

PC 構造の展開

——幕張メッセの場合——

渡 辺 邦 夫*

1. PC 構造でなければ…… という計画をしたい。

PC 構造について考えるとき、僕はいつもプレキャストコンクリートとプレストレストコンクリートとの技術を組み合わせた構造法をイメージしてしまう。周知のようにプレキャストコンクリートは RC とは全く異なる高品質、高強度のコンクリート部材を鑄造する技術であり、一方、プレストレストコンクリートはそういったコンクリートに人為的にストレスを予め導入することによってコンクリート部材を圧縮場におきコンクリート特有の欠陥を未然に防止する技術である。だからプレキャストとプレストレストは同時に利用するときその威力を発揮するのであり、その総体の技術を僕は PC と呼ぶことにしている。

現在の建設現場における労働力不足——特に型枠工や鉄筋工の老齢化と圧倒的不足——が現象としてはコンクリート構造のキャスト化を推進しているように見えるが、僕はそういった思考法については不満である。本来、RC と PC とは違った構造素材であるという認識が重要で、労務不足だからといって RC の PC 化は誤りである。これは単に困ったときの神頼みに過ぎず構造物の本質的計画論とは違う次元の話であり、また単純な RC の PC 化は PC のもつ良さを十分に引き出せず、かえって悪い結果をもたらす原因となる。

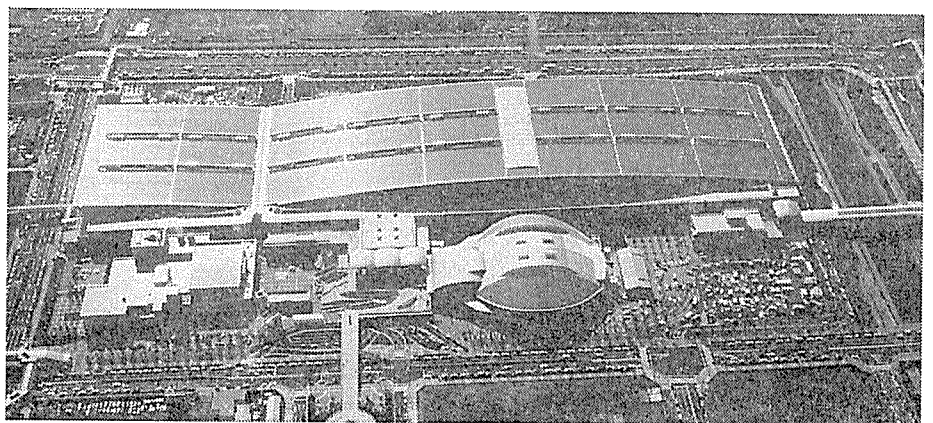
PC の問題を論議するとき必ずでてくるのが量産化の問題である。これも僕にとっては迷惑な話で、量産化は経済性だけを追求しているとそこに到達するのかも知れないが、僕はいつも PC のもつ美しい構造空間、それに建築全体にとっての合理性が欲しいときのみ PC を考えるのであって、単純な経済性だけを追求するわけではないから大

量生産を良しとする考え方にはいつも矛盾してしまう。PC にとって様々な思考条件の一つに大量生産の概念が必要なのだが、だからといってそれが PC の特性であるとは言えないのである。大量生産の問題は PC に限らず RC 造、鉄骨造でも木造でもすべての構造素材について考えなければならない生産上の問題であって、PC だから生ずる問題というわけではないのである。

プレキャストとプレストレストの技術を組み合わせた PC 以外に、プレストレストの技術だけを考えてもその応用範囲は広い。通常利用されているコンクリート構造での大きな応力や変形に対応するもの、予め応力を与えておくことによってその構造物がより安定する場合、プレキャスト部材どうしの接合のため等がある。この摩擦接合を利用して僕は鉄骨のアンカーボルトに PC 鋼棒を用いて締め付け、アンカー周辺のコンクリートに生ずるトラブルを避けるのに利用することもある。

2. 幕張メッセの場合の PC の位置付け

幕張メッセの施設では、鉄骨と PC と RC との3つの素材を独立して使っている。その点では特殊なことはない。ただこの施設が巨大なスケールを持ちながら、かつ不特定多数の入場者を対象とするキメの細かい計画を要求されていたことが、この施設特有の構造計画を産みだす原動力であったとも言える。幕張メッセの全施設に共通する構造上の考え方は極めてシンプルなものである。すなわち基本的な3つの構成要素——土間、屋根、



写真一 幕張メッセ全景

* Kunio WATANABE
構造設計集団 <SDG> 代表

国際展示場

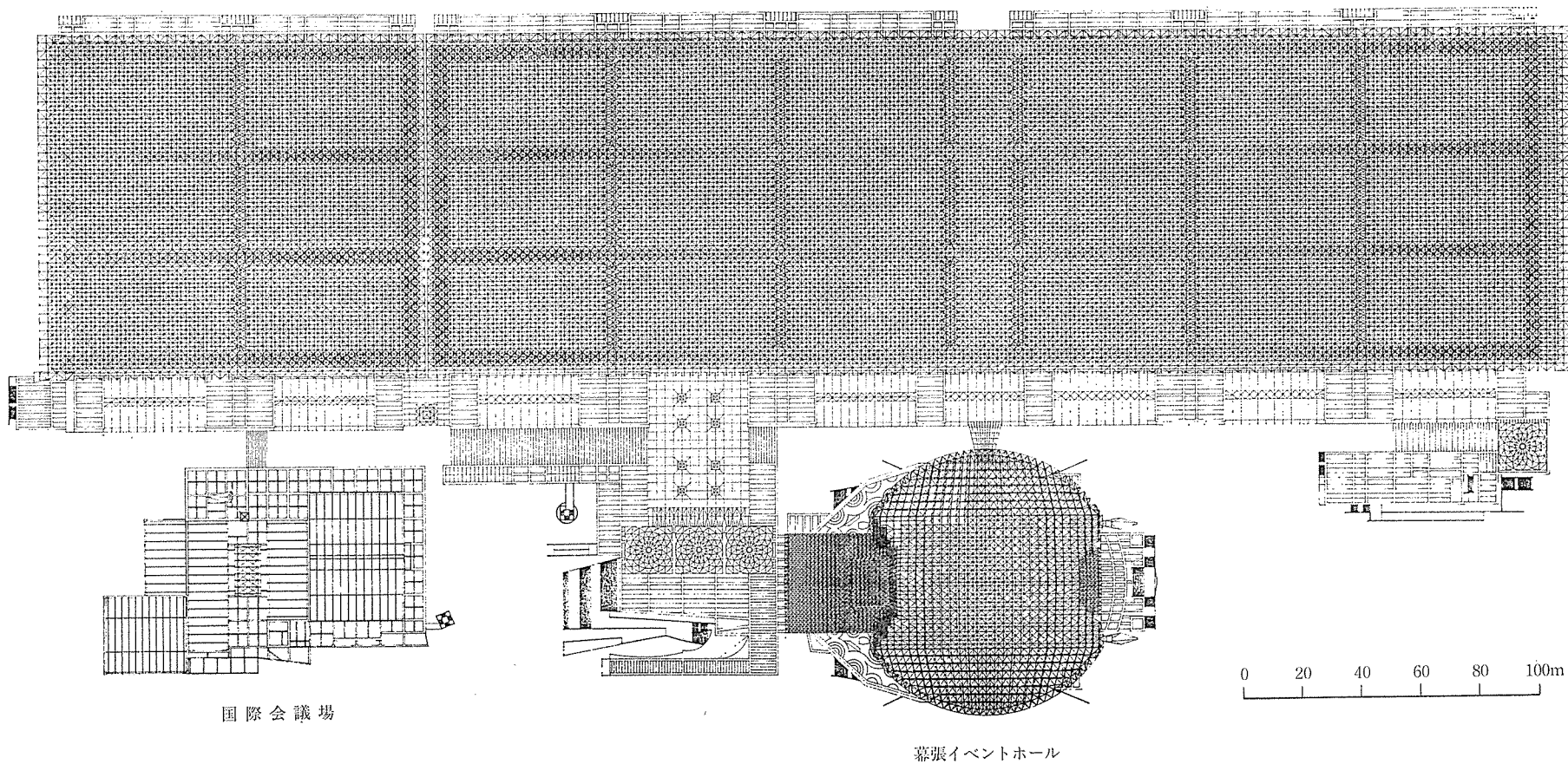


図-1 全体屋根伏図

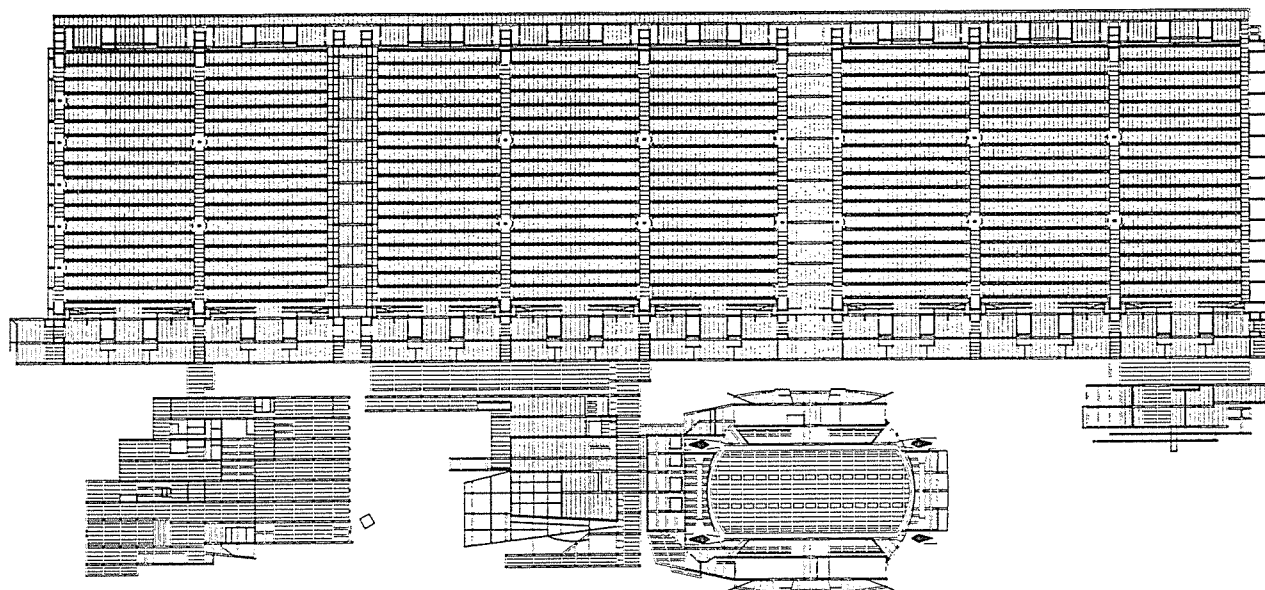


図-2 1階土間面の伏図 (PC 部材配置図)

その間をつなぐ柱——に分解して、各々に統合的な技術を投入することであった。その3つの構成要素についての考え方は、

- 1) 軟弱な埋立て地盤に設置される広大な土間面 (図-2) および複雑な床の構成は、PC の手法を積極的に取り入れる。ここでの PC はプレテンションまたはポストテンションを導入したもので、スパンの拡大、品質の均一性、大きな載荷耐力、生産性、施工性、機能的合理性を重視した。
- 2) さまざまな形態、機能、力学的特質をもつ屋根を鉄骨造 (図-1) とし、スペース・ストラクチャー (立体的構成) を基本とし、そこに織りなす鉄のデザインを多様性をもたせながらダイナミックに展開する。
- 3) 屋根を支える柱の性格を、その各々の位置や支えるものの種類、力学的特性に応じて分析し、さらにその存在を明確なものにするために個々に意識的にデザインする。したがって柱の形状、寸法、材料、材質、工法は PC 以外にも多様なものが出現すると集約できる。

このような施設全般についての構造デザインの基本方針の中で、PC は様々に展開されてゆくこととなった。その展開を典型的に整理すると、

- (1) PC の利用
 - ① PC 床……土間床、一般階床、長大スパン床
 - ② PC 段床……段床、ハネ出し床、変形床
 - ③ PC 地中梁…U字溝、ノンストレスの地中梁
 - ④ PC 梁……梁丈をつめる。三角梁
 - ⑤ PC 柱……丸柱、工程との関連
- (2) 変形防止のための PS

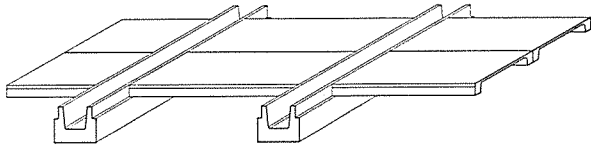
- ① 片持梁にストレスを導入して変形を制御する。
- ② タイブームにストレスを導入して変形を拘束する。
- (3) 鉄骨のアンカーのための PS
 - ① 展示場大屋根の RC 構造との接合
 - ② イベントホール大屋根の4本柱への固定に大別できる。

3. 多様な床構造に使われた PC

全棟にわたって広大な土間は PC 部材を敷きならべ (写真-2)、その上に 10 cm の現場打ちコンクリートを打設し直仕上げとしたものである。この床は 5 t/m^2 の展示用積載荷重 (準備のためのコンテナトラックが場内を走り廻ることも含めて) に耐えるプレテンションが導入されている。この土間の PC 板を支持しているのが大型の U 字溝である (図-3、写真-3)。U 字溝は 6 m ピッチで並んでおり、展示用給排水、電気配線を自由に敷設することができる。また地中梁としての役目をもつた



写真-2 土間面の PC 床版のセット



図—3 PC U字溝と PC 床版の断面

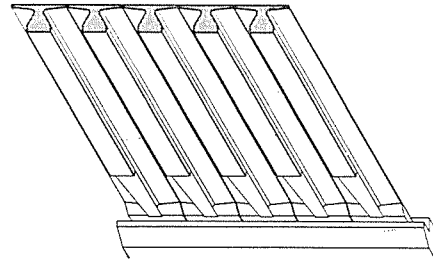


写真—3 地中梁U字溝と土間用 PC 床版

め、このU字溝の下には杭が 12 m ピッチで打設してある。U字溝自体も PC でつくられており、内面を型枠面として製作し、内側底辺にはすでに水勾配も付けられている。

展示場の南北に配置された付属棟は、基本的には柱、梁、壁は RC で、床版を PC とした。一般床の PC 部材はこの施設特有のものを設計した。部材の基本形状は□形で、スラブにリブを付けたものであるが、スパンに対応してこのリブ丈を変化させる。□形の幅は 2 m で統一し、この外に□形の部材を用意して、平面上の割付けをはね出しスラブの幅で調整する。この 2 つの調整機能で、この PC 部材はさまざまな問題に対応することができる。

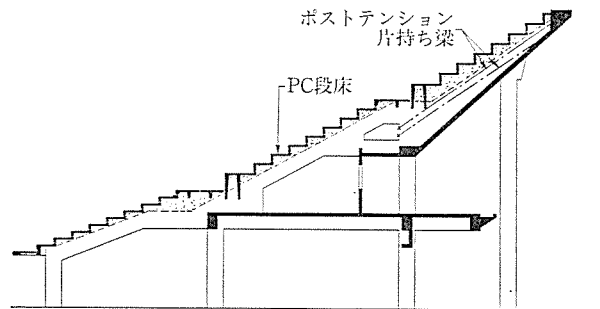
北側 1 階のプロムナードは車輛用通路で、その上部の床は PSS と称していた特殊な PC 床版がスパン 15 m に架け渡されている (図—4、写真—4)。これは梁丈を小さくするために幅 1 m で、リブ丈 50 cm のやはりプレテンション部材である。車輛の高さと梁丈で 1 階の階高が決まるという単純な計算でも分かるように、ここでは梁丈が最小となる構造方式が検討された。最小階高の追求は、付属施設全体のコスト上の問題として不可欠であった。この PSS 部材は施設の各所で利用している。例えば展示場への搬入路、レストランの屋根、展示場からイベントホール・会議場へ 2 階レベルで渡るためのブリッジ……などがあるが、いずれも完全に同一のものではない。機能に応じて変化させ、展示場への搬入路では PSS にシャッターボックスを内蔵できるようにしたり、ブリッジは平面上扇形のものにするために部材幅を変化させたり……その都度最も好ましい PSS をつくりだし



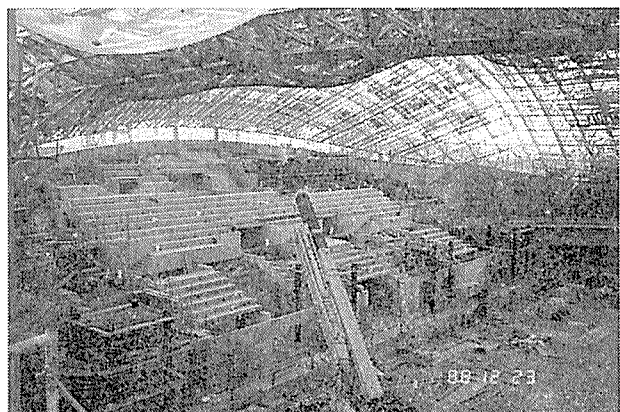
図—4 PSS の断面形状



写真—4 15 m スパンの PC 床版



図—5 イベントホールの PC 段床



写真—5 イベントホールの段床のセット

ている。

イベントホールの観客席を形成する段床は複雑な形態が要求されるので、すべて PC 部材とした。ここでは段床を支持する構造は RC 造としてできる限り単純な形態と

し、複雑な床の構成は PC 造にして工場生産と現場生産との従来とは逆転した関係を模索していたのである。段床は客席の勾配に合わせて 3 つの異なる部材断面になる。段床以外にも階段、VIP 席、通路、段床先端のはね出しなど、複雑な形状の PC 板が製作された（図—5、写真—5）。ここでの PC 板にもプレストレスが導入され、部材断面を小さく、載荷耐力を大きく、かつ軽量化することが求められた。先端のはね出し PC 板はポストテンションによって裏側のコンクリート梁に固定している。

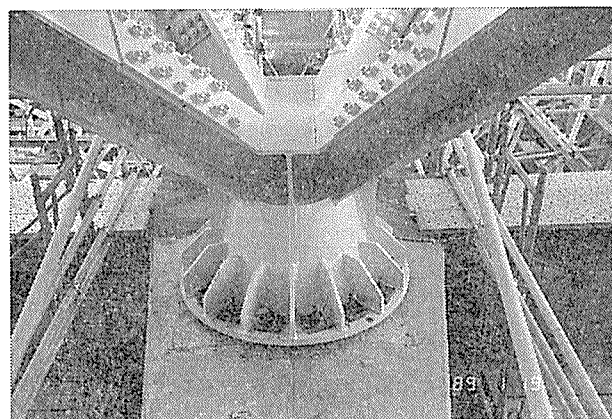
4. 変形を拘束する、 または制御するための PC

イベントホールの PC 段床を支える梁は RC 造であるが、柱から大きくはね出しているため、ポストテンションを導入して変形と耐力とをコントロールしている。このポストテンションは、はね出し先端を埋込み型定着端とし、建物の内側を緊張端としているので（そのために梁に窓が付いている）、外側から見てもそれと分からない。

イベントホールの大屋根を支える 4 本の支柱の下には垂直に支持杭が打ち込んであるが、4 本の支柱を地下で連結するタイビームには大きなスラストが働く（図—6）。タイビームを引き裂く力なので、あらかじめその量に匹敵するプレストレスを導入した。長手方向では 1 箇所当たり約 750 t を導入した。鉄骨のシリンダーシェェルとそれを支える巨大な支柱、支柱間の開きを人為的にあらかじめ拘束するタイビーム、これら 3 つの構造エレメントはその各々の存在と役割とを徹底して解き明かす必要がある。その中で PC の存在も明確になってくるものである。

5. 鉄骨の PC アンカー

展示場の大屋根は鉄骨のスペースフレームであるが、大屋根から支点へ向かって伸びる構造は絞られてはいるが、最後のアンカーの部分では強固に止められている。大屋根鉄骨と橋台をなす RC とはアンカーボルトではな

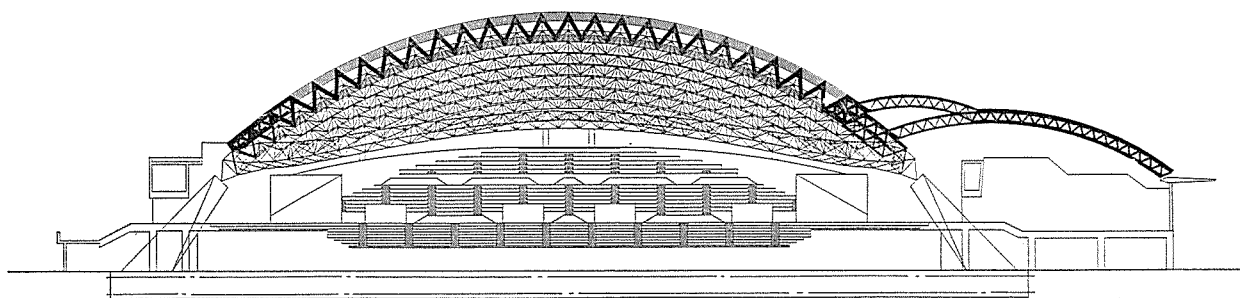


写真—6 展示場鉄骨大屋根の PC アンカー

く、PC 鋼棒で緊張力を導入して止めている（図—7、写真—6）。1 箇所当たり約 650 t のプレストレス力が与えられ、ベースプレートとコンクリート面とが摩擦接合されている。大きな応力を伝達する場合、通常のアンカーボルトで発生しやすいトラブル（コンクリートのひび割れ、剝離、ボルトの精度上のひずみ）を防止するためである。

展示場ロビーのスペースフレームを支える柱も PC である。独立柱を現場で垂直に打設するのは結構厄介であるし、鉄骨柱でもよいが耐火被覆も面倒だ。この柱は下階の RC 柱にアンカーした PC 鋼棒をポストテンション工法で柱頭から緊張して固定するのだが、屋根トラスをこの柱に固定するためには PC のアンカープレートと鉄骨のベースプレートとが 2 重になりややこしくなる。そこでアンカープレートとベースプレートとを同一材にして緊張力を上から導入し PC 鋼棒とアンカーボルトを兼用するディテールとした。この場合は、伝達応力が大きいから PC アンカーにするのとは意味が違い、ディテール上の問題解決に PC を役立てた例である。

イベントホールの大屋根の立体トラスも、その支柱との接合位置では直径 1.1 m のベースプレートに絞られている。支柱に埋め込まれた PC 鋼棒を緊張してベースプレートとコンクリートとは摩擦接合される（写真—7）。ベースプレートに取り付くりブプレートの間隔はオイルジャッキの寸法が決定要因の一つとなる。支柱は十分な



図—6 イベントホールの PC タイビーム

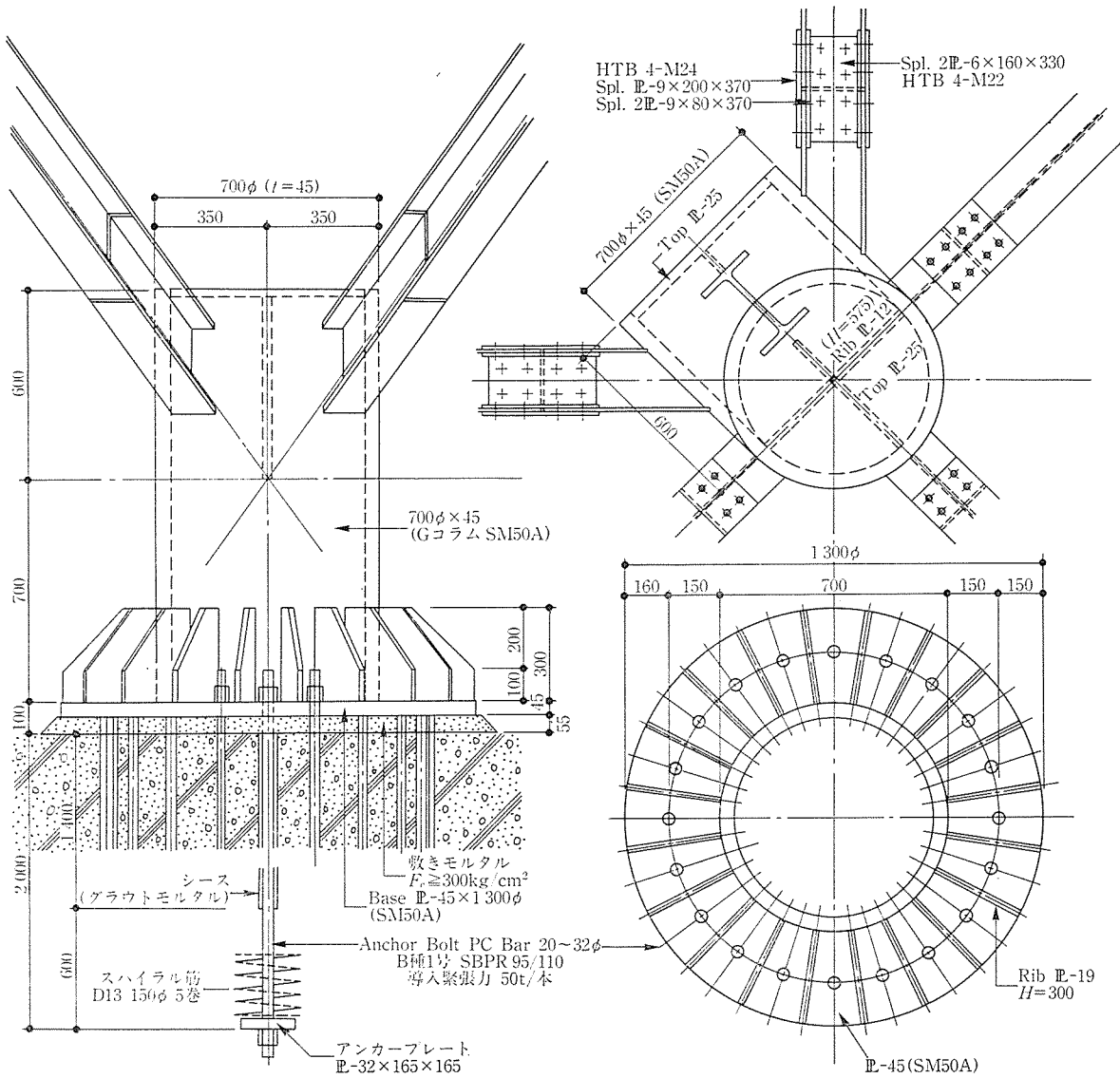


図-7 展示場大屋根の脚部 PC アンカー

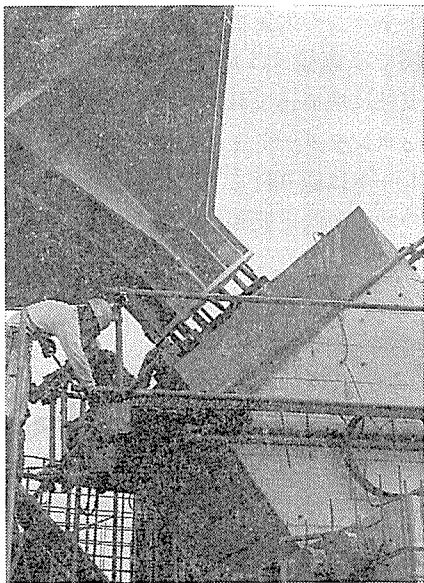


写真-7 イベントホール大屋根の PC アンカー

剛性を得るために、断面を大きくして RC であることが望ましい。断面に相応して鉄筋量も多くなり、その鉄筋を組み立てるために山形鋼の仮設構台を必要としたが、これを利用して PC 鋼棒を精度よくセットすることができた。

6. PC 構造への愛着

僕は PC 構造を好んで採用する。一般につくられている建築構造がかかえている問題の大部分を解決してくれる構造法だからだ。規模の大小を問わず度々 PC を採用する。ここで紹介した幕張メッセは規模において特別なものではあるが、規模が大きいから PC を採用したわけではない。現在の構造物の一般解としても有力だと思う。

様々な建築物の構造計画を立案するときに、PC 案は必ず顔を出す。構造計画的にも魅力ある素材だし、生産

性から考えても現代的だ。力学的合理性を設計者自身の手でコントロールしたうえで獲得できる、建設コスト的にも建築総体の視野の中では全く問題ない等々……と挙げればいくらでもこの構造の魅力を言うことができるのだが、意外とこの構造法で実現できる施設は少ない。そ

の原因となる最大の問題は、皮肉なことに PC 業界のいろいろな意味での弱体さにある。しかしそれも近い将来 PC 業界自体が解決してくれるであろうから、今後の PC 構造発展を楽しみにしている。

◀刊行物案内▶

第 28 回 研究発表会講演概要

体 裁：B 5 判 130 頁

頒布価格：3 000 円（送料 350 円）

内 容：(1) プレストレッシングストランドの 3% NaCl 環境における腐食疲労強度，(2) アフターボンド工法用 PC 鋼材について，(3) U型断面をした PC 小梁の載荷実験，(4) 高強度鉄筋を用いてプレストレスを導入した PRC はりの持続荷重下における曲げ性状，(5) 高強度鉄筋を用いてプレストレスを導入した型枠兼用プレキャスト板に関する実験的研究，(6) JIS PC 波形矢板の載荷試験，(7) 架設工法を考慮した PC 斜張橋の斜材張力及び主桁プレストレスの最適化，(8) PC 斜張橋の精度管理における斜材張力調整法に関する研究，(9) 目地を有する PC 部材のねじり強度，(10) 箱抜き部を有するプレキャスト PC 版の載荷試験，(11) PC—鋼合成構造の鋼桁の座屈による崩壊，(12) バージ用 PC スラブの集中面外荷重に対する強度，(13) 横方向 PC ケーブルと鋼板接着で補強された PC 橋の実橋載荷試験，(14) 実桁定着部のプレストレス導入時のひずみについて，(15) 15 年間交通供用された PC 橋の撤去工事に伴う施工法の検討および材料強度試験—広島市・工兵橋—，(16) プレストレス導入における摩擦係数の再検討，(17) 呼子大橋 (PC 斜張橋) の風洞実験，(18) PC 斜版橋の設計について，(19) PC 斜版橋の構造解析モデルの検討，(20) 急曲線形 PC 下路桁の三次元解析，(21) 新素材による PC 橋—新宮橋の建設，(22) プレキャスト PC 床版を用いた鋼合成桁橋の設計と施工—大根田橋の床版打替え工事—，(23) 水面下にある中路式 PC 桁の設計と施工—水辺の散歩道 (新高橋連絡通路) 新設工事—，(24) 池間大橋の設計と施工 (プレキャストブロック工法長大橋)，(25) 「合成アーチ巻き立て工法」による旭橋の設計と施工，(26) 布施田浦橋 (仮称) の設計と施工，(27) PC 吊床版橋の設計と施工，(28) 人工軽量骨材コンクリートを用いた PC 連続桁について—日豊本線・汐見川橋梁—，(29) 筒石川橋の施工，(30) ロアリング工法によるコンクリートアーチ橋の施工—内の倉橋—，(31) クレーン船の衝突によって損傷した PC 橋 (青海大橋) の復旧工事，(32) シンガポール MRT 202 工区上部工の施工，(33) PC 大型矢板の砂礫層での施工