

1. まえがき 本研究ではレジンモルタル梁のスパン中央に鋼球を落下させて横衝撃を加え、それによって生ずる歪み波の伝播の状況を調べると同時に、レジンモルタルの耐衝撃性について検討する。又、梁の横振動に関する Timoshenko 式を差分的手法で解く方法を開発し、実験データと比較することにより、差分解法の適用性について検討する。

2. 差分解法 梁の横振動に関する Timoshenko 式は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} E \cdot I \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + k' \cdot G \cdot A \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - I \cdot \rho \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial t^4} &= 0 \\ \rho \cdot A \cdot \left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) - k' \cdot G \cdot A \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ただし、 E :弾性係数、 I :断面2次モーメント、 k' :梁の剪断係数、 G :剛性率、 A :断面面積、 ρ :単位体積重量、 g :重力の加速度、 y_b, y_s :それぞれ曲げおよび剪断による梁のたわみ、 $y = y_b + y_s$:梁の鉛直方向変位。

鋼球と梁との接触については Hertz の式、 $F = k \cdot \alpha^{\frac{3}{2}}$ 、 $\alpha = y_r - y_s$ ……(2) (k : Hertz の定数、 y_r, y_s :それぞれ鋼球および梁の載荷点の変位)を用いる。(1)、(2)式と鋼球の運動方程式 $m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} = -F$ (m :鋼球重量)……(3) を組合わせることによって梁の横衝撃を解くことが出来る。

(1)式および(3)式を1次の微分方程式に分解し、その各口を差分式に転化して得られる1次方程式群に(2)式を加えたものを適宜に排列しなおす。梁を要素に分解し、衝撃後の経過時間を微小時間 Δt に分解する。一つの時間間隔について上記の1次方程式群を各要素ごとに上から順に解いて行く。これを各時間間隔ごとに反復することによって、梁各部のたわみ、曲げモーメント等の波形状が得られる。

3. 静的試験 レジンモルタルの結合材には不飽和ポリエステル(武田薬品工業製)を用いた。その配合を表1に示す。供試体は特別な高温養生はせず、材令7日以降において各種試験を行った。圧縮および引張(割裂)試験には $\phi 5 \times 10 \text{ cm}$ 円柱供試体を用いた。曲げ試験は $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ 供試体についてスパン 10 cm 中央1点載荷で行った。各種試験の結果を表2に示す。なお、圧縮破壊歪みは $\epsilon_{cu} = 5.2 \times 10^{-3}$ 、曲げ破壊歪みは $\epsilon_{bu} = 1.85 \times 10^{-3}$ であった。

衝撃実験に用いるのと同じ寸法の $5 \times 5 \times 50 \text{ cm}$ の供試体について、スパン 45 cm 、3等分2点載荷で行った曲げ試験では曲げ強度 $\sigma_{bu} = 270 \text{ kg/cm}^2$ 、曲げ破壊歪み $\epsilon_{bu} = 1.35 \times 10^{-3}$ の結果が得られた。この ϵ_{bu} の値と上記の $\epsilon_{bu} = 1.85 \times 10^{-3}$ との差は寸法効果および載荷条件の差によるものと思われる。このことに関して、 $5 \times 5 \times 50 \text{ cm}$ 供試体の曲げ試験の際に、スパン中央断面の歪み分布を調べたところ、破壊近傍に到るまで直線分布が保持され、しかも中立軸の移動は認められなかった。

$3 \times 3 \times 60 \text{ cm}$ の供試体に縦衝撃を加えて自由振動を発生させ、その減衰状況から対数減衰率 Δ を求め、 $\Delta = 0.077$ の値を得た。

自由硬化収縮ひずみは $5 \times 5 \times 40 \text{ cm}$ の供試体の中央に埋込みひずみゲージをセツトして測定し、約 0.5% の最終値を得た。

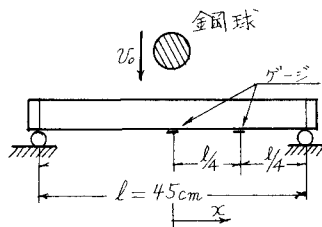


図1 レジンモルタル梁

表1 レジンモルタルの配合(重量比)

樹脂	ポリマーLVXGK2	20%
砂	豊浦産	56%
炭酸カルシウム		24%
促進剤	ナフテン酸エポキシ	0.5%
硬化剤	ルパゾール DDM	ポリマーの0.55%

表2 レジンモルタルの特性

単位体積重量	0.002 kg/cm^3
静的弾性係数	$2.16 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
動 " "	$2.33 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
ポアソン比	0.275
圧縮強度	986 kg/cm^2
引張強度	112 kg/cm^2
曲げ強度	375 kg/cm^2

4. 衝撃実験

実験梁としては $5 \times 5 \times 50 \text{ cm}$ (スパン $l = 45 \text{ cm}$) の寸法のものを用い、両端は単純支持とした。スパン中央ならびに $l/4$ 点の下縁に共和ゲージ K10A1 を貼付した。(図1) 梁のスパン上縁に種々の落高で鋼球を落下させて横衝撃を加え、ゲージ貼付位置の歪み波形をシンクロスコープ DS 5016 で観測した。鋼球は重量 $0.096, 0.30, 0.54 \text{ kg}$ のものを用いた。実験結果として得られた歪み波形の一例を写真1に示す。

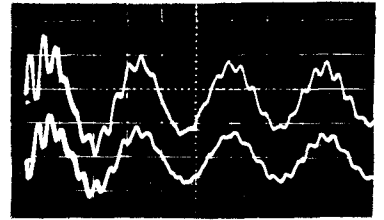


写真1 鋼球重量 0.3 kg , 落高 10 cm

上: スパン中央, 下: $l/4$ 位置歪み波形
縦 $16.67 \times 10^{-5} \text{ strain/div.}$ 横 1 ms/div.

5. 計算データ

上記の実験を追跡するために行った差分解法による計算では、時間間隔 $\Delta t = 0.5 \times 10^{-6} \text{ sec}$, 梁の分割数 $nd = 20$, 梁断面の剪断係数は $\kappa' = 0.6667$ とした。なお、鋼球の弾性係数およびポアソン比は $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, 0.29 とした。

6. 実験結果および計算結果の検討

(1) 梁材料の内部摩擦を考慮しない場合、差分解法で得られた理論歪み波形と実測歪み波形とは立上り初期の部分では大畧一致したが、その後においてはかなりの開きが出て来ている。内部摩擦を考慮することによって、少くとも過渡振動の領域ではかなりよく一致させることが出来るように思われる。(図2) 本研究では梁材料の内部摩擦係数で $5 \times 10^{-6} \sim 10^{-5} \text{ sec}$ 程度にした時に良好な結果が得られたが、歪み波の減衰の原因としては、むしろ支座におけるエネルギー消散によるものの方が大きいように思われる。

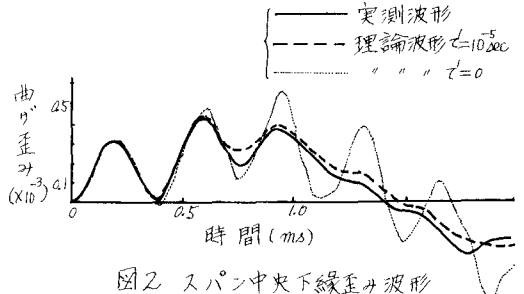


図2 スパン中央下縁歪み波形
(鋼球重量 0.3 kg , 落高 20 cm の場合)

(2) 一種の近似解法である差分解法による解は振動形解析法による解と大畧一致した。過渡振動の領域では差分解法の適用性は良好で、充分使用することが出来るように思われる。

(3) 衝撃によるスパン中央下縁の最大曲が歪みは衝撃速度に大畧比例した。(図3) しかもこの比例関係は破壊直前まで持続するように思われる。衝撃による曲が破壊歪み $\epsilon_{bu} = 1.3 \times 10^{-3} \sim 1.4 \times 10^{-3}$ 程度で、3. で述べた静的曲が破壊歪み $\epsilon_{bu} = 1.35 \times 10^{-3}$ と同程度であった。

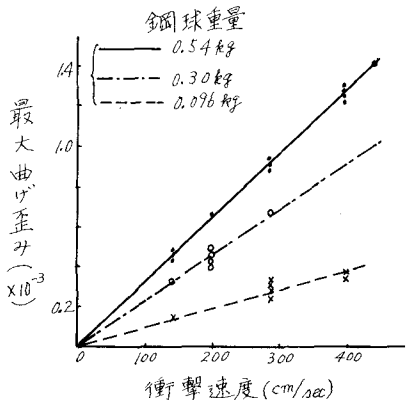


図3 衝撃速度と最大曲が歪みとの関係

(4) 鋼球重量が異なっても、打撃エネルギーが等しい場合には最大曲が歪みはお互にかなり近い値を示した。しかし、鋼球重量の大きな場合の方が大きな曲が歪みの値を示している。(図4)

本実験の範囲では $5 \times 5 \times 50 \text{ cm}$ の梁は $50 \sim 60 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ 程度の打撃エネルギーで破壊した。同一寸法のセメントモルタル梁 ($1:2$ モルタル, $\sigma_{cu} = 60 \text{ kg/cm}^2$) はその $1/10$ 程度の打撃エネルギーで破壊した。

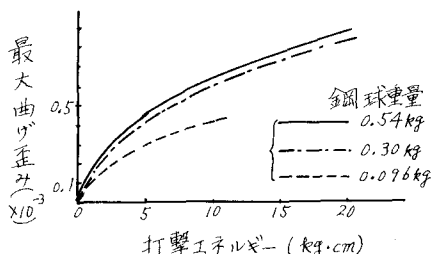


図4 打撃エネルギーと最大曲が歪みとの関係

参考文献

- 1) 久良喜次郎, Timoshenko 梁の差分解法, 土木学会中国四国支部講演集, 1981.
- 2) 岡田清, 徳永博文, レジコンクリートはりの力学的特性, 材料, 27巻318号, 1980.