

花崗岩岩盤に関する 2、3 の変形特性について

本州四国連絡橋公団第二建設局 ○山県 守
株式会社応用地質調査事務所 武内俊昭

1. まえがき

本州四国連絡橋 D ルートの地質調査は構造物の設計、施工に対する資料を提供する目的で、その変形や強度、掘削性などについて種々行なわれて来た。本ルート沿いに分布する構造物基礎岩盤の大部分はいわゆる花崗岩類に属しており、組成の違いもそれらの間で幾分みられるが、前述の工学的性質を大きく左右するのはそれらの風化状況の違いである。本ルートでおこなわれてきた種々の調査結果は、いずれ風化状況とその工学的性質の関連としてまとめ報告したいと思っているが、ここでは、これらの中から、花崗岩の一般的性質として表わされるその変形特性について 2、3 のべてみたい。

海中構造物の基礎岩盤調査は、海上ボーリング孔を利用した色々な物理、力学的調査であるが、これらの調査結果を有効に生かすために、従来から陸上の岩盤調査として一般化されている、横坑を利用したジャッキ試験を陸上の類似岩盤で行なっている。今回この報告では海底岩盤に対しておこなわれたボーリング孔を用いた孔内載荷試験による岩盤の変形性と陸上横坑内で実施されたジャッキ平板載荷試験、孔内載荷試験などの結果による変形性についてそれらの関連や花崗岩岩盤の特性について考察した結果をのべる。

2. 変形試験地点の岩盤状況

前述したように、ルートに分布する基礎岩盤は大部分花崗岩であり、岩盤の工学的性を左右する要素はその風化による岩盤状況である。

表-1 岩盤等級基準表

これらの岩盤は、ボーリングコアの肉眼鑑察や掘進状況を中心にして、露頭における状況も加味し、その風化状況を表-1 の岩盤等級基準にしたがつて 6 つの等級に区分している。岩盤の工学的性質はそれぞれこの等級との対比で検討されているが、すべての量がこの等級と一対一的な対応関係にあるとは限らない。したがって個々の具体的ケース

	強 度		不均 一 性		コ ア	RQD %	ダイヤモンドビットで掘進するときの感度	色 調
	硬 軟	風 化 ・ 変 質	割れ目の状態	断層の状態				
D	ハンマーの強打で鈍い音を発し、容易に崩壊する。	完全にマサタ風化。強く脆に玉石状岩盤を幾す。各々の鉱物は結合力を失っている。	消失	スベリ面を含む様なシロナイトとなっている断層中心部	粘土状、砂状、角状、片状	0 10	割り易い	褐 黄 褐
C	UL	ハンマーの強打で鈍い音を発し割れ音を含む。どこにも鋭い岩盤を含む	岩盤内部まで風化しているが、どこにも鋭い岩盤を含む	開口し割れ目が多いの粘土化、マサタ化が進んでいる	角片状 断片状 断片状に短棒状	10 50	割り易いがコアづまりをおこしやすい 15m/h以上	黄 褐
	CM	岩盤内部は新鮮でなかなか割れない	有色鉱物の周囲は褐色を帯びている	割れ目多いは5~10m風化変質している粘土層をしばしば挟む	棒状 板状 径φ=10~20cm	10 70	最も割り易い 15m/h以上	黄 褐
	CH	ハンマーで強打すると金属音を発し割れにくい	粗粒新鮮で堅硬な岩盤	割れ目多いは若干風化変質	棒状 板状 径φ=20~50cm	50 100	割り易い 10m/h以上	黄 褐 乳 灰
B	ハンマーで強打すると金属音を発しほとんど割ることができない	全般的に未風化の新鮮な岩盤	強く脆に割れ目多いに微細な風化またはヘアークラックが発達	棒状 板状 径φ>50cm	70 100	やや割れにくい 0.5m/h以上	乳 灰 灰	
A	ハンマーで強打しても割れない	未風化の堅硬な岩盤	割れ目の発達は無で、あっても密着			0.5m/h以上	灰 青 灰	

スについては、試験値を重視するが、一般的見方としてこの岩盤等級の持つ岩盤の各工学的量が定められている。ここで考察される変形特性はこの岩盤等級との対比を意図したものではなく、変形挙動を考察するので、表に記述されている等級の内容を参考にしている。この他、構造物との関連では、基礎岩盤中の断層の分布やその性質も重要な要素であるが、今回の考察では特にこれについてはふれていない。

3. 変形試験の方法

実施した変形試験の装置や方法についてのべる。

ボーリング孔を利用する孔内載荷試験は、ボーリング孔径 66% と 101% に用いられる 2 種類のものである。原理は、円筒状のゴムチューブを液体を加圧して膨張させ、ボーリングの孔壁を加圧変形して岩盤の変形係数を求める。加圧部分の長さ（深度方向）は両者とも 50 cm で、最大の加圧能力は前者が 50 ㎏、後者

は150%である。前者は中圧LLT、後者は高圧孔内載荷試験機とよばれている。加圧速度はいずれも、 $1\text{ kg/cm}^2/\text{min}$ で50、100、150 kg/cm^2 の各段階でくり返す階段荷重のLoading Patternを用いている。図-1に高圧孔内載荷試験で得られた加圧～変位曲線の一例を示す。

横坑内で実施したジャツキ平板載荷試験は、水平及び鉛直の2方向についておこない、用いた加圧板は直径40cmの剛体円形のものである。Loading Patternは図-2の加圧～変位曲線の一例に示されるように、60ton(47.7%)、120ton(95.5%)、180ton(143.2%)におけるくり返し階段荷重とした。水平方向載荷は左右両側壁ごとに変位量を測定し、鉛直方向載荷は、踏面の変位のみを測定している。また、加圧速度は4 $\text{ kg/cm}^2/\text{min}$ である。横坑の断面は2.0m×2.0mで、この横坑を掘削する直前に、横坑予定断面のほぼ中央の位置に、横坑と同じ方向に沿って孔径101%の水平ボーリングを掘削し、その中で上述したと同様な方法で高圧孔内載荷試験を実施した。

4. 試験結果

4.1 海底岩盤における孔内載荷試験結果

橋脚予定地点の海底岩盤に対して、ボーリング孔を利用しておこなった変形試験の結果を図-3に示す。図-3は試験から求めた変形係数(以下E(LLT)と表現する。)を表-1にもとづく岩盤等級に対してプロットしたものである。ここでE(LLT)はポアソン比を0.3と仮定して、ボーリングの深度方向と垂直な平面における2次元平面歪状態から得られる次の式から計算した。

$$E(LLT) = (1 + \nu) r_m \frac{\Delta P}{\Delta r}$$

ただし、 ν : ポアソン比 (=0.3)

r_m : 加圧による半径の中間変位半径

ΔP : 加圧増分

Δr : 加圧による半径増分

また、図中、小黒点は中圧LLTによる値、大白丸は高圧孔内載荷試験機による値である。

変形係数は600 kg/cm^2 から100,000%の範囲

に分布しているが、大局的にみて肉眼による岩盤の分類と相関を持っている。また、個々の岩盤等級毎にみるとE(LLT)のバラツキ巾は約1オーダーに及んでいる。中圧LLTと高圧孔内載荷試験の結果を比べてみると前述した約1オーダーのバラツキ巾の中に含まれて特に明瞭な差異はみられないが、詳細にみるとバラツキ巾の中でやゝ値の大きい方に高圧孔内載荷試験の値(以後E(LLT)とよぶ)が片寄っている。

つぎに、図-4に、中圧LLTによる変形係数と降伏荷重の関係を示す。ここで云う降伏荷重は、この試

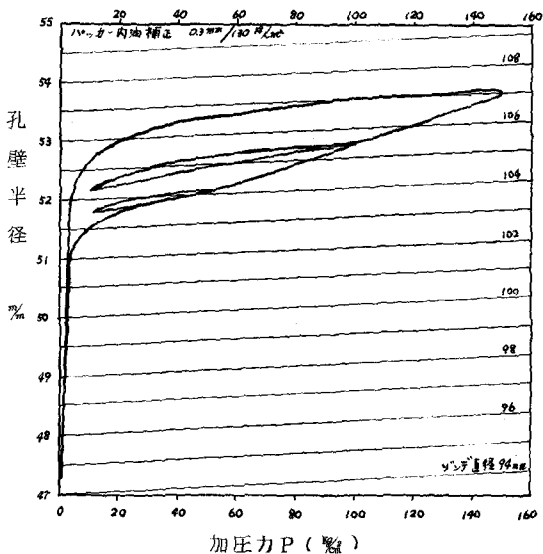


図-1 孔内載荷試験結果例

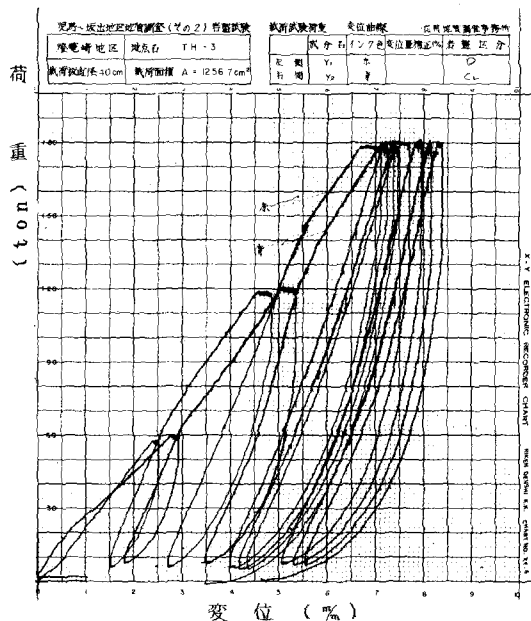


図-2 ジャツキ平板載荷試験結果例

験法による加
圧力と孔壁変
位の関係を示
す線が、直線
部分から、変
位のより大き
くなる方向に
変曲する点を
さしているも
のである。図

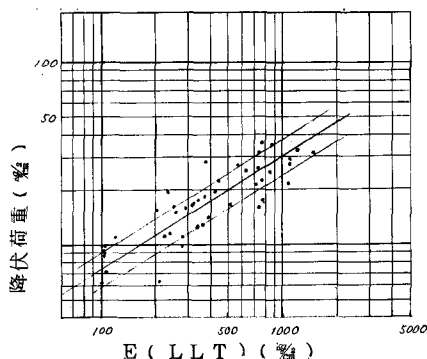


図-4 は中圧L
LTによるも

なので、加圧力が 50 kg/cm^2 以下であり、それ以内に表われ
る降伏点であるので当然不良な風化のすんだ岩盤が対象と
なっている。これらの関係は図上ではほぼ直線関係にある。

4.2 横坑内における岩盤試験結果

図-5 にジャツキ平板载荷試験による処女変形曲線とくり
返し曲線による変形係数についてそれぞれ、水平方向と鉛直
方向についてプロットしたものを示す。

これらの点は全体としては、それぞれ変形係数が大きくな
ると $n=1$ に近くなる傾向を示している。すなわち処女曲線
とくり返し曲線による変形係数の差異がみられなくなってい
る。また、黒丸で示した水平方向すなわち左右両側壁間の載
荷と、鉛直方向すなわち天端と踏前間の载荷の傾向は殆んど
差がみられない。

図-6 には同様な処女曲線とくり返し曲線による変形係数
の関係がプロットされているが、この図では、ジャツキ平板
载荷試験の結果と孔内载荷試験の結果が比較されている。す
なわちジャツキ平板载荷試験については、前出の図-5 と同
様なものであるが、横坑掘削直前に実施した水平ボーリング
孔内でおこなった高圧孔内载荷試験の結果を同時にプロットしたものである。この図をみると両者の違いは
大きいものではないが、白丸で示した高圧孔内载荷試験の結果がやや下側に位置している。すなわち、全般
に高圧孔内载荷試験の結果による処女曲線及びくり返し曲線の方がそれらの間の差異が少ないことを示して
いる。

5. 変形特性に関する考察

上にのべた幾つかの変形性に対する結果を考察して、これらの試験地点の花崗岩岩盤についてその変形特
性を試験方法の関連において出来るだけ明らかにしてみたい。

5.1 海底岩盤について

図-3 でみられた如く、肉眼鑑察による岩盤等級は非常に広いバラツキをみせているが大局的には関連
が見出せる。変形性は岩石の硬軟やキレツの頻度、性質、方向など多くの要素に左右されるが、それらの要
素を考えた総合判定が岩盤等級として示される。図-3 では岩盤等級を直線的に等間隔的な感覚で区分して
片対数上直線的な勾配を示している。これは肉眼判定をする場合の基準要素である岩盤の硬軟と割れ目の状

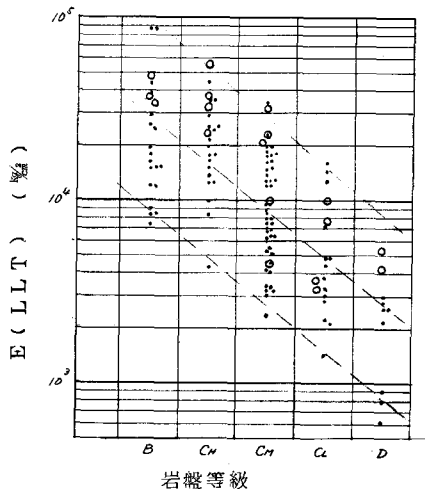
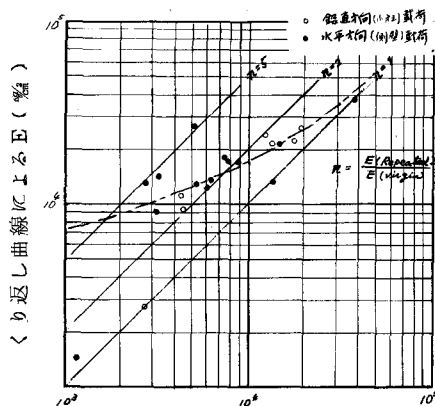


図-3 孔内载荷試験結果



処女変形曲線による変形係数 (%)

図-5 加圧方向による変形性の比較

態を考えた場合、後述する孔内載荷試験の結果がその載荷機構から考えて割れ目の状態により大きく影響を受けられることから、ここでも岩盤等級が良くなるにつれて急激に $E(LLT)$ の値が増加するのではないかと考えられる。

図-4に 50 kg/cm^2 までの載荷について、変形係数と降伏荷重の関係を示したが、この関係を延長すると 150 kg/cm^2 までの載荷ができる高圧孔内載荷試験ではおよそ 9000 kg/cm^2 程度の変形係数程度の岩盤まで降伏荷重が得られることになるが図-3の結果では、この範囲は非常に少ない。ここに示す降伏荷重が岩盤の割れ目の要素を考えた場合、通常のジャッキ試験等で得られる降伏荷重に比べてどの様な関係にあるかは、今後の問題であらう。

5.2 ジャッキ平板試験と岩盤特性

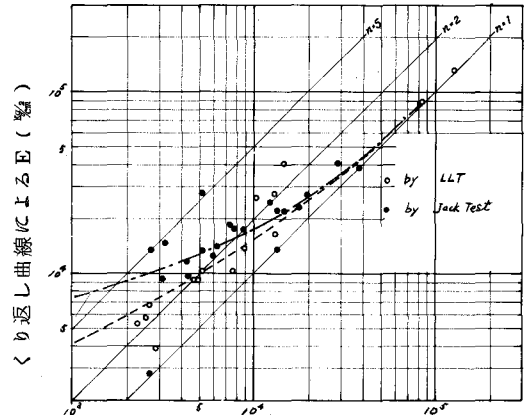
図-5で示される結果から、今回のデータを得た横坑内のジャッキ試験では、載荷の方向による差異はあまりみられない。すなわち、載荷試験における処女曲線による変形係数とくり返し曲線による変形係数の差は、岩盤の割れ目と掘削に^{よる}みに大きく影響を受けるものと思われるが、図-5中に示した点線の近傍に両方の値が集まり水平、鉛直両方向で殆んど差はないと云える。これは図-6の結果から掘削によるゆるみもそれ程大きなものではないといえるので、もともと存在した割れ目の影響による要素が大きく、それらは 10^5 kg/cm^2 の変形係数の岩盤(B~Aの岩盤等級)で殆んど影響しなくなることを示している。また、点を連ねた曲線が $n=1$ に近づくことから岩石自体の塑性的性質は殆んどないと云える。

図-7の結果から岩盤の掘削によるゆるみの影響がジャッキ試験では僅かにあるといえる。図中で白丸の孔内載荷試験は横坑掘削前におこなった結果であり、図の曲線の僅かな違いはそれを示しているものと考えられる。しかし、それらの方法による違いは 10^4 kg/cm^2 程度の変形係数を有する岩盤(CM級で代表される)では殆んどないと云える。両者の差異は変形係数が小さくなる程、大きくなる傾向にあるのは、風化の著しい岩盤ほど掘削に注意すべきことを示している。

図-7は、ジャッキ試験地点と1 m以内の距離で測定された孔内載荷試験の結果をプロットしたものである。これを見ると、 10^4 kg/cm^2 程度のところで両者の値はほぼ等しいが、その前後で両者の大小関係は逆転している。これは載荷機構から考えて、割れ目の少ない岩盤の $E(LLT)$ は岩石自体のもつ変形挙動により近く、逆に割れ目の多い風化岩盤では孔内載荷による円周方向の引張り要素が影響しているものと考えられる。

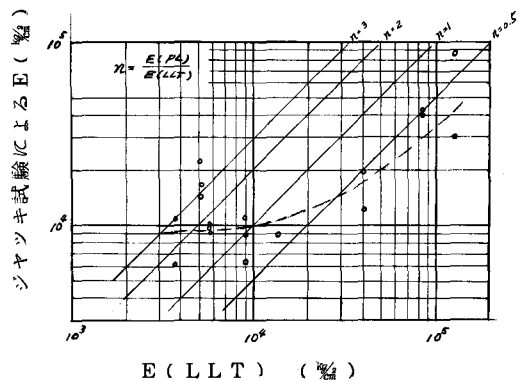
6. 結 語

ジャッキ試験と孔内載荷試験のデータから載荷機構に関連した岩盤の変形特性についてのべたが、これらは特に割れ目の要素による影響が大きいと思われる。引続き今後の研究により明らかにしていきたい。図-7 孔内載荷試験とジャッキ試験の変形係数



処女曲線による変形係数 (暫)

図-6 ジャッキ試験と孔内載荷試験による変形特性の差異



E (L L T) (暫)

図-7 孔内載荷試験とジャッキ試験の変形係数

On some Characteristics of Deformation in a Granitic ground

By Mamoru Yamagata
Toshiaki Takeuchi

In this report authors describe some characteristics of deformation of granitic rocks.

Deformation of granitic rocks was measured in a bore hole by lateral loading test and in a test pit by plate loading test. The maximum loads of the lateral loading are 50 kg/cm^2 and 150 kg/cm^2 . The load of the plate loading test was nearly equal to the above mentioned values.

The lateral load test was used in base rocks on the bottom of sea and in test pits on land.

The deformation coefficient or Young's modulus of rocks measured by lateral loading test ranges from 500 kg/cm^2 to $100,000 \text{ kg/cm}^2$ which corresponds to the geological classification of rocks.

Deformation coefficients of rocks in test pits by plate loading test and lateral loading test were denoted by E_0 by obtained from virgin stress-strain curves and E from repeated stress-strain curves.

The relation between E_0 and E is expressed as below. No difference of deformation is found as for the direction of load, that is, in the direction connecting both sides of the test pit, and in the direction connecting the roof and floor of the test pit.

The ratio of E_0 to E approaches unity according to increase of values of E_0 and E .

Value E by the lateral loading test and by the plate loading test in the same rock ground are coincident at $10,000 \text{ kg/cm}^2$.

In the range of E values larger than the above value, E by lateral loading test is larger, and in the range of smaller E values, E by plate loading test becomes larger.