

滑動崩落の再現解析による被害要因の検討

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 ○門田 浩一
 パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 本橋 あずさ

本論文では、東日本大震災において仙台市の盛土造成地で発生した滑動崩落の被害形態の中で、最も発生数が多い地すべりの変形の再現解析及び発生要因の検討を行なった。再現解析は、被災宅地の地質調査結果を用いて、二次元動的有効応力モデル（FLIP）によるケーススタディを実施すると共に、2005年宮城県沖地震の波形を用いた解析も行い、被災盛土の耐震性及び地すべりの変形の発生要因について考察した。

1. 検討対象地区の地盤状況

地すべりの変形により、0.5m～2m以上の顕著な水平変位が発生したA地区を対象に再現解析を実施した。変形部（図1中の設計上のすべり面内）のN値は $N \leq 4$ が多く、地下水位はGL-2m前後と高い位置にある。せん断波速度の $V_s=140 \sim 200$ m/sの境界ラインは、すべり面及び被災宅地の分布と概ね一致していた。

飽和度 $S_r=80 \sim 90\%$ 、細粒分含有率 $F_c=40\%$ （粘土分 $C_c=25\%$ ）、含水比 $w_n=35\%$ 、液性限界 $w_L=50 \sim 65\%$ 、塑性指数 $I_p=25$ 、湿潤密度 $\gamma_r=16 \sim 18$ kN/m³であり、物理特性からは、液状化しにくい材料といえる。

また、三軸圧縮試験（Cub）による盛土の有効応力表示の強度定数（ c' 、 ϕ' ）は、粘着力 $c'=5 \sim 6$ kN/m²、内部摩擦角 $\phi'=34 \sim 36^\circ$ であり、締固め試験による締固め度は $D_c=86 \sim 89\%$ と、やや緩い状態を示している。

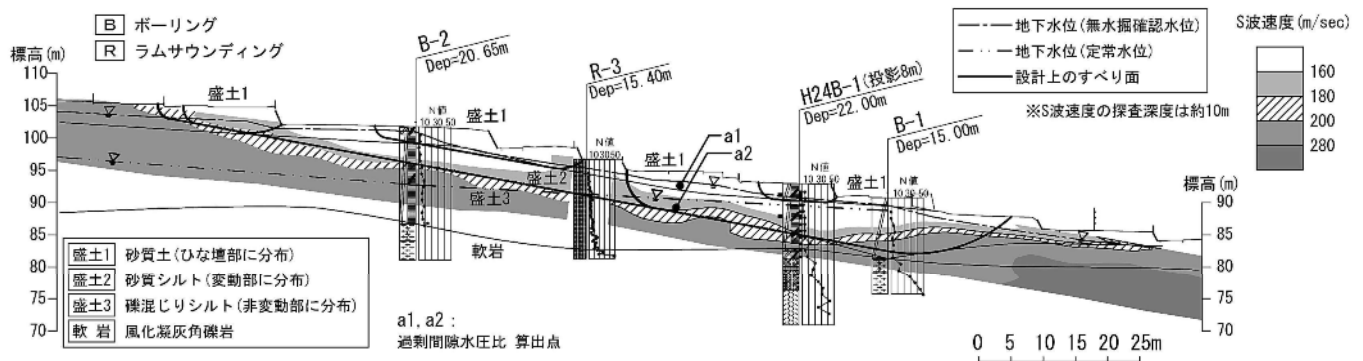


図1 A地区の地質断面図及びせん断波速度分布図

2. 解析モデルの設定

解析に用いる地震波形は、近傍の観測点における地表面波形（東北工業大学アレー強震観測システム Small-Titan【AKA013】：最大加速度 521gal）を抽出し、一次元地震応答解析により、工学的基盤まで引き戻した波形を用いた（図2）。2005年宮城県沖地震（観測点は同じ：最大加速度 200gal）も同様である（図3）。

解析モデルの地層区分は、図1に示す土層及びせん断波速度分布より設定した。盛土造成地の外形は、被災前の都市計画図等を用いて再現した。解析パラメータで、盛土層の湿潤単位体積重量及び強度定数は、物理試験結果、三軸圧縮試験結果をそのまま用い、軟岩は岩種やN値に応じて、一般的な値を参考に設定した。各層のポアソン比（ $\nu=0.33$ ）及び最大減衰定数（ $h_{max}=0.24$ ）は一般値¹⁾を採用し、せん断弾性係数はせん断波速度と湿潤単位体積重量より設定した。また体積弾性係数は、せん断弾性係数とポアソン比より求めた¹⁾。

盛土層の液状化パラメータは、液状化試験結果の要素シミュレーションによるキャリブレーションによって設定した。盛土3は礫が多く混じるN値6～10の固い砂質シルトであるため、非液状化層と考えた。

3. 解析結果及び発生要因の考察

FLIPは地下水位と液状化パラメータのケーススタディとし、ケースI「無水掘りで確認した水位で、液状

キーワード 盛土造成地、地すべりの変形、動的有効応力解析、過剰間隙水圧、塑性変形

連絡先 〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22番地 パシフィックコンサルタンツ(株) TEL 03-6777-1743

化パラメータあり」, ケースⅡ「観測孔で測定した定常水位で, 液状化パラメータあり」, ケースⅢ「ケースⅠの水位で, 液状化パラメータなし」の3 ケース実施した. ケースⅠ及びケースⅢでは, 設定水位から静水圧分布になっていると仮定した. また, ケースⅠと同じ条件で, 2005 年宮城県沖地震の波形を用いた解析ケースⅣを行った. なお, 盛土内の過剰間隙水圧比及び水平変位量等の着目点 a1, a2 点の位置は, 図1に示す.

ケースⅢの水平変位量は 1cm~15cm 程度であり, 実測値 0.5m~2.5m と比較してかなり小さくなっていることから, 実測値を再現するには, 過剰間隙水圧の上昇による強度低下の影響を考慮する必要があると考える. またケースⅡにおいて, 定常水位が低く宙水状の水位と差がある範囲では, 水平変位量が実測値より 1m 以上小さく算出されたことから, 過剰間隙水圧の上昇は, 定常水位以下の飽和部分だけではなく, 無水掘り確認水位と定常水位の間にある不飽和部分 ($S_r=80\sim90\%$) においても上昇したと推定される. ただし, 無水掘り確認水位以下を飽和状態と仮定しているケースⅠの水平変位量は, 全体的に実測値より大きく算出されていることから, 不飽和部における過剰間隙水圧の上昇は, 飽和部に比べると小さいと推定される. ケースⅣの結果より, 過剰間隙水圧比は 0.2~0.6 程度上昇するが, 水平変位量は 4~5cm と小さく, 無被害の当時の状況と概ね合致した. ひな壇部の最大応答加速度も 220gal 程度であり, 観測地点の最大加速度 200gal と概ね一致した.

よって, 細粒土が多い飽和及び不飽和(表層部)の緩い盛土部において, 200gal 程度の中地震動では問題ないが, 500gal 以上の大地震動により過剰間隙水圧が発生し, 流動的な塑性変形が発生したと考えられる.

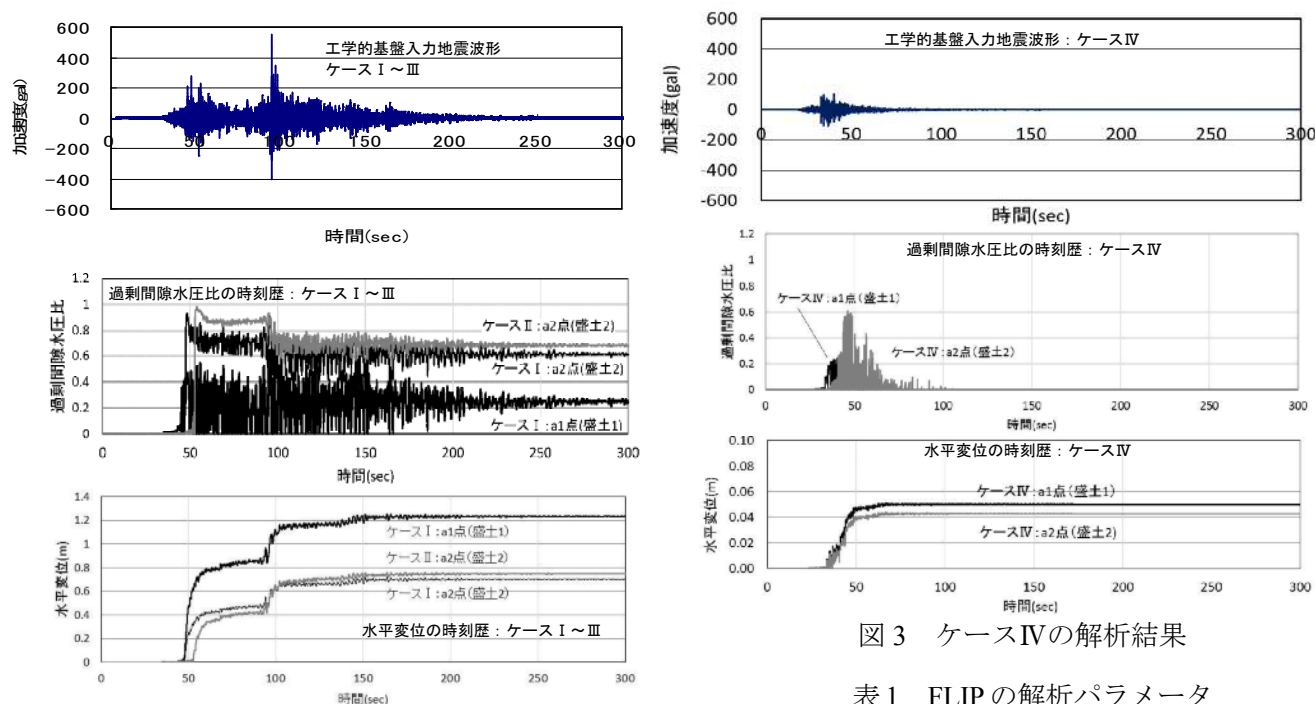


図3 ケースⅣの解析結果

表1 FLIPの解析パラメータ

パラメータ		盛土1	盛土2	盛土3	軟岩 (礫岩等)
変形特性	湿潤単位体積重量 γ_s (kN/m ³)	15.7	17.6	17.1	17.3
	せん断波速度 V_s (m/s)	130	160	240	418
	基準拘束圧 σ_{vm} (kN/m ²)	21.1	32.8	53.3	98.4
	せん断弾性係数 G_{vm} (kN/m ²)	27,068	45,999	100,269	308,620
	体積弾性係数 K_{vm} (kN/m ²)	70,588	119,958	261,485	804,832
	ポアソン比 ν	0.33	0.33	0.33	0.33
	間隙率 n	0.45	0.45	0.45	0.45
	内部摩擦角 ϕ (deg)	35.6	34.0	31.6	0.0
	粘着力 c (kN/m ²)	5.4	5.9	11.7	1375
	最大減衰定数 h_{max}	0.24	0.24	0.24	0.24
液状化特性	変相角 ϕ_d (deg)	28	28	-	-
	液状化の終局状態を規定 S_1	0.005	0.005	-	-
	液状化特性の全体を規定 w_1	4.500	5.750	-	-
	液状化特性の前半を規定 p_1	0.500	4.080	-	-
	液状化特性の後半を規定 p_2	0.300	6.000	-	-
	液状化発生の下限値を規定 c_1	4.970	3.160	-	-

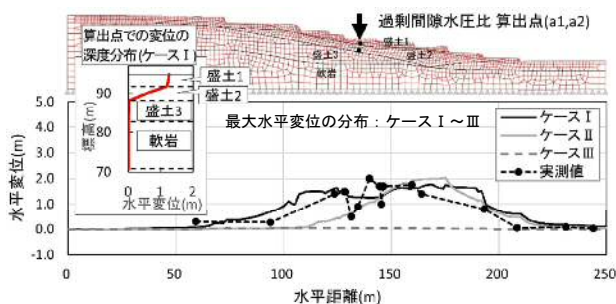


図2 ケースⅠ～Ⅲの解析結果

参考文献

- ・運輸省港湾技術研究所：液状化による構造物被害予測プログラム FLIP において必要な各種パラメータの簡易設定法, 港湾技研資料, No.869, pp.10-35, 1997.