

技術会議報告 T8 プレストレストコンクリートの耐久性および プレストレス技術による補修と補強

小柳 治*1・宮川 豊章*2・高木 宣章*3

1. はじめに

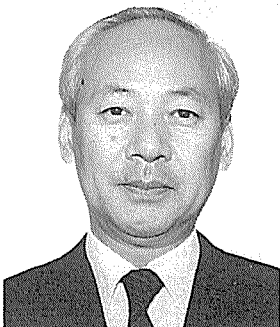
トピック8 (プレストレストコンクリートの耐久性およびプレストレス技術による補修と補強) は、3つのオーラルセッションとポスターセッションから構成され、総論文数は24編であった。各セッションの論文構成を表-1に示す。Aセッションは、プレストレストコ

表-1 セッションの論文構成

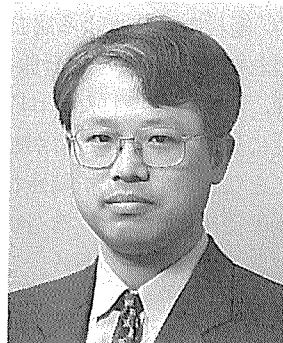
Aセッション：耐久性	T8(c)-5 内ケーブル補強・凱旋門
T8(a)-1 総論	T8(c)-6 外ケーブル補強・PC橋梁
T8(a)-2 総論	T8(c)-7 AFPテープによるせん断補強
T8(a)-3 塩害・補修材	T8(c)-8 外ケーブル補強・PC橋梁
Bセッション：耐久性	ポスターセッション
T8(b)-1 塩害・塩分浸透	PT8-1 塗装鋼材
T8(b)-2 塩害・設計法	PT8-2 塗装鋼材
T8(b)-3 非破壊評価・グラウト充填	PT8-3 塗装鋼材・グラウンドアンカー
T8(b)-4 非破壊評価・腐食モニター	PT8-4 PCはりの耐力評価
T8(b)-5 腐食・斜張橋ケーブルの結露	PT8-5 鋼板接着補強
Cセッション：補修・補強、力学特性	PT8-6 塗装鋼材
T8(c)-1 PC梁の耐力	PT8-7 塩害・暴露試験
T8(c)-2 PPC梁のたわみ	PT8-8 アンボンドPC鋼材による貯蔵庫の補強
T8(c)-3 電気防食・PC梁の力学挙動	
T8(c)-4 外ケーブル補強・総論	

ンクリート(PC) 構造物の耐久性に関する総論2編、塩化物腐食により損傷したコンクリート構造物の補修技術に関して1編の計3編のキーノートから構成されている。Bセッションは、コンクリートあるいはコンクリート構造物の塩害に関して2編、シーす内のグラウト充填の非破壊検査、PC橋梁の鋼材腐食モニター法、建設中の斜張橋ケーブルの腐食対策の計5編である。Cセッションは、長期荷重履歴を受けたPC梁の耐力、PPC梁のたわみ、電気防食したPC梁の力学挙動、外ケーブルによるPC橋梁の補強3編、歴史的構造物のPC鋼材による補強、鉄筋コンクリート(RC)柱のアラミドテープによるせん断補強の計8編である。ポスターセッションは、腐食防止のための塗装PC鋼より線の開発に関して3編、防食処理したグラウンドアンカーの開発、間詰め部を有するPC梁の鋼板接着補強、暴露試験によるPC梁の防食技術の開発、アンボンドPC鋼棒による石炭貯蔵庫補強の計8編である。

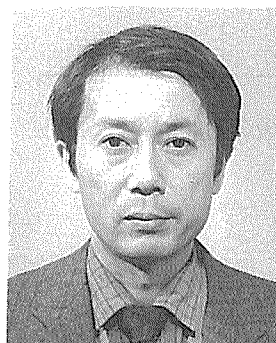
国別の論文数は、日本が最も多く14編、フランスの2編、ドイツ、スイス、ノルウェー、オーストラリア、USA、ルーマニア、南アフリカ、中華人民共和国が各1編であった。京都で開催されたため、日本の論文が約6割であった。残念ながら、ルーマニア、南アフリカ、中華人民共和国は論文のみで、シンポジウムへは欠席で



*1 Wataru KOYANAGI
岐阜大学
工学部土木工学科
教授



*2 Toyoaki MIYAGAWA
京都大学
工学部土木工学科
助教授



*3 Nobuaki TAKAGI
立命館大学
理工学部土木工学科
助手

あった。

PC 構造物は、約 50 年の歴史をもっている。その間に生じた問題は、そのつど検討され、その成果はその後の構造物に反映されてきた。その結果、PC 構造物は、社会的にも高い評価を受けてきた。しかし、最近、施工不良、供用中の不十分な管理・検査のために、PC 構造物の損傷劣化が報告され、多くの社会的批判を受けている。イギリスの運輸省やドイツの化学工業協会 (German chemical industry) のように、ポストテンション方式の PC 構造物の建設を禁止しているところもある。この主原因は、PC 鋼材の腐食と過大なたわみにあると考えられる。このような時期に、PC 構造物の耐久性およびプレストレス技術による補修と補強に関する本シンポジウムのこのセッションが設けられることは、誠に時宜にかなったものである。本セッションの論文分野は、表-2 に示すように、耐久性に関しては主に腐食の問題、耐久性の評価法の提案、塗装鋼材の開発、および力学特性と損傷劣化構造物の補修・補強例の紹介など、現在、コンクリート構造物において問題となっているテーマを取り扱っており、非常に興味深いセッションであった。以下、代表的な論文を中心に、概要を述べる。

表-2 論文の分野

論文の分野	論文番号
コンクリート構造物の耐久性	
総論	T 8 (a)-1, T 8 (a)-2
腐食	T 8 (a)-3, T 8 (b)-1,
塩害	T 8 (b)-2, PT 8-7
結露	T 8 (b)-5
電気防食	T 8 (c)-3
評価法	T 8 (b)-3
グラウトダクトの充填	T 8 (b)-4
構造物の腐食度	
塗装鋼材の開発	
ケーブル	PT 8-1, PT 8-2, PT 8-6
グラウンドアンカー	PT 8-3
コンクリート構造物の力学特性	
部材耐力	T 8 (c)-1, PT 8-4
たわみ	T 8 (c)-2
コンクリート構造物の補修・補強	
外ケーブルによる補強	T 8 (c)-4, T 8 (c)-6, T 8 (c)-8
内ケーブルによる補強	T 8 (c)-5, PT 8-8
その他	T 8 (c)-7, PT 8-5

2. 耐久性問題の現状と今後の動向

2.1 PC 構造物の現状と課題

[T 8 (a)-1, T 8 (a)-2]

1970 年代に多く発生した PC 構造物の損傷の原因は、PC 鋼材の応力腐食に対する不十分な対応、大きな緊張力時に定着部に生じるコンクリートの引張応力の過小評価、不静定構造物におけるクリープおよび熱勾配の影響の不十分な評価、施工管理の不適切さなどであった。これら初期の問題点は、今日、技術的には解決され

ている。

しかしながら、最近、PC 構造物の信頼性に疑問を投げかける厳しい批判があり、極端な場合には、ポストテンション方式の PC 構造物の建設を禁止する機関もある。この原因としては、PC 鋼材の腐食問題と過大なたわみの 2 つが考えられる。しかし、日本では、これらの問題に対して、過去 20 年間の経験を生かして、解決策が PC 構造物の設計施工基準に反映されている。例えば、緊張中の PC 鋼材応力の制限、最大供用荷重下におけるコンクリートの引張応力の制限、十分なかぶりの確保などである。

PC 構造物の耐久性の保証の観点からは、施工中の品質管理が最も重要であると考えられる。RC 構造物の建設に必要な管理のほかに、PC 構造物では、シースの設置と調整、PC 鋼材の保管から設置完了までの保護、グラウト注入、緊張作業、定着部の被覆まで、豊富な知識、熟練した作業と同時に十分な作業管理が必要になる。また、複雑な手続は、排除することが重要である。そこで、ヨーロッパでは、1980 年代に計画から施工完了までの一貫した品質保証制度 (Quality Assurance System) が導入された。この制度は、専門技術者を養成するために、専門技術試験に合格した者に免許証を交付し、定期的に更新させるものである。この制度の利点としては、建設の各段階での作業内容および責任分担を明確にできること、不測の事態が生じたときに早急な発見並びに対応ができること、通常作業はもとより特殊作業に対するマニュアルを規定できることなどがある。日本においても、この制度の運用をはじめめるための第一段階として、プレストレストコンクリート技士試験制度が、本年度から取り入れられている。

PC 構造物に関する新技術の開発は、多く行われてきた。例えば、混和剤の進歩に伴うグラウト技術の向上、グラウトダクト充填の検査方法の開発 (X 線, γ 線, 超音波法など)、コンピュータによる時間依存性変形の計算技術の発達、コンクリートの高強度化など。また、PC 鋼材の塗装による腐食防止技術の開発も精力的に行われてきた。新しい緊張材として高強度、軽量、非磁性、耐塩害に優れた FRP の開発も行われているが、靱性に欠けること、定着がむずかしいこと、高価格であることなどの問題が指摘されている。さらには、外ケーブルの使用による PC 構造物の建設も、ヨーロッパを中心に盛んになりつつある。この技術は、建設後の緊張材の管理がしやすいこと、必要であれば緊張材の交換が可能であるなどの利点を有している。さらに、外ケーブルは、損傷劣化した橋梁などの補修にも使用されている。

十分な知識と適切な技術により設計、施工、管理された PC 構造物は、本来耐久性に富んだ信頼できる構造物

である。そして、建設後の定期検査と維持管理は、社会的重要な高いこれらの構造物の安全性を高めるために、必要不可欠のものと考えられる。

2.2 コンクリート構造物の腐食問題

コンクリート構造物の鋼材腐食を防止するうえで最も信頼できる方法の1つは、密実なコンクリートで十分なかぶりを確保することである。コンクリートのみで対処するこの第1種防食法以外に、塗装鋼材、メッキ鋼材あるいは耐塩性鉄筋の使用、コンクリート表面塗装、電気防食、防錆剤の使用などの第2種防食法がある。

(1) コンクリート表面塗装 [T 8 (a)-3, PT 8-7]

塩害で損傷したコンクリート構造物に対する補修材としてのコンクリート表面塗装の効果に関する暴露試験報告を紹介する。コンクリート表面塗装材自体の耐久性、塩分 (10~30 kg/m³) を含有している RC 部材への表面塗装およびその種類の効果を検討するために、日本海に面する東北地方で5年間暴露試験が行われた。アクリル、エポキシ、ポリブタジエン、ウレタン、ビニルエステルが無筋コンクリートに塗装されている。ポリブタジエンを塗装した供試体でひび割れが、ガラスフレイク強化ビニルエステルを塗装した供試体で膨張が観察されているが、これらの供試体の塩化物イオン浸透量は少なく、塗装材とコンクリート表面の付着強度も良好であった。一般に、塗装表面の外観観察で、塗装材の劣化度をかなり評価できるようである。すべての供試体で、光沢が暴露5年で10~30%劣化していた。

塩分を含有しているかぶり2.5 cmのRC部材をエポキシ樹脂で塗装すると、暴露3年と5年での鉄筋腐食度は、かぶり5 cmと7 cmの塗装していないRC部材と同程度である。また、エポキシ樹脂以外の塩化ビニル、アクリル、ウレタン、ビニルエステルなどについても、暴露3年まで劣化が観察されていない。塗装膜厚の影響はあるものの、これらの結果から、塩害により劣化したコンクリート構造物の補修方法として、コンクリート表面塗装の効果が報告されている。

本論文では、あらかじめ塩分を含有させることにより、塩害による劣化構造物を模擬しているものと思われる。しかし、劣化構造物には腐食鉄筋があるのに対し、本実験の表面塗装時には、必ずしも腐食鉄筋は存在しない。そのため、鉄筋の腐食度により、腐食の進行段階が異なるので、本試験結果からコンクリート表面塗装が劣化構造物の補修に効果があると判断することは、むずかしいものと考えられる。

プレテンションあるいはポストテンションPC梁の鋼材腐食への表面処理の効果に関する暴露実験も報告されている。暴露試験は、太平洋に面した静岡県大井川沖合250 mのプラットホーム上で行われている。表面処理

としては、表面塗装 (エポキシ、ウレタン、ビニルエステル、シリコンラバー、アクリルラバー、セメント系など) と含浸処理 (シリコン、アクリル、ビニルエステル、ポリエステル系) が採用されている。塩化物浸透試験結果を図-1に示す。表面塗装すると、塩化物の浸透抑制効果が著しい。含浸処理は、無処理に比較すると効果はあるものの、表面塗装と同等の効果を期待することはできないようである。

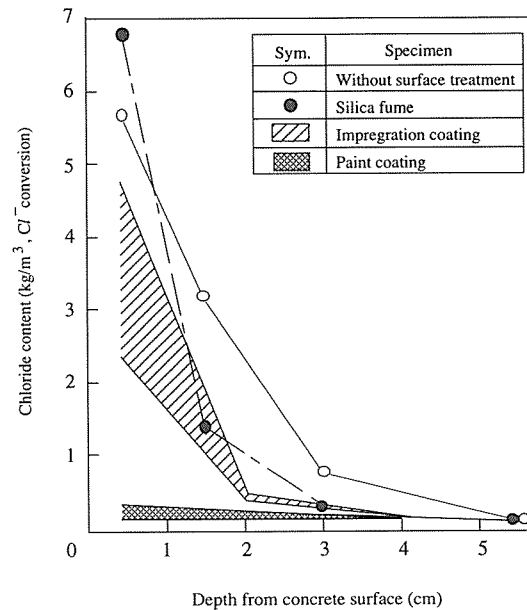


図-1 塩化物浸透への表面処理とシリカフェームの影響

(2) 建設中の斜張橋ケーブルの結露 [T 8 (b)-5]

斜張橋のケーブルは、鋼管、PE管、FRP管などの保護管中に挿入された後に、セメントグラウトが注入され、完成時には腐食に対して保護されている。ケーブルとしては、無処理、メッキ、エポキシ塗装ケーブルなどが使用される。しかし、無処理ケーブルが使用されるときには、ケーブルはグラウトされていない保護管中に長期間さらされることになる。ケーブル端部は、雨水などが保護管中に浸入しないようにシールされているが、ケーブルと保護管の間に隙間があるために、ケーブルに結露が生じ、腐食が発生することが多い。そこで、建設中の斜張橋ケーブルの結露対策についての報告を紹介する。

揮発性の腐食抑制剤 [(C₆H₁₁)₂NH₂NO₂] の充填・シール法と乾燥空気の吹付け法が、腐食抑制法として検討されている。これらの方法を採用しても、1年後に幾分の腐食は生じるものの、無処理の場合に比較すると、著しい抑制効果がある。装置の規模あるいは施工性から、実構造物へ適用するときには、腐食抑制剤の充填・シール法を推奨している。その際、腐食抑制剤の使用量

は、標準の3倍以上が好ましい。

(3) 電気防食 [T 8 (c)-3]

第2種防食の1つである電気防食は、RC 構造物への適用例は多くあるものの、PC 構造物への適用例は非常に少ない。これは、電気防食すると、非常に卑な電位となる PC 鋼材表面から水素の放出が起り、PC 鋼材が脆性化する可能性があること、また、 Na^+ 、 K^+ などの陽イオンが鋼材表面に移動するために、PC 鋼材とコンクリート間の付着が劣化する可能性があると考えられているためである。これらの問題点を検討するために、PC 梁への電気防食の適用が検討されている。

電気防食したプレテンション PC 梁を、東京湾沿岸で暴露試験を行っている。鋼材腐食を促進するために、コンクリートに 15 kg/m^3 の NaCl を添加している。電流密度は、0、20、40 mA/m^2 である。暴露試験後、静的載荷試験、疲労試験、静的載荷試験後の梁内の PC 鋼線の引張試験と PC 鋼線周辺の塩化物量の測定を行っている。電気防食した PC 梁のたわみが、電気防食していない梁より小さい。また、暴露3年間、PC 梁の静的強度、疲労強度、ひび割れ性状に電気防食による悪影響は観察されていない。静的載荷試験後の梁内の PC 鋼線の降伏強度と引張強度は、電気防食にかかわらず同じであるが、電気防食していない PC 鋼線の伸びが、かなり小さくなっている。これは、破断箇所が孔食部であり、孔食により伸びが減少するためである。PC 鋼線周辺の塩化物量を図-2 に示す。電気防食していない梁の塩化物量は、暴露により増加するが、電気防食した梁の塩化物量は、暴露あるいは電流密度の増加に伴い減少している。電気防食により、PC 鋼線周辺の塩化物量が減少することは、現在、塩分除去の一方法として検討されているデサリネーション法と同様に、塩化物腐食抑制の面から大きな利点である。

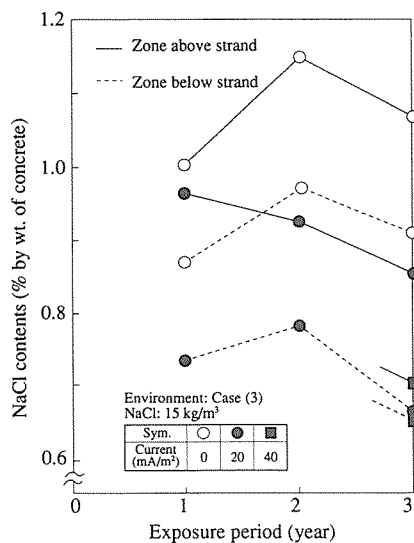


図-2 より線周囲のコンクリート中の塩化物量

2.3 評価試験法の開発 [T 8 (b)-3, T 8 (b)-4]

PC 構造物の劣化の一原因として、ポストテンション PC 部材のグラウト注入の不十分さが挙げられる。そのため、ヨーロッパ諸国の中には、ポストテンション PC 構造物の建設を禁止している機関もある。グラウトの注入度を検査する方法としては、打撃エコー法、超音波法、X 線撮影法などがある。ここでは、超音波スペクトロスコープによる報告を紹介する。

スイープモード入力によるスペクトル応答により、グラウト注入度は評価されている。解析周波数は、10 kHz 以下の範囲である。発振子には音速測定用の圧電素子を、受振子には圧電加速度計を使用している。発・受振子の設置法は主に表面法を、一部には透過法を採用している。実験結果は、境界要素法による二次元解析結果と比較検討されている。シースを埋め込んだモデル供試体の実験から、グラウト欠陥部をスペクトル応答の個々のピーク周波数により確定することは困難であるが、スペクトル応答の包絡線から推定できることの可能性を示唆している。表面法による PC 梁の試験では、スペクトル応答のピーク周波数がウェブ幅による共振の影響を受けること、透過法は表面法ほどウェブ幅による共振の影響が多くなく、スペクトル応答のピーク周波数がグラウト前後でシフトするため、グラウト注入度の評価が可能であることを指摘している。グラウト前後でスペクトル応答のピーク周波数がシフトする現象は、境界要素法による理論解析でも確認されている。グラウト注入検査法として本方法を適用するには、まだ多くの問題はあるものの、今後の研究に期待したい。

コンクリート構造物の鋼材腐食の検査法として、一般的には、外観観察、自然電位法、分極抵抗法などが使用されている。ここでは、鋼材が腐食すると発生する膨張圧に対応したコンクリート表面のひずみと鋼材ひずみの変化から、鋼材腐食の進行度を検討した報告を紹介する。

RC 梁の鉄筋は、電食により腐食させている。電食を促進するために、 5 kg/m^3 の NaCl をコンクリートに混入している。主鉄筋 5 本のうち、3 本を電食させ、2 本はエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用している。死荷重と活荷重の影響を除去するために、コンクリートゲージは、梁長辺方向に対して直角に取り付けられている。

電食による鉄筋のひずみ増加は少ないために、腐食度の検討には適さない。コンクリート表面の引張ひずみは、電食による体積膨張によりかなり増加する。しかし、局部的に電食する場合には、コンクリート表面は必ずしも引張側にはならず、この方法により電食の程度を評価することは困難である。興味ある手法ではあるが、実構造物への適用は、かなりむずかしいものと考えられ

る。

2.4 塗装鋼材の開発 [PT 8-1~3, PT 8-6]

PC 鋼材は腐食に対して特に敏感であり、ひとたび腐食が生じると、緊張材の急激な破断により、PC 構造物は崩壊の危機に直面することになる。例えば、融氷剤による床版の塩化物腐食 (USA)、ポストテンション PC 桁橋の緊張材の腐食による崩壊 (英国)、日本においても数多くの PC 橋梁の塩化物腐食による損傷事例が報告されている。そのため、緊張材の腐食防止は、PC 構造物にとって、特に重要な問題である。近年、表面塗装鋼材の開発が盛んであるが、ここでは、エポキシ樹脂塗装 PC 鋼より線 (7 本より線) についての報告を紹介する。エポキシ樹脂塗装 PC 鋼より線の開発に関して 3 編、グラウンドアンカーへの適用が 1 編である。

エポキシ樹脂塗装 PC 鋼より線は、1983 年に USA で開発された。しかし、この緊張材は、フロリダ州の橋梁の橋脚に使用されたが、建設後 5 年以内に腐食が生じた。この原因は、塗装層にピンホールがあったこと、塗装が PC 鋼より線の外側表面のみであり、中心ワイヤー表面および外側ワイヤーの内側には樹脂で充填されていない空隙が存在するためであった。

そこで、PC 鋼より線内部にある空隙が欠陥部とならないような製造法が開発された。この方法には、図-3 に示すように、PC 鋼より線をそのままの状態に塗装する方法 (A 法) と、より線をいったん個々のワイヤーにほぐして塗装し、再びより直す方法 (B 法) の 2 種類がある。A 法は、最初により線の表面温度を 200~300℃ に昇温した後に、熱可塑性ポリマー粉体の入っている高压容器中で数秒間塗装処理し、その後冷却する方法である。压力容器中で、ポリマー粉体がワイヤー表面に付着し、ワイヤーの高温度で溶融すると同時に、内部空隙に入り込み充填される。この方法による表面塗装厚さは、0.2~0.8 mm である。この方法で樹脂を硬化させる処理の前に、より線外周表面に砂あるいは粗粉を埋め込んで、付着特性を改善する方法も報告されている。B 法は、PC 鋼より線を個々のワイヤーにほぐして、各々

エポキシ粉体塗装処理、熱可溶処理、冷却を行った後に、再びより直す方法である。この方法による表面塗装厚さは、0.08~0.12 mm である。

エポキシ樹脂塗装 PC 鋼より線の引張試験、曲げ加工試験、疲労試験、衝撃試験、付着試験、定着試験などが行われ、塗装されていない通常の PC 鋼より線と同様の力学的特性が確認されている。また、エポキシ樹脂塗装 PC 鋼より線の腐食抵抗性 (塩水散水、加圧水中浸漬) あるいは化学抵抗性 [HCl, NaOH, CaCl₂, Ca(OH)₂ など] は、塗装されていない PC 鋼より線より非常に優れている。樹脂塗装鋼より線の開発に伴い、耐腐食性のある定着部装置の開発も行われている。塗装処理された定着具を使用した引張試験結果は、満足な引張強度を示し、試験後の定着具の外観検査から、より線破断まで異常なすべりは見いだされていない。

A 法で塗装した PC 鋼より線 (表面に砂を付着させていない) を使用したポストテンション PC 梁の曲げ挙動に関する報告を紹介する。表面塗装にかかわらず、曲げひびわれ発生荷重と終局荷重はほぼ同じであるが、塗装より線を使用した梁には、すべりが観察されている。すべりが生じた梁は、高荷重レベルでたわみが幾分か小さくなる傾向にあるが、このすべりが比較的小さいために、荷重~たわみ曲線はほぼ同じであると報告されている。しかし、PC 鋼より線の塗装方法、形状の相違により、すべりの発生の有無、荷重~たわみ曲線は、異なることが推察される。

エポキシ樹脂塗装 PC 鋼より線は、その耐腐食性のために、腐食環境下にある橋梁、建築物、あるいはグラウンドアンカーなどにすでに使用されている。その使用例が紹介されている。今後、この種のより線の使用は、増加するであろう。

3. 損傷劣化構造物の補修・補強の現状

3.1 外ケーブルによる構造物の補強

[T 8 (c)-4, T 8 (c)-6, T 8 (c)-8]

外ケーブルによる構造物の補強により、構造物の重量

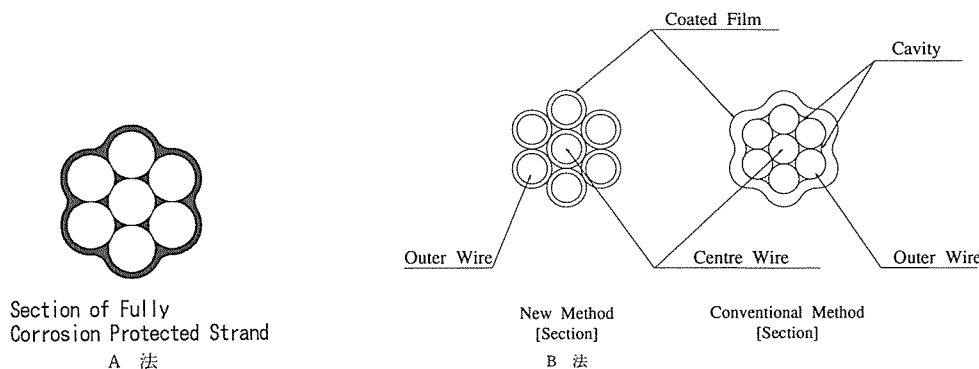


図-3 塗装 PC 鋼より線の塗装方法

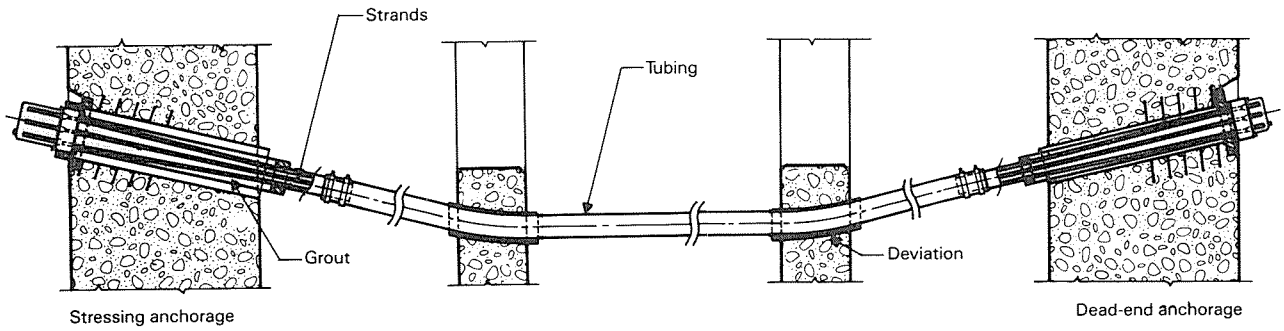


図-4 外ケーブル補強の構成要素

が過大に増加することはないので、基礎の耐力に余裕がないとき、耐震設計上から重量の増加がむずかしい場合などにおいても、この補強法は有効である。また、構造物の外観を大きく変化させることなく、補強できる特徴もある。外ケーブル補強に必要な要素の概略を図-4に示す。主要素は、緊張材、Deviator、定着部、臨時の支持台などから構成される。補強材としては、一般に、PC鋼より線が使用されることが多い。多重より線は、鋼管あるいはPE管などの保護管に挿入された後に、グラウトが注入される。Deviatorは、ケーブルの曲率が変化する箇所ではケーブルを支持し、荷重を構造物に伝達する役割をする。構造物の下方に Deviator を設ける場合には、新たにコンクリートの受け部が必要になる。定着部の形式は、作業環境と方法、設置法など多くの要因により決まる。

スイス(2例)、USA、日本における外ケーブルによる

既存構造物の補強例を紹介する。図-5の橋梁は、全長404m、2車線の自動車高架橋で、支間31~45mの単純梁(ダブルT形)から構成されているが、支点近くのひび割れ、伸縮目地の損傷などにより損傷劣化している。図-5に示すように、橋脚上をRCジャケットで補強し、橋梁全長にわたり外ケーブルを使用して、構造形式を単純梁から連続梁に変えることにより補強している。全長にわたる真っ直ぐな外ケーブルを4本、52mの外ケーブル2本は4スパンのみに使用している。アバットの背後には緊張作業に必要な空間を有するチャンバーが設けられている。

主スパン72mの中央たわみが110mmで、0.5mm以下の多数のひびわれが発生している全長230mの箱桁橋(スパン:3×27-38-72-38m)の外ケーブルによる補強例を図-6に示す。過大なたわみが生じた橋梁を補強するときには、Deviatorの設置が必要になる。

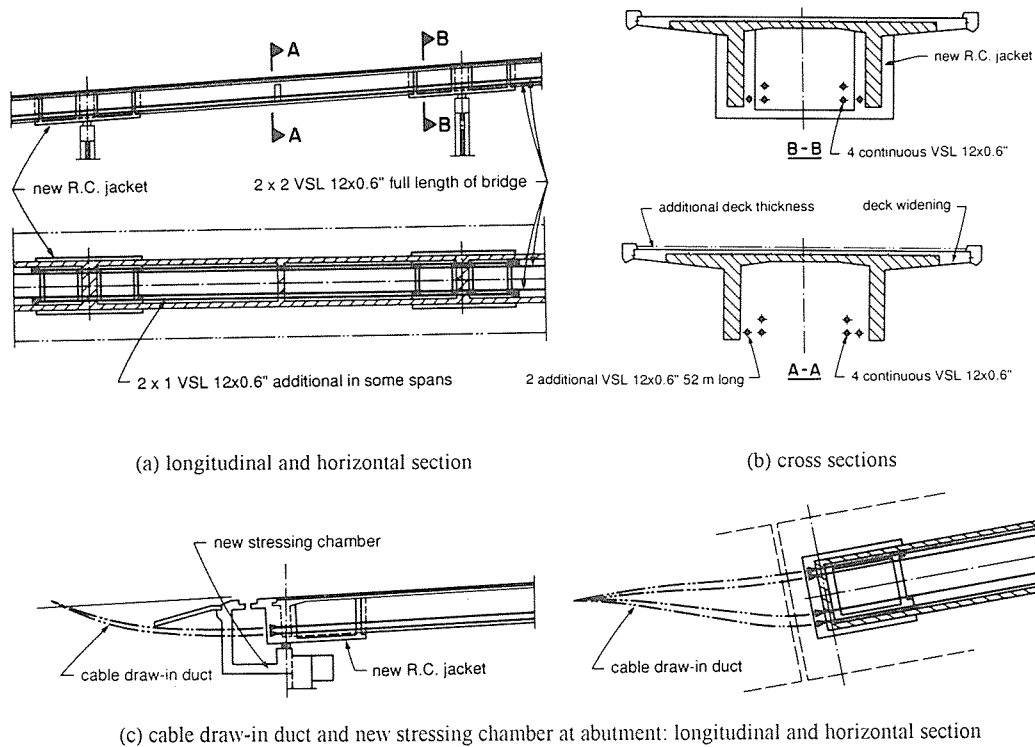


図-5 Hoell橋の外ケーブルによる補強

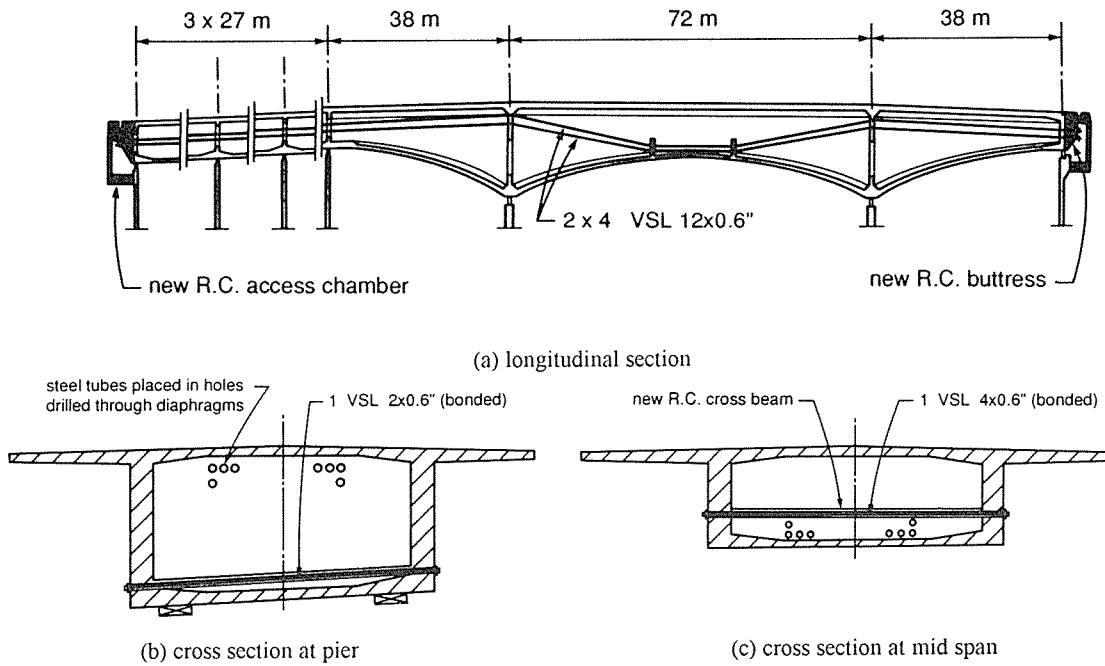


図-6 Massongex 橋の外ケーブルによる補強

この補強により、主スパンの中央部は、上方向に 20 mm 盛り上がった。

USA (カリフォルニア州) の Parrotts Ferry 橋 (軽量コンクリートを使用した箱桁橋) は、1978 年の建設から 1990 年の 12 年間に、主スパン 195 m の中央たわみが、約 63.5 cm となった。大規模な調査により、過大なたわみが発生した原因として次の 3 つの理由が考えられた。設計と施工段階でのコンクリートの試験が、実構造の環境とは異なるシール供試体で行われたこ

と、クリープの解析モデルが適切でなかったこと、中央スパン断面に生じたひびわれがクリープを助長したこと。クリープ・乾燥収縮の検討に、軽量コンクリート構造物を対象とした Bazant-Panula モデルを使用すると、よく一致することが報告されている。数種類の補強法の比較検討から、図-7 に示す外ケーブルによる補強法が採用されている。図-6 とほぼ同じ補強法であるが、ケーブルの定着法が幾分異なっている。

日本においても、損傷した T 形ブロック桁の外ケー

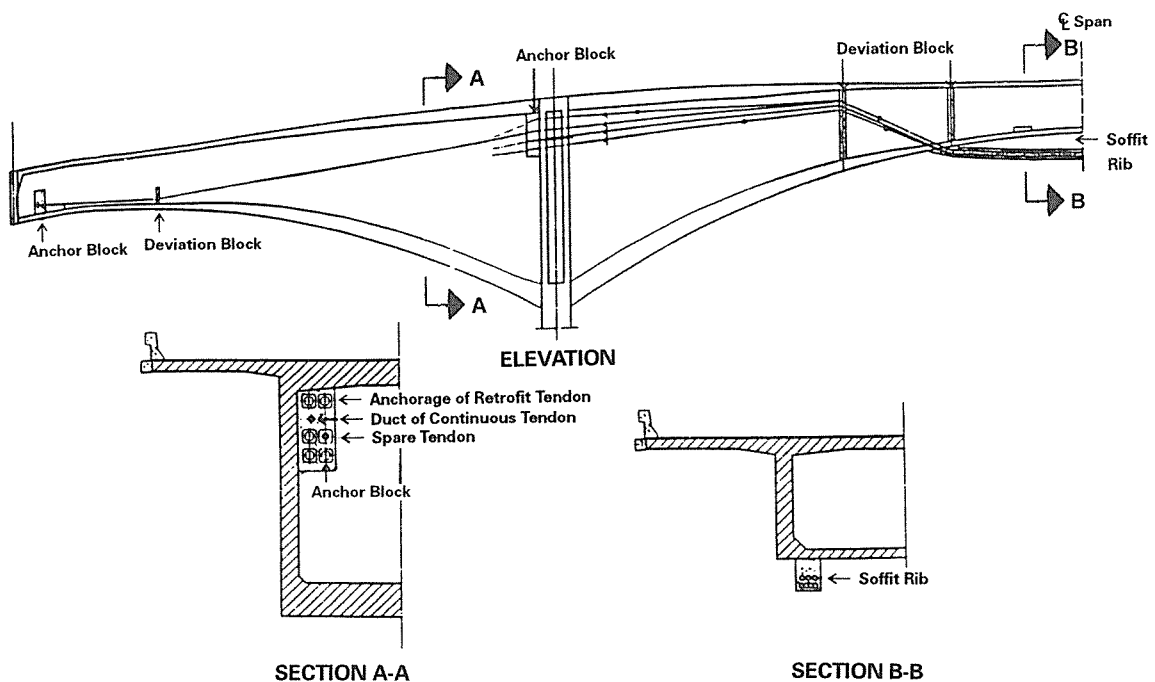


図-7 Parrotts Ferry 橋の外ケーブルによる補強

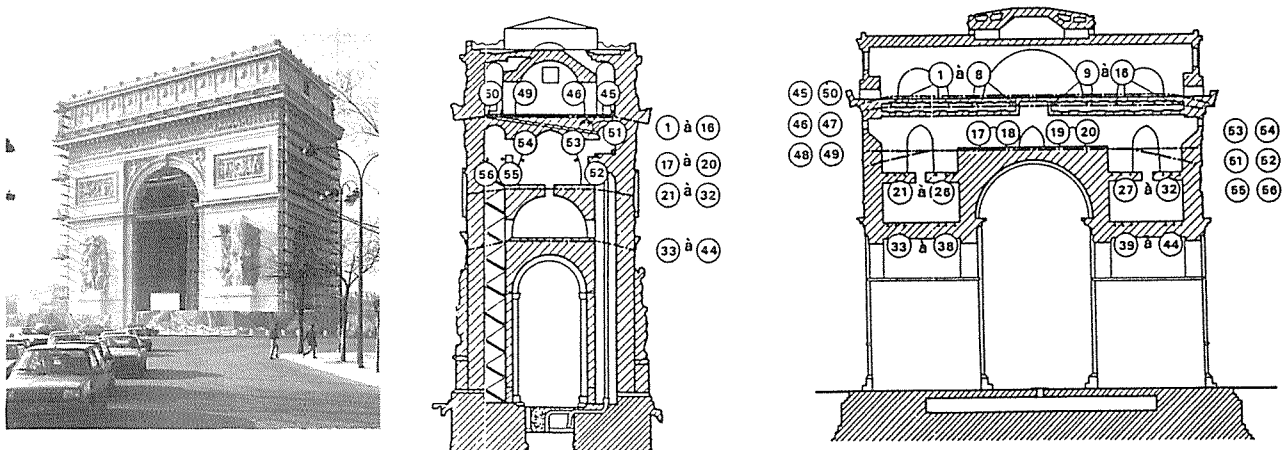


図-8 凱旋門の外観と補強用緊張材の配置

ブルによる補強例が報告されている。このポストテンション・T形ブロック桁は、接合部の損傷が激しく、最も損傷の激しい桁では、導入プレストレス量が目標値より30%も小さいことが、ダンプトラックによる走行試験から確認されている。また、グラウトの不完全な注入も、X線撮影で確かめられている。室内実験および理論的検討により、外ケーブルによる補強効果を確認した後に、この補強法を既存橋梁に適用している。耐腐食性を考慮して、ポリエチレン塗装PC鋼より線を使用している。補強前後のトラック走行によるひび割れ幅観察から、外ケーブルによる補強の有効性を報告している。

既存橋梁の補強は、今後増加する傾向にあると考えられるので、外ケーブルに対するより一層の検討および研究が必要であろう。同時に、設計段階から完成後の構造物の管理をも考慮に入れた検討が必要となる。

3.2 内ケーブルによる構造物の補強 [T 8 (c)-5]

歴史のある構造物を補強・修繕するときには、その性格上、構造物の外観を変化させることなく補強することが必要である。パリの凱旋門の補強例を紹介する。この凱旋門は、皇帝ナポレオンが1805年に建設を開始し、1835年に完成した。長さ45m、幅25m、高さ50m、総重量5万トンの大型構造物である。1983年にアーチの天井と前面部から落石があったため、この構造物の調査が行われた。この構造物の基礎は、大きな岩石上にある。しかし、外部から浸透した雨水が地下水となり、基礎の接合部を洗掘し、接合部のモルタルを損傷劣化させ、基礎が移動したために、構造物の上部が変形し、大きな損傷をもたらした。

補修方法としては、2種類のグラウト注入と、緊張材による補強が行われた。基礎接合部の空隙を充填して地

下水に対する抵抗性を高めるセメントグラウトと、蜂の巣構造となっている箇所強度と耐水性を高める高活性シリカとカルシウム系グラウトの2種類が使用された。緊張材による補強箇所を図-8に示す。緊張材としては、PC鋼より線が使用された。

3.3 その他の補強法 [T 8 (c)-7, PT 8-5]

コンクリートの剥落、漏水、フリーライムの析出などの損傷を示したプレキャストPC橋 (T桁) のスラブの接合部 (間詰め部) の鋼板接着による補強例を紹介する。T桁スラブ間の間詰め部 (無筋コンクリート、あるいはRC) は、一般に横方向にPC鋼材で緊張されている。損傷原因を確認し、補強法を検討するために、間詰め部コンクリートの圧縮強度、導入プレストレス量、水の存在、鋼板接着の有無などを要因にした疲労試験を行っている。損傷原因は正確に再現あるいは確認されていないけれども、鋼板接着による補強効果の有効性を実験で確認し、既存損傷構造物への適用を報告している。

また、アラミド繊維のテープあるいは布を柱に巻きつけることにより、柱のせん断耐力を増加させることができること、また、コンクリートの靱性と変形性能の改善を行うことができるなどの報告もあった。

4. おわりに

耐久性に富んだコンクリート構造物を建設することは、コンクリート技術者の使命であると同時に誇りでもある。したがって、今日、コンクリート構造物に対して指摘されている問題点を真摯に受け止め、改善の努力を行うことが必要である。その意味で、本トピックの紹介が参考になれば幸いである。