

土の三軸試験装置のレストア

高田 晋 環境建設技術分野

1. はじめに

学部 4 年生を対象とする建設工学実験Ⅱでは、自動制御の装置を用いた「砂の三軸圧縮試験」という実験実習科目を行っている。この実習科目では、実務や研究の場で使用されているものと同様の試験基準¹⁾・装置を使用し、学習することを基本コンセプトとして考えている。試験では、砂の供試体作製から二重負圧、通水飽和化、背圧載荷、圧密、排水せん断までの一連の工程を受講者に実演している。ちなみに、筆者の知る限りでは、限られた時間内に、これらをまとめて実験実習のテーマとして取り扱う教育機関は少ない。土の三軸試験は、土のせん断強さを実験的に求めることである。土のせん断強さは、圧密応力の大きさ、せん断する過程で土供試体が飽和しているか否か、体積変化できるかどうか（試験を行う上では、供試体からの排水を許すか否か）、で大きく異なる。そのため、三軸試験を行う場合は、これらの状態を再現できるような設備が具備された試験装置を用いる事が求められる。

実習で使用する装置は、前述の工程を円滑に行えること、研究でも使用できること、他の装置と使用感を合わせることを目的に、普段の研究で使用しているものとバルブ、ゲージ類を同じように配置（レプリカ）してある。なお、この装置は、筆者自らレストアしたものである。本報告は、この装置の製作工程、製作の過程で得られた知見をまとめたものである。

2. 三軸試験装置製作の概要

試験装置の製作に先立って、①廃棄状態のものを復元して利用する（Restore）、②休眠資産を有効活用する（Reuse）、③研究で使用しているものをコピーする（Replica）、の三つの目標設定を行った。装置の整備は、通常業務の合間を縫って行

ったため、整備開始から供用開始までおよそ 20 ヶ月間要した。試験装置フレームの板金・塗装、部品類の機械加工、配管は、コストダウンを目的に筆者自ら行った。一方で、水漏れ、空気漏れを防ぐため、配管、バルブ類、センサーおよびゲージ・レギュレーター類は、新規購入したものを用いた。また、それら以外の細かい部品類は、基本的に休眠資産から取り外して再利用した。ところで、三軸試験の試験手順、データ測定精度およびデータ整理の方法に関しては、文献 1)において明文化されているものの、試験装置の性能、機能に関しては、基準の解説の中で例を挙げて紹介するに留められている。そのため、試験装置をレストアする際は、基準の解説、これまでの研究成果、装置を販売する専門業者の整備経験、センサーやジャッキ類の技術的進展等の情報を参考にして行った。

3. 三軸試験装置のレストア工程

図 1 はレストアした三軸試験装置の全景を示したものである。この装置は、①载荷ジャッキを含む三軸室、②水・空圧を制御する制御盤、③データ計測・記録、モーター制御のシステム制御部の三つに大別できる。



図 1 三軸試験装置の構成（レストアした実物）

各部の整備工程は以下に示す通りである。

(1) 制御盤

①塗装はがし, ②キャスター取り付け, ③不要な穴を塞ぐ (ロウ付け, パテ埋め), ④③部分の下塗り, ⑤新規穴あけ加工, ⑥全面足付け, ⑦塗装・乾燥, ⑧再利用部品類磨き, ⑨継手・バルブ・水槽の組立, 設置, ⑩管路表示用シール貼付け, ⑪センサー・ゲージ類の設置, ⑫空圧・水系ホース配管

(2) 三軸室

①載荷台スペーサー設計・製作, ②載荷ロッド連結部設計・製作, ③載荷架台製作, ④底盤バルブ・配管改造, ⑤三軸セル組立, ⑥載荷台コントローラー設置

(3) システム制御部

①データロガー・PC 組込, ②制御ボード組込
③制御プログラムカスタマイズ

制御盤は, 小型化が近年の主流となっているが, 上部に取り付ける脱気水槽の水頭差確保, 脱気水作業, 全体の使用感 (配管の理解し易さ等) を考慮すると重量感, 剛性, 大きさが必要となる。そこで, 制御盤は前述の機能性を有したものを改修して利用することを考えた。作業内容は板金・塗装と継手・バルブ類の組込みが主となる。鋼製外枠およびゲージ, レギュレーター, バルブ類を設置するためのメインフレームは, 研究で使用するものと同じマンセル値の塗料を用いて再塗装を行った。塗料は施工性および対候性を考慮して 1 液性ウレタンのもを用いた。塗装は全面足付け後にスプレーガンを用いて 4 層塗りした。セル水供給, セル圧・背圧載荷, 真空圧供給等の空圧を制御するためのレギュレーターは, 試験時の加圧・減圧の操作性や空圧の安定性が試験結果に与える影響が大きいため, これまで実績のある Fairchild 社製の高精度レギュレーターとした。配管継手・バルブ類は, シール製の高い Swagelok 社製のものを選択した。供試体上下に繋がる水経路は, 試験装置の心臓部に当たる。飽和供試体を用いた試験では, この部分に少しでも空気が溜まった場合, 飽和度の指標となる B 値が所定量確保できなくなる恐れがある。そこで, この経路の継

手部を組み込む際は, 並行ねじのものを使用し, テフロン製のパッキンを挟んでねじ込むことによって空気溜まりを防ぐ工夫を行った。

三軸室 (図 1 三軸室上部) および載荷ジャッキ (図 1 三軸室下部) は, 元々は別の用途で作製した装置の組み合わせである。三軸室および載荷ジャッキを格納する載荷台は, 剛性のあるスペーサーおよび載荷ロッド連結部を新たに設計・製作してドッキングさせた。これらの新規製作部品は, 腐食を防ぐ目的で全てステンレス製とした。載荷ジャッキは, 実験で使用する載荷ストローク内に収まるような位置に据えつけることに注意した。なお, ジャッキストロークリミッタも同様である。

システム制御部は, 試験精度の向上, 再現性の確保および労力削減を目的に, 計測と制御を自動で行うことができるようにシステム化した。自動制御は, 本学地盤工学研究室で開発した自動制御プログラム「Tripwin for Windows7」を母体とし, データロガーでセンサー類の測定値を GP-IB ボードを用いてパソコンに取り込み, D/A ボードで載荷台, セル圧および背圧の電動レギュレーターに制御信号を送るフィードバック自動制御スタイルである。

4. まとめ

製作の過程で得られた知見は次の通りである。
①試験装置は剛性と重量感が重要である。②水経路の水密性を確保することが求められる。③レギュレーターの性能が試験精度に影響を与える。

謝辞

試験装置を整備するにあたり, 株式会社誠研舎の技術者の方々には, 整備のコツに関して丁寧なご指導を賜りました。また, メインフレーム用の管路表示シールを提供して頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 公益社団法人地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解説, No.2, pp. 553-660, 2009.