

I-444

動的解析プログラムによるシールドトンネル横断方向の検討

榊熊谷組 正会員 寺田 倫康・阿部 健一
 京都大学防災研究所 正会員 佐藤 忠信
 京都大学工学部 正会員 西村 直志

1. まえがき

一般的にシールドトンネルのような線状構造物は、縦断方向のほうが地震の影響を受けやすいことから、これまでは主に縦断方向の耐震性に関する検討が行われてきた。しかし、断面が大きくなると横断方向に及ぼす地震動の影響は無視できなくなり、横断方向についても十分な検討が必要になる。本報告では、大断面シールドトンネルを対象としFEM動的解析プログラム(NANSSI¹⁾)を用いて横断方向の検討を行なった。

2. 解析条件

解析対象は、大阪の代表的な洪積砂層である天満砂礫層中に構築された内径12.3m、外径14.3m(一次覆工セグメント厚1.0m、二次覆工コンクリート厚1.0m)の形状寸法を有するシールドトンネルである²⁾。地盤とトンネルの入力物性値を、表-1、表-2に示す。また、解析に用いたメッシュを図-1に示す。このモデルは、底面および左右の側方に粘性境界を設け地盤の半無限性を考慮した。なお、入力地震動は、GL-90mの基盤上で定義した模擬地震波を用いた。解析時間刻は線形解析、非線形解析とも $\Delta t=0.005$ 秒とした。

(1) 線形解析

境界処理の効果を確認する意味も含め波動論にもとづく解との比較を主目的とした線形解析を行った。地盤の内部減衰はRayleigh減衰を考慮し、地盤の1次と2次の固有値を用いて減衰定数を合わせた。

(2) 非線形解析

線形解析と同様の内部減衰の他に、地盤の構成式として次式の応力-ひずみ関係を有するRamberg-Osgoodモデルを用いて非線形解析を行い、線形解析の結果との比較を行った。

$$\gamma = \frac{\tau}{G_0} \left(1 + \alpha \left| \frac{\tau}{C G_0 \gamma_r} \right|^\beta \right) \quad (1)$$

ここに、 G_0 、 γ_r はそれぞれ初期載荷時のせん断弾性係数、基準ひずみであり、表-3に示す値に設定した。 α 、 C 、 β は非線形性の度合いを規定する材料定数パラメータであり次式により設定する。

$$\alpha = \left(\frac{2}{\gamma_r G_0} \right)^\beta, \quad \beta = \frac{2\pi h_{max}}{2 - \pi h_{max}}, \quad C = \frac{1}{G_0 \gamma_r} \quad (2)$$

3. 解析結果および考察

図-2に代表点(トンネル直上地表面とトンネル覆工天端の2点)の時刻歴応答変位波形を示す各点の変位波形は、波動論による解析結果³⁾とほぼ同様の結果が得られており、時間領域での粘性境界がうまく作用していることが分かる。図には、比較のために解析コード72-IIにより底面剛体基盤の条件のもとで解析した結果²⁾も示すが、今回のモデルの様に基盤面でのインピーダンス比が小さい場合には、応答値が増幅する可能性があり、入力基盤面の設定には注意を要する。また、応答値は非線形解析のほうがやや小さくなっており、その傾向は地表面に近い程大きい。これは、表層地盤ほどR-Oモデルの履歴減衰の影響が大きく現れた結果と思われる。したがって地盤の応答を評価する場合には、減衰の取り方に注意する必要があると思われる。図-3に最大曲げモーメント発生時刻におけるトンネル覆工の変形図と断面力図を示す。変形モードは線形解析、非線形解析ともほぼ同様の形状を示している。また、断面力は、非線形解析結果のほうがモーメントと軸力が10~20%小さくなるが、せん断力は約20%大きな値を示している。今回解析対象としたモデルの入力地震動レベル(基盤入射波で55.6gal)およびトンネル設置深度の条件では、地盤の非線形モデル化の影響がトンネル覆工に及ぼす影響は少ないと言える。

4. あとがき

本報告は地下空間の活用と技術に関する研究協議会（座長：京都大学工学部土岐憲三教授）の第3分科会耐震グループ（代表：神戸大学工学部高田至郎教授）の研究成果の一部をとりまとめたものである。耐震計算モデルに関する検討は、本報告で取り上げた解析コード以外にプログラムレビューとしてSuper-FLUSH や7S-IIによる検討も実施しているので、機会があれば報告したいと思う。最後に、ご討議頂いた委員の皆様WGメンバーの皆様に感謝いたします。【参考文献】 1) 構造計画研究所：NANSSI（地盤非

線形・相互作用解析システム概要書、1996.2）土岐、足立、松井：関西における地下空間の活用と技術に関する研究動向（その3）、地下空間シンポジウム1993、土木学会、pp189-198、3）西村：地下空間の活用と技術に関する研究協議会第3分科会第1WG検討会、平成5年3月1日配付資料

表-1 地盤の動的解析用物性値

地層	単位体積重量 (tf/m^3)	せん断波速度 V_s (m/s)		減衰定数 h	ポアソン 比 ν	粘着力 c (tf/m^2)	内部摩擦 角 ϕ (°)
		低ひずみレベル	地震時レベル				
A c	1.6	140	125	0.054	0.49	4.0	0.0
D s	1.8	300	227	0.051	0.45	0.0	40.0
基盤	2.0	400	400		0.33		

表-2 トンネル覆工の入力物性値

単位体積重量	γ (tf/m^3)	2.50
弾性係数	E (tf/m^2)	3.02×10^6
断面積	A (m^2/m)	1.00
断面2次モーメント	I (m^4/m)	2.79×10^{-2}

表-3 地盤の非線形性を定義するパラメータ

地層	初期せん断弾性係数 G_0 (tf/m^2)	基準ひずみ γ_r (%)	最大減衰定数 h_{max}
A c	3200	0.3765	0.20
D s	16531	0.0548	0.25

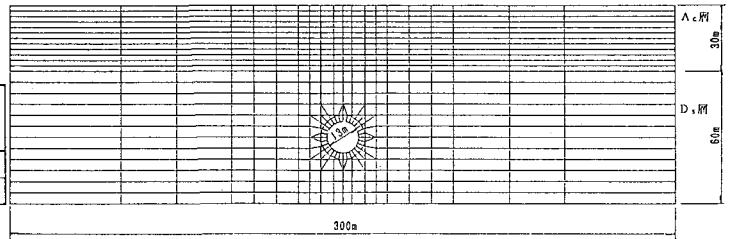


図-1 解析モデル

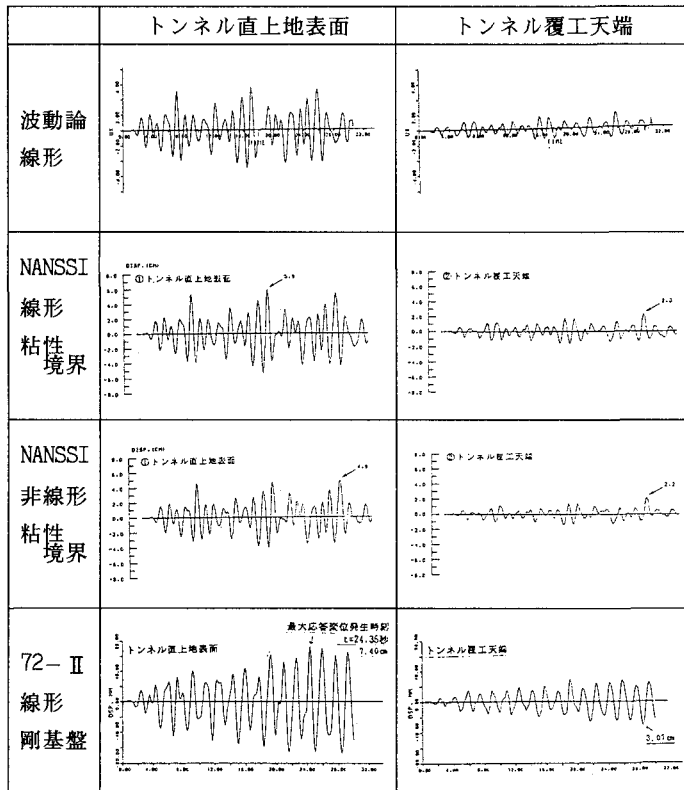


図-2 代表点の時刻歴応答変移波形

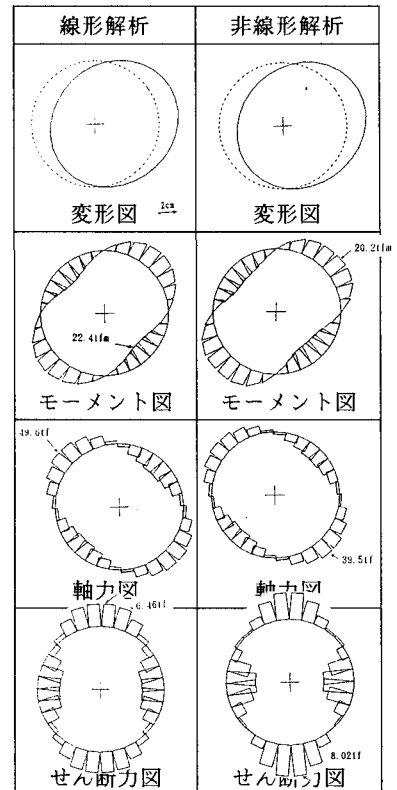


図-3 変形及び断面力