

神戸大学大学院

学生員○江南 和彦

神戸大学都市安全研究センター

正会員 吉田 信之

神戸大学工学部

正会員 西 勝

神戸大学工学部

学生員 青森 将志

1. はじめに

阪神淡路大震災では埋め立て地や臨海部において大規模に液状化現象が発生し、地盤の沈下や流動変位によって多大な被害が生じた。また内陸部においては、液状化に起因すると思われる地すべりのな地盤変状が傾斜角 4° 程度の宅地緩斜面でも見られた。本研究では、簡易算定法の一つであるByrne法¹⁾を用いて、地震による宅地緩斜面の残留変位量の算定を試み、その適用性について考察するとともに、残留変位発生メカニズムについても検討した。

2. 解析対象地の概要

解析対象とした斜面は、西宮市内にある隣接する宅地造成斜面二箇所であり、それらの断面図を図-1および図-2に、地盤データを表-1に示す。両解析地ともに基盤層と考えられる大阪層群の上に沖積砂層が堆積しており、その上に盛土による宅地造成がなされている。これらの宅地造成斜面は阪神淡路大震災の際、地すべりの的に変形し地表面で0.3~0.7m程度の変位が報告されている。

3. 解析手法

Byrne法では図-3に示すように半無限長斜面の下部が一様に完全液状化するものと考え、斜面を液状化層と非液状化層からなる2層構造にモデル化する。液状化層を弾性体、非液状化層を弾完全塑性体と仮定し、図-4に示すように液状化発生後の液状化層の応力-ひずみ関係として、線形または非線形いずれかの関係を用いることができる。液状化発生後の残留変位は、静的変位と動の変位の2つの要素から構成されると考える。静的変位は液状化により地盤の剛性が著しく低下した結果、すべり土塊の自重によって生じる変位である。動の変位は主として地震動による慣性効果によって生じる変位で、液状化が瞬時に起こりすべり土塊に初期変位速度 v_0 が発生するものと仮定して仕事とエネルギーの

表-1 解析斜面の地盤データ

		斜面1	斜面2
N値	盛土	7	4
	沖積層	12	12
	大阪層群	30	30
細粒分含有率(%)	盛土	30	30
	沖積層	15	15
湿潤単位体積重量(kN/m^3)		18	18
飽和単位体積重量(kN/m^3)		19	19
平均地下水位(m)		4.5	2.0
(盛土+沖積層)の平均層厚(m)		9.5	7.0
斜面傾斜角(deg)		5	4

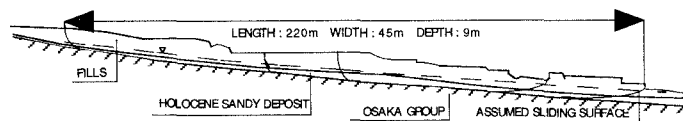


図-1 解析斜面1 断面図

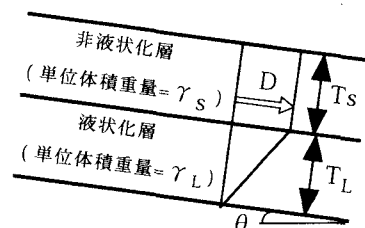


図-3 斜面モデル

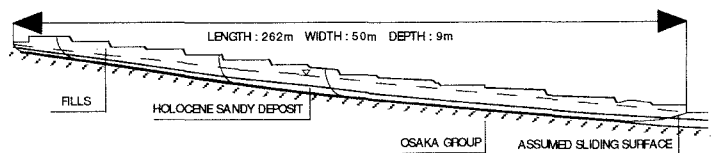


図-2 解析斜面2 断面図

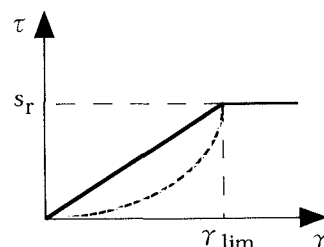


図-4 液状化層の応力-ひずみ関係

関係から計算される。最終的な残留変位量Dは、線形の応力-ひずみ関係を仮定すると

$$D = \gamma_{lim} T_L \tau_{st} / s_r + [(\gamma_{lim} T_L / s_r) \{ Mv_0^2 + \gamma_{lim} T_L \tau_{st}^2 / s_r \}]^{1/2} \quad (D < \gamma_{lim} \text{ のとき}) \quad (1)$$

$$D = \gamma_{lim} T_L \tau_{st} / s_r + (1/2) [\gamma_{lim} T_L - \gamma_{lim} T_L \tau_{st} / s_r + (\gamma_{lim} T_L \tau_{st}^2 / s_r + Mv_0^2) / (s_r - \tau_{st})] \quad (D > \gamma_{lim} \text{ のとき}) \quad (2)$$

また非線形の応力-ひずみ関係を仮定すると

$$s_r D^3 / (3 \gamma_{lim}^2 T_L^2) - \tau_{st} D - Mv_0^2 / 2 = 0 \quad (D < \gamma_{lim} \text{ のとき}) \quad (3)$$

$$D = (3 Mv_0^2 + 4 s_r \gamma_{lim} T_L) / \{ 6 (s_r - \tau_{st}) \} \quad (D > \gamma_{lim} \text{ のとき}) \quad (4)$$

のように求まる。Byrne法に必要なパラメタは、解析対象地の斜面形状や標準貫入試験のN値等に基づいて決定できる。初期変位速度 v_0 については、既往の研究²⁾等を参考に0.2～0.7m/s程度と推定した。入力パラメタを表-2にまとめて示す。なお解析では0.02m/s～1.0m/sの初期変位速度で計算を行い(cases1～3とcases4～7)、また、変位量に及ぼす液状化層厚の影響を検討するため斜面2で液状化層厚を変化させた計算(cases8～12)も行った。

4. 解析結果

表-2最下2段に解析結果をまとめて示す。変位量は、斜面1では応力-ひずみ関係に線形関係を仮定したときで初期変位速度の大きさに応じて0.976～1.363m、非線形関係を仮定したときで1.409～1.712mであり、斜面2では各々0.897～1.374m、1.604～1.889mである。応力-ひずみ関係の線形、非線形にかかわらず初期変位速度の増加とともに変位量も徐々に増加していることが分かる。なお v_0 は0.2～0.7m/sであったと推測されることから、斜面1におけるcases1～2、斜面2におけるcases5～6に該当する変位量が阪神淡路大震災で発生した実変位量である0.3～0.7mと比較できるものと考えられる。cases8～12の結果より応力-ひずみ関係の線形、非線形に関わらず変位量の算定に及ぼす液状化層厚の影響は非常に大きいと言える。また、初期変位速度や液状化層厚が同一の場合、応力-ひずみ関係で非線形関係を仮定したときの方が線形関係の時よりも大きな変位量を与えることが分かる。しかし初期変位速度や液状化層厚が変位量に与える影響の程度はほぼ同じであると思われる。以上のことより、Byrne法を用いて変位量の算定を行う際にはパラメタの中でも液状化層厚の決定が非常に大きな要素であるといえる。ここでは、道路橋示方書・同解説³⁾に規定されている方法に従って、解析対象斜面内の地下水面以下の土層では完全液状化と判定し T_L として入力したが、そうでない可能性がある。また、不完全液状化の場合の変位量は完全液状化の場合よりも小さくなる。これらのことが変位量を過大評価した要因の一つではないかと考えられる。

5. おわりに

本研究ではByrne法を用いて宅地緩斜面の地震後残留変位量の算定を行った。その結果、変位量の算定に及ぼす液状化層厚の影響が非常に大きいということがわかった。なお、同一斜面において有効応力に基づいた二次元有限要素法を用いた液状化解析を行い考察を行っているが、紙数の都合でここでは省略した。

表-2 入力パラメタおよび結果

パラメタ	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	case9	case10	case11	case12
	斜面1			斜面2								
τ_L (kN/m ³)	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
τ_c (kN/m ³)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
T_L (m)	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0
T_c (m)	4.5	4.5	4.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
s_r (kPa)	29.04	29.04	29.04	24.37	24.37	24.37	24.37	24.37	29.87	41.99	54.76	50.89
γ_{lim} (%)	34.02	34.02	34.02	38.24	38.24	38.24	38.24	38.24	33.39	26.62	22.31	23.42
θ (deg)	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
v_0 (m/s)	0.2	0.5	1.0	0.02	0.2	0.5	1.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
変位量	線形	0.976	1.082	1.363	0.897	0.925	1.052	1.374	0.925	0.591	0.288	0.149
(m)	非線形	1.409	1.475	1.712	1.604	1.618	1.688	1.889	1.618	1.076	0.671	0.303
												0.174

【参考文献】 1)Byrne,P.M. A model for predicting liquefaction induced displacements due to seismic loading ,2nd Inter.Conf.Recent Adv .Geotech.Earthquake Engng.and Soil Dynamics,St.Louis,Missouri,USA,Paper NO.7.14.1991
2)Kotoda,K.,Wakamatu,K.and Midorikawa,S. Seismic microzoning in soil liquefaction potential based on geomorphological land classification. Soils and Foundations, JGS, Vol.28, No.2, pp.127-143.1988 3)日本道路協会 道路橋示方書・同解説(V 耐震設計編),1996