

衣浦トンネル(Ⅰ期線)の横断方向耐震補強

オリエンタルコンサルタンツ 正会員 ○大竹 省吾 オリエンタルコンサルタンツ 正会員 福岡 雅俊
オリエンタルコンサルタンツ 正会員 梅林福太郎 オリエンタルコンサルタンツ 正会員 黒崎 信博

1. 目的

愛知県道路公社が管理する一般有料道路衣浦トンネル(Ⅰ期線)は、愛知県三河湾の衣浦港の中央埠頭と東埠頭を結ぶ沈埋トンネルである。同トンネルは、昭和 48 年に供用が開始され、すでに 45 年が経過している。本論は、近い将来に発生が予想される南海トラフの巨大地震に対して、同トンネルの横断方向の耐震性照査を行い、耐震補強設計を行ったものである。

2. 構造概要

衣浦トンネル(Ⅰ期線)は、U 型擁壁、ストラット、開削トンネル、立坑、沈埋トンネルからなる全長 1.7km の地中構造物である。沈埋函は RC 構造であり、継手には剛継手が採用されている。地盤条件については、半田側の方が碧南側に比べ軟弱な地盤¹⁾であり、半田側は杭支持構造となっている。検討断面を図-1 に示す。

3. 設計地震動

愛知県防災計画で設定されている過去最大モデルと理論上最大想定モデルの地震動を用いた(図-2, 図-3)。

4. 耐震性能

衣浦トンネルの横断方向の耐震性能は表-1 のように設定した。

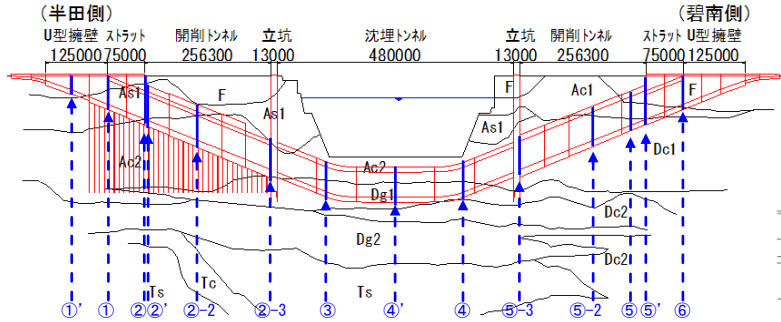


図-1 検討断面

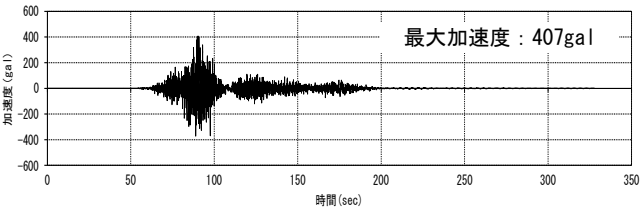


図-2 過去最大モデル

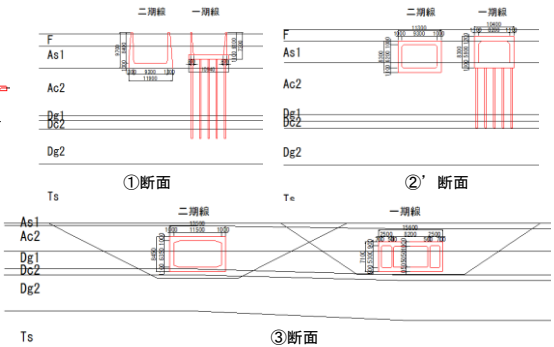


図-3 理論上最大想定モデル

表-1 衣浦トンネル(Ⅰ期線)の横断方向耐震性能

設計地震動		耐震性能		
過去最大モデル	耐震性能 2	安全性	通行車両の安全性確保のため、断面崩壊、水没に対する安全性を確保する。	修復性が確保できれば確保できる。
		使用性	地震後、トンネルとしての機能を速やかに確保する。	同上
		復旧性	機能回復のための復旧が比較的容易にできる。	横断方向：せん断破壊・曲げ破壊に至らない。
理論上最大想定モデル	耐震性能 3	安全性	通行車両の安全性確保のため、断面崩壊、水没に対する安全性を確保する。	横断方向：せん断破壊・曲げ破壊に至らない(※材料非線形解析を適用して良い)。

キーワード 沈埋トンネル, 横断方向耐震補強, 2 次元 FEM, 線形被害則

連絡先 〒151-0071 東京都渋谷区本町 3 丁目 1 2 番 1 号 株式会社オリエンタルコンサルタンツ TEL 03-6311-7860

5. 解析条件

衣浦トンネルは、Ⅰ期線とⅡ期線が近接していることから、地震時に複雑な挙動となることが想定された。このため、両トンネルを同時にモデル化した動的解析を採用した。

過去最大モデルに対する耐震性の照査では、地震時の地盤のせん断剛性の低下と減衰の増加は、地盤の一次元地震応答解析による収束物性値により評価した。トンネル躯体は、非線形梁要素とした。

6. 線形被害則を用いた照査

地中構造物では、周辺地盤から分布荷重が作用するため、トンネル躯体のせん断耐力の算定において、線形被害則²⁾を適用した(図-4)。最大せん断力発生時の外力分布に基づき、個々の外力の作用 P_j とせん断スパン比 (a/d) に対するせん断耐力 V_j を評価し、作用力とせん断耐力の比の総和に構造物係数を乗じた値を用いて照査を行った。この結果、梁のせん断耐力式に比べ、補強範囲の縮小が図れた。照査の結果を図-5に示す。

7. 耐震補強設計

地中構造物は、周囲を地盤に囲まれているため、外側からの補強は困難である。このため、内側からの補強案を考える必要がある。せん断耐力を向上させる補強工法としては、コンクリート増厚や鉄筋挿入が考えられる。コンクリート増厚を行う場合は、建築限界に余裕があることが条件であり、本トンネルは、ほとんど建築限界に余裕がない。このため、鉄筋挿入工法を採用することとした。

8. まとめ

衣浦トンネル(Ⅰ期線)について、横断方向の耐震照査及び補強設計を実施した。現況照査の結果、陸上トンネル区間でせん断耐力が不足することが分かった。地中構造物には分布荷重が作用することから、線形被害則による詳細なせん断耐力評価を適用し、補強範囲の縮小を図った。せん断補強工法としては、内側からの施工が可能で、建築限界を侵さない鉄筋挿入を採用することとした。なお、本論では、過去最大モデルに対する検討内容を示したが、理論上最大想定モデルについては、別途材料非線形 FEM を用いた検討を行い、地震時の安全性の確認を行っている。

謝辞：本論は、早稲田大学清宮理教授のご指導を受けて行いました。ここに深くお礼申し上げます。

参考文献 1)梅林福太郎, 大竹省吾, 福岡雅俊, 黒崎信博: 衣浦トンネル(Ⅰ期線)の縦断方向耐震補強, 土木学会第 71 回年次学術講演概要集, 2016.9 (投稿中)。2)土木学会: 原子力発電所屋外土木構造物の耐震性能照査指針, 2005.6。

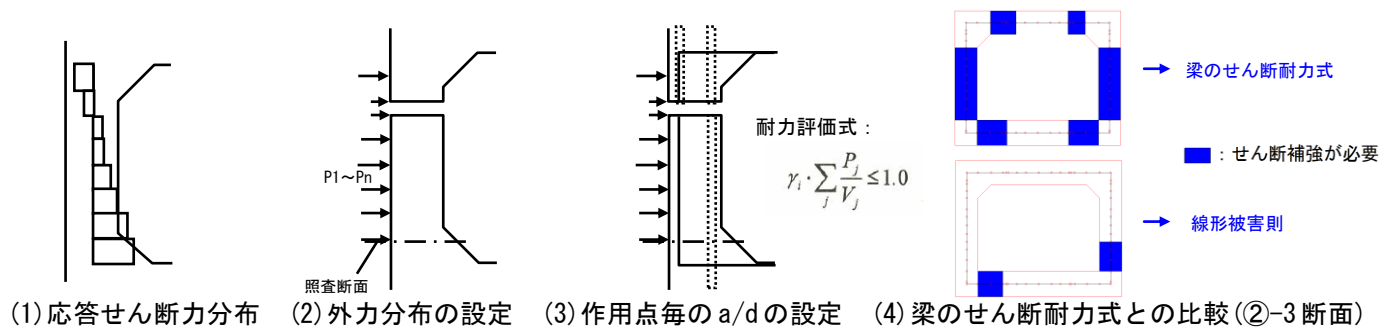


図-4 線形被害則

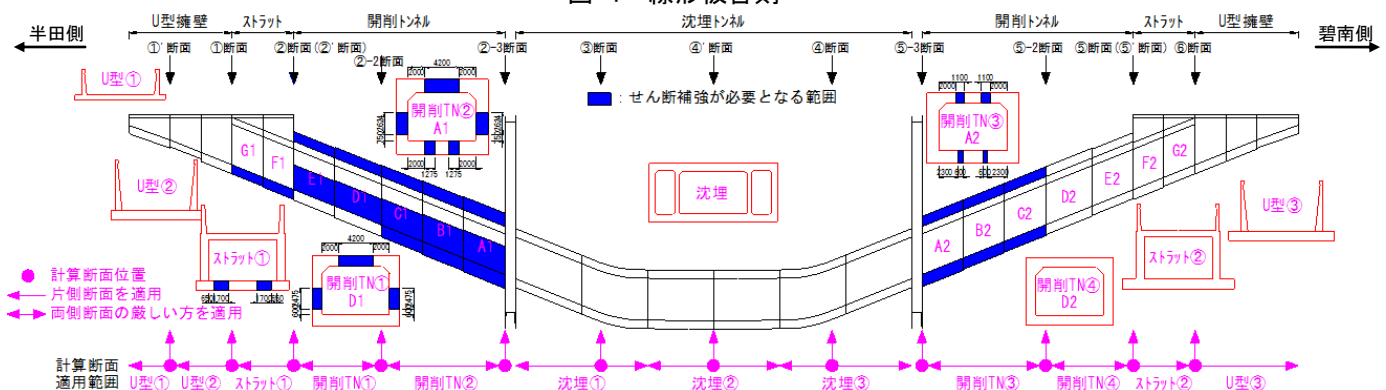


図-5 横断耐震照査(線形被害則)