

センターランプ式トンネルの三次元地震時挙動における三次元効果

首都高速道路(株)	正会員	○波津久毅彦, 土橋浩
鹿島建設(株)	正会員	大保直人, 山田岳峰, 伊丹洋人, 森口敏美
東京工業大学	正会員	市村強, 山木洋平
東京大学	正会員	堀宗朗

1. まえがき

大規模道路トンネルのランプ等の分岐合流部の構造は,三次元的な地震応答を示すことが指摘されている¹⁾.このような,トンネルの地震時挙動は,トンネル構造(幾何形状、構造特性)だけでなく,想定する入力地震波の特性並びに周辺地盤構造の影響を受けることが予想される.特に,トンネル分合流部の細部の応力状態やトンネルと地盤の相互作用を詳細に評価する必要がある場合,三次元モデルを用いて構造物と地盤を一体として解析することが望まれる.そこで,筆者らは,実際のランプトンネルを対象として,ランプトンネル分合流部全体を三次元モデル化し,大規模三次元地震応答解析を実施し,ランプトンネルの三次元地震時挙動に係わる諸検討を実施している.本報では,ランプトンネル分合流部の主要な断面に着目し,三次元応答と二次元応答を比較し,ランプトンネルの三次元地震時挙動における三次元効果について考察する.

2. 大規模三次元地震応答解析

センターランプ式トンネルである首都高速中央環状新宿線の西新宿南連絡路トンネルを対象として,当該ランプトンネルの地震時挙動の特徴を,効果的かつ効率的に評価できるよう簡素化した大規模三次元モデル(図-1,表-1)を作成し,大規模三次元地震応答解析(線形動弾性体・質量比例型減衰の三次元動的 FEM 解析,解析保証精度上限値 4Hz)を実施している^{2)~4)}.設計用の L1 地震波と等価な地震波(図-2)をトンネル横断方向に入力した際の,最大地盤応答変位発生時の自由地盤及びトンネルの応答変位を図-3,4 に示す.これらの図に示すように,周辺地盤の応答,特に表層第一層軟質地盤の応答に追従して,ランプトンネルが水平方向に大きく変形することが確認できる.また,ランプトンネルの変位発生状況から,ランプトンネルにトンネル長手方向の曲げやねじり等の三次元的な応答が発生していることが分かる.

3. 着目断面における三次元応答と二次元応答の比較

(1)二次元断面を押出した三次元モデルの三次元地震応答解析

大規模三次元モデルのうち,分合流部位置(以降,分合流部断面)及びランプトンネルが表層に立ち上がった位置(以降,ランプ単独断面)それぞれのトンネル断面に着目し,二つの断面をトンネル軸方向に押出した三次元モデル(以降,押出しモデル)を,大規模三次元モデルと同一規模で作成した(図-5).押出しモデルについて,前出の大規模三次元地震応答解析と同じ解析条件で,三次元地震応答解析を実施した.本報では,押出しモデルの解析結果のうち,トンネル中央断面での応答(平面ひずみ条件)を注目断面の二次元応答とみなし,大規模三次元モデルの解析結果と比較した.

(2)三次元応答と二次元応答の比較

ランプトンネル躯体の外側隅角部のうち,片側上下2ヶ所の応答変位の差分(以降,層間変位)の比較結果を図-6 に示す.表層第一層軟質地盤に位置するランプ単独断面では,層間変位が最大となる2.7秒付近及びその揺れ戻し後の最初の反転個所となる3.0秒付近で,三次元応答と二次元応答の差が大きくなり,層間変位の最大値は,二次元応答の7.6mmに対して三次元応答では8.4mmと,三次元解析の方が10%程度増大する.そこで,層間変位の差が大きくなる2.7秒時点において,ランプ単独断面の各応答変位成分の結果を図-7 に比較した.同図に示すように,特にトンネル軸方向変位の発生量において,三次元応答では断面中心を対照として符号が

キーワード 大規模, 三次元, 地震応答解析, ランプトンネル, 三次元効果

連絡先 〒160-0023 東京都新宿区西新宿 6-6-2 首都高速道路(株)東京建設局 波津久毅彦 TEL 03-5320-1665

反転する変位が発生している。一方、硬質地盤に位置する分合流部断面では、層間変位は概ね一致し（図-5），三次元応答と二次元応答の差が小さい。これらの傾向は、地盤が軟質になるほど、あるいは地盤構造の変化が大きくなるほど、トンネルの三次元的な応答の寄与する割合が増大するためと考えられる。

4. あとがき

ランプトンネルでは、トンネルの三次元的な応答（三次元解析で定量評価が必要とされる挙動）が無視できなくなる可能性があることが確認され、トンネルの耐震設計を考える上で重要な問題を提起している。今後、さらに、二次元平面ひずみ解析結果との比較・確認を行いながら、様々な設計地震波に対する検討を進め、実際のランプトンネルを対象に、地震時挙動に対する三次元効果の影響をより定量的に解明する予定である。

表-1 材料定数

	単位体積重量 ρ (t/m^3)	せん断波速度 V_s (m/sec)	ポアソン比 ν (-)	減衰定数 α	備考
本線トンネル	0.609	3372	0.3	0.9	鋼製セグメント から検算
ランプトンネル	2.500	2230	0.15	0.9	RC構造
地盤第1層	1.500	150	0.45	0.9	せん断弾性係数 $G = 33.75 \text{ N/mm}^2$
地盤第2層	2.000	450	0.45	0.9	

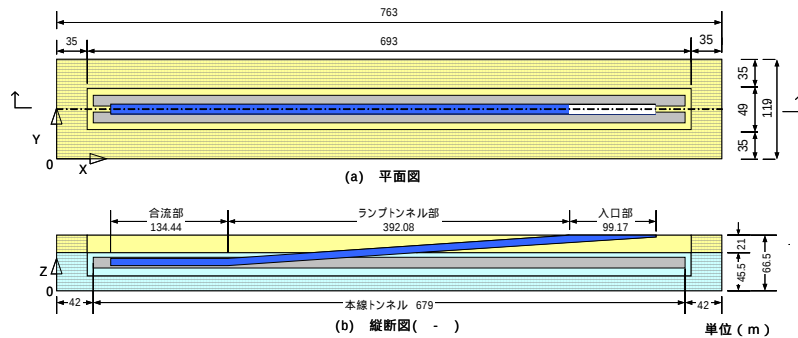


図-1 センターランプ式トンネルの三次元解析モデル

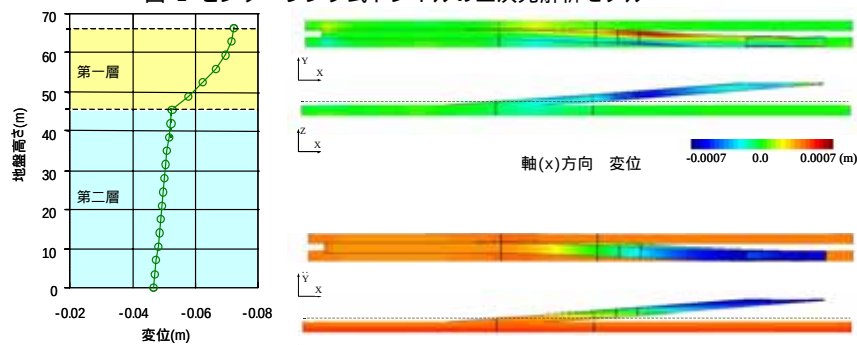


図-3 最大地盤応答変位発生時の地盤応答変位深度分布

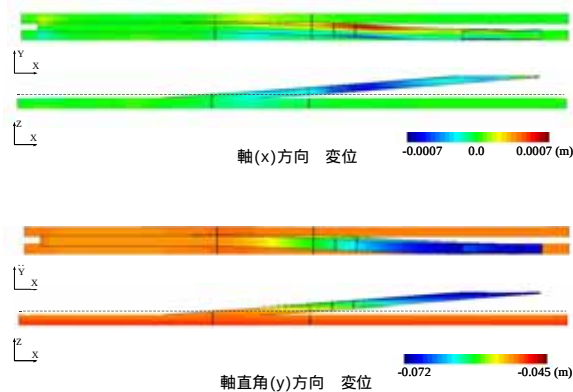


図-4 最大地盤応答変位発生時のトンネル応答変位分布図

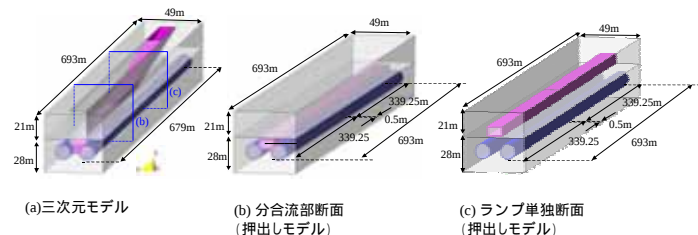


図-5 解析用三次元モデルの概要

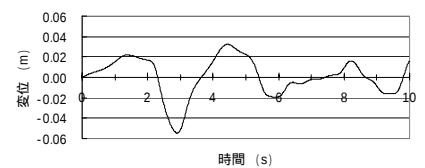


図-2 入力地震動 (L1 地震動)

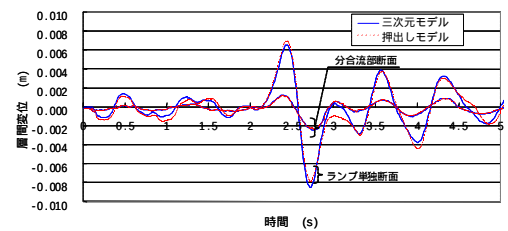


図-6 ランプトンネル層間変位時刻歴の比較

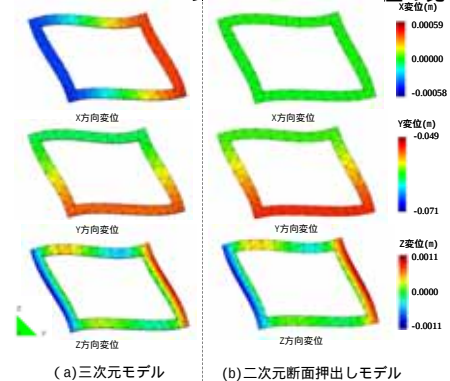


図-7 ランプ単独断面のランプトンネルの応答変位成分の比較（最大地震応答変位発生時）

参考文献

- 1) 山田岳峰, 市村強, 大保直人, 佐茂隆洋, 堀宗朗, 池田清宏, トンネルランプ構造部の地震応答特性と耐震対策工, 構造工学論文集, JSCE, Vol. 51A, pp. 561-568, 2005.
- 2) 市村強, 土橋浩, 落合栄司, 山田岳峰, 伊丹洋人, 大保直人, 森口敏美, 堀宗朗, センターランプ式トンネルを対象とした三次元地震時挙動の検討概要と解析手法の開発, 第42回地盤工学研究発表会, 2007 (投稿中)
- 3) 土橋浩, 落合栄司, 市村強, 山田岳峰, 伊丹洋人, 大保直人, 森口敏美, 堀宗朗, センターランプ式トンネルを対象とした三次元地震応答解析のための解析領域の検討, 第42回地盤工学研究発表会, 2007 (投稿中)
- 4) 山田岳峰, 土橋浩, 落合栄司, 市村強, 伊丹洋人, 大保直人, 森口敏美, 堀宗朗, センターランプ式トンネルを対象とした三次元地震時挙動の評価, 第42回地盤工学研究発表会, 2007 (投稿中)