

運輸省港湾技術研究所 正会員 ○青岩 規
 , 面沢 英雄
 , 正会員 横田 弘

1. まえがき 沈埋トンネルは長手方向に長大であること、かつ沈埋トンネルの見掛け上の単位体積重量が周辺地盤の単位体積重量と大差がないこと等により、沈埋トンネル軸線沿いの表層地盤の地点毎の地震動の相対的な差によって断面力が発生する。この相対的な差は、地震の諸元（マグニチュード、震央距離、深度等）、表層地盤の土質条件、地震波の伝播性状等の要因に支配される。本報告ではこのうち地震波の伝播を中心に沈埋トンネルの断面力について検討を行う。川崎港海底トンネルでは、1979年以来図-1に示す観測計器を沈埋トンネル内及び周辺地盤内に設置して、地震応答観測を実施している。この観測システムでは、970m離れた2地点に地中地震計を設置しており、工学的基礎面（N値50以上）での地震波の伝播性状に関する情報を得ることが出来る。そこで、この2点間を見掛け上伝播する地震波を用いて質点系モデルによる動的応答計算を実施し、地震波の伝播性状が断面力等にどのような影響を与えるか調べた。また、地震応答観測より得られた断面力と計算値との比較検討を行なった。これらの結果について本報告で述べる。

2. 解析モデル 川崎港海底トンネルは、全長1160mでこのうち840mの部分が沈埋工法で建設された。沈埋トンネルの周辺の表層地盤は、比較的軟弱なシルト層で構成されている。-53m付近からN値が50以上の良く締った砂層が出現している。この表層地盤をバネ、マス系に、沈埋トンネルは梁部材に置換して図-2に示す動的応答計算の力学モデルを作成する。表層地盤を30m毎に一質点に置換を行なった。総質点数は47個である。力学モデルを構成するバネとダンパーの値は、重複反射理論による線型動的応答解析（プログラム名SHAKE）によって評価を行なった。すなわち入力地震波によって表層地盤に生ずる歪量を計算して、この歪量に対応する地盤の剛性の低下率と減衰定数とを求めた。すなわち速度換層から得られた地盤の剛性値の修正を行った。

3. 入力地震波 川崎港海底トンネルでの地震応答観測では現在まで17個の地震波記録が取得されている。この地震波記録の内、震源が沈埋トンネル軸線上の延長に位置し、かつ震源の深さが震央距離と比較して浅い地震（KWSK-4とここでは呼ぶ）を入力地震波に選んだ。図-3に加速度波形を示すが、最大加速度は、2.5 Galと小さな値である。2点の地中地震計で得られた加速度記録から、工学的基礎面での地震波の伝播速度を相互相関によって計算を行った。計算結果を図-4に示す。これにより工学的基礎面での沈埋トンネル軸方向に関する見掛け上の伝播速度は1600 m/s前後と推定される。図-5に2点での加速度記録のクロススペクトルを示すが、2Hz以下の振動域でスペクトルの振幅値が大きい。

4. 計算結果 図-6に沈埋トンネルに計算された軸力の値と分布とを示す。図中では伝播速度を考慮する場合（ $C = 1500 \text{ m/s}$ ）と考慮しない場合（ $C = \infty$ ）の結果を示しているが、いずれの計算ケースでも地形が急変する護岸付近に大きな軸力が計算される。地震波の伝播速度を考慮してもこの護岸部での軸力の値は、しない場合と比較して大差がない。しかし、分布の形は両者で異なっており、伝播速度を考慮すると、比較的地盤条件が均一な航路部でも比較的大きな軸力が計算される。これは、地震応答観測から得られた軸力の分布傾向ともかなり良く一致していることがわかる。図-7に、伝播速度と軸力との関係を示す。図での値は、質点番号13（護岸部付近）位置での軸力を示している。この質点位置では、伝播速度が1000 m/sの時の最大値をとり、伝播速度が1500 m/s以上になると軸力の値は、ほぼ一定となる。また、入力地震波の分散性状（伝播速度が振動数に依存する性質）あるいは伝播速度を考慮しない（ $C = \infty$ ）場合の軸力の値は、ほぼこの一定値と等しいこと

がわかる。ただし、この傾向は、質点位置によって若干異なる。

5. 結 論 入力地震波の伝播性状を考慮した動的応答計算によって得られた計算結果は、観測結果を比較的良好に説明することが出来る。今後とも地震応答観測に計算とを実施して、より合理的な耐震設計法の確立を目指したい。

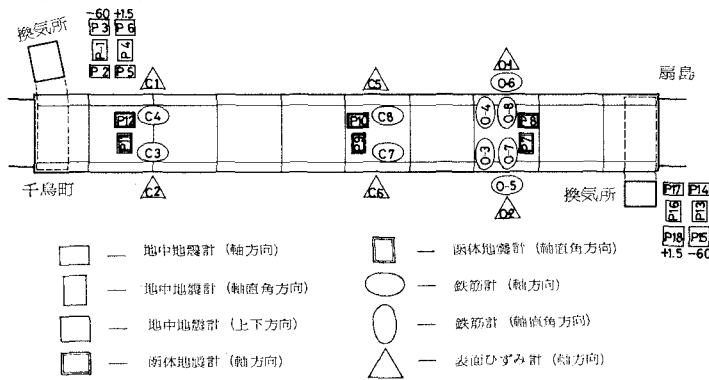


図-1 地震応答観測計器配置

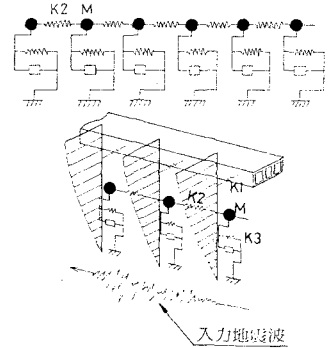


図-2 力学モデル

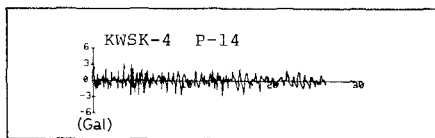


図-3 入力地震波

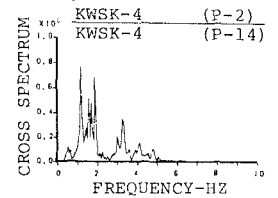
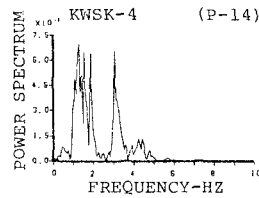


図-5 加速度記録の
パワースペクトルとフ
ロースペクトル

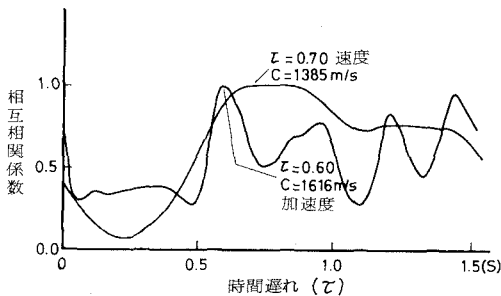


図-4 相互相関 (P-2, P-14)

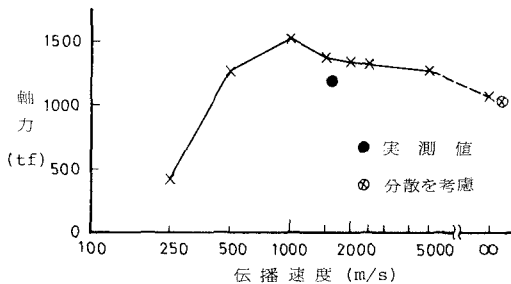


図-7 軸力と伝播速度の関係

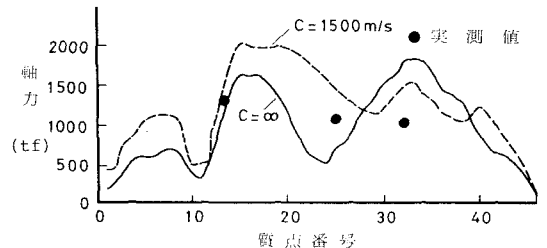
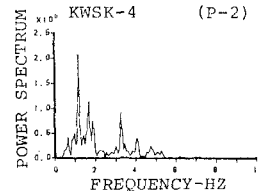


図-6 軸力の値と分布