

Ⅱ-5 トンネルロックボルトの長時間模型実験

徳島大学工学部 正員 藤井 清司

まえがき トンネルロックボルトを支护工として利用することに対する有利性についてはすでに知られているが、ロックボルトを設置したとき地山内応力状態がどのようになるか、また、時間とともにそれらがどのように変化していくかについては不明の点が多い。そこで、これらの点を解明するため、モルタルセメントによりトンネル周辺地山二次元模型を作製し、模型内に多数装入した埋込式ゲージにより種々の測定を行う。その地山のクリープによる影響については、まず、第一段階として、ロックボルト設置後その管理を充分行い、ボルトはゆるみを生じず、地山に常に一定の締め付け力を与えていたものとしたときの実験を行う。

試験体材料 模型試験体を作製するモルタルセメントは重量配合比 1:2:6 (水、普通ボルトランドセメント、細骨材) であり、打ち込み後7日間空中湿潤養生した後、実験を開始する。そのクリープ特性は土木学会標準 JIS A 1125 により、載荷量は一軸圧縮強度の 30% とし、P.C. 鋼棒の締め付け力により加える。クリープ、乾燥収縮ともに3個の供試体の平均により図1の結果を得た。強度試験は $\phi 10 \times 20$ cm の円筒供試体により行い、一軸圧縮、圧裂引張り試験、弾性係数は上下載荷板間の変位により求め、実験開始日6本、以後は3本の平均値により表の結果を得た。

試験体 試験体寸法は図2に示すごとく、 $100 \times 100 \times 10$ cm で、中央部に半径 10 cm の半円形と長方形を組合せて馬蹄形トンネルが位置している。トンネル上半部を8等分する方向にロックボルトが9箇所、各位置奥行き方向に2本、計 18 本配置され、奥行き方向各2本ずつがH形に模鋼棒に接続されていて、ロックボルトの締め付け力が試験体に奥行き方向に線荷重として載荷されるようになっている。ロックボルトの有効締め付け長さは 7 cm である。これは、実際のトンネル直径を 10 m、ボルト長を 3~4 m として縮尺したものである。試験体厚み中央部には、23 個の二方向埋込式ゲージが、図3の位置 および、方向に装入されている。

実験 実験としては、まず、トンネル周辺地山二次元模型の試験体内を無応力状態として、トンネル土被りに相当する鉛直圧と、それに土圧係数を掛けた横圧を作用させる。そして、地山圧による地山内応力を測定する。次に、ロックボルトを締め付けて、ボルト力による効果を調べる。地山圧とボルト力を作用させた直後より、これらの荷重を常に一定に保ち、クリープ（ここでいうクリープとは、図1のクリープと乾燥収縮を加えあわせた

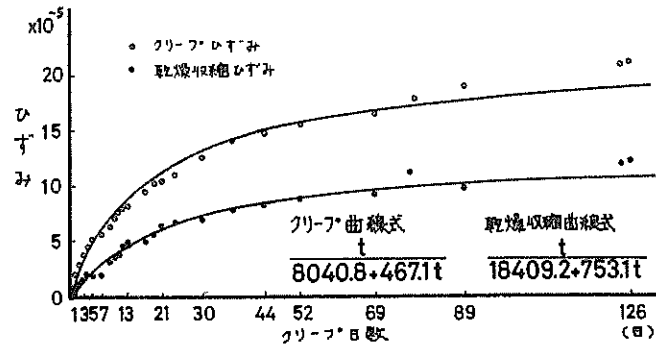


図-1 乾燥収縮・クリープ曲線

実験経過日数	実験開始日	3	7	13
圧縮強度 (kg/cm^2)	301.2	360.3	393.1	432.8
引張り強度 (")	26.5	26.8	29.3	—
弾性係数 (")	86,100	86,900	94,700	106,500

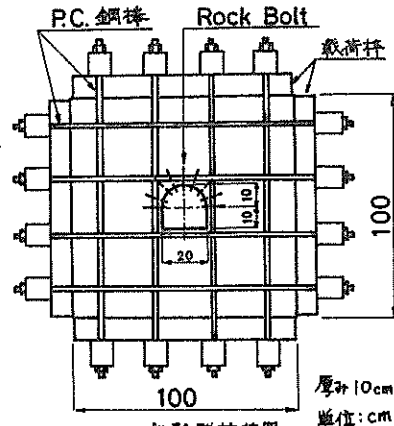


図-2 実験載荷装置

ものである)による地山内ひずみ変化を測定する。測定は日数の経過とともに1, 3, 6, 12, 24時間間隔と長くして行き、20日間行う。地山圧は図-2の4個の載荷枠間にわたしてP.C.鋼棒を締め付けることにより与える。P.C.鋼棒、ロックボルトには、中央部両面に抵抗線ゲージをはり直列配線して荷重のチェックをする。鉛直圧は、土の単位体積重量を 2.0 t/cm^3 としたとき、土盛り厚350mに相当する 70 t/cm^2 を、横圧は土圧係数 0.5 とした 35 t/cm^2 を載荷する。ロックボルト力は400t(天端内面で 20.4 t/cm^2)である。実験による地山内ひずみ変化の一例を図-3, 4に示す。図-4は実験開始後15日経過時の測定値より、図-3の状態の値を引いた、15日間のクリープのみによるひずみ変化である。

実験結果 上の実験と同じ値の地山圧とロックボルト力を作用させた有限要素法による解と、図-3と比較すると非等により一致を示しているため、この載荷装置と埋込式ゲージにより充分な実験と測定が出来るものと思われる。

ロックボルトの締め付けのみによる地山内ひずみ変化(ロックボルト効果)について i) ロックボルト延長上 ボルト長/2 内壁より10.5cmの測定位置では、引張りひずみは非等には小さい。ii) ロックボルト地山内定着部では、ボルト直交方向に引張りひずみを生じる。これはボルトの定着力をゆるめるように作用する。iii) ロックボルトにはさまれた領域では、ボルト方向にはボルト締め付け力に相当した圧縮力が作用し、またその直交方向にも圧縮ひずみを生じる。これにより、ロックボルトを設置することによってトンネル天端部に圧縮構造体を形成することが出来る。

地山クリープのみによるひずみ変化について i) 各ゲージの測定値は2, 3のゲージをのぞき、全て圧縮か、引張りの方へ変化して行き、10~15日の間で変化率が小さくなりほぼ一定値におちつく。ii) トンネル側壁部の一部をのぞいては、ロックボルトの設置されている天端部、その他の部分にかかわらず、全て引張り側ひずみが生じる。これは地山にとって危険である。iii) 本実験では初期の圧縮ひずみが大きく、しかもロックボルトに単に一定の締め付け力を作用させているので、クリープによるひずみが引張り側に変化したが、引張りひずみとなつた箇所は少ない。このことにより、ロックボルトの締め付け力の管理が重要であることがわかる。

以上本実験により得られた結果をまとめれば、これは土圧係数 $k = 0.5$ の場合についてであり、 k の値が小さくなると初期状態で引張りひずみが生じているので少し結果が変わるものと思われる。また、本実験では、ロックボルトの締め付け力の管理を充分行い、単に一定力を与えているので、地山のクリープによりロックボルト力もゆるんでくるボルトの管理をしない実験を行い、それとの比較検討が重要であろう。

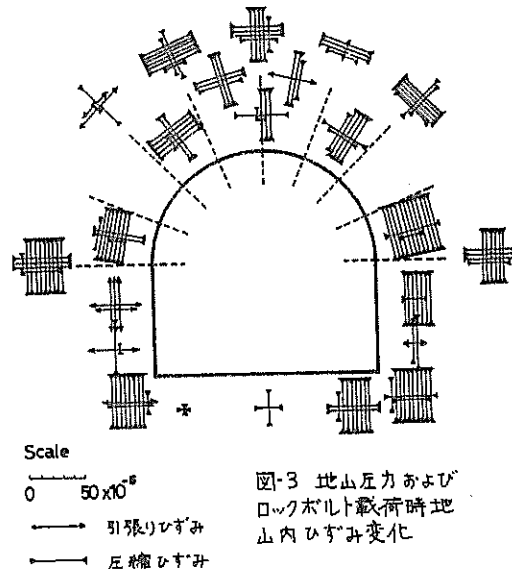


図-3 地山圧力および
ロックボルト載荷時地
山内ひずみ変化

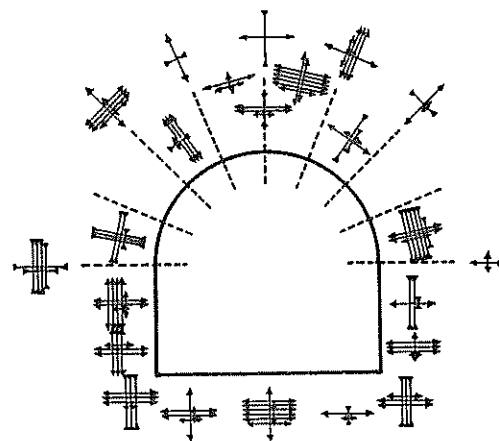


図-4 クリープのみによる15日間経過
時の地山内ひずみ変化