

I-500

ウォーターフロントにおける高層建屋・周辺地盤の液状化解析

清水建設(株) 大崎研究室 正会員 大槻 明 福武 毅芳

1. はじめに

東京湾周辺を対象としてウォーターフロント計画が各方面で進められているが、液状化の発生を回避できる地盤は極めて少ない。このため、立地地盤の液状化発生状況やその際の構造物の応答性状について検討を試みることは重要と考えられる。本報では二次元有効応力解析により高層建屋・地盤系の液状化解析を行い、構造物基礎近傍の地盤条件の違いによる建屋の応答について考察した。

2. 解析手法と解析モデル

非線形解析手法は陽解法と陰解法を融合した有効応力解析⁽¹⁾である。今回新たに、水と土は一体となって振動するものとして水の剛性を考慮した。改良した本手法の概要を以下に示す。

$$\textcircled{1} \quad \text{時刻}t\text{における増分ひずみ}d\epsilon^t\text{を式(1)より求める。} \quad M \cdot \ddot{u}^t + C \cdot \dot{u}^t + \int B \cdot \sigma^t dv = 0 \quad \text{---- (1)}$$

$$\textcircled{2} \quad \text{有効応力は式(2)より求める。} \quad d\sigma^t = [D] \cdot \epsilon^t \quad \text{---- (2)}$$

$\textcircled{3} \quad \text{体積ひずみ零となる過剰間隙水圧}dP_w\text{を式(3)より求める。ここに、}d\sigma'_m\text{は平均有効応力である。}$

$$d\epsilon_v^t = 0 = [D]^{-1} \cdot \{dS^t - dP_w^t \cdot \delta_{ij}\} \quad \text{---- (3)} \quad dS^t = d\sigma^t - d\sigma_m^t \quad \text{---- (4)}$$

$\textcircled{4} \quad \text{時刻}t+1\text{の全応力は水の体積弾性係数}C\text{を用いて次式で表せる。ここに、}d\epsilon_x^t, d\epsilon_y^t\text{は}d\epsilon^t\text{の軸ひずみである。}$

$$\sigma^{t+1} = d\sigma^t + C \cdot (d\epsilon_x^t + d\epsilon_y^t) \cdot \delta_{ij} + \sigma^t \quad \text{---- (5)}$$

土の構成式は松岡らの構成関係式を修正した単純せん断モデル⁽²⁾を用いた。解析モデルを図・1に示す。地盤は東京湾周辺を想定し文献[3]に示す定数を、また建屋の固有周期は3秒として剛性比例型の減衰(2%)を用いた。地盤の単位体積重量は1.8t/m³とし、初期応力は K_0 値を0.5として求めた。地震波はメキシコ市(SCT)で記録された加速度波形⁽⁴⁾の時刻34秒から20秒間を速度に変換して用いた。入力最大振幅は25kineとした。解析ケースは二ケースで、ケース1は建屋地下室直下の地盤に非線形性を考慮したもので、ケース2は地下室直下の地盤を弾性として扱った。両者の地下室直下の地盤の初期せん断剛性は一致させた。

3. 応答解析結果と考察

まずケース1について調べてみる。図・2は建屋周辺地盤の各要素に発生した時刻16秒における間隙水圧比 P_w/σ'_{m0} (間隙水圧 P_w を初期平均有効応力 σ'_{m0} で基準化したもの)についてその大きさが $P_w/\sigma'_{m0} \geq 0.7$ となるを図示した。海底部や建屋周辺地盤に液状化がみられる。要素Dのせん断応力・ひずみ関係および応力経路を図・3, 4に示す。応力経路から液状化に至っていることが分かる。またサイクリックモビリティがよく表現されている。図・6は基盤A点、地表B点および建屋上部C点の加速度波形である。最大加速度は地表B点で162gal、建屋C点では164galとなっている。基盤の加速度が139galであることを考えると建屋内の増幅は小さい。地下室直下の地盤を弾性としたケース2では、図・7の加速度波形が示すように建屋上部で356galとなっており建屋内の増幅が認められる。時刻15秒における建屋および周辺地盤の変形状態を図・8, 9に示した。ケース2に比較してケース1の方が地下室近傍の地盤の変形は大きい、建屋の変形は小さい。図・4に示すように要素Eは強い非線形性を示しており、これらの結果からケース1では地震のエネルギーが地下室直下の要素で吸収され、建屋の応答に一種の免震効果が現れたものと思われる。

4. おわりに

本解析では建屋の固有周期は周辺地盤のそれに比較してかなり離れており、また建屋基礎は支持層に載っているため建屋の応答は周辺地盤の影響を強く受けない。また建屋基礎直下の要素にある程度のひずみを許すいわゆる免震的な配慮をほどこせば、建屋の応答はかなり抑えられる可能性が認められた。

最後に、本解析手法を改良するにあたり明治大学農学部田中忠次助教授の御助言を賜ったことを記して感謝の意を表す次第である。

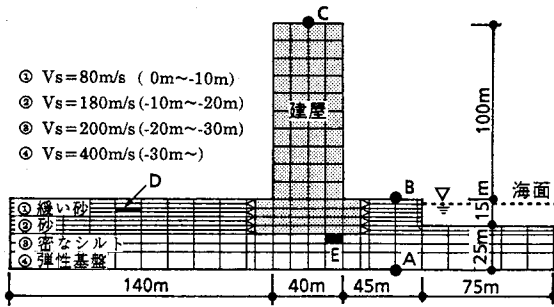


図-1 解析モデル図

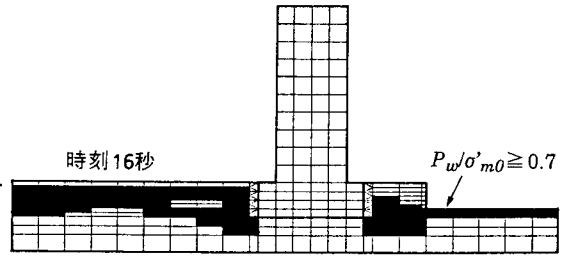


図-2 間隙水圧比分布図(ケース1)

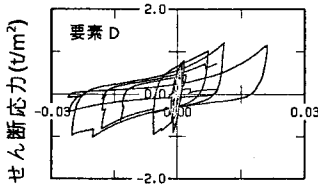


図-3 せん断応力・ひずみの関係(ケース1)

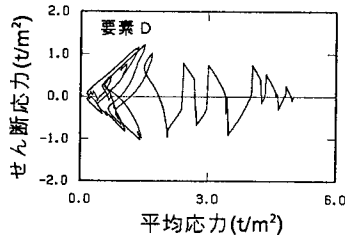


図-4 有効応力経路(ケース1)

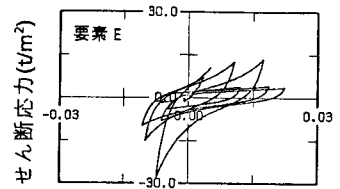


図-5 せん断応力・ひずみの関係(ケース1)

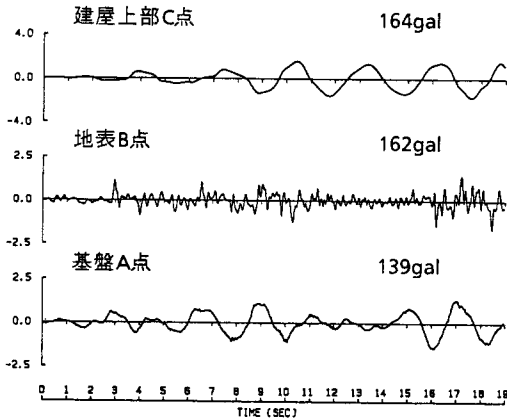


図-6 加速度波形(ケース1)

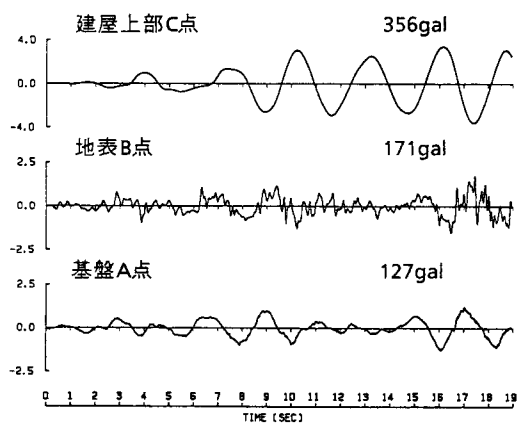


図-7 加速度波形(ケース2)

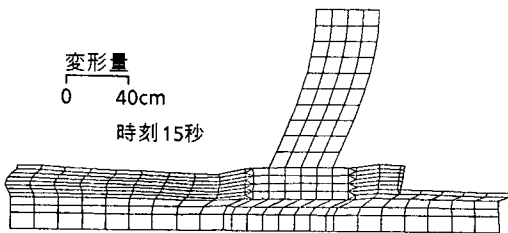


図-8 相対変形分布図(ケース1)

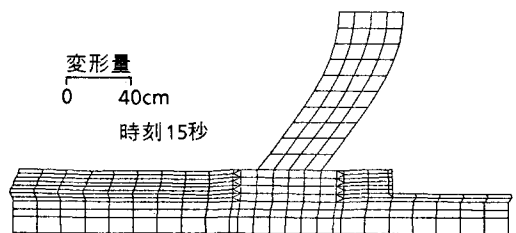


図-9 相対変形分布図(ケース2)

参考文献 (1) A.Ohtsuki and T. Itoh, Two dimensional effective stress analysis of liquefaction including soil-structure interaction, Earthquake Eng. Struct., vol.15, 1987 (2) 福武・大槻・竹脇「単純せん断上構成式と繰り返しせん断の解析」土木第42回年次講演会, 第Ⅲ部門 (3) 福武・大槻「入力地震動の周波数特性の違いによる軟弱地盤・建屋系液状化解析の検討」土木第43回年次講演会, 第Ⅲ部門 (4) E.Mena et al., UNAM, Informe IPS-10B, 1985