

III-A 81

粘土地盤上の盛土の耐震安定性の評価

山口大学工学部 正会員 ○兵動正幸
 建設省土木研究所 正会員 松尾修・島津多賀夫
 山口大学大学院 学生員 荒牧憲隆

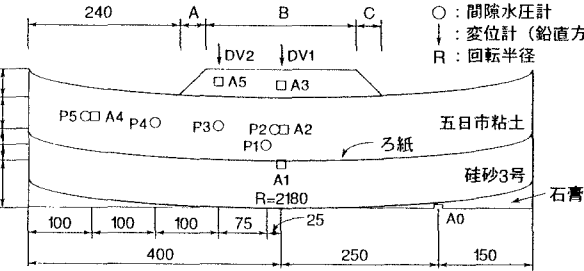
1. まえがき

粘土地盤上の盛土の耐震評価を行う場合、円弧滑り解析により粘土の一軸強度と慣性力の対比から安全率が求められている現状にある。このような方法で震度を負荷すると非現実的な最小安全率の大円弧が現れることがある。第一著者らは、提体近傍の粘土地盤の地震時破壊は、初期せん断応力下の繰返しせん断破壊であるとの観点から、初期せん断応力を受ける粘土の繰返しせん断挙動を調べてきた^{1)・2)}。その結果、粘土は初期せん断応力が大きい程繰返しせん断強度を弱め、せん断破壊を起こしやすいことを確認した¹⁾。これは、ダイレイタンスを伴う砂の挙動とは正反対であることも認められた¹⁾。本研究は、建設省土木研究所において行われた粘土地盤上の盛土の遠心載荷実験結果³⁾を対象に、粘土の繰返しせん断強度を導入した円弧すべり安定解析を行い、その妥当性について検討を行ったものである。

2. 動的円弧すべり解析法による盛土・基礎地盤の安定解析

遠心載荷実験は図-1に示すような断面形状の粘土地盤・盛土系に対して行われた。実験で用いた粘土は、広島市五日市市港で採取された海成粘土であり、その物性ならびに繰返しせん断特性はこれまでの山口大学における一連の研究^{1)・2)}において調べられたものである。粘土地盤の作成にあたっては、含水比200%で攪拌しスラリー化した粘土を支持層として事前に土槽内に打設された硅砂層の上に打設し、さらに粘土地盤表面に若干のサーチャージを加え、50gの遠心加速度で1次圧密終了まで圧密を行った。その後サーチャージを除去し盛土を築造して、同様の遠心載荷を行った後周波数60Hzの正弦波を20波ずつ、4段階の震度で加振が行われた。実験ケースは、表-1に示される4ケースである。M1では、加振により破壊が生じなかったため、盛土を継ぎ足し2倍の盛土高で実験を行ったのがM1-1である。これに対し、M2、M3は、盛土直後に未圧密の状態に加振を行った結果であり、盛土高がそれぞれM2で3m、M3で2mのケースである。その結果、M2において、図-2に示すような粘土地盤の変形と盛土の沈下が見られた。図-3に各ケースの盛土中央の累積沈下量と加振加速度との関係を示す。M1、M1-1では20cm以下の沈下であるのに対し、M2、M3ではそれぞれ最大で50cmおよび30cmに達していることがわかる。それぞれのケースの盛土・基礎地盤系に水平震度 $k_h = 0.1, 0.2, 0.3$ をそれぞれ与え修正フェレニウス法による円弧すべり解析を行った。すべり面での安全率の計算は次式によった。

凡 例
 □ : 加速度計 (水平方向)
 ○ : 間隙水圧計
 ↓ : 変位計 (鉛直方向)
 R : 回転半径



ケース	A	B	C	D	
M 1	40	240	40	40	圧密後加振
M 1-1	80	160	80	80	圧密後加振
M 2	60	200	60	60	盛土直後加振
M 3	40	240	40	40	盛土直後加振

単位: mm

図-1 実験模型断面

表-1 遠心模型実験条件

ケース名	遠心加速度	盛土高さ	盛土後の圧密状況	サーチャージ	備 考
M 1	50G	2m	圧密完了	大	
M 1-1	50G	4m	圧密完了	大	M 1の実験後、盛土の高さを増やした。
M 2	45G	3m	未圧密	小	加振前に盛土自重で変形。
M 3	45G	2m	未圧密	小	

注)盛土高さは1G場に換算した値

$$F_d = \frac{\text{初期せん断応力下(異方圧密下)における非排水繰返しせん断強度}(R_t)}{\text{自重によって発生するせん断応力+地震によって発生するせん断応力}(R)} = \frac{\{(\sigma_s + \sigma_d) / \sigma_o\}_t}{\Sigma W \cdot \sin \alpha / \Sigma W \cdot \cos \alpha + k_h \cdot \Sigma \{W \cdot (y/r)\} / \Sigma W \cdot \cos \alpha} \quad (1)$$

ここで、分母は任意の仮想すべり面上に平均的に作用している初期および繰返しせん断応力の和であり、分子は仮想すべり面内に作用している初期せん断応力と繰返し回数から決定される初期せん断応力下の動的強度である。この両者の比($F_d = R_t / R$)が最小となる円弧を様々な初期せん断応力と繰返しせん断応力の組み合わせにより見だし、それを地震時に最も危険なすべり面と仮定し検討を行った。なお、本解析では便宜上、地下水は

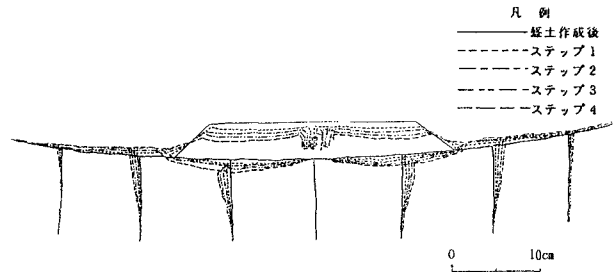


図-2 粘土地盤および盛土の変形（モデルM2）

浅は地震時の引張り力よりテンションクラックを生じるものと仮定し解析を行った。粘土地盤の動的強度として、繰返し三軸試験結果から次式¹⁾を求め用いた。

$$R_t = \{(\sigma_s + \sigma_e) / \sigma_e\}_t = \kappa N^\beta \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

ここで、 β は両対数上における動的強度線の勾配であり、 κ は繰返し回数1回における R_t の値である。今回の粘土において、 $\beta = -0.088$ であり、 κ は初期せん断応力との間に次式のような関係が認められた。

$$\kappa = 0.385 + 0.578 (\sigma_s / \sigma_e) \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$

従って、初期せん断応力比が既知であれば任意の繰返し回数における R_t は式(1)、(2)を用いることにより容易に求めることが可能である。図-4は、M1-1およびM2断面の水平震度 $k_h = 0.1$ のときの解析結果であり、堤頂部を通る最小安全率を示す円弧を破線で示した。最小安全率はM1-1で $F_s = 1.302$ で破壊しない結果となり、M2では $F_s = 0.419$ となり、破壊する結果となった。円弧の形も、いわゆる大円弧とはならず図-2の変形形状に対応したものが得られた。図-5に本解析より得られたそれぞれの実験ケースに対する安全率と加速度の関係を示す。解析結果は、未圧密地盤であるM2、M3ではいずれも安全率が大きく1を下回っており、破壊に至ったことを示している。一方、M1、M1-1においては、どちらもほぼ同じ安全率となり、200Galを超えた付近から安全率が1を切る結果となっている。解析が完全な正規圧密地盤を想定したのに対し、実験ではサーチャージによる過圧密状態であったことなどから、図-5と図-3の比較で両者の傾向は類似しているものの、完全な対応は見られない。実験精度の吟味を含め今後さらに検討していきたい。

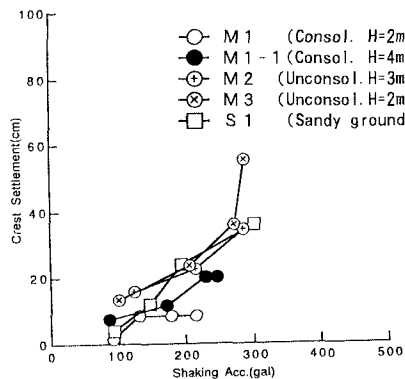


図-3 盛土中央部の累積沈下と加速度の関係

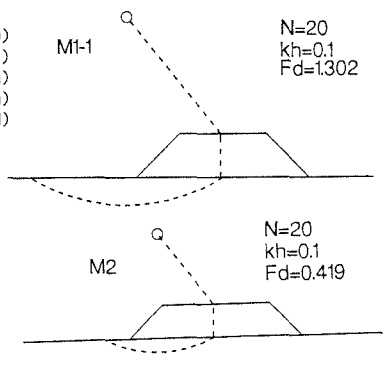


図-4 円弧滑り安定解析による最小安全率の円弧

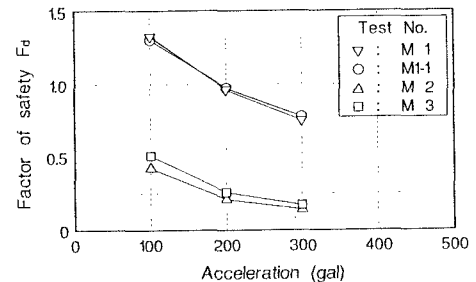


図-5 円弧滑り安定解析による安全率と加速度の関係

《参考文献》 1) Hyodo, M., Yamamoto, Y. and Sugiyama, M.: Undrained cyclic shear behaviour of normally consolidated clay subjected to initial static shear stress, Soils and Foundations, Vol.34, No. 4, pp.1-11, 1994. 2) 杉山太宏・兵動正幸他：粘土の繰返しせん断に与える初期せん断応力の影響，粘性土の動的性質に関するシンポジウム論文集，pp.133-136, 1995. 3) 島津多賀夫・松尾修・田本修一：粘土地盤上の盛土の動的遠心模型実験，土木学会第51回年次学術講演会，Ⅲ，1996，（投稿中）。