

堆積軟岩における平板載荷試験と孔内載荷試験の変形特性の相違に関する検討
Comparison of Deformation Modulus of Sedimentary Soft Rock
by Plate Loading Test and Pressuremeter Test

酒井 俊朗*・得丸 昌則**
Toshiaki SAKAI, Masanori TOKUMARU

The in-situ plate loading test and pressuremeter test are commonly performed for the investigation of deformation modulus of rock masses. However it is often reported that deformation modulus measured by plate loading test and pressuremeter test are not same.

In this study, we compared the deformation modulus measured by plate loading test and pressuremeter test. And we examined their differences by the Numerical simulation. The results are summarized as follows: ① deformation modulus measured by pressuremeter test are smaller than deformation modulus measured by plate loading test, ② the difference of their deformation modulus are explained by the difference of strain level.

1. まえがき

岩盤の変形特性を調べるためには、原位置での平板載荷試験や孔内載荷試験が実施される。しかし、平板載荷試験と孔内載荷試験では、同一岩盤を対象としても、それぞれの試験から得られる変形係数に大小関係が認められることがしばしば報告されている¹⁾。筆者らが、これまでに堆積軟岩を対象として各種変形試験や計測を行ってきた結果²⁾でも、同一岩盤で実施した平板載荷試験と孔内載荷試験による変形係数に大小関係が認められた。

本研究では、平板載荷試験と孔内載荷試験による変形係数を比較し、両者の相違を数値シミュレーションにより検討した。

2. 試験の結果

対象とした岩盤は、新第三紀鮮新世の泥岩からなる。岩石の物性は、表-1に示すとおりであり、有効土被り圧で圧密した後に非排水条件で実施した三軸圧縮試験による軸差強度が 3 MN/m^2 程度となっている。

表-1 泥岩の基本物性

項 目	物 性 値
湿潤密度 ρ_t	1.74 g/cm ³
含水比 W_n	48 %
三軸圧縮試験の軸差強度 $(\sigma_1 - \sigma_2)_f$	3.1 MN/m ²
三軸圧縮試験の変形係数 E_{50}	560 MN/m ²

(ボーリング・コアによる深度10m~150mの平均)

* 正会員 東京電力(株) 原子力建設部

** 正会員 (株)ダイヤコンサルタント 東京事業部

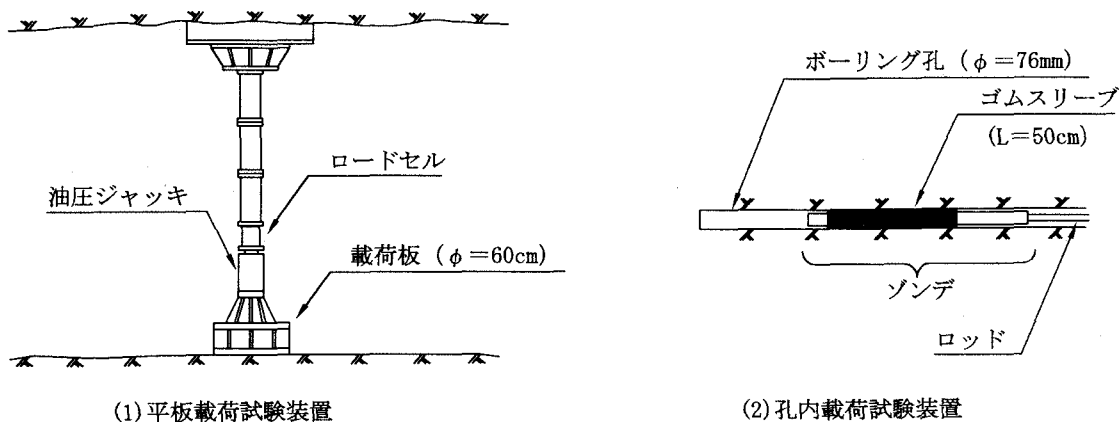


図-1 平板载荷試験及び孔内载荷試験装置概要

平板载荷試験は、試掘坑内で、直径 60cm の剛板载荷板による等変位载荷方式で実施した。1.37MN/m²までの繰り返し载荷方式で実施し、荷重-変位曲線の包絡線の直線部分から変形係数を求めている。孔内载荷試験は、平板载荷試験実施位置近傍の側壁に深さ 2m のボーリング孔を掘削し、等分布载荷方式で実施した。単調载荷方式で降伏点を確認されるまで载荷する方式で実施し、荷重-変位曲線の初期の直線部分から変形係数を求めている。平板载荷試験及び孔内载荷試験の概要を図-1 に示す。

平板载荷試験による変形係数 $D(PL)$ と孔内载荷試験による変形係数 $D(LLT)$ の比を孔内载荷試験による変形係数 $D(LLT)$ で整理し図-2 に示す。これによると、 $D(LLT)$ が約 400MN/m² 以下では、 $D(PL)/D(LLT)$ が 1 より大きく、孔内载荷試験が平板载荷試験より小さな変形係数となっている。 $D(LLT)$ が約 400MN/m² 以上では、 $D(PL)/D(LLT)$ が 1 より小さく、孔内载荷試験が平板载荷試験より大きな変形係数となっている。

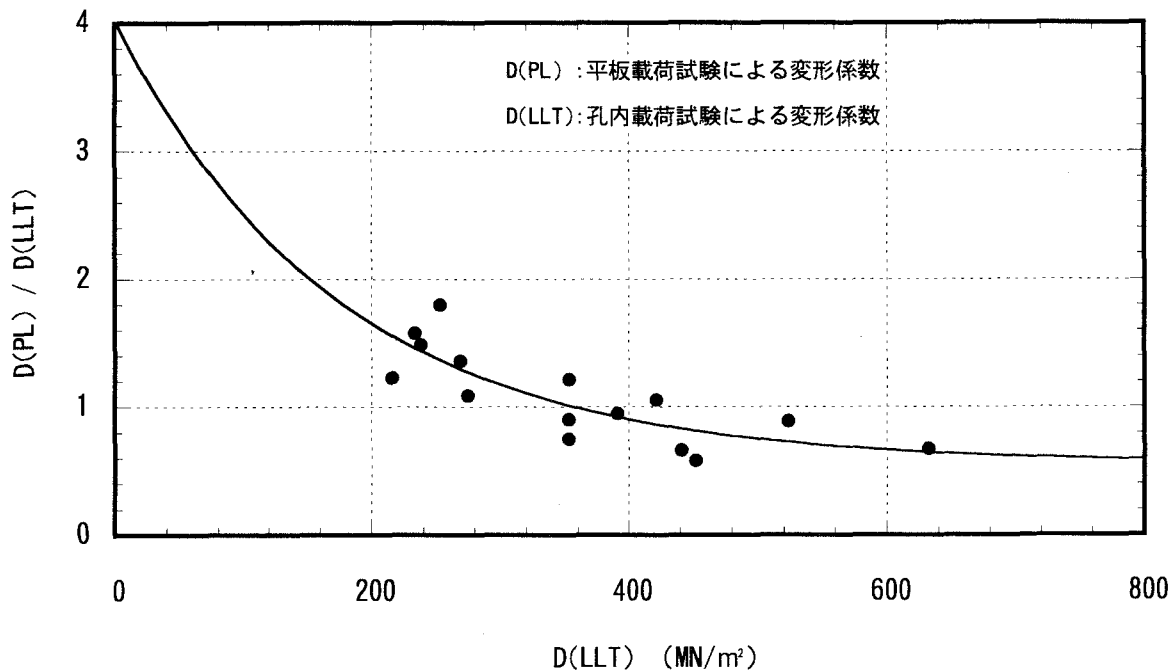


図-2 実測された平板载荷試験と孔内载荷試験の関係

3. 数値解析

(1) 検討方法及び解析モデル

検討方法は、岩盤の初期弾性係数を $100 \sim 10,000 \text{ MN/m}^2$ の間で 36 段階に変化させ、平板荷重試験及び孔内荷重試験について簡便なシミュレーションを行い、シミュレーションにより求められる変位量から変形係数を算出し、平板荷重試験と孔内荷重試験の関係を比較した。変位量は、 1.5 MN/m^2 の荷重を加えた際のものとした。

解析手法は、弾性係数の非線形性を破壊余裕度で表現した非線形解析法とした³⁾。解析に用いた物性値の例を表-2に、解析モデルを図-3に示す。

表-2 解析用物性値 (一部)

初期弾性係数 E_0 (NM/m^2)	f_f	ν_0	ν_f	k	a	c (NM/m^2)	ϕ (deg)	σ_t (NM/m^2)
10,000	0.01	0.25	0.48	10.0	4.0	6.0	55	1.20
5,000	0.01	0.25	0.48	6.0	3.0	4.0	50	0.80
2,000	0.01	0.30	0.48	6.0	3.0	2.0	45	0.40
1,000	0.01	0.30	0.48	5.0	2.5	1.0	40	0.20
500	0.01	0.35	0.48	4.3	2.2	0.4	35	0.08
100	0.01	0.35	0.48	4.0	2.0	0.2	30	0.04

注1) Rを破壊余裕度とした場合

$0.0 < R < 1/k \rightarrow$ 非線形

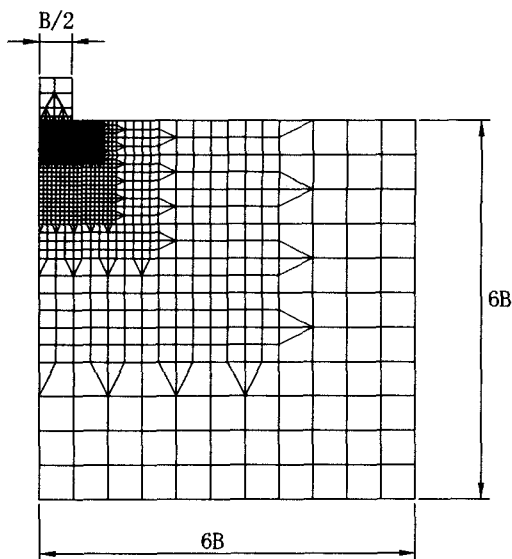
$1/k < R < 1.0 \rightarrow$ 線形

注2) 非線形性

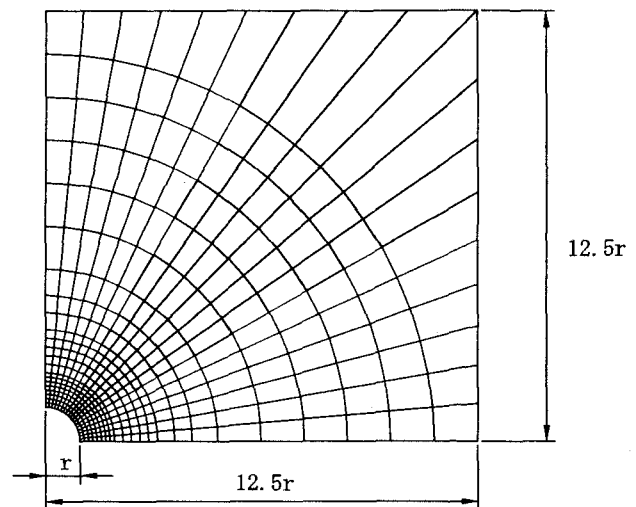
$$E/E_0 = R^{1/a}$$

$$\nu_f - \nu = (\nu_f - \nu_0) \times R^{1/2a}$$

注3) 破壊後の変形係数 $E_f = E_0 \times f_f$



(1) 平板荷重試験解析モデル



(2) 孔内荷重試験解析モデル

図-3 解析モデル

(2)解析結果

解析により得られた変位量から算出した変形係数 $D(CAL)$ を、解析用物性値として設定した初期弾性係数 E_0 で整理し、図-4 に示す。これによると、算出された変形係数 $D(CAL)$ は、平板载荷試験による場合が、孔内载荷試験による場合より大きなものとなっている。また、平板载荷試験による変形係数 $D(PL_CAL)$ は、 E_0 が $1,000\text{MN}/\text{m}^2$ 程度でほぼ E_0 と等しくなっているのに対し、孔内载荷試験による変形係数 $D(LLT_CAL)$ がほぼ E_0 と等しくなるのは E_0 が $10,000\text{MN}/\text{m}^2$ 程度となっている。

平板载荷試験による変形係数 $D(PL_CAL)$ と孔内载荷試験による変形係数 $D(LLT_CAL)$ の比を $D(LLT_CAL)$ で整理し図-5 に示す。 $D(LLT_CAL)$ は、 $D(LLT_CAL)$ が小さいほど $D(PL)$ との比が大きくなる。これは、実際の測定で得られた傾向と整合している。

荷重 $1.5\text{MN}/\text{cm}^2$ の時の最大せん断ひずみ分布は、図-6 に示すとおりであり、平板载荷試験では载荷板近傍でも 10^{-2} オーダーであるのに対し、孔内载荷試験では、ボーリング孔近傍で 10^{-1} オーダーになっている。

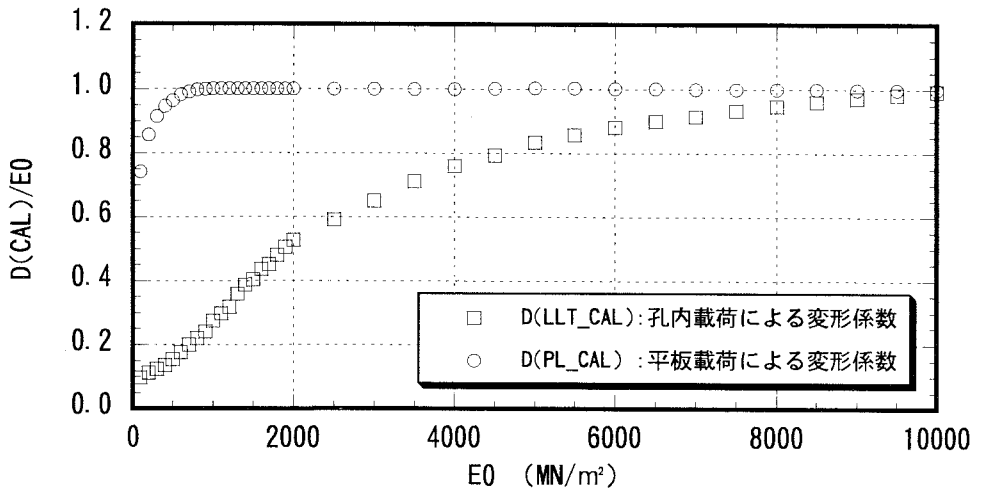


図-4 初期弾性係数と算出変形係数の関係

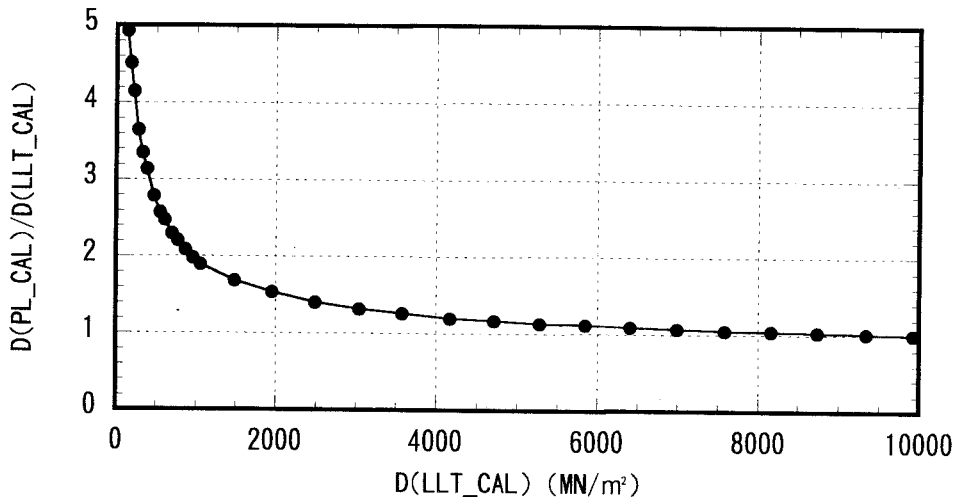
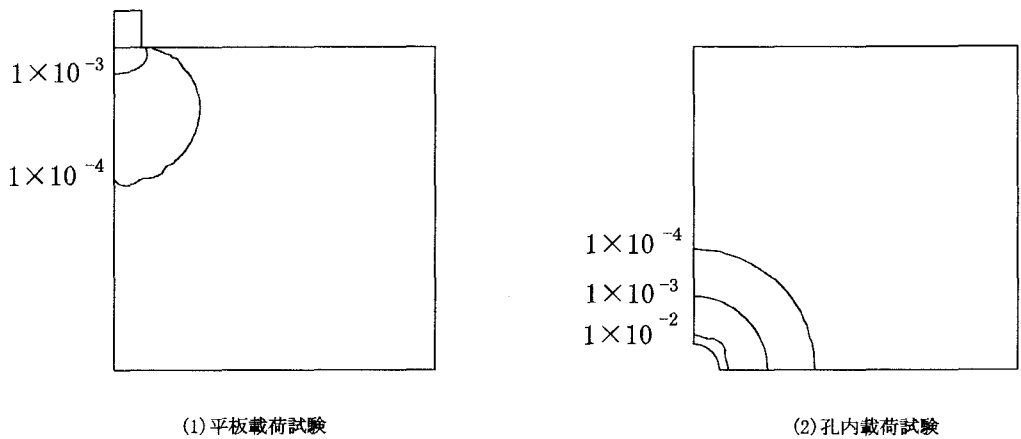


図-5 平板载荷試験と孔内载荷試験の算出変形係数の関係



図—6 最大せん断ひずみ分布

4. まとめ

平板載荷試験及び孔内載荷試験により得られる変形係数の相違について解析的に検討を実施した結果、次のことが明らかとなった。

- ① 岩盤の弾性係数が小さいほど平板載荷試験と孔内載荷試験による変形係数の比が大きくなる。
- ② シミュレーションでは、孔内載荷試験による変形係数が平板載荷試験による変形係数より小さくなる。
- ③ シミュレーションの結果は、実測で得られたように孔内載荷試験が平板載荷試験より大きな変形係数を示す現象を説明することができないが、実測で得られた結果と同様の傾向を示す。
- ④ 平板載荷試験と孔内載荷試験では最大せん断ひずみの大きさが異なり、変形係数の相違が最大せん断ひずみの大きさの相違に起因すると判断される。

平板載荷試験及び孔内載荷試験の結果を設計に用いる場合は、最大せん断ひずみの分布を考慮することが必要であり、特に、軟質な地盤を対象に孔内載荷試験を実施する場合には注意が必要である。

5. 参考文献

- 1) 武内俊昭・鈴木楯夫・田中荘一：孔内載荷試験と岩盤の変形に関する特性の研究，土と基礎，Vol. 24，No. 1，1976
- 2) 酒井俊朗・岩本 健・西田和範・田中荘一：堆積性軟岩の変形特性に関する原位置試験と室内試験結果の対比，第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp. 503～508，1994
- 3) 伊藤 洋・本島 睦・林 正夫・北原義浩・日比野敏：原位置試験のシミュレーションによる基礎岩盤安定性手法の研究，電力研究所報告，1977