

## (13) 濃尾平野における表面波の最大変位に関する地震危険度

中部電力(株) 土山茂希、早川 誠  
浩洋設計(株)○末富岩雄、中村 晋

1. はじめに 著者らは、濃尾平野における地中送電用洞道およびその周辺地盤における地震観測記録に基づき、地中送電用洞道の地震時挙動が地震動に含まれる表面波成分に支配されていることを指摘した<sup>1)</sup>。同様な指摘が沈埋トンネルや地中埋設管の地震時挙動についても地震観測記録に基づいて行われている<sup>2)</sup>。しかし、いずれも地震規模が比較的小さい地震か、あるいは震央距離が数100km 以遠の遠方地震により得られた地震記録に基づいており、強震時における地中線状構造物の耐震性を評価するには十分といえない。

表面波を設計に取り入れるためには、その性質を適切に予測することが必要となる。ところが、地中線状構造物に関する現行の耐震設計指針<sup>3)</sup>は、設計を行う際に用いる入力地震動の性質として表面波の様に水平方向に伝播する地震動を考慮しているが、その地盤変位は実体波(鉛直下方より上方に伝播)に対する地盤変位として算出しており、表面波が正しく考慮されているとはいえないのが現状であろう。

本報では、濃尾平野における地中線状構造物の設計に用いる入力地震動として表面波を考慮する試みを行う。設計に用いる入力地震動の算出手法は、断層震源モデルなどを用いた確定論的手法や地震危険度解析手法などを用いた確率論的手法の二つに大別されるが、設計に用いる最大地震動やスペクトル特性の算出手法として後者の方法が良く用いられている<sup>4)</sup>。ここでも、後者の手法を応用し、表面波の最大変位に関する地震危険度を算出する。次に、その手法により得られた濃尾平野における表面波の最大変位に関する地震危険度と現行の耐震設計指針により得られる地盤変位の比較を行なう。

2. 解析手法 表面波の地盤変位に関する地震危険度は、表面波スペクトルの地震危険度<sup>5)</sup>と表面波に関する速度応答スペクトルの積分値と最大変位の関係を組み合わせることにより算出する。その算出手法を以下に示す。

### 1) 表面波スペクトルの地震危険度

地震危険度は、検討位置にどの程度の強さの地震がどの程度の頻度で起こるかを表し、検討位置周辺で発生する地震の規模とその発生頻度の関係を表す地震活動度と、震源から検討位置までの地震動の伝播による減衰特性を合わせて評価されている。河角<sup>6)</sup>が震度の期待値を算出する手法を示して以来、地震危険度の評価手法として最大地震動やスペクトル特性の地震危険度を求める手法<sup>7, 8)</sup>が幾つか提案されている。ここでは、表面波スペクトルの地震危険度は、渡辺<sup>9)</sup>が提案している地震活動度の評価手法と中村らが提案している表面波スペクトルの距離減衰式<sup>9)</sup>を組合わせた手法<sup>5)</sup>を用いて算出する。

地震活動度の算出手法は次のとおりである。まず、歴史地震データと表面波スペクトルの距離減衰式より検討位置におけるスペクトル値を周期 $T_i$ について求め、スペクトル値の最も大きい地震からスペクトル値の大きい順に $n$ 個選定する。これより、検討位置における地震活動度を表し、 $i$ 番目のスペクトル値とそれが1年に一回発生する確率 $i/Y$ の対数値との関係を次式の様に直線で表す。ここで、スペクトル値の最も大きい地震の発生年月日から $n$ 番目のスペクトル値を与える地震の発生年月日の差を統計年間 $Y$ とする。

$$\log(i/Y) = a(T_i)Ss(T_i, M_i, \Delta_i) + b(T_i) \quad (1)$$

ここで、 $Ss(T_i, M_i, \Delta_i)$ は周期 $T_i$ 、マグニチュード $M_i$ 、震央距離 $\Delta_i$ に対する表面波スペクトルを表す。この式の係数 $a(T_i)$ 、 $b(T_i)$ は、周期ごとに表面波スペクトルと地震発生確率の関係より最小二乗法を用いて求める。再現期間 $X$ に対する表面波スペクトルの期待値は、式(1)の左辺を $i/Y = 1/X$ とすることにより得られる値 $Ss(T_i, M_i, \Delta_i)$ で求められる。

表面波のスペクトル特性の距離減衰式は、次式に示す様に実体波と同様に基盤入射波 $S_{pi}(T_i, M_i, \Delta_i)$

と地震基盤（せん断波速度3000m/sec 程度）上の堆積層の表面波の周波数応答関数  $Gos(t)$  の積で表わす。

$$Ss(Ti, Mi, \Delta i) = Gos(t) Sri(Ti, Mi, \Delta i)$$

$$Gos(t) = g_L(t) T_0(t)$$

$$T_0(t) = \alpha ((t - \tau)/T_a)^\beta / (1 + ((t - \tau)/T_a)^\beta)$$
(2)

ここで、表面波の周波数応答関数  $Gos(t)$  は水平成層地盤における表面波の理論増幅特性  $g_L(t)$  と水平方向の地盤構造の不整形性（平野や盆地外縁部における傾斜基盤など）に起因して発生する表面波地震動の程度を表す表面波の影響係数  $T_0(t)$  の積、表面波の影響係数  $T_0(t)$  は、式(2) に示す様に表面波のAiry相を与える周期  $T_a$  と  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\tau$  の3つのパラメーターにより表される。表面波の影響係数のパラメーターのうち  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\tau$  は、地震記録より得られる表面波の影響係数より最小二乗法を用い求める。

## 2) 表面波の最大変位に関する地震危険度

表面波の最大変位  $D_{max}$  は、小林、翠川が提案している地震動の速度応答スペクトル積分値と最大地震動の関係を求める手法<sup>10)</sup> と同様に次式に示す地震観測記録に含まれる表面波成分の速度応答スペクトル  $SVs(t, h)$  の積分値と最大変位の関係より求める。

$$D_{max} = \delta \int_{t_1}^{t_2} Ss(Ti, Mi, \Delta i) dt$$
(3)

ここで、 $t_1, t_2$  は、観測された地震記録より分離した表面波地震動の速度応答スペクトルの積分区間を現す周期、 $\delta$  はその積分値と表

面波の最大変位の関係を表す。各パラメーターは、表面波のスペクトルの積分値とその最大変位の相関係数が高くなるように設定する。

表面波の最大変位に関する地震危険度は、1) 節で得られた表面波スペクトルの地震危険度を式3)に代入することにより求める。

## 3. 濃尾平野における表面波の地震危険度

### 1) 表面波の最大変位に関する地震危険度

前節で示した手法により算出した濃尾平野における表面波の最大変位に関する地震危険度を示す。その際、式(1)における表面波スペクトルと地震発生確率との関係を求めるために必要な歴史地震データは、宇佐美のデータ<sup>11)</sup>のうち、江戸時代(1600年)以降のデータを用いた。式(2)における表面波の増幅特性  $g_L(t)$  は、濃尾平野における深層・表層地盤構造<sup>12)</sup>に基づき算出した。表面波の影響係数  $T_0(t)$  の各パラメーターは、図-1に示す様に15地点について算出した値を用いた。各地点でのパラメーターは、Nos.1~3の地震観測地点で地震記録に基づいて算出した値を基本として求めた。ここで用いた地震記録は、Nos.1~3地点で実施した地震観測により、昭和56年2月から昭和60年6月までの約4年間に得られた記録を用いた。

基盤入射波スペクトルは、重回帰分析により求めた距離減衰式<sup>13)</sup>を用いる。最後に、式(3)におけるパラメーターも濃尾平野で得られた地震記録より求め、 $t_1$ は1.0秒、 $t_2$ は9.0秒、 $\delta$ は0.025となった<sup>14)</sup>。

図-1に示した15地点で算出した表面波の最大変位に関する地震危険度に基づいた最大変位分布を図-

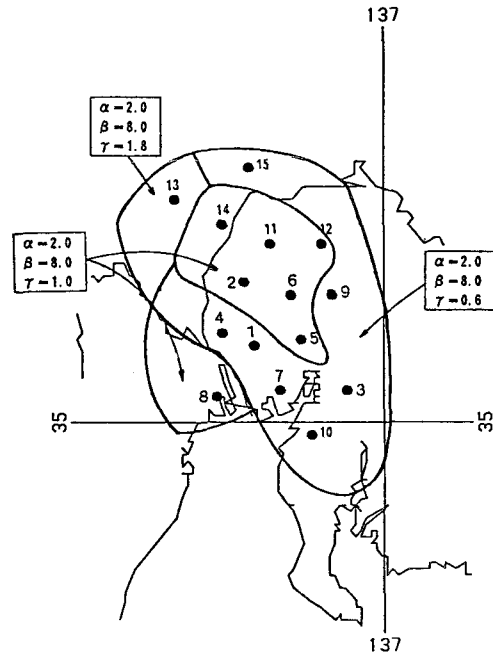


図-1 表面波の影響係数のパラメーター

2~4に示す。地震危険度は、再現期間50,75,100年の3ケースについて算出した。合わせて、濃尾平野における第三紀層の下限等深線分布を図-5に示す。濃尾平野における表面波の最大変位に関する地震危険度の分布は、再現期間にかかわらず第三紀層下限等深線分布と良く一致し、基盤深度の増加に伴いその値が大きくなっている。

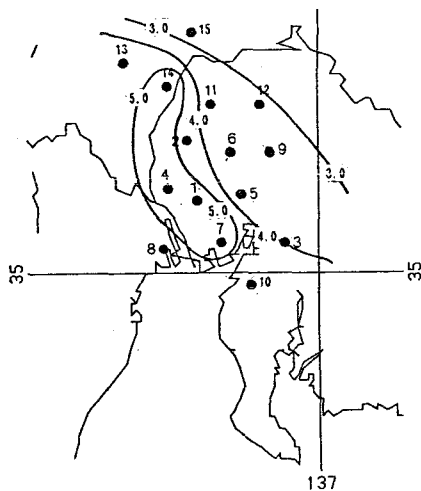


図-2 表面波の最大変位分布 (50年)

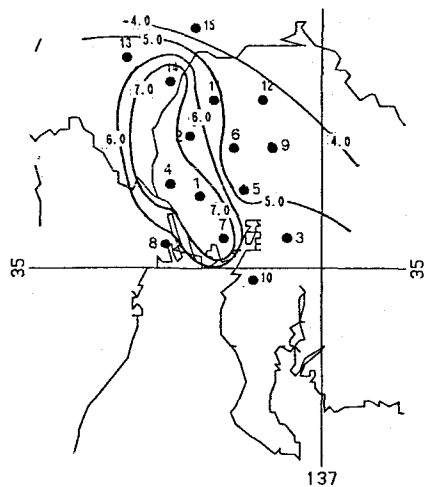


図-3 表面波の最大変位分布 (75年)

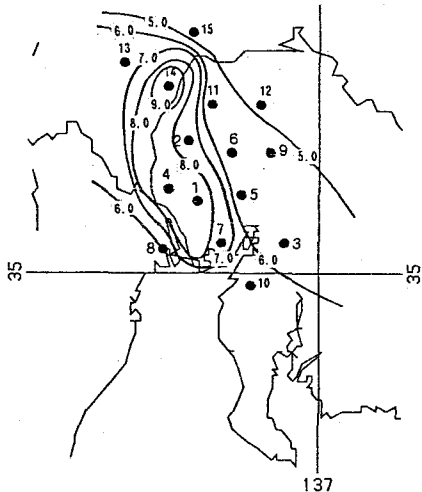


図-4 表面波の最大変位分布 (100年)

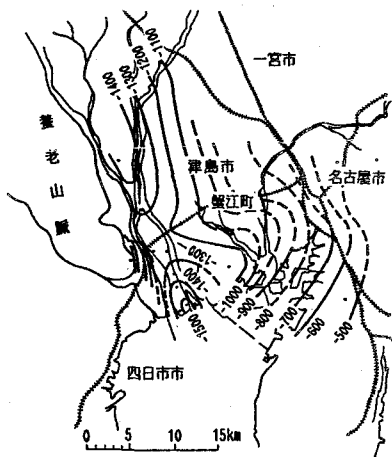


図-5 第三紀層下限等深線分布

## 2) 設計値との比較

地震記録の得られたNos.1~3地点における再現期間に応じた表面波の最大変位と現行の耐震設計指針<sup>2)</sup>により得られる地盤変位の比較を表-1に示す。設計に際して考慮している表層地盤の特性のうち層厚、卓越周期も合わせて表に示す。

これより、表層地盤の層厚が30m以上、卓越周期が1秒以上のNo.1,2地点では、No.1地点で再現期間75年、No.2地点で再現期間50年の表面波の最大変位が設計値と同程度の値となっている。また、表層地盤の層厚が10m以下、固有周期が1秒以下のNo.3地点では、再現期間50年の表面波の最大変位が設計値の5倍程度となっている。他地点でも、表面波の最大変位と設計値は、設計に際して考慮している表層地盤の層厚が

厚く、固有周期が長い場合に同程度の値となっている。

表-1 設計値との比較

地点番号	再現期間による表面波の最大変位(cm)			設計値 (cm)	表層地盤の特性	
	50年	75年	100年		層厚(m)	固有周期(秒)
1	5.6	7.3	8.3	7.0	42.0	1.4
2	4.8	6.7	7.8	4.7	31.7	1.0
3	4.0	5.4	5.9	0.8	7.5	0.2

4. あとがき 本報では、濃尾平野における地中線状構造物の設計に用いる入力地震動として表面波を考慮する試みを行った。さらに、濃尾平野において想定される表面波の最大変位と現行の耐震設計指針により得られる地盤変位の比較を行った。その結果、以下のことが分かった。

- 1) 濃尾平野における表面波の最大変位に関する地震危険度の平面的分布は、再現期間にかかわらず第三紀層下限等深線分布と良く一致し、基盤深度の増加に伴いその値が大きくなっている。
- 2) 表面波の最大変位に関する地震危険度は、地中線状構造物に関する現行の耐震設計指針で地盤変位の算出する際に対象となる表層地盤の層厚が厚く、固有周期が長い場合に比較的良好一致が見られる。しかし、表層地盤の層厚が薄い場合に、表面波の最大変位は耐震設計指針による値よりかなり大きな値となる。

#### 参考文献

- 1) Ieda R., Tsuchiyama S., Nakamura S., Yoshida N., Tsujino S. ; Effect of Earthquake Motion on the Dynamic Behavior of Underground Transmission Line, Proc. of 3rd International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineerings, pp.295 ~309, 1987、2) 例えば石田修、泉博充、志波由紀夫、田崎信一、和田克哉；表面波による沈埋トンネルの挙動、第18回地震工学研究発表会梗概集、pp.205~208, 1985、3) 日本道路協会；共同溝設計指針、1986、4) 建設省土木研究所、土木研究所資料『確率手法に基づく動的解析入力地震動波形の設定手法』、1983、3、5) 中村晋、末富岩雄、吉田望、表面波スペクトルの地震危険度算出手法について、土木学会第44回年次学術講演会講演概要集、1989、10(投稿中)、6) Kawasumi, H. , Measure of Earthquake Danger and Expectancy of Maximum Intensity Throughout Japan inferred from the Seismic Activity in Historical Time, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol.21, pp.469 ~482, 1951、7) 渡辺啓行、塩見哲、沢田義博、川田治央、変電設備対策の研究—変電設備耐震設計用地震動—、電力中央研究所・技術研究所報告、No.380060, 1981、8) Katayama, T. ; Seismic Risk Analysis in Terms of Acceleration Response Spectra, Proc. of 2nd U.S. National Conference on Earthquake Engineering, pp.117~126, 1979、9) 中村晋、末富岩雄、吉田望、傾斜基盤の存在により生じるLove波スペクトル特性の予測に関する考察、土木学会論文集、No.404, I-11, pp.415~424, 1989、4、10) 小林啓美、翠川三郎、震源域周辺での地震基盤からの入射波の強さについて、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.553~554, 1978、11) 宇佐美龍夫、資料日本地震被害総覧、東京大学出版会、1981、12) 例えば、土山茂希、中村晋、早川誠、梅野義政、大橋守人、濃尾平野における地震記録の性質、第23回土質工学研究発表会、pp.777~780, 1988、13) 土山茂希、早川誠、中村晋、末富岩雄、濃尾平野における基盤入射波スペクトルの性質、土木学会第43回年次学術講演会講演概要集、pp.942~943, 1988、14) 土山茂希、早川誠、中村晋、末富岩雄、濃尾平野で観測された表面波地震動の特性およびその予測に関する検討、第24回土質工学研究発表会、pp.873~876, 1989、6