

複合構造を有する地中構造物の横断耐震検討

首都高速道路公団 正会員 ○森 健太郎、内海 和仁
大成・鹿島・戸田特定建設工事共同企業体 正会員 服部 佳文、松葉 保孝、坂下 克之

1. はじめに

MMST 工法を適用するに当たり、トンネルの外殻構造部材は単体トンネル部とそれらを接続する接続部より構成される。したがって、外殻構造部材は、鋼製の単体トンネルを躯体の構造部材とした鋼・コンクリート（合成構造）と接続部（RC 構造）からなる複合部材として断面決定を行うこととなる。これまで、MMST 工法特有の構造形式に対し構造実験^{1~3)}を行い部材の力学特性を確認した。本稿は、実験により確認された材料の非線形特性を設定し、応答震度法による解析結果を報告するものである。

2. 入力地震動

レベル 2 入力地震動は、図-2 に示す設計入力スペクトルにフィッティングさせたタイプ I 3 波（宮城県沖地震（1978）振幅調整波）、タイプ II 3 波（兵庫県南部地震（1995）振幅調整波）を使用する。なお、入力地震動は耐震設計上の基盤面の境界波（E+F）で定義する。

3. 地盤応答解析

地盤応答解析は、横断方向の耐震設計には地盤を水平成層構造とし、1次元の地盤応答解析とする。解析は、ひずみレベルが大きいことより逐次非線形解析とし地盤を R-0 モデルにて設定した。代表断面における解析結果を図-3 に示す。

4. 材料非線形特性

材料の非線形特性は、確認実験を踏まえ設定する（図-4）。⁴⁾

トンネル構造は、鋼・コンクリート合成構造（一般部）と RC 構造（接続部）からなる複合構造であるためそれぞれ M- ϕ 特性をモデル化した。また、一般部と接続部の境界である構造変化点は、M- θ 特性を設定することによりモデル化する。

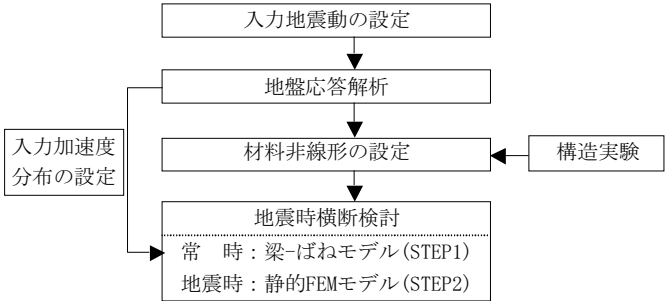


図-1 設計フロー

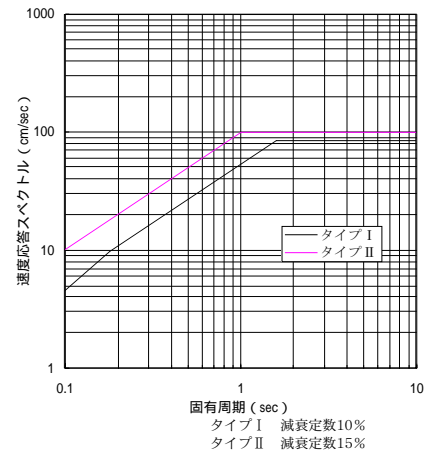


図-2 設計入力スペクトル

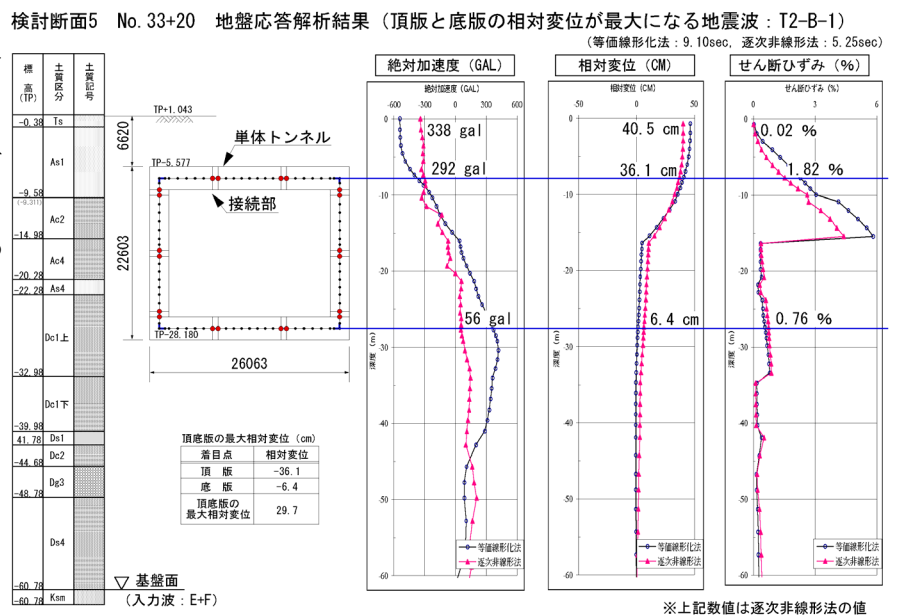


図-3 地盤応答解析結果

キーワード MMST 工法、複合構造、地中構造物、耐震設計

連絡先 〒221-0013 横浜市神奈川区新子安 1-2-4 首都高速道路公団 TEL045-439-0755

確認実験の結果、一般部は、主桁を主鋼材とした RC 構造とし荷重-変位曲線において比較した場合、初期剛性が RC 構造とした場合の 70%であることが実験より得られた^{1)~3)}。これは、主鋼材とコンクリート界面の付着切れ、あるいはせん断変形による剛性低下であることが推測される。構造変化点は、合成構造と RC 構造の境界点の区間変位より仮想ヒンジ長を設定し曲げモーメントと回転角の関係を設定した⁴⁾。

5. 応答震度法

解析は、FEM 系の静的解析手法の中の応答震度法を解析手法とした（図-4）。横断方向の地震時挙動は、地盤のせん断変形に支配される。よって、解析の入力荷重は、地盤応答解析において頂底板位置の地盤の相対変位が最大となる加速度分布とする。よって、図-3 に示す相対変位が最大となる時刻の絶対加速度分布を入力する。

なお、解析手順は、荷重状態として常時（土圧などの永久荷重）、地震時（レベル2地震動）を考慮した逐次解析とする。常時の解析は、梁-ばねモデル（STEP1）にて行う。地震時の解析は、その梁モデルの断面力を FEM モデルに引渡し、応答震度法（STEP2）にて解析を実施した。

6. 解析結果

解析より得られた層間変形角および曲率の照査を行い安全性の照査を行う。層間変形角は、1/109 となり 1/100 以内に収まる結果となる。曲率は、側壁の接続部の構造変化点において降伏曲率を越える結果となるが、許容曲率以内に収まる結果となりレベル2地震時においても安全性を確認できた。

7. まとめ

本検討では、1/2 スケールの構造実験により得られた部材の非線形挙動に基づき耐震検討を行い安全性の照査を行った。今後、川崎縦貫線本線トンネル工事の実施工において計測管理を行うことにより設計手法の安全性を確認していく予定である。最後に、本工法の開発・実用化に当たり多大なるご指導・助言を頂いた「川崎縦貫線における MMST 工法の設計施工に関する調査研究」の委員長（東京都立大学今田徹名誉教授）及び委員の皆様に深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 内海他/MMST 工法によるトンネル構造の課題と実験（その1） VI-036 全国大会第 57 回年次学術講演会
- 2) 服部他/MMST 工法によるトンネル構造の課題と実験（その2） VI-037 全国大会第 57 回年次学術講演会
- 3) 三桶他/MMST 工法によるトンネル構造の課題と実験（その3） VI-038 全国大会第 57 回年次学術講演会
- 4) 森他/複合構造を有する大断面トンネルの設計手法の開発 トンネル工学研究論文・報告集第 12 巻 pp.583-588

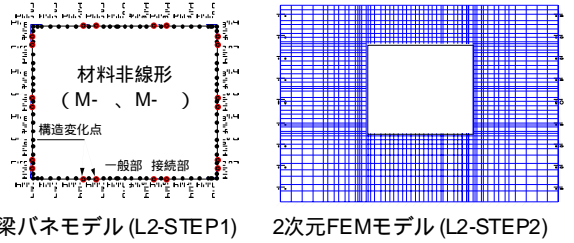
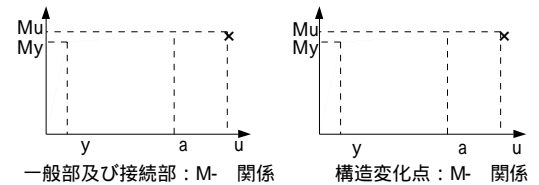


図-4 材料非線形モデルと解析モデル

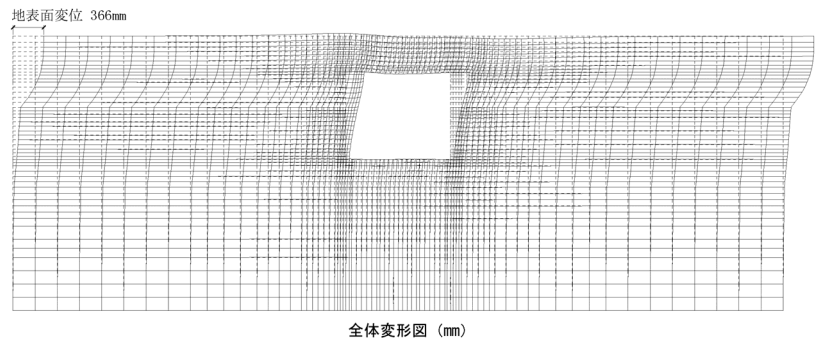


図-5 変形図

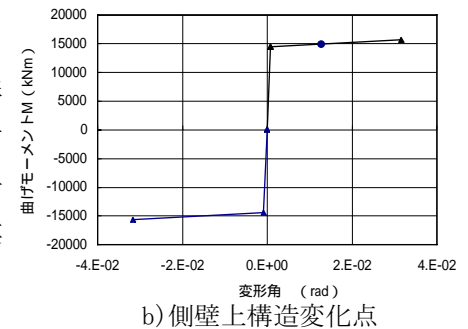
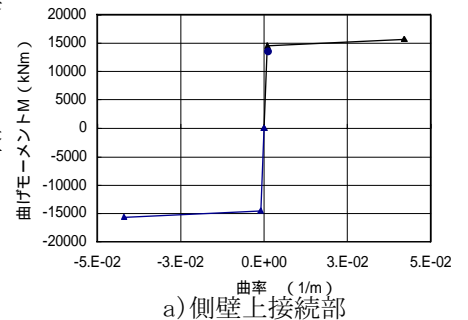


図-6 解析結果