

ウォータージェットロボットによる 床版端部の補修工法

スーパーナロースペースウォータージェットシステム

芹 川 博・谷 本 竜 也

道路構造物の維持管理に関して様々な補修工法や材料が普及しているが、コンクリート構造物の老朽化の中でも損傷が顕著で補修の課題となっている橋梁床版端部の塩害劣化に着目し、補修工法の開発を行った。

スーパーナロースペースウォータージェットシステム（以下「本システム」という）は施工空間の制約から従来工法では施工が困難であった橋梁床版の端部補修を行う技術である。特殊なウォータージェットロボットにより、狭小空間でも安全に劣化部を除去することを可能としている。現在、道路橋の維持管理として本システムを用いて床版端部の補修が実施されており、一連の施工方法について紹介する。

キーワード：道路構造物、塩害、補修、ウォータージェット、断面修復

1. はじめに

近年、社会資本の老朽化が深刻な社会問題となっており、道路施設においても健全な状態を維持していくために早期の構造物点検及び補修が必要とされている。構造物の劣化・損傷はコンクリート構造物のひび割れ、表面剥離、変形または鋼部材の腐食や欠損等多岐にわたっており、それぞれの劣化・損傷要因や現場環境を踏まえたうえでの適切な対策を行う事が望まれる。

国内で発生している道路構造物の劣化・損傷の事例としては車両大型化に伴う過酷な载荷条件による疲労劣化が広く知られるところであるが、寒冷地では凍結防止剤の散布による塩害劣化が顕在化している。

塩害劣化は、長期間にわたり凍結防止剤の影響を受けたコンクリート構造物に凍結防止剤（塩化ナトリウム）の塩化物イオンが部材内部の奥深くまで浸透することにより、鋼材を腐食させ膨張に伴いコンクリートの亀裂や剥落等の損傷を発生させるものである。また、定期的な橋梁の詳細点検結果によると路面に散布した凍結防止剤が伸縮継手からの漏水により RC 橋や PC 橋の床版端部、橋台の桁かかり部分の塩害劣化を助長し、さらに悪化させている事例が非常に多い（写真－1）。

現在、様々な補修技術が研究・開発される中、劣化が著しい床版端部の補修は重要なテーマであった。塩害を受けた構造物の一般的な補修方法としては、劣化



写真－1 劣化写真

した部位を直接除去し、新しい材料で置き換えた後、塩化物の浸透を根本から遮断するための防水を行うのが基本的な方法である。しかし、既に劣化がある程度進行した橋梁床版端部では早急な補修対策が望まれるにも関わらず、作業空間が非常に狭く十分な施工スペースが確保できないため、一般的な補修工法では施工が困難で、対応が遅くなることが多い。このような状況から超高圧水を利用してコンクリート劣化部を除去することが可能なウォータージェット工法を採用し、床版端部のような作業条件が厳しい箇所でも施工が可能な補修方法を開発した。この補修方法は狭小空間での施工を可能にした工法で、ウォータージェットを用いて劣化部を除去し、その後はポリマーセメントモルタル等での断面修復を行い、橋梁延命化に非常に有効な工法の一つとして活用されている。

2. 塩害劣化の実態

積雪寒冷地域では冬期における安全な走行性の確保のため、凍結防止剤の散布が必要不可欠となっている。この凍結防止剤（塩化ナトリウム）の塩化物イオンがコンクリート内部に浸透し、鋼材を腐食・膨張させる。これによりコンクリートに亀裂や剥離などの損傷が発生する。所謂塩害である。

今日、凍結防止剤に起因する塩害発生事例は増加の傾向をたどっており、多くの道路橋では床版防水層の設置や伸縮継手部の非排水化が実施されているが、対策を施した箇所においても損傷が散見できる状況でさらなる対策が必要になっている。

橋梁桁端部及び周辺の詳細調査により劣化度や劣化部位を集計すると多くの橋梁で以下に示すような傾向と特徴が見られる。

- 1) 桁端部塩害は、伸縮装置の破損等から生じる路面水の漏水等が影響して発生する。
- 2) 桁端部の塩害劣化が発生している場合、当該箇所下部工にも塩害劣化が発生している。
- 3) 桁端部の塩害影響範囲は、桁端部から約2mまでが多い。

このような状況から補修の方針としては、塩害がある程度進行して既に亀裂や剥落等の劣化が生じた箇所や塩分濃度が高い箇所についてはその部位を除去し、断面修復を行い、合わせて漏水の原因となる伸縮装置の止水対策及び支承周囲の補修も同時に行うことが望ましいと考えられる。

3. ウォータージェット工法による劣化部の除去

(1) アップジェット型ロボットの開発

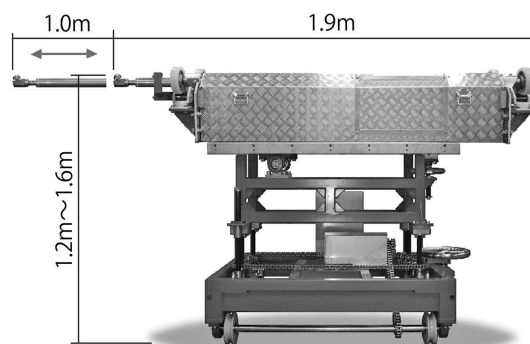
従来よりコンクリート構造物の損傷部及び劣化部の除去方法として、健全部に悪影響を与えない高度な劣化部除去工法としてウォータージェットロボットによる大規模はつりや、コンパクトなハンドガンタイプによる小規模はつりが採用されているが、いずれの方法も床版端部のような狭小空間では機材が入らないため、適用が不可能であった。床版端部の補修では主に橋台及び橋脚の桁かかり部分での作業となるが、作業高さが100 mm～200 mmで奥行きが1 m程度と極めて狭い空間での作業が条件となる。そこで、このような狭小空間でも床版の劣化部除去が可能なウォータージェットロボット（アップジェット型ロボット）の開発が必要となった。ロボットの開発においては特

に以下のポイントを目標とし、開発に着手した。

- 1) 狭小部における均一で確実な劣化部のはつり性能を有すること。
- 2) 通行車両に影響がないよう供用しながら施工が可能なこと。
- 3) 密閉空間での超高压水を使用した作業となるため、作業員の安全性を確保すること。
- 4) はつりガラや飛散等に耐えうるようシンプルな構造とすること。
- 5) 仮設足場上での作業が想定されるため、機械の軽量化を重視すること。

(2) アップジェット型ロボットの概要

アップジェット型ロボットは図—1に示すようにスライド機構を採用したノズルユニット部と本体フレームから成り、桁かかり部分の前面に設置し、ノズル先端部分が水平方向へスライドすることにより、床版と橋台の隙間に入り込み、はつり作業を行う。表—1にアップジェット型ロボットの仕様を示す。



図—1 アップジェット概要図

表—1 アップジェット型ロボットの仕様

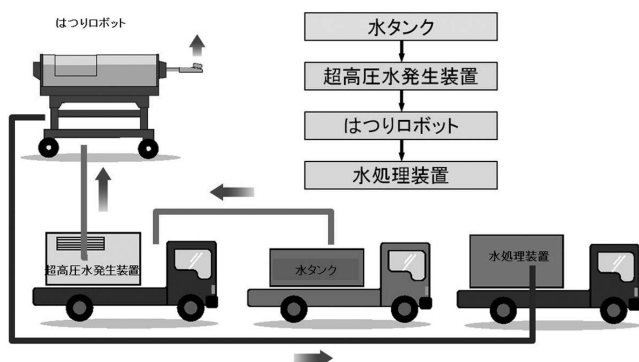
最大水圧	137.5 MPa
最大吐出量	70ℓ/min
出力	0.2 kW
最大スライド長	1,000 mm
最小施工高さ	70 mm

ロボット本体は足場内での作業を想定し、高さが1.2 m～1.6 mで調整が可能とした。ノズル付近では、はつりガラや水しぶきがかなりの勢いで飛散し、はつり装置の部品が破損しやすいため、使用部品として電動パーツ等の複雑な部材をなるべく排除し、噴射ノズルと保護カバーを軽量フレームに載せる簡素な構造となっている。このシンプルな構造は装置本体に軽量化をもたらし、スムーズな運搬及び配置計画に寄与している。はつりスピードは電子制御されているため、パ

ラメータをセッティングすると自動ではつり作業が進行するが、オペレーターが状況を確認しながら微調整できる構造とした。

(3) 配置計画

桁端部の補修作業は床版下面の端部から2 m程度の劣化の著しい箇所を対象としており、橋台や橋脚の前面に専用の作業足場を設置し、足場内にロボット本体を設置して作業を行う。機材の基幹となる超高压水発生装置及び給水タンク類は橋梁の周囲に設けた仮置きヤードに配置し、耐圧ホースによりロボットへ超高压水を供給する。このように橋梁下に機材配置することにより、道路交通に影響を及ぼすことのない作業を可能としている（図一2）。



図一2 機材配置

(4) ノズル部分と仕様

ノズルユニットは超高压水を上向きに噴射する形状となっており、この噴射ノズルが水平方向にスライド移動することにより、桁かかりの狭いスペースに入り込むことが可能となっている。ノズル先端から超高压水を噴射させ、床版端部の下面を往復することにより、劣化部を除去する。噴射ノズルのスライド距離は最大1 mでノズル先端は鉛直方向に対して左右45度（両側90度）の範囲内で回転するため鉄筋背面までの均一なはつり作業を実現している（写真一2）。



写真一2 はつり状況

(5) 安全性

はつり作業時はロボット付近にはつりガラが飛散するが、機材の設置後はリモコンによる遠隔操作のため、オペレーターの安全性が確保されている。また、超高压水を噴射中はかなり大きな反力がロボット本体に伝わるため、ロボット本体上端に衝撃を吸収する支持金具を装備し、その支持金具を床版下面と足場の8点で密着させることにより水压による揺れや転倒を防止する。

(6) 施工管理

ウォータージェット工法によるはつり施工では同等の圧力でも、施工面の強度と劣化度によりはつり速度にバラつきがあるため、現場毎に試験施工を行い、作業条件のパラメータを事前にロボットに設定する必要がある。試験施工時に確認する項目は主に水压、水量、ノズルのスライド（往復）回数、移動速度及び回転角度等であり、設計のはつり深さを確保するための基本条件を決定するものとする。本施工ではオペレーターが随時のはつり状況を確認し、微調整をしながらはつり作業を行う。アップジェット型ロボットによるはつり面は写真一3に示すように鉄筋の周囲のコンクリート劣化部が均一に除去され、非常に良好な施工面を形成する。コンクリート粉塵の発生も無いため、断面修復材を確実に付着させることができる。

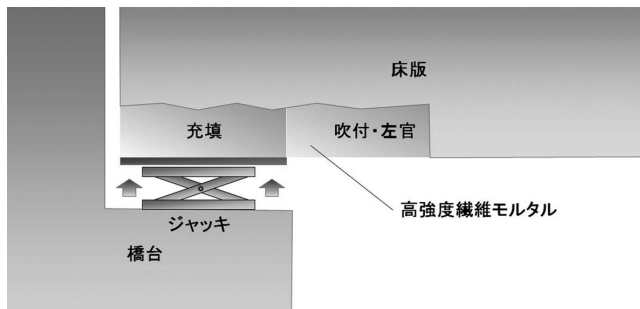


写真一3 はつり面

4. 高強度繊維モルタルによる断面修復工

(1) 断面修復工の概要

劣化部のはつり処理後は鉄筋に防錆処理材を塗布し、既設コンクリートと同等の品質の材料により速やかに断面修復をしなければならない。床版下面での上向き施工となるため、一般的には吹付施工が有効な方法であるが、はつり作業と同じく狭小空間では吹付機材を使用しての施工は困難なため、図一3に示すように桁かかりの部分は型枠を設置して奥の方まで材料

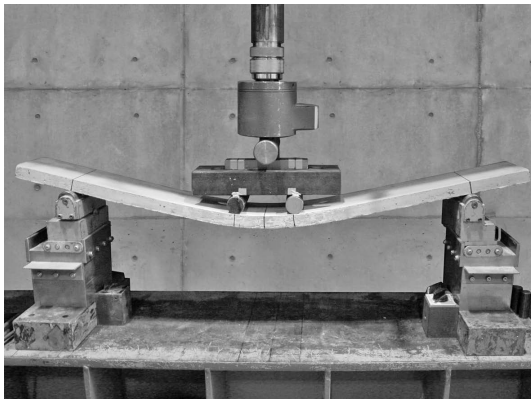


図一3 断面修復概要（ジャッキ）図

を圧送する充填工法とし、橋台前面は吹付施工を採用している。

(2) 使用材料

使用する材料は付着力の高いポリマーセメントモルタルに補強短繊維を混入した高強度繊維モルタルである。混入した短繊維の架橋効果により荷重に対して粘りを有している（写真一4）。また、ひび割れ抵抗性を大幅に改善しており、高い耐久性が期待できる材料である。施工性においては流動性及び充填性に優れ、現場の施工条件に合わせて吹付工法と充填工法に幅広く対応できる特殊な材料である《NEXCO 規格 吹付け工法による断面修復の性能照査（JHS432）適合品及び左官工法による断面修復の性能照査（JHS416）適合品》。現場配合での品質のバラつきを無くするためプレミクス化されており、安定した材料を供給する。



写真一4 高強度繊維モルタル

(3) 充填・吹付施工

桁端部の断面修復はまず桁かかり部に型枠を設置し、現場で練り混ぜた高強度繊維モルタルを圧送ポンプにより圧送しながら充填を行う（写真一5）。充填後型枠をジャッキアップすることでより充填性を高める（図一3）。桁かかり部分の充填が完了後、手前側の橋台前面は同材料を用いて吹付施工に切り替え断面の修復を行う。吹付面は左官作業により平滑に仕上げを行い完了となる（写真一6）。



写真一5 充填状況写真



写真一6 完成

5. おわりに

従来、施工が難しいとされていた橋梁桁端部補修であるが、本システムスーパーナローズペースウォータージェットシステムの技術開発により現在では橋梁の耐久性を向上させる有効な工法の一つとして確立され、実施されている。また、実施工で生じた技術的な課題を基に機材等の改良を加えながら実績を重ねている。本稿で紹介した床版端部の塩害補修工法は数ある道路メンテナンス事業のうちのほんの一例である。今後も老朽化した道路施設は増加の一途をたどり、合理的なストックマネジメントを推進していくために更なる新しい技術開発に取り組み構造物の補修技術の普及と発展に努めたい。

J C M A

【筆者紹介】

芹川 博（せりかわ ひろし）
中日本ハイウェイ・メンテナンス北陸（株）
保全事業部長



谷本 竜也（たにもと たつや）
（株）デーロス・ジャパン
企画開発本部 企画開発課
課長

