

清水建設(株) 大崎研究室 正員 大槻 明
 清水建設(株) 大崎研究室 正員 渡辺 浩平
 清水建設(株) 大崎研究室 正員 竹脇 尚信

1. はじめに 近年、我国の国土事情を反映して水平方向に大きく変化した地層構成を有する地盤に重要構造物の建設が余儀なくされているが、この種の不整形地盤では日本海中部地震に代表される様に、沖積層と洪積層との境界部付近での液状化が数多く報告されている。しかしながら、液状化に関する既往の研究の多くは成層地盤を対象としたものであり、構造物を含む不整形地盤を対象とした研究は少ない。本論文では、2次元建屋地盤系液状化解析の一手法を提案し、構造物を含む不整形地盤の液状化時の震動特性を検討した。

2. 液状化解析手法の概要 土の骨格のみに着目して運動方程式をたて、空間領域を有限要素法により離散化し、時間積分は中央差分による陽解法とした¹⁾。また、陽解法は地盤のみに適用し、地盤に比べ剛性の高い構造物およびその周辺地盤には陰解法(Wilson9法)を用いた。陰解法と陽解法の結合方法は、両手法の領域を2重に重ね合わせることににより処理した²⁾。土の構成式としては西モデル³⁾を用い、各時間ステップで使用する応力~ひずみマトリックス[D]^Pは、前ステップでの有効応力より計算した。間隙水圧は、全体積ひずみ零の非排水条件により以下に示す方法で求めた。1) $dS_{ij} = d\sigma_{ij} - d\sigma_m$ 2) $du = \Gamma \cdot d\epsilon_v^p$, $\Gamma = (1 + e_0) \cdot \sigma'_m / \kappa$
 3) $d\sigma'_{ij} = dS_{ij} - du$ 4) $d\epsilon_{ij} = (D_{ijkl}^p)^{-1} \cdot d\sigma'_{kl}$, $d\epsilon_v = d\epsilon_{11} + d\epsilon_{22}$, $du = \Gamma \cdot d\epsilon_v + du$ 5) $d\sigma'_{ij} = dS_{ij} - du$
 6) $d\epsilon_v \neq 0$ となるまで4),5)の計算ステップを繰り返す。ただし、 $d\sigma_{ij}$: 全応力増分, $d\sigma_m$: 平均主応力増分
 du : 間隙水圧, e_0 : 間隙比, κ : 膨潤指数, $d\epsilon_v^p$: 塑性体積ひずみ増分
 $(D_{ijkl}^p)^{-1}$: 応力~ひずみの逆マトリックス, $d\epsilon_v$: 全体積ひずみ増分

3. 1次元モデルによる検討 本手法の妥当性を検討するため、1次元地盤モデルについてDikmen(LASSIV)⁴⁾およびFinn(DESRA)⁵⁾らの解析結果と比較した。図-1に示す間隙水圧分布図および図-2に示す間隙水圧上昇波形より、本手法による解析結果は適切な定数を用いることによりDikmenおよびFinnらの結果と同様な傾向を示すことが分かる。陰解法と陽解法の結合方法を検証するため、図-3に示す1次元弾性地盤モデルを用いた。図-4に示す様に陰解法と陽解法を融合した方法による解は、陽解法のみとの解とほぼ一致している。また、当図より剛性比が高い場合($V_2/V_1=20$)でも本手法は安定した解を与えていることが分かる。

4. 不整形性を有する建屋地盤系の液状化解析 解析地盤は図-5,6に示す通りで表層は中詰砂とし地盤定数は文献3を参考に決定した($\alpha=0.57, \lambda=0.018, \kappa=0.004$, $\phi_f=35^\circ, \phi_m=30^\circ, G'=400\text{tf/m}^2$)。基盤は弾性体($G=3.2 \times 10^4\text{tf/m}^2$)、建屋は剛体とし、El Centro波を用いた。地盤の最大せん断ひずみは、図-7に示す様に建屋基礎周辺地盤および傾斜基盤近傍で大きな値が発生している。また、間隙水圧も図-8に示す様にせん断ひずみと同様の傾向となっている。このため、初期液状化は図-9に示す様に基礎周辺地盤および傾斜基盤に沿って発生している。これは、主に建屋のロッキング振動および基盤の傾斜が、せん断ひずみ、間隙水圧の蓄積に大きな影響を与えたものと考えられる。図-10には、地盤および建屋の加速度波形を示した。図-11には、建屋周辺地盤の初期液状化した要素の

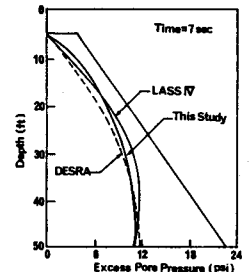


図-1 間隙水圧分布

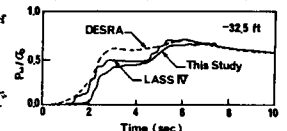


図-2 間隙水圧上昇波形

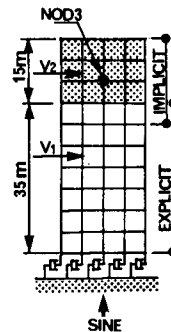


図-3 解析モデル

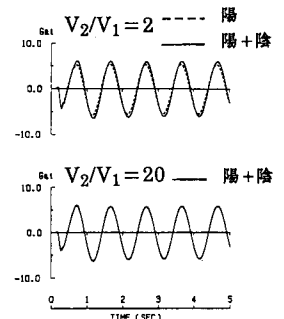


図-4 解析法の比較

(応答加速度波形: NOD3)

せん断応力およびせん断ひずみ波形、間隙水圧波形を示す。この時の応力～ひずみ関係とせん断応力～平均応力の関係を調べてみると、図-12～15に示す様に概ね妥当な結果となっている。

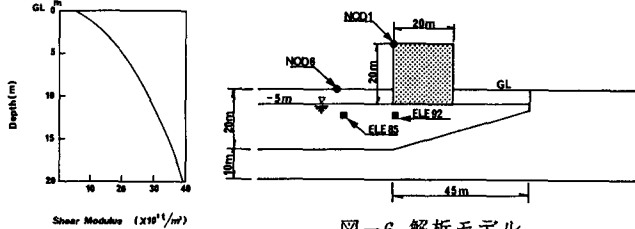


図-5 せん断剛性分布

図-6 解析モデル

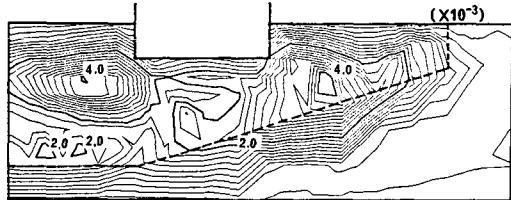


図-7 最大せん断ひずみ分布

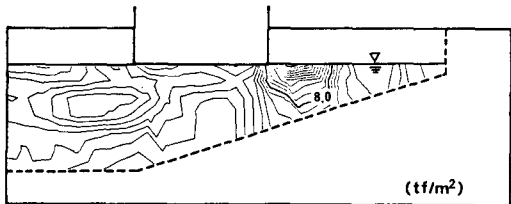


図-8 間隙水圧分布

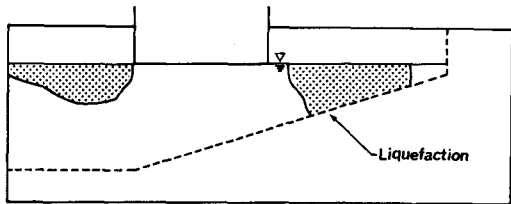


図-9 初期液状化した位置

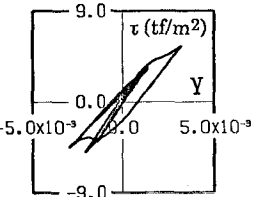


図-12 応力～ひずみ関係 (ELM85)

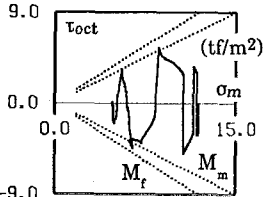


図-13 応力経路 (ELM85)

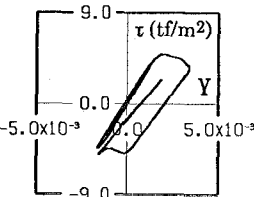


図-14 応力～ひずみ関係 (ELM92)

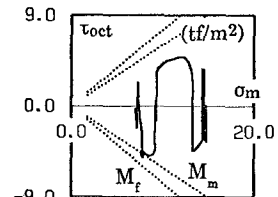


図-15 応力経路 (ELM92)

5. まとめ 提案した2次元建屋地盤系液状化解析手法を用い、建屋を含む不整形地盤の液状化特性を検討した。その結果、過去の被害に見られるような硬質地盤と軟質地盤との境界部付近の液状化や建屋基礎周辺での液状化が解析面から定性的に確認された。今後は、さらに手法の妥当性を含め詳細な検討を行う予定である。

参考文献 1) 大槻明,渡辺浩平「2次元非線形解析による不整形地盤の地震時挙動の検討」,第19回土質工学研究発表会,pp703～707, 1984 2) 大槻明他「レーリー波による不整形地盤の挙動」,土木学会論文報告集第337号,pp27～36,1983 3) 西好一「非排水繰り返し荷重下における飽和砂の弾塑性挙動と構成式」,土木学会論文報告集第319号,pp115～128,1982 4) S.U.Dikmen,et al,“Effective stress analysis of seismic response and liquefaction”,A.S.C.E.,G.E.,vol.110,pp628～644,1984 5) N.D.L.Finn,et al,“An effective stress model for liquefaction”,A.S.C.E.,Annual Convention an Exposition,1976