すように、エポキシ樹脂を塗布した場合には、切削表面から1mm程度までのマイクロクラックに含浸していることが分かる。さらに内部のクラックまで浸透させるためには、材料の開発および施工上の検討が必要である。



写真-4 WJ 工法による切削後の試験体

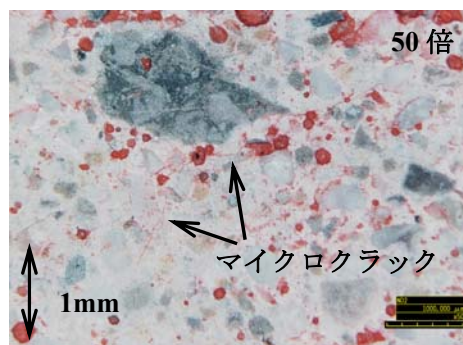


写真-5 切削なしのケースにおける観察状況例（表面から5mm付近）

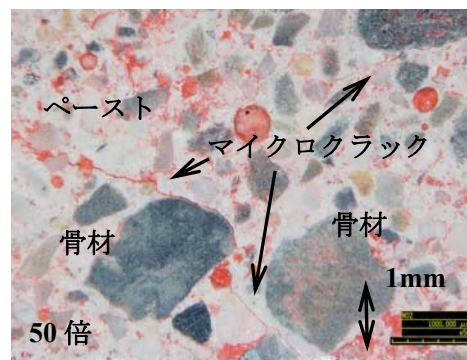


写真-6 機械的切削工法（KA-95）における観察状況例（切削表面から5mm付近）

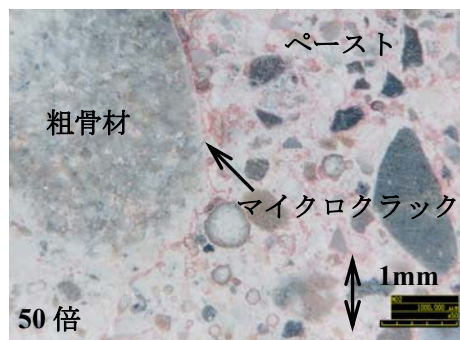


写真-7 WJ 工法における観察状況例（切削表面から5mm付近）

表-4 マイクロクラックの観察結果

実験ケース	切削方法	クラック本数(本)	考 察
A	切削なし	平均 3.5	マイクロクラックは表面だけでなく、内部にも存在。マイクロクラックの長さは2~3mm程度であり、乾燥収縮によって発生したと推測される。
B-1	機械的切削 工法 (KA-200)	平均 4.25	セメントペースト部、骨材部ともにほぼ健全な状態。マイクロクラック幅0.01mm以下、長さ2~3mm程度。
B-2	機械的切削 工法 (KA-95)	平均 7.25	表面に割れた骨材が残り、骨材からペースト部までの貫通クラックが存在。マイクロクラックの幅0.01mm程度、長さ5mm程度。
C	WJ 工法	平均 0.5	切削面には、ほとんどクラックは発生していない。骨材内あるいは骨材周辺にマイクロクラック発生。幅0.01mm以下、長さ2mm程度。
D-1	ブレーカ CB-20	平均 7.5	骨材からペースト部までの貫通クラックが多く存在する。マイクロクラックの幅0.01mm程度、長さ5mm程度であるが、クラックは、表面のみでなく、内部にも発生している。
D-2		平均 8.0	骨材からペースト部までの貫通クラックが存在する。表面から1mm程度では、マイクロクラックにエポキシ樹脂が含浸している状況が観察される。

幅 100mm あたりの観察領域におけるマイクロクラックの発生本数を表-4 に示す。クラック本数は、観察した 4 面から得られた平均値を示し、考察欄に観察の状況を示す。切削なしのケース A は、コンクリート中に潜在的に存在するクラック本数を把握する目的で、コンクリート表面近傍のみでなく、100mm×100mm の観察面全体に存在するクラック本数を示している。

WJ 工法では、切削表面にほとんどマイクロクラックが発生しておらず、コンクリートへの損傷が少ない工法であることが分かる。手持ちブレーカを用いた切削では、マイクロクラックの発生本数は、WJ 工法と比較して多く生じており、本数だけでなく幅や長さも大きな値を示す傾向にある。機械的切削工法では、打撃エネルギーの大きい KA-200 を使用した場合、打撃エネルギーの小さな KA-95 を使用した場合よりもマイクロクラックの発生本数は少ない。これは、コンクリートの強度や骨材の特性などの影響に関係し、効率的な切削に対して、KA-95 では打撃エネルギーが不十分であり、切削能力も低く、逆にコンクリート表面の骨材周辺に影響を残したものと推察できる。

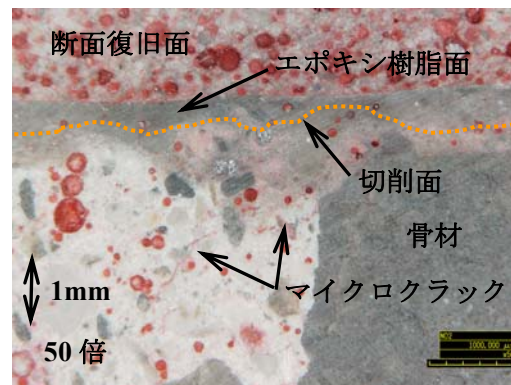


写真-8 切削面近傍におけるエポキシ樹脂の含浸状況例

#### 4.3 付着強度試験結果

付着強度試験の結果を表-5 に示す。試験後の破断箇所は、全ての実験ケースにおいてコンクリート部であった。WJ 工法では切削無しのケース A とほぼ同等の付着強度が得られている。一方、手持ちブレーカによる切削では、切削無しのケース A のほぼ 1/2 程度の付着強度が得られている。機械的切削工法では、ブレーカよりも大きい 1.0N/mm<sup>2</sup> 程度の付着強度が得られていることが分かる。切削後の打継ぎ部における既往の実験においても、WJ 工法とその他の切削工法との比較が行われており<sup>1)</sup>、本実験と同様

の傾向を示している。これは、切削によって生じる母材の損傷程度に関係しているものと推察できる。さらに、ブレーカによる切削後に低粘度のエポキシ樹脂を含浸させたケースでは、付着強度が増加しており、切削表面から 1mm 程度であっても、エポキシ樹脂の含浸した効果が表われているものと考えられる。機械的切削工法による切削、エポキシ樹脂などによる表面処理を組み合わせることで、経済的で合理的な施工が行えるものとする。

## 5. まとめ

WJ 工法と機械的切削工法、手持ちブレーカによる切削作業を行い、コンクリート切削面に発生するマイクロクラックの発生状況、モルタルによる断面復旧を実施した後の付着強度への影響を調べた。その結果、WJ 工法は、既存コンクリートへの損傷が極めて少ない工法であることを確認し、打ち継ぎ後に良好な付着強度が得られることが分かった。機械的切削工法による切削では、表面から 2mm～5mm 程度の深さ（粗骨材がある場合は粗骨材下端）にマイクロクラックの発生が認められ、1.0N/mm<sup>2</sup> 程度の付着強度が得られることが分かった。また、ブレーカによる切削は、既存コンクリートへの損傷が大きく、付着強度も切削無しの場合のほぼ 1/2 程度であるが、断面復旧を行う以前に低粘度のエポキシ樹脂を塗布し、損傷した切削表面に含浸、硬化させることにより、付着強度が増加することが分かった。

既設構造物に損傷をできるだけ残さずに、新旧コンクリートの良好な一体化性状を得るためには、以下の手順による切削工法が経済的で合理的な方法と考えられる。

- (1) 所定の切削深さに対し、2～5mm または粗骨材の最大寸法程度を残す程度まで、機械的切削工法で切削する。
- (2) 所定の切削深さまでの残りを WJ 工法で切削する。
- (3) 鉄筋があり、かぶり厚さ以上に切削する場合には、かぶり部分を機械的切削工法で切削し、

表-5 付着強度試験結果

記号	切削方法、仕様		付着強度(N/mm <sup>2</sup> )
A	切削なしの場合		2.00
B-1	機械的切削工法	KA-200 型	0.95
B-2		KA-95 型	1.13
C	WJ 工法 (Hi-Jet300 型)		1.79
D-1	手持ちブレーカ (CB-20)		0.88
D-2			1.15

鉄筋よりも深い部分では WJ 工法を適用する。

WJ 工法は、施工条件によっては適用が困難な場合もある。ブレーカよりも既存コンクリートへの損傷の程度が小さい機械的切削工法による切削は、WJ 工法と比較して、経済性、施工性の高い工法であり、切削によるマイクロクラックの発生範囲も表層部に限定される。今後、コンクリートの強度や骨材の特性を加味した効率的な切削方法を検討するとともに、さらにはコンクリート表面近傍の損傷を修復可能な表面含浸工法等を併用することにより、合理的な切削システムを構築できるものとする。

謝辞 最後に本実験の実施にあたり、ご協力頂きました栗田削岩機（株）の担当各位に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 紫桃孝一郎、上東泰、野島昭二、吉田敦：ウォータージェット技術を利用した新旧コンクリート構造物の一体化処理，コンクリート工学，Vol.38，No.8，pp.40-54，2000.8
- 2) 日本道路公団：構造物施工管理要領，pp.282，平成 16 年 4 月
- 3) 栗田さく岩機（株）技術資料
- 4) 足立一郎：ウォータージェット技術の土木分野への応用，コンクリート工学，Vol.39，No.6，pp.3-7，2000.6