


論文審査の結果の要旨

報告番号	博(工)甲第 79号	氏名	公 彬
学位審査委員	主査 蔣 宇静 副査 寿田彰秀 副査 大嶺 聖 副査 杉本知史		

論文審査の結果の要旨

公彬氏は、2017年4月に長崎大学大学院工学研究科博士後期課程に入学し、現在に至っている。同氏は、工学研究科博士後期課程に入学以降、当該課程の所定の単位を修得するとともに、メタンハイドレートの生産による海底地盤変形挙動の評価と生産技術に関する研究を行い、その成果を2019年10月に主論文「Comprehensive Research on the Deformation Response of the Reservoir during the Methane Hydrate Extraction in Deep Sea（深海におけるメタンハイドレートの生産による海底地盤変形挙動に関する研究）」として完成させ、参考論文として、学位論文の印刷公表論文5編（うち審査付き論文3編）、印刷公表予定論文2編（うち審査付き論文2編）、その他の論文5編（うち審査付き論文5編）を付して、博士（工学）の学位を申請した。長崎大学大学院工学研究科教授会は、2019年12月18日の教授会において論文内容等を検討し、本論文を受理して差し支えないものと認め、上記の学位審査委員を選定した。委員は主査を中心に論文内容について慎重に審議し、公開論文発表会を実施するとともに、最終試験を行い、論文審査および最終試験の結果を2020年2月19日の工学研究科教授会に報告した。

本論文は、深海に賦存するメタンハイドレート貯留層の力学的特性評価と生産における海底地盤の地すべり発生条件解明のために、多段階三軸圧縮試験による力学的特性の評価と数値シミュレーションによる海底地盤の安定解析および生産井からの排砂挙動推定を行ったものである。

メタンハイドレートは主として深海および永久凍土に賦存し、特定の温度と圧力条件下で形成されているので、それを分解させるメタンガス生産過程においては海底地盤の不安定や海底地すべりを引き起こす可能性がある。したがって、メタンハイドレート貯留層からメタンガスを効率的に持続して抽出するためには、メタンハイドレートを含む供試体の力学的特性の評価と生産過程における海底地盤の安定性の予測は重要である。

メタンハイドレートを含む供試体は通常の室内試験用供試体に比べて簡単に作成することがで

きないので、本研究では供試体の力学的特性を効率的に求める手法として、多段階三軸圧縮試験を実施し、粘着力と内部摩擦角などの強度定数を簡便に求める方法を検討した。つまり、多段階三軸圧縮試験においては深海状況を考慮して、一つの供試体に対して拘束圧を2MPaと6MPa、10MPaと連続に変化させた。従来の三軸圧縮試験（それぞれの拘束圧に対して複数の供試体を用いる試験）の結果とよく一致していることから、提案手法の信頼性が検証されている。また、メタンハイドレート供試体の強度発揮メカニズムを明らかにするために、貯留層の砂粒子とメタンハイドレートとの結合状態、メタンハイドレートの飽和率を考慮して粒状個別要素法数値シミュレーションを実施した。その結果、拘束圧の増加に伴いメタンハイドレートのピーク強度と割線弾性係数は軸ひずみとともに放物線的関係に従うことが分かり、ピーク強度および弾性係数と拘束圧、載荷速度との関係式を提案した。

つぎに、海底にある堆積地盤の傾斜がその力学的挙動に対する影響を明らかにするために、傾斜地盤モデルを作成し、堆積層の傾斜角や拘束圧、載荷速度、メタンハイドレート飽和率の影響を詳細に考察した。その結果、堆積層の傾斜角の増加に伴いピーク強度が最初に増加した後減少に転じるが、弾性係数は逆な傾向を示し減少から増加に転じることが確認された。また、ハイドレート飽和度の増加とともに堆積層のピーク強度と弾性係数がともに増加することが分かった。さらに、動的載荷における力学的挙動を解明するために、個別要素法に新たな構成則を追加し動的シミュレーションを実施した結果、繰り返し載荷を受けるメタンハイドレート貯留層の変形モードを確認することができた。

最後に、生産過程ではメタンガス分解がメタンハイドレート貯留層全体の強度を大幅に低下させ海底地盤の不安定を引き起こす可能性があるため、本研究では熱-流体-力学連成モデルを開発し、静的荷重と繰り返し載荷を受ける、海底地層の変形挙動と生産井からの排砂現象を詳細に解析した。水平に賦存する場合に比べて、傾斜層の場合は貯留層の上端面と海底面の沈下のみならず間隙水圧の分布も生産井に対し非対称となり、傾斜層の深い側ほど大きく生じることが分かった。また、生産井からの排砂はメタンガスの分解とともに貯留層の上下端部から始まり生産時間と繰り返し載荷周期とともに生産井の孔壁から貯留層の深部に広がっていくことが判明された。

以上のように本論文は、メタンハイドレートの力学的特性評価とメタンガス生産による海底地盤の安定評価に関して、新規性と独創性があり、高い学術的価値を有するものと評価できる。

学位審査委員会は、公杉氏の研究が深海におけるメタンハイドレートの生産による海底地盤変形挙動の予測評価と生産技術の検討において極めて有益な成果を得るとともに、環境資源工学分野の進歩発展に貢献するところが大きく、博士（工学）の学位に値するものとして合格と判定した。