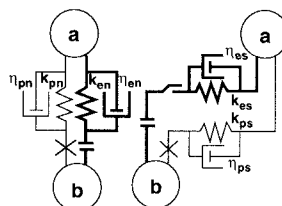


II-59 拡張個別要素法を用いた波による傾斜底泥面の洗掘に関する数値計算

九州大学大学院 正会員 山西博幸 (株)エックス都市研究所 東 修
九州大学大学院 フェロー 楠田哲也 内外エンジニアリング(株) 並河洋一

1.はじめに 本研究では河道断面確保の立場から、河岸に堆積した底泥除去の一手法として、波による洗掘を考える。すでに著者らは、傾斜面上に作用する衝撃砕波圧の算定手法や底泥洗掘量の算定式について報告した(山西ら, 1998)が、底泥の洗掘過程や洗掘に及ぼす影響因子などについては未だ明らかにしていない。ここでは、底泥の洗掘に関わる挙動を拡張個別要素法(伯野, 1997)により明らかにするとともに、現地底泥の土質力学的特性から数値計算で必要となる諸係数を実験的に求める。また、数値計算による底泥破壊のシミュレーションやこれと現地底泥の洗掘実験結果の比較から底泥の洗掘現象について検証する。

2.数値計算に必要なパラメータの検討 個々の底泥要素は、粘着性により、かなりの連続性をもつ。ここでは、波による底泥の破壊機構の解析に、個々の要素が接触したときのみ力を伝達する要素ばねとその要素間の粘着性の効果を表す間隙ばねを組み入れた拡張個別要素法を用いた。図-1は、要素間に配置した要素ばねと間隙ばねの様子を模式的に表している。数値計算に必要な主なパラメータは、図-1に示す要素ばね、間隙ばねそれぞれのばね定数と粘性係数である。接線方向の間隙ばねの破壊基準には、クーロンの破壊基準を用いた。この基準は、剪断強度 τ_s 、粘着力 c 、直応力 σ 、摩擦角 ϕ とすると、 $\tau_s = c + \sigma \tan \phi$ となる。粘土の場合、摩擦角 $\phi \neq 0$ と考えれば、 $\tau_s \neq c$ となる。また、要素ばねと間隙ばねの法・接線両方向のばね定数(k_{en}, k_{es}), (k_{pn}, k_{ps})は、現地不攪乱底泥の変形係数 E_{50} をもとに定める。さらに、要素ばね、間隙ばねの法・接線両方向の粘性係数(h_{en}, h_{es}), (h_{pn}, h_{ps})は、一軸圧縮試験の数値計算との比較により、適切な値を定める。



— 要素ばね — 間隙ばね
図-1 要素ばねと間隙ばね
(左)法線方向(右)接線方向

3.現地底泥の土質力学的特性 底泥の洗掘過程を数値計算するに当たり、底泥の洗掘強度パラメータとして、剪断強度を明らかにする必要がある。図-2は佐賀県六角川の河道側面に堆積した底泥の剪断強度分布と含水比分布をもとに両者の関係をプロットしたものである。図中には著者ら(1998)が六角川ガタ土を用いて得た含水比 W と剪断強度 τ_s との関係

$$\text{不攪乱試料: } \tau_{s,1} = 1.42 \times 10^{10} W^{-4.47} \quad (\text{kPa}) \quad (1)$$

$$\text{攪乱試料: } \tau_{s,2} = 4.49 \times 10^9 W^{-4.47} \quad (\text{kPa}) \quad (2)$$

も同時に示す。図中、不攪乱状態の経験曲線(式(1))から攪乱状態の経験曲線(式(2))寄りのデータは、各地点の上層部分、つまり攪乱状態に近い浮泥の値である。なお、剪断強度の値はペーンの回転角速度を0.5deg/secとして得られる最大トルクを測定して算出している。次に、後述する数値計算で必要となるばね定数に関わるパラメータを求める。図-3は含水比 W と一軸圧縮試験により求めた変形係数 E_{50} の関係である。便宜上、 E_{50} を W の関数として表せば、次のようになる。

$$E_{50} = 1.27 \times 10^8 W^{-2.92} \quad (\text{kPa}) \quad (3)$$

4.現地不攪乱底泥を用いた一軸圧縮試験 実験には毎秒1mmの速度で供試体を圧縮する装置を用いた。数値計算との比較のための実験供試体は、幅3.5cm、奥行き5.0cm、高さ7.0cmの直方体である。なお、このときの底泥試料の平均含水比 W は150%であった。図-4は、数値計算のための要素、間隙ばねの初期配置状態である。各要素は直径5mmの等径とし、これを規則的に配置した。図中の黒色要素は圧縮

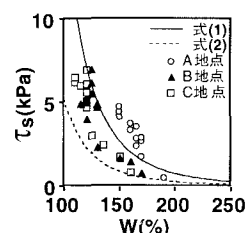


図-2 W と τ_s の関係

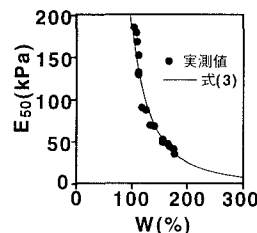


図-3 W と E_{50} の関係

キーワード：底泥、洗掘、砕波、数値計算、個別要素法

連絡先：〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1 TEL(092)642-3241 FAX(092)642-3322

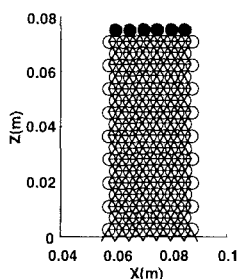
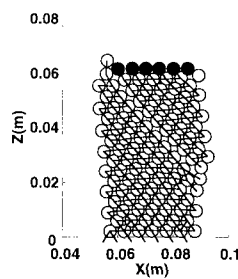
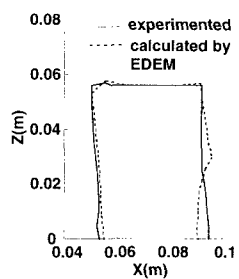

図-4 供試体の要素、
間隙ばね配置(t=0s)

図-5 供試体の要素、
間隙ばね配置(t=14s)

図-6 実測値と計算値と
の比較

表-1 数値計算に用いた
パラメータ(W=150%)

k_{en}	$4.61 \times 10^4 \text{ N/m}$
k_{es}	$1.32 \times 10^4 \text{ N/m}$
k_{pn}	$3.69 \times 10^4 \text{ N/m}$
k_{ps}	$1.05 \times 10^4 \text{ N/m}$
η_{en}	$5.75 \times 10^2 \text{ Ns/m}$
η_{es}	$3.07 \times 10^2 \text{ Ns/m}$
η_{pn}	$1.29 \times 10^3 \text{ Ns/m}$
η_{ps}	$2.75 \times 10^2 \text{ Ns/m}$
Δt	$1.00 \times 10^{-5} \text{ s}$

板に見立てた粒子群である。図-5は、実験開始14秒後の要素、間隙ばね配置図である。図より、斜め45度の角度で間隙ばねの破壊が見られ、滑り面が形成されている。また、供試体の形状をトレースし、実測値と計算値との比較をしたものが図-6である。実測値は、一軸圧縮の過程をビデオ撮影し、その画像解析から得たものである。ここでは、

計算値と実測値の形状ができるだけ合致するようにパラメータを設定した。表-1は、このようにして得たパラメータの一覧である。

5.洗掘に関する数値計算 数値計算との比較のために用いる洗掘実験結果は、次の条件によるものである。周期 $T=1.5\text{s}$ 、衝撃碎波圧 $P_{1m}=1.25\text{kPa}$ 、表層含水比 $W=150\%$ 。図-7は、数値計算のための要素配置の初期状態である。図中の黒色要素に対して、各地点での定常時の衝撃碎波圧を矢印の方向から図-8に示すように0.01秒おきに加えた。なお、ここでは、繰り返し衝撃碎波圧が作用することによる底泥強度の脆弱化を考慮している。図-9a, bは、それぞれ実験開始4分後(N=160)での要素配置と間隙ばねの破壊状況を表している。図-9aより、傾斜面表層部の要素群の多くは、繰り返し作用する衝撃圧のため、表面上からはじき出されている。また、衝撃碎波圧の作用領域では、間隙ばねの破壊が著しく、亀裂が内部まで広がっている(図-9b参照)。間隙ばねの破壊された要素群は、戻り流れの作用により沖方向へ流されるものとすれば、図-9bの間隙ばねの破壊状況から推測される洗掘形状と洗掘実験結果との比較が、図-10のように示される。なお、実測値(N=200)は、水路中央部での横断測量から得られる洗掘深である。図より、両者はおおむね一致し、数値計算により底泥の洗掘形状とともに洗掘量の概算も可能となった。

6.おわりに 拡張個別要素法を用いた数値計算により、底泥の洗掘形状とともに洗掘量の概算も可能となった。また、底泥洗掘に及ぼす内部破壊の状況を数値計算により示すことができた。なお、本研究の一部は平成10年度科学研究費補助金奨励研究(A)(山西)より援助を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献 伯野(1997):「破壊のシミュレーション」, 森北出版, pp.10-55. 山西・東・楠田・渡辺(1998):「波による傾斜底泥面の洗掘に関する研究」, 土木学会論文集, No607/II-45, pp.55-67.

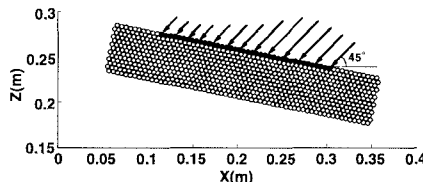


図-7 初期要素配置(t=0s)

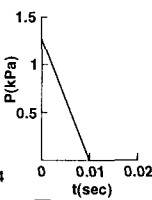
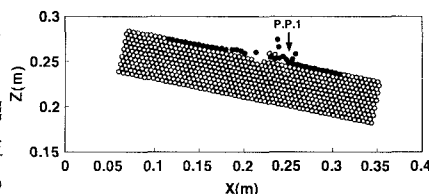

図-8
衝撃碎波圧


図-9a 要素配置(N=160)

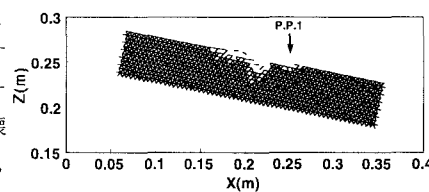
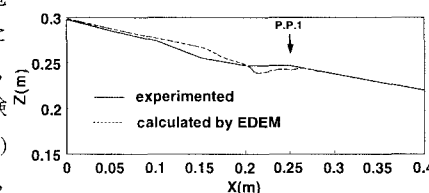


図-9b 間隙ばねの破壊状況(N=160)


図-10 洗掘実験結果と数値計算
結果との比較