

Ⅲ-A341

常滑層地盤の単調載荷と繰返し三軸試験による変形特性の対比

清水建設技術研究所 正会員 渡辺 浩平
 中部電力土木建築部 正会員 水野 直也
 中部電力土木建築部 正会員 仲村 治朗
 清水建設技術研究所 正会員 西尾 伸也

1. はじめに

愛知県知多市において図-1に示すような容量16万 m^3 のLNG地下タンクの建設を行った。本タンクが建設された地盤は固結シルト(Tm)と砂(Ts)の互層からなる新第三紀常滑層である。掘削時の安定性と周辺地盤の地下水位低下を防止するため山留には連壁を用いた。可動式傾斜計による計測から連壁は掘削完了時に最大で内側に20mm程度の変形を示した¹⁾。この連壁の変形量から周辺地盤に発生した円周方向ひずみ ϵ_θ を求めると 6×10^{-4} 程度となり小さなひずみであることが分かった。本タンクの掘削時の連壁や周辺地盤の挙動評価にはLDT(Local Deformation Transducer)と呼ばれる局所変位計²⁾を用いた単調載荷三軸圧縮試験(以下、単調載荷試験と呼ぶ)結果を用いた。一方、事前調査において地震時の動的変形特性を求めるために繰返し三軸試験(以下、繰返し試験と呼ぶ)を行い単調載荷試験と同じく微小ひずみから中ひずみに至る変形特性を求めた。このため、地震時の挙動評価に用いた繰返し試験結果が地下タンク掘削時の挙動評価へ適用できるかどうかについて両試験結果に基づいて比較検討を行った。

2. 基本的な物理特性

表-1には固結シルト(Tm1、Tm2)と砂(Ts1、Ts2)の物理試験結果の一覧表を示した。砂については粒度組成よりTs2に比べTs1の方が礫分が少なく砂分が多いこと、細粒分(粘土分+シルト分)は共に6%と非常に少ないこと、均等係数は共に4以下と粒度分布が悪いこと、間隙比は0.68~0.73と小さく密な砂であることが分かった。固結シルトについては粒度組成よりシルト分が多いが部分的に砂分を22%含むなどばらつきがあることが分かった。以下では固結シルトはTm2、砂はTs1についての検討結果について述べる。

3. 試験概要

(1) 単調載荷試験：等方圧密排水(CD)、側圧(σ_3)一定、ひずみ速度($\dot{\epsilon}_1$)一定、バックプレッシャー0.2MPaを作用させて行った。側圧は固結シルトでは $\sigma_3 = 0.2, 0.5, 1.0$ MPa、砂では $\sigma_3 = 0.1, 0.5$ MPaを用いた。ひずみ速度は固結シルトと砂についてそれぞれ $\dot{\epsilon}_1 = 0.005\%/min$ 、 $\dot{\epsilon}_1 = 0.01\%/min$ とした。LDTは供試体10cmに対し長さ7cmとし対角線上に設置して平均値から軸ひずみを求めた。

(2) 繰返し試験：荷重制御で、周波数0.5Hzの正弦波を用い、側圧 σ_3 は固結シルトでは0.34MPa、砂では0.17MPaを、バックプレッシャーは0.2MPaを用いた。排水条件は繰返し載荷中は非排水、繰返し載荷終了後は排水により過剰間隙水圧を消散させた。また、供試体の軸ひずみは非接触型変

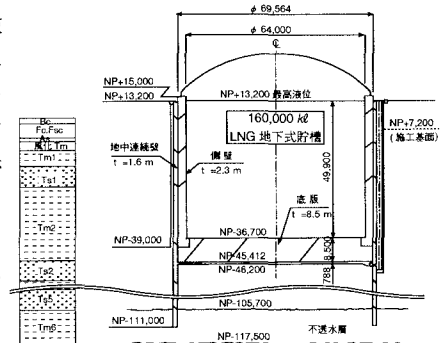


図-1 LNG地下タンク構造図

表-1 物理試験結果

		Ts1	Ts2	Tm1	Tm2
湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)		1.6 8	1.8 0	1.8 9	1.9 7
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)		1.5 5	1.5 8	1.4 4	1.5 3
自然含水比 Wn (%)		8.3	13.6	31.7	28.5
間隙比 e		0.7 3	0.6 8	0.9 0	0.7 7
粒度特性	礫 分 (%)	1	9	0	0
	砂 分 (%)	9 3	8 5	2 2	1
	シルト分 (%)	5	6	5 7	4 3
	粘土分 (%)	1	0	2 1	5 6
	均等係数 Uc	4.0	3.3	4 5.0	—

キーワード：常滑層地盤、固結シルト、砂、剛性低下曲線、三軸圧縮試験

連絡先：〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 TEL 03-3820-5520

FAX 03-3820-5955

〒461-8680 名古屋市東区東新町1番地 TEL 052-951-8211

FAX 052-973-3173

位計を用いてキャップの軸変位から求めた。等価ヤング率 E_{eq} 、片振幅軸ひずみ $(\epsilon_1)_{SA}$ は、繰返し载荷回数10回目のデータを用いて求めた。

4. 単調载荷と繰返し三軸試験結果の比較

（1）固結シルトについて

図-2には単調载荷試験から得られた破壊ひずみに至るまでの割線ヤング率 $E_{sec} \sim$ 軸ひずみ ϵ_1 関係、繰返し試験から得られた $E_{eq} \sim (\epsilon_1)_{SA}$ 関係を示した。これより初期ヤング率については拘束圧依存性が小さく単調载荷試験と繰返し試験ではほぼ等しい値となった。図-3には図-2に示したヤング率を $\epsilon_1 = 1 \times 10^{-5}$ レベルにおける初期ヤング率で正規化した剛性低下率のひずみ依存性（剛性低下曲線）を示した。剛性低下曲線については両試験の値が等しいのは $\epsilon_1 = 5 \times 10^{-4}$ 程度までであった。これより大きなひずみでは繰返し試験の方が小さい値となった。これは新規制定基準・同解説²⁾に示されているように繰返し試験では三軸伸張応力状態で変形しやすくなることが要因と考えられる。

（2）砂について

図-4、図-5にはヤング率と剛性低下率のひずみ依存性を示した。なお、単調载荷試験結果は軸ひずみ $\epsilon_1 = 1 \times 10^{-2}$ までについて示した。図-4より初期ヤング率には拘束圧依存性が見られ単調载荷試験結果を直線補間により求めた0.17 MPaに対応する値と繰返し試験結果はほぼ等しい値となった。図-5の剛性低下曲線については繰返し試験を行ったすべてのひずみ範囲において両試験は良い対応が見られた。

5. まとめ

微小ひずみから中ひずみレベルにおける常滑層地盤の変形特性について地震時の挙動評価に用いた繰返し試験結果が地下タンク掘削時の挙動評価へ適用できるかどうかについて単調载荷試験結果と比較検討を行った。その結果、固結シルトについては $\epsilon_1 = 5 \times 10^{-4}$ 程度まで、砂については $\epsilon_1 = 1 \times 10^{-2}$ 程度までは繰返し試験結果が単調载荷試験結果の代わりに適用できることが分かった。

参考文献 1) 仲村治朗、滝澤豊：LNG地下式貯槽における地下水に対する設計・施工対策，電力土木，No. 270，pp.56-61，1997。 2) 佐藤剛司、澁谷啓、龍岡文夫ほか：三軸および一軸供試体の微小ひずみでの変形係数の測定方法，三軸試験方法に関するシンポジウム発表論文集，pp.173-180，1991。 3) 地盤工学会編：新規制定地盤工学会基準・同解説，地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法，pp.87-88，1996。

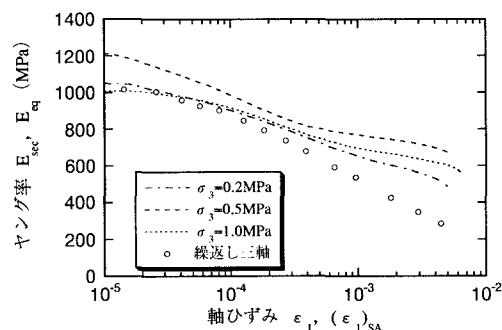


図-2 ヤング率のひずみ依存性（固結シルト，Tm2）

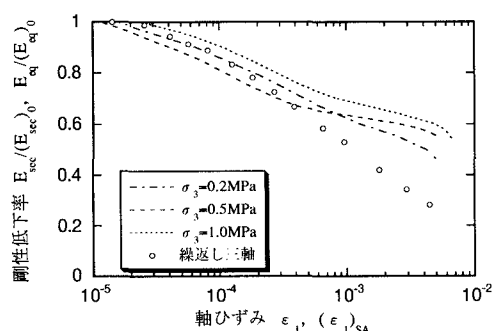


図-3 剛性低下曲線（固結シルト，Tm2）

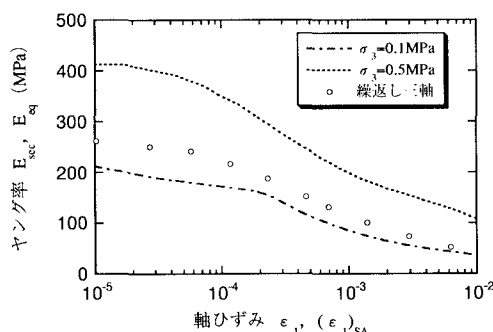


図-4 ヤング率のひずみ依存性（砂，Ts1）

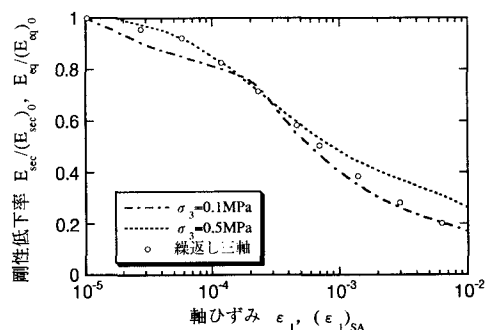


図-5 剛性低下曲線（砂，Ts1）