

トンネル模型実験によるトンネル周辺ひずみの挙動について

㈱間組技術研究所 ○五味 道義

肥後 満朗

1. まえがき

トンネル掘削に当っては、トンネル周辺の変形、応力などの挙動を把握しておくことが重要である。特に、NATMにおける支保としてのロックボルトや吹付けコンクリートの設計・施工に必要なようになってくるものと思われる。本実験では平板を用いて1つのトンネル掘削方式の順序にしたがって、トンネル周辺ひずみを平板面にワイヤーストレインゲージを貼付け、その挙動を測定した。その結果、トンネル掘削順序及び支保工の有無によるトンネル周辺ひずみの挙動が得られたので報告する。

2. 実験概要

実験は、先に発表した実験報告¹⁾でワイヤーストレインゲージを平板面に貼付けることによりモルタルの表面ひずみを計測できることを述べた。今回は、平板面のひずみ測定点を増加させ、覆工及びロックボルトを設置した場合でのトンネル周辺ひずみの測定を行った。

実験は2方向から載荷できる装置で、モルタルの平板を用いて行った。平板の大きさは $2 \times 2 \text{ m}$ の正方形で厚さ 20 cm のものをを用い、荷重は2方向から等分布載荷でき、荷重を一定に保持できる機構の載荷装置を用いて行った。平板は表-2.1に示す物性値のモルタルを用い、載荷装置に直接モルタルを打設した後に平板の表面を整形できる程度の硬さの時点で平坦にして製作した。実験は図2.1に示す順序で行い、支保としてのロックボルトは、トンネル掘削段階毎に、図2.2に示す配置で、その大きさは $\phi 1 \text{ m}$ 、長さ 60 mm のピアノ線を設置した。また、覆工は、ロックボルト設置後、 $W/c = 65\%$ のセッコウを 4 mm 厚さで設置した。計測としては平板面のひずみ、覆工のひずみ、トンネルの内空変位を測定した。平板面及び覆工のひずみはワイヤーストレインゲージを貼付けて行ない、トンネルの内空変位は板バネ式変位計、載荷重はロードセルによって測定した。これらの装置の概略を図-2.3に示す。なお、実験はモルタルの杖令が28日以上経過した時点でを行った。

表-2.1 モルタルの物性値

単位体積 重量 (g/cm^3)	一軸圧縮試験			超音波速度		三軸圧縮試験		圧裂引張試験
	一軸圧縮 強度(kg/cm^2)	静弾性係数 (kg/cm^2)	静ポアソン比	P 波 (km/sec)	S 波 (km/sec)	せん断強度 (kg/cm^2)	内部摩擦角	圧裂引張試験 (kg/cm^2)
1.800	78.6	5.55×10^4	0.22	2.00	1.31	17.2	$40^\circ 45'$	9.84

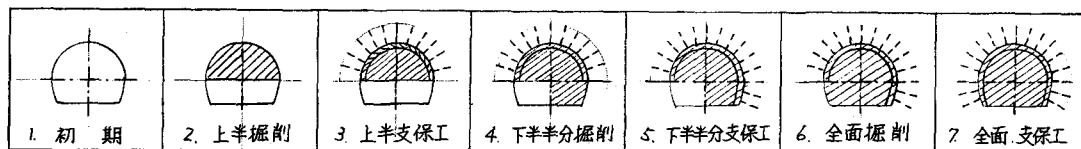


図 2.1 実験順序図

載荷重は材料の弾性限界の荷重を選定し、実験は、常に一定の荷重を載荷した状態で掘削した。また、載荷重は鉛直荷重 P_v と水平荷重 P_H の荷重を種々変えて行った。トンネルの掘削は電気ドリルにより行ない、ロックボルトは、あらかじめ供試体にドリルで孔を明けエポキシ系樹脂を注入したのちにピアノ線を挿入して設置した。覆工は型枠を設けて所定の厚さにセッコウを流し込む方法で打設した。

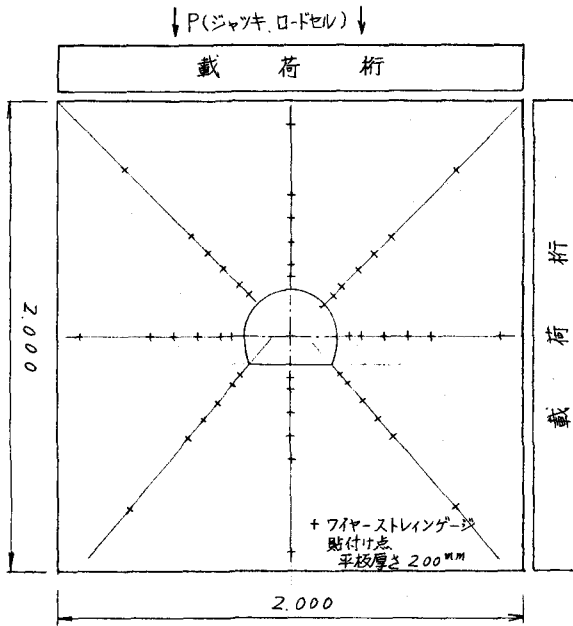


図-2-3 模型装置平面図

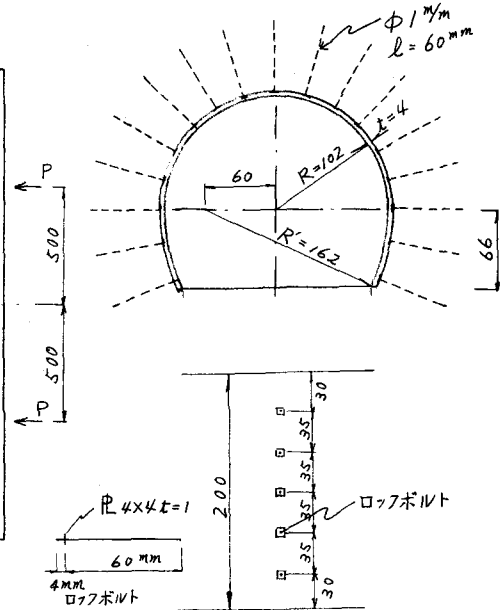


図-2-2 覆工・支保工配置図

ワイヤーストレインゲージの配置は、トンネル壁面から、 $0.25R$ 、 $0.5R$ 、 $1R$ 、 $1.5R$ 、 $2R$ 、 $4R$ の位置に貼付けた。

3. 実験結果と考察

3.1 掘削段階毎におけるトンネル周辺のひずみ (載荷重 $P_V = P_H = qk$)

ひずみ変化の特徴は、 E_t は掘削にしたがって大きくなり、トンネル周壁面において、きわめて大きくなる。また、 E_r は、小さくなるが、掘削段階毎に変化していることがよく判る。また、支保工がある場合とない場合では著しく相違している。

支保工がない場合には、天端部では E_r は引張側となるが、支保工を設置すると引張側に入りにくくなる状況にある。

各荷重段階における、ひずみの差を見ると、上半を掘削した場合が最も大きく、次に下半の右、左の順序となる。

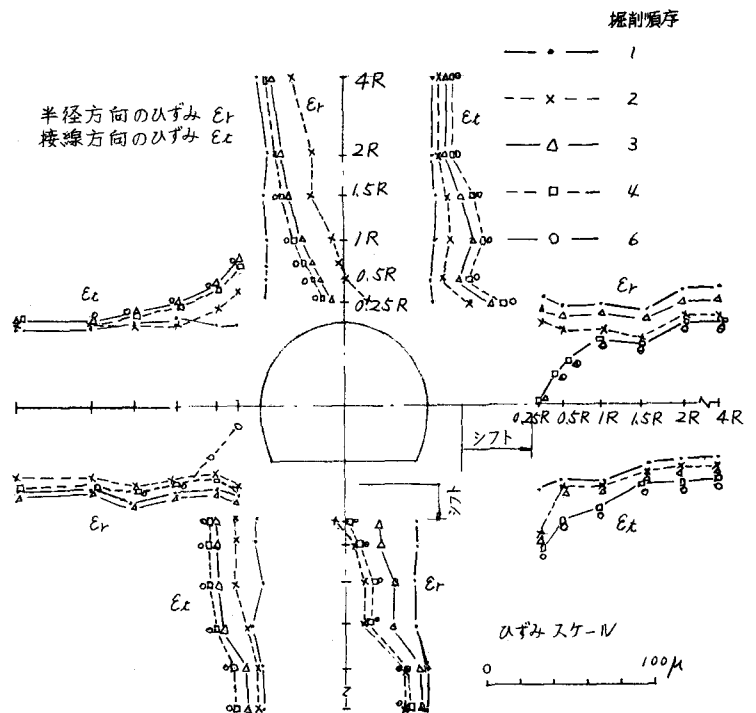


図-3-1 掘削段階毎におけるトンネル周辺のひずみ (載荷重 $P_V = P_H = qk$)

3.2 偏荷重を作用させた場合のひずみの挙動

載荷重として、 $P_V = P_H = 9t$, $P_V = 0$, $P_H = 9t$, $P_V = 9t$, $P_H = 0$ のひずみ挙動を図-3.2及び図-3.3に示す。

$P_V = 0$ の場合のひずみ挙動を見ると、天端においては、 ϵ_r , ϵ_t も引張側に入ること、側壁部では、 ϵ_t は小さく、 ϵ_r は極端に大きくなる。

このような極端な荷重が作用することはないと思われるが、トンネルに偏荷重が作用すると、トンネル周辺の地山がアンバランスなひずみ分布となり、トンネル構造物に悪さをする原因となるものと思われる。

覆工に作用している軸方向ひずみは、図-3.3に示す通りである。

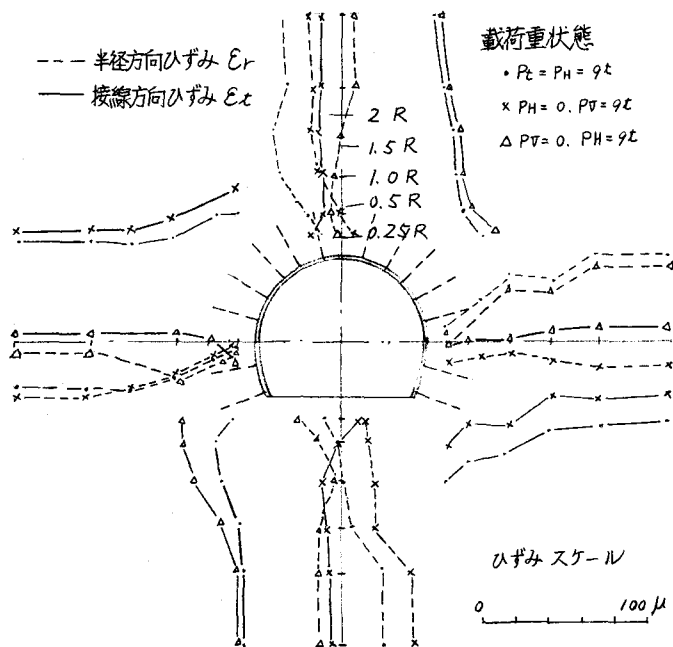


図-3.2 偏荷重を作用させる場合トンネル周辺のひずみ挙動

3.3 各荷重段階におけるひずみ挙動

図-3.4に支保工のない場合の極限荷重にいたるまでのひずみ挙動、図-3.5に支保工を設置した場合の極限荷重にいたるまでのひずみ挙動を示す。支保工がある場合もない場合においても、トンネルの周囲2R程度までは変化しているが、それより離れると、ひずみの変化が少なくなる。支持工がない場合の天端部の ϵ_t は1.5Rまでは小さくて、2Rの間で増加している。側壁部は、1Rまでは小さい値を示すが、段々に2Rまで変化し、ひずみの変化が少なくなる傾向を示している。全体的に見て、1.5R程度までが

影響が大きく、2Rからは影響が少ない領域と思われる。支保工を設置した場合においては、下盤部では、1.5Rまで ϵ_r は極端に小さくなり、支保工がある部分においては、このような傾向は見られない。 ϵ_t は1R付近に1つのピークがあり、2R程度付近で低下し、ひずみがほぼ一定となる傾向がある。

図-3.4と図-3.5を比較すると、その差は明らかに相違することが判り、支保工を設置した方が、ブランチアーチが、トンネル近くにできていように見える。

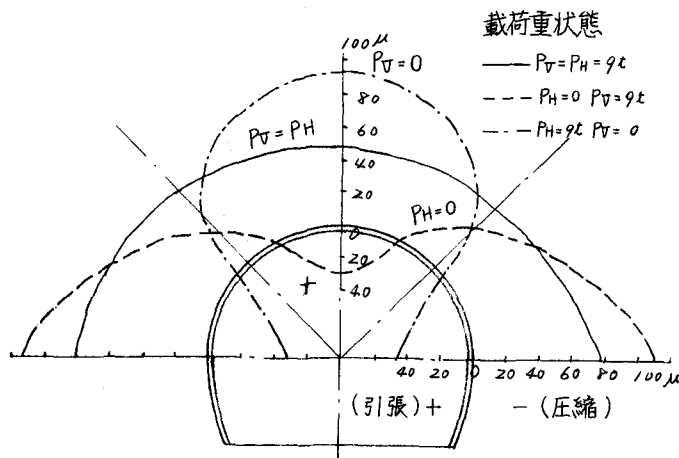


図-3.3 偏荷重を作用させた場合の覆工のひずみ挙動

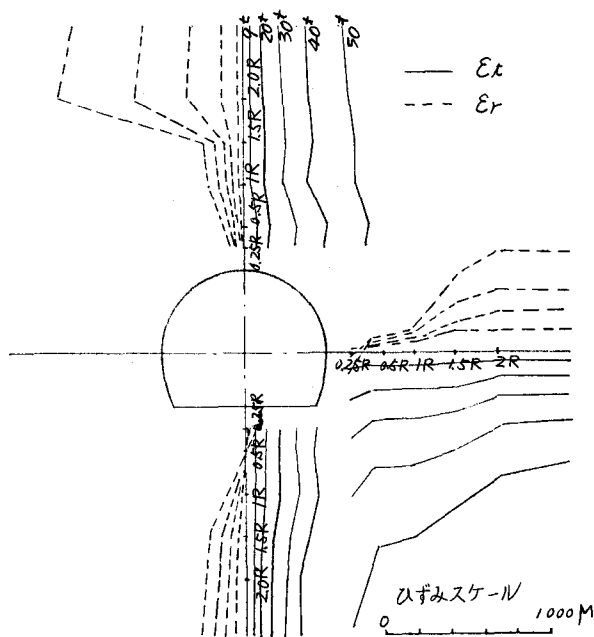


図-3.4 極限荷重にいたるまでのひずみ挙動(支保工なし)

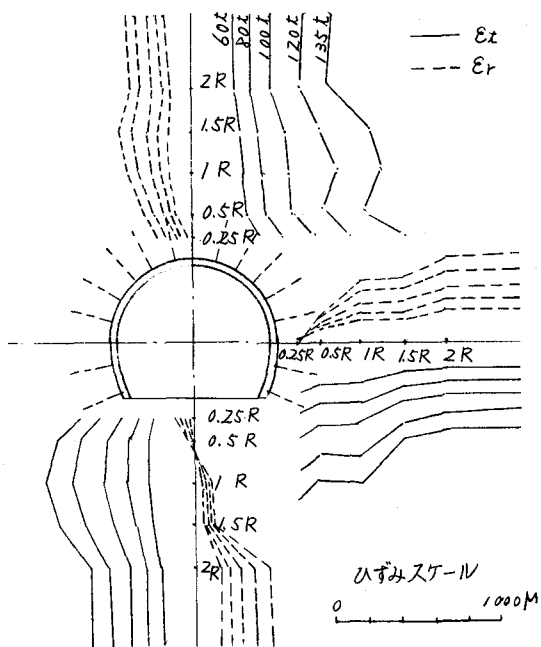


図-3.5 極限荷重にいたるまでのひずみ挙動(支保工あり)

4. あとがき

今回の実験の結果、一般的に言えるかどうか今後の実験にまつところが大きいと思われるが、次のことが言える。

- (1) この実験のような掘削順序で施工すると、トンネル周辺のひずみ分布がアンバランスとなる。
- (2) 支保工をしない場合の半径方向のひずみ ϵ_r は1~1.5Rの間で非常に小さく、1.5~2Rまでの間で急激に変化する。
- (3) 支保工を設置した場合には半径方向のひずみ ϵ_r は1~1.5Rの間でゆるやかな増加傾向を示した。

今回は、実験結果のみを述べたが、今後解析を行なって種々検討を加えていく予定である。

参考文献

- 1) 五味、吉村：トンネル模型実験によるトンネル周辺ひずみ挙動の2・3の考察、第8回関東支部年次研究発表会、土木学会関東支部、昭和56年1月、PP141~142

STUDY OF STRAIN AROUND TUNNELS BASED ON EXPERIMENTS USING A MODEL

Michiyoshi GOMI
Mitsuaki HIGO

Technical Research Institute, Hazamagumi, Ltd.

Summary

This paper is intended to describe the results of experiments to measure the strain around tunnels using a model.

As regards the size of the model, a mortar plate of 2×2 m with a thickness of 20 cm was used. The compressive strength was approximately 80 kg/cm^2 . The strain on the surface was measured by affixing a wire strain gauge to it.

Loading was carried out with two-directional loading equipment. According to the results of the experiments, the strain around tunnels showed the following characteristics for an R-radius.

- 1) When there are no supports, the strain ϵ_r in the direction of the radius is extremely small between 1 and $1.5R$, drastically changing between 1.5 and $2R$.
- 2) When there are supports, the strain ϵ_r in the direction of the radius shows a gradual increase between 1 and $1.5R$.