

粘土を含有する干潟の地形変化と粘着力を考慮した修正限界 Shields 数による 混合土砂の移動特性の検討に関する実験的研究

名古屋大学大学院工学研究科	学生会員	○	趙 容桓
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	学生会員		鈴木 愛美
名古屋大学大学院工学研究科	フェロー		水谷 法美

1. はじめに

海域底面上の流体の速度や応力の増加はある程度に至ると漂砂流動の原因になり、漂砂の初期移動が発生する直前の状態は限界状態と呼ばれている。漂砂の初期移動問題は侵食量、地形変化特性および構造物の安定性評価に関わる重要な問題であり、すでに実験と現地観測に基づいて経験曲線を成り立っている (Shields, 1936)。一方、漂砂移動に関わる既存の研究は非常に異なる移動特性のため、粘着性と非粘着性に分類して解析が行われている。しかし、実際の海域底面は砂礫と粘土が混在する場合が多いものの、従来の地形変化評価に作用しているパラメータに粘着力の影響を考慮した研究は見受けられない。ここで、中村ら (2013) は芦田ら (1982) が提案した砂粒子の空隙を埋める粘土によって生じる粘着抵抗力に基づいて粘着力を考慮した修正 Shields 数を数値モデルに適用し、底質に粘土が含まれることによって侵食が抑えられることを確認している。本研究では、干潟に作用する波を対象とし、底質の粘土が地形変化に与える効果を検討するために、混合土砂からなる干潟の水利模型実験を実施し、粘着力の効果を考慮した修正限界 Shields 数と地形変化の関係について考察する。

2. 実験装置および実験条件

本研究では、コンクリート製造波水槽に、図-1 に示すように、天端高、天端幅、法面勾配がそれぞれ 17.0cm, 60.0cm, 1/20 の干潟(中央粒径 0.1mm) を設置した。図-1 に示す位置に電気容量式水位計 7 台、干潟底面から 1cm 上に L 型電磁流速計 2 台を設けた。電磁流速計で計測した底面流速を用いて、logarithmic velocity profile の関係より摩擦速度を算定し、岸向きを正とする符号付 Shields 数 ϕ_i を算出した。入射波は規則波とし、波高と周期を変化させた表-1 に示す計 2 ケースの実験を行った。水位と流速は造波開始後の 2 分間計測し、地形変化は波作用時間が計 1, 30, 60, 300 分間となった時に造波を止め、計測を行った。

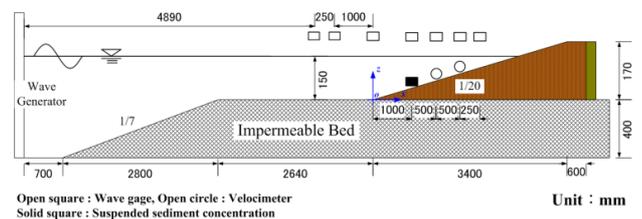


図-1 実験装置の概略図

表-1 実験条件

	Sediments	p_f	H_i [m]	T_i [s]
Case 1	Sand + kaolin	0.20	0.040	1.0
Case 2	($p_f = 0.20$)		0.026	1.6

3. 粘着力を考慮した修正限界 Shields 数

粘土が含まれることによって侵食抵抗力が増加する現象による粘着力 F_c は $k_l d_2 f_c$ と定義されている。ここで $k_l d_2$ は粘着力が作用する面積、 f_c は単位面積当たりの粘土の粘着力である。一つの接点における粘着面積は幾何学的関係から $k_l d_2$ は式(1)になり、この式から求めた F_c を考慮した修正げんかい Shields 数 ϕ_{cm} は式(2)のようになる。

$$k_l d_2 = \left[\left\{ 1 + \frac{1}{1-\lambda} \frac{p_f(1+\sigma\omega)}{p_f\sigma\omega+1} \right\}^{2/3} - 1 \right] * n \quad (1)$$

$$|\phi_{cm}| = \frac{(\mu_s \cos \beta \mp \sin \beta)W + F_c}{\mu_s W} \phi_{c0} \quad (2)$$

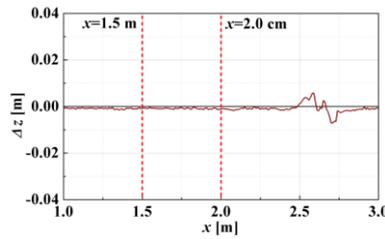
キーワード 混合土砂, 粘着力, 修正限界 Shields 数

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 052-789-4632

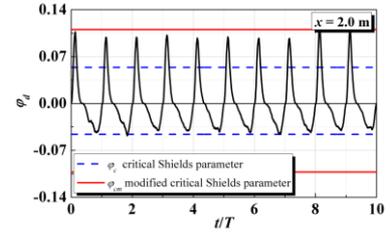
ここで、 p_f は粘土の含有率 (= 0.21), ω は粘土の含水比 (= 1.0), $\sigma = \rho_s/\rho_w$, n は接点数, λ は空隙率, W は水中重量, β は斜面傾斜角, μ_s は砂粒子の静止摩擦係数である。 ρ_s と ρ_w はそれぞれ砂粒子と水の密度である。

4. 修正限界 Shields 数による地形変化評価

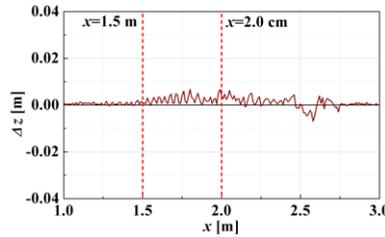
図-2 に波作用後 1~30 分, 30~60 分, 60~300 分の地形変化量 Δz をそれぞれ示す。また, 波作用後 30 分後, 60 分後, 300 分後における $x=2.0\text{m}$ での ϕ_d の時間変化を図-3 にそれぞれ示す。なお, 図-3 中の青点線は非粘着性底質の勾配を考慮した限界 Shields 数 ϕ_c を示している。図-2(a)に示す波作用後 1~30 分の地形変化を見ると, $x=2.0\text{m}$ でほとんど地形変化が生じていないことが分かる。一方, 図-3(a)では, 限界 Shields 数を超える Shields 数が確認された。これらの結果より, 粘土の粘着効果によって, 侵食に対する抵抗力が増大したことが示唆され, 地形変化を評価する上で, 粘着力の効果を導入する必要があるといえる。ここで, 図-3 中の赤線は, 式(2)より求めた



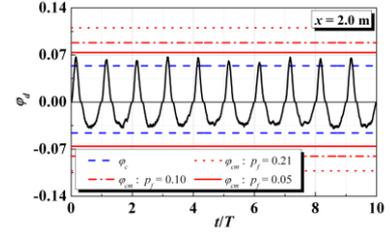
(a) Case 2 (t = 30 min)



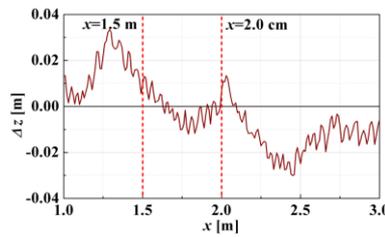
(a) Case 2 (t = 30 min)



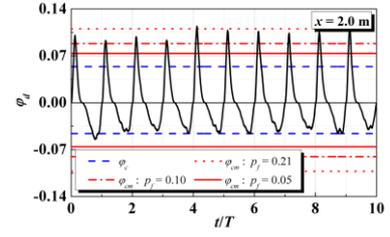
(b) Case 2 (t = 60 min)



(b) Case 2 (t = 60 min)



(c) Case 2 (t = 300 min)



(c) Case 2 (t = 300 min)

図-2 波作用開始後の地形変化量 Δz 図-3 波作用後の10波後のShields数 ϕ_d

粘着力を考慮した岸向きと沖向きの修正限界 Shields 数 ϕ_{cm} であり, 図-3(a)では粘土の含有率 $p_f=0.21$ の場合, 図-3(b)と図-3(c)では $p_f=0.21, 0.10, 0.05$ の場合の ϕ_{cm} をそれぞれ併記した。図-3(a)からわかるように, 修正限界 Shields 数を超える Shields 数はみられず, 修正限界 Shields 数によって, 地形変化を良好に評価できることが分かる。図-2(b)に示す波作用後 30~60 分の地形変化をみると, 地形変化が顕著となり, 1~30 分の結果ではみられなかったリップルが認められる。これは, 時間の経過により, 干潟表面に存在した粘土が抜け出し, 粘着力の効果が弱まったために, 非粘着性の漂砂移動の特性であるリップルが形成されたと考えられる。本研究では抜け出した粘土による干潟表面の粘土の含有率 p_f の減少を計測できなかったが, 図-3(b)に示したように含有率が 0.05 の場合でも Shields 数が下回ることから, 大量の粘土が抜け出したと推察される。図-3(c)に示す 60~300 分の結果を見ると, 頻繁に修正限界 Shields 数を上回ることが確認したものの, 図-2(c)からわかるように, $x=2.0\text{m}$ で堆積が生じている。これは, 干潟前面部の碎波と戻り流れの関係による漂砂移動の機構の影響と考えられ, この堆積は $x=2.0\sim 3.0\text{m}$ で侵食された漂砂が沖側に移動する過程から発生したと考えられる。

5. おわりに

本研究では, 粘土を含む干潟の漂砂移動特性を検討するために, 水理模型実験を実施し, 修正限界 Shields 数と地形変化の関係を考究した。その結果, 初期段階には粘土によって地形変化が減少し, 粘着力を考慮した修正限界 Shields 数により混合土砂の漂砂移動を良好に評価ができることを明らかにした。さらに, 時間の経過とともに, 粘土の抜け出しが観測され, 修正限界 Shields 数からも粘土の抜け出しを定性的に確認した。

参考文献

1)Shields, A. (1936), California Inst. Tech., Hydrodynamics Laboratory publication, No. 167. 2)芦田ら (1982), 京都大学防災研究所年報, 第2号 B-2, pp. 349-360. 3)中村ら (2013), 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 69, No. 2, pp. I_1036-I_1041.