

I-42 地震時都市内地盤ひずみの特性

九州大学 工学部 正員 小坪 清真
 “ ” 正員 鳥野 清
 “ ” 学生員 津高 守
 “ ” 正員 園田 敏矢

1. 研究目的

ガス管、水道管等の地下埋設管の地震時の安全性は、地盤内のひずみに大きく影響を受けることはよく知られているが、地盤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。地下埋設管の従来の設計法では、各種の地震波が上層地盤を伝播するものとして地盤ひずみを推定しているが、この方法では、実際の地震でおきた地下埋設管の被害分布を説明できないことが多い。これは、都市内には、各種の構造物や高層ビルが存在するため地震時に地盤は、複雑な振動をしているためと思われる。本研究は、これら各種の構造物の平面的及び立体的な分布を考慮した地盤-構造物モデルをつくり、その解析結果から地震時地盤内のひずみを求め、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

図-1に示すように、道路に沿って構造物があり、道路に沿った方向の水平振動について考える。解析にあたり、以下の仮定を行なった。

(1) 地盤-構造物系は、3次元に基ざるものであるが、複雑になるので奥行き方向には一様に振動するものとして、2次元問題として取り扱った(奥行きを30mとした)

(2) モデルの左右方向の長さは、S波の速度と、モデルの寸法とした。福岡市天神地区の地盤卓越周期(約0.4秒)とから、およそ1波長以上(約300m)となるよう選んだ。

(3) 地盤及び構造物では鉛直方向振動が水平ひずみに及ぼす影響は小さいので、水平振動のみを行なうバネ-マス系として解析した。図-2には、置換されたバネ-マス系の図を示す。

(4) 構造物の地中部分においては、地階のみを考え、杭などの基礎や構造物の振動特性及び地盤剛性に及ぼす影響を無視した。

(5) 同一構造物の同一層上における質点の水平変位は等しい。

(6) 地盤及び構造物の減衰は内部粘性減衰のみを考えた。

地盤-構造物系を図-1のように分割し、分割点に質点を設け、質量は各質点に集中しているものとする。各質点は水平伸縮バネ及び鉛直せん断バネによって互いに連結されているものとみなす。

また、このモデルとは別に、構造物が存在しない、地盤のみのモデルについて、奥行き方向の振動も考慮して3次元的に解析した。図-3はそのモデルの概要である。

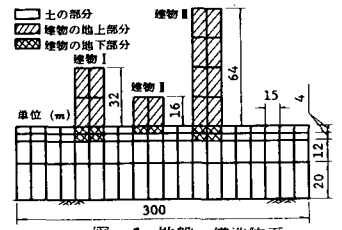


図-1 地盤-構造物系

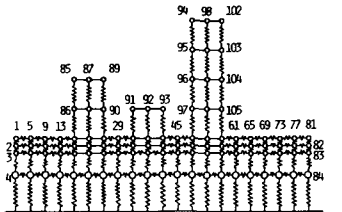


図-2 バネ-マス系置換図

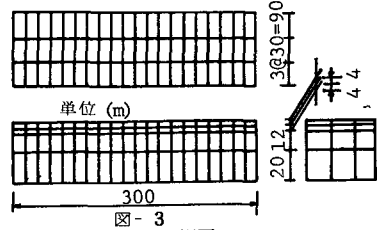


図-3 3次元モデルの概要

3. 解析理論

○ 地盤中の各質点間の鉛直せん断バネ定数及び水平せん断バネ定数は、次のように表される。

$$K_s = GA_s / d \quad (1)$$

また、水平伸縮バネ定数は

$$K_x = 2(1 + \nu)GA_x / \ell \quad (2)$$

で表わされる。

(G ; 地盤の剛性率, ν ; 地盤のポアソン比
 d, ℓ ; 隣接質点間距離
 A_s, A_x ; 1質点が受け持つ円錐角方向の横断面積)

構造物については、高さ方向に均一なせん断ばり仮定して、その1次の固有周期から等価剛性率を求めて、(1)式より、せん断バネ定数を求めた。地下部分については、側壁等の剛性及び重量の増大を考慮し、地下部分の剛性率は地上部のそれの25倍、単位体積重量は3倍として、質点重量及びバネ定数を決定した。

次に、基礎から鉛直上方にS波が入力するものとして、モデルの応答を振動数解析法を用いて求めた。基礎での地震動を ϕ 、S次の基準座標を y_s 、i質点のS次の振動モードを y_{is} とすれば、i質点の応答は

$$y_i = \sum_{s=1}^n \phi y_{is} \quad (3)$$

であり、 y_{is} は

$$y_{is} + 2h_s \eta_s y_{is}' + \eta_s^2 y_{is}'' = -\phi_s \phi \quad (4)$$

の解として求められる。ここに η_s はS次の固有円振動数、 ϕ_s はS次の刺激係数、 h_s はS次の減衰定数である。

h_s については、構造物が大きく振動するモードについては構造物の減衰定数を、地盤が大きく振動するモードに對しては地盤の減衰定数を用いた。(ここではそれぞれ0.02及び0.2とした)

各質点変位及び各部のひずみは、応答スペクトル法を用いて計算した。S次の加速度応答スペクトルを S_{ag} とすると、質点iの変位の最大値は、

$$y_{i,max} = \sqrt{\sum_s (\phi_s y_{is} S_{ag} / \eta_s)^2} \quad (5)$$

である。ここで、加速度応答スペクトルは、建設省土木研究所の新耐震設計法のスペクトルを用いた。

3. 数値計算結果

表1にエー構造物系の各次数の固有振動数を示す。図-4は、1次及び4次の振動モードである。1次から3次は、構造物のそれぞれの1次振動であり、4次は地盤の1次振動である。図-5には、得られた地盤の水平ひずみの値を示す。

地盤のみの3次元モデルの各次数の固有振動数を表2に示す。これより明らかのように、地盤ひずみはモデルの1次振動モードに大きく依存する。この1次モードは、鉛直せん断バネによるものである。このため、水平ひずみは大抵小さく全て/マイクロ以下であった。

4. 結論

構造物の存在により、地震時の地盤ひずみは、ある場所において局部的に大きくなる。構造物が存在しなければ、地盤ひずみは、水平方向において地表面の水平ひずみ(11)をきわめて小さくなる。本法で得られる地盤ひずみの値は、従来の応答変位法により得られる地盤ひずみの値(115マイクロ)に比べてかなり小さくなっているが、応答変位法が、

地表面の水平ひずみ(11)

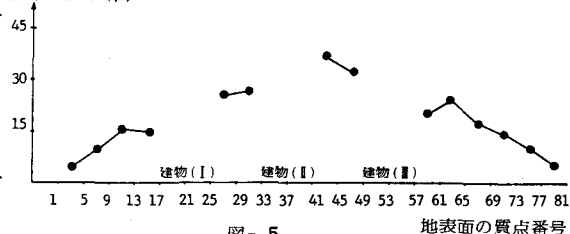


図-5

ラゲ波、レイリー波等、各種の地震波の進行を考慮してひずみを算定しているからであって、都市内においては進行波によるひずみに加えて、大規模構造物近傍では大きなひずみが発生しているものも考えられる。

次数	固有振動数 f (1/12)	刺激係数 β
1	0.777	1.447
2	1.493	1.956
3	2.182	1.857
4	2.506	5.362
5	2.792	-3.547
6	2.886	-0.915
7	3.286	0.475
8	3.646	-0.419
9	3.670	-0.382
10	3.904	-0.493
11	4.592	-0.011
12	5.581	-0.071
13	6.083	0.643
14	6.178	0.131
15	6.540	-0.043
16	6.575	0.078
17	7.101	-0.004
18	7.540	-0.001
19	7.848	-0.012
20	8.377	0.004

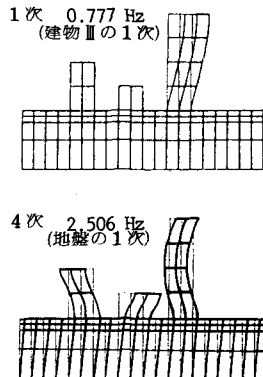


図-4

表-1 平面モデルの固有振動数、刺激係数

表-2 3次元モデルの固有振動数、刺激係数

次数	固有振動数 f (Hz)	刺激係数 β
1	2.411	1.180
2	2.630	-0.004
3	3.179	-0.001
4	3.191	-0.001
5	3.377	0.002
6	3.874	-0.003
7	3.878	0.002