

(1) 花崗岩岩盤における孔内変形試験結果と岩盤諸性質との関係

電力中央研究所 〇 齊 藤 和 雄
 " 楠 建 一 郎
 " 木 方 建 造
 日本パブリックエンジニアリング 高 木 博
 早稲田大学 飯酒盃 久 夫

1. まえがき

ダム、地下発電所などの土木構造物の設計には、基礎岩盤の変形特性を適確に把握することが要求される。岩盤変形試験は、調査坑を利用して実施される「平板載荷試験法」とボアホールを利用した「孔内変形試験法」の2つに大別される。平板載荷試験法は、岩盤変形試験として広く用いられているが、この方法は、多額の費用と日数がかゝり、また、その試験の性質から、構造物基礎全体に亘っての物理性状を把握することが困難である。一方、孔内載荷試験法は、ボーリング孔を利用して行なわれるもので、鋼製の加圧板をジャッキで加圧するジャッキ形式と、ゴムスリーブを水圧によって加圧する形式に大別され、KKT, LLT, プレシオメーターなどの試験装置が実用化されている。これらの孔内載荷試験装置は、土質地盤を対象に開発されたものであるが、比較的容易に現場測定が可能であることから、岩盤用に幾つかの改良と工夫が加えられ、最近では、岩盤変形試験に用いられるようになってきた。本報告は、花崗岩岩盤で行なった孔内載荷試験結果と岩盤の諸性質との相互関係について検討したものである。

2. 孔内載荷試験装置(エラストメーター200)の概要

試験に用いた孔内載荷試験装置(エラストメーター200)の概要は図-1に示す通りである。圧力は地上の水圧ポンプにより、高压チューブを通じてゾンデ内に送られる。圧力および変位量は、ゾンデ本体に組み込まれた圧力計およびコンタクトバランサー方式と呼ばれる変位計測方式により測定され、地上でセットされたX-Yレコーダーに記録される。コンタクトバランサーの差動原理は、体積変化に追随するベローズ機構を応用したものであり、孔壁の変位に応じて動くゾンデのゴムチューブ内面に、センサーが常に接触して動き、この動きをベローズの動きとして差動トランスに伝える機構になっている。ゾンデが加圧膨張する場合に、両端部での上下方向へのせり出し膨張の影響を避けるため、センサーの位置はゾンデのほぼ中央部に設けられ、6方向にセットされている。孔壁の変位量はこの6個のセンサーの合計変位量に比例して動いたコアの変位量から次式によって求められる。

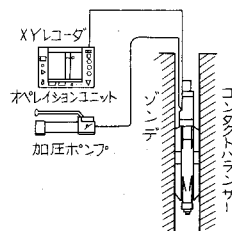


図-1 エラストメーター200

概 要 図

$$L_m = \frac{(\ell_1 + \ell_2 + \ell_3 \dots \dots \ell_n)}{A_b} A_s$$

A_s : センサーの断面積 A_b : ベローズの断面積

3. 試験方法および測定結果

孔内載荷試験を実施したボアホールの試験位置は、ボアホールの掘削時に得られたコアの観察をもとに選定し、 B 、 C_H 、 C_M 、 C_L の各岩盤等級区分について試験を行なった。この場合、試験箇所における岩盤等級の区分は、試験位置のコア観察の結果により判定した。

載荷方法は、段階荷重の繰り返し載荷を採用し、最大載荷圧力を150 ㏩としたが、変位の大きい C_L 級岩盤については、最大載荷圧力を100 ㏩におさえた。図-2は C_L 級岩盤における、圧力(p)—変位(r)曲線の一例を示したものである。得られた圧力—変位曲線の関係から、変形係数は、平面ひずみを仮定した厚肉円筒理論により次式で求められる。

$$D = (1 + \nu) \times r \times 4p / 4r$$

ここに D : 変形係数 (𨾏)

ν : ポアソン比 (0.25 と仮定)

ΔP : 圧力増分量 (𨾏)

Δr : 半径変位増分量 (cm)

r : k 値採用区間の中間半径 (cm)

ここで用いた変形係数は、繰り返し荷重から得られた圧力-変位曲線の包絡線の勾配①-①から求めた。

4. 試験結果の考察

4-1 岩盤等級と変形係数の関係

岩盤等級と変形係数の関係は、図-3に示すように、明らかな対応性が示された。すなわち、 C_L 級では、1,200 ~ 14,000 𨾏、 C_M 級では 6,000 ~ 45,000 𨾏、 C_H 級では 30,000 ~ 95,000 𨾏およびB級では 145,000 𨾏の変形係数を示しており、岩盤等級が良好になるほど、変形係数が大きくなるという相関が認められた。図-3のうち、 C_L ~ D級岩盤における変形係数のばらつきは、 C_L 級とD級の両者を同一クラスとして取り扱ったために比較的大きくなっているものと考えられる。これは、ボーリングコアによる岩盤評価において、 C_L 級とD級岩盤の区分がしばしば困難であるためである。

4-2 R.Q.Dと変形係数の関係

岩盤の評価と特性を数量的に表わす一方法として、R. Q. D (Rock Quality Designation) がDeereによって提案され、しばしば用いられている。この方法は、NXサイズ(コア径53%)以上のボーリングで採取されたコアについて、単位孔長に対するその区間の10cm以上の長さを有するコアの合計長の割合(普通は%で表わす)で表わし、これによって岩盤を評価するものである。すなわち、R. Q. Dは割れ目の数量とコア採取率をパラメーターとした岩盤評価方法であるため、割れ目の開口性および割れ目の介在物質の物理性状を十分に表現するものではない。しかし、塊状岩盤の評価を数量的に表わすものとしては、かなり有用性をもつものと考え、以下のような検討を行なった。

図-4は、R. Q. Dと岩盤の変形係数の関係を示したものである。これによれば、両者の間にはかなりばらつきが認められるが、R. Q. Dが大きくなるにしたがって変形係数は、指数関数的に増大するという相関が示された。

4-3 岩盤の割れ目と変形係数の関係

1) 減少係数と割れ目の関係

花崗岩のように、硬質岩石から構成されている岩盤の変形特性は、岩盤に存在する節理などの不連続面に大き

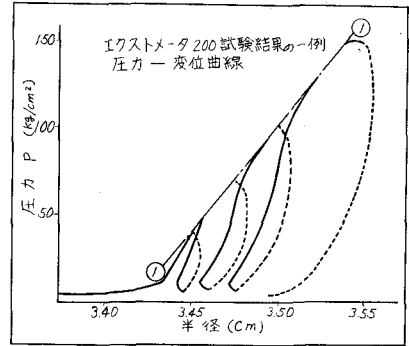


図-2 応力-変位曲線の一例

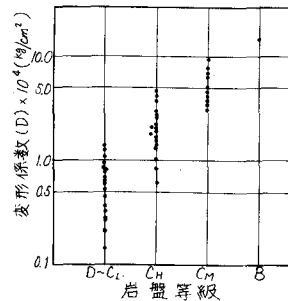


図-3 岩盤等級と変形係数の関係

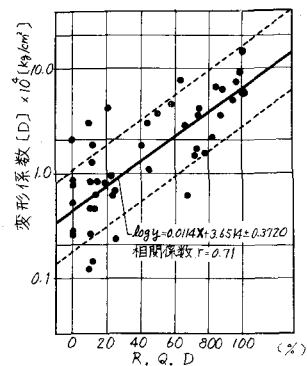


図-4 R. Q. Dと変形係数の関係

く左右されることが知られている。そこで、孔内載荷試験を実施したボアホールの試験区間のコアを採取し、各岩盤等級毎に岩石を区分し、岩石の変形試験を試みた。試験にあたっては、孔内載荷試験と同一パターンの載荷方法を採用した。

図-5は、一軸圧縮試験から得られた岩石の変形係数であり、各岩盤等級とも、岩石自体の変形係数値に関しては、岩盤等級による差異は認められない。従って岩盤の変形特性は、割れ目の数および割れ目の状態に大きく左右されることを示している。

原位置試験におけるジャッキ試験や孔内載荷試験などで求められた岩盤の変形係数とその試験位置から採取された岩石の変形係数の比は、岩盤に内蔵する割れ目の頻度、開口性および介在物質の物理性状などの特性を表わし、減少係数(reduction factor)と呼ばれている。

筆者らは、孔内載荷位置における岩盤の変形係数と同一試験箇所のボーリングコアの変形係数を求め、減少係数($D(LLT)/D(SP)$)と試験箇所の割れ目との関係を検討した。

図-6は、減少係数と割れ目数の関係を示したものである。縦軸は、原位置における孔内載荷試験により得られた岩盤の変形係数と同一箇所のコアの岩石試験から得られた変形係数の比であり、横軸は原位置箇所から得られたボーリングコアの割れ目数である。同図は、岩盤に存在する割れ目の数が両者の変形係数の比にどのように影響しているかを示したものである。この図から、割れ目の増加にともなって減少係数が低下することがわかる。

これらは、数少ないデータの検討結果であるが、今後、数多くのデータの集積による相関性が得られれば、岩石の変形特性と岩盤特性から、原位置における岩盤変形係数を推定することの可能性を示すものと考えられる。

図-7は、試験箇所のボーリングコアの割れ目数と変形係数の関係を示したものである。この図によれば、岩盤に内在する割れ目の数が増加するにしたがって、変形係数は著しく減少する関係を示している。しかし、ある程度以上に割れ目数が増加すれば、変形係数の減少の割合は、かなり低下するものと推定される。

なお、これらの関係における割れ目の取り扱い、試験箇所の平均的な割れ目の数として表現したものであり、割れ目の方向性および割れ目の幅と状態を考慮したデータの集積による検討が、今後、必要と考える。

4-4 土被り深度と変形係数の関係

地山中の初期応力状態は、岩盤の土被り深さと地殻変動による影響を受けており、土被りの深さが大きくなるにしたがって、初期地圧は大きくなるという関係が認められている。このような現象から、岩盤の特性を表わす変形係数も、初期地圧の影響を受けて、土被りの増加にともなって増大する

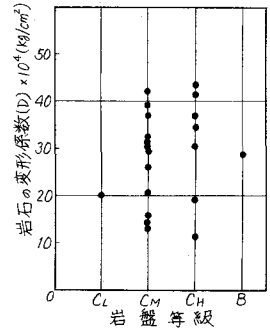


図-5 岩盤等級と岩石の変形係数の関係

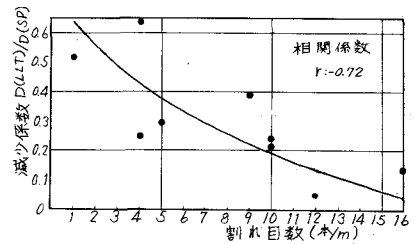


図-6 割れ目数と減少係数の関係

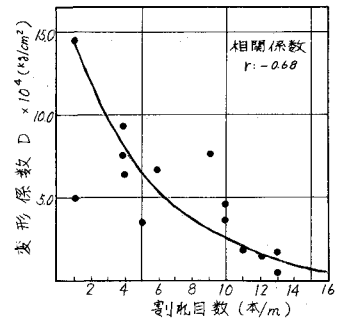


図-7 割れ目数と変形係数の関係

ことが考えられる。

孔内載荷試験は、ボアホールを利用した変形試験であるため、掘削による応力開放はきわめて小さく、初期地圧の影響を無視できないものと考えられる。

そこで、初期地圧の大きさに大きく関係する土被り深度と岩盤の変形係数の関係を、各地点で行なった変形試験結果をもとに、若干の考察を試みた。

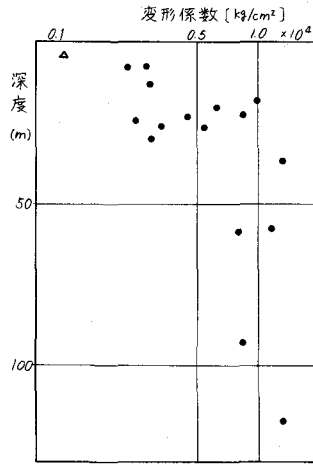


図-8 C_L 級岩盤における土被り深度と変形係数の関係

図-8、図-9および図-10は各岩盤等級における変形係数と深度の関係を図示したものである。

この結果によれば、各等級とも、土被り深度の増加に伴って変形係数が増大する傾向が認められる。

以上の結果は、数少ないデータによるものではあるが、上記の考え方の妥当性を示唆するものと考えられる。この場合、土被り深度の増加にもなり変形係数の増加は、土被り荷重による拘束圧、岩盤内の割れ目の開口性および介在物質の物性などの要因によるものと考えられる。

5. むすび

花崗岩岩盤における孔内載荷試験結果から、変形係数と岩盤特性の関係について調べた結果、変形係数と岩盤特性との間にある程度の相関性が得られた。

しかし、今回の検討結果は、数少ないデータをもとに現象的に取り扱ったものであり、岩盤特性に対する綿密な分析と孔内載荷試験における応力機構の十分な検討によるデータの集積が、今後、必要と考えられる。また、孔内載荷試験結果の土木構造物の設計への適用においては、孔内載荷試験法と平板載荷試験法から得られる変形特性の対応性を検討しておく必要がある。

これらの点については、他の機会に発表したいと考えている。

参考文献

- 1) 齊藤・楠：「花崗岩岩盤におけるボアホールを利用した孔内変形試験結果について」 電力中央研究所 電力土木研究会 昭和54年11月。
- 2) 武内・鈴木・田中：「孔内載荷試験法による岩盤測定結果の検討」

第5回 岩の力学国内シンポジウム講演集 1977。

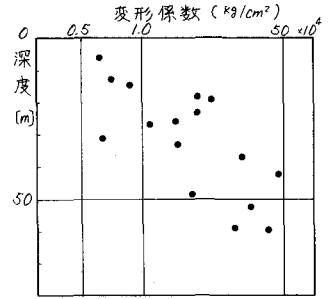


図-9 C_M 級岩盤における土被り深度と変形係数の関係

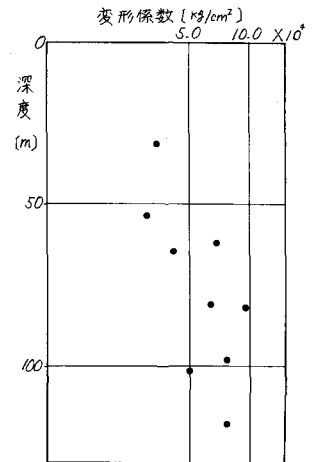


図-10 C_H 級岩盤における土被り深度と変形係数の関係

RELATION BETWEEN BOREHOLE LOAD LATERAL TEST RESULTS
AND ROCK PROPERTIES IN GRANITE ROCK MASS

by Kazuo SAITO*
Kenichiro KUSUNOKI*
Kenzo KIHOKI*
Hiroshi TAKAGI**
Hisao ISAHAI***

This report describes the results of the examination made on the relationship between borehole lateral load test results and rock properties in granite rock mass. The contents can be summarized as follows.

- 1) There was a clear correlation between rock grade and modulus of deformation. It was found that the better the rock grade the larger the modulus of deformation.
- 2) Between R.Q.D. (Rock Quality Designation) and modulus of deformation, it was recognized that the modulus of deformation increased exponentially with the rise of R.Q.D. ($\log y = 0.0114x + 3.6514$, $r = 0.71$).
- 3) The modulus of deformation of hard rock mass is known to be greatly affected by fissures in the rock mass. From this view point, the correlation between the number of fissures existing in rock mass and the modulus of deformation of the rock mass was examined. As a result, it was found that the modulus of deformation decreased with increase in the number of fissures.
- 4) It was also recognized that the modulus of deformation obtained by borehole lateral load test increases with the depth of earth covering.

* Central Research Institute of Electric Power Industry

** Nippon Public Engineering Co., Ltd.

*** Waseda University