

## シールドトンネル用多ヒンジ系セグメントの耐荷特性 2（地震時）

近畿コンクリート工業 正員 岩本 勲、伊豆 好弘  
 関西電力 正員 三鼓 晃、前川 岳康

## 1. はじめに

先の報告<sup>1)</sup>で、欧州等で普及している継ぎ手剛性の小さな多ヒンジ系セグメントに関して、常時荷重下における応力、変形状態を把握し、従来の高剛性セグメントの挙動と比較検討した。その結果、砂質土地盤から粘性土地盤まで、多ヒンジ系セグメントが適用できることがわかった。ここでは、その多ヒンジ系セグメントの耐震性能について、従来型継ぎ手のセグメントと比較検討したものである。

## 2. 検討概要

シールドトンネルセグメントの外径は 6.0m、幅は 1.2m、厚さは 30cm の 6 分割である。トンネル中心位置は GL-15m、工学的基盤は GL-30m とし、表層地盤は 1 層で N 値 40 の砂質土と N 値 3 の粘性土の 2 種類について検討した。（文献 1) のケース 1 とケース 5）

地盤の特性値( $T_G$ )、地盤の固有周期( $T_s$ )、地盤のせん断弾性波速度( $V_{Ds}$ )、動的せん断変形係数( $G_s$ )、地盤振動の波長( $L$ )等は日本道路協会の「共同溝設計指針」によった。地震動はレベル 1 として共同溝設計指針の設計応答速度( $S_v$ )を用い、レベル 2 として道路橋示方書耐震設計編の加速度応答スペクトルを用いた。解析に用いた特性値を表 - 1 に示す。

耐震計算は応答変位法により、シールドトンネルの横断方向と縦断方向について検討した。また、砂質土、粘性土ともレベル 2 地震については、従来型の鋼板ボルト継ぎ手についても計算し、その耐震性能を多ヒンジ系セグメントと比較した。

シールドトンネルの縦断方向モデルは、その軸剛性を圧縮時はセグメント本体の断面積と弾性係数から決まる等価剛性( $(EA)^{c}_{eq}$ )とし、引張時はリング間継ぎ手の引張剛性による等価剛性( $(EA)^{t}_{eq}$ )とした。曲げ剛性( $(EI)_{eq}$ )は、圧縮側はセグメント本体で抵抗し、引張側はリング間継ぎ手で抵抗するものと考えた。

横断方向の解析は、梁 - バネ法を用い、セグメント間継ぎ手の回転バネ定数( $K_m$ )、リング間継ぎ手の半径方向および接線方向のせん断バネ定数( $K_{sr}$ ,  $K_{st}$ )を設定した。多ヒンジ系セグメントの  $K_m$  は、地震時のセグメント応力状態による荷重偏芯率を考慮して、レオンハルト式によって求めた。従来型セグメントの  $K_m$  は、正曲げと負曲げに対して継ぎ手板およびボルトを引張材として求めた。 $K_{sr}$  および  $K_{st}$  の値は、それぞれの継ぎ手特性値であり、荷重状態にかかわらず一定値とした。表 - 2 に解析モデルの剛性およびバネ値を示す。

## 3. 縦断方向の検討結果

シールドトンネルは、地盤に弾性的に支持された梁としてモデル化し、地盤に相当する弾性床が地震時地盤変位を受けた際の断面力を算定した。図 - 1 に断面力の比較を示す。図では、砂質土における多ヒンジ系

表 - 1 地盤の特性値

	砂質土	粘性土
$T_G$ (sec)	0.438	0.833
$T_s$ (sec)	0.548	1.041
$V_{Ds}$ (m/sec)	274.0	144.0
$G_s$ (kN/m <sup>2</sup> )	137895	38087
$L$ (m)	138.7	173.4
$S_v1$ (m/sec)	0.240	0.240
$S_v2$ (m/sec)	1.020	1.657

表 - 2 解析モデルの剛性

	多ヒンジ	従来型
$(EA)^{c}_{eq}$ (kN)	177276000	177276000
$(EA)^{t}_{eq}$ (kN)	95948	4811004
$(EI)_{eq}$ (kN・m <sup>2</sup> )	852114	5469928
$K_m$ (kN・m/rad)	4700 ~	38000
/1 箇所	199700	~
$K_{sr}$ (kN/m)/Ring	140000	9216000
$K_{st}$ (kN/m)/Ring	140000	63232000

セグメントのレベル1地震時断面力を 1.0 として、他のケースはそれに対する比率で表した。

砂質土においては、多ヒンジ系セグメントのレベル2地震時断面力は、同レベル1地震時断面力の4.2倍であるが、従来型セグメントのレベル2地震時断面力は引張軸力が206倍、曲げモーメントが251倍となった。粘性土においては、多ヒンジ系セグメントのレベル2地震時断面力は、砂質土レベル1地震時断面力の6~10倍程度の値であるが、従来型セグメントでは引張軸力および曲げモーメントが500倍近い値となった。このように、レベル2地震に対して、多ヒンジ系セグメントの引張軸力および曲げモーメントは、砂質土および粘性土とも従来型セグメントの断面力の約1/50程度であり、圧縮軸力は同値である。これは、多ヒンジ系セグメントのリング間継ぎ手剛性が小さく、トンネル軸方向の等価引張剛性と曲げ剛性が、従来型セグメントのそれぞれ1/50、1/6と小さいことによる。従って、多ヒンジ系セグメントのセグメント本体およびリング間継ぎ手の構造は、従来型セグメントよりも簡略化できる。図中×印は、常時で設定した断面が、地震時の検討でその耐力を超過した箇所を表す。多ヒンジ系セグメントでは、リング間継ぎ手を変更する必要が生じた。

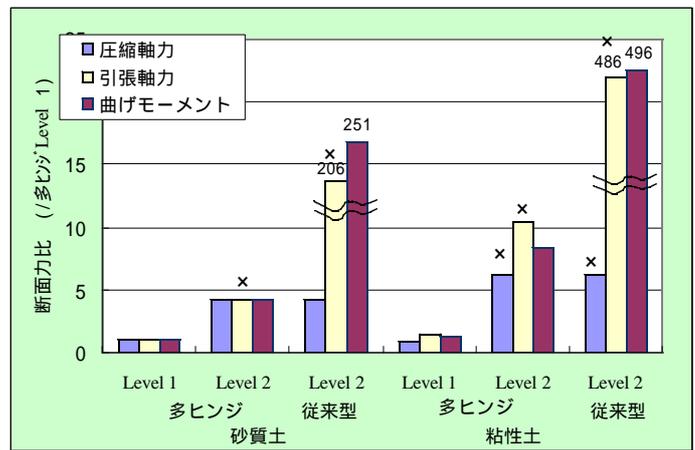


図 - 1 縦断方向断面力の比較

#### 4. 横断方向の検討結果

常時荷重による断面力に地震時増分断面力を重ね合わせた結果を図-2に示す。縦断方向と同じく、砂質土における多ヒンジ系セグメントのレベル1地震時断面力に対する比で表した。

砂質土のレベル2地震では、多ヒンジ系セグメントは同レベル1の2倍程度の断面力を示すのに対して、従来型セグメントではリング間せん断力が約14倍と大きな値を示している。粘性土では、どの解析ケースにおいてもリング間せん断力で大きな値を示し、多ヒンジ系セグメントのレベル1で4倍、レベル2で9倍、従来型セグメントのレベル2で21倍となった。多ヒンジ系セグメントのリング間せん断力が従来型セグメントのそれと比較して小さいのは、リング間継ぎ手の剛性が小さいことによると考えられる。また、砂質土でも粘性土でも本体およびセグメント間継ぎ手に発生する曲げモーメントおよびせん断力は、多ヒンジ系セグメントの方が従来型セグメントよりも若干小さな値となった。多ヒンジ系セグメントの常時設定断面は、粘性土レベル2で本体の曲げ耐力が許容値を超過した。

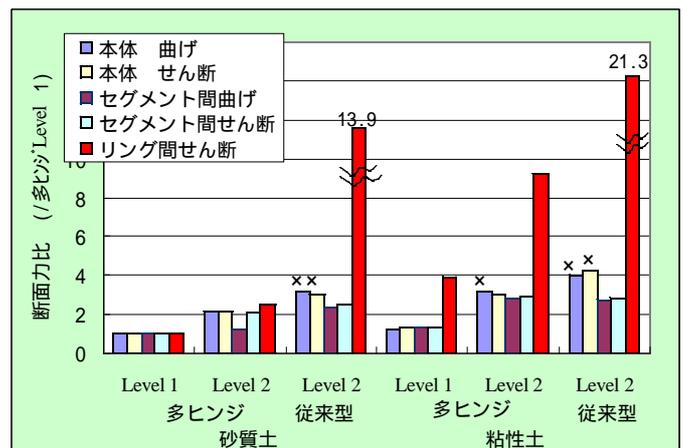


図 - 2 横断方向断面力の比較

#### 5. まとめ

多ヒンジ系セグメントは、硬質な砂質土中においても軟弱な粘性土中においても、従来型セグメントよりも耐震性能が優れているといえる。リング間継ぎ手およびセグメント間継ぎ手の剛性が小さくヒンジに近いので、本体および継ぎ手部に発生する断面力が小さくなる。今後、この特性を活かした多ヒンジ系セグメントの実用化に向けて、実験等によって検証していく予定である。

参考文献 1) 岩本他：シールドトンネル用多ヒンジ系セグメントの耐荷特性1（常時）、第57回土木学会全国大会年講