

I-593 起伏の激しい土丹層に建設するトンネルの地震時挙動と耐震設計

首都高速道路公団神奈川建設局 正会員 崎 濱 秀 仁
 同 宇治野 達 郎
 ㈱オリエンタルコンサルタンツ 正会員 田 中 努

1. はじめに

一般に軟弱地盤中のトンネルは、地震時に大変位を受けるために、応力上・防水上耐震設計が要求されているが、2種・3種地盤で土丹層に床付けされるトンネルでは、耐震性が問題になることは少ない。しかし、本トンネルは、図-1のように土丹層上面の起伏が激しいため、地震時に土丹層にしっかり抑えられる箇所(トンネル最大変位0.3cm)と、沖積層が厚く相対的に大きな変位を受ける箇所(トンネル最大変位3cm)がある。これらの変位振幅は、湾岸部のトンネルの設計で考慮する値に比べると1/3であるが、起伏が激しいためトンネルに沿う地盤の相対変位が大きいことと、地盤ばねが比較的硬いことにより、大きな断面力が発生する。

本報文は、このような起伏の激しい土丹層に建設するトンネルの地震時挙動を考慮して行なった耐震設計法を述べるものである。

2. 本トンネルの地震時挙動の特徴

トンネル全体系の動的解析およびモデル化の方法は、沈埋トンネルを念頭において開発されている(土研資料No.1193等)。したがって、周辺地盤は港湾部の軟弱地盤のように比較的均質で厚く、トンネルは地表付近にあることが前提になる。よって、トンネル上下端での地盤変位の差は小さく、トンネルは中心深さの地震時地盤変位を受けると考えて解析される。

しかし、本トンネルは、地中連続壁を山留めとする開削工法により建設し、図-2のような断面をもち、連壁は本体の一部として利用する。したがって、土丹層に躯体の一部が入るほか、連壁があるために、下方の地盤変位の影響を強く受ける。この影響を推定するため、2次元FEMモデルに水平震度を与えて地盤の変位分布を調べた。その結果図-3が得られ、トンネル近傍で急激に地盤の変形が変わることがわかる。モデル両端の変位分布を重ねて比較すると図-4のようになり、本トンネルの変位は底面～連壁の深さの変位にほぼ等しくなる。なお、連壁による変位拘束は軸方向に対して顕著で、トンネル変位の減少が著しい。

解析上はこれをトンネルに作用する地盤変位と考えるべきで、沈埋トンネルと同様にトンネル中心深さの変位を作用させると過大設計になると考えられる。この原因はトンネル躯体もしくは連壁の剛性が高いため比較的軟質な沖積層の変形が拘束されることによる。したがって、このような現象は、本トンネルのように土丹層や硬質の洪積層にトンネルの一部が入る場合に生じるが、トンネルが深い場合や沖積層が浅い場合にも生じる可能性が高い。ただし、これらの場合、縦断方向の断面力は低下する傾向にあるが、逆にトンネル側壁に作用する地震時土圧が増加し、横断面の断面力は増加すると考えられるので今後の課題としたい。

3. 耐震設計の方針と結果

トンネル縦断方向に大きな断面力が発生する場合の対応策としては、一般に「a.鉄筋の増強」と「b.大伸縮可能な可撓性継手の設置」、「c.小伸縮のみ可能な簡易な継手の多数設置」があるが、次の理由で、cの方法(スリップバー+止水ゴム板)を採用した。①本トンネル周辺は地盤が良質なので、大変位は生じない。②地盤が硬い場所では、一ヶ所の継手で広範囲の応力低減を図れない。③継手の変位は分散した方が、道路の良好な走行性を確保できる。④地盤沈下による継手部での不連続をなくすため、せん断ずれを防止するのがよい。

設計は応答変位法により行い、動的解析で照査する手順を採った。本解析により、図-5の断面力分布を得た。簡易な継手をトンネルブロックの境(結果的に2ブロック60m程度の間隔)に設けることにより、同図のように断面力が減少し、トンネル軸方向鉄筋は、常時荷重で定まる横断方向主鉄筋の配筋筋程度で十分耐震性を確保することができた。なお、継手部の開きは最大で2cm弱である。本設計方法により、起伏の激しい土丹層等硬質地盤に建設するトンネルに対して、経済的かつ安全な耐震設計ができると考えられる。

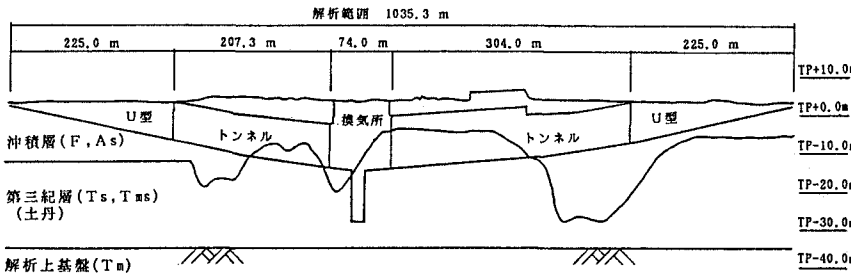


図-1 トンネルと地質縦断

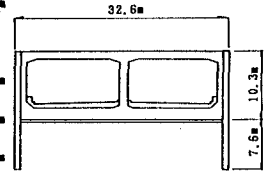


図-2 トンネル標準断面

【地表面の変位分布】



【鉛直方向の変位分布】

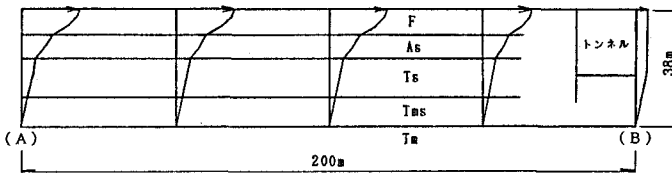


図-3 変位分布の一例

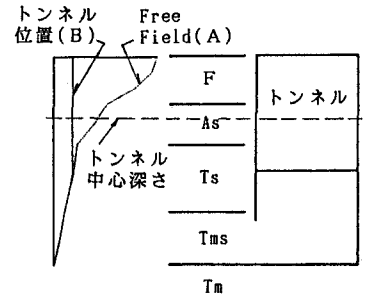


図-4 変位分布の比較
(図-3 に対応)

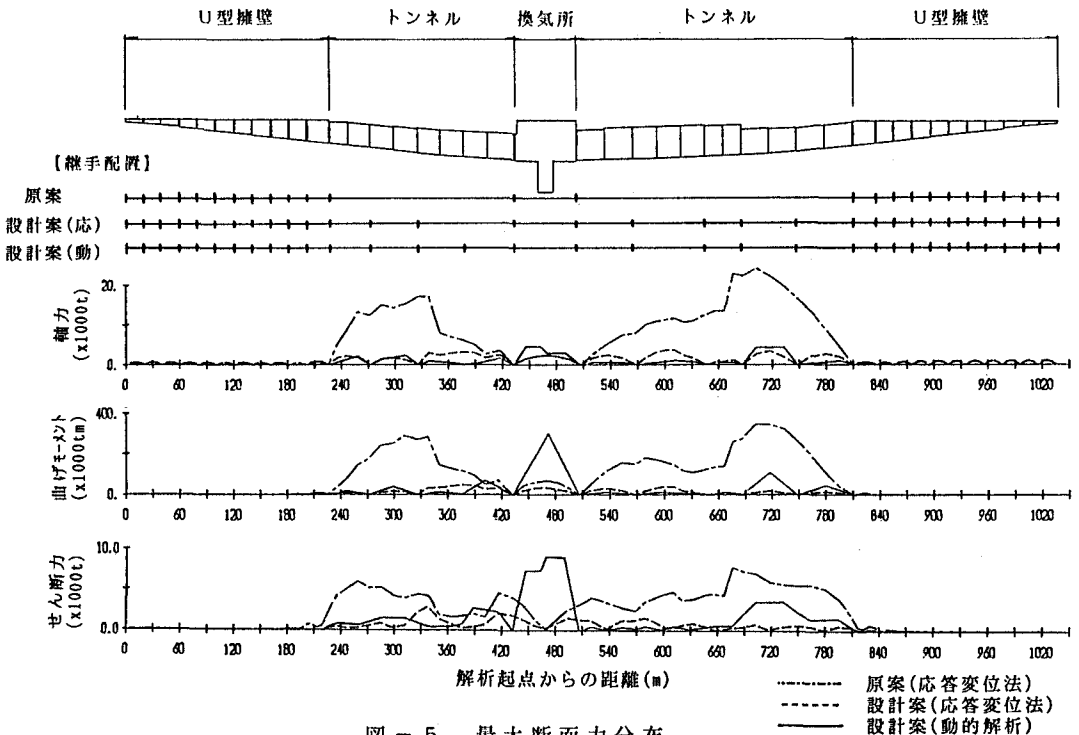


図-5 最大断面力分布