

## 長野市オリンピック記念アリーナの設計と施工

播 繁<sup>\*1</sup>・吉田 新<sup>\*2</sup>・土橋 正昭<sup>\*3</sup>・富田 武士<sup>\*4</sup>

### 1. はじめに

1991年6月15日のIOC総会において、1998年の第18回冬季オリンピック競技大会は、長野市で開催されることとなった。この建物はスピードスケート会場で、天候に左右されない屋内施設としてはカルガリー、リレハンメルに次ぐものである。

設計の基本的なコンセプトは、長野らしさからイメージされる山々の峰、木々の香りなどの自然の豊かさと、21世紀に向けた新しい国際都市としての活力を、いかにして施設造りのなかに盛り込むかであった。その結果として、形態的には従来のドーム的イメージから脱却した、連峰を思わせる屋根の連なりと世界への掛橋を連想させる、連続したワンウェイのシンボリックな形状の吊屋根が生まれた(写真-1)。空間的には日本人の感性に語りかける、香り、やさしさ、ぬくもりを持ち、また長野市のシンボリックな建物にふさわしい素材として、信州カラマツの構造用大断面集成材を大胆かつふんだんに採用している。これをハイピッチに並べることにより、スピード感を与えるダイナミックな吊天井の連なりと、連子格子を思わせる内壁面により構成された内部空間を形成している(図-1)。

本報告では、建物全体の計画概要とプレストレスを導入したRC下部構造の設計および施工について紹介する。

### 2. 建築計画

#### 2.1 建築計画の特徴

アルプス連峰を思わせる屋根の連なりは、いわゆるドーム形状からの脱却を図ったものであるが、同時に分節した木造吊屋根=天井という世界的に例のない建築空間を、長手方向へのリニアな空間伸縮可変システムに統合するのがこの施設の最大の狙いである。対面する直



写真-1 建物全景

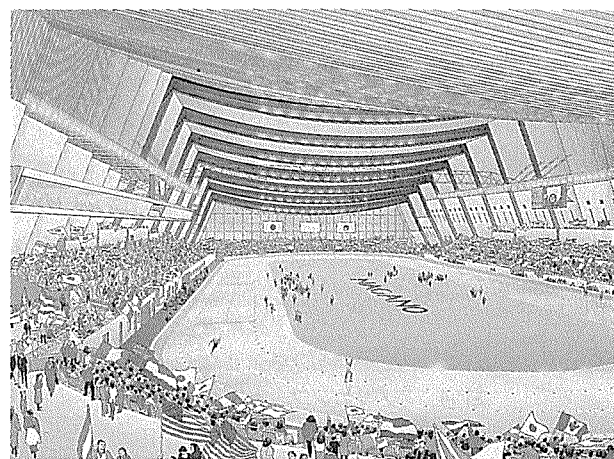


図-1 内観パース

線的な固定スタンドは大会後にアメリカンフットボールなどの大型スポーツや大規模イベントに対応、一方、前後進する一對の円弧可動スタンドはアリーナを小さく囲いこむ「可動壁」の役割をもち、バレーボールなどの小型スポーツやコンサートなどの小規模イベントに対応する(図-2~4)。

\*1 Shigeru BAN : 鹿島建設(株) 設計・エンジニアリング総事業本部構造設計部 部長

\*2 Arata YOSHIDA : 鹿島建設(株) 設計・エンジニアリング総事業本部構造設計部 技術長

\*3 Masaaki DOBASHI : 長野オリンピック冬季競技大会スピードスケート会場建設工事JV事務所 所長

\*4 Takeshi TOMITA : 長野オリンピック冬季競技大会スピードスケート会場建設工事JV事務所 副所長

◇工事報告◇

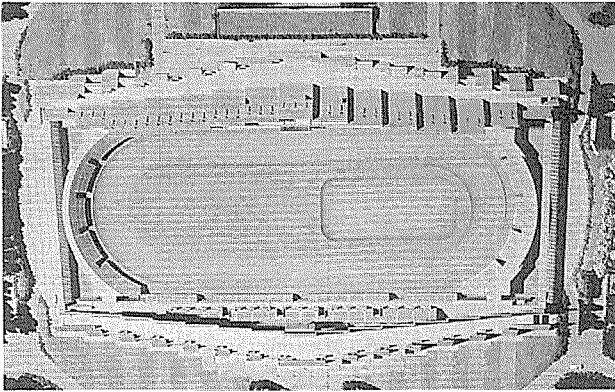


図-2 スピードスケート利用

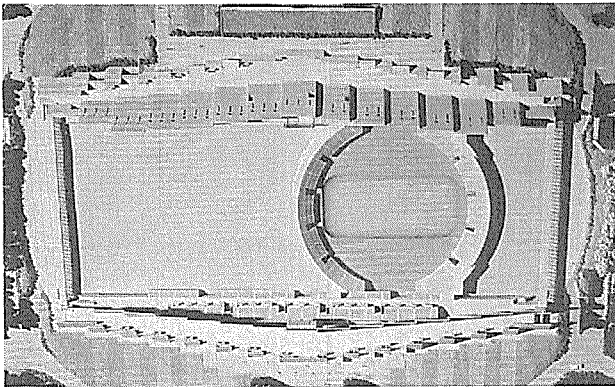


図-3 アイスホッケー利用

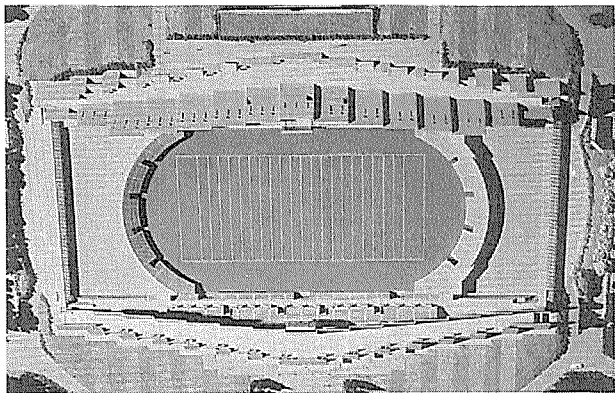


図-4 アメリカンフットボール利用

照明、音響、設営用走行ボタンが分割空間の焦点にあわせて位置可変し、イベントや収容人員の規模にあわせた自在な空間分割を実現する。内側に倒れ込ませた雁行する RC 造の斜壁と端部にいくほど低くなる木造天井は、断面方向への凝縮感と空間伸縮方向への躍動感、解放感を強調する狙いと同時に、空間量をへらして空調負荷を低減、乱反射形状にして音響特性を改善するものである。また、屋根の重なり部は自然採光、換気に活用し、照明、音響、セパレートネット、カーテン吊機構を集中させたキャットウォークとしている。

## 2.2 建築概要

建設地：長野市朝陽・大豆島

発注者：長野市  
設計：久米・鹿島・奥村・日産・飯島・高木設計共同企業体  
長野市オリンピック局施設課  
監理：(株)久米設計  
長野市オリンピック局施設課  
施工：鹿島・奥村・日産・飯島・高木建設共同企業体  
工期：1994年3月～1996年11月  
敷地面積：約111 000 m<sup>2</sup>  
建築面積：約31 300 m<sup>2</sup>  
延床面積：約73 000 m<sup>2</sup>  
アリーナ面積：17 280 m<sup>2</sup>（可動スタンド含む）  
最高高さ：43.45 m  
吊屋根スパン：80.0 m  
階数：地下1階，地上3階  
収容人員：10 000人（最大20 000人）  
構造：屋根；大断面集成材と鋼板の複合構造  
下部；プレストレスト鉄筋コンクリート造および鉄骨造  
基礎；杭基礎（PHC打込み杭）  
アリーナ部は直接基礎

## 3. 構造計画

### 3.1 構造システムの特徴

この施設の構造システムの大きな特徴として次の2点が挙げられる。

一つめの特徴は、木とスチールをハイブリッドした軽快な半剛性の吊構造にある。そのヒントは、近年小規模な橋に時々用いられる吊床版のシステムである（写真-2）。通常、吊床版は鉄筋コンクリートとPCストランドを用い、システム的には吊要素を主として、それに鉄筋コンクリートで曲げ要素を加えることで積載荷重や移



写真-2 吊床版

動荷重によるアンバランスや風荷重に対応している。ここでは、この吊床版の曲げ剛性は木（構造用大断面集成材）で確保している。木という素材は軽量の割には曲げ剛性が高いという特性を持っており、引張強度の高いスチールプレートを挟み込めば、ある程度の曲げ剛性を持つ軽量で効率の良い吊材ができる。これをハイピッチに並列し、構造用合板で一体化することで木とスチールを組み合わせた吊床版のユニットが完成する。スパン 80 m の吊屋根はポストとステイで支えられて空中に浮かび上がり、ユニットごとに高さを変えることで変化のあ

る内部空間を形成している（図-5）。

そして、もう一つの特徴は、吊屋根から生じる引張力を支える、プレストレスを導入した重厚な RC 造の下部構造である。全体架構は吊屋根を支える鉄骨のポストとステイ、RC 造の下部構造と基礎構造、および吊屋根の反力に重力で抵抗するカウンターウェイトで構成されている（図-6）。大きな力の流れは図-7 に示すとおりである。このように吊屋根の反力をカウンターウェイトに伝達するために RC 造の下部構造にはプレストレスの導入が必要不可欠なものとなる。

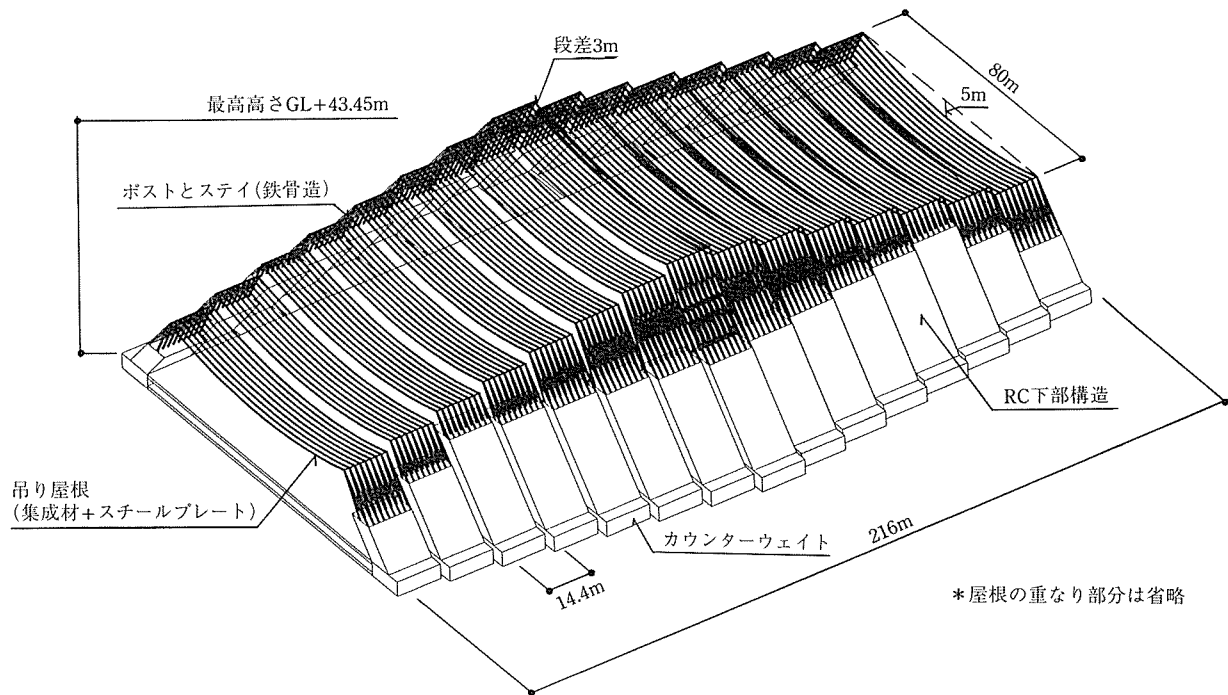


図-5 構造システム

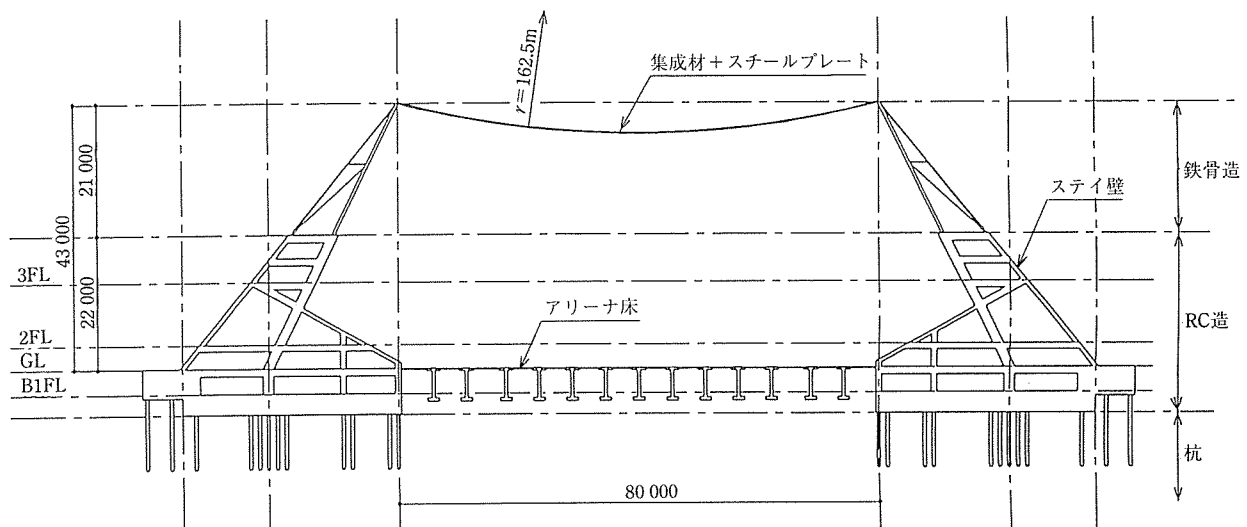


図-6 中央部ユニット軸組図

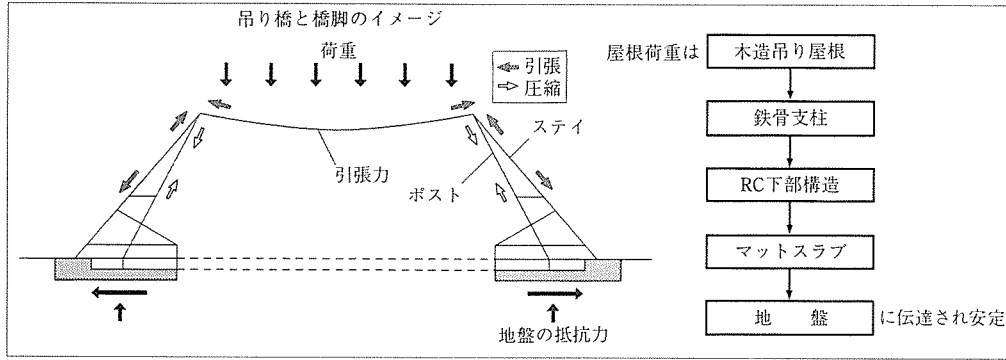


図-7 明解な力の流れ

以下に各構造要素の詳細について述べる。

### 3.2 吊屋根

吊材を構成する部材は、図-8に示すように300 mm × 125 mm の構造用大断面集成材（曲率半径 162.5 m の湾曲材）で厚さ 12 mm のスチールプレートを挟み込み、2 m ごとにボルトで締め付けた複合材となっている。各ユニットはこの複合材を 600 mm ピッチで並べ、10 m ごとにスチールプレートの横つなぎ材で結合し、さらに集成材の上には屋根下地材と面内水平抵抗要素を兼ねた構造用合板を釘で留め付け、屋根面を構成している。複合材の間には結露防止と吸音のために厚さ 50 mm のグラスウールボードを取り付けている。このように約 300 mm の厚さの中に構造要素と環境要素をすべて取り込んだ極めて合理的なシステムとなっている。

吊材の両端部は、明快な応力伝達機構とするためにピン接合としている。軸応力および曲げ応力の各応力に対しては、集成材とスチールプレートがそれぞれの剛性比

により応力を負担している。このように、吊材に曲げ剛性を持たせることにより、押さえケーブルのいらぬワンウェイの明快な構造が可能になっている。応力は当然ながら軸力が支配的であり、設計軸力は吊材一本当たり常時で 11.2 tf、積雪時（積雪荷重 160 kgf/m<sup>2</sup>）で 26.9 tf である。

### 3.3 鉄骨のポストとステイ

吊屋根を支えている鉄骨の支柱は、ポスト（圧縮材）とステイ（引張材）で構成され三角形に組み立てられた部材である。吊材と同様に 600 mm ピッチで吊材を挟むように並べられ、吊屋根からの力を RC 下部構造に伝えている。この三角形の支柱は、屋根面の高さの変化に応じて相似的に、頂部高さが低くなってゆく。

### 3.4 プレストレスを導入した RC 下部構造

RC 下部構造には、観客席や諸室が配置され、ポストからの圧縮力とステイからの引張力を支える強固な構造となっている。プレストレスは図-9の伏図に示すよう

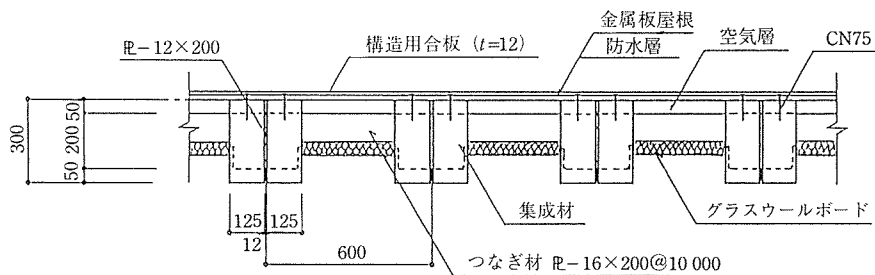


図-8 吊屋根断面図

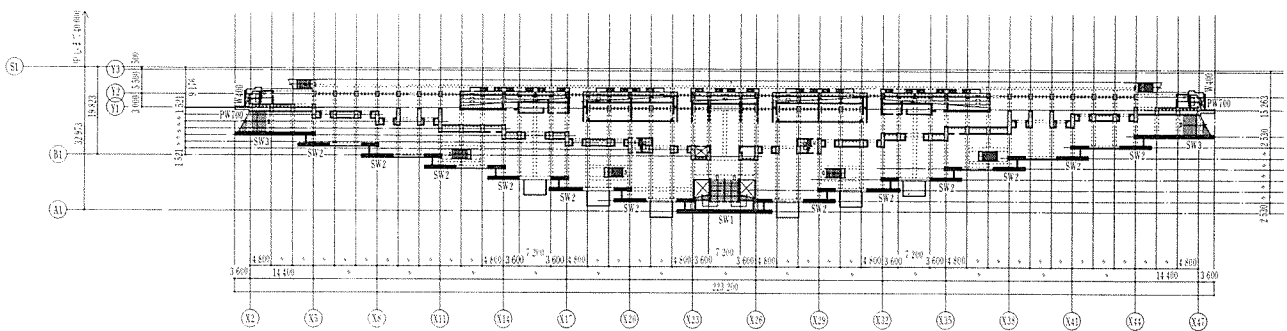
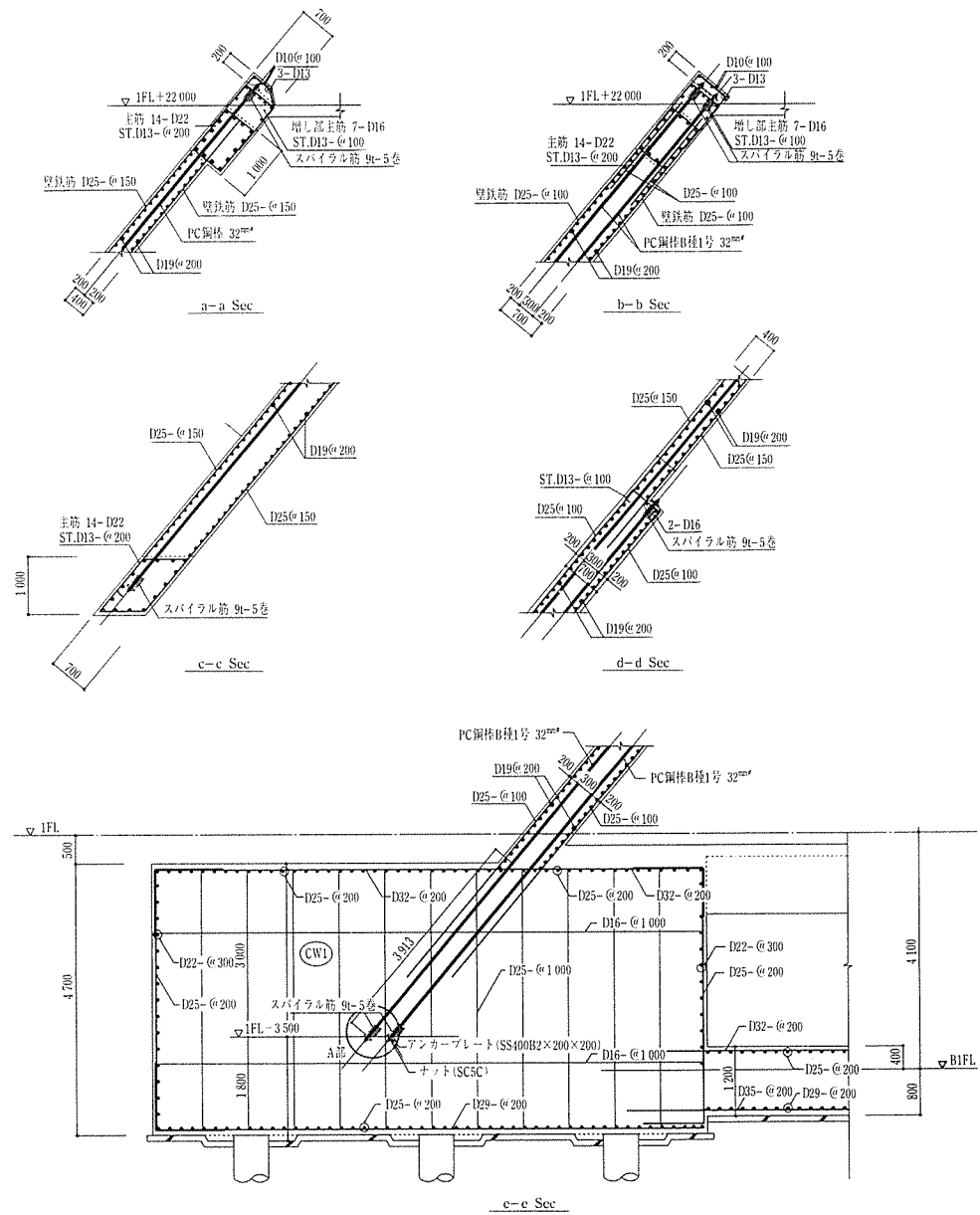
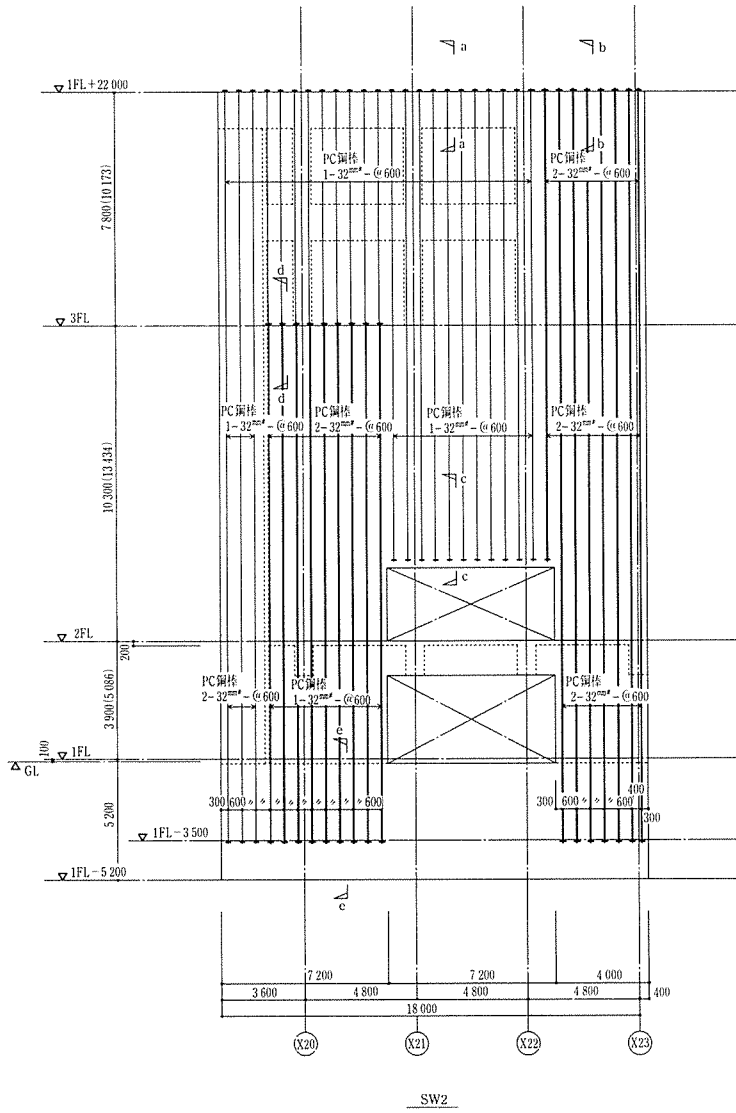


図-9 伏 図



PC鋼棒詳細図およびカウンターウエイト配筋図

図-10 スティ壁詳細図

◇工事報告◇

にすべてのステイ壁に導入されている。設計の基本的な考え方は、長期（固定）荷重時において吊屋根を支えるために発生する引張力をキャンセルして、ステイ壁は圧縮力状態とし、短期（積雪）荷重時にステイ壁に生じる引張力に対しては鉄筋で抵抗させている。使用しているPC鋼棒の諸元は以下のとおりである。また、PC鋼棒の配置と詳細は図-10に示すとおりである。図-11には、鉄骨ステイとステイ壁の接合部の詳細を示す。

PC鋼棒 B種1号 32φ

引張荷重  $P_u=88.46$  tf

降伏荷重  $P_y=76.40$  tf

公称断面積  $A_s=8.042$  cm<sup>2</sup>

導入張力  $T_i=76.50 \times 0.85=64.6$  tf

設計張力  $T_d=64.60 \times 0.85=54.9$  tf

吊屋根の反力から発生する引張力は一般部で約 50 tf (600 mm ピッチ) であり、長期荷重時にはステイ壁は圧縮状態となっている。これに対して短期（積雪）荷重時のステイ壁の張力の増加分は約 60 tf (600 mm ピッチ) であり、必要鉄筋量は壁縦筋で D 25-@150 から D 25-@100 となっている。なお鉄筋は SD 345 を使用し、コンクリートの圧縮強度は  $F_c=270$  kgf/cm<sup>2</sup>、壁厚は 700 mm である。風荷重に対しては、風洞実験の結果ほぼ全体的に吹上荷重となっており、吊屋根の張力を減少させる傾向にあるのでステイ壁の張力が増加するこ

とはない。

PC鋼棒の長さはステイ壁の高さに応じて約 18 m から 34 m となっている。使用総重量は 269 t、接続カップラーは 5 660 カ所である。

また、PC鋼棒は 45φ のシース管に内包され、PC鋼棒を錆びさせないように保護するとともに、PC鋼棒とコンクリートの付着を得ることを目的として、シース管との間にグラウトの注入を行っている。

PC鋼棒の下端部は引張力による浮き上がりに対して重力で抵抗するカウンターウェイトに定着されている。このカウンターウェイト部に働く水平力に対しては杭が抵抗している。

### 3.5 基礎構造

基礎構造は、長さ 10 m ~ 12 m の高強度プレストレストコンクリート杭 600 φ を  $N$  値 40 以上の砂礫層 (G.L. -16.0 m) に支持させた杭基礎としている。杭本数は総計で約 2 730 本である。またアリーナ部は長期地耐力 25.0 tf/m<sup>2</sup> を予想した直接基礎としている。

## 4. RC 下部構造の施工

### 4.1 全体計画

PC鋼棒によるプレストレスの導入は、この建物の安全性を確保するうえで非常に重要な工程である。図-12のフローチャートに従って、カウンターウェイト部の定

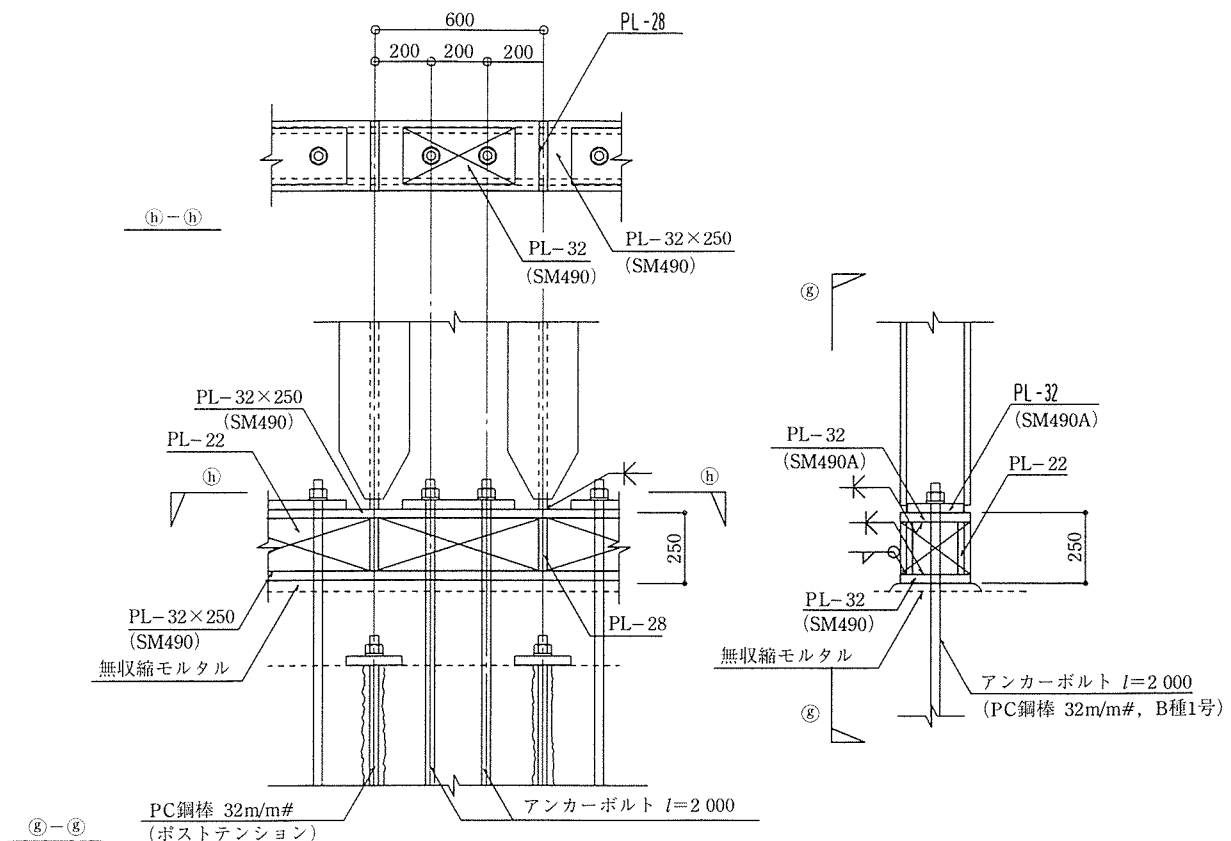


図-11 鉄骨ステイ定着部詳細図

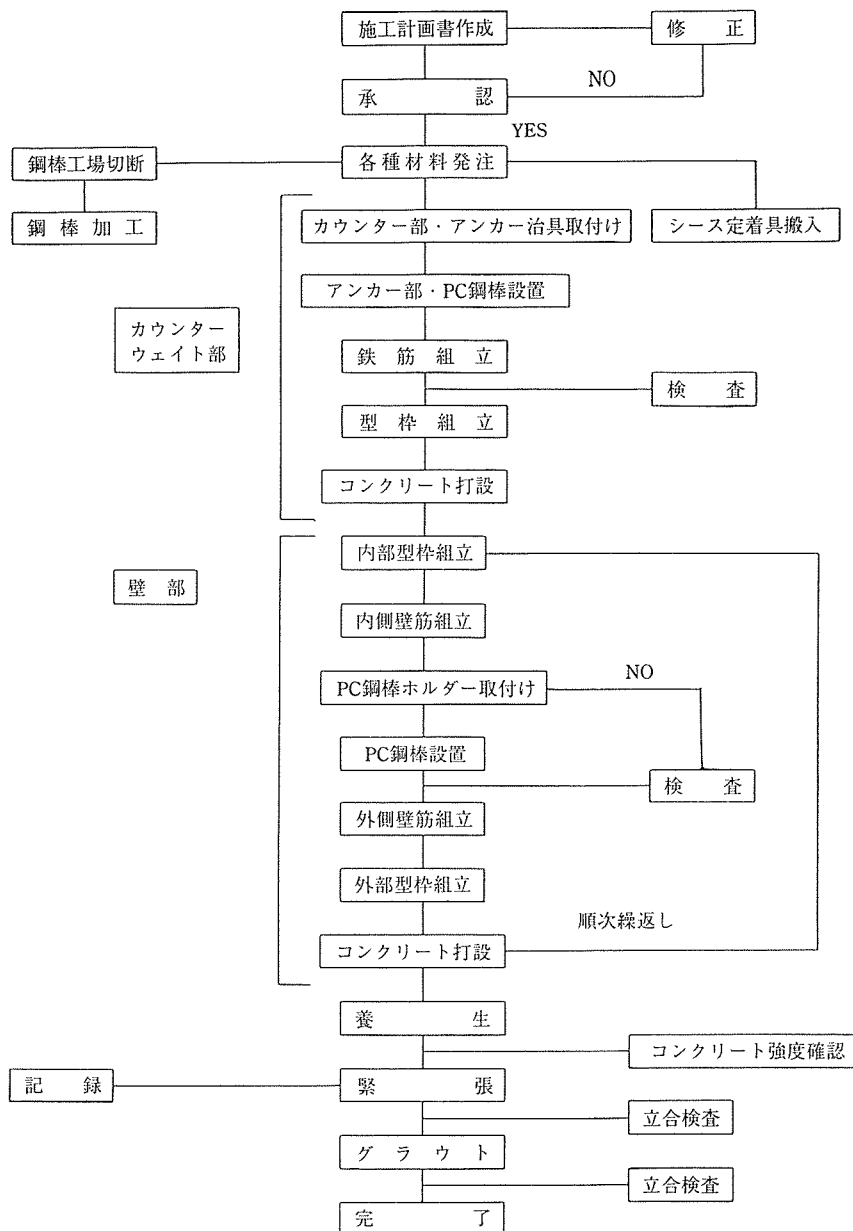


図-12 PC 工事フローチャート

着，PC 鋼棒の配置，プレストレスの導入，そしてグラウトの注入について以下に述べる。

4.2 カウンターウェイト部の定着と PC 鋼棒の配置

カウンターウェイト部の定着部の位置精度の保持は G.L. +22 m のコンクリート最上部まで PC 鋼棒を直線に配置するために非常に重要である。そこで，写真-3，4 のように成が 4.7 m のカウンターウェイトに一段目のコンクリートの打設が終了した時点で，三角形の治具により PC 鋼棒の角度を保持して施工することとした。定着部の詳細（図-10 の A 部）は図-13 に示すとおりである。

壁面内では約 2.4 m ごとに PC 鋼棒の位置の精度を確保した。PC 鋼棒，シース管の接合部を写真-5 に示す。また，壁筋と PC 鋼棒の位置関係は写真-6 に示す

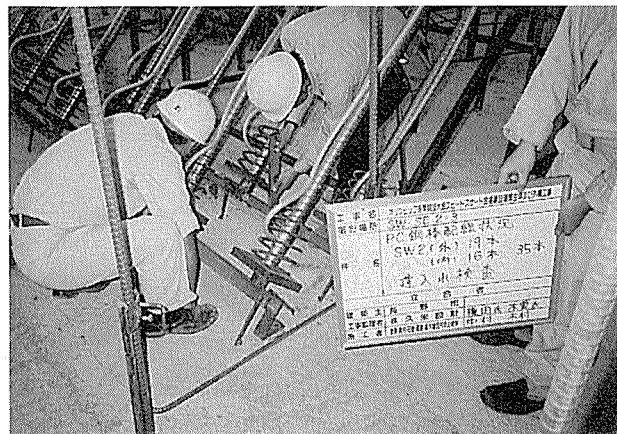


写真-3 PC 鋼棒下端部定着部





写真-4 PC 鋼棒の配置



写真-5 PC 鋼棒, シース管の接合部

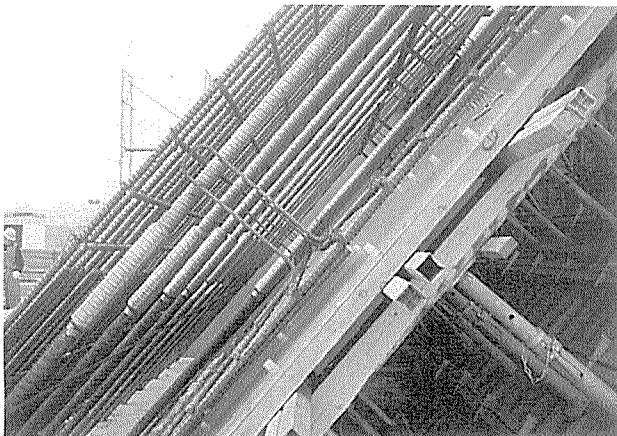


写真-6 PC 鋼棒と壁筋

とおりである。

#### 4.3 プレストレスの導入

コンクリート打設後、圧縮強度が  $210 \text{ kgf/cm}^2$  以上となっていることを確認し、張力の導入を行った。PC 鋼棒上端部の定着部は写真-7 に示すとおりである。緊張作業は、写真-8 に示すようにセンターホールジャッキを使用して行った。緊張の順序は一部に圧縮力が集中しないように、ステイ壁中央部より一本おきに端部に向

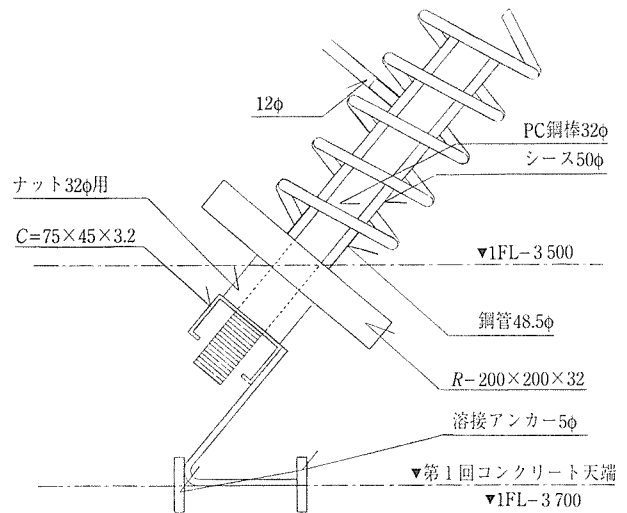


図-13 定着部 (A 部) 詳細図

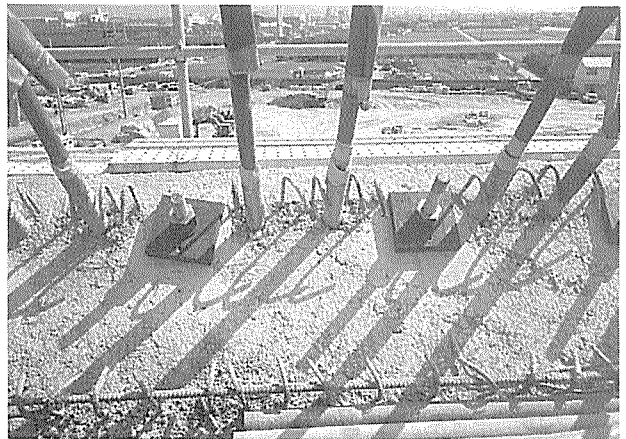


写真-7 PC 鋼棒上部定着部



写真-8 センターホールジャッキによる張力導入

かって緊張作業を行い、次に外端部から中央部に戻るように行った。緊張に際しては、導入張力を  $5 \text{ tf}$  ごとに最終荷重まで伸びの測定を行い、導入張力の管理を行っ



た。

#### 4.4 グラウトの注入

グラウトの注入は「プレストレストコンクリート設計施工基準」のPCグラウト指針案に準じて施工を行った。その施工手順は以下のとおりである。

- 1) 定着部のグラウト注入口に注入用および空気抜きのビニールホースを差し込む(写真-9)。
- 2) グラウトホースにコンプレッサーのノズルを挿入してシース内の清掃を行う。
- 3) グラウトミキサーおよび材料関係(普通ポルトランドセメント、混和剤、水)を所定の位置に据え

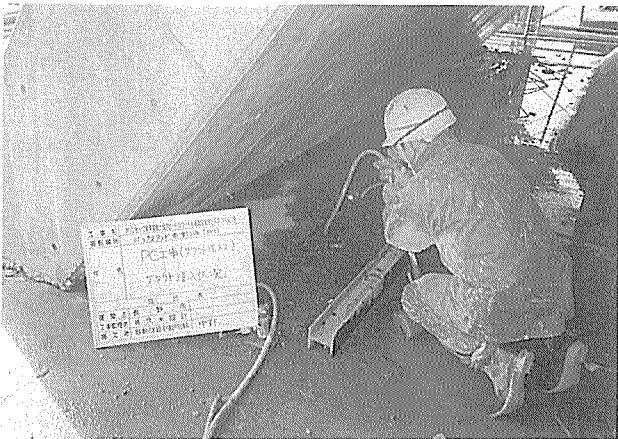


写真-9 グラウトの注入

る。

- 4) グラウトポンプのノズルを挿入し、ポンプを規則正しく作動させる。
  - 5) グラウト液が吹出し口から出るようになったら、ミキサー内のグラウト液と同等の濃さになるのを確認してから、さらに引き続き圧力計の針が $2.0\sim 5.0$   $\text{kgf/cm}^2$ になるまでグラウトを注入する。注入が完了したら注入ホースを折り曲げ結束線にて縛る。
  - 6) 万が一、注入不能となった場合は、真空ポンプでシース管内を減圧しながらグラウト液を注入する。
- なお、実際の施工にあたっては、6)の真空ポンプの使用は、全体で1380ヶ所のうち約2.2%にあたる30ヶ所であった。

#### 5. おわりに

この世界最大級の大スパン木造吊屋根構造のスピードスケート会場は1996年11月に完成し、1997年2月のテスト・イベント、さらに1998年の冬季オリンピックの会場となる。建築計画の特徴にも述べたように、多目的に使える仕組みがいろいろと組み込まれているので、オリンピック終了後も市民に親しまれる施設として十分に活用されることを願ってやまない。

【1996年9月5日受付】