

東京大学生産技術研究所 正員 田村重四郎
東京大学生産技術研究所 正員 加藤 勝行
(株) 熊谷組 正員 ○木戸 義和

1. まえがき

筆者らは昭和45年より多摩川トンネル(国鉄・京葉線)において地震観測を行なっている。その記録の検討結果について報告してきた。ここでは、最近記録された地震について、観測記録と応答計算結果との比較を行なったので報告する。

2. 地震観測

本トンネルは図-1に示すような、羽田空港入口付近よりわずかに上流による多摩川左岸より川崎まで、上流側にながかに凸に弯曲して多摩川を横断する長さ80mのエレメント6基からなる沈埋トンネルである。トンネル断面は高さ約8m、幅約13mの卵形で各エレメントは剛に結合されている。土質は表面が河川部で約40m、川崎側で約10mの厚みの沖積層で、その下はよく締った東京砂礫層である。観測計器は川崎側のNO.2およびNO.4の各エレメントの1点でトンネル軸方向と、これと直角方向に水平に設置された合計4個の加速度計と、各エレメントで2ヶ所、合計4ヶ所(トンネルの左右側壁に軸方向)に設置した8個の歪計である。検討対象としたのは1980年9月25日に千葉県中部で発生した地震($M=6.1$, $H=80\text{km}$, $\Delta=42\text{km}$)である。

3. 数値解析

1) モデル化

地震応答計算には筆者らが提案している図-2に示すバネ・マス系モデルを用い、図-1に示すトンネル縦断面のA～B間1100mを25m等間隔に分割してモデル化を行なった。基本式は次のようである。

$$[M]\{\ddot{D}\} + [C]\{\dot{D}\} + [K]\{D\} = -[\bar{M}]\{\ddot{Z}\}$$

トンネル軸方向

トンネル軸直角方向

$$EA \frac{d^2 U_p}{dx^2} - K_{ix}(U_p - U_g) = 0 \quad EI \frac{d^4 U_p}{dx^4} + K_{iy}(U_p - U_g) = 0$$

ここに、 $[M]$: 質量マトリックス、 $[C]$: 粘性マトリックス、 $[K]$: 剛性マトリックス
 $\{D\}$: 質点の変位ベクトル、 $[\bar{M}]$: 等価質量マトリックス、 $\{\ddot{Z}\}$: 入力加速度ベクトル
 E : トンネルの弾性係数、 I : トンネルの断面二次モーメント、 A : トンネルの断面積
 U , v : トンネルの軸方向、軸直角方向の変位
 U_g , v_g : トンネル長さでの地盤のトンネル軸方向、軸直角方向の変位
 K_{ix} , K_{iy} : トンネルと地盤を結ぶバネ定数

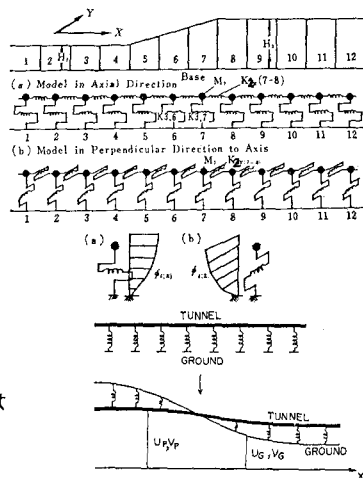


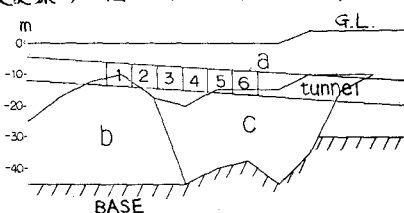
図-2のK2, K3 バネ定数は地盤を図-3のようにモデル化し、地震記録の

卓越周期を基に各層の伝播速度を次のように推定し、得られた地盤の剛性から算出した。 α 層: $V_s=330\text{m/sec}$, β 層: $V_s=330\text{m/sec}$, γ 層: $V_s=145\text{m/sec}$

トンネルと地盤を結ぶK1バネについては数例の試算の結果、上記の剛性より算出した値の1/2の値を採用した。これは沈埋トンネル周囲の埋めもどし土の影響もあるものと考えられたからである。

計算に当って、トンネルは直線と仮定し、力学定数は次のようにした。

図-3 地盤モデル化図



$$E = 350000 \text{ Kg/cm}^2, I = 640 \text{ m}^4, A = 32 \text{ m}^2$$

なお、図-4, 5の観測による軸ひずみと曲げひずみとは、トンネル左右側壁に対となつて設置されているひずみ計のひずみ値 ($\varepsilon_L, \varepsilon_R$) から次式により算出したものである。

$$\text{軸力ひずみ } E_{pp} = (\varepsilon_L + \varepsilon_R) / 2 \quad \text{曲げひずみ } E_{PM} = (\varepsilon_L - \varepsilon_R) / 2$$

2). 入力地震波

入力地震波にはNO.2エレメントで実測された加速度波形を地盤の波形と考へ重複反射理論より基礎に定したそのを用いた。計算CASEを表-1に示す。

CASE 1 は、入力波を同時にモデルの各質点に作用させた場合である。その結果を図-4に示す。軸ひずみにおいて、約8秒を境にして前半は位相が逆転し、後半はほぼ一致していることが認められた。そこで、入力波の性質が約8秒の時点で変化しているものと考え、約8秒を境にして入力波形を前半と後半に分け、

CASE	基礎での地震波の伝播速度 μ_{sec}	基礎から鉛直方向に伝わる地震波の速度 μ_{sec}
1	∞	
2	∞	考慮
3	2500	
4	2500	考慮
5	1250	
6	1250	考慮

表-1 元設計算ケース

前半に対しては入力地震波に2種類の位相を考慮することにした。一つは基礎における水平方向の地震波の伝播によるものであり、他は基礎から鉛直方向に伝わる地震波に関するもので、遅延的現象を考慮したものである。

4. 観測波形との比較

図-4には全時間について、観測、CASE 1, 4のトンネル軸方向、軸直角方向の加速度及び、トンネルの軸ひずみ、曲げひずみの波形を示した。

図-5に、各計算CASEの約8秒までの軸ひずみと曲げひずみを示している。

測定値を基準にして比較した結果をまとめると次のようである。

i) 基礎を水平方向に伝播する速度は、かなり速い。すなわち、比較的遅い速度では相対的に高い振動数の歪成分が発生する。

ii) 基礎から鉛直方向に伝わる波の速度に関して、川崎側点と河心部の点との間

で、0.14秒の遅延時間差を設定することにより、計算結果と観測波形に近づけることができた。

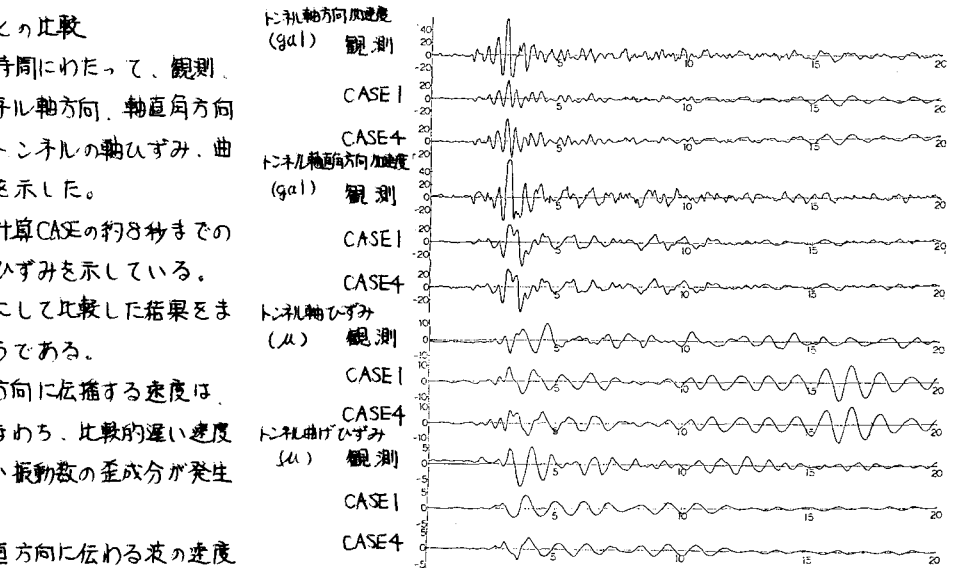


図-4 加速度、ひずみ波形図 (全時間)

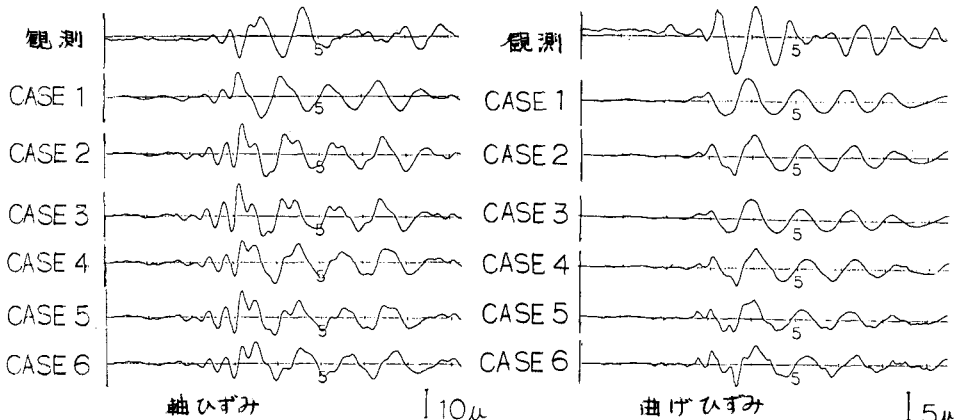


図-5 ひずみ波形図 (約8秒間)