

（株）鴻池組技術研究所 正員 大北康治
 “ 正員 中沢重一
 “ 新田喜宣

1. まえがき

NATMの基本原理としては、地山の経時変化を計測しその結果を設計施工にいかすという点とトンネルは地山と支保工の相互作用によつて支保されているという点の2点が挙げられる。地圧の経時変化には、切羽進行に伴う3次元的な応力の再配分と地山自体のレオロジー特性、さらに、地山と支保工の相互作用などが関係している。しかし、従来のNATMでは地山のレオロジー特性を考慮することが少なく、地圧の経時変化は主として切羽進行にともなう3次元的な応力再配分を原因として説明されていた。

本報告は、NATM計測結果を地山のレオロジー特性と比較して判断するために、地山と支保工の相互作用を考察することのできる力学試験方法、すなわち、歪が大きい領域までクリープ試験を行い、引続き応力緩和試験を行う方法を提案し、その結果を用いてNATMの支保原理を考察したものである。

2. 試料及び実験方法

供試体は、生駒産のまき土を締固め度97~103%で径5cm高さ10cmの2つ割りモールドに6層にわけて締固めたものを使用した。試料の物理特性を表-1に示す。図-1は実験装置の概略図である。レバー式の一定荷重載荷装置によつて一軸クリープ試験を行う。必要に応じて、ストツパーを兼ねたプルービングリングを用いクリープ試験に引続き応力緩和試験を行う。

表-1 試料の諸特性

日本統一土質分類	SM	砂分含有率	6.9%
土粒子の比重	2.69	シルト含有率	1.6%
自然含水比	17.5%	粘土含有率	1.5%
液性限界	37.9%	粘着力(kg/cm^2)	0.63
塑性指数	14.6	内部摩擦角	4.0°

3. 実験結果及び考察

図-2にクリープ試験の結果を示す。最小歪速度を示す点は図中に矢印で示している。試験の途中、回印によつて中断している点はクリープ試験から応力緩和試験に移行したことを意味している。応力緩和部分の試験結果は図-3に示している。なお、試験結果はクリープ開始時を基準にして表示している。

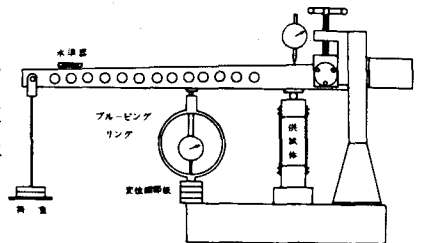


図-1 試験装置概略図

クリープ試験に於て、最小歪速度は $\epsilon = \log t$ 曲線の曲率最大の点付近に生じている。また、応力レベルが増大するに伴い、最小歪速度に至る時間は減少し、歪量は増大している。計測値のバラツキは、本実験に用いた供試体が、締固めによつて作製したもので、密度のバラツキ等が存在するためと考えられる。

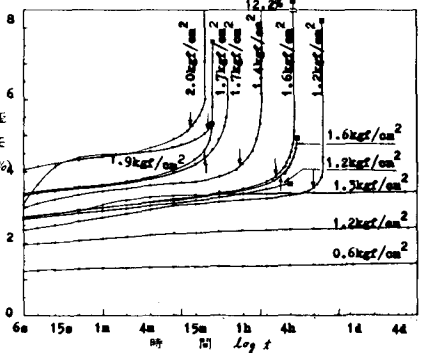


図-2 歪-時間関係

図-4は、経過時間をパラメーターとして、クリープ試験及びクリープ応力緩和試験の結果をまとめたものである。見掛の応力歪関係に表われた供試体の強度は、時間の経過とともに低下することを示している。また、歪速度を変えた一軸圧縮試験結果を同時に示しているが、歪速度の速い試験結果は、経過時間の若い応力歪曲線に、歪速度の遅い試験結果は、経過時間の古い応力歪曲線に対応している。しかし、一軸圧縮試験結果は、最大応力を過ぎてからの応力低下が著しい。

ところで、地山と支保工が相互にトンネルの土かぶり圧 γh に対

抗し、供試体の試験結果が支保工周辺地山の代表的な要素の応力歪時間関係を模擬しているならば、 $\sigma_s = \gamma h - q$ は支保工に作用する地圧を模擬すると考えられる。従つて、Y軸にトンネルの土かぶり圧 γh を基準として模擬支保工地圧($\sigma_s = \gamma h - q$)を、X軸には地山壁面歪($\epsilon_s = \epsilon$)を、Z軸に時間の対数をとれば、支保工に作用する応力や地山の変位を定性的に推測することができる。

4. NATMの支保原理

図-5は、土かぶり圧 γh が 2.55 kgf/cm^2 のトンネルを想定し、実験結果を用いて、支保工に働く地山の応力とトンネル壁面の歪の関係を推定したものである。

この図を用いて、NATMの支保原理を説明することができる。経路1は、トンネル掘削後時間をおかずに剛性の高い支保工を設置すれば、支保工に作用する地圧は著しく大きなものになることを示している。経路2は、剛性の低い支保工を設置すれば、支保工に作用する地圧を低下させることができることを示している。経路3は、さらに剛性が低い支保工を設置すれば、トンネルが破壊することを示している。すなわち、NATMの支保工としては、剛性が高すぎても低すぎても適当ではなく、支保工に作用する地圧を最小にする支保工の剛性が存在することを示している。

経路4は、破壊に至る経路3の途中で支保工の剛性を若干高めた場合を示し、歪増加が収まりにくいことがわかる。経路5は、経路3の途中で支保工の剛性を相当高くした場合を示し、地圧の増加はそれほど大きくならず、歪は収束する。経路6は、経路3の初期の段階で支保工の剛性を若干高め、最適な歪量に押さえた状態を示している。すなわち、NATMでは掘削直後に吹付けコンクリート(剛性の低い支保工)を施工することにより、地圧を低下させ、破壊に至るかどうかを計測しつつ支保工の剛性を高め、最小の地圧になる状態でトンネルを支保することを目的としている。

5. あとがき

地山のレオロジー特性に着目し、NATMの支保原理について2, 3の考察を試みた。しかし、実際の地圧挙動を把握するためには、切羽進行に伴う3次元的な応力の再配分を考慮する必要もあり、また、現場計測結果の蓄積も必要であると考えている。今後は、FEM解析等を用い、切羽進行に伴う3次元的な応力再配分をどのように評価すればよいか等の課題を研究してゆきたい。

6. 参考文献

- 1) 赤井, 足立, 安藤, : "Existence of a Unique Stress-Strain-Time Relation of Clays", Soil and Foundations, Vol.15, No.1, Mar.1975.
- 2) Pacher, F. "Tunnelbauten im Zuge der Österreichischer Autobahnen" Österreichische Ingenieur Zeitschrift, 13, 1970.

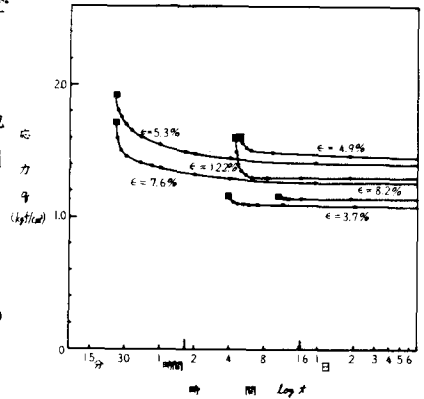


図-3 応力-時間関係

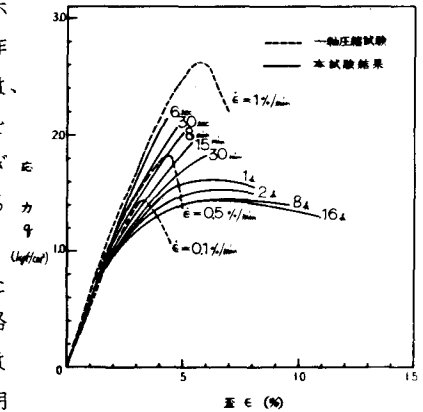


図-4 応力-歪関係

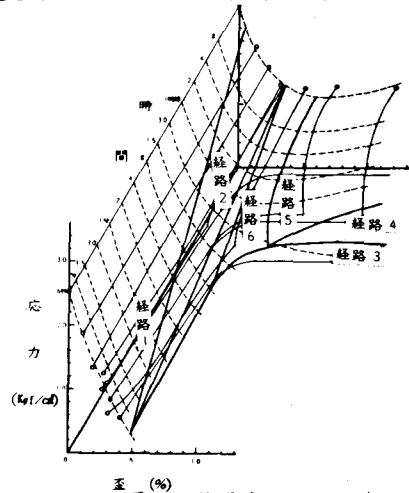


図-5 支保工に作用する地山応力