

PC橋の品質管理

酒井 秀昭*

1. まえがき

日本で初めてのPC橋である長生橋が架設されて半世紀を経て、国内のPC橋は、著しい進歩と発展を遂げてきた。とくに最近では、大径間の斜張橋・エクストラード橋や複合構造橋が完成または施工中であり、その技術は欧米と同程度まで進歩してきていると思われる。また、設計や解析技術も、本誌 Vol.43, No.2の特集「構造解析」でも述べられているように、著しい発展を遂げており、複雑な構造系の解析も、ある程度合理的に実施できるようになってきている。一方、品質管理に関しては、コンクリートの品質管理方法やPC鋼材の緊張管理方法なども、長生橋の建設当時と比べてそれほど著しい技術の進歩があったとは言えない現状であると思われる。

近年、コンクリート構造物については、その耐久性や品質管理などに関する課題が指摘されており、PC橋についても、内ケーブルの防錆方法・緊張管理方法やコンクリートの品質などについて検討すべき課題が発生している。したがって、PC橋の更なる進歩と発展のためには、新技術・新工法や新材料の開発に加えて、現在実施されている品質管理の方法を再点検し、課題を整理検討するとともに、21世紀に相応しい品質管理方法を構築することが必要である。

本文は、PC橋の品質管理の現状と今後の技術開発や管理手法の方向性について、工事発注者側の技術者の立場から述べるものである。

2. PC橋の品質管理の現状

PC橋の品質管理については、各機関において、「コンクリート標準示方書」や「道路橋示方書」などにに基づき、独自の規準なども作成して行われている事例が多い。以下に、各機関で実施されているPC橋の品質管理のうち、一つの事例を述べる。

2.1 概要

品質管理は、契約書類および規定された規準に定められた品質を経済的および合理的に確保するため、施工過程の

各段階において、それぞれの品質を確認することにより行うものである。請負人としては、定められた品質規格を十分に満足する工事目的物を効率的に作るための手段として行うものである。発注者としては、必要な品質を確保するために極めて重要なことと位置づけられる。

PC橋の品質管理については、施工計画、使用材料の品質管理、出来形管理に大別される。それぞれの主な項目は、以下のとおりである。また、品質管理の概略手順を図-1に示す。

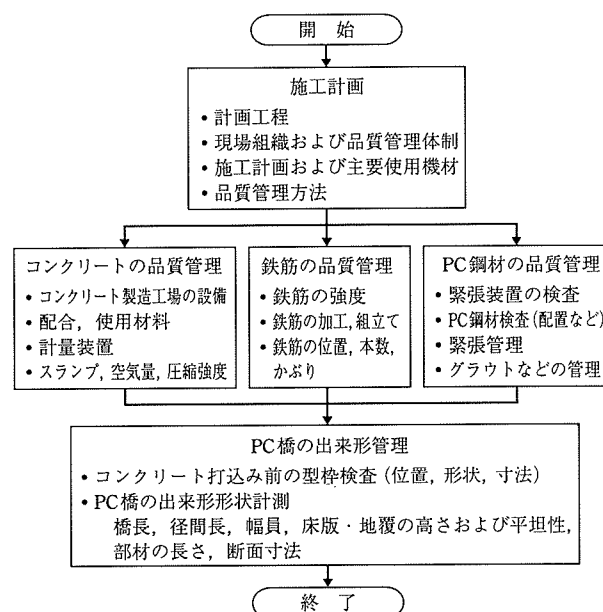
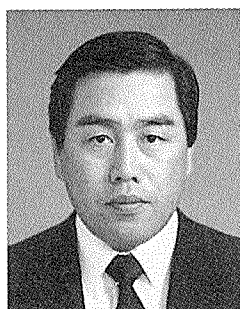


図-1 PC橋の品質管理概略手順事例

- (1) 施工計画
 - ① 計画工程
 - ② 現場組織および品質管理体制
 - ③ 施工計画および主要使用機材
 - ④ 品質管理方法
- (2) コンクリートの品質管理
 - ① コンクリート製造工場の設備
 - ② 使用材料およびコンクリートの配合
 - ③ コンクリート圧縮強度およびスランプ、空気量など
- (3) 鉄筋の品質管理
 - ① 基準試験(引張試験、曲げ試験、曲げ戻し試験)
 - ② 規格証明書(ミルシート)による確認
 - ③ 鉄筋検査(位置、間隔、径など)
- (4) PC鋼材の品質管理
 - ① 緊張装置の検査
 - ② PC鋼材検査(位置、間隔など)
 - ③ 緊張管理



* Hideaki SAKAI

日本道路公団 中部支社
豊田工事事務所

- ④ グラウトの品質および充填状況
- (5) PC橋の出来形管理
- ① コンクリート打込み前の型枠検査
- ② PC橋の出来形形状計測

2.2 施工計画

施工計画書の作成は、工事発注後速やかに行われる。施工計画を立案するうえで重要な点は、定められた工事期間内で、契約書類および規定された規準により、適正な品質の構造物を構築することが可能となる方法を検討することである。したがって、工事受注後は、契約書類および規定された規準の内容を十分に把握して、適正な施工計画書を作成する必要がある。施工計画書の作成後に、詳細な施工計画が必要となった場合および施工計画に変更が生じた場合は、速やかに追加施工計画書または変更施工計画書を作成する。

施工計画書には、一般的に以下の項目が記載される。

- ① 工事概要
- ② 計画工程表
- ③ 現場組織表、安全管理体制、緊急時の体制
- ④ 主要施工機械および設備
- ⑤ 基本的な施工方法
- ⑥ 品質管理計画
- ⑦ 環境対策
- ⑧ 仮設備計画

2.3 コンクリートの品質管理

コンクリートの品質管理としては、コンクリートの施工前に行うもの、コンクリートの配合決定のために行う各種の試験、コンクリートの施工中に行う各種の試験および打

込み方法や養生方法の妥当性に関する立会い確認に大別される。コンクリートの品質管理の概要について、以下に述べる。また、図-2にコンクリートの品質管理の手順を示す。

(1) コンクリートの施工前に行う検討

1) コンクリート施工計画書

請負人は、コンクリートの施工前に、施工計画書を作成し、発注者の監督員（以下、監督員という）に提出する。コンクリート施工計画書には、以下の事項を検討し記載する。

- ① 使用材料
- ② バッチングプラント、ミキサーおよび計量装置の型式、性能
- ③ 運搬および打込みの方法、設備、人員配置
- ④ 養生方法、養生日数
- ⑤ 鉄筋工、型枠および支保工
- ⑥ マスコンクリート、暑中コンクリート、寒中コンクリートなどの場合の対応策
- ⑦ 品質管理試験のための設備、組織、配置人員
- ⑧ コンクリート技術者（コンクリート構造物の施工に関する十分な知識を有する技術者）の配置

2) レディーミクストコンクリートなどの使用承諾

請負人は、コンクリートの施工前に、レディーミクストコンクリート使用承諾願を監督員に提出する。監督員は、必要に応じ製造工場を確認を行うとともに、次項で述べるコンクリートの配合決定のための各種試験結果および使用承諾書の内容の妥当性を審査し、レディーミクストコンクリートの使用承諾を行う。使用承諾願には、以下の事項を

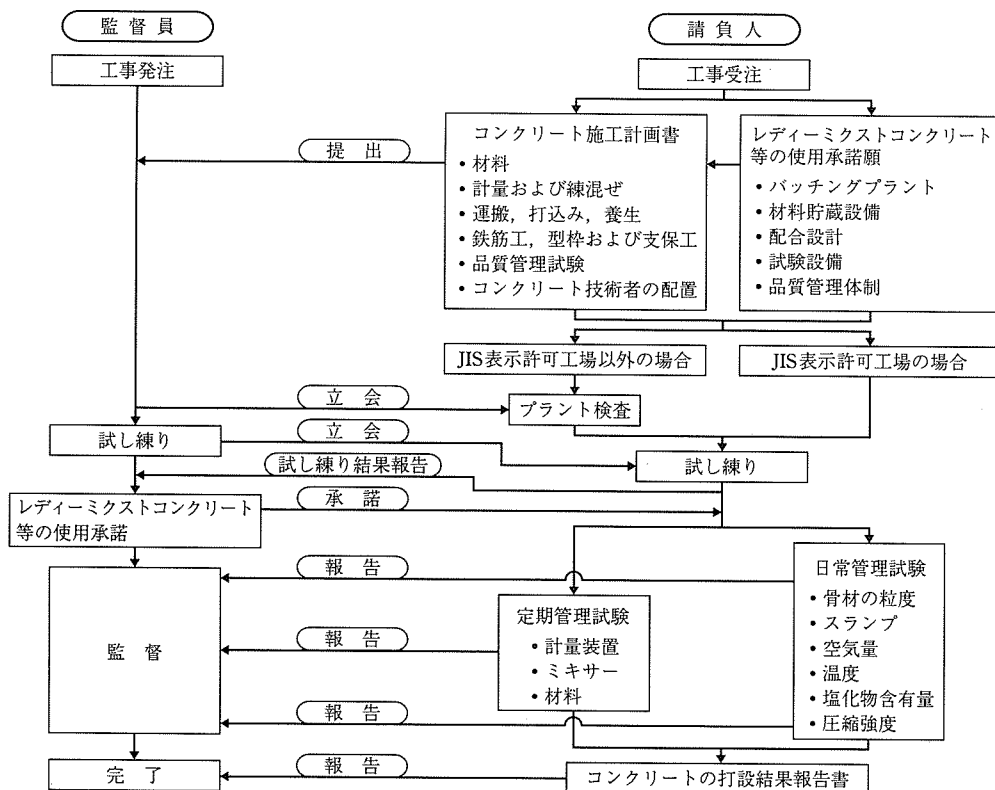


図-2 コンクリートの品質管理手順事例

記載する。

- ① バッチングプラント，材料貯蔵設備，試験設備，および品質管理体制などの製造工場の概要
- ② 製造設備の検査・試験結果，使用材料の品質試験結果およびコンクリートの種別ごとの計画配合
- (2) コンクリートの配合決定のための試験

前項のレディーミクストコンクリート使用承諾願で提出された計画配合をもとに，試し練りを行い，示方配合を決定する。試し練りにあたっては，目標強度，目標スランプなどを適切に設定し，配合設計を行う。また，コンクリートの配合は，コンクリートの耐久性を考慮して，所要の強度，スランプ，空気量，施工性が得られる範囲で，単位水量ができるだけ少なくなるように決定することが望ましい。

(3) コンクリートの施工中に行う品質管理試験

コンクリートの施工中は，品質の確保のために品質管理試験を行う。品質管理試験には，一定間隔で定期的に行う定期管理試験とコンクリートの打込みに関連して行う日常管理試験とがある。

1) 定期管理試験

- ① 計量装置の検査およびミキサーの練混ぜ性能試験
- ② 現場配合への修正
- ③ 使用材料の品質試験（セメント，水，細骨材，粗骨材，混和剤）

2) 日常管理試験

- ① 現場配合への修正
- ② 細骨材の粒度，塩化物含有量，表面水率
- ③ 粗骨材の表面水率
- ④ フレッシュコンクリートのスランプ，空気量
- ⑤ 硬化コンクリートの強度

2.4 鉄筋の品質管理

鉄筋は，JIS G 3112 の規定に合格したものをを用いて施工を行うが，その品質管理の概要について以下に述べる。また，図-3 に鉄筋の品質管理の手順を示す。

(1) 鉄筋の施工前に行う試験および確認

- ① 当該工事に使用するすべての径の鉄筋を対象とした引張試験，曲げ試験，曲げ戻し試験
- ② 規格証明書の提出および確認

(2) 鉄筋の施工中に行う検査

- ① 鉄筋の加工，組立て，固定方法の確認
- ② 鉄筋組立て完了後の鉄筋の位置，間隔，径などについての検査

2.5 PC鋼材の品質管理

PC 構造物へのプレストレスの導入方法としては，ポストテンション方式とプレテンション方式とがあるが，本文においては，現場で一般的に行われているポストテンション方式のPC 鋼材の品質管理について以下に述べる。また，図-4 にPC鋼材の品質管理の手順を示す。

(1) PC鋼材の施工前に行う検討および試験

- ① PC定着工法の検討および決定
- ② 緊張装置のキャリブレーション，緊張計算，緊張順序および緊張管理の方法などに関する緊張計画書の作成
- ③ 緊張装置のキャリブレーション

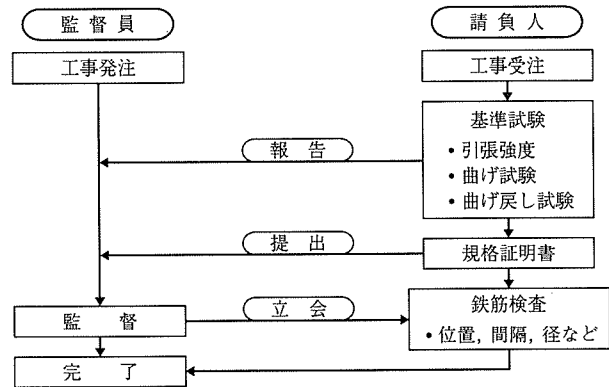


図-3 鉄筋の品質管理手順事例

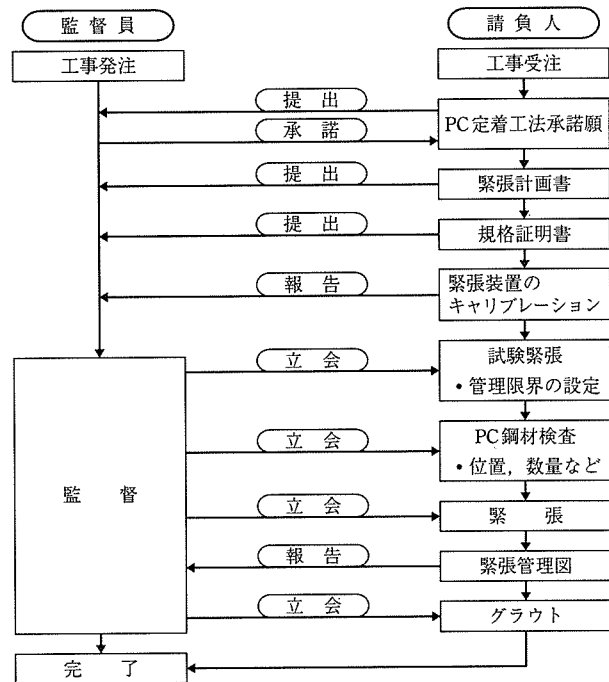


図-4 PC鋼材（ポストテンション方式）の品質管理手順事例

- ④ PC鋼材の規格証明書の提出および確認
- (2) PC鋼材の施工中に行う品質管理
 - ① 試験緊張による摩擦係数およびPC鋼材の見かけのヤング係数の算定，管理境界の設定
 - ② シース配置完了後の位置，間隔，シースの接続部などについての検査
 - ③ コンクリート硬化後の定着部などの検査
 - ④ 荷重計の示度とPC鋼材の伸びによる緊張管理

2.6 PC橋の出来形管理

PC橋の出来形管理は，以下に示す方法で行っている。

- ① コンクリート打込み前の型枠の位置，形状および寸法などの検査
- ② 構造物完成後の橋長・径間長・幅員，床版および地覆の高さ・平坦性，部材の長さ・断面寸法などの出来形状計測

3. PC橋の品質管理の課題

PC橋の品質管理については，他のコンクリート構造物と

同様に、すでにいくつかの課題が指摘されている。PC橋の更なる発展のためには、品質管理の課題について検討し、課題の解消に向けて努力することが極めて重要である。私見であるが、PC橋の品質管理に関する主な課題は、以下に述べるとおりであると思われる。

3.1 技術者に関する課題

適切な品質管理を行うためには、当該工事または工種に関する十分な知識と経験を有した技術者を配置する必要がある。しかし、現状では以下の課題があると考えられる。

(1) 発注者側の課題

発注者側の品質管理としては、技術資料の確認および承諾、試験および検査の立会い、施工中の指導および監督などの業務がある。これらの実施にあたっては、とくに近年の新技术・新工法の進展などもあり、高度な専門的知識を必要とする場合も少なくない。発注者側の課題を列記すると、以下のとおりである。とくに、PC橋に関する事業規模が比較的小さい発注機関においては、下記の課題が、より顕著となると思われる。

- ① 発注者側の技術職員が、現在の技術の高度化および多様化などから、必ずしも当該品質管理業務に関する十分な知識を有しているとは言えない場合がある。
- ② 発注者側の技術職員は、一般に人事異動なども多く、多種多様な業務を担当することが多いため、専門知識の習熟が困難な場合がある。
- ③ 品質管理などの監督業務については、一部の補助的業務をコンサルタントなどに委託する場合があるが、高度な知識を有する業務については、発注者側の技術職員が自ら行っているのが現状であるので、民間の高度な技術や経験を、直接的に発注者側の品質管理業務に生かしきれないことがある。

(2) 受注者側の課題

受注者側の品質管理としては、定められた工事期間内で、契約書類および規定された規準により、適正な品質の構造物を構築することを目的に、当該構造物の施工、必要な技術資料の作成、試験および検査、施工中の指導および監督を行うことである。受注者側の課題を列記すると、以下のとおりである。とくに、PC橋に関する事業規模が比較的小さい場合や受注者に当該工事に関する経験が少ない場合は、下記の課題が、より顕著となると思われる。

- ① 受注者側の技術職員が、現在の技術の高度化および多様化などから、必ずしも当該品質管理業務に関する十分な知識を有しているとは言えない場合がある。
- ② 現場業務の多様化などから、責任ある技術者が施工中に監督することが困難な場合がある。

3.2 コンクリートの品質管理に関する課題

コンクリートの品質管理については、コンクリート硬化後にその品質を確認することが困難であることから、施工中に試験や立会いにより確認することが主体となっている。コンクリートの品質管理は、以下の課題があると考えられる。

(1) コンクリート製造工場の課題

PC橋に用いるコンクリートは、他の構造物に用いるコン

クリートよりも一般的に高強度となることから、単位水量の管理や骨材の品質管理などがきわめて重要である。コンクリート製造工場における課題を列記すると、下記のとおりである。

- ① コンクリート製造工場が行う品質管理などの試験については、監督員などの立会いが困難であるため、その試験結果の信憑性に疑問があるケースが報告されている。また、抜取り試験結果などによれば、コンクリート製造工場の試験結果と相違しているケースがある。
- ② 骨材貯蔵設備や表面水の管理方法が、高強度コンクリートに必ずしも適していない事例がある。

(2) 現場における品質管理の課題

コンクリート施工現場での品質管理は、一般的にスランプおよび空気量でフレッシュコンクリートの品質管理を行い、コンクリート硬化後に供試体の破壊試験により強度などの確認を行っている。現場における課題を列記すると、下記のとおりである。

- ① コンクリートの配合の確認は、プラントでの印字記録、出荷伝票、スランプおよび目視で確認しているのみであるので、直接的に配合を確認できない。
- ② コンクリートの強度の確認は、硬化後でしかも供試体の破壊試験のみであるので、直接的に構造物の強度を確認できない。

3.3 鉄筋の品質管理に関する課題

鉄筋の品質管理は、施工計画書などによる鉄筋の加工、組立て、固定方法の確認および鉄筋組立て完了後の検査などで実施している。鉄筋の品質管理は、主に以下の課題があると考えられる。

- ① とくに耐久性に影響を与える鉄筋のかぶりについては、型枠検査時に目視により確認しているのみであるので、直接目視できることが困難な箇所がある。
- ② 型枠検査時のかぶりについては、コンクリート打込み時に、型枠や鉄筋の変形などにより変化して、所要の数値を確保できなくなる恐れがあるとともに、コンクリート硬化後の確認が困難である。

3.4 PC鋼材の品質管理に関する課題

PC鋼材の品質管理は、PC鋼材配置後の位置、数量などの確認、緊張管理およびグラウト施工時の確認などで実施している。PC鋼材の品質管理は、主に以下の課題があると考えられる。

- ① 緊張管理は、一般にマンメーターの目視による緊張力の確認およびPC鋼材の伸び量の測定によって行っているが、計測が煩雑になるため自動化などの改善が必要である。
- ② グラウトについては、グラウトが完全に注入されているかを、合理的に確認する方策が必要である。

4. PC橋の品質管理の改善について

PC橋の品質管理の改善については、種々の提案がなされているが、私見として以下に述べる改善策があると思われる。

4.1 担当技術者について

品質管理の質の向上を図るためには、当該工事を担当する技術者が適切な経験や知識を有していることが最も重要である。このためには、技術者の教育はもちろんであるが以下に述べるシステムの改善を図る必要があると思われる。

(1) 発注者側の監督員の経験・資格の制度化

現状の品質管理方法では、発注者側の監督員についても高度な知識や経験を必要とする。一般的に社会資本となるPC橋を構築するためには、発注者側の監督員についても経験と資格を必要とすべきであると思われる。ただし、資格については、請負人に必要とする資格（一級土木施工管理技士、技術士など）ではなく、新たな資格の制度化が必要と思われる。

(2) 監督業務の委託化

発注者側の監督員に適切な技術者の配置が困難な場合は、建築分野で見られるように、監督業務のすべてまたは一部を適切な技術者の配置が可能な組織に委託することも必要となると思われる。ただし、現状では委託先の組織の選定が困難であるので、委託先の組織の新設かまたはコンサルタントなどの活用が考えられる。

(3) 受注者側の技術者の経験・資格の見直し

現在、受注者側の監理技術者および主任技術者などは、法令により、一級土木施工監理技士などの資格が義務づけられているとともに、請負契約などにより当該工事などに関する経験を有することが定められている場合がある。しかし、PC橋の技術の高度化や多様化などから、より高度な品質管理技術が必要となるので、これに対応できる新たな資格制度が必要であると思われる。したがって、当該工種を担当する責任者においても、新たな資格を工種ごとに制度化し、これを義務づけることが必要である。新たな資格の制度化にあたっては、PC技術協会などの学術団体を有効活用し、資格試験を実施することなども考えられる。

4.2 コンクリートの品質管理について

(1) コンクリート製造工場の検査の実施

コンクリート製造工場は、一般的にJISの規定などに基づき品質管理を行っているが、PC橋のような高強度コンクリートの管理としては、不十分な点も多い。したがって、コンクリート製造工場への品質管理に関する立会い検査などを行う必要がある。この場合、発注者側および受注者側の技術者が検査を行うには、多大な専門的知識を有する技術者が必要となる。したがって、検査を委託して実施することなども考えられる。

また、コンクリートの配合の確認方法としては、ITを積極的に活用し、計量装置の計量結果（印字記録）をリアルタイムで監視することなどの方策が考えられる。

(2) コンクリート圧縮強度の非破壊検査の実施

コンクリートの強度については、供試体による破壊試験によって行っており、実構造物の強度は、計測されていない。実構造物の強度は、一般的に適切な品質管理が行われていれば、標準養生による供試体の強度とおおむね同等の値となるが、品質管理が不適切な場合は、強度が低下する恐れがある。実構造物の強度を把握するには、実構造物から試験体を採取し、破壊試験を実施することが考えられる

が、費用が増大することや実構造物に損傷を与えることなどから困難である。したがって、品質管理の適否の確認も含めて、コンクリート圧縮強度の非破壊検査を実施することが有効であると思われる。非破壊検査の方法としては、比較的簡便に実施することが可能なシュミットハンマー法が望ましいと思われる。ただし、実施にあたっては、実際に用いるコンクリートで供試体を作成し、これを用いて強度推定式をキャリブレーションすることが必要である。この方法については、実構造物で試験的に実施し、比較的良好な結果が得られている。シュミットハンマー法による計測状況の事例を、写真-1に示す。

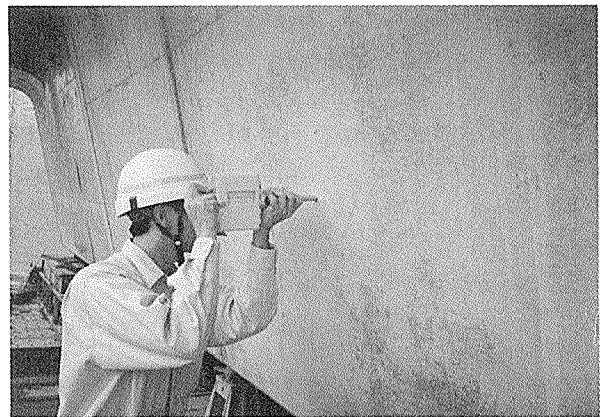


写真-1 シュミットハンマーによるコンクリート圧縮強度の非破壊検査

4.3 鉄筋の品質管理について

鉄筋のかぶりは、構造物の耐久性確保の点から極めて重要であるが、現状では型枠検査時に確認しているのみであり、実構造物のかぶりが適切に確保されているかは、確認していないのが現状である。したがって、非破壊検査によりかぶりを計測し、かぶりが不足している場合は、適切な処置を講じる必要がある。鉄筋かぶりの非破壊検査方法としては、電磁誘導法、超音波法、放射線法および電磁波レーダー法などがある。電磁誘導法については、実構造物で試験的に実施し、作業性および経済性も含めて、比較的良好な結果が得られている。電磁誘導法による鉄筋かぶりの計測状況の事例を、写真-2に示す。

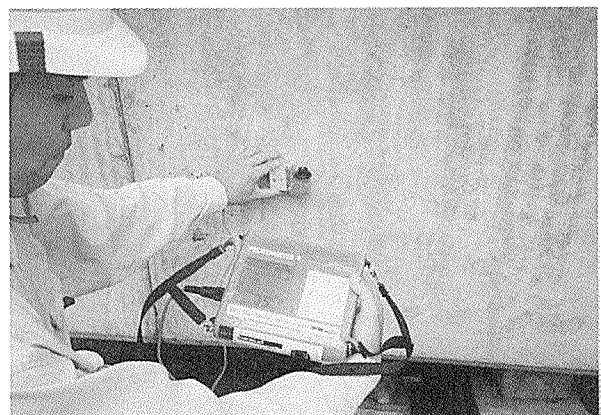


写真-2 電磁誘導法による鉄筋かぶりの非破壊検査

4.4 PC鋼材の品質管理について

(1) 緊張管理の計測の自動化

緊張管理については、一般的にマノメーターによる緊張力とPC鋼材の伸びを計測することによって行っているが、これを自動化することにより、伸び計測時の危険性を回避できるとともに、計測時の省力化、計測データの処理の簡便化を図ることができる。また、現在のITを活用すれば、リアルタイムで緊張時の品質管理を行うことができる。

(2) PC鋼材の防錆技術の開発

内ケーブルの防錆方法としては、一般的にシース内にセメントグラウトを注入することによって行っているが、既設の橋梁では、グラウトの注入不良に伴うPC鋼材の損傷事例もいくつか報告されており、その改善が急務である。防錆方法の改善については、施工方法や品質管理方法を見直すことはもちろんであるが、抜本的に防錆方法そのものを見直し、たとえばプレグラウト鋼材を使用することも一つの方法である。ただし、すべての鋼材をプレグラウト鋼材とすることは、その施工上において困難な場合もあるの

で、グラウトの材料を見直すとともに、グラウトの充填性を確認できる品質管理方法を開発することが必要であると思われる。

5. あとがき

PC橋が当初設定した性能を発揮するためには、建設時の品質管理が最も重要な項目の一つである。また、いかに高度な技術や新しい材料を用いたとしても、適切な品質管理が行われなければ、PC橋として期待された性能を保持することは困難である。しかし、過去のPC橋の歴史をたどれば、われわれ技術者が、施工時に品質管理を最重要項目として取り組んだとは断言できない事例も報告されている。したがって、PC橋の信頼性を今まで以上に向上させ、PC橋をさらに発展させるためには、品質管理の課題に真摯に取り組み、品質管理技術を向上させることが急務であると思われる。

今後は、品質管理を向上させるための議論がますます活発化し、信頼性の高い品質管理手法とするために、われわれ技術者一人ひとりが努力することが重要である。

【2001年9月13日受付】