

CMI 報告

劣化や不具合を生じた PC 橋に
対する断面修復工法の研究

設楽 和久・谷倉 泉

1. はじめに

最近、米国や中国で橋の崩壊事故に伴って多くの人命が失われている。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ではなくてはならない。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鋼材配置が行われ、施工に十分な配慮が行き届かず施工不良を生じる可能性が一段と高くな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、鋼材が密なためはつりが

困難な部位でもある。そこで筆者らは、このような PC 橋の初期欠陥部や劣化部に対する断面修復工法について研究した。

本稿ではこれらの試験結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

想定した 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。
- 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を概念を図-2に示す。図-2の断面は図-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³⁻⁵⁾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る材料を用いた注入工法を用いるものとした。

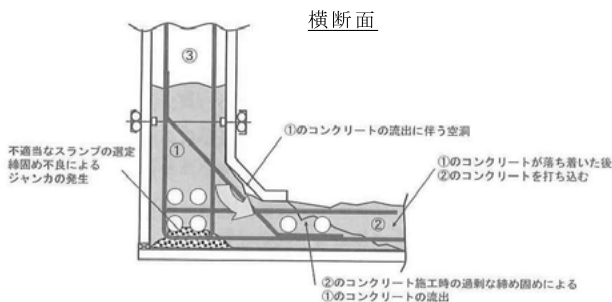


図-1 空洞やジャンカが生じる恐れのある箇所

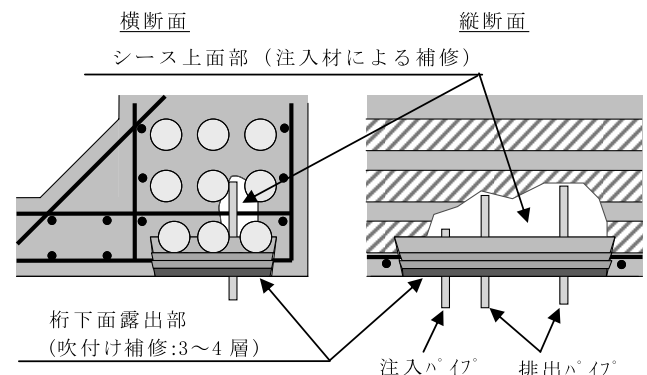


図-2 補修方法の概念

試験体は図—2のような過密配筋 PC 桁を想定し写真—1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。



試験体全景

試験体下面の空洞

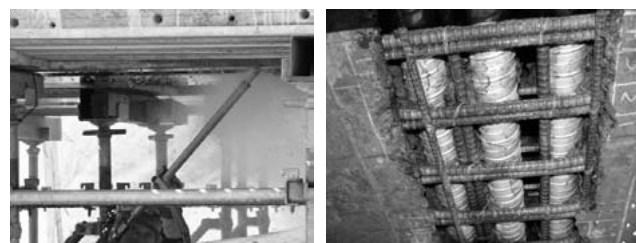
写真—1 劣化・不具合を模した実物大試験体

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—2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，圧力150～200MPa，流量13リットル／分程度で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）に照射させた。

試験の結果，脆弱部はムダなく効率的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。



ウォータージェット照射状況

はつり後の試験体下面

写真—2 ハンドガンによる脆弱部のはつり状況

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，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3cm程度とし，修復厚さ8～10cm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，エア抜き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0.5MPa以下とし，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0.00275m³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0.083m³/h程度と推定された。さらに，真空吸引法の有効性も確認できた。

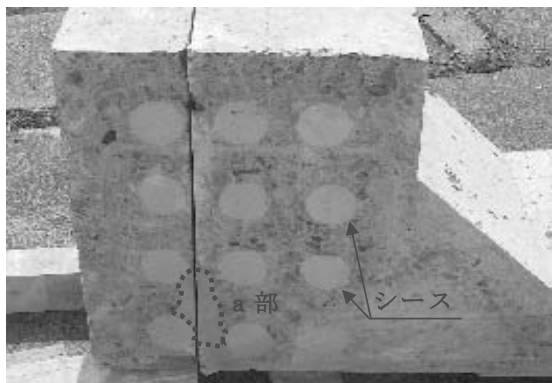
6. 充填性および強度試験

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—3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2～4 cm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注入がより確実であることが明らかとなった。

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/mm^2 が確保されていた。

横断方向



写真—3 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)

7. おわりに

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、以下のように要求性能を満足する成果が得られた。

- 1) ウォータージェットにより、シースを傷つけずにはつりを行うことができ、さらにシース間の狭隘部から、シースの裏面をはつることもできた。
- 2) はつり後のPC桁下面は、吹付け工法による断面修復が可能であった。
- 3) シースの裏面まではつりを行った場合であっても、注入工法による補修が可能であった。

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の補修に対し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、適切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予想される。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。

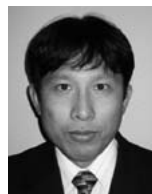
JCMA

《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，**22** [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, ICPC'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, ICPC'04, 11th International Congress on Polymers in Concrete 2nd-4th June, 2004 at BAM, Berlin, Germany

【筆者紹介】

設楽 和久 (しだら かずひさ)
社団法人 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



谷倉 泉 (たにくら いずみ)
社団法人 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

