

多段階载荷損傷モデルの提案

○横浜国立大学 学生会員 木村 誠
横浜国立大学 正会員 谷 和夫

1. はじめに: 一般に行われている三軸圧縮試験(Single-step loading triaxial compression test:以下 SL-TC)では、1つの設定拘束圧に対するせん断強さが得られ、強度定数を得るには複数の供試体が必要となる。これに対し、1本の供試体で複数の設定拘束圧に対するせん断強さが得られる多段階三軸圧縮試験(Multiple-step loading triaxial compression test:以下 ML-TC)の概念が Kovari(1975)によって提案された。試験法としての位置付けを確立するためには、①ピークの判断方法、②応力履歴の影響、③応力経路・軸圧縮回数による影響、④SL-TC の代替法としての妥当性などを検討する必要がある。そこで、本研究では ML-TC の位置付けを評価し得る多段階载荷損傷モデルを作成した。

2. 多段階損傷モデルの概念: 有効拘束圧 (σ'_c)、せん断応力がゼロの時の累積した塑性軸ひずみ (ϵ_a^p)、SL-TC と ML-TC の軸差強度比 (q_{ML}/q_{SL}) の 3 つのパラメータを用いて、ある载荷段階までに供試体が受けた損傷を累積した塑性軸ひずみで代表させた多段階载荷損傷モデル(Multiple-step loading damage model:以下 MLD モデル)を作成した。MLD モデルは以下に示す 3 つの関係より構成される。

- ① $q_{MLi}/q_{SL} = f(\sigma'_c, \epsilon_{a(i-1)}^p)$: 有効拘束圧とそれまでに累積した塑性軸ひずみから SL-TC のピーク強度(q_{SL})と ML-TC のある段階で発揮されるピーク強度(q_{ML})の比を推測する関係
- ② $\epsilon_{a(i)}^p = f(\sigma'_c, \epsilon_{a(i-1)}^p)$: ある载荷段階のせん断・除荷後に累積する塑性軸ひずみを、有効拘束圧と軸圧縮前に累積していた塑性軸ひずみから推測する関係
- ③ $q_{SS} = f(\sigma'_c)$: 有効拘束圧で定義した SL-TC に対するせん断強さを表したクーロンの破壊規準

表 1 シルト岩の物性値

湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	1.70~1.79
V_s (m/sec)	314~495
V_p (m/sec)	606~1422
含水比 w (%)	39.2~46.5

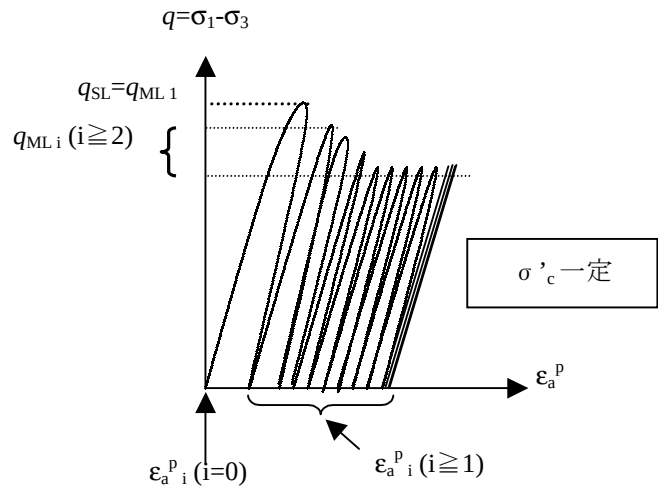


図 1 シリーズ1の実験から得られる応力-ひずみ曲線

3. MLD モデル作成のための実験方法(シリーズ1)

試料は新第三世紀鮮新世後期の海成堆積岩で、仙台層群上部の大年寺層の上層部に属する地層から採取したシルト岩で、φ50mm、高さ 100mm に整形した供試体を用いた(表 1)。

実験は、同じ有効拘束圧の下で非排水せん断および除荷を繰り返し行った。この実験方法を選択した理由は、各载荷段階で発揮される無次元化したピーク強度が供試体の差異による影響を受けないようにするためである。背圧は 0.4MPa、有効拘束圧は 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.6、3.2MPa とし、せん断の载荷速度は 0.05%/min で行った。

ピークの判断方法は、確実にピークを捉え、できるだけ供試体の損傷を防ぐため、軸荷重の計測値が減少し始めた時点で行った。その後、等方応力状態に戻して、残留した過剰間隙水圧を消散させた後に次の非排水せん断のステップを行った。

図 1 に、実験の結果得られる応力-ひずみ曲線とモデル作成に必要な情報を示す。この実験の 1 段階目のピーク強度は SL-TC のピーク強度に当たるものとした。

4. MLD モデルの構築: シリーズ1の実験により得られた MLD モデルの 3 つの関係を図 2 に示す。有効拘束圧 (σ'_c) が低い時には、ML-TC と SL-TC のピーク強度比 (q_{MLi}/q_{SL}) が低下する傾向が顕著である。また、最終的に累積した塑性軸ひずみは収束するが、3%程度の範囲内では線形的に増加している。

Keywords: 三軸試験・せん断・多段階载荷・塑性ひずみ・岩石・堆積軟岩

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5、横浜国立大学 工学部 建設学科 地盤研究室、tel:045-339-4038

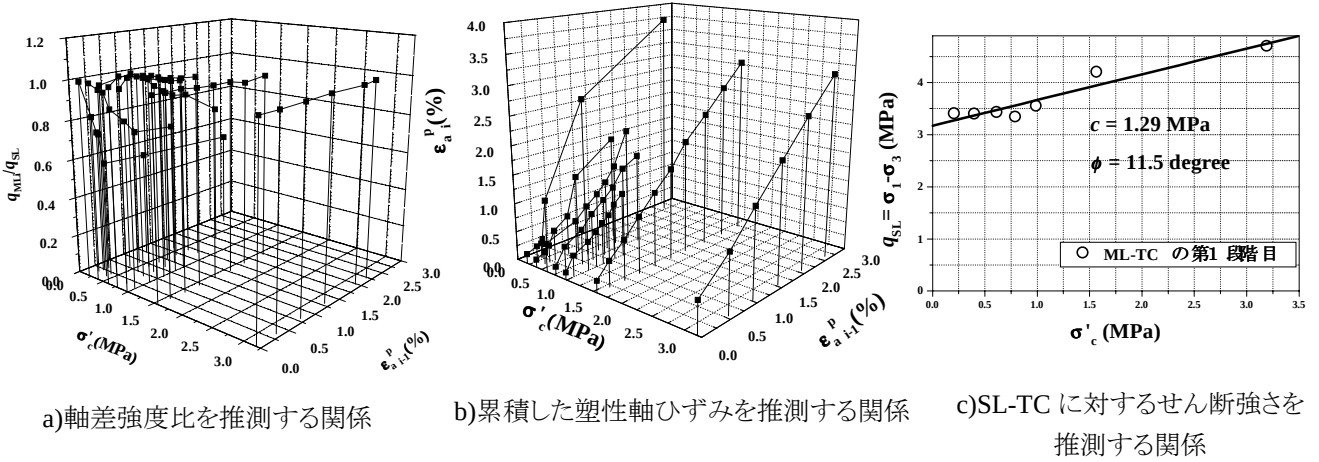


図 2 シルト岩に対する MLD モデル

5. 検証のための実験方法(シリーズ2)および検証結果: シリーズ1とは応力経路のみが異なる。この実験では段階的に拘束圧を高くしていく経路 (σ'_c 増加経路)と、段階的に拘束圧を低くしていく経路 (σ'_c 減少経路)の2つの経路で行った。この実験結果と MLD モデルによるシミュレーション結果を比較した。累積した塑性軸ひずみを予測する関係(図 2-b)では、有効拘束圧によってはひずみの増加傾向は違いが見られるものの、線形的であるため最小二乗法で直線近似を行った。

MLD モデルを使うことにより、実験を行わずとも図 3 に示す ML-TC のシミュレーションを行うことが可能となる。実際にシミュレーションが可能かどうか、実験により得られた ML-TC の結果と比較することで検証を行った。検証結果を図 4 に示す。2つの応力経路とも ML-TC を再現できており、MLD モデルで様々な応力経路・軸圧縮回数での ML-TC のシミュレーションが可能であることが明らかとなった。

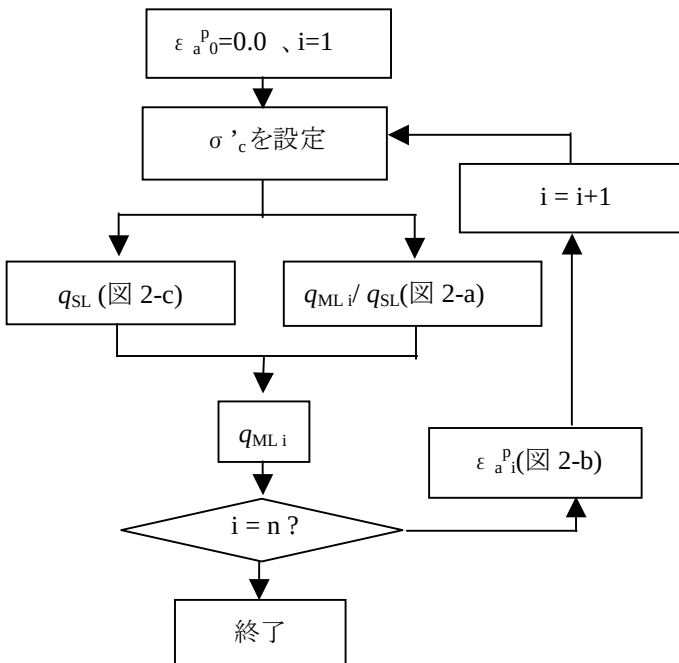


図 3 MLD モデルによるシミュレーションのフロー

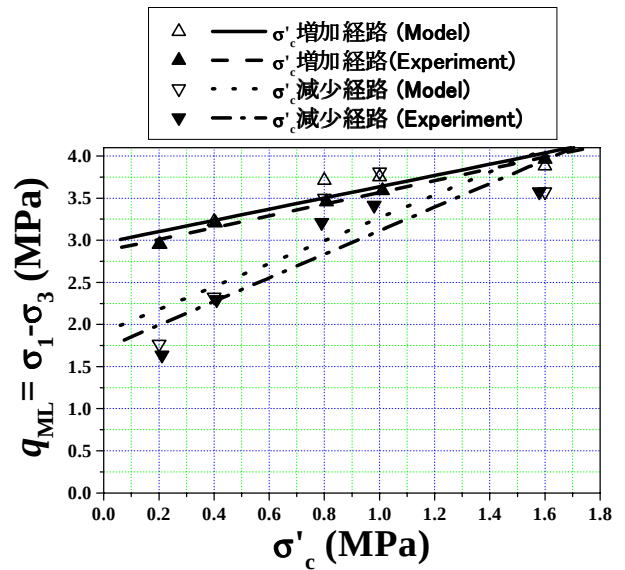


図 4 MLD モデルの検証結果

6. まとめ: 供試体の損傷の程度を、累積する塑性軸ひずみ量で代表させた多段階载荷損傷モデル(MLD モデル)を提案し、シルト岩に対して、その適用性を検証した。その結果、様々な応力経路でのシミュレーションが可能であることが分かった。今後、このモデルを利用して最適な多段階三軸圧縮試験方法を検討する予定である。

参考文献: Kovari & Tisa (1975) “Multiple Failure State and Strain Controlled Triaxial Test”, Rock Mechanics 7, pp.17～33, 木村 (2001) “シルト岩を用いた多段階三軸圧縮試験の適用性に関する実験的検討”, 横浜国立大学卒業論文