

東海大学海洋学部 正 ○浜田 政則
大成建設(株) 正 志波由起夫

1. まえがき

沈理工法による海底トンネルの地震時挙動については、すでにいくつかのトンネルにおいて地震観測が実施され、多くの報告がなされている。^{(1),(2)} 著者らは東京港に近接して建設された2つの海底トンネルにおける地震観測結果を用い、トンネルの地震時変形の特性について考察を試みた。この二つのトンネルは、断面寸法、トンネルエレメント間のジョイント構造および地盤条件がそれぞれ異なり、同一地震における両トンネルの観測記録を比較検討することにより、これらの要因がトンネルの地震時ひずみに与える影響度を調査することが可能である。

2. トンネルの構造概要と観測地震

地震観測が行われている2つのトンネル(以下A, Bトンネルと称する)は、図1(a)に示すように約3.0km相離れて位置し、それぞれのトンネル軸は互いにほぼ直交している。A, Bトンネルとも図1(b)に示すような扁平な矩形断面を有し、トンネルエレメント間はフレキシブルジョイントにより連結されている。

BトンネルのジョイントはPCケーブルのみよりなり、鋼製のせん断キーとモルタルよりなるAトンネルのジョイントに比較し、大きなフレキシビリティを有していると考えられる。

両トンネルとも10回以上の中小地震における観測記録が得られているが、ここでは2つのタイプの異なる地震による記録について考察する。一つは震源深さが10kmと浅く、やや遠距離(90km)に発生した地震で、表面波成分が卓越している(伊豆半島地震, 1980, Jun, 29, $M=6.7$)。他の一つは震源が深く(90km) 比較的近距离(40km)に発生した地震で実体波成分が顕著である(千葉県中部地震, 1980, Sept, 25, $M=6.1$)。

3. 観測記録と考察

トンネル軸(x)に沿ってみかけ上伝播する波動(みかけ上の伝播速度 V_x, V_x')を $u=f(t-x/V_x)$ および $u=g(t-\frac{x}{V_x'})$ とすれば、地盤のトンネル軸方向の ε_n およびトンネル軸に沿った地盤変形の曲率 $1/\rho$ は下記のように表わされることはよく知られている。

$$\varepsilon_n = \frac{\partial f}{\partial x} = -\frac{1}{V_x} \frac{\partial f}{\partial t} \quad \text{----- (1)} \quad \frac{1}{\rho} = \frac{\partial^2 g}{\partial x^2} = \frac{1}{V_x'^2} \frac{\partial^2 g}{\partial t^2} \quad \text{----- (2)}$$

すなわち、地震動の速度(粒子速度)と加速度は地盤の垂直ひずみと曲率に比例する。

図3, 4にトンネルの軸ひずみ(両側壁のひずみの平均値より算定)および曲げひずみ(同様にひずみの差より算定)を地盤速度ないしは加速度と対比して示す。ただし、速度・加速度ともすべてが地盤で測定されたものだけでなく、トンネル内で測定されたものも含まれている。既往の地下タンクなどの観測結果を参考にここでは、0.1~0.2 sec 以下の単周期成分を除けば地盤とトンネルの地震動は同一であるとみなした。図2~3より次の結果が得られる。

i) 両トンネルとも、軸方向の地盤速度波形はトンネルの軸ひずみ波形に、また軸直角方向の地盤加速度波形はトンネルの曲げひずみ波形に相似形である。このことは図に示した波形のフーリエスペクトルからも確認される。

ii) (2)式に示した地盤変形の曲率と加速度の関係、および図-2観測軸x, yの方向(A, Bトンネルで、y方向が反転している)から、トンネルの曲げひずみと地盤の加速度は、地震波動の入射方向に関係なく、Aトンネルでは同位相、Bトンネルでは逆位相と推定される。また、千葉県中部地震においては、震源位置とトンネル軸(x)の正の方向の関係から、トンネル軸に沿った地震波動のみかけ上の速度は負であったと考えられるため、両

トンネルともトンネルの軸ひずみの位相は、地盤の軸方向ひずみと同位相であったと推定される。しかし、伊豆半島地震ではAトンネルに対する地震波動のみかけ上の伝播速度が正であったと考えられることから、速度と軸ひずみは逆位相であったと推定される。

以上推定した地盤の加速度および速度とトンネルひずみとの間の位相の関係は、観測された結果とほぼ一致する。例えば、図-3(a), 4(a)に示すように両トンネルとも千葉県中部の地震ではトンネルの軸ひずみの位相は、軸方向速度の位相にほぼ一致している。しかし、図3(c)に示すように、伊豆半島の地震では軸ひずみと軸方向速度は逆位相である。さらに図3(b), 4(b)によれば、Aトンネルでは曲げひずみは地盤加速度と同位相、Bトンネルでは逆位相になっていることがわかる。

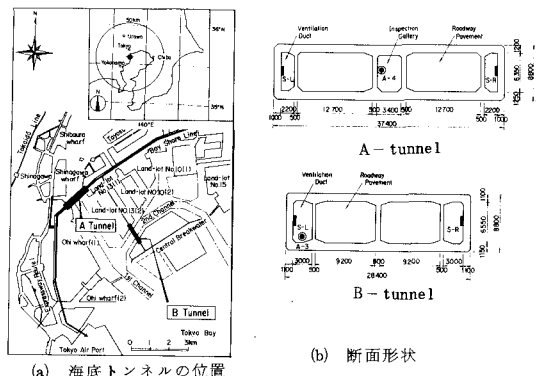


図1 海底トンネルの位置と断面形状

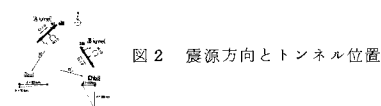
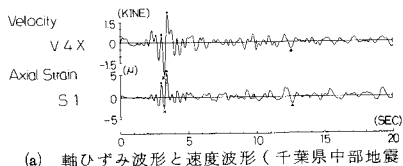
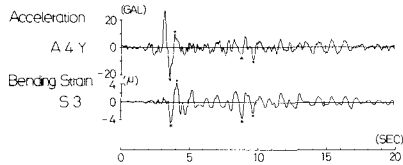


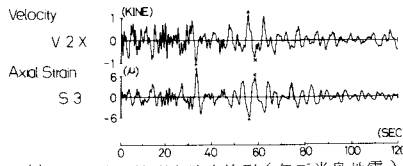
図2 震源方向とトンネル位置



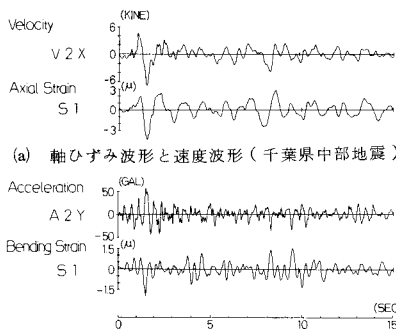
(a) 軸ひずみ波形と速度波形(千葉県中部地震)



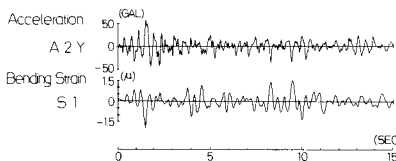
(b) 曲げひずみ波形と加速度波形(千葉県中部地震)



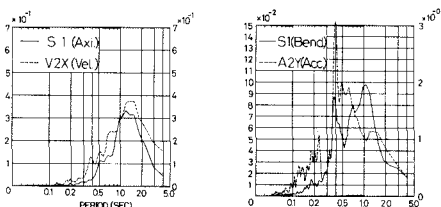
(c) 軸ひずみ波形と速度波形(伊豆半島地震)



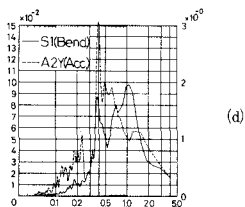
(a) 軸ひずみ波形と速度波形(千葉県中部地震)



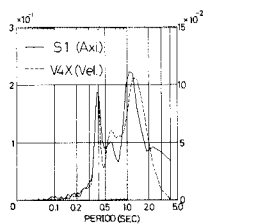
(b) 曲げひずみ波形と加速度波形(千葉県中部地震)



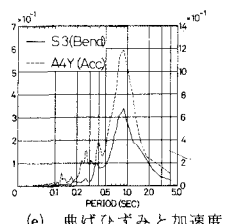
(c) 軸ひずみと速度のフーリエスペクトル



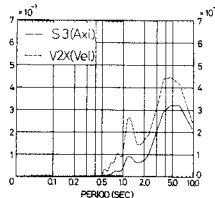
(d) 曲げひずみと加速度のフーリエスペクトル



(e) 軸ひずみと速度のフーリエスペクトル



(f) 曲げひずみと加速度のフーリエスペクトル



(g) 軸ひずみと速度のフーリエスペクトル

図3 軸ひずみと速度および曲げひずみと加速度の比較(A-tunnel)

参考文献(1) 池田他, "東京港オ二航路トンネルの地震観測と応答解析" オ6回日本地震工学シンポジウム

(2) 矢作, 浜田他, "沈埋トンネルの地震観測と数値解析" オ5回日本地震工学シンポジウム