

運輸省港湾技術研究所 (学生会員) 西澤 英雄

同 上 (正会員) 清宮 理

同 上 (正会員) 横田 弘

まえがき 地表面の近傍に埋設して建設される沈埋トンネルは、長手方向に長大であること、沈埋函の見掛け上の単位体積重量が、周辺の地盤の単位体積重量と同程度であること等により、沈埋トンネルに地震時に生ずるひずみ量は、周辺の地盤の地点毎の地震動の相対的な動きに支配される。沈埋トンネル軸線に沿った各地点での地震動は、地震の諸元（マグニチュード、震央距離等）、表層地盤の土質、地形条件、地震波の伝播等によって支配される。筆者らは、川崎港海底トンネル及び木浦港海底トンネルで、トンネルの完成と同時に加速度計、鉄筋計、ひずみ計等の各種の観測計器を設置し地震応答観測を実施している。今回の報告では、とくに地震時に沈埋トンネルに生ずるひずみの性質について若干の解析を行なったので報告する。

ひずみと地震の諸元との関係 木浦港海底トンネルでは、1983年4月まで26個、川崎港海底トンネルでは21個の地震記録が取得されている。木浦港海底トンネルで取得されたひずみ波形の最大値と地震の諸元との関係を整理した結果について図-1に示す。当トンネルで最大ひずみ量（ ε_{max} ）と各地震のマグニチュード（ M ）震央距離（ D ）の関係を回帰式で求めると次式を得る。ただし解析を行なった地震のマグニチュードは3.6～7.5、震央距離は15～740kmの範囲であり、最大ひずみ量は 50×10^{-6} 以下であった。

$$\log_{10} (\varepsilon_{max} \div 10^{-6}) = 0.75M - 0.94 \log_{10} D - 1.44 \quad (\text{木浦港海底トンネル})$$

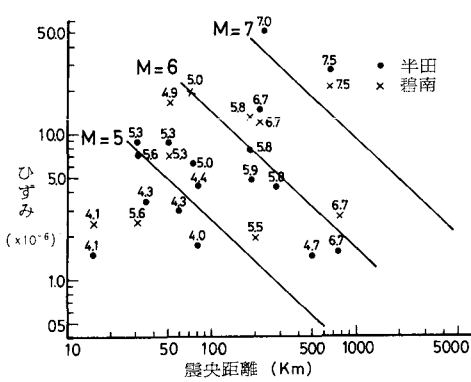
$$\log_{10} (\varepsilon_{max} \div 10^{-6}) = 0.52M - 1.36 \log_{10} D - 0.12 \quad (\text{川崎港海底トンネル})$$

沈埋トンネルに生ずるひずみ量は、マグニチュードが大きい程、また、震央距離が短い程大きい値をとると考えたい。川崎港海底トンネル、文献3を用いて多摩川トンネルでも同様な回帰式を求めた。この結果を図-2に示す。今回整理した地震記録の範囲内では、マグニチュード5の地震に対して木浦港海底トンネルは他の2つの沈埋トンネルよりも大きなひずみ量を与えていたことが判る。上式の回帰式では沈埋トンネル建設地点での応答特性の影響が入っていない。そこで、最大ひずみ量と木浦港海底トンネル建設地点での最大加速度との比と地震の諸元とで整理した。この結果を図-3に示す。単位加速度あたりのひずみ量は、マグニチュードが小さく震央距離の短い地震よりも、マグニチュードが大きく震央距離の遠い地震の方が大きいことを示している。

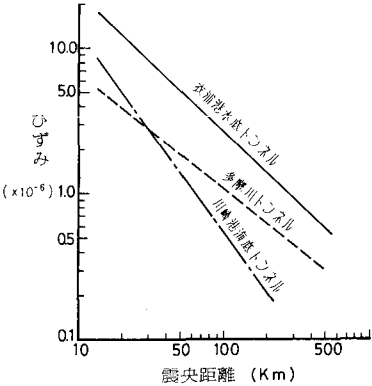
ひずみ波形の様子 図-4と図-5に川崎港海底トンネルで取得された地震記録を示す。図-4は、1982年9月25日に房総半島南部に発生した震央距離が37km、深さが80km、マグニチュードが6.1の地震で得られた記録である。地震の性質としては直下型と言えらる。記録開始後7～10秒の区間に加速度振幅の大きい衝撃的な波が数波沈埋トンネルに到着しており、ひずみ波形での最大値もこの主要動部分に生じている。図-6及び図-7は、1980年6月29日に伊豆半島東方沖に発生した、マグニチュードが6.7、震央距離が81km、深さが10kmの地震で得られた記録である。加速度振幅が大きな主要動部分（3～12秒）では、ひずみ波形での振幅は小さく主要動部分を過ぎた波形がなだらかな箇所、3秒前後と比較的長周期の成分が卓越している部分にひずみ波形での振幅が大きくなっている。主要動を過ぎた部分の地震波の性質を調べてみる。川崎港海底トンネルの地中地震計で得られた加速度波形を積分して得られた変位波形で、震央方向成分と上下方向成分の時系列記録の積を図-8に示す。この積の波形は、正弦波形的に正負が交替している。また、震央方向と上下方向成分の軌跡を図-9に示す。地表面に対して鉛直な面内で、地震波の軌跡は回転運動をしている。そして、回転方向は、震央の方向に対して反転している。以上のことを考えると主要動部分を過ぎた区間では、地震波の種類としてRayleigh波が優勢であったことを示している。このように地震の種類によって、沈埋トンネルに生ずるひずみ性質

も異なる。比較的長周期の波が卓越し表面波が優勢な地震では、加速度振幅が小さくとも大きなひずみが沈埋トンネルに生ずる可能性がある。

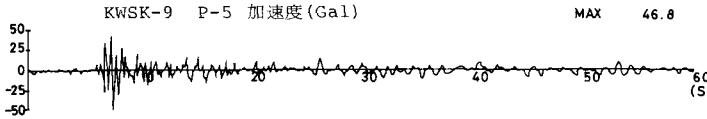
あとがき 今後とも記録の累積を図って、地震時の沈埋トンネルに生ずるひずみの性質について説明していきたい。



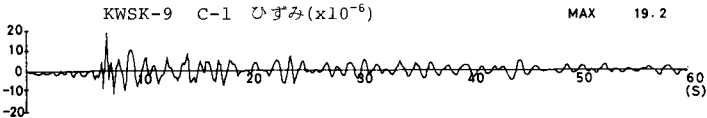
図一 / ひずみと地震の諸元との関係



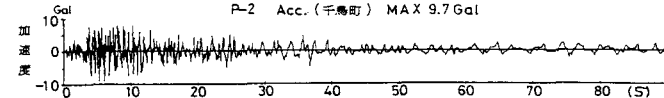
図二 各トンネルでのひずみと地震の諸元との関係



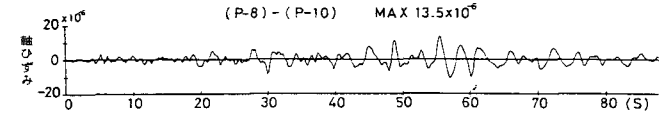
図四 加速度波形 (KWSK-9)



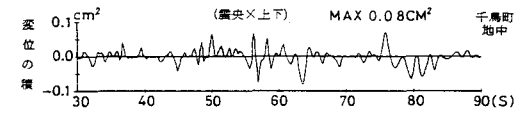
図五 ひずみ波形 (KWSK-9)



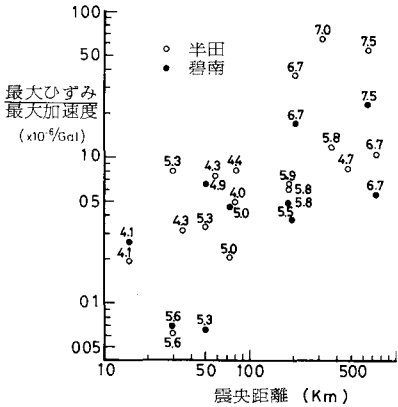
図六 加速度記録 (千鳥町、地中・トンネル軸方向)



図七 沈埋トンネル内の軸ひずみ

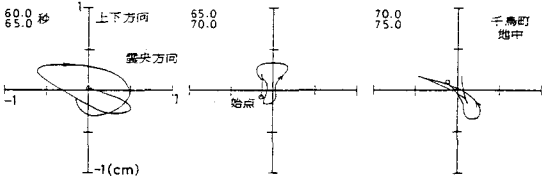


図八 震央方向成分と上下方向成分の積 (変位30~90秒)



図三 最大ひずみ/最大加速度と地震の諸元との関係

図九 基盤での震央方向成分と上下方向成分による軌跡 (変位成分60~85秒)



参考文献 1)南 兼一郎、清宮 理、藤沢 寿夫：「羽前港海底トンネルにおける地震応答観測、第16回地震工学研究発表会、1981年。2)清宮 理、中山 茂雄、土田 幸：「羽前港海底トンネル地震応答観測および地震応答計算、港湾技術資料、No. 221、1975年。3)田村 重雄：「地中構造物の耐震設計方法と17の変位法について、生産研究29巻5号、1977年。