

地盤急変部におけるトンネルの地震時挙動把握のための検討

(株)奥村組

正会員 ○中山 学

京都大学防災研究所

正会員 佐藤 忠信

神戸大学工学部

正会員 高田 至郎

1. まえがき

大深度に地下構造物が建設されるようになると、地表面付近から地盤深部への移行区間におけるトンネルは必ず地盤の剛性が急に変わる地層境界を横切ることとなる。一方、地中埋設物の動的挙動を把握するために実施されるようになった地震観測や実験の結果から、地震時に発生する地盤ひずみは地盤の剛性変化点付近で大きくなり、地震被害との関連性の大きいこと¹⁾が明らかにされるようになった。したがって、大深度に向けて築造されるシールドトンネルの耐震性を論ずる場合、地盤剛性の変化点付近におけるシールドトンネルの地震時挙動を把握しておく必要性は高いと考えられる。

本検討は、成層地盤内にトンネルが傾斜して築造された場合を設定し、入力地震波のみかけの速度を 450 m/secとした場合と鉛直に上昇する入力地震波の場合を想定して両者の応答特性を比較することにより、両者の差異について検討を加え、さらに現行の耐震設計指針による試算結果との比較を踏まえ、今後の課題点を抽出する。

2. 解析条件

シールド外径 $\phi 14.3$ mの高速道路用トンネルが築造される場合について検討を行った。この時、車両の走行を考慮して道路の最大勾配を8%とした。地震波の位相差が管路断面方に影響を与えると一般的に云われていること、二次元問題として取り扱う場合には管路剛性の評価に検討課題があると判断して、

① 位相差のある地震動を入力をした場合と同位相の地震動を入力した場合、

② 管路剛性を管路直径で除した場合と管路直径の7倍(地盤と管路の変位に着目して求めた値)で除した場合

の組み合わせで検討した。

図-1のような成層地盤内にシールド工法によって管路が築造されると仮定して、解析モデルは管路を梁要素に置換した二次元平面ひずみ問題とし、地盤の半無限性を表すために底面には粘性境界、側面には伝達境界を設け、解析プログラムコードは「Super-FLUSH」を用い、管路軸方向のパネ定数は川島ら²⁾の手法で決定した。

なお、入力地震波は大阪の地盤特性を考慮して、南海地震の発生域を震源とするM8クラスの地震動を仮定して作成し、模擬地震波³⁾を基盤面に引き戻した波(図-2)を入力地震波として採用した。

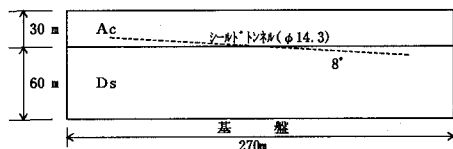


図-1 検討モデル図

表-1 地盤定数

地 層	AC	DC	基盤
単位体積重量 γ (tf/m ²)	1.6	1.8	2.0
せん断波速度 V_{sc} (m/sec)	140	300	400
地震時せん断波速度 V_s (m/sec)	125	227	
地震時減衰定数 h (%)	5.4	5.1	
動的ポアソン比 ν_s	0.49	0.45	

表-2 トンネル構造諸元

外 径 (m)		14.3
内 径 (m)		12.3
縦断 方向	等価軸圧縮剛性 (tf)	1.27×10^4
	等価軸引張剛性 (tf)	3.70×10^7
	等価軸曲げ剛性 (tf・m ²)	8.25×10^4

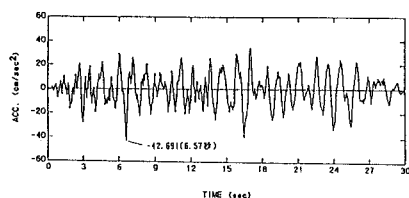


図-2 入力地震波

3. 解析結果および考察

図-3にFEM応答解析結果および「ガス導管耐震指針」「共同溝耐震設計指針」を適用した試算の結果を示す。これらを比較することにより以下のことがわかる。

- 1) FEM応答解析結果では、位相差を考慮した入力の場合の方が同位相入力の場合に比べ応答値が約3～4倍大きくなっており、発生断面力の値は位相速度の設定に大きく依存する。また、地盤の剛性変化部（点B）付近では、一般部（点A）に比べて約1.5倍程度の大きな断面力が発生している。したがって、地盤の剛性変化が応答に及ぼす影響は無視できないと判断できる。
- 2) 基盤水平震度を0.15とした「ガス導管指針」と「共同溝指針」によって算出された軸力値は両者で大きな差異はないと判断されるが、これらの値は同位相入力のFEMによる解析結果の応答値とはかけはなれ、さらに位相差を考慮した入力の場合よりも大きくなっている。これは、現行設計法で設定した基盤入力値がFEM解析における基盤水平震度の約3.5倍となっているためであり、設計としては安全側に断面算定されている。
- 3) 通常の耐震に関する詳細検討では、簡便法である応答変位法を用いることが多く、地盤変位の評価が管路の断面に与える影響は大きい。本検討モデルのような地盤剛性が著しく変化する場合では、少なくとも検討地盤の層序、層厚等を対象とした一次元の地震時応答解析を実施して、地表面を含めた地盤内変位を求めることによって、入力条件と想定している地震規模との整合を図る必要があると思われる。

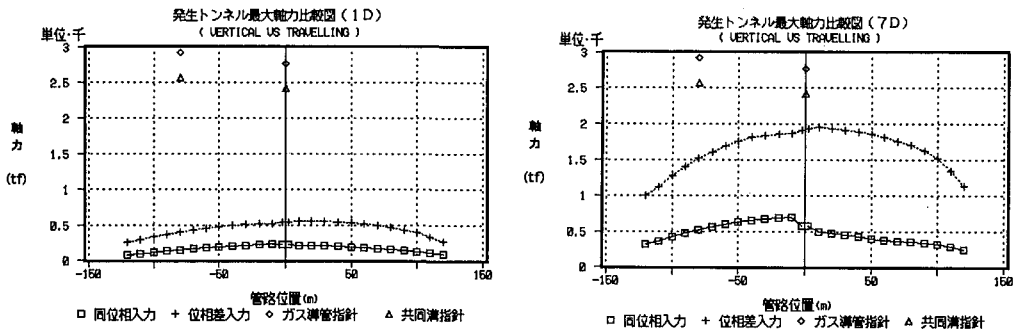


図-3 発生トンネル最大軸力比較図

4. 今後の課題

現在、工学的基盤として取り扱っている地盤内に構造物を築造することが今後の大深度化に伴って増えることが予想され、この場合、地中構造物は地盤の剛性が変化する区間を横断するので、地盤も含めた全体系としてとらえ、発生するひずみを把握するために地盤の剛性変化点付近の地震観測データの蓄積および地震発生時の被害の実例を踏まえた検討が必要であろう。

5. あとがき

本報告は「地下空間の活用と技術に関する研究協議会（座長：土岐憲三）の第3分科会耐震グループ（代表：高田至郎）」の研究成果の一部をとりまとめたものである。御討議頂いた委員、WGのメンバーの皆様へ感謝致します。

（参考文献）

- 1) 元山宏ら：地盤剛性急変部におけるトンネルの模型振動実験，第20回地震工学研究発表会講演集，1989
- 2) 川島一彦ら：シールドの耐震性に関する研究—シールドセグメントの等価剛性の評価および応答変位法の適用—，土木研究所資料，第2262号，3) 澤田純男ら：応答変位法と道路橋示方書の設計スペクトルの比較（その2），土木学会第48回年次学術講演会，4) 土岐，足立，松井：関西における地下空間の活用と技術に関する研究動向（その3），地下空間シンポジウム1993，土木学会，pp189～198，1993