

審査の結果の要旨

氏名 山田 岳峰

本論文の題目は「大規模数値解析手法の大型トンネル耐震設計への適用に関する基礎的研究」であり、並列計算機を使う大規模数値計算の利用を前提に、動的3次元有限要素法に基づく大規模数値解析手法を大型トンネルの耐震設計に適用することの可能性を検討したものである。なお、地震動を等価な荷重や変位のように置き換える準静的解析や2次元モデルを使った解析が主流という現状を鑑み、動的3次元有限要素法の可能性を詳細に検討し、具体的な耐震設計の問題に対して数値計算を行い、動的3次元有限要素法の解析の有効性を吟味する、という基礎的な研究を行っている。

本論文では、最初に大型トンネルの耐震設計と大規模数値解析手法の現状整理を行っている。整理の内容は、第2章「大型トンネルの耐震設計の現状と課題」と第3章「大規模数値解析手法」の2つの章において集約されている。ついで第4章「レベル1地震時のトンネル挙動」、第5章「レベル2地震時のトンネル挙動」、第6章「レベル2地震時のトンネル挙動（構造目地の影響を考慮）」の3つの章において、3つの具体的な耐震設計の問題を選び、数値計算手法とその数値計算結果を吟味しつつ、動的3次元有限要素法の大規模数値解析手法を利用するための技術開発の方向性を議論している。この3つの章の内容が主な論文審査の対象である。

質疑と議論の対象となった具体的な項目は、1)3次元解析が可能とした軸方向・軸直角方向の入力地震動に対する大型トンネルの地震応答の解釈、2)沈埋トンネルや共同溝の耐震設計の入力に使われる表面波と本論文で扱った入力地震動の違い、3)大型トンネルの耐震設計の技術的課題とそれに対する大規模解析の適用の意義、そして4)大規模数値解析で得られた断面保持仮定の破れの解釈の4点である。以下、質疑と議論の内容を整理する。

従来の2次元解析では軸直角方向の地震動入力のみが検討されてきたが、3次元解析では軸方向入力が可能となった。軸方向の入力地震動は、地盤に比べ固い構造物にとってさほど支障とはならないが、地上へのランプトンネルを持つ大型トンネルでは検討の必要がある。ランプトンネルが固い地盤と柔らかい地盤の地層境界を抜ける場合、特にこの部分での軸方向の入力に対する応答が複雑になり、設計の際の考慮の対象となるからである。大規模な数値計算が必要となるものの、動的3次元有限要素法はこの応答を正確に解析することが可能である。入力地震動が相対的に小さいレベル1地震動では、地層境界付近でのランプトンネルの軸方向入力に対する地震応答は十分許容範囲であったが、相対的に大きいレベル2地震動では地震応答が設計強度を超える可能性がある

ことが示された。従来の2次元解析では不可能であった軸方向入力に対する応答を解析できる点は、まさに、動的3次元有限要素法の強みである。さらに、地層境界付近に目地を導入することでランプトンネルの剛性を低下させると、断面力の応答を抑えることが可能となる。目地の効果の検討ができることも重要である。

特定の構造物の耐震設計には入力として表面波が用いられるが、高速道路の大型トンネルは深度が大きいいため、通常的设计では表面波が用いられることはない。しかし、表面波が表面付近のランプトンネルに特殊な応答を引き起こす可能性はある。本研究で用いた大規模数値解析手法を使った解析により、表面波の応答の評価は可能である。

大型トンネルの耐震設計に関しては、トンネル躯体の安定性が最大の課題となっている。安定性とはトンネル内部の空間ないし断面形状を、地震荷重作用下でも、維持することである。断面が大きいほど安定性の維持は難しく、正確な解析が必要であり、本研究で試みた大規模数値解析手法は有力な候補である。なお、大型トンネルの場合、地震荷重とは別に、常時の土圧に関しても不明な点がある。地震時の応答も計測できるような、大型トンネルの変形挙動の連続計測が必要とされている。

通常2次元解析では、垂直断面が曲げモーメントを受けて斜めに傾くという断面保持が仮定されている。3次元解析ではこの断面保持の仮定が破られている結果となった。しかし、破れ方の度合いは決して顕著ではなく、断面保持は概ね成立するという近似ができないという度合いでは決してない。一方、断面端部を見る限り、断面保持の仮定に基づいて計算される応力・歪は、3次元解析で計算される応力・歪を10%過大評価するという結果となっている。現状の2次元解析では断面端部の応力・歪が過大評価されていることが示唆されるため、断面保持の破れが大型トンネルの設計合理化につながる可能性があると考えられる。

本論文は、基礎的研究であるものの、動的3次元有限要素法という大規模数値解析手法を大型トンネル耐震設計に適用することの可能性を検証した点は十分高く評価できる。本研究の計算例も信頼性が高く、今後の研究の基盤となることも期待できる。以上の理由をもって、本論文を合格と判定した。また、学位申請者が学位に値する専門的な学識を有していることも了解された。この結果、学位にふさわしい論文であると判断された。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。