

都市部における地震時震動特性

筑波大学 学生会員 増井 洋介
筑波大学 正会員 西岡 隆

1. はじめに

日本の首都・東京は、軟弱地盤上に形成された都市である。その地盤表層部には多種多様な構造物が存在しており、近い将来発生すると言われている関東近辺の大地震の際に、それらの構造物がどのように震動し、ライフラインの集中する地盤表層部の震動性状に影響を与えるのか、調査する必要がある。本研究では自由表面地盤震動と、構造物が存在する場合の地盤震動の差に注目し、地盤表層部震動性状の把握を試みた。また、地盤は不確定性を多分に含む材料であり、その点を考慮するため、確率有限要素法を用いて地盤の震動解析を行った。

2. 計算方法

基本となる運動方程式は、次式で表される。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{\ddot{z}\} \quad (1)$$

上式における減衰マトリクス C について、確率概念を導入する。すなわち、 C が次のように確率変数を含む式で表されるとする。

$$C = C^0 + \sum_k^{NE} C_k^I \alpha_k + \frac{1}{2} \sum_k^{NE} \sum_l^{NE} C_{kl}^{II} \alpha_k \alpha_l + \dots \quad (2)$$

ここで、 α は微小な確率変数、 NE は要素数であり、 C^I 、 C^{II} はそれぞれ一次変動率、二次変動率と呼ばれるものである。式(1)にモード解析法を適用し、式(2)を考慮しながら摂動法を用いると、次のような変動率方程式群を得ることができる。

$$\Phi^T M \Phi \ddot{q}^0 + \Phi^T C^0 \Phi \dot{q}^0 + \Phi^T K \Phi q^0 = \Phi^T F \quad , \quad \Phi^T M \Phi \ddot{q}^I + \Phi^T C^0 \Phi \dot{q}^I + \Phi^T K \Phi q^I = -C^I \dot{q}^0 \quad (3)$$

ここで、 Φ はモーダルマトリクス、 q^0 は一般化座標で表された変位の期待値であり、 q^I は一般化座標の一次変動率である。

3. 解析方法

本研究では確率有限要素法を用いて、基盤に地震波が入力した際の地盤震動応答を解析する。解析の対象として、地盤表層部に構造物が存在する地盤モデルを用意した(図-1, 図-2)。地盤モデルの大きさは(幅)160m × (深さ)40m とした。構造物は全て同一コンクリート製とし、以下の2種類を用意した。

- 地上高さ 25m, 杭直径 1.5m・深さ 25m・本数 2本の構造物……【構造物 1】
- 高さ 5m, 幅 10m, コンクリート厚 50cm のトンネル構造物……【構造物 2】

本解析における仮定は、次の通りである。

- 地盤モデルは底辺固定、側方境界は自由境界とする。
- 線形弾性解析とし、塑性判定が出ても線形のまま挙動を続けるものとする。

また、地盤物性値は東京下町・蔵前地区付近のものを採用し、地盤は3層構造とした。コンクリートの物性値とともに、表-1, 表-2に示してある。減衰はモード減衰を用いており、その値は表-3に示した。地震波は、自由表面地盤モデルの卓越振動数成分を主に含むものを作成して使用した。

4. 解析結果

図-3, 図-4は、構造物付近に設けた28の計測点(左上から1,2,...,28)における水平震動変位期待値の最大値と、自由表面地盤モデルの各計測点における水平震動変位期待値を比較し、水平震動変位の増減について示し

Key Words: 震動変位, 確率有限要素法

〒305-0006 つくば市 天王台 1-1-1 筑波大学 機能工学系

たものである。ここで、上向き▲は20%以内の増加を示し、▲が増えるに従って20~40%増加、40%以上の増加を示している。下向き▼は10%以内の減少を示している。これらから、構造物1モデルでは一様に水平震動変位が増加しているのに対し、構造物2モデルにおいては水平震動変位が減少している傾向が見て取れた。

また、表-4には各計測点における震動変位の最大値（括弧内は最大値計測点）と、各計測点における最大値の平均・分散を示したが、構造物2モデルはこれらの値も自由表面地盤モデルより減少している。

5. おわりに

自由表面地盤震動と構造物が存在する地盤震動を比較した結果、摩擦杭を持つ構造物が地盤震動を増加させる傾向を持つのにに対し、トンネル構造物は地盤震動を抑制させる傾向を持つことがわかった。

表-1: 東京の地盤モデルの物性値

物性値	上部有楽町層	下部有楽町層	東京層
ρ (10^3 kg/m^3)	1.83	1.62	1.82
H (m)	5.00	10.0	25.0
V_s (m/s)	100	180	230
E (10^8 Pa)	0.494	1.42	2.60
ν	0.350	0.350	0.350
ϕ (度)	27.2	7.16	30.3
C (10^4 Pa)	2.69	3.27	4.81

表-2: 構造物モデルの物性値

ρ (10^3 kg/m^3)	E (10^8 Pa)	ν
3.00	115.0	0.350

表-3: モデルのモード減衰定数

	h_1	h_2
モード減衰定数	0.11	0.09

表-4: 水平震動変位の最大値・平均・分散

モデル	期待値解			3 σ 解		
	最大水平変位 (計測点)($\times 10^{-2} \text{ m}$)	平均 ($\times 10^{-2} \text{ m}$)	分散 ($\times 10^{-3} \text{ m}^2$)	最大水平変位 (計測点)($\times 10^{-2} \text{ m}$)	平均 ($\times 10^{-2} \text{ m}$)	分散 ($\times 10^{-3} \text{ m}^2$)
地盤	5.876(4)	4.536	11.27	7.824(1)	5.431	20.33
構造物1	7.934(1)	6.143	17.59	10.73(7)	7.623	28.15
構造物2	5.736(1)	4.477	9.942	6.867(7)	4.889	12.47

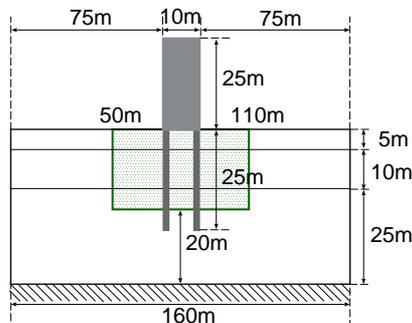


図-1: 構造物1モデル

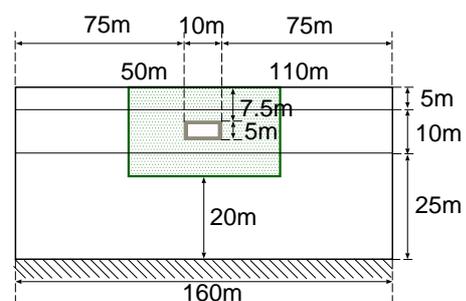


図-2: 構造物2モデル

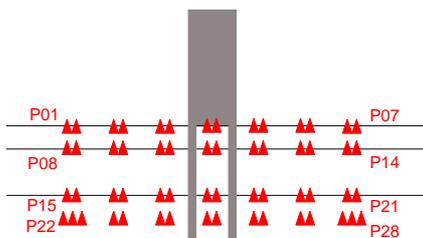


図-3: 構造物1モデル-水平震動変位増加率分布

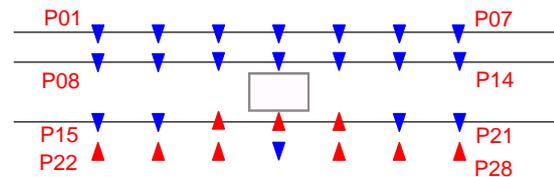


図-4: 構造物2モデル-水平震動変位増加率分布