

I - B452 通信用中口径管路評価における地震波動モデル化に関する一考察

NTTアクセス網研究所 正会員 本田 健一  
 同上 出口 大志  
 神戸大学工学部 フェロー 高田 至郎  
 東洋大学工学部 正会員 鈴木 崇伸  
 NTT関西支社 フェロー 中野 雅弘

1. まえがき

NTTでは今後の光アクセスネットワークに対応し、口径300~600mmの管路にケーブルを多条数収容する中口径管路方式を開発している。特徴は、ケーブル布設空間をまとまった断面で一括確保し地下構造をコンパクト化すると同時に、ケーブルを逐次自由に布設することが可能であり需要の変動に柔軟に対応できる。

今回、中口径管路の地震時応答を評価する目的により、兵庫県南部地震における強震記録を用いた波動外力のモデル化を検討した。

2. 入力波動モデルの決定手法

(1)変位振幅は、応答変位法の考えによって、地表面における単位震度当たりの応答速度より、 $U_h = (2/\pi^2) T S_v K_{oh}$ により算出する。ここに、 $U_h$ は地盤変位振幅(cm)、 $K_{oh}$ は基盤における震度、 $S_v$ は単位震度当たりの速度応答振幅(cm/sec)、 $T$ は地震時の地盤の固有周期(sec)である。

(2)波長は、 $L = (2L_1L_2)/(L_1+L_2)$ により表層・基盤における波長の調和平均に基づく手法によって算出する。ここに、 $L$ は波長、 $L_1$ は表層における波長 $L_1 = T V_s$ ( $T$ :表層の卓越周期、 $V_s$ :表層におけるせん断波速度)、 $L_2$ は基盤における波長 $L_2 = T V_{sb}$ ( $T$ :表層の卓越周期、 $V_{sb}$ :表層におけるせん断波速度)である。

(3)地盤ひずみは、地中管路が地震波動を受ける場合、その応答は地盤ひずみに支配されることから、正弦波的波動においてそのひずみ $\epsilon_G$ を決定する場合、波動の変位振幅 $U$ と波長 $L$ が判れば、 $\epsilon_G = 2\pi U/L$ により算出することができる。ここに、 $\epsilon_G$ は正弦波的波動における地盤ひずみ、 $U$ は変位振幅、 $L$ は波長である。

3. 兵庫県南部地震に鑑みた地震波動モデルの設定

地震波動のモデルの設定には、まず、(社)日本道路協会による復旧仕様<sup>(1)</sup>に用いられている地震記録と、大阪ガス葺合地点、神戸市ポートアイランド地点における地震記録を対象に、表-1に示す地表面における最大速度を参考にして、最大速度150kineとした。

次に、工学基盤とみなしうる地中部において強震記録が得られて

表-1 兵庫県南部地震での地表面付近における最大加速度、最大速度

地点名	方向	最大加速度(gal)	最大速度(kine)
神戸海洋気象台	N-S	818	92
JR西日本鷹取駅	N-S	642	150
	E-W	666	117
大阪ガス葺合	N-S	802	123
東神戸大橋 GL-10m	T-T	326	97
	L-L	282	83
ポートアイランド	N-S	341	91

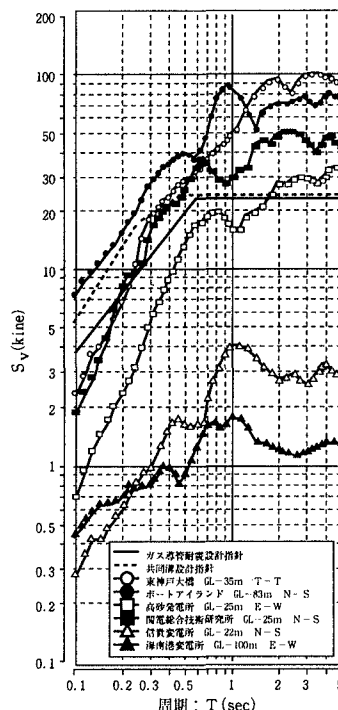


図-1 兵庫県南部地震での工学的基盤で採取された強震記録の速度応答スペクトル

キーワード 兵庫県南部地震 地震波動モデル  
 連絡先 茨城県つくば市花畑1-7-1 TEL 0298-52-2543 FAX 0298-52-2676

いる波形を対象に、速度応答スペクトル(減衰 $h=20\%$ )を算出した結果を図-1に示す。これにより、基盤における速度応答スペクトルの最大値は100kine程度となる。

いま、表層地盤を一様地盤と見なせば、せん断振動する1次固有振動モードにおける刺激係数は $4/\pi$ となることから、地表面変位振幅は変位応答スペクトルを用いて、 $U_h=(4/\pi)S_D$ で示される。また、変位応答スペクトルと速度応答スペクトルの関係は $S_D=(T/2\pi)S_V$ で与えられることから、地表面変位振幅 $U_h$ は、 $U_h=(2/\pi^2)T S_V$ となり、この式は地震波動モデル設定に用いる変位振幅の算出式となる。つまり、地表面付近の強震記録から得られた最大速度を変位振幅の算出に用いる場合は刺激係数 $4/\pi$ を考慮しなければならない。

次に、(1)、(2)及び(3)により $\epsilon_G=(2/\pi)S_V(V_s+V_{sd})/(V_s \cdot V_{sd})$ となり、基盤のせん断弾性波速度を300m/sとすると、地盤ひずみは地盤の固有周期に関係なく、表層の応答速度、表層のせん断弾性波速度により決定できる。最大応答速度は、図-1から0.6sec以上の周期域においてあらわれている。これよりNTTの評価基準に基づく4種地盤( $V_{sd}=300\text{m/s}$ 、 $V_s=100\text{m/s}$ 、 $T=0.70\text{sec}$ )において、地表面での最大速度150kineによる地盤ひずみを算出すると $\epsilon_G=1.0\%$ 、基盤における速度応答スペクトルの最大値100kineによる地盤ひずみを算出すると $\epsilon_G=0.85\%$ となる。

以上により、兵庫県南部地震での地震波動による地盤ひずみを1.0%として地震波動外力モデルの設定を行った。また、今回、波長による応答の違いを検討する目的で3タイプの波長を検討対象とした。設定した地震外力モデルを表-2に示す。各検討モデルの妥当性を検証するため、設定した地盤ひずみに対応した最大速度と各検討モデルの変位振幅より、表層地盤の固有周期 $T$ を算出し、この地盤の固有周期と設定した表層地盤のせん断弾性波速度を用い、 $T=4H/V_s$ により表層厚 $H$ を算出した。各検討モデルにおける地盤特性を表-3に示す。これより本検討ケースで用いる地盤モデルは表層厚からも4種地盤に相当する軟弱地盤となっていることが確認できる。

表-2 兵庫県南部地震に鑑みた地震波動外力モデル

	地盤ひずみ $\epsilon_G(\%)$	波長 $L(\text{m})$	変位振幅 $U(\text{cm})$
CASE 1	1.0	100	15.9
CASE 2		150	23.9
CASE 3		200	31.8

表-3 各検討モデルにおける地盤特性

	$V_{sd}(\text{m/sec})$	$V_s(\text{m/sec})$	$T(\text{sec})$	$H(\text{m})$
CASE 1	300	100	0.67	16.8
CASE 2			1.00	25.0
CASE 3			1.33	33.3

### 3. 地震波動による管路の応答

解析手法は地震波動による地盤変位を三角関数で表現し、これを一般地盤バネで支持された管路-マンホール系のモデルに強制変位として与える。管路モデルは弾性体の管体を継手バネで連結し、マンホールは地盤とともに動くものとしてモデル化している。

軸直角方向については、継手部の屈曲しるの範囲で挙動する場合には、地盤と管路の相対変位がほぼ発生せず地盤反力特性に関係なく小さな応答値となる。この外力条件では、波長が短く変位振幅が大きい場合応答値は大きくなる。軸方向の検討では、差込継手構造の推進管であるため、引張側については継手部での伸びしるの範囲で挙動する場合には軸力はほぼ発生しないが、圧縮しるが無いことから、正負地盤変位が作用することにより、圧縮軸力が発生する。この圧縮軸力の最大応答値は、管と地盤の相対変位の発生範囲と地盤降伏後の地盤抵抗力により推定できる。これより波長の最も長い200mのケースにおいて最大応答が発生する。

### 4. まとめ

本検討における手法では、表層の応答速度とせん断波速度により、地盤の固有周期に関係なく正弦波の波動における地盤ひずみが算出される。仮に表層地盤を3種地盤( $V_s=150\text{m/s}$ )とすると、地盤ひずみは0.75%となり設定した外力モデルに比べて小さくなる。また応答スペクトルから判断し、地盤の固有周期が0.6sec以下では、 $S_V$ は設定値より小さくなり、地盤ひずみはさらに小さくなる。これらのことから、設定した波動外力は、耐震性評価に用いる兵庫県南部地震規模のものとしては妥当と考えられる。

最後に、本検討において多大なるご協力を頂いた建設技術研究所の友永氏、李氏に深く感謝の意を表する。

(参考文献) (1) 日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様」, 平成7年6月