

PSVI-4 フレックスシールドシステムの開発

熊谷組 正員 木戸 義和
 熊谷組 正員 岡本 達也
 熊谷組 島津 久陽

1. まえがき

地下構造物が大型化・長距離化・複雑化しているなかで、シールドトンネルが軟弱地盤や地盤性状の急変する箇所に建設される場合には、地盤の不等沈下や地震、あるいは近接工事による荷重の変動に伴い、トンネルに許容以上の変形・外力が生じ、部材の降伏や漏水などが発生することが考えられる。従来より、この対策として可撓性セグメントやゴムガスケットが用いられてきた。しかし、覆工体は、地盤の不等沈下や地震などにより発生する変形に対処するだけでなく、シールドトンネルの覆工体としての機能性に富み、経済性かつ施工性に優れていることが必要である。

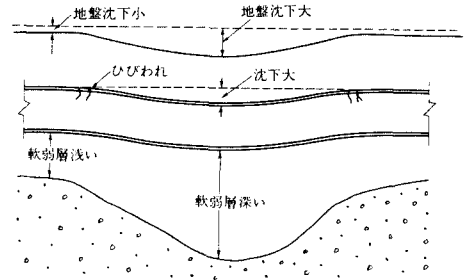


図-1 地盤の沈下とトンネルの変形

このような課題を解決するために、①地震や地盤沈下発生時にシールドトンネルに発生する変形量をシールドトンネル地震応答解析プログラム（TORSION）により算定し、②その変形量に応じ、ゴムと鋼板からなる積層状の可撓性ワッシャ（以下 積層ワッシャという）をセグメントのリング継手部に設置し、発生する変形量を吸収する「フレックスシールドシステム」を開発した。

2. シールドトンネルの挙動

従来より実施してきた研究結果から、現状の設計レベルとして、地震や地盤沈下発生時のシールドトンネル挙動を、次のように考えて良いことが分かった。

① 地震や地盤の不等沈下発生時には、シールドトンネルは、周辺地盤と同様に挙動する。すなわち、地震および地盤の不等沈下などの発生時にシールドトンネルに生ずる変形は、トンネルの剛性にかかわらず、地盤の挙動に応じてほぼ一定となり、断面力は剛性にほぼ比例する。

② 関東大地震クラスの地震時に、トンネル軸方向に発生する変形量は、トンネル長さ1mあたり、せいぜい1mm程度と考えられる。

③ シールドトンネルに発生する変形は、セグメントリングに比べて剛性が小さいリング継手部に集中する。

3. フレックスシールドシステムの概要

前述のシールドトンネルの挙動を考慮すると、地震や地盤の不等沈下等によりシールドトンネル部材に許容値以上の応力度が発生する場合にも、変形が集中するリング継手部で、わずかな変形量を吸収すればよいことがわかる。

フレックスシールドシステムは、図-2に示すシールドトンネルの地震応答解析プログラムで、地震や地盤の不等沈下時にトンネルに発生する変形量を算定し、その発生変形量に応じて、図-3に示すゴムと鋼板か

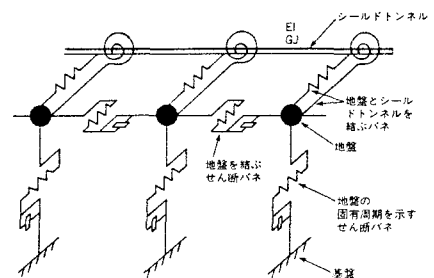
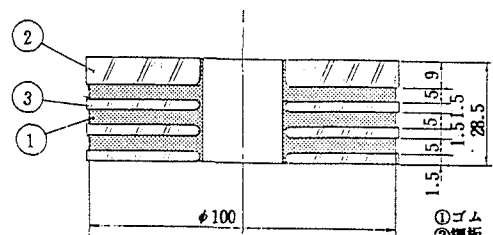


図-2 シールドトンネルの地震応答解析モデル（TORSION）

図-3 積層ワッシャ形状図
（φ7mクラス用）

らなる可撓性の高い積層ワッシャを、図-4、5に示すようにリング継手部に所定のトルクで締め付けて設置し、シールドトンネルの可撓性能を上させるものである。こ

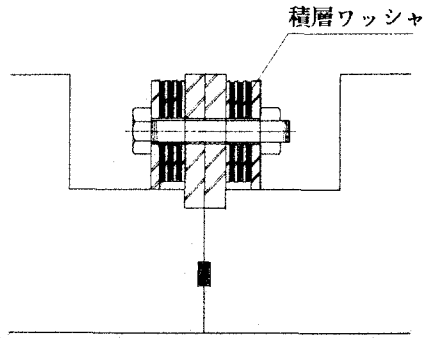


図-4 積層ワッシャ設置状況（1）

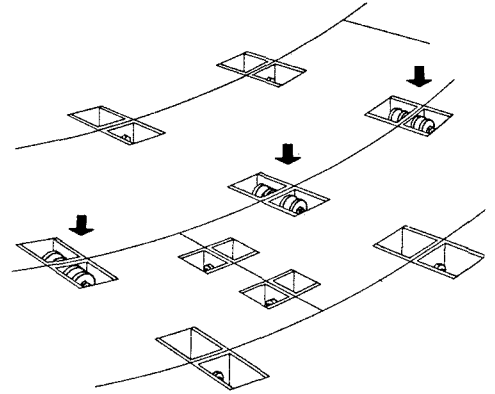


図-5 積層ワッシャ設置状況（2）

こに所定の締め付けトルクとは、締め付けによりリング継手ボルトに発生する引張応力度が許容応力度の50～80%となる力である。

積層ワッシャの設置間隔は、次式を基本に決定すればよい。

$$A = X \cdot B \cdot L$$

ここに、A：積層ワッシャの変形吸収量

X：安全率

B：解析等により求めたトンネル単位長さあたりの変形量

L：積層ワッシャの設置間隔

積層ワッシャは、図-6のように変形し、トンネルに発生する変形を吸収する。積層ワッシャを設置する継手部の軸方向変形吸収量は、止水性等を考慮して3mmに設定している。

軟弱地盤に建設されるφ10mクラスのシールドトンネルを例に地震応答解析を実施した。その時の積層ワッシャを設置しない場合と設置する場合における発生断面力の比較を、トンネルの耐力を100として表-1に示した。

4. フレックスシールドシステムの特長

フレックスシールドシステムの特長は次の通りである。

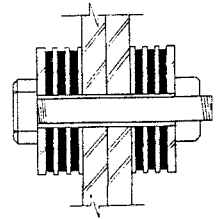
① トンネルに発生する変形量に応じて、積層ワッシャの設置間隔を容易に決定することができる。

② 積層ワッシャは、ゴムと鋼板から構成され、比較的大きい力に耐えることができるため、所定のトルクで締め付けることが可能となる。そのため、従来のシールドトンネルと同様に、安全性と止水性を確保することができる。

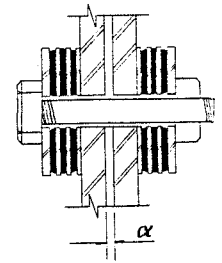
③ リング継手ボルトの径・材質に応じて、積層ワッシャの大きさ・厚さ等を設計できる。

④ 従来の可撓性セグメントや可撓性継手に比べて経済性・施工性に優れている。

設置時



引張変形時



せん断変形時

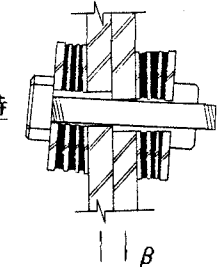


図-6 積層ワッシャ変形状況

表-1 トンネルに発生する断面力の比較（φ10mクラスによる解析例）

	積層ワッシャなし	積層ワッシャ設置	耐力
軸力 (tf)	239	27	100
曲げモーメント (tfm)	353	48	100
せん断力 (tf)	143	22	100