

総論

小島 宏*

1. はじめに

土木構造物の建設材料として古くから多く用いられてきたものは、鉄やセメントを利用できるようになる以前には、自然界に存在する土、石、木などであった。石を材料にしたローマ時代の水道橋や、万里の長城など現在までその姿を保っているものも数多い。現代においてもアースダム等では自然の材料をそのまま利用しているように、土木構造物はできるかぎり安価で大量に入手可能な材料をうまく使ってきたといえる。

現代における土木構造物を構成する材料は、土による構造物を除くと主に鋼材とコンクリートである。鋼材が建設材料として大量に使用されるようになったのは産業革命以降のことであり、コンクリートにおいては19世紀にポルトランドセメントが発明されてからのことである。鋼材およびコンクリートは強度や剛性といった力学的特性が優れており、しかも比較的安価であることから土木材料の中心的存在として現在にいたっている。鉄筋コンクリート（以下、RCという）構造やプレストレストコンクリート（以下、PCという）構造は、その2つの材料を複合的にうまく組み合わせたものといえる。

PCの概念は非常に古く、RCの発明から約20年後の19世紀後半に、すでにPCに関する各種の特許が出始めている。引張に弱いというコンクリートの弱点を補うため、あらかじめコンクリートに圧縮力を導入しておき、荷重による引張力を打ち消そうというPCのアイデアが生まれてきたわけである。PCの原理に関しては20世紀初頭までにほぼ完成されたが、実用化に向けてはいくつかの問題が残されていた。一つは導入されたプレストレスト力がコンクリートの弾性変形、クリープ、乾燥収縮などによって損失すること、もう一つは当時の鋼材ではコンク

リートとの付着が不十分であるために、必要とする鋼材量が多くなってしまいうことであり、これらの問題点を解決するためには新しい材料の登場をまたねばならなかった。そして、1928年にフランス人のフレシネーが緊張材を普通の鋼材から高強度鋼材（以下、PC鋼材という）に替え、さらに高強度のコンクリートを用いてプレストレスト力を有効に利用することに成功したのが近代PCの幕明けといえる。

2. PC 建設材料

PC構造物では、緊張材のリラクゼーション、コンクリートのクリープ、乾燥収縮等で導入したプレストレスト力が減少することとなる。そこで、これらの点を考慮したうえで必要なプレストレスト力が残るように、高強度の緊張材を用いて適切な引張力で緊張しておくことが肝要であり、PC鋼材の引張強度を高くするために、高炭素鋼、合金鋼のような特殊鋼の線材を用い、これに冷間圧延、冷間引抜き等の冷間加工や、焼入れ、焼戻し等の熱処理を行っている。また、引張強度に対する降伏点比の高いことも要求されるので、引張強度を高くする処理のあとに降伏点を上げる処理も必要で、一般にストレッチングやブルーイングが行われている。

PC鋼材には施工性、安全性、経済性の点から下記のような条件が要求される。

- ① 引張強度が高いこと。
- ② 引張強度に対する降伏点比が高く、弾性範囲が広いこと。
- ③ リラクゼーションが小さいこと。
- ④ 適度の伸びとじん性を有すること。
- ⑤ 応力腐食に対する抵抗性が高いこと。
- ⑥ 適度な疲労強度があること。
- ⑦ コンクリートとの付着性能が高いこと。

また、その種類としてはPC鋼線（丸線、異形線）、PC鋼より線、PC鋼棒（丸棒、異形棒）等があり、目的や用途に応じて適宜使用されている。これらの

* Hiroshi KOJIMA：首都高速道路公団

PC鋼材は日本工業規格に定められており、その規格については巻末の付録に記載している。

近年 PC 構造物の緊張材として、PC 鋼材に代わって FRP 緊張材が開発され、一部では実用の域に達している。これらは炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維などを編んで樹脂を含浸させ硬化させた繊維強化複合材料である。これらの材料の特長としては、

- ① 引張強度が高い。
- ② 耐食性、耐候性に優れている。
- ③ 非磁性、非電導である。
- ④ 軽量である。

等の従来の PC 鋼材にない多くの利点をもっている。しかしこれらの新素材は、まだ歴史が浅く長期的な耐久性などに未解明の点があるほか、材料コストが高いので今後耐久性確認試験や量産化による低コスト化が望まれている。

PC 構造物を構成する材料の中には、通常の RC 構造物と同様に鉄筋も使われているが、これらは JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」、JIS G 3117「鉄筋コンクリート用再生棒鋼」に適合するもの、およびその他に分類される。また、それらは表面に突起があるかないかによって丸鋼と異形棒鋼とに分類され、公称直径および降伏点によっても分類されている。一般的に用いられているものは、JIS G 3112 に適合する「鉄筋コンクリート用棒鋼」であり、これらは純酸素転炉や電気転炉により鋼塊から熱間圧延により製造されるもので、前述のように丸鋼と異形棒鋼の 2 種類がある。異形鉄筋の表面につけられる突起には、鉄筋軸に並行した「リブ」と鉄筋軸に $45^{\circ}\sim 90^{\circ}$ の角度をなす「節」がある。これらの突起によりコンクリートとの付着強度が 2 倍程度に高められること、鉄筋の定着および重ね継手が容易になること、コンクリートに生じるひび割れの幅が小さくなること等の利点から、現在ではほとんどの場合に異形鉄筋が用いられている。

なお、近年は塩害などに対応するために、エポキシ樹脂粉体塗装鉄筋も使用されはじめています。

PC 構造物に用いられるコンクリートは、大きなプレストレス力を保持する必要から高強度コンクリートが要求されるが、このほかにポストテンション方式の場合には緊張材の定着部に大きな支圧応力が生じること、プレテンション方式の場合には緊張材とコンクリートとの付着性能を確保する意味で、土木学会の「コンクリート標準示方書」、(社)日本道路協会の「道路橋示方書・同解説」では、コンクリートの設計基準強度がプレテンション方式の PC 部材には 350 kgf/cm^2 以上、ポストテンション方式の PC

部材には 300 kgf/cm^2 以上のものを用いるように定めている。ただし、プレキャスト桁間の中埋めコンクリートなどの場合は、直接緊張材の定着部にならないなどの理由から 240 kgf/cm^2 以上でよいとしている。

コンクリートを構成する材料は、いうまでもなくセメント、水、骨材と必要に応じた混和材(剤)である。セメントは原則として JIS R 5210 に適合する普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、および JIS R 5211 に適合する高炉セメントを使用するものとしている。標準となるポルトランドセメントでは、普通セメント、早強セメントのどちらを用いてもよいとされているが、水セメント比が同じ場合には普通セメントの方が早強セメントよりコンシステンシーが良いので、一般には普通セメントを用いることが多いようである。特に寒冷地等で冬期に養生期間を短くしたい場合では早強セメントを使用することが有効となる。骨材については、清浄で強硬な砕石、砕砂またはそれと同等の品質を有するものを用いることが望ましいが、近年の骨材事情の悪化により、やむを得ず海砂を使用する場合は、コンクリート中の塩化物総量規制の基準を満足しなければならない。また、アルカリシリカ反応性骨材に対する配慮も必要である。また、PC 構造物用コンクリートによく用いられる混和剤としては、高強度を得る目的から高性能減水剤を使用することが考えられる。これまでの減水剤はスランプロスが大きく使用範囲が限定されていたが、最近になってスランプロスの少ない流動化剤が開発され、広い範囲への適用が可能となってきている。

一方、コンクリートを構成する材料の一部を利用したものとしてグラウト材がある。グラウト材の主要材料はセメントである。グラウト材は PC 鋼材とシーすとの間隙に注入し、PC 鋼材の防錆と、PC 鋼材とコンクリート部材とに付着を与える目的等に使用されるものである。最近では PC 斜張橋の斜材にまでその用途が広がっている。また、グラウトに用いられる混和材料には、減水剤、膨張材、フライアッシュ等があり、それぞれ施工の用途に合わせて用いられる。近年では種々な施工環境を考慮して、速乾性のグラウト材が開発され PC 構造物の施工に供されている。今後とも、施工環境に合わせたグラウト材の開発が望まれるところである。

これまで述べた PC 建設材料は、いわば PC 構造物を構築するうえでの直接的な主要材料である。しかしながら、PC 構造物を構築するうえで不可欠となるものには、このほかにも防食性・景観を向上さ

せる材料である表面被覆材，鉄筋・PC鋼材を所定位置に保持するために使用される材料としてのスペーサーなど様々なものがあり，これらの材料も設計・施工者が十分考慮するべきものであろう。

3. 付 属 物

PCは，その力学的特性から多くの橋梁に採用されているが，橋梁を構成する材料としてはコンクリートや鋼材の本体部材を構成する材料のほかに，支承，落橋防止装置，高欄，自動車用防護柵，排水装置，伸縮装置，照明施設等の付属物がある。本号にもそのうちから，支承，伸縮装置，高欄，排水装置などをいくつか紹介している。

支承は橋梁上下部構造の接点として，上部構造からの荷重を円滑かつ安全に下部構造に伝達し，構造系の安定を保持するために重要な役割を果たすものである。

伸縮装置は橋桁の温度変化，コンクリートのクリープおよび乾燥収縮，荷重等による桁端の変位に対して，歩行者や車両が橋面を支障なく通行できるようにするための装置である。特に道路橋の場合，

伸縮装置は直接自動車荷重を受けることとなり，早期に破損することも多く，耐久性，防水性を有するほかに取替えが容易であることも必要な条件となっている。

高欄については，橋面上にあって最も人の目にふれる箇所に設置されるため，機能を満足するだけでなく，材料やデザインで工夫をこらしたものが近年登場している。

橋桁に添架された排水管は，橋梁の美観を損なうものとなっているが，これを解決する一つの手法として，橋面上に流水断面を持つ形式の排水装置が用いられている。

PC構造物に限らず，構造物に用いられる材料は，その時代の技術水準，経済水準，環境状態に大きく依存するもので，社会の状況に伴って変わるものである。これからも緊張材を始めとする新材料の開発が進むことであろう。また，都市内のPC橋で見られるように，既設の橋梁の美化工事として表面被覆材や外装板が使われることもある。これらの建設環境を考慮して，本号では多様化するPC建設材料を取り上げたが，読者の参考になれば幸いである。