

九州大学工学部 正会員 榎木 武

九州大学工学部 学生員 田代 幸英

1. はじめに. 軟弱地盤内のトンネル掘削によって発生する粘性地圧は、覆工施工時期、地山の物理的性質、土被り、トンネル底と下部堅岩盤間距離およびトンネル形状によつて異なることが推測されるが、その諸特性はレオロジー論的立場から解明せねばならぬのは当然である。著者等は先に、地山を3要素モデルから成立つ粘弾性体と仮定して得られた応力-ひずみ関係式を本題解析の基礎式として活用し、また基礎式の時間に関する離散化の精度を良くするために演算上若干の工夫を行なうごとく解析手法を提案したが、本研究は、この著者等の手法を用いて粘性地圧問題を解明せんとするもので、まずは地山解析領域の検討を行ない、次いで粘弾性定数、覆工剛度、側圧係数の変化に対して、覆工と地山との間にどのような相互作用があるかを考察するものである。

2. 解析概要. 対象とするトンネルは鉄道単線シールドトンネルを想定して土被り $H = 14 \text{ m}$ 、トンネル外径 $D = 7 \text{ m}$ (覆工厚 0.5 m) の円形断面とした(図-1)。また地山定数を $E^0 = 1.0$ とし、 $\nu^0 = 0.35$ 、覆工定数を $E_c/E^0 = 100$ (規準)、 $\nu_c = 0.15$ 、さらに $E^0/E^c = k$ 、 $H^0/C = \frac{2(1+\nu_c)}{3(1-2\nu_c)}$ をパラメータとして解析を行なうものとした。なお、解析手法に関する詳細な説明は文献(1)に述べているので省略する。

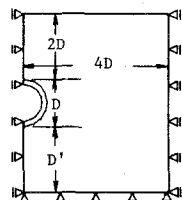


図-1

3. 地山解析領域の検討. 解析領域としては、トンネル底盤より堅岩盤までの深さ

$D' = iD$ ($i=2, 3, 4, 5$) を種々に想定して行なった。また水平幅に関しては、双設トンネルにおける弾性理論の結果を参照して $4D$ を取れば十分であると判断した。なお、この場合の定数として $k=1.0$ 、 $\nu_c=0.35$ を用い、時間無次元量 $T=(E^0/C^0) \cdot t = 0.4$ で覆工を巻くものとする。

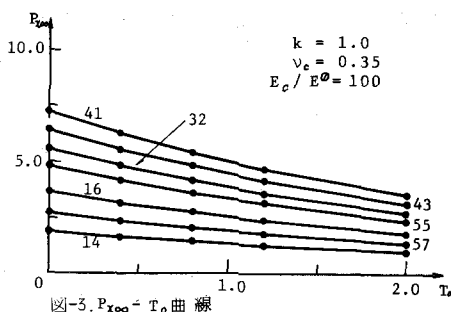
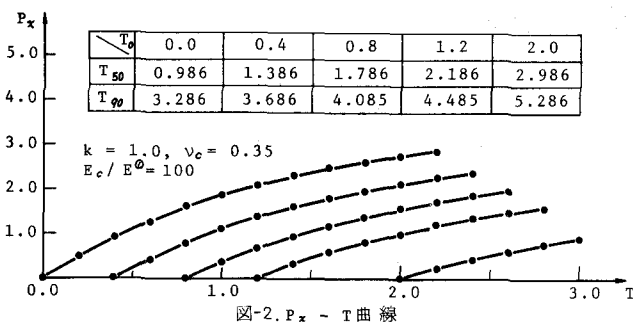
N.P	$D'=4D$	$D'=3D$	$D'=2D$
11	1.0000	1.0000	0.9999
14	1.0000	0.9998	0.9995
16	0.9999	0.9997	0.9992
32	0.9999	0.9996	0.9989
41	1.0000	0.9999	0.9996
43	0.9999	0.9999	0.9998
55	1.0000	0.9997	0.9995
57	0.9997	0.9993	0.9983
60	1.0004	1.0002	0.9992

表 1

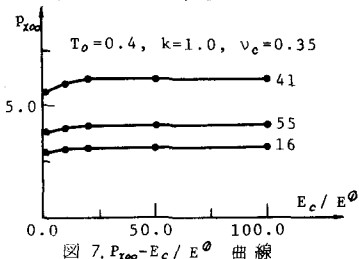
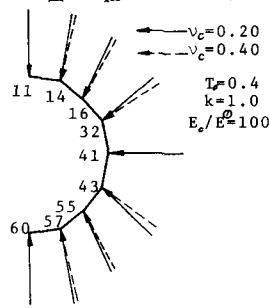
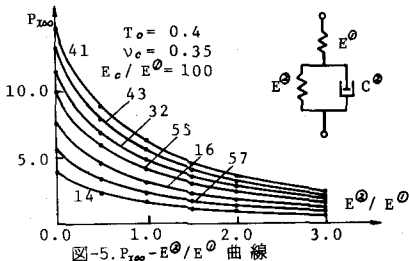
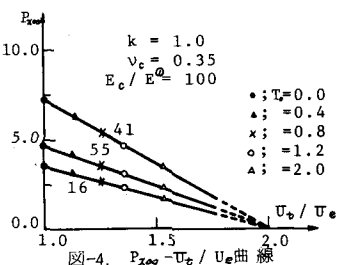
粘性地圧は覆工築造後だけに生ずるものではなく時間とともに変化し、その曲線形状はフリース曲線と類似したものになり、ある一定値に収束する(図-2参照)。Dが変わってもこの曲線はほぼ同じ結果となる。すなわち各Dの値に対して、T $\rightarrow$ ∞の終局地圧を曲線帰帰により求め、D'=5Dとの差異を示せば表-1のとおりである。

これによれば、終局地圧は節点の位置によって若干変動するものの、そのオーダは小さく無視でき、したがって、下部境界の位置の相異は粘性地圧算定の上ではほとんど影響ないといえ、この意味で比較的浅い位置に下部境界を近似的に導入することは何ら問題はないといえる。しかし、下部境界の位置はトンネルの変形や地表面沈下には大いに影響がある。すなわち、トンネル底盤以下の節点における鉛直変位を調べてみると、D'が5Dから2Dになるにつれて異なった値を示している。しかしながら、その変位はほぼ一定の割合で減少し、D'=3D, 4D, 5Dのケースにおいて、トンネル底より2Dの位置に対する相対的変位を求めるとあまり大差ない結果が得られる。したがって、変形の絶対量について論ずるのではなく、トンネルや地表面の相対的変化を論ずる場合には、トンネル底盤以下の解析領域を2Dとして差支えないと思われる。ゆえに、粘弾性定数の変動にともなう覆工作用地圧の検討およびトンネルや地表面の相対的変化の検討にあたっては、解析領域をトンネル底盤より2Dと定め、かつ幅をトンネル中心より4Dとして行なうものである。

4. 計算結果および考察. 図-2は、トンネル孔周縁斜め上方45°の位置にある節点(N.P16)に発生する粘性地圧に関して、覆工施工時期を0.0, 0.4, 0.8, 1.2 および2.0とする場合の地圧増加曲線(X方向)を示すものである。終局地圧の50%および90%の地圧に相当する時間(T_{50} , T_{90})を、帰帰曲線式から求めれば図中の表のようになる。これによれば、施工時期がずれる時間分だけ時間 T_{50} , T_{90} はずれていることがわかる。他の節点の曲線に



ついても同一の T_{50}, T_{90} が得られる。施工時期の違いによって終局地圧がどのように変化するかを示せば図-3のとおりである。施工時期 T_0 を遅らせると終局地圧はゆるやかな凹形の曲線で減少し、 $T_0 = 2.0$ で $T_0 = 0$ の場合のほぼ半分になることがわかる。覆工築造後トンネル孔周縁の変位は拘束されるが、その拘束されるまでの節点変位と弾性変位との比を終局地圧との関係においてプロットすれば図-4が得られる。両者の関係は直線式で与えられ、 $U_t/U_e = 2.0$ の点に集中する。図-5は、 E^0/E と終局地圧との関係を示すものである。 E^0/E が大きくなると終局地圧は急激に減少し、次第に0に漸近している。 $E^0/E = \infty$ の場合は弾性地山の状態にあり、 $E^0/E = 0$ の場合は地山をMaxwellモデルと仮定する場合に相当する。次に粘性に関する定数 λ が0.20から0.40まで変化する場合は、 $T = 2.0$ における地圧状態を描くと図-6を得る。 λ が大きくなるに1たがい、地圧の作用線と又軸とのなす角は次第に減少し、覆工側壁に近づくにつれ、その変化は若干大きくなる。しかし、その変量は微小であり、実質の粘性地圧に対してはあまり影響ないように思われる。図-7は、覆工剛度と終局地圧との関係を示すものである。 E_c/E^0 の値が20.0程度までは終局地圧が急激に増加し、それ以降はほとんど変化がなくなることがわかる。



5. 結語. 以上の結果から、1) 地圧発生・進行経過は覆工施工時期の違いにかかわらず同一、すなわち時間に対する地圧増加の割合が同一である。2) 覆工施工時期と終局地圧との関係は指数関数的関係にあり、ゆるやかな凹形の減少曲線で表わされる。3) 覆工築造によって拘束されるまでの節点変位と弾性変位との比に対する終局地圧との関係は、直線関係にあり、これは粘弾性定数 E^0 と E との比に関係する点に集中する。4) 粘弾性定数比 E^0/E と終局地圧との関係は、比較的急な凹形の指数曲線で表わされ、地山を3要素モデルと仮定した場合、 E^0 の影響が大きい。5) 覆工剛度と終局地圧との関係は、収斂の速い指数曲線で表わされ、 $E_c/E^0 = 20.0$ ではほぼ一定値に達する。

上記のように著者等は、地山解析領域の検討を行ない、覆工と地山との間の相互作用について論じてきたが、上述した要因のほかに、側圧係数、土被り、トンネル形状などが大きな影響を与えるものと思われる。これらについては講演時に発表することにする。

参考文献. 1) 樗木・田代; “覆工に作用する粘性地圧について(続報)” 第32回土木学会年次学術講演会報告集第3部, pp.382~383