

防衛大学校土木工学教室 学生員 ○鈴木 章示

" 正 員 鈴木 真次

" 正 員 石川 信隆

1. 緒言

現在、土石流防護のために建設されているコンクリート製砂防ダムは、ほとんど無筋コンクリートであるため、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る。本研究は、個別要素法を用いて、鉄筋コンクリート製砂防ダム袖部の衝撃応答解析プログラムを開発し、鋼球を受ける無筋および鉄筋コンクリート片持りの衝撃応答解析を実施し、鉄筋による補強を行った場合の効果について破壊形態を調べると共に、実験結果との比較検討を行ったものである。本研究は以下の仮定で行う。①モデル化する物体は、鉄筋モルタル要素とモルタル要素が共存する連続体と見なす。②個別要素は、円要素とし、ここでは鉄筋モルタル片持りの個別要素の半径は全て一定とする。③各要素は、XY方向変位、XY面内回転以外挙動しない。④各要素は、剛体とし変形しない。また、作用力はばねを用いて伝達される。

2. 材料特性を考慮した個別要素法解析の概要

2. 1 基本的考え方

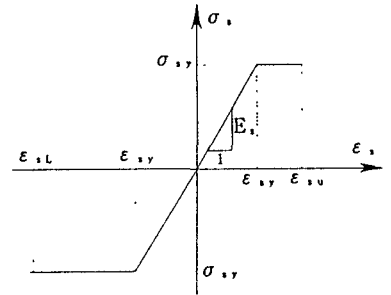
本研究では、従来の個別要素法¹⁾の考え方を踏襲するが、次の点を考慮して解析した。①鉄筋とモルタルの材料特性は、図-1に示すように仮定する。②片持りを、鉄筋モルタル要素とモルタル要素の2種類の要素の連続体と考え、鉄筋モルタル要素同士の力の伝達は、図-2のように鉄筋バネ、ダッシュポットおよびスライダーと、モルタルバネ、ダッシュポットおよびスライダーを並列において各々の合力により力の伝達を行う。その他の組み合わせについては、従来の個別要素法¹⁾による解析と同じである。③要素間に有効接触面積 A_{ij} の概念を導入し、要素の材料定数をモルタルの材料定数であるヤング率 E_c 、ポアソン比 ν_c 、鉄筋の材料定数であるヤング率 E_s 、ポアソン比 ν_s 等て決定する。④鋼球の衝突点に局部ばねとダッシュポットを導入し、衝撃力を算定する。

2. 2 基本式

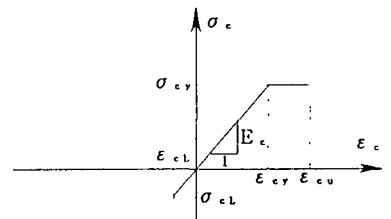
鉄筋モルタル要素同士においては、並列ばねであるのでバネ定数は、次式で与えられる。

$$k_{ns} = \frac{E_s \cdot A_s}{R_{0,ij}^3}, \quad k_{nc} = \frac{E_c \cdot A_c}{R_{0,ij}^3} \quad \cdots (1)$$

k_{ns} は鉄筋部分の法線方向のバネ、 k_{nc} はモルタル部分の法線方向バ



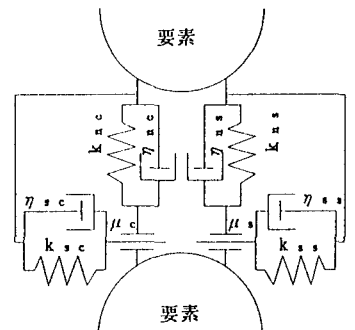
$\varepsilon_{su} = 0.0035$, $\varepsilon_{sy} = 0.00168$, $\varepsilon_{sl} = 0.3234$
 $\sigma_{sy} = 3531.0 \text{ kgf/cm}^2$, $E_s = 2.1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$
 (a) 鉄筋の特性



$\varepsilon_{cu} = 0.0035$, $\varepsilon_{cy} = 0.00204$, $\varepsilon_{cl} = 200 \times 10^{-5}$
 $\sigma_{cy} = 306.0 \text{ kgf/cm}^2$, $E_c = 1.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$
 $\sigma_{cl} = 30.0 \text{ kgf/cm}^2$

(b) モルタルの特性

図-1 材料特性

図-2 鉄筋モルタル要素のバネ
ダッシュポットおよびスライダー

ネであり、 A_s は鉄筋の断面積、 A_c はコンクリート部の断面積で、 $A_e = (A_s + A_c)$ として与えられる。接線方向バネについても次式によって与えられる。

$$k_{ss}=k_{ns}\cdot\frac{1}{2(1+\nu_s)}, \quad k_{sc}=k_{nc}\cdot\frac{1}{2(1+\nu_c)} \quad \cdots(2)$$

2. 3 解析法

オイラー法を用いて従来の個別要素法と同様に解く。解析モデルは、実験の供試体に合わせて、図-3のように無筋および単鉄筋モデルとも片持はり部を直径2cmの円要素125個で、固定部を5個、また鋼球は直径10cmの円要素1個を用いた。

3. 数値計算例

ここでは表-1に示す入力定数を用いて、鋼球の速度1.2m/secとしてシミュレーション解析を行った。解析結果のうち、破壊形態については図-4のような結果を得た。無筋モルタル片持はりが、転倒してしまうのに対し、単鉄筋片持はりは、クラックが入るものの転倒することはなかった。作用力については図-5のような結果となり、単鉄筋片持はりは、特に鉄筋部で力が生じていることが認められた。実験結果は図-6のようになるが、速度が若干違うものの、破壊形態としては同一の傾向となることがわかる。

4. 結論

(1)従来の個別要素法に、鉄筋モルタル要素の考え方を導入することにより、鉄筋コンクリート製片持はりの衝撃応答解析プログラムを開発できた。(2)鉄筋による補強効果は、無筋の場合が転倒するのに対し、単にクラックを生ずるのみであり、耐衝撃性が大きいことが確認された。(3)破壊形態について実験結果とほぼ良く傾向が一致することが認められた。

謝辞：本研究を行うに当たり、香月智講師の有益なご助言を得たことを付記し、謝意を表する。

参考文献

1)鈴木・下田・石川・古川：個別要素法によるモルタル片持はりの衝撃応答解析，構造工学論文集，土木学会，Vol. 38A，pp. 1467～1476

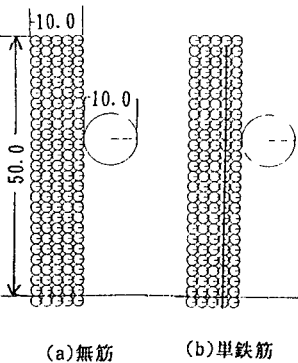


図-3 解析モデル(単位cm)

表-1 解析に用いた材料定数および入力定数

モルタル	
ヤング率E	1.5×10 ⁴ kgf/cm ²
ポアソン比ν	0.2
引張限界	200μ
直接せん断強度τ _c	54 kgf/cm ²
減衰定数h	0.05
内部摩擦角φ	5.9°
最大圧縮強度σ _c	306.0kgf/cm ²
鉄筋	
ヤング率E	2.1×10 ⁴ kgf/cm ²
ポアソン比ν	0.3
引張限界	0.3234
減衰定数h	0.05
最大圧縮強度σ _c	3531.0kgf/cm ²
衝突物体	
重量	100.0kgf
バネ定数k _a	3850kgf/cm
その他	
時間増分Δt	1.0×10 ⁻⁶ sec
結合パラメータβ	1.415

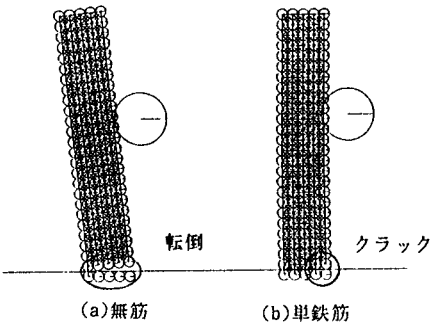


図-4 破壊形態(v=1.2m/sec)

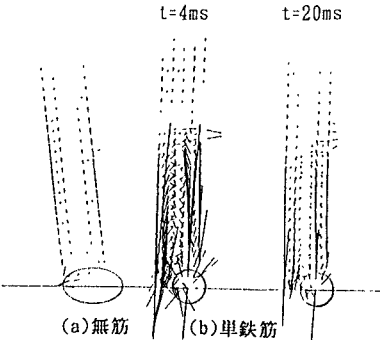


図-5 作用力分布(v=1.2m/sec)

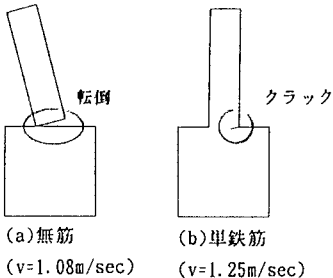


図-6 実験結果の破壊状況