

足利工業大学 ○ 正会員 石橋 孝治
 同 上 正会員 佐藤 喜悦
 同 上 松村 仁夫

1. まえがき

NATMはトンネル周辺地山が本来有している強度を積極的に利用すべく、計測情報をもとに地山の補強と改善処理を行いながらトンネルを掘削してゆく工法である。切羽の近傍と切羽から充分離れた場所では、トンネルの挙動が異なることは周知のとおりである。これは切羽の拘束効果によるものと考えられているが、NATMの考え方方に従えば、切羽の拘束効果をもトンネルの掘削時に期待し、積極的に利用すべきであると思われる。そこで、本研究では切羽の存在を考慮した3次元的な応力条件下でのトンネルの模型実験を行ない、トンネル破壊性状について検討を行った。

2. 実験方法

模型実験は等圧を受ける鉄道用单線トンネルを念頭において計画し、表-1に示した要因に関する実験を行った。供試体は模擬地山の中心部にトンネルに相当する空洞を設けたものであり、 $\phi 300 \times 395\text{mm}$ 、空洞の長さは300mmである。地山材料としてはストレインゲージの貼付が可能で若材令で実験が行えることを考慮して、粒状化した発泡スチロールを混入したスラグセメントモルタルを用いた。実験に用いたスラグセメントモルタルの力学的性質は一軸圧縮強度(σ_c)が4~8kg/cm²、初期弾性係数(E)が500~1000kg/cm²、内部摩擦角(φ)が45~50°である。ロックボルトは直径0.7mmの軟鋼線を2本巻りしたものを用いた。

3次元的な応力条件下に供試体を置く方法としては、流体圧を供試体に作用させるのが一般的である。¹⁾しかしながら、この方法では爆裂の発生とその伸展に伴い載荷の継続が困難となる場合が起ることが予想され、空洞周辺の破壊挙動を知るうえで支障をきたすものと考えられる。そこで、本実験では載荷面での摩擦の影響は否めないが、超軟質ゴムで供試体を覆い、ゴムのボアン効果を利用した載荷方法を採用した。図-1に実験装置の概要を示す。使用したゴムの硬度(H_s)は24°である。載荷は変位制御で行い、供試体が破壊に至るまで載荷を継続した。孔壁には6~9箇所にペーパーゲージを見付し、円周方向のひずみを計測すると共に、切羽から5mmと105mmの位置の天端の変位を計測した。

3. 実験結果

ここでは馬蹄形断面のトンネルの場合について報告する。

(1) 孔壁のひずみ性状について

図-2に全断面掘削の場合のトンネル軸方向のひずみ性状を示

表-1 模型実験の要因

要 因	考 虑 し た 内 容
断面形状	円形断面と馬蹄形断面
掘削工法	全断面掘削工法と上部半断面掘削工法
支保工	無支保とロックボルト工
ロックボルトの打設パターン	ロックボルト $\ell = 30\text{mm}$ (ピッチ10mm) 15° 25° 40° 65° 85°

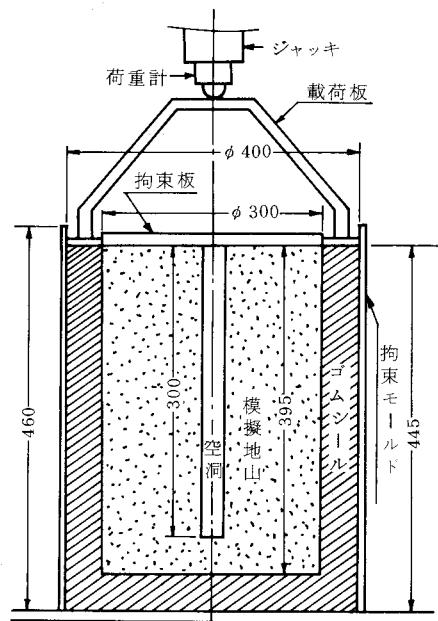


図-1 実験装置の概要 (mm)

す。切羽から5cm以上離れた各測のひずみ性状は切羽のそれと比べ著しく負荷に対するひずみの増加量が大きく、切羽からほぼトンネル径以上離れると切羽の拘束効果が期待できなくなるという既往の弾性計算の結果と一致する性状を示している。

模擬地山の力学的性質に差を生じたため、 σ_c と ϵ_0 ($= \sigma_c/E$) を無次元化して、掘削工法の違いとロックボルト支保の有無による天端のひずみ性状を比較したものをそれぞれ図-3と4に示す。ロックボルトを打設した場合、各測点のひずみの伸び率は小さく抑えられている。補強により地山自身が支保材として働いていることがうかがえる。一方、掘削工法として上部半断面工法を採用した場合は切羽近くのひずみが全断面掘削の場合に比べ大きくなっている。これは上半部の掘削断面が鋸角部をもつことによるものと考えられる。また、その他の測点におけるひずみの伸び率はわずかに小さく抑えられるかほぼ同程度であるが、下半部の存在による切羽の拘束効果のトンネル軸方向への拡大が期待できるものと考えられる。

(2) 孔壁の破壊性状

図-5に孔壁に生じたひびわれの発生状況を示す。無支保の場合、側壁脚部に切羽まで達するひびわれがあり、隅角部に高応力を生じたことを示している。さらに上半掘削部には隅角部にも同様のひびわれを生じており、ひずみ性状を裏付ける状況を示している。一方、ロックボルトを打設した場合、ひびわれは細分化する傾向を示しており、地山の補強と応力の配分が行われることがうかがえる。

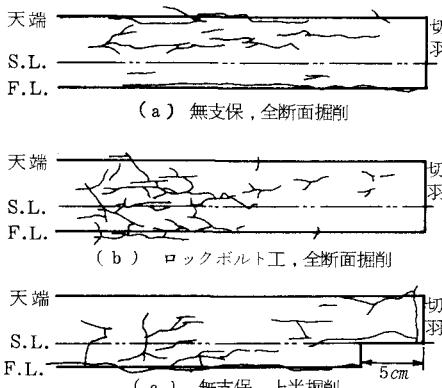


図-5 孔壁のひびわれ発生状況

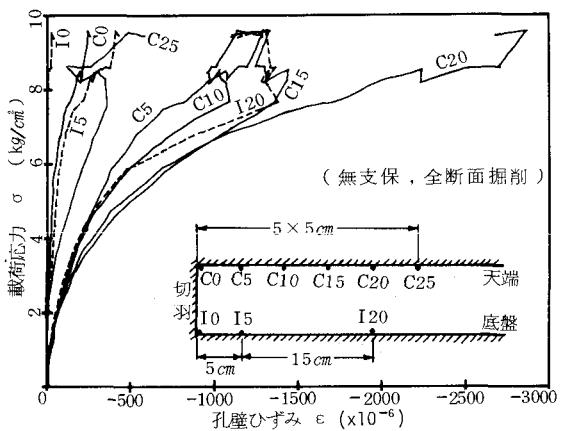


図-2 載荷応力と孔壁ひずみの関係

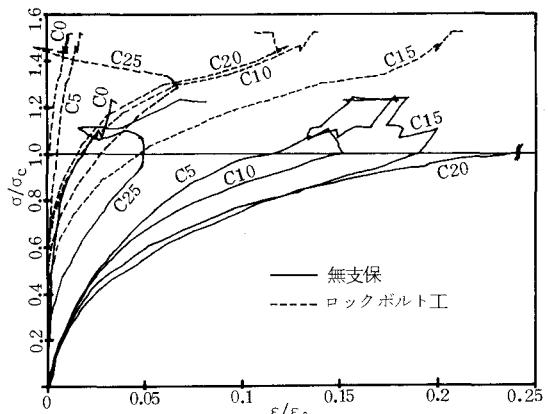


図-3 σ/σ_c と ϵ/ϵ_0 の関係 (全断面掘削)

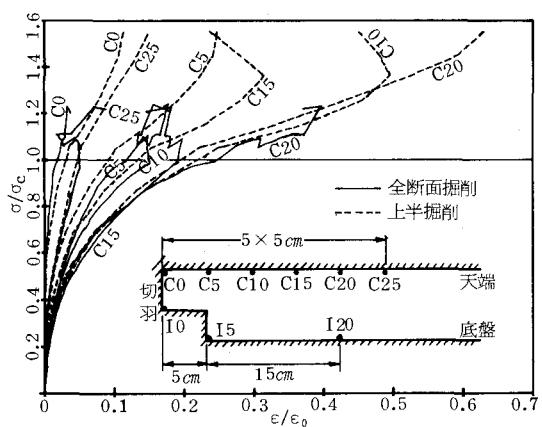


図-4 σ/σ_c と ϵ/ϵ_0 の関係 (無支保)

4. あとがき

孔壁の変位に関しては原点移動等により的確な情報を得るには至らず、改善と検討を加えている。

<参考文献>

(1) 例えば信田・田沢ら:「切羽の拘束条件下におけるトンネルの変形に関する検討」、第31回土木学会年次講演集、III、1982、pp355~356