

## 論文の内容の要旨

論文題目 大口径道路トンネルの分合流部における  
大規模数値解析を利用した耐震照査の高度化  
氏名 長田 光正

近年、シールド技術の発展により、大口径化および長距離掘進が可能になり、自動車専用道路等にシールドトンネルが選定される場合が増えてきている。都市内に道路トンネルを構築する場合、他路線や一般街路と接続するための分合流部が必要になることが多い。シールドトンネルに分合流部を構築した事例では、地表面へ向かうランプトンネルが、本線トンネルと完全に分離するまでは、ランプトンネルは本線トンネルと一体化された構造となっている。ランプトンネルの縦断勾配のため、本線トンネルとランプトンネルの相対高さが変わり、これに応じて断面形状も縦断方向で変わるため、一体構造部は 3 次元的存在であり、構造形式が複雑である。一方、地震時には、軟弱な地盤上の地表と硬質地盤内の本線トンネルに、縦断勾配を持ちながら接続するランプトンネルが、縦断方向の変位や曲げ、ならびにねじりといった 3 次元的な挙動を示すと考えられる。このランプトンネルの 3 次元的な挙動の影響は、3 次元的に複雑な構造となっている本線-ランプトンネル一体構造部に、当然、複雑に伝達することになる。本線の安全性に直結する一体構造部の耐震性照査は重要であるが、このような 3 次元的な挙動に対して、現在の耐震設計法の基本である、トンネルの横断面と縦断面の二つの断面に着目し、それぞれ独立した耐震照査を行う方法の適用には、限界がある。上記を背景に、本研究では、分合流部を有する大型道路トンネルを念頭に、3 次元的な幾何形状を持ち、複雑な地震応答が予想される地中構造物に対して、大規模数値計算を利用した解析手法を用い、耐震照査の高度化を図った。

最初に、道路トンネルに対する現状の設計方法について整理する。開削トンネル、シールドトンネル、分合流部を対象に、実務における常時、地震時の設計方法を踏まえ、分合流部を有する複雑な形状のトンネル構造物に対する耐震照査手法の課題を抽出した。

次に、抽出した課題を解決するために、耐震照査法に求められる要求性能について整理し、新しい解析手法を用いた耐震照査法を提案した。分合流部の本線-ランプトンネル一体構造の場合、周辺地盤と構造物の相互作用を考慮し、周辺地盤を含めた地中構造物の地震応答を分析する必要がある。さらに、ランプトンネルの接続の影響も考慮しなければならない。分合流部を有するトンネル全体系を地盤も含めてモデル化し、時刻歴の地震応答解析が必要となる。さらに、着目部位である本線-ランプトンネル一体構造部は、3 次元的な幾何形状を持ち、複雑な構造を有するため、現状の解析手法と比べ、より精緻な照査手法が必要となる。さらなる計算機の高速度・大容量化は十分期待できるものの、着目部位を含む大型トンネルの全体系に対し、高分解能の動的解析を実施することは、膨大な計算量を必要とするため、通常の計算環境では現実的ではない。これらの課題解決のため、着

目部位の周辺を含めた全体系の動的解析と、着目部位の挙動を高分解能で調べる準静的解析から構成される階層型解析手法を提案した。提案された階層型解析で最初に行われる動的解析では、表層地盤の非線形性を考慮した地盤応答解析の収束値を参考に、地盤の解析定数を設定した線形解析を行う。階層型解析で 2 番目に行われる準静的解析では、周辺地盤と着目部位に対し、高分解能の 3 次元有限要素法モデルを構築し、最大の地震応答と考えられる時点での物体力を加えて線形解析を行う。

最後に、提案手法を用いて、実際の大型道路トンネルを対象に耐震照査を行う。分合流部を含む本線トンネルの全体系の地震応答を考慮することで、着目部位である分合流部の本線ーランプトンネル一体構造の地震応答が解析できることを確認した。複雑な幾何形状を持ち、3 次元的な地震応答の影響を受ける着目部位に対し、耐震照査が可能な精度で発生する応力を算出し、レベル 2 地震動の入力に対して、耐震性を有することを確認した。また、モデルケースとした複雑な幾何形状を持つトンネル構造では、耐震照査の標準的な手法である横断面と縦断面に着目した 2 次元解析の組み合わせや、梁モデルを用いた解析では取り扱うことができない応力が発生することが確認された。それらの中の一部の発生応力については、更なる検討が必要となる可能性があり、その検討に当たっては、本研究で提案した階層型解析の部分詳細解析において、さらに細部構造まで再現した解析モデルを用い、材料非線形性を考慮した解析が必要と考えられる。

一般に、トンネル構造の耐震性照査では、入力方向はトンネル軸直角方向、またはトンネル軸方向とした 2 次元解析に基づき、平面保持の仮定に基づいて算定される部材の断面力を評価している。提案された解析手法は、対象構造物やその周辺地盤構造を詳細に反映した 3 次元解析モデルを利用することの他、例えば、震源の位置や地震の大きさを確率的に想定して多様な入力地震動を設定し、応力による着目部位の詳細な評価が可能であり、設計そのものの合理化・高度化の一つの方向となると考えられる。