

断層変位を受ける地中構造物の耐震継手対策の有効性に関する研究

九州大学大学院 学生会員 相部岳暁 前澤工業株式会社 正会員 副島すみれ子
九州大学大学院 フェロー 大塚久哲

1.はじめに

現行の耐震設計では地中構造物に関し、地震による揺れの影響のみが考慮されており、断層運動によるずれの影響は考慮されていない。しかし、線状地中構造物であるトンネルは断層と交差せざるを得ない場合があり、断層変位による影響が危惧される。本研究では断層を横切るトンネルの耐震性能と耐震継手を用いた断層変位対策の有効性を3次元静的有限要素解析により検討する。

2.解析概要

(1) 解析ケース

解析ケースを表-1に示す。断層のタイプは逆断層とし、断層面の傾斜角は30°・60°・90°を考えた。耐震継手による変位対策の有効性を検討するため、設置間隔を10m~40m、設置箇所数を2~6箇所とし、耐震継手なしのケースも含め、全30ケースに対して解析を行った。

(2) 解析モデル

解析モデルを図-1に、物性値を表-2に示す。厚さ30mの表層地盤を浅をモデル化し、基盤面に断層変位が発生すると仮定した。地盤はソリッド要素（非線形）、トンネルはシェル要素でモデル化した。解析はPushover解析を実行し、断層変位は断層面に沿って0.5mとし、下盤の底面を固定し、上盤の底面に強制変位を与えることで表現した。また、200ステップに分割して変位を漸増させている。地盤とトンネルの要素は、断層面近傍ほど密に分割している。耐震継手は、図-2のようなゴム伸縮継手を想定しており、トンネル各横断面にジョイント要素として設置した。ゴム伸縮継手は、圧縮力に対してはゴムガスケットが主に抵抗し、引張力に対してはPCケーブルが抵抗する。また、それぞれ伸縮に対してロック機能も備えており、ある変位以上伸縮すると剛体のような挙動を示す。ジョイント要素の物性値を表-3に、材料特性を図-3に示す。なお、今回耐震継手は、断層面を中心に上盤・下盤均等に配置している。

表-3 継手のばね定数

	上下床版	側壁	隅角部
軸方向ばね係数(kN/m)	5.10×10^3	5.80×10^3	5.45×10^3
せん断ばね係数(kN/m)	4.43×10^3	5.05×10^3	4.74×10^3
回転ばね係数 θ_z (kN・m/rad)	6.65×10^5	7.57×10^5	7.11×10^5
回転ばね係数 θ_x (kN・m/rad)	1.66×10^5	1.89×10^5	1.78×10^5

表-1 解析ケース

断層面の傾斜角	設置間隔	設置箇所数
30° 60° 90°	10m	2, 4, 6
	20m	2, 4, 6
	30m	2, 4
	40m	2
なし		

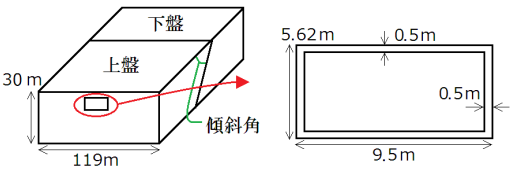


図-1 解析モデル

表-2 物性値

	ポアソン比	ヤング率	単位体積
トンネル	0.20	25,000,000	23.5
地盤	0.49	218,938	18.0

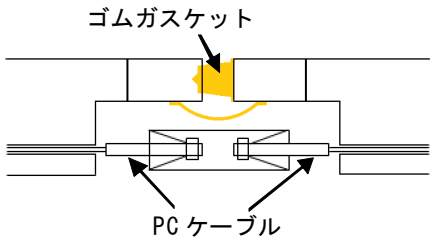


図-2 耐震継手

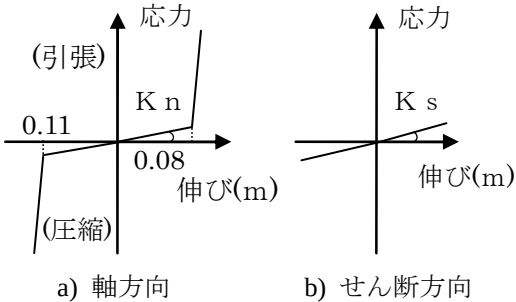


図-3 耐震継手の非線形特性

キーワード 断層変位, 地中構造物, 耐震継手
連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 TEL 092-802-3374

3. 解析結果

全ケースの解析を行っているが、ここでは傾斜角 60°のケースの結果を図-4 に示す。耐震継手なしのケースでは、各断面力は断層面近傍で最大となり、軸力・せん断力は断層部、曲げモーメントは断層面から約 20m 地点で最大をとっている。また、断面力の生じている範囲として、せん断力と曲げモーメントは、断層面を挟んで約 60m、軸力は比較的広範囲な約 200m の範囲となっている。これは、図-5 の軸方向と鉛直方向の変位分布図より分かるように、トンネル躯体が軸方向には断層面を挟んで約 200m の地点から変位し、軸直角方向には約 60m の地点から変位していることに起因している。

次に、耐震継手を設置したケースではいずれのケースにおいても断面力が低減しており、特に軸力と曲げモーメントが大幅に低減していることが分かる。これは、図-5 より、継手が伸縮し、継手部に急激な変位が生じることで、構造物の変形を低減していることが要因であると考えられる。また、図-6 に継手を 2 箇所設置したケースの軸方向変位コンター図を示す。この図からも継手設置部において変位が吸収されていることが分かる。継手変形することで、特に軸力の生じている範囲が非常に小さくなる。

各ケースにおける断面力の低減効果を表-4 に示す。耐震継手の設置間隔は短いケース程低減率が大きくなり、設置個数は多いほうが低減率が大きくなる。しかし、継手の設置箇所数は、4 箇所と 6 箇所設置の値がほぼ同じ値に収束していることから、断層面近傍に数箇所設置できていれば、その効果はほとんど変わらない結果となった。

4. まとめ

本研究では、断層変位によりトンネル躯体に生じる断面力と変位を明らかにし、耐震継手によりトンネル躯体に生じる断面力を低減できることを示した。耐震継手はこれまでに、地震による揺れ対策には用いられてきたが、断層変位対策としては検討されていなかったため、社会基盤の安全を守る上でも必要な結果となった。

5. 参考文献

1)土木学会：トンネル・ライブラリー9 開削トンネルの耐震設計，1998
2)宮沢理：沈埋トンネル柔継手の載荷試験，構造工学論文集 Vol.39,pp1447～pp.1456，1993

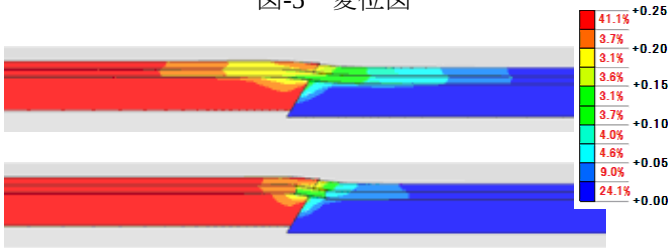
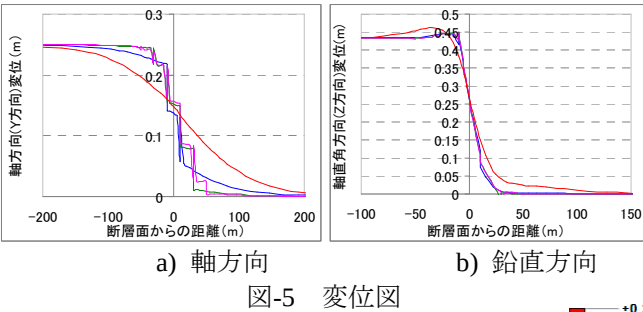
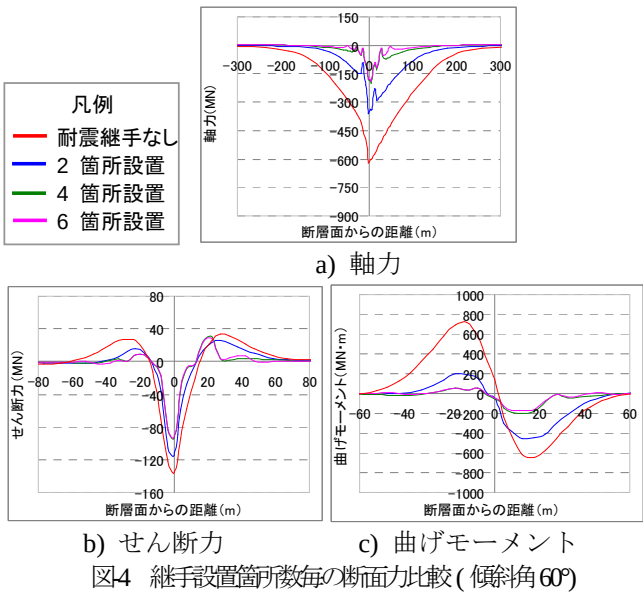


図-6 軸方向(Y 方向)変位コンター図
上：傾斜角 60°継手なし 下：同継手あり

表-4 断面力の低減率(%)

継手設置間隔		10m			20m			30m			40m
継手設置箇所数		2	4	6	2	4	6	2	4	6	2
軸力	30°	36.7	73.4	83.9	31.0	64.5	69.3	30.8	60.6	62.9	29.4
	60°	58.7	79.7	67.6	42.1	68.1	69.4	49.0	63.7	47.3	
	90°	49.8	60.6	72.9	35.4	55.7	56.3	51.9	58.1	65.1	
せん断	30°	70.7	77.7	69.9	121.6	31.7	32.7	27.8	22.4	15.8	
	60°	14.1	39.3	41.2	15.6	30.5	31.4	14.3	25.4	13.3	
	90°	69.6	76.8	77.5	72.9	74.3	74.4	69.0	69.0	64.8	
曲げモーメント	30°	上盤	25.1	55.6	75.2	2.5	32.0	51.3	41.0	36.8	24.6
			下盤	89.5	65.2	77.4	44.8	75.3	62.3	18.7	17.3
	60°	上盤	67.1	94.2	36.9	72.2	91.9	91.9	56.4	72.9	50.6
			下盤	37.8	87.1	170.5	29.9	69.5	72.6	35.3	62.9
	90°	上盤	88.2	97.2	29.7	29.3	193.6	69.3	68.3	383.5	72.3
			下盤	72.4	94.0	97.8	88.2	591.4	491.6	692.3	392.7