

高圧孔内載荷試験機の開発と岩盤えの利用結果

本州四国連絡橋公団 相良正次 高橋幸蔵 宮島圭司
株式会社 応用地質調査事務所 ○武内俊昭

1. まえがき

本州四国間の架橋計画にともなう調査が現在実施されているが、調査地点の多くが、海底岩盤を対象としているため、通常の試験方法では岩盤の力学的情報を把握することが不可能な条件にある。したがって、このような条件下においては、ボーリング孔を利用した力学的試験によらざるを得ない。従来、ボーリング孔を利用した、いわゆる孔内載荷試験機は土質地盤において2, 3の種類のもが用いられているが、岩盤を対象としたものについては、大きな加圧力を必要とする反面、わずかな孔壁の変位を測定しなければならないため、装置製作上技術的に困難な問題が多い。我々は、本州四国連絡橋の基礎岩盤の調査に用いるため、新しい孔内載荷試験装置を開発し、現場実験をへて現在実用に供している。この装置は載荷力を200kg/cm²までかけることができ、岩盤における適用性が従来のものにくらべて大きい。ここでは、この高圧孔内載荷試験機の原理、構造、性能及び現場における測定結果について述べる。

2 装置の原理及び構造

この載荷装置は基本的には、ゴムチューブを半径方向に膨張させ、それによる圧力と孔壁の半径方向の変化をゴムチューブの半径変化として平均的に求める方法で、その意味では従来土質で用いられていたものと同様である。図-1に装置のブロックダイアグラムを図-2に原理及び構造の概要を示す。

装置は、ゴムパツカー部、加圧機構部（これらを一括して加圧ゾンデと称する）、加圧制御部、記録計部、電源部の5つの部分よりなっている。次に各部についてその概要を説明する。

(1) ゴムパツカー部と加圧機構部は一体となつて孔中に挿入され、地上よりの遠隔操作によつて加圧し変位を測定するようになつている。すなわちこの装置の加圧機構は図-2からもわかる様に、加

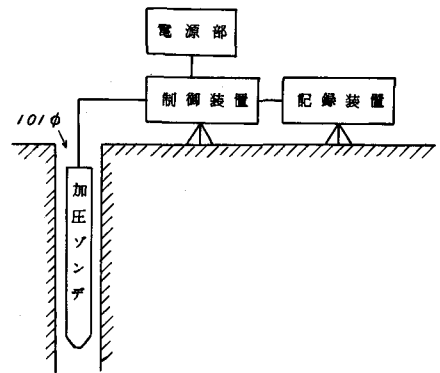


図-1 装置ブロックダイアグラム

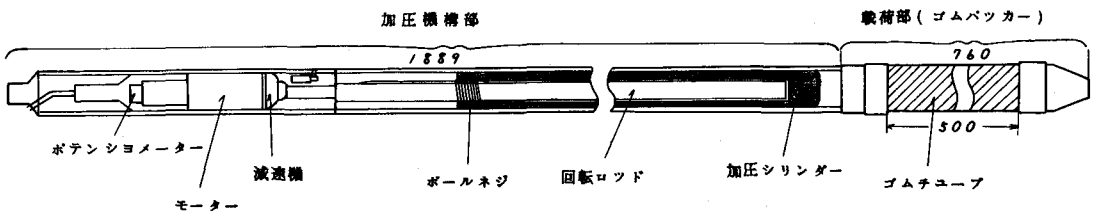


図-2 装置加圧ゾンデ部概略構造図

圧機構部中のモーターの回転をボーリングの深度方向の動きにかえ、加圧シリンダーをゴムパツカーの内部に挿入する様になつてゐる。ゴムパツカー部は予め油又は水等の液体で満たされており、加圧シリンダーの挿入によつてその分の体積だけゴムパツカーが膨張する。このとき発生する圧力はゴムパツカー内部にセットさせた液体圧力計により電氣量に変換されて地上の記録部へ送られる。一方孔壁の変位量は、加圧シリンダーの挿入長さを、モーターの回転数より求める方法で測定する。モーターの回転数は一定なのでこの装置は、いふなれば歪制御の載荷方式をとつてゐることになる。孔壁の変位に相当するモーターの回転数はポテンシヨメーターにより電氣量に変換して地上の記録部へ送る。以上の様に本装置の加圧機構部はすべて孔中にセットされるので地上の操作は単にモーターの回転を与える電源の操作のみとなり取扱いが容易である。加圧部分であるゴムパツカー部は、外径90%，長さ500%の載荷部で、したがつてこれに用ゐるボーリング孔径は通常101%とよばれてゐるものである。

(2) 加圧制御部はボーリングの外に置いて、モーターの回転、停止、逆転を行ない、また、モニター用圧力計と変位計を備へてゐる。また、予めセットされる一定圧力、変位で自動的に加圧が停止したり、減圧の際にも所定の圧力、変位で自動的に停止される機構を有してゐる。

(3) 記録部はx-yレコーダが主で、制御部より送られて来る電氣信号を圧力関係をx軸に、変位関係をy軸に入れる様になつてゐる。これによつて加圧時の圧力と変位の関係が自動的にグラフに描かれる様になつてゐる。記録部には当然ながらそれぞれの測定値の倍率切換装置がついてゐる。

(4) 電源部は装置各部を駆動する電源を供給する。電源は100V、50又は60c/sで地域により切換えて一定の回転をモーターに与える様になつてゐる。また、100V交流のない場所での使用も考慮して、発電機よりの電源を安定させる回路をも有してゐる。

これら孔外におかれる装置は、海上等の苛酷な条件を考へてすべて密閉されたケースに収納して防湿や防錆、防塵に考慮が払われている。次に装置のおおよその仕様を記す。

加圧能力 最大200kg/cm² 常用150kg/cm²

変位測定 94～111.4%

孔内挿入部分外径 94%

" 長さ 2500%

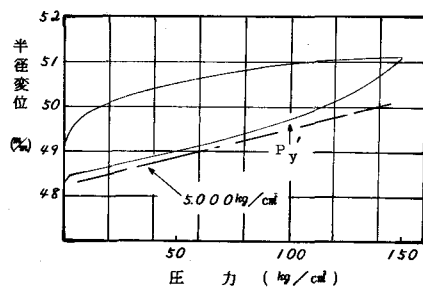


図-3 圧力-変位曲線

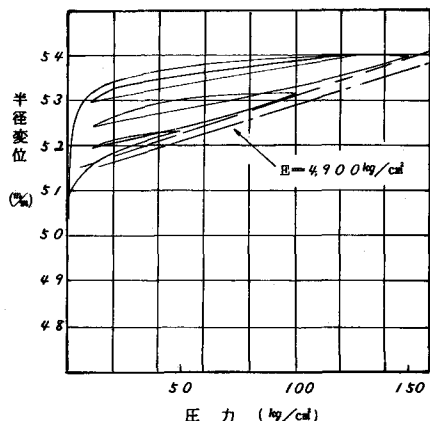


図-4 圧力-変位曲線

載荷部分長さ 500%

電源 50~60c/s 100V

重量 孔内挿入部 60kg

地上制御部外 50kg

使用ボーリング径 101%

3. 現場における測定結果

本装置を用いて現場において測定した結果の応力-変位関係図を図-3及び図-4に一例として示す。図-3は神戸層群の測定例で圧力100 kg/cm²付近のところに降伏点と思われる屈曲点がみられる。また、それ以前の応力-変位曲線の勾配から求めた変形係数は5,000 kg/cm²である。図-4には花崗岩において段階状にくり返し荷重を加えた結

果を示す。この図において、処女曲線とくり返し載荷部における応力-変位曲線の勾配の違いがよくみられる。この例では、処女曲線部の平均の変形係数は4,900 kg/cm²、くり返し載荷部は7,200~10,600 kg/cm²と次第に大きくなる傾向がうかがえる。

この様に従来の50 kg/cm²程度の載荷に比べて150 kg/cm²程度の高い圧力を加えることが出来ることにより、降伏点やくり返し荷重による挙動の違いなど岩盤の色々な性質を把握できる可能性が大きくなつたといえる。

つぎに、神戸層群において深度40 mのボーリングを掘削し、50 kg/cm²の載荷能力を有するLLT及びコアの岩石試験結果などと比較検討したのでその結果について以下に示す。

測定地点の地質状況は図-5の一部に地質柱状図として示すように砂岩を主体とする地層よりなり、部分的に泥岩、礫岩を挟在する。全体的には棒状コアとして採取されるが、ゆるい砂層などでは流失して採取出来ないところも若干ある。この地点に深度40 mのボーリングを隣接して2本実施し、その孔中で本装置と50 kg/cm²載荷のLLT(以下中圧LLTと称する)を使用した。ボーリング孔壁に沿う弾性波P波の速度は1,050~1,900 m/secの範囲を示している。これらの結果は図-5にみられるとおりである。すなわち深度18 mまでは、高压の載荷装置における値は1,700~3,300 kg/cm²の変形係数を示し20 m以深では約6,000 kg/cm²の値を示している。6,000 kg/cm²の値は、平板載荷試験などで得られている神戸層群の一般的値と近いものである。ただし、ここで示されている値は処女曲線部より求められる値である。一方、各測点において応力-変位曲線に屈曲点がみられ降伏点と思われる値が得られたのでこれらも同様に図-5に示した。この値は深度と共に次第に大きくなる傾向を示し、

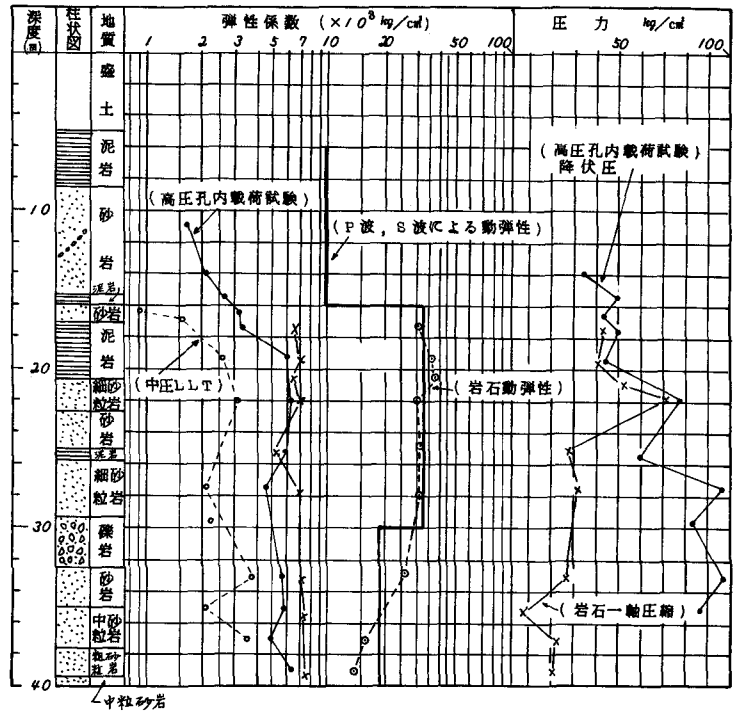


図-5 神戸層群における測定結果

最大 100 kg/cm 程度を示す。一方中圧 L L T の測定結果は図一5中に同様に示してあるが、高圧載荷装置の値と比べると変形係数は深度に対しかなり類似の傾向を示しているが、後者の方が $1.5 \sim 2$ 倍の大きな値を示している。

次に岩石試料の静弾性係数と比較すると高圧載荷装置の結果がかなり近い値を示している。神戸層群の地層状況はゴムパッカーの加圧区間を単位にみた場合、割れ目の比較的少ない均質な地層であるため、岩石試験の弾性係数とかなり近似した値を示すものと思われる。一方、強度的な量である高圧載荷装置による降伏圧と岩石の一軸圧縮強度の結果をみると、両者の差は深度が増加するに従って大きくなり高圧載荷装置による結果の降伏圧が大きくなっている。これは深度による側方拘束圧の影響によるものとみることができる。また、P波、S波の速度から求めた地層の動弾性係数は最も大きく出ており、高圧試験機による結果の4~6倍を示しているが類似の傾向をみせており、岩石試験の超音波速度値による動的な弾性係数とはほぼ同じ値を示している。

以上の結果から、開発された高圧試験機は現場での実験的使用により、他の測定結果ともよい対比がなされ、変形的情報のみならず強度的な情報も提供し得ることがわかった。

4 装置の改良すべき点

現在この装置は花崗岩の地域において数多く用いられており、興味あるデータが種々得られているが同時に改良すべき点も幾つか明らかになった。すなわち

- (1) 半径方向変位の測定範囲をより拡げること
- (2) 使用するボーリング孔径を岩盤における、より一般的な 66% のものにできる様装置外径を小さくする
- (3) 孔内測定中のジャーミング事故を考え回収を容易に出来る様付属装置を考へること
- (4) 微小変位の測定の際、使用している液体の圧縮による誤差が介入するため、変位の測定方法に改良を要する。

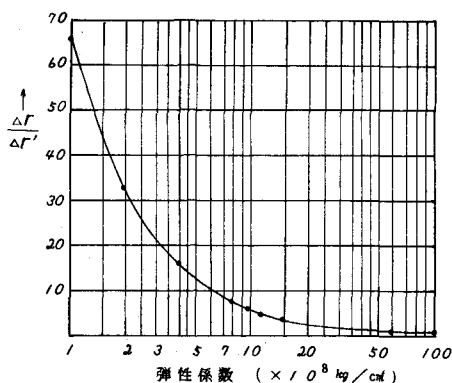
(1)について、実際に風化岩盤軟岩を測定する場合に、しばしばボーリング掘削後の孔径が大きくなって装置の可能範囲をこえることがある。図一5中のデータにおいても 10 m 以浅ではこの様な理由により値が得られていない。機構的にみて変位測定可能範囲をこれ以上大きくすることはかなりむずかしいが、汎用の装置にすべく何等かの改良が望まれるところである。

(2), (3)については、次の段階として当然検討されるべき点であろう。

(4)は装置の原理に関係するもので、使用流体が厳密には圧力によつて圧縮するため、弾性係数の大きい岩盤を測定する場合には、流体の圧縮によるみかけの変位と岩盤そのものの変位が同程度になり補正をおこなつても大きな誤差要因となる。図一6に岩盤による孔壁の変位と流体を水とした場合の圧縮によるみかけの変位との比を、弾性係数との関連で示した。これによると岩盤の弾性係数が 6000 kg/cm 程度で流体の圧縮による見かけ変位は岩盤それ自体の $1/10$ となり、 5000 kg/cm 程度では両者が等しくなってしまう。この様に岩盤の弾性係数が大きくなると測定値の精度が低くなってくるがこの点に留意して本装置を正しく用いることが必要であるが、更に小さな変位を正しく測定する方法の検討が望まれる。

5 あとがき

以上新しく開発した岩盤用の孔内載荷試験装置の概要と測定の結果等について紹介した。本装置はまだ岩盤用測定装置として完全なものではないが、現状の性能の中において正しく用いることにより従来より進んで岩盤の力学的強度的特性を把握し得ることがわかった。今後更に測定データを増すことにより興味ある結果が期待されるが一方、改良すべき点も幾つかあり、より精度を上げ適用範囲を拡げる様検討を加えていきたいと思つている。



図一6 水の圧縮による影響の検討

Development of a High Pressure Load Tester
in a Borehole and Application to Rock Materials

by M. Sagara,
K. takahashi,
K. Miyajima,
and T. Takeuchi.

The authors have developed a new type of a high pressure load tester for the purpose of studying the base rock properties in site in the bottom of sea.

This instrument consists of a loading rod, a rubber packer, a control system, a recording system and a power supply.

The specification are as follows,

The loading system is strain control system.

Maximum load;	200 kg/cm ²
Maximum radial displacement;	111.4 m/m
Outside diameter and length of the loading rod with the Rubber packer;	94m/m and 2500m/m
Length of the rubber packer;	500m/m
Weigh (loading rod and rubber packer);	60kg
Weigh (remaining parts);	50kg
Borehole diameter;	101 m/m

Results obtained by this instrument applied to the Kobe Geologic Groups made clear their elastic properties and strength.

Application of this instrument to other cases revealed necessity of improving a few points.