

横坑内ジャッキ試験とボアホールジャッキ試験の対比検討

— 中硬岩～硬岩 —

電源開発㈱ 光宗 栄 信  
川崎地質㈱ 佐藤 允  
、 〇 宮川 純 一

1. はじめに

岩盤の性質は、それを構成する岩片の性質と非常に異なつたものであることは、よく知られているが、その度合は、軟岩よりもむしろ中硬岩～硬岩になるほど著しい。これは、岩盤に内在する地質分離面が硬岩ほど発達しているためである。したがつて、このような岩盤の性質を求めるには、原位置における測定試験が中心とならざるをえない。

岩盤の力学的性質を原位置において手軽に測定できる方法として、ボーリング孔を利用する孔内載荷試験が有効である。この方法は、試験規模が小さいという欠点はあるが、経済的でしかも能率的に試験が行えるという大きな長所を有しているため、岩盤調査の一環として広く用いられるようになってきた。特に、本文中で述べるボアホールジャッキ（高圧型KKT）は、加圧能力が最大330kg/cm<sup>2</sup>と強大なため、中硬岩～硬岩にも適用できる試験機として利用されている。ところで、このボアホールジャッキより得られる試験結果には、複雑な岩盤の変形特性が含まれるため、これを解釈することは単純な問題ではない。そこで、現在広く岩盤調査に用いられているジャッキ試験（平板載荷試験）とボアホールジャッキ試験とを対比することによつて、それぞれの試験結果が岩盤のどのような性質を反映しているのか調べてみた。

2. 地質概要

調査地附近の地質は、大戸層と呼ばれる砂岩、頁岩と、これ貫く閃緑岩体から構成されているが、調査坑内の試験位置附近ではこの大戸層を第三紀緑色凝灰岩が不整合に覆っている。菊地・斎藤による岩盤分類<sup>1)</sup>でみると、当調査地盤は中硬岩、岩盤等級C<sup>H</sup>～C<sup>M</sup>に相当することが、コア試験その他より判定された。

3. 孔内載荷試験とその結果

孔内載荷試験機として、上記した高圧型KKTを用いた。この試験機の概要は、表-1に示すとおりである。これより得られた荷重強度P～変位量r関係の一例を示すと、図-1となる。このP～r図から、変形係数D<sub>K(P)</sub>を求める算定式として、つぎに示すグッドマン式<sup>2)</sup>を用いた。

表 - 1 高 圧 型 K K T

本 体		載 荷 板			ピストン		最大加圧力
外 径	長 さ	幅	長 さ	数	最大ストローク	数	———
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(個)	(mm)	(個)	(kg/cm <sup>2</sup> )
65	500	30	250 (300)	1	18	7	330

$$D_{K(P)} = \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot \frac{d}{2} \cdot \psi(\nu, \beta) \quad \text{————— (1)}$$

ここに、D<sub>K(P)</sub>：KKT試験より得られる任意の荷重P kg/cm<sup>2</sup>時の変形係数(kg/cm<sup>2</sup>)、ΔP：荷重増分(kg/cm<sup>2</sup>)、Δr：ある荷重増分ΔPにより生じた半径方向変位量(cm)、d：ボーリング孔直径(cm)、ψ(ν, β)：ポアソン比νと載荷幅曲率βの関数(図-3、文献2)参照のこと。)なお、接線弾性係数(以下、単に弾性係数と称す。)E<sub>K(P)</sub>についても、同様の算定式により求めた。式(1)により、各荷重増分における変形係数を求め、それに対応する荷重(平均)に対してプロットしたものが図-2である。この図より、変形係数は、ある荷重(図-2では、約150kg/cm<sup>2</sup>)までは、それに依存して増加するが、その荷重を越えると破壊が開始しだすまで載荷荷重に無関係に一定値となることわかる。この傾向は、KKT

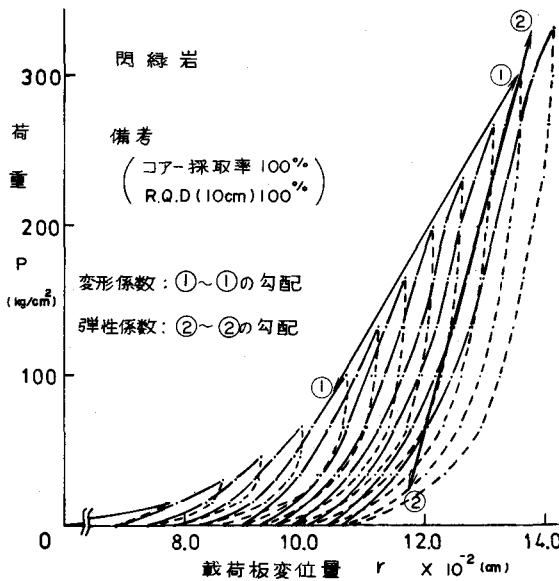


図-1 荷重と変位量の関係

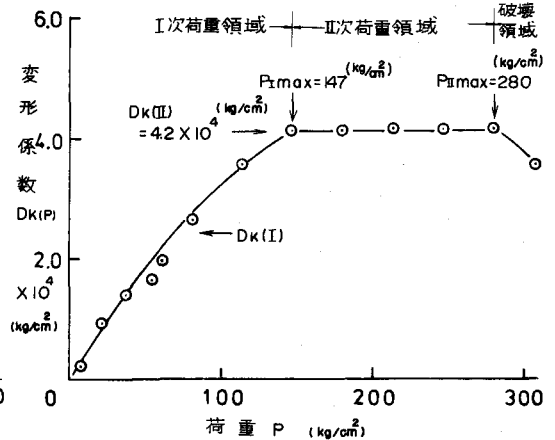


図-2 変形係数の荷重依存性

試験結果に共通するものであつた。そこで、荷重依存部の変形係数と、依存しないそれとを区別するために、前者をI次変形係数 $DK(I)$ 、後者をII次変形係数 $DK(II)$ 、さらにそれぞれの荷重領域を、I次荷重領域、II次荷重領域、I次荷重領域からII次荷重領域に移行するときの荷重を最大I次荷重 $P_{I\max}$ 、岩盤が破壊し始めるときの荷重を最大II次荷重 $P_{II\max}$ と名付けることにする。それぞれの変形係数、荷重は、表-2に示すような岩盤状態をおのおの表現しているものと考えた。なお、表-2には示さなかつたが、弾性係数についても、上述した傾向がみられたため、変形係数と同様の用語を使うことにした。

表-2 各用語の説明

記号	名称	P~r関係	説明
$DK(I)$	I次変形係数	非線形	KKT試験による荷重依存部の変形係数。主として、岩盤の割れ目やその充てん物の状態に左右される。
$DK(II)$	II次変形係数	線形	KKT試験による荷重に依存しない定常状態の変形係数。岩石そのものの硬軟の程度を表わしている。(岩盤の割れ目閉塞後の状態)
$P_{I\max}$	最大I次荷重	非線形~線形	$DK(I)$ から $DK(II)$ に移行するときの荷重。主として、割れ目を閉塞するのに要する荷重を表わし、岩盤の良好度と異方性に左右される。
$P_{II\max}$	最大II次荷重	線形~非線形	荷重~変位図の直線性が失われ、一定荷重のもとで変位が増加し始める時の荷重。主として、岩盤の強度を反映する荷重である。

#### 4. ジャッキ試験(平板載荷試験)とその結果

一般的に行われている剛体円板載荷とし、載荷板は直径30cm、厚さ3cmのものを用いた。載荷方法および変形係数、弾性係数の算定は、文献3)に準じた。この試験より得られる荷重~変位量関係の一例を示すと図-3となる。図-1に示すKKT試験結果と比較して、ジャッキ試験の場合は、予備荷重領域( $P=1.5\text{kg/cm}^2$ )において極端な変位量の増加は認められず、低荷重レベルから比較的スムーズに荷重~変位曲線

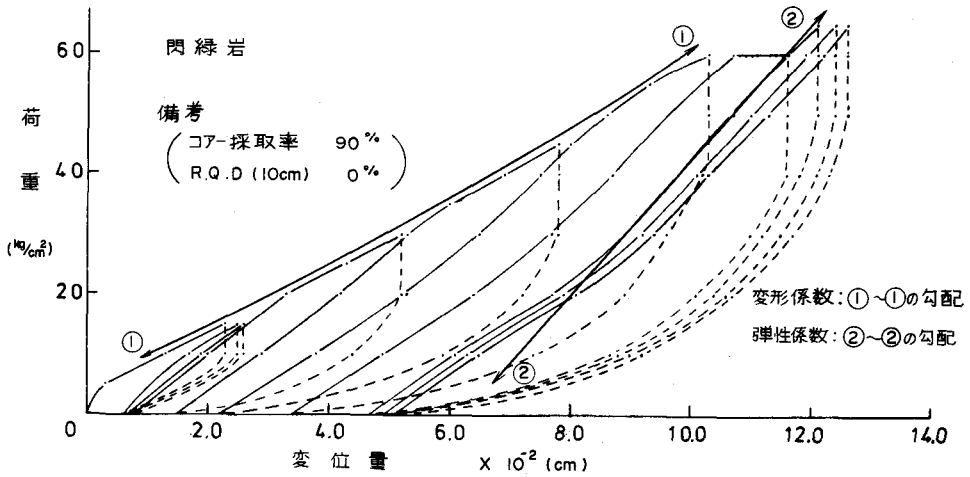


図-3 荷重～変位図

が立上がっていることがわかる。これは両試験の初期条件の差異（ジャッキ試験の場合は、入念なフェーシングを行いが、孔内載荷試験では、事実上それが不可能。）によるものと思われる。また、図-3より、荷重～変位図に明確な直線部分は認められず、それから得られる変形係数、弾性係数は、前述したI次荷重領域に属するDJ(I), EJ(I)であると考へた。これは、ジャッキ試験の場合、最大載荷荷重が60 kg/cm<sup>2</sup>と低荷重レベルであることを考えると当然の結果と思われる。なお、ジャッキ試験によつて得られる諸数値には、表-2に示す各記号の添字Kの代りに、Jを用いることによつて区別した。

### 5. ジャッキ試験と孔内載荷試験の対比

試験結果を対比する前に、まず両試験法の載荷機構の違いを明確にしておく必要がある。両者の大きな差異は、ジャッキ試験の場合、圧縮力のみが地盤に作用しているが、孔内載荷試験（高圧型KKT）では、図-4にその境界条件と応力分布<sup>2)</sup>を示すが、引張応力が $\theta = 90^\circ$ 附近の平面内に生ずることである。もし、岩盤の引張強度を越える引張力が作用すると、この面内でクラックが発生する。その結果、載荷板変位量が圧縮力のみによつて岩盤内で生ずる変位量より大きくなり、それを用いて算出した変形係数（弾性係数）は、引張りクラックが発生しない場合のそれに比べ低い値となる。KKTと同様のポアホールジャッキについて、これに関する補正をグッドマンは、近似式で行つた。この手法は、引張りクラックがボーリング孔半径まで達すると仮定し、F.E.M.解析によつて変形係数を求めたものだが、それによると、引張りクラックがない場合の変形係数に比べ、約20%の減少があつた。しかし、実際にはグッドマンが言つているように<sup>2)</sup>、クラックが $\frac{1}{2} \sim 1$ 半径を越えて広がることは、まず考えられず、最大修正してもおそらく15%を越えることはな

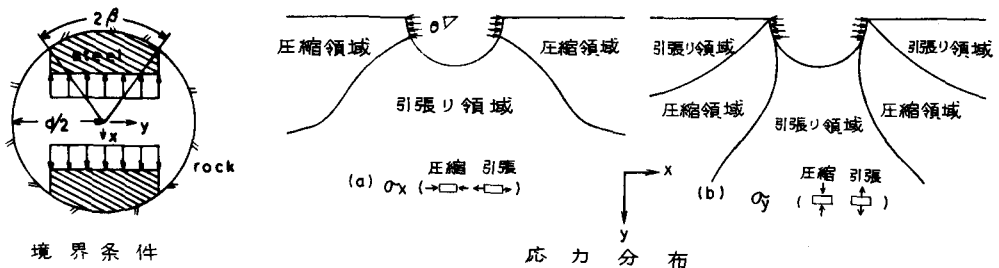


図-4 高圧型K.K.Tの境界条件とその応力分布<sup>2)</sup>

いと思われ、さらに本調査地の  
 ような中硬岩以上の堅硬な岩盤  
 では、引張りクラックがそれほ  
 ど顕著に試験結果を左右する  
 とは思われない。そこで、載荷機  
 構の違いによる補正は特に行わ  
 ずに、以下両試験結果を対比し  
 た。

図-5は、同一地点で行った  
 両試験結果を比較したものであ  
 る。図に示す変形係数は、どち  
 らもI次荷重領域の変形係数す  
 なわち、 $DJ(I)$ 、 $DK(I)$  であり、  
 荷重レベルを一致させて対比し

た。この図より、 $DJ(I)/DK(I)$ の値は、荷重に依  
 存して変化すること、その値のばらつきは、荷重  
 が大きくなるにつれて減少することがわかる。低  
 荷重領域で $DJ(I)/DK(I)$ が大きくばらつくのは、  
 それがまだ予備荷重の範囲であるため、岩盤面と  
 載荷板の接触状況の良悪が、試験値に影響してい  
 るものと思われる。荷重が大きくなると両試験結  
 果とも、このような試験条件の影響を受けること  
 が少なくなるため、ばらつきも小さくなり、  
 $DJ(I)/DK(I) < 1$ となり、その値はある一定値に  
 近づいていく。 $DJ(I)/DK(I) < 1$ となるのは、両試  
 験結果の載荷面積の大きさの違いによる寸法効果  
 の影響が現れたものと思われる。岩盤には、種々  
 の大きさのキズが存在するため、一般に載荷面積  
 が大きくなるとその影響範囲が広がるため、強  
 度と共に、変形性も低下する。この低下率を示す式については、種々提案されているが、図-5に示す中硬  
 岩の場合、ジャッキ試験(載荷面積約700cm<sup>2</sup>)と高圧型KKT(載荷面積75cm<sup>2</sup>)の載荷面積の違いによ  
 る寸法効果は、荷重100Kg/cm<sup>2</sup>程度で、 $DJ(I)/DK(I) = 0.2 \sim 0.5$ となることが推定される。

つきに、通常の土木構造物の設計荷重であると思われる40Kg/cm<sup>2</sup>について、 $DJ(I)$ と $DK(I)$ の値を対比し  
 たものが図-6である。これより、両値には、つきのような関係式が成立することがわかる。

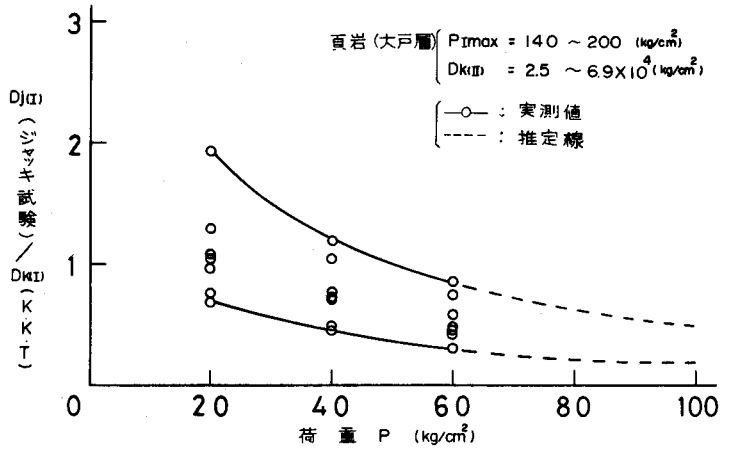


図-5  $DJ(I)/DK(I)$ の荷重依存性

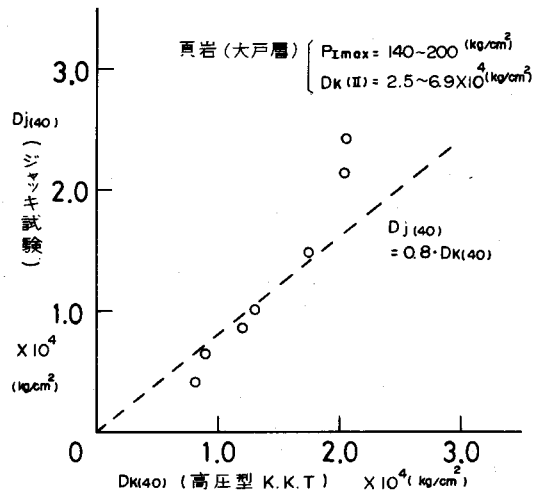


図-6  $DJ(40) \sim DK(40)$ 関係

つきに、通常の土木構造物の設計荷重であると思われる40Kg/cm<sup>2</sup>について、 $DJ(I)$ と $DK(I)$ の値を対比し  
 たものが図-6である。これより、両値には、つきのような関係式が成立することがわかる。

$$DJ(40) \approx 0.8 DK(40) \quad \text{--- (2)}$$

参考までに、荷重60Kg/cm<sup>2</sup>では  $DJ(60) \approx 0.5 DK(60)$  が成立することが認められた。

以上、変形係数について述べてきたが、上記関係式と同様のことが、弾性係数についてもあてはまること  
 が確認された。

参考文献：1) 土木学会編：“ダム地質調査”、2) R.E. Goodman, T.K. Van, and F.E. Heuse: “The  
 Measurement of Rock Deformability in Bore Holes”, Symp. on Rock Mechanics May 1968  
 3) 土木学会編：“土木技術者のための岩盤力学”

CONSIDERATION ON JACK TEST IN GALLERY AND BOREHOLE  
— SEMI-HARD OR HARD ROCKS —

Eishin MITSUMUNE\*  
Makoto SATO\*\*  
Junichi MIYAGAWA\*\*

In general, the plate loading test and the borehole loading test are used to measure the rock deformability in situ.

There are many types of borehole loading tester. But in order to apply to semi-hard or hard rocks, the tester with enough loading capacity is required.

Max loading pressure of the borehole jacks (High pressure type KKT) reaches to 330 kg/cm, so it is suitable for such rocks.

The interpretation of the test results by means of the borehole jacks is not easy because deformability of rocks involved many factors.

In this paper, authors studied by investigating the plate loading and the borehole loading test, what kinds of characteristics were reflected in the test result.

The conclusions obtained through the investigation are follows.

- (1) The coefficient of deformability for each load increment are obtained from load-displacement relation during the borehole jack test. The coefficient of deformability-load relation showed that the deformability increased with load till some level, and the deformability became constant above the level.
- In the case of the elastic modulus, same trends were obtained.
- (2) The relations between the coefficient of deformability, the elastic modulus, and load from the plate loading tests had almost same tendency to the borehole jacks.
- (3) When the applied load was 40 kg/cm, the following relation was obtained.

$$D_{J(40)} = 0.8 \cdot D_{K(40)}$$

Where;  $D_{J(40)}$ : the coefficient of deformability by the plate loading test.

$D_{K(40)}$ : the coefficient of deformability by the borehole jack test.

The difference of the coefficients in above equation is size effect of loading plate.

---

\* Electric Power Development Co., Ltd.

\*\* Kawasaki Geological Engineering Co., Ltd.