

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 大 規 明

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、不整形地盤における液状化を解析面から定量的に検討した研究は、成層地盤の液状化問題に比べその数は少ない。本論文では、2次元液状化解析の一手法を提案するとともに、不整形地盤の液状化特性について検討を試みた。

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。また、土の構成式としては西モデル¹⁾を用いた。各時間ステップで用いる応力~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、全体的ひずみ零の非排水条件により以下に示す方法で求めた²⁾。

- 1) $dS_{ij} = d\sigma_{ij} - d\sigma_m$ $d\sigma_{ij}$: 全応力増分, $d\sigma_m$: 平均主応力増分
- 2) $du = \Gamma \cdot d\epsilon_v^p$, $\Gamma = (1 + e_0) \cdot \sigma'_m / \kappa$ du : 間隙水圧, e_0 : 間隙比
- 3) $d\sigma'_{ij} = dS_{ij} - du$ κ : 膨潤指数, $d\epsilon_v^p$: 塑性体積ひずみ増分
- 4) $d\epsilon_{ij} = (D_{ijkl}^p)^{-1} \cdot d\sigma'_{kl}$, $d\epsilon_v = d\epsilon_{11} + d\epsilon_{22}$, $du = \Gamma \cdot d\epsilon_v + du$ $d\epsilon_v$: 全体的ひずみ増分
- 5) $d\sigma_{ij} = dS_{ij} - du$ $(D_{ijkl}^p)^{-1}$: 応力~ひずみの逆マトリックス
- 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。

3. 1次元モデルによる本手法の検討 本手法の妥当性を検討するため1次元モデルについてDikmen(LASSIV)³⁾およびFinn(DESRA)⁴⁾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。図-3には図中に示す定数を用いて1次元モデルにSine波を入力した時の応力経路と応力~ひずみ関係を示した。

4. 傾斜基盤を有する地盤の液状化解析 解析地盤は図-4,5に示す通りで、表層は中詰砂とし地盤定数は文献1を参考に決定した($\alpha=0.57$, $\lambda=0.018$, $\kappa=0.004$, $\phi_f=40^\circ$, $\phi_m=35^\circ$, $G'=400\text{tf/m}^2$)。基盤は弾性体($G=3.2 \times 10^4\text{tf/m}^2$)としSine波(15kine)、El Centro波(20kine)をLysmerダンパーを通し入射させた。まず、Sine波入力に対する応力経路($\tau_{\text{oct}} \sim \sigma_m$)および応力~ひずみ関係($\tau \sim \epsilon$)を調べてみると、図-6,7に示す様に解析結果は液状化挙動を基本的に良く表しているのが分かる。図-8には、初期液状化した位置を図示した。地表近傍でかつ

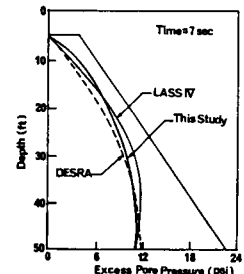


図-1 間隙水圧分布

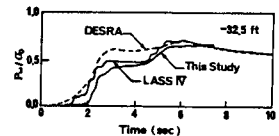


図-2 間隙水圧上昇波形

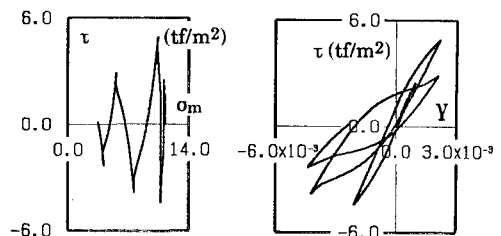


図-3 応力経路および応力~ひずみ関係
(Sine波: $\phi_f=40^\circ$, $\phi_m=25^\circ$, $G'=500\text{tf/m}^2$)

つ傾斜基盤付近まで液状化しているのが認められる。つぎに、El Centro波入力について調べてみると、間隙水圧分布は図-9に示す様に地表近傍および傾斜基盤を含む表層と基盤層との境界付近で大きな値が生じている。このため、初期液状化はSine波の場合と同様に図-10に示す様に地表近傍でかつ傾斜基盤近傍に発生しており、この付近での液状化の可能性が高いことが示される。初期液状化した要素(ELM85)および初期液状化に至っていない要素(ELM98)におけるせん断応力およびせん断ひずみ

波形、間隙水圧波形を図-11,12に示す。この時のせん断応力と平均応力の関係を調べてみると、図-13,14に示す様に概ね妥当な応力経路となっている。

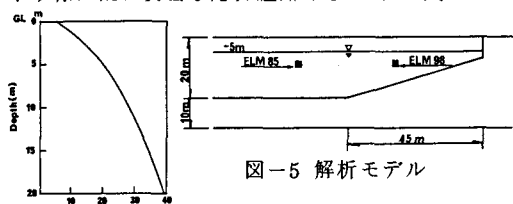


図-4 せん断剛性分布

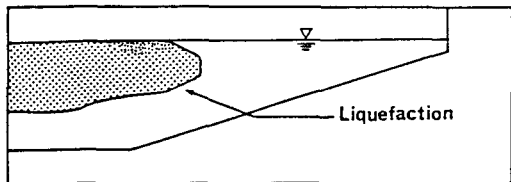


図-8 初期液状化した位置(Sine波)

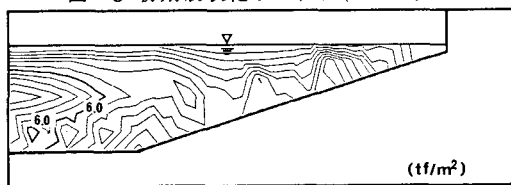


図-9 間隙水圧分布(El Centro波)

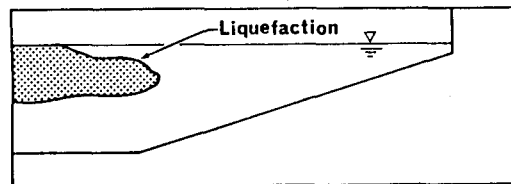


図-10 初期液状化した位置(El Centro波)

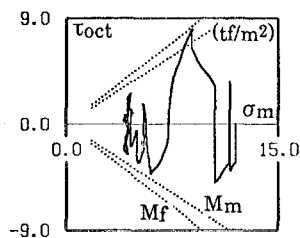


図-13 応力経路
(ELM85: El Centro波)

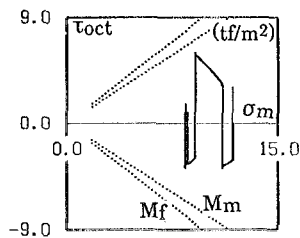


図-14 応力経路
(ELM98: El Centro波)

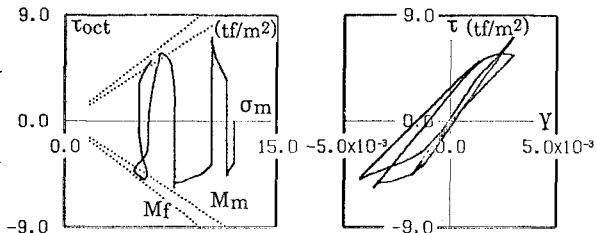


図-6 応力経路
(ELM85: Sine波)

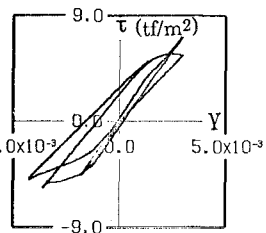


図-7 応力~ひずみ関係
(ELM85: Sine波)

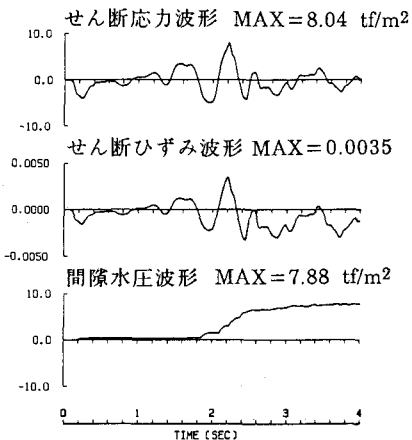


図-11 応答波形(ELM85: El Centro波)

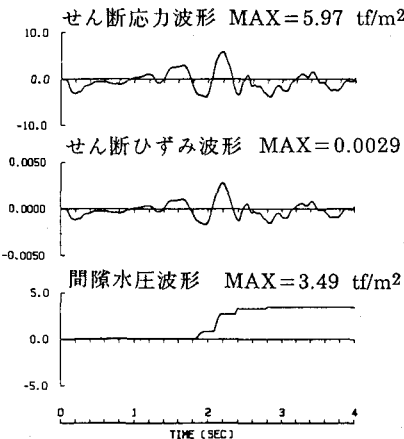


図-12 応答波形(ELM98: El Centro波)

5. まとめ 提案した2次元液状化解析手法を用い、不整形地盤の液状化特性を検討した。その結果、過去の地震に見られるような硬質地盤と軟質地盤との境界部付近に液状化が発生する傾向が定性的に裏付けられた。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) 西好一「非排水繰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 2) 大槻明,渡辺浩平,竹脇尚信「不整形地盤における2次元建屋地盤系液状化解析」,第40回土木学会全国大会,第1部門,1985 3) S.U.Dikmen,et al, "Effective stress analysis of seismic response and liquefaction",A.S.C.E.,G.E.,vol.110,pp628~644,1984 4) N.D.L.Finn,et al, "An effective stress model for liquefaction",A.S.C.E.,Annual Convention and Exposition,1976