

I-A 117 個別要素法による砂質中詰材のせん断抵抗力解析

防衛大学校土木工学科 正 会 員 ○伊藤一雄

防衛大学校土木工学科 正 会 員 香月 智

防衛大学校土木工学科 フェロー会員 石川信隆

1. 緒 言

セル型砂防ダムの中詰材のせん断抵抗力～変位関係は、締め固めによる影響が大きく、著者らの行った実験¹⁾においても、図-1に示すように中詰材の詰め方により抵抗力が著しく変化することが示された。本研究は、個別要素法²⁾を用いて、この実験結果に対するシミュレーションを行い、中詰材のせん断抵抗メカニズムを分析したものである。

2. 個別要素法による解析

2. 1 解析基本式およびモデル

要素間に働く力と変形の関係を、図-2に示す接線・法線方向の弾性ばねとダッシュポットおよびスライダによって表す。これを、図-3に示す95cm×100cmの枠境界内に規則的に詰め、境界線を0.01(1/s)のせん断速度で強制変形させる解析を行った。

ここで、砂のせん断抵抗力 P は、図-4に示す各要素と垂直境界の接触力を用いて次式によって求めた。

$$P = \sum_i e_{ni} \frac{h_i}{H} - \sum_j e_{nj} \frac{h_j}{H} \quad (1)$$

ここで、 e_n :要素と壁間に働く水平方向接触力、 h :要素の高さ、 H :外力荷重の高さ、 i, j :それぞれ荷重側と反対側の壁面を表す。解析に用いた入力定数を表-1に示す。ここで、要素間のすべり摩擦角は、一面せん断実験より求めた値を用い、法線方向ばね係数は、平板載荷試験によるものを用いた。

2. 2 緩詰めシミュレーション

図-5は、要素の水平間隔(g)がせん断抵抗力に及ぼす影響を示したものである。これより、間隔を広くするほどせん断抵抗力が大きくなり、特に間隔(g/d)が64%のときは、緩詰めの実験値とほぼ一致することがわかる。また、間隔(g/d)がない場合はさらに大きな値を示している。図-6に変位10cmでの要素の接触力分布を示す。これより、間隔が広がるほど接触角が小さくなるために、水平方向の力の伝達能力が高まり、後壁面に生ずる大きな接触力を効率的に伝えていることがわかる。また、間隔なし(0%)と間隔64%では、0%の方が接触力の大きな領域の幅が広がっていると同時に、載荷側の壁面の上部付近まで大きな接触力が表れている。これは、間隔0%の場合は間隔があるものに比べて接点数(配位数)が大きく、要素に対する拘束力が強くなるためと考えられる。

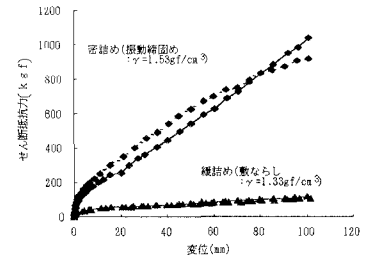


図-1 実験のせん断抵抗力～変位関係

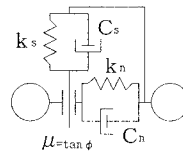


図-2 砂要素のモデル化

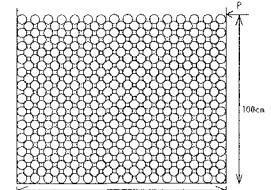


図-3 解析モデル

表-1 入力定数

法線方向ばね係数 k_n	20 kgf/cm
接線方向低減率 s	0.25
要素間すべり	密 30°
摩擦角 ϕ	緩 40°
接線方向ばね係数 k_s	$s \cdot k_n$
法線方向減衰係数 C_n	$k_n \cdot T / \pi$
接線方向減衰係数 C_s	$C_n \sqrt{s}$
Δt	1×10^{-5} sec

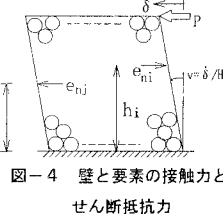


図-4 壁と要素の接触力とせん断抵抗力

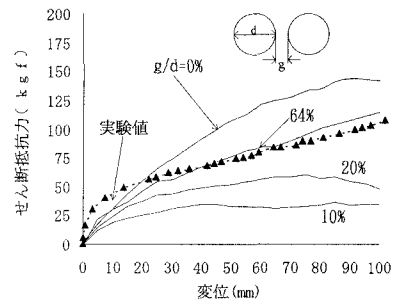


図-5 要素間隔がせん断抵抗力に及ぼす影響

2. 3 密詰めシミュレーション

図-1に示すように実験結果では密詰めの場合はせん断抵抗力は、緩詰めの場合の約10倍も抵抗力が大きくなる。そこで、要素の配位数(N)に着目し、図-7に示すような配位数が4, 6および12となる配列のせん断抵抗力を計算した。

図-8に、そのせん断抵抗力～変位関係を示す。配位数が大きくなると顕著にせん断抵抗力が大きくなることがわかる。特に、 $N=12$ では実験値の密詰めとほぼ同程度のせん断抵抗力となった。図-9に、それぞれの接触力分布を示す。配位数が大きい配列では、接触力を強く伝達する領域が広くなり、後壁面(載荷点側)の上端付近まで、大きな接触力が現れている。よって、大きなせん断抵抗力を生じていることがわかる。

これは、配位数を上げることにより礫骨格構造の不静定次数が大きくなり冗長性が増すためである。

3. 結 言

(1) 緩詰めの場合のせん断抵抗力～変位関係を個別要素法の配列における要素間の水平間隔(接触角)を調整することにより($g/d=64\%$)のモデルでシミュレートできた。

(2) 密詰めの場合のせん断抵抗力～変位関係を要素の配位数を増やすことにより、 $N=12$ のモデルでシミュレートすることができた。これは、実中詰材で締め固めを密にすると、中詰材の粒子の接点数(配位数)が増加し、礫骨格構造の冗長性が高まり抵抗力が増加することを示唆するものと思われる。

参考文献

- 井上隆司, 伊藤一雄, 香月智, 石川信隆: 個別要素法によるセル型砂防ダムの動的せん断抵抗力解析, 第23回関東支部技術研究発表会講演概要集, pp. 54~55, 平成8年.
- 香月智, 石川信隆, 大平至徳, 鈴木宏: 円筒要素を用いた中詰材のせん断抵抗力に関する基礎的考察, 土木学会論文集第410号/I-12, pp. 359~368, 1989年10月.

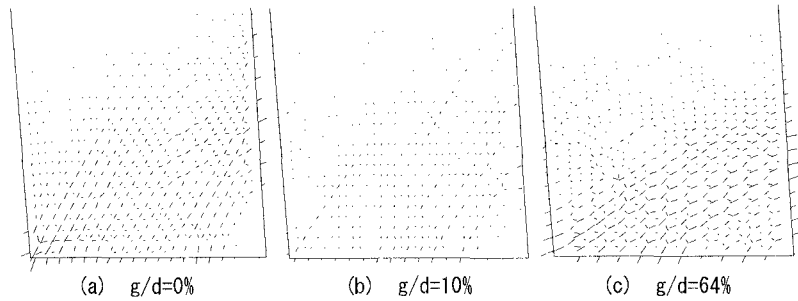


図-6 緩詰めシミュレーションにおける接触力分布(変位10cm)

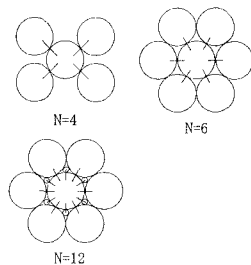


図-7 配位数(N)のモデル化

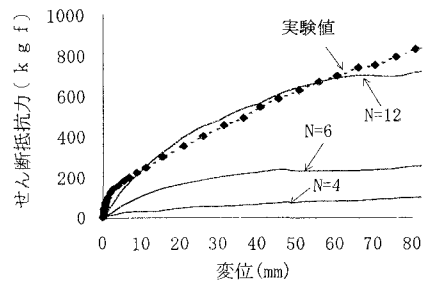


図-8 配位数がせん断抵抗力に及ぼす影響

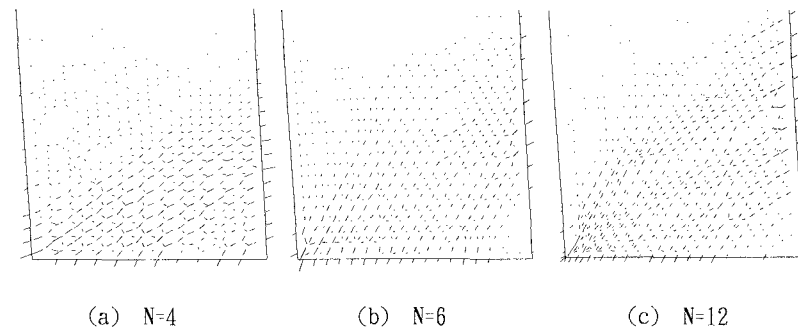


図-9 密詰めシミュレーションにおける接触力分布(配位数の影響)