

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

阪神高速道路(株) 正会員 ○八ツ元 仁, 小川 和花, 篠田 隆作, 崎谷 淨

日本シビックコンサルタント(株) 正会員 山根 勝悟, 荒木 繁雄

1. 目的 開削トンネルやシールドトンネル等の地中構造物については、耐震設計をトンネル軸直交方向（直交方向）のみならず、トンネル軸方向（軸方向）の検討を行うことが一般的である。特に、近年における大規模地震の入力地震動が大きくなっていることを踏まえると、これらの耐震設計の重要性は高まっている。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、開削トンネル等の RC 製地中構造物に必ず設ける構造継手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、必要不可欠な設計での検討項目となる。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。開削トンネルの場合、構造物幅、構造物高さが 10m を超えることは珍しくない。しかし、解析モデルの中ではこの大きな躯体を梁要素という一本の線状要素でモデル化するため、実際の構造物が接する地盤を

適切に評価するには工夫が必要となる。ましてや、互層地盤のように複雑に変化する地盤条件下では躯体と接する地盤も変化することから、その評価については慎重に行う必要がある。応答変位法の場合、地盤の評価に直結するのが地

盤ばね設定であり、この地盤ばねの設定方法が縦断耐震設計の課題とも言える。これらを踏まえ、筆者は過年度より解析精度の高度化を目指した検討を実施してきている²⁾。本稿では、文献 2) の中で提案した解析モデルの精度を定量的に把握することを目的に、従来の縦断耐震設計で用いる解析モデルで求めた継手部における断面力の比較結果について報告を行う。

2. 解析手法 文献 2) と同様に、解析対象は阪神高速の標準的な構造諸元を持つ開削トンネルを対象として、図 1 に示すように軸方向と直交方向を模擬した 2 次元挙動を把握するための解析を行った。躯体の解析モデルは 1 本の梁要素（1 本梁モデル）でモデル化した場合と、頂版・側壁・底版を各々梁要素でモデル化し、一定の間隔で剛性が極めて高い仮想梁要素で接続することで開削トンネルの高さ方向を 2 次元空間内で模擬した 3 本梁でモデル化した場合の 2 モデルについて検討を実施した。ただし、1

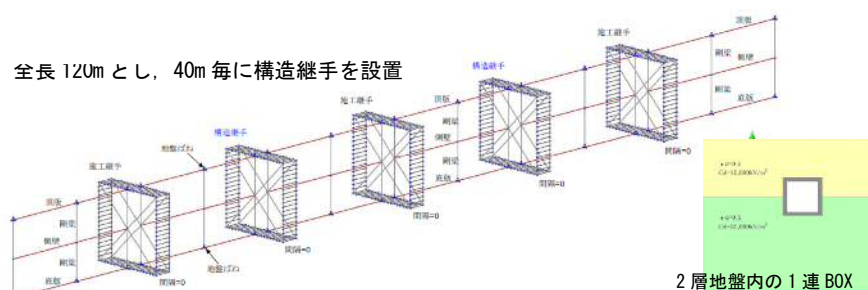


図 1 開削トンネルのモデル化概要

項目	モデルの概要
3本梁モデル	a) 躯体剛性は各部材の全断面有効剛性 c) 地盤ばねを躯体上下面の位置に分割して設置
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) 鉛直、せん断ばねを躯体上下面の位置に分割して設置
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

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

〒160-0004 大阪市港区 阪神高速道路(株)大阪建設部 TEL:06-3355-3442

本梁モデルについては、梁モデルに接続する地盤ばねの設定方法を、a) 頂版側・底版側の地盤ばねを梁要素の位置に集約して接続するケース、b) 梁要素に頂版及び底版の高さ位置まで達する仮想の剛部材要素を接続し、その剛部材要素の先端に頂版側・底版側の各地盤ばねを設置したケースの2 ケースを検討することし、計3 ケースの検討とした。図2に躯体部の解析モデルを示す。なお、頂版側、底版側の地盤ばねは文献2)に示す方法で求めることとする。

縦断方向の地震時作用力は、正弦波で模擬することとし、応答変位法の考えに基づき図3に示す強制変位波形を地盤ばね先端部に与えた。作用力は軸方向に2 方向（圧縮・引張）、直交方向1 方向とし、本検討では同時作用は行わず、個別に作用させることで各作用力の影響を評価した。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、中心、底版での作用変位量を異なる値とした。

3. 解析結果 継手部に生じた最大発生力の3 モデルの比較結果を表1に示す。また、図4には圧縮方向の作用力下での圧縮力の縦断方向分布を示す。3 本梁モデルと1 本梁（上下地盤）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）モデルは直交方向では他の2 モデルと同じ結果を示したが、圧縮・引張の2 方向では15%程度過大に評価する結果となった。圧縮・引張の2 方向では地盤ばねのせん断方向ばねが抵抗することになる。頂版・底版ばねを分離する上下地盤モデルの場合、せん断抵抗による偶力作用がより正確に求められるが、集約モデルの場合はそれが生じないため、このような差が生じるものと考えられる。直交方向は地盤ばねの鉛直方向ばねが抵抗するが、この作用メカニズムについては3 モデル間で差がないため、断面力に差が生じなかったと考えられる。

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3 本梁モデルと同等の解析精度を有することが明らかとなった。

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：阪神高速大和川線開削トンネル部における縦断耐震検討, 第54回地盤工学シンポジウム, 2009.11.

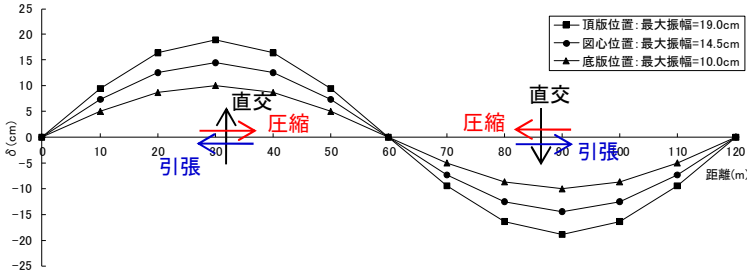


表1 継手部に生じる最大発生力の比較
(上段：圧縮，中段：引張，下段：直交)

	継手 圧縮量 (mm)	継手 引張量 (mm)	圧縮軸力 Ncmax (kN)	引張軸力 Ntmax (kN)	鉛直せん断力 Symax (kN)	鉛直面内曲げ Mymax (kN・m)
3本梁 合計値	-20	0	-121,673	3704	180	-10,451
1本梁 (上下地盤ばね)	-20	0	-121,672	3705	189	-10,418
1本梁 (集約地盤ばね)	-20	0	-141,114	3799	0	0

	継手 圧縮量 (mm)	継手 引張量 (mm)	圧縮軸力 Ncmax (kN)	引張軸力 Ntmax (kN)	鉛直せん断力 Symax (kN)	鉛直面内曲げ Mymax (kN・m)
3本梁 合計値	0	63.6	-22,224	22691	4,788	43,149
1本梁 (上下地盤ばね)	0	63.7	-22,223	22689	4,838	43,785
1本梁 (集約地盤ばね)	0	74.4	-25,202	25134	0	0

	継手 圧縮量 (mm)	継手 引張量 (mm)	圧縮軸力 Ncmax (kN)	引張軸力 Ntmax (kN)	水平せん断力 Shmax (kN)	水平面内曲げ Mhmax (kN・m)
3本梁 合計値	-20	40.4	-24,964	-	7,961	178,535
1本梁 (上下地盤ばね)	-20	40.4	-24,972	-	7,963	178,578
1本梁 (集約地盤ばね)	-20	40.2	-24,909	-	7,924	178,132

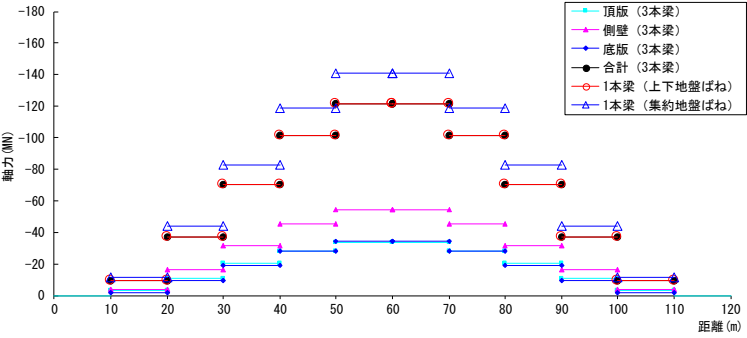


図4 縦断方向の圧縮力の比較結果（圧縮方向作用力）