

振り子式衝突実験によるコンクリートの局部減衰定数の決定法

防衛大学校 鈴木真次 石川信隆

京都大学 水山高久 建設省土木研究所 石川芳治

山口大学 古川浩平 八千代エンジニアリング 松永 繁

1. 緒言

土石流中の巨礫を受けるダム袖部の衝撃応答を調べる場合¹⁾、岩石とコンクリートの衝突である衝突局部において失われる局部損失エネルギーを正しく評価しなくては、構造物全体の破壊状況の正しい解析はできない。

そこで本研究は、まず衝突局部において、衝突前後で損失するエネルギーを振り子式衝突実験により直接測定する方法を考案し、コンクリートの局部損失エネルギーを測定した。その後、この実験結果を用いてフォークトモデルにおける減衰定数の決定を試みた。

2. 実験の概要と結果

2. 1 実験方法

衝突局部の損失エネルギーを直接評価するため、図-1に示すような振り子式衝突実験装置を用いて衝突前後に散逸するエネルギーを測定した。実験は、図-2に示すように衝突体 m_1 をある高さから落とし、コンクリート等の供試体を取り付けた被

衝突体 m_2 に衝突させ、衝突後の m_1 、 m_2 の最高点をビデオにより測定するものである。よって、局部損失エネルギー ΔE は次式により求められる。

$$\Delta E = m_1 g H_0 - m_1 g H_1 - m_2 g H_2 \quad (1)$$

ただし、 m_1 :衝突体の質量、 m_2 :被衝突体の質量、 H_1 :衝突体 m_1 の高さ、 H_2 :被衝突体 m_2 の高さ、 g :重力加速度、 H_0 :衝突体の初期振り上げ高さ。

実験ケースを表-1、コンクリート供試体の諸元を表-2に示す。

表-1 実験ケース

材料	厚さ (T)	衝突速度 (V_0)
コンクリート	3cm	100cm/sec
	5cm	300cm/sec
	7cm	400cm/sec
	9cm	

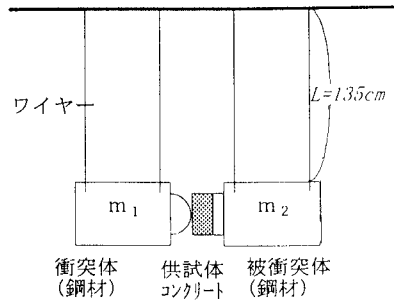


図-1 振り子式衝突実験装置

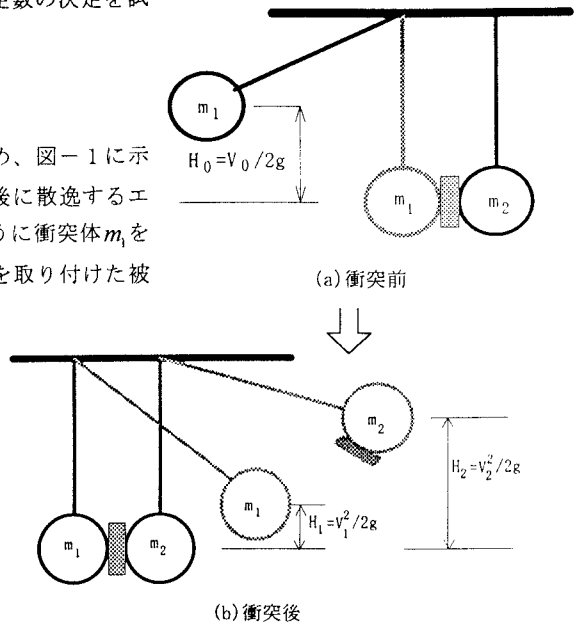


図-2 振り子式実験装置による損失エネルギーの算定原理

図-2 コンクリートの諸元

項 目	数 量
水セメント比(kgf/m ³)	0.47
セメント(kgf/m ³)	600
水(kgf/m ³)	298
細骨材(kgf/m ³)	1300
圧縮強度(kgf/cm ²)	400

2. 2 実験結果

図-3は、コンクリート供試体の厚さ h をパラメータとしてコンクリートの損失エネルギー率 $\Delta E/E \sim$ 衝突速度 V_0 関係を示したものである。これより、コンクリートの局部損失エネルギー率 $\Delta E/E$ は速度に依存し、本実験の範囲内では約50%～60%程度であることがわかる。

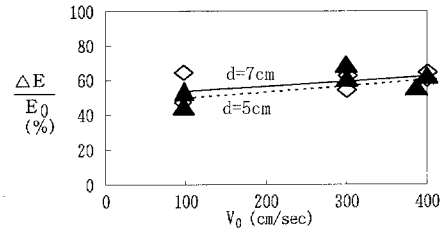


図-3 コンクリートの損失エネルギー率 $\Delta E/E_0 \sim$ 衝突速度 V_0 関係(厚さ d を変化)

3. 局部減衰定数の決定

衝撃応答解析で多く用いられているばねとダッシュボットが並列なフォークトモデルにおいては、局部減衰定数の決定が問題となる。まず、図-4のダミー質量 $m d$ を考慮したモデルの運動方程式は次式のように表される。

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + c(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k(x_1 - x_2) &= 0 \\ (m_2 + m d) \ddot{x}_2 - c(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k(x_1 - x_2) &= 0 \end{aligned} \right\} (1)$$

ただし、 k ：局部ばね定数、 c ： $\left[-2h \sqrt{\frac{m_1(m_2 + m d)}{m_1 + m_2 + m d}} k \right]$ ：局部減衰係数、 h ：局部減衰定数 x_1 ：衝突体の座標、 x_2 ：被衝突体の座標

ここで、ダミー質量を導入した理由は、被衝突物体内部に振動等で損失するエネルギーを考慮するためである。

この微分方程式を解くと衝突体と被衝突体の衝突後の高さ H_1 、 H_2 は次のようになる。

$$H_1 = \frac{\left(e^{-p t} V_0 \left(\frac{m_2 + m d}{m_1 + m_2 + m d} \right) (-p \sin \omega t + \omega \cos \omega t) + \frac{m_1}{m_1 + m_2 + m d} V_0 \right)^2}{2g} \quad (2a)$$

$$H_2 = \frac{\left(-e^{-p t} V_0 \left(\frac{m_1}{m_1 + m_2 + m d} \right) (-p \sin \omega t + \omega \cos \omega t) + \frac{m_1}{m_1 + m_2 + m d} V_0 \right)^2}{2g} \quad (2b)$$

ただし、 $p = h \sqrt{\frac{k}{M}}$ 、 $\omega = \sqrt{\frac{k}{M}(1-h^2)}$ 、 $M = \frac{m_1(m_2 + m d)}{m_1 + m_2 + m d}$ 、 $t = \frac{\pi}{\omega}$ 、 $V_0 = \sqrt{2gH_0}$

4. 数値計算結果

このモデルを用いて、 $m_1 = 22.90 \text{ kgf}$ 、 $m_2 = 22.52 \text{ kgf}$ (5cm)、 22.82 kgf (7cm)、 $k = 4544 \text{ kgf/cm}$ (5cm)、 4506 kgf/cm (7cm) を式(2)に代入したうえで実験値の H_1 、 H_2 と等しくなるように局部減

衰定数 h とダミー質量 $m d$ を同定すると、図-5(a)、(b)に示す結果が得られる。これより、局部減衰定数 h は速度に大きく依存することが明らかになった。これは、衝突速度の増加により局部でのコンクリートの破壊がより激しく大きな範囲で起こっているためと考えられる。

5. 結論

(1) 振り子式衝突実験により、局部損失エネルギーを計測することができた。(2) コンクリートの局部損失エネルギーは、速度に依存し本実験の範囲内では約50%～60%程度であった。(3) 衝突による局部減衰定数 h は、ダミー質量を考えたモデルにより決定することができ、衝突速度に大きく依存することが明らかとなった。

参考文献：1) 鈴木真次、石川信隆、水山高久、石川芳治、古川浩平；RC製砂防ダム袖部の動的終局限界状態について、第49回年次学術講演会講演概要集第1部(B)、pp. 1618～1619、平成6年9月

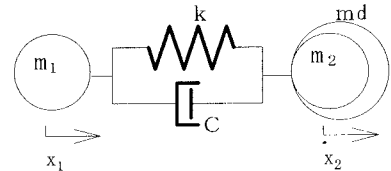
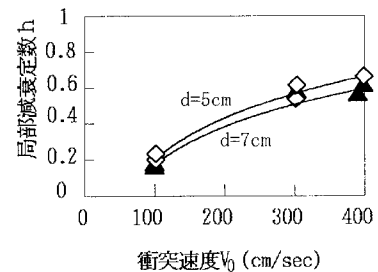
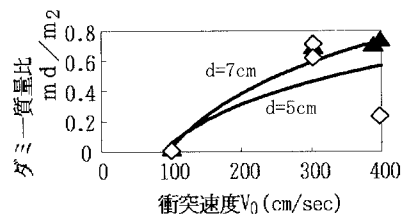


図-4 解析モデル



(a) コンクリートの局部減衰定数 h



(b) コンクリートのダミー質量比 $m d / m_2$

図-5 減衰定数およびダミー質量比の同定結果