

# 分合流部を有する大型道路トンネル全体系を対象とした3次元地震応答解析

首都高速道路(株) 正会員 並川 賢治, 土橋 浩, ○長田 光正

東京大学 正会員 堀 宗朗, 市村 強

鹿島建設(株) 正会員 山田 岳峰, 小原 隆志, 沖見 芳秀, 大保 直人

## 1. まえがき

これまで、道路トンネルの分合流部は硬質な均質地盤に建設されてきたため、その耐震設計はトンネル横断面を検討対象としてきた。しかしながら、分合流部の拡幅構造は同一断面ではなく出入口トンネルの縦断は地上に向かうため構造は3次元的に複雑でさらに出入口トンネルは硬質地盤から外れる層を通過することから、トンネル全体系の地震時挙動を踏まえた耐震性を検証し評価することが望まれる<sup>1)</sup>。そこで本報告では、実際のランプトンネルを対象に、トンネル構造を部材の健全性が検証できる精度で再現したモデルで大規模な3次元FEM地震応答解析を実施し、ランプトンネルの地震時挙動を把握する。

## 2. 検討対象のモデル化及び解析方法

検討対象は、首都高中央環状線山手トンネルのセンターランプ式道路トンネルである。解析モデルを図-1に示す。分合流区間では、鋼製セグメントとの接合部を有するRC構造の出入口トンネルが、2本の本線トンネルの間に構築され、拡幅構造が複雑に変化する。解析モデルはこれらの構造をできる限り再現している。地盤は、弾性波速度が大きく変化する東京礫層上面を層境とした2層水平成層構造とする。地震時の地盤の非線形挙動は、自由地盤の地震応答解析をSHAKEで行い、その収束剛性を用いることで、線形解析で擬似的に考慮する。

有限要素は形状が細かく応答が集中する構造物並びに構造物周辺地盤については2次アイソパラメトリック4面体要素を用い、その周囲は1次のボクセル要素を用いる<sup>2)</sup>。レベル2地震時の地盤の1次固有振動数が0.8Hzであること、並びにその地震波の主要周波数帯が約1.5Hz以下であることから、解析結果を精度的に保証する振動数成分(1波長当たり10データを仮定)の目標値を最大2Hzとし、地盤の要素寸法を3.5mに設定する。構造物は応答変位、応力、断面力の収束性を考慮し、断面方向に1要素を確保できるように要素寸法1mでメッシングを行う。その結果、解析規模は2,638,078節点、2,268,533要素となる。

地震波は、現行の設計で用いられている設計地震波レベル2地震動のうち、自由地盤の応答が最大となるT2E-B-3(最大加速度702.7gal)を用いる(図-2)。自由地盤を対象に、実設計で耐震設計上の基盤面となっている本線トンネルの5m下がり位置に入力し、解析モデル底面位置に引き戻した波の主要動部分(継続時間10.23秒、時間刻み0.01秒)を、3次元解析モデル底面にトンネル軸直角方向に入力し解析を行う。

## 3. 解析結果

全時刻歴における各方向の直応力最大値のトンネル長手方向分布図を図-3に構造種別毎に整理する<sup>3)</sup>。RC構造部は、第1

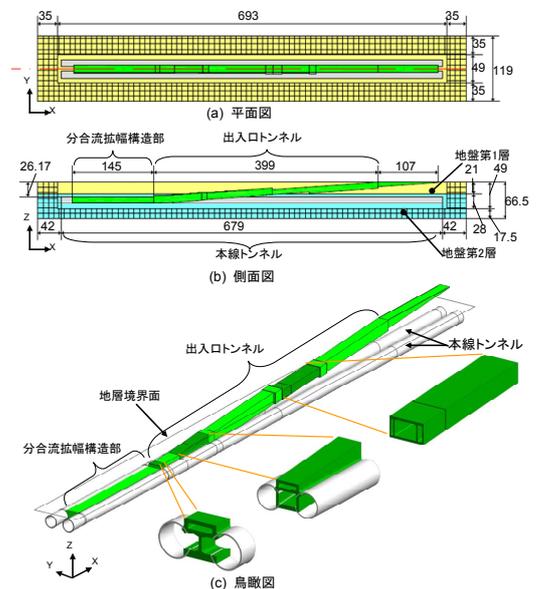


図-1 解析モデル

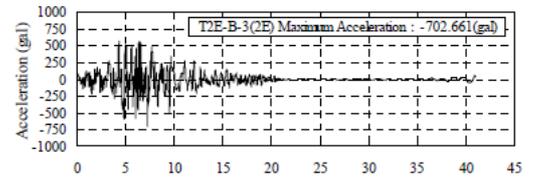


図-2 レベル2地震動入力波(T2E-B-3)

表-1 解析定数

	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$V_s$ (m/s)	$\nu$	$\alpha^*$ (1/sec)
本線トンネル	609	3372	0.30	2.0
ランプトンネル	2500	2299	0.15	2.0
地盤第1層	1500	60	0.45	2.0
地盤第2層	2000	400	0.45	2.0

\*: レーリー減衰質量依存項

キーワード 分合流部 ランプトンネル 3次元 地震応答解析 応力 断面力

連絡先 〒100-8930 東京都千代田区霞ヶ関1-4-1 首都高速道路(株)技術部 TEL:03-3539-9464

層地盤の相対変位が最大または最小となる時刻で  $x$  座標が 400m~500m 程度の範囲の地層構造変化部周辺で直応力成分が大きくなる。直応力が最も大きくなる箇所は出入口トンネルのトンネル下端が地層境界と交差する断面のトンネル側壁である。また、トンネル構造が変化する箇所で、応力が局所的に増大する。一方、鋼製セグメント部は、第2層地盤の相対変位が最大となる時刻で、 $x$  座標が約 200~300m で発生応力が増大する。 $x=216m$  は、RC 構造の断面が中壁構造からボックス型に変化するノーズ部で、当該箇所を境に RC 構造の発生応力は減少し、鋼製セグメントの最大応力が増大する。 $x=282m$  の断面を図-4 に示す。同図に示すように鋼製セグメントの応力が大きくなる範囲では、RC 構造と本線トンネルの接合部に作用する断面力も大きくなる。

RC 構造部の応答が最大となる時刻のトンネルの応答(変位, 応力)を図-5 に示す<sup>4)</sup>。RC 構造部では、軟質な第1層地盤に位置する出入口トンネルが地震動入力方向となるトンネル軸直角方向に大きく変形し、

出入口トンネルには軸方向変位や鉛直変位が発生する。その結果、出入口トンネルの地層構造変化部で応力が集中し、 $\sigma_{zz}$ ,  $\sigma_{yy}$  の他、面外方向のトンネル軸方向応力  $\sigma_{xx}$  がトンネル長手方向の曲げに伴い大きくなる。

4. あとがき

分合流部を有する大型道路トンネルの全体系を対象に3次元地震応答解析を行うことで、複雑な構造を有するトンネルの耐震上の課題箇所を抽出できることが分かった。今後、全体解析結果との整合を図り、設計照査できる程度まで詳細にモデル化した部分解析法を開発し、課題箇所を対象に詳細検討を行う予定にしている。

参考文献 1)土橋浩,寺島善宏,堀宗朗,市村強,大保直人,沖見秀秀,山田岳峰,小原隆志,大型トンネルを対象とした3次元 FEM 地震応答解析の有限要素分割に関する基礎検討,土木学会第65回年次学術講演会,pp.829-830,2010年。2)土橋浩,市村強,大保直人,堀宗朗,山田岳峰,複雑な構造を持つ大型トンネルの地震応答に対する大規模三次元数値解析の必要性の検討,土木学会論文集 A,Vol.64 No.3,pp.829-830,2008年。3)T.Yamada, M.Hori, T.Ichimura, H.Dobashi, Y.Terashima, N.Ohbo, T.Obara, Three-dimensional seismic response analysis of underground ramp tunnel structure using massive numerical computation, WTC2011, 2011年。4)H.Dobashi, Y.Terashima, M.Hori, T.Ichimura, N.Ohbo, T.Yamada, T.Obara, Seismic Performance Analysis of Underground Ramp Tunnel Structure using 3-D Massive Numerical Computation, COMPDYN2011, 2011年。

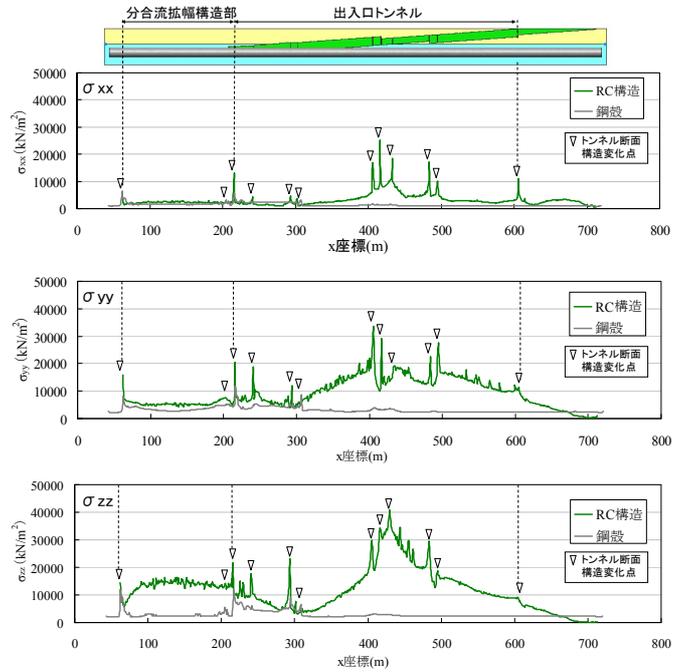


図-3 トンネルに作用する直応力最大値の分布

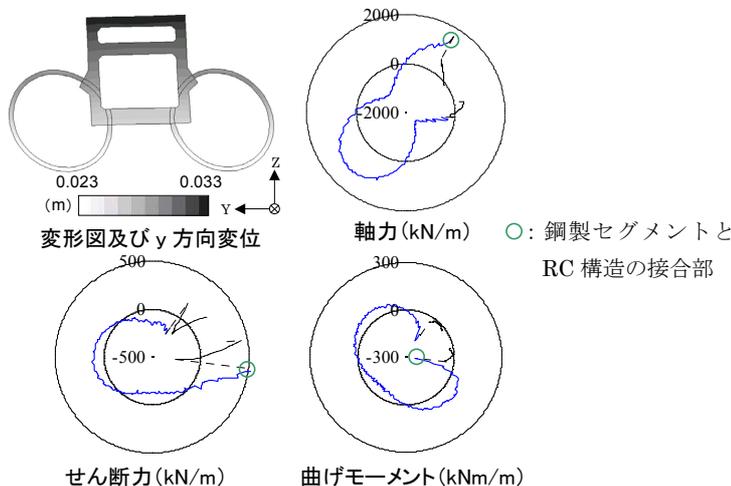


図-4 鋼殻に作用する断面力

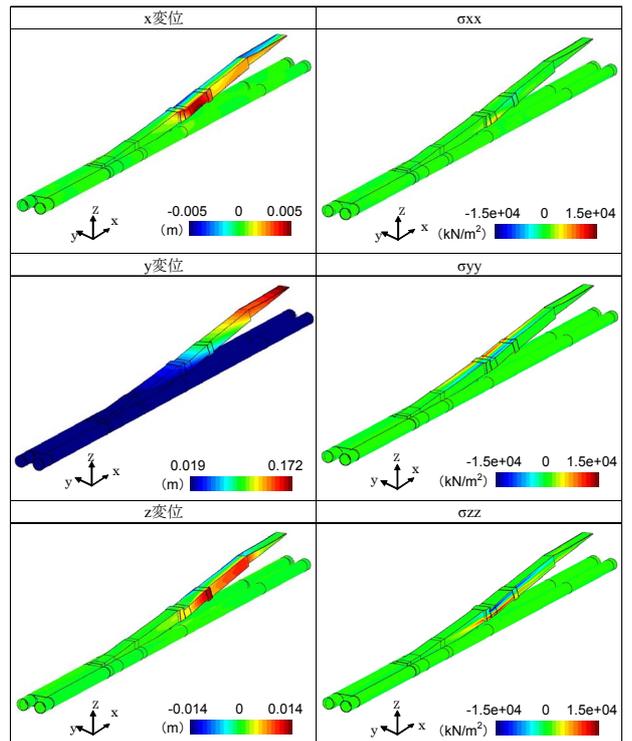


図-5 変位及び直応力