

III-505 シールドトンネルの軸曲げ剛性の評価

榑 鴻 池 組 正会員 ○浜野 隆司
 榑 鴻 池 組 正会員 内田 博之
 久保田鉄工榑 渡辺 仁

はじめに

地震や不同沈下を受けるシールドトンネルの変形や応力を算定するには、地盤に支持されたシールドトンネルを適切な構造モデルで表現する必要がある。しかしながら、シールドトンネルはセグメントがシール材を挟んでボルト締めされた構造であるため、モデル化は必ずしも容易ではない。また、地盤がトンネルの変形にどのように影響するかについても、特にトンネルが大口径になると把握し難い。

シールドトンネルの軸方向剛性を把握するため、陸上でシールドトンネルを製作し載荷試験を行なった。

本論文では、シールドトンネルの軸方向剛性を把握するために実施した載荷試験より、軸曲げ試験によるシールドトンネルの軸曲げ剛性についてまとめたものである。

1. 試験概要

シールドトンネルは、外径5.4m、高さ5mのものを図-1に示すように組み立て、上下端のセグメント間を押し広げることにより引張荷重、上下端を結んだPC鋼棒を緊張することにより圧縮荷重を作用させ、断面に曲げモーメントを与えた（最大490tf・m）。

試験は、載荷パターンを図-2のような2種類とし、継手ボルトの締付トルクの大小、シール材の有無、輪環止水材の有無をパラメータとして実施した。

試験では、載荷荷重毎に①セグメントの変位・ひずみ、②継手を含んだシールドトンネルの変位、③継手の目開き、④継手ボルトの軸力、⑤継手板のひずみ等を計測した。

2. 試験結果

図-3は、試験で求めた曲げ剛性であり、セグメントの全断面が有効として計算した曲げ剛性との比率で表わしたものである。また、同図には最大荷重作用時の中立軸の位置を示した。

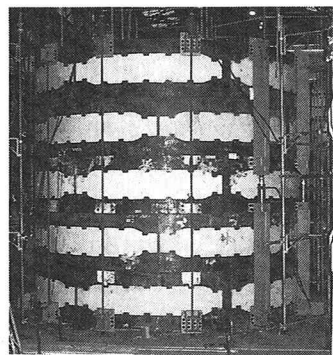


図-1 シールドトンネル

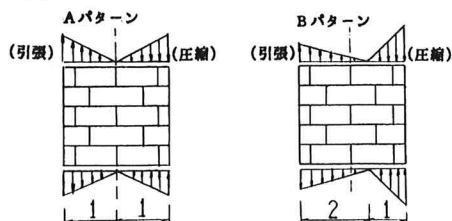


図-2 載荷パターン

記号	シール材	輪環止水材	締付トルク (kgf・cm)	中立軸のセンターラインからのずれ x (cm)
○	有	有	2000	158
△			5000	23
□		無	2000	81
◇			5000	28
---○---	無	無	2000	114
---△---			5000	83

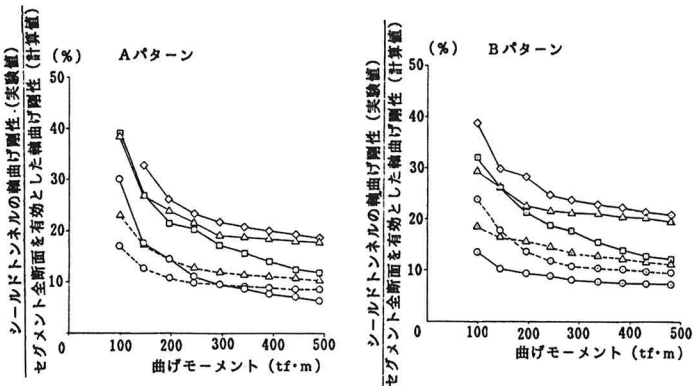
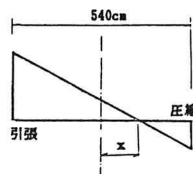


図-3 シールドトンネルの軸曲げ剛性

なお、今回の載荷試験では許容曲げモーメント $750 \text{ t} \cdot \text{f} \cdot \text{m}$ に対して $480 \sim 490 \text{ t} \cdot \text{f} \cdot \text{m}$ の載荷を行った。

これらの結果より、次のようなことが判明した。

- ① シールドトンネルの曲げ剛性は、作用曲げモーメントの小さい部分を除いてAパターンとBパターンの両方の載荷方法からほぼ同程度の値が得られた。
- ② シールドトンネルの曲げ剛性は、作用曲げモーメントが大きくなるにつれて小さくなった。シール材がある場合の曲げ剛性は、継手ボルトの締付トルクが大きい方が大きく、最大荷重作用時で $7 \sim 21\%$ 程度、シール材がない場合には締付トルクの影響をほとんど受けず $9 \sim 11\%$ 程度の値となった。
- ③ 中立軸のセンターラインからのずれは、継手ボルトの締付トルクが大きい方が小さい。これは、締付トルクが大きい場合には引張側断面での継手部の目開きがないが、締付トルクが小さいと継手部で目開きが発生し、引張剛性が低下するためと考えられる。

3. 曲げ剛性のモデル化

シールドトンネルの曲げ剛性は、中立軸を挟んで圧縮側と引張側でバネの異なる図-4のようなモデルで評価できると考えられる。

図-5は、軸圧縮試験および軸引張試験で求めたバネを用いて、シールドトンネルの曲げモーメントによる変位を求め、実測値と比較したものである。

この結果をみると、計算値と実測値はほぼ一致していると考えられる。

このことより、シールドトンネルの軸引張剛性と軸圧縮剛性が求められ、シールドトンネルを図-4のようにモデル化することにより、軸曲げ剛性が求められ

と思われる。

おわりに

今回の軸曲げ試験結果をまとめると、大略つぎのようになる。

- ① シールドトンネルの軸曲げ剛性は、今回の載荷荷重の範囲では、セグメント全断面が有効と考えた場合の剛性に対して、 $7 \sim 21\%$ の値が測定された。
- ② シールドトンネルの軸曲げ剛性は、軸引張剛性と軸圧縮剛性が求まっていれば、図-4のようにモデル化することによりほぼ求めることができる。
- ③ 今回使用したダクタイルセグメントは、全断面が有効とはなっておらず、継手部の剛性も含めるとシールドトンネルの軸曲げ剛性はかなり小さい。このように、シールドトンネルはかなり柔構造となっており、地震や地盤沈下に対応しやすい構造であることが再確認できた。

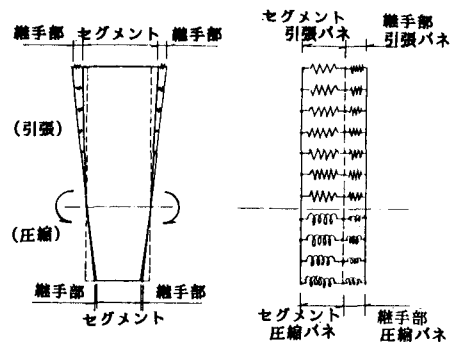


図-4 軸曲げ剛性のモデル

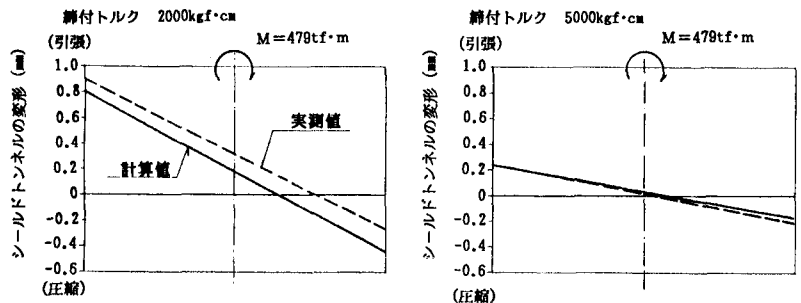


図-5 曲げモーメントによる変形