

I - B 399

断層破砕帯を通過する導水路トンネルに適用した免震構造の免震範囲に関する解析的検討

熊谷組技術研究所 正会員 粕田 金一 鈴木 猛康

1. はじめに

トンネル外周に軟らかな免震材を配置することによりトンネルの地震時断面力を大幅に低減する免震構造については、近年様々な検討が行われてきている^{1),2)}。これまでの検討は、一般に周辺地盤が比較的軟らかく、地盤条件急変部などにおいて地震時に大きな地盤ひずみが発生する可能性があるシールドトンネルと開削トンネルを主な検討対象としてきたが、例えば1995年の兵庫県南部地震においては被害の程度こそ大きくないものの、山岳トンネルにおいても被害事例が報告されている³⁾。このような断層破砕帯を通過する導水路トンネルの縦断面方向に対する免震構造の適用に関しては、免震層のヤング率、ポアソン比の影響に関する解析的な検討は既に実施済であるため⁴⁾、ここでは免震層設置範囲の影響について検討を行った。

2. 解析条件と解析手法

検討の対象としたのは、掘削外径3.0m、土被り20mの円形断面の山岳トンネルであり、内部に内径2.0mの鋼管をたて込み、地山と鉄管の間の50cm厚の空隙に裏込めを施した導水管路を想定した。地山は一様な花崗岩層とし、解析モデルの中央に幅2.0mの断層破砕帯が鉛直にモデル下端から地表面まで存在し、トンネルがこの弱層部を直角に横切るモデルとした。解析手法は、3次元静的弾性FEM解析とし、150m×35m×83mの解析領域について、地山、断層破砕帯および免震層を3次元ソリッド要素で、トンネルを薄肉シェル要素でモデル化し、対称条件より半断面モデルとした。解析に用いたFEMモデルのトンネル縦断方向断面図を図-1(a)に、トンネル軸直角方向断面図を図-1(b)に示す。また、本解析に用いた地山、断層破砕帯、免震層および鋼管の物性値を表-1に示す。免震層は、従来の裏込め材の代わりとして厚さ50cmの空隙に免震材を注入して形成するものとした。本検討では表-1に示すように免震層の物性値は一定(免震層のヤング率100kgf/cm²、ポアソン比0.40)とし、断層破砕帯をまたいで配置される免震層の施工範囲として0m(免震層なし)、2m, 4m, 8m, 12m, 21m, 43m, 150m(モデル全長)の計8ケースの解析を実施した。なお、免震なしのケースでは裏込め材の物性値は周囲の地山と同一とした。

地震時の断層の運動を模擬する手法として様々なアプローチが考え得るが⁵⁾、ここでは1つの仮定として、断層が動いて、左側地山に対して右側地山を鉛直方向上向きに1mだけ押し上げたものとして、底面に対して強制変位を加えることにより与えた。ただし、入力変位の絶対値に関しては不確定要素が大きく、線形解析のみをここでは取り扱うことから、以下の結果の比較では解析結果の絶対値に関しては今後の課題とし、免震層なし（設置範囲0m）のケースに対する免震層を設置した各ケースの比について主に議論することにした。

境界条件は、側面は4

面ともに鉛直ローラー、底面は左側地山を完全固定、右側地山を水平2方向固定、鉛直方向には一定変位（上向き1m）を強制的に与えた。中間の断層破砕帯部の底面は水平2方向を固定し、鉛直方向には左側地山と右側地山との間で鉛直変位が0mから1mに線形的に変化するように設定した。

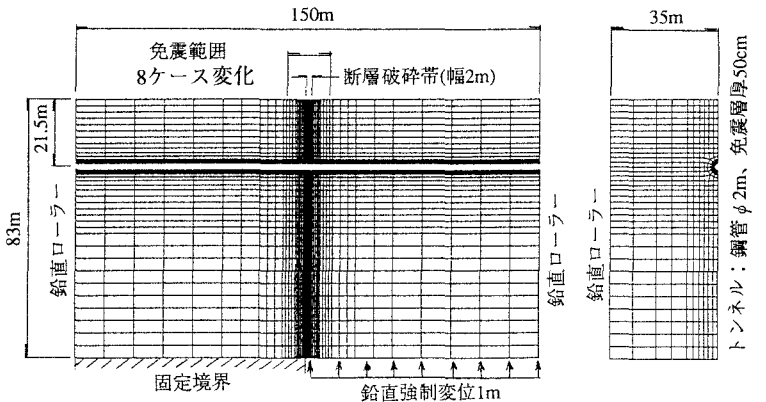


図-1 解析モデル図 (a)トンネル縦断方向断面 (b)軸直角方向断面

キーワード：山岳トンネル，縦断方向，免震，静的解析，有限要素法，断層

〒300-2651 茨城県つくば市鬼ヶ窪1043 熊谷組技術研究所 TEL：0298-47-7504、 FAX：0298-47-7480

3. 解析結果

解析の結果得られたトンネルスプリングライン位置での縦断方向断面の鉛直変位を免震層設置範囲を変化させた各ケースについて比較したものを図-2に示す。図示範囲は変位の違いが顕著な水平距離-10mから+10mまでの範囲（断層は-1mから+1mまでに位置している）を対象とした。図-2から断層のずれにともない鉛直変位差が断層の近傍において発生していることがまずわかる。基本的には免震層の設置範囲を長くするにしたがい、断層近傍の変位分布が平滑化されること、免震層なしの0mと免震層設置長2mのケースではほとんど変位の差がみられないこと、12m以上の設置範囲では変位がほぼ等しくなることなどがわかる。

次に、トンネルに発生する軸方向応力およびせん断応力の最大値の低減率に関する比較結果を図-3に示す。図-3より、設置範囲2mのケースで軸方向応力に若干の増加が見られる点を除けば、免震層設置範囲が長くなるほど応力の低減効果は大きくなり、設置範囲が12mから21m付近で、低減率は軸方向応力で0.13、せん断応力で0.9には収束している。このことは図-2の変位についてみられた結果と整合するものである。これよりある程度以上免震範囲を大きくとっても免震効果が少なく、設計上適切な免震範囲が設定できる可能性があることがわかる。

4. まとめ

免震構造を断層破碎帯を通過する導水路トンネルの縦断面方向に適用した場合について、3次元静的FEMを用いて免震区間に関するパラメトリック・スタディを実施し、トンネルの鉛直変位および最大応力を比較した結果、以下の結論が得られた。1)免震層は断層破碎帯部でトンネルに作用する急激な変位差を平滑化する効果があり、免震層設置によりトンネルの応力は20%以下に低減される、2)免震層設置範囲が長くなるほど応力の低減効果は大きくなる、3)トンネルの変位、応力はある設置範囲を越えるとはほぼ収束し、実用上適切な免震範囲が設定できる可能性がある。この結果より、軟質な地山のみならず、弱層部を通過する岩盤トンネルに対しても免震構造が非常に効果的に適用できる可能性が示された。

（参考文献）1)鈴木・田村：シールドトンネルの免震構造とその免震効果の評価手法の提案、土木学会論文集，No.525/I-33，pp.275-285，1995。2)柏田・鈴木：矩形断面トンネルの免震メカニズムに関する解析的検討、第24回地震工学研究発表会講演論文集，pp.409-412，1997。3)小山・朝倉・佐藤：兵庫県南部地震による山岳トンネルの被害と復旧、トンネルと地下，Vol.27，No.3，pp.51-61，1996。4)柏田・鈴木：断層破碎帯を通過する導水路トンネルに適用した免震構造の解析的検討、第33回地盤工学研究発表会講演集，1998。5)例えば、高田・李・梁：断層を横断する地中管路の耐震計算法、第24回地震工学研究発表会講演論文集，pp.969-972，1997。

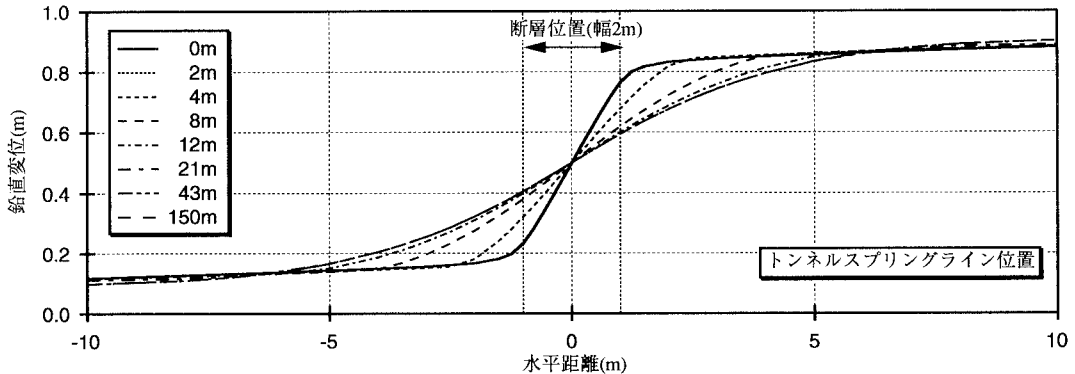


図-2 免震層設置範囲とトンネル鉛直変位の関係

表-1 解析用物性値

		ヤング率E (kgf/cm^2)	ポアソン比 ν
岩盤	全層一様な物性値	100000	0.30
弱層	幅2m, モデル中央位置	1000	0.40
免震層	免震層なし 層厚50cm	地盤と同一	地盤と同一
	免震層あり	100	0.40
鋼管	$\phi=2\text{m}$, $t=18\text{mm}$	2100000	0.167

免震層設置範囲：0m(免震層なし), 2m, 4m, 8m, 12m, 21m, 43m, 150m(モデル全長)の計8ケース

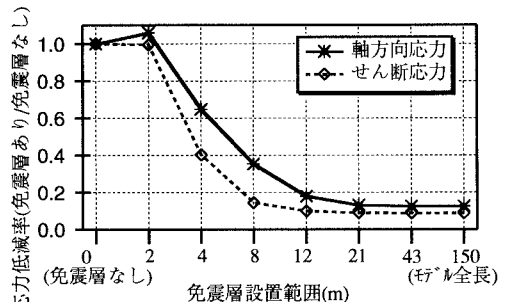


図-3 応力の低減率と免震層設置範囲との関係