

漂砂による地形変化計算時における斜面崩壊計算の簡易的な取り扱いについて

名古屋大学大学院工学研究科 正 会 員 ○ 中村 友昭

名古屋大学大学院工学研究科 フェロー 水谷 法美

1. 緒言：漂砂による地形変化の計算を進めていくと、局所的に安息角を超える急な勾配の斜面が形成されることがある．このような斜面が現れた場合には、安息角を保持するのに見合う量の底質を浮遊砂の巻き上げ・沈降量に付加して地形変化を計算する方法（長田ら，2001），最急勾配の方向へ崩壊すると仮定して求めた掃流砂量から地形変化を求める計算を安息角を満たすまで繰り返す方法（関根，2003），高低差の 1/10 の量の底質を崩壊させる計算を安息角を満たすまで繰り返す方法（前野ら，2004），底質粒子が一定速度で崩壊すると仮定して求めた掃流砂量から地形変化を求める計算を安息角を満たすまで繰り返す方法（Roulund ら，2005），斜面安定解析によりすべり面を求め、安息角を満たす地点まで下方に移動させる方法（與田ら，2014）等がある．これらの手法では斜面の崩壊が瞬時に生じると仮定しているため安息角を超える斜面の存在は許容されていないが、津波作用時のように洗掘が急激に発達する場合には、その過程で安息角を上回る斜面が形成される可能性がある．そのため、3次元流体・構造・地形変化・地盤連成数値計算モデル FS3M（中村・水谷，2015）では、斜面崩壊計算の時間進行を流体解析と同じだけしかさせないように Roulund ら（2005）の手法を改良し、漂砂計算の枠組みで斜面の崩壊過程を簡易的に取り扱えるようにしている．ただし、水理実験結果等との比較による妥当性の検証はなされていないことから、本研究では水中での砂柱崩壊現象を対象とした宮本ら（2004）の水理実験に FS3M を適用し、斜面崩壊に関するパラメータの同定、漂砂計算の枠組みで斜面の崩壊を取り扱った影響の検討、水と底質の保存性の観点からの漂砂計算の妥当性の検討を行う．

2. 斜面崩壊モデルの概要：斜面の傾斜角 β が安息角 θ より微小角度 θ^+ だけ上回ったとき、すべての底質粒子が静水中で一定速度で斜面下向きに崩壊すると仮定する．このとき、斜面の崩壊に伴う掃流砂量 q^{slide} は、

$$q^{slide} = \frac{\pi}{3} C_{slide} d_{50} \sqrt{\frac{1}{3} \frac{d_{50}}{\varepsilon C_{D1}} (s-1) g (\sin \beta - \mu_d \cos \beta)} \quad (1)$$

となる．ここで、 C_{slide} は斜面崩壊に関する無次元パラメータ、 s は底質粒子の比重、 d_{50} は底質粒子の中央粒径、 μ_d は底質粒子の動摩擦係数、 C_{D1} は抗力係数、 ε は遮蔽係数、 g は重力加速度である．また、斜面崩壊計算時には浮遊砂の巻き上げと沈降が生じないと仮定し、基準面からの底質表面の高さを z_s 、底質の空隙率を m 、 q^{slide} の x 、 y 軸方向成分をそれぞれ q_x^{slide} 、 q_y^{slide} とすると、底質の質量保存式は次式のように与えられる．

$$\frac{\partial z_s}{\partial t} + \frac{1}{1-m} \left(\frac{\partial q_x^{slide}}{\partial x} + \frac{\partial q_y^{slide}}{\partial y} \right) = 0 \quad (2)$$

3. 計算条件：宮本ら（2004）の水理実験をモデル化した計算領域の概略図を図-1 に示す．同図に示すように、密度 $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、粒径 0.32 mm、体積濃度 53%（空隙率 0.47）の砂からなる幅 255 mm、高さ 110 mm の砂柱を厚さ 5 mm の移動床上に設定し、計算開始とともに崩壊させた．なお、奥行きは 10 mm とした．また、水理実験では砂柱を支える厚さ 50 mm の鉛直可動壁を 4 m/s で引き抜いていたものの、ここでは鉛直可動壁のモデル化は行わなかった．

4. 計算結果および考察：斜面崩壊に関する無次元パラメータ C_{slide} を変化させたときの砂柱の先端到達位置の比較を図-2 に示す．ここで、水理実験では鉛直可動壁を引き抜いてから砂柱が崩壊し始めるまでに若干の時間差があると考えられること、また本計算では鉛直可動壁のモデル化は行っておらず砂柱が崩壊

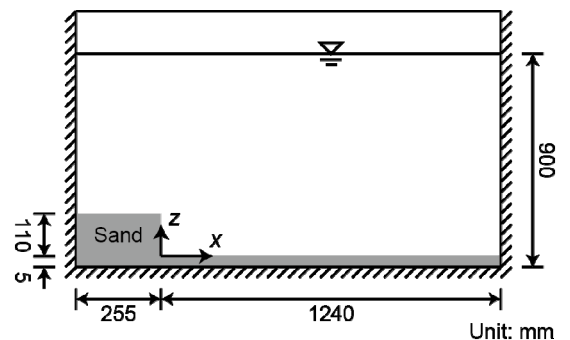


図-1 計算領域の概略図

し始めるのが水理実験と比べて早いと考えられることから、同図では水理実験結果を 0.65 s 早めた。図-2 より、水理実験結果との対応は $C_{slide} = 290$ のときが最も良好であるが、 $x \approx 0.15$ m までは先端到達位置の増加を過大評価していることが分かる。これは、斜面の崩壊を漂砂として取り扱ったため図-3(a)に示すように鉛直部分が残る不自然な崩れ方となっていること、また砂柱が徐々に崩壊し始める現象を式(1)に示したように一定速度で崩壊すると仮定したことが原因と考えられる。ただし、図-3(b)に示すように鉛直部分が見られなくなる $x \approx 0.15$ m 以降は $C_{slide} = 290$ とすることで水理実験結果を概ね表せている。

続いて、 $C_{slide} = 290$ のときの堆積砂量 V_{dep} と浮遊砂量 V_{sus} の時間変化を図-4 に示す。同図より、図-3(c)に示した $t = 1.35$ s 頃にかけて底質の巻き上げにより V_{sus} が増加し、その分だけ V_{dep} が減少していることが分かる。その後、底質の沈降に伴い、 V_{sus} がゼロに漸近するとともに V_{dep} が徐々に初期値に近づいている。

このときの水の体積の変化割合 ΔV_{water} と底質の総体積の変化割合 ΔV_{sand} の時間変化を図-5 に示す。同図より、 ΔV_{water} は斜面の崩壊が進んでいる $t = 2.0$ s 過ぎまで小刻みに変動しているが、その後は $2.5 \times 10^{-10}\%$ 程度減少した状態を保っていることが分かる。一方、 ΔV_{sand} は浮遊砂の沈降が続いているため小刻みに変動し続けており、 $t = 10$ s の時点で $1.5 \times 10^{-13}\%$ ほど減少している。ただし、 ΔV_{water} 、 ΔV_{sand} とともに減少割合は非常に小さく、水と底質の保存性は概ね確保されていると言える。

5. 結論：安息角を超えた斜面の崩壊は、本来、地盤工学的な取り扱いを要する現象であるが、水理実験結果との比較により漂砂計算の枠組みで簡易的に取り扱えること、またその際に水と底質の保存性が概ね確保されていることを確認した。今後は、この斜面崩壊モデルが組み込まれた FS3M を用いて、漂砂現象に対するさらなる検討を行っていく所存である。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金若手研究(B)（代表者：中村友昭；課題番号：26820200）の補助を受けたことを付記し、謝意を表する。

参考文献：[1] 関根（2003），水工，47，637-642. [2] 中村・水谷（2015），数値流体力学シンポジウム，印刷中. [3] 長田ら（2001），水工，45，427-432. [4] 前野ら（2004），水工，48，817-822. [5] 宮本ら（2004），海工，51，401-405. [6] 興田ら（2014），自然災害科学，33-1，29-41. [7] Roulund et al. (2005), J. Fluid Mech., 534, 351-401.

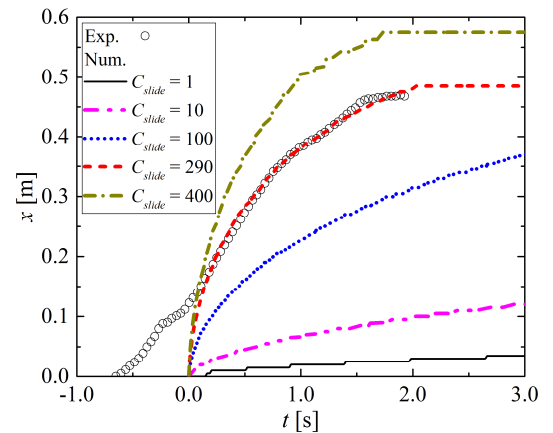


図-2 砂柱の先端到達位置

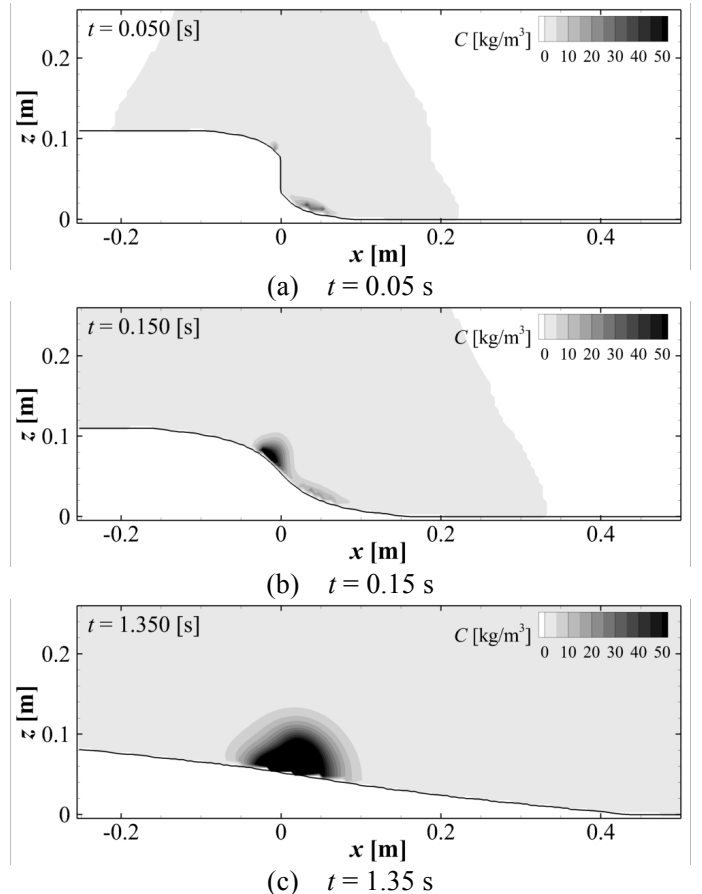


図-3 斜面崩壊の様子（C：浮遊砂濃度）

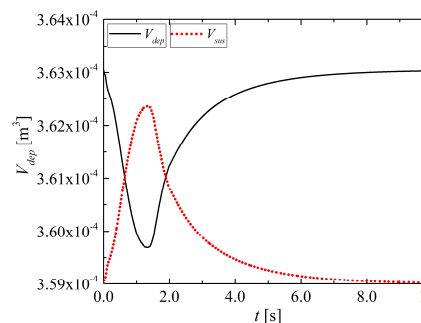


図-4 堆積砂量と浮遊砂量の変化

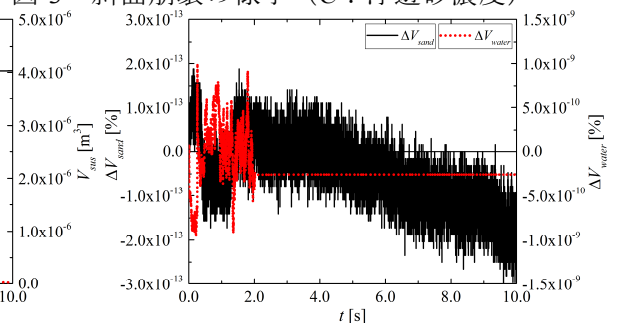


図-5 水および底質の保存性