個別要素法型移動床シミュレーターにおけるモデル定数の最適化

京都大学工学研究科 学生員 原田英治

京都大学工学研究科 正会員 後藤仁志

京都大学工学研究科 正会員 酒井哲郎

<u>1. はじめに</u>

移動床では,砂粒子が衝突・反発といった相互作用を繰り返しながら流送されるから,砂粒子の運動レベルの微視的視点から流砂力学を構築するには粒子間相互作用の記述が極めて重要である.砂粒子間相互干渉のモデル化の手法の一つに,多粒子系の流動モデルである個別要素法(distinct element method)がある.個別要素法は,不連続な要素の集合体に対し,個々の要素が運動方程式を満足し,要素間の力の伝達が作用・反作用の法則に従うことを条件として,集合体の動力学的挙動を数値解析するものである.個別要素法では粒子間接触を表現するために少なくとも5個の定数が必要とされる.従来これらの定数の設定に関しては,幾つかの指標が示されてきたものの,特に流砂現象への適応に際して,それらの指標の適切性が必ずしも明確ではない.ここでは,流砂現象を対象に,著者らがこれまで用いてきたコードを見直して,最適モデル定数の設定に関して検討を加える.

2. モデル定数の設定方法

流砂現象を対象に水流中の砂粒子の鉛直2次元の運動を,並進および回転の運動方程式系で記述する.粒子間接触を表現するために個別要素法を用いると,少なくとも5個の定数(法線方向および接線方向のバネ 定数と粘性定数,接触面の摩擦係数)が必要とされる.ここでは接触面の摩擦係数は0.577と与え,その他 の4つの定数の決定法を以下に述べる.質点mの物体の左右にバネを配したHook固体1自由度振動系(図-1:バネ定数k)の固有周期Tは,

 $T = 2\pi \sqrt{m/2k}$

(1)

(2)

である.また,質点mの物体にバネとダッシュポット(粘性定数η)を配したVoight モデル1自由度振動系 (図-2)の臨界減衰の条件を基準にして

 $\eta = 2\sqrt{m k}$

の関係が得られる.以上より,固有周期Tが与えられればバネ定数kが得られ,臨界減衰の条件式から粘性 定数ηを逆算して求めることができる.また法線方向と接線方向のバネとダッシュポットの関係は,縦弾性 係数 Eと横弾性定数Gの関係式

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \tag{3}$$

が成立するとして求めている(: poisson 比). なお,流砂現象は,多体衝突の現象であるため1自由度系ではない.そこで式(1),(2)に α,, α,, なるパラメータをそれぞれ考慮し

$$t = T / \alpha_m ; T = 2\pi \sqrt{m / k}$$

$$\eta = \alpha_m 2\sqrt{m / k}$$
(4)
(5)

のようにする.これらの一連の流れを図-3に示す.





図 -1 Hookean solid





図-3モデル定数設定プロセス

キーワード:移動床,粒子間相互作用,個別要素法,パラメーターチューニング 連絡先:〒606-8501京都市左京区吉田本町 京都大学工学研究科 土木工学専攻 TEL: 075-753-5099 FAX:075-761-0646

<u>3. 定数チューニング</u>

個別要素法では,計算を安定させるために底面に敷き詰められた粒子配列に重力の作用だけを与えて粒子 配列を安定させる作業を行う.粒径 d=0.5mm,計算時間ステップ t=2.0×10⁵(s),鉛直方向粒子数10個, 水平方向粒子数5個の計算条件の場合,粒子の鉛直方向の重心座標 y_{sc}は,パラメータα_mが20.0のとき最も 速やかに安定することが図-4よりわかる.またα_m = 20.0の値を保ったままパラメータα_mの値を変化させる と α_{cn} = 1.3のとき最も速やかに安定することが図-5よりわかる.これらのパラメータの値を使用することに より数ケースの底面せん断力を粒子に作用させて,それぞれの流砂量との関係を求めたものが図-6である. この図よりシミュレーション結果が,特に底面せん断力が大きい値をとるにしたがって既往の実験結果から 乖離することがわかる.そこで,パラメータα_mとα_{cn}にβなる係数を乗じて計算をした.βの値を変化させて 底面せん断力と流砂量の関係を計算してみると,βの値が15.8のとき既往の研究結果に近い値が得られること がわかる.図-7にその結果を示す.上記のようにしてパラメータα_m($\alpha_m = \alpha_m$ β)と α_{cn} ($\alpha_{cn} = \alpha_{cn}$ β)を決定 することができる.

<u>4. あとがき</u>

本稿では,個別要素法の定数決定プロセスを検討した.得られた定数よりシミュレーションされた流砂量が,実験値の傾向を良好に示す事が,確かめられた.今後,より広範囲な条件(粒径・粒子配列)での要素 定数設定についても検討していきたい.

