

63. 大規模橋梁補修工事における ウォータージェット工法

日本道路公団：森山 守

(株)大林組：*登坂 知平・小澤 郁夫
上村 泰邦

1. はじめに

コンクリート橋梁の補修工事においてしばしば実施される損傷部コンクリートの研り作業は、ピックハンマー等による人力作業で行われていた。しかし、この人力作業は苦渋作業であり作業効率が悪く、また、コンクリート面の骨材の緩みやクラックの発生など研りとしての品質面でも多くの改善点が指摘されていた。

一方、高圧ウォータージェットによる研り工法は、自動運転することで苦渋作業をなくし、研りとしての品質面でもより向上することができるが、従来その工事規模は比較的小さく、ウォータージェットの利点が十分発揮されていないのが実情である。

そこで本開発では橋梁の大規模研りを対象としたウォータージェット自動化工法を確立し、実際の工事現場に適用した。ここではその工法開発の経緯および現場導入状況について報告する。

2. 開発の背景

日本海沿岸道路のコンクリート橋梁では、飛来した塩分がコンクリート中に浸透し、鉄筋の錆びの発生を引き起こすいわゆる塩害による被害が多く、その対策に苦慮している例が多い。昭和57年～58年当時の建設省などの調査によれば、海岸から500m以内にあるコンクリート道路橋では、塩害は海から吹く風が特に強い北陸、東北、北海道の日本海沿岸において、主としてかぶりの薄い道路橋に発生し、橋梁上部工の258箇所中62箇所(24%)が塩害を受けていると報告されている。従来、塩分が浸透し許容値を越したコンクリートは、劣化部を研り取り新たに特殊モルタルなどを注入する断面修復が必要となり、この断面修復工のうち、研り作業はピックハンマーによる人力に頼ってきた。

人力研りの作業は粉塵の立ち籠める中での振動作業であり、特に上向研り時は小粒子は飛散し、研ったコンクリート片は作業者に直接当たるなど作業環境は極めて悪く、このような作業を橋梁全面に渡って行うには多数の研り熟練工が必要となるが、長期間に耐え得る熟練工の確保は困難な時代となっている。そこで苦渋作業を回避するため研り作業を機械によって自動的に行う手段が求められている。

3. ウォータージェット工法の選定

従来コンクリート解体工法として整理された中から、コンクリートの表面数センチを取り除くことのできる工法(研り工法等)を表-1に、コンクリート研り(破碎)の原理を、衝撃、切削、及びその他(噴射・動圧他)等に分類し、特徴を整理したものを表-2に示す。

ウォータージェット工法は、表-2からわかるように研り面の品質は優れており、特に鉄筋コンクリートの裏面まで研ることのできる唯一の手法と言える。また、ウォータージェットによる研りは、

ジェットノズルを研り面に添って移動させることで簡単にコンクリートを研ることができることから、自動化が比較的容易である。以上のような諸条件を考慮し自動研り工法としてウォータージェット工法を選定した。

ウォータージェット工法による切削や研りの原理は、

- ①動圧による破壊
- ②衝撃荷重による破壊
- ③キャビテーション壊食
- ④間隙水圧によるくさび効果
- ⑤研磨効果
- ⑥脈動負荷による疲労破壊

等があげられる。破壊の効果はこれ等①～⑥の原理が複雑にからみあって発揮される。

4. システムの構成

研りシステムは図-1に示すように超高圧発生部、ジェットノズルを操作する研りロボット部、超高圧を発生するための水処理やポリマー溶解などを行う給水処理部、および研りによって生ずるコンクリートガラや排水を処理する破棄処理部で構成されている。

(1) 超高圧発生部

今回橋梁研り時の超高圧発生装置は表-3に示す仕様のポンプを選定した。対象橋梁は供用したまま研り工事を行うことから、著しい研り過ぎは橋梁の耐荷力上の問題を生ずる。あまり大きな破壊力のある超高圧ポンプでは研り過ぎを生ずることが考えられ、今回の工事にはこの大きさを

表-1コンクリート研りへの適用

コンクリート解体工法		コンクリート研りへの適用	
油圧機械破砕工法	ロックジャッキ工法		
	ジャッキ圧砕工法		
	ジャッキ工法		
	コンクリートパイル破砕工法		
機械的破砕工法	COW工法		カッターロード工法
	カッター工法		ハンドブレード工法
	手動工具工法		ピックハンマー工法
	ブレード工法		大型ブレード工法
火花破砕工法	剛着工法		
	スチールボール工法		スパイクハンマー工法 (チップニング)
	ダイヤモンドカッター工法		ハンマー工法)
	デルミット工法		ダイヤモンド
断続圧力による破砕工法	ガス破砕工法		ワイヤーン工法
	カドック工法		ブレードカッター工法
	断続性ガス生成工法		
噴射洗滌式破砕工法	ウォータージェット工法		ウォーター ジェット工法
電気の破砕工法			
火薬破砕工法			
その他の工法			

表-2研りの原理別特徴比較

原理	工 法	特 徴
切 削	・ダイヤモンド ワイヤーン	○コンクリートに対し、ダメージを与えない ○平滑な切削面が得られる ○切削粉を冷却水によって洗い出すため 切削面は清潔で、また、熱による影響を受けない ○騒音、振動がない ▲施工費が高む ▲切削面が平滑で、修繕材接着面積が少ない
	・ブレード カッタ	
衝 撃	・油圧 ブレード	○設備が簡単で手軽に行える工法である ▲マイクロクラックが発生する ▲はつり面に粉塵が付着する ▲比較的平滑な面となり補修材との付着面積が 少ない ▲粗骨材の剥離を生ずる懸念がある ▲鉄筋を傷める懸念がある
	・ピックハンマ ・ハンド ブレード	
噴射洗滌	・ウォーター ジェット	○劣化部はよく研ることができ健全部を傷めない ○マイクロクラックを生じない ○研り面は清潔であり修繕材の接着性向上を期待 できる。 ○鉄筋を傷つけることなく磨き落としも同時にできる ○鉄筋裏面の研りも可能である ▲設備が大掛りとなり、比較的施工費も高む ▲排水処理が必要となる

表-3超高圧ポンプの仕様

項 目	内 容
増圧機形式	荏原製作所
吐出圧力	油圧駆動方式×2 2500kg f/cm ²
吐出流量	27 l/min
油圧回路方式	セミオープン回路方式
エンジン出力	250HP

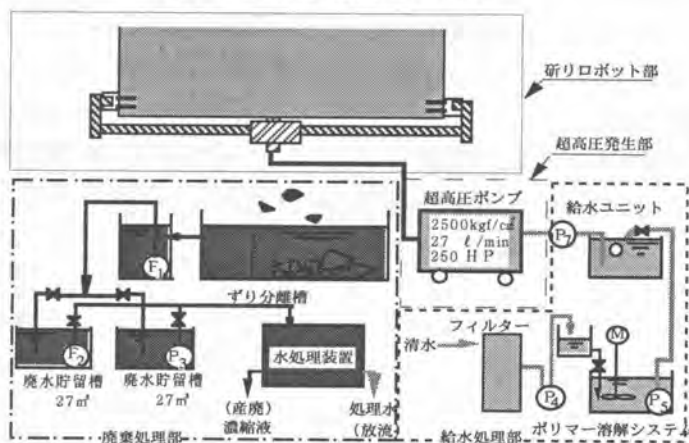
適当とした。

(2)給水処理設備

通常超高压を発生させるためには、増圧機ピストン部にシール用特殊パッキンを使用している。このパッキン材の耐久性を増すためには、原水に混入する異物を排除する必要がある。本システムでは、原水が超高压ポンプに入る前に最大 $1\mu\text{m}$ のフィルターで濾過している。原水には地表より深さ約70mの井戸を利用し、海岸には近いものの塩分等が問題とならない清水を使用している。清水はフィルター通過後ポリマーを添加する。これを十分攪拌し完全に溶解して給水ユニットから超高压ポンプへ送る。



写真-1 研り状況 (側部ロボット)



(3)廃棄処理設備

ウォータージェットによって橋

図-1 研りシステム

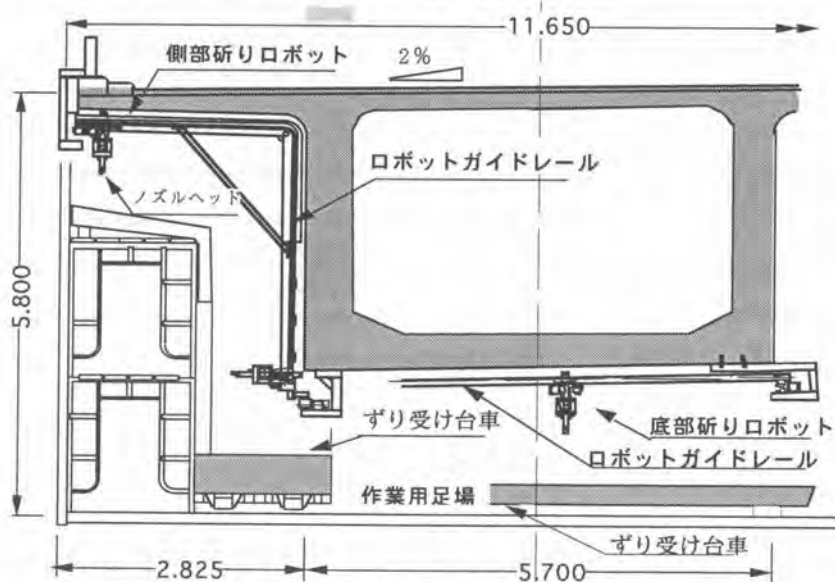


図-2 研りロボットセット図

梁コンクリートを研ると魁状に研りとれる部分（コンクリートガラ）と、細かい粒子状に研れる部分（ジェット水と混合して泥水となった部分）とが勢いよく落下してくる。これらは図-2に示すように、研り位置下部の足場床上に受皿を設置し仮受けする。このうち、コンクリートガラ部分は作業途中および作業終了時に人力により搬出して、一括して産業用廃棄物として処理する。研り水（ポリマー泥水）は、この受皿よりポンプによって一旦廃液貯留槽に送液され排水処理する。なを、廃液貯留槽は研り直後の水温が80℃近くとなると排水処理時対流を起しフロック沈降が阻害されるため、排水を常温まで温度を下げる目的で準備した。

5. 研りロボット

研りロボットは、図-2に示すように懸垂式を採用した。

橋梁の補修工事では、地上を利用できる場合が少なく、橋梁を供用しながら研りを行うことから橋梁は常に繰返し荷重を受けて振動する。また、ウォータージェットによる研り作業は、スタンドオフ（ノズルと研り面との距離）を適正值に維持する必要がある、これを正確に維持できないと研り能力は著しく低下する。

ロボットの型式は、主としてクローラや車輪等によって移動する三次元ロボット方式と横行走行をガイドレールで位置決めできる懸垂式の二方式が考えられるが、三次元ロボット方式では足場の振動によってスタンドオフを高精度で維持することは難しく、懸垂式ではスタンドオフを精度よく維持できると共に、足場にかかるとの重量を軽減できる利点があるため、後者を選定した。

研りヘッド（研り装置）部は、図-3に示すようにノズルヘッド部、スィーベル部、油圧モーター部、油圧シリンダー部、レーザーセンサー部、研りヘッドフレーム部等で構成されている。研りヘッド部の移動（横行）は、走行台車附近に装備された横行モーターによってチェーン駆動する。横行フレームは溝型鋼で、橋梁の形状に合わせて作られ、ノズルヘッドフレームに取付けた4ヶのガイドローラは溝型鋼（ガイドレール）にガイドされて移動する。走行装置部は、横行フレーム両端に、走行モーターを各々装備し、I型鋼製のガイドレール上を走行する。

研り作業の制御は、走行をX軸、横行をY軸、研り深さ方向をZ軸とし研り作業の開始点を原点座標として3軸を数値制御する。また、ティーチング時にファイルされた研り面データによって、スタンドオフの制御、および研り後の計測から研り深さが算出される。研りロボットの仕様を表-4に、研り状況を写真-1に示す。

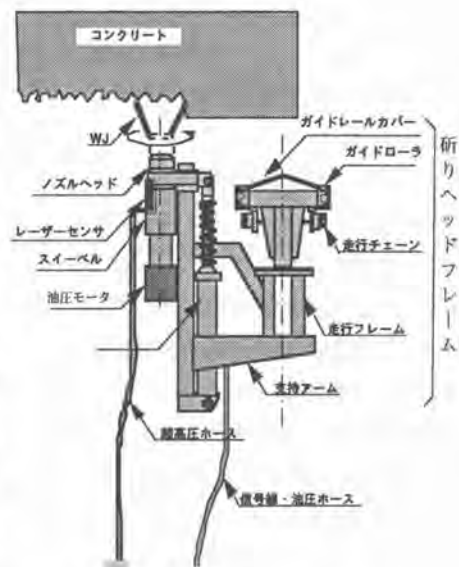


図-3 研りロボットヘッド部

6. 研り実験

研りロボットの仕様決定に当たり、超高圧ポンプの能力を十分発揮できる設定とする事が重要であるが、研りに関して従来大規模な実績がないため、各種の実験を行って諸設定値を決定した。

実験は主に目標研り深さ50mmに対して、研り速度（ノズルのトラバース速度）、ノズル回転数、送りピッチ（ノズル走行に対して横行方向へ送る送り幅）について行った。なを、実験に使用した供試体コンクリートの配合を表-5に示す。

実験は3段階で行い、第1の予備実験は主に研りロボットの基本仕様を決定するためのもので、この実験によって概略の研り速度を決定し、研りロボットの製作を開始した。

第2の室内実験では実橋梁のPC桁の強度に合わせたコンクリート供試体を製作し、新規に製作したノズルヘッド部を使って研り実験を行い、実施工における研り速度及びその他諸設定値を得ることを目的とした。

第3は、完成した研りロボットを使い、実施工の中で研り速度を含め、ロボットの総合性能を確認した。

実験結果の内、研り深さと研り速度との関係を図-4に示す。この結果から研り深さ50mm時の研り速度は、予備実験時は $1.9\text{m}^2/\text{h}$ であったが室内実験時は $1\text{m}^2/\text{h}$ 以下、最終の現場実験時には $1.2\text{m}^2/\text{h}$ となった。これら一連の実験は研り時の諸条件等（水圧、ノズル形状、ノズル径等）同じ条件で行っていることから、研り速度の違いは、供試体コンクリートの性状の違いによるところが大きいと推定された。

7. 現場への適用

(1)現場概要

今回補修を行う橋梁は日本海沿岸に位置し、波打際に架橋されているため、潮風の影響を強く受ける。現場の主な工事内容は次の通りである。

表-4研りロボット仕様

項目	内容
形式	荏原製作所
走行速度	テーチングブレイバック方式
横行速度	0 ~ 3000mm/min
ノズル回転数	0 ~ 3000mm/min
ノズル追従凹凸深度	10 ~ 80rpm
	±100mm

表-5実験に使用した供試体のコンクリート配合

供試体名	配合強度 (kg/cm^2)	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位(kg/m^3)					備考
					C	W	S	G	Ad	
予備実験用	475	25	37.5	43.5	437	164	777	1028	4.37	G:砂利
室内実験用	594	20	34.5	37.7	479	165	640	1100	8.143	G:碎石

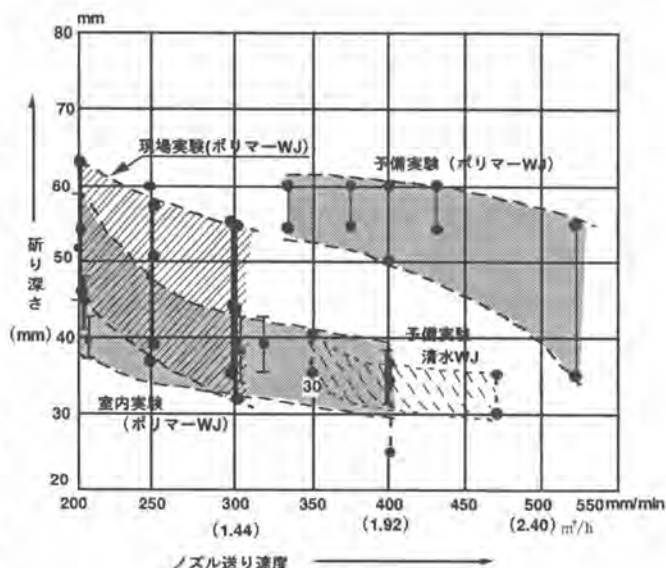


図-4研り実験の結果

- ・断面修復工、コンクリート研り 4,300㎡
- ・断面修復工、型枠 4,300㎡
- ・防水ライニング工 5,100㎡
- ・その他 耐荷力調査他詳細設計等 1式

橋梁は両端の橋台（A1，A2）と橋脚（P1～P7）の8径間、標準径間70m全長約547mのうち、今回施工分は、280m（A1～P4）である。

(2)研り工事

橋梁補修工事は、施工条件として交通供用を行いつつ施工する。研り作業の1サイクルは、図-5に示すようにノズルの走行する軌跡をティーチングすることから始まる。この時研り面の凹凸をレーザーセンサーによって計測しデータをファイルする。連続して研る部分のティーチングが完了したら超高压ポンプを起動し研りを行う。

研りが完了したら研り深さを計測するため必要な部分のみロボットを走行させ計測を行う。

計測が完了したら次ぎの研り地点にロボットを移動し、この時ロボットに付属する飛散防止用シートやコンクリートガラ受け等の付属設備を移動し、次の研りブロックの準備を行う。

研り深さは、コンクリートの性状に左右されることから試験研りを行い主にノズルの移動速度で管理する。コンクリートの性状があまり変化しない場合は前日の研り速度等を使う。研り工事は4月初旬に開始、ロボットは約9㎡/日/台程度の速度で研りを行って6月末日で約40%完了、断面修復（注入）と平行して現在順調に進行している。

8. おわりに

ロボットの仕様条件決定から現場施工まで3カ月と非常に短期間での製作であったが、当初の目標は達成できたと考えている。

新工法でかつこのように大規模な面積を行うのはこれまで例をみないことであり、今後更に性能向上を目指して改善を重ねウオータージェット工法が益々採用され発展することを期待している。

最後にウオータージェット研り工法に着目し、採用を決定下さった関係各位には感謝とともに敬意を表します。

参考文献

日本ウオータージェット学会：ウオータージェット技術辞典，丸善，1993.11

コンクリート耐久性向上技術（塩化物総量規制基準とアルカリ骨材反応対策），（財）国土開発技術センター，1986.10

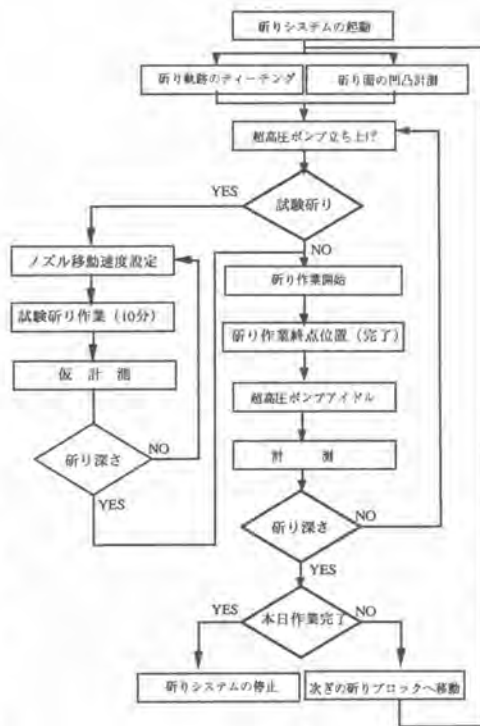


図-5研り作業フロー図