

大水深海底地盤採取試料の力学試験についての弾粘塑性構成式によるシミュレーション

Simulation of triaxial compression tests on soil samples obtained from seabed ground in deep sea

荻迫 栄治 [1]; 西尾 伸也 [2]; 岡 二三生 [3]; 木元 小百合 [4]
Eiji Ogisako[1]; Shin'ya Nishio[2]; Fusao Oka[3]; Sayuri Kimoto[4]

[1] 清水建設・技研; [2] 清水建設・技研; [3] 京大・工・社会基盤; [4] 京大・工・土木

[1] Shimizu Corp.; [2] Institute of Technology, Shimizu Corp.; [3] Civil and Earth Resources, Kyoto Univ.; [4] Kyoto Univ.

http://www.shimz.co.jp/corporate_information/sit/

メタンハイドレートは石油、天然ガスに替わる次世代資源として注目されている。経済産業省が策定した「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」に従い、「メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム」が組織され、(財)エンジニアリング振興協会が環境影響評価に関する研究開発を行っている。筆者らは、この中で、メタンガス生産に伴う海底地盤の変形の可能性を評価すべく、海底地盤の構成式の開発に取り組んでいる。メタンハイドレートの資源フィールドの一つとして期待される南海トラフの大水深海域において基礎試験が行われた。今回、基礎試験で採取したコア試料を用いて行った三軸圧縮試験結果について、弾粘塑性構成式を用いてシミュレーションを実施し、試験結果との比較・検討を行った。

基礎試験は東海沖の水深 730m の海底地盤で海底面下 250m まで掘削が行われた。今回シミュレーションを行ったコア試料の採取深度は 739.7 ~ 955.0m である。三軸圧縮試験は K0 圧密非排水せん断条件で行った。この三軸圧縮試験を対象に、木元・岡らの提案する粘性土の弾粘塑性構成式を用いて、まず要素シミュレーションを実施した。シミュレーションに必要な材料パラメータは、試験結果を基に設定した。シミュレーションに際しては、せん断弾性係数のひずみ依存性および試料の初期構造変化を考慮した。シミュレーション結果と試験結果の比較から以下のことが明らかとなった。

ほぼ同程度の深度から採取された試料についてせん断時のひずみ速度を変えて行った試験結果については、ひずみ速度が大きい場合の方が小さい場合に比べて最大強度が大きくなっている。また、有効応力経路は、当初平均有効応力がほぼ一定のまま軸差応力が増加し、その後平均有効応力が増加しながら限界状態線に接近している。シミュレーション結果はこのような試験結果の挙動をよく表している。

異なる深度から採取された試料について実施した試験結果については、採取深度が深くなるにつれて、すなわち拘束圧が大きくなるにつれて最大強度は大きくなっている。また、拘束圧が最も大きいケースでは若干のひずみ軟化挙動を示している。シミュレーション結果はいずれもこのような試験結果をよく表している。

初期間隙比の異なる試料について実施した試験結果については、初期間隙比が小さい場合の方が大きい場合に比べて最大強度が大きくなっており、シミュレーション結果は試験結果とよく一致している。

次に、供試体内部の微視的な挙動を評価するために、三軸圧縮試験を対象に有限要素法による数値解析を実施し、変形やひずみの局所化現象について分析し、構成式の適用性について評価を行った。解析手法としては 3 次元水 - 土連成解析を行い、円柱供試体を六面体要素でメッシュ分割した。用いた要素は、変位場 20 節点、間隙水圧場 8 節点のアイソパラメトリック要素である。拘束条件としては、下面を鉛直・水平方向固定、上面を水平方向固定とし、試験のひずみ速度に応じて強制変位を供試体上面に鉛直方向に作用させた。また、排水条件としては、要素間の水の移動は許すが、境界全体を非排水条件とした。解析結果と試験結果の比較から以下のことが明らかとなった。

試験時の供試体の変形の進展状況は、軸ひずみの増加につれて供試体の中央部が次第に横方向にはらみだしており、いわゆる樽型の変形モードを示している。解析結果はこのような試験結果の変形モードをよく再現している。

三軸圧縮試験の画像解析結果から得られた供試体表面のひずみ分布を見ると、軸ひずみの増加につれて供試体中央部のせん断ひずみが次第に増加している。また、軸ひずみの増加につれて供試体中央部に膨張側の体積ひずみが次第に集中し、それに伴って供試体上下端部には圧縮側の体積ひずみが増加している。解析結果はこのような試験結果の傾向をよく再現している。

以上のように、今回用いた弾粘塑性構成式によって南海トラフ大水深海域の海底地盤から採取したコア試料の力学試験結果をよく表現できることが確認された。