

# 新しい土質試験システム I

## —三軸試験機本体の設計・製作—

Newly Developed Soil Testing System I

—Design and production of Triaxial Apparatus—

龍岡 文夫\*・佐藤 剛 司\*

Fumio TATSUOKA and Takeshi SATO

### 1. はじめに

土質材料(いわゆる土)の強度・変形特性を正しく知ることは、盛土・地盤・斜面などの安定性等の設計計算を行う上での基本である。ところが、土は、金属やコンクリートなどの人工材料と比較すると、強度がきわめて小さい上に、拘束圧(まわりからの圧力)によって、その物性が敏感に変化する。さらに、応力履歴(あるいはひずみ履歴)が物性に著しく影響するから、供試体をセットしてから、せん断試験をするまでの応力制御を厳密に行わなければならない。このような事情から、一般に、土質試験機は機構が複雑であり、また、操作も複雑であるのが普通であった。そのため、その装置の習熟は、決して短期間ではできないのが普通であった。このことは、データに個人差が入りやすい要因にもなっていた。

筆者らは、このような状況をふまえ、1)精密な実験を行える、2)操作が容易で誤操作をしにくい、3)人手がかからない、4)習熟が容易であり、データに個人差が入りにくい、5)廉価である、という条件を満たす土質試験システムの開発に努めてきた。けっきょく、これらの条件を満足させるものは、個々の部品は、きわめて高精度に製作されているが、部品数と作業量の少ない単純でコンパクトなものであることが分かった。また、できるだけ、計測、データ処理計算、図化を自動化すれば省力化が進むだけでなく、誤りと個人差が入りにくくなる。現在まだシステム全体としては改良の余地があり、十分に完成された段階とは言えないが、中間報告を行いたい。なお、部品の製作は、全て本研究所の試作工場で行っており、本試験機の開発を行う上で試作工場のスタッフに負うところが大きい。

### 2. 全体システム

土質試験機として代表的なものは、静的あるいは動的三軸試験機である。写真1は、動的三軸試験機(振動三軸試験機とも言う)の全体を示したものである。この試験法では、図1に示すように、円筒型供試体を、地中応力に相当する圧力で拘束し、静的荷重で破壊するか、地

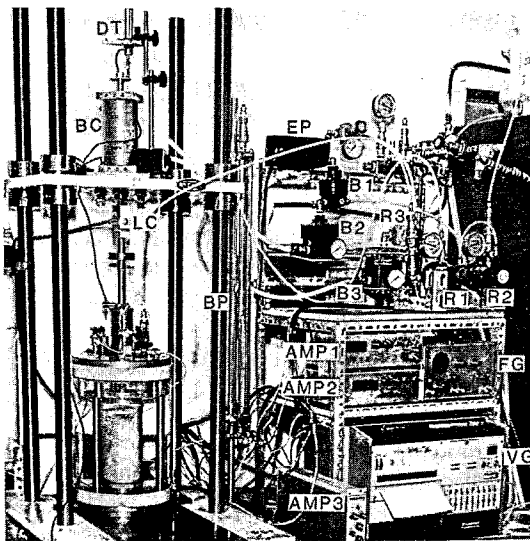


写真1 動的三軸試験機  
(記号は、図2、図7参照)

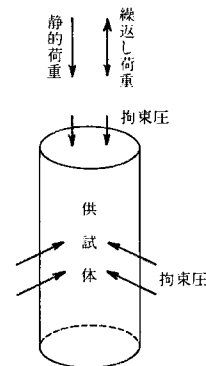


図1 三軸試験概念図

\* 東京大学生産技術研究所 第5部

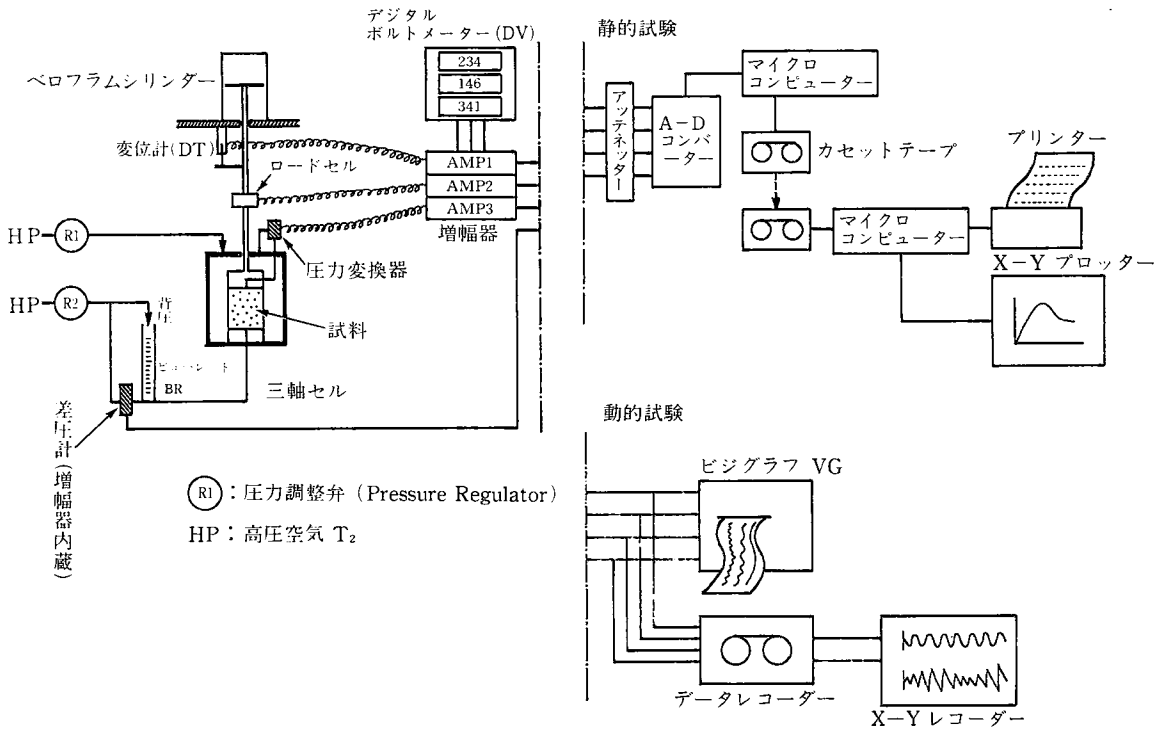


図2 全体システム図

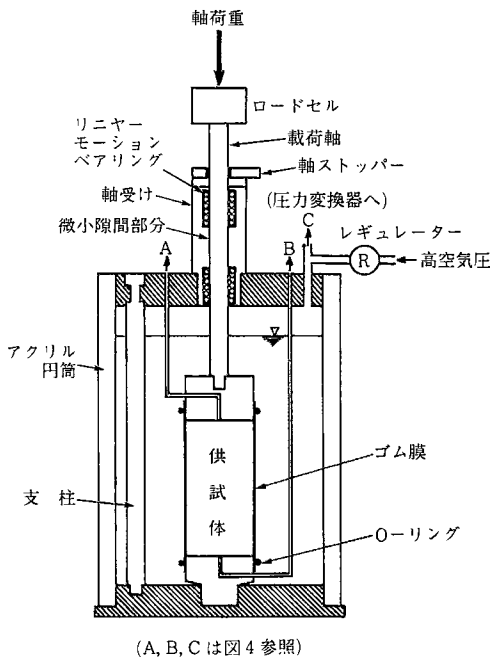


図3 試作した三軸セルの模式図

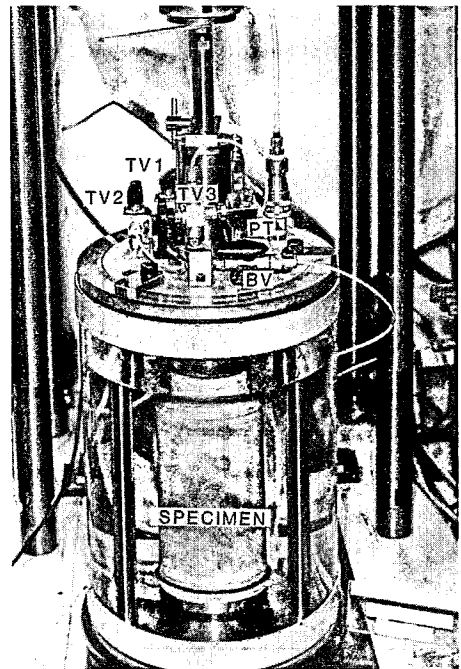


写真2 三軸セル (記号は、図4参照)

研究速報  
 震荷重として、繰返し荷重を加える。土質材料がきわめて弱く、拘束応力や応力履歴に敏感に影響されることなどの特徴から、試料の拘束方式・載荷方式・試料内部条件の制御方式・計測方式・データ処理方式等に、独特の工夫が必要とされる。図2は、全体のシステムを示しているが、順を追って、これを説明したい。

2.1 三軸セル

試験供試体は、図3、写真2に示すように三軸セルと呼ばれている圧力セル内にいれ、ゴム膜で試料の内部と外部が分離されている。通常、土粒子間の隙間は水で満たされており、水の出入りや水圧は、別途制御計測する必要がある。よい三軸セルを製作するポイントの1つは、圧力漏れが少なく、かつ、載荷軸と軸受けとの間の摩擦をきわめて小さくすることである。軸荷重を三軸セルの外で測定する上で、このことは、きわめて重要である。両者は、矛盾することではあるが、図3に示すように、径20mmの載荷軸を、2つのリネアーモーションベアリング (linear motion bearing) でガイドし、2つのベアリングの間で、軸と軸受けの間に5cmに亘って1/100mmから5/100mmの隙間を作ることで解決した。ここで、5/100mmの隙間とは、軸受内径と、載荷軸外径の差である。我々は、4種の隙間を試みた (1/100, 2/100, 3/100, 5/100mm)。1/100mmのものは、6kgf/cm<sup>2</sup>の空圧に対しても空気漏れが全くと言ってよいほどに無いが、90gの摩擦があった。したがって、高圧での静的実験に適する。5/100mmの場合は、6kgf/cm<sup>2</sup>の空圧に対しては空気漏れが、かなり激しくなるが、3kgf/cm<sup>2</sup>以下の空圧に対しては、十分圧力を維持できるほどの漏れである。摩擦は、ベアリングによるもので60g程度である。2/100mm, 3/100mmのものは、その中間の性質

を示している。したがって、通常の静的試験用としては、2/100mmが3/100mm, 高圧用としては1/100mmがよいであろう。動的試験用としては、3/100mmか5/100mmがよいであろう。

三軸試験では、試料内部の水圧、水の出入りの制御・計測のためにバルブやパイプ類が必要となる。我々は、写真2、図4に示すように、これらを思い切って簡素化して、バルブの数を最小限に止めるようにした。これによってパイプ類の接続は、きわめて明解になった。

2.2 載荷方式

a) 静的載荷

モーターでギヤを駆動し、強制変位を与えるのが一般的な方式であるが、変位制御と荷重制御を同時に行えるよう単純な方法を採用した。図5は、流量調整弁を用いる方式を図示したものである。これは、流入側に一定の高圧を加えておくと、流出側の圧力が負荷の増加によって上昇しても、流量が一定であるという特徴を持っている。したがって、任意の一定の流量の油を複動ペロフラムシリンダーの上室に送りこむことにより、載荷軸は一定の速度で供試体を圧縮することになる。荷重制御を行う時は、図5に示すレギュレーターAで空圧を制御し、パイパスbから油をペロフラムシリンダー上室に送り込めばよい。

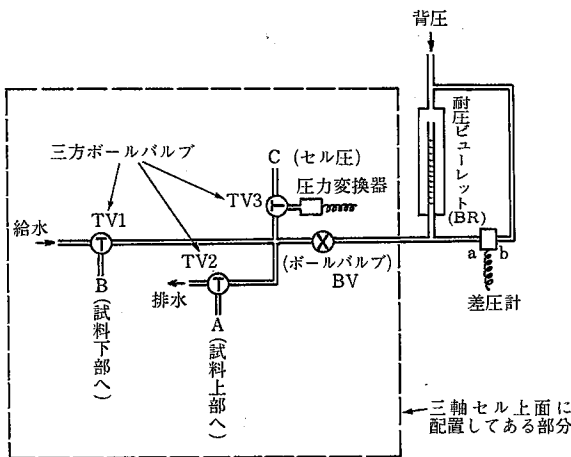


図4 試料内部条件制御システム

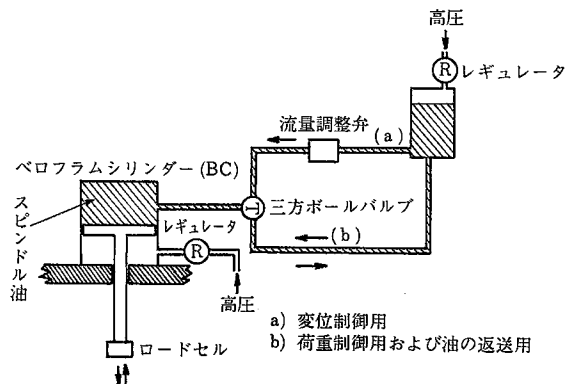


図5 流量調整弁による静的載荷方式

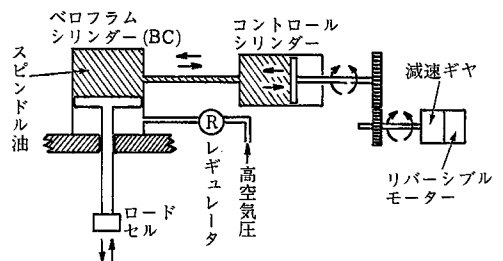


図6 コントロールシリンダー方式による変位制御方式

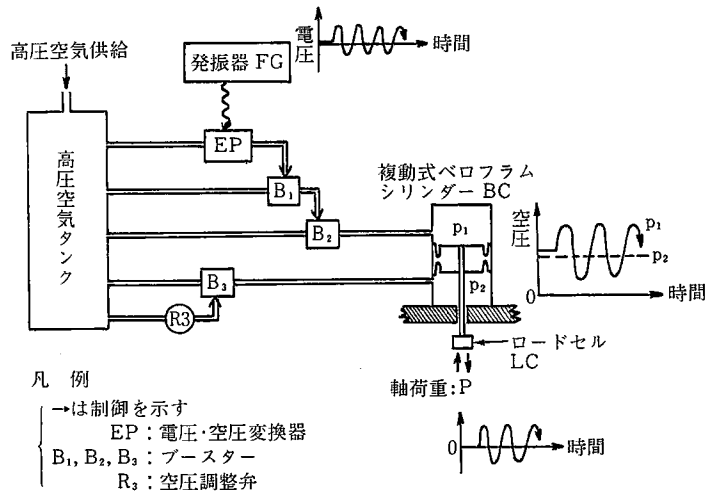


図7 空圧式繰返し荷重システムの1例

流量調整弁には、調整可能な流量に最低限度があるので、きわめて低速な変位制御試験で行う場合には、この方式は不適である。この目的のために、図6に示すように、速度制御と反転の自由なモーター (Reversible Motor) で、コントロールシリンダーのピストン軸を微速で動かし、任意の水量をベロフラムシリンダー上室に送り込む方式を採用した。減速用ギヤボックスの数の選定と、モーター回転数の調節によって任意の一定の水量を制御できる。

液体を用いる上記2手法が正しく作動するためには、流量調整弁、あるいはコントロールシリンダーからベロフラムシリンダーまでのパイプの膨張性を小さくしなければならない。銅管がこれに適しているが、作業性・取扱い易さを考えると肉厚の大きいシンフレックスチューブがよいものと思われる。

b) 動的荷重

図7に示すような空圧式を採用した。その理由は、油圧サーボシステムは、よほど高容量のものを使用しないと、土質供試体が、繰返し荷重によって次第に弱化してゆく時に荷重振幅を一定に保つことができないし、また、

操作が単純ではないし、かつ、きわめて高価である。空圧式では、まず発振器で、所定の正弦波の電圧変動を発生させ、これを変換器 (EP) で、空圧変動に変換する。空圧方式を成功させるポイントは、ベロフラムシリンダーに大量の空気を供給する能力を持つようにすることである。EP 出力の空圧変動は、きわめて低圧で小容量なので、これをブースターで拡大して、複動ベロフラムシリンダー上室に与える。供試体に引張力を作用させるために、ベロフラムシリンダー下室に一定の空気を与えるが、これもブースターを介して、大容量の空圧として与える必要がある。

謝 辞

三木五三郎教授には、全般に亘るご指導を受けた。三軸室の設計には本学大学院生大河内保彦氏、動的荷重システムの開発には、同じく村松正重氏、研究生佐々木勉氏、全般に亘って山田真一氏の協力を得た。また、試験機部品の製作には、試作工場のスタッフの全面的協力を得た。末筆ながら関連諸氏に感謝の意を表します。

(1980年10月21日受理)