

氏 名	イゲデ ヘンドラワン I Gede Hendrawan
授与学位	博士(学術)
学位記番号	理工博乙第126号
学位授与年月日	平成26年1月15日
学位授与の要件	学位規則第4条2項
研究科, 専攻の名称	理工学研究科(博士後期課程) システム設計工学系専攻
学位論文題目	Study on the Unloading Shear Behavior of Granular Materials with Different Particle Shapes
論文審査委員	主査 山口大学 教授 関根 雅彦 山口大学 教授 羽田野 袈裟義 山口大学 教授 小河原 加久治 山口大学 特命教授 田 中 佐 山口大学 准教授 山 本 浩一 山口大学 准教授 朝 位 孝二

【学位論文内容の要旨】

Bali is one of the world tourism destination; and as a small island, Bali is surrounded by sea. Bali has a lot of beautiful marine destinations that are very attractive for the tourism activity such as diving, marine sport, and fishing. Bali famous tourism destination located in the coastline are Nusa Dua and Sanur. The seawater in Nusa Dua and Sanur is mostly influenced by the seawater from the Lombok Strait, Badung Strait and Benoa bay. In order to preserve those tourism destinations, it is important to know the characteristics of the seawater flow in the surrounding area.

The importance of Lombok Strait as one of the route of Indonesia Troughflow (ITF) would influence the dynamic of seawater in the adjacent area. Badung Strait has rough bottom topography and Lombok strait has a sill in the southern channel. This condition would have potentially triggered the mixing and upwelling in Lombok and Badung Straits. However, until now I have not found any research concerning the tidal upwelling in the Lombok strait.

Benoa bay is located in Bali and has connection with Badung Strait. Benoa bay is also a very famous place located near the tourism destination. Although in relation to the importance of Benoa bay, it has both economic and ecologic factor, there are still very few researches conducted to know the characteristics of the water circulation that occurred in the Benoa bay. From those backgrounds, I attempt to make an investigation of the tidal characteristics of the Benoa bay and its adjacent area using numerical model.

Firstly, the characteristics of the upwelling occurred around the Lombok sill was presented. This research was implemented numerically with Finite Volume Coastal Ocean Model (FVCOM). The numerical results indicated the occurrence of tidal upwelling over the Lombok sill. The upwelling occurred in the northern side of Lombok sill just

after northward flow began; where the seawater temperature decreases to 20°C at 400 m depth and increases to 26°C at 300 m depth in the southern side of the sill. After the maximum and the end of northward tidal flow, the seawater downwelling occurred in the northern side of the sill and upwelling in the southern side of the sill. This caused the seawater temperature at 400m depth in the northern side increase to 22°C; whereas at 300 m depth in the southern side, the temperature reduces to 24°C. During the southward tidal flow, the tidal upwelling can be seen in the northern side of Lombok Sill; and just after southward flow begins, the seawater temperature decreases to 20°C at 350m depth. Meanwhile, tidal downwelling occurred in the southern side of the sill and the seawater temperature becomes 26°C at 300m depth. The strong tidal upwelling in the northern side of the sill and strong tidal downwelling in the southern side of the sill occurred after maximum southward tidal flow. It caused the temperature in the top of the sill decrease to 22°C. The upwelling occurred in the Lombok strait would bring high nutrient from deeper water to the surface. In addition, the tidal upwelling in Lombok strait will bring cooler water from deeper water to the surface. This cool water will decrease the evaporation, and has an impact for the local weather/climate. Secondly, the water exchange of Benoa bay was presented. This research was also implemented numerically with FVCOM. For comparison, the numerical simulations were conducted for showing not only the present configuration of the bay but also the past one. Two past configurations were considered. One is the configuration with unreclaimed Serangan Island and the Benoa harbor, while the other is that with unreclaimed Serangan Island and no Benoa harbor.

For the past configuration of Benoa bay, the water flow is divided into two route, to the northern channel and to the southern channel. Relatively, the strong current occurred in both channel for the case of unreclaimed Serangan Island, the maximum tidal current was 0.45 m/s during ebb tide and 0.3 m/s during flood tide. The similar tidal current pattern can be seen for the case of Benoa bay without the Benoa harbor (original condition). Different mechanism occurred for the present condition. The seawater flow only has one channel, which is the southern channel with narrower channel. At the narrow strait in the bay mouth, the M2 tidal current reached 0.46 m/s during ebb tide and 0.31 m/s during flood tide.

The characteristics of the seawater exchange were investigated by using the Lagrangian particle method. The particle transport has a different pattern for three cases. The original configuration of Benoa bay could transport 80% particle from the inner bay to the outer bay, the only bay four M2 tidal cycles. However, the particles only exported 60% and 50% for the case of Benoa bay with harbor and reclaimed condition respectively.

【論文審査結果の要旨】

インドネシア、バリ州のベノア湾および周辺海域のロンボク海峡は、インドネシアの産業（観光、漁業）にとって重要な海域である。また、赤道付近で地球の気候に対しても重要な地帯である。ベノア湾については、港の建設や干拓などの開発が進み、湾形状が変化しており、水質汚濁などの問題が進行している。これは湾形状の変化により潮汐流による湾内と外海の海水交換能力が低下したためと考えられる。一方、ロンボク海峡にはロンボクシルと呼ばれるマウンド状の隆起した海底地形が存在する。ロンボクシル周辺で潮汐流による湧昇流が存在している。これは底層の冷水や栄養塩の湧昇を起こし、漁業や気候などに影響すると考えられている。本研究は、これら潮汐流で引き起こされる現象の特性を把握し、ベノア湾およびその周辺海域の環境改善に資することを目標としている。当該海域では実測データが乏しい。そこで本研究では数値計算を用いて、当該海域の潮汐流に起因する現象の解明を行ったものである。

本論文は5章から構成されており、その要約を以下に示す。

第1章では本研究の背景と目的が述べられている。

第2章では既存研究のレビューがなされ、当該海域の潮汐流や湧昇流に関するこれまでの知見が紹介されている。また、本研究で用いる数値計算モデルである FVCOM の概要や、乏しい既存の情報から数値計算に必要なデータを作成する方法が説明されている。

第3章では潮汐流とロンボクシルによって駆動される湧昇流の特性について数値計算によって検討を行った。まず数値計算の妥当性を検討するため、4分潮を考慮した境界条件を与え、ロンボク島で観測された潮位および流速と比較した。その結果良好な一致を示しており、モデルの妥当性が示された。ロンボク海峡は南北方向に沿っているため潮汐流は南北方向が卓越している。南向きの潮流のときに、シルの北面で強い湧昇流が発生し、北向きの潮流のときにシルの南面で弱い湧昇流が発生する。このような非対称な湧昇流が発生することが分かった。またシル頂上で最大で海水温が4℃低下することが明らかとなった。

第4章では、ベノア湾の海水交換について、流動シミュレーションと粒子移動法を用いて、その能力を定量的に評価した。現在、ベノア湾では湾口に存在していた島が干拓され、陸地側とつながっている。また、湾内沖合に港が建設され、さらに港と陸地間は盛土で建設された道路で結ばれている。そこで、case-1: 現況、case-2: 港と道路だけが建設され干拓が行われていない場合、case-3: 開発が行われる以前の状況（干拓、港、道路がない場合）、case-4: 現況の盛土の道路を通水能のある橋梁に置き換えた場合の4ケースをシミュレーションの対象とした。

シミュレーションの結果、河川水が供給されている湾奥では緩混合となり、湾口では強混合となっていることが示された。海水交換能力は、高いものから順に case-3、case-4、case-2、case-1 であった。これは現況の盛土道路を橋梁にすれば、大きな海水交換能力の改善となることを示唆するもので、意義深い結果である。

第5章は結論として、本研究の各章の結論を要約し、今後の課題が述べられた。

本研究を通じ、これまで未知であった、ベノア湾の3次元的な流動パターン、混合形態および海水交換能力が明らかにされ、また社会や行政に対して海水交換能力改善のための方策を提言が可能となった。

公聴会では、非構造メッシュを用いた理由、水産においてなぜ湧昇流が重要となるのか、ベノア湾の現況において道路だけを除去した場合に、なぜ海水交換能力が改善するのか、インドネシアでは海底地形のデータの精度は不十分と思われるが海底地形データ作成になにか工夫はしたのか、静水圧近似モデルの妥当性などに質問があった。いずれの質問においても発表者から概ね適切な回答がなされた。

以上より、本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（学術）の論文に値するものと判断した。