

東京大学生産技術研究所 正員 田村重四郎  
 東京電力株式会社 正員 前田 弘  
 (株)熊谷組技術研究所 正員 〇田部井雅弘  
 (株)熊谷組技術研究所 正員 鈴木 猛彦

1. はじめに

近年、トンネルの耐震性に関する研究が広く実施される様になったが、地震時に地盤がどの様に挙動し、トンネルがどの様に応答し変形するかを体系的に実測した例はそう多くない。

そこで地震時のトンネルの挙動のメカニズムを明らかにするため、横浜市内に建設されているシールドトンネル(内径4550mm, RCセグメント)に於いて地震観測を実施している。昭和49年9月14日長野県西部地震の際、当観測地点では地表で最大加速度約12galを記録し、トンネル軸方向及び断面内の垂波形を得ることができた。

ここではトンネルの軸方向のみに注目して、軸ひずみの伝播特性について検討したので報告する。

2. 地震観測の概要

図-1は当該トンネルの軸線に沿う縦断面図である。表層は厚さ約20mのN値0~2の比較的均一な沖積粘性土層で、その下はN値50以上の土丹層である。平面的には湧水各地形をなしている、トンネルはこの地形を斜めに縦断している。

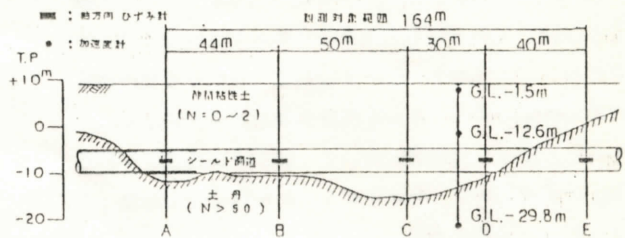


図-1 縦断面図

観測は土丹層内を含め、谷部の沖積層での挙動を対象としている。トンネルの測定断面はA~Eの5断面で、E断面は土丹層内に位置する。A~D断面の内、B断面のみトンネル下端が土丹層と接している。各断面には、トンネルの左右側壁に軸方向ひずみ計が設置されている。さらに地盤の挙動を把握するため、土丹層及び沖積層で合わせて3点に、3成分加速度計を設置している。

3. ひずみの伝播特性

図-2は地表(G.L.-1.5m)で記録された、ほぼ震央直交方向の加速度波形である。同図には、0.3Hz以上の波を除いた波形も併せて示してある。後者については、同様にして得られた他の2方向の波形と

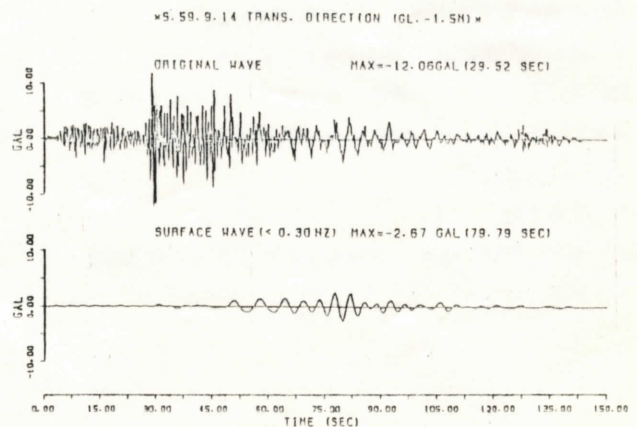


図-2 加速度記録(G.L.-1.5m)

組合せてリサージュ曲線と画いた結果、ラブ波であろうと推定された。なお同様にして、土丹層内(G.L.-29.8m)及び沖積層内(G.L.-12.6m)の加速度記録から求めた波形は、この波形と完全に一致する。

図-3は、トンネル内A~E断面で得られた軸ひずみ記録を、50~100秒までプロットしたものである。図中、A断面のひずみが大きいのは、当断面のみ二次覆工が施されているためである。各断面とも、最大軸ひずみは約81秒で

発生しており、これは図-2の表面波成分の最大加速度発生時刻にはほぼ一致している。また各断面とも、周期4~5秒でほぼ同位相の軸ひずみが発生している。

そこで波形後半部の表面波部分にのみ着目し、各断面の軸ひずみ波形を用いて、各々のトンネル断面間で相互相関関数:  $C_{ij}$  を求め、これにより軸ひずみ伝播のTime Lag:  $\tau$  (秒) を計算した。

$$C_{ij} = \frac{\int_{t_0}^T \{S_i(t) \cdot S_j(t-\tau)\}}{\sqrt{\int_{t_0}^T S_i^2(t) \cdot \int_{t_0}^T S_j^2(t)}}$$

$S_i, S_j$ :  $i, j$  断面の軸ひずみ

$C_{ij}$ :  $i, j$  間の相互相関関数

表-1は、波形後半部90~100秒で計算した、各断面間のTime Lag(秒)をまとめたものである。なお、この時の相互相関係数は、すべて0.9以上であった。表から、軸ひずみはB断面で最も早く発生し、それがA及びC断面へと左右に伝播していることがわかる。また、E断面も軸ひずみの発生時刻が早く、B断面とさほど変わらない。この様な傾向は、多少Time Lagが異なるが、波形後半部の他の時間帯でも認められる。

土丹層とトンネルとの地形的関係及び表-1から判断して、軸ひずみの伝播特性を模式的に示したのが図-4である。すなわち、図-1及び図-4に示す様な特殊地形(谷部)では、土丹層内のA断面南側とE断面及び土丹層と接したB断面において、地震波の伝播とともに軸ひずみは発生し、それがトンネル軸方向に伝播してゆくものと考えられる。

#### 4. まとめ

本報告では、軸ひずみ波形の後半部に着目し、特殊地形における表面波による軸ひずみの伝播について考察した。その結果、以下の様な結論が得られた。

1. 地震動の後半にあらわれる、表面波により発生したトンネル軸ひずみ波形は、周期4~5秒の成分が卓越し、波形は幾何学的に相似で、ほぼ同位相であった。

2. 相互相関関数からTime Lagを計算することにより、表面波によるトンネル軸ひずみの伝播特性が明らかになった。又これより、震央方向の伝播速度を概算すると4 km/sec前後となる。

#### 5. 参考文献

- 1). 田村, 加藤, 酒井: 第36回土木学会年次学術講演会, 1981

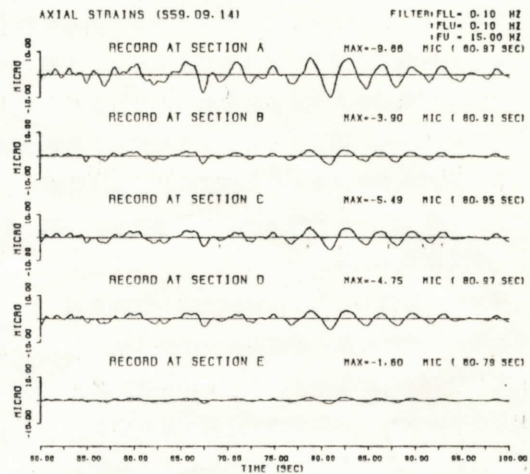


図-3. 軸ひずみ記録

断面	A	B	C	D	E
A		-0.09	0.03	0.05	-0.08
B			0.12	0.14	0.03
C				0.02	-0.08
D					-0.10
E					

表-1. 各断面間のTime Lag

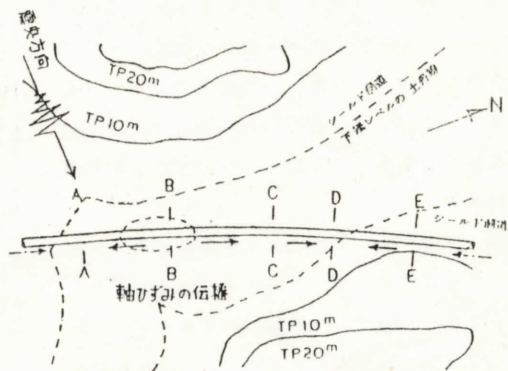


図-4. 軸ひずみの伝播模式図