

異方性の傾斜せる地山中のトンネル周辺応力の光弾性実験について

徳島大学工学部

正 員

小田英一

徳島大学工学部大学院

学生員

○ 才木 繁

均質等方性体の地山中トンネル周辺の応力解析は、光弾性実験によってすでに行なわれているが、実際の地山にはある方向に数多く岩目が発達している、均質異方性体となす場合とが異なった岩石が互層をなしている場合とがある。この研究は、現実の地山に近づくため前者の地山を対象として、岩目方向の弾性係数とこれと直交方向の弾性係数が必ず異なる場合で、岩目方向が水平と45°に傾斜した地山中のトンネル周辺の応力分布を光弾性実験によって求めたものである。

光弾性実験としては、エポキシ樹脂とアクリライト樹脂による同形の二つの模型を作成した。模型は写真-1に見られるように、層厚1cmのスライスをエポキシ、アクリライト樹脂板よりそれぞれ切り取って、同種のスライスも接着剤(アロニアルファ)で接着し90×60×605mmの長方形板を二枚作り、その板の中央に二車線型の道路トンネルに使用される一般的な形のトンネル穴をあげたものである。エポキシ樹脂とアクリライト樹脂による同型の模型を作成したものは、光弾性実験において縮次数を測定するのはエポキシ樹脂による模型を、等傾線を観測するにはアクリライト樹脂による模型を用いた。使用したエポキシ樹脂板は光弾性感度 $\alpha = 1.073 \text{ mm/kg}$ 、板厚さ605mmのものを用いた。

エポキシ樹脂板で異方性体を作成した試料の弾性係数については、図-1に示す。

図-1における岩目方向(X方向)に等分布荷重を加えた場合のX方向のヒズミ量を測定した結果よりX方向の弾性係数 $E_x = 72,900 \text{ kg/cm}^2$ となる。また岩目方向と直交する方向(Y方向)に荷重を加えた場合のY方向のヒズミ量を測定した結果より、Y方向の弾性係数 $E_y = 66,000 \text{ kg/cm}^2$ となり、この材料の異方性は $E_x/E_y = 1.104$ となる。

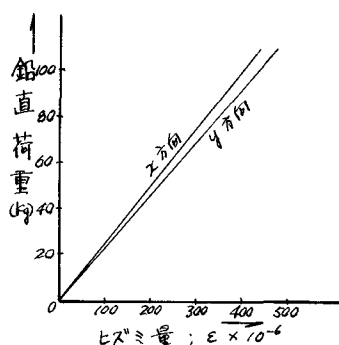
写真-1は、エポキシ樹脂の模型に鉛直荷重0362kg/mm²を載荷したときの縮模様である。写真-2は、等方性の場合で、エポキシ樹脂の模型に鉛直荷重0277kg/mm²を載荷したときの縮模様である。載荷重は等分布荷重が載荷面にかかる装置とした。等傾線の観測において、 θ は検光と偏光とを共に時計方向に回転する角度として、 $\theta = 0^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 65^\circ, 70^\circ, 75^\circ, 80^\circ, 85^\circ, 87^\circ$ の場合について写真撮影をなして等傾線と求めた。縮次数と等傾線より主応力 P 、 q を求めるにはLamé-Maxwellの方程式のFilonの変換法を用いた。すなわち図-2の符号を参照して、 i 点の $+S_1$ 方向、 $+S_2$ 方向の主応力をそれぞれ P_i 、 q_i として、境界における点Oの既知の主応力を P_0 、 q_0 とする。

$$P_i = P_0 + \int_0^i (P - q) \cot \psi d\theta$$

$$q_i = q_0 - \int_0^i (P - q) \cot \psi' d\theta$$

によって素掘トンネル周縁の弦線方向の主応力が零という境界条件を利用して応力を求めたのである。

図-1 荷重-ヒズミ曲線



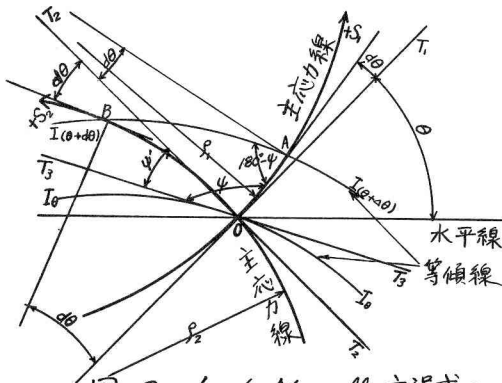
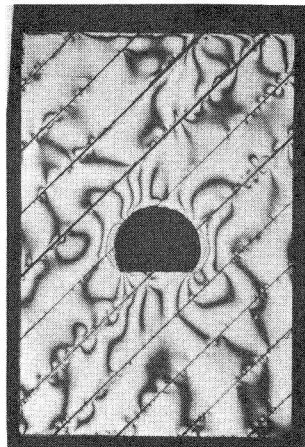
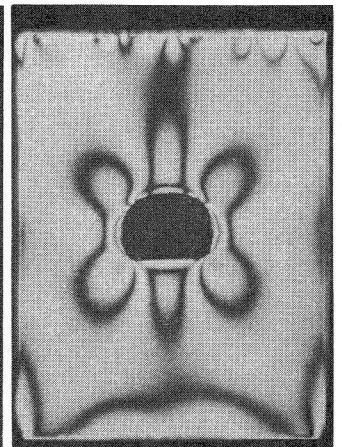


図-2 Lamé-Maxwellの方程式の
Filmの一般変換法を示す図

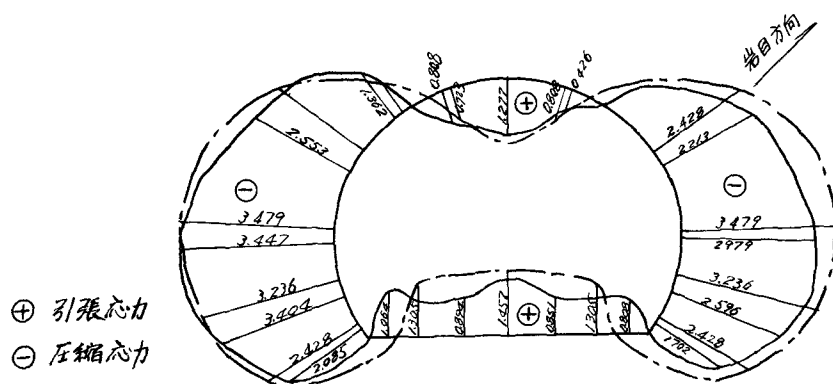
と等方性の場合、応力が左右対称であるのに対し、異方性の場合には図-3のトンネルの左側壁の σ_{θ} は起模線より下方で等方性の場合より大となっている。右側壁においては σ_{θ} は、等方性地山の場合よりも全部小となっている。トンネルの左側壁においては等方性るときと異方性るときとの σ_{θ} の分布曲線にあまり大きな差がでてないが、右側壁では等方性地山るときより異方性地山のとときの σ_{θ} の分布はかなり小である。これは異方性地山のとときの σ_{θ} の分布が全般的に少し小となったためで実験誤差のためと考えられる。しかし、異方性地山のとときは、左側壁の σ_{θ} は右側壁の σ_{θ} よりかなり大となっている。すなわち図-4において σ_{θ} の値は圧縮応力で左側壁中央では右側壁中央の値の1.15倍となっており、地山の中に入った近傍においても $\angle \pi$ 線上では、 σ_{θ} の値は $\angle m$ 線上の σ_{θ} の約1.10倍となりトンネルより遠ざかるにしたがい次第に減じて自然地山の荷重に漸近している。つぎにトンネル上盤中央 $\angle \pi$ 線上 σ_{θ} は引張応力で等方性地山の σ_{θ} と近似した値となっている。また $\angle \pi$ 線上のO点の σ_{θ} は引張応力でトンネルより地山の中に入るにしたがい $\angle \pi$ 線上では圧縮応力になり、 $\angle \pi$ 線のA点で圧縮がかなり大となり、 $\angle \pi$ のB点では少し引張応力が発生し、これより地山をはなれるとまた圧縮応力となっている。 $\angle \pi$ 線上では等方性地山の場合と近似した分布である。このことはトンネル上盤の引張応力の領域が岩目の傾斜をうけて $\angle \pi$ 線のB点附近において左側にがたよっていることを示している。以上のことより岩目が45°に傾斜しているときは左肩の方が右肩部より主圧が大となることがわかる。このことは高知県赤良木トンネルの工事例をみてもわかることである。



異方性の場合の縮模様
写真-1



等方性の場合の縮模様
写真-2



— 異方性
 - - - 等方性

図-3 トンネル周縁応力分布図

