

(129) 地中構造物の地震時挙動におよぼす地震動特性の影響

中部電力(株) 正会員 土山茂希
 浩洋設計(株) 正会員 中村 晋
 中部電力(株) 正会員 早川 誠
 浩洋設計(株) 正会員 末富岩雄

1. はじめに

共同溝、沈埋トンネルおよびガス、水道管の様な地中線状構造物の地震時挙動は、構造物自体に振動が励起されることなく、その周辺地盤の変形挙動に支配されるということが地震観測¹⁾および地盤-構造物の動的相互作用に関する模型振動実験²⁾により明らかにされ、現行の耐震設計指針でも、その考えに基づき、地震時における地盤変位を構造物に作用させる応答変位法が用いられている。しかし、その様な構造物の地震観測の歴史は浅く、設計を行う際の構造物に作用する地盤の変形挙動、地盤-構造物のモデル化手法の評価等は充分に明らかになっているとは言いがたい。さらに、これまで地震観測の対象とされた構造物は沈埋トンネルの様な比較的断面形状の大きな構造物やガス導管のような断面形状の小さい構造物が主体であり、地中送電用洞道の様な両者の中間的形狀を有する構造物では地震観測が余り実施されていない。

本論では、濃尾平野における軟弱地盤地帯で昭和56年2月から昭和60年6月までの約4年間に実施した地盤と地中送電用洞道の地震観測記録を基に、地中構造物の応答に及ぼす地震動の影響を把握するため、洞道の軸方向地震時ひずみの諸特性と地震動の最大振幅、周波数特性および非正常性等の諸特性との関係について検討を行った結果を示す。

2. 地震観測概要

1) 地震観測システムおよび地盤構造

地震観測は、愛知県津島市で行った。地震計は、図-1に示す様に地表において一辺が約100mの三角形の頂点に配置し、さらに、No.3地点(洞道から充分離れており、その挙動には洞道の影響が含まれないと考えられる)には設計基盤に相当するGL-42mにも設置した。洞道軸方向の鉄筋ひずみは、洞道の3断面にて計測を行った。

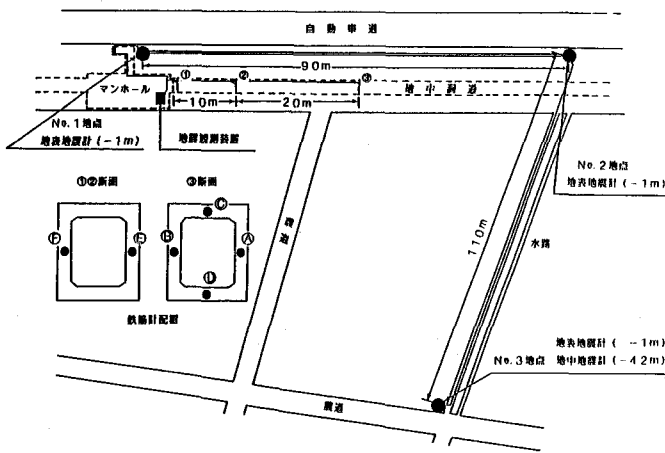


図-1 地震計の配置

2) 地震観測記録

地震観測を実施した約4年の間に100の地震記録を得た。この中から、洞道の地震時挙動の検討に有用な地震として、①地震規模の大きな($M > 5$)地震のうち地中の最大加速度が1.0gal以上の地震 ②地震規模の小さな地震($M < 5$)のうち地中の最大加速度が約2.0gal以上の地震の、計29の地震を選定した。それらの震源位置を図-2に示す。

3. 洞道の地震時挙動

1) 洞道の軸方向最大ひずみの距離減衰特性

観測された洞道軸方向のひずみの最大値と地震の諸元である地震規模(マグニチュード)および震央距離との関係を

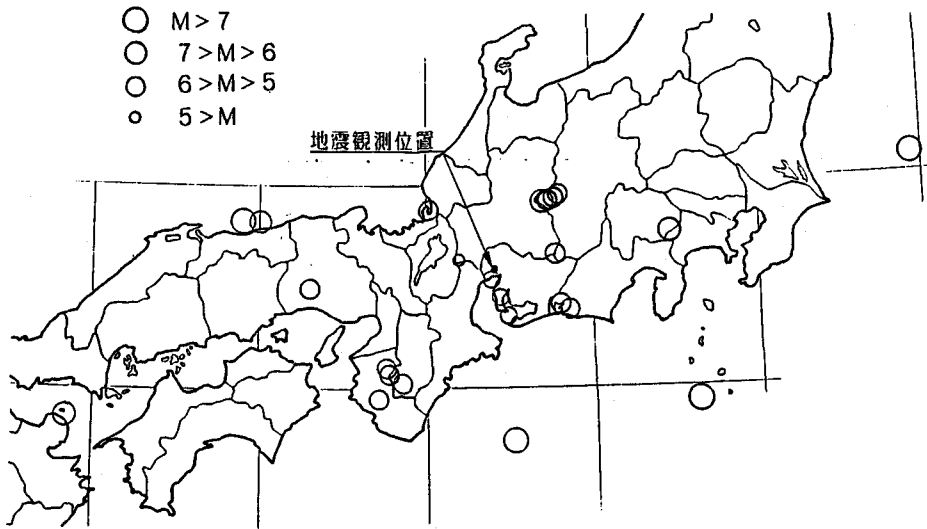


図-2 震源位置分布

図-3に示す。マグニチュードが大きい程、また震央距離が短い程ひずみの最大振幅は大きくなっている。

地震ごとの最大ひずみと地震諸元との関係を回帰式で求めると(1)式となり、図-3にマグニチュードごとの最大ひずみの距離減衰特性を示す。地震規模が大きく、震央距離が100km前後より近い記録が不足しているため、本回帰式の重相関係数は0.7とそれほど大きな値ではない。

$$\text{Log}(\varepsilon_{\max}) = 0.42M - 0.81\text{Log}(\Delta + 30) + 0.17 \quad (1)$$

ここで、 ε_{\max} は歪の最大値 (10^6)、Mは地震のマグニチュード、 Δ は震央距離 (km) を示す。

2) 洞道の軸方向最大ひずみと地震動の最大値

観測された洞道軸方向のひずみの最大値と観測された地震動の最大値の関係を図-4に示す。ここで用いた地震動の最大値は、No.3地点の地表で観測された速度記録の最大値を用いた。

地震動の最大速度と最大ひずみの間には、よい相関がみられ、速度が大きくなるにつれてひずみが大きくなっている。

3) 洞道の軸ひずみと地震動の周波数特性

<洞道の軸方向ひずみおよび地震動の周波数特性>

地震観測期間中で最もひずみの大きかった長野県西部地震について、図-5、6に洞道の軸方向ひずみより算出した軸・曲げひずみ、図-7、8に地震動の速度・加速度成分のフーリエスペクトルを示す。ここで、地震動はNo.3地点の地表における記録、ひずみは③断面の水平面に関する記録を用いている。

洞道の軸ひずみは地震動の速度成分、洞道の曲げひずみは地震動の加速度成分とよい対応を示している。他の地震記録においても同様な傾向が見られた。

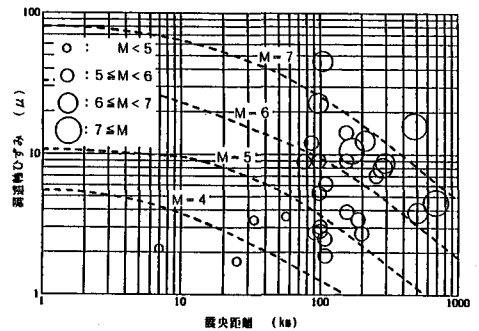


図-3 最大ひずみの距離減衰特性

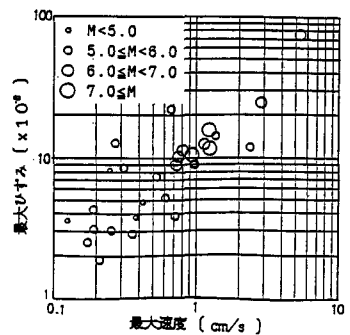


図-4 洞道軸方向の最大ひずみと地震動の最大値

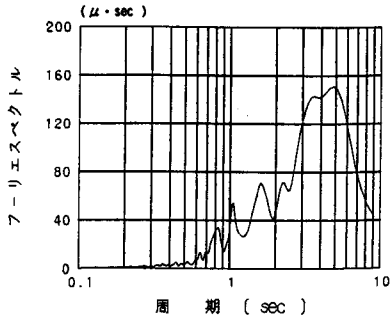


図-5 軸ひずみのフーリエスペクトル

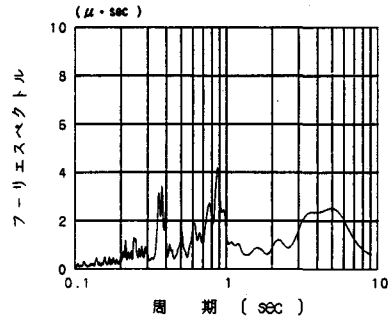


図-6 曲げひずみのフーリエスペクトル

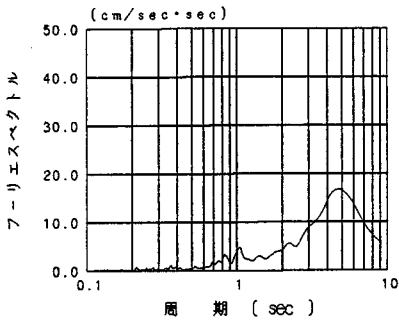


図-7 地震動速度成分のフーリエスペクトル
(洞道軸方向)

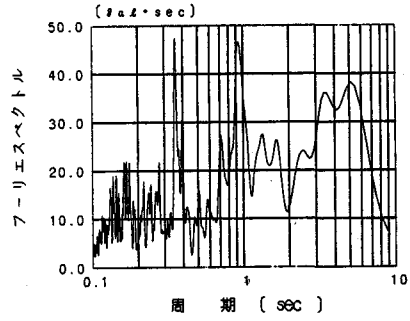


図-8 地震動加速度成分のフーリエスペクトル
(洞道軸直交方向)

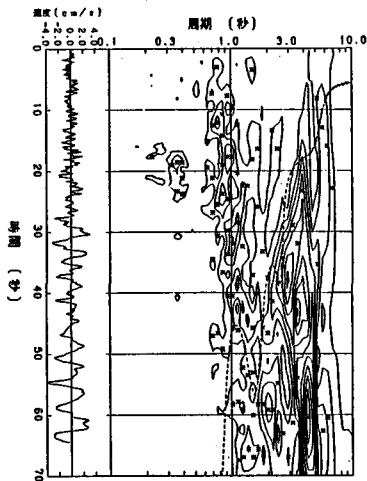


図-9 地震動速度成分の非正常スペクトル
(洞道軸方向成分)

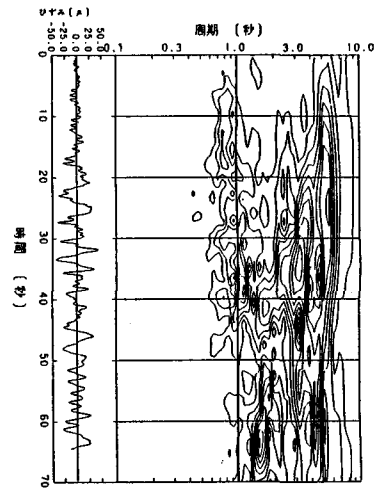


図-10 洞道の軸ひずみの非正常スペクトル

<表面波が洞道の応答におよぼす影響>

洞道に軸方向の伸縮および曲げ変形を生じさせるのは、主として水平方向に位相差をもたらして伝播する地震動である。このような地震動として表面波、実体波の斜め入射波等がある。このうち、表面波はその周期の長い成分は速く到達し、周期の短い成分は遅く到達するという周波数非正常性を有していることから、

図-9, 10に示す地震動および洞道の軸方向ひずみの非定常スペクトルの比較により, 表面波の影響を調べる。ここで用いた地震記録は, 長野県西部地震においてNo.3地点の地表で得られた地震記録の洞道軸方向の速度成分, ひずみとして応答が最も大きい③断面における水平面の軸ひずみ成分である。地震動に含まれる表面波の影響である周波数非定常性が, 洞道の軸ひずみに見られ, 洞道の応答に表面波の影響がかなり含まれていることが分る。地震動の非定常スペクトル特性に表面波の影響がみられる他の地震についても, 洞道の軸ひずみの非定常スペクトルには地震動と同様に表面波の影響と考えられる周波数非定常性が見られた。

<洞道の軸ひずみと地震動の卓越周期>

この節では, まず前記29地震に対し地震動の卓越成分が伝播性の波動を含んでいるか否かを検討する。このため, No.3地点における地表の地震記録の水平座標を回転させながら座標軸方向の2成分を求め, 得られた水平2成分の相互相関係数を求めた。伝播性の波動では, 水平面のオービットは変形方向に扁平した楕円となると考えられるので, 相互相関係数は大きくなる。そこで, ここでは, 係数が0.2以上の地震を伝播性がある地震動が卓越していると判断した。加えて, これら地震についてNo.3地点で観測された地表と地下の地震記録より非定常スペクトルを調べ, 同じ分散性が見られる地震は表面波が卓越していると判断した。29地震のうち伝播性が卓越したのは15地震, 表面波が卓越したのは9地震であった。

図-11に29地震について, 洞道の軸ひずみの卓越周期と地震動の速度成分の卓越周期との関係を示す。軸ひずみは, 地震動の卓越周期にかかわらず1.5~1.8秒, および2.1~2.8秒に卓越周期が見られる。一方, 観測地点における地盤構造より算出した表面波の理論分散特性より得られるRayleigh波の卓越周期は1.5, 2.5秒であることから, 地震動に表面波が卓越しているか否かにかかわらず洞道の応答は表面波の影響を受けていることが分る。

4. おわりに

濃尾平野における軟弱地盤で観測された地震観測記録に基づき, 洞道の地震時挙動におよぼす地震動の影響について検討を行った。

洞道の軸方向ひずみの最大値は地震動の速度成分の最大値とよい相関を示し, 周波数特性についてみると洞道の伸縮変形により生じる軸ひずみは地震動の速度成分, 洞道の曲げ変形により生じる曲げひずみは地震動の加速度成分とよい対応を示していることが分かった。さらに, 洞道の軸ひずみの卓越周期は地震動の卓越周期にかかわらず表面波の卓越周期とよい対応を示し, 表面波の特徴である地震動の周波数成分に含まれる分散性についても地震動と同様な傾向がひずみにもみられることから洞道の応答に表面波の影響が大きいことが分かる。

参考文献

- 1) 田村重四郎; 地中構造物の耐震設計としての変位法に関して, 生産研究, 第29号, 5号, pp33~39; 1977, 5
- 2) Choshiro Tamura, Shunzo Okamoto, Masanori Hamada; DYNAMIC BEHAVIOR OF A SUBMERGED TUNNEL DURING EARTHQUAKE, 第29号, 5号, 東京大学生産技術研究所報告, 第24号, 5号, 1975, 3
- 3) 成瀬聖慈, 吉田厚司, 相沢興, 鏡味洋史, 宮崎雅徳, 久保寺章; やや長周期の微動観測と地震工学への適用(9), 地震, 第37巻, pp383 ~395, 1984
- 4) 土山茂希, 早川誠, 吉田望, 中村晋, 濃尾平野における軟弱地盤の地震動特性(その1), 第20回土質工学研究発表会, pp673 ~ 676, 1987, 6

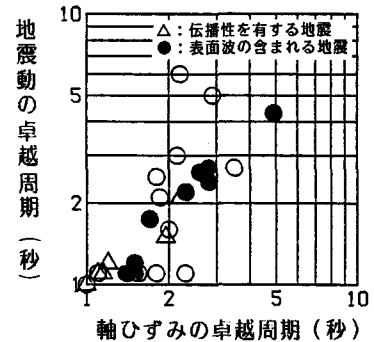


図-11 軸ひずみの卓越周期と地震動の卓越周期