

海底乱泥流堆積物を模擬した土試料の三軸圧縮試験
 についての弾粘塑性構成式によるシミュレーション

メタンハイドレート 三軸圧縮試験 弾粘塑性構成式 エンジニアリング振興協会(清水建設) 国際会員 ○荻迫栄治
 同上 国際会員 西尾伸也
 同上 国際会員 傳田 篤
 京都大学大学院 国際会員 岡二三生
 京都大学大学院 国際会員 木元小百合
 エンジニアリング振興協会(伊藤忠テクノソリューションズ) 岡部直司

1. はじめに

メタンハイドレートは次世代資源として注目されており、日本周辺海底にも日本が消費している天然ガスの約 100 年分の量が存在すると推定されている。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おり、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について検討を進めている。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上部約 500m の海底地盤は、富士川砂を主体とした海底乱泥流堆積物(タービダイト)の砂泥互層が卓越することが知られている。今回、海底地盤のタービダイトを模擬した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。

表-1 タービダイト砂模擬試料の配合

試料名	豊浦砂 (%)	7号珪砂 (%)	8号珪砂 (%)	クローライト (%)	細粒分含有率(%)	平均粒径 (mm)
A	10.5	78.6	10.5	0.4	4.9	0.149
C	86.9	2.5	2.5	8.0	8.7	0.158

2. 三軸圧縮試験とシミュレーションの概要

力学挙動に与えるタービダイト砂層の級化堆積構造の影響を把握するため、タービダイト砂層を模擬した砂質土試料について、 K_0 圧密・排水せん断試験を実施した。用いた試料の配合を表-1 に示す。試料 A はタービダイト砂の斜交葉理部を、試料 C は平行葉理部を模擬した試料である。各試料の最大粒径は 0.425mm である。なお、各試料の骨格間隙比は 0.78 に統一し、試験結果に与える密度の影響を排除した。各試料について、それぞれ拘束圧を 1000kPa と 1500kPa の 2 種類に、また、ひずみ速度を 1, 0.1, 0.01%/min の 3 種類に変えてせん断試験を行った。試験ケースを表-2 に示す。この三軸圧縮試験を対象に、岡らの提案する凍結砂のひずみ軟化型弾粘塑性構成式¹⁾を用いてシミュレーションを行った。シミュレーションに必要な材料パラメータは、試験結果から表-3 に示すように設定した。

表-2 試験ケース

試料番号	拘束圧 (kPa)	ひずみ速度 (%/min)
A-1-1	1000	1
A-1-2	1000	0.1
A-1-3	1000	0.01
A-2-1	1500	1
A-2-2	1500	0.1
A-2-3	1500	0.01
C-1-1	1000	1
C-1-2	1000	0.1
C-1-3	1000	0.01
C-2-1	1500	1
C-2-2	1500	0.1
C-2-3	1500	0.01

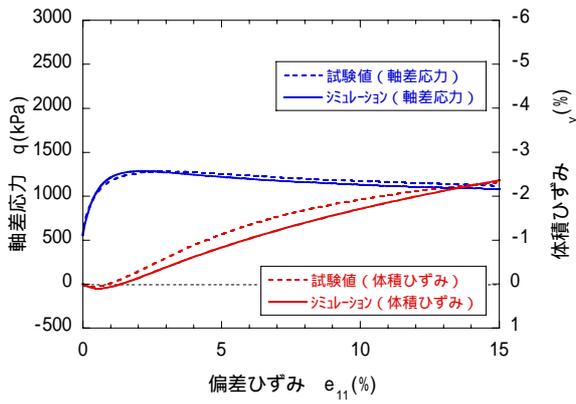
3. シミュレーション結果および考察

図-1 は、試料 A について拘束圧 1000kPa の下でひずみ速度を変えたケースについての軸差応力 - 偏差ひずみおよび体積ひずみ - 偏差ひずみの関係を示したものである。軸差応力はひずみの増加につれて増大するが、最大強度に達した後はゆるやかに減少しており、いわゆるひずみ硬化 - 軟化挙動を示している。体積ひずみについては、初期に若干圧縮ひずみが生じるが、その後は膨張に転じている。ただし、ひずみ速度の違いによる差は小さく、最大強度の値やダイレイタンスの挙動も似かよっていることがわかる。図-2 は、試料 C についてひずみ速度 1%/min で拘束圧を変えたケースにつ

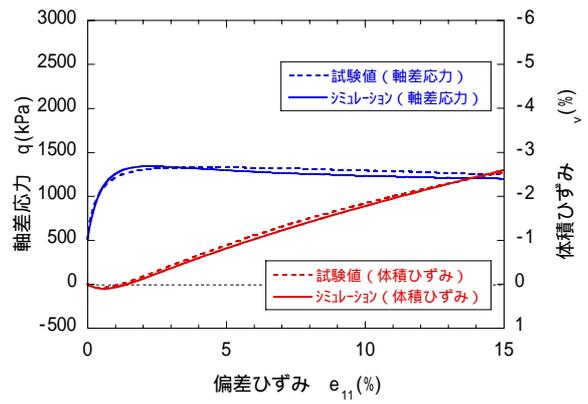
表-3 シミュレーションに用いた材料パラメータ

試料番号	A-1-1,2,3	A-2-1,2,3	C-1-1,2,3	C-2-1,2,3
ヤング係数 E (kPa)	157700	194000	185000	236300
体積弾性係数 K (kPa)	175000	216000	205700	263000
ひずみ硬化 - 軟化パラメータ G'	11.00	9.25	8.90	8.50
ひずみ硬化 - 軟化パラメータ M_f^*	1.12	1.18	1.21	1.19
塑性ポテンシャルパラメータ σ_{mb} (kPa)	633	947	656	968
塑性ポテンシャルパラメータ b (kPa)	0	0	0	0
過圧密境界面パラメータ M_m^*	1.01	1.00	0.98	0.99
応力履歴パラメータ τ_0 (sec)	2300	1900	1800	1700
応力履歴パラメータ a	1.0	1.0	1.0	1.0

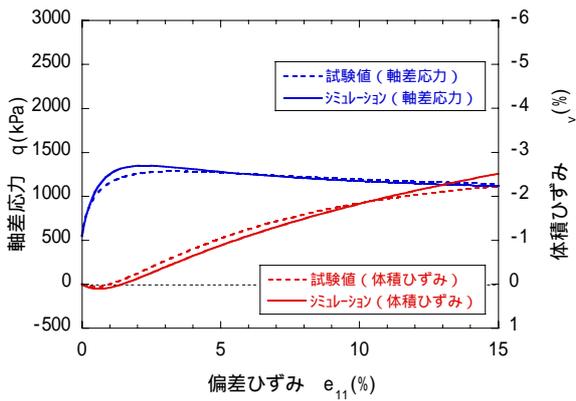
Simulation of Triaxial Compression Tests on Soil Samples Reproducing Turbidite Sediments by Elasto-visco Plastic Constitutive Equation, Eiji OGISAKO, Shin'ya NISHIO and Atsushi DENDA (Shimizu Corporation), Fusao OKA and Sayuri KIMOTO (Kyoto University), Naoji OKABE (ITOCHU Techno-Solutions Corporation)



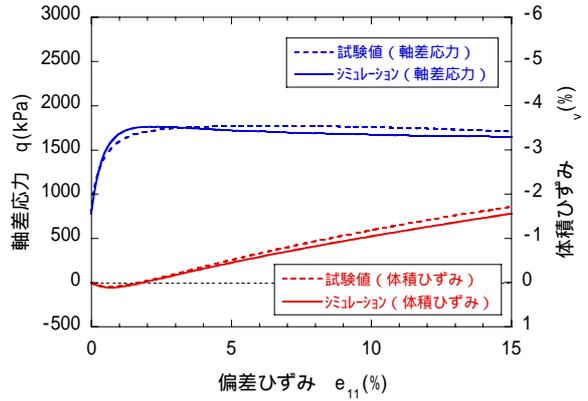
(a) ひずみ速度 1%/min



(a) 拘束圧 1000kPa



(b) ひずみ速度 0.1%/min



(b) 拘束圧 1500kPa

図-1 応力-ひずみ関係(試料 A, 拘束圧 1000kPa)

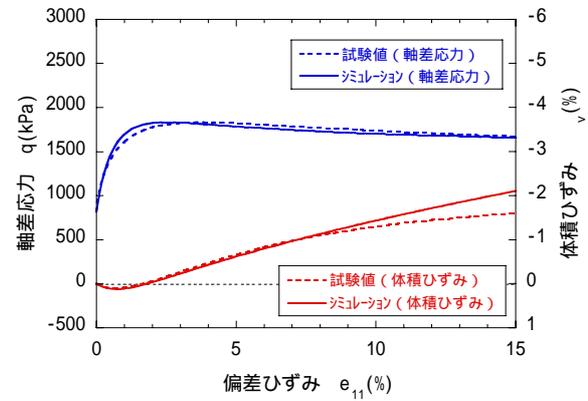
図-2 応力-ひずみ関係(試料 C, ひずみ速度 1%/min)

いての軸差応力 - 偏差ひずみおよび体積ひずみ - 偏差ひずみの関係を示したものである。拘束圧が大きいくほど最大強度は大きくなっている。体積ひずみについては、試料 A の場合と同様に、初期に若干圧縮ひずみを生じた後膨張に転じているが、膨張後の体積ひずみは拘束圧が大きいくほど小さくなっている。図-3 は、拘束圧 1500kPa、ひずみ速度 0.1%/min のケースについて試料 A と試料 C の応力 - ひずみ関係を比較したものである。試料 C が試料 A に比べて若干最大強度が小さく、ひずみ軟化の度合いが小さいものの、軸差応力、体積ひずみともに全般的な挙動は似かよっており、試料の違いによる差はあまり大きくないことがわかる。図-1 ~ 図-3 には試験結果(破線)と併せてシミュレーション結果(実線)を示しているが、シミュレーション結果は上述した試験結果の挙動をよく表していることがわかる。

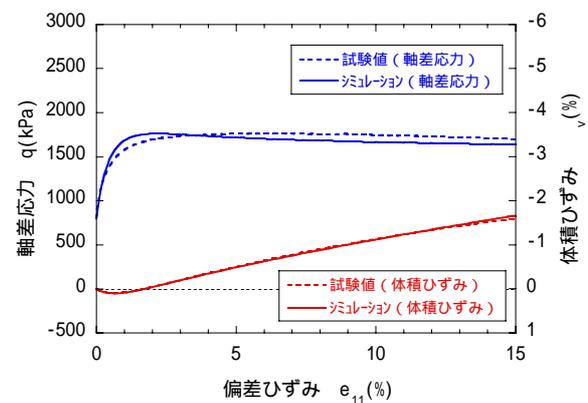
4. おわりに

海底地盤のタービダイトを模擬した試料の三軸圧縮試験について弾粘塑性構成式を用いてシミュレーションを行った。その結果、ひずみ速度や拘束圧の影響など試験結果に見られる挙動をシミュレーションによってよく表現できることが確認された。

参考文献 1) 足立, 岡:凍結砂のひずみ軟化型弾粘塑性構成式, 土木学会論文集, No.454/III-20, p.75-81, 1992.



(a) 試料 A



(b) 試料 C

図-3 応力-ひずみ関係(拘束圧 1500kPa, ひずみ速度 0.1%/min)