

III-503 シールドトンネルの軸圧縮剛性の評価

橋 鴻 池 組 正会員 小野 紘一
 橋 鴻 池 組 正会員 ○松村 誠
 久保田鉄工 堀木 雅之

はじめに

地震や不同沈下を受けた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ド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、この載荷試験から圧縮試験時のシールドトンネルの軸圧縮剛性について述べる。

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リングをP.C鋼棒で結んで12台のセンターホールジャッキで緊張することにより、軸圧縮荷重（最大600tf）を作用させた。試験ケースは、継手ボルトの締付トルクの大小、シールド材の有無、輪環止水材の有無について7ケース実施した。載荷荷重ごとに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。

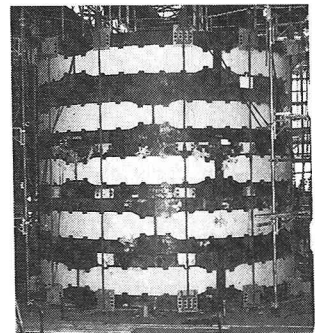


図-1 シールドトンネル

2. セグメントの軸圧縮剛性

シールドトンネルの剛性は、セグメントと継手部が直列のバネとして評価できる。今回試験を行なったダクタイルセグメントは図-2に示すような構造であり、これは同図に示すバネ系にモデル化できる。

図-3は試験で求めたセグメントの軸圧縮剛性であり、セグメント各部が全て有効として計算した剛性との比率で表わした。

この結果によると、セグメントの剛性は荷重の増加につれてやや大きくなる傾向にある。今回は載荷容量の関係で設計許容荷重3460tfに対し $P=600$ tfしか載荷できなかったが、この荷重レベルでの軸圧縮剛性は全断面有効に対して25~45%程度であった。

この原因は、セグメントのスキンプレートや背面コンクリートが100%有効にセグメントの剛性に寄与していないためと推定される。

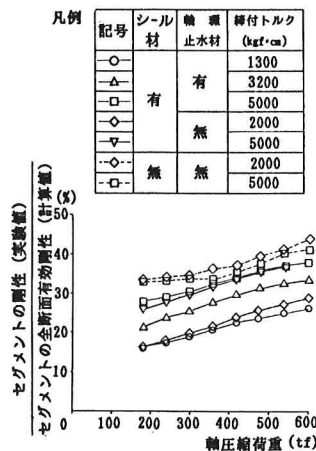


図-3 セグメントの軸圧縮剛性

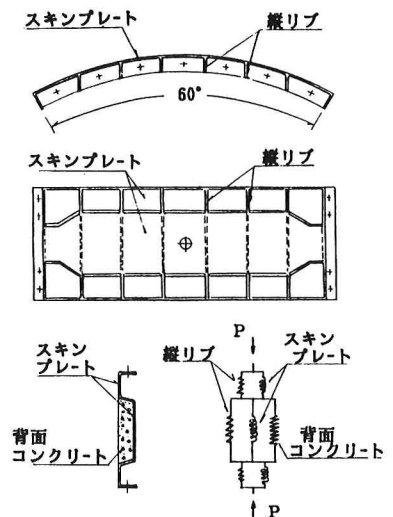


図-2 セグメントの構造とモデル

3. 継手部の軸圧縮剛性

図-4は継手部圧縮剛性の実測値である。締付トルク5000kgf・cmの場合の剛性は載荷荷重がボルト締付による導入軸力を上回る400tf付近で低下し始めている。これは図-5に示す継手部の剛性が、載荷荷重によってボルトの導入軸力が抜けるまではシール材と継手ボルトの並列バネ、抜けてしまうとほぼシール材のみのバネになるためと考えられる。

リング間にシール材がある場合の継手部剛

性は、継手ボルトの締付トルクが大きくなるにつれて大きくなった。これは、今回使用したシール材の剛性が導入圧縮力が大きくなるにつれて高くなるためであると推定される。表-1は継手部の実測剛性とシール材と継手ボルトのバネから求めた計算剛性を示したものであるが、この結果によると、計算値は実測値の35～45%の値となっている。これは、セグメントどうしが直接触れ合っている部分があるためと考えられ、このような場合には継手部の剛性を計算で求めにくい。なお、シール材がない場合の継手部剛性は計算で求めることは困難であるが、本試験では締付トルクによる影響はあまり受けず、 $0.64 \sim 0.8 \times 10^7$ tf/mの値が得られた。

4. シールドトンネルの軸圧縮剛性

図-6は、継手部を含んだシールドトンネルの剛性の実測値であり、セグメントの全断面が有効と考えたときの剛性ととの比率で表わした。

これより、シールドトンネルの軸圧縮剛性は、シール材のある場合には14～33%となっており、継手ボルトの締付トルクが大きくなるにつれて大きくなる傾向を示した。一方、シール材のない場合には、継手ボルトの締付トルクに関係なく28～29%となった。

おわりに

今回の圧縮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圧縮剛性は、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、セグメント自体で25～45%、継手部を含むと14～33%程度の値が測定された。

② 今回使用したシール材は、導入圧縮力が大きくなるにつれてその剛性が高くなる。このため、シール材がある場合の継手部剛性は、継手ボルトの締付トルクが大きくなるにつれて大きくなった。一方、シール材がない場合の継手部剛性は、継手ボルトの締付トルクの大きさによる影響はあまり受けず $0.64 \sim 0.8 \times 10^7$ tf/mの値であった。

③ 今回使用したダクトイルセグメントは、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としての剛性は軸圧縮力作用時でもかなり小さい。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。

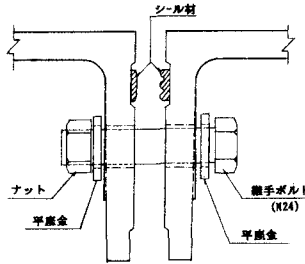


図-5 継手部の構造

	実 測 値 (tf/m)	計 算 値 (tf/m)		
		シール材	継手ボルト	合 計
締付トルクT=1300 kgf・cm (軸力 58tf)	0.27×10^7	0.10×10^7	—	0.10×10^7
締付トルクT=3200 kgf・cm (軸力186tf)	0.44×10^7	0.20×10^7	—	0.20×10^7
締付トルクT=5000 kgf・cm (軸力498tf)	2.47×10^7	0.21×10^7	0.77×10^7	0.98×10^7

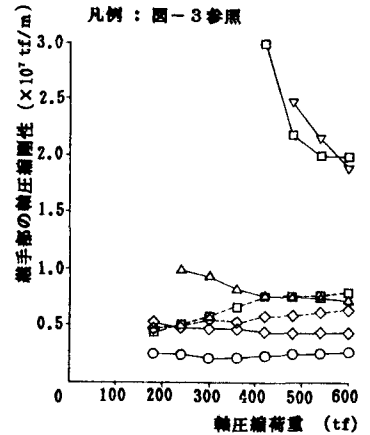


図-4 継手部の軸圧縮剛性

表-1 継手部の軸圧縮剛性

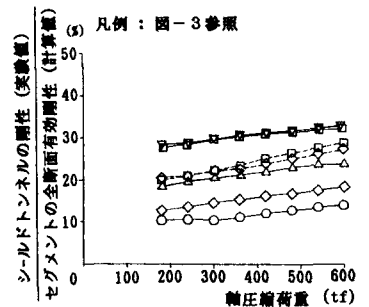


図-6 シールドトンネルの軸圧縮剛性