

スリットジャッキ法による岩盤の変形性試験

建設省土木研究所 正会員 岡本隆一
建設省土木研究所 正会員 ○菅原 捷

1. まえがき

岩盤の変形特性を求める方法としては、平板載荷法（ジャッキ法）、水室法、弾性波法等がある。平板載荷法や水室法は大きな試験坑を必要とするので、発破による試験坑の掘削とその後の応力解放によって岩盤のゆるみが生じ、そのゆるみの影響が無視できないほど大きいことが報告されている¹⁾。

スリットジャッキ法は岩盤に幅 10～11 mm のスリットを切削し、スリット中に極薄のフラットジャッキを挿入してその壁面に荷重をかけて変形特性を求める試験方法で、掘削による岩盤のゆるみの影響がほとんど無視できるところで試験をしようとするものである。

本論文は新たに開発したスリットジャッキの概要とそれを用いておこなった原位置試験について述べるもので、同時に同一地点あるいは隣接地点でおこなったジャッキ法（平板載荷試験法）の結果とを比較検討したものである。

2. スリットジャッキの概要

スリット法による試験方法はいろいろなタイプのものが考案されている（ユーゴ 1962, ポルトガル 1966, アメリカ 1970 年代）^{2),3)}。しかし薄型フラットジャッキの詳細、とくに変位の測定方法については公表されていないので薄型フラットジャッキの開発から始めた。

薄型フラットジャッキは図-1 に示すように円盤状の載荷面をもつ薄いステンレス製のジャッキである。両側の載荷面の変位の測定はフラットジャッキに内装したヒズミゲージ式変位計によっておこなう。また載荷時に載荷面に平行な力が発生しないように円盤の縁に特殊な細工をほどこしている。

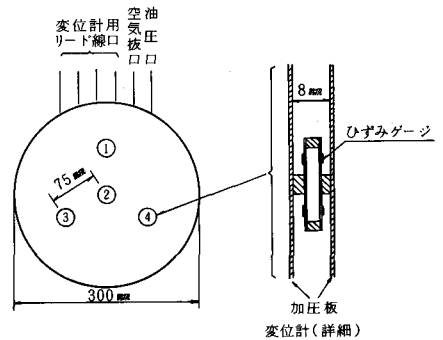


図-1 薄型フラットジャッキと変位計

主要諸元

載荷板	ステンレス製, 円形
ジャッキ寸法	直径 300 mm, 厚さ 9 mm
荷重範囲	0 ~ 100 kg/cm ²
許容変位	6 mm (中心部) ~ 5 mm (緑辺部)
変位計	ペーパーストレインゲージ, 4点 (図-1)

変位計は図-1 に示すようにパンタグラフ状の板にペーパーストレインゲージをはりつけたもので、載荷板表面の変位量はキャリブレーションによって求めた。その結果載荷板表面の変位量（両側を合計したもの）と変位計の出力との間にはよい直線関係があり（図-2）、再現性も問題ないことが確認された。

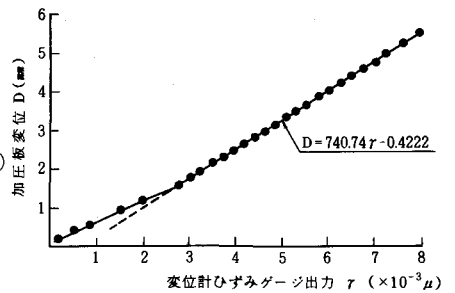


図-2 変位計ひずみゲージ出力と変位

3. 原位置試験

1) 試験地点の地質概要

試験はあるフィルダムの洪水吐ゲート基礎予定地点でおこなった。このダムサイトは花こうせん緑岩およびせん緑岩とこれらを買ぬくひん岩類からなる。全般に数多くの断層が発達し、一部では熱水変質の影響も受けており、岩盤全体が劣化している。試験地点の地質はせん緑岩およびひん岩で岩級区分において C_L ~ C_M クラスのものである。同時におこなった平板載荷試験によると弾性係数 10,000 ~ 20,000 kg/cm², 変形係数 3,000 ~ 6,000 kg/cm² 程度の岩盤である。

ii) スリットの掘削

試験用のスリットは次のようにして掘削した。

- ① 調査横坑において試験地点を選定し(新たに掘削することもある), 必要な広さまで拡幅する。
- ② 手掘りによる盤下げ(約20cm)をおこない発破によるゆるみの部分を除去する。
- ③ 平板载荷法による変形性試験をおこなう。
- ④ 試験終了後さらに手掘りによる盤下げ(約10cm)をおこなう。
- ⑤ 掘削面を水洗し, 厚さ1cm程度のモルタルを打つ。
- ⑥ 岩石切断機でスリットを掘削する。

今回は幅11mm, 深さ約45cm(切断面長約90cm)の半円状のものである。

iii) 試験方法

スリット中に図-3のような配置で薄型フラットジャッキを挿入し, 紙面に対して直角方向に荷重をかけた。最大荷重は30kg/cm²または40kg/cm²とし, 載荷または除荷速度は毎分2kg/cm² 変位读取は2kg/cm² ごと, 各荷重変換点でのポーズは3分とした。ローディングは0→10→4→20→4→30→4→40→0(kg/cm², 40kg/cm²で3回くり返しをおこなった)。

IV) 解析方法

半無限地盤の表面に鉛直集中荷重が作用する場合の Boussinesq の解を用いて, 重ね合せの原理により円形の等分布荷重によって生ずる応力および変位を求めることができる。途中の式の展開を省略して結果のみを記すと次のようになる⁴⁾。

円形載荷面の中心における表面の変位量

$$\omega(0) = \frac{2(1-\nu^2)qa}{E} \dots\dots\dots (1)$$

中心から($\frac{a}{2}$)点における表面の変位量

$$\omega(\frac{a}{2}) = \frac{5.88(1-\nu^2)qa}{\pi E} \dots\dots\dots (2)$$

ただし, ω : 変位量, q : 応力, a : 載荷板の半径, E : 弾性係数, ν : ポアソン比とする。

スリット法による試験方法では岩盤中にスリットを掘削することがむずかしく, スリット面が計算上の半無限体表面とはならないが, 変位量が小さい領域ではほぼ近似できるものと考えられる。実際に応力レベルが高く変位量が大きくなると荷重の増加に比べ変位量が大きくなる傾向を示し, さらに荷重を増大させるとスリットの上部(図-3 変位計①)の変位が大きくなり, ついには試験坑の床面にスリットに直角方向の引っぱりクラックが生じたものもある。

4. 試験結果

今回おこなった一連の試験は花こうせん緑岩におけるC_M岩盤で2ヶ所, C_L岩盤で2ヶ所の計4ヶ所である。デー

表-1 試験地点周辺の岩石試料の物理・力学定数

	せん緑岩	ひん岩
単位体積重量	2.663~2.682 (3) 2.665~2.690 (3) 2.665~2.676 (3)	2.744 (2) 2.746~2.747 (2) 2.735~2.743 (2)
吸水率(%)	0.48~0.64 (3)	0.47~0.48 (2)
有効間隙率(%)	1.27~1.70 (3)	1.29~1.30 (2)
含水率(%)	0.20~0.47 (3)	0.33~0.41 (2)
一軸圧縮強さ(kg/cm ²)	207~1477 (4) 614~1295 (4) 1376~1477 (2)	1065 (1) 1375 (1) 1090~1701 (3)
接線弾性係数(×10 ⁶ kg/cm ²)	4.37~6.74 (4) 4.88~6.13 (4) 6.51~7.61 (2)	5.34 (1) 5.32 (1) 6.26~7.28 (3)
割線弾性係数(×10 ⁶ kg/cm ²)	4.24~7.59 (4) 3.16~5.00 (4) 5.34~6.88 (2)	5.20 (1) 5.79 (1) 5.78~7.27 (3)
P波速度(Km/sec)	5.22~5.89 (4) 5.22~6.05 (4) 5.28~5.50 (2)	6.17 (1) 6.15 (1) 5.86~5.96 (3)
S波速度(Km/sec)	2.38~2.69 (4) 2.24~2.54 (4) 2.42~2.54 (2)	2.68 (1) 2.60 (1) 2.51~2.57 (3)
動ポアソン比	0.36~0.38 (4) 0.38~0.40 (4) 0.35~0.38 (2)	0.38 (1) 0.39 (1) 0.39 (3)
動弾性係数(×10 ⁶ kg/cm ²)	4.40~5.34 (4) 3.68~4.86 (4) 4.45~4.80 (2)	5.64 (1) 5.21 (1) 4.82~4.99 (3)

- 注1. 各項の上段は自然状態, 中段は強制湿潤状態, 下段は強制乾燥状態
2. ()は供試体数
3. 測定は各々3回づつ行いその平均をとった

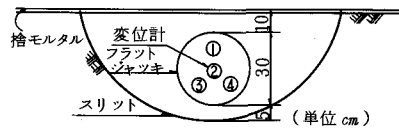


図-3 スリットとフラットジャッキの位置関係

タとしては変位計のひずみゲージ出力として得られるので図-2のキャリブレーションを用いて加圧板の変位量に換算して解析した。試験結果は試験ゲ所によって異なるが以下にのべるような共通した傾向が認められる。

1) 応力と変位

図-4は変位計別(位置)に応力と変位との関係を图示したものである。本図から次のような傾向を読みとることができる。

① 応力~変位曲線はジャッキ法による試験結果と同じ傾向を示す。すなわち処女応力の範囲では上に凸の曲線となり、除荷してもかなりの残留変位が認められる。再荷重過程ではほぼ直線的になる。

② ジャッキ法では試験坑の掘削によるゆるみの影響のほか、載荷装置の重量が大きいので応力レベルの低いところの測定が困難である。過去のジャッキ試験例を検討すると応力 10 kg/cm^2 程度まではバラツキが大きすぎて解析ができず、とくに本試験地点のようにキレツ性の $C_L \sim C_M$ 岩盤では 20 kg/cm^2 程度でもバラツキがみられる(図-5)。これに対してフラットジャッキ法では岩盤とのなじみがよく、さらに載荷装置の重量が岩盤に直接かからないので応力レベルの低いところからでも良いデータがとれる。

③ 同一応力でもフラットジャッキの場合には中心からの位置によって変位量が異なるので簡単に比較することはできないが、スリットの上部(変位計①)では変位が大きく、下部(変位計③および④)では変位が小さい(図-4)。これは載荷面の拘束条件の相違によるものと思われる。

④ 変位計①③④の平均を次式によって補正し変位計②と対応させると図-6のようになる。補正は岩盤の力学定数が同じものとして次式によった。

$$\epsilon_0 = \frac{2\pi}{5.88} \epsilon \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 ϵ_0 : 補正後の変位(中心点への投影)、 ϵ : 変位計①③④の平均変位

補正後の平均変位は変位計②の測定値と同じような値を示すが、応力が大きくなると変位計①の変位が大きくなるので平均変位が大きくなる。

ii) 変形係数および弾性係数

変形係数は荷重~変位曲線において処女曲線の包絡線から求めた。ジャッキ法では包絡線が直線状か、または締め固り効果によって傾斜が急になるが、スリット法では一般によく直線上にのるが、応力レベルの高いところでは傾斜がゆるくなってくる(図-6)。

変形係数(D)および弾性係数(E)の計算は式(1)および(2)から誘導した次式によった。

$$D, E = 2a(1-\nu^2) \frac{dq}{d\epsilon} \quad (\text{変位計②}) \dots\dots\dots (4)$$

$$D, E = \frac{5.88}{\pi} a(1-\nu^2) \frac{dq}{d\epsilon} \quad (\text{変位計①, ③, ④}) \dots\dots\dots (5)$$

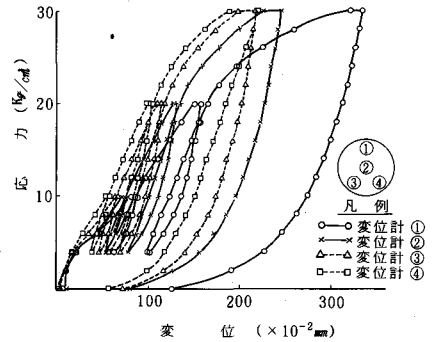


図-4 応力と各点の変位量

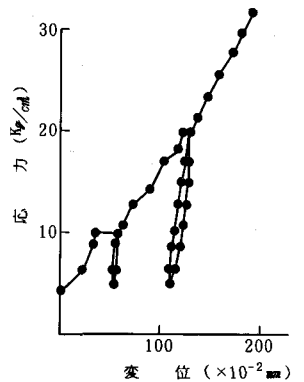


図-5 ジャッキ法による応力と変位

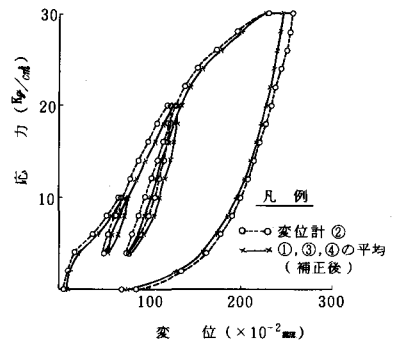


図-6 中央変位計と他の変位計との関係

iii) スリット法とジャッキ法との比較

スリットを掘削する前に同じ位置で在来試験法であるジャッキ法による変形性試験をおこなっているのです。その試験結果と比較検討した。試験地点の地質は様でなく、節理やシームの傾斜が急なのでスリットと平行になつたり低角度で交わるため力学定数はスリット法の方がやや小さめにできる条件にある。

表-2はジャッキ法(試験番号J)とスリット法(試験番号S)によって求めた岩盤の力学定数である。この中、J1とS1およびJ4とS3はおおのほぼ同一地点、S2はJ2とJ3の中間地点、S4はJ1から61m離れた地点である。前述のように地質条件が同一でないので詳細な比較は

できないが、スリット法はジャッキ法に比べると弾性係数が同じ場合変形係数が大きくなり、変形係数が同じ場合には弾性係数が小さい。変形係数は岩盤のゆるみを反映するものであり、これによってもスリット法では岩盤のゆるみが小さくてすむということがわかる。

5. まとめ

調査横坑の掘削によるゆるみの影響を少なくするためスリット法による試験方法を開発し、ジャッキ法と比較検討した。その結果スリット法はゆるみの影響が少ないので変形係数が大きく、くり返し荷重をかけても締め固り効果による変形係数や弾性係数の増加は認められない。

スリット法は反力を外部にとる必要がないのでいかなる方向も、また調査横坑だけでなく地上での試験も容易にできる。さらにスリット法に用いるフラットジャッキは普通のジャッキ法用のジャッキに比べ小型軽量なので試験も簡便である等々の長所がある。しかし、現段階では深いスリットを切削する適当なカッターがなく、これがスリット法のネックとなっており、現在容易に大形のスリットの切削ができる機械の開発をおこなっている。

本試験方法の開発や原位置試験にあたり、終始、有意義な御助言ならびに御協力を下さった柳田地質化学部長、地質研究室の武井修氏(現川治ダム工事事務所)、加藤則男氏、神保悟氏に対し深く感謝する。なお原位置試験には東北地方建設局寒河江ダム工事事務所およびダイヤコンサルタント(株)の御協力をえた。記して関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 飯田隆一, 小林茂敏(1972) 現地載荷試験時における岩盤の挙動特性の研究, 土木技術資料 14巻 8号 pp.16~20
- 2) Rocha, M.(1966) Rock Mechanics in Portugal, Proc. 1st Cong. ISRM, Vol.3, pp.121~132
- 3) Rocha, M.(1970) New Techniques in Deformability Testing of In Situ Rock Masses, Determination of the In Situ Modulus of Deformation of Rock, ASTM STP 477 pp.39~57
- 4) 土木学会編(1975) 土木技術者のための岩盤力学 pp. 255~259

表-2 試験方法別の力学定数

試験番号	岩種岩級	変形係数	接線弾性係数	割線弾性係数
J1	ひん岩CL	3.6	12.9	13.5
S1	ひん岩CL	6.6	12.7	12.4
J2	せん緑岩CL	6.3	25.2	27.4
J3	せん緑岩CL	4.5	13.0	13.3
S2	せん緑岩CM	12.0	18.6	18.0
J4	せん緑岩CL	3.9	12.6	13.4
S3	せん緑岩CL	3.7	7.8	8.5
S4	花こう岩CM	28.1	39.5	35.1

(単位 10^3 kg/cm²)

DEFORMABILITY TESTS OF ROCK MASSES BY THIN FLATJACKS IN SLOT

Public Works Research Institute
Ryuichi OKAMOTO
Hayashi SUGAHARA

Abstract

Jackloading test, water chamber test and seismic prospecting have been conducted to investigate deformability properties of rock masses. The test zone of the rock mass, however, is disturbed and released by the excavation with explosives in the case of jackloading and water chamber tests. The reduction of the moduli of the deformability and elasticity can not be ignored.¹⁾

In order to overcome these affects a new method, namely slit jackloading method, is developed for determining the deformability of rock masses.²⁾³⁾

The paper represent the new method, and the comparison and discussion between it and jackloading test conducted in a slightly altered granodiorite and porphyrite.

The slit jack has a round shape, 300mm in diameter and 9mm in thickness. It is installed in a 11mm wide slot in a rock mass and apply load perpendicular to slot walls. The real deformability properties of rock masses could be determined, because the slot is so narrow that there is almost no loosened nor released zone of wall rock masses.

As the disturbed and released zone in the slot wall rocks is extremely small, the modulus of deformability got by the slitjackloading method is greater than that by the ordinal jackloading method. The increase of the moduli of deformability and elasticity by repeating leading is almost negligible.

The problem is how effective and light weight cutting machine develops. A ordinal rock cutter, 1182mm diamond disc cutter, was used this time. The cutter is so heavy and could cut only 450mm deep. We are trying to develop a new type machine which can cut larger and deeper slots afterward.