

断層変位に対する地下構造物の免震設計の一考察

(株)日建設計シビル 正会員 西山誠治

(株)日建設計シビル 正会員 川満逸雄

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 羽矢 洋

1. はじめに

路線の長い鉄道や道路構造物では断層と交差せざるを得ないことも多いが、断層がmオーダーで変形する場合は構造物としての対応は困難である。しかし、近隣の地震に伴い副次的に発生するcmオーダーの変位を対象とする場合は構造物での対策の可能性がある。一方、地下構造物の低剛性材料による免震構造^{1),2)}は、地震動を対象に開発されてきた。この免震構造の断層変位に対する適用性は、あまり議論されていないようである。そこで、本研究では、断層変位に対する地下構造物の免震構造の適用性を調査する。

2. 検討の概要

1層2径間の鉄道一般軌道部の開削トンネル(図-1)を対象とする。表層地盤の厚さ30mの一樣地盤を対象とし、トンネルの土被りは5mとする。地盤条件および解析ケースを表-1に示す。検討は断層変位に対する地下免震の基本的特性を調査することを目的とし、地盤は弾性体としせん断弾性波速度を変化させた。免震材は液状ゴム系¹⁾とし、その厚さは0cm, 10cm, 30cmおよび50cmとした。断層は水平横ずれ、交差角は90°とした。

解析モデルを図-1に示す。解析モデルは、地盤を3次元ソリッド、構造物をシェル要素でモデル化した1/2モデルとする。断層は、断層線の分散幅の算定が困難であるので、周辺地盤の1/10000程度の剛性の薄層としてモデル化した。断層変位は、単位変形量1mとし基盤層を強制変位させて与えた。境界条件は底面固定(移動部分は鉛直のみ固定)、側面は鉛直固定で、対称面は鉛直およびトンネル方向を固定とした。

3. 検討結果

シェル要素の応力から算出したトンネル1/2断面あたりのせん断力と曲げモーメントにより考察する。免震層無しの場合の地盤剛性の影響を図-2に示す。断面力の分布は左右対称なので片側のみ示す。地盤剛性が小さくなると曲げモーメントに比較してせん断力が顕著に小さくなる。曲げモーメント分布よりひずみが平準化されることが分かる。これより免震層による地盤剛性低下によっても、断面力低減が期待できる。ここで、トンネルを断層変位作用点で半分に取り出して考えると、杭の水平載荷に類似の挙動である。小長井³⁾や鈴木⁴⁾は、このような観点から断層変位の影響範囲やひずみの簡略的な表現を示している。解析結果はこれらに対応している。

地盤 $V_s=300\text{m/s}$ の場合に免震層を設けた結果を図-3に示す。免震層により断面力が低減される。免震層の設置は地盤剛性低下と同様の効果があり、免震層厚0.5mの断面力は、図-2の免震層無しの $V_s=100\text{m/s}$ と同程度である。

図-4に各地盤剛性の免震層無しに対する免震層の断面力の低減割合を示す。これより、周辺地盤の剛性が小さいほど免震効果が小さくなる。トンネル周辺地盤剛性は免震層と地盤の2つの直列ばねで表現できるが、これが免震層により低下するが、ある程度でこの効果が飽和してくるため、地震動に対する免震と同様の特性と考えられる。また、せん断力と曲げモーメントでは、せん断力に対する低減割合の方が大きい。今回示していないが、断層変位作用付近では、側壁の法線方向外力が大きくなり、側壁が版としても厳しい状態になるが、これも改善される。図-5に $V_s=300\text{m/s}$ の免震層無しに対する各ケースの比率を示す。これらの関係がトンネル周辺の等価地盤ばね等の指標で表現できれば、断層変位によるトンネル断面力や免震効果を簡便に表現できるため、今後の検討としたい。

4. まとめ

水平横ずれ、交差角90°の場合について、断層変位に対する免震層の適用性を検討した。同一変位に対して免震層無しでは地盤剛性が小さい程断面力は小さく、免震層が厚い程断面力低減効果があること、曲げモーメントよりせん断力の方が低減効果の大きいこと、地盤剛性が免震層の剛性より大きい場合ほど低減効果があることが分かった。今後、地盤や構造の非線形性も考慮し、さらに交差角や鉛直ずれも対象に定量的な検討を行う予定である。

キーワード：開削トンネル、断層変位、免震

連絡先：〒112-8565 東京都文京区後楽2-2-23 TEL(03)3817-0514 FAX(03)3817-0517

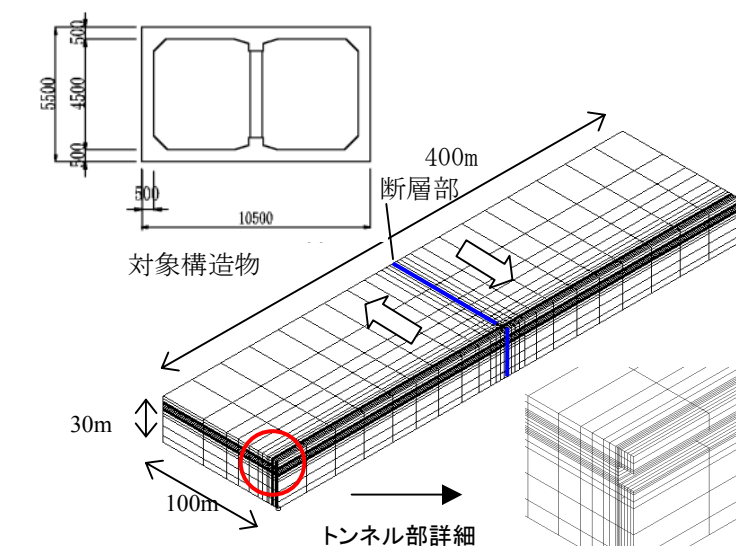
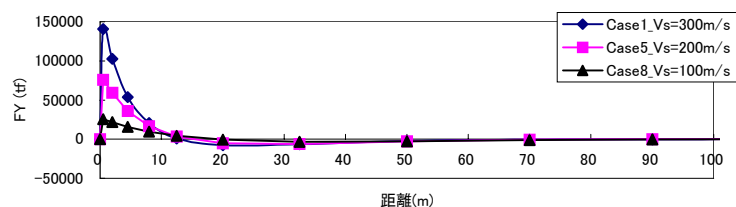
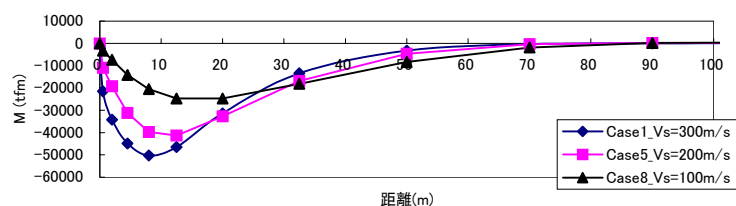


図-1 解析モデル

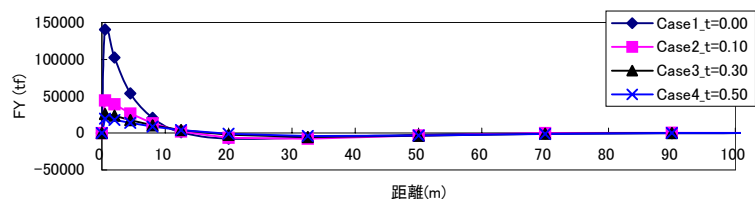


(1) トンネル1/2断面あたりのせん断力

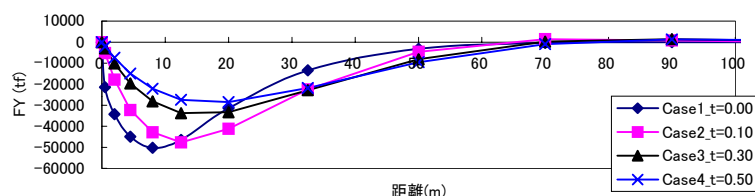


(2) トンネル1/2断面あたりの曲げモーメント

図-2 地盤剛性のトンネル断面力への影響



(1) トンネル1/2断面あたりのせん断力

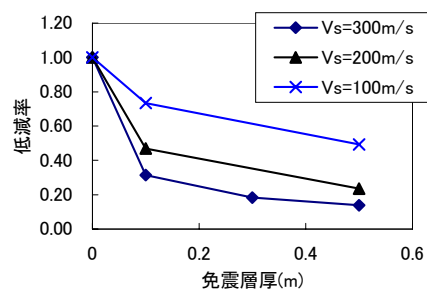


(2) トンネル1/2断面あたりの曲げモーメント

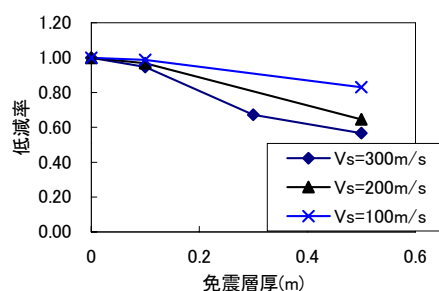
図-3 免震層厚のトンネル断面力への影響

表-1 解析ケース

Case	角度	地盤		免震材		
		Vs(m/s)	G(tf/m ²)	厚さ(m)	G(tf/m ²)	ν
1	90	300	18370	0.0	-	-
2				0.1	28	0.46
3				0.3		
4				0.5		
5		200	8160	0.0	-	-
6				0.1	28	0.46
7				0.5		
8		100	2040	0.0	-	-
9				0.1	28	0.46
10				0.5		

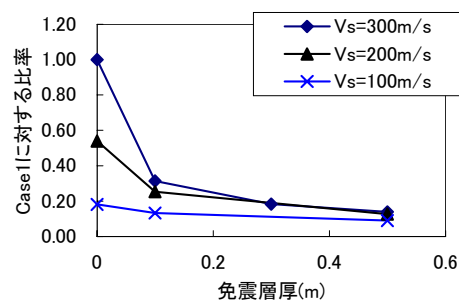


(1) せん断力

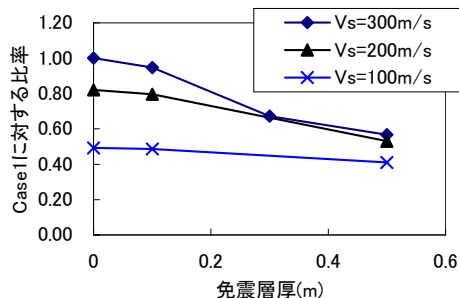


(2) 曲げモーメント

図-4 免震層無しに対する免震層の効果



(1) せん断力



(2) 曲げモーメント

図-5 Case1に対する断面力の比率

参考文献： 1) 建設省土木研究所，(財)土木研究センター，民間17社：地下構造物の免震設計法マニュアル(案)，1998 2) 土木学会：減震・免震・制震構造設計法ガイドライン(案)，2002 3) 小長井一男：地盤と構造物の地震工学，東京大学出版会，2002，p57 4) 鈴木崇伸：断層変位が線状構造物に及ぼす影響の基礎的考察，第55回土木学会年次学術講演会 I-B412，2000