

◆ 特 集 ◆

施 工 管 理 技 術

施工管理の現状と将来展望

石橋 忠良*

1. わが国におけるプレストレストコンクリートの歴史^{1)~3)}

わが国におけるPC（以下、PCと称す）の実用化は1943年頃に鉄道技術研究所にてプレテンション方式の桁の実験、研究が始められ、1951年枕木に実用化されたのが最初である。鉄道での構造物としては1952年に東京駅のホーム桁や、1953年大阪駅の線路扛上桁がポストテンション方式で造られたのが最初である。鉄道橋としての本格的なPC桁は1954年に造られた第一大戸川橋梁（支間 30 m 信楽高原鉄道）である。

道路橋においてもほぼ時を同じにしてPC橋梁の歴史が始まっている。1951年にプレテンション方式の道路橋の長生橋（支間 3×3, 3 m 石川県）が初めて造られている。1955年にはポストテンション方式の本格的な橋梁として上松川橋（支間 40, 7 m 福島県）が施工されている。1955年には土木学会より「PC設計施工指針」が制定された。

その後 PC構造は急速に発達し、PC橋梁は、現在10数万橋が供用されるまでになっている。しかし、このようにわが国のPCの歴史はまだ約50年である。

2. 既設PC橋の現状と問題点²⁾

PCの初期の頃は、エンジニアが熱心に施工管理を行い、一橋、一橋でいねいに造ってきた。第一大戸川橋梁の最近の調査でも、非常に健全な状況であることが報告されている⁴⁾。これらの少ないPC橋を一橋ずつでいねいに造る時代を経て、高度成長期に入ると非常に多くのPC橋が施工された。鉄道橋においては、東海道新幹線においてはほとんど長大橋は鉄桁であった。しかし開業後騒音が問題となり、その後の山陽新幹線から長大橋はほとんどPC橋となった。

これら新幹線に大量に用いられたPC橋の問題点を見てみることにする。

東海道新幹線には多くのPCのI形桁が採用された。このI形桁はPC鋼棒にてスラブ部分で横方向に連結、緊張され

ている。この横締め鋼棒が開業後5年過ぎた頃から腐食、破断し飛び出すという事故が発生しはじめた。この原因は、グラウトの不完全さや、プレキャストI形桁間の間詰めコンクリートの不十分さが理由と考えられている。その後の山陽新幹線においても東海道新幹線に比べると少ないが、横締めPC鋼棒の腐食破断が開業後7年程度頃から生じ、マスコミにも取り上げられている。また横締め鋼棒の破断が発見されはじめて数年遅れて、PC桁下面に縦方向のひび割れや、シミが見られるものが発見されはじめた。これらのPC桁を下面あるいは側面からドリルにて穴をあけたりして調査した結果、PCグラウトをし忘れたことが原因であることが発見された。シース内には水が入っており、この水は高いアルカリ性を示していた。そのため鋼材は錆のない状況ではあった。その後グラウトのし忘れの発見された線区全線にわたりグラウト充填の有無の調査を行い、ない箇所は再注入をした。

またその頃、河川改修のため不要となり撤去したPC桁の解体調査を行った。その結果、鉛直鋼棒のグラウトの充填が非常に不十分であること、定着部の後埋めコンクリートの施工は難しく、上面から水が入りやすいことなどが原因で鉛直鋼棒の腐食破断が発見された。また、主ケーブルの定着部背面のシースには空隙が生じやすいことなどが発見された。

これらの問題点が発見されるたびに、設計や、施工の変更を行ってきた。その結果、東北新幹線以降のPC桁では、今のところ同種の問題は非常に少ない状況である。東北新幹線では建設中に、宮城県沖地震を経験した。このとき、PC桁端部に損傷を受けたものが何橋か生じた。また鋼製支承の多くが損傷を受けた。この経験から、桁端部の配筋の変更や、鋼製支承からゴム支承にその後は全面的に設計の変更を行っている。また、東北新幹線や上越新幹線の開業時に、大宮付近ではPC桁の急速施工が行われた。建設したばかりのPC桁上を新幹線が走りはじめたが、PC桁のクリープにより桁が反り上がり、それに伴い軌道が反り上った。そのため開業後、軌道の保守に多くの労力を必要とした。このことの実験も踏まえてクリープ変形の少ないPC桁を積極的に導入するようになってきた。

3. 施工管理の変遷および施工に関する設計の変遷

ここでは、主に鉄道におけるPCの主要な施工管理の変遷と設計面の変更を述べる。

3.1 施工管理

(1) 緊張管理

緊張管理はPC技術の要との意識から、かなりしっかりと



* Tadayoshi ISHIBASHI

東日本旅客鉄道(株)
構造技術センター 所長

施工管理がなされてきた部分である。管理項目は緊張力、伸び、セット量が主要な項目である。緊張管理の方法についてはあまり変化はしていない。いく分簡略化した方法が追加されたことくらいである。一般にPC工事においてはこの緊張管理に意識が集中しすぎてきたきらいがある。

(2) PCグラウト

グラウトの品質は土木学会や鉄道の規定に「十分にPC鋼材を包み、これを錆びないように保護し、確実に十分な付着が得られるような品質のものでなければならない」とされている。表-1にPCのグラウトの品質について土木学会の規定と鉄道の規定の変遷を示す。1961年改訂の土木学会「PC設計施工指針」において、巻末にPCグラウト指針案、およびPCグラウト試験方法がグラウトに関して初めて規定された。鉄道橋として供用中のPC桁や、撤去したPC桁の調査からグラウトの問題点が発見されはじめたため、1983年頃、グラウトに関した配合、施工試験を実施した⁵⁾。その結果、ノンブリーディングタイプ以外の材料は、シース内に空隙が残りやすく、またブリーディングを追い出すのも非常に難しいことが分かった。1987年の鉄道の規定ではPCグラウトのし忘れをなくすべく、グラウトの注入圧力記録などの施工報告書の提出を義務づけるなどの管理が強化された。また、グラウトの品質についてはアルミ粉末による膨張でブリーディング水を追い出す従来の配合を基本としたままではあるが、注書きで、ノンブリーディングの新しい材料を使えるようにしている。グラウトの施工方法についてもシース内に空隙が残らないように細かい手順が示された。従来タイプの材料に対してきめ細かい施工方法を定めたが、ブリーディングの多いグラウトのままでは、アルミ粉末などの材料の違いや、施工時の温度の違いでもブリーディング量や、膨張時期や膨張量が変化し、施工の僅かの不注意で問題を生じやすいことから、ノンブリーディングの使用を推奨してきたが、多くはまだ従来タイプのグラウトが施工されていた。1993年のJR東日本の基準で初めてそ

れまでのアルミ粉末の膨張でブリーディングを追い出すタイプのをやめて、ノンブリーディングタイプのグラウトの使用が基本となった。

(3) 上越し管理

PC桁には多くの施工法がある。とくに張出し式工法などでは、施工途中での高さの管理が重要である。施工に応じて、構造系が変化したり、緊張力や、自重、ヤング係数、クリープなどの影響で高さに変化する。完成時に目的の高さとするため、施工途中で、常に誤差や、計算を修正しながら、施工していかなければならない。コンピュータの発達でこの高さの管理である上越しの管理は大幅に進歩した。斜張橋の高さの管理に、斜材に必要な長さをマーキングしておき、その長さとするのみで高さの管理をした例もある。桁剛性が小さいため、張力を気にせず、材料特性の明確な鋼材の長さで高さの管理に変えることは、管理が非常に分かりやすく、計算間違いも起こり得ない良い方法であったと思っている⁶⁾。

3.2 施工の問題から設計を変えた点

(1) 鉛直鋼棒、上縁定着の取りやめ

撤去したPC桁の解体調査の結果、鉛直鋼棒に腐食破断していたものが発見されたことから、鉛直鋼棒のグラウト、上縁定着の後埋めの施工を確実にすることは難しいと判断し、鉛直鋼棒を設計で原則用いないこととした。箱形桁や下路桁のウェブのせん断設計はPC構造とせず鉄筋コンクリートとして設計している。やむを得ず鉛直鋼棒を使用するときは、グラウトの施工の不要なアンボンドPC鋼棒を用いることとした。また、主ケーブルの定着もすべて端部定着か、ウェブか下スラブに定着するようにし、上縁定着の設計を原則行わないようにした。

(2) 後埋めコンクリート

定着のための切欠き部の後埋めコンクリートの施工に完全を期待するのは現在も難しいと思っている。JR東日本の規定は次のようになっている。

表-1 PCグラウトの品質管理基準値の変遷

基準類	コンシステンシー (流動性)			ブリーディング率 (%)	膨張率 (%)	強度, 配合			
	沈入時間の範囲 (秒)	流下時間の範囲 (秒)				型枠方法	押しブタカン法	水セメント比 (%)	
		有溝コーン使用	有溝コーン不使用						
PC設計施工指針 (土木学会) 1961	30~40	10~30	—	—	0~5	$\sigma_{7} \geq 150 \text{ kgf/cm}^2$ $\sigma_{28} \geq 200 \text{ kgf/cm}^2$	$\sigma_{7} \geq 200 \text{ kgf/cm}^2$ $\sigma_{28} \geq 300 \text{ kgf/cm}^2$	35~45	
PC鉄道橋設計施工基準 (案) (国鉄) 1965	A	30~50	11~22	7~14	—	0~5	$\sigma_{7} \geq 150 \text{ kgf/cm}^2$ $\sigma_{28} \geq 200 \text{ kgf/cm}^2$	$\sigma_{28} \geq 300 \text{ kgf/cm}^2$	35~40
	B	20~35	6~11	5~7					40~45
土木工事標準示方書 (国鉄) 1969	A	30~50	11~22	7~14	—	5~10			35~40
	B	20~35	6~11	5~7					40~45
土木工事標準示方書 (国鉄) 1987	—	Jロート 単純桁主鋼材: 6~20 その他: 6~12		練混ぜ24時間以内の最大値2以下24時間後0以下	5~10	$\sigma_{28} \geq 200 \text{ kgf/cm}^2$	—	—	
コンクリート標準示方書 (土木学会) 1991	—	解説 (JAロート 15~30)		3以下	10以下	$\sigma_{28} \geq 200 \text{ kgf/cm}^2$	—	45以下	
土木工事標準示方書 (J R) 1993	—	J14ロート 5~12		0	-0.5~0	$\sigma_{28} \geq 200 \text{ kgf/cm}^2$	—	45*	

注) A : 比較的注入が容易な場合 (フレッシュ工法など) B : 比較的注入が困難な場合 (ディビダーク工法, レオンハルト工法など)
* : 標準配合で示している。

- ① PC鋼材定着部に使用する後埋め材料は、無収縮モルタルまたは無収縮コンクリートを使用するものとし、特に上縁定着部は樹脂系モルタルを使用すること。
- ② 後埋めの施工にあたっては、打ち継目のチッピング、清掃を行い、十分吸水させた後、後埋め材料を充填して、本体のコンクリートとよく密着するように締め固めること。また、少なくとも3日間5℃以上に保ち、湿潤養生すること。
- ③ 上縁定着部後埋め材の仕上げ高は、周辺の本体コンクリート面よりも、いく分高く仕上げること。

また後埋め部には表面に防水工を施工している。

(3) ゴム支承の全面採用

宮城県沖地震で、鋼製支承に大きな損傷を受けたことから、RC桁はもちろんのこと、PC桁も全面的にゴム支承の採用に踏み切った。支承構造は、鋼製のストッパーとゴム支承の組合せとなった。

(4) 支承付近に埋殺し型枠の採用

支承付近の桁座や桁端は施工が難しく、施工法についてしばしば注意の喚起が行われてきて、具体的な施工手順の指導もなされてきたが、同じような施工不良が繰り返されてきた。一つは支承下面の施工であり、もう一つは支承上面の型枠の施工である。この型枠の据付け、撤去が難しいため、コンクリートが漏れたり、型枠の撤去が不十分だったりして支承が機能せず、桁座や桁端にしばしばひび割れが生じていた。この問題の解決策として、支承上面の桁端の型枠はプレキャスト板を用いて埋殺し型枠とすることとした。

(5) PRC桁の全面採用

クリープによる桁の反りの少ないPRC桁は、軌道をメンテナンスフリーのスラブ軌道を用いるようになったこともあり、設計法が確立するとほとんど今までPC桁としていたものはPRC桁として設計されるようになった。それ以前は、スラブ軌道を採用するときは、桁上面をクリープで反る分だけ、逆反りになるように仕上げたりしていた。また軌道を敷設してからも、クリープの進行により軌道を何度も修正したりしていた。現在は、ほとんどのPC桁はPRC構造として設計されている。

4. 信頼性の高いPCを目指して

PC桁はその歴史とともに問題を発見しては改良し、信頼性を高めてきた。わが国においてまだ50年の歴史ではあるが、非常に多くのPC桁が造られている。そのため、問題点の多くはすでにほとんど明らかになっている。これらの問題点を解決していくことが大切である。また、その解決策が信頼性の高い方法であることが大切である。人の注意力や熱意に期待する方法は、根本的な解決策にはなり得ない。簡単で誰がやっても信頼性の高いものが施工されるような解決策が必要である。現在、一番信頼の低いのがPC鋼材の防錆対策であろう。PCグラウトのし忘れ、不十分な注入、後埋め部からの水の浸透、接合目地部からの水の浸透、このように多くの面から鋼材の防錆に対する注意が必要である。グラウトを使用するのであれば、これらの問

題点に対して完璧であることを保証するような方法を採用していかなければ不安は解消しない。たとえば、主ケーブルに対しては、グラウトキャップを使用し、この材質を透明なものとし、外から確認してから後埋めするようにする、あるいはグラウト終了後グラウトキャップを外して中を確認してから後埋めするなどの信頼性を保証できる工法としていくことが必要と考える。グラウトの施工に不安があるなら、鋼材そのものを、エポキシ被覆などの防錆処置をした鋼材としたり、シースの材質を耐久性の高いものとするのも対策の一つである。プレグラウトも解決策の一つであろう。いずれにしても、施工のミスが致命的とならない設計、施工不良の起こりにくい施工方法、誰にも分かりやすい検査方法にしていくことが大切である。

また一体に施工したコンクリート以外は、コンクリートは一体にはならないと割り切って考えることが必要である。打ち継目の処理についていろいろ注意が述べられているが、それだけ一体にするのは難しいということを示している。定着部の後埋めコンクリートは打ち継目から水が浸入しやすく、I形桁のプレキャスト部分と場所打ち部の打ち継目も水が浸入しやすいと考えた方がよい。水の入りやすい桁上面の後埋めはなくすことが望ましい。箱形桁のウェブなどはPC構造にせず、RCとして設計の方が安全である。やむを得ず鉛直方向のPC鋼材を配置する必要が生じ、上縁定着が生じる場合は、しっかりと防水工を施工するとともに、鋼材を防錆処理したものにするか、プレグラウト鋼材とする方が安全である。

技術のレベルが十分高く、常に信頼の高い結果が得られる工法はそのまま採用してもよいが、僅かの不注意や、知識の欠如がすぐに欠陥に結びつく工法は、代替方法がない場合はやむを得ず施工に注意して採用せねばならないが、すでに代替工法で信頼性の高いものがあるならば、過去の信頼性の低い工法はやめていくべきである。施工管理をしっかりやり良い構造物をつくるということは当然であるが、施工管理をしっかりやらないと良い構造物ができないという工法は完成された工法ではない。PCに関わる材料は近年著しく多様化し、進歩してきている。これらの材料を組み合わせれば、非常に耐久性の高い、信頼性の高いPC構造物をコスト増なく造れる時代になっている。過去の多くの問題を無駄にすることなく、同じ問題を生じさせないように設計、材料、施工法、検査を大胆に変えていくことが、PCの信頼性を高めるために必要である。

5. 将来の施工管理

PCが特殊な構造だという意識をなくせるような施工管理が理想だと考える。施工管理の方法や、検査の方法は誰でも分かる方法にすることが、品質の高い構造物をつくるために必要である。数年後には、PC構造の信頼性を高めるために、実施されているだろうと思われる施工や検査について以下に述べる。

水セメント比や単位水量の生コンの現場到着時での検査の実施。これはすでにいくつかの機関や現場で実施されはじめている。コンクリートの品質を確認するには打設直前

で、品質に最も影響する単位水量などを測定することが有効であり、信頼性を高めるには必要である。

緊張管理は、伸びと緊張力での管理が中心であろうが、より分かりやすくすることが必要であろう。

グラウトを施工する場合は、目視で充填結果が分かる管理方法としていくことが必要である。グラウトの品質は、完全に充填できることが確認されている材料とシース径と鋼材種類の組合せで用いることが必要である。ノンブリーディングであることは当然だが、一般には粘性が高く、空気を完全に押し出しながら、全断面を満たしていく材料の方が良い結果が得られる。また、充填を完全にするためにはグラウトキャップを用いることも有効である。施工や材料が完全でも、施工をし忘れてたりしては何にもならない。この施工のし忘れをなくすために、外から目視でグラウトの充填が確認できる方式としてグラウトキャップの透明化や、グラウト終了後には、グラウトキャップを取り外して確認することを義務づけるなども有効と思われる。

コンクリートの目地や、後埋めの打継目は一体化しないという前提で、防錆した鋼材の使用や防水工を施工する。

かぶりの非破壊検査の実施も一般化しているであろう。かぶりを設計どおり確保するためにスペーサーの数など管理することも大切だが、コンクリート施工後非破壊検査でかぶりを確認することが、分かりやすい。かぶりの不足した場合の補修方法も取り決めておき、完成物として安心できる状態にすることがよい。

トラブル時の処理方法を明示しておくことも大切である。

施工管理をしっかり行い、品質の高い構造物を目指すのは、当然である。しかし、現実には避けられないトラブル

も生じる。たとえば、生コン車が交通渋滞で遅れたため、コールドジョイントができてしまった場合など、その欠陥部に対する処置方法をあらかじめ決めて明らかにしておく、生じた場合はその処置方法に従ってしっかりと処置をすることも大切である。欠陥の種類と程度により、処置方法を明らかにしておくことで安心できるレベルに処置をすることができる。

6. あとがき

PCに限らず、構造物の施工管理は、トラブルを発見しては改良を繰り返してきた歴史である。PCについては、現在、ほとんどのトラブルは経験済みであると思われる。これらのトラブルの再発がないような設計、施工方法にするとともに、注意の必要な部分のみは、責任者が立ち会うなどの管理にすることで、信頼性の高い構造物となると思われる。過去の経緯や、慣習にとらわれず、信頼性を高める設計、材料、施工法に変えていくことが大切である。

参考文献

- 1) プレストレスト・コンクリート建設業協会：30年史，PC建設業協会30年史編纂委員会
- 2) 宮本：プレストレストコンクリート鉄道橋の耐久性評価，東京大学学位論文，1999.3
- 3) 中條：PC桁の補修・補強，橋梁と基礎，Vol.35，No.8，pp.121～122，2001
- 4) 菅原，石橋，西山，夏川：30年経過したPC鉄道橋の経年特性について，プレストレストコンクリート，Vol.29，No.4，pp.9～15，1987
- 5) 石橋，中原，西山：PCグラウトの配合および注入方法に関する研究，プレストレストコンクリート，Vol.27，No.6，pp.58～69，1985
- 6) 石橋，藤森，大庭，津吉：PC斜張橋上部工の設計と施工－青森ベイブリッジ－，コンクリート工学，Vol.29，No.12，pp.33～42，1991.12

【2001年10月1日受付】