

開削トンネルの縦断耐震設計における解析モデルの高度化に関する基礎的研究（その2）

阪神高速道路(株)

正会員 ○ハツ元 仁, 平野 翔也, 非会員 石津 綜大

1. 目的

開削トンネルやシールドトンネル等の線状地中構造物では、耐震設計をトンネル軸直交方向（横断方向）のみならず、トンネル軸方向（縦断方向）の検討を行うことが一般的である。近年、大規模地震も頻繁に発生しており、その際に計測される地震動の大きさも大きくなっている。これらを踏まえると、これまで以上に横断方向だけでなく縦断方向についても適切に耐震設計を行うことが必要と考える。開削トンネルの構造諸元は横断方向の耐震設計で決定されるため、縦断方向の耐震設計の重要性は見落とされがちであるが、開削トンネルに設ける構造継手のスペックやその設置間隔は、この縦断方向の耐震設計により決定されるため、縦断方向の耐震設計も非常に重要な検討だと言える。縦断方向の耐震設計手法は、文献 1)に示すように梁モデルを用いた広義の応答変位法（横断方向の応答変位法では周面せん断力を作用させるため、厳密には異なる）を用いるが、この手法の場合、計算精度に大きな影響を及ぼすのが地盤ばねの設定となる。高速道路の開削トンネルの場合、構造物幅、構造物高さがともに 10m を超えることも珍しくなく、場合によっては躯体と接する地盤の特性が部材毎に大きく異なることも十分に起こり得る。しかし、通常の縦断耐震設計で用いられる解析モデルでは、この大きな躯体を梁要素という線状要素でモデル化するため、前述のような大断面の開削トンネルの場合、躯体と地盤の接する位置がモデル上と実際とでは乖離が生じる。互層地盤のような複雑に地盤が変化するような場合は、この乖離が大きくなることも十分考えられる。応答変位法では地盤の評価精度が計算精度に大きく寄与することを踏まえると、解析モデルにおける地盤ばねの設定方法について十分な考慮が必要である。筆者らは、この縦断耐震設計における地盤ばねの評価精度が一つの課題にとらえ、過去より検討(例えば2)を重ねてきた。この一連の検討として、1層2径間非対称開削トンネルを対象に地盤ばねの設定方法の改良に関する検討を行い、得られた成果について本稿で報告する。

2. 解析手法

文献 2)と同様に、解析対象は阪神高速の開削トンネルを対象とするが、今後採用する可能性のある、図 1 に示す

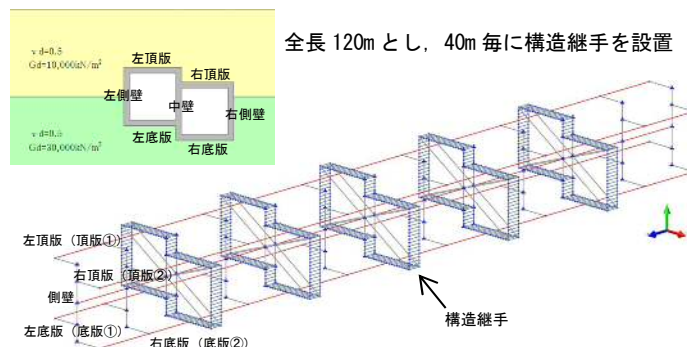


図1 1層2連非対称開削トンネルのモデル化概要

モデルの概要	
5本梁モデル	a) 躯体剛性は各部材の全断面有効剛性 c) 地盤ばねを頂版・底版での地盤との接触位置に分割して設置 5本の梁要素
1本梁モデル (上下地盤ばね)	b) 躯体剛性は躯体全断面有効剛性 c) 地盤ばねを頂版・底版での地盤との接触位置に分割して設置 1本の梁要素 地盤ばねを設置するための剛梁を設定
1本梁モデル (集約地盤ばね)	b) 躯体剛性は躯体全断面有効剛性 d) 地盤ばねを中央に集約して設置 1本の梁要素 梁要素に地盤ばねを設置

図2 躯体モデルの考え方

キーワード 縦断耐震設計, 開削トンネル, 高度化, 梁ばねモデル

〒553-0003 大阪市福島区 阪神高速道路(株) 建設事業本部 大阪建設部設計第一課 TEL:06-6136-6476

ような1層2径間の非対称な断面を有する開削トンネルを検討対象とする。躯体の解析モデルは、文献2)と同様に、比較を行うことを目的に、一般的なモデルとなる1本梁モデルと、図中に示す左頂版（頂版①）、右頂版（頂版②）、左底版（底版①）、右底版（底版②）、そして、中壁と両側壁を模擬した側壁の5本の梁要素でモデル化した5本梁モデルを用いる。また、1本梁モデルに関しては地盤ばねの設置位置を梁要素位置に集約した集約地盤ばねと、5本梁モデルでの地盤ばねを設置する位置と一致を図るため仮想の剛梁を設けた上下地盤ばねの2種類のモデル化を行うこととし、計3つのモデルでの検討を行った。図2に3モデルの比較を示す。地盤ばねはFEM解析により強制変位を与えることで求めている。縦断方向の地震時外力は、応答変位法の考えに基づき、図3に示す正弦波を模擬した変位分布を地盤ばね先端部に入力することで与えた。また、トンネル深さ方向でせん断ひずみに差が生じることを想定し、頂版、側壁、底版での作用する変位量は、その深さ位置に応じて異なる値とした。

3. 解析結果

図4に躯体に生じる断面力の分布を、表1に継手部に生じる最大発生断面力を示す。5本梁モデルと1本梁（上下地盤ばね）モデルはすべての発生断面力ではほぼ同じ結果を示した。1本梁（集約地盤ばね）モデルは、軸力でその他2モデルと比較して20%程度過大に評価、せん断力、曲げモーメントは一切発生しないという差が生じた。頂版、底版間での相対変位に起因する偶力を集約ばねモデルでは評価できないことに起因するものと考えられる。逆に、躯体のモデル化は1本梁で簡略化しても躯体と接触する地盤ばねの位置を適切に設定することで、実構造に近い深さ方向を考慮した躯体モデル（5本梁モデル）による計算とほぼ同等の精度で計算が行えることを確認した。この結果については、文献2)の中で示したシングルボックス形状での結果とも一致している。本稿では、トンネル軸方向の作用力に対する応答を示したが、検討ではトンネル軸直角方向の応答も検証しており、3モデル間での応答の傾向はほぼ同じであることを確認している。

4. まとめ

本検討の結果、1本梁モデルでも地盤ばねを頂版・底版位置に接続するような高度化したモデルは5本梁モデルと同等の解析精度を有することを確認した。

参考文献 1) 大塚久哲, 新井雅之, 岩上憲一, 高野直道, 竹内幹雄, 橘善規, 節婦光一, 村井和彦, 楊光遠: 地中・基礎構造の耐震設計, 九州大学出版会, pp.37-41, 2001., 2) ハツ元ら: 開削トンネルの縦断耐震設計における解析モデルの高度化に関する基礎的研究, 土木学会全国大会第75回年次学術講演会論文集, 2020.9.

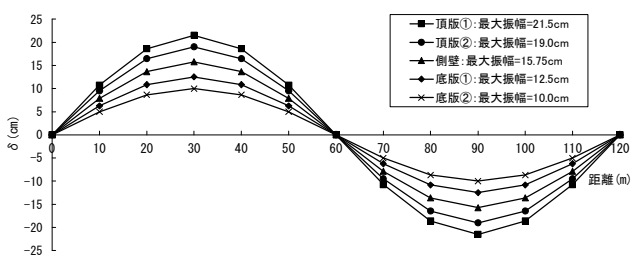


図3 地盤ばねに与えた変位分布（軸方向）

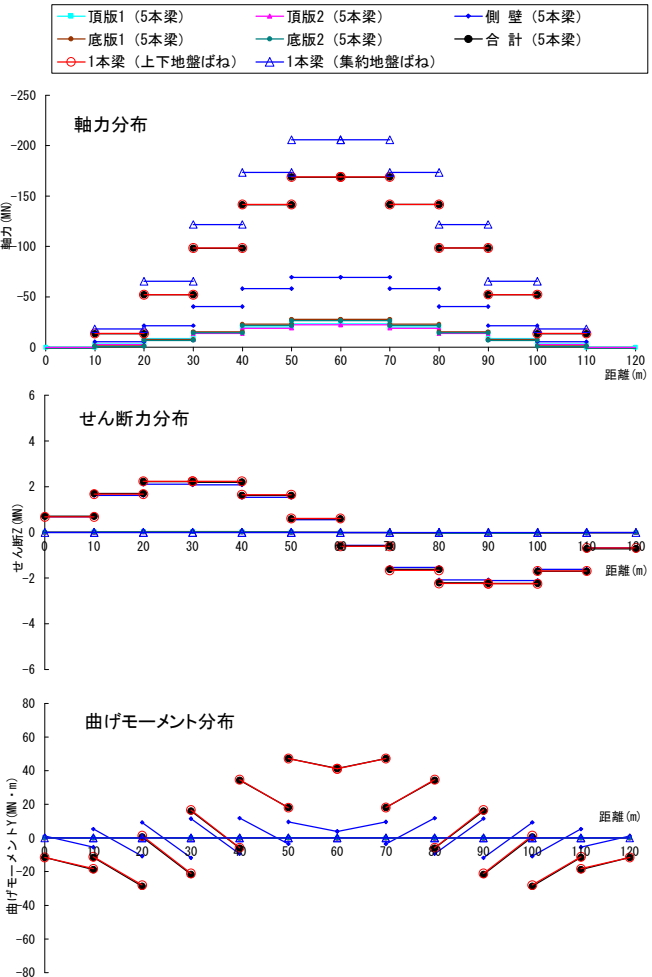


図4 発生断面力分布

表1 継手部の最大発生断面力

	継手 圧縮量 (mm)	継手 引張量 (mm)	圧縮軸力 Nc_max (kN)	引張軸力 Nt_max (kN)	鉛直せん断力 Sv_max (kN)	鉛直面内曲げ Mv_max (kN・m)
5本梁 合計値	-20	0	-168,904	4,722	2,227	47,298
1本梁 (上下地盤ばね)	-20	0	-168,941	4,719	2,245	47,293
1本梁 (集約地盤ばね)	-20	0	-205,882	4,839	0	0