

Ⅲ - B85

柔継手構造を有するセグメントチューブの縦断方向耐震性の検討

フジタ 正会員 岸下 崇裕 不動建設 正会員 四戸 一夫
ジオスター 矢島 大 クボタ 正会員 今野 勉

1. はじめに

セグメントチューブのリング継手は、ボルト接合による継手方式が通常使われている。最近では、リング継手面に凹凸のほぞを形成するセグメント(本セグメント)の開発が行なわれている。このセグメントのリング継手は、図-1に示すように継手面に存在する凹凸のほぞとシアストリップによりせん断力を伝える構造となっており、ボルト接合に比べ柔軟な構造となっている。

本報告では、柔継手構造を有するセグメントチューブの縦断方向の耐震性について、リング継手面に有するほぞの構造を生かした等価剛性ばりモデルを提案し、応答変位法によりその特性を述べたものである。

2. 等価剛性のモデル化

セグメントチューブの耐震計算では、通常覆工を一樣連続なはりにモデル化を行なう。このときのはりモデルは、荷重の作用による軸線の変形が、同じ荷重による覆工の軸線の変形と見かけ上一致するように、はりの軸剛性や曲げ剛性を決める。本セグメントも同様にリング継手構造の特性を取り入れた等価軸剛性および等価曲げ剛性のモデル化を行なう。

①等価軸圧縮剛性：図-2で示すように軸圧縮力は、

トランスミッションストリップを介してほぞ断面で

受ける。よって、以下のようにモデル化を行う。

$$\delta_c = \frac{N_c}{E_s A_{sh}} l_2 + \frac{N_c}{K_t} + \frac{N_c}{E_s A_s} (l_1 + l_3)$$

$$\delta_{eq} = \frac{N_c}{(EA)_{eq}^c} l_s$$

$$(EA)_{eq}^c = \frac{l_s}{\left(\frac{l_2}{E_s A_{sh}} + \frac{1}{K_t} + \frac{l_1 + l_3}{E_s A_s} \right)}$$

ここに、 E_s :セグメントリングの弾性係数(gf/m^2)

A_{sh} :セグメントリングのほぞ断面積(m^2)

l_s :セグメントリングの長さ(m)

K_t :トランスミッションの圧縮ばね定数(gf/m)

$(EA)_{eq}^c$:リングロックセグメントの等価軸圧縮剛性(gf)

N_c :覆工に作用する圧縮軸力(gf)

②等価軸引張り剛性：軸引張り力は、継手ボルトのカ

プラーを介して継手ボルトに伝達される。よって、

以下のようにモデル化を行う。

$$\delta_T = \frac{N_T}{K_N}$$

$$\delta_{eq} = \frac{N_T}{(EA)_{eq}^T} l_s$$

$$(EA)_{eq}^T = K_N l_s$$

ここに、 A_s :セグメントリングの断面積(m^2)

K_N :継手ボルトの引張りばね定数(gf/m)

$(EA)_{eq}^T$:リングロックセグメントの等価軸引張り剛性(gf)

N_T :覆工に作用する引張り軸力(gf)

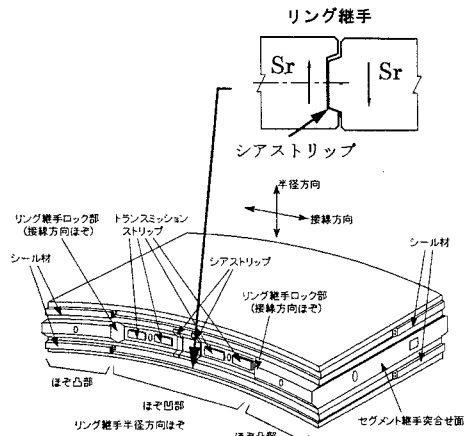


図-1 セグメントの形状

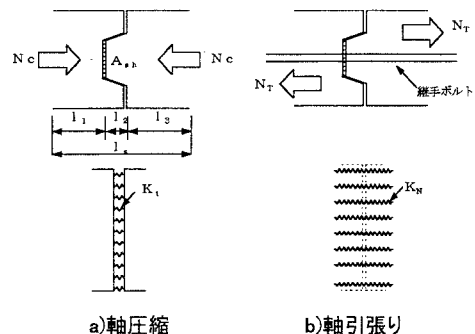


図-2 荷重伝達モデル

キーワード：シールドトンネル、セグメント、耐震

〒151 東京都渋谷区千駄ヶ谷 4-6-15 TEL:03-3796-2265 FAX:03-3404-8530

- ③等価曲げ剛性：曲げモーメントが作用すると、セグメント接合面においては、中立軸を境にして圧縮側はトランスミッションストリップおよびほぼ断面の圧縮剛性で、引張り側は通しボルトの引張り剛性で抵抗する。等価曲げ剛性は、以下のようにモデル化を行う。

$$\theta = \frac{\cos\phi + (\pi/2 + \phi)\sin\phi}{\cos^3\phi} \frac{M}{E_s I_s} l_s$$

$$\theta_{eq} = \frac{M}{(EI)_{eq}} l_s$$

$$(EI)_{eq} = \frac{\cos^3\phi}{\cos\phi + (\pi/2 + \phi)\sin\phi} E_s I_s$$

ここに、 E_s ：セグメントリングの弾性係数 (tf/m^2)

I_s ：セグメントリングの断面二次モーメント (m^4)

$(EI)_{eq}$ ：覆工の等価曲げ剛性 ($\text{tf} \cdot \text{m}^2$)

M ：覆工に作用する曲げモーメント ($\text{tf} \cdot \text{m}$)

$$\phi + \cot\phi = \pi \left(\frac{1}{2} + \frac{K_N}{(EA)_{eq} / l_s} \right)$$

3. 解析結果および考察

本セグメントの縦断方向の耐震性の特性は、前章の等価剛性モデルを用いて応答変位法により行なった。その特性は、本セグメントと同断面積の標準セグメントとの比較で行なった。解析に用いたセグメントの形状を表-1および等価剛性を表-2に示す。本セグメントの等価剛性は、標準セグメントに比べ軸圧縮剛性で70%、曲げ剛性で約27%、引張り剛性が約10%程度になっている。これは、本セグメントがリング間をボルトで結合している標準セグメントのセグメントチューブに比べ柔軟な構造になっていることを意味している。地盤条件および応答変位法に必要な条件を表-3に示す。地盤は、Ⅱ種およびⅢ種地盤を想定した。地震は、大規模地震を想定した。速度スペクトルは、大規模地下構造物の耐震設計法・ガイドライン（案）¹⁾に従い設定した。

表-4に解析結果を示す。本セグメントに発生する断面力は、標準セグメントに比べ柔軟な構造になっているために小さくなっている。その反面目開き量は大きくなっている。本セグメントは、目開きによる止水対策を行なう必要があるものと考えられる。セグメントに生じる軸圧縮力は、本セグメントの方が大きくなるが、圧縮面が支圧状態になっているので、応力比で比べると同等の結果となっている。また、曲げ圧縮では、応力比で比べると本セグメントの方が許容応力に対して余裕のある結果になっている。次に、ボルトに生じる引張り応力は、標準セグメントのcase1において許容応力を超える結果となっている。この様な場合、弾性ワッシャーや長尺ボルト等でリング継手の剛性を低減させてフレキシブルにする必要があるが、本セグメントにおいては、必要性はないとの結果が得られた。

4. おわりに

等価剛性を用いた応答変位法によれば柔軟な継手構造によるセグメントチューブは従来の継手構造を用いたセグメントチューブと同等以上の耐震性が有することが判った。今後は、今回提案を行なった等価剛性モデルの妥当性や本セグメントチューブの耐震上の有効性について、模型実験や動的解析等により検証を行なう予定である。なお本検討は、リングロックセグメント研究会において行われたものである。

【謝辞】本セグメントの耐震性の検討を進めるにあたって、貴重な御意見・御指導を賜りました日本シビックコンサルタント(株)の斉藤正幸氏に厚く御礼申し上げます。

【参考文献】1)建設省総合技術開発プロジェクト、地下空間の利用技術の開発報告書（第Ⅲ分冊）、第4編、平成4年8月

表-1 セグメントの形状

	標準	本セグメント
外径(m)	7.7	7.7
内径(m)	7.0	7.0
1リング長さ(m)	1.2	1.2
弾性係数 (tf/m^2)	3.9E+06	3.9E+06
継手形状	$\phi 32\text{mm}$	$\phi 19\text{mm}$
継手剛性 (tf/m)	1.16E+06	1.28E+05

表-2 等価剛性の比較

	標準	本セグメント	比率
等価軸圧縮剛性	3.152E+07	2.227E+07	70.66%
等価軸引張り剛性	1.333E+06	1.536E+05	11.52%
等価曲げ剛性	1.483E+07	4.091E+06	27.59%

表-3 解析条件

	case1	case2
層圧(m)	25.0	25.0
固有周期(s)	0.867	0.508
地盤種別	Ⅲ種地盤	Ⅱ種地盤
速度スペクトル(m/s)	0.585	0.343
地表面高位(cm)	12.21	4.20
波長(m)	158.3	138.0

表4 解析結果

	case1		case2	
	標準	本セグメント	標準	本セグメント
軸圧縮力(tf)	5732.7	5474.3	5887.8	5397.9
軸引張り力(tf)	1804.1	236.8	660.2	129.0
曲げモーメント($\text{tf} \cdot \text{m}$)	1954.7	539.8	1086.3	316.4
セグメント				
許容応力(kgf/cm^2)	255.0	340.0	255.0	340.0
軸圧縮応力(kgf/cm^2)	70.9	135.5	72.9	133.6
応力比	3.6	2.5	3.5	2.5
曲げ圧縮応力(kgf/cm^2)	35.2	15.1	20.0	8.9
応力比	7.2	22.5	12.8	38.2
目開き(mm)	1.4	1.8	0.9	1.0
ボルト				
許容応力(kgf/cm^2)	4800.0	3000.0	4800.0	3000.0
軸引張り応力(kgf/cm^2)	6877.7	2608.7	2830.5	1422.1
応力比	0.7	1.1	1.7	2.1
曲げ引張り応力(kgf/cm^2)	5371.0	1643.4	1992.4	969.4
応力比	0.9	1.8	2.4	3.1