

性能評価の時代に求められる施工管理

宮川 豊章*

1. 構造物の多様化と性能

プレストレストコンクリート（PC）は、プレストレスによりコンクリートのひび割れ制御が可能であること、一般に富配合で高強度のコンクリートが用いられていることから、適切に設計施工された場合、極めて耐久性に富む構造形式である。このため、PC技術はその特性を活かして橋梁や容器構造物に広く適用されており、最近では、橋脚構造への展開やシールドトンネルへの適用といった新分野への技術拡大が図られるなど、技術の進歩が目覚ましく、今後の更なる発展が期待できる。

しかしここ数年、かつてはメンテナンスフリーとも考えられていたコンクリート構造物の早期劣化が社会問題として取り上げられている。PCにおいてもグラウトの充填不足に代表されるように、PC構造物の損傷や早期劣化が顕在化し、その信頼性に疑問が投げかけられるようになってきている。これら欠陥を内在したまま完成した構造物は、優良な構造物に比べてその後の維持管理、補修補強に多大な努力と労力を強いることになるものである。一部の不良構造物がPC全体の信頼性を損なう事態へと発展しかねない現在、われわれはこの状況を真摯に受け止めて、改めてコンクリート構造物の信頼性を取り戻す必要がある。

一方、社会資本の整備拡充に伴い、既設構造物のストックは膨大なものとなってきており、将来におけるこれらの維持管理に対する負担は今後ますます増加する傾向にある。このため近年、構造物の長寿命化を目指し、耐久性の観点から構造物を意識し、供用期間内の維持管理を視野に入れて構造物を構築するという指向が高まっている。これに伴い規準類も見直しが行われ、従来の仕様規定型から性能照査を含む性能規定型へ移行しつつある。ここでは「性能」という言葉を用いて、構造物に要求される機能を定量可能な尺度として表している。

コンクリート構造物は（定性的な意味で）耐久性に富む構造物と考えられてきたが、今後はコンクリート構造物の「適

切な耐久性」を定量的に考える必要がある。構造物の維持管理、補修補強等が重視されていく中、設定された性能を有する構造物を適切に施工しなければならないことは当然であるが、作ったものを顧客あるいは社会に提供するためには、工学的には、対象物を「作る技術」そのものと、それが適切に実行されていることを「確認する技術」の2つが必要である（図-1）。これまでは前者の「作る技術」の方に比較的重心が置かれてきた傾向があったが、後者の「確かめる技術」を伴わない場合、いかに「作る技術」が発達しても、耐久性に富む構造物の建設を確実かつ適切に実現することは極めて難しいと言える。そこで後者の中核をなすものとして、施工管理が重要となってくる。

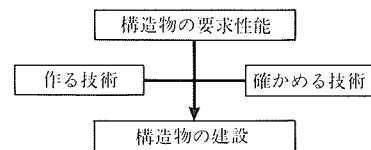


図-1 建設時の必要技術

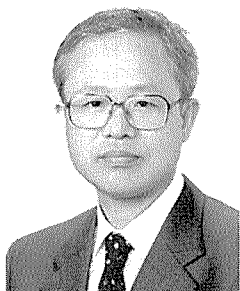
以上からここでは、示方書が従来の仕様規定型規準体系から性能規定型へ移行することに伴い、今後、求められる施工管理のあり方について考えてみたい。

2. 施工時の不具合発生要因

これからの施工管理を考察する前に、過去に見られた施工段階における不具合を生じさせた原因（表-1）をいくつかのカテゴリーに分類してみると、以下のようなものが代表例として挙げられる。

2.1 施工者の知識、意識不足に起因するもの

従来の仕様規定、たとえば「コンクリート標準示方書」（平成8年版）では、「現場等において常に適切に施工が行われること」が設計の前提であり、コンクリート構造物の施工にあたっては、「コンクリートの施工に関する十分な知識を有する技術者を現場に置くこと」が原則となっていた²⁾。このことはすなわち、適切な設計が行われ、なおかつ十分な知識をもった技術者の監督下で施工が行われれば、設計と実際の施工との間で大きなギャップが生じることはあまりないとの考えである。確かにこのような理想的状況下で施工が行われれば、設計者が想定したものと近い状態の構造物を得られ、結果として構造物は想定した性能と大きくかけ離れないものとなるはずである。構造物の規模や施工の難易度（なお、施工の難しい構造物が施工不良を起こしやすいことを必ずしも意味しない）にもよるが、知識の欠如は安易な施工を生み、結果として初期欠陥を誘発し、早期劣化に至らしめる場合もあり得ることになる。



* Toyoaki MIYAGAWA

京都大学大学院
工学研究科 土木工学専攻 教授

表-1 PC橋に生じた不具合事例と原因の推定¹⁾

事 例	原 因
かぶり不足による鉄筋の腐食およびコンクリートの剥落	<ul style="list-style-type: none"> ・スパーサーの倒れ ・鉄筋の加工誤差 ・過密鉄筋 ・鉄筋の移動
打継目の漏水や錆汁(とくに鉛直目地)	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの収縮ひび割れ ・鋼材の腐食 ・水分の供給 ・付着切れ
定着部の後埋め部のひび割れや発錆	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの収縮ひび割れ ・鋼材の膨張 ・水分の供給 ・付着切れ
シーすに沿ったひび割れ	<ul style="list-style-type: none"> ・グラウト不良 ・乾燥収縮差によるひずみ ・締固め不良 ・シーす下コンクリートの沈降 ・プレストレスによる横ひずみ
定着端のひび割れ	<ul style="list-style-type: none"> ・補強鉄筋不足 ・定着部の切欠き ・定着部背面の充填不良 ・横締め等の箱抜き
新旧打継目の拘束ひび割れ	<ul style="list-style-type: none"> ・乾燥収縮差 ・温度差 ・プレストレス分布

2.2 組織的システムに起因するもの

コンクリートの打込み時において、打設性を軽視した設計による過密鉄筋のもとで施工される場合、密実なコンクリートを断面の隅々まで十分行き渡らせるには、施工者の技術だけでは限界が生じる。このように、施工者による十分な事前検討に加えて、各施工段階に応じた施工者どうし、あるいは設計者と施工者等、建設行為に携わる組織内での相互の協議・協力が不十分な場合には、建設時点での不具合の発生要因となる。

2.3 建設時における施工・材料の技術水準に起因するもの

建設時点で最良な材料、施工法であっても、技術にはその時代の限界がある。適切に施工がなされたとしても、その時点での技術的限界から将来的な不具合を生じさせる場合があるため、技術には常に適切なメンテナンスが要求される。

一方、新技術や新材料を採用する場合には、施工者において先端技術を過度に信頼する、あるいは技術的内容に不案内となるといった状況を生む場合があり、適切な施工が行われない要因にもなる。

2.4 環境条件や施工条件に起因するもの

構造物に生じる劣化現象およびその要因はさまざまであり、互いに複雑に影響する。このため、その外的要因がコンクリートや構造物の諸性能に与える影響を適切に定量化する方法は、現時点ではいまだ十分に確立されているとは言いがたい。

一方、たとえば構造物の立地条件やコンクリートの運搬、打込み条件等、施工に関する諸条件は構造物の耐久性に大きく影響を与える。環境条件や施工条件によっては、施工時および完成後の不具合や損傷を生む要因となる。

このように、構造物に初期欠陥を生む要因は種々考えられるが、ひとたび生じた初期欠陥はその後の早期劣化を誘発、加速させるものである。初期欠陥を排除するには、材

料・施工、あるいは施工に影響を与える設計等個々の技術向上とともに、各技術が相互に十分機能するようなシステムを構築することが重要である。

3. 性能規定と構造物の耐久性

従来の仕様規定型規準においては、本来構造物に求められる性能を設計者あるいは施工者が直接意識することなく性能を確保するための手段とも言うべき仕様を満足することで構造物の性能を保証してきた。

これに対して性能規定では、構造物に要求される性能を明示し、直接あるいは間接的な指標を用いて性能を照査するため^{3), 4)}、要求性能の水準に応じて設計・施工・維持管理のレベルを設定することが可能となる。たとえば設計、施工を極めて高い水準に設定し、将来の維持管理を低い水準に設定した構造物も可能となれば、その反対に設計、施工の水準を低く設定し、供用期間中の維持管理に十分配慮した構造物もまた耐久性設計の想定内で設定可能となる⁵⁾。

このように従来の仕様規定では、すべての構造物に対して同一の仕様が設定されていたのに対して、性能規定では要求性能を満足するものであれば、要求水準に応じて設計者もしくは施工者が技術や仕様を設定することができる。いわば構造物の性能を満足させるために技術や仕様を任意に設定し、自ら施工方法や使用材料を選定するという、新たに管理対象となるべき作業が加わる。

性能規定では施工された構造物が要求性能を満足しているかどうかをチェックする必要がある。現状は、土木学会「コンクリート構造物の耐久設計指針(案)」⁶⁾で、設計、施工、あるいは維持管理等、構造物の経時的プロセスにおける各水準を擬似定量的な指標で表して構造物の耐久性を評価する手法が示されているものの、構造物の性能を適切に評価する方法の確立には至っていないとは言えず、また、性能を評価する指標等も一義的に定められる状況にはない。性能規定型規準体系では要求される性能に対して、施工方法や使用材料が多岐にわたって採用されることが想定されるため、今後は性能に対する照査項目のより明確で適切な分類と各照査項目に対する一層精度の良い評価手法の充実が必要である。

これらの指標によって施工技術や使用材料の差別化が図られるとともに、管理項目を明確にすることが可能となる。さらに、不確実な要因、施工法は低い水準として、あるいは確実に適切に施工されてきた標準的な施工方法は高い水準として、耐久性に与える影響を適切に評価できることになる。

性能規定型規準では、新工法、新技術・新材料等を適用しやすいものとし、将来における技術の発展を束縛しないよう位置づけられている。将来的にこの評価指標をコンクリートに限らず鋼橋へも同一の評価体系として組み込むことが可能となれば、より一層高い競争原理が働き、その結果、不確定要因が多く不具合を生じさせる可能性の高い工法や、耐久性上好ましくない施工法は排除されることも想定される。

4. 性能規定型規準での施工管理

性能規定型規準では、施工における選択の自由度が増すとともに管理に関する記述は今後少なくなる傾向にある。一方、構造物は各現場単位の単品生産であり、環境条件等外的要因も構造物ごとに異なるため、厳密には個々の構造物の性能はそれぞれ異なる。したがって構造物の性能を適切に確保するためには、今後施工者の自主管理能力がより一層問われることになる。そこで、性能規定型規準のもとで今後求められる施工管理とその課題としては、以下の項目が考えられる。

4.1 施工計画とプロセスの管理

従来の検査体系は一般に、各施工段階が完了した時点、もしくは構造物が完成した時点でなされる検査を比較的重視してきた傾向にある。たとえば、完成後の出来形検査やかぶり等の非破壊検査、あるいは鉄筋の組立て完了後コンクリート打込み前に行われる配筋検査等がある。これらはいわば完成した構造物が所定の品質を有していることを確認するための検査として位置づけられる。

施工時の管理は示方書等の共通の規準や管理要領に加えて、個々の状況に応じた施工計画に基づいて一般に実施されている。過去の不具合事例を見ると、打継目の処理や支承周り等の細部に配慮し、その施工方法や構造に留意することで、多くの不具合要因を排除することが可能と考えられる。すなわち、事前の計画と検討、および協議を十分に行うことで施工時における不具合の多くは改善できる。図-2に、一般の現場打ちPC桁における施工計画書と管理項目の一例を示すが、この施工計画内容を事前に検討し、それが現場で確実に実施されることを確認することで、事前の対策を十分行うことが可能となる。

施工管理とは本来、その構造物に要求される役割もしくは設定された機能を構造物が適切に発揮し得るように、建設時のあらゆるプロセスにおいて使用材料や施工行為を管理するものと言える。しかし従来の検査体系は一般に、施工者により適切に作られていることを前提とした検査としての位置づけが強く、その時点で不具合が生じたり、規格値を満足していない場合には、補修や補強、あるいは作り直しを含めた対策が必要となるが、それらはいずれも完成以降の事後対策となるため、耐久性上好ましくない状態を内在させることが想定される。このためこれまで行われてきた管理体系と併せて、工事の各段階における結果の管理とともにそのプロセス自体を管理する管理体系を通して、想定される不具合を着手前に事前に予見し対策を講じるような管理体制が望まれる。

4.2 施工前における仕様や構造の選定

性能規定では施工管理者は、設計で示された仕様を基本としつつも、材料、仕様、あるいは施工方法などを事前に適切に選定することが求められる。そこで性能を直接確認できない現状では、極力信頼性の高い仕様や構造を選択することで、間接的に性能保証の水準を上げることが考えられる。たとえば、所定の耐久性を確保するためにかぶりの設定は重要であるが、この際、スペーサーの種類や設置間

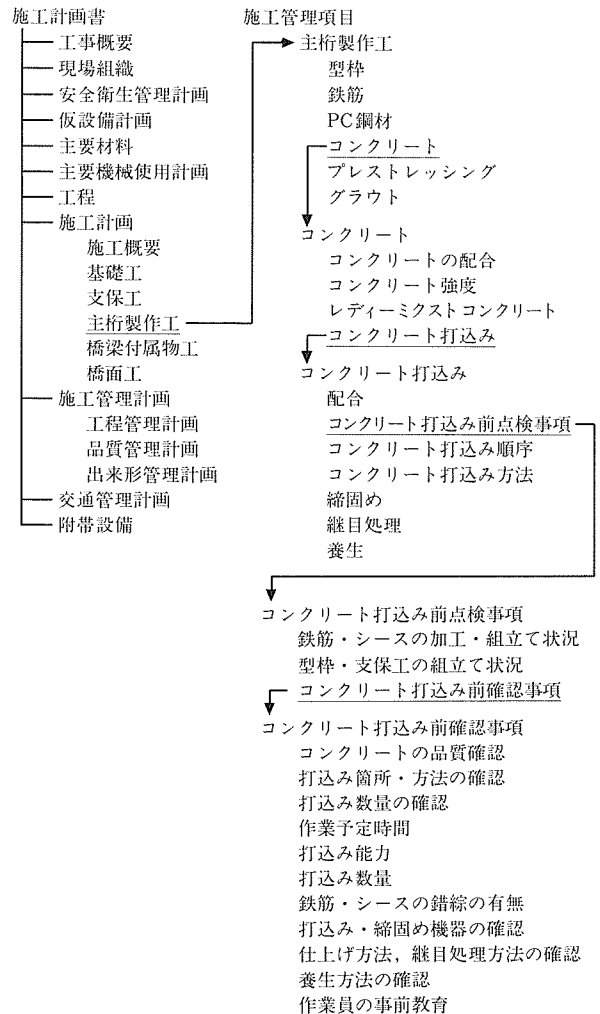


図-2 場所打ちPC桁における施工計画書および管理項目の例

隔で対処するほかにも、塗装鉄筋を使用することも考えられる。あるいは、過密鉄筋配置となりコンクリートの打込みに支障を来すことが想定される場合には、配合設計でスランプの設定を変えるほか、高流動コンクリートの適用を検討する、あるいは発注者や設計者との協議により高強度鉄筋を使用して鉄筋量を減らすなど、各種対策を選定することが考えられる。このように性能規定では、性能を確保するために施工者自らが多様な選択肢の中から適切に仕様や構造を選定することが可能となるため、その選定作業そのものが新たな管理項目となる。

この場合、要求性能の水準に応じて選定基準が異なるが、判定基準が定量的であることが望ましく、施工者が恣意的に選定することがないように、各種要因について客観的な評価基準を策定することが重要である。

さらに、性能規定型規準体系では、新技術、新構造や新分野への応用など、従来にない性能を付加して利用形態を拡大することが大いに期待される。しかし新技術には、開発の際に想定されるメリット、たとえば経済性の向上や施工の合理化等、技術発展から得られる一面の優位性が着目され議論されがちとなるが、新技術の導入が従来技術と異なる挙動を示すことで、従来有していた他の重要な性能を

低下させる場合も想定される。このため特殊な工法や高い技術の採用には、隠れた側面を見落とすことなく、本来の耐久性を損じることがないように、十分留意する必要がある。

4.3 施工時における施工管理

性能規定のもとでは施工者は構造物の施工に際して、より確実に信頼性の高い管理項目に従って各施工段階での管理を行うことが望ましい。施工時においては材料や構造の特性に応じてより適切な管理項目を選定することが求められる。たとえばフレッシュコンクリートの管理では、従来のスランプによる管理から水セメント比を直接現場で管理する方法について現在検討が進められている。このように構造物の性能に応じて、より信頼性の高い管理方法を適切に選定していくこともこれからの施工管理においては求められる。

4.4 組織的な施工管理体制の構築

従来の仕様規定では、施工が適切に行われるであろうことが前提であり、いわば施工者の善意に依存した規準体系となっていた。しかし、性能規定では要求性能を満足させることが目的化されているため、施工における不確定要因の排除とともに、施工者個人に過度に依存しないような施工管理体制が必要となる。

近年、構造物の多様化や複雑化が進み、これに伴い施工に関与する構成員も大規模かつ多様になる場合が多い。今後は個人レベルでの技術、意識レベルの向上に加えて、施工に関わるあらゆる段階で組織的な施工管理体制の一層の強化と、施工に関する責任の所在の明確化が望まれる。

4.5 維持管理への引継ぎ

供用期間内に構造物に所定の性能を発揮させるための行為として、設計・施工とともに完成後の維持管理がある。計画・設計段階ではまず、想定される維持管理のシナリオを設定する必要があるが、このシナリオを完成後に実現していくためには、施工に関する適切な記録を残し、これを維持管理に引き継ぐことが重要となる。そこで、想定した維持管理方法と管理項目に応じた施工記録、施工情報をその後の維持管理の基本資料として使えるように残すのがよい。

維持管理の技術・研究水準の向上という観点から見ても、維持管理への適切な情報の伝達は極めて有意義である。現時点では環境等外的要因と諸性能の関係は依然不明確な点が多いが、将来の技術・研究開発に対して貴重なデータを提供することにも繋がる。

5. 今後の展望、期待

PC分野における技術進歩は依然として目覚ましく、PCがもつ潜在能力、性能をさらにうまく引き出すことで今後の一層の発展が期待される。その一方で、PCに関する不具合や諸問題が顕在化しており、PCの耐久性に大きな疑問が生じていることも現実である。これらを適切に排除、もしくは評価できなければ、PCのもつ可能性を開く前にPC自体が社会から排除されることとなる。

性能規定型規準では施工の細目について管理項目を画一化しない方向にある。しかし、施工時の管理項目や管理方法が異なっても、構造物が完成した時点で想定した品質を有し、施工記録を適切に残しておくことが、その後に想定した維持管理のシナリオを成立させることになる。そのためには今後、第三者機関による検査体制も視野に入れる必要もあろう。構造物に対して確かなシナリオを設定し、そのための課題と対策を明確にしていくことで、耐久性に裏づけられた信頼性の高い施工管理が確立され、魅惑に満ちた構造物の実現が見えてくるのである。

なお、本稿の執筆にあたり、住友建設(株)坂井逸朗氏にご協力いただいた。ここに、深く謝意を表す次第である。

参 考 文 献

- 1) 横田, 渡辺: プレストレストコンクリート橋の施工における品質管理の現状と課題, コンクリート工学, Vol.39, No.5, pp.40~43, 2001.5
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書 施工編 (平成8年版), 1996.3
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書 施工編, 2000.1
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書 施工編 (平成11年版), 改訂資料, コンクリートライブラリー99, 2000.1
- 5) 宮川: プレストレストコンクリート構造に求められる性能, プレストレストコンクリート, Vol.41, No.6, pp.19~24, 1999
- 6) 土木学会: コンクリート構造物の耐久設計指針(案), コンクリートライブラリー82, 1995.11

【2001年11月19日受付】