

九州大学 工学部 学生員 ○梅田 幸靖  
 九州工業大学 正員 高西 照彦  
 九州大学 工学部 小坪 清真

1. 緒言

ガス管・水道管・下水道管などは現在都市生活には不可欠のものであるが、一旦地震が発生すると各所で管路の破壊を生じ、都市生活を不可能にすることは既往の地震被害の経験からよく知られるところである。これら地中埋設管の破壊は地震時における地盤のひずみによって惹起されることは判っているが、地盤内ひずみを合理的に推定する方法はまだ確立されていない。従来の研究では上層地盤に各種の地震波が伝播するという仮定の下で地盤内ひずみが推定されている。しかし都市内には各種の高層ビルや構造物が存在するために都市内地盤は地震時には複雑な振動をしていることが予想される。本研究はこれら各種の構造物の平面的な分布を考慮した地盤-構造物系の振動を解析し、地震時地盤内に生じるひずみを求め、都市内埋設管の合理的な耐震設計法を確立しようとするものである。

2. 地盤-構造物系のモデル化

計算に用いた地盤は福岡市天神地区である。図-1は天神交差点付近におけるビル分布の平面図と階数を示す。実際の地盤-構造物系は水平2方向および鉛直方向に3次元的に広がるものであるから、3次元的な立体振動として取り扱わなければならないが、余り複雑となるので、ここでは、一つの道路に沿う方向の分布のみに着目し、この方向と鉛直方向に分布する2次元問題として取り扱った。図-2はその一例で、建物および地盤を質点系に置換し、質点が道路方向および道路直角方向に振動する場合に分けて解析した。質点が道路方向に振動する場合には、建物はせん断振動、地盤はせん断および圧縮引張を起す。質点が道路直角方向に振動する場合には、建物・地盤ともせん断振動のみである。図-2に示した多質点系は質点が道路直角方向に振動する場合で、ばね定数は水平・鉛直方向ともすべてせん断ばね定数である。モデルの道路に沿う方向の長さをいくらに取ればよいかも問題であるが、S波の速度とこの地区の地盤の卓越周期(約0.4 sec)とから、およそ1/2波長以上(約300 m)になるように選んだ。道路直角方向の幅は建物の奥行きと等しい幅をとった。

3. 地盤-構造物系の振動特性

表-1の $f_{ns}$ は地盤-構造物系の固有振動数である。1次から5次までは構造物の変位が大きいモードで、6次以上は地盤の変位が大きいモードである。図-3に1次と6次の変位モードを示す。地中埋設管の耐震性解析のためには地盤ひずみが大きい6次以上のモードが重要である。

4. 地盤-構造物系の地震応答

基礎から鉛直上方にS波が入射するものとして地盤-構造物系の応答を振動形解析法により求めた。基礎での地震動を $\phi$ 、S次の基準座標を $\psi_s$ 、 $n$ 質点のS次の振動モードを $Y_{ns}$ とすれば $n$ 質点の応答変位は

$$y_n = \sum_{s=1} Y_{ns} \cdot Y_{ns} \quad (1)$$

で求められ、 $\psi_s$ は

$$\ddot{\psi}_s + 2\lambda_s n_s \dot{\psi}_s + n_s^2 \psi_s = -\beta_s \ddot{\phi} \quad (2)$$

の解として求められる。ここに、 $n_s$ はS次の固有円振動数、 $\beta_s$ はS次の刺激係数、 $\lambda_s$ はS次の減衰定数である。 $\lambda_s$ の値については従来、構造物が大きく振動するモードに対しては構造物の減衰定数が、地盤が大きく

振動するモードに対しては地盤の減衰定数が用いられていたが、本研究では、減衰マトリクス〔C〕が、質量マトリクス〔M〕、剛性マトリクス〔K〕に比例し、

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (3)$$

の関係にあるものとし、これから得られる関係

$$h_s = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\alpha}{n_s} + \beta n_s \right\} \quad (4)$$

を使用して、構造部分に対しては構造物みの自由振動において、 $h_1, h_2$  が 0.02 となり、地盤部分に対しては地盤みの自由振動において、 $h_1, h_2$  が 0.2 となるように、構造物および地盤のそれぞれに対して、 $\alpha, \beta$  を求め、この  $\alpha, \beta$  を式(3)に用いて、構造物および地盤部分のそれぞれの減衰マトリクスを求めた。このようにして得られた全体系の減衰マトリクス〔C〕、振動モード{ $\phi_s$ }を用いて、換算減衰係数  $C_s$  は

$$C_s = \{\phi_s\}^T [C] \{\phi_s\} \quad (5)$$

で求められ、換算質量  $M_s$  と  $C_s$  とにより減衰定数  $h_s$  を次の関係より求めた。

$$h_s = \frac{C_s}{2\sqrt{M_s K_s}} = \frac{C_s}{2M_s n_s} \quad (6)$$

表-1の  $h_s$  はこのようにして得られた各次の減衰定数で、 $h_s$  の小さい低次の次数は構造物の変位が大きいモードであり、 $h_s$  の大きい高次のモードは地盤の変位が大きいモードである。表-1の  $\beta_s$  は各次の刺激係数を示す。尚、計算結果は大会当日に発表する。

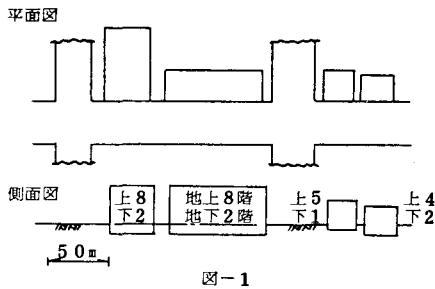


図-1

S	$f_s$	$\beta_s$	$h_s$
1	1.293	1.678	0.031
2	1.864	2.554	0.034
3	1.868	1.340	0.031
4	2.237	4.045	0.043
5	2.648	-2.990	0.184
6	2.828	1.197	0.189
7	3.072	1.321	0.200
8	3.196	0.047	0.199
9	3.532	0.277	0.212
10	3.686	-0.119	0.177
11	3.951	-0.301	0.103
12	4.295	-0.089	0.252
13	4.707	0.193	0.263
14	4.879	0.016	0.278

表-1

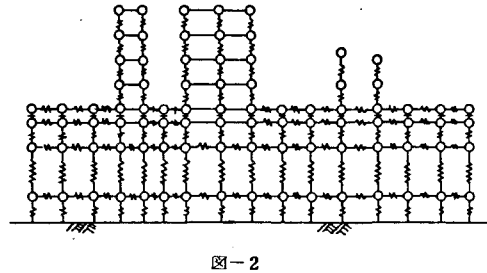
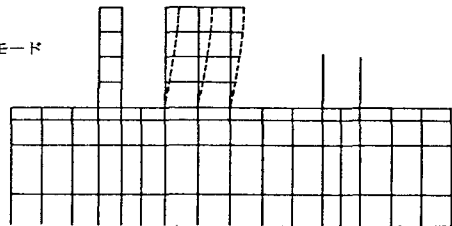


図-2

1次モード



6次モード

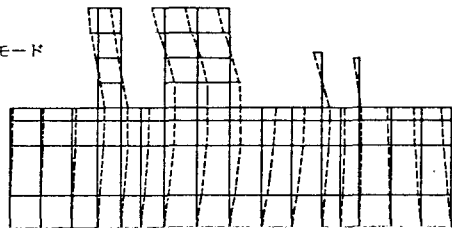


図-3