

金沢大学工学部 正員 北浦 勝
富士コム制御(株) 浅井 達也

1. まえがき

液状化による地盤の破壊は構造物に壊滅的な被害をもたらす恐れがある。従来から構造物基礎の耐震設計においては液状化に対する今エックがなされている。しかしながら、たとえ今エックによる結果が安全であると判断できても、それはある条件の下での結果であり、たとえばもし入力としての地震の加速度が予想以上に大きい場合には、液状化による破壊の生ずることが十分考えられる。従って構造物基礎の耐震安全性を究明するためには、液状化に伴う構造物基礎の破壊の状況を抱えておく必要がある。このような観点から本研究は液状化による構造物基礎の破壊のうちその沈下に着目し、地盤と地震動の特性が液状化に伴う基礎の沈下に及ぼす影響をシミュレーションによって検討しようとしたものである。

2. 構造物基礎-地盤系のモデル化

本研究で対象とした地盤のモデルは図-1 のようである。表層は厚さ20mの砂層で、地下水位は地表から1mの深さにある。また構造物基礎は10mの深さまで根入れされており、その底面直下4mまでの間は締め固めにより地盤改良された基礎

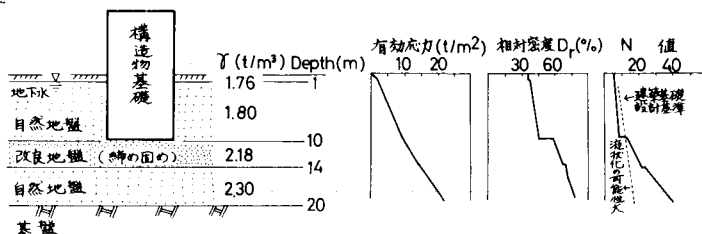
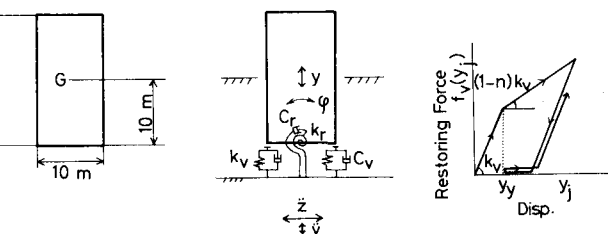


図-1 地盤のモデル、有効応力、相対密度、N値

2.18 t/m³ にまで増加しているものとする。このような状態にある地盤の深さ方向の有効応力 σ_v (t/m²)、相対密度 D_r (%), およびこれらの関数として求められるN値 (Meyerhof による実用式) の分布も同図に示されている。なおN値の図中の破線は、建築基礎構造設計基準で示された地震加速度200 galを対象とした液状化の危険性大なる領域を表わしている。図より、深さ10mより浅い地盤で液状化の危険性があり、それより深い地盤でも地震の特性などによっては液状化の可能性のあることが判り、モデル地盤としては妥当であると言える。

構造物基礎は図-2に示されているように高さ20m、幅10m四方の鉄筋コンクリート製とした。簡単のために構造物基礎はその底面の中央を回転中心とする回転運動と、沈下に注目していることから上下方向の運動をするものとした。構造物基礎側面に接する地盤は線形のばねと減衰より成るものとする、今対象としている構造物基礎のモデルではこれらは回転運動



基礎の大きさ モデル化 基礎底面のばね

図-2 構造物基礎のモデル

のみに関与するので、図では回転ばね定数 k_r , 回転減衰係数 C_r で表わされている。また構造物基礎底面に接する地盤は砂地盤であるから引張抵抗は期待できないこと、沈下を表わしうること、の条件を満たす復元力モデルとして図のように非対称な履歴特性と有する *bi-linear* 型のばね (ばね定数 k_y , 第1分枝の勾配 $(1-n)k_v$) を採用した¹⁾。また構造物基礎底面減衰係数を C_y で表示してある。

3. 計算の手法

応答解析に用いた入力力水平地震波は1968年十勝沖地震の八戸における記録である。同加速度記録の最大値は

ス33 gal であり、記録継続時間は25秒である。また上下方向の地震波形は、多くの地震記録を参考にしてハザ記録の振幅を1/2倍したものを採用した。この地震加速度をモデル地盤に入力させ、地盤特性と地震波1サイクルごとの最大値を用いて地盤のせん断応力を求め、このせん断応力と有効応力とから過剰間隙水圧を求めた³⁾。地震時には地盤の有効応力 $\sigma(z)$ は初期の有効応力 σ_0 から過剰間隙水圧 $u(z)$ を減じた量として与えられるが、地盤の応答解析に液状化による効果を取り入れるために $\sigma(z)$ と σ_0 との比 $\sigma(z)/\sigma_0$ を地盤の液状化の程度を表わす指標と定義した。この値を構造物基礎-地盤系の固有円振動数に乘じ、液状化の程度増加に伴い固有円振動数を低下させた。すなわち回転運動の固有円振動数には基礎の根入れ深さの1/2、つまり深さ5m地点での応力比を、また上下運動の固有円振動数には基礎底面直下1mのところ、つまり深さ11m地点での応力比を、また上下運動の固有円振動数には基礎底面直下1mのところ、つまり深さ11m地点での応力比を乗じた。

4. 計算結果の一例

以上において述べたモデル地盤に八戸の加速度が入力された場合の深さと有効応力、過剰間隙水圧の関係が図-3に示されている。図から深さ10mまでは過剰間隙水圧が初期の有効応力に一致しており、完全液状化に至っていることがわかる。この時の構造物基礎の沈下の時間曲線は図-4で与えられ、初期沈下を差し引いた最終沈下量は約11cmとなっている。次に深さ10mから14mまでの改良地盤の締め固めの程度を変えた場合の構造物基礎の最終沈下量を図示したものが図-5である。すなわち相対密度の相異が基礎の沈下量に及ぼす影響が示されているが、相対密度60%と境として構造物基礎の沈下量が危惧に変化していることがわかる。相対密度が50%のとき沈下量は120cmにも達するが、逆に75%の場合には数センチにしかならず、相対密度が地盤の液状化や液状化に伴う構造物基礎の沈下に大きな影響を及ぼすことが明らかである。また以上の結果は構造物基礎体側面の砂層の液状化が基礎の沈下に及ぼす影響は、基礎を支持する地盤の液状化による影響に比べると極くわずかでしかなく、従って基礎を支持する地盤を十分に締め固めることの重要性を指摘すること

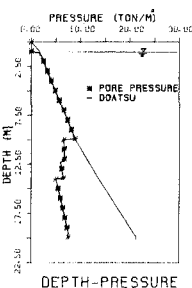


図-3 深さと液状化度

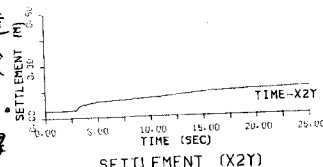


図-4 基礎の沈下の時間曲線

できよう。図-6には入力としての地震加速度の大きさと構造物基礎の沈下量との関係が図示されている。入力加速度の大きさを八戸の記録の1.25倍以上にすると基礎の支持層が完全液状化するので、その結果基礎の沈下量は100cm以上になっている。逆に0.75倍にすると過剰間隙水圧の発生もわずかなとなり、基礎の沈下量も大きくない。入力加速度の大きさのわずかな違いが、基礎の支持層の液状化やそれに伴う基礎の沈下に大きな差異をもたらすので、入力加速度の大きさの評価に当っては十分な配慮を払う必要があることが、この図から読みとれる。図-7は地下水位の深さと構造物基礎の沈下との関係を表わしたものである。この図から地下水位の低下に伴い構造物基礎の沈下量の小さくなっていく様子がわかる。これは地下水位の低下により有効応力の初期値が増大するので、過剰間隙水圧の上昇に伴う、各時刻の有効応力と初期有効応力との比の減少が小さくすすむことによるものと考えられる。本研究における地下水位の範囲では、基礎の沈下量が急変するという地下水位の深さはなかったが、地下水位を低くすればするほど確実に沈下量は減少し、地下水対策が液状化に有効であることが確認できた。

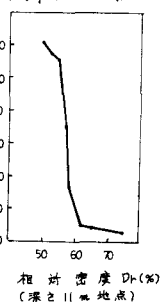


図-5 相対密度と沈下量の関係

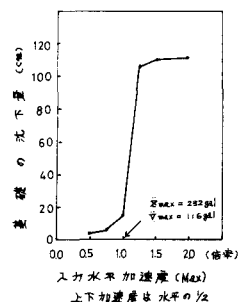


図-6 入力加速度と沈下量の関係

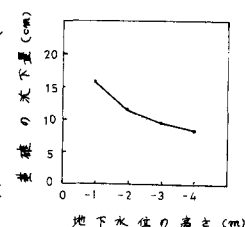


図-7 地下水位と沈下量の関係

参考文献1) 後藤他: 地盤論叢書第231号, 2) 石原: 土質工学の基礎, 虎丘出版, 3) 八木・西田: 第10回土工学会研究発表会講演集。