

III-13 トンネルロックボルトの長時間模型実験 その2

徳島大学工学部 正員 藤井 清司

まえがき トンネル支保工にロックボルトを使用した場合、トンネル周辺の地山内応力状態が、時間の経過とともに、すなわち、地山のクリープ現象によりどのように変化するか、昨年度の本学会報告に引き続き、土圧係数の値をかえて模型実験を行い、また、有限要素法により粘弾性解析をしたので、その結果を報告する。

実験 トンネル周辺地山の模型として二次元試験体を作製する。寸法は $100 \times 100 \times 10$ cmで、その中央部に半径10 cmの上半円と、 10×20 cmの長方形を組み合わせた馬蹄形トンネルが位置している。そして、上部半円形部分を8等分する方向に有効長7 cmのロックボルトが二次元地山に線荷重として作用するように設置されている。二次元地山に土核り圧に相当する鉛直圧と、それに土圧係数を乗じた側圧を作用させる。これは載荷枠をP.C.鋼棒で締め付けることにより、与えられる。地山内ひずみ変化は、試験体作製時に埋め込んである2方向抵抗線ひずみゲージで測定する。P.C.鋼棒、ロックボルトには各棒2枚ずつ抵抗線ゲージがはうれているので、それにより所要荷重が載荷される。実験は、まず、全てのゲージの零バランスをとり、鉛直圧、側圧をバランスさせるがら所要値まであげ、その後、一定値に保つ。そして、地山内に生じたひずみを測定し、次に、ロックボルトを締

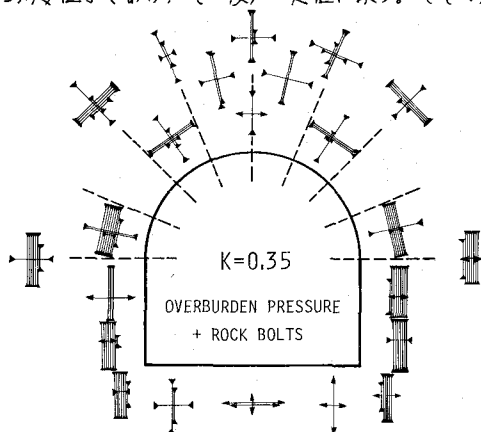


図-1(a) 地山圧とロックボルト力を作用させた時に地山内に生じるひずみ状態

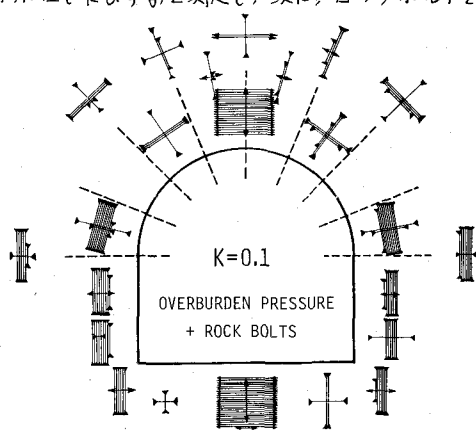


図-1(c)

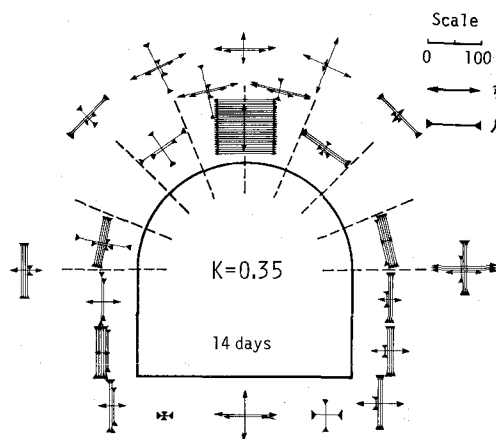


図-1(b) 14日経過時の、クリープのみによる地山内ひずみ変化状態(実際の測定値は上図の値を加えたもの)

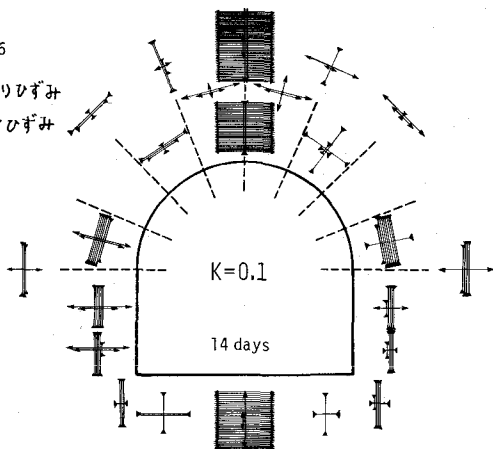


図-1(d)

め付け一定値(500kg/本, トニネル内壁面で25.5kg/cm²)を与える。そして、測定し、それから荷重状態を一定のまま、日数経過とともに測定を21日間続ける。今回の実験は、鉛直圧を70kg/cm², 土圧係数 $K=0.35, 0.1$ とした。なお、試験体材料、実験装置等については前回の報告を参照されたい。測定結果の一部を図-1に示す。

クリープ試験 この実験に相当する状態を有限要素法で解析するに先立ち、粘性モデルを仮定し、それらの諸定数を決定するため、試験体材料のクリープ試験を行う。供試体は40×40×10cm, PC鋼棒で荷重を与える。長さ変化は標点間長20cmをコンタクトゲージにより測定した。荷重は40kg/cm²~180kg/cm²までの9種類とし、他に乾燥収縮を測定する。図-2は載荷後1時間目の各供試体(各荷重)における等時ひずみを示したものである。これによると降伏点: σ_{yp} が100kg/cm²であらわれているので粘塑性物質とはなる。しかし、今回の解析は、線型粘弾性として図中のモデルを仮定した。そのクリープ関数は次式となる、

$$\gamma_{oct} = \tau_{oct} / 2G_0 + \tau_{oct} (1 - e^{-9t/\eta_1}) / 2G_1$$

そして、 σ_{yp} 以下の荷重を載荷した供試体のクリープデータより上式の諸定数を決定し右に示す。

実験結果 図-1 (b), (c), (d)において、トニネルの頂部、および、底部に非常に大きな引張りひずみを生じているのは、地山にクラックが生じたためである。 $K=0.1$ では、地山圧を載荷した時点ですでにクラックが観察され、時間の経過とともに上下方向に中心線上をほぼ一直線に進行していき、10日後に、上方21cm, 下方24cm程度の位置で進行はとまった。 $K=0.35$ では、クラックは観察されなかったが、地山圧を載荷した時点でクラックが入り、頂部中央のロックボルトの間にある水平方向ゲージに引張りが作用し、経日とともにクラックが進行したものであると思われる。この場合、頂部のみにクラックが生じたのは、

ロックボルトの埋め込みの欠陥によるものと思われる。トニネル周辺地山内には、断面接線方向に圧縮ひずみを生じ、ロックボルトを締め付けることによって頂部の法線方向に圧縮ひずみを増加できる。しかし、 $K=0.1$ では、経日とともに側壁部で引張りひずみが大きくなっていく。

解析結果 図-3に粘弾性解析によるトニネル頂部周辺の变形図を示す。トニネル断面内壁面と、地山内ロックボルト固定端位置の2箇所の変形図であり、弾性解と、12時間経過時の解である。土圧係数が小さくなるにつれて扁平な楕円形となり、時間とともにトニネル内部へ変形がすすむ。しかし、 $K=0.1$ の場合、水平ロックボルトの地山内固定位置ではトニネル外方へ変位する。

*参考文献 昭和49年度土木学会中部支部学術講演集 藤井清司「トニネルロックボルトの長時間模型実験」

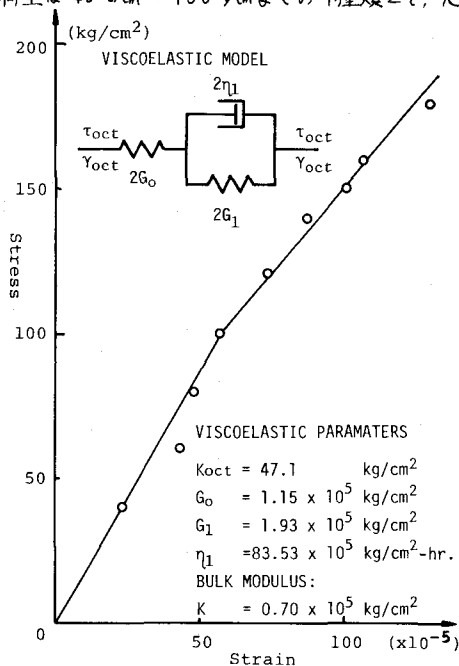


図-2 クリープ試験結果 等時応力-ひずみ線

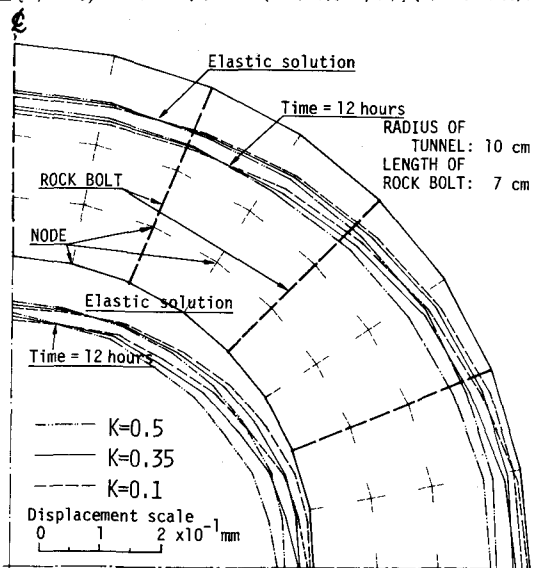


図-3 粘弾性解析によるトニネル変形図