



Title	Bed instability in suspended load-dominated environments [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Pen, Sytharith
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第13212号
Issue Date	2018-03-22
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/69969">http://hdl.handle.net/2115/69969</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/</a>
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Pen_Sytharith_review.pdf (審査の要旨)



[Instructions for use](#)

## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 Pen Sytharith

審査担当者 主査教授 泉典洋  
副査教授 山下俊彦  
副査教授 清水康行

### 学位論文題名

Bed instability in suspended load-dominated environments

(浮遊砂が支配的な環境における底面不安定性)

土砂で覆われた河床や海底では、流れと底面の間に発生する界面不安定現象によって、デューンやアンチデューンと呼ばれる波状の底面形状 (界面波) が形成されることが知られている。これらの界面波の発生は、河川では洪水時における流水抵抗に大きな影響を与えることから、工学的にも重要な問題として古くより数多くの研究が行われてきた。また海底の場合、界面波を形成する流れは、巻き上げた土砂によって密度を増加させ海底面上を流下する重力密度流 (混濁流) であり、それによって形成される堆積岩が石油の貯留岩となることから、特に石油地質学の分野で盛んに研究が行われてきた。初期の研究は現象学的な研究にとどまっていたが、土砂水理学の発展に伴って、力学的研究が近年、急速に進んでいる。本研究は、浮遊砂輸送が支配的な流れとして開水路流と海底混濁流を取り上げ、それらによって発生する界面不安定現象を説明するための線形安定解析を行ったものである。

第1章では本研究の背景および既往の研究、本研究の目的について述べている。

第2章では、浮遊砂輸送が支配的な開水路流の底面不安定性に関する線形安定解析を行っている。底面は十分に細かい砂に覆われており、浮遊砂輸送が支配的で掃流砂は無視できると仮定する。支配方程式は、Reynolds 平均した二次元の Navier-Stokes 方程式および移流拡散方程式である。乱流モデルとしては、密度成層の影響を取り入れた標準  $k-\epsilon$  モデルを用いている。

基本状態での方程式を有限体積法を用いて数値的に解くことによって、流速分布および浮遊砂濃度分布を求めた。その結果、密度成層の影響によって乱流による混合能が減少するため、水面付近での流速が増加し、底面近傍での浮遊砂濃度が増加することが明らかとなった。

摂動問題では、基本解の漸近展開を支配方程式に代入して導いた摂動方程式を、Chebyshev 多項式を用いたスペクトル法を使って解いている。得られた摂動解を、土砂の連続式 (Exner 方程式) に代入することによって、摂動の発達率を求めた。それを波数-Froude 数平面上的安定性ダイアグラムに描いたところ、密度成層によって、アンチデューンが形成される不安定領域は、臨界 Froude 数付近で、波数の小さい領域に限定されること、アンチデューンは、上下流いずれの方向にも進行することが明らかとなった。

第3章では、海底混濁流の底面不安定性に関する線形安定解析を行っている。塩水密度流や温度密度流の場合、駆動力である塩分濃度や温度は流下とともに拡散し希釈されていくため、長い距離を流下できない。ところが混濁流の場合、浮遊砂の上方への拡散が下方への沈降とバランスするため、底面近傍に形成される浮遊砂の高濃度層において平衡状態が存在することが近年明らかとなっている。この平衡状態を基本状態とし、Reynolds 平均を取り Boussinesq 近似を用いた 2 次元の

Navier-Stokes 方程式と浮遊砂の移流拡散方程式、混合距離モデルを用いて解析を行った。

基本状態では、摩擦速度で無次元化した浮遊砂の沈降速度が増加するにつれて、浮遊砂濃度は高濃度層上方で減少し、下方で増加する。その結果、流速は上方で減少し、下方で増加する。そして無次元沈降速度が 0.8 より大きくなると平衡状態の高濃度層が存在しなくなることが明らかとなった。逆に、無次元沈降速度が減少すれば、浮遊砂濃度は層内で比較的一様になり、開水路流れの流速分布と似た形状を呈する。

混濁流の線形安定解析から、密度 Froude 数が約 0.4 より大きくなると、平坦床は不安定となりアンチデューンが形成されることが明らかとなった。無次元沈降速度が小さい場合、基本状態での流速分布が開水路の場合とほぼ同様になるため、波数-密度 Froude 数平面上の不安定領域も開水路の場合と似たものとなる。

第 4 章では、以上の結果をまとめている。

これを要するに、著者は、浮遊砂輸送が卓越する開水路流および海底混濁流の底面不安定現象を説明する理論の構築に初めて成功した。開水路流の解析では、密度成層の影響を取り入れることが可能な  $k-\epsilon$  モデルを用いて線形安定解析を行い、浮遊砂によって生じる密度成層が底面不安定性に及ぼす影響を理論的に明らかにした。混濁流の解析では、運動方程式に駆動力である浮遊砂の影響を取り入れ、簡便な混合距離モデルを用いることによって、混濁流による底面不安定現象を理論的に明らかにした。本研究は、開水路流の底面不安定性に対する密度成層の影響および海底混濁流における底面不安定性の力学的機構について線形安定解析を用いて明らかにした初めての試みであり、河川水理学、土砂水理学の進展に寄与するところ大である。よって、著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。