

Ⅲ-B67

弾性ワッシャーの試設計

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 水上 博之*

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 木下 俊男*

1. はじめに

近年、耐震または不同沈下対策として、シールドトンネルの縦断方向の剛性を低下させる目的で、弾性ワッシャーをリング継ぎボルトに使用する事例が多くなっている。しかし、弾性ワッシャーに要求される性能が明確に整理されていない。そこで、本編は、弾性ワッシャーに要求される性能をまとめ、これに基づいて試算を行い、弾性ワッシャー設計上の流れをまとめたものである。

2. 弾性ワッシャーに要求される構造性能

弾性ワッシャーに要求される構造性能は、次のとおりである。

- 1) 地盤ひずみを吸収できる変形性能を保有すること
- 2) 継手部を構成する部材で最も弱い部材とならないこと

一般にリング継ぎボルトにおいては、セグメントの組立時に初期導入軸力を与えている。図-1 および図-2 の概念図に示すように、外力によるリング継手軸力が P_0 以内である場合は継手に目開きが生じないため、 P_0 以上の変形性能が地盤ひずみの吸収に寄与することとなる。セグメントと地盤の間が全く滑らないことを仮定すると、地震時地盤変位を弾性ワッシャーが吸収するためには、 $\delta_E - \delta_0$ の変形性能を保有しなければならない。また、弾性ワッシャーの設計を行う場合に重要な項目として、クリープによる応力緩和特性を十分に把握しておくことも挙げられる。応力緩和があまりにも大きいと、何等かの軸力が作用した場合に低応力で目開きが生じることとなり、シール材へのダメージまたは漏水が懸念される。

RCセグメントのリング継手部は、ボルト、継手板、アンカー筋で構成されていることが多い。これらの部材のうち弾性ワッシャーの強度が最も小さく、なおかつ脆性破壊を呈するとすれば、予想以上の地盤変位が生じた場合に、弾性ワッシャーが最も早く降伏し、急激に目開きが大きくなる可能性がある。

3. 弾性ワッシャーの試設計

『大規模地下構造物の耐震設計法・ガイドライン（案）』の応答スペクトルを用い、地盤を想定して計算した地盤ひずみの例を表-1 に示す。リング継手1ヶ所に発生する地震時地盤変位は、セグメント幅に相当する地盤ひずみの総和である。そこで、セグメント幅を1.5mと仮定すると、約2.4mmの地盤変位をリング継

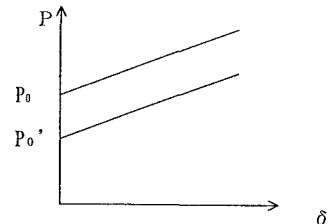


図-1 継手導入軸力と継手目開きの概念図
 P : リング継手一箇所当りの作用軸力 (kN)
 P_0 : リング継ぎボルト初期導入軸力 (kN)
 P_0' : 弾性ワッシャー応力緩和後の残存軸力 (kN)
 δ : 継手の目開き (mm)

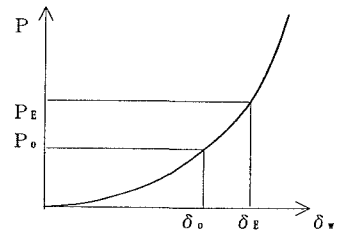


図-2 継手導入軸力と弾性ワッシャーの変位
 δ_w : 弾性ワッシャーの変位 (mm)
 δ_0 : 初期導入軸力下の変位 (mm)
 δ_E : 地震時における変位 (mm)
 P_E : δ_E 時に発生する軸力 (kN)

表-1 地震時地盤ひずみ計算例

表層厚	H (m)	55
固有周期	T_s (s)	1.7
波長	L (m)	318
トンネル位置		
水平変位	V_h (cm)	8.0
地盤ひずみ	$2\pi V_h / L (\times 10^{-3})$	1.58

キーワード：シールドトンネル、弾性ワッシャー

*〒163-0730 東京都新宿区西新宿 2-7-1 新宿第一生命ビル TEL 03-3344-0575 FAX 03-3344-1366

手で吸収する必要がある。実際にはボルトや継手板の変形も地盤変位吸収に寄与するが、弾性ワッシャーのバネ値はそれに比較すると小さく、継手部全体のバネ値としてはこの値が支配的になる。リング継手構造を図-3に、設計の条件を表-2に示すが、弾性ワッシャーが継手部の弱点とならないために、アンカー筋の降伏で断面が定まるように設計すると、図-4のような弾性ワッシャーに要求される構造特性を得ることができる。すなわち弾性ワッシャーはボルト両側2個使用であり、1個あたり要求される変形吸収性能は地盤変位の1/2（ $\delta=1.2\text{mm}$ ）、また弾性ワッシャーは直列バネとなるので、弾性ワッシャーの理想的な目標バネ値は、

$$K=(P_y \times 2 - P_0) / \delta = 300 / 1.2 = 250 \text{ kN/mm}$$

と計算することができる。現実には弾性ワッシャーが1.2mm以上の変形性能を有し、なおかつ P_y 以上の強度を保有していればバネ値にこだわるものではない。弾性ワッシャーのばね値は、剛性低下の目的からは小さい方が好ましいが、一方では、弾性ワッシャーの厚さが大きくなり不経済になるとともに、ボルトボックスも大きくなりセグメント本体の鉄筋の配置に支障することもある。また、弾性ワッシャーをさらに薄くすると、図-4に示すように弾性ワッシャーの荷重の変位曲線は二次曲線を描くことから弾性ワッシャーの高ひずみレベルでは高いバネ値になるため、要求される変形性能が満たされなくなる可能性もあり、このような目標ばね値を設定することが良いと考えた。実際には弾性ワッシャーの試作を行い、このような条件を満足するように弾性ワッシャーの材質、厚さおよび径を選定する必要がある。

以上述べた試設計においては、地盤ひずみが全てリング継ぎ手に集中するものとして、また、地盤変位を吸収するものは弾性ワッシャーのみであるとの仮定のもとに行っている。実際に設計する場合には、ボルトや継手板の変形性能等を考慮して、より実状に近い仮定で弾性ワッシャーの設計を行わなければならない。

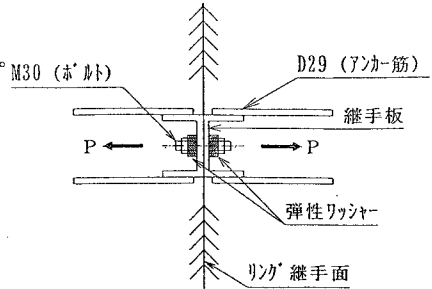


図-3 リング間継手構造

表-2 継手の条件

ボルト材質	M30, 8.8
アンカー筋材質	D29, SD345
弾性ワッシャー	リング継手1箇所 当り両側2個
初期導入軸力 P_0 (kN)	150
アンカー筋降伏軸力 P_y (kN)	225
$P_y \times 2 - P_0$ (kN)	300

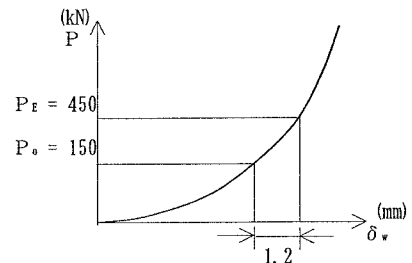


図-4 弾性ワッシャーの理想的な変形性能

4. あとがき

トンネル止水上の概念からは、地震時に発生する地盤ひずみを、地盤の変位曲線なりに応じてリング継手部に少しづつ吸収させようとする理念の弾性ワッシャーは、優れた製品であると言える。弾性ワッシャーとして、エポキシ樹脂系、繊維補強ゴム系が提案されているが、条件となる地盤のひずみに応じた構造的な設計を体系づける必要があることを感じて本編のような試設計を行った。その一方では、弾性ワッシャーの構造的性質の整理や耐久性等の実証を今後十分に行う必要があると考えている。すなわち、

- A)応力緩和率と初期導入軸力の整理
- B)応力緩和と増締め回数依存性の整理
- C)耐アルカリ性、耐油性、耐火性、耐バクテリア性、耐水性
- D)経年耐久性

等である。これらを十分整理することで地震や沈下に対してより有能な弾性ワッシャーを得ることが可能となる。