

VI-50 KRSワッシャーを用いたシールドトンネルの耐震継手の開発

棚鴻池組 正会員 ○河西 寛
 棚鴻池組 正会員 小野 紘一
 棚鴻池組 正会員 嶋村 貞夫

1. まえがき

シールドトンネル等の地中埋設管では、地震時や地盤沈下時に管軸方向継手部に引張力が集中するため、継手板や継手ボルトが損傷を受け易い。この継手部にトンネルの変形を吸収する軟らかくかつ弾性的なワッシャーを装着すれば、継手板や継手ボルトの損傷を防止することができる。このような特性を持ったワッシャーとして、KRSワッシャーを開発したので報告する。

2. シールドトンネルの耐震設計上の問題点

シールドトンネル等の地中に埋設された線状構造物は、一般にその見掛けの単位体積重量や剛性が周辺地盤と同程度かそれより小さいため、地震時には地盤の変形に追従して変形することが知られている。したがって、このようなトンネルの耐震設計は、地盤の変形がばねで表現した地盤を介してトンネルに作用するものと考えた応答変位法が用いられている。

図-1に示したシールドトンネルの耐震設計もこの応答変位法を用いて実施した。シールドトンネルの軸方向引張力作用時の軸方向剛性は、表-1(a)に示したようにセグメントとセグメント相互を連結する継手板および継手ボルトの直列ばねとして表わされる。

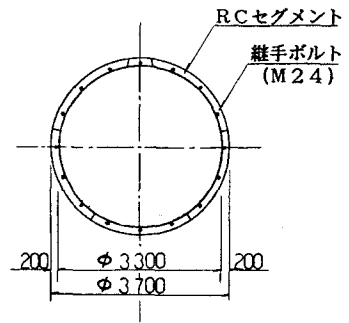


図-1 シールドトンネル一般図

耐震設計の結果、軸方向引張力作用時に継手板に許容応力度の3倍にも達する過大な曲げ応力が発生するため、この対策として、長尺の継手ボルトを使用する案や可とうセグメントを設置する案などが考えられた。しかしながら、長尺の継手ボルト案では、ボルト長が50m程度以上必要であるため現実的でなく、また、可とうセグメント案では可とうセグメントを10～20mピッチに配置する必要があるため不経済であった。

表-1 シールドトンネルの軸方向引張時の耐震設計例

		(a) KRSワッシャーを使用しない場合	(b) KRSワッシャーを使用した場合	許容応力度
シールドトンネルの軸方向引張時の剛性モデル				
各材のばね剛性 (tf/m)	セグメント KSG	8.80×10^6	8.80×10^6	
	継手ボルト KB	4.00×10^6	2.98×10^6	
	継手板 KB	1.65×10^6	1.65×10^6	
	KRSワッシャー KW	—	3.10×10^5	
系の等価ばね剛性 Keq (tf/m)		6.35×10^5	2.04×10^5	
軸力 $P = \sqrt{2P_n^2 + 2P_v^2}$ (tf)		320.8	103.8	
各材の応力度 (kgf/cm ²)	セグメントの引張応力	14.5	4.7	14.7
	継手ボルトの引張応力	4444	1438	4500
	継手板の曲げ応力	6410	2074	2100
	KRSワッシャーの圧縮応力	—	655	720

(注) 各材のばね剛性は1リング当たりのばね剛性

3. KRSワッシャーを用いた耐震継手の開発

前述したトンネルのひずみを吸収するため、リング間継手ボルト用のワッシャーとして、弾性係数は鋼材の1/100程度、強度は鋼材の1/3程度のKRSワッシャーを開発した。KRSワッシャーはエポキシ樹脂を主成分とするもので、加工性、耐候性、耐薬品性、絶縁性に優れており、軽く取扱いも容易であり、配合によって弾性係数や強度を変化させることができる。

KRSワッシャーを用いた耐震継手は、KRSワッシャーをリング間継手ボルト用のワッシャーとして介装しただけの簡易な構造であるが、耐震性に優れた柔継手であり、表-2に示した諸元のKRSワッシャーを使用すれば、表-1（b）に示したようにシールドトンネルの軸方向剛性が1/3に低下するため、継手板の曲げ応力は1/3に低下し許容応力度以内に収まる結果となった。

図-2にKRSワッシャーの取付状況を示した。

4. 実験による検証

シールドトンネルの軸方向引張剛性が、表-2に示したKRSワッシャーを使用することにより、計算どおりに低下するのか実験により検証を行なった。

実験はダクトイルセグメントを組立て、図-3に示す外径5.4m、高さ5mのトンネルを作成し、上下端のセグメントリング間をジャッキで押し広げることににより軸方向引張荷重（最大360tf）を作用させた。

図-4は実験で求めたシールドトンネルの軸方向引張剛性であり、実線がKRSワッシャーを用いた場合、破線がKRSワッシャーを用いなかった場合であり、KRSワッシャーを用いることにより軸方向引張剛性が約59%に低下していることがわかった。また、実験で求めたKRSワッシャーを用いなかった場合のシールドトンネルの軸方向引張ばねとKRSワッシャーのばねを直列ばねとした計算では、シールドトンネルの軸方向引張剛性は72%に低下する結果となった。これらの結果より、KRSワッシャーを使用することによりシールドトンネルの軸方向引張剛性は計算値以上に低下することが確認された。

5. あとがき

KRSワッシャーを用いた耐震継手は、可とうセグメントなどと比較すると簡易な構造でかつ安価なため、全てのリング間に施工することが可能である。したがって、シールドトンネルは全長にわたって耐震性の優れた柔構造になるものと考えられる。今後は、より高強度でかつ低剛性な材料・構造の研究開発を行なう予定である。

表-2 KRSワッシャーの圧縮剛性

外 径	44mm
内 径	26mm
厚 さ	1.3mm
断 面 積	9.90cm ²
弾性係数	23000~29000 kgf/cm ²
圧縮剛性	1.75~2.21×10 ⁶ kgf/cm

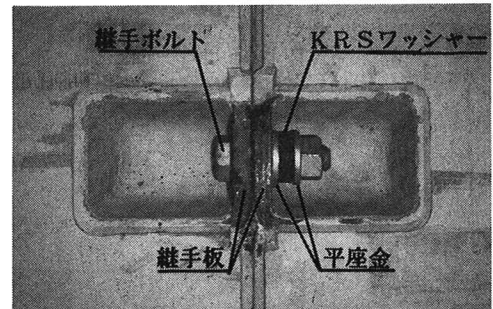
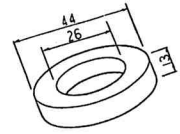


図-2 KRSワッシャーを用いた耐震継手



図-3 試験状況

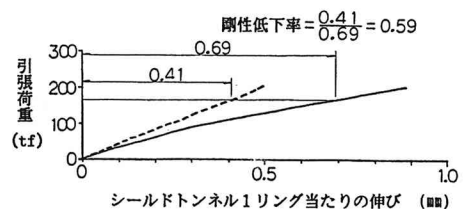


図-4 軸方向引張試験結果