

地震波動によるシールド洞道縦断方向の歪伝播特性

東京電力(株) 正会員 後藤和生 鶴田 滋
東電設計(株) 正会員 瀬下雄一 安中 正

1. はじめに 1983年から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おり、今までに50以上の地震記録が得られている。このうち、表面波が卓越した地震波動の伝播特性について洞道の加速度記録によるものと歪記録によるものの比較を行った。さらに、弾性床上の梁理論に基づく応答解析を行い、シールド洞道縦断方向の歪伝播特性について検討した。本報告は、これらの結果をまとめたものである。

2. 地震観測地点の概要 図-1に洞道軸に沿った縦断図を示す。周辺地盤のせん断波速度は、洪積層では620m/sec程であり、沖積層は40~170m/sec程度である。洞道のf, e断面は洪積層内に、a~d断面は沖積層内に位置する。シールド洞道は、f断面とa断面は二次覆工が施されているが、b~e断面は施されていない。また、洞道は平面的にc断面付近でR=200mで湾曲している。洞道の縦断方向の挙動は、a~f断面位置の加速度計とa~e断面位置の歪計で計測されている。図-2に洞道内の計器の配置を示す。

3. 長周期成分の卓越した地震動の特性 今まで観測された地震のうち、ここでは1990年2月20日の伊豆大島近海地震の検討結果について示す。図-3に、洞道のc断面x方向(洞道軸方向)加速度の非定常パワースペクトル¹⁾を示す。0.1~0.3Hzの周波数帯の70~110秒において分散性が確認できる。また、別に検討した軌跡図では震央直交成分の振幅が卓越していることから、この波群は表面波のラブ波成分であると考えられる。振動主軸から判断される伝播方向は、洞道に対し25°程ずれている。

4. 観測記録から算定した地震波動の伝播速度 a~fの各断面で観測された洞道加速度について、各断面間の相互相関分析を行い、相互相関係数のもっとも大きくなる時の時間ずれを求めた。なお、加速度は振動主軸成分を用いた。各断面のf断面からの時間ずれを図-4に示す。同図より、波動がf断面からe断面に向かって順次伝播していくことがわかる。時間ずれと断面間の距離の関係から、洞道軸に沿った見かけの伝播速度は2.2km/secとなる。一方、軸歪記録から求めたa断面からの時間ずれは、図-5に示すように波動が見かけ上b断面に最も早く到達し、b断面からa断面及びd断面方向にそれぞれ伝播していく現象を表わしている。この現象は、他の報告でも指摘されている²⁾。

5. 弾性床状の梁理論に基づく応答解析 0.15Hzの正弦波を加速度波形としてf断面側からe断面に向かって伝播速度2.2km/secで伝播させ、洞道に地盤パネを介して入力した。解析概要を図-6に示す。また、洞道の構造諸元を表-1に示す。洞道及び地盤のモデル化は表-2の解析ケースによって変えているが、基本的には、一次覆工のみの断面は各セグメントを長さ0.9mの梁要素に、セグメント間のジョイントをパネ要素でモデル化した。二次覆工部されている断面は一樣な梁要素でモデル化した。一次覆工のみの断面のジョイントパネは、観測記録のセグメント歪とジョイント歪の最大値の比に基づきセグメント部の剛性の1/8とした。地盤パネ反力係数は地盤剛性の3倍の値とした。応答加速度より算出した各断面間の時間ずれを図-4中に、また軸歪から算出した時間ずれを図-5中に示す。歪は一次覆工のみの断面ではジョイント部の相対変位から算出し、二次覆工されている断面ではセグメント部の変位より求めた。これらの図から、実際に最も忠実にモデル化したケース(CASE1)が観測結果と同様の結果を示す。加速度応答から算定した各断面間の時間ずれは、いずれのケースも同様な結果を示す。また、軸歪から求めた各断面間の時間ずれは、CASE1とCASE3が観測値と同様の結果を示しており、両者に共通する点は一次覆工と二次覆工をモデル化している点にある。

6. おわりに 洞道の加速度並びに歪記録を基に、各断面間の相互相関分析を行い洞道縦断方向の表面波の伝播特性を検討した。加速度記録による分析では、波動が順次伝播していく結果が得られた。一方、歪記録による分析では、波動が見かけ上b断面からa断面及びd断面方向にそれぞれ伝播していく結果が得られた。

これは弾性床上の梁理論に基づく応答解析によっても再現でき、二次覆工の有無による洞道軸方向剛性の差異によるものと考えられる。なお、1984年9月14日の長野県西部地震についても同様の結果が得られている。

7. 参考文献 1) 亀田弘行：強震地震動の非定常パワースペクトルの算出法に関する一考察、土木学会論文報告集第235号、pp55～62、1975年 2) 田村、前田、田部井、鈴木：トンネル内の地震記録から求めたひずみの伝播特性の一例、土木学会第40回年次学術講演会第一部、pp407～408、1985年

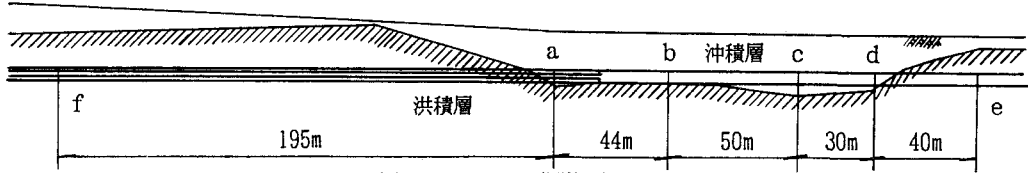


図-1 シールド洞道の縦断面図

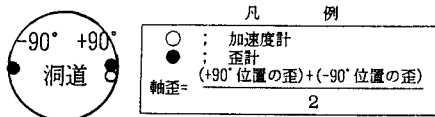


図-2 洞道内の計測器の配置

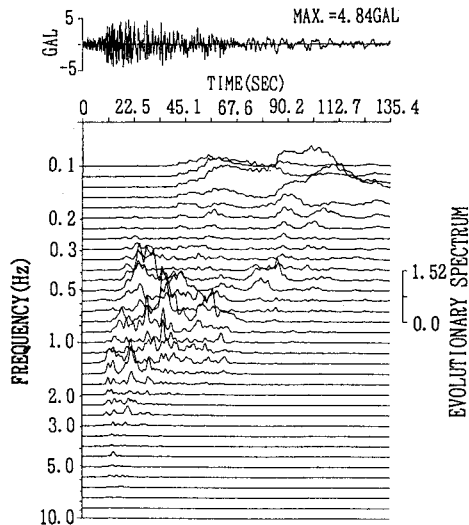


図-3 洞道c断面軸方向加速度の非定常スペクトル
(1990年2月20日の伊豆大島近海地震)

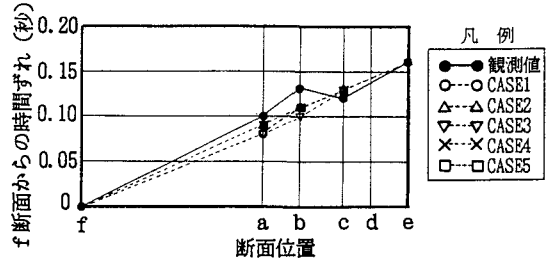


図-4 加速度記録によるf断面からの時間ずれ

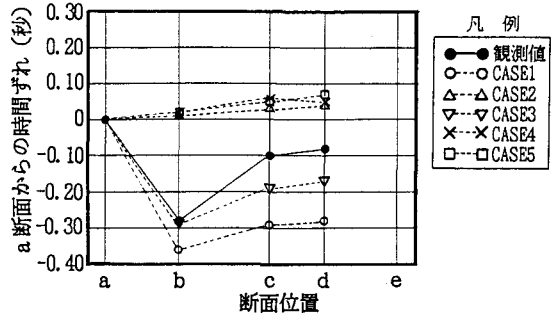


図-5 軸歪記録によるa断面からの時間ずれ

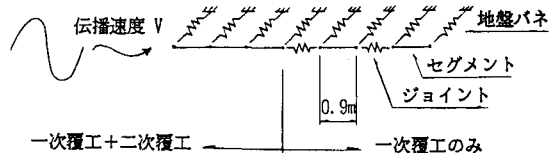


図-6 弾性床上の梁理論に基づく応答解析の概要

表-1 洞道の構造諸元

	二次覆工無施工部	二次覆工施工部
弾性係数(t/m ²)	3.60×10 ⁶	
単位体積重量(t/m ³)	2.6	
断面積(m ²)	4.169	6.902
断面二次モーメント(m ⁴)	12.170	18.649

表-2 弾性床上の梁理論に基づく解析検討ケース

	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	備考
洪積層の影響	○	○	×	×	×	○: 洪積層を考慮 ×: 一様地盤(沖積層)
覆工の影響	○	×	○	×	×	○: 二次覆工の有無を考慮 ×: 全断面二次覆工有
湾曲部の影響	○	×	×	○	×	○: 直線部と湾曲部をモデル化 ×: 直線にモデル化