切羽進行を考慮したＮＡＴＭの３次元模型実験

徳島大学大学院　○学生員　西村茂
徳島大学工学部　正員　藤井清司
パシフィックコンサルタンツ　正員　安田亨
熊谷道路　山田高弘

１，まえがき

本実験では，ＮＡＴＭ工事現場でみられる現象を再現し，それに対する対策，設計のための情報を収集するため，ＮＡＴＭの３次元模型実験を行い切羽進行に伴う切羽周辺地山の挙動をとらえることを目的としている．本来ＮＡＴＭでは，ロックボルト，吹付けコンクリート等の支保メンバーの効果は，単独ではなく総合的に評価されるべきものであるので，支保メンバーの差異として　１　素掘り，２．ロックボルト有り，３　ロックボルト＋ライニング有りの３ケースで実験を行い支保メンバーを順に重ねて行くことにより，ＮＡＴＭの支保効果を全体的に評価しようとするものである．

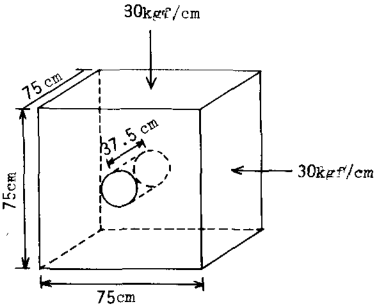

図１

一軸圧縮強度	15.96 kgf/cm²
割裂引張強度	2.64 kgf/cm²
せん断強度	4.2 kgf/cm²
内部摩擦角	34.7 °
単位体積重量	1.92 g/cm³
弾性係数	28900 kgf/cm²
ポアソン比	0.184

表１

２，実験方法

実験には，重量配合比で水：セメント：細骨材＝1.8：1：8のセメントモルタルを２週間型枠内で養生した試験体を使用する．試験体の形状は，図１に示す通り一辺75cmの立方体であり，その物性値を表１に示しておく．第１回目の実験は，無支保のトンネル実験を行い土被り圧に相当する荷重を30kgf/cm²，側圧に相当する荷重も30kgf/cm²それぞれフラットジャッキによって載荷し，前後面は変位拘束して試験体内が力学的平衡に達した後，直径20cmのトンネルを奥行き17.5cm，5cm，5cm，5cm，5cmの５段階に分けて段階掘削を行い，これをもって切羽進行の再現とする．第２回目の実験では，支保メンバーとしてロックボルトを採用する．実験の要領は，第１回目とほぼ同じであるが，ボルトをトンネル上半部に22.5度ピッチで配置し，それを図２に示すような奥行き配置で各段階掘削終了後，順次挿入して行く．この時，ボルトには長さ7.5cmのねじ釘を利用し，全面接着型とする．第３回目の実験は，支保メンバーとしてロックボルトとライニングを採用する．実験の内容は，ロックボルト挿入までは前回と同じであるが吹付けコンクリートの代用として超早強セメントを使用しこれを水セメント比50％のセメントペースト状にして，それをトンネル内壁に塗りつけるかたちで内壁と密着させ，ロックボルトとの一体化を図るものである．

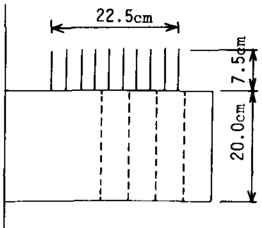

図２

本実験では，試験体内の挙動をひずみ変化としてとらえるため，図３に示すように２方向モールドゲージを配置し，各段階掘削終了後の試験体内各点のひずみを測定する．

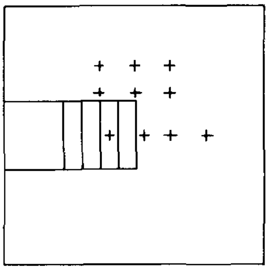

図３

３．結果と考察

図４は，切羽位置を中心とし，切羽前方から後方への各種ひずみの変化に着目したものであり，トンネル中心からの距離r＝12cmとr

＝２０cmの２箇所の位置でのひずみ変化を表す。ここでひずみ変化は，測定されたひずみを初期ひずみで割った値で示している。図よりロックボルトとライニングを施したトンネルでは，無支保のトンネルに比べて２本の曲線は，1.0ラインから遠くに位置している。これは，ひずみが１０ラインに収束するためには切羽前方にかなりの距離を要することを物語っており，それだけ応力配分の影響範囲が広がったことを示している。この傾向は切羽方向だけでなく，半径方向外側に対しても同じである。r＝２０cmの図では，無支保の場合切羽前方１０cmあたりですでに大きな引張りひずみが生じているのに対し，支保を施したトンネルでは，同じ箇所での引張りひずみは，かなり小さくなっている。これは，２つの支保メンバーの一体化が強まり広範囲にわたる応力再配分が行われ，このことにより地山内の応力状態の改善がなされたと考える。

図５は，各段階終了後における試験体内の等ひずみ線である。等ひずみ線は，半径方向ひずみを対象としており，測定ひずみを初期ひずみで割った値が1.0（$\varepsilon_r/\varepsilon_0 = 1.0$）の線を描いている。第１段階掘削終了後1.0ラインはトンネル遠方に現れ，それよりトンネル側が応力増加域，トンネルより遠方側が応力減少域に分けられる。第２段階掘削以後1.0ラインは次第にトンネル側へ近づいて行き，第３段階掘削終了時点で応力増加域のトンネル側にもう１つの1.0ラインが現れ，トンネル近傍から応力減少域，応力増加域，応力減少域の３つの領域に分けられる。以後の変化としては，内側の1.0ラインが外側へ，外側の１０ラインは内側へ移行して行く。支保を施したトンネルの等ひずみ線は，無支保の場合と比べると２本ともトンネルから遠方に位置しており，外側の1.0ラインは応力再配分の影響範囲の広がりで説明がつくと思われる。また，内側の1.0ラインも同様にトンネル遠方に現れる現象であるが，これは支保を施したことによりトンネル近傍の挙動が周辺地山に分散された形で現れるため応力減少域が大きな領域となって現れたと思われる。

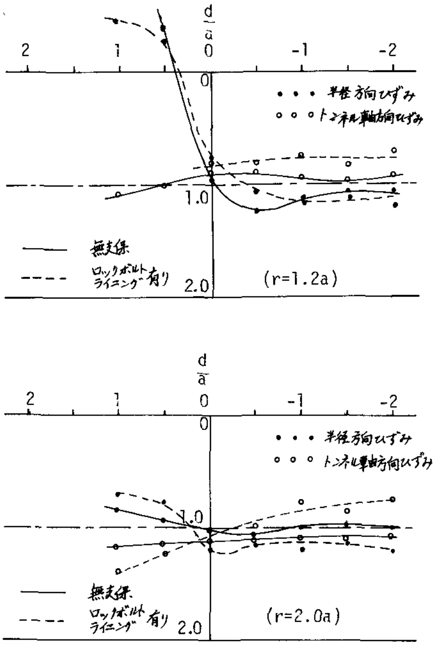

図４

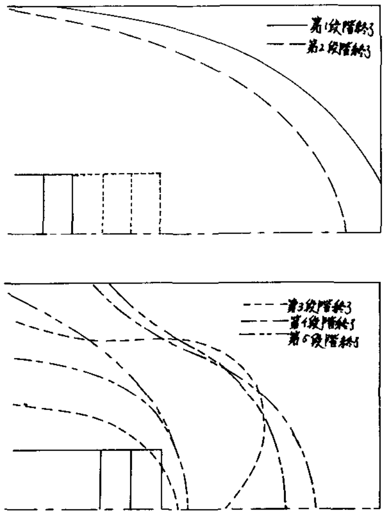

図５

４　結論

・無支保トンネルに比べ，支保を施したトンネルでは，トンネル内壁付近の半径方向の引張りひずみが大幅に小さくなり，これは支保工が不当な応力の阻止に有効であることを示していると思われる。

・トンネル切羽先端部をとりまく地山内の応力分布は，トンネル近傍から減少域，増加域，減少域の順に現れ，このとき等応力線は切羽前方を頂点とするドーム状をなす。この現象は，無支保の場合と支保を施した場合とでは等ひずみ線の現れる位置が異なり、支保を施した方が外側に現れる。

・ＮＡＴＭにおける支保効果は，支保材と周辺地山との一体化による地山応力の分散，改善というかたちで現れる。

参考文献　(1)土屋他；ロックボルトによるトンネル補強効果に関する試験(その１)，土木学会論文報告集，1982
(2)神藤他；土かぶりの大きい円形素掘りトンネルの三次元模型実験，土木学会論文報告集，1982