

(67) π スラブ合成床を使用した建物の実証試験

オリエンタル建設(株)技術部 正会員 沖田 佳 裕
オリエンタル建設(株)技術部 正会員 ○小山内 一 裕

1. はじめに

建設業界が活況を呈するようになって数年になるが、熟練工不足はいまだに解消されていない。これに対応するためにさまざまな試みがなされており、当社でも床型枠および場所打ちスラブ配筋作業の省力化を目的として π スラブ合成床工法を開発し、実用化した。

当実験は、 π スラブ合成床工法を屋根および2階床に適用した実構造物について、載荷実験および振動実験を行い、梁および合成床のたわみ、ひずみ、振動を測定した。更に実験結果から得られる構造物の挙動、応力、振動特性と解析値との比較検討を行い、応力解析および振動解析の方法が実用上妥当であることを検証した。

2. 建物概要

建 物 名：オリエンタル建設(株)技術研究所 用 途：事務所
構造種別：鉄骨鉄筋コンクリート構造 基 礎：P C 打ち込み杭、独立基礎
構造形式：R C 造耐震壁付きラーメン構造 床 構 造： π スラブ合成床(2 F, R F)
図-1、2 に平面図、断面図を図-3、4 に合成床断面図、 π スラブ取合詳細図を示す。

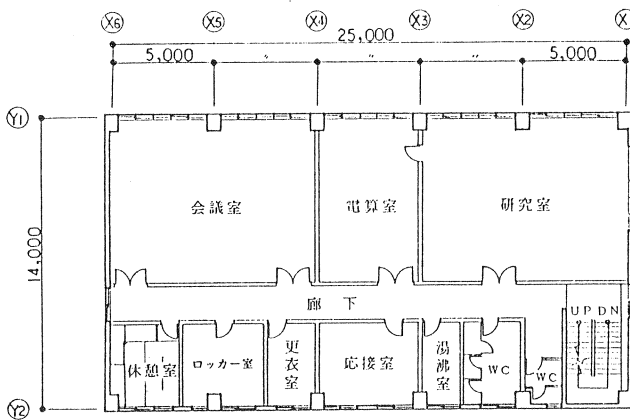


図-1 平面図(2階)

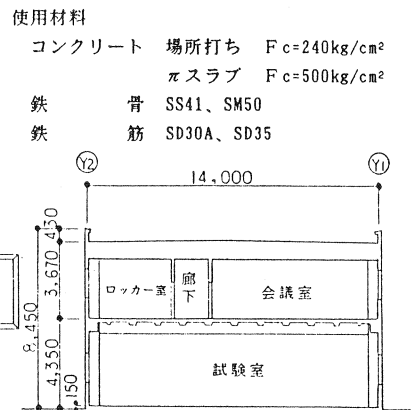


図-2 断面図

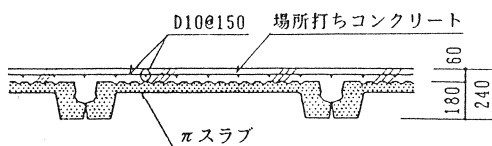


図-3 合成床断面図

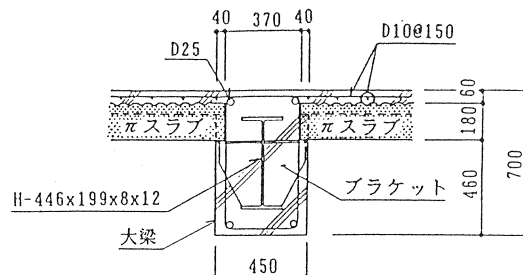


図-4 π スラブ取合詳細図

3. 載荷および測定の方法

変位およびひずみ測定のための載荷方法として図-5に示す斜線の位置に水槽を設置し $w = 300 \text{ kg/m}^2$ の設計床荷重相当の部分載荷を行った。振動実験はタイヤ ($W = 12 \text{ kg}$) を図-5のCの位置において 15 cm の高さからの落下、および2人歩行とし、A, B点で測定した。

測定方法

表面ひずみ: WSG ($120 \Omega \pm 0 \text{ L} = 60 \text{ mm}$)

変位: 電気式変位計 ($1/100 \text{ mm}$)

振動: 圧電型振動計 (PV-85)

4. 角解析

1) 変位・応力解析

まず、合成床を支持する大梁を含むフレーム (図-6) および、支点をピン支持とした4スパン連続床について任意形状骨組解析を行い、次に合成床を受ける位置の梁の変位量と、4スパン連続床の解析結果の反力から鉛直方向バネ常数の近似値を算定し、回転方向は、梁のねじり剛性をバネ常数として、支点を鉛直方向および回転方向に弾性支持された4スパン連続床として (図-7) 合成床の変位および応力を解析した。

合成梁の曲げ剛性は構造計算書の値を採用しており、床厚は合成床の平均厚としている。床の有効幅は日本建築学会RC規準による値を採用した。4スパン連続床の曲げ剛性は π スラブと場所打ちコンクリートの弾性係数の違いを考慮した有効剛性とした。

2) 振動解析の方法

振動数 梁、スラブ-----Bernoulli-Eulerの曲げ振動方程式 (1) による。

$$\text{振動数 (ns)} = \sqrt{EIg/wA} \cdot (\lambda s l)^2 \quad (1)$$

EI : 梁の曲げ剛性

g : 重力加速度

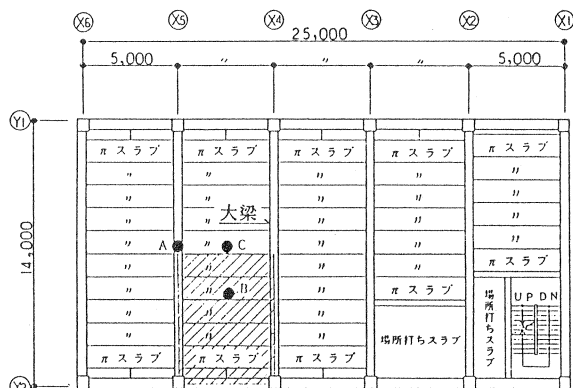
wA : 梁の単位長さあたり重量

$\lambda s l$: 曲げ振動固有値

建物全体-----2質点バネマス系として (2) 式により解析。

$$[M] \{\ddot{Y}\} + [K] \{Y\} = \{0\} \quad (2)$$

$$\text{質量マトリックス } [M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}, \quad \text{剛性マトリックス } [K] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix}, \quad \text{変位行列 } \begin{Bmatrix} Y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix}$$



A, B: 測定点 C: 落地点

図-5 載荷位置

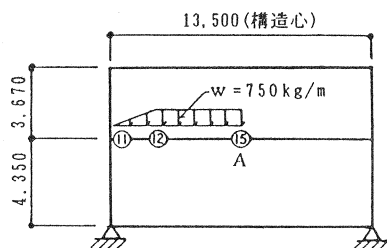


図-6 フレーム解析モデル

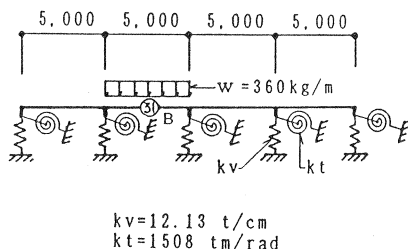


図-7 合成床解析モデル

振 幅：Hodgekinson, Coxの初等理論解（３）式による。

$$\delta d = \delta s t + \sqrt{\delta s t^2 + 2 h \delta s / (1 + \gamma W l / (35 W))} \quad \dots\dots\dots (3)$$

δd : Wが高さhから落下したときの振幅

W : 落下物重量

$\delta s t$: Wの中央静荷重時のたわみ

Wl : 分布荷重合計

γ : 係数；固定支持 $\gamma=13$ 、ピン支持 $\gamma=17$

h : Wの落下高さ

5 . 結 果 お よ び 考 察

単位：mm

1) 変位

変位計算に用いた部材の剛性は設計計算書の値を用いている。測定点A（大梁中央）の実験値は解析値に対し92.2%、B点における π スラブ合成床のそれは94.1%で解析値は実験値をよく表現しており、合成梁の剛性評価の方法は従来の方法で実用上支障はない。

2) 曲げモーメント、縁応力度

a. 曲げモーメント

図-8、9に各々梁と π スラブ合成床の曲げモーメントの実験値と解析値を示す。実験値は梁・ π スラブとも解析値に合っている。実験値の内、圧縮側の縁応力度より算出した曲げモーメントはほぼ解析値の曲線上に記されるが、引張側縁応力度より算出した曲げモーメントは解析値に比べやや小さい値となっている。

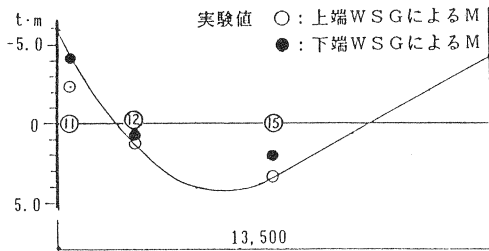


図-8 大梁の曲げモーメント

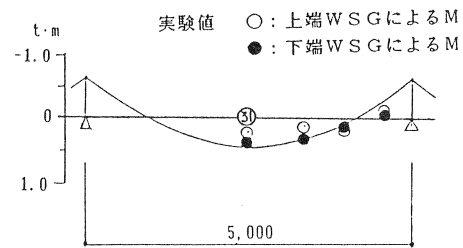


図-9 合成床の曲げモーメント

b. 大梁の縁応力度

梁の縁応力度を図-10～12に示す。節点11は柱面から100mmの位置で下側の圧縮応力度の大きい位置である。圧縮側応力度は解析値によく合っている。引張側では積載荷重 $w=50 \sim 100 \text{ kg/m}^2$ では乱れているが以降は解析値にほぼ平行である。

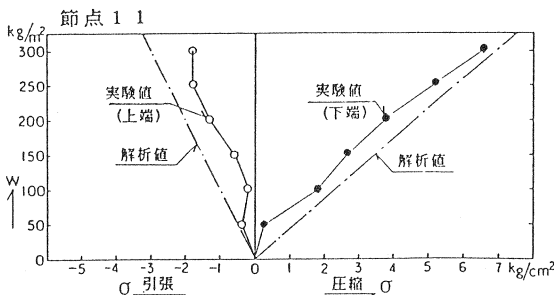


図-10 節点11の縁応力度履歴

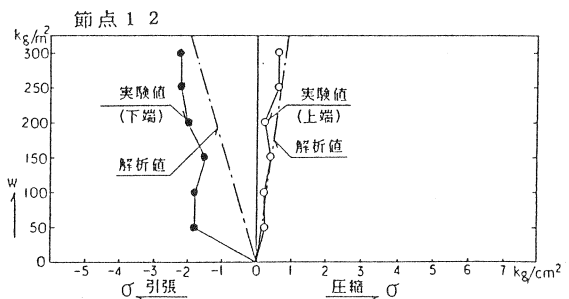


図-11 節点12の縁応力度履歴

節点12は曲げモーメントの向きが反転する位置よりやや中央よりで、応力度は引張、圧縮とも小さいが圧縮側の応力度は解析値によく合っている。節点15はSRC梁の中央で下側の引張応力度が大きい。節点15でも圧縮側応力度は解析値によく合っている。引張側では荷重 $w=150\text{ kg/m}^2$ までは解析値に近いが、それ以降は応力度の増加が小さい。

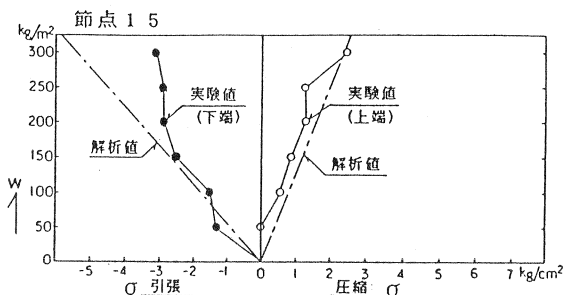


図-12 節点15の縁応力度履歴

全般に縁応力度の履歴曲線は圧縮側では直線的であり解析値にはほぼ合っているが、引張側では解析値に対して乱れている。これはSRC梁のコンクリートに生じた微小ひび割れ等によりコンクリートの連続性がなくなり、引張側のひずみの増加が局所的・非連続的であったことが推測される。圧縮側で実験値が解析値によく合っているのは、微小ひび割れが圧縮側では閉じており、コンクリート断面は連続性が保たれ、圧縮側ひずみの進行は連続的で、測定において微小ひび割れの影響を受けなかったためと考えられる。

これらの結果から判断すると、応力を算定するための梁の剛性計算におけるスラブの有効幅の決め方は、従来の方法で実用上差し支えないと思われる。

c. π スラブ合成床の縁応力度

π スラブの縁応力度を図-13に示す。縁応力度の履歴曲線は引張側（下端）は直線的であるが、圧縮側（上端）は荷重 $w=100$

kg/m^2 までは乱れている。これは下端にはプレストレスが導入されており、常に圧縮応力状態であるためひび割れがなくコンクリートの表面ひずみの進行が連続的であること、上端は場所打ちコンクリートであり、乾燥収縮などによる微小ひび割れにより、コンクリートの表面ひずみの進行はひび割れが閉じるまではスムーズでないためと考えられる。

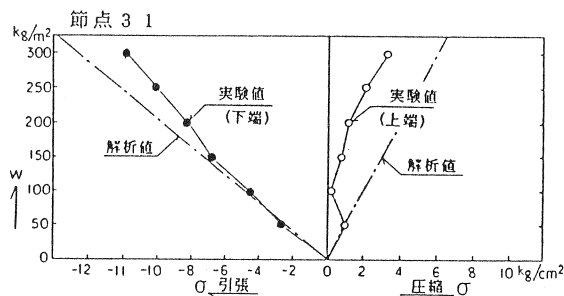


図-13 節点31の縁応力度履歴

3) 振動

図-5のA点（大梁中央）、B点（ π スラブ合成床中央）とも加振位置から離れているため振幅は加振位置で測定する場合より小さくなっている。解析による建物の固有振動数はX方向 $f_x=9.2\text{ Hz}$ 、Y方向 $f_y=6.8\text{ Hz}$ である。

a. 大梁

図-14、15に大梁中央位置における振動波形図を示す。載荷がある場合、ない場合とも最大振幅は 25μ 前後で、解析による固定支持に近い値を示す。

図-16、17に図-14、15のフーリエ解析結果を示す。

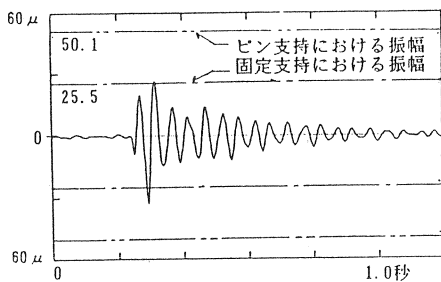


図-1 4 無载荷時振動波形図

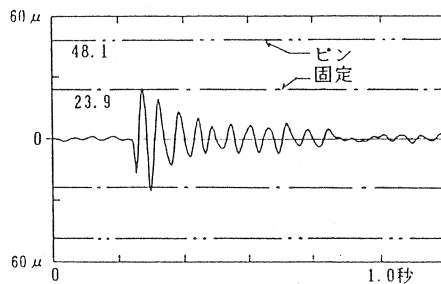


図-1 5 载荷時振動波形図

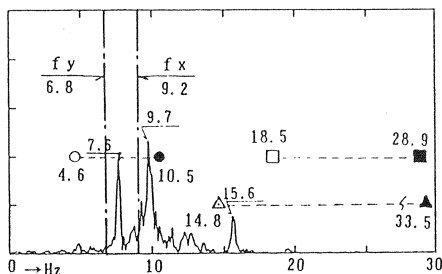


図-1 6 無载荷時フーリエ解析図

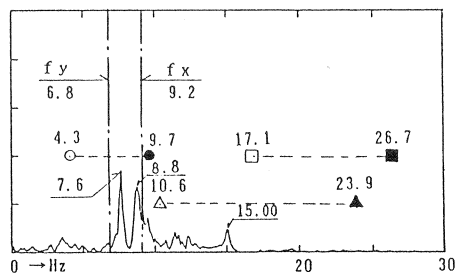


図-1 7 载荷時フーリエ解析図

大梁の解析による1次モードの振動数の範囲（ピンー固定）には2つのピークがあるが振動数の小さい方のピークは図-1 6、1 7、

2 0、2 1を比較すると $w=300 \text{ kg/m}^2$ の载荷には左右されず、一定の振動数を成分として有していることを示す。その振動数は $f=7.6 \text{ Hz}$ であり建物のX方向の振動数 $f_x=6.8 \text{ Hz}$ に近い。これらから、大梁の振動数は無载荷時 $f=9.7 \text{ Hz}$ 、载荷時 $f=8.8 \text{ Hz}$ と推定することができ、その値は固定支持の振動数に近い。解析による2次モードの振動数の範囲にはピークはなく偏荷重にも拘らず2次モードの成分はわずかなものと考えられる。

b. π スラブ合成床

図-1 8、1 9に π スラブ合成床中央（B点）の振動波形を示す。フーリエ解析図（図-2 0）で $f=15.6 \text{ Hz}$ の位置にピークがみられ、解析による π スラブ合成床の振動数の範囲（ピンー固定）に入っており、これが π スラブ合成床の振動数であると考えられる。载荷時の解析上の振動数は $f=10.6 \sim 23.9 \text{ Hz}$ と、無载荷時（ $f=14.8 \sim 33.5 \text{ Hz}$ ）

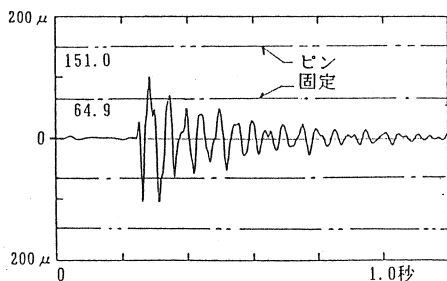


図-1 8 無载荷時振動波形図

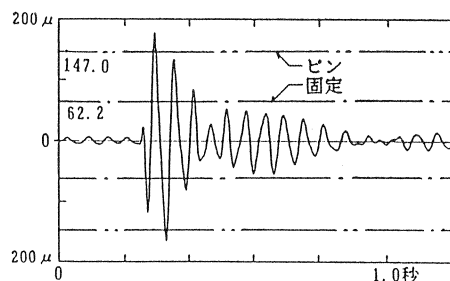


図-1 9 载荷時振動波形図

凡例 ○:大梁1次モード 白抜き:ピン
□:大梁2次モード 黒塗り:固定
△:合成床1次モード

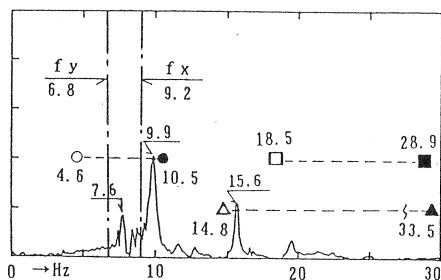


図-2 0 無載荷時フーリエ解析図

に比べて小さくなっているが、 π スラブ合成床の振動数の位置と考えられるピークの位置は15.1 Hzとわずかに小さくなっているにすぎない。

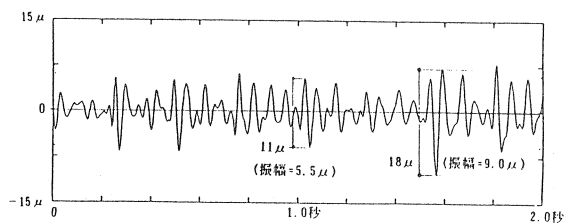


図-2 2 梁の長さ方向歩行時

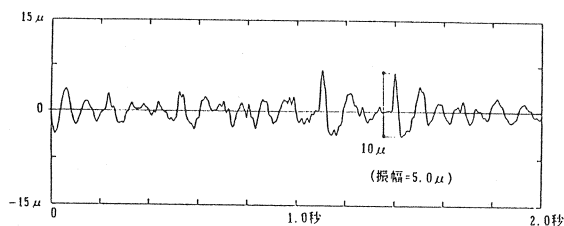


図-2 3 梁と直角方向歩行時

c. 2人歩行による振動

2人歩行時の大梁の振幅は図-2 2 における9.0 μ という一時的な振幅をのぞけば約5 μ 前後(図-2 2、2 3)の振幅となっている。載荷時に $f = 8.8$ Hzであることを考慮すると、RC規準におけるMeisterの振動感覚曲線ではA曲線(ようやく感ずる下限値)よりも下に位置し、また環境係数は3程度(図-2 4)で、住宅・病院の値に近く、事務所ビルとしては良好な振動特性であるといえる。

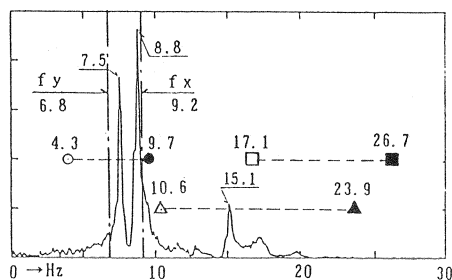


図-2 1 載荷時フーリエ解析図

解析値 ピン支持における振幅=16.6 μ

固定支持における振幅=7.5 μ

Meisterの振動感覚曲線の区分

A: ようやく感ずる下限値

B: 日本建築学会「建築物の振動障防止に関する設計基準値(案)

C: よく感ずる下限値

D: 強く感ずる下限値

床スラブの振動評価曲線の区分

用 途	環境係数
精密作業区域	1.0
住宅・病院	2.0
事務所・学校	4.0
作 業 所	8.0

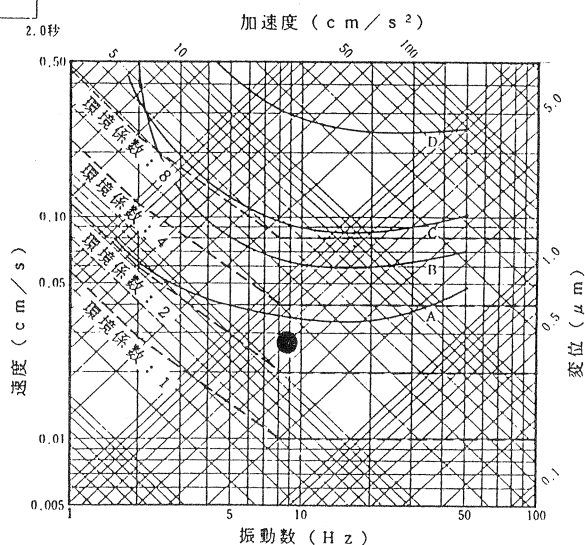


図-2 4