

早稲田大学 理工学部 学生員 武藤 義孝
 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

1. まえがき

現行の設計法では、シールドトンネルに作用する土圧の経時変化が明らかでないために、現場打ちコンクリートによる二次覆工は構造の主体としては取扱われていない。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、一次覆工と二次覆工とは合成構造として挙動するものと考えられる。筆者等は、この様な荷重状態を想定して、剛性一様な鋼製内環の内側にモルタルで二次覆工した模型を用いて実験を行い、その結果をよく説明する解析モデルを提示した⁽¹⁾。本報告はセグメントリングの実情を考え、部分的に曲げ剛性を低下させた鋼製内環を用いて、モルタルで二次覆工したトンネル模型について前回と同様な実験を行い、その結果に検討を加えたものである。

2. 実験概要

実験に用いたトンネル模型は、Fig. 1に示すように厚さ16mmの鋼製内環(SS41)の内側に厚さ60mmのモルタルを打設したものである。鋼製内環にはセグメント継手を想定して幅3mm、深さ5mmの溝を60度間隔に6カ所設けた。内環に溝を設けることによる剛性低下を評価するにあたって、Fig. 2に示すように内環と同様な溝を有する単純ばりを考え、これを回転バネをもつ剛性一様なばりにモデル化した。その回転バネ定数 K_θ の理論式は次式で示される。

$$K_\theta = \frac{E}{I \left(\frac{1}{I} - \frac{1}{I'} \right)} = 11.5 \times 10^6 \text{ (kgcm/rad)}$$

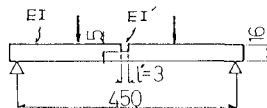


Fig. 2 はり試験体

なお、このばりの載荷試験の結果はこの理論式とよく

一致している。Fig. 3は、この様にして求めた回転バネ定数 K_θ が溝を有する鋼製内環にも適用できることを実験より示したものである。また、二次覆工に用いたモルタルは配合重量比、水:セメント:砂=1:2:5であり、 $\rho_c=468 \sim 578 \text{ kg/m}^3$ 、 $E_c=2.2 \sim 2.4 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\rho_t=21 \sim 24 \text{ kg/m}^3$ であった。載荷方法はFig. 4に示すとおり水平載荷である。供試体の外側には抵抗土圧を想定した鋼管を配置した。そのバネ定数は2484 kg/cm であり、これは鋼管の圧縮試験より求めた。測定項目は鋼とモルタル両内環に生ずるひずみと内環の直径変化量である。

3. 理論解析モデル

解析モデルはFig. 5に示すとおりで、鋼製内環とモルタル内環との力のやりとりは、円弧部材要素の各節点に仮想した半径方向と接線方向のバネを通して行われるとした。両内環が離間する節点ではバネを取り除き、離間しない節点では両内環は一体となっているのでバネ定数を無限大に近い値(10^{15} kg/cm)として、計算は両内環の力のやりとりをするバネの付く位置が確定するまで繰り返した。解析はモルタル内環を剛性一様とした場合(「ひびわれ発生前」)と、ひびわれが発生したことを考慮して荷重作用点直下のモルタル内環にヒンジを設けた場合(「ひびわれ発生後」)に分けて行い、それぞれ内環の断面力と変位を計算した。

4. 実験結果

測定されたひずみから断面力(曲げモーメントと軸力)を計算するにあたって、内環の各断面におけるひずみ分布は半径と厚さとの比を考慮して、鋼製内環では直線分布、モルタル内環では双曲線分布と考えた。Fig. 6~8はこの様にして

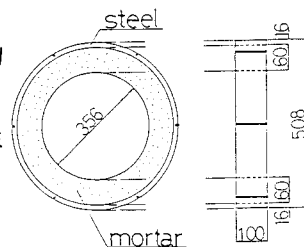


Fig. 1 供試体形状寸法

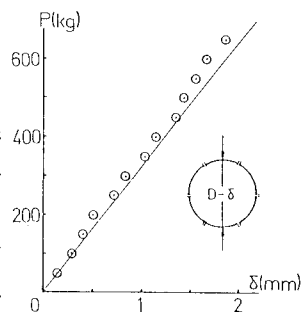


Fig. 3 内環の荷重方向直径変位量

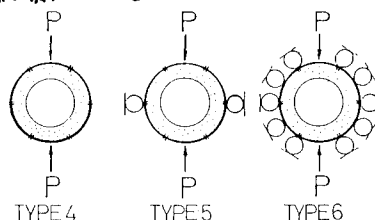


Fig. 4 実験TYPE

求めた曲げモーメントの実験結果と解析結果とを比較したものである。図中○は実験値を、また実線は解析値を示している。Fig. 6およびFig. 7は「ひびわれ発生前」の鋼製内環とモルタル内環の曲げモーメント図であり、荷重 $P=200$ kgに換算している。Fig. 8は「ひびわれ発生後」の曲げモーメント図であり、荷重 $P=1500$ kgに換算している。Fig. 7-a)およびFig. 8-a)の解析値を見ると、 $\theta=90^\circ$ と 270° 付近に弾性支承のバネの影響が表われていることがわかる。Fig. 9は荷重と直径変化量との関係を示したものであり、○および実線は曲げモーメント図と同様である。

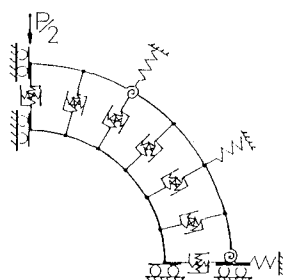


Fig.5 解析モデル

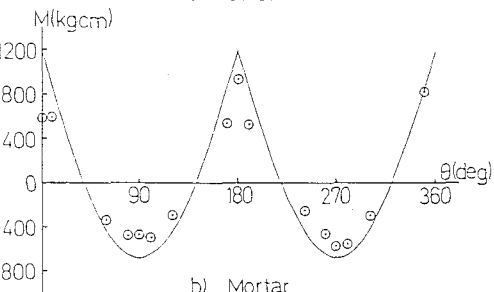
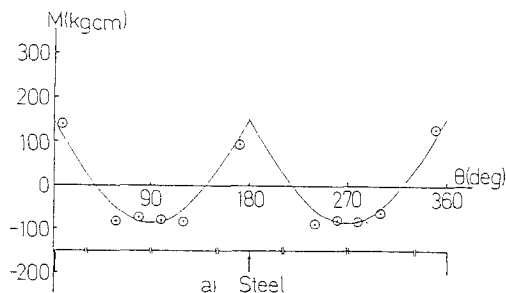


Fig.6 B.M.D. before cracking (TYPE 4)

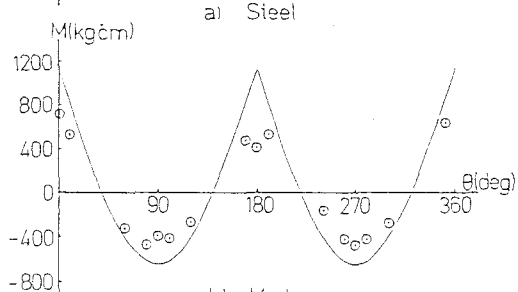
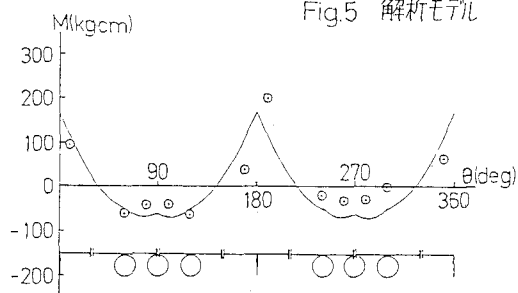


Fig.7 B.M.D. before cracking (TYPE 6)

5. まとめ

Fig. 6~9に示したように実験結果と解析結果はよい符合を示している。このことは提示した解析モデルが、本実験に用いた部分的に剛性を低下させた鋼製内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できていることを示している。

今後は、両内環の間にジベルを配置した場合や二次覆工のモルタルに補強を加えた場合などについての検討を行う予定である。

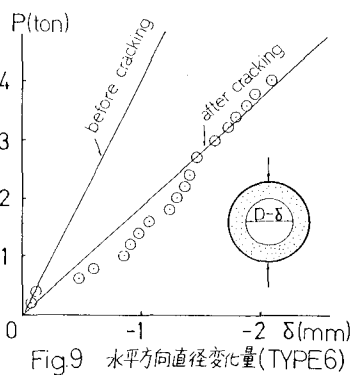


Fig.9 水平方向直径変化量 (TYPE 6)

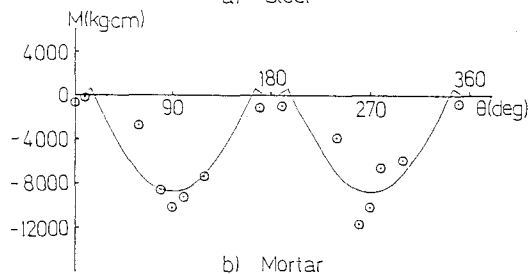
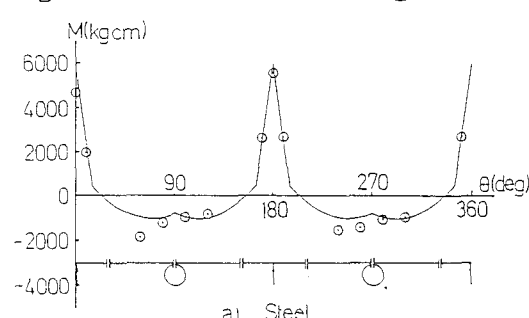


Fig.8 B.M.D. after cracking (TYPE 5)