

## 審査の結果の要旨

氏名 長田光正

本論文「大口径道路トンネルの分合流部における大規模数値計算を利用した耐震照査の高度化」は、大口径道路トンネルの設計の概略の説明から始まる。地上に向かうランプトンネルと地下を走る本線トンネルを繋ぐ分合流部は、その機能のため、構造形式は複雑であり、その結果、地震応答も複雑である。耐震照査では、この複雑な地震応答の評価が必要となるが、現行のトンネル軸直角方向・トンネル軸方向に対する2次元解析では地震応答を過大評価してしまう可能性がある。3次元数値解析を使う地震応答評価が代替となるが、分合流部の地震応答に影響する本線・ランプトンネルの地震応答の計算も必要となり、数値計算の量は膨大となる。この点を考慮し、本論文は、本線・ランプトンネルを含む分合流部という全体系の動的3次元解析（全体解析）、その結果を基に最大応答をもたらすと考えられる地震動を外力として加えるという準静的3次元解析（部分詳細解析）、という耐震詳細のための数値解析法を考案している。これは現行の2次元解析を使う照査を高度化したものであり、実トンネルの解析モデルを使った数値実験により、実用的に使えることを検証している。

審査に際して以下の3点が主な論点となった。第一の論点は、全体解析の外力となる地震動である。本論文では、同位相の地震動、すなわち空間的に一様な地震動を設定している。この地震動の設定は橋桁を複数の橋脚で支える道路橋と同一であるが、埋設管では入力地震動の位相を変える、すなわち、空間的に異なる地震動を使うことが通常である。これは、同位相の地震動よりも、位相を変えた地震動がより厳しい外力となる場合である。数値解析では外力の設定を変更することは容易であり、位相を変えた地震動を使った解析を行うことも十分可能であることが説明された。なお、埋設管は表層の柔らかい地盤に埋められるため、地盤の固有周期付近の波長は10m程度のオーダーとなるが、本研究の大口径トンネルはせん断波速度400m/sの固い地盤を通る。周波数1Hzでもせん断波の波長は400mであり、このような地震波の振幅は小さい。このため地震動の空間分布の度合いは大きくないとも考えられる。

第二の論点はシールドトンネルの特性を考慮した解析の可能性である。現在のシールドトンネルはセグメント内に鋼棒を通し剛性を保つことで地震動に対応する。本研究の解析手法もこれに対応している。一方、地盤からの水がトンネル内に入らないよう遮水性能は保ちながらも、セグメント間のずれを揺らし、「剛」の代わりに「柔」に対応することも考えられる。このような柔構造は安価であり、より合理的な設計も可能とする。本研究の大規模解析によってこのような構造の耐震性を含む特性を予測・評価すること

は可能である。現時点で、解析モデルの改良や非線形が考慮できるような解析プログラムの改良等、解決すべき課題があることは確かであるが、耐震照査以外の用途に大規模数値解析を有効利用することは重要であることが説明された。また、地震動の作用下で、鋼棒で連結したセグメントのずれ挙動は単純ではなく、この挙動を解析するための研究も必要であることが説明された。

第三の論点は全体解析と部分詳細解析の解の関係である。空間分解能の低い全体解析の解を精緻化した解が部分詳細解析の解である。応力の集中の度合い等、全体解析では高い精度で計算することができない物理量を、空間分解能を上げることで、高い精度で計算することができると考えられる。本研究では空間分解能は倍（要素寸法は1/2、体積では1/8）としているが、部分詳細解析の応力分布は、若干の違いがあるものの、全体解析の応力分布とは差が無かった。数値計算の観点からみれば、全体解析の解析モデルの要素が十分小さく、変位のみならずその勾配である応力も精度良く計算されており、要素寸法を小さくした部分詳細解析では、さほどの解の改良が無かったことが考えられる。なお、本研究では線形解析のため、部分詳細解析による解の精度の向上は見られなかったが、非線形性を考慮すると、変形の集中が生じるため、部分詳細解析が必要となることは期待される。この点が説明された。

最後に、現行の地震応答解析で用いられる地盤を地盤バネに置き換える解析と、本研究で設定した地盤とトンネル構造をそのままモデル化する解析が議論された。地盤を一樣な地盤バネで置き換えることは地盤の影響を過大評価する可能性がある。計算量は増えるものの、地盤とトンネル構造をそのままモデル化することで地盤の影響をより正確に評価することが可能となり、これは合理的な設計に繋がる。この点が説明された。

本論文は、大口径トンネルの分合流部という複雑構造物の耐震照査に対し、大規模数値計算を使う高度化を図り、実用性が高い方法を考案している点が特徴である。特に、計算を二段階にし、かつ、動的解析と準静的解析を組み合わせた点は重要である。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。