

1. ま え が き

近年水鉄管路や地下発電所など大規模な地下構造物の掘削が多く，その周辺岩盤の安定性およびダム地点の岩盤の安定性の種々の岩盤力学上の解析が要求される趨勢にあり数値計算が進められている。しかしその基本となる岩盤の物性値は資料が不備の点が多々ある。岩盤自体の物性研究が非常に大切であるが母体の岩石も大切なのでここでは基礎資料の一端として岩石ボーリングコアの三軸圧縮試験（自然乾燥状態と湿潤状態……約1ヶ月間浸水させたものについて行つた），クリープ試験（恒温20℃，恒湿55%の気中と水中の2種の載荷状態で行つた），および吸水による膨脹ひずみの測定を行つている。以下に現在までに行われた試験の結果を示し御参考に供したい。

2. 珩岩の三軸圧縮における含水の影響

2-1. 試験の種類 — 周圧は0～100 Kg/cm²

- (1) 乾燥状態における試料の三軸圧縮試験
- (2) 湿潤状態における試料の三軸圧縮試験
- (3) 動的載荷による三軸圧縮試験（Wet状態）
- (4) くり返し載荷による一軸圧縮試験（Wet状態）

2-2. 試験装置

- (1) 荷重装置 — 図-1の高圧シリンダー（耐圧800Kg/cm²）を用い，軸荷重は50 ton万能試験機によりラムEを介して供試体に荷重をかけ，周圧は油圧発生装置（最大140Kg/cm²）により送油口Iから油圧によって操作した。

- (2) 測定記録装置 — 変位測定のピンクアップ部分には差動変位計およびひずみ計添付の片持梁型変位計を用い，電磁オシログラフに記録させた。高圧シリンダー内外のリード線の接続は高圧シリンダー側壁にコネクタを埋込み合計24本のリード線を取り出せるようにした。軸荷重および周圧はそれぞれロードセル・プレッシャーヘッドにより電磁オシログラフに記録させた。なお供試体は油の浸透を防ぐためネオブレンゴムのチューブで被覆した。

2-3. 試験結果

- (1) 乾燥状態と湿潤状態における圧縮強度の相異 — 図-3は破壊時の応力円とその包絡線を示したものである（乾燥状態……実線・試験本数6本，湿潤状態……点線・試験本数7本）。
 - a. 乾燥状態に比べて湿潤状態の方がせん断抵抗 τ は小さい。
 - b. 破壊の包絡線は乾燥状態・湿潤状態ともに非線型である。そして周圧 σ_3 が100/cm²以上の高圧になつてもせん断抵抗 τ の増加はあまり期待できない。
 - c. 周圧 σ_3 が大きくなる程せん断抵抗は増加するが，乾燥状態・湿潤状態ともに $\sigma_3 = 60 \text{ Kg/cm}^2$ では強度の低下が認められた。これは試験個数が少なかったため原因の究明はできなかった。
 - d. 引張り側では，乾燥状態の場合に圧縮側の包絡線を引張り側に延長して求めた引張り強度と圧裂試験によつて求めた引張り強度にかなりの差（約50 Kg/cm²）を生じた。しかし湿潤状態の場合には一致した。
 - e. 図-4によればさらに明白であるが，乾燥状態・湿潤状態の強度DとWを比較してみると周圧 σ_3 が小さい程D/Wの値が大きい。このことは周圧が小さい場合に特に考慮を要することで，拘束圧の小さい深い岩盤の部分の強度が水によつて低下しやすいことを示

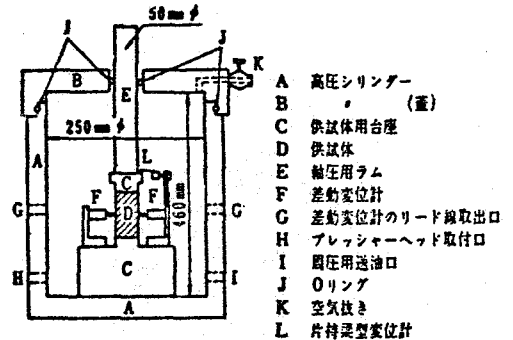


図-1 三軸試験用高圧シリンダー構造図

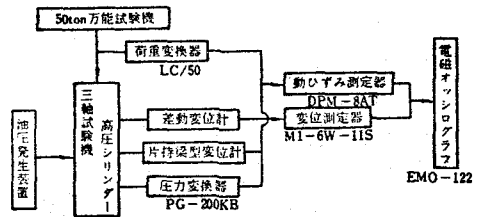


図-2 測定装置ブロックダイアグラム

しているように思われる。

- (2) 動的載荷と静的載荷の場合の強度比較 — 載荷速度の影響をみるためにかなり急速に載荷してみた。載荷速度は $700 \sim 1000 \text{ Kg/cm}^2/\text{sec}$ 程度でありここではこれを動的載荷とよぶことにする。試料は湿潤状態のものだけに 8 本行い、

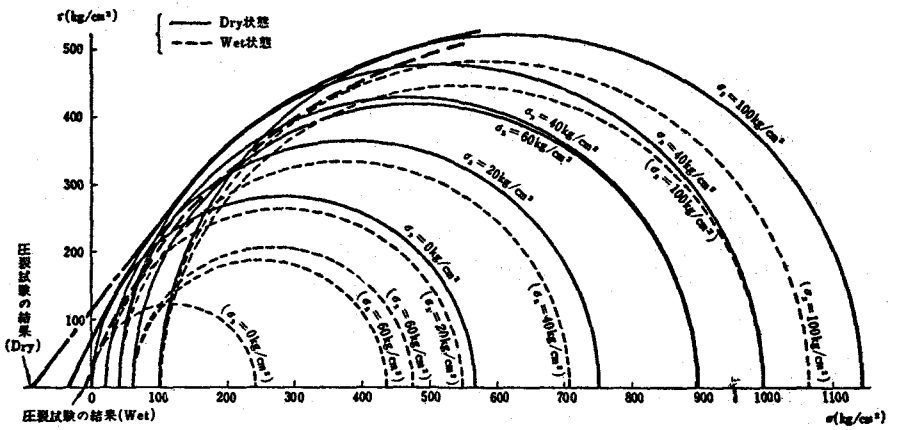


図-3 乾燥状態と湿潤状態の包絡線の比較 (粉岩)

その結果を図-4 (△および○印) に示した。

- a. 図-4 によれば周圧 σ_3 が小さい場合には動的な強度は静的な場合より大きくなるが、 σ_3 が大きくなると静的な場合より少し小さめになった。原因については不明であるが試料のバラツキがあるいは今後間隙水圧の伝達はやさの面からも考えてみたい。
- (3) くり返し載荷による強度への影響 — 一軸圧縮試験によりくり返し回数を 10 回、100 回、1000 回の 3 種についてそれぞれ湿潤状態の資料を 1 本ずつ行つた。くり返し応力の範囲は下限が 20 Kg/cm^2 、上限が 40 Kg/cm^2 とし、規定回数 N をくり返した後に静的載荷により破壊強度を求めた。

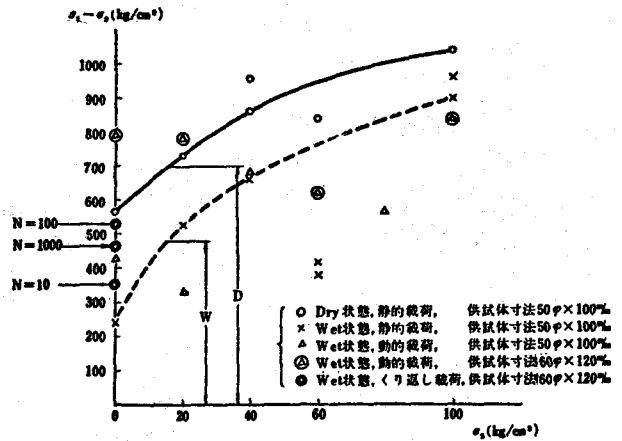


図-4 周圧と強度の関係 (粉岩)

- a. 図-4 によればくり返し載荷による強度の低下はあまり認められなかつた。

- (4) 静的載荷における

軸差応力と縦ひずみ

の関係 — 図-5 によれば

- a. 曲線の起上りはかなり緩やかな傾向にある。これは岩石コア内の空隙が応力が小さいうちに締め固められるためと思われる。

- b. 破壊近くにおいて曲線は著しく傾かない。すなわちかなり脆性的であ

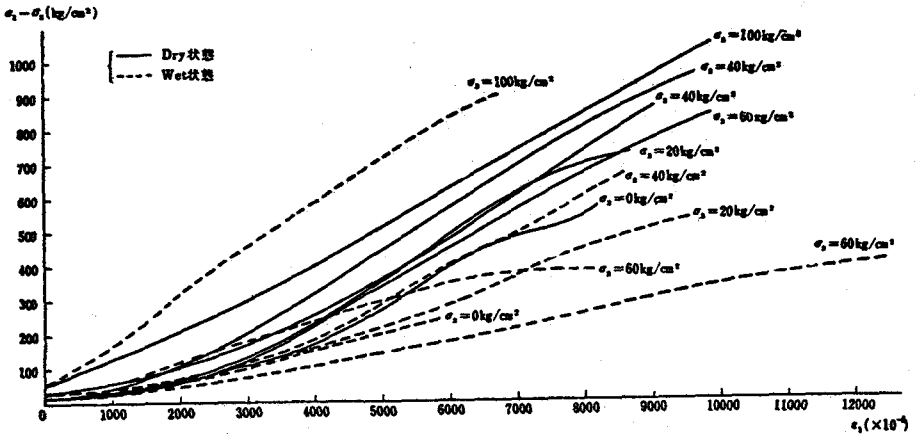


図-5 乾燥状態と湿潤状態の軸差応力-縦ひずみ曲線 (粉岩)

るといえる。

c. 各軸差応力値について乾燥状態より湿潤状態の方が縦ひずみは大きい。

d. 曲線の直線部分の勾配をみると、湿潤状態では周圧 σ_3 が増す程その勾配は急になる傾向にあるが乾燥状態の場合にはあまり周圧 σ_3 に影響されない傾向が認められる。

e. 最大圧縮ひずみは、乾燥状態の場合には周圧 0 Kg/cm^2 で約 8000×10^{-6} 、周圧 100 Kg/cm^2 で約 10000×10^{-6} であり周圧とともに増大する傾向がある。湿潤状態の場合にはあまり明確ではなかった。

(5) 動的載荷における軸差応力と縦ひずみの関係 —

図-6によれば、

a. 周圧が大きくなる程破壊近くでのひずみの伸びが大きくなる傾向にある。

b. 静的載荷の場合の破壊ひずみは約 10000×10^{-6} 以下であったが、動的載荷の場合は試験を行つた範囲では約 8000×10^{-6} 以下であった。

c. 静的載荷の場合に比べて動的載荷の場合はヤング率が高い傾向にある。しかし強度はその割には増えない。

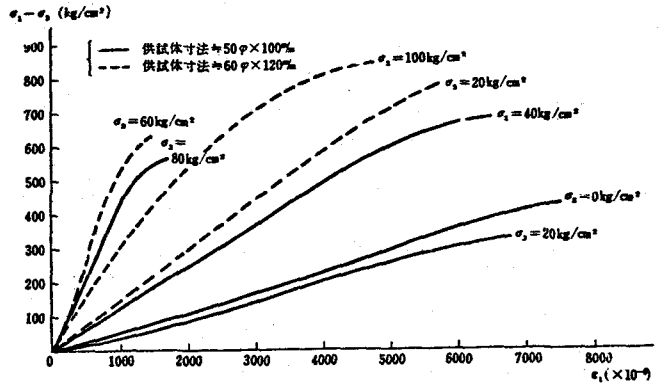


図-6 動的載荷の場合の軸差応力-縦ひずみ曲線 (供試体は湿潤状態)

3. 泥岩の三軸圧縮における含水の影響

3-1. 試験の種類 — 周圧は $0 \sim 25 \text{ Kg/cm}^2$ の

範囲内とし、乾燥状態・湿潤状態の試料についてそれぞれ静的載荷および動的載荷の試験をした。試験本数は合計29本である。

3-2. 試験結果

(1) 乾燥状態と湿潤状態における圧縮強度の相異 — 図-7より

a. 乾燥状態では周圧の影響を受けて強度が増加するが、湿潤状態の場合にはその割りに増えない。これは泥岩のように柔らかい岩石では乾燥状態の場合には周圧によつて締め固められて強度が増えるが、水を含むと岩石の組成自体が弱くなる影響の方が締め固めの効果よりも強く表わ

れたのではないかと
思う。

b. 引張り側では、
圧裂試験の結果が
両者ともに
 1.5 Kg/cm^2 程度
であり、水の影響
は特に認められな
かつた。

(2) 動的載荷と静的載荷の場合の強度比較

— 図-8より

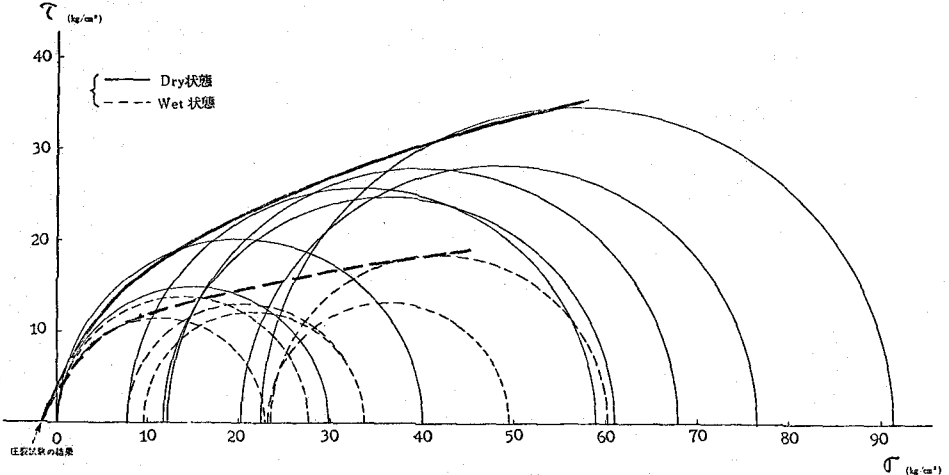


図-7 乾燥状態と湿潤状態の包絡線の比較 (泥岩)

a. 乾燥状態について

てみると、静・動的載荷の両者に強度の顕著な差異は認められない。

b. 湿潤状態では静的な場合より動的な方が $20 \sim 40\%$ の強度の増加がみられる。しかも σ_3 の場合は周圧が強度の 6% 以上になると静的な場合より強度が低下する傾向にあつた (図-4参照) が、泥岩の場合は周圧を強度の 50% 以上にあげた場合にも強度の低下はみられない。

4. 吸水膨脹とクリープ（粘板岩と珩岩）

4-1. 試験方法

- (1) 吸水膨脹試験 — 自然乾燥状態の岩石コアの上下面を厚い鉄板に接着し鉄板の周囲をネオプレンゴムで覆い中に水を注入する。そして供試体の高さ方向の膨脹ひずみを測定する。（写真1，2，8を参照）
- (2) 吸水膨脹圧測定 — 珩岩のコアを用いて供試体は吸水膨脹試験と同様に取りつけて水を注入し，1日毎に生じた膨脹ひずみを油圧ジャッキで押しもどし，ひずみを一定に保つ様にした時の圧力を求めている。しかし図-10に示すように現在試みたテストピースについては3日間までで油圧ジャッキの耐圧容量一杯となりそれ以上油圧を上げることができなかつたので，8日以後の膨脹ひずみを押しもどすことができずしたがつて膨脹圧も195Kg/cm²までしか測定できなかつた。4日目からは195Kg/cm²の圧力をかけたままの状態でお膨脹したひずみを測定したのでそのひずみ変化を示してある。
- (3) クリープ試験 — 供試体は吸水膨脹試験の場合と同様に取りつけ，気中と水中状態での一軸圧縮（作用応力一定）下のクリープひずみを測定する。すべてゲージはカルソン型ひずみ計を使用した。

4-2. 結 果

- (1) 吸水膨脹ひずみの測定結果が図-9である。これからわかるように両岩石とも相当の吸水膨脹ひずみを生じ，岩質によつては長期間にわたり吸水膨脹が進行していくことがみとめられた。
- (2) 吸水膨脹圧の測定結果を表示すると次のようになる。

注水後の経過日数	吸水膨脹ひずみ $\Delta \epsilon$ ($\times 10^{-6}$)	ひずみを押しもどすに要した圧力 p (kg/cm ²)
1	627	137
2	118	172
5	80	195

図-10で195Kg/cm²の拘束圧を受けた状態で膨脹ひずみ $\Delta \epsilon$ は 240×10^{-6} 前後で一ヶ月位まで一定となつてゐる。

引き続き吸水膨脹圧の測定は試験方法を一部改めてなお行方予定である。

- (3) 気中と水中にある供試体のクリープでひずみの結果が図-11に示してある。粘板岩では水中供試体の弾性ひずみは気中のものの約2倍以上になり，クリープひずみは水中供試体が気中供試体の10倍～25倍に達した。珩岩では圧縮応力（約40Kg/cm²）が作用しているにもかかわらず浸水初期には膨脹を示し，それが収束後圧縮クリープに移行していつた。

5. む す び

合計101本についての限られた試験例であり，一般的傾向とはいへが，

- (1) 強度の比較 — 珩岩では強度は乾燥状態に比べて湿潤状態のものの方が小さく，特に興味深いのは周圧が小さい程その低下率が大い（周圧が0のとき57%，周圧が軸圧の0.09のとき12%）。このことは地山の浅い部分の強度を考える場合などは重要視すべき事項である。泥岩の場合も強度は湿潤状態の方が小さいが，その強度の低下率は珩岩の場合と異なり周圧が大きくなる程大きい（周圧が0のとき29%，周圧が軸圧の0.25のとき39%）。
- (2) 周圧とヤング率の関係 — 珩岩は乾燥状態では周圧が増加する程ヤング率が増大

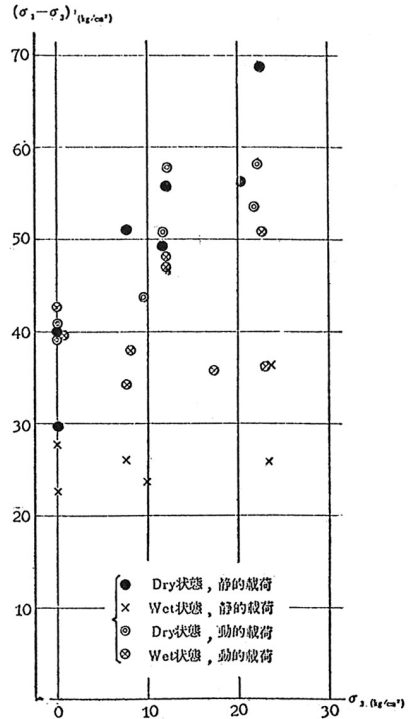


図-8 周圧と強度の関係（泥岩）

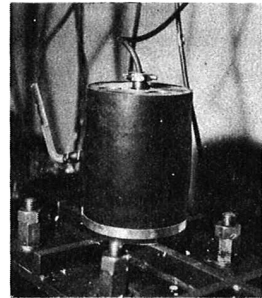


写真-1 吸水膨脹試験および水中載荷供試体の外観

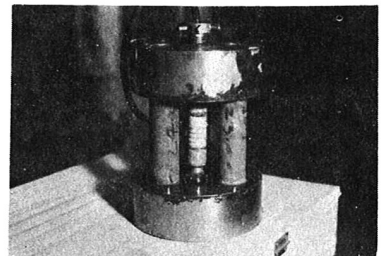


写真-2 気中載荷の供試体（写真-1のネオプレンゴムの内部も同じ）

する傾向があるが、乾燥状態では周圧に無関係な傾向がみとめられた。

- (3) 静的載荷と動的載荷の比較——珩岩では静的載荷に比べて動的載荷でのヤング率が大きい傾向にあるが、湿潤状態の場合強度は周圧が大きくなるとむしろ低下するような傾向がみられた（低下率6～30%）泥岩の場合は湿潤状態では周圧に無関係に動的載荷の方が20～40%の強度の増加がみとめられた。ただし乾燥状態の場合は載荷速度にあまり影響されなかつた。

- (4) 吸水膨脹——自然乾燥状態の岩石に水を含ませると相当な吸水膨脹を生じる（粘板岩では100日間浸水で 1000×10^{-6} 前後、珩岩では $1700 \times 10^{-6} \sim 3400 \times 10^{-6}$ 位となつた）。

- (5) 吸水膨脹圧——一軸方向の吸水膨脹ひずみを一軸的に拘束した場合の膨脹圧は上述の珩岩では3日間で 1.95 kg/cm^2 にもなり、岩盤構造物の設計に考慮している通常の荷重による応力に匹敵する圧力を生じることがみとめられた。

- (6) クリープひずみ——水中供試体の方が気中供試体より大きくなる傾向がみとめられた（粘板岩の場合水中のものは気中のものの10倍～25倍に達した）。

岩盤の力学上、水の影響は基本的に大切な要因なので、今後とも種々の岩石について検討を重ねていきたい。

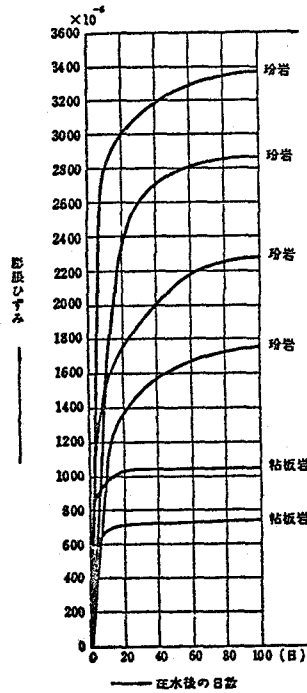


図-9 吸水膨脹ひずみ

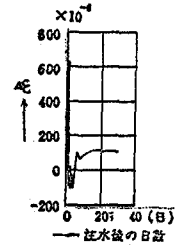
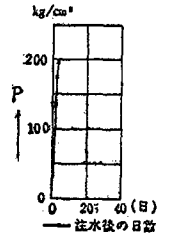


図-10 珩岩の吸水膨脹圧

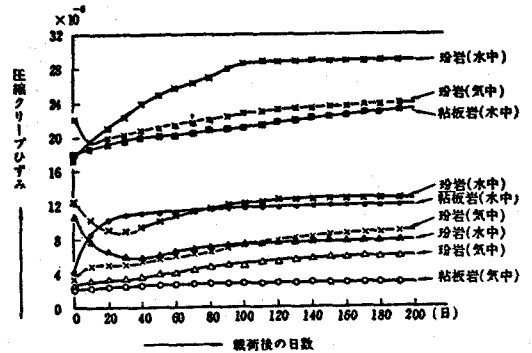


図-11 クリープひずみ図

Swelling, Restraint of Swelling Creep Increase and Strength Decrease of Rocks due to Absorption of water.

—Porphyrite, Mudstone and Slate —

Tadashi Kanagawa
Katsuko Nakaarai

(Central Reserch Institute of Electric Power Industry, Komae Tokyo)

Summary :

In recent years, we have required large scale excavation of rock foundation for tunnel of penstock, underground power station and dam site etc.. Then the authors are testing some properties of rocks depending on water as basic data for studying safty of rock foundation.

The tests are tri - axial compresive test, swelling expansion and increase of creep regarding boring cores under dry and wet conditions.

- (1) Strength of Porphyrite and Mudstone, under wet condition is less than ones under dry condition. In case of Porphyrite, wet strength to dry one is 0.43 in no confining pressure and is 0.88 in 0.09 confining pressure against axial pressure.

In the contrary, in case of Mudstone, the more lateral pressure becomes the more decreasing of strength in wet condition.

- (2) On a comparison of dynamic and static strength in wet condition, in case of Porphyrite, the more lateral pressure occured the less strength of dynamic load condition than static load. In case of Mudstone, dynamic strength was more (20~40%) than static strength.
- (3) Swelling strain of Slate was about 1000×10^{-6} in saturated condition in water during 100 days. In case of Porphyrite, it was about $1700 \times 10^{-6} \sim 3400 \times 10^{-6}$. And restraint pressure of the swelling in creased also considerable in saturated condition.
- (4) Creep strain under wet condition was more than dry condition.
In case of Slate, creep strain under wet condition was 100~250% of one under day condition.