

## シルバークール工法の応用および技術的諸検討

青 木 聖 二\*  
竹 田 清 二\*  
森 田 武\*

### 1. ま え が き

建築の工業化が進む中で、構造体のプレファブ化が顕著になってきた。特に鉄筋コンクリート造においては、住宅公団の壁式プレキャストコンクリート造に代表されるように、規格化も徐々に進んでいる。このような情勢を考えると、一般建築物においても当然プレハブ化が促進され、さらに大型プレハブ化への方向を取るものと予測される。そこで、日本シルバークール(株)では、西ドイツのノルムコ社、エアフィンダー社と不動建設(株)との技術提携のサブライセンスを受け、昭和40年よりシルバークール版の製造にとりかかった。現在工場は神奈川県厚木市と、滋賀県甲西町にあり、合計7Bedで稼動している。

シルバークール工法とは、HP shellのプレテンション方式による大型プレストレストコンクリートの工場生産部材、すなわち、シルバークール版を使用した建築物を総称している。

シルバークール版は、幅2.5m、長さが10~24mで、最大60m<sup>2</sup>の製品となる。版の名称は、発明者のWilhelm J. Silberkuhl氏の名を冠したものであり、S.C.S工法(Silberkuhl Construction System)ともいっている。

### 2. シルバークール版の用途

近来、工場建築は生産する製品の高精度化に伴って、従来の「雨露をしのぐもの」から、防塵、さらには空気調整さえ一般的になってきた。また、作業床面積の使用効率の向上、設備の近代化に伴って作業空間に流動性を持たせる必要が生じて、大スパンの気密な建築を要求するようになってきた。学校建築の体育館兼講堂においても騒音に対処するためばかりでなく、耐候性、美観についても配慮する傾向が強くなってきた。シルバークール

工法はこれ等の目的に良く適合し、しかも鉄筋コンクリート造と比較すると屋根面積あたり250kg/m<sup>2</sup>と重量が半分以下になり、支持構造物にかかる負担が少なくなる。

シルバークール版は、1枚25~60m<sup>2</sup>となり、1日15枚架設すると400~900m<sup>2</sup>の屋根ができる。これは小中学校の体育館程度が1日でできることになり、工期が大きく短縮される。また、1tくらいの重量のものであれば、インサートを配して吊り下げることができるので、ダクト・配管を容易にすることができる。これ等の特徴を生かした建物は前述の工場、体育館を始めとして、スーパーマーケット、倉庫、車庫、集会場、屋内プール等広範な用途がある。

### 3. シルバークール版の形状と設計法

シルバークール版(以下S.C.S版)は図-1に示すように、回転双曲面の一部を切り取った形を持つため、交差する2つの直線群より成り立っている。この直線部分にPC鋼線を配するため、合力としては直線材に曲線配筋を行なったのと同様の効果をもたらしている。

版の形は下式で表わされる。

$$\frac{x^2+y^2}{a^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1$$

ここに、 $a=180\text{ m}$        $c=14\sim 15\text{ m}$

版の厚みは、中央部6.4~7.4cm、中央部より端部に離れるにしたがって増加し、外端では3~4cm増加する。

S.C.S版の設計は幅に対して長辺が長いので、ロングシェルの取り扱い、すなわち、単純ばりとして考え、短辺方向は別に長辺方向の応力を加味して行なう。これ等の計算はすべて電子計算機で行ない、TOSBAC 3400で約1分程度である。インプットデータとしては、等分布荷重、集中荷重、線荷重、地震荷重、風荷重、縁荷重等予測されるほとんどの荷重に対して安全性がチェックされる。

\* 日本シルバークール(株)東京支店技術課

\*\*                   "                   (株)大阪支店技術課

図-1 S.C.S. 版の形状

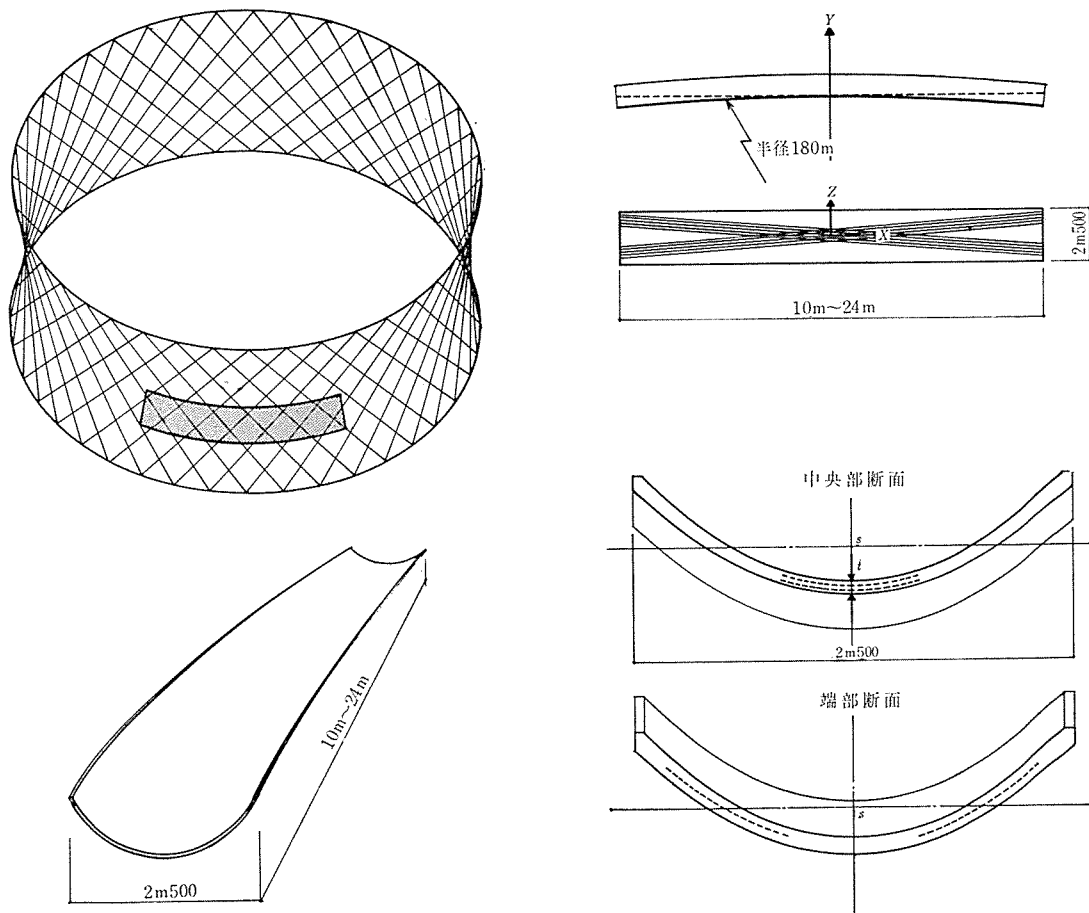


表-1 断面の諸性能

中心部厚	$t=6.4\text{ cm}$	$t=7.0\text{ cm}$
$F$ (断面積)	$2.10 \times 10^3 \text{ cm}^2$	$2.30 \times 10^3 \text{ cm}^2$
$I$ (断面2次モーメント)	$7.80 \times 10^5 \text{ cm}^4$	$8.30 \times 10^5 \text{ cm}^4$
$Z_o$ (上側断面係数)	$2.10 \times 10^4 \text{ cm}^3$	$2.30 \times 10^4 \text{ cm}^3$
$Z_u$ (下側断面係数)	$3.00 \times 10^4 \text{ cm}^3$	$3.20 \times 10^4 \text{ cm}^3$

表-2 S.C.S. 版コンクリート配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	水セメント重量比 (%)	セメント (kg/m <sup>3</sup> )	水 (kg/m <sup>3</sup> )	絶対細骨材率 (%)	単位細骨材量 (kg/m <sup>3</sup> )	単位粗骨材量 (kg/m <sup>3</sup> )
20	3~5	38	450	170	42	800	1100

(1) コンクリート

表-2 に示すコンクリート配合表は標準的なもので、時期により若干異なる。強度は  $F_{28}=500\text{ kg/cm}^2$  で、プレストレス導入時  $350\text{ kg/cm}^2$  である。養生はコンクリート打設後 2~3 時間で蒸気を入れて、以下 図-2 に示すような温度管理を行なう。

(2) PC 鋼線

使用する PC 鋼線は、インデント 5.0 mm, 7.0 mm および、7 本より 9.3 mm ストランドを使用している。メーカーは鈴木金属と住友電工であり、諸性質は 表-3

写真-1 配筋状態

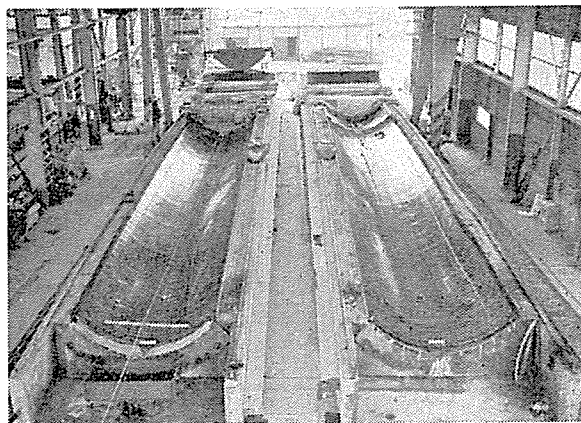


図-2 蒸気養生温度曲線図

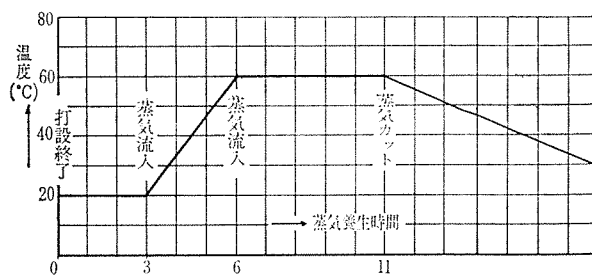


表-3 PC ワイヤーの性質

線径 $d$ (mm)	断面積 $A_d$ (mm <sup>2</sup> )	標準重量 $W$ (kg/km)	引張強度 $P_{pu}$ (kg)	降伏点 強度 (kg)	許容引張 荷重 (kg)
5.0	19.6	154.1	3 250 以上	2 850 以上	2 260
7.0	38.5	302.1	6 000 以上	5 200 以上	4 200
7本より ストランド 9.3	51.6	407.8	9 100 以上	7 750 以上	6 370

表-4 ライズ表

$l$ (m)	$f$ 値	
	1 スパン (mm)	2 スパン (mm)
10.0	70	280
12.0	100	400
14.0	136	544
16.0	178	712
18.0	225	900
20.0	278	1 112
22.0	336	1 344
24.0	400	1 600

による。

#### 4. S.C.S. 版の配置計画

S.C.S. 版の配置は 図-3, 4 に示すように、その建物の用途にあわせて間隔をあけて並べたり、北窓採光を取るために斜めに置いたりして変化を持たせている。写真-2, 3 および 口絵写真 に代表的な使用方法を並べてみた。表-4 はスパン方向の版のライズを示す。

図-3 配置方法 (1)

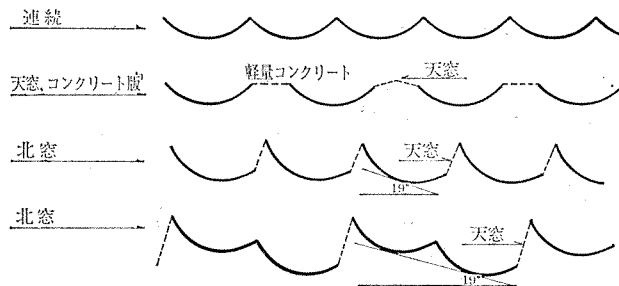


図-4 配置方法 (2)

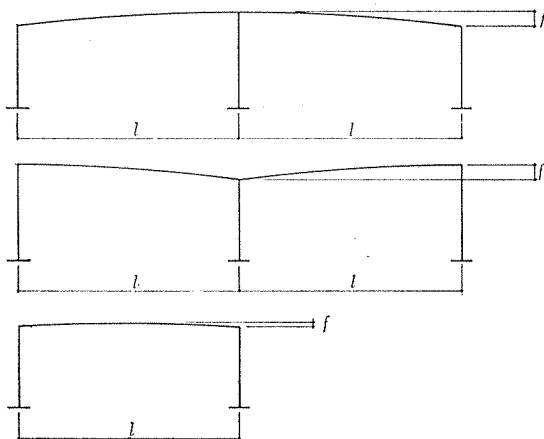


写真-2 S.C.S. 版を連続に配した例

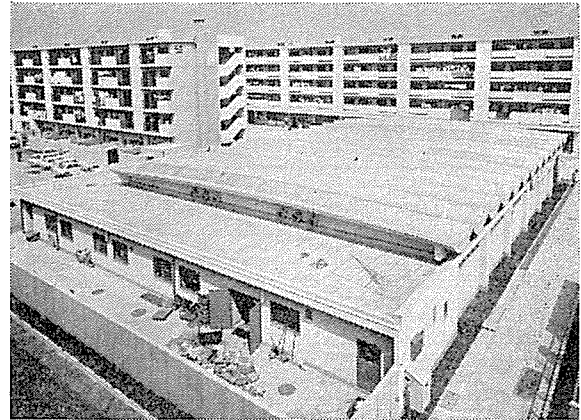
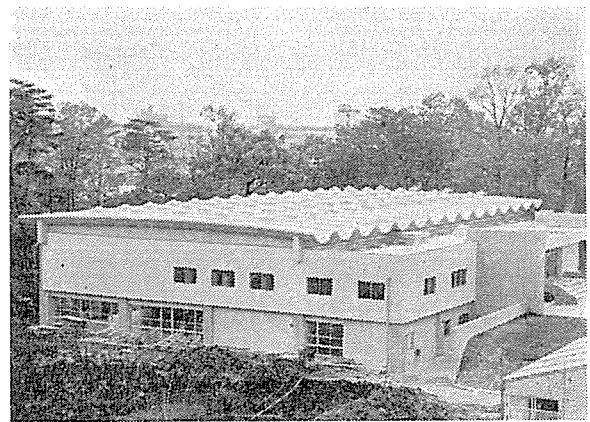


写真-3 トップ ライトを配した例



#### 5. 防水と仕上げ

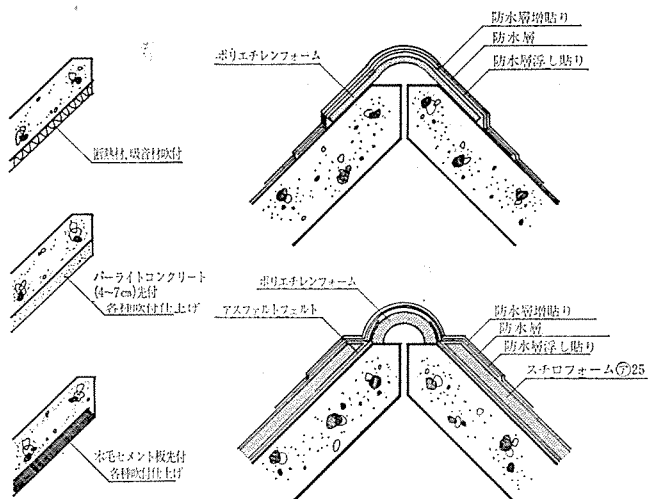
版の形状より推察されるように、版の肩部に動きが集中すると思われる。そこで、S.C.S. 版の防水は、この動きに対処するため版相互をあまり拘束せずに、できるだけ自由な状態になるように配慮した。すなわち、接合部にはモルタルを施さずに、防水下地として整形したポリエチレンフォームを貼り付け、この上にシートをかぶせる方法を取っている。また、防水自体に断熱効果を持たすためスチロフォーム、またはポリエチレンフォームをサンドウィッチした防水方法も施工している。

S.C.S. 版の仕上げは、その目的に応じて現地で吹付けられるが、特に断熱効果を上げるためにパーライトコンクリートを 3~7 cm 工場で S.C.S. 版の下側に打込んだり、警察学校の短銃練習場では、跳弾防止に工場で 5 cm の木毛板を打込む等の工夫をしている。図-5 は防水および仕上の数種類を示す。

#### 6. 運搬および架設

工場は現在、神奈川県厚木市と滋賀県甲賀郡甲西町にある。運搬はこの両工場からポールトレーラーに特殊な専用装置を付けて、1 台あたり 2~3 枚の S.C.S 版を運

図-5 仕上げおよび防水



ぶ。カーフェリーや、船を利用して北は青森県弘前市に、南は鹿児島まで運搬した実績がある。

このような長大物となると、設計段階から輸送経路や路幅について十分な調査を行なって、搬入可能かどうかを調べてから具体的な設計にとりかかる必要がある。架設についてもその方法により工費に大きく影響するためこれも事前に十分な打合せを必要とする。

写真-4 カーフェリーにて輸送中の S.C.S. 版



写真-5 架設中の S.C.S. 版



## 7. S.C.S. 版の載荷試験

S.C.S. 版は前述のような方法で設計しているが、理論値の妥当性を調べるために、東京大学大型構造物試験室にて加藤 勉教授の指導で実験を行なった。

### (1) 試験方法

試験体は、スパン 15 m で積載荷重 30 kg/m<sup>2</sup> 用に設計したものをを用いた。これは大型構造物試験室に入る最大のものとして製作されたものである。載荷はできるだけ等分布荷重に近づくようにと 8 点載荷とした。

測定は、版のたわみと、短辺方向の拡がり をダイヤルゲージで測定した。

コンクリート強度は、プレストレス導入時 363 kg/cm<sup>2</sup>、実験時の 2 週強度は 537 kg/cm<sup>2</sup>、また 4 週強度は 570 kg/cm<sup>2</sup> であった。

### (2) 実験結果

図-8 に示すように、 $p=12t$  でクラックが生じた。クラックの状況は設計の前提となっている単純ばりとしての考えを裏付けるように、版の下側で短辺方向に生じ

図-6 荷重点図

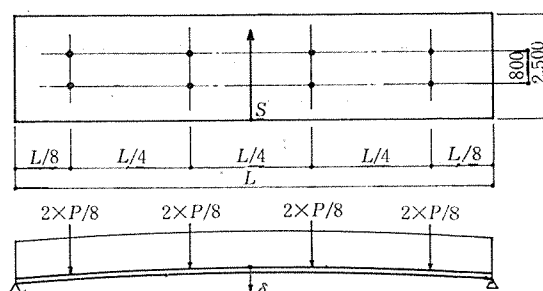


図-7 変位測定点

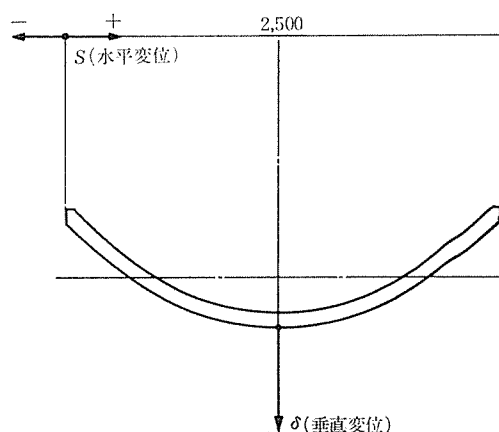


表-5 実験値・理論値比較

	理論値 (t-m)	実験値 (t-m)
ひびわれ時	37.00	39.40
曲げ破壊時	53.97	60.40

図-8 垂直変位図

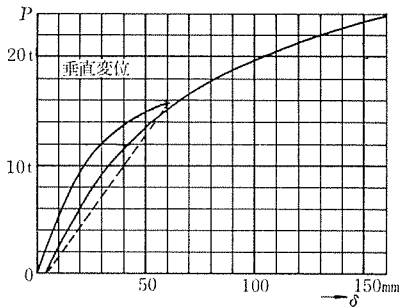


図-9 水平変位図

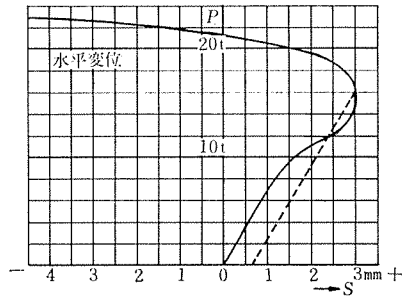
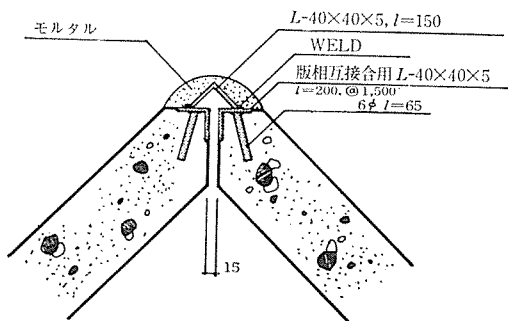
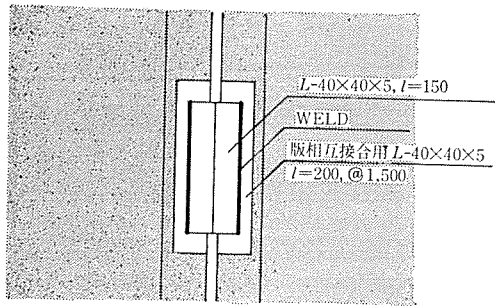
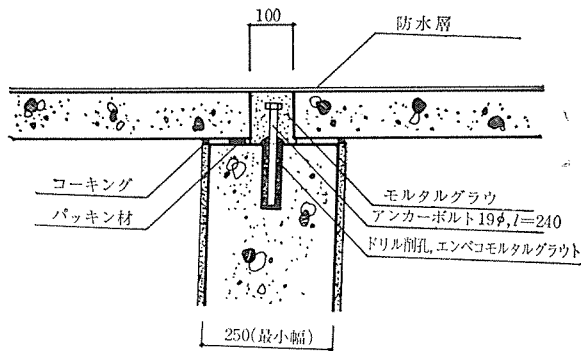


図-10 接合図



た。さらに 16t まで上げて除荷したが、残留変位は 5mm であった。荷重をさらに上げて 23.8t で肩部コンクリートが圧壊した。理論値との差は表-5 に示すようにほぼ一致した。版の短辺方向の動きは図-9 に示すように、初めは腕曲がせばまるように変形し、後に外に広がり、同時に版の底部の上側に長辺方向にクラックが入った。

### 8. 接合方法

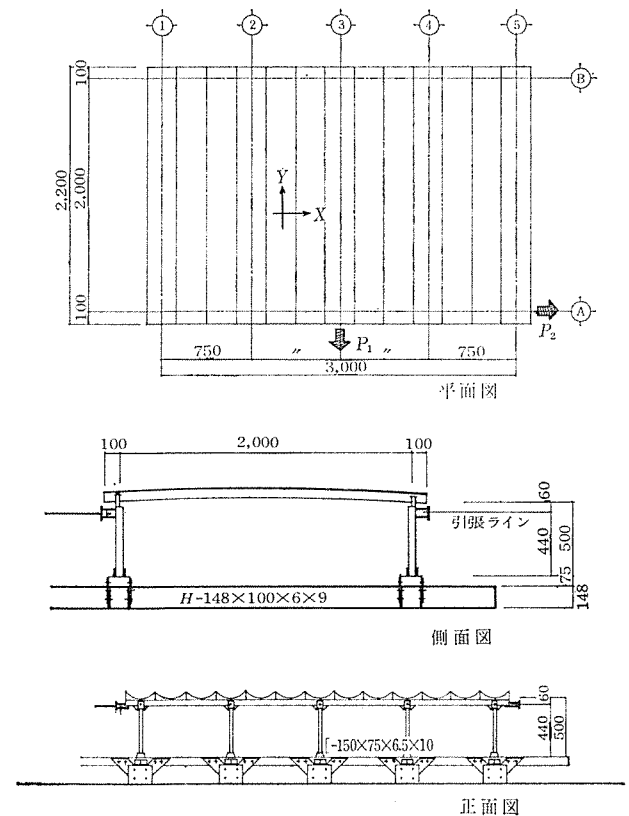
S.C.S 版相互の接合方法は図-10 に示すように、肩に山形鋼に鉄筋の足を付けたものを 1.5m ピッチに埋設し、これを鉄板を介して相互に溶接して接合する。また、S.C.S. 版とはりとは版にあらかじめ所定の位置に 100φ の穴をあけておき、その穴を通してはりにドリルで穴をあけ無収縮モルタルを注入してボルトをそう入して接合する。

これ等の接合方法は、繰り返し実験されたもので、実験データはこの報告でははぶくが、はりとのアンカーは 1本あたり最終耐力は 4t 強となっている。版 1 枚の重量は最大 15t と考えると、予想される地震時水平力は 3t となり、アンカー 4 本で十分と判断している。

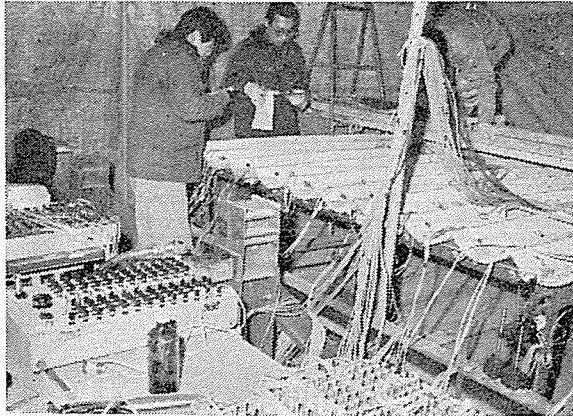
### 9. 平面剛性について

プレキャスト コンクリート製床版について一般的に

図-11



写真—6 平面剛性実験



いえることではあるが、地震時水平力に対して一体のスラブと同じような動きをするかということが、常に問題となる。S.C.S. 版を並べた時も同様のことがいえるわけであるが、設計の方法としては、一応平面剛性がないものとして考え、おのおのの柱を S.C.S. 版のスパン方向については独立柱として計算している。しかし、建物によっては十分な組立剛性を要求する場合も少なくなく、版相互の接合の十分さだけでなく、版の形状からくる影響も加味した剛性のチェックをする必要を感じて実験することにした。

(1) 概 要

実験は 図—11 に示すように、S.C.S 版を使用している建築物の最も標準的なプランを選んだ。すなわち、S.C.S. 版の支持スパン 20 m、桁行の柱間は 7.5 m、軒高を 5.0 m と仮定して行なった。また、平面剛性という実験目的から、桁方向を 4 スパン取り出し、1/10 の模型を製作した。模型では柱の剛性を落すため鉄骨造で行なった。これは柱の剛性を落すことにより、平面剛性をよりの確につかもうとしたためである。S.C.S 版の模型にはプレストレスは導入されていない。これは実験を版が破壊されない状態で行なうため、形状と弾性係数だけが問題となると考えたからである。

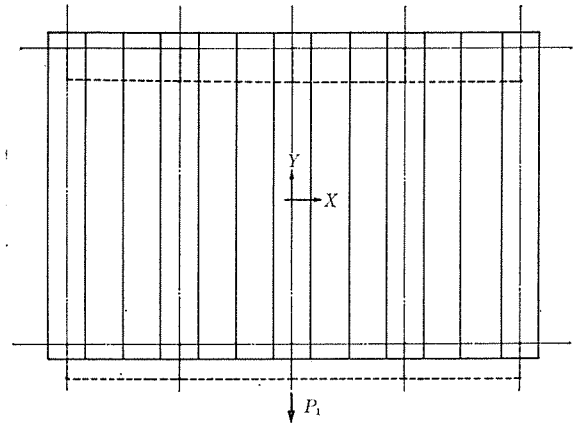
(2) 実験計画

図—11 の試験の矢印に示すように、加力点を柱上部にとり、P C 鋼棒で引張った。加力  $P_1$  は図示の位置の柱頭に力を加えた時に 13 枚の版がどの程度同じ方向に動くかを調べるためである。加力  $P_2$  は、A 通りラーメンの柱頭に水平力を加えたときの B 通りラーメンの動きを調べて、S.C.S. 版相互のせん断抵抗による屋根の剛性を調べるためである。加力は他にも種々の方法で行なったが、ここにはその代表例として 2 つをあげた。

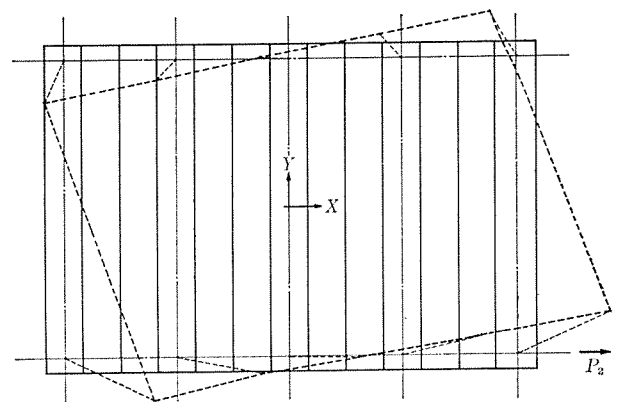
(3) 測 定

測定は主にダイヤルゲージを用い、すべての柱の X-Y 方向の変位と、同じ位置の S.C.S 版の X-Y 方向の変

図—12



図—13



位を測定した。また、版の相対変位を知るため、せり合う版の両肩に斜めに渡るように標点を設けて、コンタクトゲージで測定した。版には三軸ゲージを、柱に単軸ゲージを貼りおのおのの変形を調べた。

測定回数は、版が載らない状態のラーメンの変形、版を載せてはりとの接合のみで変形と、版相互を接合した状態での変形をおのおのの加力方向を変えて測定した。

(4) 結 果

図—12 は加力  $P_1$  による S.C.S. 版の Y 方向に関する動きを表わす。これによると 13 枚の S.C.S. 版の動きはほぼ平行に動いており、せん断力は版相互の接合を通じて十分に伝わっているものと思われる。

図—13 は加力  $P_2$  による建物のねじれを図示したものである。

これ等の解析は現在進行中でこの報告には間に合わなかったが、いずれ別の機会に詳論を發表したいと思っている。

ただし、図—12, 13 よりいえることは、Y 方向の動きは十分に剛と考えることができ、X 方向の力に対しては若干菱形に変形しているが、これも柱の剛性と比較すると一応剛に近いと判断できると思われる。しかしな

がら、異方性のこのような版の場合十分解析してその結論を得たいと思っている。

### 10. 乾燥収縮およびクリープ

S.C.S. 版の設計は、建築学会のプレストレスト コンクリート設計施工指針に基いて行なっているが、S.C.S. 版のような薄い版に関する乾燥収縮およびクリープに関するデータが非常に少なく、学会の基準のとおり行なって良いものかどうか以前からの疑問点であった。そこで今回、版の厚さ 7 cm の試験体を数種作製して、導入力を変えて測定した。また、実際に架設した S.C.S. 版にもカールソン型ひずみ計を入れて実状と照し合わせることにした。

#### (1) 試験体

試験体は、S.C.S. 版の中央部下側の標準的な厚み 7.0 cm をとった。幅は 60 cm、また長さは端部の導入の乱れをならすために、幅の約 3 倍を取った。

PC 鋼棒を 10φ、12φ を 9 本用いて、ポストテンション方式で応力を導入した。P/A は 0, 50, 100, 150 kg/cm<sup>2</sup> のものをおおの 2 体作製した。測定はコンタクトゲージ（ホイットモア式）で行なうため、標点は図-14 のように中央部両面に 8 か所埋設した。

コンクリートは前述の S.C.S. 版の配合表で示したものをを用いた。

一方、カールソン型のひずみ計を埋め込んだ版は、すでに建物の一部となっているが、測定は最近測ったデータ（製造後 1 年経過）も含んでいる。もちろんひずみ計は重心に埋め込んだため曲げモーメントの影響をなくしている。位置は図-15 に示す。

#### (2) 結果

図-16 の点線は直接 S.C.S. 版に埋込まれたもののひずみを表わしている。また、実線は、図-14 の試験体のものである。

図-16 より  $S_t, \varphi_t$  を計算すると、

$$S_n = 234 \times 10^{-6}$$

$$\varphi_n \approx 1.5$$

となる。建築学会の規準より算定すると、

$$S_n = 375 \times 10^{-6}$$

図-14

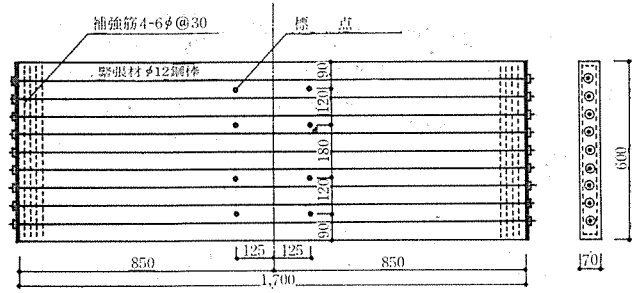


図-15

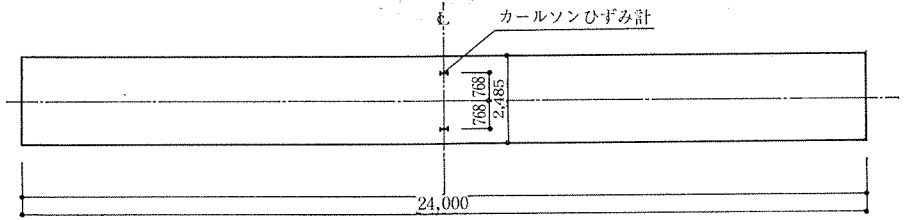
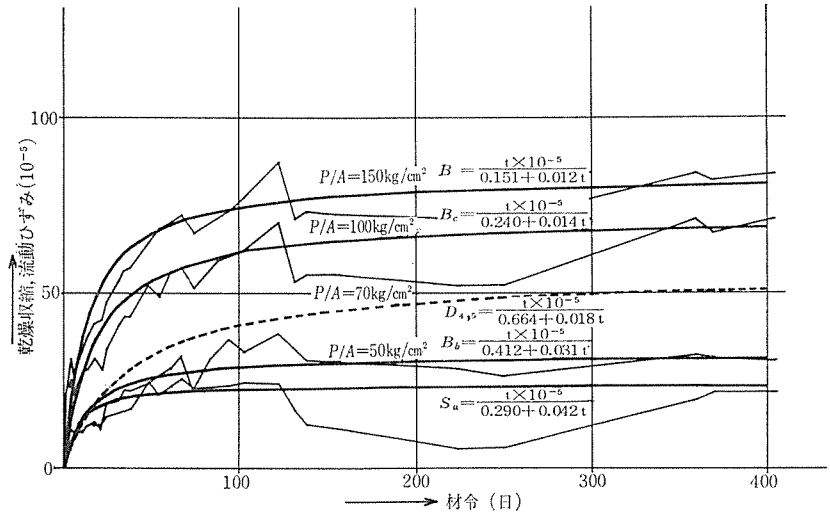


図-16



$$\varphi_n \approx 2.7$$

となり、実験との間に大きな差がでた。これよりただちに実験値を設計に用いられるとは考えられないが、学会式が実際以上に大きな値となっていると想像される。この報告ではスペースの関係から結果のみを述べたが、別に詳論を報告するつもりである。さらに確認のために、繰返し実験する必要がある。

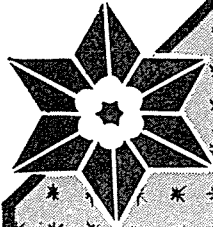
### 11. おわりに

以上で大体シルバークール工法の概略を示した。実験等は現在整理中のものであるため、十分なデータの報告ができなかったことは残念だったと思う。また、工法についてという意味から多少 PR 気味になったことを許していただきたい。

1971. 10. 30・受付



東京製網製品



# PPC

## JIS G 3536

鋼線・鋼より線  
BBR工法鋼線  
多層鋼より線 (19~127本より)

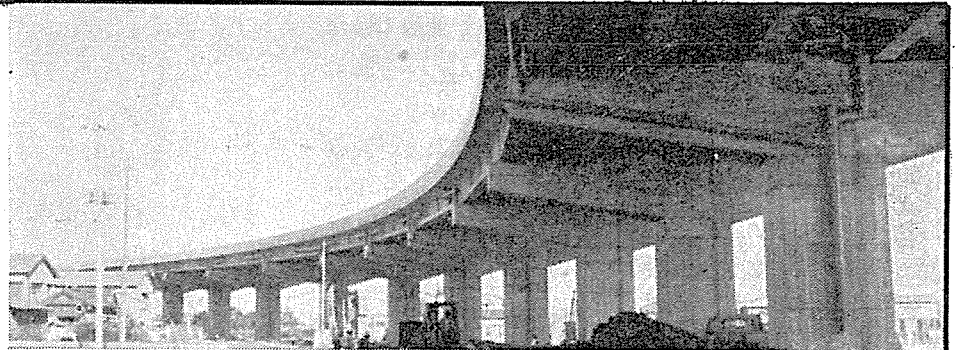
製造元 東京製網  
発売元

東京都中央区日本橋室町2丁目8番地 古河ビル四階  
電話 (211) 2851 (大代表)



### 鋼弦コンクリート

設計  
施工  
製造



首都高速道路7号線

## 九州鋼弦コンクリート株式会社

取締役社長 山崎 劔 秋

本店	福岡市天神二丁目12番1号 天神ビル (〒810) 電話 福岡(092)76-5027・74-2374・74-0291(75-6031-内線317・346・347)
福岡支店	福岡市天神二丁目14番2号 証券ビル (〒810) 電話 福岡(092)74-7963・78-3961・75-1343(75-1961-内線235・230)
建築事業部	福岡市天神二丁目12番1号 証券ビル (〒810) 電話 福岡(092)77-4029(75-1961-内線222)
大阪支店	大阪市北区芝田町97 新梅田ビル (〒530) 電話 大阪(06)372-0382~0384
東京支店	東京都港区新橋四丁目24番8号 第二東洋海事ビル (〒105) 電話 東京(03)432-6877~6878
営業所 工場	大分営業所・宮崎営業所・広島営業所 山家工場・大東工場・関東工場・下淵作業所・筑豊工場・甘木工場・夜須分工場・大村分工場