

東洋大学工学部 正員 小泉 淳
早稲田大学理工学部 正員 村上博智
帝都高速度交通営団 正員 高橋 聡

1. 目的

シールドトンネルに作用する土圧はその土質条件によって、トンネル構築時から安定状態に至るまでの経過が異なると考えられる。そしてその経時変化が明らかでない現状から、シールドトンネルの二次覆工は一次覆工に対して補強の役目を果たしているという現実を認めながら、現行のシールドトンネルの設計法では一次覆工が覆工構造の主体であるとの考え方がとられている。しかしながら二次覆工完了後に累加される荷重に対しては、二次覆工で補強されたトンネルはセグメントリングと二次覆工のコンクリートリングとの合成構造として挙動するものと考えられる。本研究はこのように二次覆工後に既知の荷重が作用する場合を想定して、トンネル模型の室内実験とその結果を説明できる構造モデルについて考察を加え、二次覆工されたシールドトンネルの累加荷重に対する合理的な設計法について検討したものである。

2. 実験概要

実験に用いたトンネル模型はトンネル縦方向の単位巾を想定して Fig. 1 に示すように水平に置いた厚さ 16 mm の鋼製円環(SS41)の内側に厚さ 60 mm のモルタルを打設して作成した。用いたモルタルの配合重量比は水：セメント：砂＝1：2：5 であり、その $\sigma_{28} = 660 \sim 700 \text{ kg/cm}^2$, $E_c = 2.5 \sim 2.8 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ である。載荷方法は Fig. 2 に示すとおりであり、またトンネルに作用すると考えられる抵抗土圧を想定して弾性支承のパイプを図示のように配置した。測定項目は鋼およびコンクリート円環に生ずるひずみと円環の直径変化量である。

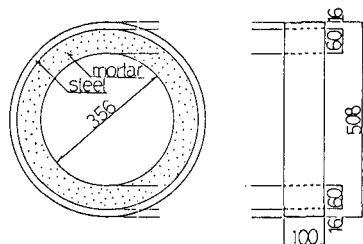


Fig.1 供試体形状寸法

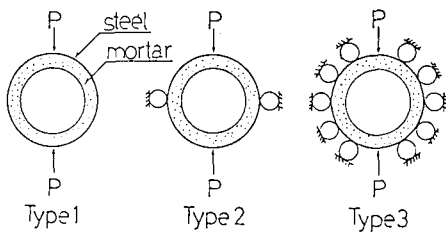


Fig.2 実験の TYPE

3. 理論的考察と実験結果

トンネル模型の実験結果を説明する解析モデルは Fig. 3 のように考え、解析方法はマトリックス法を用いた。即ち荷重をうけた鋼製円環が変形にともなうモルタル円環との力のやりとりは、円環部材要素の各節点に仮想した半径方向および接線方向ばねを通して行なわれる

と考えた。両円環が離向しないところは密着しているので、そのばね定数は無限大に近い値を用い、ばねに働く力が引張力となればその節点では両円環は離向すべきであるので、その節点に配されたばねは取り除く。このようにして剛性方程式を修正し、力のやりとりをする節点が確定するまで収束計算を行い、円環の断面力と変位の解析値を求めた。抵抗土圧を想定して配設した鋼管の作用は Fig. 3 に示すような半径方向ばねで示し、そのばね定数(K)は鋼管の圧縮試験から求めた値を用いている。この半径方向ばねについてもそれが離向するか否かは、円環相互の場合と同様な手法を用い、収束計算を行っている。

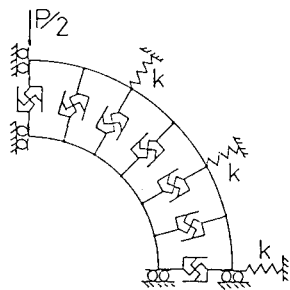


Fig.3 解析モデル

Fig. 4～6は、このようにして得られた解析結果と実験結果とを比較した一例である。Fig. 4およびFig. 5はモルタル円環にひびわれが発生するまでの、いわゆる弾性範囲内における曲げモーメント図であり、円環を展開して示してある。これらの図は $P=500\text{ kg}$ に換算した曲げモーメント図であって、図中○印は測定ひずみから算出した値を、また実線は解析値を示している。Fig. 5-a)の解析値を見ると、 $\theta=90^\circ$ および 270° 付近に凹凸が見られるが、これは円環に配した鋼管を評価する半径方向ばねの影響を表わしており、Fig. 2のType 3に示した鋼管のうちこれらの位置にある6本のみが弾性支承として作用することを意味している。これは実験で確認

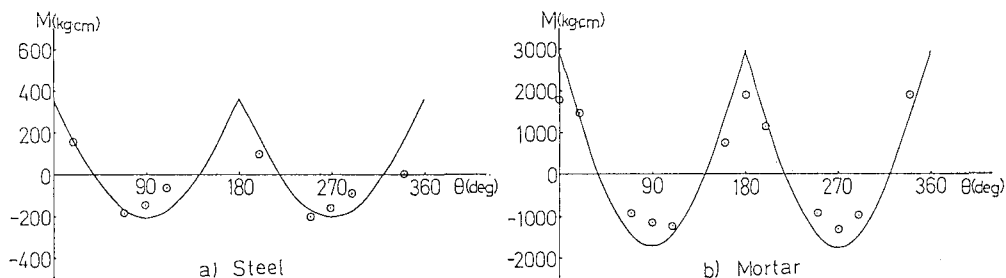


Fig.4 曲げモーメント図 (TYPE1)

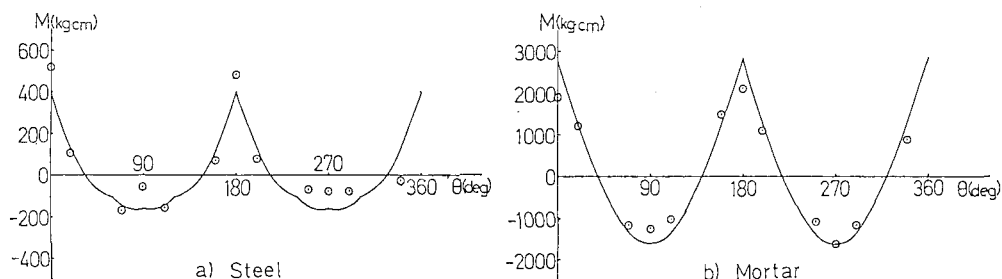


Fig.5 曲げモーメント図 (TYPE3)

れた事実と符合している。なお実験結果から円環に生じた曲げひずみ分布は、鋼製円環ではほぼ直線分布となったので、円環を真直梁と考え、コンクリート円環では曲線的分布になったので、円環を曲り梁と考えてそれぞれ曲げモーメントを計算している。

Fig. 6は荷重と荷重方向の直径変化量との関係を示したものである。図中に示した「ひびわれ発生前」とは両円環とも剛性一樣とした場合の解析値であり、「ひびわれ発生後」とはモルタル円環の荷重 P の作用方向位置にひびわれが発生したことを考慮して、モルタル円環のその位置の曲げ剛性を零に近い値とした解析値を示している。

4. 結語

Fig. 4～6に示すように解析値は実験値とよい符合を示している。このことから剛性一樣な鋼製円環をモルタルで二次覆工したトンネル模型の挙動をよく説明する解析モデルが提示できたと考えている。

今後セグメントの現実を想定して部分的に剛性を低下させた鋼製円環をモルタルで二次覆工したトンネル模型について実験を実施する予定である。

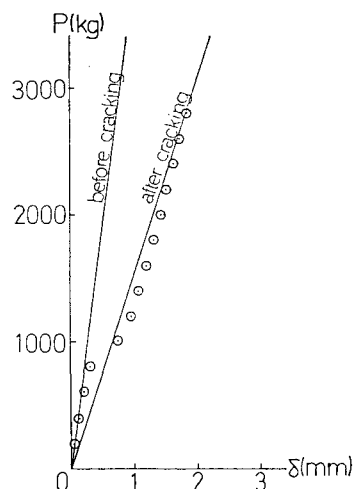


Fig.6 荷重方向直径変化量 (TYPE2)