

# PC 橋の改造技術に関する研究

## — その 7 : プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き [断面修復工法] (案) の概要 —

竹内 祐樹 \*1 · 渡辺 博志 \*2 · 藤田 学 \*3 · 手塚 正道 \*4

### 1. はじめに

コンクリート構造物には種々の劣化要因があるが、とくにコンクリート橋上部構造の維持管理においては、塩害による鋼材の腐食が大きな問題となっている。塩害とは、硬化コンクリート中に多量の塩化物イオンが含まれることによって、コンクリートの鋼材保護性能が損なわれ、コンクリート中に埋め込まれた鋼材が腐食するものである。コンクリート中に含まれる塩化物イオンには、練混ぜ時に材料に含まれていたものと、構造物の外部から侵入したものがあるが、とくに海岸線付近に位置するコンクリート橋において、海から飛来した塩分により鋼材の腐食が生じた事例が多く見られている。

塩害を受けたコンクリート構造物に対する補修方法には、さまざまな提案があるが、独立行政法人土木研究所と社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会は、平成 15 ～ 17 年の間、「PC 橋の改造技術に関する共同研究」を実施し、特に断面修復によって、補修する場合の方法について検討してきた。断面修復に着目したのは、プレストレストコンクリートの場合、塩分を含むコンクリートをはつることによって、プレストレス力として導入された応力の状態が変化すること、一方、このような応力状態の変化を考慮してプレストレストコンクリート構造物の補修を行う手法が、現状では確立されていないことによるためである。

当委員会では、これまでの共同研究で得られた知見やその後の調査・研究で得られた知見を、プレストレストコンクリート構造物を断面修復によって補修する際の手引き(案)としてとりまとめ、発刊する予定である。本稿では、手引き(案)の概要を紹介する。

### 2. 手引き(案)の概要

#### 2.1 手引き(案)の構成

断面修復工法によるコンクリート構造物の補修は、これまでも多くの適用例があり、比較的一般に用いられるものである。しかし、補修を実施した後の耐久性について十分な知見が得られていないとともに多種多様な補修材料の選定が難しいこと、また施工方法に対する配慮事項も多いことなど、確実に安定した補修効果を得るために考慮すべき点は少なくない。そこで、プレストレストコンクリート構造物をより長く使うための補修を行うにあたり、とくに

留意すべき事項を「手引き(案)」としてとりまとめた。

本手引き(案)の全体構成を図-1に示す。手引き(案)は、全5章で構成されている。「第1章 総則」では、一般、用語の定義、「第2章 補修設計及び施工計画」では、一般、補修範囲の設定、補強の必要性及び補強方法の検討、補修材料・工法の選定、他の補修工法との併用、「第3章 施工」では、一般、断面はつり、断面修復、外ケーブル工法、品質管理計画、「第4章 補修後の品質確認」では補修後の品質確認方法、「第5章 記録」では、標準的な記録方法について記述している。また、前述したように、断面修復工法によるコンクリート構造物の補修は、確実に安定し

プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き [断面修復工法] (案)	
第1章	総則
1.1	一般
1.2	本手引きで用いる用語
第2章	補修設計及び施工計画
2.1	一般
2.2	補修範囲の設定
2.3	補強の必要性及び補強方法の検討
2.3.1	一般
2.3.2	外ケーブル工法によるプレストレスの再導入
2.4	補修材料・工法の選定
2.4.1	一般
2.4.2	断面修復材の物理的性質
2.4.3	断面修復材の鋼材保護性能
2.4.4	断面修復材の電気的性質
2.4.5	断面修復材のひび割れ抵抗性
2.4.6	断面修復材のはく離抵抗性
2.4.7	断面修復材の施工性能
2.5	他の補修工法との併用
第3章	施工
3.1	一般
3.2	断面はつり
3.3	断面修復
3.4	外ケーブル工法
3.5	品質管理計画
第4章	補修後の品質確認
第5章	記録
試験要領案 1	補修材の急速塩分浸透試験方法
試験要領案 2	補修コンクリートのひび割れ抵抗性試験方法
付属試料 1	断面修復材の物性を評価する試験方法とその適用例
付属試料 2	断面修復部の耐久性評価手法とその適用例
付属試料 3	マクロセル腐食による再劣化についての検討例
付属試料 4	断面除去の影響についての検討例
付属試料 5	腐食した PC 鋼材の機械的性質について
付属試料 6	PC 鋼材の腐食が PC 部材の耐荷性状に与える影響について
付属試料 7	断面修復後外ケーブルにより補強した桁の耐荷性能に関する検討例
付属試料 8	補修材の塩分透過阻止性に関する検討例
付属試料 9	高流動コンクリートを断面修復材として用いる場合の配合検討例

図-1 全体構成(案)

\*1 Yuuki TAKEUCHI : 独立行政法人土木研究所  
 \*2 Hiroshi WATANABE : 独立行政法人土木研究所  
 \*3 Manabu FUJITA : プレストレスト・コンクリート建設業協会  
 \*4 Masamichi TEZUKA : プレストレスト・コンクリート建設業協会

た補修効果を得るために考慮すべき点は少なくない。そこで、本手引き（案）の作成に際しては、手引き（案）の規定および記述を補完するものとして、巻末に試験要領案 1～2 と付属資料 1～9 を作成した。この試験要領案と付属資料は当委員会で行った実験方法ならびに実験・解析結果が含まれている。したがって、断面修復工法における材料・施工方法の選定にとどまらず、さらに具体的な検討を行う場合は、これらの資料を参考にするとよい。

2.2 着目した技術的課題

本手引き（案）をまとめるにあたって、着目した技術的課題を列挙すると以下のとおりである。

① 補修箇所の再劣化リスクの低減

塩害による損傷を受けたプレストレストコンクリート（PC）部材については、これまでも断面修復による補修が実施されてきたが、その結果、十分な効果が得られている構造物もある一方で、補修箇所の再劣化が認められる事例も報告されている。すなわち、塩害を生じたプレストレストコンクリートに対する断面修復箇所の耐久性に関わる信頼性は必ずしも十分であるとはいえない。再劣化の主要原因の一つとして、コンクリートのはつり範囲の設定に関する検討が不十分であり、塩分を多く含むコンクリートが補修後も残されることにより、鋼材腐食を食い止めることができなかったことが考えられる。このことから、本手引き（案）においては、再劣化防止の観点から断面修復の範囲の設定に対する考え方を分かりやすく示すように配慮した。

② はつりの影響の検討手法の確立

上述の ① の項目に深く関わることであるが、PC 部材ではコンクリートにプレストレスによる応力が常時作用していることから、鉄筋コンクリート部材と比較してコンクリートのはつり範囲について制約を受ける場合が多い。すなわち、補修・補強の設計段階においてははつり時の安全性やはつりによって生じるプレストレス力の再配分などの影響を十分に考慮する必要がある。しかし、これに対する検討方法は確立されていない。そこで、本手引き（案）においては、現状で適切と考えられるはつりの影響の検討方法の例を示した。

③ 断面修復後の部材の性能の明確化

昨今、新設構造物の設計においては、これまで以上に性能照査の考え方が強く意識されている。断面修復などの補修に関しては、補修により達成される構造物の状態が、新設構造物の場合と比較すると不明確な状態で行われてきたのが現状であるが、今後は、補修後の構造物の性能についてより明確に示すことが求められる。そこで、本手引き（案）では、とくに、外ケーブル工法併用時の断面修復材の力学的性能の影響について着目して整理した。

④ 断面修復に用いる材料の明確化

断面修復材料として、現在多種多様な材料が用いられているが、断面修復に用いる材料に要求される性能やその検証方法が十分には明確となっていないため、その材料選定に苦慮することが少なくない。そこで、本手引き（案）においては、とくに、(i) 修復部と未修復部の間のマクロセルの形成を抑制すること、(ii) 断面修復部のひび割れに対す

る抵抗性を確保すること、(iii) 断面修復部と母材部の一体性を確保すること、(iv) 施工性を確保することを目的として、補修材料の選定にあたっての考え方をまとめた。

2.3 補修設計および施工計画

塩害により著しい腐食が生じた構造物では、鋼材の腐食の影響で、その耐荷性能が当初の状態から低下しているおそれがある。そこで、鋼材の腐食等による耐荷性能への影響について十分に把握し、補修で十分か、補強が必要か判断することが求められる。また、断面修復工法を PC 部材に適用した場合、断面のはつりにより、断面に作用していたプレストレス力に変化が生じることは避けられない。このため、補修を実施したつもりで施工しても、プレストレスの変動に伴い、その力学的な性能が変化するおそれがあるので注意が必要である。断面修復工法を含む一連の対策が補修であるか、補強であるかは、施工方法や補修材料の選定に大きな影響を及ぼす要因であり、ひいては、コストにも影響するので十分な検討が求められる。

断面修復工法を施工する際には、図 - 2 に示すように、施工条件の確認、補修する部位のはつり、打継ぎ処理、鋼材の防錆処理、選定した断面修復材の施工の手順で行われる。これらの検討の中で考慮すべき内容は多岐にわたるが、本手引き（案）では、とくにプレストレストコンクリート部材に適用する際に考慮すべき事項について記載した。

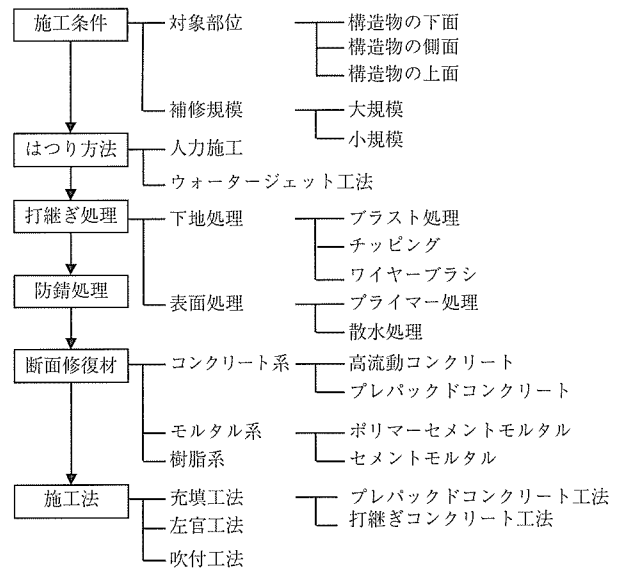


図 - 2 断面修復工法における材料・施工方法の選定

2.4 補修範囲の設定

過去に行われた断面修復による補修では、鋼材の腐食が生じ、コンクリートに浮きやはく離、ひび割れ等が生じた部位について、コンクリートを除去し、場合によっては鋼材の防錆を行って断面を修復することが多かった。しかしながら、補修時に鋼材の腐食が見られない部位でも、塩化物イオンを多く含んでいる場合があり、このような部位が補修後も除去されずに残ることによって補修箇所周辺の再劣化が生じる事例も多く見られている。

このような腐食を防ぐには、塩分を多く含んだ部位をできるだけ除去するとともに、既設コンクリート部と補修部との塩化物イオンの濃度差にも配慮することが、有効と考えられている。このことから、本手引き（案）では、多量の塩化物イオンを含む部位をはつりによりすべて除去することを原則としている。

なお、除去する範囲の目安としては、既存の研究事例で、鋼材腐食が開始するおそれがある塩化物イオン量として  $1.2 \text{ kg/m}^3$  が提案されていることから、 $1.2 \text{ kg/m}^3$  以上の全塩化物イオン量が含まれるすべての部位とするのがよい。しかし、はつり施工中の安定性や施工後の耐荷性能への影響を考慮すると多量の全塩化物イオンが含まれる部位を完全には除去することができないことも考えられる。この場合も、再劣化を長期間にわたり抑制するためには、未補修部に含まれる塩化物イオン量ができるだけ少なくなるように計画するか、もしくは他の工法を併用するなどの措置を講じることが望ましい。当委員会が行った実験の結果では、未補修部のコンクリートの鋼材位置の塩化物イオン量が  $2.0 \text{ kg/m}^3$  を超えると、鋼材の腐食速度が著しく増大する傾向となった。

はつり範囲が断面に比べて小さい場合（たとえば、下縁からかぶりまでの範囲に留まるような場合）には、はつりによるプレストレスの再配分の影響は小さく、これを考慮しなくても大きな問題は生じないと考えられる。一方、PC 鋼材近傍まではつりを行うなど、劣化部の除去範囲が比較的大きい場合には、主桁の変形等による PC 鋼材の張力の変化を無視できない。また、場合によっては引張応力が発生しひび割れが発生する懸念もある。応力再配分の影響ははつりの範囲の大きさやはつりを行う位置（たとえば定着部付近や桁中央部など）、横桁の配置状況、支点条件などにより変化する。はつりによって生じる PC 桁の挙動を精度良くシミュレーションするためには、これらを適切に評価する必要がある。

はつりの影響を評価する手法として、はつりによる弾性変形の発生に伴うプレストレスを考慮した、梁モデルを用いることにより、修復後の断面に曲げモーメントが作用した際の発生応力の概算結果を得ることができる。しかし、断面切り欠き部の局所応力や修復部に用いた材料のクリープの影響などは把握できない。当委員会が行った実験・解析結果では、PC 鋼より線とコンクリートの付着モデルなどの残された課題はあるが、材料特性およびはつりの状態を考慮した非線形 FEM 解析は大断面をはつる場合の PC 桁の力学的な挙動をより精度良く推定できることを明らかにした。

過去に断面修復による補修が行われている場合は、その影響について適切に考慮しなければならない。これは、過去にはつりを伴う補修を行った時点でコンクリートの応力状態が設計当初の仮定から大きく異なっているおそれがあるためである。したがって、過去の補修履歴が残されている場合や補修した形跡がある場合には、とくに慎重に検討する必要がある。

構造物の部位によっては、設計上の応力状態に比較的余

裕があり、断面修復を行っても部材の力学的性能に不足が生じないことがある。また、格子桁の場合は、桁によって荷重分配が異なるので、力学的性能に不足が生じないこともあり得る。このような場合には、断面はつりの影響について特別な対策を行わずに、断面修復を行うことができる。

なお、断面のはつりによる影響を抑制したり、断面修復を行った後に部材の力学的性能を回復させたりする方法には種々の方法が考えられるので、先に腐食防止の観点から補修範囲を仮定して、検討を行うのが効率的と考えられる。

## 2.5 補強の必要性および補強方法の検討

鋼材の腐食や破断、コンクリートの浮き・はく離などが生じている場合は、その影響について適切に考慮しなければならない。田中らの調査・実験の結果によると、腐食した PC 鋼材の破断伸びは、静的強度の低下に比べて低下の度合いが著しくなった。鋼材が腐食した PC 部材の耐荷性状を評価する際の注意点について変形性能の評価も含めた参考資料を手引き（案）に示した。

断面修復材と外ケーブル工法を併用した補強方法を適用する場合は、プレストレスの再分配や、桁のたわみ変化に伴う既存の PC 鋼材の応力変化が無視できなくなる。当委員会で行った実験の結果では、断面修復と外ケーブル補強を併用しても、健全桁と比較してたわみひび割れ性状に大差なく、健全桁と同程度の性能に回復することができた。

## 2.6 補修材料・工法の選定

断面修復に用いる補修材料・工法には、所要の物理的性質（力学的性能を確保するため）、鋼材保護性能（補修箇所への耐久性を確保するため）、電気的性質（マクロセル腐食を抑制するため）、ひび割れ抵抗性（補修箇所の耐久性を確保するため）、はく離抵抗性（はく落による第三者被害を防止するため）、施工性能（その他の性質・性能が確保されることを確実にするため）などが求められるので、これらについてプレストレスコンクリート部材への適用を考慮して、留意すべき点を示した。

### (1) 断面修復材の物理的性質

ここで取り上げた物理的性質は、補修箇所にプレストレスを再導入することを念頭に置いて、例示した。それぞれ次のような観点から確認し、適切なものを選定する必要がある。① 圧縮強度（圧縮応力により補修箇所が破壊しないこと、プレストレス力により過度なクリープひずみが生じないことなど）、② 引張強度（引張応力により、補修箇所にひび割れが生じないことなど）、③ 静弾性係数（プレストレスを再導入した際の部材の変形など）、④ 収縮ひずみ（プレストレスを再導入した後のプレストレス力の損失や修復部のひび割れなど）、⑤ クリープ係数（プレストレスを再導入した後のプレストレス力の損失など）。

プレストレスの再導入が要求される場合には、圧縮応力が作用する補修部分の変形によるプレストレスの損失を防止するため、断面修復材としては、十分なヤング係数が確保できるとともに、クリープ性状が実績から把握できているコンクリート系のものであるほうがよいが、かぶり程度までの補修であれば、施工性を考慮してモルタル系のもので用いられることが多い。このモルタル系の断面修復材に

は、モルタルの性質を改善する目的でポリマーと呼ばれる有機高分子材料を混和したもの、あるいは、ひび割れ防止や落防止などの使用目的に応じて膨張材や繊維などを混入したものなど、数多くの材料が開発されてきている。その適用の是非については補修する部材の形状や位置などを勘案する必要がある。ただし、強度（圧縮・引張）や静弾性係数については、既存のコンクリートと同程度か、より優れた材料が選定されることが多い。試験結果の例として、当委員会が行った実験の結果を付属資料にとりまとめた。

#### (2) 断面修復材の鋼材保護性能

補修した部位が十分な耐久性を有することを確認するためには、補修材料の鋼材保護性能について適切に評価しなければならない。この絶対的な評価は必ずしも容易ではないが、たとえば、既存のコンクリートとの相対比較により同等以上のものを用いると良い。

断面修復材の塩化物イオンの侵入に対する抵抗性を評価する方法としては、以下のものが考えられる。

① 浸せき試験や屋外暴露試験、使用実績などから評価する方法、② 成分や配合（水セメント比など）から推定する方法、③ 急速塩分浸透性試験により評価する方法

現状でもっともよく用いられているのは、浸せき試験や屋外暴露試験などを行い、塩化物イオンの拡散係数を推定して評価する方法である。これらの場合、試験条件によって塩化物イオンの侵入程度が大きく変わる可能性があるため、条件（室内試験の場合は浸せきする溶液の濃度や乾湿の繰返しの有無、屋外暴露の場合は暴露場所や向きなど）の異なる試験結果を比較する際には注意が必要である。また、とくに緻密な補修材料では、塩化物イオンの侵入速度がきわめて遅く、定量的な評価結果を得るためには時間がかかる場合がある。

既存のコンクリートと同程度以上であることを確認するうえで、成分や配合から推定するのも一つの方法である。

また、塩化物イオンの侵入に対する抵抗性を評価する方法として、当委員会が行った急速塩分浸透性試験方法と実験結果を示したので、参考にするるとよい。急速塩分浸透性試験は、通常の浸せき試験を行った場合よりも、塩化物イオンの侵入が促進され、より短時間で評価できる。

断面修復材の中性化に対する抵抗性を評価する方法としては、次のようなものが考えられる。

① 促進中性化試験（JIS A 1153）により評価する方法、② 成分や配合（水セメント比など）から推定する方法。

なお、中性化に関しては、補修材料の中性化進行に対する抵抗性だけでなく、含水状態の違いによっても中性化の進行に違いが生じうる点に注意しなければならない。

#### (3) 断面修復材の電気的性質

断面修復に用いる補修材料は、既設コンクリートと補修部の塩化物イオン濃度差や異種の材料を用いること等によるマクロセル形成が起こりにくいものを選定することが求められる。しかし、現状で、断面修復の影響によるマクロセル形成を精度良く予測することは困難であるが、補修材料の電気的性質に着目して、これを推定できる可能性があ

る。

具体的には、電気抵抗が既存のコンクリートと同程度以上の補修材料を用いるのがよい。電気抵抗の測定は、当委員会で行った実験結果や JSCE-K562-2008（四電極法による断面修復材の体積抵抗率測定方法（案））などを参考にするとよい。なお、断面修復材やコンクリートの電気抵抗は含水状態や測定時の温度によって大きく変化するので、評価を行う際には、測定条件にとくに注意しなければならない。

ただし、既存のコンクリートと比較して電気抵抗が大きく異なる断面修復材を使用した箇所があると、電気化学的防食工法（電気防食など）を導入する際には、電流の流れが不均一になるおそれがある。当委員会では、電気化学的防食工法の適用に関する実験を行っていないが、電気化学的防食工法の適用を視野に入れて検討している際にはとくに補修材料の電気的性質に十分な注意が必要である。

#### (4) 断面修復材のひび割れ抵抗性

断面修復材は、適用後の材料の寸法変化によって有害なひび割れが発生することのないものを選定しなければならない。このため、たとえば、旧建設省の「建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発」では、モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法（現在、JIS A 1129）による長さ変化率が 0.05 % 以下（コンクリート、3 箇月）あるいは 0.2 % 以下（モルタル、3 箇月）の断面修復材を用いるものとしているので、これを参考にできる。

しかし、既往の研究では、上記の長さ変化を満足する断面修復材であってもひび割れが生じる場合もあるし、その逆の場合もあるようである。この原因としては、断面修復材の中に膨脹材等が混入されていることにより、施工後いったん膨脹し、その後収縮することによる材料の長さ変化の過程における補修材料の弾性係数やクリープ係数（有効弾性体）の経時変化およびその引張強度の経時変化が発生することがあげられる。また、断面修復部の厚みによっても、補修材料に発生する引張応力に変化が生じるが、このことは補修材料単体としての試験結果のみでは把握することが困難である。そこで、施工実績などから判断するか、実際の施工状況を模擬した試験を行って確認するとよい。現状は、母材と複合した条件下におけるひび割れ抵抗性の評価方法の一例を手引き（案）の付属資料に示した。

#### (5) 断面修復材のはく離抵抗性

断面修復部のはく離・はく落によって人や器物に損害を与える可能性がある場合は、はく離抵抗性についての検討が重要である。とくに、はく離抵抗性については、補修部分に作用する乾湿繰り返しや、凍結融解繰り返し作用によって、経年的な変化が生じるおそれがある。当委員会では実施した補修部分を含む供試体の凍結融解試験結果によれば、断面修復部のはく離抵抗性は、断面修復材の性質だけでなく、打継面の表面処理等の施工の影響によっても異なること、打継ぎ断面処理の方法が与える影響は、補修材料の組合せによって微妙に異なり、必ずしも定まった方法が存在するとはかぎらない。手引き（案）の参考資料として、試験結果を収録しているが、実際の材料の組合せの条件によ

って、必要に応じ試験によって確認することがよいと考えられる。

#### (6) 断面修復材の施工性能

断面修復に用いる補修材料・工法は、以下の①～③の項目について適切なものを選定する。

① 施工の手順が明確に定められており、かつ、確実に実施できるものであること、② 補修材は施工を行ううえで適切な性質を有していること、③ 補修部は、既存コンクリート面と密着し一体となるものであること。

まず項目①について述べる。施工時に断面修復材に求められる性質は、その施工方法や適用する部位によって大きく異なるので、断面修復材の物性試験結果のみで施工性能を明らかにすることは困難である。したがって、施工性について検討する際には、使用実績等についての信頼できる資料によらなければならない。十分な資料が無い場合には、試験施工を行うなどして確認するのがよい。なお、断面修復材の多くは、施工時の温度によって性状が大きく変化する可能性があることが知られているので、施工性について検討する際には、想定される施工時の気温についても考慮しておかなければならない。

試験施工を行って施工性能を確認する場合には、次のような不具合が生じないか、とくに以下の項目に注意して確認するのがよい。i) モルタル分の先流れ等による材料分離、ii) 鋼材背面へのまわり込み不足、iii) 母材部の湿潤 (or 乾燥) 状態、iv) 残留水の影響等による既存コンクリートと断面修復材の界面の空隙・接着不良、v) 施工中に巻き込んだ空気が残留することにより生じる断面修復材中の空隙。

次に項目②・③について述べる。補修材の性質は、その施工方法や適用する部位に応じた適切なものとする必要がある。当委員会では、高流動コンクリートを用いてPC桁の下フランジ下面や、張出し床版の下面を型枠充てん工法で断面修復する際のコンクリートに求められる性質について検討した。ここで、既存コンクリートと断面修復材の界面は力学的な性能や耐久性上の弱点になりやすいので、補修材料は既存コンクリートと密着し、一体となるものであることが求められる。従来から、この確認を目的として、付着強度試験が実施されており、付着強度が1.0 N/mm<sup>2</sup>以上であれば適当と考えられている。付着強度1.0 N/mm<sup>2</sup>の根拠については、土木学会の断面修復工マニュアル<sup>2)</sup>の解説にも示されているように、十分には理論的には整理されていないが、これまでの実績からこれを目安として検討するのがよいと考えられる。

とくに注意を要する点として、型枠充てん工法により施工する場合は、逆打ちとなるため、既存コンクリート部と断面修復材を密着させるためには、断面修復材にブリーディングや水和反応による収縮を上回る膨張を生じさせる必要があると考えられる。

また、コンクリート系補修材を用いる場合は、コンクリートの乾燥収縮や温度勾配等によりひび割れが生じ、構造一体性や離れ抵抗性が失われる可能性があるため、ひび割れ幅を制御し、部材の急激な破壊や離れを防止するため、断面修復部に付着のある鋼材を配置することが望まし

い。配置する鋼材は断面修復部の寸法に比較して直径が小さく、コンクリート系補修材との付着がよい鉄筋を用い、図-3で示すように補修部断面の周囲に分散させて配置することが望ましい。

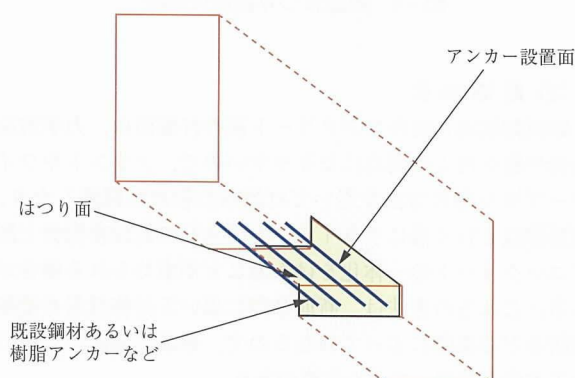


図-3 追加鋼材のイメージ

## 2.7 施 工

本手引き(案)では、プレストレストコンクリート構造物において断面修復工法を施工する場合にとくに注意すべき点として、断面はつり、断面修復、外ケーブルによるプレストレスの再導入について示した。また、これらを行う際の品質管理方法について示した。ここに示されていない事項についても、土木学会の断面修復工マニュアル<sup>2)</sup>などの技術規準類を参照して適切に検討しておかなければならない。

### (1) 断面はつり

断面はつりには、ウォータージェット工法や人力によるはつり等がある。これらの工法の選定にあたっては、断面除去の規模や部位、PC鋼材や既設コンクリート断面に与える影響、施工性、経済性などを考慮して選定するのがよい。一般に、ウォータージェット工法は、機械設備が大がかりになることから大規模な断面はつりに、人力による断面はつりは小規模な場合に採用されることが多い。ただし、人力による断面はつりでは、除去した部位より内部の既設コンクリートやPC鋼材を損傷させ、伸びや疲労強度に影響が生じるおそれがある。したがって、PC鋼材が露出するまではつり取る必要がある場合にはPC鋼材に損傷を与えないはつり工法を用いるのが望ましい。

断面修復が逆打ちとなる部位で大きな閉空間が残ると、型枠充てん工法による逆打ちでは補修材を完全には充てんできないことが予想されることから、このような部位ははつり形状にとくに注意する必要がある。著しい不陸面にはペーストなどを用いて平滑化を行っておくのがよい。

また、断面はつり箇所形状は、図-4に示すように、コンクリート表面に垂直な目地を切るのがよい。これは、修復部の縁辺部がフェザーエッジとなる場合、断面修復した端部は部材が薄くなり、断面修復後にひび割れや角落ち、はく離などの再損傷が生じる可能性が高くなるためである。

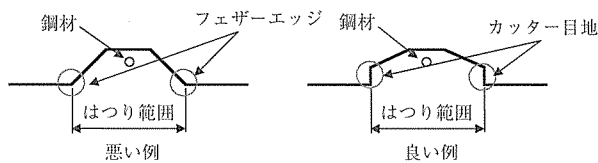


図-4 断面はつり箇所の形状

(2) 断面修復

断面修復部と既存コンクリート部の打継面は、力学的な性能や耐久性上の弱点になりやすいので、ブラストやワイヤーブラシ等の方法を用いて打継面の粗度を調整したり、断面修復を行う前にプライマーを塗布して断面修復材と既存コンクリートの一体化をはかることが求められる場合がある。これらの方法は、断面修復に用いる補修材料や補修箇所などの条件によって異なるので、事前に検討し、その施工方法を確認しておく必要がある。

断面はつりを行った場合、はつり出した鋼材が発錆しやすくなり、とくに塩害環境下では、きわめて短期間のうちに発錆する場合がある。したがって、これらの処理を行った後は断面修復を行う前に、腐食した既存の鉄筋やシース、PC鋼材に付着している錆を除去するなど、適切な防錆処理を行わなければならない。

断面に新たに鋼材を配置する場合も、その鋼材に対し防錆対策を行う必要がある。この場合、補修現場で防錆処理を施すよりも、あらかじめエポキシ樹脂塗装が施された鋼材を用いることが望ましい。

(3) 外ケーブル工法

外ケーブルによるプレストレスの再導入は、施工時における既設桁の応力状態が設計条件と異なり、時には危険な状態を生じることも想定されるので、その方法や施工順序についてはとくに慎重な検討が必要である。このため、設計図書に示された条件を十分検討する必要がある。本手引き(案)では、道路橋示方書・同解説Ⅲ編「19.8 PC鋼材工

及び緊張工」のほか、プレストレス・コンクリート建設協会が発刊している「外ケーブル方式によるコンクリート橋の補強マニュアル(案)(平成19年4月)」を参考にするものとした。

また、外ケーブル補強工の実施にあたり、現場技術者はプレストレスコンクリートの設計・施工に十分な経験を有する者を選任することが望ましい。

(4) 品質管理計画

合理的かつ経済的な品質管理計画を定め、工事の各段階で必要な品質管理を行う。品質管理の結果、設計や施工計画で定めた通りに施工を行うことが難しい場合には、適切な対策をとらなければならない。

2.8 補修後の品質確認

補修後に行う測定や試験は、構造物や補修の程度によってさまざまなものが考えられる。表-1に示す項目などを参考に必要な測定や試験を行うのがよい。

2.9 記録

補修が実施されたPC上部工の維持管理を行うために、設計、施工、効果の確認の結果を記録し、保存しなければならない。記録を残す標準的な項目を表-2に示した。

3. おわりに

本手引き(案)は、「PC橋の改造技術に関する共同研究委員会」で約3年間にわたり活発な研究ならびに議論をいただき、得られた成果を盛り込んでまとめられた。本手引き(案)が、コンクリート構造物の効果的かつ効率的な補修による長寿命化に少しでも貢献し、コンクリート構造物の適切な維持管理に携わる実務者に有益な情報を与え、日常の業務に役立つことを願うものである。なお、本報告では、紙面の都合上、概要のみを紹介した。詳細に関しては、今後発刊予定である本手引き(案)を参照されたい。

最後に、本研究課題設立当初から委員会開催時には遠方にもかかわらず欠かさずご出席いただいた東北大学大学

表-1 補修後の品質確認方法

調査項目	調査方法	把握できる情報
補修後の外観の状態	目視調査	断面修復箇所の状態
プレストレスの状態	ひずみ計測	プレストレスの再配分状況 プレストレスの再導入状況
補修後の腐食の状態	自然電位の測定	補修後の腐食環境の良否

表-2 標準的な記録方法

段階	記録の項目	主な記録の内容
2章 設計	設計図書	設計図面、補修方法の要領と合わせ、以下の検討方法と結果を記録する。 ① 部材性能の評価 ② 目標水準 ③ 補修範囲の設定 ④ 補修材料・工法の選定 ⑤ 構造物の安全性等の照査
	施工計画書	施工体制、施工図、施工要領、安全・品質・環境等
3章 施工	施工記録、品質検査および管理	実施した工程、施工状況、材料品質、試験結果、施工管理結果などについて、記録する。
4章 補修後の品質確認	効果の確認結果	調査の実施項目・方法・結果ならび評価の結果

院 久田真准教授と報告書のとりまとめまで長期にわたり多大なご支援ご指導をいただきました独立行政法人土木研究所 古賀裕久主任研究員には、深く感謝の意を表します。また、本研究課題にご協力いただきました関係各社の方々に感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 土木研究所：塩害を受けた PC 橋の耐荷力評価に関する研究（Ⅲ）—塩害により損傷を受けた PC 鋼材の機械的性質—，土木研究所資料，第 3810 号，2001.3
- 2) 土木学会：断面修復工マニュアル，「表面保護工法設計施工指針（案）[工種別マニュアル編]」，コンクリートライブラリー 119，pp.220-221，2005.4
- 3) 北野勇一，渡辺博志，鈴木雅博，徳光卓：PC 橋の改造技術に関する研究—その 1：腐食 PC 鋼材の機械的性質に関する考察—，プレストレストコンクリート，Vol.49，No.5，pp.52-56，2007.9
- 4) 北野勇一，中田順憲，伊藤良二，渡辺博志：PC 橋の改造技術に関する研究—その 2：損傷 PC 部材の力学特性に関する考察—，プレストレストコンクリート，Vol.49，No.6，pp.72-79，2007.11
- 5) 中村定明，濱田 譲，谷口秀明，中村雅之：PC 橋の改造技術に関する研究—その 3：PC 部材のはつりの適切性に関する研究—，プレストレストコンクリート，Vol.50，No.1，pp.54-60，2008.1
- 6) 谷口秀明，渡辺博志，竹中秀樹，三加 崇：PC 橋の改造技術に関する研究—その 4：大規模な断面修復の材料および施工に関する検討—，プレストレストコンクリート，Vol.50，No.2，pp.92-100，2008.3
- 7) 北野勇一，渡辺博志，久田 真，北山 良：PC 橋の改造技術に関する研究—その 5：断面修復部の耐久性と維持管理に関する研究—，プレストレストコンクリート，Vol.50，No.3，pp.78-86，

2008.5

- 8) 北野勇一，渡辺博志，久田 真，北山 良：PC 橋の改造技術に関する研究—その 6：断面修復後のマクロセル腐食に関する研究—，プレストレストコンクリート，Vol.50，No.4，pp.66-75，2008.7

### PC 橋の改造技術に関する共同研究委員会 名簿

独立行政法人土木研究所

渡辺 博志

古賀 裕久

竹内 祐樹

東北大学大学院

久田 真

(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会  
委員長

藤田 学 (三井住友建設(株))

副委員長

手塚 正道 (オリエンタル白石(株))

正村 浩 (株)安部日鋼工業)

中村 雅之 (オリエンタル白石(株))

北野 勇一 (川田建設(株))

中田 順憲 (極東興和(株))

佐藤 徹 (昭和コンクリート工業(株))

濱田 譲 (ドーピー建設工業(株))

立石 陽輝 (株)日本ピーエス)

鈴木 雅博 (株)ピーエス三菱)

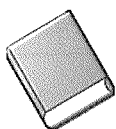
中村 定明 (ピーシー橋梁(株))

徳光 卓 (株)富士ピー・エス)

谷口 秀明 (三井住友建設(株))

平成 20 年 6 月現在

【2008 年 6 月 30 日受付】



刊行物案内

## プレストレストコンクリート技士試験 講習会資料

### 平成20年度 PC 技士試験講習会

資料のほか、過去 3 年間の試験問題、正解および解説が掲載されています。  
現金書留または郵便普通為替にてお申込みください。

(平成 20 年 6 月)

頒布価格：会員 価格 5,000 円 (別途送料500円)

：非会員 価格 6,000 円 (別途送料500円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会