

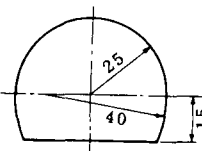
佐賀大学 正会員 ○ 石橋孝治
 足利工業大学 藤島博英
 足利工業大学 松村仁夫

1. まえがき

電子計算機の目覚ましい発達と数値解析手法の開発に伴い、トンネルの周辺地山内の応力状態を把握することが以前に比べ平易に行えるようになってきた。しかしながら、地山のおかれている状態や各種支保工のモデル化等の問題も存在する。これらの問題が全て解消されることにはならないものの、本研究ではトンネル周辺地山内の応力状態を実験解析的に把握する方法として光弾性実験を行うこととした。光弾性実験の装置が高価であることは周知の通りであるが、本研究では応力の分布状態を定性的に捕らえることのみにその目的を絞り、簡易な実験装置を構成して実験を行い、掘削工法とロックボルト工について検討を行った。

2. 実験方法と実験装置

表-1 実験の要因

要 因	断面形状と寸法
掘削工法 全断面掘削工法 上部半断面掘削工法	
支保工 ロックボルト工	

トンネルの断面形状は鉄道用単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。供試体は加工性を考慮して光弾性感度が非常に高いゼラチンと透明度が非常に良好な水硬性ウレタンを用いて製作した。図-1に供試体の形状と寸法を示す。供試体をサンドイッチ構造としたのは、要求する面内のみの応力分布状態を取り出すためと、厚肉となることによる透明度の低下を避けるためである。本実験では同一の変形係数が得られるよう考慮して、ゼラチンの濃度を17%、水硬性ウレタンのそれを20%として供試体を製作した。

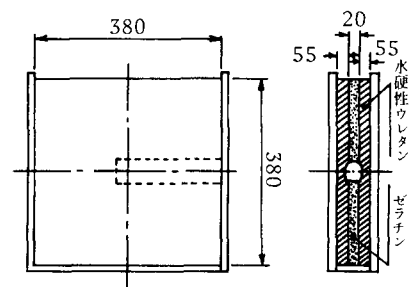
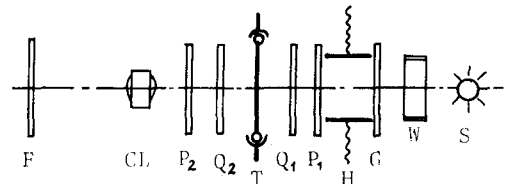


図-1 供試体の形状と寸法

光弾性実験により応力の分布状態（主応力差）に関する情報を得るには等色線を求める装置構成とすることがある。本実験では、等色線を求めるための標準的な光弾性実験装置の構成を参照に、一部装置の削除と変更を行って図-2に示すような簡易の光弾性実験装置を構成した。したがって、応力の分布状態は定性的にしか捕らえることはできなくなる。光源はカラー写真を撮影することで対処し白色光源を、すりガラスで光源から出た光をホルダー内に散乱させて供給し、便宜的な平行光線を得ることとし、視野レンズはすりガラスと円筒ホルダーで代用させた。さらに、ホルダーから供給される光以外は暗幕を用いて可能な限り遮閉した。供試体は載荷面となる上面以外は全て透明アクリル板で拘束した。各装置の光軸を一致させてセットアップした後一軸荷重を載荷し、所定の荷重値に達する毎に写真の撮影を行った。



S : 光源 W : 冷却槽 G : すりガラス
 H : ホルダー P₁ : 偏光子 T : 荷重装置
 Q₁, Q₂ : 1/4波長板 P₂ : 検光子
 CL : カメラレンズ F : カラーフィルム

図-2 簡易光弾性実験装置

3. 実験結果

ここではカラー撮影した等色縞の境界を曲線で図示して示す。撮影時の載荷荷重の大きさは全て120kgfである。

(1) 掘削工法について

図-3に全断面掘削時の、図-4に上半先進長が5cm(1D)の場合の、図-5に上半先進長が15cm(3D)の場合の等色縞をそれぞれ示す。全断面掘削工法における縞の集中密度の程度と範囲から、トンネル軸方向に切羽の拘束効果が及ぶ範囲は、従来の定説通りトンネル直径程度の範囲内であると判断される。

上半断面掘削工法における上半切羽付近に発生する応力集中の位置は、全断面掘削時のそれと全く同じであり、天端部および底盤部であるが、さらに下半切羽の底盤部にも応力が集中する箇所が生ずる。上半先進長の影響を例示した1Dと3Dの場合とで比較すると、未掘削の下半部地山内の縞の密度に大きな相違がみられ、1Dの場合の方が高密度となっている。下半部の地山が相応の負荷を負担し、その存在効果を発揮しているものと判断される。

一方、トンネルの変形状態は上半先進長が長くなるにつれて、上半部の変形が大きくなる傾向が認められる。下半の存在効果をも含め総合的に判断すれば、上半先進長はトンネル直径の約3倍程度までが限界であるものと考えられる。

(2) ロックボルトについて

ここでは切羽付近の地山内の応力集中を意識して斜め打ちのロックボルトについて検討を行った。

図-6に全断面掘削工法におけるロックボルト長3cm、打設角度30度の場合の等色縞を示す。図-3に示した等色縞と比較すれば、切羽の天端部と底盤部に生じていた応力集中縞が消失していることが明確に認められ、その効果が確認された。天端部のロックボルト付近は不明瞭であるが、底盤部のロックボルトの周辺にはロックボルトに沿って縞が生じている。これはロックボルトと地山のボンドによるものであり、このボンドによって地山とロックボルトとの間の力の伝達が行われることが明確に示された。

4. あとがき

簡易な装置構成でも定性的な応力の分布状態を把握できることが明らかとなった。不備な点や問題点もあり、改良と改善を加えてゆく予定である。

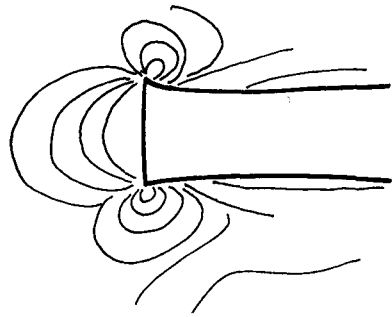


図-3 等色縞図(全断面掘削)

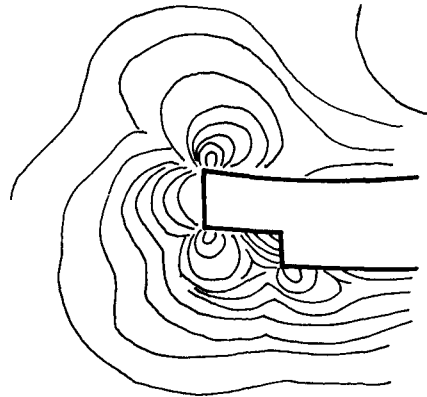


図-4 等色縞図(上半先進長: 5 cm)

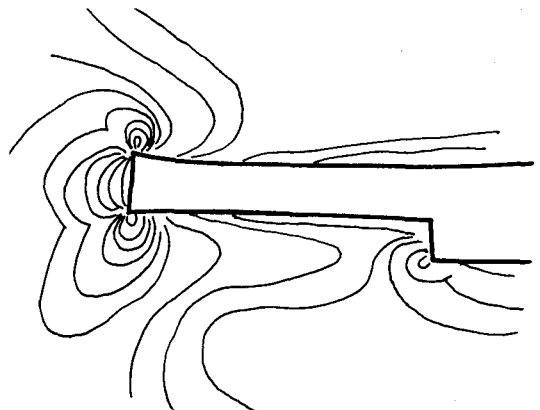


図-5 等色縞図(上半先進長: 15 cm)

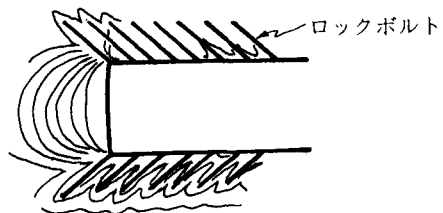


図-6 等色縞図(斜めロックボルト工)