

I-553

シールドトンネルの地震応答解析 ―リング継手の非線形モデル―

大成建設㈱ 正員 志波由紀夫
 同 上 正員 丸山 昭義
 同 上 正員 横山 正義

1. はじめに

シールドトンネルの長手方向の地震応答解析を行う際には、覆工のモデル化手法とその数値解析手法が重要な課題となっている。特にトンネル軸方向加振の場合の数値解析手法においては、リング継手の存在によって覆工の軸剛性が圧縮側と引張側とで異なること、リング継手の引張剛性が非線形性を示すこと、を考慮する必要がある。本文は、このような問題に対応するために考案したリング継手モデルと、これを用いた地震応答解析例について報告するものである。

2. リング継手モデル

RCシールドセグメントの載荷実験結果¹⁾を参考として、図-1に示すリング継手モデルを考案した。このリング継手モデルの特性を以下に示す。

- ① 荷重～変形関係の骨格曲線を、圧縮側の剛性 k_0 と引張側の剛性 k_1 、 k_2 および k_3 の4つの勾配によって構成する。ここで、 k_0 および k_1 の範囲を線形領域とする。
- ② 骨格曲線からの除荷過程は、除荷点からこれと原点对称の点へ向かうHardin-Drnevich型の仮想曲線上をたどって永久残留変位点に達するものとし、この間の曲線を2つの直線で近似する。永久残留変位は除荷点の変位と降伏変位との差に比例するものとし、これ以上の圧縮に対しては圧縮剛性 k_0 を適用する。
- ③ 再載荷の過程は、永久残留変位点から除荷点へ向かう仮想曲線を想定し（最大点指向）、この間を2つの直線で近似する。
- ④ 除荷・再載荷の骨格内における除荷・再載荷は、この骨格直線の勾配に準ずるものとする。

シールドトンネル覆工の全体モデルを組み立てる場合には、図-2に示すように、数リング～数十リング分の区間を、セグメント本体の剛性を表す線型バネとリング継手の剛性を表す非線型バネとに集約するのが実用的である。また、トンネルへの外力は、応答変位法の考え方に基づき、トンネル～地盤間の相互作用バネに周辺地盤の応答変位を強制変位として作用させることとする。

3. シールドトンネルの地震応答解析例

仮想のシールドトンネルを設定し、上記のリング継手モデルを用いて地震応答解析を行った。トンネル周

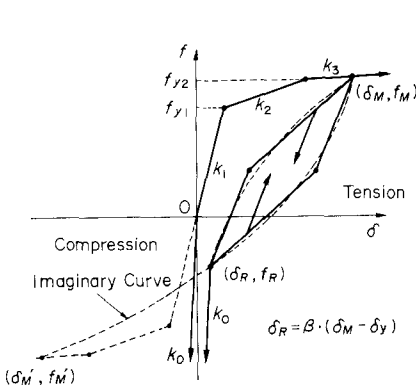


図-1 リング継手の力学モデル

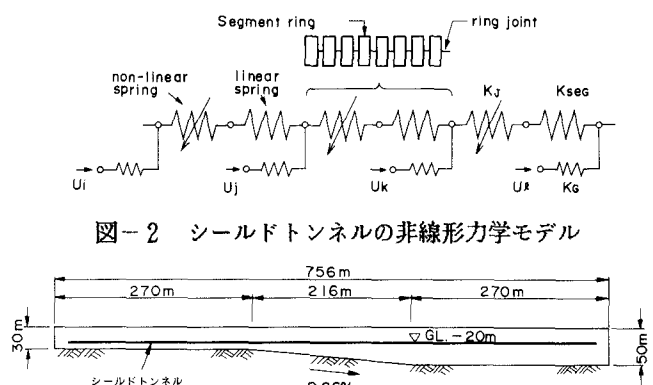


図-2 シールドトンネルの非線形力学モデル

図-3 解析対象地盤

辺地盤としては、図-3に示すように、勾配約9%の傾斜部をもつ基盤上に厚さ30~50mの表層地盤がある場合を設定した。表-1に地盤の物性値を示す。シールドトンネルは表-2に示す諸元とし、軸線の深度をGL-20mに設定した。入力地震波は図-4(a)に示す八戸波N-S成分の主要動部分20秒間とし、最大加速度を100galに調整して、基盤への入射波として用いた。

トンネル周辺地盤の動的応答変位は、二次元動的FEM解析により求めた。シールドトンネル覆工の軸力は、20リング分(延長18m)を1組のセグメント要素とリング継手要素にモデル化し、18m間隔で求めた地盤の応答変位を地盤バネを介して作用させることにより求めた。

図-4に主要な時刻歴波形を、図-5に最大応答値の分布を、それぞれ示す。また、図-6に最大軸力が発生したリング継手要素の履歴図を示す。

4. まとめ

シールドトンネルの長手方向の地震応答解析を行うためのリング継手モデルを考案し、その解析例を示した。今後、このモデルを二次覆工の数値解析モデルに発展させる予定である。

参考文献 1) 志波、川島、大日方、加納：RCシールドセグメントの交番載荷実験—2次覆工の無い場合— 第42回年次学術講演会、第1部 pp.1066~1067、1987年。

表-1 地盤の物性値

	表層地盤	基 盤
土 質	沖積粘性土	土丹層
N 値	1~2	50以上
単位体積重量 γ_t	1.6t/m ³	2.0t/m ³
せん断波速度 V_{so}	110m/s ¹⁾	400m/s
せん断弾性係数 G_0	1,980t/m ² ²⁾	32,650t/m ²
ポアソン比 ν	0.48	0.35
減衰定数 h_0	1.35(%) ²⁾	1.35(%)

- 1) 共同溝設計指針、 $V_{so}=100N^{1/5}$ より設定
- 2) 低歪レベルでの初期値

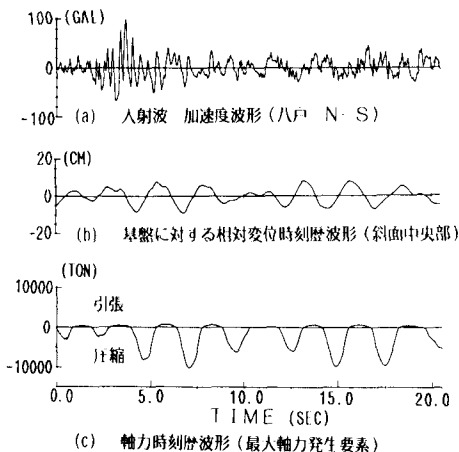


図-4 時刻歴波形

表-2 シールドトンネル諸元

外 径	9.50m
セグメント幅	0.90m
セグメント	RC平板型
セグメント厚	0.45m
ヤング率	$3.5 \times 10^4 \text{ t/m}^2$
断 面 積	12.794m ²
リング継手	41個
継手降伏耐力	16.87t *
継手降伏変位	0.397 mm *

* リング継手1個当り

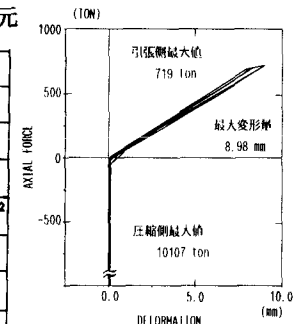


図-6 リング継手要素の履歴曲線(最大軸力要素)

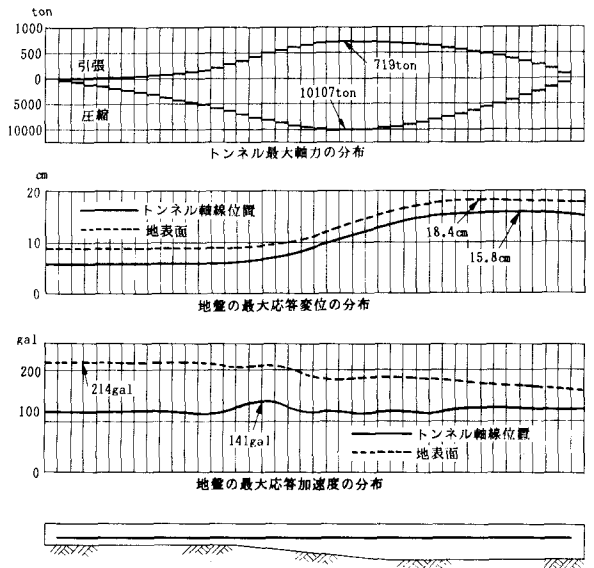


図-5 最大応答値の分布