

外ケーブル工法による既設 PC 橋の補修・補強 — PC 鋼材の劣化が進行した橋梁の対策方法 —

酒井 秀昭*¹・大熊 光*²・黒輪 亮介*³・松原 喜之*⁴

国内の橋梁は、高度経済成長期から急速に整備されており、経年化による劣化が顕在化している。ポストテンション方式による PC 橋では、PC グラウトの充填性に関してさまざまな改良や研究により、現在では、耐久性にかかわる要求事項を満足する施工が実施されているが、過去に施工された PC 橋では、PC グラウトの充填不良により、PC 鋼材の腐食や破断などの変状が発生している橋梁も少なくない。PC 鋼材の変状が発生した PC 橋の対策としては、外ケーブル工法や PC グラウトの再充填工法などが一部で実施されている。外ケーブル工法に関しては、20 数年前から新設橋に多く用いられており、プレストレストコンクリート工学会においても設計施工規準が制定されている。これに対して、PC 鋼材の変状が発生した PC 橋の対策として採用する外ケーブル工法については、安全性、供用性および耐久性などにかかわる要求事項は新設橋の場合と同じであるが、その設計・施工においては、更なる検討が必要である。本研究は、PC 鋼材の変状が発生した PC 橋の対策として用いられる外ケーブル工法の設計方法について検討を行ったものである。

キーワード：外ケーブル工法、ポストテンション方式、補強、PC 鋼材、定着部

1. はじめに

ポストテンション方式のプレストレストコンクリート（以下、「PC」という）橋は、コンクリート部材と付着させないアンボンド方式を除いて、PC 鋼材の緊張後に PC グラウトによりコンクリート部材と一体化させて、PC 鋼材の防錆と平面保持の仮定を成立させている。PC グラウトについては、現在では充填性に関してさまざまな改良や研究により、耐久性にかかわる要求事項を満足する設計・施工が行われている。しかしながら、改良や研究が実施される以前に施工されたポストテンション方式の PC 橋については、PC グラウトの充填不良などに起因する腐食や破断などの変状が発生している¹⁾。

PC 鋼材の変状が発生した PC 橋の対策としては、外ケーブル工法や PC グラウトの再充填工法などが一部で実施されている。このうち、外ケーブル工法については、国内で 20 数年前から新設橋に多く用いられており、プレストレストコンクリート工学会においても「外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準²⁾」を制定している。これに対して、PC 鋼材の変状が発生した PC 橋の対策として採用する外ケーブル工法については、現在まで設計や施工などに関する規準などが制定されていない。既設橋に設置する外ケーブル工法については、安全性、供用性および耐久性などにかかわる要求事項は新設橋の場合と同じであると思われるが、その設計においては、桁内に配置される新設の外ケーブルと比較して、厳しい環境作用を受けること、狭隘な箇所を設置する必要があること、既設橋の耐荷力などを適正に評価する必要があることなどを考

慮した設計方法とする必要がある。

本研究は、既設橋に設置する外ケーブル工法の設計方法について、既往の技術資料や外ケーブル工法の事例調査結果などをもとに、改訂された「コンクリート構造技術規準³⁾」を参考に検討を行った。

2. 性能にかかわる要求事項について

コンクリート構造技術規準³⁾においては、性能にかかわる要求事項（Performance requirements）について、「構造物の性能にかかわる要求事項は、供用性、安全性、耐久性、復旧性といった構造物が果たすべき機能に対して設定されるものと、経済性、環境性、維持管理性といった構造物に求められる制約条件に対して設定されるものとする。」と規定している。

本研究では、既設橋に設置する外ケーブル工法の設計において、これらの性能のうち、コンクリート構造技術規準で下記のとおり規定されている供用性、安全性、耐久性および維持管理性について、その照査方法の検討を行った。

- 1) 供用性は、設計供用期間中に想定されるすべての作用の組合せのもとで、構造物の利用者が快適に構造物を使用できる状態にとどめておける能力とする。
- 2) 安全性は、設計供用期間中に想定されるすべての作用の組合せのもとで、構造物が利用者や周辺の人の生命を脅かさない状態にとどめておける能力とする。
- 3) 耐久性は、設計供用期間中における材料などの経年変化を考慮したうえで、供用性、安全性を確保できる状態にとどめておける能力とする。
- 4) 維持管理性は、点検や維持のしやすさ、回復などのた

*¹ Hideaki SAKAI：中日本高速道路(株) 技術・建設本部 専門主幹（橋梁担当）

*² Hikari OOKUMA：プイ・エス・エル・ジャパン(株) PC 事業本部 技術部長

*³ Ryouzuke KUROWA：極東鋼弦コンクリート振興(株) 技術企画室長

*⁴ Yoshiyuki MATSUBARA：住友電気工業(株) 特殊線事業部 PC 技術部長

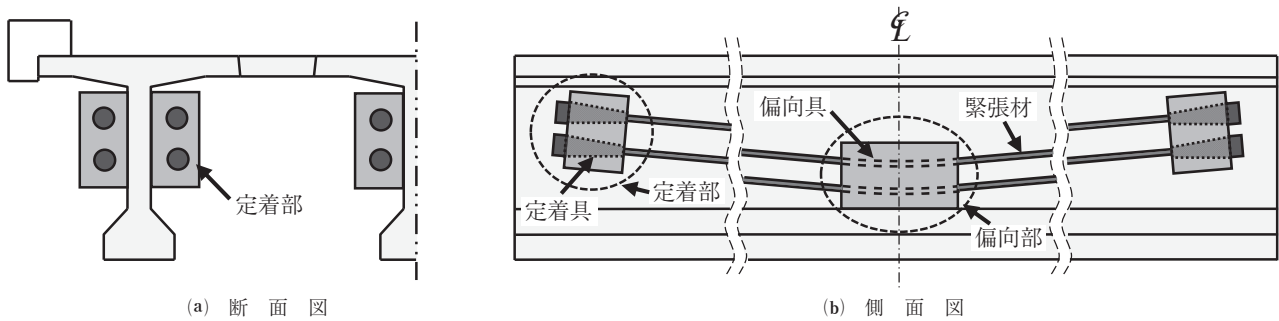


図 - 1 外ケーブル工法を構成する部位・部材 (PC ポストテンションバルブ T 桁橋の例)

表 - 1 外ケーブル工法の性能にかかわる要求事項

対象とする 部位・部材		性能にかかわる要求事項			
		供 用 性	安 全 性	耐 久 性	維 持 管 理 性
既設の橋梁 および部位・部材		・外ケーブル工法実施時に、設定されている要求事項を満足すること。ただし、その時点において要求事項を変更する場合は、新たに設定する要求事項を満足すること。			
定着部	本 体	・過度な変形や有害なひび割れを生じない。	・破壊しない。	・供用性、安全性を確保できる。	・容易に点検できる。
	定着具	・緊張材の定着を保持する。	・破壊しない。 ・緊張材の定着を保持する。	・供用性、安全性を確保できる。	・容易に点検、更新できる。 ・必要に応じて、緊張材の再緊張が可能である。
偏向部	本 体	・過度な変形や有害なひび割れを生じない。	・破壊しない。	・供用性、安全性を確保できる。	・容易に点検できる。
	偏向具	・所定の形状に緊張材を偏向する。	・破壊しない。	・供用性、安全性を確保できる。	・容易に点検できる。
緊張材	緊張材	—	・所定の荷重まで破断しない。 ・疲労により破断しない。	・供用性、安全性を確保できる。	・容易に点検、更新できる。 ・必要に応じて、緊張材の再緊張が可能である。
	防錆処理	—	—	・緊張材を腐食させない。	・容易に点検できる。

めの保全に関する技術的行為を可能とする能力とする。

上記の性能にかかわる要求事項については、図 - 1 に示す部位・部材ごとに表 - 1 のとおりとした。

3. 性能照査

対象とする部位・部材の性能照査は、表 - 1 に示した性能にかかわる要求事項を、設計供用期間中にわたって満足することを確認することにより行う。以下に、対象とする部材の性能照査について述べる。ただし、表 - 1 に示した項目以外にも性能照査が必要な要求事項がある場合は、適宜実施する必要がある。また、対象とする部位・部材となる定着部、偏向部および緊張材の構造などについては「4. 外ケーブル工法の例」で述べる。

3.1 既設の橋梁および部位・部材

外ケーブル工法を適用した場合は、既設の橋梁および部位・部材に変形や応力度などの変化が生じる。とくに主桁に対しては、外ケーブル工法によるプレストレスが直接作用するため、コンクリートの応力度が大きく変化する。主桁の応力度の照査は、以下の手順で実施する必要がある。

- 1) 設計図書および施工の記録から、設計時のプレストレスによる応力度を調査する。ただし、設計図書を紛失した場合は、復元設計を行う必要がある。
- 2) 外観調査¹⁾により、変状の有無や程度を調査する。
- 3) 外観調査結果から PC グラウトの充填不良の可能性がある場合や、施工時期や施工方法により充填不良が発

生するおそれがある場合は、PC グラウトの充填調査¹⁾を実施する。

- 4) 2) および 3) の結果から、必要に応じて非破壊調査により PC 鋼材やプレストレスの状態¹⁾を調査する。
- 5) 前述までの結果から、既設主桁の応答値を推定し、応答値が供用限界状態や終局限界状態の限界値を満足しない場合、または設計供用期間中に限界値を満足できなくなる場合は、外ケーブル工法による対策を実施し限界値を満足させる。

経年化によりプレストレスの減少が想定される場合で、対策時点のプレストレスによりコンクリートの圧縮応力度の限界値を超える場合は、外ケーブルによる緊張力を限界値よりも意図的に減少させ、主桁の応力度をモニタリングして、劣化の進展に応じて再緊張する方法も検討する。

3.2 定 着 部

(1) 定着部本体の供用性および安全性

定着部本体は、主桁にコンクリート構造や鋼構造で直接固定される。設計においては、既設橋の部位・部材と同様に、応答値が供用限界状態や終局限界状態の限界値を満足するように設計する。

(2) 定着部本体の耐久性および維持管理性

耐久性に関しては、コンクリート構造の場合に環境作用に応じてひび割れの発生を制御したり、必要に応じてエポキシ樹脂塗装鉄筋やステンレス鉄筋などにより、鋼材の腐食防止を図る。鋼構造の場合は、環境作用に応じて、重防

食塗装や金属溶射などの防錆方法を検討する。

定着部は、検査路などから、近接目視点検またはこれと同等な精度が確保できる点検方法により点検を可能とする必要がある。

(3) 定着具の定着性能

定着具の供用性および安全性にかかわる要求事項については、JSCE-E 503「PC 工法の定着具および接続具の性能試験方法」により以下の項目について照査を行う。

- 1) 定着具をコンクリートと組み合わせた性能試験において、定着体が緊張材の規格引張荷重の 100 % 以上に耐えること。
- 2) 定着具の緊張材と組み合わせた性能試験において、付着のない状態での静的引張試験で、定着具の定着効率が緊張材の規格引張荷重の 95 % 以上であること。

(4) 定着具の更新の可否

定着具は、定着部本体と同様に点検を可能とする必要がある。定着具は、設計で設定した以上の作用により、定着具や緊張材に損傷や劣化が生じて更新が必要となった場合に、すみやかに更新できる構造が望ましい。新設橋の外ケーブル工法の定着具や緊張材については、この点を考慮して、更新が可能な構造を採用している事例が多い。したがって、既設橋に設置する定着具についても、緊張材とともに簡便に更新できる構造とすることが望ましい。

(5) 定着具の再緊張の可否

経年化により既設の内ケーブル工法によるプレストレスの減少が想定される場合で、外ケーブル工法のプレストレスによりコンクリートの圧縮応力度の限界値を超える場合は、外ケーブルによる緊張力を限界値よりも意図的に減少させ、主桁の応力度をモニタリングして、劣化の進展に応じて再緊張する方法を採用する場合がある。この場合は、再緊張が簡便に実施できる定着具を採用する必要がある。

(6) 定着具の耐久性

定着具は、一般に鋼材が用いられているので、鋼などの腐食性材料を用いる場合は、十分な防錆処理により耐久性を確保する必要がある。とくに定着部本体より露出している部分の鋼材などに対しては、重防食塗装を実施する必要がある。また、定着具端部に設置されるカバーは、FRP などの鋼材以外の非腐食性材料の採用を検討する必要がある。

3.3 偏向部

(1) 偏向部本体

偏向部本体は、主桁にコンクリート構造や鋼構造で直接固定される。設計においては、定着部本体と同様な方法で、供用性、耐久性および維持管理性にかかわる要求事項の照査を行う必要がある。

偏向部においては、偏向することにより、緊張材相互や緊張材と偏向具の接触によりフレッティング (fretting) が生じて、緊張材の疲労破壊や緊張材の防錆処理 (亜鉛めっきやエポキシ樹脂被覆など) の損傷が生じる可能性がある。この詳細については、「3.4 緊張材」において述べる。

(2) 偏向具の形状

偏向具は、緊張材を所定の角度に偏向させることを目的

に設置する。偏向具は、緊張力に対し十分な偏向性能を有し、緊張材を損傷させない形状でなければならない²⁾。偏向具は、緊張材が偏向具の端部で角折れの生じることがないように曲面状に加工するか、緩衝材を設置するなどの対処が必要である²⁾。一般には、鋼管を曲面状に加工し亜鉛めっきしたディアボロ管や、両端をベルマウス加工し亜鉛めっきした曲げ鋼管が用いられている。また、偏向具は、偏向部本体と同様に点検を可能とする必要がある。

(3) 偏向具の防錆処理

偏向具は、一般に亜鉛めっきした鋼管が用いられているため、塩害の影響を受ける場合など厳しい腐食性環境下においては、十分な防錆処理を行う必要がある。

3.4 緊張材

(1) 使用材料

緊張材としては、一般に以下に示す材料が使用できる。

- 1) JIS G 3536「PC 鋼線および PC 鋼より線」に規定されている PC 鋼材およびこれと同等な亜鉛めっき PC 鋼材、エポキシ樹脂被覆 PC 鋼材
- 2) 「高強度 PC 鋼材を用いた PC 構造物の設計施工指針³⁾」に規定されている高強度 PC 鋼材およびこれと同等な高強度 PC 鋼材、亜鉛めっき高強度 PC 鋼材、エポキシ樹脂被覆高強度 PC 鋼材
- 3) 繊維強化ポリマーのうち緊張材として国内で実績のある AFRP (Aramid Fiber Reinforced Polymers) および CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymers) の緊張材

(2) 疲労に対する安全性の照査 (引張応力度)

緊張材の疲労に対する安全性の照査のうち引張応力度の変動については、前項の①で示した JIS G 3536 に規定されている PC 鋼材は照査を省略できる。前項の②および③に示した高強度 PC 鋼材、AFRP および CFRP については、国内では参考とすべき規定などがなく、ISO の標準⁶⁾を参考として試験を行い、その安全性の照査を行う。なお、これによれば、載荷上限引張応力度を引張強度の特性値 f_{puk} の 70 %、引張応力度範囲を 195 N/mm² として繰返し載荷試験を行い、繰返し回数 200 万回で破断しないこととしている。

(3) 疲労に対する安全性の照査 (定着具と組み合わせた緊張材の疲労)

定着具に定着された緊張材は、定着方法により表面が変形したり局所応力が発生したりするため、疲労強度が低下する。緊張材の定着具と組み合わせた場合の疲労に対する安全性の検討手法については、国内では参考とすべき規定がないため、FIP (現 *fib*) の報告書⁴⁾を参考として、以下に示す方法により安全性の照査を行う必要がある。

- 1) 載荷上限引張応力度を PC 鋼材の引張強度の特性値 f_{puk} の 65 %、引張応力度範囲を 80 N/mm² で繰返し載荷試験を行い、繰返し回数 200 万回で破断しないことにより疲労に対する安全性の照査を行う。
- 2) 対象となる定着具の緊張材の引張応力度範囲が試験時の引張応力度範囲を超える場合は、対象となる定着部の引張応力度範囲をもとに試験を行う。

緊張材を偏向した場合は、荷重作用や緊張材の振動によ

り、定着具先端の緊張材が緊張材の長さ方向に対して直角方向に角折れ（曲げ疲労）して、疲労破壊を生じる可能性がある。この現象の安全性の照査については、「(5) 定着具と組み合わせた緊張材の偏向による疲労」において述べる。

(4) 偏向部のフレットングの照査

前述のとおり、偏向部においては、偏向することによりフレットングが生じて、緊張材の疲労破壊や緊張材の防錆処理の損傷が生じる可能性がある。偏向部の緊張材を拘束しない緊張材を用いる場合は、エポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線を対象とした土木学会の規準⁷⁾において、その試験方法 JSCE-E 734「内部充てん型エポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線試験方法－フレットング疲労試験－(案)」が定められている。これによれば、載荷下限引張応力度を引張強度の特性値 f_{puk} の 60 %、引張応力度範囲を 50 N/mm² で繰返し載荷試験を行い、繰返し回数 200 万回で破断しないことにより安全性の照査を行うこととしている。また、試験後に防錆性能が耐久性を満足することを確認することとしている。したがって、供用限界状態における引張応力度の限界値を引張強度の特性値 f_{puk} の 70 % として、以下に示す方法により安全性および耐久性の照査を行う必要がある。

- 1) 図 - 2 に示す載荷試験の例、図 - 3 に示す偏向部（載荷ブロック）の例、および JSCE-E 734 を参考に試験を行う。
- 2) 偏向部の形状や使用材料については、対象となる構造物を参考に決定する。
- 3) 載荷上限引張応力度を緊張材の引張強度の特性値 f_{puk}

の 65 %、引張応力度範囲を 50 N/mm² で繰返し載荷試験を行い、繰返し回数 200 万回で破断しないことにより疲労に対する安全性の照査を行う。

- 4) 試験終了後に、偏向部の緊張材が、所定の防錆性能を確保しているか確認することにより耐久性の照査を行う。

- 5) 対象となる緊張材の引張応力度範囲が試験時の引張応力度範囲を超える場合は、対象となる緊張材の引張応力度範囲をもとに試験を行う。

(5) 定着具と組み合わせた緊張材の偏向による疲労

緊張材を偏向した場合は、荷重作用や緊張材の振動により、定着具先端の緊張材が緊張材の長さ方向に対して直角方向に角折れ（曲げ疲労）して、疲労破壊を生じる可能性がある。以下に示す方法により安全性の照査を行う。

- 1) 前項のフレットング試験により、繰返し回数 200 万回で破断しないことにより定着具と組み合わせた緊張材の偏向による疲労に対する安全性の照査を行う。
- 2) 対象となる緊張材の引張応力度範囲が試験時の引張応力度範囲を超える場合は、対象となる緊張材の引張応力度範囲をもとに試験を行う。

(6) 緊張材の防錆および点検

JIS G 3536 に規定されている PC 鋼材および高強度 PC 鋼材を用いる場合は、鋼材の防錆を十分に実施しマルチレイヤープロテクションとする必要がある。また、緊張材や防錆処理の変状の点検方法について、事前に保全計画を明らかにする必要がある。

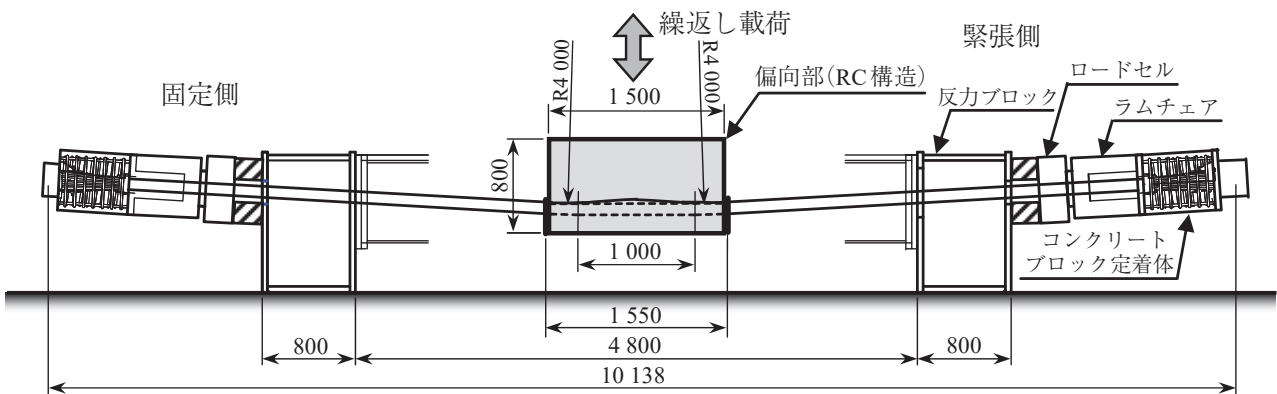


図 - 2 フレットング疲労試験の試験状況の例

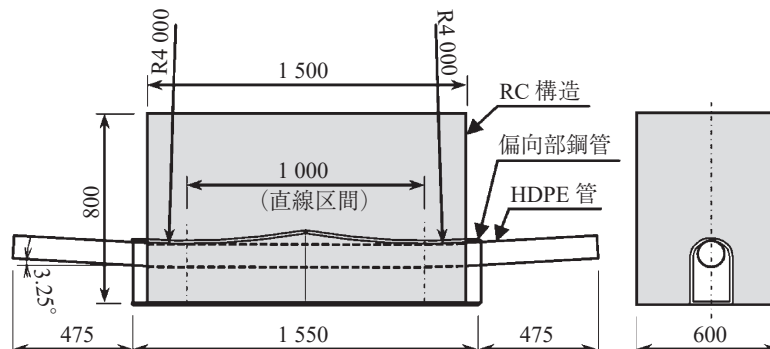


図 - 3 フレットング疲労試験の偏向部の例

表 - 2 性能にかかわる要求事項の照査方法

部位・部材		供 用 性	安 全 性	耐 久 性	維持管理性
既設橋の部位・部材		3.1			
定 着 部	本 体	3.2 (1)		3.2 (2)	
	定 着 具	3.2 (3)	3.2 (3)	3.2 (6)	3.2 (4), (5)
偏 向 部	本 体	3.3 (1)			
	偏 向 具	3.3 (2)	3.3 (2)	3.3 (3)	3.3 (2)
緊 張 材	緊 張 材	—	3.4 (1) ～ (5)	3.4 (6)	3.4 (6)
	防 錆 処 理	—	—	3.4 (6)	3.4 (6)

※表中の数字は、本文中の見出し番号を示す。

3.5 ま と め

本章においては、表 - 1 に示した外ケーブル工法の性能にかかわる要求事項について、その照査方法について述べた。これらについて、表 - 1 にもとづいてとりまとめると表 - 2 のとおりとなる。本章で示した方法は、既往の規準や試験方法をもとに、外ケーブル工法の性能にかかわる要求事項の照査方法について検討を行ったものである。したがって、その適用にあたっては、対象橋梁の設計供用期間、経過年数、荷重作用および環境作用などを考慮して、適切な構造や設計方法を採用する必要がある。

4. 外ケーブル工法の例

既設ポストテンション PC 橋への採用事例があるか、または今後採用が可能な外ケーブル工法の例を表 - 3 に示す。以下に、その概要について述べる。

4.1 緊 張 材

偏向部を有する緊張材としては、一般に鋼材が用いられている。これは、緊張材として FRP を用いて偏向する場合は、偏向部で強度低下が生じることや高価であることなどによるものと推察されるが、既往の事例では CFRP などをシート状に加工して緊張材として採用した事例などがある。緊張材として鋼材を用いる場合は、腐食による劣化を防止するため、鋼材の防錆や鋼材を束ねた緊張材を保護管などで被覆し、マルチレイヤープロテクションとしている。

(1) 使用材料（鋼材の種別）

鋼材を用いた緊張材としては、下記の種別が採用されている。

- 1) JIS G 3536 に規定されている PC 鋼より線
- 2) 1) の PC 鋼より線よりも 10 % 程度引張強度の特性値が大きい高強度 PC 鋼より線⁵⁾
- 3) JIS G 3536 に規定されている PC 鋼線よりも引張強度の特性値が大きい高強度鋼線

PC 鋼より線を使用する場合は、多数本をポリエチレン（以下、「PE」という。）保護管内に挿入する工法や 1 本を PE 保護管で被覆して用いる場合がある。

(2) 鋼材の形状および本数

鋼材の形状および本数としては、下記のものが使用されている。

- 1) JIS G 3536 に規定されている PC 鋼より線または高強度 PC 鋼より線と同等な亜鉛めっき PC 鋼より線およびエポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線を、7 本より 12.7 mm 以上で 1 本あるいは複数本使用

2) 7 mm の高強度鋼線を複数本使用

既設ポストテンション PC 橋の内ケーブルとしては、JIS G 3536 の SWPR1A に相当する 7 mm の PC 鋼線 12 本をシース内に挿入している事例が多い。この場合の最大試験力の合計値は、699.6 kN となる。これに対して 28.6 mm の高強度 PC 鋼より線を用いる場合は、最大試験力が 1 044 kN になる⁵⁾。したがって、高強度 PC 鋼より線 1 本で既設橋の内ケーブル 1 組の約 1.5 倍のプレストレス力を導入することができる。既設橋のうちプレキャストの I 桁や T 桁を用いている場合は、外ケーブルを図 - 1 に示した様に比較的狭隘な桁間に配置する必要があるため、コンパクト化が可能な高強度 PC 鋼より線や高強度鋼線の採用も有効となるものと推察される。

(3) 鋼材の防錆

鋼材の防錆は、下記の方法などが採用されている。

- 1) 亜鉛めっき
- 2) 亜鉛めっき鋼材を PE 管のみか、防錆材と PE 管で防錆
- 3) エポキシ樹脂被覆⁷⁾
- 4) エポキシ樹脂被覆 PC 鋼材を PE 管のみか、防錆材と PE 管で防錆

(4) 緊張材の防錆

前述の「(3) 鋼材の防錆」で示した「3) エポキシ樹脂被覆」の鋼材においては、箱桁内などの外ケーブルに使用する場合に緊張材を保護管で防錆しないケースもある。しかし、既設橋に設置する外ケーブルで桁外に配置される緊張材については、防錆された鋼材をさらに保護するため、保護管として PE 管が一般に採用されている。

鋼材および緊張材の防錆は、対象橋梁の環境作用に応じた適切な方法を採用する必要があるが、少なくとも鋼材本体の亜鉛めっきまたはエポキシ樹脂塗装による防錆処理、防錆処理した鋼材の PE 保護管は、マルチレイヤープロテクションとして必要であると推察される。

4.2 定 着 部

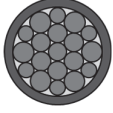
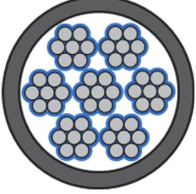
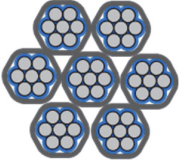
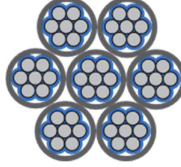
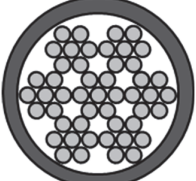
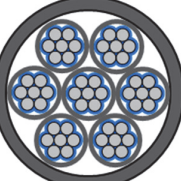
定着部は、図 - 1 に示した様な桁間の狭隘なスペースに設置されるため、本体や定着具をコンパクトで施工が容易な形状および構造とする必要がある。

定着された緊張材は、緊張力の変動や緊張材の振動により疲労破壊するおそれがあるので、適切な構造を採用する必要がある。定着具の構造は、「3.2」で述べたように再緊張が可能な構造や更新が可能な構造とする場合もある。

(1) 定着部本体

定着部本体は、コンクリート構造や鋼構造が採用されて

表 - 3 国内における外ケーブル工法の例*

工法の名称		SPWC 工法	CCL シングル ストランド工法	ディビダークストランド工法		
				①	②	③
緊 張 材	鋼材の種別 形状・本数	高強度鋼線 D7 mm × n 本	高強度 PC 鋼より線 15.7 ~ 30.4 mm × 1 本	(高強度) PC 鋼より線 (15.7) 15.2 mm × n 本	(高強度) PC 鋼より線 (15.7) 15.2 mm × n 本	(高強度) PC 鋼より線 (15.7) 15.2 mm × n 本
	鋼材の防食	亜鉛めっき	① 亜鉛めっき ② エポキシ樹脂被覆	エポキシ樹脂被覆	エポキシ樹脂被覆	エポキシ樹脂被覆
	緊張材の防食	PE 保護管 + 充填材	① PE 保護管 + 防錆材 ② PE 保護管	PE 保護管	PE 被覆	PE 被覆または PE 被覆 + 防錆材
	緊張材の断面					
定 着 部	本体の構造	コンクリート構造 または鋼構造	コンクリート構造 または鋼構造	コンクリート構造	コンクリート構造	コンクリート構造
	定着工法	ボタンヘッド + バインダー	くさび定着または 圧着グリップ + ねじ定着	くさび定着	くさび定着	圧着グリップ
	再緊張の可否 と構造	シムプレートおよび 定着ナット	定着ナット	否	否	アンカーディスクねじ
	製作方法	工場製作	工場製作	セミプレファブ	現場施工	現場施工
施工実績		斜張橋など	あり	あり	あり	なし
工法の名称		SM 工法	FKK フレシネー工法	FKK フレシネー工法 VSL 工法	FKK フレシネー工法 VSL 工法	VSL 工法
緊 張 材	鋼材の種別	(高強度) PC 鋼より線 12.7 ~ 29.0 mm × 1 本	PC 鋼より線 15.2 mm × 1 本	(高強度) PC 鋼より線 (15.7) 15.2 mm × n 本	(高強度) PC 鋼より線 (15.7) 15.2 mm × n 本	PC 鋼より線 1 本
	鋼材の防食	エポキシ樹脂被覆	エポキシ樹脂被覆	亜鉛めっき	エポキシ樹脂被覆	亜鉛めっき
	緊張材の防食	PE 被覆または PE 被覆 + 防錆材	PE 被覆または PE 被覆 + 防錆材	PE 被覆または PE 被覆 + 防錆材	個別 PE 被覆 (+ 防錆剤) + PE 被覆	PE 被覆 + 防錆材
	緊張材の断面					
定 着 部	本体の構造	コンクリート構造	定着部不要 (躯体へ直接取付け)	コンクリート構造 または鋼構造	コンクリート構造 または鋼構造	コンクリート構造 または鋼構造
	定着工法	圧着グリップ	くさび定着	くさび定着	くさび定着	くさび定着または 圧着グリップ
	再緊張の可否 と構造	アンカーディスクねじ	リングナット式の定着 具に変更することで可	リングナット式の定着 具に変更することで可	リングナット式の定着 具に変更することで可	再緊張可 (再緊張用余長を確保)
	製作方法	工場製作	工場製作	セミプレファブ	セミプレファブ	工場製作
施工実績		なし	あり (海外)	あり	あり	あり (海外)

*表は、国内で施工可能な外ケーブル工法の事例の一部を示したものであり、これ以外にも採用可能な外ケーブル工法がある。

いる。定着部は緊張材や定着具の鋼材が劣化因子の侵入により腐食しないように、十分な防錆処理を実施する必要がある。

(2) 定着工法

定着工法としては、下記の方法が採用されている。

- 1) くさび定着
- 2) 圧着グリップ
- 3) PC 鋼線端部をボタンヘッド加工しエポキシ樹脂を主成分とするバインダーで固定した定着工法

定着具は、必要に応じてナットやねじを設けて、再緊張が簡便にできる構造としたものもある。また、更新のために、定着具を定着部本体から容易に外せるようにしたもの

もある。

4.3 製作方法

外ケーブルシステムの製作方法としては、工場で緊張材の防錆と定着具の取付けを行ったものを現場に設置する工場製作方式、工場で防錆した鋼材を保護管に配置したものを現場で定着具を取り付けるセミプレファブ方式、現場で防錆した緊張材を保護管に配置して定着具を取り付ける現場製作方式とがある。

4.4 施工実績

既設ポストテンション PC 橋への外ケーブル工法の採用事例は、現在まではそれほど多くはない。都市間高速道路会社では、「高速道路資産の長期保全及び更新の在り方に

関する技術検討委員会報告書」⁸⁾において、プレストレストコンクリート桁について、「PC 鋼材の変状リスクが比較的高い構造については、外ケーブルによる二重の安全対策を実施する。」と示されており、今後は採用が増大するものと推察される。

5. ま と め

本研究は、既設ポストテンション PC 橋に設置する外ケーブル工法の設計方法について、既往の技術資料や外ケーブル工法の事例調査結果などをもとに、改訂された「コンクリート構造技術規準³⁾」を参考に検討を行った。本研究の検討結果は、以下のとおりである。

- 1) 既設ポストテンション PC 橋に設置する外ケーブル工法の供用性、安全性、耐久性および維持管理性にかかわる要求事項を外ケーブルを構成する部位・部材ごとに、表 - 1 に示したとおり明らかにした。
- 2) 前述のおおのの性能にかかわる要求事項の照査方法について、表 - 2 に示したとおり明らかにした。とくに、緊張材の安全性にかかわる要求事項のうち、疲労破壊に対する照査方法について、定着部および偏向部ごとに、既往の文献をもとに明らかにした。
- 3) 既設ポストテンション PC 橋への採用事例があるか、または今後採用が可能な外ケーブル工法の例を、表 - 3 に示すとともに、その概要および特徴などについて述べた。

6. お わ り に

既設ポストテンション PC 橋においては、PC グラウトの充填不良により、PC 鋼材の腐食や破断などの変状が発

生している橋梁も少なくない。この対策方法としては、外ケーブル工法による補強や PC グラウトの再充填による鋼材の腐食の抑制などがある。一般に社会インフラとして整備されている PC 橋は、性能にかかわる要求事項を満足する状態で、なるべく長期にわたって利用することがライフサイクルコストの削減として重要となる。このためには、有効で効率的な補修・補強技術を推進することが重要である。本研究がその一助となれば幸いである。

最後に、本研究の実施にあたって多大なるご助力を頂いた神鋼鋼線工業株式会社の細居清剛氏に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) プレストレストコンクリート工学会：既設ポストテンション橋の PC 鋼材調査および補修・補強指針，2016.9
- 2) プレストレストコンクリート技術協会：外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準，2005.6
- 3) プレストレストコンクリート工学会：コンクリート構造技術規準－性能創造による設計・施工・保全－，2019.10
- 4) FIP：Recommendations for the acceptance of post-tensioning systems, International Federation for Prestressing, 1993.
- 5) プレストレストコンクリート技術協会：高強度 PC 鋼材を用いた PC 構造物の設計施工指針，2011.6.
- 6) ISO：ISO 6934-4 “Steel for the prestressing of concrete－Part 4: Strand”，1991.
- 7) 土木学会：エポキシ樹脂を用いた高機能 PC 鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針（案），コンクリートライブラリー 133，2010.8.
- 8) 高速道路路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会：報告書，2014.1

【2019 年 12 月 10 日受付】



新刊案内

プレストレストコンクリート技術 2019 年 7 月 (PC 技士試験講習会テキスト)

別冊として、過去 5 年間の PC 技士試験問題、正解および解説を掲載しています。
現金書留または郵便普通為替にてお申込みください。

定 価 6,111 円 (税込) / 送料 500 円

会員特価 5,000 円 (税込) / 送料 500 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会