道路斜面における液状化に因らないすべり発生量予測に関する研究 ~有限差分法に基づいた時間履歴解析について~

鹿島建設技術研究所 正会員 ○李済宇 吉迫和生 大保直人 東京ガスパイプライン技術センター 正会員 坂上貴士

1.研究の目的

液状化状態には至らないが間隙水圧上昇による地盤強度低下に起因した斜面の PGD(Permanent Ground Deformation)発 生量を予測するため、著者らは動的遠心模型実験により道路上の緩斜面を対象としたすべり実験とそのモデルを対象と した数値解析を実施してきた。今回、繰返し載荷時の間隙水圧上昇による強度低下を考慮した時間履歴有効応力解析を 実施し、斜面の傾斜角度、入力地震動の特性等による緩斜面における PGD 発生量を比較・検討したので、その結果につ いて報告する。

2. 解析モデル概要

著者らが実施してきた遠心模型実験では、図・1 と同様に上部地盤を不飽和砂層が、下部地盤を飽和シルト質砂層 が形成する条件下で、正弦波を地震動として入力した実験を行い、加振時の下部斜面地盤(飽和シルト質砂層)での 過剰間隙水圧の上昇と非可逆的せん断変形の発生を確認している。なお、殆どのせん断変形が下部斜面地盤におい て発生していることから、遠心模型実験において緩斜面の水平変位は地震動の振幅によって発生する地盤変位に加 え、下部斜面地盤での有効応力の低下に伴う塑性変形に大きく起因すると考えられる。これらの実験結果を踏まえ、 今回の数値解析においても加振時繰返しせん断荷重による飽和層での過剰間隙水圧の発生を再現するため、有限差 分法をベースとした FLAC2D V5.0(Fast Lagrangian Analysis of Continua²)を採用し、式-1に示す FINN-BYRNE モデルを用いて加振時飽和地盤内での過剰間隙水圧の上昇をシミュレートしながら Mohr-Coulomb 破壊基準を基 本とした完全非線形有効応力解析を行った。

ここで、 $\Delta \varepsilon_{vd}$ =体積ひずみ、 ε_{vd} =非可逆的体積ひずみ累積増分、 γ =繰返しせん断振幅、 C_1 、 C_2 =定数を示す。

解析に用いた地盤物性値は表-1 に示してある。また、斜面の地盤構成及び入力波は遠心実験のものを実物スケー ルに換算したものである。図-1 に示すようにモデルの低部から入力地震波が伝播していく際に解析モデルの側面境 界からの反射による影響を防ぐため、Free-field boundary(粘性境界)を導入した。また、遠心実験に使われた剛土槽 による側面変位の拘束効果を考慮するため図-1 に示すようにモデルの両側面に弾性ゾーンを挿入した。入力地震動 は遠心模型実験で使用した正弦波(Casel の最大加速度=335Gal, Case2 の最大加速度=476Gal, 卓越周期=2Hz)を入力 波として採用した。また、斜面勾配変化の影響検討を実施した解析ケースは表-2 に示すとおりである。

3. 数値解析結果

図・2に遠心模型実験と同様なモデルにおいて数値解析による下部の飽和地盤における加振時過剰間隙水圧の変化 を示す。遠心模型実験の結果と同様に、加振開始後の振幅の増加に伴い過剰間隙水圧が発生し、実験時の計測され たピークの値(Case1≒59kPa)に近接する過剰間隙水圧を示している。また、過剰間隙水圧の上昇はあるものの、有 効応力がゼロとなる完全液状化状態(全応力=70kPa)までは至ってない結果を示している。図・3には加振開始後過剰 間隙水圧の上昇に伴い発生する斜面中央部における地盤の水平変位を表す。異なる入力時地震動に関係なく加振開 始から過剰間隙水圧の上昇に伴って斜面の下流側に非可逆的変位が進み単調に増加している。斜面の水平変位は遠 心実験と類似に入力地震動における振幅の大きい Case2 で大きく発生し、最大変位が倍以上大きく計算された。こ れは、過剰間隙水圧による有効応力の低下が下部斜面地盤における塑性変位の発生を促進しているためと思われる。

キーワード 地震、時間履歴解析,道路斜面,永久変位,有限差分法 連絡先:〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 TEL 042-489-7157 FAX 042-489-7034 E-mail jaylee@kajima.com

図・4 は不飽和砂層の密度の変化による斜面中央部における水平変位(加振時刻20秒の時)の解析結果を示すもので あり、密度が 1.9g/cm³ まで増加すると変位が顕著に増加することを表す。また、図-5には表-2のケースごとに斜 面の傾斜変化による飽和層における斜面中央部における水平変位の解析結果を示す。この結果より斜面中央部の地 盤変位は斜面傾斜に増加に伴い急傾斜において変位が大きく計算されたことと、特に飽和地盤を覆っている不飽和 地盤の上部傾斜により斜面の水平変位が大きく増加することが確認できた。

4. おわりに

今後は、多様な地盤構成、地下水位、実測波等の地震動の種類による、地震時に発生する斜面すべり量予測解析 手法の検討・検証を進める予定である。

参考文献

- 1) 吉迫ら:道路斜面における液状化に因らないすべり発生量予測に関する研究~動的遠心模型実験結果(その2) ~、地盤工学会第59回年次学術講演会、平成17年7月
- 2) LEE et al. : Centrifuge Modeling for Sliding of Gentle Slope on Partially Saturated Fine Sand Subject to Sinusoidal Ground Motion, Proc. of 4th ICEGE, GREECE, JUN. 2007

Soil	Dry density	Shear Modulus	Bulk Modulus	S-wave velocity	Rayleigh Damping	Cohesion (kPa)	Friction angle (°)	Poisson's ratio	FINN-BYRNE coefficient	
	(t/m^3)	(kPa)	(kPa)	(m/sec)					C1	C2
Unsaturated Sand (upper)	1.530	6.61E+04	1.98E+05	186	0.50/	5.0	40.0	0.32	0.086	4.625
Saturated Sand (Lower)	1.512	4.22E+04	1.27E+05	167	(211 ₋₇)	11.3	33.9	0.35	0.764	0.523
Foundation	2.700	1.00E+06	1.67E+06	609	(2HZ)	-	-	0.25	-	-

表-1 解析用地盤物性值

表-2 道路傾斜の影響の検討ケース

5-7	傾斜角度				
	上部地盤(不飽和)	下部地盤(飽和)			
遠心実験	15%	15%			
<u> 後辺 大丘 T</u>	1.0%	10%			
円牛 们 1	10%	5%			
<u> 後辺 北丘 11</u>	5 0/	10%			
丹午 17月 11	J%	5%			



25m



40

ed Siltys

10s (ex.)

15s (ex.

20s (ex.

50



図・4 不飽和地盤の密度による斜面中央部の水平変位 図・5 異なる斜面傾斜による斜面中央部の水平変位