

I-559 地震観測記録を用いたトンネル～地盤間のばね定数の推定

首都高速道路公団 正会員 大塚 敬三
 ㈱オリエンタルコンサルタンツ 正会員 橘 義規
 東 海 大 学 正会員 浜田 政則

1. 概要

沈埋トンネルの耐震設計に大きな影響をもつトンネル～地盤間ばねを東京港トンネルでの地震観測記録をもとに推定する。解析はトンネルを弾性床土上の梁としてモデル化し、地盤ばね定数をパラメータとしてひずみの伝達率（地盤のひずみに対するトンネルのひずみの比）を求める。地震観測によって得られているひずみの伝達率と解析によるひずみ伝達率を比較することにより、地盤のばね定数を推定した。

継手ばね定数および地盤ばね定数の推定に用いた地震記録を表-1に示す。いずれもマグニチュード6以上の比較的大きい地震で、記録状態の良好なものを選択した。なお、本検討ではトンネル軸方向の変形とひずみに着目し、トンネル軸方向に作用する地盤のばね定数を推定した。

2. 方法

図-1に示すように、地震波動がみかけ上トンネル軸に沿って伝播した場合、トンネルのひずみ（ ε_t ）は地震動の速度成分（ $\dot{u}$ ）、地震動のトンネル軸に沿ったみかけの伝播速度（ $\bar{V}$ ）、トンネル剛性と地盤ばね定数により定まるひずみ伝達率（ α ）により、 $\varepsilon_t = -\alpha \cdot \dot{u} / \bar{V}$ で表される。

上式はトンネルのひずみ（ ε_t ）と地震動の速度（ $\dot{u}$ ）が比例関係にあることを示しており、図-2に示す記録においてもその傾向がみられ、速度波形とトンネルのひずみ波形はほぼ相似形となっている（但し、波形の正負は反転している）。以上より地震観測によってトンネルのひずみ（ ε_t ）が測定されておりまた地震動の速度（ $\dot{u}$ ）も観測加速度波形を積分することにより求めることが可能であるから地震動のトンネル軸に沿った伝播速度（ $\bar{V}$ ）を推定することが出来れば、ひずみの伝達率を実測値より求めることが可能である。ひずみの伝達率はトンネルの剛性と地盤のばね定数によって決定される定数であるので、実測値と後述する解析値とを比較することにより地盤のばね定数を推定することが可能となる。

3. 伊豆大島近海地震におけるひずみ伝達率の算定

前述したように、地震動のみかけ上の伝播速度 V が与えられれば、観測記録よりひずみの伝達率 α を求めることが可能である。そこで伊豆大島近海地震を用いて伝播速度の推定を行った。

図-2に示した速度波形およびひずみ波形の主要動部（30～60sec）には7～8秒の長周期成分が卓越しており、これは図-3に示す夢の島の発破振動によって推定された東京地方の地殻構造¹⁾を用いて算定したラブ波の群速度分散曲線の極小値をとる周期（ラブ波の卓越周期に相当）7.3秒とほぼ一致する。この時の波動の伝播速度は位相速度で表わされ、約1500m/sとなっており、トンネル軸に沿ったみかけ上の伝播速度 $\bar{V}$ は図-4に示すように $\bar{V} = 1500 / \cos(22^\circ) = 1620\text{m/s}$ となる。

上記の伝播速度を用い、図-2に示した波形の各部（図の速度波形で①～④）について、ひずみの伝達率を求めた結果、ひずみの伝達率は1号函のS1で17%、3号函のS9で30%となった。

4. 解析値と実測値の比較による地盤ばね定数の推定

図-5にひずみの伝達率を算定するために用いた数値解析モデルを示す。中間継手および最終継手のばね定数は地震観測によって得られている函体のひずみ、継手の相対変位等より推定した。

伊豆大島近海地震は卓越周期が7.4secで伝播速度が1620m/sと考えられるため波長は約12000mとなり、トンネルの長さよりも十分に長い。よって変位分布は図示したように線型とし地盤のひずみを一定としている。

図-6に伊豆大島近海地震によるひずみ伝達率と解析モデルによる伝達率の比較を示す。トンネルのどの位置に着目するかによって実測値とよく一致するばね定数は変化するが、2号函、3号函について考えれば実測値と良好な一致を示す地盤ばね定数は1000t/m/m～2000t/m/mとなる。

表-1 解析に用いた観測地震の諸元

地震番号	発震年月日	震源地域名	震央位置		震源深さ (km)	マグニ チュード	震央距離 (km)	震源距離 (km)	震度 (東京)	備考
			東経	北緯						
06	1978.1.14	伊豆大島近海	139°15'	34°46'	0~10	7.0	110	0~0.09	IV	◎
11	1980.6.29	伊豆半島川奈沖	139°14'	34°55'	10	6.7	90	0.11	IV	○
17	1982.7.23	茨城県神	141°57'	36°11'	30	7.0	208	0.14	III	○
20	1983.2.27	茨城県南部	140°09.3'	35°56.2'	70	6.0	50	1.4	IV	○
22	1983.8.8	神奈川・山梨県境	139°01.5'	35°31.1'	22	6.0	68	0.32	IV	○
26	1984.3.6	福島近海	139°12.3'	29°20.4'	452	7.9	699	0.65	IV	○
27	1984.9.14	長野県西部	137°33.6'	35°49.3'	2	6.8	202	0.01	III	○

「注」 ○の地震は中間継手、最終継手のばね定数を推定するために使用、◎の地震はひずみ伝達率を推定するために使用

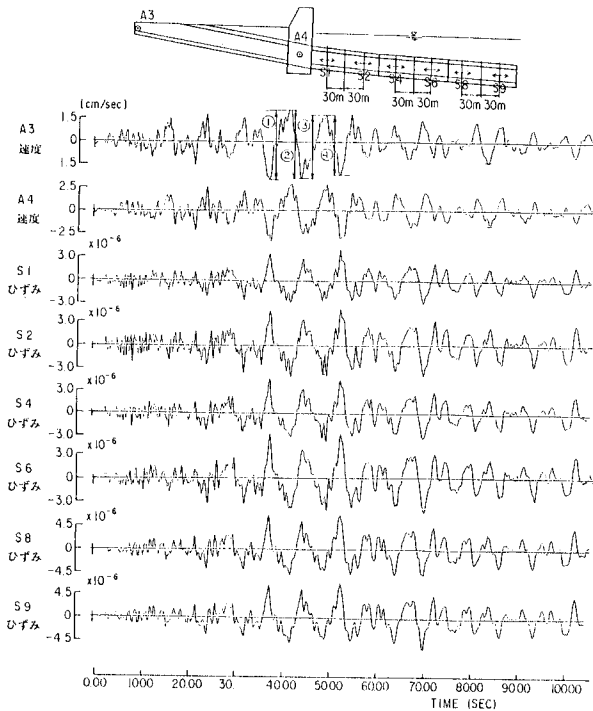


図-2 伊豆大島近海地震による速度波形とひずみ記録

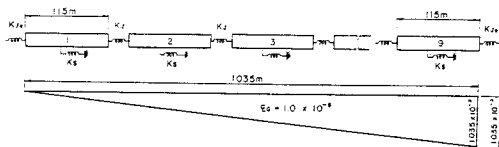


図-5 ひずみ伝達率の数値解析モデル

【参考文献】

- 1) 嶋、柳沢、工藤、吉井、瀬尾、大保、星野、長能 「東京の基盤構造 その4」 地震研究所彙報 vol.53, 1978
- 2) Hamada, M. EARTHQUAKE OBSERVATION ON TWO SUBMERGED TUNNELS AND NUMERICAL ANALYSIS
Soil Dynamics and Earthquake Engineering, JULY 1982
- 3) 土木学会 「東京港トンネル工事誌」

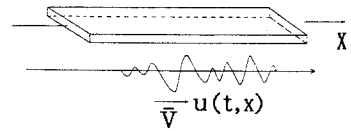


図-1 トンネル軸に沿って伝播する波動

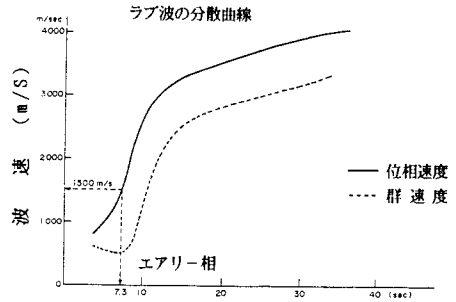


図-3 東京地方ラブ波の分散曲線

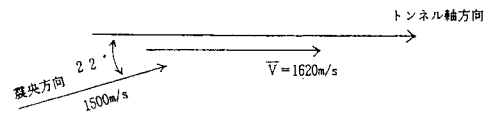


図-4 地震波動のみかけ上の伝播速度

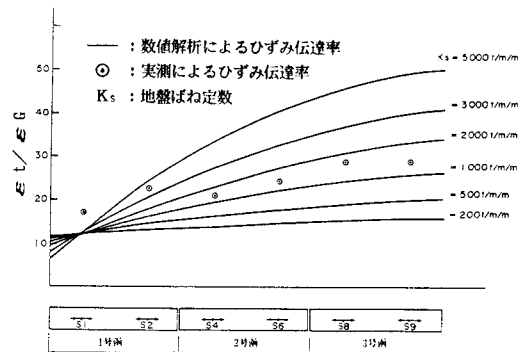


図-6 観測と解析によるひずみ伝達率の比較