

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20360209

研究課題名（和文） ガスハイドレート層の特性を調べる孔底三軸試験方法の開発

研究課題名（英文） Development of down-hole triaxial test method to evaluate characteristics of gas hydrate layers

研究代表者

谷 和夫 (TANI KAZUO)

横浜国立大学・工学研究院・教授

研究者番号：50313466

研究成果の概要（和文）：ガスハイドレート（GH）層の特性を調べる方法として孔底三軸試験方法を提案し、その要素技術の確立を目的として、(1) 試験体の変形を計測する技術、(2) 試験装置と試験手順、(3) 多段階載荷方式の試験方法について検討した。その結果、(1) ひずみゲージをゴム膜に貼付する方法が小型化に資すること、(2) ゴム膜の固定や試験体の回収方法の工夫を行ったこと、(3) 多段階載荷方式として拘束圧を順次増加する方法の適応性が高いことなどを示した。

研究成果の概要（英文）：Down-hole triaxial test method was proposed for the geotechnical investigation of gas hydrate layers. Some relevant basic technologies were studied regarding (1) instrumentation technologies, apparatus, and multi-step loading test. The results demonstrated that (1) strain gages on the rubber membrane are appropriate for local deformation measurement, (2) some devices were developed for reliable fixing of rubber membrane and for suitable specimen recovery, and (3) multi-step loading with increasing confining stresses was found preferable.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2009 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
総計	7,800,000	2,340,000	10,140,000

研究分野：岩盤工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：地盤工学、資源開発工学、大深度地下、海洋資源、三軸試験、地盤調査、原位置試験、ドリリング

1. 研究開始当初の背景

海底下に存在するガスハイドレート（GH）層より天然ガスを生産する際には、GH層の分解に伴う海底地盤の大変形や破壊、さらにそれらに伴う生産設備の損傷などが懸念される。そのため、GH層の力学特性の調査は非常に重要であるが、現在のところ、海底地盤中のGH層をコアリングして室内で

三軸試験を実施する調査方法が安易に想定されている。しかし、サンプリングによる試料の乱れや、海底から三軸セルにセットする間に圧力・温度条件が変化することによるGHの分解により力学特性を正しく評価できないことが問題である。そこで、ボーリング孔の底部で三軸試験を行う方法（孔底三軸試験）の研究開発を提案した¹⁾。この孔底三軸試験により、サンプリングによる乱れの影響

を最小化し、かつGH層の圧力・温度条件を変えることなく、または意図的に変えた条件の下でGH層の力学特性を調べることが可能となる。

1) 谷和夫:ハイドレート層の力学特性を調べるための原位置試験の提案、2005年度資源・素材学会春季大会、I-3411、pp.195-196、2005.

2. 研究の目的

ガスハイドレート (GH) 層の力学特性を調べる技術として、ボーリング孔の底部で三軸圧縮試験を実施する孔底三軸試験方法を開発するために、基礎的な要素技術を開発することを研究の目的とした。

ベースとなる技術は原位置岩盤三軸試験で、陸域の基礎地盤の調査方法として実用化されている。しかし、この原位置岩盤三軸試験は大型・複雑であり、また試験体の作製方法がブレ・ボーリング方式であるため、海底のGH層の調査には適さない。

そこで、大幅に小型化・簡便化を図ると共に、乱れの影響を最小限に抑える試験体の作製方法を開発する。さらに、多段階荷重方式を高度化し、少ない試験数で地盤の力学特性を調べることが可能とする。

3. 研究の方法

図1に孔底三軸試験の装置と3つの課題を示す。課題には、試験体の計測に関するもの、試験体の作製に関するもの、試験の制御に関するものがある。その内、試験体の作製と試験の制御に関するセルフ・ボーリング方式の削孔技術については、機械工学分野に主に関連するのでこの研究では取り扱わない。さらに、試験体の作製に関するポリマーの濃厚溶液の利用については、乱れの少ない試料のサンプリング技術として開発が進んでいる²⁾。よって、孔底三軸試験方法の要素技術の確立を目指して、試験体の計測に関する変形を計測する方法とセンサーの小型化及び試験の制御に関する荷重方式を対象として以下の3項目の検討を行なった。

(1) 試験体の変形を計測する技術

装置の小型化を図るため、孔底三軸試験に相応しい変位の計測システムを開発する。計測結果がベジディング・エラーの影響を受けないように試験体の側面で計測する方法として、ひずみゲージを予めゴム膜の表面に貼付して試験体の側面に接着する方式を採用し、ゴム膜の堅牢性や耐久性、ひずみゲージから出るケーブルの配置、構造の複雑さ、施工性などを検討する。さらに、最適の接着範囲や泥水中における接着方法を実験的に検

討する。

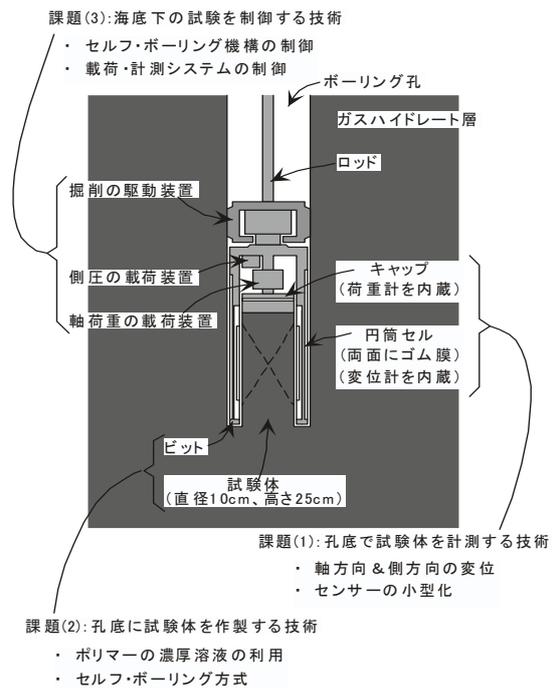


図1: 孔底三軸試験の装置と課題

(2) 試験装置と試験手順

小型で構造がシンプルな試験装置及び施工性が高く信頼度が高い簡便な試験手順を目指して、主に試験体の寸法、最大セル圧、荷重装置、ドリリングの溝幅、試験体の回収方法を検討する。特に、三軸セルの下端に設置するコアリフターの形状や寸法を工夫して、試験体の底部を確実に保持して、三軸セルを引き揚げることにより試験体の底面を引張り破壊させ、軸圧縮によりせん断破壊した試験体を乱さないように回収することを重要視した。また、荷重システムについては、径が140~160mmのボーリングの孔底においてせん断強さが数MPa~十数MPa(軟岩レベル)の試験体を拘束圧3~8MPaの範囲で軸圧縮が可能な荷重性能を発揮することができるものを検討する。

設計の基本検討の後、試験体の直径100mm用の孔底三軸試験用のセルを開発し、試験の実行可能性を検証する。孔底を模擬した人工岩盤内で孔底三軸試験を行い、三軸セルのセット、荷重試験、試験後の装置の回収などの施工性を検討する。

(3) 多段階荷重方式の試験方法

少ない試験数で地盤の強度特性を評価するため、最適の多段階荷重方式を開発する。さまざまな条件下で多段階荷重方式の三軸圧

縮試験を実施して、応力経路（拘束圧の設定順序、等方・異方圧密）、破壊の判定方法、繰返し载荷の回数などが、計測されるせん断強さ（評価される粘着力、せん断抵抗角）に及ぼす影響を検討する。検討に際しては、繰返し载荷による損傷をモデル化することが可能なMLDモデル（多段階载荷損傷モデル）を利用する。対象とする岩石の範囲は軟岩～中硬岩～硬岩とし、求められる強度パラメータ（せん断抵抗角と粘着力）の精度に基づいて適用性を評価する。

2) 谷 和夫：高濃度のポリマー溶液を利用して乱さない試料を採取する方法の開発，平成 16-17 年度科学研究費補助金，基盤研究（B2，課題番号 16360235），2006.

4. 研究成果

ガスハイドレート（GH）層の力学特性を調べる孔底三軸試験方法の要素技術について以下の成果を得た。

(1) 試験体の変形を計測する技術

装置の小型化をするため、孔底三軸試験に相応しい変位の計測センサーとして、ゴム膜にひずみゲージを予め組み込む方式を採用した。理由は、計測センサーの占める空間が極小化され、セルの径を小さく（削孔断面ないしドリリングの溝幅を小さく）できるからである。ゴム膜を2重にしてひずみゲージから出るケーブルを挟むことでケーブルの位置が固定されて施工性を向上することも検討したが、ゴム膜の両端をキャップ及びセル底部に固定する構造が複雑になり耐圧性能が低下することから1重とすることとした。

また、泥水中においてもひずみゲージを試験体に確実に貼付できる接着材と圧着方法を確立し、さらに最適の接着範囲と接着剤の厚さを検討するため、泥水中におけるひずみゲージを接着した供試体を用いて繰返し载荷の一軸圧縮試験を行った。その結果、接着範囲をひずみゲージを貼付する範囲を超えて試験体の全周に拡大する方式に変更した。さらに、計測精度や接着の信頼性の観点から、接着剤の厚さを0.3-0.5mmとして一様に塗布することが重要であることを明らかにした。

この全周接着の方法について、有限要素解析により、接着剤と試験体の剛性比及び接着範囲の大きさが計測結果の精度（感度）に与える影響について検討した。その結果、接着剤と試験体の剛性比が0.5-2.0の範囲について、接着剤をゲージ長の2倍程度の範囲に厚さ0.3-0.5mmで塗布する場合には、計測誤差は数%以下であることを明らかにした。

(2) 試験装置と試験手順

所定の形状・寸法の試験体を孔底に経済的に作製するため、掘削溝の幅を最小化し、かつ一段階でドリリングする方法を採用した。変位の計測センサーとしてひずみゲージを採用したこととゴム膜の補強により、溝の幅を従来の25mmから12mmに減じることが可能となった。また、セルの構造や制御を単純化するために、拘束圧をある程度保持して引き上げることにより軸圧縮した試験体を回収する方法を採用した。

直径95mmの試験体を対象とした孔底三軸圧縮試験に用いるセルを作製した。せん断強さが数MPaの弱い軟岩の試験体を対象に、最大拘束圧2MPaの仕様である。石膏を利用した人工岩を用いて孔底に作製した試験体に対して、多段階载荷方式の三軸圧縮試験が実施可能であることを確認すると共に、セルの挿入やひずみゲージの圧着などの作業性について課題を抽出し改善を行った。

(3) 多段階载荷方式の試験方法

少ない試験数で地盤の強度特性を評価するため、さまざまな多段階载荷方式の三軸圧縮試験を実施し、応力経路（拘束圧の設定順序、等方・異方圧密）、破壊の判定方法、繰返し载荷の回数などが、求められる粘着力とせん断抵抗角に及ぼす影響を検討した。試験結果の解釈に際しては、繰返し载荷による損傷をモデル化することが可能なMLDモデル（多段階载荷損傷モデル）を評価に利用し、強度特性を精度良く評価することが可能な多段階载荷方式の基本として、拘束圧は順次増加する方法が適切であることや繰返し回数は4から8階程度ではそれほど差がないことを示した。

また、各種の岩石に対する適用性を調べた結果、軟岩～中硬岩については、粘着力をやや過大評価し、逆にせん断抵抗角をやや過小評価するが、その差は10%程度の範囲に収まることを明らかにした。しかし、硬岩については、その差異は20%を超える可能性があることも示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計3件）

- ① Taheri, A. and Tani, K.: Characterization of a sedimentary soft rock by a small In-situ triaxial test, *Geotechnical and Geological Engineering*, 査読有, Vol.28, No.3, 2010, pp.241-249.
- ② 谷 和夫：軟岩における地盤調査方法と地盤物性値の評価、基礎工、査読無、

Vol.37, No.4 (通巻第 429 号)、2009、pp.47-50.

- ③ Taheri, A. and Tani, K.: Development of an apparatus for down-hole triaxial tests in a rock mass, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 査読有, Vol.45, No.5, 2008, pp.800-806.

〔学会発表〕(計 13 件)

- ① 田中悠一、谷 和夫：ひずみゲージの圧着を特徴とした原位置孔底三軸試験装置の検証実験、第 40 回岩盤力学に関するシンポジウム、2011/1/13-14、土木学会、pp.98-103.
- ② 重国祐貴、谷 和夫：孔底三軸試験における試験体へのひずみゲージの全周接着方法に関する検討、第 40 回岩盤力学に関するシンポジウム、2011/1/13-14、土木学会、pp.138-143.
- ③ 谷 和夫、Abbas Taheri：多段階載荷損傷モデル (MLDモデル) を用いた多段階載荷方式の三軸試験の適用性の検討、第 39 回岩盤力学に関するシンポジウム、2010/1/7-8、土木学会、pp.100-105.
- ④ 田中悠一、谷 和夫：泥水中でひずみゲージを岩盤に接着する方法の検討、第 39 回岩盤力学に関するシンポジウム、2010/1/7-8、土木学会、pp.106-111.
- ⑤ 田中悠一、谷 和夫：ひずみゲージによる孔底三軸試験装置の高度化に関する検討、第 6 回地盤工学会関東支部発表会、Geo-Kanto2009、2009/11/12-13、地盤工学会関東支部、pp.156-159.
- ⑥ 谷 和夫、Abbas Taheri：サウンディングにより岩盤の応力～ひずみ関係を計測する方法、最近のサウンディング技術と地盤評価に関するシンポジウム、2009/10/22-23、地盤工学会、pp.69-74.
- ⑦ 田中悠一、谷 和夫：小型原位置三軸試験装置の改良に関する検討、第 44 回地盤工学研究発表会、2009/8/18-21、地盤工学会、pp.1891-1892.
- ⑧ Taheri, A. and Tani, K.: Simulation of multiple-step loading triaxial compression test on a mudstone by a new damage model, *Proc. Int. Sym. on Rock Mechanics, SINOROCK 2009*, 2009/5/19-22, Hong Kong, 8p.
- ⑨ Taheri, A. and Tani, K.: Proposal of a new

multiple-step loading triaxial compression testing method, *Proc. 5th Asian Rock Mechanics Symposium*, 2008.11, Teheran, Vol.1, pp.517-524.

- ⑩ 谷 和夫、岡田哲実：原位置と室内の繰返し三軸試験で求められた礫岩の変形特性、第 12 回岩の力学国内シンポジウム、2008.9、山口、pp.563-568.
- ⑪ Tani, K., Taheri, A. and Okada, T.: In-situ triaxial test method in shallow and deep ground, *Proc. 4th Int. Sym. on Deformation Characteristics of Geomaterials*, 2008.9, Atlanta, Vol.2, pp.869-874.
- ⑫ Taheri, A. and Tani, K.: Study on stiffness of a mudstone in multiple-step loading triaxial compression test, *Proc. 43rd Domestic Conf. of JGS*, 2008.7, Nagoya, pp. 491-492.
- ⑬ Taheri, A. and Tani, K.: Characterization of mudstone in a deep underground cavern - comparison of full-scale behavior and field and laboratory tests, *Proc. 3rd Int. Conf. on Site Characterization*, 2008.5, Taipei, pp.529-535.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称：原位置岩盤引張り試験方法及び試験装置

発明者：岡田哲実、谷 和夫

権利者：(財) 電力中央研究所、横浜国立大学

種類：特許

番号：特願 2009-264336

出願年月日：2009/11/19

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷 和夫 (TANI KAZUO)

横浜国立大学・工学研究院・教授

研究者番号：50313466

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし