

# III-249

## 散乱光弾性被膜実験法によるトンネル縮尺模型の変形過程の解析

(株) 鉄建建設 正会員 ○鈴木 篤  
(株) 熊谷組技術研究所 正会員 上野 正高  
東京大学生産技術研究所 正会員 小長井一男

### 1. まえがき 1)、2)

散乱光弾性被膜実験法は土、モルタル、軟岩のような実材料を用いて作製された粗い表面を有する2次元縮尺模型の解析面に光弾性被膜を接着し、さらにその被膜の表面変位をアクリル板で拘束することで模型の解析面の変位を、被膜のせん断ひずみに変換しこれを光弾性学的に検出する方法である（図1）。この手法によればあらゆる材料で作製された2次元模型の観測面全面にわたる変形を時間を追って精密に解析することができる。これまでの研究では本手法の妥当性の理論的な検討と幾つかの実験例を示してきたが、この手法をより実用的なものとするためには模型境界の応力状態を明確に把握し得る載荷装置の工夫や一連の時刻を追った写真を一律の基準で解析し得る解析システムの開発等が急務となる。本研究ではこれらの技術的な問題を解決すると共に、軟岩地山にNATM工法で掘削されるトンネルを想定しロックボルトの打設時期、バターンが地山の変形に及ぼす影響について検討を加えたのでそれを以下に述べる。

### 2. 載荷装置等の概要

今回具体的な解析対象とするトンネル軸に直交する断面内の変形を時間を追って追跡する場合この断面が平面ひずみ状態であることが望ましい。そこで図2(b)に示すように寸切りボルトを模型内に挿入しトンネル軸方向に内的な拘束を与えている。この模型は図2(a)に示す載荷装置上に置かれベロフラムシリンダーで2軸方向にそれぞれ一定な荷重を掛けられる。載荷板や反力板と模型の間に生ずるせん断応力はポリウレタンゴムを挿入することで軽減することにした。このときゴム内に生ずるせん断応力レベルは、石膏、鉄板の間に生ずる摩擦力に比べ約1/5の値にとどまり実験条件は大幅に改善された。さらにゴムの貼付で接触応力の分布も均一化されることが確認された。

### 3. 解析システムの概要

レーザー光線を上下の方向に走査させて得られ

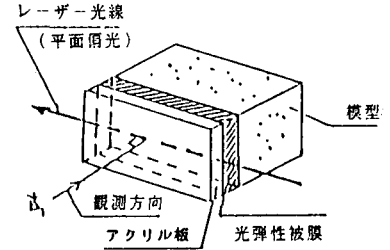


図-1 散乱光弾性被膜実験法の概略図

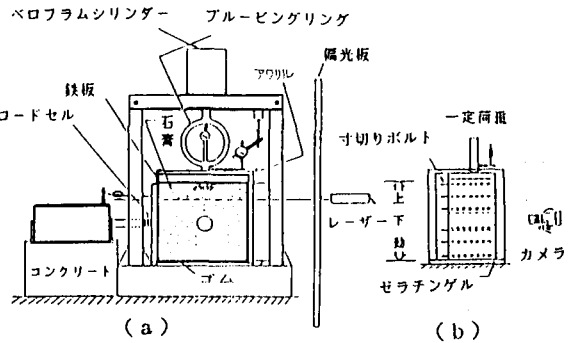


図2 載荷装置

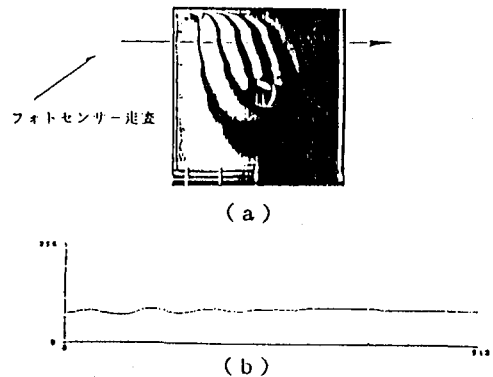


図3 散乱縞写真と  
散乱光の強度パターン

た写真を図3(a)に示す。この写真はX-Yプロッターの台上に置かれ、X-Yプロッターのペンホルダーにセットしたフォトセンサー（H-BCS-1100）でその筋の強度が電圧変動として読み取られる。図3にこのフォトセンサーで読取った信号の一例を示す。

明暗の筋の変化に対応する信号の振幅は光軸に沿って次第に減少する傾向にあり、またこの上に散乱光独特のノイズが混入していることも認められる。このような波形から有意な信号を得るため平滑化微分法のアルゴリズムを採用した。このシステムの完成により今までデジタイザー等により目視によって行なわれていた解析が一律の基準で高速に解析できるようになった。

#### 4: ボルトの打設時期、打設パターンの検討

側圧係数 $k=0.24$ 、地山強度比 $1.6 < 2$ の状況の軟岩中にNATM工法でトンネルを掘削することを想定しボルトの打設時期、パターンをパラメーターに模型実験を行なった。このときの実験ケースを表-1に示す。また天盤沈下量と載荷時間の関係を図-4に示す（このときの天盤沈下量は模型が片押し状態におかれているため側壁沈下量を基準に算定したものである）。天盤付近にボルトを打設する場合、掘削後早期にボルトを打設したほうが3次クリープ段階での変形が幾分抑制される傾向が図-4から認められるものの全体的にはボルト打設時期による有意な差は認められない。図-5にケース1、4の載荷開始後5時間経過後のトンネル周辺の沈下量を示す。ケース1のトンネル側壁付近では沈下曲線に変曲点を生じ、この点を結んだ線を滑り線と考えたとこれに沿ってトンネル天盤部の岩塊がブロック状にトンネル内に押し出してくる様子が認められる。よってこのブロックを滑り面に縫いつける（ケース4）ようにボルトを打設するのが有効であり、この効果は先の図-4でも明瞭に認められる。

#### 5. まとめ

- (1) 側圧係数 $k=0.24$ 、地山強度比 $1.6 < 2$ の状況下でトンネル上部の岩塊がブロック状に下方に押し出す場合これを地山に縫いつけるようにボルトを打設するのが有効である。
- (2) このブロック状の岩塊にボルトを打設した場合、ボルト周辺のクリープは若干抑制される傾向が認められるがブロックの沈下そのものは抑止することは出来ない。
- (3) 散乱光弾性被膜実験法におけるトンネル縮尺模型の変形を時間を追って解析するうえでの必要な技術が確立された。

#### 参考文献

- 1) 小長井他：不透明材料の粗い表面の変位解析に供し得る光弾性実験法、土木学会論文集第370号
- 2) 柳浦他：模型実験による軟岩地山中のトンネル周辺の変位解析手法、土木学会第13回関東支部発表会

表-1 実験条件

|                         | ケース1               | ケース2 | ケース3 | ケース4 |
|-------------------------|--------------------|------|------|------|
| 打設時期<br>$\Delta t$<br>期 | ロック<br>ボルト<br>打設なし | 60分  | 15分  | 0分   |
| 支保<br>パターン              |                    |      |      |      |

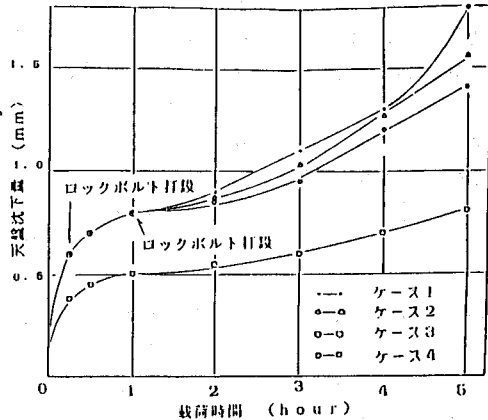


図4 天盤沈下量と載荷時間の関係

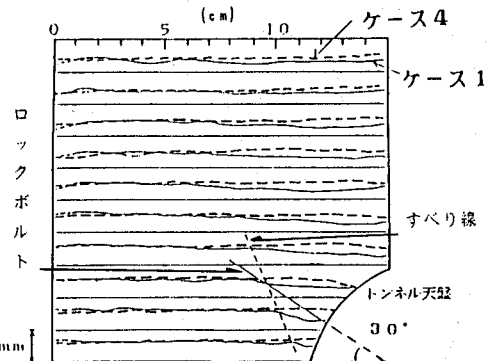


図5 5時間経過後のトンネル周辺の沈下量