

空洞やジャンカを生じた橋梁の断面修復

谷 倉 泉・設 楽 和 久

近年、多くの橋梁架設現場において施工不良等による変状が見られるようになった。その原因としては、コスト縮減に伴う省力化や省人化が品質確保に必要な施工管理を難しくしていること、経済性を追求した断面設計や無理な配筋での設計・施工を余儀なくされていることなどが指摘されている。

本研究では、PC 箱桁のシースや鉄筋が密に配置された断面の下床版に、空洞やジャンカ等の変状が生じた場合を想定し、合理的かつ耐久性の高い補修方法を見出すことを目的とし、ウォータージェットを用いてシースを傷めずに変状部をはつる技術や、シースより上部の深い空洞を吹付けモルタルや真空充填技術を用いて確実に補修する新しい断面修復工法に関する試験、研究成果について紹介する。

キーワード：橋梁、コンクリート構造物、変状、断面修復、ウォータージェット、吹付け、グラウト真空注入

1. はじめに

最近、米国や中国での橋の崩壊事故に伴って多くの人命が失われた。公共の構造物として橋の果たす役割は非常に大きく、人々が安心して利用できる安全なものなくてはならない。しかしながら、高度成長期をピークとして大量にストックされているこれらの社会資本は、年々高齢化が進んでおり、塩害などによる既設構造物の劣化も顕在化している。加えて橋の維持管理や新たな建設に対する公共投資は大幅に削減される傾向にある。このため、橋の建設費削減に向けて様々な工夫、技術開発が求められる一方で、施工上余裕のない断面設計や計画が行われ、施工に十分な配慮が行き届かずに施工不良を生じる可能性が一段と高まっているのが現状である。

土木学会「施工性能にもとづくコンクリートの配合

設計・施工指針（案）」には、図—1のようなシース下面の不具合例が紹介されている¹⁾。また、主桁下縁は塩害などによる劣化も生じやすく、シースの裏面に塩化物イオンが浸透した場合、鋼材が密なためにはつりが困難な部位でもある。

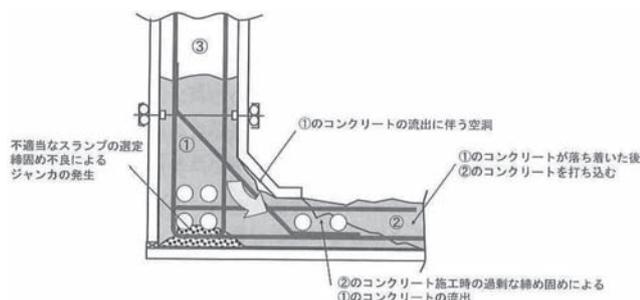
このようなことから、本研究では、図—1に示すようなPC箱桁を例にして、シースや鉄筋が密に配置された断面の下床版に空洞やジャンカ等の変状が生じた場合を想定し、このようなコンクリート構造物に対して安全で確実、耐久性のある補修方法を見出すことを目的として実施した、次の

- ①ウォータージェット工法による変状部の除去、
 - ②ポリマーセメントモルタル(PCM)を用いた吹付け、
 - ③空洞の充填のためのグラウト注入
- による断面修復工法についての試験、研究成果について紹介する。

2. 断面修復部の要求性能と補修工法

変状が発生したPC桁を断面修復する際に求められる要求性能としては、鋼材(PC鋼材、鉄筋)を腐食から保護すること、断面修復部の性能が既設コンクリート以上であることが挙げられ、具体的な性能は次のようなものである。

- ①変状部を除去し、シースや鉄筋背面等に空隙を残さずに断面修復できること。



図—1 空洞やジャンカが生じる恐れのある箇所

- ②断面修復部が躯体コンクリートと良好な付着性状を示し、一体化すること。
- ③断面修復部およびコンクリート躯体にひび割れを生じないこと。
- ④腐食因子（塩化物イオン、二酸化炭素、酸素、水等）の侵入防止性能が躯体コンクリート以上であること。
- ⑤躯体コンクリートと同等な強度特性を有すること。

これらの要求性能を満足するための補修工法の概念を図一2に示す。図一2の断面は図一1の下床版のケーブルを主桁部に配置することで、さらに過密配置にしたものである。はつりにはウォータージェット工法²⁾を用い、シースの損傷防止を図ることとした。また、塩害等でシース裏面をはつる必要性が生じた場合には、シース間の狭隘部からシース裏面をはつるものとした。はつり後の下面からの上向きの断面修復には、型枠を使わずに急速施工が可能な吹付け工法^{3), 4), 5)}を、それより深い鉄筋背面やシース背面の修復については、空洞への充填性に優れた材料を用いた注入工法を用いるものとした。

試験体は図一2のような過密配筋 PC 桁を想定し、写真一1と写真一2に示すような実物大試験体（高さ1.2m、奥行き3.1m、ウェブ幅0.47m）を作製した。試験完了後の試験体はコンクリートカッターにより切断し、断面修復部の充填状況を確認した。施工試験体の仕様を表一1に示す。



写真一2 試験体下面の空洞

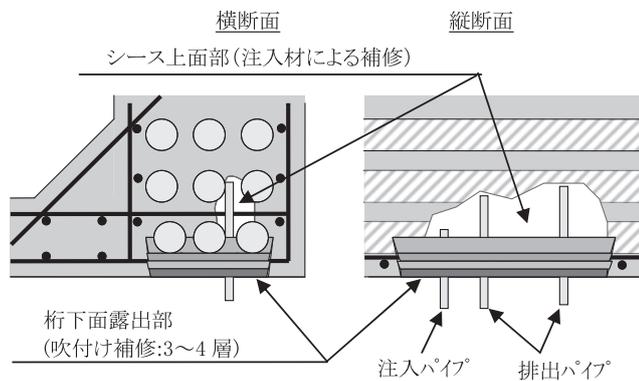
表一1 施工試験体の仕様

項目		仕様
コンクリート	セメントの種類	普通ポルトランドセメント
	粗骨材の最大寸法	25 mm
	呼び強度	40 N/mm ²
鉄筋		SD295A
		軸方向筋 D16, D19
		スラップ筋 D22
シース（鋼製）		φ 73 mm
グラウト	セメントの種類	普通ポルトランドセメント
	混和剤	高粘性型
	圧縮強度	30N/mm ² 以上 (28 日材齢の規格値)

3. ウォータージェットによるはつり試験

はつりに求められる要求性能は、はつる際に鉄筋やグラウト後のシースを傷めないこと、過大な塩化物イオンが浸透した部分や脆弱部を確実に除去できること、コンクリート表面に有害なヘアクラック等を生じないこと等である。また、ここではさらに施工後の安全性や耐久性を高める目的で、吹付け施工する断面修復材がはく落しにくいように、逆台形にはつり取る性能も確認することとした。

ウォータージェットの施工方法は、写真一3と写真一4に示すように機動性に富むハンドガン（直射1穴ノズル）を使用し、シースを傷めないように巻き重ねの方向（めくれにくい方向）に圧力150～200 MPa、



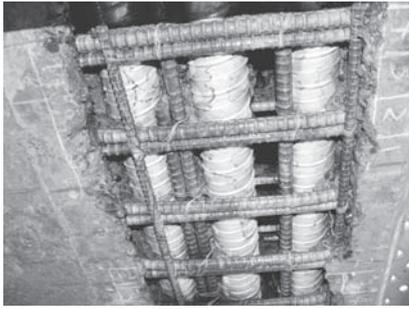
図一2 補修方法の概念



写真一1 空洞やジャンカを再現した実物大試験体



写真一3 ウォータージェットによる脆弱部のはつり状況



写真一四 はつり後の試験体下面



写真一五 吹付けによる断面修復の状況

表一 二 ハンドガンによるウォータージェットの照射条件と仕様

項目	仕様
吐出圧力 (MPa)	150 ~ 200
吐出水量 (リットル / 分)	15 ~ 18
スタンドオフ (mm)	100 ~ 200
照射角度 (°)	45 ~ 90
ノズル径 (mm)	0.9
ノズル形状	1 穴ストレートノズル

表一 三 高圧ポンプの仕様

項目	仕様
最高使用圧力 (MPa)	245
最大吐出水量 (リットル / 分)	20
ポンプ形式	3 連プランジャーポンプ



写真一六 吹付け用のモルタルポンプとミキサ

流量 15 ~ 18 リットル / 分程度で照射させた。ハンドガンによるウォータージェットの照射条件と仕様を表一 二 に、使用した高圧ポンプの仕様を表一 三 に示す。

試験の結果、脆弱部はムダなく効率のかつ完全に除去でき、既設コンクリートは逆台形の形状にはつることができた。また、巻き重ね方向に向かって照射し、同一点に長時間集中照射しなければ、シースを傷めずに補修対象部位のみ除去が可能となることも確認できた。また、シース裏面についてもシース間の狭隘部からはつり取れることを確認できた。ただし、はつり施工中は水蒸気によって視界が十分確保しにくい状況も見受けられたため、適宜はつり位置を確認し、はつり過ぎやシースの損傷に留意しながら施工する必要がある。

4. 吹付けによる断面修復試験

吹付けによる断面修復は、シース下面に対して実施した。吹付けによる断面修復に求められる要求性能は、はつり後の断面修復部を鉄筋背面まで充填し、かつ隙間なく密実に充填し、打継ぎ界面等ではく離せず十分な打継目付着強度を有し、修復部に有害なひび割れを生じないことである。

吹付けによる断面修復の施工方法は、写真一 五 と写真一 六 に示すように、一般のコンクリートよりも

耐久性に優れ、施工実績の多いポリマーセメントモルタル (PCM) による湿式吹付け工法を採用した。なお、この PCM は NEXCO 基準 JHS432 に従って当研究所が性能を証明した材料を用いることとした。

シースより深い位置は注入工法で補修するため、シース背面のはつりを行ったシース間は、吹付けに先立って金網を設置し養生した。吹付け施工は床版下面に対する上向きの吹付けとなるため、自重によるはく離やだれ等が生じないように、過去の経験をもとにして、1 層当たりの吹付け厚さを 3 cm 程度とし、修復厚さ 8 ~ 10 cm に対し 3 ~ 4 層で施工した。この際、シース裏面の断面修復に使用する注入用・排気用パイプを予め数本挿入し固定した。

試験の結果、はく離や有害なひび割れを生じることなく、吹付けによる断面修復が可能であることが確認できた。

5. 注入による深部の断面修復試験

注入による断面修復に求められる要求性能は、主にシース上部に形成した空洞を充填すること、吹付けによる断面修復部に過剰な圧力を与えることによって、はく落を生じさせないことである。

深部の断面修復は空洞部に挿入したパイプから注入を開始し、エアー抜き用のパイプから注入材が排出された時点で終了とした。注入による断面修復材料は、充填性に優れるセメント系充填材とし、無収縮セメン

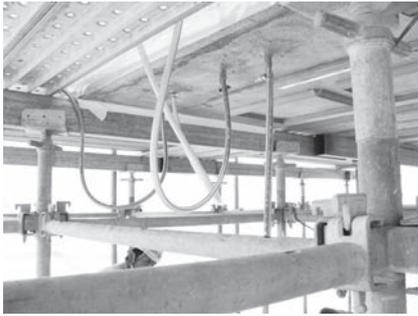


写真-7 真空吸引法による深部への注入状況
注入用パイプ（φ12mm）と排出用パイプ（φ9mm）の設置状況



写真-8 真空グラウトポンプ

ト・超微粒子セメントのスラリーを使用した。注入圧力は0.5 MPa以下とし、写真-7と写真-8に示すように真空吸引法（1気圧に対して最大で90%減圧、平均80%程度減圧）も試行した。

試験では、注入したセメントスラリーが排出パイプからオーバーフローすることで、注入完了とした。この結果、注入孔1箇所あたりの空洞の体積約0.00275 m³に対する注入速度は概ね2分であった。すなわち注入速度は約0.083 m³/h程度と推定された。さらに、対策実施上の真空吸引法の有効性も確認できた。

6. 充填性および強度試験

充填性の確認は、試験体を切断して内部を目視確認する方法とし、断面修復材と躯体コンクリートとの界面および鉄筋周辺に着目して行った。また、強度試験では、躯体コンクリートと同等の強度、ならびに新旧コンクリートの一体化に必要な付着性状を有しているかどうかを確認する目的で、圧縮強度、曲げ強度、付着強度を確認する試験を実施した。

断面修復部の充填状況は、写真-9に示す注入高さの最も高い位置、およびその前後の断面を切断して確認した。その結果、着目したシース下部の吹付けによるモルタル充填部、およびシース上部の注入材による充填部において、シース回りや鉄筋回りに有害な空洞はほとんど生じていなかった。ただし、変状部の頂

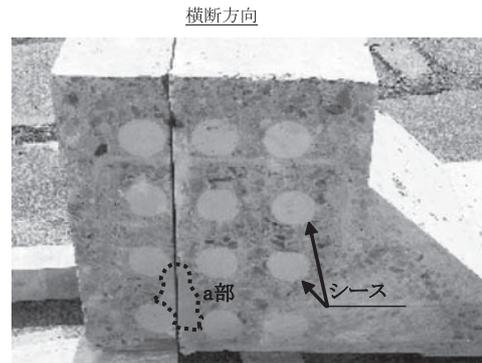


写真-9 注入材の充填状況（a部が注入箇所）
（無収縮セメントスラリータイプ、真空注入）

点までの注入に関しては、真空注入では空隙がほとんどなく充填されていたが、加圧注入では排出パイプ上部付近に2～4cm程度の空隙が見られた。この結果から、確実な注入施工を行うには真空吸引による注入がより適切であることを明らかとすることができた。

また、強度試験の結果、断面修復材は躯体コンクリートと同等の強度を有し、新旧コンクリート一体化の判断基準となる打継ぎ界面の付着強度1.5 N/mm²が確保されていることを確認した。

7. まとめ

過密配筋状態のPC構造物を模した試験体に対して断面修復試験を行った結果、以下に述べるように、要求性能を十分満足する成果が得られた。

- (1) ハンドガンを用いたウォータージェット工法の採用により、シースを傷つけないはつり、シース間狭隘部からのシース裏面のはつり、桁側面下端の逆台形状のはつりが可能となった。
- (2) はつり後のPC桁下面は、PCMを用いた吹付け工法の採用により、ひび割れやはく落を生じずに、確実に断面修復を行うことができた。
- (3) シースの裏面の空洞部は、真空吸引法を用いた注入により、確実に充填することができた。
- (4) 上述した各補修技術を、構造物の断面性状や変状に合わせて適切に組合わせて適用することにより、空洞部を安全、確実に断面修復できたことを試験体の切断、解体により確認できた。

8. おわりに

本研究はPC桁を模して行ったが、過密配筋となりやすいRC梁やその部材接合部付近などで生じた変状に対する補修においても応用が可能と考えられる。た

だし、橋の耐荷性能に影響を及ぼすような大規模な変状を生じている場合には、別途検討が必要と思われる。

今後、本研究成果を実橋に適用することを想定した場合には、工期や施工時期（冬期の気温の影響）、施工環境等を踏まえ、構造物を傷めることがないように、また周辺住民の住環境へも細心の注意を払って施工を行う必要がある。これらの施工後は、第三者被害防止と予防保全の目的で、表面被覆や保護塗装等を行うことも考えられ、将来の維持管理計画と合わせて検討することが重要である。

社会資本ストックとしてのコンクリート構造物は、その量が膨大であることから、今後、より適切で合理的な維持管理が求められる。同時に、構造物の新設においても、初期点検結果に基づいた予防保全対策が重要となっていくことが予測されることから、補修関連技術の重要性はますます高まるものと考えられる。当研究所においては、コスト削減をはじめ、多様化、高度化する多くのニーズに柔軟に対応し、さらなる技術革新に貢献するため、より一層の努力を重ねていきたいと考えている。

JCM A

《参考文献》

- 1) 土木学会：施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針(案), 2007.3
- 2) 谷倉, 設楽, 室井, 野島：ウォータージェット工法を利用したコンクリート構造物の補修技術に関する研究, 噴流工学 Vol.22, No.1, pp.21-32, 2005.2
- 3) 土木学会：吹付けコンクリート指針(案) [補修・補強編], 2005.9
- 4) Muroi, Shito, Yokoyama, Tanikura, Takuwa, Izumo : Study on required performance and its verification of repair materials for concrete structures, ICPIC'04, 11th International Congress on Polymers in Concrete 2nd-4th June, 2004 at BAM, Berlin, Germany
- 5) Shito, Kamihigashi, Yokoyama, Shidara, Miura, Uchida : Experimental study on test condition of performance test for sprayed mortar, ICPIC'04, 11th International Congress on Polymers in Concrete 2nd-4th June, 2004 at BAM, Berlin, Germany

[筆者紹介]

谷倉 泉 (たにくら いずみ)
 (株)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所
 研究第二部
 部長



設楽 和久 (しだら かずひさ)
 (株)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所
 研究第二部
 技術課長



平成 21 年度版 建設機械等損料表

■内 容

- ・ 国土交通省制定「建設機械等損料算定表」に基づいて編集
- ・ 損料積算例や損料表の構成等をわかりやすく解説
- ・ 機械経費・機械損料に関係する通達類を掲載
- ・ 各機械の燃料（電力）消費量を掲載
- ・ 主な機械の概要と特徴を写真・図入りで解説
- ・ 主な機械には「日本建設機械要覧（当協会発行）」の関連ページを掲載

■ B5判 約 730 ページ

■ 一般価格
7,700 円（本体 7,334 円）■ 会員価格（官公庁・学校関係者）
6,600 円（本体 6,286 円）■ 送料 沖縄県以外 600 円
沖縄県 450 円（但し県内に限る）
（複数お申込みの場合の送料は別途考慮）

社団法人 日本建設機械化協会

〒 105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>