

I-612 露出した沈埋トンネルの地震時挙動・その3

－実験結果のシミュレーション－

㈱オリエンタルコンサルタンツ	正員 橋 義規
首都高速道路公団	正員 柄川 伸一
首都高速道路公団	正員 谷 雅史
㈱奥村組	正員 須田 宗宏

1. はじめに

沈埋トンネルは見かけの比重が1.1程度と軽く、周囲を地盤で支持されているため、自己振動を起こしにくいとされている。しかしながら、既設トンネルの両脇にトンネルを新設するために周囲地盤を浚渫すると、一時的にはあるが函体が露出することとなる。この場合、地盤によるささえは底面のせん断摩擦抵抗のみとなり、さらには沈埋函周囲の水が付加質量として作用するため、地震時に容易に滑動が生じる可能性がある。滑動量が大きくなるとトンネルの安全性が損なわれるため、トンネルの新設に当たっては、既設トンネルの安全性を確認することが必要となる。

本検討は、実トンネルの耐震性の検討に用いている数値解析モデルにより、模型実験結果のシミュレーションを行い、解析モデルの妥当性を確認したものである。

2. 解析モデルの概要

露出した沈埋トンネルの解析モデルとして、質量(函体、水の付加質量)、底面のせん断抵抗を表す滑動のバネ、トンネルが軸方向に連続していることを考慮する復元力バネからなる、図-1に示すモデルを考えた。ここで実験結果によれば、動水圧は慣性力と同一方向に働き函体の応答加速度に比例しているため、水とトンネルの相互作用は、一般的に行われているように付加質量として考慮するものとした。付加質量の値については次節で述べる。

3. 水の付加質量

水の付加質量の算定方法としては、壁状の構造物に対してはウェスガ-ド¹⁾式が、柱状の構造物に対しては後藤・土岐の式が一般的であるが、トンネルのように没水した構造物に対する研究は少ない。全没水した円筒形の構造物に関する研究成果¹⁾をもとに、本トンネルでの水の付加質量を推定すると、天端水深とした場合のウェスガ-ド¹⁾式による付加質量の約1.8倍となる。本検討では次の2つの方法で付加質量を求め、ウェスガ-ド¹⁾式による値との比較を行った。

滑動時の応答加速度と底面摩擦抵抗力から算定する方法: トンネルが滑動している時の応答加速度を $(\ddot{u} + \ddot{z})$ とする。復元力がなく、かつ、水の粘性減衰が無視できるとすれば、トンネルに作用する慣性力と釣りあっているのは底面摩擦力である。これを式で表せば $(m + m_0)(\ddot{u} + \ddot{z}) = \mu W'$ となる。

ここで、 m 、 W' は模型の質量および水中重量、 μ は模型と基礎の間の摩擦係数で、いずれも既知の値であり、 $(\ddot{u} + \ddot{z})$ は実測データが得られているので、同式で水の付加質量 m_0 を算定することができる。

動水圧の実測値から算定する方法: 実験により得られた単位応答加速度当たりの動水圧分布を、模型頂面から底面まで積分し、付加質量を求めることができる。

表-1に2つの方法による付加質量の算定結果を示す。算定方法や試験ケースによりばらつきはあるものの、ウェスガ-ド¹⁾式による天端水深に対する付加質量の約2倍となった。

4. シミュレーション結果

図-1に示した解析モデルに振動台で測定された波形を入力し、模型試験のシミュレーションを行った結果を図-2に示す。

(a) 応答加速度について

正弦波入力の場合の応答加速度は、復元力の有無に係わらず、解析と実験がおおむね良い対応を示している。地震波入力(L1調整波)で復元力ばねがない場合は、波形の位相はほぼ一致しているが、解析では明瞭なピークカットが見られるのに対し実験では見られない。地震波入力で復元力ばねがある場合は、滑動後は復元力のばねがある分だけ応答加速度が増加する傾向がみられ、ばねなしに比べると実験値との対応はよい。

(b) 応答変位に関して

復元力ばねがない場合の応答変位は、加振の初期はよい対応を示すものが多いが、次第に解析の滑動量が大きくなり、実験に比べて大きな残留変位が生じることとなった。一方、復元力ばねを付加したケースの応答変位に関しては、実験と解析はよい対応を示している。

5. まとめ

模型実験のシミュレーション解析を行った結果、今回用いた数値解析モデルで比較的良好に滑動現象を再現できることがわかった。特に、実トンネルのように連続していることによる復元力が作用する場合は、実験と解析が非常に良い対応を示しており、実トンネルの耐震解析にも十分適用できるものと考えられる。

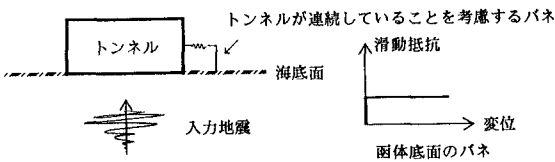
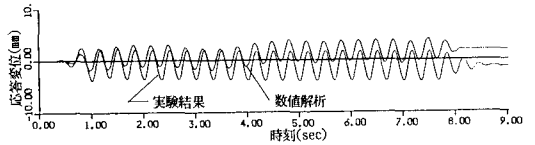
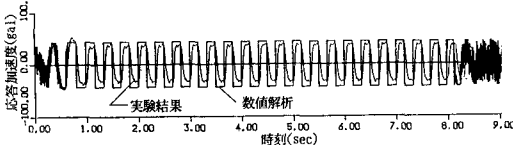


図-1 シミュレーションモデル

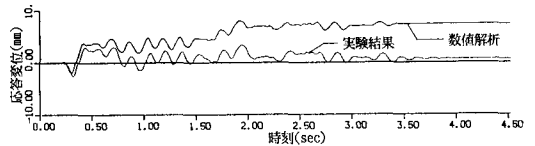
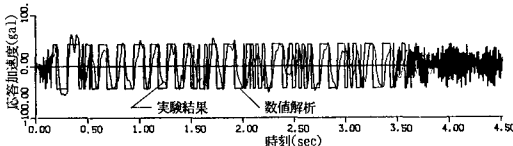
表-1 試験結果にもとづく水の付加質量

算定方法	摩擦係数	ケスタガード値に対する倍率
滑動時の応答加速度と底面摩擦抵抗力から算定する方法	0.3	1.6
	0.6	2.5
動水圧の実測値から算定する方法	0.3	2.1
	0.6	2.0

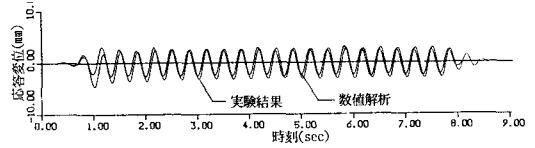
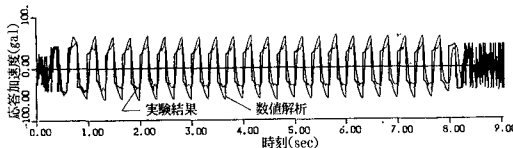
[復元力なし, 正弦波入力]



[復元力なし, L1波入力]



[復元力あり, 正弦波入力]



[復元力あり, L1波入力]

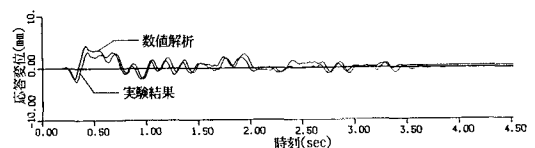
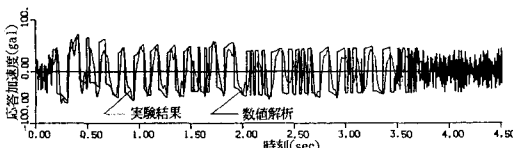


図-2 実験と数値解析の比較 [底面摩擦係数 $\mu = 0.6$]

参考文献1) 清川, 田中, 小林「全没水大型円筒構造物の地震時付加質量」第29回海岸工学講演会論文集, 1982