

III-463

シールドトンネルの軸方向剛性評価実験 （その6）軸圧縮・軸引張実験結果と解析

飛島建設（株） 正員 清水 隆史
（株）奥村組 水谷 善行
鉄建建設（株） 穴水 久雄

1. はじめに

本文は、シールドトンネルの軸方向剛性評価手法を確立するために、実物のコンクリートセグメント（外径2.95m, 13リング, 長さ11.7m）を使用して行ったシールドトンネルの軸方向の静的荷重実験の一連の報告¹⁾の続編である。

2. セグメント単独の軸圧縮・軸引張実験結果と解析

（1）軸対称FEMによる解析

昨年の報告（その3）¹⁾で述べたシールドトンネルのセグメント単独の引張荷重時に対し、セグメント3リング分を取り出し、図1のモデルにより軸対称FEM解析を行った。解析結果を図2、図3に示す。

セグメントおよび継手1リングあたりの軸方向変位は0.177mmであり（図2）、10リング分の軸引張剛性 Kt を求めると、 $Kt=N/10\delta=51.4\text{t/mm}$ となる。これは実験による供試体全体の軸引張剛性 $Kte=46.0\text{t/mm}$ にほぼ近く、このような軸対称FEMでセグメントの軸方向剛性が評価できると考えられる。

図3より、継手付近で応力集中が生じ、またセグメント中央で内径側のひずみが外径側の約2.5倍となっていることがわかる。

図4に示すように、セグメント中央の断面内のひずみ分布の解析値は、実験値の平均値にほぼ一致している。ひずみが台形分布となるのは、継手がセグメント厚125mmに対し内径側から45mmの位置にあり、内径側に偏心していることが原因であると考えられる。

図5に圧縮荷重150t荷重時のひずみ分布（④リング内）を示す。外径側のひずみが内径側に比べ小さいのは、内径側の端面がより強く接触しているからと考えられる。

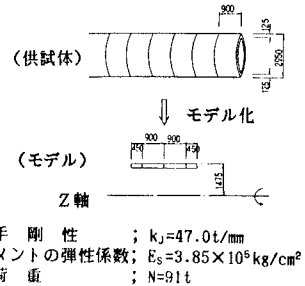


図1 軸対称FEM解析モデル図

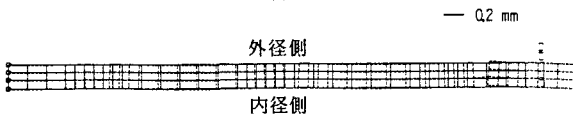


図2 軸対称FEM解析結果（変位図）



図3 軸対称FEM解析結果（主応力図）

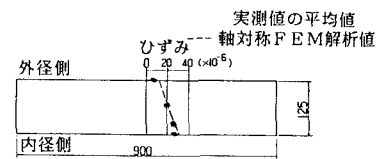


図4 セグメント断面の引張ひずみ分布(N=91t)

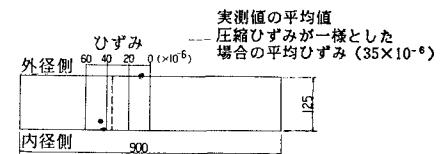


図5 セグメント断面の圧縮ひずみ分布(N=-150t)

3. 二次覆工後の軸圧縮・軸引張実験結果と解析

（1）実験の概要

当実験は二次覆工後のシールドトンネルの軸圧縮・軸引張実験である。二次覆工にクラックが入る前の弾性範囲内の挙動を求めることを目的とし、軸圧縮力150t～軸引張力72tの範囲で交番荷重した。

（2）軸方向剛性

供試体全体の変位の計測結果を図6に示す。剛性がほぼ一様となった最終ステップでの割線剛性として、供試体全体の軸圧縮剛性 $Kce=504\text{t/mm}$ 、軸引張剛性 $Kte=404\text{t/mm}$ が得られる。図7に荷重と接線軸剛性の関係を示す。二次覆工コンクリートの存在により、荷重の大きさに関係

なく軸剛性がほぼ一様となっている。セグメントと二次覆工を全断面有効と考え、供試体の軸剛性 K を求めると、 $K=(EA+E_L A_L)/10\delta s=728\text{t/mm}$ となり、実験結果の軸剛性の有効率は今回の荷重レベルで圧縮側 $K_{ce}/K=70\%$ 、引張側 $K_{te}/K=55\%$ となる。

(3) 軸対称FEMによる解析

引張載荷時に對し、2. (1)と同様に軸対称FEM解析を行った。解析結果を図8、図9に示す。

FEM解析による軸引張剛性 K_t は、 $K_t=N/10\delta=480\text{t/mm}$ (図9より $\delta=0.015\text{mm}$)となり、実験値 $K_{te}=404\text{t/mm}$ より多少高めとなっている。

軸引張力作用時のセグメント中央の断面内のひずみ分布は、セグメント単独の場合と同様に内径側が大きく外径側が小さい傾向を示し、FEM解析と実験値はほぼ一致した(図10)。

軸圧縮力作用時の外径側のひずみ分布は小さかったが、他の部分ではほぼ一様なひずみ分布となっており、理論値に近い(図11)。

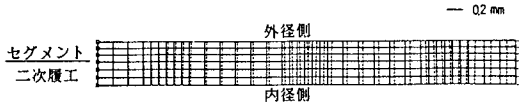


図8 軸対称FEM解析結果(変位図)

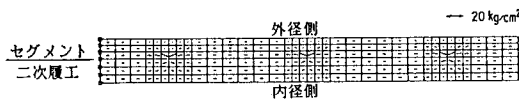


図9 軸対称FEM解析結果(主応力図)

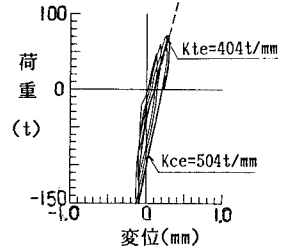


図6 供試体全体の軸方向変位

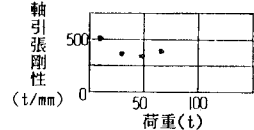
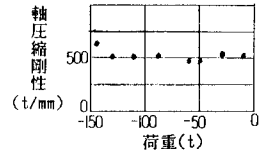


図7 荷重と接線軸剛性の関係

(4) 等価バネモデル

セグメント、継手、二次覆工の合成構造の等価軸引張剛性を評価するためにバネモデルを作成した(図12,図13)。このモデルでは、二次覆工を見かけ上継手対応部とセグメント対応部に分離し、図13に示すように並列バネとする。二次覆工の長さを区分する継手影響係数 α を、パラメータ・スタディにより、バネモデルの等価軸引張剛性が軸対称FEMの等価軸引張剛性に一致するように求めると、今回の供試体では、 $\alpha=0.20$ であった。

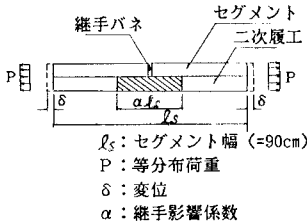


図12 継手付近の
二次元FEMモデル

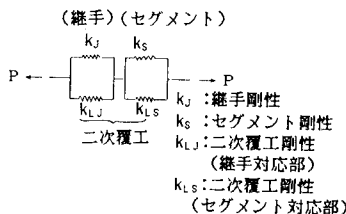


図13 継手付近のバネモデル

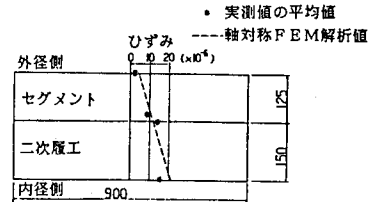


図10 セグメント断面の
引張ひずみ分布($N=72\text{t}$)

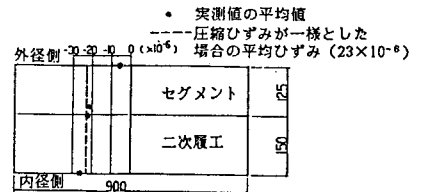


図11 セグメント断面の
圧縮ひずみ分布($N=-150\text{t}$)

4. まとめ

(1) セグメント単独および二次覆工後のシールドトンネルの軸引張載荷時の変位、ひずみ分布は、軸対称FEMモデルで解析できる。

(2) 二次覆工後の軸引張剛性は、継手影響係数 α を導入した等価バネモデルで評価できる。

参考文献

(1) 松島、水谷、松岡他；シールドトンネルの軸方向剛性評価実験(その1)～(その5)、

土木学会第42回年次講演会、III-285～289