

地震時斜面安定問題を対象とした遠心場静的傾斜実験と円弧すべり計算

Centrifuge Static Tilting Model Test and Circular Slip Calculation on Seismic Stability of Slope

森 洋*・草野 郁*
Hiroshi MORI* & Kaoru KUSANO*

1. はじめに 兵庫県南部地震以降、レベル 2 地震動に対する盛土斜面のすべり変形量を評価できる Newmark 法や等価線形化に基づく動的 FEM 解析等の導入が検討されつつある¹⁾。しかし、実務設計レベルにおいては、あまり FEM 解析等の数値解析手法は適用されておらず、震度法による円弧すべり計算によって評価されることが多い。震度の決定については幾つかの見解があるが、慣用的な実務設計を見据えた上での模型実験例は少ない²⁾。本研究では、

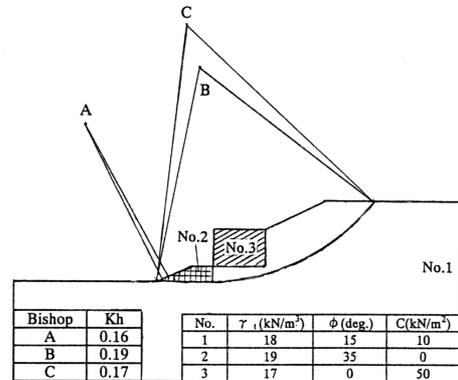


Fig.1 Circular slip calculation

静的評価手法の一つである震度法による円弧すべり手法の再評価を実験的に検討するための遠心場静的傾斜実験を行い、その結果を円弧すべり計算と比較する。

2. 円弧すべり計算事例 地震時被害に応急復旧が容易で、河川の親水性向上にも有効とされている隅田川スーパー(緩傾斜)堤防を、簡易的にモデル化した場合の円弧すべり計算結果(A・B・C)を Fig.1 に示した。隅田川スーパー堤防は、一般的に法尻付近に捨石と堤防前面にテラス構造物を伴って構成されており、今回は均質地盤(No.1)条件下で捨石(No.2)とテラス構造物(No.3)を配した。地盤表面付近に砂質地盤がある場合、A のような経験的に設定し得ない円弧すべり面が発生する。そのため、実務設計上の仮定に基づき、捨石部分を通さない条件での円弧すべり計算を行えば、B のような実設計断面に相当すると考えられる円弧すべり面を示すことができる。このことは、応力の平衡つり合い条件のみを考慮した円弧すべり計算の限界を示しており、経験的判断からも不合理な位置に円弧すべり面が現れてくることを示唆している。このように、実務設計者は自己の工学的または経験的判断から人為的に円弧すべり面の発生領域を制御し、所定の設計条件に適應させているのが実態である。また、捨石部分(No.2)に僅かな粘着力(C=0.1kN/m²)を添加させた場合の円弧すべり面(α 円弧すべり面の発生領域は制御していない)は、B と比較して若干円弧すべり半径が大きくなるが、実設計に適應できる円弧すべり面ならびに限界水平震度(Kh)を得ている。

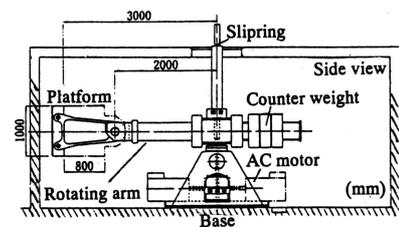


Fig.2(a) Centrifuge simulator

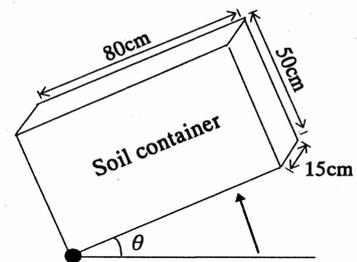


Fig.2(b) Tilting of soil container

3. 遠心加速度場での傾斜実験装置 Fig.2(a)には実物大の応力状態(50 G 場)を再現することが可能な遠心載荷実

* 東京都土木技術研究所 (Institute of Civil Engineering of Tokyo Metropolitan Government)

キーワード：遠心載荷装置、傾斜実験、円弧すべり計算

験装置を、Fig.2(b)には震度法に基づく静的評価手法の妥当性を検討するための傾斜実験装置を示した³⁾。Fig.3には、法勾配 1:1.5 とした均質地盤の斜面モデルを示した。地盤試料は、豊浦標準砂とカオリン粘土を乾燥重量比で 10:1 に混合し、含水比で約 8%、締固め度で約 88% とした。また、三軸 CD 試験より地盤物性値は、 $\phi = 32.4^\circ$ 、 $C = 6 \text{ kN/m}^2$ となった。実験土槽壁面の側面摩擦除去をシリコングリースとゴムメンブレンにより行い、天端部・斜面部等の地表面垂直変位量はレーザー変位計 (No.1 ~ No.6) より測定した。また、側壁面摩擦の影響によるすべり破壊面を観察するため、両側壁面付近と中央部分に杭状に着色した実験試料を配した。

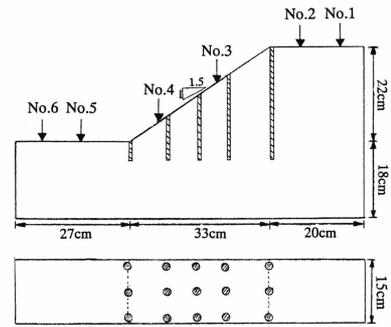


Fig. 3 Slope model

4. 実験結果と円弧すべり計算 Fig.4 には、傾斜実験より得られる傾斜角 (θ) から変換した換算水平震度 ($K_h = \tan \theta$) と各垂直変位量の関係を示した。傾斜する過程において、天端部 (No.1・No.2) では沈下、斜面部 (No.3・No.4) で隆起する傾向にあった。斜面崩壊は一瞬にして起きるため、それ以降の測定は不能となるが、破壊土槽傾斜角は 10.7° となり、限界水平震度 (K_h) で約 0.19 となった。三軸 CD 試験より得られた物性値を用いて円弧すべり計算を行うと、 K_h は 0.18 となり実験値と一致する傾向にあった。Fig.5 には実験土槽中央部から切出したすべり破壊面と、円弧すべり計算より求めた円弧すべり面を示した。観察されたすべり破壊面は大きく二本現れている斜面先破壊であったが、複合的なすべり破壊を起こしている可能性が考えられる。以上のように、傾斜実験と円弧すべり計算で得られる K_h はよく一致しているが、すべり破壊面は円弧すべり面よりも表層付近で現れている。パラメトリックスタディーを行った結果、得られる円弧すべり面は ϕ よりも C の値に大きく依存する傾向にあった。実際の模型実験は平面ひずみ条件で行われているため、今後は不飽和の地盤材料を対象とした平面ひずみ試験結果を考慮した再評価が必要であると考えられる。

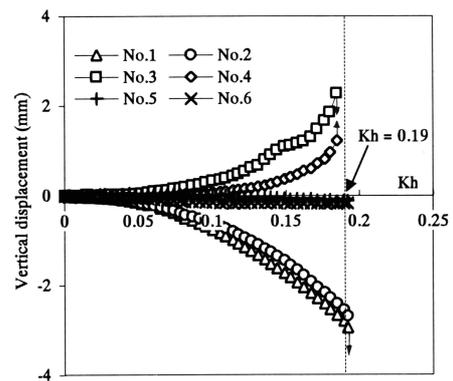


Fig.4 K_h and Vertical displacements

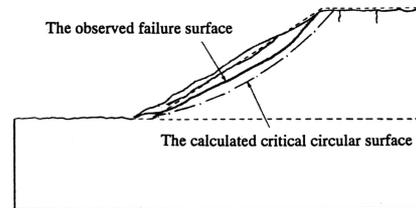


Fig.5 Slip failure surface

5. まとめ 震度法を再現させるために行った傾斜実験は、慣用的に用いられてきた円弧すべり計算の適用性を十分検討できるものであり、静的耐震評価の有効性を示す実験手法であることを確認できた。現在、同実験モデルでの振動実験を進めており、震度と変形量の関係を考慮した耐震設計手法の確立を試みている。

5. まとめ 震度法を再現させるために行った傾斜実験は、慣用的に用いられてきた円弧すべり計算の適用性を十分検討できるものであり、静的耐震評価の有効性を示す実験手法であることを確認できた。現在、同実験モデルでの振動実験を進めており、震度と変形量の関係を考慮した耐震設計手法の確立を試みている。

引用文献 1)地震時の斜面の不安定化メカニズムと設計法に関する研究委員会(1999):地震時の斜面の不安定化メカニズムと設計法に関するシンポジウム(発表論文集). 2)伊藤洋・渡辺啓行(1989):強地震動下の大規模斜面の安定性評価に関する実験的・解析的検討、土木学会論文集、第 406 号/ -11、p.233-242. 3)本田満彦、Jingzhe Zheng、鈴木理恵、大保直人(1993):動的遠心模型実験における土槽境界処理と加振誤差に関する検討、鹿島技術研究所年報、第 41 号、p.193-198.