

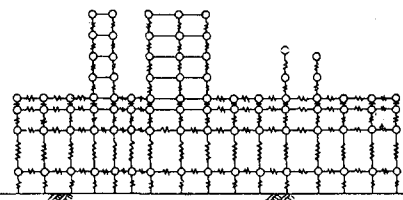
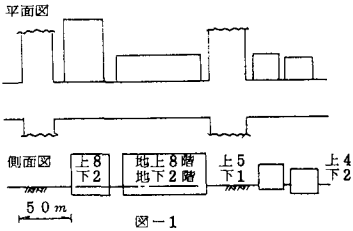
九州大学 工学部 学生員 ○梅田幸晴
〃 〃 正員 烏野 清
〃 〃 〃 園田敏矢

1. 研究目的

ガス管、上・下水道管などは、現在の都市生活には不可欠なものであるが、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ている。これら地中埋設管路の地震時応力は地盤内の水平方向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。従来の応答変位法では上層地盤を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しているために、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、地震時地盤内ひずみを求め、都市内地中埋設管路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が、煩雑を避けるため、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、質点が奥行方向および左右方向に振動する場合に分けて解析した。モデルの道路に沿う方向の長さをいくらに取るかも問題であるが、S波の速度とこの地区の地盤の卓越周期(約0.4sec)から、およそ1波長以上(約350m)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

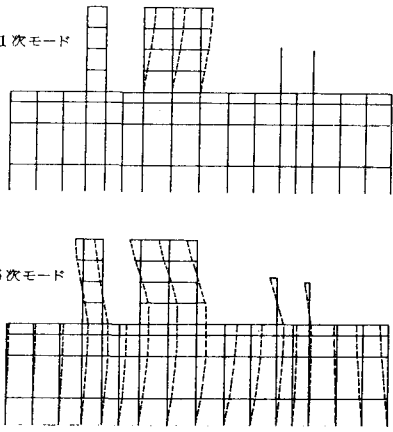
表-1の f_s は地盤-構造物系の固有振動数である。1次から5次までは構造物の変位が大きいモードで、6次以上は地盤の変位が大きいモードである。図-3に1次と6次の変位モードを示す。地中埋設管路の耐震性解析のためには地盤ひずみが大きい6次以上のモードが重要である。

S	f_s	B_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

4. 地盤-構造物系の地震応答

基盤から鉛直上方に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。基盤での地震動を $\ddot{y}_s$ 、S次の基準座標を y_{is} 、n質点のS次の振動モードを γ_{is} とすればn質点の応答変位は



$$y_i = \sum_{s=1}^N \gamma_{is} \cdot y_{is} \quad (1)$$

で求められ、 ψ_s は(2)式の解として求められる。

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

ここに m_s は S 次の固有円振動数、 β_s は S 次の刺激係数、 h_s は S 次の減衰定数である。 h_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

$$\{C\} = a\{M\} + b\{K\} \quad (3)$$

マトリクス $\{C\}$ が、質量マトリクス $\{M\}$ 、剛性マトリクス $\{K\}$ に比例するものとして(3)式により求め、

$$h_s = \frac{1}{2} \left\{ \frac{a}{m_s} + b m_s \right\} \quad (4)$$

これから得られる関係(4)式を使用して、構造部分に対しては構造物のみの自由振動において、 h_1, h_2 が0、0.2となり、地盤部分に対しては地盤の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、 a, b を求め、この a, b を(3)式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

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

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 が(5)式で求められ、換算質

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

M_s と C_s とにより減衰定数 h_s を(6)式により求めた。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あり、 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 β_s は各次の刺激係数を示す。さらに、第1種地盤上の応答加速度スペクトル S_A を用い(7)式により各質点間の相対変位を求め、地盤のひずみ

$$\psi_{i, \max} = \sqrt{\sum_{s=1}^n \{\beta_s \cdot Y_{is} \cdot S_{As, \max} / m_s^2\}^2} \quad (7)$$

を求めた。図-4に得られたひずみの値を示す。

5. 構造物-地盤系の立体的模型振動実験

振動方向長さ2.5m、幅1.5m、深さ1mの剛製箱中に砂を入れて模型地盤とし、これに地階および地上部とも、その振動特性が先に計算に用いた地盤-構造物系の振動特性と近似的に相似となるような剛製ラーメン型式の建物模型を設置した。建物の地階部にはサーボ加速度計、地上部には歪式加速度計を取り付けて、振動台により正弦波加振を行って地盤-構造物系の振動特性およびひずみモードを求めるとともに、ランダム波加振により、建物および建物基礎の加速度波形をデータレコーダに収録し、これを2回積分して変位波形とし、建物基礎相互の同時刻における変位の差を求め、これより地盤ひずみを算定した。図-5にランダム波加振における地盤の1次共振点のモードを示す。

6. 結論

地震時都市内地盤は構造物の存在により、局部的に大きなひずみを受ける。得られた地盤内ひずみは、応答変位法によるものと同程度のひずみとなる。相隣る構造物の基礎相互間には地震時に変位振幅の大きさおよび位相に相当の差違が認められる。建物などの存在しない平坦な均一地盤内のひずみはきわめて小さい。

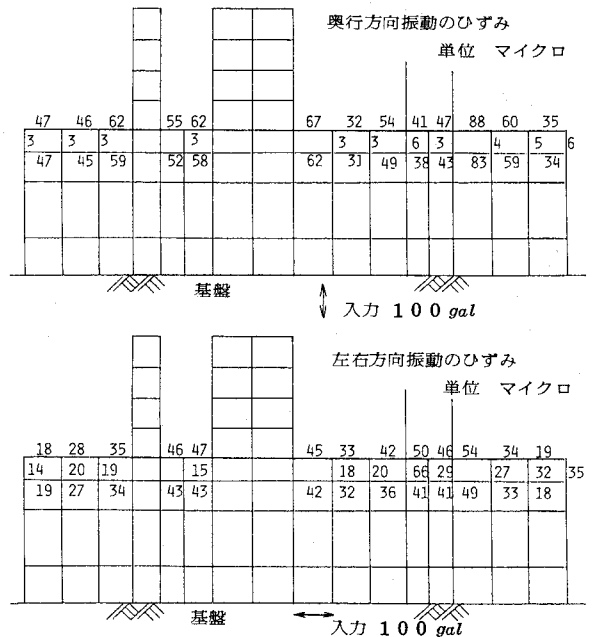


図-4

7次モード

$f = 36.7 \text{ Hz}$

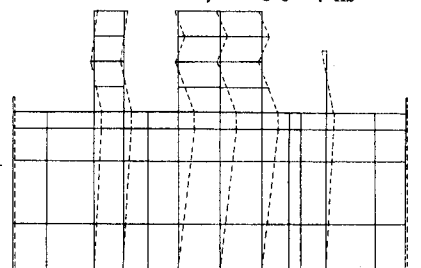


図-5