

双設圧力トンネルの応力状態に関する光弾性実験

中部電力 沢田 周次

比企野 昭一

名古屋大学 川本 眺万

高橋 由行

1. 緒言

2本の圧力トンネルを平行して設置する場合、その中心距離は、発破や掘削など施工上の観点からも検討されねばならないが、一般に中心距離が小さくなれば、トンネル周辺の応力集中度が高まり、応力的に不都合となつてくることが考えられるので、トンネル周辺の応力状態を明らかにする必要を生ずる。

一般に、岩盤の力学的特性は、地山の地質学的分離面の存在によつて複雑であり、トンネルの応力や変形もそれらの影響を受けるが、ここでは、双設圧力トンネルの中心距離と応力集中度の関係を明らかにするために、等方等質の弾性岩盤を仮定している。したがつて、応力解析は2次元弾性問題として取り扱われ、無限板中の等大2円孔が等分布内圧をうける場合に対して行われる。

2円孔を有する無限板が、一軸引張、および、二軸引張をうける場合の応力状態は、Chih-Bing Lingにより求められており、2円孔が内圧をうける場合にも、双極座標を用いて理論的に解くことができる。しかし、級数解の収斂がきわめて悪く、応力の数値解析は非常に困難である。したがつて、ここでは、光弾性実験を用いて、2円孔の中心間隔と円孔周辺の応力状態との関係を考察した。

2. 実験方法

厚み5.8mmのエポキシ樹脂板(125°Cにおいて光弾性常数 $K=0.268 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}}$)の中央部に、直径 $d=2.5\text{mm}$ の円孔を種々の中心間隔($l/d=1.06\sim 4.0\sim$)であけたモデルが用いられた。常温実験で十分な読みとり精度をあげるために必要な繰り数をうるには、内圧として80 Kg/cm²程度の高圧を必要とするため、空気恒温槽中で125°Cで実験を行つた。125°Cにおいては、エポキシ樹脂の光弾性感度は常温のその約40倍となり、2~2.5 Kg/cm²

の圧力で充分に実験ができるので、つぎのような加圧法がとられた。加圧部は幅 5.8 mm 、深さ 5 mm の大きさの溝をもつた固定部と、それにはまる内径 3 mm 、外径 4.5 mm のゴムチューブ、および、圧さく空気を導く銅管よりなっている。固定部の直径はモデルの円孔の直径と等しく、 $25\text{ mm}\phi$ である。コンプレッサーで圧さくされた空気は、2 個の貯圧タンクを通して、ゴムホースで恒温槽内に導かれている。このような実験では、ゴムチューブが加えられた内圧の一部をうけもつが、その影響は温度および時間によつて変化するので、あらかじめ理論的に応力計算のできる単一円孔について実験を行い、ゴムチューブの抵抗の一定になる時間を求め、また、そのときの実験値と理論値を比較することにより有効内圧を定めた。ゴムチューブを介して加えられた内圧は $p = 2.51\text{ kg/cm}^2$ で、それに対して求められた等色線縞より円孔周縁から半径方向断面に沿う主応力差 $(\sigma_r - \sigma_\theta)/p$ の分布を求めると、図-1 の実線のようなになる。一方、理論計算による主応力差は

$$(\sigma_r - \sigma_\theta)/p = 2(a/r)$$

で求められるから、

図-1 の破線のように
なん。円孔周縁での値
を用いると

$$\begin{aligned} & (\sigma_r - \sigma_\theta)_E / (\sigma_r - \sigma_\theta)_T p \\ &= 1.75/2 = 0.875 \end{aligned}$$

すなわち、有効内圧は
 $p_e = 0.875 p$ となる。
したがつて、ゴムチュー
ブの受けもつ内圧は、
 $p' = 0.125 p$ である。

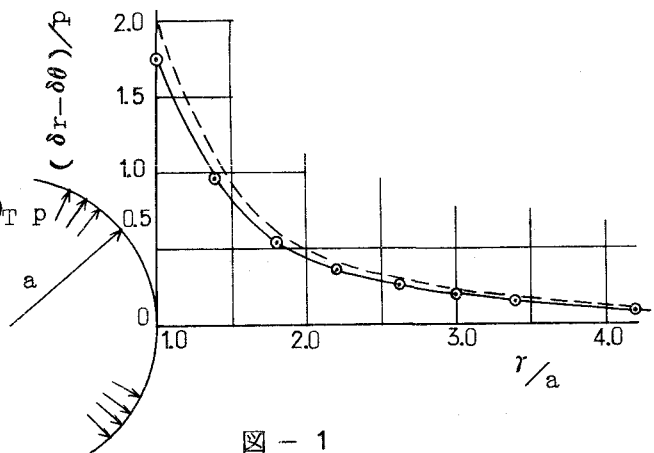


図 - 1

有効内圧に対して図-1 の実験値をプロットしなおすと、◎印のようになり、内部においても実験とよくあうことがわかる。

3. 実験結果とその考察

各モデルに対して得られた等色線縞、および、等傾線図より各成分応力を算定することができる。2 円孔の接近により、2 円孔の内側の壁におけ

る切線応力はかなり増大するが、外側の壁ではほとんど変化せず、上下壁では逆に応力を減少する。円孔周辺上のA、B、D点および内部の点Cの応力集中度に着目し、それらの大きさと2円孔の接近度 l/d との関係をしらべると、図-2のようになる。トンネル周縁における応力集中度は、 $l/d < 3$ において急激に変

化する。A点およびB点では増加し、D点では逆に減少するが、B点における変化はいちじるしい。言いかえると、トンネルの中心間隔が直径の3倍以上に

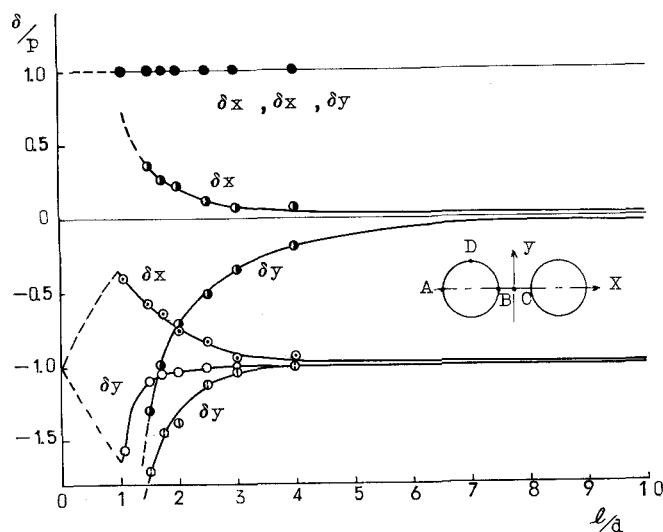


図-2

なれば、2つのトンネルの接近による影響はほとんどなく、単一トンネルと取り扱ってよいと思われる。

2つのトンネルの中央部の岩盤内部の点Cにおける鉛直応力は、 $l/d < 5$ で応力集中度を増大するようであり、この点の応力状態から考えれば、トンネル中心間隔をトンネル直径の5倍までにとどめねば、接近の影響をうけるだろう。

トンネル周辺の岩盤の破壊する状態は、きわめて複雑であつて、簡単に破壊条件を示すことはできないが、ここでは簡単に岩盤の引張応力がある限界値すなわち岩石の引張強度 K に達すれば、破壊を起こす(引張亀裂を生ずる)ものと仮定する。その場合には、地圧と内圧との両者によつて生ずる有効最大引張応力(岩盤内の間隙水圧の影響を考慮した応力)が K

なる値に達したときに，トンネル内壁でその最大引張応力に垂直な方向に亀裂を生じ，その亀裂は最小圧縮力に垂直な方向に伝播して行く。地圧による応力に対してはLingの解を用い，内圧に対してはここで求めた光弾性実験の結果を用いることができる。実際には圧力トンネルは鋼あるいは鉄筋コンクリートで覆工されるから，内圧のうちそれらに受け持たれる部分を除いた，岩盤に直接伝えられるものを，ここでは内圧として取り扱わねばならない。

地圧 (P_v, P_h) によつてトンネル内壁のある点 (水平軸と θ の角をなす) に生ずる切線応力を σ_θ^B ，内圧によるものを σ_θ^I とすれば，引張亀裂発生の条件は，

$$\sigma_\theta^B + \sigma_\theta^I = K + P_0 \quad (K < 0, P_0 > 0)$$

上式で P_0 は間隙水圧である。 σ_θ^B のトンネルの全周辺にわたつての分布を求めるのはかなり困難であるので，トンネル内壁上の点 A，B および D において引張亀裂を生ずる内圧について検討した。この結果から双設圧力トンネルの中心距離 ℓ/d による引張亀裂発生時の内圧の変化は，トンネル壁における内圧による応力集中の変化と同様， $\ell/d > 3$ のところでは小さく，単一トンネルの場合とほとんど変わらないことがわかる。したがつて，中心距離がトンネルの直径の3倍以下のときに，はじめてトンネル接近の影響を考慮すればよいだろう。