

PC技術の新分野への適用

熊谷 紳一郎*

1. はじめに

プレストレストコンクリート(以下、PC)技術は、W.DöhringとP.H.Jacksonが1888年、1889年にドイツおよびアメリカでそれぞれ特許を取得したことから始まった。しかし、当時の材料技術の発達が十分でなかったため、導入したプレストレスがコンクリートのクリープ・乾燥収縮などで減少して有効なプレストレスの維持が困難となり、実用化には至らなかった。

1928年にE.Freyssinetが、高強度のコンクリートに、クリープなどによるプレストレスの損失を抑えるために、高強度鋼線を用いてプレストレスを導入することを提案し、新しい材料の進歩とその適用により、初めてのPC技術を実用化した。

その後、PC技術の発展は目覚ましく、さまざまな形式の橋梁、海洋構造物、水タンクなど容器、建築物、数多くのプレキャスト製品などに応用されてきており、今後ますます発展していくものと考えられる。本稿では、PC技術の新分野への適用の観点から、最近のPC技術、わが国におけるPC構造の用途、PC技術の新しい分野への適用について述べることにする。

2. 最近のPC技術

PC構造は、コンクリート、PC鋼材、鉄筋などからなる複合部材であり、それぞれの材料要素やプレストレス導入のための緊張技術などの動向がPC構造の発展に大きく影響するものである。

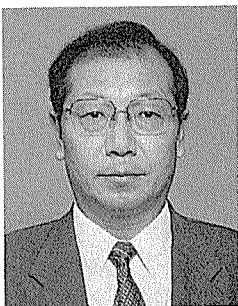
最近のコンクリートの材料技術は、とくに混和剤(材)の分野で目覚ましい進歩があり、高流動コンクリート(自己充填性コンクリート)、シリカフェームなどの微粉末と高流動化剤を応用した圧縮強度100N/mm²以上の高強度コンクリート、安定した性能をもつ人工軽量骨材を用いた実用的な軽量コンクリートなどが開発されている。

PC鋼材については、グラウトの充填不良などPC構造物の耐久性に関する問題点が一部に顕在化してきたこともあ

り、エポキシ樹脂や高密度ポリエチレンで被覆されたPC鋼材、プレグラウトPC鋼材(後付着PC鋼材)、炭素繊維やアラミド繊維を使用した新素材FRP緊張材などの高耐久性を目指した緊張材が実用化されている。PC技術が優れた性能をもつ新しい材料の開発によって実用化されたように、今後これらの新しい材料の特性や機能を十分に生かした構造形式、断面形状、PC技術の新しい利用分野などの研究開発がさらに進められていくと考えられる。

外ケーブル構造は、PC斜張橋の発展とともに向上してきたPC鋼材の防錆技術の応用により急速に普及してきた構造で、大容量化による省力化、コスト低減が可能であること、PC鋼材をコンクリート部材の外に出すことで部材断面を薄くでき軽量化が図れること、鋼材を直接目視できることで管理が容易になることなどから、とくに注目されている。最近では、張出し架設による連続ラーメン橋、プレキャストセグメント橋、波形鋼板ウェブ橋などの大規模橋梁への適用例が増加している。

プレキャストセグメント工法は、わが国では1966年神島大橋が初めて片持ち架設で施工されたが、それ以後の適用例はそれほど多くはなかった。しかし、1997年に完成した松山自動車道の重信高架橋で、ショートラインマッチキャスト方式で749個のセグメントを製作し、スパンバイスパン工法で架設する本格的なプレキャストセグメント工法が採用されて以来、高速道路などでの適用が各地で検討されはじめた。とくに第二東名・名神高速道路の工事においては、工期短縮、現場の省人化、コスト低減のために、大規模なプレキャストセグメント工法が次々と採用されてきている(写真-1)。プレキャスト化の流れはPC橋のみに留まらず、高橋脚、低い橋脚であっても多本数の橋脚、PC床版、PC合成床版、PCタンク、防災シェッドなどにおいても、プレキャスト構造やハーフプレキャスト構造などの開発が進んでいる。



* Shin-ichiro KUMAGAI
住友建設(株) 土木本部 技術部長

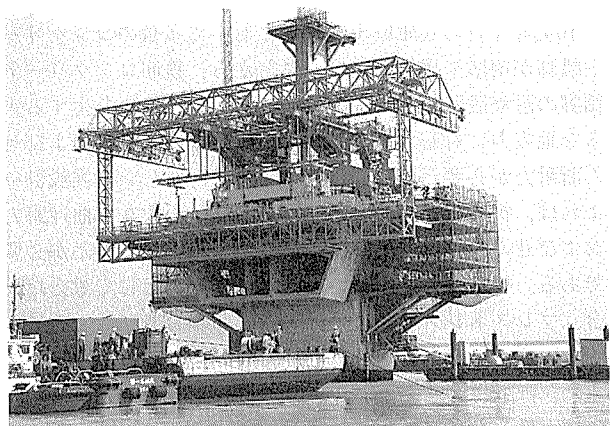


写真-1 プレキャストセグメントの施工例(揖斐川橋)

3. わが国におけるPC構造の用途

わが国におけるPC構造は、1952年にフランスからの技術導入により、石川県七尾市にプレテンション方式の生長橋が建設されて以来、さまざまな分野で応用されており、その主な用途は以下のとおりである。

- 橋 梁：道路橋，鉄道橋，水路橋，歩道橋等
- 建 築：競技場，倉庫，住宅，学校，庁舎，文化施設，体育館，病院，下水処理場，ホテル等
- 容 器：貯水槽（上水，工業，農業，防火，電力），下水汚泥消化槽，貯油槽，液化ガスタンク，サイロ等
- 防 災：シェッド（雪，落石），シェルター（雪，波浪）
- 海 洋：栈橋，浮栈橋，ポンツーン，沈埋函等
- 地 下：共同溝，函渠，地下道等
- 舗 装：空港，道路，埠頭（コンテナヤード）等
- 軌 道：マクラギ，軌道スラブ

平成9年度の総受注額は5203億円で、それぞれの用途をPC工事の実績ベースで見ると、図-1に示すように、橋梁82.3%、容器構造7.1%、建築6.1%、防災構造1.9%、軌道1.1%、その他1.5%となっている。わが国では橋梁が圧倒的シェアであり、容器構造や建築がそれに続き、その他の海洋構造や地下構造などのシェアは非常に小さなものとなっている。

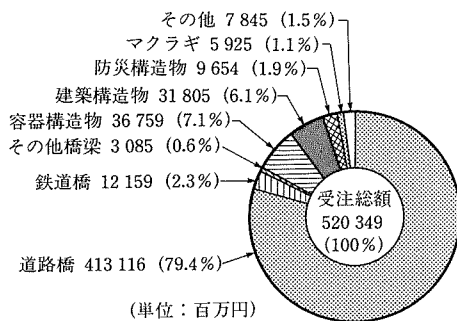


図-1 平成9年度用途別受注実績

4. PC技術の新しい分野への適用

4.1 PC橋脚

1995年1月の兵庫県南部地震において多数のコンクリート橋脚が倒壊や損傷を受けたことから、鉄筋コンクリート橋脚の耐震設計規準が大幅に改訂され、まれに発生する大きな地震力に対しても倒壊しない十分な曲げ耐力およびせん断耐力が必要となってきた。よって、新しい耐震設計によれば、橋脚は、軸部材というよりむしろ大きな曲げ耐力およびせん断耐力をもつ曲げ部材として捉えることが必要である。橋脚を橋桁や梁のような曲げ部材として考えた場合、プレストレスの導入は、橋脚の曲げおよびせん断に対する耐荷性能を向上させる合理的な方法であると言える。また、PC構造は一般に鉄筋コンクリート構造と比較して高い復元性をもっている。したがって、橋脚をPC構造とした場合、地震後に耐荷力の低下を来さず、残留変位を小さく

抑えることができ、耐震性が向上すると言える。

PC橋脚は、(社)プレストレストコンクリート技術協会「橋脚PC構造研究委員会」(委員長：池田尚治 横浜国立大学教授)が委託実験などを通して鋭意研究⁹⁾を進めていて、現在最終的な成果として「プレストレストコンクリート橋脚の耐震設計ガイドライン(案)」がまとめられているところである(図-2)。以下に、実験等で明らかになったPC橋脚の主な特徴を示す。

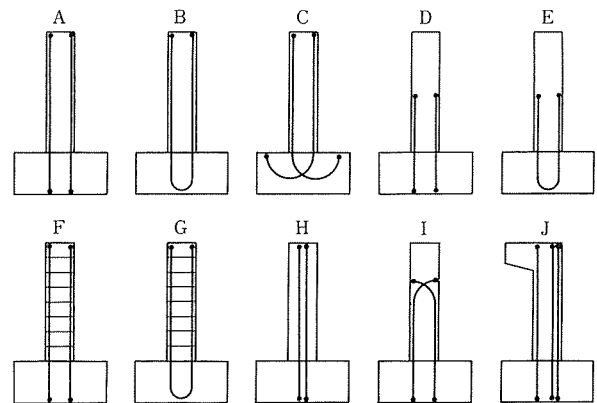


図-2 ガイドライン(案)におけるPC橋脚のPC鋼材配置方法

- RC橋脚では、軸方向鉄筋の座屈が生じると載荷荷重の低下が著しくなるが、PC橋脚では、その後も荷重の顕著な低下がなく、粘りのある挙動を示す。
- プレストレス導入量が大きくなるほどエネルギー吸収能力は低下するが、残留変位は小さくなり、地震後の使用性能は向上する。
- PC鋼材に付着がない場合、付着のある場合に比べて残留変位をさらに小さくすることができる。
- PC橋脚はRC橋脚に比べ、曲げひび割れ、せん断ひび割れの発生が少なくなる。

以上示したように、PC橋脚は従来のRC橋脚にない耐震性能を有しており、その特性を生かすことや前述のプレキャスト工法との組合せによって、合理性の高い橋脚構造になり得るものと考えられる。

4.2 PC構造のシールドセグメントへの適用

一般に地下構造物は、鉄筋コンクリート構造、鋼構造、鋼・コンクリート合成構造がほとんどで、PC構造を適用した例は比較的少ない。前述の分野別の用途を見ても大型の共同溝や函渠などでPC構造の実績がある程度である。

しかしながら、今後地下構造物が大深度化、大規模化、大空間化していく場合、PC構造やPC技術が地下構造物の分野で適用され大きく発展していくことが考えられる。ここでは、シールドトンネルにおいて、一般には鉄筋コンクリート製や鋼製のセグメントをPC構造とした実施例を紹介する¹⁰⁾。

PPC (Prestressed Precast Concrete) セグメントは、トンネルの円周方向や縦方向にプレストレスを導入することによって、継手ボルトや継手金物を用いずにセグメントリングを結合一体化するシールドトンネル用セグメントである

(図-3)。この工法で用いているPC鋼材は防食性に優れ、角変化に対する摩擦係数の低いアンボンドPC鋼より線を採用している。また、定着具には、緊張側と固定側の定着体をX形状にねじって一体とする鑄鉄製一体型定着体(写真-2)を開発し使用しているため、緊張端と固定端の緊張力が定着体内でキャンセルし、補強鉄筋がほとんど必要なくなる。

セグメントをPC構造とした場合の主な特徴は以下に示すとおりである。

- セグメントをプレストレスで結合するため継手金物がなく、内面平滑のため二次覆工省略に適している。
- プレストレスの導入によりひび割れ幅を制御でき、また、セグメントの目開きは極めて小さくなるため、真円性、止水性に優れている。
- アンボンド鋼材を使用しているため、大きな荷重に対して継手面が破壊されにくく粘り強く、かつ復元性が高い構造となり、耐震性の向上が図れる。
- 内水圧に対抗するプレストレスを導入することによって、内水圧対抗型セグメントが経済的に実現できる。

このようにPC構造のセグメントは、プレストレスを利用していることで真円性、復元性、耐震性などが良くなり、自重の影響の大きい中～大口径トンネルや内圧を受けるトンネルへの適性が高く、今後の適用が期待される。

4.3 海洋構造物

海洋構造物は、海中・海上環境における耐久性、保守費の節減、優れた疲労特性、経済性などPC構造がもつ特長を

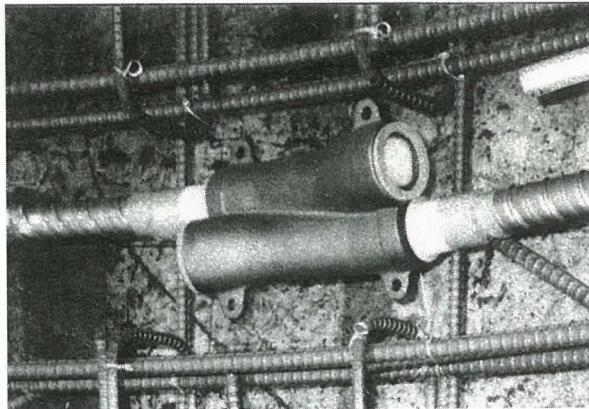


写真-2 鑄鉄製一体型定着体

十分に活用できる構造物で、世界では油田のプラットフォームやフローティング橋などの多数の実績がある。しかし、わが国においては、用途別の実績からも分かるように、海洋構造物分野での国内市場もほとんどなく、新しい分野の技術として今後の発展に期待するもので、ここに諸外国での実施例を簡単に紹介する。

PC構造のプラットフォームは、北海油田でEkofish 1が1973年に建設されて以来、これまでに20数基が建設されている。北海の厳しい環境下で20年以上供用されたプラットフォームの調査結果では、主に落下物や船舶の衝突による欠陥が発見されたのみで、鉄筋腐食やその他の材料の劣化に起因する欠陥などは見られなかったとの報告¹¹⁾もあり、良質なコンクリートを打設した場合のPC構造の高い耐久性を証明した。これまでの最大規模のプラットフォームとして1995年に完成したノルウェーのトロール(Troll)は、全高370m、着底部直径32m、高さ30mのセル19個からなる基礎ケーソンを有し、コンクリート体積102.8万m³、PC鋼材7400tを使用している大型のPC構造である(図-4)¹²⁾。わが国における大規模な海洋構造物として、横浜ベイブリッジに使用されたパイルキャップバージがある。これは、3径間連続鋼トラス斜張橋(中央支間460m)の主塔位置中間橋脚の基礎に用いられたPRC構造のバージで、最終的には橋脚設置位置に曳航されて多柱式基礎のフーチング本体(長さ56m×幅56m×高さ12m)となるものである。

そのほかにも1994年ノルウェーで完成したグルトホルトランド橋(浮橋部全長1246m)やアメリカのワシントン湖橋(浮橋函体部全長106.7m)などの浮橋も新しい技術として注目を集めている。また、今後の海洋構造物の展望としては、浮体式海上空港や水中トンネルなどの計画が提案されている。このような大規模海洋構造物にPC構造を適用していくには、高強度や軽量コンクリート材料技術、高耐久性の緊張材および定着システム、良質で密実なコンクリートの打設や確実なグラウトを行う施工技術など、PCに関するバランスのとれた技術革新があってはじめて可能となるわけである。

4.4 連続繊維緊張材

連続繊維緊張材の技術開発は、PC緊張材や定着具、緊張工法などに関する技術の応用、発展であり、その現状と展望について簡単に説明する。

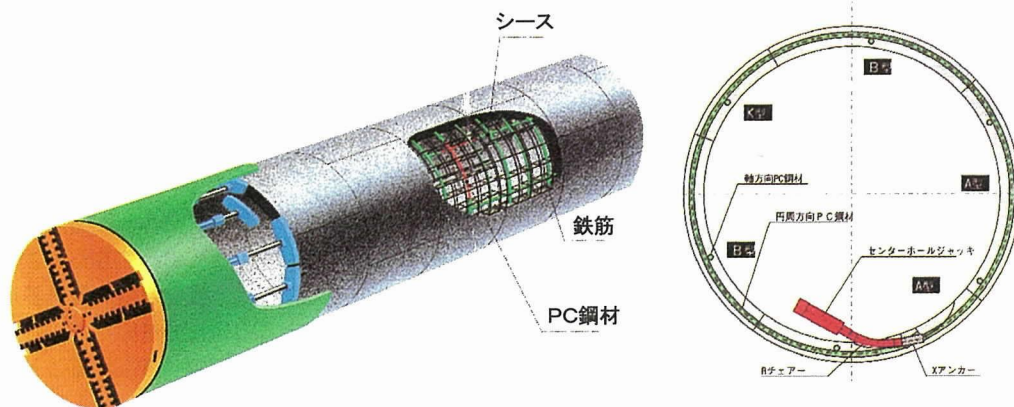


図-3 PPCセグメントの概要図

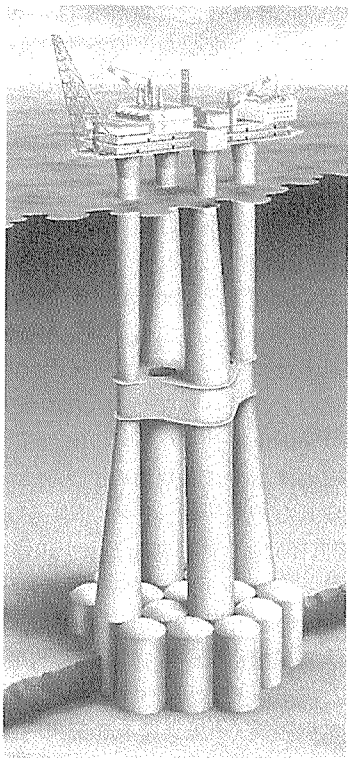


図-4 プラットフォーム (トロール) ¹²⁾

連続繊維緊張材は、炭素繊維やアラミド繊維などの連続繊維に樹脂などの結合材を含浸・硬化させて成形し、PC緊張材として用いるものである。連続繊維緊張材の成形形状は、一次元棒材がほとんどで、平滑な丸棒のほか、コンクリートとの付着を向上させるために、表面に繊維を巻き付けたり、砂を付着させたものや、より線状や組み紐状のもの、板状のものがある(写真-3) ¹³⁾。

連続繊維緊張材の使用実績は、最近数年間伸びてきており、鉄筋代替を含んだ使用実績で約150件となっている。これらの中から特徴的な実施例 ¹⁴⁾ を2例紹介する。

図-5は、愛知県内に建設された支間75m、幅員3.6mの有ヒンジラーメン歩道橋で、緊張材にはポストテンション方式で6×φ12.5mmのCFRPストランドが使用され、1993年世界に先駆けて、片持ち張出し架設で建設された。

写真-4は、茨城県に1992年に建設された橋長56.4m、全幅4.0mのプレテンション方式函体連結浮橋(歩道橋)で、プレテンション用および函体連結用外ケーブルに組み紐状のAFRP緊張材を使用している。

炭素繊維、アラミド繊維などを用いた緊張材は、現状では従来のPC鋼材に比べて高価であり、今後これらの新素材を発展させていくには、材料それぞれの特徴を最大限に生かした利用方法を考える必要がある。すなわち、新素材繊維は、それぞれの材料で異なる性質を有するが、腐食しない、軽量である、非磁性であるという共通の特徴があり、これらの共通の特徴もうまく活用していく必要がある。

5. おわりに

橋梁以外の構造を中心に、PC技術の新しい分野への適用

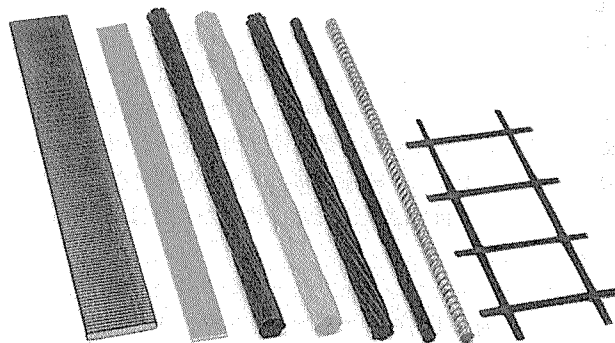


写真-3 連続繊維緊張材 ¹³⁾

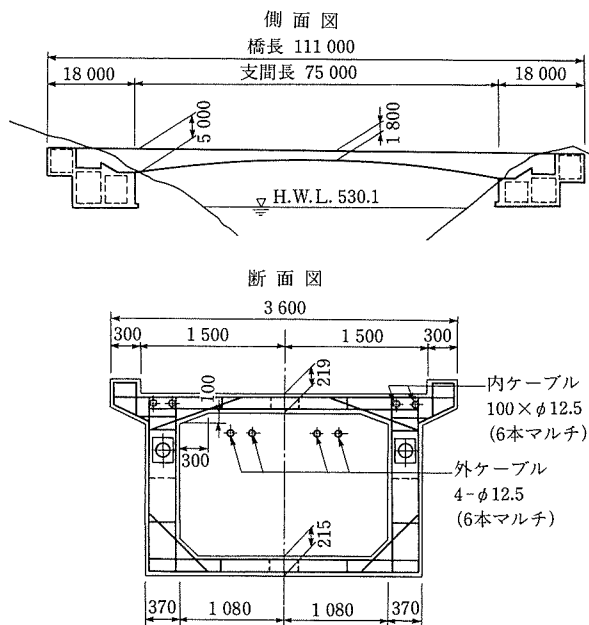


図-5 片持ち架設によるラーメン橋の例



写真-4 浮橋の例

の観点からPC橋脚、PC構造シールドセグメント、海洋構造物、連続繊維緊張材について具体的な適用例を紹介し、今後の動向、展望などを併せて述べてきた。これらの内容について、著者の勉強不足、浅学のため資料不足や十分な内容になっていないところをご容赦いただき、この拙文がいささかなりともPC技術発展に寄与することがあれば幸いと考える次第である。

参 考 文 献

- 1) 池田：プレストレストコンクリートの動向と将来展望，第25回PC技術講習会，pp.1～9，1997
- 2) 池田：プレストレストコンクリートの発展と技術開発，第27回PC技術講習会，pp.1～17，1999
- 3) 池田：将来のPC構造，プレストレストコンクリート，Vol.38，No.6，pp.10～13，1996
- 4) 辻：PCに関する新たな展望，プレストレストコンクリート，Vol.41，No.1，pp.3～5，1999
- 5) 町田：PC建築の歴史と将来，プレストレストコンクリート，Vol.41，No.1，pp.12～14，1999
- 6) 雨宮：PC建設業の伸展と将来，プレストレストコンクリート，Vol.40，No.1，pp.68～69，1998
- 7) PC建設業協会：プレストレストコンクリート年報，1998
- 8) 藤井，ほか：1.6PCの応用例，プレストレストコンクリート構造学，オーム社，pp.9～25
- 9) 池田，森，吉岡：プレストレストコンクリート橋脚の耐震性に関する研究，プレストレストコンクリート，Vol.40，No.5，pp.40～47，1998
- 10) 熊谷，金子：技術最前線 シールドセグメントにプレストレスを導入，土木学会誌，Vol.84，pp.21～23，1999.5
- 11) 鈴木：海洋構造物委員会活動総括とPC海洋構造物の現状報告，プレストレストコンクリート，Vol.41，No.3，pp.62～68，1999
- 12) 渡辺：最近の海洋PC構造物の動向と将来技術の展望，プレストレストコンクリート，Vol.38，No.6，pp.79～87，1996
- 13) ACC倶楽部：新素材施工実績集，Vol.1，Vol.2
- 14) 熊谷，関島：特集・コンクリート技術最前線 繊維，コンクリート工学，Vol.33，No.3，pp.21～24，1995.3

【1999年10月8日受付】

◀ 刊行物案内 ▶

PPC構造設計規準(案)

**外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法
設計施工規準(案)**

**プレストレストコンクリート橋の耐久性向上
のための設計・施工マニュアル(案)－抜粋－**

(平成8年3月)

頒布価格：3点セット 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