

III-1 断面内に軸力が作用したシールドトンネルの $\eta \cdot \xi$ に関する載荷試験

(株) 鴻池組 正会員 小野 紘一
(株) 鴻池組 正会員 嶋村 貞夫
(株) 鴻池組 正会員 ○浜野 隆司

はじめに

セグメントリングの設計に用いられる曲げ剛性の有効率(η)と曲げモーメントの割増率(ξ)は、セグメントの種類、セグメント継手の構造、リング間セグメントの接合方法等によって異なるばかりでなく、実物大実験結果によると継手ボルトの締付力に作用される¹⁾。また、実際のシールドトンネルには、土水圧により軸力が導入されるが、この軸力の大小によっても異なると推測される。今回、断面内に軸力が作用した状態での $\eta \cdot \xi$ を、ダクタイルセグメントを用いた5リング千鳥組シールドトンネル供試体の載荷試験を実施して求めた。本論文は、その結果の報告である。

1. リング載荷試験の概要

シールドトンネルは、外径5.4m、高さ5.0mのものを図-1に示すように組み立て、リング外周に取付けたPC鋼より線をセンターホールジャッキで緊張することにより軸力を導入した。今回導入した軸力は80、140、180tf/mであり、これは30、50、65tf/m²の外荷重が均等に作用した場合に相当する。表-1に試験ケースおよび載荷荷重を示した。載荷は、軸力導入後に図-2に示すようにリングの直径方向に通した3本のPC鋼棒を引張ることによって最大60tf作用させた。セグメント断面の応力状態は載荷荷重が10tf/mで、表-2に示す3状態となり、軸力180tf/mでは、載荷による曲げが作用しても全断面圧縮状態となる。試験は、導入軸力、セグメント間ボルトやリング間ボルトの締付トルクを変化させた9ケースで実施し、各荷重段階で、内空変位量、セグメントひずみを測定した。

表-1 試験ケースおよび載荷荷重

導入軸力		0(tf/m)		80(tf/m)		140(tf/m)		180(tf/m)	
セグメント間ボルト締付トルク(kgf・cm)	Ts	1300	5000	1300	5000	1300	5000	7000	5000
		○		○		○			
リング間ボルト締付トルク(kgf・cm)	TR	1300							
		○		○		○	○	○	○
最大荷重		60(tf)		60(tf)		54(tf)		48(tf)	
		載荷点での継手板応力が長期許容引張応力度(1600kgf/cm ²)付近の荷重		載荷点での圧縮応力が座屈許容応力度(1500kgf/cm ²)付近の荷重					

表-2 リングの応力状態
載荷荷重10(tf/m)作用時

セグメント断面の応力状態	①	②	③
導入軸力(tf/m)	80	140	180
隣接リングの最大曲げモーメント位置での応力分布	(引張)	(引張)	(圧縮)

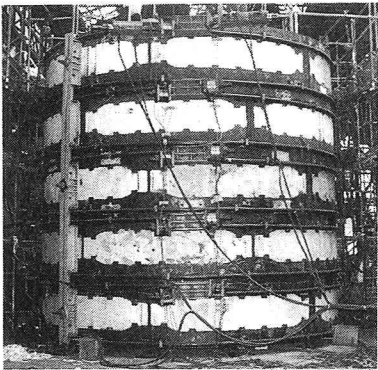


図-1 シールドトンネル

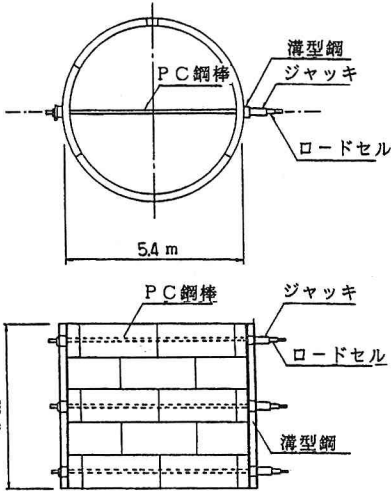


図-2 載荷方法

2. 実験結果

(1) 曲げ剛性の有効率 (η)

曲げ剛性の有効率は、実測の内空変位とセグメントを剛結リングとして計算した内空変位との比で算定した。セグメントの断面剛性は、別途実施した軸力作用下でのセグメント単体試験より求めた値を用いた。図-3は、有効率が最も小さくなる載荷点での有効率と載荷荷重の関係を示したものである。有効率は、載荷荷重が増加するに従って小さくなるが、初期の導入軸力が大きい程増加する傾向を示した。載荷荷重10tf/mでセグメント断面の応力分布が、①の状態での η は82%、②の状態では85%、③の全断面圧縮の状態では100%程度であった。

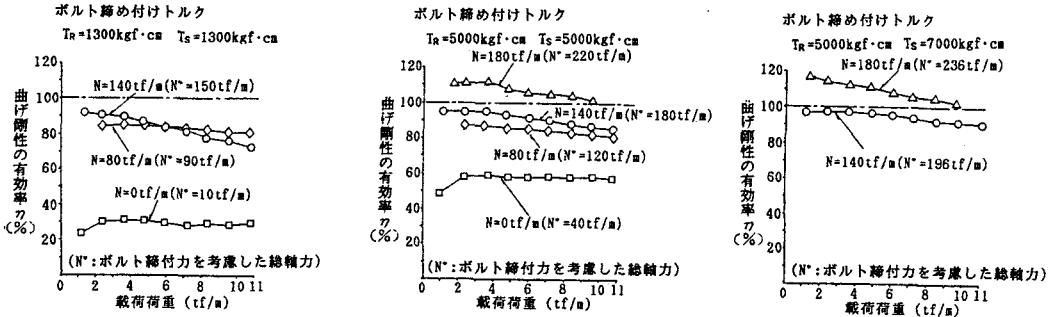


図-3 載荷点での有効率と載荷荷重の関係

(2) 曲げモーメントの割増率 (ξ)

曲げモーメントの割増率は、実測の最大曲げモーメント (M_m) とセグメントを剛結リングとして計算した曲げモーメント (M_{cal}) を用いて $\xi = (M_m / M_{cal}) - 1$ で求めた。実測曲げモーメントは、セグメントの実測応力度と軸力作用下でのセグメント単体試験により求めた断面係数を用いて算定した。図-4は、載荷点での割増率と載荷荷重の関係を示したものである。割増率は、載荷荷重が増加するに従って大きくなるが、初期の導入軸力が大きくなる程小さくなる傾向を示した。載荷荷重10tf/mでセグメント断面の応力分布が①の状態での ξ は20%、②の状態では16%、③の状態では6%程度であった。

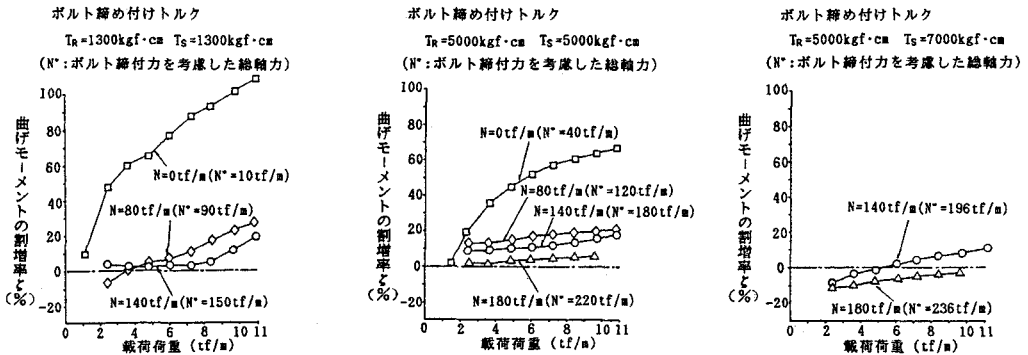


図-4 載荷点での割増率と載荷荷重の関係

おわりに

今回、セグメント断面に軸力が作用した状態での $\eta \cdot \xi$ をダクトイルセグメントのリング方向載荷試験により求めた。 $\eta \cdot \xi$ は、軸力の大きさによって大きく異なり、軸力と曲げによるセグメント断面内応力が圧縮状態に近づくに従い、 η は100%、 ξ は0%に近づく。シールドトンネルが高圧下で長大かつ大断面になるほど安全かつ経済的な断面設計には適切な $\eta \cdot \xi$ が必要であり、シールドトンネルに作用する土水圧による軸力を考慮した $\eta \cdot \xi$ を選定する必要がある。参考文献 1) 今野、相場、小野：シールドトンネルの $\eta \cdot \xi$ の評価 土木学会第42回年次学術講演会、昭和63年10月