

大規模三次元解析によるトンネルランプ部の地震時挙動

鹿島 技術研究所 正会員 ○大保 直人*¹鹿島 技術研究所 正会員 山田 岳峯*¹アライドエンジニアリング 立花 一彦*²アライドエンジニアリング 秋葉 博*²

1. はじめに

地下構造物の耐震安全性評価において、構造急変部や地盤急変部における検討が重要であることが指摘されている¹⁾。近年、大都市圏において高速道路を大深度地下に構築する計画が具体化されつつあり、地上から地下高速道路本線への入出路としてランプを有するトンネル構造部の建設が必要とされている。トンネルランプ部は、構造急変部であり、また地盤急変部となることも想定されることから、その地震時挙動を解明するとともに合理的な耐震設計法の構築が必要である。

ここでは、サイドランプ方式のトンネル構造物を対象に、大規模三次元FEM解析プログラムを用いて大地震時におけるトンネルランプ部の地震時挙動について確認した。

2. 解析対象構造物

解析対象構造物は、2車線の本線トンネルに1車線のランプトンネルをサイドランプ方式で接続するトンネルランプ部で、実際に想定される施工条件（本線及びランプ線の施工後に接合部は切り抜けにて構築）をイメージして、以下に示す構造を設定した。

地盤は、速度構造が異なる3層の地層が堆積する水平成層地盤とし、トンネル寸法を勘案し解析対象領域は長さ524m、幅150m、深さ50mとした。トンネルは、当該地盤内に土被り20m、外径13mの本線トンネルから地上部へのアクセスとして外径9mのランプトンネルが接続される場合を想定した。モデルの概要を図-1に示す。トンネルのライニング厚さはいずれも0.75mとし、またランプトンネルの勾配は9%とした。以上から、トンネルは、本線トンネル、ランプトンネルへと分岐あるいは合流する構造、およびランプトンネルで構成される。なお、ランプ線の地上部に近い部分には堀割構造を配置した。

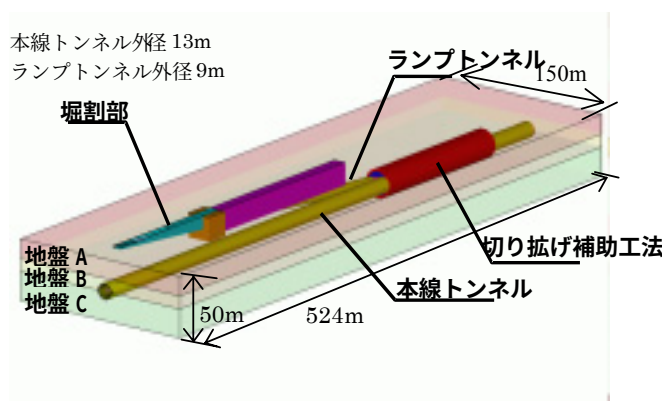


図-1 解析対象モデルの概要

3. 解析の概要

解析上のモデルは、詳細な挙動評価を優先して、解析対象周波数を10Hzとしてメッシュの大きさを設定し、トンネル鋼殻からトンネル分岐・合流部に出現する中壁に至るまで精緻にモデル化した。要素数は約170万個、節点数は約38万点である。解析条件は、左右側方境界は鉛直固定、水平自由とし、底面は固定境界とした。

モデル化において、施工過程上必要と思われる補助工法を含めた構造毎に物性値を変更できるように要素グル

表-1 材料の物性値

	S波速度 (m/s)	弾性係数 (Pa)	密度 (g/cm ³)	ポアソン比	減衰定数 (%)
地盤A	180	1.74E+08	1.8	0.49	5.0
地盤B	350	7.20E+08	2.0	0.47	5.0
地盤C	400	9.34E+08	2.0	0.46	5.0
地盤改良部	507	1.50E+09	2.0	0.46	5.0
トンネル本体	—	3.43E+10	2.6	0.17	3.0

キーワード：三次元FEM、地下構造物、特殊構造部、シールドトンネル、地震時挙動

連絡先 *1 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1

TEL0424-89-7296 FAX0424-89-7116

*2 〒140-0014 東京都品川区大井 1-21-17

TEL03-3774-9111 FAX03-3774-9136

ープを細分化しており（図-1 の色表示を参照）、今回の解析では、トンネル、堀割部、3層構造の地盤の他、ランプトンネル上部は地盤改良する場合を仮定した。主要要素の材料定数を表-1に示す。解析は、同モデルに兵庫県南部地震の際にポートアイランドの地下

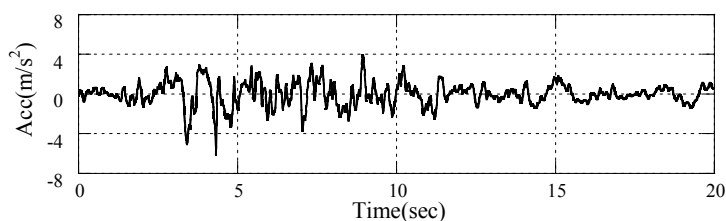


図-2 入力波形

で観測された地震波（図-2 参照：NS 成分を最大加速度 600gal に補正）を解析モデル基盤にトンネル軸方向と軸直角方向にそれぞれ入力するケースを実施した。計算は、並列処理型三次元解析プログラム ADVC を用いた。計算手法はニューマークのβ法による陰解法である。解析では、地震応答解析機能を拡張した 15 台のワークステーション（各ノードは Intanium2 900MHz, 主メモリ 4GB）を用いた。

4. 解析結果

地下構造物の耐震設計では、地盤・トンネルの応答変位の深さ方向分布が重要となる。図-3には、各入力方向の解析で得られたランプ部の断面位置での地盤（トンネル中心から 40m 離れた位置）、本線トンネル中心位置およびランプトンネル位置の最大・最小変位振幅の深さ方向分布を示す。

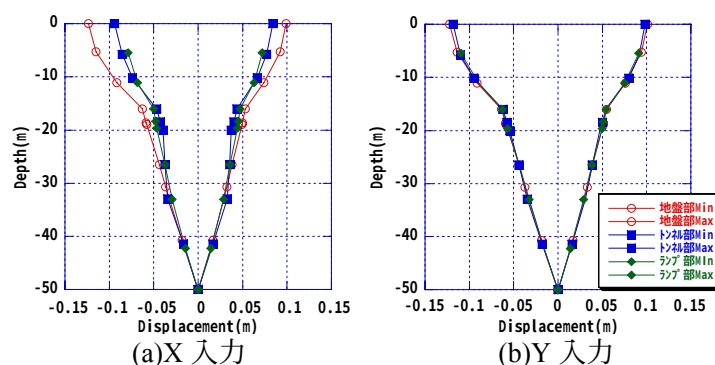


図-3 最大・最小変位振幅の深さ方向分布

Y方向（トンネル軸直角）入力では、3断面の変位振幅は同じである。一方、X方向（トンネル軸）入力に対してトンネル下部（深度-33m）までは地盤とトンネル位置での応答性状は同じである。しかし、トンネル部分（-20m～-33m）ではトンネルの応答が小さくなっている。さらにトンネル上部地盤部の変位振幅は周辺地盤の振幅より小さくなっている。また、ランプ部の応答も同じ傾向を示している。この結果は、トンネル軸方向に地震動が作用する場合にトンネル周面に大きな荷重が作用した可能性を示している。この詳細については、今後さらに検討が必要である。

図-4にはX方向入力で 3.6 秒経過後にトンネル軸方向に発生した応力分布を示す。特に、領域A及びBで大きな応力が発生しているが、ランプ部全体に渡って比較的大きな応力が発生している。これは、ランプトンネルの深度が変化し、それぞれの位置での応答変位が異なることに原因する。

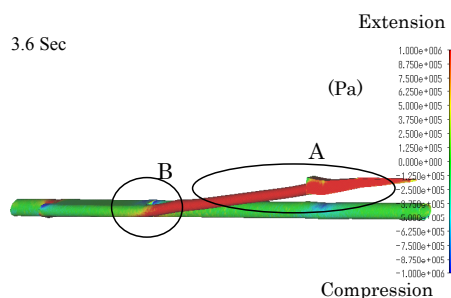


図-4 X方向入力時の応力発生状況

5. まとめ

ランプトンネル部の地震時挙動を解明するために大規模三次元解析を実施した。得られた結果を以下に示す。

- ① 入力方向によってトンネル周辺地盤の応答が異なる。
- ② トンネル軸方向入力では、ランプトンネル部の軸方向が大きく変形するため軸方向に大きな応力が発生することが明らかになった。

今後、解析を更に進め、分岐・合流部での挙動解明を実施し、三次元挙動を考慮した検討の必要性について詳細に検討する予定である。

参考文献

- 1) 川島一彦：地下構造物の耐震設計， 鹿島出版会，1994 年