鉱さい堆積場のレベル2地震動に対する耐震設計に関する研究(その3) ~2次元・3次元地震応答解析による地震時挙動の評価~

大成建設㈱ 正会員○原 祐介 正会員 広重敬嗣 正会員 千野和彦 正会員 立石 章 JX 日鉱日石金属㈱ 山田誠之 田口裕之

1. 研究の背景と目的

従来, 鉱さい堆積場(以下, 堆積場)のレベル2地震動に対する耐震設計においては, 堆積場中央の2次元断面 を対象とした地震応答解析およびニューマーク法の検討が行われてきた.一方, 堆積場は, 一般的に沢地形となっ た場所に築造されている場合が多く, このような3次元的形状をした堆積場の地震時挙動は十分に解明されていな い.安定化対策の設計において, 3次元地形の効果を考慮できれば, 対策工の経済化を図れる可能性がある.本稿 では, 堆積場の3次元的な地震時挙動を解明することを目的として行った, 2次元・3次元モデルによる地震応答解 析の結果について報告する.また, それらの結果を用いて2次元・3次元モデルにおける液状化安全率を算出した.

2. 解析条件

地震応答解析手法として,複素応答解析コード F-DAPIIIに よる等価線形解析法を用いた. 堆積場の2次元・3次元解析 モデルを図1,図2に示す.2次元解析においては,基盤岩 と基盤岩より上部の土層をモデル化しているが,3次元解析 においては基盤岩より上部の土層のみをモデル化した.また, 3次元解析は堆積場中央断面より右岸側の1/2モデルとし, 土層構成は2次元解析の基盤岩上部の土層構成と同一であ る.2次元解析のモデル下面における入力地震動として用い た活断層型地震動を図3に示す.3次元解析においては,モ デル下面を変位固定境界とし,2次元解析の旧表土と基盤岩 の境界面において得られた E+F 波を用いた.地震動入力方 向は堆積場中心軸方向である.地盤物性値を表1に示す.

3. 液状化安全率の算定手法

スライム 3, 4 の各要素について(1)式を用いて液状化安全 率 (F_L 値)を算出した.従来は,地震時せん断応力比Lの算 出に水平せん断応力 τ_h の時刻歴最大値が用いられている(方

法1と呼ぶ). 一方,安田・安達¹⁾は,水平せん断応力以外のせん断成分の影響が無視しえない場合は,最大せん断応力 τ_{max} の時刻歴最大値を用い,初期平均有効応力 σ'_{m0} で正規化することを提案しており,本稿では,3次元場のせん断応力6成分を考慮するため, τ_{max} および σ'_{m0} を用いることとした(方法2と呼ぶ). (1)式の $C_1 \sim C_5$ は岩崎・龍岡ら

³⁾による液状化強度比 R_L の補正係数であるが、Lの算出にあたって σ'_{m0} で正規化する場合は、繰返し三軸試験と原位置での静止土圧係数の違いを補正する係数 C_1 は消去される. ここに、 C_2 は地震波のランダム性を補正する係数、 C_3 は試

$$F_L = \frac{R}{L} = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot R_L \times C'}{(\tau/\sigma'_{\nu_0})} \quad \cdot \quad \cdot \quad (1)$$
$$= \frac{C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot R_L \times C'}{(\tau/\sigma'_{m_0})}$$

キーワード 鉱さい堆積場,3次元地震応答解析,液状化

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設㈱土木設計部 TEL 03-5381-5418



図 3 基盤入力波(2E)

9 10 11 時刻(sec)

表1 解析用物性值一覧

土層	単位体積 重量 (kN/m3)	S波速度 (m/s)	初期せん断 剛性 (kN/m2)	動的 ポアソン比	非線形 特性
スライム1	18.8	120	27, 600	0.46	ひずみ 依存の 低下
スライム2		160	49, 100	0.46	
スライム3	18. 9	210	85, 000	0.49	
スライム4		240	111, 000	0.49	
基礎堤	20. 0	370	279, 000	0.35	を考慮
旧表土	18.9	380	278, 000	0.47	
基盤岩 (2 次元のみ)	21.0	1010	2, 180, 000	0. 39	線形 弾性

料の撹乱に関する補正係数、 C_4 は試料の密度化に関する補正係数、 C_5 は地震動の水平面内での2方向性に関する補 正係数である. R_L は集積場技術指針²⁾の簡易推定法よりN値5相当の液状化強度比として $R_L = 0.254$ と設定した. C'は初期せん断状態の地盤の液状化強度比の割増係数²⁾(=1.2)である.本稿では、 C_1 は解析による $\sigma'_{m0}/\sigma'_{v0}$ とし、

 $C_2 = 1.62, C_3 \cdot C_4 = 1.0, C_5 = 0.9$ として F_L 値を算出し比較を行う.

4. 解析結果

図1,図2に示す節点(a2,a3,b3)における水平加速度と,要素 (A2,A3,B3)の最大せん断応力の時刻歴を図4に示す.中央断面で は、2次元解析と3次元解析の位相はよく一致しているが、3次 元解析の中央部と側方部では位相差が生じている.これは、中央 と側方での堆積層厚が異なるためと考えられる.

液状化判定結果として、図5と図6に方法1によるF_L値を、図 7と図8に方法2によるF_L値を示す.本結果より、方法1と方法 2を比較すると、中央断面のF_L値は、2次元・3次元解析それぞ



図4 時刻歴応答値

れ概ね同じ分布傾向である.次に、2次元解析と3次元解析を比較すると、方法1、方法2とも法肩部の F_L 値は似た 分布傾向を示すが、法尻部では2次元解析の方が小さくなっている.これは、3次元モデルでは中央部よりも層厚 が薄く拘束度の大きい側方部で慣性力を負担しているためであると考えられる.また、3次元解析では、方法1で は方法2に比べ側方部での F_L 値を過大評価していることが確認できる.側方部では、ZX面内の単純せん断成分以 外のせん断成分の影響が大きくなるため、 $\tau_{max} \ge \sigma'_{m0}$ を用いた液状化判定を用いることが必要であると判断できる.

5. 結論

堆積場の2次元・3次元地震応答解析を実施した結果,3次元解析の中央断面における応答値は2次元解析と比較 的よく一致していること,3次元解析の結果では,堆積場側方の挙動が中央断面部とは異なる挙動を示すことを確 認した.今後は,3次元解析結果を用いた液状化の評価方法について更なる検討を実施するとともに,すべり安定 性の評価を行い,3次元的地形が堆積場の安定性に及ぼす影響を明らかにしていく予定である.



参考文献

1) 安田・安達:格子状改良による宅地の液状化対策でのせん断応力の扱い,土木学会第69回年次学術講演会,2014.2)経済産業 省:鉱業上使用する工作物等の技術基準を定める省令の技術指針,pp113-120,平成24年11月30日.3)岩崎・龍岡ら:砂質地盤 の地震時流動化の簡易判定方法と適用例,第5回地震工学シンポジウム講演集,pp641-648,1978.

-347