

地盤急変部におけるシールド洞道の横断方向地震時挙動

東京電力(株) 正会員 塩治幸男 後藤和生
東電設計(株) 正会員 瀬下雄一 安中 正

1. はじめに シールド洞道の地震時挙動を明らかにするため、横浜市内の地中送電用シールド洞道(内径4550mm、RCセグメント)において地震観測が行われている。これまでに、いくつかの地震について観測データの分析が行われている。その結果、シールド洞道横断面の円周方向45°位置で大きな歪が発生している断面もあるが、0°と90°(天端、側壁)位置にかなり大きな歪が発生している断面もあることが判っている¹⁾²⁾。ここでは、地盤急変部における洞道横断面の地震時挙動について観測記録の分析と二次元動的FEM解析によるシミュレーション解析を行ったので、その結果を報告する。

2. 地震観測地点の概要 観測地点の洪積層は谷状の地形をなしており、シールド洞道はこの谷を斜めに横切っている。洞道の挙動はa～e断面で計測しており、a～d断面は沖積層、e断面は洪積層に位置している。また、a断面には二次覆工が施されている。図-1にb～dの断面図を示す。観測は、図-2に示す様に、洞道内の0°(天端)、45°、90°(側壁)位置にある歪計で行っている。

3. 洞道の円周方向歪の観測結果 図-3は観測された主な22地震の洞道の円周方向セグメント歪の最大値分布であり、c断面の歪最大値に対する各断面の歪最大値の比を示してある。円周方向歪の最大値は、45°、0°、90°いずれの場合も、a、e断面が他の断面と比較して小さい傾向が見られる。これは、a断面ではコンクリートの二次覆工が施されており、また、e断面では洞道の周辺地盤が洪積層となっており、これら断面の洞道や周辺地盤の剛性が他の断面よりかなり大きいことから、洞道の変形が抑えられているものと考えられる。円周方向45°位置での歪の最大値がb～d断面でほぼ同程度であるのに対し、0°及び90°位置での歪はd断面が他の断面と比較してかなり大きな値を示している。

4. 二次元動的FEM解析によるシミュレーション

(a) 歪の時刻歴 二次元動的FEM解析を用いて、洪積層の形状によるシールド洞道の地震時挙動について検討を行った。b～d断面について水平加振と鉛直加振による解析を行い、両者の解析結果を足し合わせてシールド洞道の挙動を評価した。解析に用いた地震は、いままで観測された地震の中で比較的大きな歪記録が得られている1986年6月の房総半島南東沖地震とし、地盤の鉛直アレー観測記録から一次元波動論に基づきモデル下端の入射波を求めた。シールド洞道は24分割からなる梁要素にモデル化し、材料特性に基づき一樣剛性とした。洞道の構造諸元を表-1に示す。解析による歪は、断面力(M, N)から算定した。解析から求めた歪は、b～d断面とも45°位置において観測値と比較的良く一致している。ここでは、d断面の歪波形と観測記録との比較を図-4に示す。観測値に対する解析値の歪時刻歴は、45°位置の場合良く対応している。0°と90°位置の歪の大きさについては、45°位置の場合と比較して観測値と解析値の対応が悪い。なお、鉛直加振から得られる歪の最大値はいずれの断面においても $0.5 \sim 1 \times 10^{-6}$ 程度の歪しか生じておらず、これは観測値における最大値の5～15%程度の大きさであり、鉛直加振が洞道の挙動に与える影響は小さいと言える。

(b) 主歪の分析 洞道の地震時挙動を定量的に評価するため(1)式により洞道の平均的な主歪方向を算定した。

$$\tan 2\phi = \{2 - (\alpha + \beta)\} / (\alpha - \beta) \quad \text{-----} \quad (1)$$

ここに、 ϕ は主歪の角度であり、 α と β はそれぞれ45°位置の歪に対する0°位置と90°位置の歪の比である。主な6つの地震の主要動部分から算定した主歪の角度と解析から求めたb～d断面の主歪の角度の比較を図-5に示す。観測記録から求めた主歪の角度は断面により固有の方向を持っており、地震によるばらつきは小さいことが判る。d断面の主歪の角度は、45°から大きくはずれた結果となっており、それに対しa及びe断面の主歪の角度は45°に近い値を示している。b断面とd断面では主歪の角度が45°を境に逆方向となる

傾向がみられる。また、解析から算定した主歪の角度は観測値と定性的に一致しており、b断面とd断面の主歪の角度が45°を境に反転している。

5. おわりに シールド洞道横断方向地震時挙動について、観測記録と二次元動的FEM解析結果の比較を行った。45°位置の歪記録を二次元動的FEM解析によりかなり良く再現することができた。純粋なせん断変形からのずれを主歪の方向として定量的に評価した。主歪の方向は地震によらず断面により固有の方向を示す。断面による主歪の角度の変化の傾向を二次元動的FEM解析により定性的に再現することができた。

6. 参考文献 1) 竹内、鈴木、田村：地盤の上下動にともなうシールド洞道の断面変形について、土木学会第42回年次学術講演会第一部、pp1078～1079、1987年 2) 竹内、田村：地盤の上下動にともなうシールド洞道の断面変形について（その2）、土木学会第43回年次学術講演会第一部、pp1144～1145、1988年

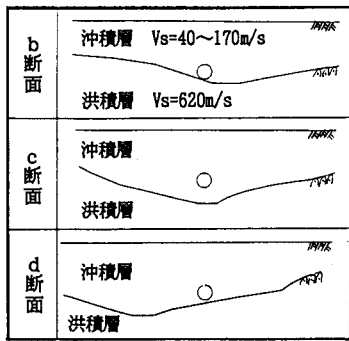


図-1 観測地点における洪積層の形状

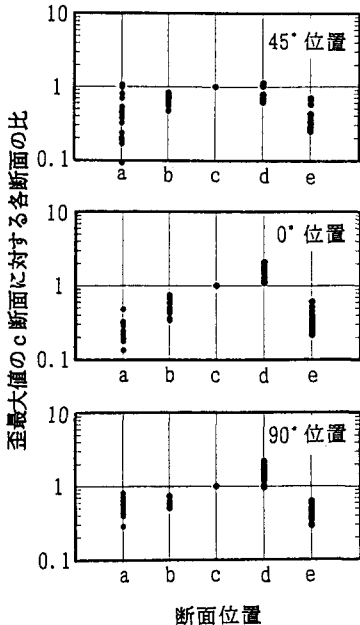


図-3 円周方向歪の最大値比分布

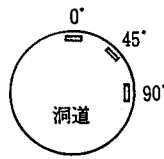


図-2 洞道内の歪計の配置

表-1 洞道の構造諸元

セグメント外径(m)	5.100
セグメント内径(m)	4.550
セグメント桁高(m)	0.275
断面積(m ²)	0.275
断面二次モーメント(m ⁴)	1.73×10^{-3}
単位体積重量(t/m ³)	2.6
弾性係数E(t/m ²)	3.60×10^9
ポアソン比	0.2

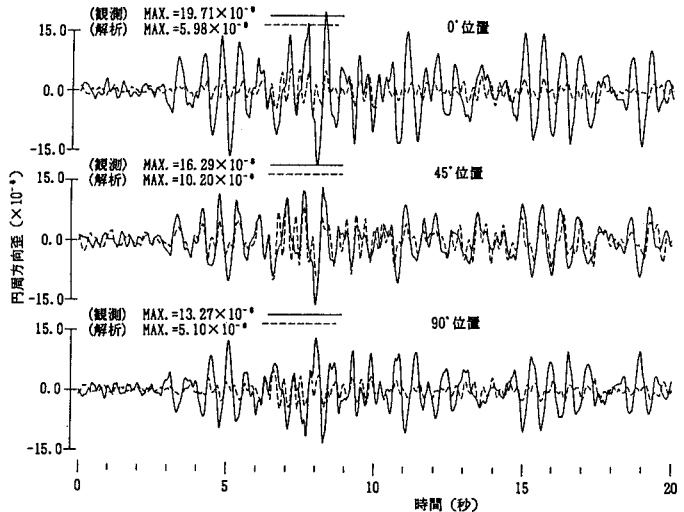


図-4 円周方向歪波形の比較（d断面）

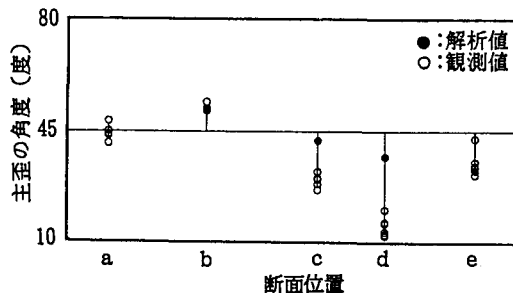


図-5 主歪の方向の比較