

### 浅い地盤に位置するトンネルの地震時ひずみと地震動速度の関連性

東京工業大学 学生会員 ○水野 剣一  
 東京工業大学 正会員 戸田 忠友  
 東京工業大学 正会員 大町 達夫  
 東京工業大学 正会員 井上 修作

#### 1. はじめに

都市機能や土地利用の高度化に伴い,上水道,下水道,ガス等の地中ライフライン設備は複雑な地盤条件下でも建設され,その耐震性能を検討することは重要である.このような地中構造物の地震時挙動は,周辺地盤の変位量やひずみに支配されることが知られており<sup>1)</sup>,それを適切に評価することが必要となる.

埋設管路の地震時挙動を把握するには直接管路のひずみを測定することが有効である.既往の研究<sup>2),3)</sup>では,埋設管路に発生する軸方向のひずみ  $\epsilon$  と軸方向の地震動速度  $V$  の最大値は比例関係にあることが指摘されている.

しかし,軸方向のひずみと地震動速度の最大値がなぜ線形関係にあるのかについては明らかではない.よって本研究ではトンネルのひずみと地震動速度の関係について調べることを目的とする.

#### 2. 観測概要

本研究で対象としたトンネルは東京工業大学すずかけ台キャンパス内にあるレーザートンネルである.レーザートンネルは地下約 3m に位置し,周辺の地盤は盛土層,ローム混じり粘土層,粘土層,泥岩層からなる.トンネルはコンクリート製で,内空 2m×2m,壁圧 0.25m の正方形断面である.トンネル軸方向はほぼ南北 (NS) 方向である.

ひずみ計は南側の入り口から 11m の地点 (断面①) に 3 台, 22m の (断面②) 地点に 2 台, 27m の地点 (断面

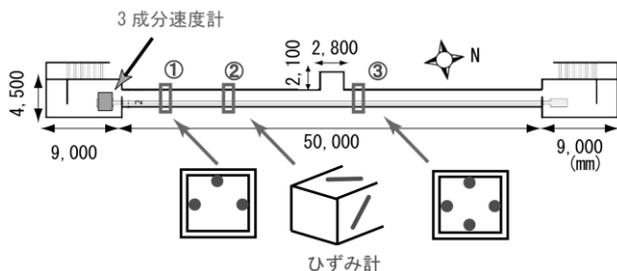


図1 トンネルの寸法および計器設置点

③) に 4 台の計 9 台が設置されている. 断面①, ③では各面のトンネル軸方向のひずみを測定しており, 断面②では天井, 東面においてトンネルの軸から 45° 傾いた方向のひずみを測定している.

#### 3. 軸方向速度とひずみの関係

従来から,水平地盤ではトンネルの軸ひずみ  $\epsilon$  と同方向の地震動速度  $V$  は相関性が高く,次式のようにあらわせることが指摘されている<sup>3)</sup>.

$$\epsilon = V/C \quad C: \text{一定値} \quad \dots \text{式(1)}$$

しかし,観測された各地震で  $\epsilon$  と  $V$  の相関性にはばらつきがある.図2は横軸に気象庁マグニチュード,縦軸に  $V$  の最大値記録時刻から  $\epsilon$  の最大値記録時刻の時間差を示す.  $\epsilon$  は断面③における天井と床のひずみの平均値として算出した.マグニチュードの大きい地震では  $V$  に対して  $\epsilon$  が遅れて最大値を記録する場合があることを示している.

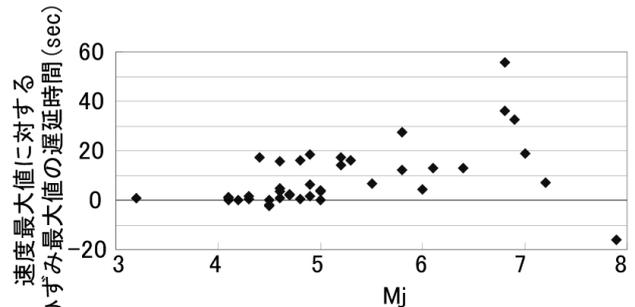


図2 軸ひずみと軸方向速度の最大値の時間

#### 4. 伝播速度とひずみの関係

式(1)における比例定数  $C$  はトンネル軸方向の見かけの伝播速度であることが推定される.図3で示すように震央がトンネル軸方向から  $\theta$  だけ傾いている位置にあるとき,震央方向の見かけの伝播速度を  $C_h$  とすると,トンネル軸方向の見かけの伝播速度  $C_{axis}$  は式(2)のように表せると考えられる.

観測された全地震について  $V$  と  $\epsilon$  の比を求めたもの

キーワード トンネル, 地震時ひずみ, 地震動速度, 伝播速度

連絡先: 〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259-G3-2 東京工業大学大町研究室 TEL045-924-5605

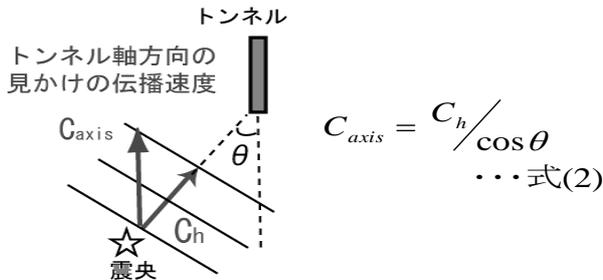


図3 トンネル軸方向の見かけの伝播速度

が図5である。横軸は図3中の $\theta$ を表している。また図中の点線は式(2)によって表されるトンネル軸方向の見かけの速度である。ただし、 $C_h$ を地震基盤のS波速度の3km/secとして算出した。また、各地震に対して主要動部分と後続波部分の二つの時点での比の値をプロットした。

主要動部分での比は、点線で示した式(2)の伝播速度の値と概ね良い対応を見せる。よって主要動部分においては、式(1)に示すCはトンネル軸方向の見かけの伝播速度であることが推定される。しかし、 $\theta$ が $90^\circ$ や $270^\circ$ 、つまりトンネルの軸に直交する方向で伝播してくる場合、各地震によって比の値はばらつきが大きい。

後続波の部分では主要動部分と比べて、 $\theta$ による変化は見られない。比の値はほぼ1km/secから6km/secの速度値を示し、比較的安定している。

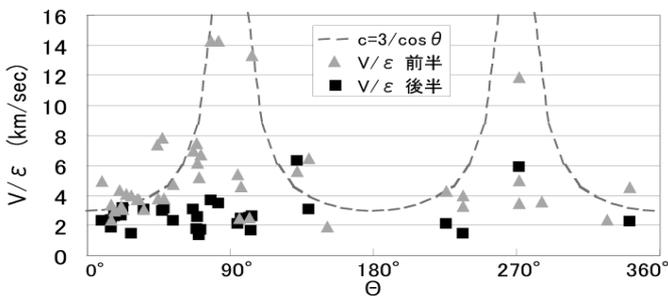


図4 軸方向速度と軸ひずみの比

5. 2次元FEM-BEM結合解法数値解析の検討

上記の結果を2次元FEM-BEM結合解法数値解析を用いて検討を行う。

モデルの概要を図5に示す。トンネル部は長さ50m高さ4mの形状とし、入力地震波は水平の見かけの伝播速度が3km/sとなるような平面SV波(周期0.5s)のsin波とした。ここでトンネル部のS波速度( $V_s$ )を変え、速度とひずみの検討を行った。

得られたトンネルでの $V/\epsilon$ 比とトンネルの $V_s$ との関係を図6に示す。この結果から、数値解析では $V/\epsilon$ 比がトンネルの $V_s$ によって変化し、必ずしも見かけの伝播速度だけでは決まらない結果となった。

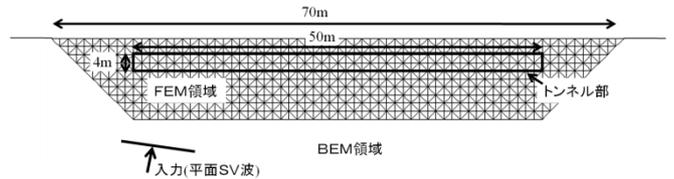


図5 2次元数値解析モデル

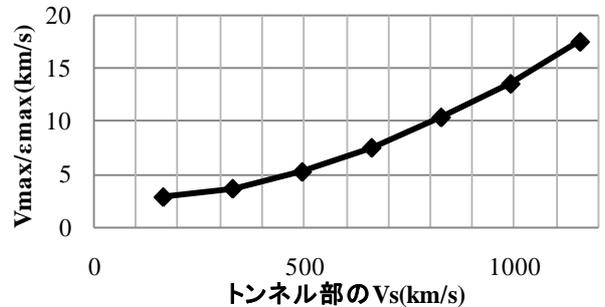


図6 数値解析による軸方向速度と軸ひずみの比とトンネル部分  $V_s$  の関係

6. まとめ

本研究では、主として浅いトンネルで観測される地震動速度( $V$ )と地震時ひずみ( $\epsilon$ )の関係について調べた結果、次のことが明らかになった。

- $V/\epsilon$ の値は、主要動部分においてトンネル軸方向と震央方向のなす角度( $\theta$ )などによって変化する。特に $\theta$ が $90^\circ$ や $270^\circ$ のとき、Cの値のばらつきは大きくなる傾向がある。
- 軸ひずみの最大値は主要動部分で発生する場合と後続波で発生する場合がある。また、後続波部分では前式のCは1km/secから6km/secの速度値を示し、比較的安定している。
- 2次元数値解析では、必ずしも見かけの伝播速度だけでは決まらず、むしろトンネルの $V_s$ に影響される結果となった。

今後、主要動部と後続波部で $V/\epsilon$ 比の傾向が異なる原因を調べるとともに、数値解析の結果では見かけの伝播速度が影響しなかった原因を調べる必要がある。

参考文献

- 1) 岩本利行、山路忠雄、長尾小二：埋設管路の地震時挙動予測(地盤ひずみと伝播速度)、第20回土木学会地震工学研究発表会梗概集、pp323-326、1989
- 2) 水野剣一、大町達夫、井上修作：東工大レーザートンネルの地震時挙動における地震動と地震時ひずみの観測、土木学会第63回年次学術講演会講演概要集、部門I、pp. 295-296、2008
- 3) 中村正博、片山恒雄、久保慶三郎：地中構造物の実測地震時ひずみに関する定量的研究、土木学会論文報告集第320号 pp.35~45 1982