

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

首都高速道路(株) 正会員 土橋 浩, 寺島 善宏

東京大学 正会員 堀 宗朗, 市村 強

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

1. まえがき

道路トンネルの分合流部は地震時に複雑な挙動を示す¹⁾ことから、その耐震設計においては、横断面方向の検討に加え、3次元動的挙動を詳細に把握し、耐震安全性をより合理的に評価することが望まれる。3次元解析は、従来用いられている応力や断面力等の設計量に基づいて評価を行うことで設計的解釈が容易になることから、今後その活用が進展するものと考えている。本報では、3次元地震応答解析を設計に活用するための基礎検討として、トンネルの設計量の評価に必要となる有限要素分割について検討する。

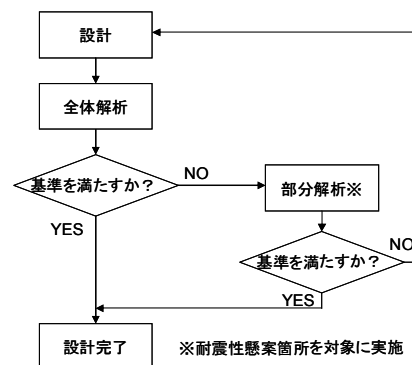
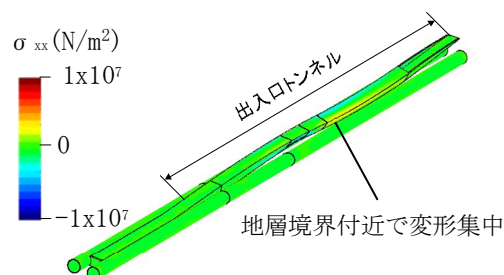
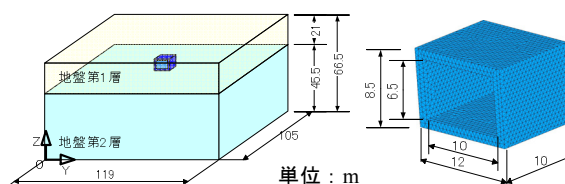
2. 大型トンネルの耐震安全評価に関する研究構想

トンネル全体系の地震時挙動を考慮した耐震安全性評価の考え方を図-1²⁾に示す。分合流部など複雑な構造を有する大型トンネル(以下、大型トンネル)の場合、トンネル全体系を対象に個々の構造部位の耐震安全性を検討できるレベルまで精緻なモデル化を行うと、計算規模が過大となり非効率である。そこで、最初に全体的な挙動を損なわない精度のモデルで全体解析を実施し、その結果から耐震上の課題箇所を抽出する。その後、課題箇所を対象に設計照査できる程度まで詳細にモデル化した部分解析を全体解析結果と整合するように行えば、大型トンネルの耐震安全性を合理的に評価できると考えている。

部分解析の対象としては、例えば、山手トンネルの場合、i) 応答が集中する地層境界付近の出入口トンネル(図-2³⁾参照)、あるいはii) 本線トンネルと出入口トンネルが接合する分合流部ノーズ付近が挙げられる。本報では、以降、i)を対象に簡易なモデルを用いて、床版、側壁の部材厚さ方向要素分割数をパラメータとする3次元FEM地震応答解析を実施し設計量の収束性を確認し、部分解析に必要となる有限要素分割数について基礎的な検討を行う。

3. 解析方法

既報³⁾を参考に図-3に示す3次元解析モデルを想定する。2層水平成層地盤の軟質地盤第1層に、断面が12m×8.5m、厚さ1mの出入口トンネルをトンネル下面が地層境界から+0.5m高さになる位置に配置する。トンネルの奥行きは10mとする。トンネル並びに地盤は4面体アイソパラメトリック

図-1 トンネル全体系の耐震性評価法²⁾図-2 軸直角方向に地震動を入力した時の出入口トンネルの応答³⁾

* 構造物下端が地層境界より+0.5mに位置

* 要素分割を厚さ方向に2要素にした例

図-3 矩形トンネルの解析モデル

表-1 解析定数

	Vp(m/sec)	Vs(m/sec)	ρ (kg/m ³)	α (1/sec)
地盤第1層	497	150	1500	0.9
地盤第2層	1492	450	2000	0.9
構造物	3583	2299	2500	0.9

キーワード 三次元 地震応答解析 有限要素 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 土橋 浩 TEL:03-3539-9452

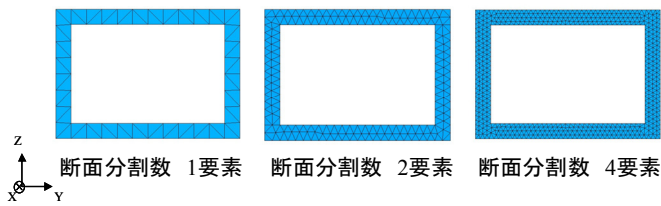


図-4 モデル端部でのトンネルの要素分割状況

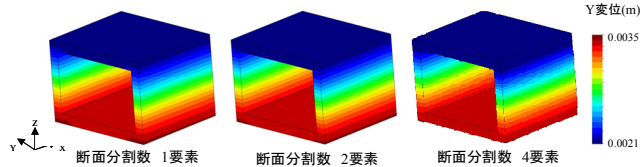


図-5 応答変位分布

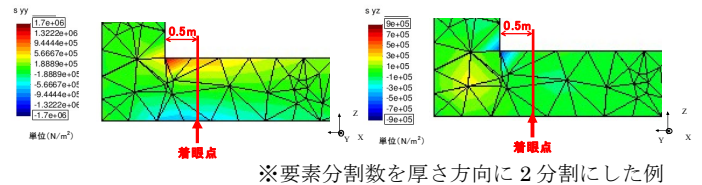


図-6 モデル中央位置横断面における応力分布

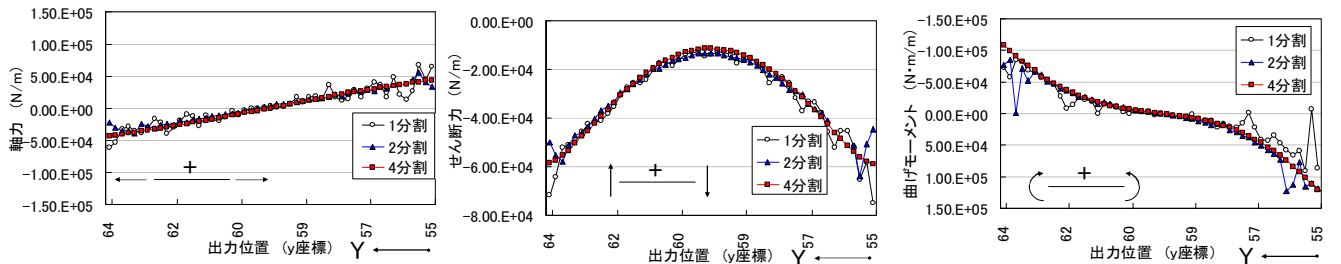
(左図: σ_{yy} 右図: σ_{yz})

図-7 下床版の断面力(軸力, せん断力, 曲げモーメント)

2次要素でメッシングする。地盤は、1次固有振動数を考慮して4 Hzまで精度が保証できる最大寸法7mで要素分割し、トンネルは、設計量の収束性を確認するため、トンネルの厚さ方向に、1要素、2要素、4要素となるよう要素寸法1m~0.3mで分割する。トンネル端部断面の要素分割状況を図-4に示す。表-1に示す解析定数を設定し、解析モデル底面に首都高レベル1地震動をトンネル軸直角方向(Y方向)に入力する。

4. 解析結果

解析結果から、主要動が地表に到達し、周辺地盤が1次模式的に変形する初期の段階でのトンネル応答を整理する。地盤の地震動入射方向となるY方向応答変位の分布を図-5に、モデル中央位置でトンネル横断方向に切断したときの下床版左側コーナー部の発生応力分布を、断面分割数2要素を例に図-6に示す。また、当該横断面における下床版の断面力分布を図-7に示す。図-5より、Y方向の応答変位は1要素~4要素で大差なく、要素分割の影響は小さいことが確認できる。2要素分割の場合には、横断面内の応力も概ね滑らかに分布する(図-6上図)。コーナー部から0.5m離れた着眼点(測線)で整理した図-6下図の直応力 σ_{yy} 、せん断応力 σ_{yz} の分布でも、2要素から4要素で応力がほぼ収束する傾向を示すことが分かる。断面力各成分の分布を比較した図-7より、2要素の場合、部材端でややばらつくが4要素とほぼ一致している。断面内の応力分布を活用すれば、コーナー付近の最大断面力を1~2要素分割でも必要精度で評価できる可能性がある。

5. あとがき

トンネルに発生する応力や断面力を3次元FEM解析により直接評価する場合、トンネルの部材厚さ方向に2次要素で2~4要素が望ましく、応力分布の形状近似等の処理を行えば2要素以下でも適用可能性があることが確認された。今後、3次元FEM地震応答解析を設計実務に活用できるよう、大型トンネルの耐震安全性評価手法に関する研究を実施する予定である。

参考文献 1) 土橋浩他, 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. 639-652, 2008年9月。 2) 山田岳峰他, トンネル全体系の耐震性評価法に関する検討, 土木学会地震工学論文集, 2007年8月。 3) 山田岳峰他, センターランプ式トンネル出入口部に設置する剛性低下部の耐震効果, 土木学会第65回年次学術講演会講演会, 2010年9月(投稿中)。