

分合流部を有する大型道路トンネルの部分挙動に着目した三次元地震応答解析

首都高速道路(株) 正会員 ○長田 光正, 並川 賢治, 土橋 浩
 東京大学地震研究所 正会員 市村 強, 堀 宗朗
 鹿島建設(株) 正会員 山田 岳峰, 小原 隆志, 沖見 芳秀, 滝本 邦彦

1. 目的

首都高速道路山手トンネル(以下, 山手トンネルという)の分合流部は, 硬質な地盤に建設されているため, トンネルの二次元横断面を検討対象とした耐震設計が行われてきた。しかし, 地上にアクセスするランプトンネルの地震挙動の影響を受け, また, 断面が三次元的に複雑に変化するため, 複雑な地震応答を示すものと考えられる。そこで本報告では, 実際の分合流部を有するトンネル全体系を対象に, 大規模な地震応答解析を行い¹⁾, その結果をもとに, 分合流部の RC 躯体に着目し, 階層型解析²⁾を用いた高分解能な部分解析により, 地震時挙動を把握する。

2. 検討対象のモデル化

検討対象は, 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。分合流部周辺では, 2 本の本線トンネルの間に, 本線トンネルの鋼製セグメントとの接合構造を有する RC 躯体(図-1 緑着色部)が構築されている。地上にアクセスするランプトンネルの縦断勾配のため, RC 躯体の断面形状は縦断方向で変化する。全体系の解析モデルは, 周辺地盤を含め, 検討対象のトンネル全体系約 700m を, 四面体二次要素を用いてモデル化する。部分解析モデルは, 全体系から着目部位を抽出し, 応力等を高精度で評価できるように, 要素寸法を小さく分割してモデル化する。

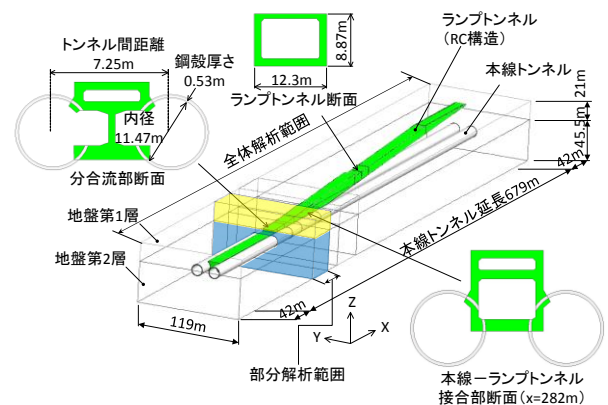


図-1 数値解析モデル

表-1 解析定数

	質量 $\rho(\text{kg/m}^3)$	せん断波速度 $V_s(\text{m/s})$	ポアソン比 ν	減衰定数 h
地盤第1層	1500	60	0.45	0.25
地盤第2層	2000	400	0.45	0.04
本線トンネル	609	3372	0.3	-
ランプトンネル	2500	2299	0.15	-

RC 躯体は, 複雑に変化する断面形状をできる限り詳細に再現する。本線トンネルは, すべて硬質地盤内に構築されており, 地盤の拘束が大きく変形が小さいことから, 覆工厚が鋼製セグメントの桁高と同厚の中実断面とする。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, 二層水平成層地盤とする。

全体解析の要素は, 構造物では, 部材の厚さ方向で最少 1 要素配置できる寸法とする。地盤では, 自由地盤の固有振動数を考慮し, 周波数成分で 3.0Hz までの精度が保障される寸法とする。部分解析の要素は, 構造物, 地盤とも, 全体解析の要素を 8 分割したものとする。

3. 解析方法

トンネル全体の解析には, 動弾性解析手法を用いる¹⁾。解析定数を表-1 に示す。弾性解析で地盤の非線形応答を再現するため, 地盤の解析定数は, 表層地盤の非線形性

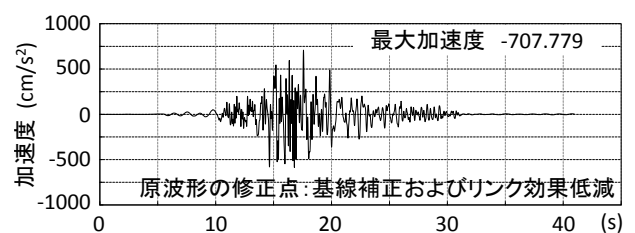


図-2 入力地震波

キーワード 分合流部, ランプトンネル, 三次元, 地震応答解析, 応力, 階層型解析

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

を考慮した等価線形解析 (SHAKE) の等価剛性を用い, SHAKE で収束した減衰定数を参考に, 地盤の最大応答が SHAKE とほぼ一致するように減衰定数を定める. 構造物の解析定数は, RC 躯体については材料の物性値を, 本線トンネルについては, 弾性係数は断面の面内曲げ剛性が実構造と一致する換算値を, 質量は単位奥行当り重量が一致する換算値を用いる. 入力地震波は, 既往設計で想定している耐震設計上の基盤面 (本線トンネル下面より 5 m 下がった面) に入力した「T2E-B-3」地震波 (図-2) を, 等価線形化法を用いてモデル底面に引き戻したものを使う. 地震波の入力方向は, トンネル軸方向および直角方向とする. 部分解析においては, 解析定数はトンネル全体の解析と同様とし, 全体解析の結果を外力として部分解析モデルに与え, 部分解析モデルの詳細な構造を反映した応答を得る²⁾.

4. 解析結果 (部分解析, トンネル軸直角方向入力)

分合流部における, 軸直角方向変位と卓越する応力として鉛直方向直応力の分布を図-3 に示す. 横断面内のせん断変形に伴い, 曲げに起因する鉛直方向の直応力が, 中壁の上下端に最大で 20MN/m^2 程度発生している.

5. 解析結果 (部分解析, トンネル軸方向入力)

分合流部における, 軸方向変位と卓越する応力の分布を図-4 に示す. トンネル軸方向に地震波を入力した場合, 軸方向の直応力 (σ_{xx}) に着目すると, 複雑な躯体形状の構造変化部 (ノーズ部等) に局所的な応力集中がみられる. 今後, 実務設計において配慮すべき事項となる可能性がある. また, 上床版と底版における軸方向変位の相対差に伴い中壁に, および地盤応答が大きい第 1 層中のランプトンネルから, 第 2 層中の本線トンネルへの軸方向力の伝達に伴い, RC 構造と鋼殻の接合構造付近に, 二次元横断面を対象とした検討では扱えない, 軸方向鉛直面内のせん断応力 (σ_{zx}) が最大で 3MN/m^2 程度発生している. 軸方向は鋼殻主桁の弱軸方向となるため, このようなせん断力が作用した際の挙動について, 検討が必要と考えられる. 今後, 実務設計において考慮すべき作用力となる可能性がある.

6. あとがき

構造変化部における軸方向直応力の局所的な集中や, 軸方向のせん断応力は, 二次元解析や梁モデル等による解析では評価することが不可能であり, 地盤条件や構造物の形状によっては, 本モデルのような三次元解析が必要になる可能性がある.

参考文献

- 1) 長田光正, 市村強, 堀宗朗, 並川賢治, 土橋浩, 山田岳峰, 小原隆志, 滝本邦彦: 分合流部を有する大型道路トンネルの三次元地震応答解析, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 68, No. 4, 地震工学論文集第 31b 巻登載決定, 2012., 2) Ichimura, T., and Hori, M.: Seismic Structural Response and Strong Ground Motion Simulation based on Multi-Scale Analysis, *The 6th International Conference on Urban Earthquake Engineering*, pp.139-142., Tokyo, Japan, 2009.

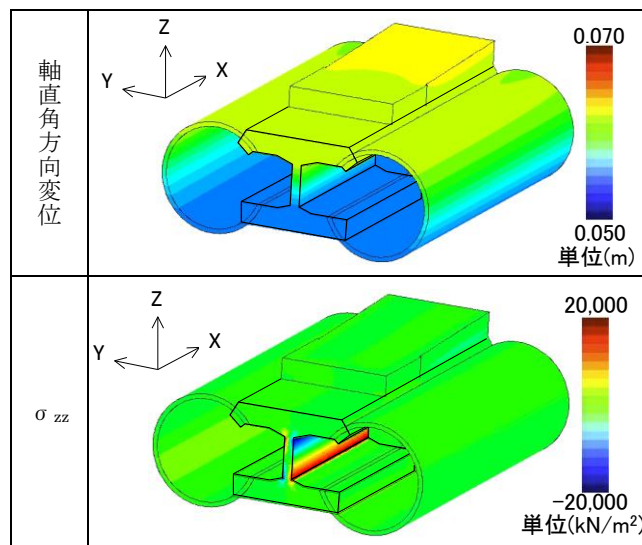


図-3 分合流部の軸直角方向変位と鉛直方向応力の分布
[軸直角方向入力, 分合流部応力最大時 (1777 ステップ)]

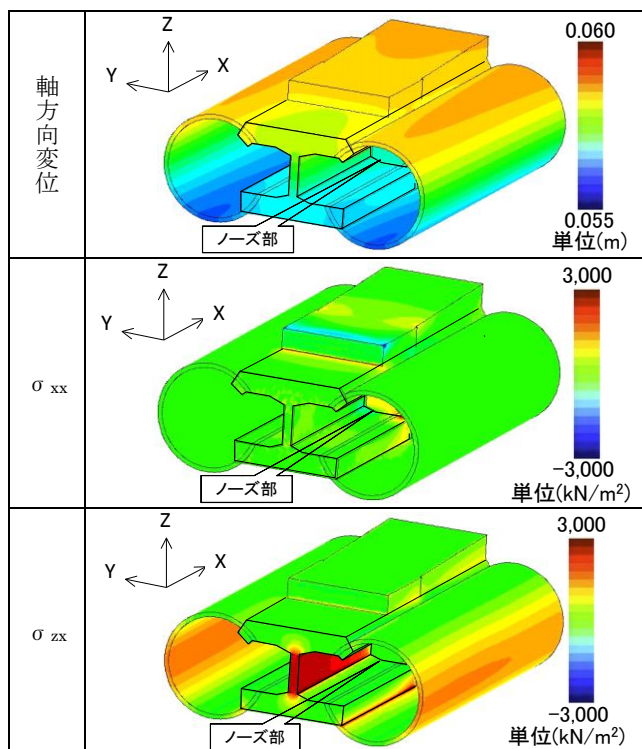


図-4 分合流部の軸方向変位と応力の分布
[軸方向入力, 分合流部応力最大時 (1777 ステップ)]