

(19) 原位置岩盤試験の一考察

東京電力(株) 高橋 康裕
東京電力(株) 酒井 俊朗
(株)ダイヤコンサルタント ○田井中 彰
応用地質(株) 西田 和範

1. はじめに

岩盤の変形特性を調べるために、原位置での平板载荷試験がしばしば実施される。大規模な調査においては、平板载荷試験などの岩盤試験は調査用の横坑内で実施される場合も多いが、節理や断層など、岩盤内の不連続面の状態等によっては、横坑周辺岩盤のゆるみの影響を受けることも考えられる。そこで、著者らは、横坑内でゆるみが生じやすいと思われる場所において横坑周辺岩盤のゆるみの状況を予め把握するとともに、通常の方法による平板载荷試験と併せて载荷板の周辺岩盤を拘束した状態での平板载荷試験(以下、「周辺拘束平板载荷試験」と呼ぶ)を試み、両者による結果について比較、検討を行ったので、ここに報告する。

2. 地山の物理・力学特性

対象とした岩盤は新第3紀鮮新世に属する泥岩であり、横坑内の原位置試験を実施した位置近傍から採取した試料を用いた室内試験によれば、その物理・力学特性は表-1に示すとおりである。一軸圧縮強度は20~30kgf/cm²で、また、一軸圧縮試験による変形係数E₅₀は3000~4000kgf/cm²程度である。

表-1 地山の物理・力学特性

単位体積重量 γ_t	1.6~1.7 g/cm ³
含水比 w	45~60 %
比重 G _s	2.65~2.70
間隙比 e	1.2~1.7
飽和度 S _r	95~100 %
一軸圧縮強度 q _u	20~30 kgf/cm ²
変形係数 E ₅₀	3000~4000 kgf/cm ²

3. 横坑周辺岩盤のゆるみ

平板载荷試験等の岩盤試験の実施にあたって、横坑周辺岩盤のゆるみの状況を、多段式岩盤変位計による地中変位計測ならびに、電力中央研究所考案による微小区間弾性波速度測定によって調べた。

3.1 地中変位計測

地中変位の計測は、図-1に示すとおり8測線で行った。変位鋼線は0.5m~6.0mの6種類の長さのものをを用い、坑壁から6mまでの間に6区間の測定区間を設けた。なお、これらの計器の設置は、横坑の切羽が計測断面到達後直ちに行うとともに、切羽が計測断面から十分遠方に離れ変位が一定値に収束するまで測定を継続した。また、切羽が計測断面に到達するまでの間は、スライディングマイクロメーター²⁾を用いて地表から鉛直方向の変位の計測を行い、この結果と併せて、横坑掘削に伴う全変位量(切羽が計測断面に到達するまでに生じた変位量と、多段式岩盤変位計による変位量との和)の分布を算出した。

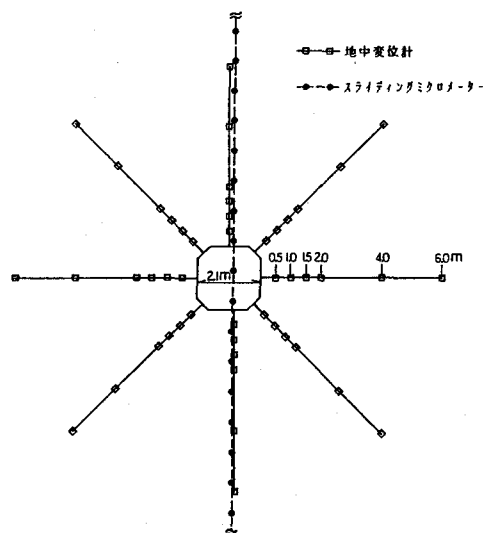


図-1 変位計測のための計器の配置

坑壁から深度6mの点を基準とした全変位量の分布を図-2に示す。変位はいずれも坑壁が内空に押し出す方向に生じており、坑壁での変位は1.25mm～3.23mmであった。

地中変位の分布からゆるんだ領域を評価する場合、地中変位が急激に大きくなる領域と考えるのが一般的であろうが、この考え方に基づく、坑壁から深度50cmまでの領域がゆるんだ領域であると言える。ただし、多段式岩盤変位計の最小測定区間長が50cmであるため、それより若干浅い範囲が実際のゆるんだ領域と思われる。

3.2 微小区間弾性波速度測定

地中変位の分布からゆるみの状況を把握する方法は、岩盤の挙動をマクロにとらえることができるという点で有用な方法であるが、計測器の設置及び計測に時間がかかることから、簡単に実施するというわけにはいかない。このような観点から、比較的簡単に測定できる方法として、微小区間弾性波速度測定を試みたところ、この方法によってもゆるみの状況を把握することができた。

測定は、前述の地中変位を測定した位置で行った。

直径2cm弱の5本の孔を、ガイド装置を用いて等間隔に所定の深度まで掘削した後、図-3に示すように、発振子と受振子を孔底に圧着して伝播時間を測定する。そして受振子を10cm、20cm、30cm、40cmと順次移動させることにより走時曲線を作成し、速度値を求める。所定の深度での測定を終えたら、次の深度までさらに掘削し測定を行うという手順を繰り返し、坑壁から最深1.5mの間の17深度で測定を行った。図-4は、このようにして測定した結果の一例であるが、坑壁近傍で速度の低下を示している。横坑周辺の8方向でこのような測定を行ったところ、いずれの方向においても図-4と同様坑壁近傍で速度の低下が見られた。横坑周辺岩盤の弾性波速度分布から、坑壁近傍の低速度部と、それ以深の2つの層に大きく区分すると、その境界深度は図-5に示すとおりとなった。この低速度部の領域が、地中変位から評価されるゆるみ領域とよい対応を示すことから、低速度部は、横坑掘削に伴う岩盤のゆるみを反映したものであるということができた。

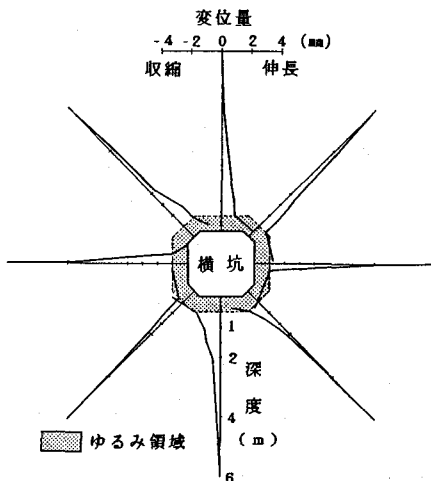


図-2 横坑周辺の全変位量の分布

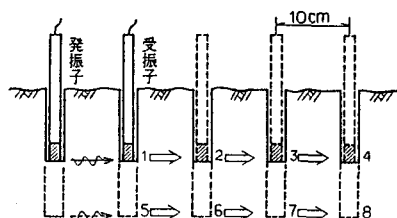


図-3 微小区間弾性波速度の測定方法

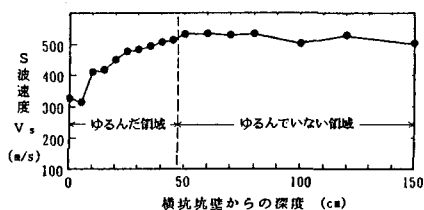


図-4 微小区間弾性波速度の測定例

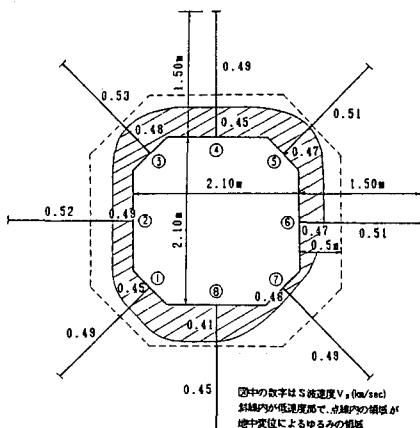


図-5 横坑周辺岩盤のS波速度の分布

3.3 ゆるみ領域の変形特性

多段式岩盤変位計による地中変位計測ならびに微小区間弾性波速度測定の結果、横坑の坑壁から約50cm弱の領域がゆるんでいることが明らかとなった。そこで、ゆるんだ領域の変形係数がゆるんでいない領域の変形係数とどの程度異なるかを概略知るため、横坑周辺の岩盤を①坑壁近傍のゆるんだ領域、②ゆるんだ領域を取り巻くゆるんでいない領域、の2層の等方等質の弾性体と仮定し、図-2に示した地中変位分布を用いて桜井らの提案による逆解析手法を適用したところ、ゆるんだ領域の変形係数(E_2)とゆるみの生じていない領域の変形係数(E_1)の比(E_2/E_1)は0.1となった。すなわち、変形係数が1/10に低下したということである。しかしながら、微小区間弾性波速度測定によれば(図-5)、ゆるんだ領域の平均的な速度値の低下はせいぜい1割程度である。これらの点に関して、対象とした地点では、ゆるんだ領域において岩質そのものが大きく変化したというわけではなく、横坑掘削に伴う応力解放により、岩盤内の不連続面を介した開口やズレ等のブロック的な変形挙動が生じ、坑壁近傍の見かけの変形係数が1/10に低下したと理解すべきであろう。

このようなことから、横坑掘削時の応力解放分に見あう応力で予め岩盤を拘束すれば、ゆるみに影響されない岩盤の変形特性が得られると考え、周辺拘束平板載荷試験を試みた。

4. 周辺拘束平板載荷試験

4.1 試験装置

試験装置の概要を図-6に示す。

載荷板には直径600mmの鋼製の円形剛体板を使用した。この円形載荷板を取り巻く形で、外径2400mm、内径600mmのドーナツ状の拘束板を配したが、これは等応力載荷が行える構造となっている。周辺拘束板単体は、周辺拘束載荷を実施するドーナツ状の範囲を8分割したもので、底部には等応力載荷を行うために、圧さ5mmのメンブレンを装着した。周辺拘束板への等応力載荷は、窒素ガスによって実施し、応力の維持は、ガス圧調整器により行った。また、載荷板への載荷は、油圧ポンプ及び油圧ジャッキを用いて行った。

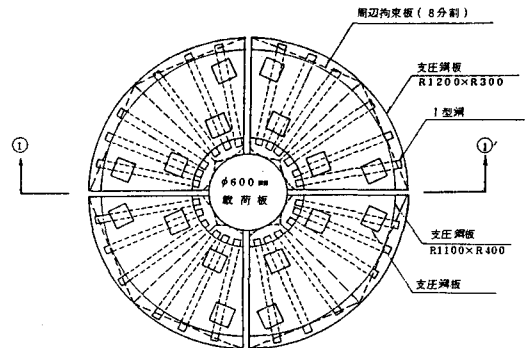
載荷板の負荷量は、ロードセルを用いて検出するとともに、載荷板上の4個の変位計による変位量と併せて自記記録した。

4.2 載荷方法

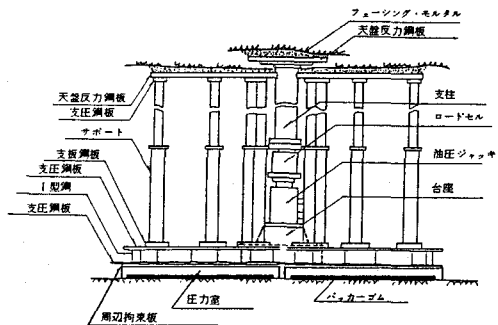
周辺拘束平板載荷試験の載荷パターンを図-7に示す。

試験は、次の手順で行った。

- 載荷板及び周辺拘束板ともに垂直応力 2 kgf/cm^2 の載荷を2時間以上継続する。
- 次に、載荷板及び周辺拘束板とも垂直応力 4 kgf/cm^2 (試験地点の横坑掘削前の土被り圧に相当)の載荷を行い、載荷板直下の岩盤の変位が、ほぼ収束したと認められる時間まで継続載



平面図



正面図(①-①'断面)

図-6 周辺拘束平板載荷試験装置概要図

荷する。

(c) 周辺拘束応力を 4 kgf/cm^2 に維持した状態のままで、載荷板に対し、 2 kgf/cm^2 のステップで垂直応力 4 kgf/cm^2 から 14 kgf/cm^2 までの、段階載荷・除荷方式による繰り返し載荷を行う。

4. 3 試験結果及び考察

周辺拘束平板載荷試験は、顕著なゆるみが見られた横坑内の2地点(A点及びB点)で実施した。なお、拘束効果を確認するため、いずれの地点においても、近傍で通常の平板載荷試験を併せて行った。

両試験による各弾性係数 (D : 変形係数, E_t : 接線弾性係数, E_s : 割線弾性係数) は図-8に示すとおりである。拘束効果が明瞭に見られ、周辺拘束平板載荷試験では、通常の平板載荷試験による各弾性係数 (D_0 , E_{t0} , E_{s0}) の1.3倍程度の値が得られた。

このように、周辺拘束を行うと剛性が高くなる要因は、

- ①室内岩石試験によれば、この程度の応力レベルでは、剛性に拘束圧依存性は見られないこと
- ②試験を実施した位置の岩盤は、節理や断裂の発達が著しいこと

から、節理や断裂などの不連続面の存在であると思われる。すなわち、周辺拘束を行うと、無拘束の場合に比べ節理面でのせん断抵抗力が大きくなるため、岩盤の剛性が増大したものと推定される。

5. まとめ

泥岩中の横坑内において、節理や断裂などの不連続面の発達が著しい地点で、横坑掘削に伴う周辺岩盤のゆるみの状況を、地中変位計測ならびに微小区間弾性波速度測定により把握することができた。そして、ゆるみ発生メカニズムについての考察から、周辺岩盤を土被り圧相当の圧力で拘束した状態で平板載荷試験を試みたところ、通常の平板載荷試験の1.3倍程度の弾性係数が得られた。ゆるみによる影響を除去することによって、地山本来の物性に近いものが得られると考えられることから、設計の合理化のための一手法として、今後、周辺拘束効果と、不連続面の頻度や方向あるいは性状との関係等について、検討を加えていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 澤田 他: 小区間の原位置弾性波速度測定法の開発とその適用, 電力中央研究所報告, No.382043, 1983.
- 2) K.Kovari, Ch.Amstad, J.Koppel: New Developments in the Instrumentation of Underground Openings, Proc. Rapid Excavation and Tunnelling Conf., Atlanta, U.S.A., 1979.
- 3) 桜井, 武内: トンネル掘削時における変位計測結果の逆解析, 土木学会論文報告集, No.337, 1983.

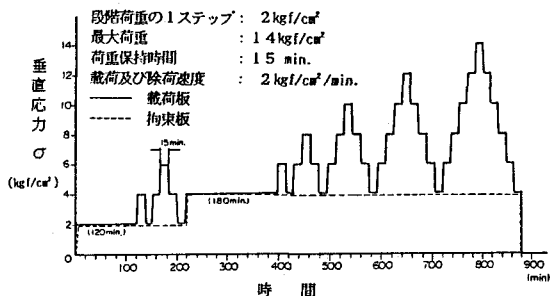


図-7 載荷パターン

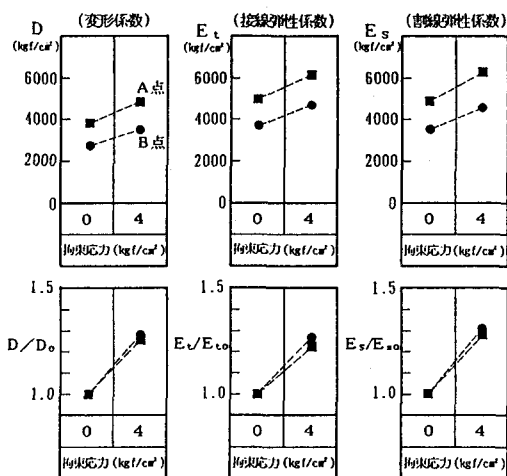


図-8 各弾性係数の対比

(19) STUDY ON THE IN-SITU PLATE LOADING TEST

Yasuhiro TAKAHASHI *

Toshiaki SAKAI *

Akira TAINAKA **

Kazunori NISHIDA ***

SUMMARY

The in-situ plate loading test is commonly performed for the investigation of the deformation characteristics of rock masses. The influence of fissures and joints of rock mass discontinuities on the degree of looseness of rock masses is significant. In this study, the conventional plate loading test and the special plate loading test in which the pressures were applied at the ground surface surrounding the loading plate were performed at the testing adit. The looseness of the rock masses surrounding the testing adit was observed and the results were compared for the deformability of rock masses under loading.

It was found that a maximum looseness of around 50cm was recorded in this testing adit by the results of the deformation distribution and the elastic velocity of the rock masses surrounding the testing adit. The modulus of elasticity was 1.3 times obtained from the special plate loading test than the conventional plate loading test. The higher value in the modulus of elasticity obtained from the special plate loading test was due to the closing of fissures and joints of rock mass discontinuities under the application of pressures surrounding the loading plate, as a result, the rigidity of the rock masses increased.

* The Tokyo Electric Power Co., Inc.

** Dia Consultant Co., Ltd.

*** OYO Corporation