

鳥取県立博物館のシングル T スラブ振動測定

川 村 政 美*
 福 井 實**
 棚 橋 秀 光***

1. ま え が き

この建物は、鳥取市内久松公園の一隅に位置し、地学、生物学、考古学、民族学関係の資料および、県内美術工芸品の保存を兼ねた常設展示、県展や各種団体の巡回展などの臨時展示を目的としたものである。展示室は、おのおの展示物、展示形態が異なり、しかもときにより、展示方法も変わっていくものと考え、将来の変化に対応できる展示スペースとして、1.2 m のグリッドをもつ 21.6 m × 28.8 m の柱のない空間とした。この展示室の架構としては、種々のものが考えられたが、最終的には、四周の現場打ち RC 架構に、工場製作の ST スラブ (Single Tee Slab) を単純支持で架け渡すものとした。この架構を採用するにあたって運搬、架設、ディテールなどにいくつかの問題点があったが、特に ST スラブの振動障害が懸念された。そのため、架設後に振動測定を行い、振動障害のないことを確かめた。ST スラブの振動測定は、例が少ないと思われるので、ここに報告する次第である。

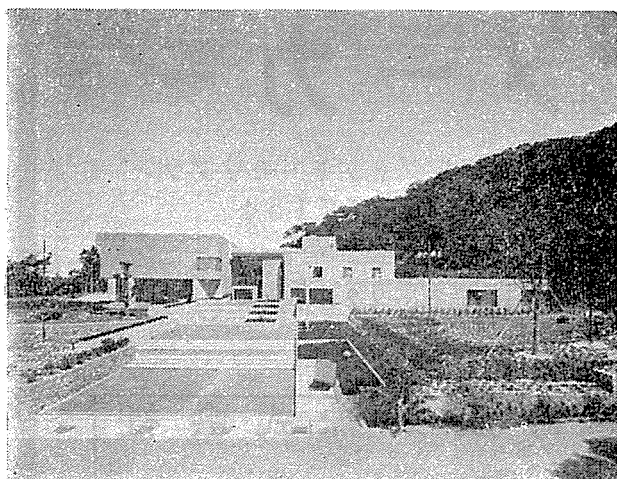


写真-1

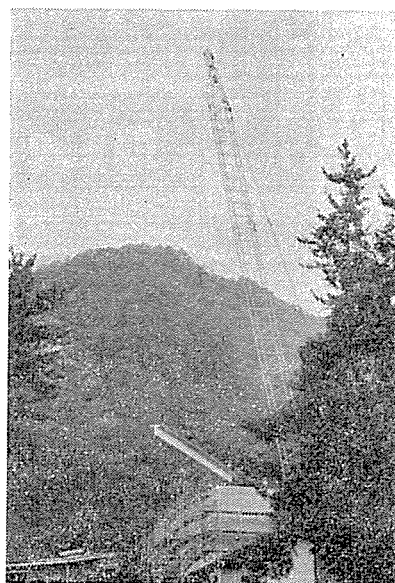


写真-2

2. 建物概要

建築主：鳥取県

敷 地：鳥取市東町 2 丁目 (史跡指定地域)

用 途：博物館 (展示室、収蔵庫、講堂、事務室他)

規 模：建築面積 3 537.6 m²

延床面積 9 660.9 m²

階 数 地下 1 階、地上 3 階、塔屋 1 階

高 さ 軒高 14.05 m

最高部高 18.00 m

構 造：主体構造 RC、PC 併用 一部 S 造

PC 架構 展示室床および屋根

ST スラブ (スパン 19.6 m)

研究室屋根

DT スラブ (スパン 9.39 m)

講堂屋根

ST スラブ (スパン 16.12 m)

いずれも単純支持

コンクリート $F_{28}=450 \text{ kg/cm}^2$

鋼線 ストランド $\phi 10.8$ および
 $\phi 12.4$

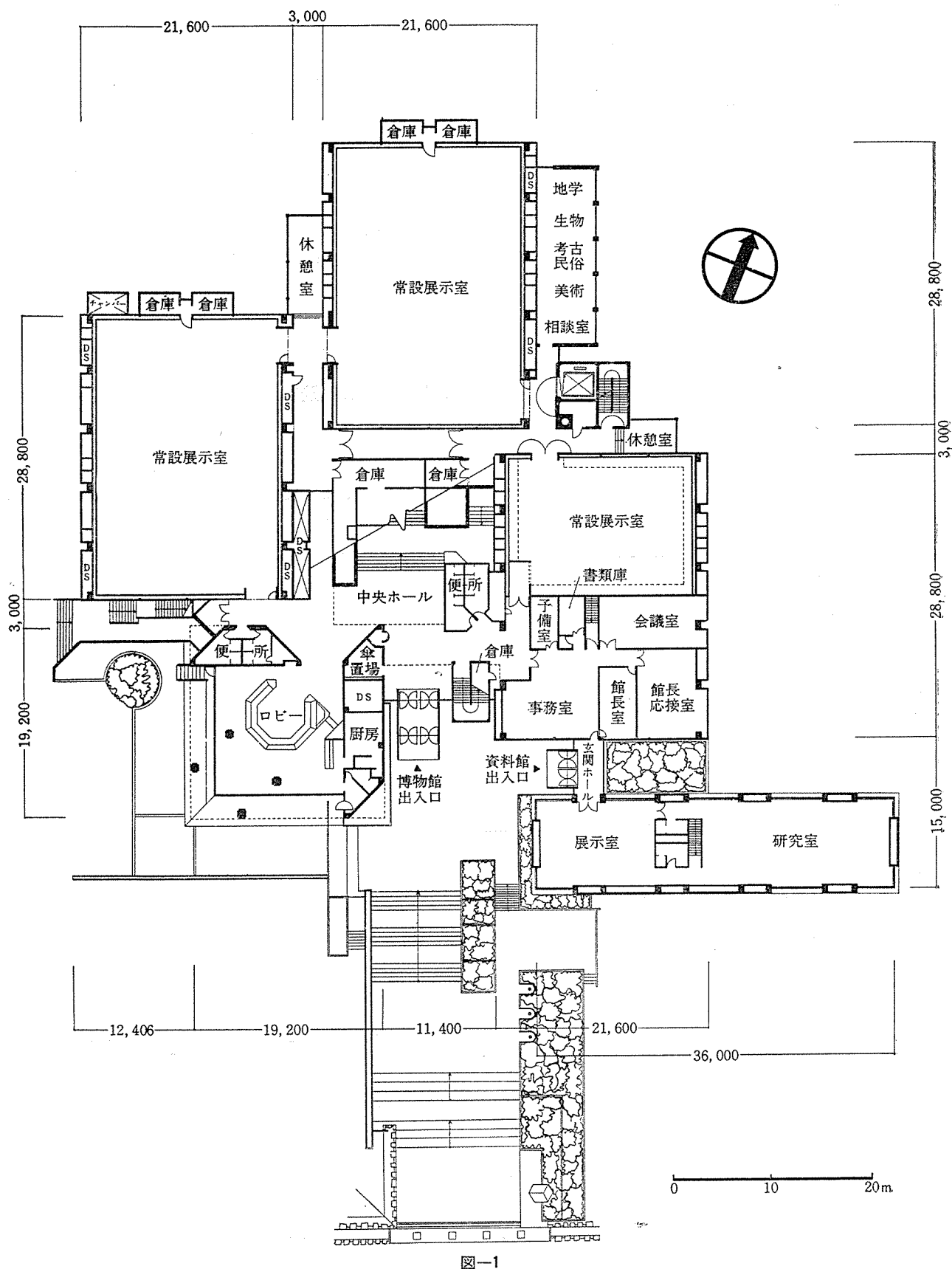
プレテンション方式

プレストレスト コンクリート

* 株式会社日建設計 大阪本社構造部長、工博

** 同 構造設計主管

*** 同 構造部



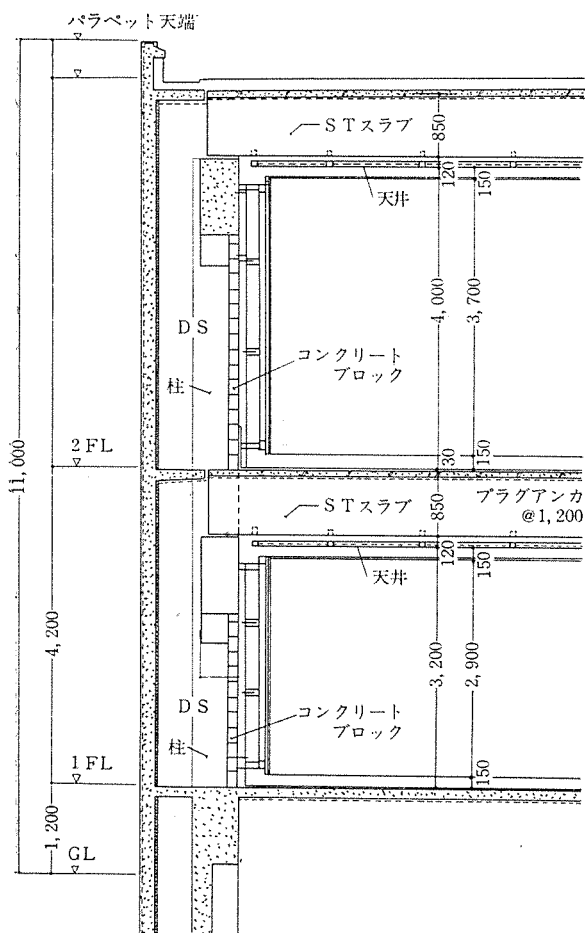


図-2

基礎 RCベタ基礎、一部独立基礎
 地業 PC杭打地業、一部割栗地業、直地業、栗石コンクリート地業
 外装屋根: アスファルト防水、押えコンクリートモルタル目地切
 床 VP タイル仕上ほか
 外壁 コンクリート化粧打放し、クリアーペンキ吹付
 設計: 株式会社日建設計
 監理: 鳥取県建築課
 施工: 株式会社熊谷組
 PC工事: ピー・エス・コンクリート株式会社
 工期: 昭和45年10月20日～昭和47年5月31日

3. PC架構の概要

建物の基本構成は、中央ホールを中心に3つの展示室棟、1つの講堂ロビー棟を風車状に配している(図-1)。各展示室棟は、2層または3層より成り、2階以上の床と屋根にSTスラブを用いている。すなわち、展示室は21.6m×28.8mの広さを持ち、短辺方向に単純支持のSTスラブを1.20mピッチに連続して架け渡し、目地を接続して一体としたものである。

STスラブの支承部は、外壁より一段内側にある大ばり上にあり、大ばりと外壁の間の空間をダクトスペース

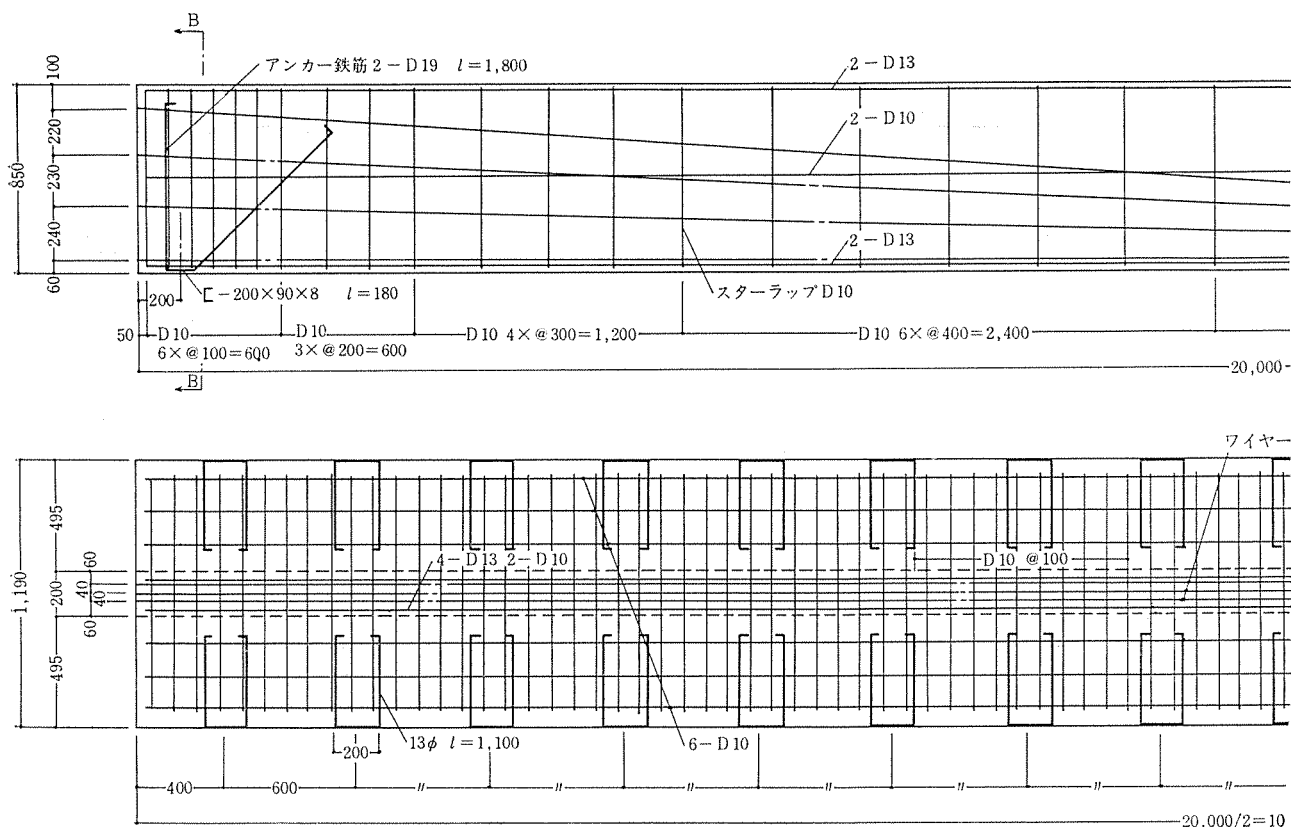
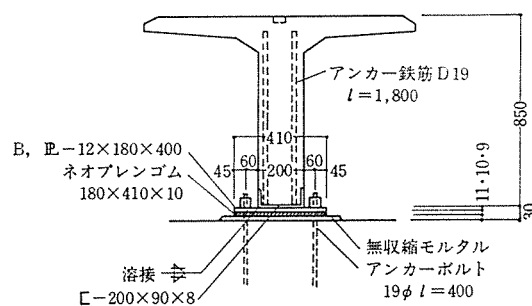
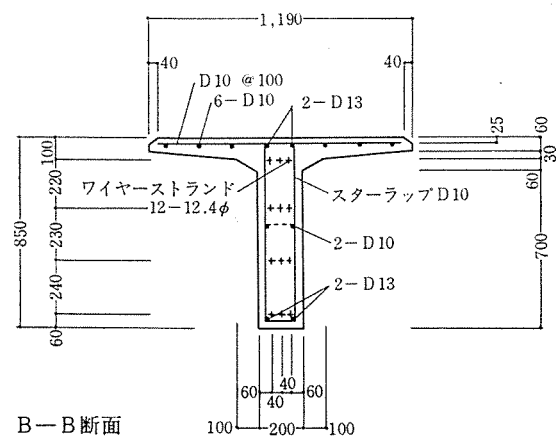
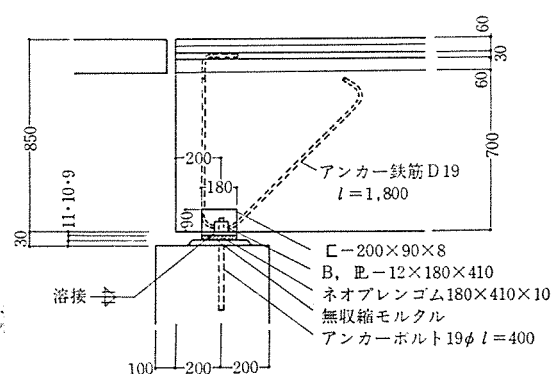
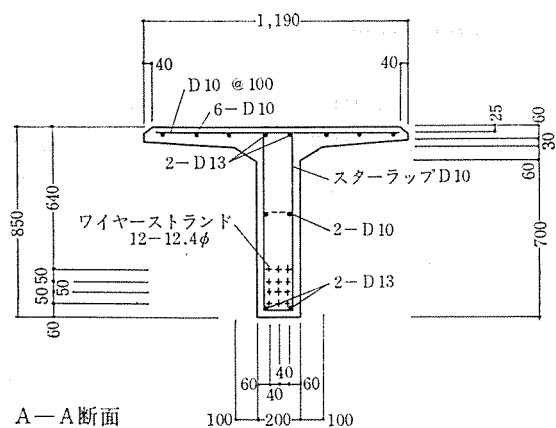
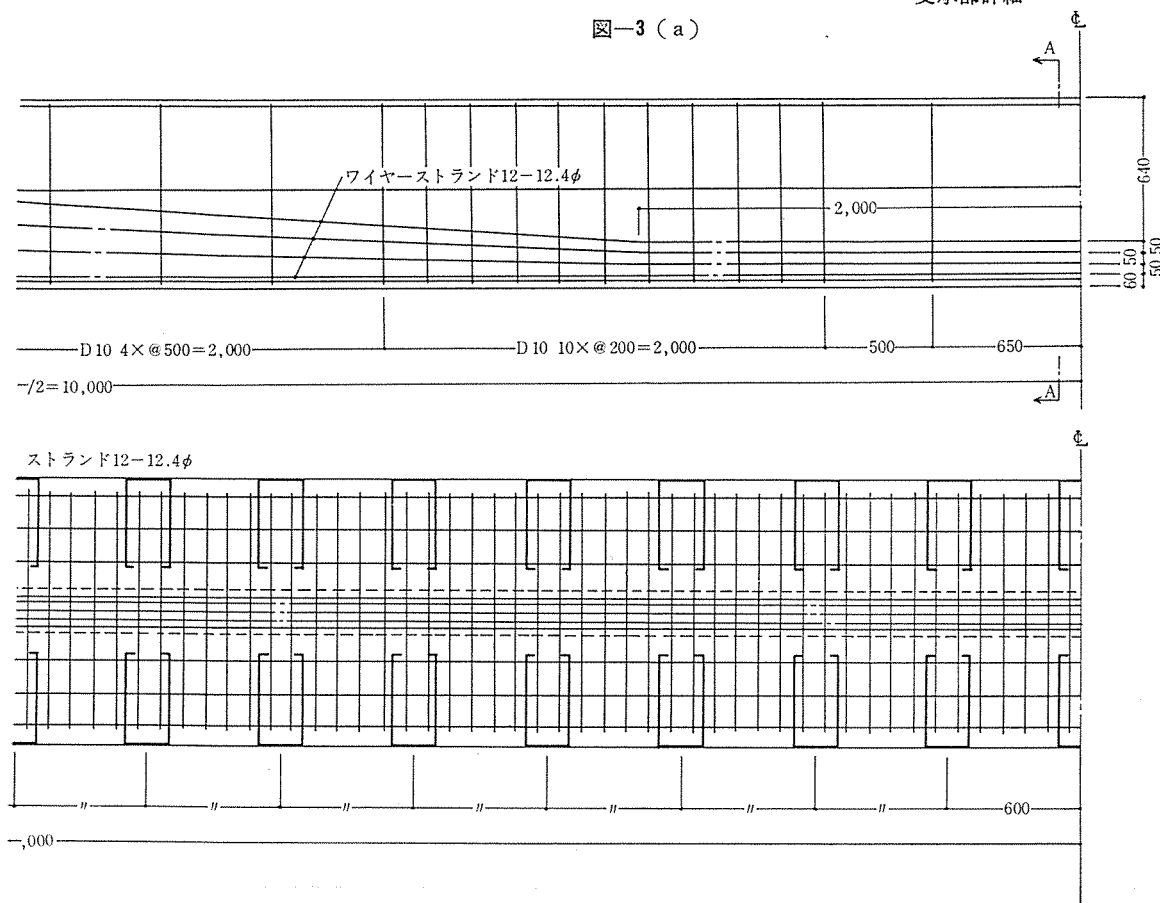


図-3 (b)



图—3 (a)



とし、ST スラブのステムとステムの間のスペースに横引ダクト、照明器具、消火設備などを納めた（図—2）。

ST スラブのピッチ 1.20 m はそのまま天井および床のグリッドの単位となり、展示用の支柱、パネル、ショーケースなどがグリッドに合わせて、自由に取り付けができるようになっている。

ST スラブの大きさは、スラブ幅 119 cm、高さ 85 cm（屋根用のみ端部で 85 cm、中央で 95 cm）、長さ 20 m（支点間距離 19.6 m）、スラブの平均厚さ 8 cm となっている。目地部は 60 cm おきに鉄筋によるシャーコネクターを設け、モルタルを充てんする（図—3）。

展示室棟の地震力は、短辺方向については両妻面の耐震壁に、長辺方向についてはST スラブを支持するラーメンにおおの負担させており、目地部は床組全体の水平剛性が確保され、せん断力が四周の耐震架構に十分伝えられるように設計した。

ST スラブを採用するにあたって 完成後の問題として

1) クリープ、積雪荷重、温度変化による ST スラブのたわみの変化が、展示用支柱、間仕切、防水等に及ぼす影響が問題になりはしないか。

2) 温度などによる 2 次応力を生じさせないために、実際にピン、ローラーに近い機能を持ち、かつ経済的な支承部が可能かどうか。

3) ST スラブに振動障害が生じないかどうか。
の 3 点があったが、これらの問題については、次のような考慮を行った。

（1） ST スラブのたわみの変化について

積雪荷重（長期 273 kg/m²）による ST スラブの中央部のたわみは 8 mm 程度、その上、温度、クリープによるたわみが若干加わり、一般の RC ばりと異なって、たわみが無視できない。そのため、防水層と押えコンクリートの間に発泡スチロール（厚 25 mm）を敷きつめて断熱材とし、ST スラブの上下面の温度差を少なくして、温度による変形を小さくするとともに、展示用支柱、間仕切壁と ST スラブとの納まりは、上下方向に ±15 mm の変化を許すようにした。

また、屋根用 ST スラブの防水については、支承部の回転についていけるよう、目地部の防水層に袋張りの補強を行った。

（2） 支承部の詳細

支承部には、ベースプレートと敷プレートとの間にネオプレーンゴム（厚 10 mm）を敷き、支承部の回転が比較的容易になるようにするとともに、片方の支承部のベースプレートのボルト穴はルーズホールとし、ST スラブの収縮に伴う支点の水平移動についていけるディテールとした。ベースプレートを溶接などによって固定することにより支承部付近にクラックが生ずることを避けようとしたものである。

（3） 振動について

ST スラブを目地部で相互に連続することにより床組全体が一体となり、人間の歩行程度では振動障害が生ずることはほとんどないと考えられたが、念のために、ST スラブの架設後振動測定を行い、まったく問題がないことを確めた。測定の詳細については以下に述べる。

4. 振動測定の概要

測定の対象としては表—1 の 4 ケースとした。

測定内容は次のとおりである。

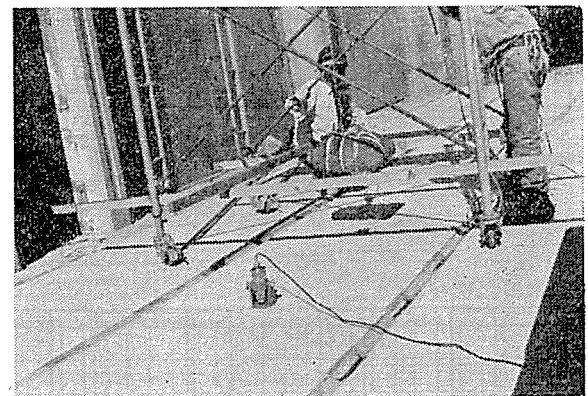
A：常時微動の測定

スラブ中央に検出器を置き、外乱のない状態で鉛直方向の常時微動の波形を記録する。

B：砂袋落下による測定

砂袋（30 kg）を、スラブ中央 P 点に 40 cm の高さ（砂袋下端の床面よりの高さ）より自然落下させる。検出器は図—4 の A₁～A₄ の各点に置き、振動波形を記録する（写真—3、図—5）。

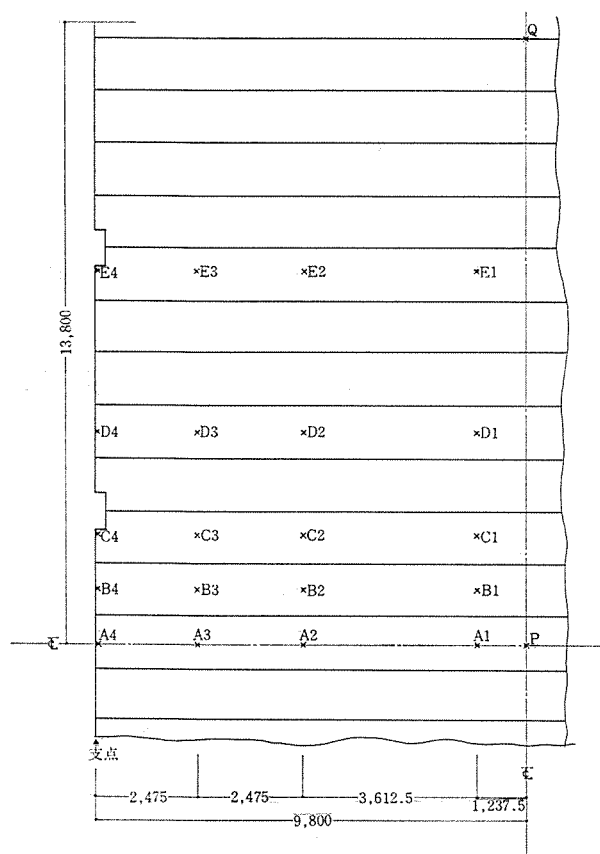
C：砂袋落下による人体感覚の測定



写真—3

表—1

測 定	ST スラブ	大 き さ	支 持 条 件	目 地 部	床 仕 上
I	単 体	19.6 m × 1.19 m	ピン	な し	な し
II	連 続 体	19.6 m × 28.8 m	短辺固定、長辺ピン	鉄筋溶接、モルタル充てん	な し
III	"	"	"	"	モルタル厚 30 mm
IV	"	"	"	鉄 筋 溶 接 の み	な し



図—4

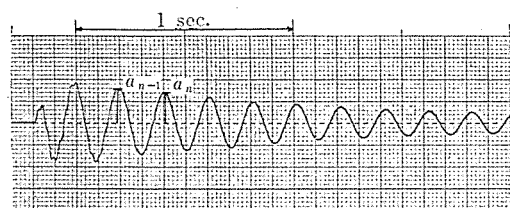
砂袋落下は、Bの場合とまったく同様とし、3人の観察者はおのおの 図—4 の $A_1 \sim A_4$, $B_1 \sim B_4$, $C_1 \sim C_4$, $D_1 \sim D_4$, $E_1 \sim E_4$ (測定 I は $A_1 \sim A_4$ のみ) の各点にて耳をふさいで落下音の聞えない状態で立ち、以下の感覚段階を記録する。検出器は A_1 , B_1 , C_1 , D_1 , E_1 の各点に置いて振動波形を記録する。

- 感覚段階
- 1 : 全く感じない
 - 2 : ようやく感ずる
 - 3 : よく感ずる
 - 4 : 強く感ずる

この感覚段階は、人間の主観によるもので、ばらつきはやむをえないが、前もって、各段階の振動を起して、観察者の判断基準をそろえる工夫をした。

D : 歩行による人体感覚の測定

3人の歩行者が、普通の歩調でスラブ上をスパン方向にそって支点から支点まで歩き、3人の観察者はスパン中央P点に立ち、感覚段階を記録する。同時に検出器に



図—5 ST スラブ単体の砂袋落下による振幅記録

より、P点での振動波形を記録する。

なお、測定には次の機器を用いた。

IMV Laboratory INC 製 VM 3300 LH 型トランジスタ振動計、熱ペン書記録方式
VP 9252 型振動検出器

5. 測定結果

ST スラブの材料試験結果を表—2に示す。

表—2

コンクリート	4週圧縮強度	$F_{28}=556 \text{ kg/cm}^2$
	プレストレス導入時強度	$f'_c=401 \text{ kg/cm}^2$
	弾性係数	$E_c=4.36 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
P C 鋼線 ストランド $\phi 12.4$	引張強度	$P_B=19\,300 \text{ kg/cm}^2$
	降伏点強度	$P_Y=18\,000 \text{ kg/cm}^2$
	弾性係数	$E_S=1.98 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

1次固有振動数 f は、記録された振動波形より周期の頻度分布を求め、その卓越周期より求めた。

減衰定数 h は振動波形より、隣りあう波の振幅 a_{n-1} , a_n の比 $d=a_{n-1}/a_n$ を無数にとり、最小 2 乗法により平均を求め、次式より算定する (図—5)。

$$h = \frac{1}{2\pi} \log_e d$$

また、スラブ中央P点に砂袋を自然落下させた場合の A_1 点の最大片振幅 (μ)、その振幅比、さらに振幅比の逆数を剛性比として算定した。

以上の結果をまとめて表—3に示す。

表—3

ST スラブ	1次固有振動数	同計算値	減衰定数	最大片振幅	振幅比	剛性比
I ST 単体	4.90 Hz	5.01 Hz	0.019	459 μ	1.00	1.00
II ST 連続床 床仕上なし	6.90	5.12	0.028	97	0.21	4.87
III ST 連続床 床仕上あり	7.60	5.16	0.044	37	0.08	12.50
IV ST 連続床 目地モルタルなし	5.00	—	0.017	205	0.45	2.22

なお表—3の1次固有振動数の計算値は、次のようにして求めた。ST スラブ単体の場合は、単純ばりの1次固有振動数として

$$f = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{EI}{\mu}}$$

l : スパン, μ : 単位長さ当りの質量, I : 断面 2 次モーメント, E : 弾性係数

また、ST スラブ連続体の場合は、19.6 m $\times$ 27.6 m の一枚スラブとみなし、直交異方性板の周辺単純支持の 1 次固有振動数として

$$f = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{1}{\mu} \left(\frac{D_x}{l_x^4} + \frac{D_{xy} + D_{yx}}{l_x^2 l_y^2} + \frac{D_y}{l_y^4} \right)}$$

l_x, l_y : x, y 方向のスパン

μ : 単位幅当りの質量

$$D_x = \frac{E}{1-\nu^2} I_x, \quad D_y = \frac{E}{1-\nu^2} I_y:$$

曲げ剛性

I_x, I_y : x, y 方向の単位幅当りの断面 2

次モーメント

D_{xy}, D_{yx} : y, x 軸まわりのねじり剛性

E : 弾性係数

ν : ポアソン比

より求めた^{1), 2)}。仕上モルタルがある場合は、スラブ厚に含めて算定した。

また参考までに砂袋落下による最大たわみ（動的たわみ） δ_d を、運動エネルギーと位置エネルギーの関係から算定すると³⁾

$$\delta_d = \delta_{st} + \sqrt{\delta_{st}^2 + 2h\delta_{st} \frac{1}{1 + \frac{17}{35} \frac{W_1}{W}}}$$

ここで h : 砂袋落下高さ, W_1 : ST スラブ自重, W : 砂袋重量, δ_{st} : 砂袋重量が静的に与えられたときのたわみ

$\delta_d = 524 \mu$ となり、測定値 459μ はこの 88% に相当し位置エネルギーの 10% あまりが衝撃の際に失われたことになる。

ST スラブの各点で観察された感覚段階と振動数、振幅との相関関係を、恕限度曲線とともにグラフに示すと図-6 のようになる。

6. 考 察

1 次固有振動数については、ST スラブ単体の場合測定値と計算値は比較的良好に一致しているが、ST スラブ連続体の場合は、測定値が計算値よりかなり大きくなっている。また、ST スラブ単体の場合に、測定値が計算値を下まわっているが、これは計算値算定に用いたコンクリートの弾性係数の実測値 $E_c = 4.36 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$ が実際よりやや大きすぎることによるものと思われる。

剛性比は、ST スラブ単体に比べ、ST スラブ連続体（仕上なし）は約 5 倍、ST スラブ連続体（仕上あり）は、12 倍以上の差があり、目地の鉄筋溶接、モルタル充填によって、隣りあう ST スラブが十分協同して働いてくれることを示している。

人体への感じ方については、砂袋落下の場合、ST スラブ単体、連続体いずれの場合も、支点付近を除き、多

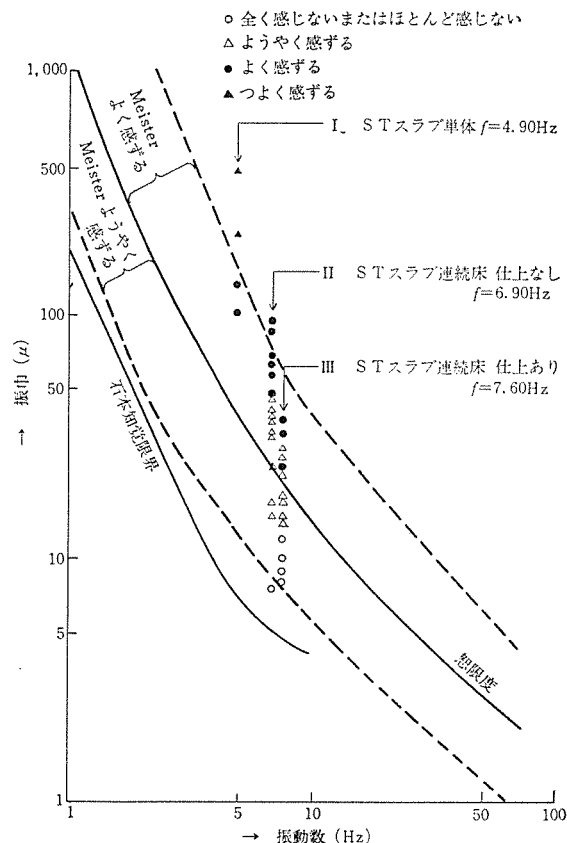


図-6

かれ少なかれ振動が感じられる。一方人間の歩行程度の外乱の場合は、ST スラブ単体の場合を除き、振動を感じずることは、ほとんどなく、展示室としての使用状況からすれば振動障害はまったくないとみてよい。これは、スラブ相互の接続により ST スラブが連続した一枚のスラブとして機能すること、その結果として、振動数の変化も若干あるが、何よりも、自重が圧倒的に大きくなり、かつ、減衰定数が大きくなることによるものと思われる。

恕限度曲線との関係は、この程度の測定で結論づけることは難しいが、Meister の恕限度曲線と比較的あっているといえよう。

7. おわりに

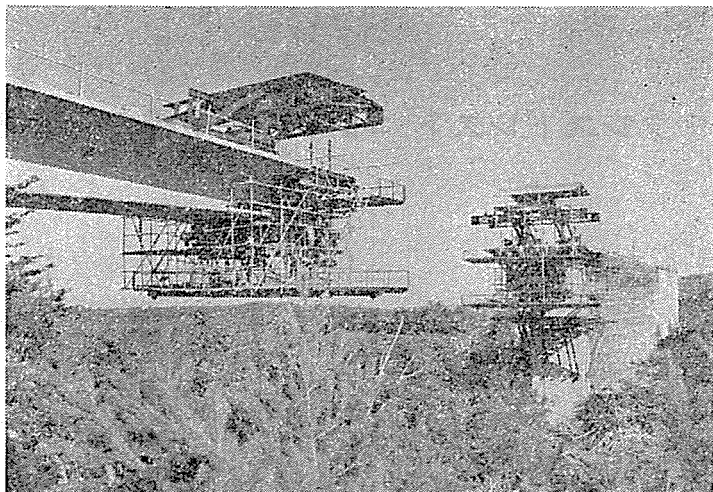
この測定の主旨を了解され、心よく協力していただいた鳥取県建築課、(株)熊谷組、ピー・エス・コンクリート(株)の方々にお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) S. Timoshenko: Theory of Plates and Shells
- 2) 林毅編: 軽構造の理論とその応用
- 3) S. Timoshenko: Vibration Problems in Engineering

1974.2.5・受付

PC架設機 の 設計・製作



180 T-M
現場打架設車

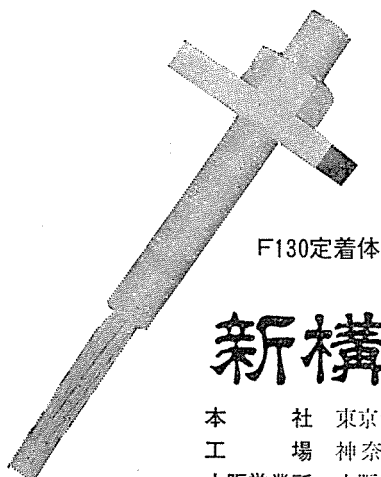
三信工業株式会社

東京都千代田区神田錦町1-4 (滝本ビル5階)

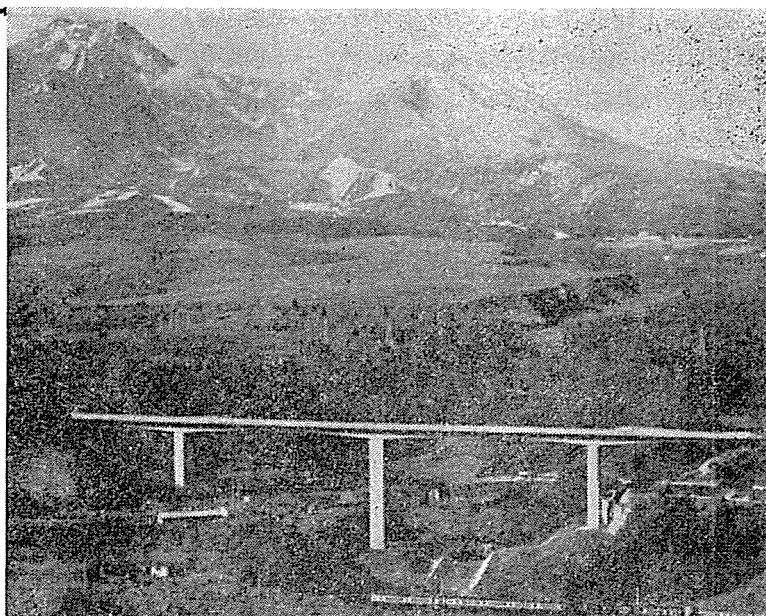
TEL (294) 5 1 3 1 ・ 5 1 3 2



S.E.E.E.工法は
最も安全・確実な
PC工法です。



F130定着体



妙高大橋 (北陸地方建設局)

新構造技術株式会社

本 社	東京都新宿区内藤町1番地(渋谷ビル)	TEL 03 (354) 3851 (代) ㊦160
工 場	神奈川県厚木市戸田長淵2514	TEL 0462(22)2199・3418 ㊦243
大阪営業所	大阪市西区鞠本町2-86(西本町ビル)	TEL 06 (443) 7 6 6 5 ㊦550