

JR 東日本における鉄道 PC 構造物の品質確保・高耐久化に向けた取組み

木野 淳一*1・大庭 光商*2

鉄道構造物では、これまでに多数の PC 構造物が建造されてきている。PC 構造物は、鋼構造物と比較して維持管理の省力化が長所の一つとなっている。しかし、これまでに建造された構造物の中には、本来あるべき省メンテナンス性が発揮されず、維持管理に多大な労力が必要となっている例も少なくない。

JR 東日本では、過去に建造された PC 構造物で発生した不具合を、今後施工する PC 構造物において再度発生させることがないように、設計・施工の両面から対処を行ってきた。本稿では、国鉄改革以降、JR 東日本で行われている PC 構造物の品質確保・高耐久化に向けた取組みを記載する。

キーワード：設計，施工，耐久性

1. はじめに

プレストレストコンクリート（以下、PC という）構造は、旧国鉄信楽線（現信楽高原鐵道）第一大戸川橋梁で橋梁として初めて本格的に採用されて以来、中規模以上の多数の橋梁で採用されてきている。これには、以下のような背景があった。

- ・ 東海道新幹線開業後、鋼橋の騒音振動問題が発生したことから、長大橋梁においてもコンクリート構造の需要が高まった。
- ・ 塗装が必要な鋼橋と比較して、耐久性が高く維持管理が軽減される。

しかし、耐久性の高さに関しては、供用開始後に当初想定していなかった変状が発生しており、設計時点での性能が発揮されているとはいいがたい例が見受けられている。具体的な変状としては、塩害に対する抵抗性が設計と現実で相違している、施工時の不具合（グラウトの充てん不良・未充てん、定着部あと埋めの不良、桁接合部からの漏水など）などの原因により、鋼材の腐食に伴うコンクリート片のはく落、緊張材の破断・あと埋め材はく落などが発生している。これらの変状が発生した場合には、同種の構造物を緊急に一斉点検し、場合によっては対策を施してい

る。一般に PC 鉄道橋は、河川・道路交差部など、制約条件を受ける箇所で使用していることから、点検・対策を行う場合には多大な労力が必要となる。

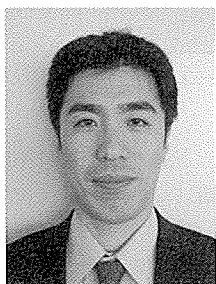
このような状況を鑑み、東日本旅客鉄道株式会社（以下、JR 東日本という）では、PC 鉄道橋梁の品質確保、高耐久化を目的としたさまざまな独自の施策を展開してきている。本稿では、その施策について述べる。

2. 設計時の取組み

2.1 横締め PC 鋼材の防錆対策

PC 構造の横桁や PC 箱桁・PC 下路桁の床版、電架柱を支持する梁などにおいては、PC 鋼棒やシングルストランドといった PC 鋼材を使用した横締めが一般的に行われている。

この横締め PC 鋼材については、現在供用中の構造物において PC 鋼材が破断し、定着部あと埋めモルタルのはく落や PC 鋼材の突出（写真 - 1）が数件報告されている。PC 鋼材破断の原因は、主にグラウトの施工不良（充てん不良および未充てん）や定着あと埋め部からの雨水の浸入が原因である。



*1 Junichi KINO

東日本旅客鉄道(株)建設工事事部
構造技術センター



*2 Mitsuaki OHBA

東日本旅客鉄道(株)建設工事事部
構造技術センター 課長

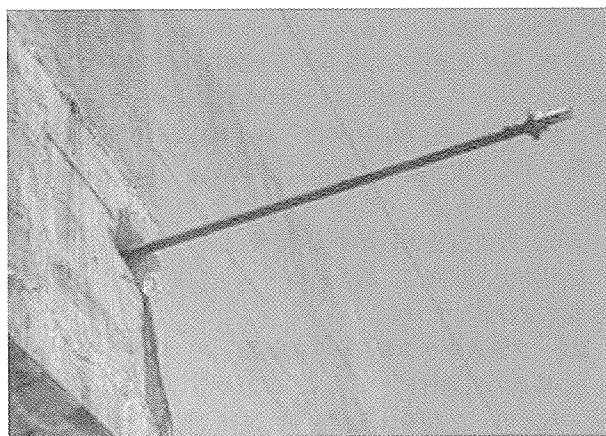


写真 - 1 横締め PC 鋼棒の破断・突出

そこで、JR 東日本では 2001 年以降、新設 PC 橋梁の設計において下記の対策を施している。

- ・横締め PC 鋼材には樹脂被覆した鋼材をグラウトして（二重防錆）使用するか、プレグラウト方式を使用する（写真 - 2）。
- ・定着部あと埋めモルタルは防水工を施す（写真 - 3）。



写真 - 2 プレグラウト鋼材の使用



写真 - 3 横締め部の防水工

なお、グラウト不良の対策としては、アンボンド PC 鋼材の使用も手段の一つとして考えられる。しかし、アンボンド PC 鋼材を使用した場合、万一鋼材が破断した際には、鋼材とコンクリートの間に付着がないことから突出エネルギーが大きく、PC 鋼材の突出・あと埋めモルタルのはく落が発生する危険性が高くなる。そのため、現在では採用を見合わせている。

また、既設構造物に対する対策として、横締め部にすべて突出防止工を施し、あと埋めモルタルはく落による第三者災害を防止している。

2.2 プラスチック製シースの使用

PC 構造の主鋼材については、グラウトの充てん不良・未充てんといった事象は横締め PC 鋼材と同様に存在していると思われる。しかし、横締め PC 鋼材のような突出事象

はこれまであまり報告されていない。これは、主鋼材に関しては、鋼材の腐食破断が発生した場合でも、あと埋めモルタルは橋台・橋脚の桁座面へ落下するだけで、橋梁下へ落下しないため、発見が遅れる、もしくは発見されないことによるものと考えられる。JR 東日本では、主鋼材についても 2007 年から横締め PC 鋼材と同様に品質確保のための対策を実施している。

一般的な PC 橋梁においては、従来の鋼製シースに換えて、プラスチック製シースを使用することを原則としている（写真 - 4、5）。これは、グラウトとシースによる二重防錆化を図り、横締め PC 鋼材と同様に万一グラウト充てんに不具合があった場合でも PC 鋼材の防錆を確実にを行うことを目的としている。



写真 - 4 プラスチック製シースの使用

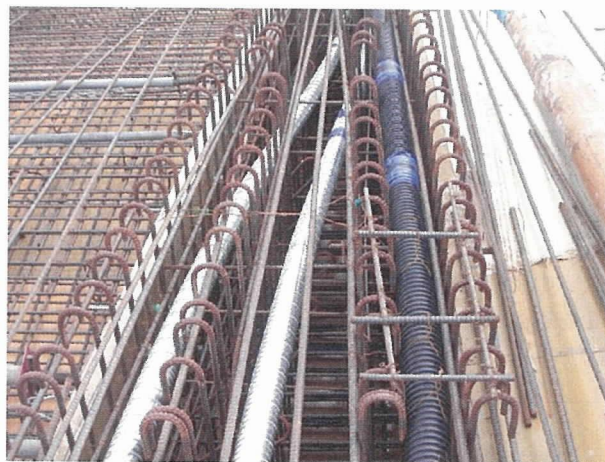


写真 - 5 プラスチック製シースの使用（試行）

プラスチック製シースの品質は、下記の試験項目を満足する製品を使用することとし、詳細について契約図書で仕様している。

- ・ 局部荷重試験
- ・ 等圧外力試験
- ・ セメントペーストの漏れ試験
- ・ 可とう性試験

・ 付着性能試験

なお、プラスチック製シースを使用した場合の留意点として、シース径やシースとPC鋼材との間の摩擦係数が金属製シースと異なるという点がある。この点に関しては、設計時点では、シース径についてはプラスチック製シースを使うことを前提に図面作成を実施している。しかし、緊張時の摩擦係数については、実際の橋梁での実績がまだ少ないことから、当面は設計時点では金属製シースを使用した場合の摩擦係数を使用し、現場において試験緊張を実施し、緊張管理を行うこととしている。

2.3 樹脂被覆 PC 鋼材の使用

プレキャストブロック工法のように、く体コンクリートを一体に施工せずPC鋼より線等を緊張することにより一体化を図る場合には、一般に鉄筋を連続的に配置せず、引張応力が発生しないよう設計し、かつ接着剤等を使用して接合している。しかし、力学的には接合されている場合でも、雨水はブロックの継目から浸水するおそれがあり、実際これまで施工されたプレキャストブロック工法のPC橋梁においても漏水が発生している場合がある(図-1)。さらに、プレキャストブロック工法においては、ブロック接合部におけるシースの接続箇所についても、一体打ちのPC橋梁と比較すると完全な遮へい構造とはいえないため、グラウトが完全に充てんされた状態であっても、他の部分と比較するとシースによる防護がなされていないこととなる。そこで、プレキャストブロック工法においては、プラスチックシースの使用以外に更なる対策が必要と判断した。

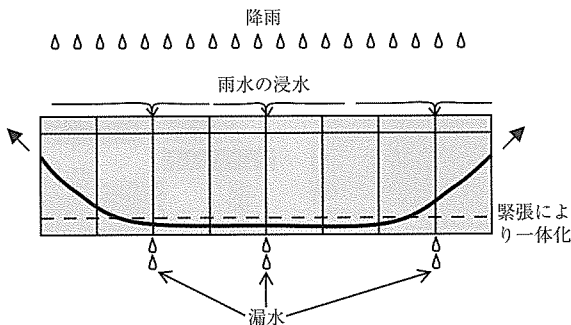


図-1 ブロック工法継目からの浸水 (イメージ)

プレキャストブロック工法においても品質を確実に確保するには、継目部においても一般的なPC橋梁と同様に二重防錆化を図る必要がある。そこで、プレキャストブロック工法を採用する場合には、グラウトによる防錆に加え、PC鋼材を樹脂被覆することで二重防錆対策としている。

樹脂被覆PC鋼材を緊張した場合、緊張時に腹圧による被膜材の剥がれが生ずる懸念がある。そこで、緊張試験を行ったところ、剥がれは生じなかったものの、圧痕部に最大100 μ m程度の被膜厚さ減少が確認された。そのため、被膜厚さが減少した場合の耐腐食性について、1000時間塩水噴霧試験を行った。塩水噴霧試験の結果、被膜厚さが22

μ m以上の場合には発錆が認められなかった。よって、現在市販されている樹脂被覆PCより線はいずれも被膜厚さが120 μ m以上であることから、樹脂被覆PC鋼より線は緊張の影響により腐食するおそれはないと判断した²⁾。

樹脂被覆PC鋼材の品質は、被覆を行う前の品質がPC鋼線・PC鋼棒の規格(JIS G 3536, JIS G 3109)を満足するとともに、被覆を行った後の品質がJIS G 3536に規定されている機械的性質を満たし、かつ下記の品質項目に関する規定を満足するものを使用することを規定している。

○ 塗料について

- ・ 密着性
- ・ 硬度

○ 樹脂被覆鋼材について

- ・ 外観
- ・ ピンホール
- ・ 塗膜厚
- ・ 耐衝撃性
- ・ 曲げ加工性
- ・ 耐食性
- ・ リラクゼーション試験

また、樹脂被覆PC鋼より線を使用した場合、定着システムについても事前に定着効率を試験することとしている(写真-6)。

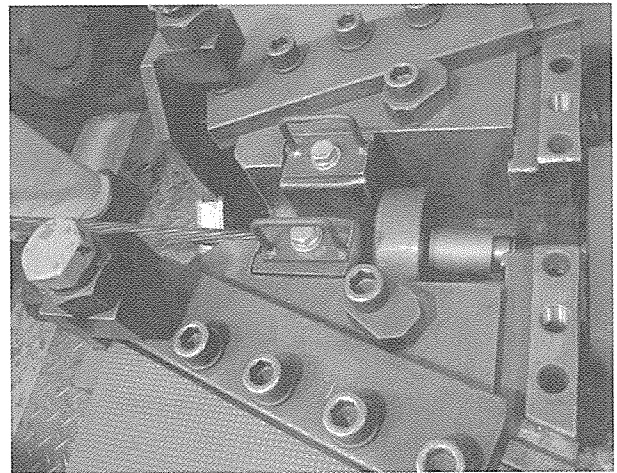


写真-6 樹脂被覆PC鋼より線の定着効率試験

3. 施工時の取組み

3.1 監督業務の見直し

コンクリート構造物の非破壊検査技術の進歩は目覚しく、完成後は不可視となるものについて検査が可能となっているものが多い。一例としては、コンクリート強度や内部欠陥の有無、鋼材が輻射していない箇所でのかぶり・腐食状況などの推定が可能となっている。しかしながら、使用鋼材の径、継手の位置・品質の良否、プラスチック製シースを用いた場合のシース位置など、現状では完成後の確認が難しいものも多々存在する。

国鉄時代は、原則として鉄筋組立て後、また型わく組立て後に検測を行い、指示された軽易な構造物以外は監督者が確認をした後にコンクリートを打ち込んでいた。しかし、現在では当時ほど現場の要員を配置していない状況になっている。そこで、鉄筋・型枠組立て後の検査は施工会社により検測された記録簿を提出してもらい、監督者による現地確認は義務付けられない方式に変更された。しかし、施工会社の検測記録簿と現地を照合すると、検測記録簿上は基準を満足しているにもかかわらず、現地を測定した結果が検測記録簿の記録と一致せず、場合によっては基準を満足しない場合も散見された。

このような不具合が発生していた場合でも、しゅん功検査の段階では前述のとおり確認することはほぼ不可能である。しかしながら、しゅん功検査に合格したものは、仮に工事に起因する不具合により供用期間中に問題が発生した場合でも、鉄道事業者には一切責任がないとはいえない。そこで、しゅん功検査では確認できない項目については、工事施工中の監督者による確認を原則毎回実施する（以下、毎回確認という）ことで、構造物の品質確保を行うことにした。

毎回確認の対象となる構造物は、列車荷重を直接、もしくは間接的に支持する鉄道構造物および線路上空を横断する線道路橋である。毎回確認を原則実施する項目としては、

- ・ 鉄筋組立て工（鉄筋径、鉄筋数量、継手種類・位置・長さ・状態、スペーサ種類・配置・数量）
- ・ 鉄筋継手工（圧接部の状態：割れ、線状きず、へこみ、表面不整、圧接部のふくらみの長さ・直径、鉄筋中心軸の偏心量、圧接面のずれ、折曲り、有害な欠陥、機械式継手の種別に応じた検査、フレア溶接継手の外観、溶接サイズ・溶接長）
- ・ PC鋼材工（PC鋼材・シース・定着具・接続具の位置、方向、固定方法）

としている。確認の方法としては、図面を基に組立て状況（鉄筋径、鉄筋数量、継手種類・位置・長さ・状態、スペーサ種類・配置・数量等）をまず全体を目視で確認することを基本とし、それをふまえて寸法等のチェックのため代表

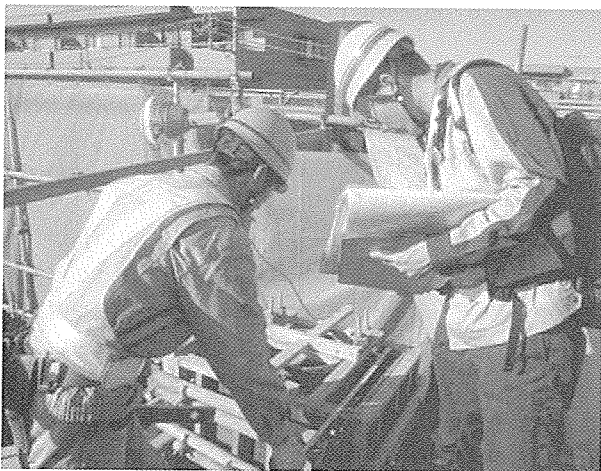


写真-7 毎回確認状況（全体の把握）

箇所での測定を行えばよいこととしている（写真-7、8）。

毎回確認の目視による全体状態の把握においては、寸法等の測定による検査と比較した場合、監督者の技術力により確認精度が大きく変動することが予想される。そこで、技術力不足による確認不足の懸念を解消するため、鉄筋工・PC鋼材工施工確認のポイント集（写真-9）を作成・配布し、毎回確認による品質確保をより確実なものとしている。



写真-8 毎回確認状況（代表箇所測定）

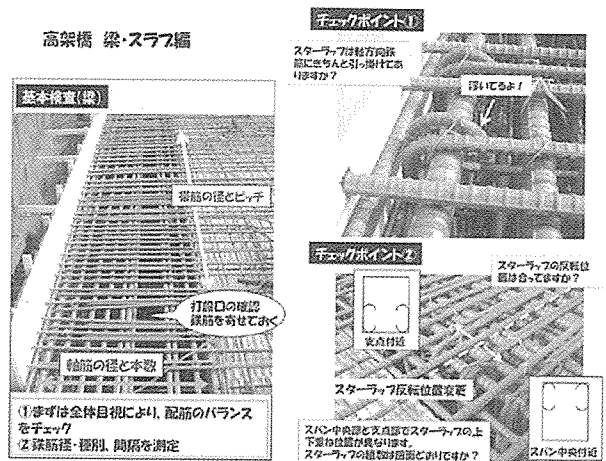


写真-9 施工確認のポイント集（抜粋）

3.2 単位水量測定試験の実施

コンクリートに配合される材料のうち、水はコンシステンシー、コンクリートの収縮に影響を及ぼし、また水とセメントとの比率は圧縮強度、コンクリート内部への物質透過性（中性化速度、塩化物イオン拡散速度等）に影響を与える。そのため、コンクリートを使用する際は、単位水量の管理が重要となる。現在のコンクリート工事で主に使用されるレディーミクストコンクリートの品質は、スランプ試験、空気量試験、圧縮強度試験などにより確認することが一般的となっている。この場合、単位水量についてはスランプ試験、圧縮強度試験により、間接的に評価をされる状態である。

JR 東日本では、過去に建設されたコンクリート構造物のうち、コンクリート片のはく落が発生した95の構造物について中性化深さの調査を行い、中性化速度係数の算出を行った。その結果、多数の構造物が、当時の示方書で定められた最大水セメント比から算出される中性化速度係数より高い状態となっていることを確認した。また、一部の構造物については、コンクリートのコアを採取し、コンクリートの配合分析を行った。その結果についても、当時の示方書で定められた最大水セメント比よりも大きな水セメント比であるという結果が得られた³⁾。このことから、過去に施工された構造物の多数が、配合設計よりも大きな水セメント比、すなわち配合設計よりも大きな単位水量で施工されている可能性があると考えられる。

そこで、JR 東日本では、2001年よりレディーミクストコンクリート納入時に単位水量を直接測定し、コンクリート構造物の耐久性を確保することとしている。

フレッシュコンクリートの単位水量測定方法には、主に下記の方法がある。

- ・ 高周波加熱乾燥法
- ・ エアメータ法
- ・ 静電容量法
- ・ 連続式 RI 法

このうち、JR 東日本では、迅速性、測定精度などを勘案し、静電容量法を採用している（写真 - 10）。



写真 - 10 単位水量測定状況

3.3 コンクリート打込み検討の深度化

コンクリート打込み時に発生する不具合のうち多く発生する不具合の一つにジャンカがある。コンクリートの締固めが不要な自己充填コンクリートが開発され、ジャンカの発生を防止することが可能となっているが、高価であることからすべての構造物に使用するまでにはいたっていない。径の大きいシース管が配置され、かつ部材断面をスレンダーにできる PC 構造物においては、コンクリートの締固めが困難となる場合も多い。また、施工計画段階においてパイプレータによる締固めを充分に行うことが可能かどうかを検討せず、施工時にコンクリートの締固めが不可能となったためジャンカを発生させた事例もある（写真 - 11、図 - 2）。

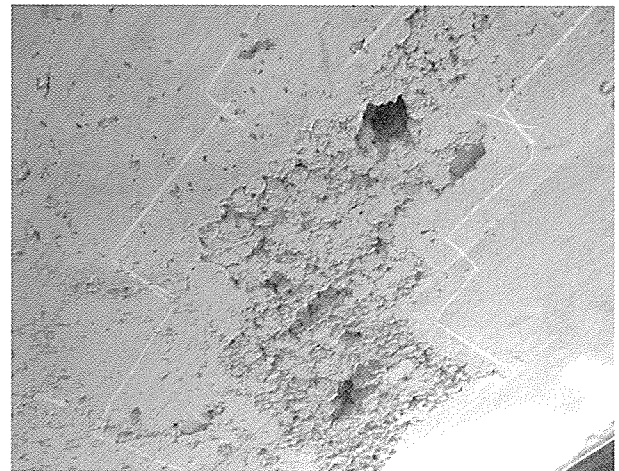


写真 - 11 PC 構造で発生したジャンカ

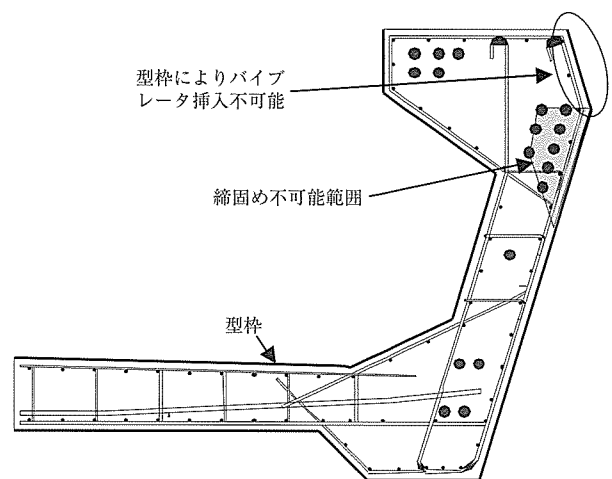


図 - 2 下路桁における施工検討不足の例

このような不具合を防止するために、現在では施工計画書作成にあたり、詳細な打込み計画を記載することを、土木工事標準仕様書にて義務付けている。記載すべき打込み計画の内容としては、

- ・ 打込み体制
- ・ ポンプ車の配置と台数
- ・ コンクリートポンプ配管投入口の位置
- ・ 打込み順序・打込み速度・打重ね時間間隔

等を記載することとした。また、従来どおり、これらの内容について発注者、施工者間で施工計画書検討会を実施し、打込み時に不具合を発生させないように、議論を行ったうえで実施工を開始することとしている。

3.4 グラウト未充填対策

2.1 で記載したとおり、PC 鋼材破断の主たる要因は、グラウトの充填不良・未充填である。このうち、充填不良対策としては、高粘性グラウトの使用が行われてきた。一方、未充填対策はグラウトの施工記録提出をもって管理していた。しかし、施工記録だけではグラウトが完了しているかどうか、目視で確認することができない。そこで、PC より線を束ねたマルチストランドシステムにおいては、グラウトキャップをグラウト作業完了後取り外し、グラウト

ト作業を失念することがないようなルールとした（写真 - 12）。

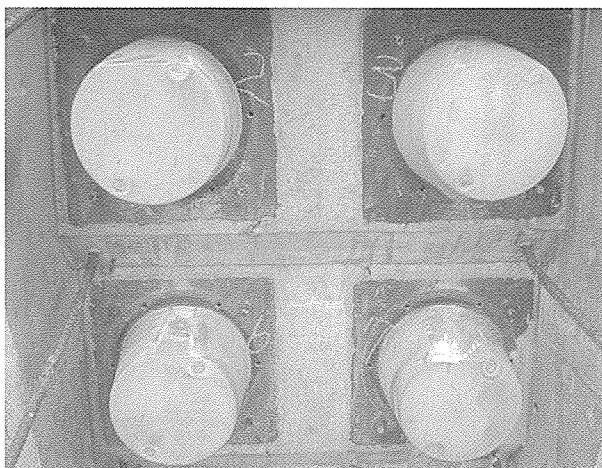


写真 - 12 グラウトキャップ取外し状況

4. おわりに

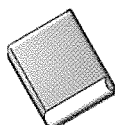
PC 構造物をはじめとするコンクリート構造物は、適切な設計・施工により、維持管理の省力化という長所を発揮する。しかし、少しでも設計・施工での不具合があった場合には、この長所は発揮されず、むしろ建設時以上のコストを必要とする場合もありうる。

今後も PC 鉄道構造物の品質確保のため、設計・施工段階において適切な管理を行っていくとともに、必要に応じて設計・施工ルールを改善していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 構設史編集研究会編：鉄道構造物を支えた技術集団，(社)日本鉄道施設協会，2009
- 2) 菅野，吉田：エポキシ樹脂全塗装 PC 鋼より線の施工時樹脂被膜損傷確認試験，STRUCTURAL ENGINEERING DATA，pp.28 - 35，2003.5
- 3) 石橋，古谷，鈴木，浜崎：高架橋等からのコンクリート片剥落に関する調査研究，土木学会論文集，No.711，V - 56，pp.125 - 134，2002.8

【2010 年 1 月 6 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21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 21 年改訂)

定 価 6,000 円／送料 500 円

会員特価 5,000 円／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