

2. - 11. 光弾性実験による馬蹄形トンネル巻立内の応力分布に関する模型実験(その2)

徳島大学工学部 正員 工博 小田英一
 徳島大学工業短大 正員 ○藤沢邦彦
 鴻池組 森本和彦

トンネルの設計施工に関して、土圧によるトンネル巻立内の応力分布の状態を知ることが重要なことである。この研究は、土圧による巻立内の応力分布の状態を知るために行なったものである。

トンネル巻立のある一点に主働土圧としての単位荷重がトンネルの断面の半径方向に作用したとき、巻立が変形をするが、そのとき地山に巻立が取り囲まれていて自由な変形が制約される。その結果主働土圧の載荷点以外の隣接した地山には反力としての土圧が生じる。このような外力の影響でトンネル巻立に応力分布が

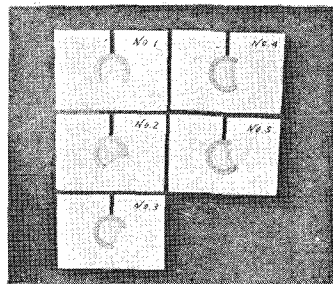


写真-1

あらわれる。この問題に関しては、Gerhard Sonntag¹⁾の研究があるが、拱頂に荷重のかかる場合についてのみ取り扱っている。そこで我々は、この主働土圧の載荷点をトンネル周辺数ヶ所にして、それぞれの載荷点に半径方向に主働土圧の単位荷重を作用させたときのトンネル巻立内の応力分布を求めた。

この研究において、トンネルの形としては図-1に示すような馬蹄形のトンネルを取り扱った。これは前回の研究の試料と異なり、ライニング脚部を図-1のように地山に掘りこんで固定した。巻立厚さもとトンネル巻立内径 η との比を 0.178 とした。これはトンネル巻立内径に比べて巻立厚さが非常に大きいものとなっている。

巻立内応力分布を求めるため光弾性実験による方法をとった。地山材料としては石膏を用いた。巻立用材料としてはエポキシ樹脂を用いた。エポキシ樹脂の光弾性感度は $0.906 \text{ } \mu\text{m/g}$ 、板厚は 6.05 mm 、ヤング率 $E_2 = 30,000 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアッソン比 $0.33 \sim 0.35$ のものである。又石膏材料のヤング率としては $E_g = 127.650 \text{ kg/cm}^2$ のものを用いた。これは水 60°C に対して、石膏 89% を混入して作成したものである。

馬蹄形の巻立の周辺を石膏で取り囲んで地山材料とするには、木製鋳型の中に、巻立部模型をおき、周辺に石膏を流し込み固めて、写真-1にみるような光弾性模型5種類を作成した。

図-1の格点に与える主働土圧は写真-1のように、石膏地山に作ったスリットより角棒によって与えた。又試料作成に当りエポキシ樹脂の巻立模型と石膏材料との間に模型製作上わずかながら間隙を生じたが、これは5ヶの試料とも同一条件になるように注意して作成した。

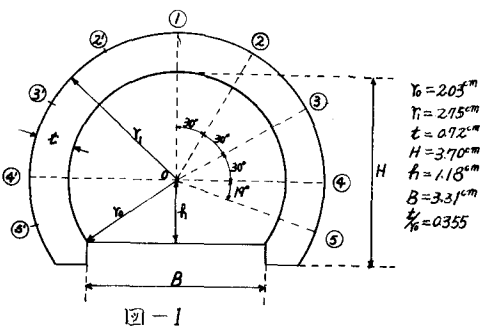


図-1

本実験では、地山材料の値としては上述のもの一

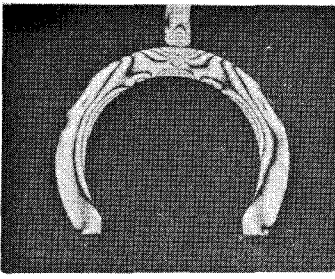


写真-2

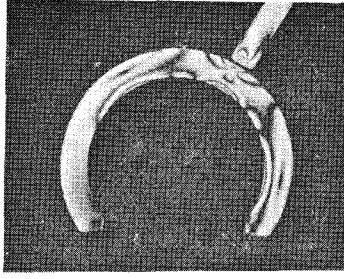


写真-3

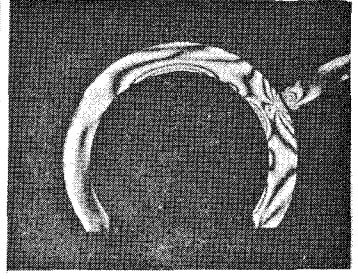


写真-4

つについて研究したが、エポキシ樹脂のヤング率と石膏材料のヤング率との比率が変化すれば、変化の様相も変ってくる。又巻立の厚さ、巻立と地山との間の間隙の大きさなども巻立の変形に及ぼす影響は大きいものと考えられる。ゆえに本研究は上述の条件のものに限定される。

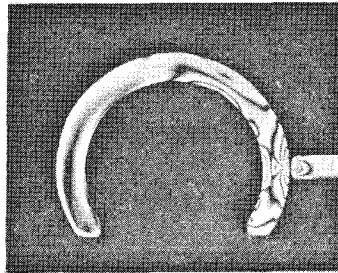


写真-5

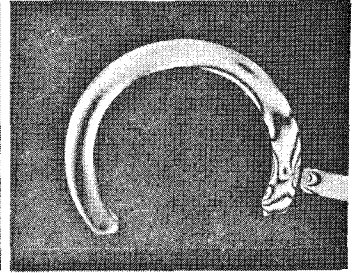


写真-6

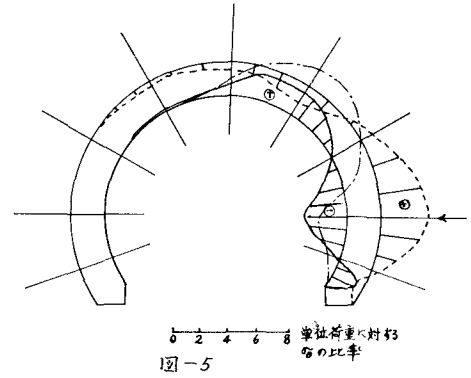
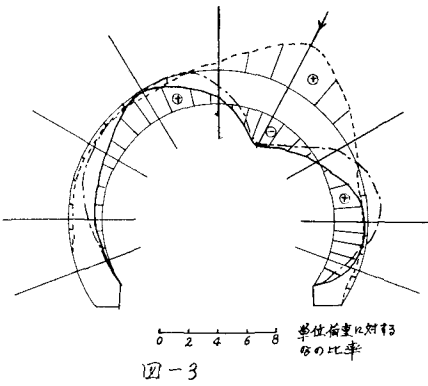
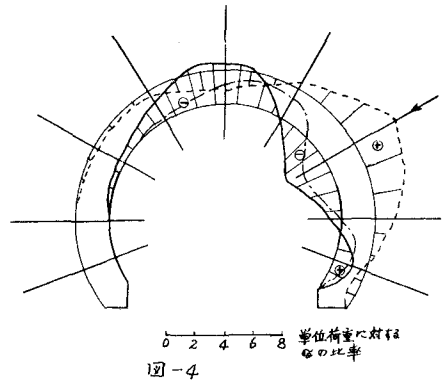
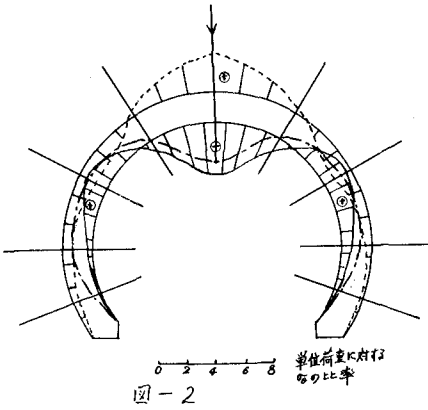
図-1は模型の寸法を示す。主働土圧に該当する圧力の作用する格点番号は、図-1の①②……⑤である。この格点にスリットよりわずかにせまい角棒を通して、巻立に圧力を加え、地山と角棒との間に摩擦の生じないように考えた。写真-2～写真-6までは、図-1の格点①より⑤までのそれぞれの格点に主働土圧に該当する圧力が1ヶだけトンネル断面半径方向に作用したときの光弾性実験による等色線写真である。各写真において、載荷した圧力の大きさは5ヶとも同じである。又それぞれの等傾線も測定した。

光弾性実験より求めた等色線、等傾線を用いて、巻立内縁の自由面の境界条件により、*Shear difference method* により、断面の半径方向の径路にそって応力計算を行い、格点①より⑤までにそれぞれ単位荷重の主働土圧が作用したときの巻立内縁、外縁の接線方向の σ_{θ} の分布を求めたものを図-2より図-6までに示してある。又図-1の格点②より⑤にそれぞれ単位主働土圧が作用したときの σ_{θ} の分布は、図-3より図-6までのものと左右対称であることより求められる。

図-2の分布は拱頂格点①に単位主働土圧が作用した場合であるが、巻立内縁 σ_{θ} の分布は拱頂付近では σ_{θ} が引張応力で、トンネル側壁部は圧縮応力である。

図-3の格点②に単位主働土圧が作用したときの巻立内縁 σ_{θ} の分布は図-2の分布図を右に回転したようになっている。これと図-2、図-3の場合は前回の研究²⁾とよく似ている。

次に図-4の格点③に単位主働土圧が作用したときは、図-3をさらに右に回転したような σ_{θ} の分布を示すが、前回の研究²⁾に比べて、主働土圧作用点附近の引張応力の生ずる範囲が大となり、トンネル頂点附近に最大圧縮応力が生じている。図-5の格点④に単位主働土圧が作用したときは、図-4をさらに右に回転したような σ_{θ} の分布となっている。図-5は前回の研究²⁾と異なりトンネル側壁基礎



底面附近に圧縮応力が出ている。その原因は試料のトンネル側壁底面を地山の中に掘り下げて固定したためと考えられる。

図-6の格点⑤に単位主働土圧が作用したときは、側壁基礎底面には、前回の研究²⁾の場合と異なり、巻立内縁部は引張応力が表われている。これも試料のトンネル側壁底面が地山の中に固定されたためと考えられる。

1) G. Sonntag : Der Bauingenieur 31 (1956)
Hft 11, pp 408~412

2) 土木学会第22回年次学術講演会講演概要第Ⅲ部
Ⅲ-131

