

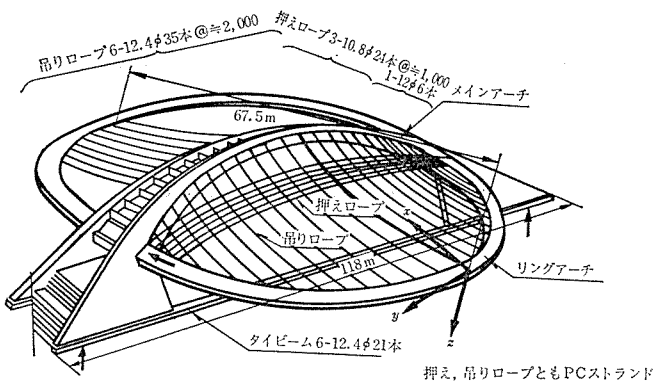
岩手県営体育館の吊屋根構造の施工について

北 英 世*

1. はじめに

岩手県営体育館は口絵写真に見られるように、主要構造である屋根の部分に本格的な吊屋根構造を採用している。この構造は大きく分けて、メインアーチ (SRC)、リングアーチ (RC)、タイビーム (PC)、吊屋根板 (緊張力導入)、スタンド (RC) から構成され、それぞれが力学的にバランスするようになっている (図-1 参照)。

図-1 構造図



メインアーチとリングアーチの間には図-1に見られるように吊りロープと押えロープを張り、そのます目の間にコンクリートプレキャスト版をはめ込み屋根面を構成するようになっている。

メインアーチとリングアーチから流れる力は地中のPCタイビームが抵抗する。

こうして構造は、施工段階でも力のつり合いを十分考慮する必要がある。力のつり合いを考慮した施工法としては数多くの方法が考えられるが、本工事で採用した工法の概要を報告し、今後の参考に供したいと思う。

2. 工事概要

工事名：岩手県営体育館新築工事

* 鹿島建設株式会社 建築工務部

施主：岩手県

設計：日本大学理工学部齊藤研究室

施工：鹿島建設株式会社

使用目的：室内競技全般

収容人員：固定席 2000席，集会時 5000席

3. 計画および施工

建物が左右対称であるため、施工にあたってなるべく偏荷重にならぬよう対称に施工し、常に力の流れを把握し構造的に無理のないよう計画された。各躯体の座標および型わくの製作にいたるまで電子計算機を使用し、無駄のない精度のよい躯体の完成につとめた。

(1) タイビーム

メインアーチおよびリングアーチから伝達される水平力に対処するためPCタイビームが設けられている。両アーチの合力 1908t が張力として作用するため、タイビーム 1本当り 6-12.4φ 21本のPCケーブルが配置されている。タイビームは 120m であるため、鋼線を 121.7m に切り、6本を一束にしてワイディングシースをかぶせ配置した。スペーサーは約 2.0m ごとに置き、約 20.0m おきに排出口を設けた。両端はくさび定着とし両引きとした。緊張順序はタイビームに作用する張力

図-2 タイビームストランド配置図

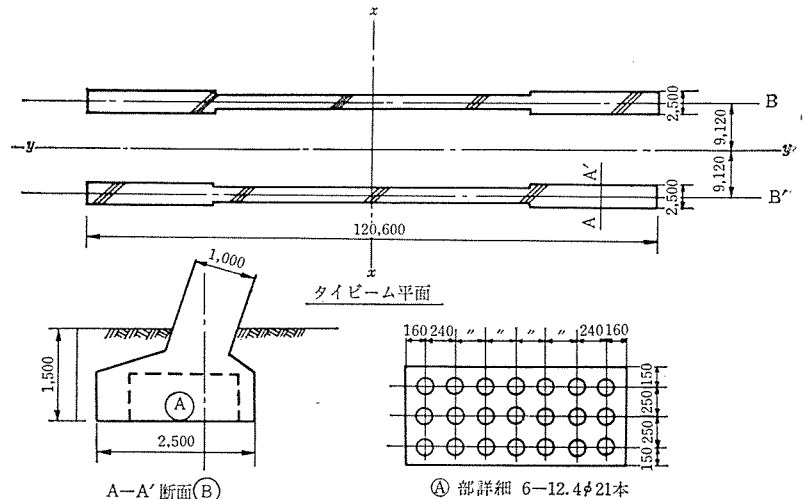
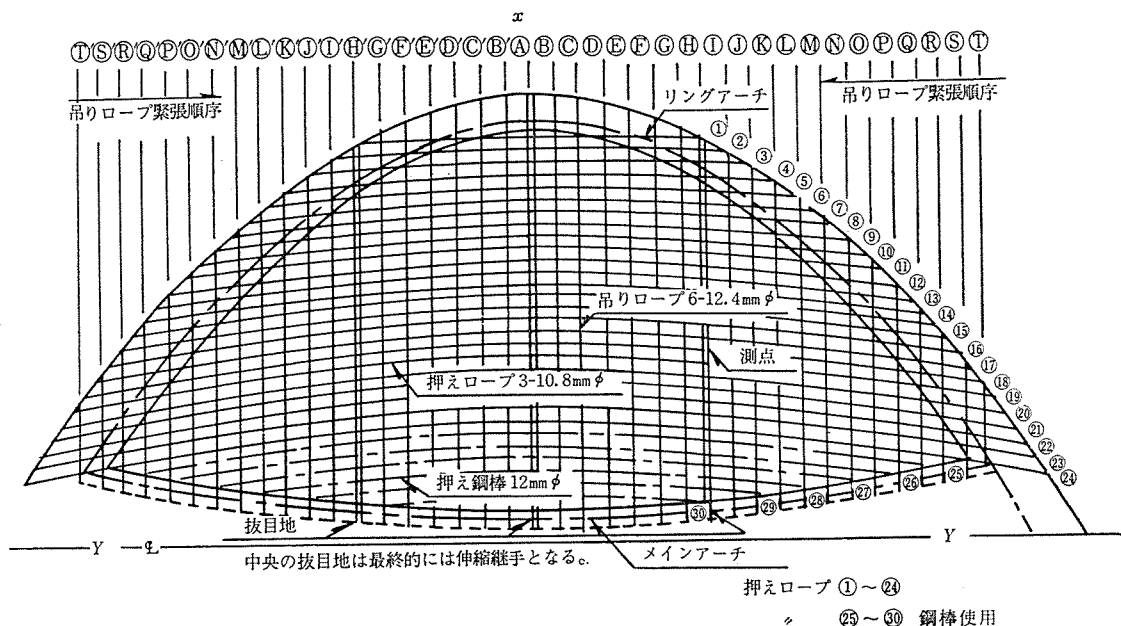


図-3 屋根吊りロープ、押えロープ配置図



に等しく施工段階に応じて緊張し、常にコンクリートのひずみを0とするようにすればタイビーム下の杭頭の移動の問題もなくなるのであるが、繁雑になるため杭頭とタイビームの支持状態をローラー支持とし、タイビームコンクリートの強度が出次第全部一度に緊張することにした(図-2)。

(2) 吊屋根版

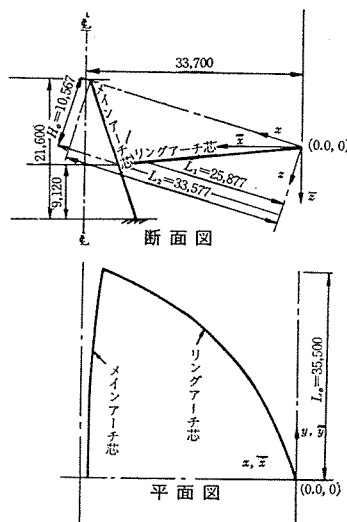
吊屋根版はサスペンション構造にシェルとしての効果を加味した構造になっている。このシェルはメインアーチとリングアーチに支えられ、シェルの中央には伸縮継手が設けられている(図-3 参照)。

施工の順序詳細については後述するが、吊りロープ、押えロープを張り、このロープの間にコンクリートのプレキャスト版をはめ込み、プレキャスト版の間をコンクリートをつめてシェルを形成させるようになっている。図-3に見られるように、主として最終調整作業のために吊り方向に3本の抜目地を設けており、この抜目地は最後に充てんされる。

構造上屋根面は剛性が小さく、風に対するフラッタリング、また雪荷重による曲面のひずみなどが構体や屋根防水にあたる影響をも考慮する必要がある。そのため曲面の剛性を増大するよう緊張力や施工順序を決定しなければならない。曲面は吊りロープ(6-12.4φ PC ストランド)および押えロープ(3-10.8φ, 12φ PC ストランド)からなり、吊りロープは約2.0m 間隔にメインアーチからリングアーチ間に張られ、押えロープは、それに直交して約1.0m 間隔に張られている。その直交したます目の中にプレキャスト コンクリート板が1枚1枚はめ込まれるようになっている。

a) 吊り屋根形状 屋根面は、x 方向、y 方向ともわん曲しており、その曲面をメインアーチ、リングアーチが切断した曲面である(図-4)。

図-4 曲面座標記号



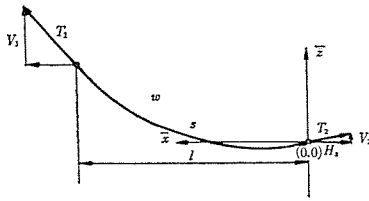
$$\text{曲面式 } Z = \frac{H_0 y^2}{L_0^2 L_2^2} \{L_1 x + L_2 (L_2 - L_1)\} - \frac{H_0}{L_2^2} x (x - L_2)$$

上記の曲面式は最終曲面を表わし、x 方向に吊りロープが、y 方向に押えロープが配置され、2 方向とも2次曲線である。しかし各ロープの支持点が不等高の場合ロープの形状が2次曲線と懸垂線との違いが大きくなるので施工段階に分けてつぎに示す算式によりその形状および応力を算出した。

b) 吊りロープ調整(屋根板載荷前) ロープの支持点が等高の場合ロープの形状は放物線に近似されるが、この場合支持点の落差が大きくなるため次式を使用し形

状を算出し吊りロープを調整した(図-5)。

図-5



$$Z = \frac{H_s}{w} \cos h \left(\frac{1}{H_s} w \bar{x} + C_1 \right) + C_2$$

C_1, C_2 : 積分定数

c) 屋根面調整(屋根板載荷後) 前式はロープの自重によるたわみ曲線であったが、そのロープに外力が作用した場合の各点のたわみおよび張力は次式で表わされた。この値を算出し屋根板載荷後の調整を行なった。

$$\begin{aligned} & \left[H_s \cdot \frac{1}{a_i} + P_{hi} \frac{1}{a_i} \frac{S_1 - S_2}{S_1} + h_m \frac{1}{a_i} \right] \xi_{i-1} - \left[H_s \left(\frac{1}{a_i} + \frac{1}{a_{i+1}} \right) \right. \\ & \left. + h_m \left(\frac{1}{a_i} + \frac{1}{a_{i+1}} \right) + P_{hi} \left(\frac{1}{a_i} \frac{S_1 - S_2}{S_2} - \frac{1}{a_{i+1}} \frac{S_2}{S_1} \right) \right] \xi_i \\ & + \left[H_s \frac{1}{a_{i+1}} - P_{hi} \frac{1}{a_{i+1}} \frac{S_2}{S_1} + h_m \frac{1}{a_{i+1}} \right] \xi_{i+1} + \frac{EAL^2}{S^3} \left[\frac{1}{a_i} (\bar{z}_{i-1} \right. \\ & \left. - \bar{z}_i) + \frac{1}{a_{i+1}} (\bar{z}_{i+1} - \bar{z}_i) \right] \sum_j \frac{1}{a_j} [(\bar{z}_j - \bar{z}_{j+1}) \xi_j + (\bar{z}_{j+1} \\ & \left. - \bar{z}_j) \xi_{j+1}] = -P_{vi} - P_{hi} \left[\frac{1}{a_i} \frac{S_1 - S_2}{S_1} (\bar{z}_{i+1} - \bar{z}_i) - \frac{1}{a_{i+1}} \frac{S_2}{S_1} \right. \\ & \left. (\bar{z}_{i+1} - \bar{z}_i) \right] \end{aligned}$$

$S_1 = \sum_j \frac{1}{\cos^2 \alpha_j}$ A : ロープ断面
 $S_2 = \sum_{j < i} \frac{1}{\cos^2 \alpha_j}$ P_{vi} : 鉛直方向力
 ξ : たわみ P_{hi} : 水平方向力
 E : ヤング係数 S : ロープ実長
 a_i : きざみ幅

上式で h_m は外力によるロープ張力の増加分であり、未知数が ξ と h_m と式中に 2 個あるが、初期条件に h_m を代入し ξ を求め、下式に代入し h_m を求める。この操作を反復すれば解が得られる。

$$h_m = \frac{EAL^2}{S^3} \sum_j \frac{1}{a_j} (\bar{z}_{j+1} - \bar{z}_j) (\xi_{j+1} - \xi_j)$$

また h_m の値は略算で求めることができるのでその値を代入して ξ を求めてもほとんど誤差はない(図-6)。

d) 吊りロープ(PCストランド使用) 吊りロープは構造上メインロープであり、しかも施工途中のロープの高低差を幾度も調整する必要がある。この点を考慮して定着金具としてリングアーチ側には微調整の可能なフィッチング定着を使用し、メインアーチ側にはくさび定着を使用した(図-8, 9 参照)。くさび定着の方は、施工時のくさびのゆるみを防ぐため安全装置としてくさびの上にプレートを取り付け付けた。シースは屋根版載荷時に

図-6

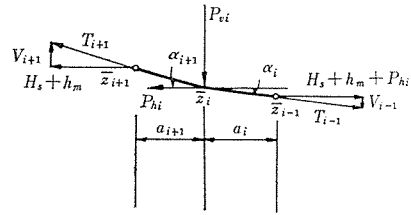
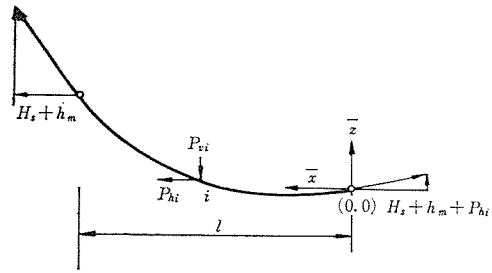


図-7 吊りロープ定着装置図

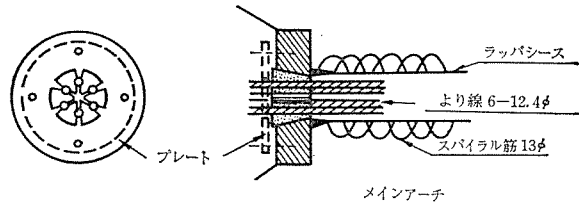


図-8 メインアーチの鋼棒アンカー部詳細図

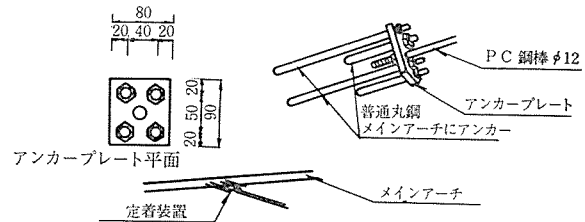
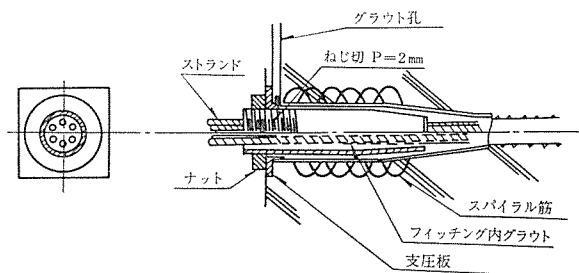


図-9 フィッチングアンカー詳細図



つぶされる可能性があること、また目地幅の関係等により 50ϕ を使用した。グラウト排出口は屋根板載荷後シースに直接穴をあけ設けた。

e) 押えロープ(PCストランド使用) 押えロープはフラッタリングに対処するため、屋根面をなめらかに形成する働きもかねさせている。端部の定着装置は、

屋根面の施工順序と屋根面の剛性をどうして増すかという点を考慮してタイプを決めなければならない。屋根面の施工順序については、後に触れるが、押えロープは微調整しなくても施工可能との結論が出たので両端ともくさび定着とした。またシースも必要と認めらなかったのとおりやめることにした。押えロープのうちリングアーチの間に張られる鋼材にはPCストランドを使用し、アーチの形状からメインアーチからメインアーチに張り渡される鋼材にはPC鋼棒を使用した。これはメインアーチの中には多量の鋼材が納められており、この鋼材の間をぬってPC鋼材を直線状に納めるのが困難だったからで、図-8に見られるような定着方法を採用している。

f) 屋根の施工順序 屋根の施工順序を決めるために設計者をまじえ何度も検討が行なわれ、その結果つぎの2案が提案された。

a 案

- ① 吊りロープ配置
- ② 押えロープ配置
- ③ 押えロープ緊張
- ④ 屋根板載荷
- ⑤ 吊りロープおよび押えロープ調整
- ⑥ 目地コンクリート打設（抜目地を設ける）
- ⑦ 吊りロープ緊張
- ⑧ 抜目地コンクリート打設
- ⑨ 押えロープをゆるめる
- ⑩ グラウト

b 案

- ① 吊りロープ配置
- ② 屋根板載荷
- ③ 押えロープ配置（シースなし）
- ④ 吊りロープ調整
- ⑤ 押えロープ緊張
- ⑥ 目地コンクリート打設
- ⑦ 吊りロープ緊張
- ⑧ グラウト

両者の相違点は、押えロープの配置および緊張時期であるが、a案の③は抵抗の少ない架構での緊張は困難であり、曲面が急勾配であるため押えロープが緊張時に下にずり落ちる恐れがある。また⑤の作業は一方のロープだけで可能ではないかとの意見があった。b案の場合抜目地がないため吊りロープ緊張時の応力の逃げ場がなくなり、屋根面に障害を生ずることも考えられる等々のことを考慮して下記のような最終施工順序が決められた。

施工順序

- ① 吊りロープ配置

- ② 吊りロープ調整
- ③ 押えロープ配置および仮緊張（No. 6, 12, 18, 23）
- ④ 屋根板載荷と押えロープ配置（シースなし）
- ⑤ 吊りロープ調整
- ⑥ 押えロープ緊張
- ⑦ 目地コンクリート打設（3ヵ所抜目地を除く）
- ⑧ 吊りロープ緊張
- ⑨ 抜目地コンクリート打設
- ⑩ 吊りロープをゆるめる
- ⑪ グラウト

上記の各作業について説明しよう。

○作業 ① 吊りロープ配置

吊りロープを所定の位置に吊りあげる作業である。リングアーチ側から吊りロープを入れ、メインアーチへ引き込み、シースをメインアーチ側から順におくり込んで仮定着を行なった。前述した3ヵ所の抜目地にあたる吊りロープのシースは取りやめた。これは屋根曲面を測定する場合シースがあっては測定が困難であること等によるためである。

○作業 ② 吊りロープ調整

仮張りされた吊りロープを屋根板荷重によるたわみ量だけ上にあげた曲面を構成する作業である。前記した吊りロープ調整用算式（屋根板載荷前）より計算した値をGLからのライズに換算し、トランシットの仰角で調整を行なった。調整はメインアーチ側からチェンブロックで行ない、くさびを打込み固定し、リングアーチ側はねじやまを50mm程度残し後の調整用とした（口絵写真参照）。

○作業 ③ 押えロープ配置および仮緊張（No. 6, 12, 18, 23）

片屋根で4本緊張するが、おもに施工性の立場からの作業であり、押えロープ No. 6, 12, 18, 23を選んだ。

緊張の理由は、屋根板は1枚200kgほどで荷重としては小さいが、ロープ形状の変化による高低差が大きくなり、屋根板を載荷した吊りロープとそうでないものとの間に相当の落差ができ作業困難となること、また吊り方向の目地の通りをとおすことは容易であるが、押え方向は長い所で80mにもおよび、目測で目地をとおすことは容易でないと思われるので、押えロープを押え目地の定規とする等を目的とする作業である。

○作業 ④ プレキャスト板の載荷と押えロープ配置（シースなし）

リングアーチ側より左右対称に載荷した。押え方向の目地幅は木製セパレーターを確保した。残りの押えロープは屋根板載荷と平行して作業を進めた。

図-10 屋根プレキャスト板納まり図

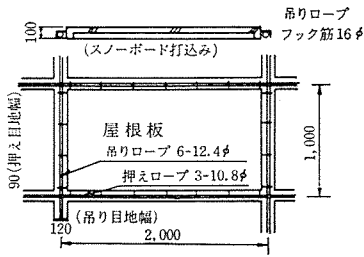


写真-1 屋根板載荷

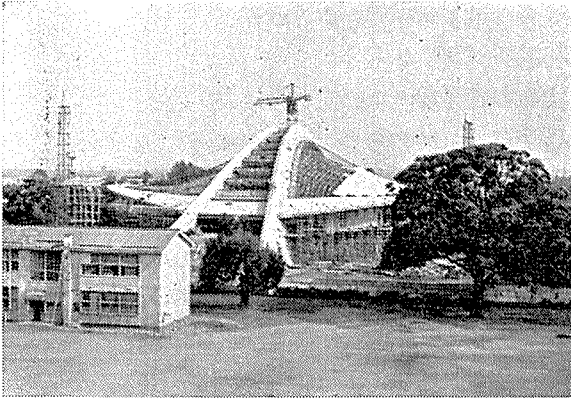
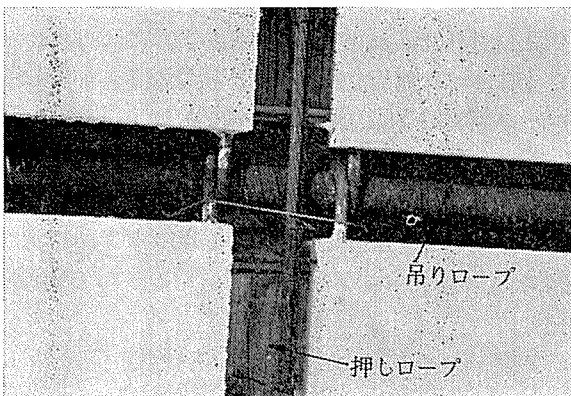


写真-2 屋根板の納り



○作業 ⑤ 吊りロープ調整

プレキャスト板の重みによる屋根面の凹凸を調整する作業で、まずシースのない3本の吊りロープのライズを測定し計算値に合わせ、残りの吊りロープはその3本を定規にして目測で調整した。

○作業 ⑥ 押えロープ緊張

今までの作業範囲では屋根面を人が歩けばかなりのゆれが出る程度の剛性しか得られず、以後の作業に困難を感じるため屋根面をかため、屋根面の剛性を増大させる作業である。緊張力は3.0t~12.0tの範囲でリングアーチ側よりメインアーチ側へと増加している。メインアーチに配置してあるPC鋼棒は、鋼棒にストレインゲージを張り、張力が0からの応力を測定し所要の緊張力を与えた。その他の押えロープは応力が0の点を求めそれからの伸びだけで張力を与えた。これは屋根面が固定し

写真-3 目地コンクリートと抜目地部分



てなく曲面が押えロープの張力により自由に変化するもので張力を測定することができず、このような施工法をとった。鋼棒は中央にターンバックルを設け手締めで力を導入し、その他のロープは両引きとした。両引きの場合は絶えず電話連絡しジャッキの作動を同時に行なうよう心がけた。

○作業 ⑦ 目地コンクリート打設(3カ所抜目地を除く)

前述した3カ所の抜目地以外の目地コンクリート打設する作業である。

○作業 ⑧ 吊りロープ緊張

この作業は屋根面のシェル効果を増大させる作業である。当初は17.0t/m緊張し、吊りロープ方向に圧縮力を与え抜目地部分のコンクリート打設後7.0t/mゆるめ押えロープ方向に圧縮力を与えて屋根曲面全体に圧縮応力を与える計画であった。しかし、抜目地部分に露出している押えロープが朝に張りつめていたのが昼にゆるんで押えロープがたるむ現象がみられ、そのゆるみ量がかなり大なため屋根面の中央には引張力の発生を避けるための継手が必要なのではないかという疑問が起った。検討の結果中央の抜目地をこのための伸縮目地として残すことになり、その結果つぎの段階の押えロープをゆるめる作業は中止することになった。したがって、シェル板は当初の設計とは異なり、構造上2枚に分けられたことになる。ゆるめる作業を中止したため、緊張力も10t/mに変更した。緊張作業はリングアーチ側から片引きとし、シェルの端部から対称に中央へ作業を進めた。

○作業 ⑨ 抜目地コンクリート打設

前記の理由により中央の抜目地部分はエキスパンジョイントとした。屋根面の挙動は湿度差によるためと思われるので、抜目地部分のコンクリート打設時期は気温の低い時を選び実施した。

○作業 ⑩ 吊りロープをゆるめる

前記の理由からこの作業は取り止めた。

○作業 ⑪ グラウト

吊りロープの全長と押えロープのリングアーチ内にある部分のグラウト作業である。注入は手動式グラウトポンプを使い、下から上部に向かって順次実施した。吊り方向は落差が 10 数メートルにおよぶところがあり、ポンプ圧が不足するため 3~4 m 間隔に設けたビニールパイプから注入を行なった。

以上が屋根面の施工の概要であるが、当初考えられた種々の問題も施工途中ではさほど問題もなくスムーズに作業は進行した。参考のため各施工時のロープ張力およびたわみを表-1 に示しておく。

表-1

施 工 時	た わ み (cm)	張 力 (ton)
屋根板 載 荷	6.5	11.2
目地コン打ち	9.5	15.5
吊りロープ緊張	8.5	35.5

3. おわりに

建物が高層化、ユニット化する反面、独創的な形状と工法を採用するものも多くなっている。ここで紹介した建物はその後者に属するものであろう。

サスペンション構造には一般に型鋼またはP C鋼材が使用されるが、屋根面の架構方法および防水の納まり等の面から型鋼が使用される場合が多いように思われる。本件はフラッターリング、屋根面の剛性および防水等の問題に対しP C鋼材をうまく利用した一例ではないかと思われる。思いつくまま記述してきたが、なにかの参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) Journal of the Structural Division August, 1964
- 2) 建築学大系 10
- 3) 吊橋の設計 柴田直光
- 4) 曲面の力学 坪井善勝

1968. 9. 5・受付

PC長大橋梁に豊富な経験



阪神高速道路月見山第1工区高架橋



オリエンタルコンクリート株式会社

東京都千代田区五番町5番地 TEL (261) 1171 (代)