

I-158

個別要素法による中詰材のせん断抵抗解析における入力定数について

防衛大学校土木工学教室 正員 香月 智 正員 石川信隆  
同 上 正員 大平至徳  
砂防・地すべり技術センター 正員 鈴木 宏

1. 緒 言 近年、鋼製の枠組の中に中詰材（礫など）を詰めることによって作られる鋼製枠砂防構造物が多く建設されるようになってきた<sup>1)</sup>。この構造物は、透水性が良く短期施工が可能であるなどの利点があるが、一方ではその中詰材のせん断抵抗力の評価法が未だ不明確である。先に著者らは、個別要素法を用いたせん断抵抗力の解析法について提案したが<sup>2)</sup>、本報告はさらに、予め行ったコンクリート要素を用いたモデル実験<sup>3)</sup>に対して、簡易な局部変形およびすべり摩擦実験により決定したバネ定数および摩擦係数を入力定数として用いた個別要素法によるせん断抵抗解析を行い、その適用性について検討したものである。

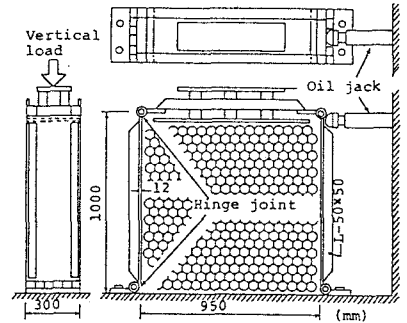


図-1 実験装置

2. 中詰材のモデル要素を用いたせん断抵抗実験<sup>3)</sup>

実験は、図-1に示すような単純せん断変形する鋼製枠の中に、図-2に示す直径5.2cm、長さ12.5cmのコンクリート円筒要素を水平に倒した状態で詰め込み、枠上端に水平方向に作用させる荷重（せん断抵抗力）と枠上端の変位の関係および中詰材要素の移動について計測したものである。

3. 解析法および解析手順 解析には、図-3に示すような円形の要素を用い、二つの要素が接触するときに、法線および接触方向にバネおよびダ

ムポットを挿入し、二つの要素の相対運動による接触力の変化を表すものである。このようなバネおよびダムポットによりある時間 $t$ におけるある要素 $i$ に関する接触力 $f_{ij}$ が全て求まると、その時刻における $i$ 要素の加速度 $\ddot{u}_i$ は次式のように表せる。

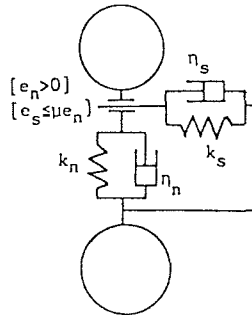


図-3 要素モデル

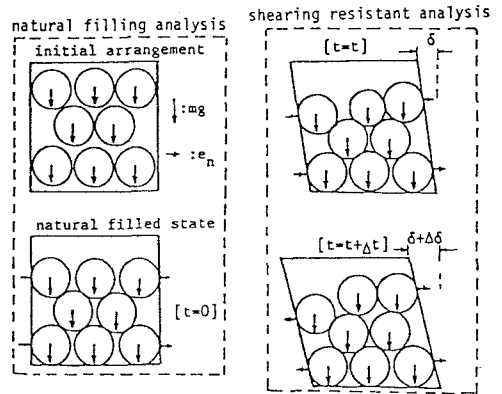


図-4 解析手順

ここで、 $m$ ：X方向、Y方向および回転に関するベクトル要素をもつ質量マトリックス、 $f_{ij}$ ： $j$ は $i$ 要素と接触している要素を表している。式(1)で加速度が求まると、オイラー法によって近似された速度および変位が求まる。このように、個々の要素について時刻歴毎に要素の運動を解析するものとして、枠全体のせん断変形については図-4に示すような手順で解析する。すなわち、まず第一段階として、枠内に要素を互いにわずかに間隙をもつように配置する。続いて各要素に自重を作用させ枠

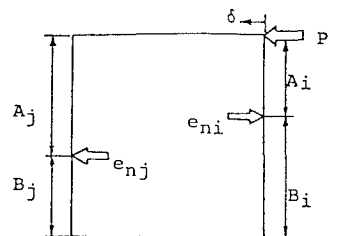


図-5 接触力 $e_n$ とせん断抵抗力 $P$

内に自然に堆積した状態まで解析する。この状態から時間増分 $\Delta t$ 毎に枠上端の水平変位増分 $\Delta \delta$ を与えることにより、枠全体を一定速度で単純せん断変形させる。この変形間に中詰材要素と枠の間には、接触力 $e_n$ が生ずる。そこで、この $e_n$ を図-5に示すような力のつり合い条件から次式によってせん断抵抗力 $P$ を算定する。

$$P = \sum_i e_{ni} \frac{A_i}{A_i + B_i} - \sum_j e_{nj} \frac{A_j}{A_j + B_j} \quad (2)$$

4. 入力定数の決定について 個別要素法においては、表-1に示す8つの入力定数が必要となる。本研究では、このうち摩擦係数 $\mu$ と法線方向バネ定数 $K_n$ を実験によって求めた値を入力することを試みた。すなわち、コンクリート要素とコンクリート要素間の摩擦係数 $\mu_c$ およびコンクリート要素と鋼板との間の摩擦係数 $\mu_s$ については、図-6に示すような傾斜台によって静止摩擦係数を測定し、その値に0.9の低減係数を乗じて用いるものとした。また、法線方向バネ係数 $K_n$ については、図-7に示すような局部変形実験を行い、その荷重～変形関係の剛性を用いた。その他の係数については木山ら<sup>4)</sup>の研究を参考にして決定し、表-1に示すような式によって求めた。

5. 解析結果および考察 図-8に解析を行った中詰材の初期配列状態（緩詰め状態）を示す。図-9に得られたせん断抵抗力～変位関係を実験値と比較して示す。これより、解析は最大せん断抵抗力についてやや大きめの値を示すが軟化型の弾塑性応答を示す点を含めよく実験値と一致している。すなわち、このような緩詰め状態における中詰材のせん断抵抗力～変位関係は軟化型の弾塑性応答になることが解析上からも実証することができた<sup>3)</sup>。図-10に、枠上端に変位量が10cmに至るまでの各要素の中心点が動いた移動軌跡図を実験値と比較図示する。この図からも本解析は、実験結果をよくシミュレートしていることが分かり、また枠内に山形のスベリ面が形成されることが認められる。

参考文献 1)砂防・地すべり技術センター、鋼製砂防構造物研究会：鋼製砂防構造物設計便覧，昭和62年10月 2)香月，石川，大平，鈴木：鋼製枠砂防構造物における中詰材のせん断抵抗解析に関する一考察，構造工学論文集，Vol.35A，pp.1309～1318，1989年3月 3)香月，奥田，大平，石川，鈴木：円筒要素を用いた中詰材のせん断抵抗実験について，第16回関東支部講演概要集，pp.6～7，1989年3月 4)木山ら：カンドルの離散剛要素法を用いた岩質粒状体の重力流動の解析，土木学会論文報告集，第333号，pp.137-146，1983年5月。

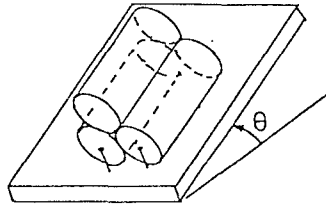
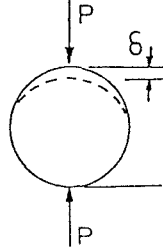

図-6 摩擦係数 $\mu$ を求める実験

図-7 放線方向バネ係数 $K_n$ 決定のための局部変形実験

表-1 入力定数

|                 |                               |
|-----------------|-------------------------------|
| $\mu_c$         | 0.561 ( $\phi = 29.3^\circ$ ) |
| $\mu_s$         | 0.486 ( $\phi = 25.9^\circ$ ) |
| $K_n$           | 113.6 (kgf/cm)                |
| $\eta_n$        | $2\sqrt{m \cdot K_n}$         |
| $K_s$           | $K_n \cdot s$ ( $s=0.25$ )    |
| $\eta_s$        | $2\sqrt{m \cdot K_s}$         |
| $\Delta t$      | 0.0002 (sec)                  |
| $\Delta \delta$ | 0.0002 (cm)                   |

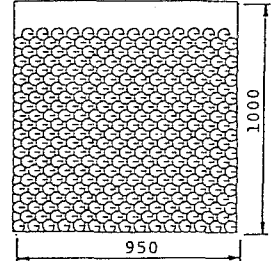


図-8 中詰材の配列（緩詰め状態）

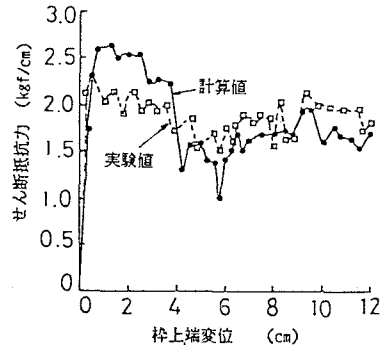


図-9 せん断抵抗力～変位関係

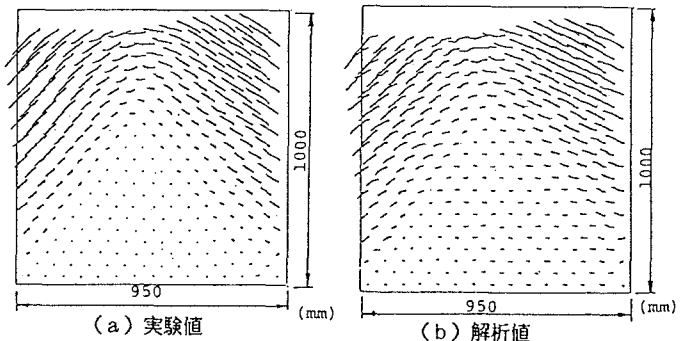


図-10 中詰材の移動軌跡