

I-418

埋込みを有する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
清水建設(株) 大崎研究室	正会員	福武 毅芳
清水建設(株) 大崎研究室	正会員	竹脇 尚信

1. はじめに

近年、液状化の研究ではせん断挙動に対する主応力の回転の影響が注目されて来ている¹⁾²⁾。埋込みを有する建屋周辺の地盤は、この種の主応力の回転も含む任意応力経路下の繰り返しせん断を受けるため、任意応力経路下の挙動を考慮にいたした液状化解析が極めて重要である。本研究では粒状体理論に基づいた最新の構成式を用いて、埋土地盤のせん断変形における主応力の回転の寄与率を明らかにした。

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ハイブリット手法³⁾である。土の構成式²⁾⁴⁾は、せん断、主応力の回転、等方および異方圧密を取り扱え、また排水および非排水条件下に適用可能なモデルである。これまでに当モデルを用いて建屋地盤系の液状化解析を試みており、その適用性を確認している⁴⁾。解析モデルは、図-1に示すように半地下式の構造物で、構造物周辺には埋土を有している。表-1に解析に用いる定数を示してあるが、埋土部は地表まで地下水が存在する中密な砂地盤である。解析では埋土部のみ非排水条件を適用し、周辺地盤および建屋は弾性として取り扱った。また側方および下方境界にはそれぞれ重ね合わせ境界および粘性境界を用いた。埋土部の初期応力は自重計算より求めた。

3. 地震応答解析

埋土部の基本的挙動を検討するためSine波を2波長入力した。埋土各点のせん断応力とひずみの関係、有効応力経路、せん断応力と軸差応力の関係をそれぞれ図-2~4に示した。図-2,3に示すように埋土のせん断応力とひずみの関係は非線形ループを示しており、特に建屋近傍のせん断応力とひずみの関係は片振りとなっている。埋土各点では間隙水圧の蓄積が認められる。図-4に示す応力経路は原点より離れて楕円状の軌跡を描いており、これより主応力の回転が卓越しているのが分かる。せん断、主応力の回転、異方圧密の各成分がどの程度せん断ひずみに寄与しているかを明らかにするため、各成分の累加せん断ひずみ(45度面上)を求め、表-2に示した。本解析モデルでは主応力の回転が5割程度せん断ひずみに寄与しており、主応力の回転の影響を無視することはできないことが分かる。

El Centro波入力に対する地表の加速度を調べてみると、図-5に示すように基盤で514galに対し、測点A2および測点A3では222galおよび183galとなっている。両者の加速度波形を比較すると、測点A3の加速度波形の振幅は3秒以後で抑えられ、また周期は伸びている。これは測点A3の埋土地盤では図-8に示すように液状化がかなり進行しているためと考えられる。せん断応力とひずみの関係および有効応力経路を図-6~7に示してあるが、Sine波入力の解析結果と定性的に類似している。建屋上部では700gal程度の加速度が生じている。本解析モデルでは、建屋は基盤に直接載っており、また建屋の基礎幅は大きいことから、基盤からの入力波が建屋の応答に与える影響は建屋側方から入力波の場合よりも大きい。

4. おわりに

近年、主応力の回転の影響の重要性が指摘されているが、本解析結果からもその重要性が定性的に確認された。本解析のような建屋地盤系モデルの液状化解析を行うには、任意応力経路下の繰り返しせん断を表現できる構成式を用いることが重要である。

参考文献 1) K. Ishihara, and I. Towhata, Sand Response to cyclic rotation of principal stress directions as induced by wave loads, Soils & Foundations, No.4 pp.11~26, 1983. 2) 松岡 元・他, 主応力方向の回転の影響も考慮できる一般座標系表示の砂と粘土の構成式, 第21回土質工学講演会概要集, pp341~344

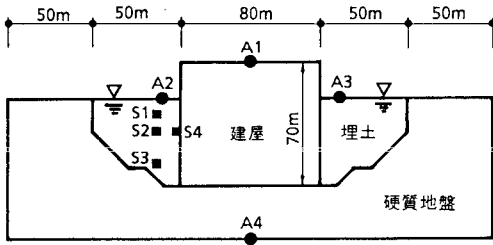


図-1 解析モデル図

表-1 解析定数

[建屋] 縦波速度2800(m/s) 横波速度1200(m/s)
密度1.0(t/m³) [周辺地盤] 縦波速度1200(m/s)
横波速度500(m/s) 密度2.0(t/m³)
[埋土地盤] せん断剛性(1/G)0.23% せん断強度40°
ストレスダイレンシの勾配1.2 摩擦係数0.2
圧縮指数4.53% 膨潤指数2.58%

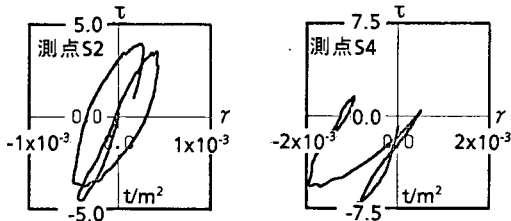


図-2 せん断応力とひずみ(Sine波入力)

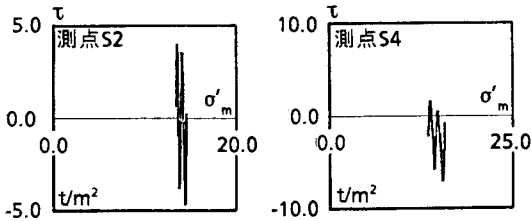


図-3 有効応力経路(Sine波入力)

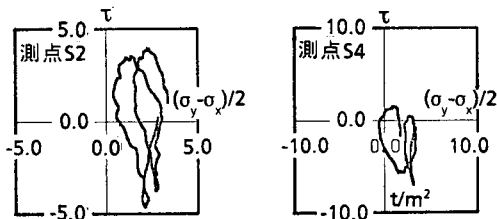


図-4 せん断応力と軸差応力(Sine波入力)

表-2 主応力の回転によるせん断ひずみへの寄与率

要素番号	測点S1	測点S2	測点S3	測点S4
寄与率 P	51%	52%	56%	37%

$$P = \frac{\sum |dr^r|}{\sum |dr^r| + \sum |dr^s| + \sum |dr^c|}$$

s; せん断成分 r; 主応力の回転成分 c; 圧密成分

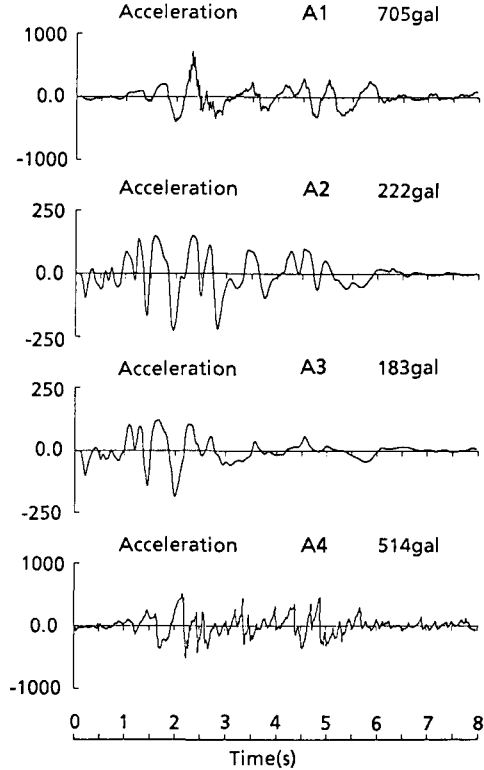


図-5 加速度波形(El Centro波入力)

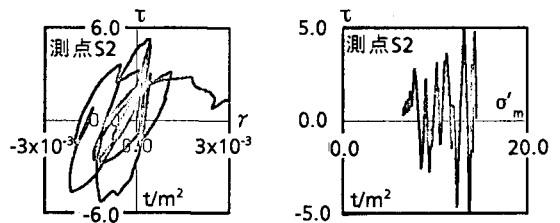


図-6 せん断応力とひずみ

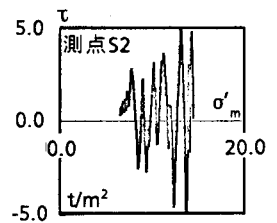


図-7 有効応力経路

3) A.Ohtsuki and T. Itoh, Two dimensional effective stress analysis of liquefaction including soil-structure interaction, Earthquake Eng. Struct. Dyn.(1987) 4) 福武・大槻・竹脇, 任意応力経路下の土の構成式と液状化解析, 第7回日本地震工学シンポジウム, pp.691~696

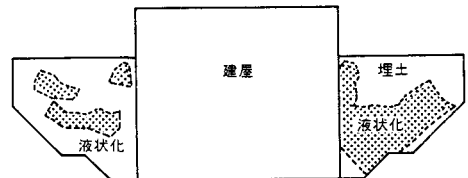


図-8 液状化分布図