

I-670

個別要素法によるラバー付きモルタル片持ばりの衝撃応答解析

防衛大学校土木工学科○鈴木 真次

八千代エンジニアリング 関 下田 義文

防衛大学校土木工学科 石川 信隆

山口大学工学部 古川 浩平

1. 序言

急流河川域にコンクリート製砂防ダムが建設されているが、土石流中の巨礫の衝突により、その袖部がしばしば破壊する例がみられた。そのため、砂防ダムに各種の緩衝材を取り付け、土石流の衝撃力を緩衝させる試みがなされ、緩衝材に関する実験^{1), 2), 3)}が行われた。その一つとしてラバーがどのような緩衝効果を示すかを実験的に確かめた²⁾が、緩衝材(ラバー)に対する解析的な検討は行われていなかった。一方、個別要素法によって、ラバーのような非線形挙動、つまり大きな変位に対して硬化現象を示すような材料に対して解析をした例は未だ見当たらない。

そこで、本研究では、個別要素法によるラバーへの適用を試み、まずラバーに対する鋼球の静的めり込み実験をシミュレートした。次いでラバー付きモルタル片持ばりの衝撃応答解析を行い、その衝撃緩衝効果を考察した。

2. 解析モデル

ラバーは均一な物体とみられるため、従来の研究⁴⁾と同じばねとダッシュポットが並列に並んでいるフォークト要素⁵⁾モデルとする。しかし、ラバーは強い非線形挙動を示すので、ここでは以下のようなばね力と減衰力を導いた。まずラバーのばねによる応力は、以下の式⁵⁾で表される。

$$\sigma = G_G (\lambda - 1 / \lambda^2)$$

$$\dots (1)$$

$$\tau = G_G \cdot \gamma$$

$$\dots (2)$$

ただし、 σ : 応力、 G_G : ラバーの弾性率、 λ : 伸長比 (=ある時刻の部材長/当初の部材長)。

τ : せん断応力、 γ : せん断ひずみ

よって、ラバーの要素どうしのばね力は次のようになる。

$$e_n = -A \cdot G_G (\lambda - 1 / \lambda^2) = -A \cdot G_G (R_{1j} / R_{0j} - R_{0j}^2 / R_{1j}^2) \quad \dots (3)$$

$$e_s = A \cdot G_G \cdot \gamma = A \cdot G_G \cdot U_s / R_{0j} \quad \dots (4)$$

ただし、 e_n : 法線方向のばね力(圧縮を正)、 A : 有効接触面積、 R_{1j} : 時刻 t の要素間距離、

R_{0j} : 要素間の初期距離、 e_s : 接線方向のばね力、 U_s : 接線方向の変位

次に、ラバーの減衰係数 η は、ばね係数 k によって次式のように表される。

$$\eta = k \ell / \omega \quad \dots (5)$$

$$\ell = 2 \sin \phi \quad \dots (6)$$

$$\ln(R/100) = -2 \pi \tan \phi \quad \dots (7)$$

ただし、 η : 減衰係数、 k : ばね定数、 ω : 外力の周波数、 ℓ : ラバーの損失係数、 R : 反発弾性(%)、

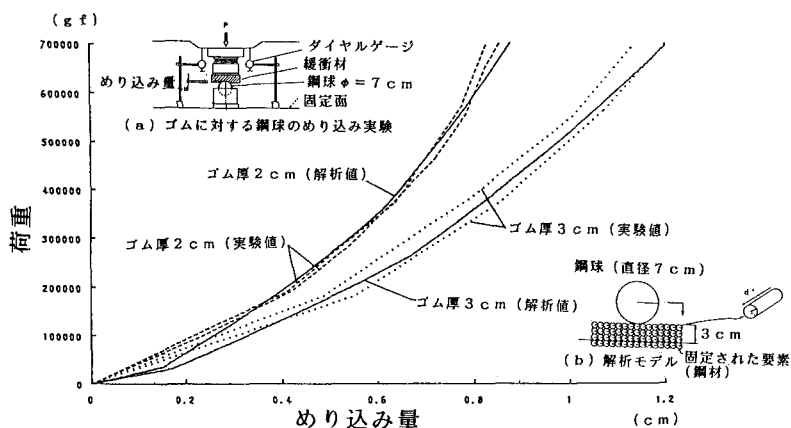


図-1 ゴムに対する鋼球のめり込み実験結果および解析

φ: 損失角

よって、ばねの減衰力は、法線方向および接線方向に対してそれぞれ次式のように表される。

$$d_n = \eta_n \cdot \Delta U_n / \Delta t = E_0 \cdot A / R_{1j} \cdot l / \omega \cdot \Delta U_n / \Delta t \quad \dots (8)$$

$$d_s = \eta_s \cdot \Delta U_s / \Delta t = A \cdot G_0 / R_{1j} \cdot l / \omega \cdot \Delta U_s / \Delta t \quad \dots (9)$$

ただし、 d_n : 法線方向の減衰力、 η_n : 法線方向の減衰係数、 E_0 : ラバーの初期弾性 (= $3 G_0$)、 ΔU_n : 法線方向の増分変位、 Δt : 時間刻み、 d_s : 接線方向の減衰力、 η_s : 接線方向の減衰係数、 ΔU_s : 接線方向の増分変位。なお、本研究ではラバーの破壊は生じないものとした。

3. 静的めり込み実験に対する解析

ラバーに対する静的めり込み実験²⁾を図-1(a)のように行い、ラバーの厚さによって異なる荷重〜めり込み量関係を図-1のように得た。これより、ラバー自体の厚さが厚いほど荷重は小さくなることが確認された。そこで、本解析では、ラバー要素を図-1(b)のように積み上げてシミュレーション解析を行った。まず、ラバー厚3cmのモデルに対して荷重〜めり込み実験結果と一致するような有効奥行き d' をパラメトリックに決定した。次いで、同じ有効奥行き d' (= 2.94cm) を用いてラバー厚2cmに対して解析した結果、実験値と解析値の比較的良好一致を見た。

4. 鋼球の衝突によるラバー付きモルタル片持ばりの衝撃応答解析

次に、図-2に示すようなラバー付きモルタル片持ばりに対して、モルタル片持ばり要素(直径1.5cm)とラバー要素(直径1cm)とにモデル化し、直径7cmの鋼球を衝突(速度4m/sec)させた。片持ばり自体の作用力は根元部に大きく現れ、ラバー自体は衝突点部に大きく現れる。また、衝突時にラバーの両端が跳ね上がり、モルタル要素との結合が破壊された。その後、ラバー内部の作用力は、衝突点周辺以外余り大きな力は発生していない。さらに、ラバーの無い場合と別途比較した結果、ラバーの効果により根元部の最大歪みで約25%小さくすることを確かめた。

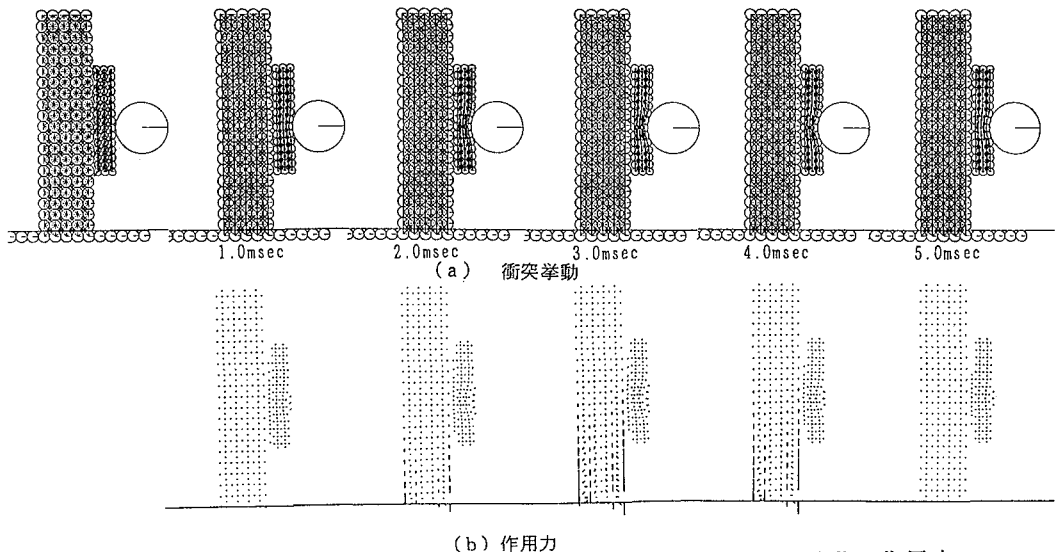


図-2 鋼球の衝突におけるラバー付き片持ばりの衝撃挙動と作用力

参考文献: 1) 水山高久、下東久巳、下田義文: 緩衝材も付いたコンクリート構造物に対する土石流衝撃力に関する研究、新砂防、Vol. 38, pp. 3~11、昭和60年9月; 2) 建設省土木研究所砂防部砂防研究室: 土石流衝撃力に対する緩衝材に関する実験および解析報告書、土研資料第2169号、昭和60年3月; 3) 水山高久、松村和樹、松本卓郎: 土石流対策施設に適用する緩衝材の効果評価、新砂防、Vol. 41, pp. 15~22、昭和60年9月; 4) 下田義文、鈴木真次、石川信隆、古川浩平: 個別要素法によるモルタル片持ばりの衝撃応答解析、構造工学論文集、Vol. 38, pp. 1467~1476、1992.3; 5) 日本鉄道車両工業会: 改訂 防振工法、pp. 5~23、昭和50年8月