

懸賞論文 「PC技術者の夢」 審査結果ならびに受賞作品

「PC 技術者の夢」論文審査結果について

1. 概 要

本誌 38 巻 2 号, 3 号で募集した本特集号「将来の PC 構造」の懸賞論文 (テーマ:「PC 技術者の夢」) についてご報告します。

懸賞論文の応募総数は 18 作品で, 審査の結果以下の 5 作品を選入とさせていただきました。

- | | |
|---|----------|
| (1) PC 桁のアクティブストレーシング | 河村直彦 殿 |
| (2) 海洋構造物に用いるプレキャスト構造部材 | 河村 敦 殿 |
| (3) 機能をゾーニングしたプレキャスト PC 構造免震都市 | 小山内 裕 殿 |
| (4) 将来の PC 技術者と社会に望むこと
(構造設計に携わる技術者としての意見) | 上之菌 祐二 殿 |
| (5) PC 橋梁の未来像について | 赤坂保彦 殿 |

応募作品は,

- ① 設計の合理化に対する提案
- ② 部材の PC 化による省力化施工を目標とした提案
- ③ 環境への影響を最小限にするための PC 構造利用法に対する提案

などで, 各提案につき本誌 2 ページ分という字数制限のなか, 作品をまとめあげるために大変苦勞されたことと申します。審査部会では以下に示す (a)~(d) を審査基準と考えましたが, そのすべてを満足させることは字数制限も厳しく困難なため, (a), (b) を中心に作品全体のまとまりを考慮して選考しました。

- (a) PC 技術の将来像が示されているか。
- (b) 提案の内容のなかで PC 技術がどのように使われ, その効果を発揮しているかが示されているか。

(c) 内容の斬新さはどの程度か。

(d) 将来の実現性はどの程度か。

以下に入選された 5 つの作品について, そのアウトラインと受賞理由を示します。

2. 受賞理由

(1) PC 桁のアクティブストレーシング

プレストレス力をリアルタイムに調整し, 必要な時に必要な量だけのプレストレス力に変化させることによりスレンダーな部材の実現を目指した提案です。技術革新の著しい計測技術, コンピュータ利用技術などを駆使しようとした, その発想と着目点から入選としました。

(2) 海洋構造物に用いるプレキャスト構造部材

対象を, 完成後は常時水圧の作用する円筒状の海中トンネルなどに限定し, 腐食に強い新素材シートを緊張材に利用する点, 完成後は止水材として新素材シートを利用する点, シースや定着部突起のないシンプルなセグメントが可能となる点など, 材料の組合せと利用法から入選としました。

(3) 機能をゾーニングしたプレキャスト PC 構造免震都市

建築で昨今言われているメガストラクチャー構築のため, PC 技術を利用しようとする提案です。この提案に示された未来都市において, PC 技術がどのようなところで生かされるかを論じた点とそのスケールの大きさを評価し今回入選としました。

(4) 将来の PC 技術者と社会に望むこと (構造設計に携わる技術者としての意見)

他の応募論文とは異なる観点から, PC 構造・技術の将来とそれのあるべき方向性について論じられており, 今回の懸賞論文テーマとは少し異なる内容ですが, PC 技術が造るためだけの技術でないことや, より少ない環境負荷で構造物を将来にわたり維持・管理・補修したり解体するための技術として PC 技術が利用できることなど明確な方向性を示した点が評価でき, 入選としました。

(5) PC 橋梁の未来像について

(1) アクティブストレーシングとほぼ同様の提案であり、(1)の受賞理由から今回入選としました。また、PC 構造の特徴、提案の概要と提案されたシステムの利点や今後の技術的課題が順序だてて示されているため理解し

やすく、全体として良くまとまった作品です。

3. 受賞作品

以下に、5つの受賞作品すべてを掲載します（順不同）。

【受賞作品 1】

PC 桁のアクティブストレーシング

河 村 直 彦

(Naohiko KAWAMURA : (株)ピー・エス 本社土木技術部)

1. はじめに

現在の PC 桁は、建設時に与えるプレストレスのみで完成時、クリープ終了時、活荷重時等すべての荷重時に対して許容値を満足するように設計・施工されている。しかし、桁高を必要以上に抑えたりする等の無理な構造を仮定すると、しばしばオーバーストレス状態となってしまう。

今回提案するアクティブストレーシングとは、PC 桁の応力状態を常時観察し最適なストレスを与えることによって PC 桁の応力状態を一定に保つというものであり、結果として初期導入緊張力の低減や桁高の抑制等を狙ったものである。

2. アクティブストレーシングの概要

2.1 アクティブストレーシングの原理

アクティブストレーシングの原理は次のとおりである。

- 1) 施工時に通常の PC 鋼材（以下 1 次鋼材と称する）とアクティブストレーシング用の PC 鋼材（以下アクティブ鋼材）を配置する。1 次鋼材は通常の方法で緊張を行う。また、アクティブ鋼材についても、必要に応じ初期緊張力を導入しておく。なお、1 次鋼材緊張力+アクティブ鋼材初期緊張力で死荷重に対応させるのが合理的であると思われる。
- 2) 完成後、PC 桁の応力状態やたわみ等を常時観測する。
- 3) 観測データから主桁が最適な応力状態になるようなアクティブ鋼材緊張力を算出する。
- 4) 算出されたアクティブ鋼材緊張力を導入する。

以上の動作を常時かつリアルタイムに行うことにより、主桁の応力変動を抑えるものである。

2.2 アクティブストレーシングのメリット

本方式のメリットとして、次の点があげられる。

- 1) PC 桁の断面寸法を小さくすることができる。なぜなら、活荷重に対してはアクティブ鋼材緊張力の調整で対処するため、初期緊張力は死荷重のみを考慮すればよく、オーバーストレスのおそれがなくなるからである。
- 2) PC 鋼材を合理的に配置するため、トータルの鋼材量が減少する。
- 3) 将来の設計荷重の変更にも容易に対処することができる。

2.3 アクティブストレーシングに適した PC 構造

アクティブストレーシングで効率よく主桁の応力状態を制御するためには、主桁の剛性が低い方が望ましく、また、摩擦損失も少ないほうがよい。この意味からいって、斜張橋やエクストラドーズド橋の斜材の張力をアクティブに制御することがもっとも適していると思われる。もちろん、通常の桁橋においても、断面寸法が小さくなるのでそれなりのメリットがあることは間違いのない。この場合はアクティブ鋼材として外ケーブルを使用するのがよいであろう。

また、活荷重の比率が大きく、その載荷状態も把握しやすい鉄道橋は道路橋よりも有利である。

3. 実用化への取り組み

3.1 実用化に必要な技術

今後アクティブストレーシングを実用化するためには、以下のような点について技術開発を行う必要がある。

- 1) 主桁の状態を精度よく測定するセンシング技術
- 2) 最適なアクティブ鋼材緊張力を瞬時に計算する演算技術
- 3) 計算された緊張力を導入するジャッキング技術

- 4) 疲労に対する検討
- 5) 非常時、故障時等への対応

3.2 センシング技術の開発

現在の測定はひずみゲージをコンクリートや鉄筋の表面に貼り付けたり油圧等を測定することで行っている。しかし、これらの方法は信頼性、寿命に問題が残る。今後は材料自体が自分の状態を直接外部にアウトプットする、いわゆるインテリジェントマテリアル的な材料の開発も必要であろう。

3.3 演算技術の開発

この技術については、ハードウェア、ソフトウェア両方の開発が必要であろう。

ハードウェアについては、今後もおおいに進歩するであろうし、心配する必要はまったくないのかもしれない。むしろソフトウェアの開発が急務である。

多点からの入力を総合的に判断し、そこから多くのアクティブ鋼材の緊張力の最適値を計算するものであるから、従来のマトリクス計算だけでは限界があらう。この分野ではファジィ理論が提案されており、積極的に取り入れていく必要があると考えられる。

3.4 ジャッキング技術の開発

必要な緊張力を瞬時に発生させることは、現在の油圧を用いたシステムでは難しいかもしれない。今後は電磁

アクチュエータを用いたシステムや、かける電圧で応力を制御できるような、現在のものとはまったく異なった緊張材の開発が必要であろう。

3.5 疲労に対する検討

アクティブ緊張材は常に応力が変動しているため、疲労に対してはナイーブになる可能性が高い。そこで、疲労に対しては十分安全率を確保するとともに、容易に交換可能な構造とすることがよいであろう。

3.6 非常時、故障時等への対応

検討すべき非常時として、停電時、センサーの故障時等が考えられる。これらについてはそれぞれの予想頻度と必要な限界状態とで設計することとなるが、アクティブストレッチングが機能しなくなってもコンクリートの引張強度程度の応力度は残るように設計しておくことが望ましいと思われる。

4. おわりに

以上述べてきたように、アクティブストレッチングの実用化にはさまざまなハードルをクリアしなければならない。決して平坦な道ではないが、今後の材料開発、計算制御技術の開発、そしてなにより PC 技術者の熱意があれば実現は可能であろう。

【受賞作品 2】

海洋構造物に用いるプレキャスト構造部材

河 村 敦

(Atsushi KAWAMURA : 清水建設(株) 土木本部技術第 1 部)

1. 概 要

従来、鋼製が当たり前であった超大型船舶、石油掘削用プラットフォームなどの海洋構造物には、常に鋼材腐食の問題がつきまとい、また、その製作、維持管理にも莫大な費用を要するため、安価で耐久性に富む材料を用いた構造が求められている。ここに提案する PC 合成構造部材は、水密性に優れる高強度コンクリート、新素材 PC 緊張材や棒状・シート状の新素材補強材を用いた耐久性に富む部材である。以下でその部材の詳細や利用法について述べる。

2. 部材の概念

コンクリート構造を海洋構造物に適用する場合、以下のような問題点があると考えられるため、コンクリート

構造より鋼製構造が利用されることが多かったと思われる。

- ① 一般に構造規模が大きく、鋼製の場合の溶接に該当するような接合技術がないため、広大な製作ヤードが鋼製に比べ長期間必要となる。
- ② また、上記の溶接技術に相当する接合技術がないため、仮に接合しても要求品質を満足する水密性を確保することが難しい。
- ③ 鋼製の場合、腐食は塗装表面の変状から進行するため発見しやすく、維持管理コストは高いがその方法は確立されている。また、定期的に塗装を行うことにより、信頼性の高い品質を確保できる。
- ④ コンクリート製の場合、変状は鉄筋の腐食がある程度進行してから発見されることが多く、その補修・補強は鋼製以上に手間と時間を要する。

以上より、海洋構造物にコンクリート構造を適用するためには、接合技術と防食技術がポイントとなる。ここで提案する PC 構造は、プレキャスト部材を基本とし、部材の接合にプレストレスを利用し一体化を図るものである。また、防食性を考慮して PC 緊張材に新素材ストランドや新素材シートを利用するものである。その概念を図-1 に示す。

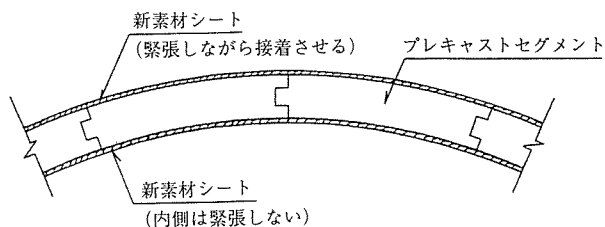


図-1 断面概念図 (その 1)

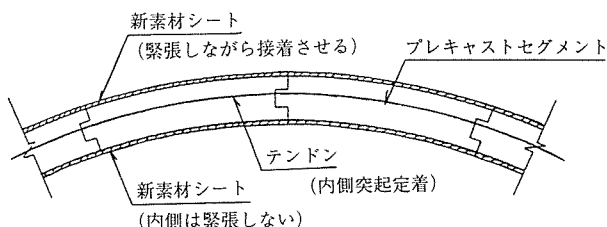
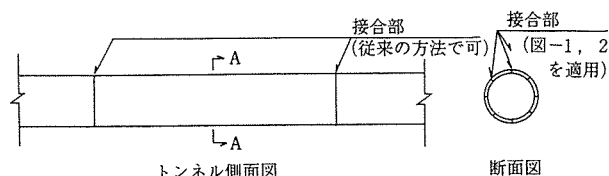


図-2 断面概念図 (その 2)

上記の部材はその要求品質に応じて多様なバリエーションが考えられる。高強度コンクリートはその引張強度改善のため、新素材の短繊維を混合した繊維補強コンクリートとし、靱性を改善することもできる。新素材シートに緊張力を与えながら、上図のように新素材シートをコンクリート表面に接着させ、コンクリートにプレストレスを導入するものである。また、より大きなプレストレス力が必要な場合には、図-2 のように新素材 tendon を配置することも可能である。

3. 適用構造物

海中、海底トンネルなど円形断面を有する構造物の場合、図-3 に示す構造が可能と考えられる。従来の工法より、大断面トンネルを小規模な設備で短期間に施工することが可能と考えられる。



注) 使用する新素材シートは防水性の高いものを使用する。

図-3 海中、海底トンネル概念図

【受賞作品 3】

機能をゾーニングしたプレキャスト PC 構造免震都市

小山内 裕

(Hiroshi OSANAI : オリエンタル建設(株) 技術部)

巨大化した都市は、都市の機能、技術の進歩、経済的な発展、自然環境との共存などを全体として計画したわけではなく、どちらかという個々の変化に任せる状態であったために生じた様々な問題を抱えている。大都市の抱える問題点の代表的なものを列挙すると次のようなものがある。巨大地震が発生した場合の大規模地震災害、大雨時の排水能力不足による水害、交通渋滞、排気ガスによる空気の汚染、面積が狭く通風採光の良くない住環境、少ない緑地、劣悪な景観、永い通勤時間（職住分離）。

これらと引替えに得られたメリットもあるとはいえるが、マイナス面を放置してよいわけではなく早急に解決してもらいたい点が多い。これをプレキャスト (PCa) プレストレストコンクリート (PC) 構造で達成できないものかと考え、解決する一方法を挙げる。

PCa・PC 構造は、工場生産されたコンクリート部材を現場で組み立てるいわゆるプレハブ建築の一種で、鉄筋加工や型枠工事、コンクリート工事の少ない省力化された施工方法である。その特徴は、工場生産であるため、高強度コンクリートの品質が安定しており、部材の精度が高いなどの点がある。また現場の状況に影響されずに部材を製作することができるため、予め製作した大量の部材を短期間のうちに現場に搬入することができる。つまり高性能・高精度の部材を使用して短い工期で大規模建築の建設が可能である。

これらの特性を生かして都市機能を收容する容器であるプレキャスト PC 都市を建設する。まず、都市機能を大きく 4 つのゾーンに区分する。第 1 に都市全体を構造的に支持する Basement Zone、次に都市機能の基幹部分である Infrastructure Zone、そして住民の生活の場

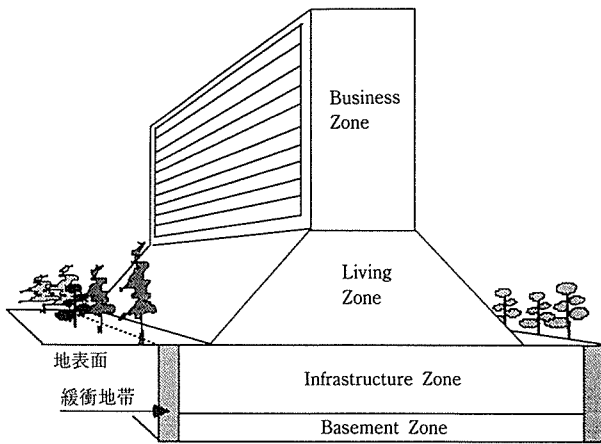


図-1 基本ユニット

である Living Zone, 最後に管理, 業務に従事する人々の職場である Business Zone である。これらの Zone を鉛直方向に下から積み上げると図-1 のようなモデルが構成される。このモデルを 1 辺 100 m の正方形の街区とする。1 街区を 1 ユニットとしたジグソーパズルの様に都市が構成される。次に各ゾーンに前述の問題点を解決する機能を与える。

まず Basement Zone は、都市の基礎として重量を支え、大地震時に都市を保護する機能が必要である。基礎構造は、上部構造を支持するために十分な保支持力を有する杭基礎またはべた基礎とする。べた基礎の場合、底版に PC 鋼材を配置したマットスラブとして基礎の耐水密性を上げる。またこの Zone には免震装置を配置し、上部構造への地震力の入力を遮断する。免震装置により大地震による被害を大幅に抑えることができる。免震層はある程度の高さが要求され、無駄な空間として評判が悪い。しかしながら都市ではこの空間を有効に生かせる。都市では地表面の舗装のために雨水の地下浸透効率が良くない。短時間に多量の雨が降る場合は、排水能力を超えた雨水は地表面にあふれ洪水となる。多量の雨水を一時的に吸収するための空間として免震層を利用すればよい。常に 1 m 程度の貯水量を確保しておけば長期渇水にも耐えうる。人口密度は後述するが、500 人/ha とすればこの水は使用量 60 リットル/日人として 330 日分になる。

Infrastructure Zone は流通、給排水および通信網が配置されたゾーンである。最下段に地下鉄、その上に道路交通網など線状のシステムをめぐらせる。次に電気、通信、ガス、上水、下水を道路交通網に沿って配置する。またそれらのすきまには流通倉庫、駐車場、下水処理場、ごみ処理場などの施設を点在させる。閉鎖された空間を走る道路は景観を楽しむことなどできない。都市の地下では辛抱することも必要だ。閉鎖されているがゆえに排気ガスが地表に出にくい。そこで強力なエアク

リーナを道路に沿って配置し、浄化した空気だけを地表に排出する。空気汚染の大きな原因である車の排気ガスが放出されなければ大気汚染は抑えることが可能であろう。また処理した下水は中水として様々な利用できる。

人間の生活は大地や緑とともにあることが理想である。よって、Living Zone は大地に最も近いゾーンに設け、中層建物とする。都市の中心部であっても、街は人間が住居を構えた生活の場であるべきであろう。住人のいない夜の街は実に不気味である。地表面には樹木を植え、心の安らぐ街づくりを計画する。住宅一戸当たりの面積は 100 m² 以上とし、1 ユニットの中に 100 戸を配置する。この住宅はセットバックとして 40 m² のルーフガーデンが付く。人口密度は 1 家族 5 人とすれば 500 人/ha である。間口 10 m の住宅 10 戸を 5 層 2 列建設すればよい。図-1 の台形部分の外気に接する部分を住居にあて、内部を商店街とする。商店街には動く歩道を縦横に配置して隣接するユニットとの間を行き来する。日々の生活に必要な品物は地下の流通網で配される。この程度の集合住宅であれば建蔽率は 60% 程度ですむ。各ユニットに 40 m 幅の緑地を形成することができる。非常にゆったりとした緑地となるので連続した緑地帯を設け中水を引き込めば、流れや池のある緑地も可能で景観も良好である。

Business Zone には集合住宅の直上の高層ビルをあてる。自宅からエレベーターで上がれば職場である。満員電車で揺られる必要はない。以上で前述の都市の抱えている問題はすべて解決された。が、そんな夢のようなことが実現可能であろうか。

まず、構造面から考える。現在の街並を改造することを前提にすると急速施工が要求されるため、場所打ちコンクリート (RC) 造や鉄骨鉄筋コンクリート造のように、現場作業が多く工期の長い構造は向かない。必然的にプレハブ構法が選択されることになる。鉄骨造と RC 造を比較すると内装の要不要、メンテナンスの容易性、車両走行時の振動特性を考慮すると PCa 造が一步先ん出ると思われる。この構造はスパンを大きくして柱の数を少なくしたほうが有利なので、最終的に選択されるのは PCa・PC 造となろう。免震構造と PC 造は非常に相性がよいといわれている。免震構造が採用されれば、鉛直荷重に対する耐力の高い構法が有利である。この点からも PC 構法が採用されるであろう。地震力を考慮する必要がなければ、架構は 10 m グリッドの PC ラーメンで建設可能であろう。コンクリートは 100 MPa 程度の強度のものを使用できるだろう。16 階建てで各階 4 m とすると 65 m の建物となる。

次に面積の問題がある。本当にゆったりとした空間を確保できるのであるか。仮に 40 m 四方のビル街区の

四周が平均 8 m 幅の道路で囲まれているとする。この地域の全面積に対する道路の面積は約 30% となる。つまり都心部の全面積のうち実に 30% もの土地が道路としてしか利用されていないことになる。この 30% 面積をすべて利用することができる。東京山手線内の面積は約 65 km² である。道路面積は約 20 km² となり、この面積に十分な緑地を確保しながら約 100 万人を収容することが可能である。100 万人は千代田、中央、港、台東、文京、新宿の各区の合計人口に等しい。東京 23 区の全面積は約 600 km² であるが、この半分を PC 構造都市に半分を緑地・公共施設とすれば 1 500 万人が居住

する緑豊かな都市となる。

数値的には可能である。しかし、なにもない空き地に新たに都市を建設するわけではない。現在すでにビルがあり、道路が張りめぐらされ、人が住んでいる。現存都市施設との逐次置換を行いながらの建設となれば、技術的な問題よりも運用面での問題の方が大きい。現状で PC 都市化が実行可能な場所は、地下鉄の通っていない街区および道路（例えば環状 7 号線）であろうか。1 ha ずつ独立に建設可能な構想であるので出来るところから手懸けてゆけば、いずれ東京 23 区は 1 500 万人の居住する緑豊かな PCa・PC 構造免震都市となる。

【受賞作品 4】

将来の PC 技術者と社会に望むもの (構造設計に携わる技術者としての意見)

上之 園 祐 二

(Yuji UENOSONO : (株)日本設計 構造設計部)

「PC 技術者の夢」というテーマから連想される事からを簡単に表現してしまうと、材料の進歩（たとえば鋼材およびコンクリートの超高強度化、耐久性の向上、その他材料特性の選択の幅が増すなど）により、今まで以上のロングスパンが可能となり、かつ、部材断面の縮小化によりフレキシビリティの高い空間が可能となる、といったことに集約されてしまうように感じています。PC 構造に関しての技術的な進歩という意味は、基本的には PC 鋼材を埋め込んで緊張するといった工法は不変であろうから、材料の進歩による PC 構造の適用範囲の拡大と同じものであると考えています。

そうした中で、PC 技術者の夢をどうとらえるかであるが、まず何が夢となりえるかを考えて見ます。一口に PC 技術者の夢といっても研究者、設計者、施工者など専門とする分野が異なれば当然目標が異なることが考えられるので、ここではあくまで構造設計者の立場ということで意見を述べることにします。

まずは、一般的な話として、20 年前の状況と最近の状況ですが、確かに技術的に進歩した部分はたくさんあったのだと思います。多くの研究者の努力によって構造解析技術が進歩し、電子計算機の普及により複雑な構造も容易に解決できるようになり、構造物の規模の拡大、PC 構造の適用範囲の拡大、デザインなどはこの 20 年で大きく進歩したと思われます。ある意味では、技術的な解決法を見いだすことがすなわち技術者の夢であり、夢に成り得た時代であったと考えています。PC 技

術者に置き換えると、スパンはより大きく、長く、部材はより小さく、軽くということが目標であり夢になっていたと考えています。

しかし、アイデアという点では、この 20 年の進歩はさらにさかのぼった 20 年の進歩に比べるとその度合はかなり緩やかになっているものと個人的には考えています。残念ながら経歴の浅い筆者は、過去の進歩の過程の当事者ではないし、技術の進歩を夢に反映させた経験がないので正確に状況を把握しているとは言い難いですが、根本のアイデア、技術については大きな進歩（今あるものの大半のオリジナルは 20 年前にすでに存在していたという意味で）はなかったのではないかと考えています。確かに技術の進歩は 100 m までしかできなかった吊橋を 200 m まで可能にするが、吊橋を架けるという夢、アイデアは 100 m も 200 m も根本的には変わらないものと考えています。

これから技術者に要求されるものを考えると、いままでのような新しい技術やアイデアそのものに大きなウエイトは置かれなくなると個人的には考えています。言い方を換えると、今までのように造ることを対象とした、新しい技術の開発、応用ではなく、むしろ壊すための技術（再利用の技術、捨て方を考えること）、維持するための技術が要求されてくるのではないかと考えています。いままでは、造り続けることが技術の進歩を支えてきたし、技術者は造ることの中に夢を見いだしてきたと思いますが、これからはその逆で、壊すこと（再利

用),維持することの中に夢を見いだしていかなければならないことが多くなるのではと考えています。

自然環境を破壊し、構造物を造り続けることで発展してきた近代社会。その中で果たしてきた技術者の役割を考えると、それら構造物の処理は当然技術者の役割といえます。技術者の夢になりえるかどうかは別にして、実際建築設計の分野では既存建物の耐震診断、耐震補強のための業務(構造物の維持のための業務)が増加しています。また、いままで蓄積してきた社会公共財産(道路、橋などの土木構造物等)についても、いずれ耐用年が過ぎた時の技術者の対応が重要なことは言うまでもありません。ただ、いささか心配なのは、著者も含めて、いままで夢としてとらえていた造ることの機会(新しい構造物を設計することの機会)が減ることによる創作意欲の減退が危惧されることです。

PC 構造に話を戻すと、PC 建築の低迷が言われて久しいですが、新しい技術が見いだせないまま技術者の関心を失い、実用技術としては特殊なものにとらえられているのが現状のようです。また、実際の PC 構造の適用範囲についても新しい分野の開拓が遅れ、プレキャスト工法にいくらか進むべき方向性が見えている程度です。

現状での著者の意見、将来の PC 構造についての私見を幾つか以下に述べようと思います。

PC の建築分野での普及と新たな用途の開拓を目指して、現在、産官民で共同研究が行われていると聞いています。接合部の設計法の提案、高層建築物の設計のガイドラインが示されると聞いています。建築設計者、技術者の関心を再び呼び戻す契機になればと期待しています。今までどおり、新しいものを造ることの夢をなくさない意味でも、内容のあるものになってほしいと思います。また、新たな選択肢として PC 構造による高層建築物が現実のものとなり、より信頼性の高い設計法の提案と、わかりやすい設計プロセスによって、PC 構造の設計がより身近になるようなものであることを望んでいます。

次に、著者が将来実現してほしい社会システム、というか技術者の意識について述べます。現実の問題として、既存建物の補修、補強、維持に関して構造技術者の必要性は高まってきていると思います。今後かなりの割合でこうした業務に時間がさかれることになることが予想されます。こうした予想をふまえると、今まで造ることだけを考えた設計から、壊すこと、または、再利用を念頭にいった設計をすることは当然の結果として出てくるものと考えられます。この点に注目すると、いわゆるプレキャスト工法はかなりの優位性を持って迎えらるものと個人的には考えています。今までの技術的な蓄積も貴重な財産になるであろうし、実際のハード面での優位性もあるので、技術的な面の整理は比較的容易に処理できるものと思われます。ここで問題になると思われるのは、ソフト面の問題、すなわち技術者の意識の問題だと思います。現状でもなじみのない PC 構造に加えて、設計者の意識の中で、言ってみればレベルの低い作業として思われていることを、興味あるもの、有意義なものとして認識させるためには、社会的な後押しと言うか、よほどの動機付けが無い限り、現状では広く受け入れられないのではないかという問題です。構造物の再利用、維持、また社会的な財産として既存建物をストックするシステムの構築といった今までにない技術に対して、ものを造る技術と同等以上の価値を技術者が持つこと(意識の改革)と、社会的にも高い評価を与えるシステムが出来れば自ずと PC 構造の普及に繋がっていくものと考えています。

今までの技術の延長線上にある夢という募集要項でしたが、技術を延長することだけにとらわれず視点を変えて、構造物の再利用、維持に対する技術の新しい展開に期待するというのも PC 構造の発展の一つの方向ではないかというのが著者の意見であり、そのために、物づくりに対する技術者の意識の改革と、社会的に認知される素地づくりを PC 構造の発展に必要な不可欠なものと考え、望むものであります。

【受賞作品 5】

PC 橋梁の未来像について

赤 坂 保 彦

(Yasuhiko AKASAKA : (株)日本構造橋梁研究所)

1. はじめに

「PC」という構造は、コンクリートという構造材料を

有効に使用するには非常に理想的な組合せである。今から 45 年も前に単純桁橋から始まった PC 橋梁も、材料の進歩、より複雑な構造系に対応した設計法の確立、コ

コンピュータの飛躍的な進歩に伴い、構造形式の多様化、長大支間および多径間化に適応し、工費の安さも手伝って現在では橋梁形式の主流をなしている。

前述からして、「PC 橋梁」の未来は明るいように思えるが、近年 PC プレキャスト床版を用いて登場した鋼合理化桁は「PC 橋梁は安い」という施主のイメージを崩すほどの工費の安さと、施工の容易さから、従来であれば PC 橋が採用されていたはずの場面での採用実績を増やし、PC 橋梁のシェアを確実に奪いつつある。PC 橋梁の設計に携わる者としては危機感を覚えずにいられない。

きたるべき 21 世紀に向けて、PC 橋梁が今まで以上に普及してゆくためには、PC 橋梁の短所を踏まえたくて他形式の橋梁に対しての長所をアピールしてゆく必要があると思われる。

2. 将来の PC 橋梁の提案

考えられる PC 橋梁の長所と短所を比較すると以下のようなようになる。

長 所	短 所
<ul style="list-style-type: none"> ・維持補修の手間がかからない。 ・施工方法の自由度が高い。 ・拡幅、分岐、斜角等への対応が容易である。 ・部材形状の自由度が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・施工の手間が多く、急速施工に向かない。 ・設計、施工段階でクリープの影響を無視することができず煩雑である。 ・自重が大きい。

上記のような短所の解消を目指して以下のような技術開発がなされている。

- ・プレキャスト化 → 急速施工、省力化施工、商品質化
 - ・外ケーブルプレストレスングの採用 → 自重低減
 - ・アンボンド、アフターボンドテンドン
(亜鉛メッキ鋼材、樹脂被覆鋼材、炭素繊維系テンドン) の採用 → 省力化施工
 - ・部材の PRC 化 → 自重低減、工費削減
 - ・鋼部材との複合化 → 自重低減
 - ・高流動化コンクリートの使用 → 省力化施工
- 上記の技術開発はいわば発展途上の技術であり、現在

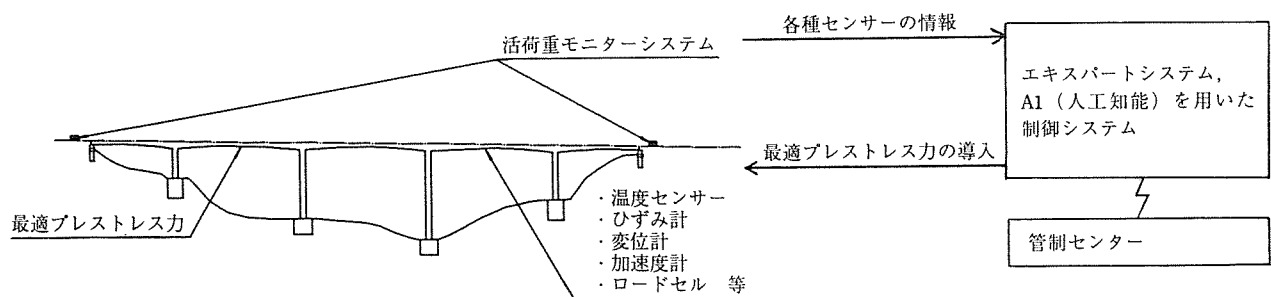
では特殊な条件がある場合や、スタディケースとしか施工実績がないが、21 世紀の PC 橋梁はこれらの技術を複数組み合わせたものが主流になると考えられる。しかしながら、これらの技術開発は PC 橋梁の短所を補うもので、PC 橋梁の長所を積極的に活用するものでない。

ところで、PC 橋梁の長所といえば何であろう。PC 橋梁の最大にして唯一の特徴は導入するプレストレス力を自由に設定できる点である。特に、ボンドされないテンドンでは構造系完成後においてもプレストレス力を連続的に調整することが可能である。

一方、PC 橋梁に限らず現在の橋梁は、想定される荷重を最悪の状況を考え合わせることで設計荷重が決定されている。よって、実際の使用状態では余裕を持った構造になっている。特に設計荷重作用時において導入されるプレストレス量が決定される現在の PC 橋梁では、その余裕がクリープ変形を増加させる一因となっている。そこで、もし部材のひずみを常時モニターし、その状況に最適のプレストレス力を決定して調整することが可能な PC 橋梁が建設できれば、部材を弾性限界まで最大限に活用でき、さらに上げ越し管理の簡略化等様々なメリットがあると考えられる。また、部材のモニタリングから、最適プレストレス力の導入までをコンピュータで管理する「インテリジェントな橋梁」とすることでプレストレス力の管理の精度が飛躍的に向上する。これが、PC 構造の長所を最大限に生かした将来の PC 橋梁の 1 つの姿として提案したい。

■本システムの概要

- ・テendonはプレストレス力の調整が可能なアンボンド外ケーブルとし、腐食のない炭素繊維系のテendonを使用する。また、テendon本数は終局荷重時、ならびに設計荷重時に必要となる分を配置する。
- ・テendon定着にはジャッキ内蔵のプレストレス力調整可能なものを開発して使用する。
- ・テendonには、実際の使用時に近い荷重 ($D+L/2$ 程度) を想定してプレストレス力を与えておき、活荷重モニターシステムの情報からこの荷重を超える活荷重が作用すると予想される場合には、制御シス



「インテリジェント PC 橋梁」の概念

テムにより最適のプレストレス力増加量を決定し、定着具に内蔵したジャッキを再緊張する。

- 種々のセンサーからの情報を統括的に処理するため、エキスパートシステム、人工知能等を用いた、プレストレス力の調整を臨機応変に決定できるようなシステムを構築する。
- 大規模地震等の不測の事態に備えて通信回線などで管制センターと接続する。

■本システムの利点

- クリープ変形を必要最小限に抑えられる。また、構造系完成後にプレストレス力の再調整が可能であり、複雑な上げ越し管理が不要になる。
- テンドンのひずみを常時モニターしているのでテンドンの性能を限界まで引き出すことができる。これは、特に炭素繊維系などのテンドンを用いた場合には、常にテンドンを弾性変形内で制御できるので有効である。
- 予備の外ケーブル用のダクトを用意しておくことで、設計活荷重の改訂等に伴う補強が容易にできる。
- 大規模地震後や、定期的な部材の健全度を各種のセンサーの情報をもとに管制センターにしながら判定

可能である。

- 制御プログラムのバージョンアップでさらに多様な機能が付加できる。

3. おわりに

将来の橋梁というと、「長大な支間を驚くほどスレンダーな部材で渡る、優美な景観を持つ橋梁」とイメージが一般的である。つまり、現在活用できる技術を余すことなく実践した橋梁という点で将来の橋梁の最右翼であると言える。また、前述のようにコンピュータ制御で部材のひずみをモニターし、導入するプレストレス力にフィードバックして部材の性能を限界まで引き出す、いわばインテリジェントな橋梁もその資格があると筆者は考えている。現在の技術では、制御システムの構築、信頼性の確保、その他多くの技術開発が必要であるなど、解決すべき課題はあるが、近い将来このような橋梁が登場することを期待している。現在の PC 橋梁からすれば、ずいぶん奇抜な発想ではあるが、数十年前の PC 技術者も、今日のようにかくも多様な形式の PC 橋梁が建設されようとは予想だにしえなかったように、未来の PC 橋梁にはまだまだたくさんの可能性が残されているに違いない。