

大成建設 正 ○ 浜田 政 則
同上 正 百 崎 和 博
同上 正 坪 根 康 雄

1. はじめに

着者はすでに処理トンネルの応答計算法を提案している⁽¹⁾。この応答計算法を用いて、統計8地点の処理トンネルの地震時応力の解析を実施した。この中には道路用大型断面をもつトンネル及び、鉄道用の小型断面トンネルも含まれる。埋設地盤としてはN値がほとんど0のきわめて軟弱な地盤の場合、及びN値が10程度の比較的良好的地盤の場合も含んでいる。

一方田村、岡本等⁽²⁾はトンネル地震時応力に影響を与える因子として、①陸上部地盤及び海底部地盤の基本周期、②斜面部地盤の長さ及び形状、③トンネル断面の大きさと地盤バネ係数の比 $\beta_z = \sqrt{\frac{E_z}{EI}}$ (E_z : 軸方向地盤バネ係数、 E : トンネル断定性数、 A : トンネル断面積)、 $\beta_y = \sqrt{\frac{E_y}{EI}}$ (E_y : 軸直角方向地盤バネ係数、 I : トンネル断面2次モーメント)を考慮し、これらの因子を変化させに約260例の応答解析より、応力値に与える地盤条件の影響を検討している。トンネル建設地点の地盤周期、斜面形状、地盤バネ係数を知り、この検討結果を用いて、トンネルの地震時応力の概略値をもとめることが可能である。地震応答解析を行い、処理トンネルについてこの略算法を用い軸応力及び曲げ応力を算定し、これと応答解析による精算値との比較を行い、以下、検討で応答解析により算定されたトンネルコンクリートの軸応力 $\bar{\sigma}_z$ 、及び曲げ応力 $\bar{\sigma}_y$ を入力地震波の陸上部地盤及び海底部地盤の基本周期に対する変位応答スペクトルの和で除した応力値(軸応力 $\bar{\sigma}_z$ 、曲げ応力 $\bar{\sigma}_y$ と呼ぶ)で結果を整理している。これは入力地震波による応力値の差異を小さくするためである。

2. 応答解析による応力値

応答解析を行う8例の内、トンネル断面の大きさ、斜面部地盤の長さ、形状、及び地盤バネの大きさが異なるべく広い範囲の値をもつように4例をえらんで表-1に示した。トンネルAは6車線道路用のトンネルで水平径37.4"、高さ8.8"の大型断面を有している。これに対しトンネルB、及びトンネルCは4車線道路用のトンネルで、水平径28.4"~31.0"、高さ8.5"~8.8"の矩型断面で道路用として日中規模である。又トンネルDは鉄道用トンネルで精円断面を有し、道路用トンネルに比し小規模である。表-1には陸上部地盤及び海底部地盤の周期、平均S波速度、斜面部地盤の形状、トンネル断面の諸元、 β_z 、 β_y 、及びトンネルの応力値を示している。表中、精算値 $\bar{\sigma}_z$ 、 $\bar{\sigma}_y$ とあるのは応答計算でもとめられ、最大軸応力、最大曲げ応力を入力地震波の陸上部及び海底部周期に対する変位スペクトルの和で除したものである。又()内は最大応力を発生させに入力地震波名を示す。最大入力加速度は100 gal、地盤減衰係数は10%とした。表-1に示した結果の中で、精算値の $\bar{\sigma}_z$ 、 $\bar{\sigma}_y$ が最も小さな値を示すのは、トンネルAで $\bar{\sigma}_z = 26.12 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ 、 $\bar{\sigma}_y = 22.40 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ である。これは他のトンネルに比較し β_z 、 β_y の値が著しく小さいことが主な原因であると考えられ、地盤バネ係数がトンネルの地震時応力に最も大きな影響を与えることを示している。

3. 略算法によるトンネルの応力値

前述の文献(2)の結果を用いトンネルの地震時応力の概略値をもとめた。概略応力値のもとの方をトンネルAの軸応力 $\bar{\sigma}_z$ を例にとり説明する。図-1は、トンネル断面積、 90 m^2 、斜面部地盤長さ、150"、 $\beta_z = 0.55 \times 10^{-2}$ (1/m)、として Elcentro NS, Hachinohe EW, Taft EWを入力地震波として地震応答解析を行い $\bar{\sigma}_z$ の最大値を地震波に無関係にとり出し、これの等応力線を描いたものである。トンネルAの建設地点の陸上部

地盤の周期は1.81秒、海底部地盤周期は1.04秒である。図-1を用いて $\beta_L = 0.55 \times 10^{-2}$ (1/m), 斜面部地盤長さ150mと仮定した場合の応力をもとめると、68.5% γ_m/cm となる。

図-2は、斜面部地盤の長さによる応力値 σ_x の変化を示している。図は斜面部地盤の長さ150mの場合の応力値に対する比で示されており、斜面部地盤の長さによる応力値の補正に用いられる。トンネルAの建設地点の斜面部地盤の長さは390.2mである。図-2を用いて補正係数を求めると0.88となる。

図-3は、 β_L による応力値 σ_x の変化を示しており、 β_L による応力値の補正に用いる。トンネルAにおける β_L は陸上部で 0.300×10^{-2} (1/m), 海底部で 0.392×10^{-2} (1/m)である。軸応力の最大値が発生する斜面中央部での β_L を陸上部と海底部の平均値として 0.346×10^{-2} (1/m)とした。これによる補正値は0.6である。

これらの結果から略算法によるトンネルAの軸応力は68.5% $\gamma_m/cm \times 0.88 \times 0.6 = 36.2$ % γ_m/cm となる。以下同様な方法で、各トンネルの地震時応力の概略値をもとめ、結果を略算値 $\bar{\sigma}_x$, $\bar{\sigma}_y$ として表-1に示す。表-1の結果によれば、略算法による応力値は一部の例を除いて応答解析による精算値のほぼ上限を与えることが指摘される。この略算法を用いてトンネルの地震時応力の概略値をもとめることが可能である。しかし、略算法ではトンネルと立坑の結合方法等、詳細な条件を無視しているため、応答解析による応力値の2倍程度の値を与える例もある。実際のトンネルの設計ではこの点に十分留意する必要がある。

	地盤周期 (sec)		S波の平均波長 (m/sec)	斜面地盤形状 (m)	トンネル断面形状 (m ²)	$\beta_L = \sqrt{\frac{g}{EA}}$ (1/m)		$\beta_g = \sqrt{\frac{g}{EI}}$ (1/m)	精算値 (% γ_m/cm) (入力地震波)	略算値 (% γ_m/cm)	備考
	陸	海	陸	海	陸	海	陸	海			
トンネルA	2.81	1.01	1070	1110	126.5	17004.0	0.300×10^{-2}	0.392×10^{-2}	1.95×10^{-2}	$\bar{\sigma}_x = 26.12$ $\bar{\sigma}_y = 22.40$ (算出)	道路用 (6車線)
トンネルB	1.07	0.57	212.0	289.0	110.8	9711.5	0.505×10^{-2}	0.749×10^{-2}	3.12×10^{-2}	$\bar{\sigma}_x = 69.6$ $\bar{\sigma}_y = 63.2$ (入力)	道路用 (4車線)
トンネルC	0.77	0.41	204.1	261.1	94.92	7959.6	0.789×10^{-2}	1.33×10^{-2}	3.67×10^{-2}	$\bar{\sigma}_x = 56.8$ $\bar{\sigma}_y = 78.9$ (入力)	道路用 (4車線)
トンネルD	1.17	0.92	184.7	127.7	36.34	799.6	0.694×10^{-2}	0.767×10^{-2}	5.28×10^{-2}	$\bar{\sigma}_x = 54.7$ $\bar{\sigma}_y = 35.5$ (入力)	鉄道用

表-1 処理トンネルの地震時応力

SECTION AREA OF TUNNEL A = 90m²
LENGTH OF SLOPE L = 150m
 $\beta_L = \sqrt{\frac{g}{EA}} = 0.55 \times 10^{-2}$ (1/m)

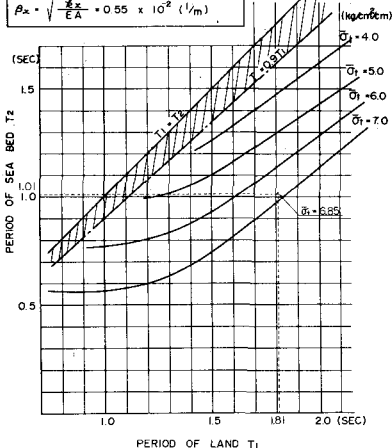


図-1 軸変形による最大軸応力値
参考文献

(σ_x , σ_y : 地震ハズレ係数)

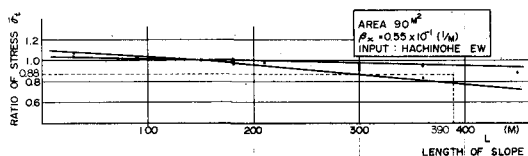


図-2 斜面部地盤の長さによる曲げ応力値の変化

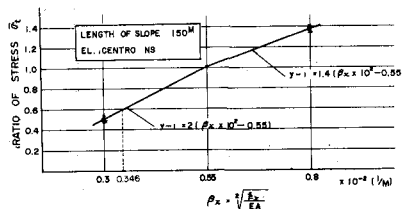


図-3 β_L による軸応力値の変化

(1) 坂田, 泉, "処理トンネル地震応答計算", 第26回土木学会年次講演会

(2) 田村, 岡本, 坂田, "処理トンネルの地震時応力に対する地盤条件の影響について", 第13回地震工学研究発表会