

アップジェット工法による橋梁端部のはつり及び断面修復工法

中日本高速道路(株) 金沢支社⁽¹⁾ 森山 守
中日本メンテナンス北陸(株)⁽¹⁾ 今坂 一幸
(株)デーロス・ジャパン⁽³⁾ 林 承燦
(株)デーロス・ジャパン⁽³⁾ 森井 直治

The up-jet method and the section recovery method Of the bridge end

Key Words : up-jet, water jet, concrete structure, repair, section recovery method

1. はじめに

コンクリート構造物の老朽化とともに塩害をはじめとしてアルカリ骨材反応、中性化、凍結融解などによる劣化が深刻な社会的問題となっている。構造物の劣化に伴う損傷部位もPC桁、RC床版、橋脚など広範囲に及んでいる。その中でも床版端部は凍結防止のための塩化ナトリウムの散布により、他の部位に比べその劣化速度が速く、損傷程度が顕著である。特に、寒冷地で散布される塩化ナトリウムや海からの飛来塩分による塩害では、コンクリート表面だけではなく鉄筋の背後にまで塩分が浸透している場合が多い。このような構造物の補修においては、塩分浸透深さまで、高速水噴流を利用したウォータージェット法ではつり、吹付け法により断面修復を行うのが一般的かつ有効な方法と知られている。しかし、床版端部においては施工空間が非常に狭いため既存のウォータージェット法及び吹付け法では、施工そのものが困難であり、施工を行った場合においても施工精度が低いため早期における再劣化の可能性が高い。

ここでは、施工空間の制約等により施工が困難であった床版端部の補修において、アップジェット工法によるはつり方法や繊維補強セメント複合材料の充填工法による断面修復方法について紹介する。

2. 凍結防止剤による塩害

(1)凍結防止剤による損傷状況

北陸地方では、冬期交通の安全確保のため凍結防止剤(主成分NaCl)が散布される(写真-1)。けた端部のコンクリート部材は、凍結防止剤を含む路面水の一部が伸縮装置部から漏水し湿潤状態になり塩分浸透の影響を受け、鉄筋腐食が先行して塩害損傷を発生する。(写真-2と写真-3)

RC中空床版橋の桁端部に浸透した塩分のコンクリート表面部(0~10mm)の塩分濃度(塩化物イオン濃度として)分布の調査例を解説図-1に示す。コンクリート表面部の塩分濃度の大きい値を示す範囲は、漏水範囲とほぼ一致している。塩分浸透の影響は、けた端部



写真-1 北陸地方の冬期積雪状況

(1) Mamoru Moriyama (Central Nippon Expressway Company Limited Kanazawa Branch, Kanazawa 920-0365, Japan)

(2) Kazuyuki Imasaka (Central Nippon Highway Maintenance Hokuriku Co., Ltd., Kanazawa 920-0395, Japan)

(3) Seung-Chan Lim and Naoharu Morii (Deros-Japan co., Ltd., Kanazawa 921-8061, Japan)

から 2m 程度であるが、部分的に最急勾配の方向に 2m を越えて影響している。端部から離れた箇所での塩分浸透は僅かである。

北陸地方の RC 中空床版橋 50 橋でのけた端部の縦断勾配と外観調査による漏水範囲は、けた端部 2m 以内がほとんどであり、その範囲が塩分の影響を受けていると推察される。従って、補修範囲は、2m を基本としているが、橋梁によっては、けた端部より 2m を越えて損傷が発生している箇所がある。この場合は、けた端部より 2m を越えた損傷発生範囲についても補修を実施する必要があると提案されている。

(2) 適用する補修工法

けた端部の補修工法は、電気防食工法、防錆剤混入断面修復工法、防錆剤混入吹き付け工法、表面処理工法、鉄筋補強工法、水切り設置工により実施する。それぞれの工法の適用範囲は、次のとおりとする。

- (1) 電気防食工法：主版部の損傷の大きい箇所およびその周辺で鉄筋腐食が想定される範囲を対象とする。
- (2) 防錆剤混入断面修復工法(吹き付け工法)：主版部に単独にある損傷の小さい箇所、床版張出し部での損傷箇所並びに床版張出し部で鉄筋腐食が想定される範囲を対象とする
- (3) 表面処理工法：電気防食適用範囲外のけた端部 2m 範囲を対象とする。
- (4) 鉄筋補強工法：鉄筋断面減少が 20% 程度を越える鉄筋について、断面減少量に見合う鉄筋径を用いて補強を実施する。
- (5) 水切り設置工：けた端部の主版および張り出し部に水切りを設置することを基本とする。

3. アップジェット工法

(1) 概要

従来のウォータージェットによるはつりは、比較的に広い区間においてはロボットによるはつり作業か、足場上のような狭い区間においてはハンドガン形式によるはつり作業が一般的であった。しかし、床版端部のような狭小空間(開口幅が 10cm 程度、奥行き長さが 1m 程度)においては、従来系のロボットやハンドガン形式のウォータージェット工法でははつり作業が困難であった。アップジェット工法は、床版端部のような狭小空間でのはつり作業の目的に開発したアップジェット型ウォータージェット工法である。



写真-2 けた端部の損傷状況

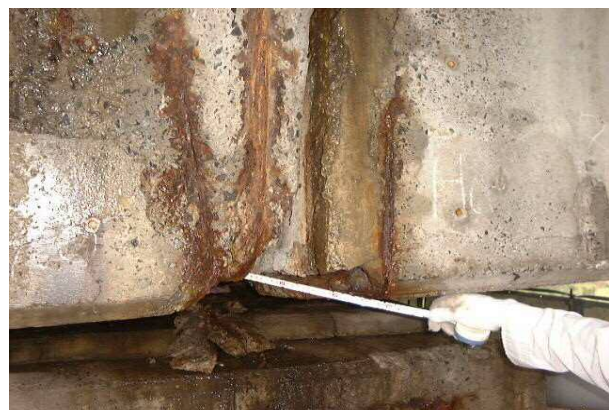


写真-3 漏水に伴うけた端部の損傷状況

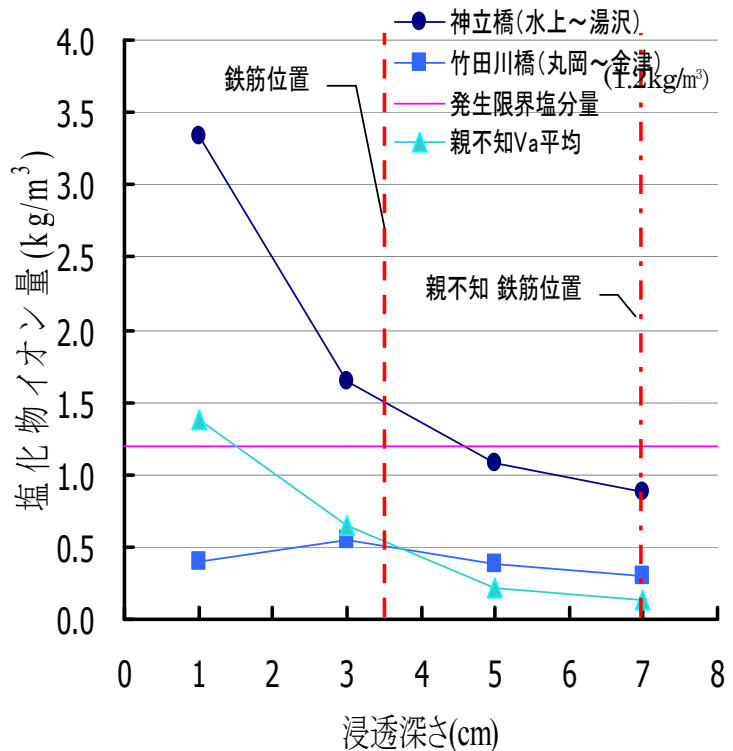


図-1 塩化物イオン量と浸透深さ

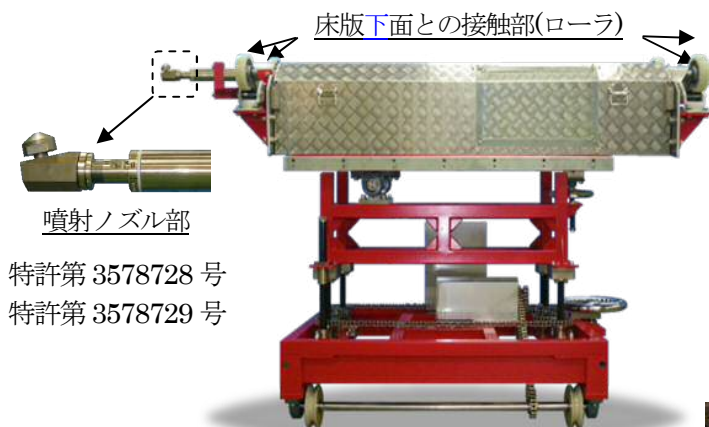


図-2 アップジェット型WJロボット概要

(2)アップジェット型機械の仕組み

アップジェット型ウォータージェットロボットの概要を図-2と表-1に示す。アップジェット工法の特徴を以下に示す。

①噴射ノズルがスライド機構である(最大スライド長さは1m程度)。

アップジェットロボットの噴射ノズルをスライド機構にすることにより、従来工法では困難であった狭小空間でののはつり作業を可能にしたのはつり工法である。噴射ノズルの構造は、100MPa以上の超高压水の噴射時においても、ノズルのたわみやブレ等の現象を無くすために噴射ノズルの構造を内部管と外部管の二重構造を設けた。噴射ノズルの最大スライド長さは1m程度である。

②噴射ノズル先端は、約90度の範囲内で左右回転(右:45°C、左45°C)が可能な機構である。

鉄筋の裏側のコンクリートをはつる場合、斜め方向から超高压水を噴射してのはつり処理を行う必要がある。アップジェットロボットの噴射ノズル先端は、約90度の範囲内で左右回転(右:45°C、左45°C)が可能な機構である。噴射ノズル先端部を常回転させながら、噴射ノズルが前後にスライドすることではつり作業を行うため、斜め方向への超高压水の噴射が可能となり、鉄筋の裏側のコンクリートのはつりも有効である。

③高さ調整装置を設けることにより、アップジェットロボット本体の高さは1.2~1.6mの間で、約0.4m程度の高さ調整が可能な構造である。

足場上での作業においても高さ調整が可能であるため、足場の高さ等の制約が少ない。

④上下加圧固定状況で作業を行うため、はつり作業時の振動等によるロボット本体の転倒等の危険性が無い。

ロボット本体の上部は、四つの角付近において下部にスプリング支持型のローラを設け、このローラがスプリングの圧力により床版下面に固定させた状況ではつり作業が行われる。

表-1 アップジェット型WJロボットの機械規格

水圧	137.5MPa
ノズル吐出量	70 $\frac{\text{リットル}}{\text{分}}$
出力	0.2KW
電圧	200V
電流	1.3A
重量	400kg



(a) パス回数 2 回



(b) パス回数 4 回

写真-4 パス回数とはつり状況



写真-5 はつり完了後の凹凸状況



写真-6 はつり状況

ロボットの自重やスプリングの圧力により、底面と床版下面に固定させた上下加圧固定機構であるため、自重による転倒防止機構に比べ軽量であり、転倒等においてもより優れた安全性が確保できる。

⑤支持部の機構がローラであるため左右の移動が可能である。

ロボットは、簡易型レール上に設置するとともに下部のレールと上部の床版下面と接する部分の機構がともにローラであるため左右の移動が有効である。また、上部の床版下面との支持機構がスプリングによる加圧支持であるため、加圧された状況においても左右の移動が可能である。

⑤機械設置後はリモコンによる遠隔操作のため、安全な施工が可能である。

(3)施工方法及び状況

アップジェット工法によるはつり作業は、試験施工による作業条件等の検討後、本施工を行う必要がある。試験施工時に考慮する項目は、水圧、水量、噴射ノズルのスライド速度、噴射ノズル先端の回転角度及びパスの回数等が挙げられる。

機械設置状況写真、試験施工による各パス回数とはつり状況写真、およびはつり完了後の写真を写真4～6に示す。写真に示されたように、パス回数が多いほどはつり深さが深くなること分かる。また、はつり完了後においても、適度な凹凸の形成が無く、平滑なはつり面が得られること分かる。

なお、従来系のロボットやハンドガン形式のウォータージェット工法に比べ工期短縮が期待できるとともに施工性能の確保により経済的で信頼性が高い工法であることが大きなメリットである。

4. 断面修復工法

(1)概要

コンクリート構造物の劣化部のはつり処理後の断面修復は、吹付けによる断面修復が有効であることが知られている。しかし、床版端部のような狭小空間(開口幅が10cm程度、奥行き長さが1m程度)においては、吹付けならびに従来からの左官工法による断面修復は困難である。以上より、本論文では、床版端部のような狭小空間での断面修復に最も有効な高強度繊維モルタルによる充填工法による断面修復方法について紹介する。

表-2 高強度繊維モルタルの性能

項目	性能
NEXCOの吹付け工法&産官工法の断面修復規格	適合
圧縮強度	58.2MPa
フロー値	127mm

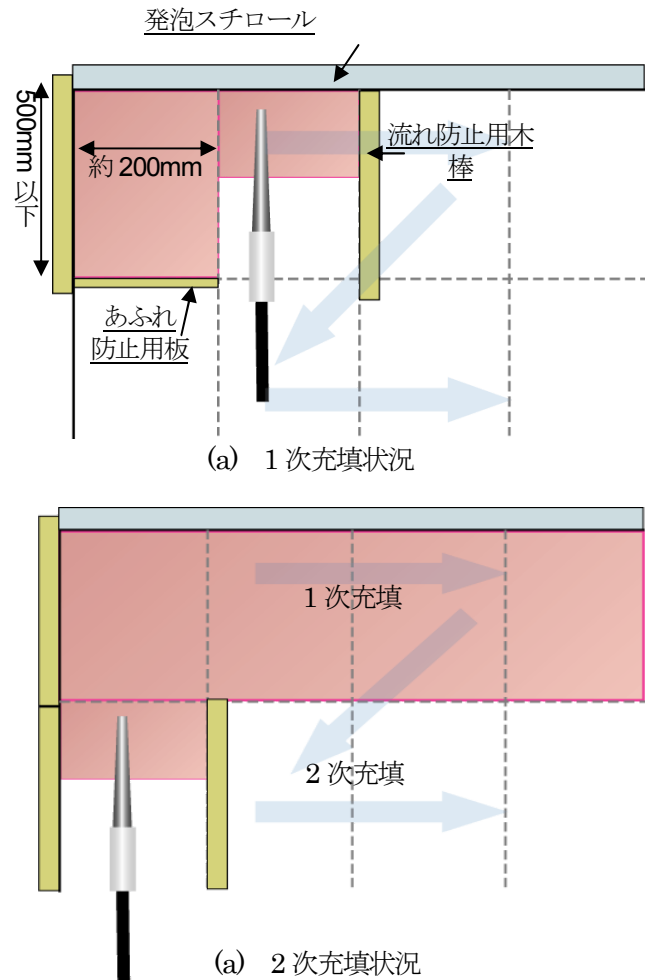


図-3 充填工法による断面修復概要平面図

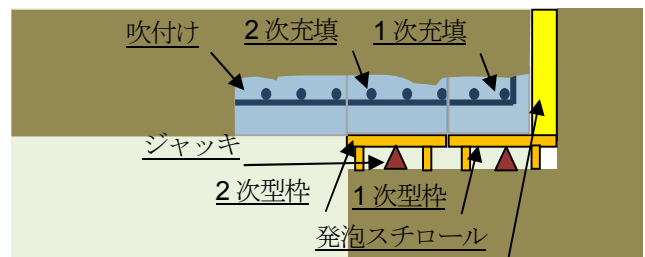


図-4 充填工法による断面修復断面図

(2) 断面修復材

充填工法に用いる断面修復材料の高強度繊維モルタルの物性を表-2に示す。高強度繊維モルタルは、ポリマーセメントモルタルに約1 vol%のビニロン短繊維を混入することにより、ひび割れ抵抗性を大幅に改善した材料である。

高強度繊維モルタルは、吹付け工法及び左官工法によるNEXCOの断面修復規格に適合品であるため、充填工法に加え吹付け及び左官工法による断面修復が可能な材料である。

(3) 充填工法による施工方法

アップジェット工法によるはつり処理後、充填工法による断面修復を行うためには床版端部の先端と底面には型枠を設置する必要がある。床版端部の底面においては、充填作業完了後型枠を除去することが可能であるため、木材型枠を用いた。しかし、床版端部の先端部においては充填作業完了後型枠の除去が困難であり、木製や鋼製材は床版の伸縮を妨害する可能性が高いため、発泡スチロールを埋め殺し型枠として用いた(図-3)。床版端部は狭小空間であるため、型枠の深さが深くなるほど充填生の確認が難しくなる。これより、型枠の深さは500mm以下とし、1次充填を行った後、再び2次充填を行う方法により充填作業を行う。

充填作業は型枠の片端部から約幅200mm離れた箇所へ充填材の横方向への流れ防止のため、簡易的な木製棒(流れ防止用木棒)を設置する(図-3, 4)。充填材の圧送ガンの先端部は型枠の奥部に置き、奥部から充填を行い、圧送圧力により充填材が型枠前方に追い出される方法により充填作業を行う。充填材が型枠前面にあふれ出す時点で、幅約200mmの板(あふれ防止用板)を用いて充填材を抑えながら型枠前面に釘等により固定

させる。その後、充填ガンを緩やかに抜き、再び充填ガンを横方向に移動させ幅200mmの範囲を以上と同じ方法により充填作業を行う。これらの作業を繰り返し、1次充填を行った後、再び2次型枠を設置し2次充填を行う。また、充填完了後の充填材の自重による沈下を防ぐため型枠の底面にはジャッキを設ける。(特許出願中)2次充填完了後、吹付け施工が可能である橋台の外側の断面修復箇所は吹付け工法により断面修復を行う。写真-7~10に現場における充填材の練り混ぜ状況、充填作業状況、吹付け状況及び断面修復完了状況を示す。



写真-7 充填材の練り混ぜ状況



写真-8 1次&2次充填作業状況



写真-9 吹付け状況



写真-10 断面修復完了状況



写真-11 充填後の付着試験状況

(4) 充填状況確認試験

床版端部のように充填部の前面が開放された条件で充填作業を行う場合、充填材の流動性が高いと流れやすくなるため充填が困難である。高強度繊維モルタルの場合、スランプ0cm(モルタルテーブルフロー試験によるフロー値：125mm程度)で自重による変形や流れは無いが、外力や振動を与えないと変形や流れが発生する材料である。

写真-11に模擬充填確認試験供試体の付着試験後の状況写真を示す。付着強度は $2.4\text{N}/\text{mm}^2$ 程度で、破断面に粗骨材が確認されたので破壊箇所はコンクリート母材であることが推定できる。また、付着試験後供試体表面には、未充填箇所や空隙は確認されなかった。

5. まとめ

床版端部のような狭小空間における、はつり工法であるアップジェット工法及び断面修復工法である高強度繊維モルタルを用いた充填工法について以下にまとめる。

- (1) アップジェット工法の開発により、床版端部のような狭小空間でののはつり作業が可能になった。また、アップジェット工法によるはつり面は平滑なはつり面が得られるとともに工期短縮により経済的で施工性に優れていることが現場施工等により確認されている。
- (2) 高強度繊維モルタルを用いた充填工法により断面修復を行うことにより、床版端部のような狭小空間においても施工性が確保できるとともにコンクリート母材との一体性が十分に期待できることが、現場施工や試験施工により確認出来た。

[参考文献]

- 1) ウォータージェット施工マニュアル，日本道路公団 技術部構造技術課，平成12年6月
- 2) 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，Vol38，No.8，pp.40～54（2000.8）