

日本鉄道建設公団東京支社 正員 平岡治郎

日本鉄道建設公団東京支社 正員 ○ 島取孝雄

日本鉄道建設公団東京支社 矢吹俊一

1. トンネル設計上の問題点

日本鉄道建設公団が工事施行中の京葉線は、川崎市臨海を起点とし、東京湾岸を走り、千葉県木更津に至る延長約100kmの鉄道新線であるが、その大部分は、東京外環状線を形成する重要な路線である。このうち、東京湾横断部分に接続する13号埋立地付近は、単線並列シールドトンネルとして計画され、当公団が開港した大型泥水加圧式シールド工法により施行する予定である。

この付近の地質は、深さ40mに達する軟弱な沖積谷となり、新しく施行された埋立荷重と、いわゆる地下水吸上げの影響により著しい地盤沈下(地表16mm/年、トンネル下端8mm/年)が進行中である。トンネルの深さは、線路勾配の関係から、ほぼ、軟弱な厚の中間付近を通過せざるを得ない状況であるため、相当量の沈下(トンネル完成後の全沈下量1/40m)が避けられない見込みである。このため、不平等沈下によるトンネルの軸方向変形曲率半径は、

最小1,500m程度となり、従来の設計では構造物の破壊をまぬがれない。因みに、当公団が実施した「シールドトンネルの軸方向変形に関する実験」の結果では、外径7mのトンネルの許容最小曲率半径は、R.Cセグメント15,000m、合成セグメント6,000m、鋼製セグメント2,300m、鋼製セグメント(フランジ全溶接)3,000mと推定されている。このため、トンネルに所要の変形を与え、かつ、永く止水可能な接手として、セグメントリンク間にゴムガスケットを挿入した特殊なフレキシブル接手を考案し、トンネルの軸方向変形に対応させることとした。

2. 接手の設計方針

接手の設計方針として、「シールドジャッキ推力を利用してセグメントリンク間に挿入したゴムガスケットに所要の圧縮率を与へ、トンネルの軸方向変形によって生ずる接手部の伸縮を完全に吸収すること」を基本的な方針とした。そして、地盤沈下時におけるトンネルの挙動並びにゴムガスケットの材質、力学特性とその安定性、耐久性等を勘案しつつ種々検討の結果、フレキシブル接手の設計条件を表-1のとおり設定した。なお、ゴムガスケットの材質、形状等の諸性質については、数多くの試験と実験の必要性が認められた。

3. 実験方法

最初に、ゴムガスケットとして必要な特性、すなわち、耐圧縮性、耐壊性、耐オゾン性、酸化抵抗性および耐久性等に優れた性質を有するゴム材質を選定するため、適当な業種を決定し、広範囲の配合パターンから約200種の配合試験を行った。また、ゴムガスケットの力学特性については、パッキングの総合的な原型として、図-1に示す3種の基本型を選び、原寸模型を製作して基礎実験を行った。この実験の結果から選ばれた線形緩和型については、さらに18種の原寸模型を製作し、圧縮、剪断、クリープ等に関する各種実験を行って比較検討した。

表-1フレキシブル接手の設計条件

項目	内 容	設計条件
トンネル設計	セグメント 外 径	7m 500
	“ 厚 さ	300mm
	“ 中	900
トンネルの軸方向変形時の最小曲率半径		1,500m
接手部圧縮力	シールドジャッキ推力相当	2,000ton
接手部ゴムガスケットの変形量	接手の初期圧縮量	50% (ジャッキ推力による)
	ゴムガスケットの伸び量	80% (原寸の40%)以上
	ゴムガスケットの圧縮増量	5% (原寸の5%)
	ゴムガスケットの剪断変形量	40mm以上
接手部の強度および耐久性	許容水圧力	3kg/cm ² //
	許容土圧力	5kg/cm ² // (水圧相当)
	耐久性	90年間機能を維持すること

ゴムの耐久性については、もっとも懸念したところであるが、既往文献の調査とホカ緩和に関する実験より一応の確信を得ることができた。

4. 実験結果と考察

ゴムガasketの配合試験の結果、高圧縮下の伸縮性および止水性に必要な弾性保持に有利な天然ゴムと、地下条件下の耐久性に優れたネオプレンゴムをブレンドした基本配合を最適と認め、標準配合を表-2のとおり決定した。次に3種の基本模型について行った模型実験の結果は、表-3のとおりであり、これより緩衝緩和型の適性が認められる。さらに同型18種の原寸模型による比較実験では、ゴム形状と圧縮荷重の関係について次の実験式を求め、本設計への適用を容易にした。

$$\sigma = \sum F(Y_m) + \sum J(X_n - \sigma_0) \cdot P_n$$

ただし σ : 圧縮応力, $F(Y)$: パッキング部の圧縮応力, $J(X)$: 垂絡部の圧縮応力, σ_0 : 応力偏差, P : 効果係数(0.01)

また、ゴムの耐久性については、既往文献調査と合わせて行った実験結果より、ゴムのホカ緩和について次の実験式を求め、一応、90年間以上の機能保持が可能であることを推定した。

$$R_t = 0.83 - 0.022 \log t$$

ただし, R_t : 圧縮応力比, t : 時間

5. あとがき

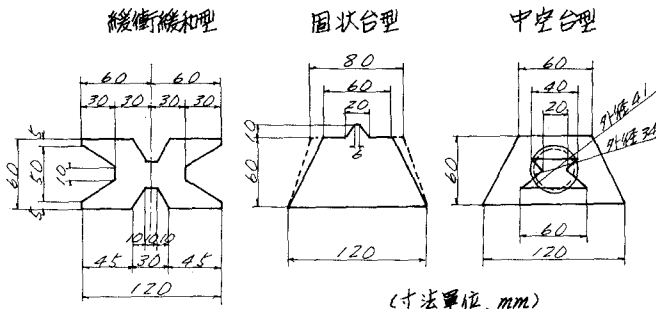
これらの実験にもつぎ、図-2に示すゴムガasketの設計を行うことができた。製品に対する確認実験の結果は、何れも実験および解析の結果と一致しており、十分満足すべきものであった。

なお、本研究にあたり多大のご協力を戴いた横浜ゴム株式会社小林および英野両氏に厚く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- (1) 内藤芳郎: トンネルの耐震構造について、トンネルと地下、1973-2
- (2) 鳥取秀雄: シールドトンネルの軸方向変形に関する実験、土木学会 文27周年次学術講演集 Ⅲ-144
- (3) W.E. Dunkley: パイアとパイプラインに使ったゴムの寿命、ゴム 1965-2

図-1 ゴムガasketの基本模型



(寸法単位, mm)

表-2 ゴムガasketの標準配合

類別	品名	重量(%)	効果
ゴム原料	ネオプレン(ポリクロロプレン)	約 50	耐久耐圧縮用
"	天然ゴム	" 10	耐強度耐圧縮用
補強充填剤	カーボンブラックその他	" 20	増強度、硬着用
調整剤	有機酸並びに石油留分	" 10	成型性改良用
耐圧縮用添加剤	Y-J 116154	" 5	圧縮緩和対策用
加硫剤	イオウ、チウム類その他	" 3	弾性率調整用
老化防止剤	ジアミン類	" 2	耐久性向上用

表-3 基本模型の物性比較

項目 型別	形態記号	ホカ分散性	圧縮変形性	圧着面圧	変形性			弾性率
					圧縮	剪断	伸縮	
緩衝緩和型	A-H型	A	A	A	39~55%	安定	安定	6~16 kg/cm ²
中空台型	A-V型	B	B	B	60%以上	不安定	不安定	9~15.3 kg/cm ²
固状台型	A-G型	C	C	B	45%以上	不安定	不安定	20%以上 kg/cm ²

図-2 ゴムガasketの本設計 (断面図)

