

埼玉大学工学部 正 員 渡辺 啓行
 埼玉大学大学院 学生員 ○五月女 敦
 川田工業(株) 中島 良樹

③ まえがき 現在、斜面およびフィルダムの動的解析では、等価線形解析が一般的に行なわれている。したがって、斜面の滑動によるすべり土塊の平均加速度が降伏加速度を超過して以後の計算では土塊を切り離すことはなく、引き続き完全形状の連続体として計算を行なうことになる。土塊の超過加速度はすべり線上の力の釣り合いからすべり線上下の下部堤体の加速度と考えられるが、土塊を切り離した場合と連続とした場合とでは応答に差が生じるはずである。本研究では、潜在すべり面にジョイント要素と呼ばれるすべり要素を導入した、静的および動的破壊解析手法を開発し、土塊を切り離した場合と連続させた場合との応答を比較検討することを目指す。

④ 解析方法 ①すべり要素としてGoodmanのジョイント要素を用いた。平均垂直応力が引張りとなると、割離状態となりジョイント内の全部材力を0とする(図1(b))。また、せん断方向において平均せん断応力の絶対値が降伏応力 τ_y と越えたと滑動が生じると仮定した(図1(a))。②非線形多自由度の応答解析はいくつあるが、ここでは荷重伝達法と呼ばれる反復法を用いた。③運動方程式を数値積分するのに、使用実績があり信頼性のある線形加速度法を用いた。

⑤ 非線形解析の収束性 荷重伝達法の収束を調べるのに図2を用いた。繰り返し回数 n 、等価節点外力 P_n 、 Q_n 、調整外力 f_{1n} 、 f_{2n} 、収束を速める加速係数 α を α とすると、荷重と変位は以下の式で表わされる。

$$X_{2,i} = \frac{(P_{1,i-1} + E f_{1,i-1})(k_2 + k_3) + (P_{2,i-1} + E f_{2,i-1}) k_3}{k_1 k_2 + k_2 k_3 + k_3 k_1} \quad X_{2,i} = \frac{(P_{1,i-1} + E f_{1,i-1}) k_3 + (P_{2,i-1} + E f_{2,i-1})(k_1 + k_2)}{k_1 k_2 + k_2 k_3 + k_3 k_1}$$

ここで係数行列の最大固有値が1以下となる条件より、上式が収束するための必要十分条件は $1 \leq \alpha < 2$ となることがわかった。図3は、各加速係数の収束性を示す一例である。

⑥ 数値解析 静的解析を行なうモデルを図4に示す。傾斜実験に用いた物性値(変形係数 50.5 kJ/cm^2 、ポアソン比 0.3 、粘着力 259 cm^2 、内部摩擦角 36 度、単位体積重量 1.372 cm^3)を使い、斜面を反時計回りに傾斜させて破壊させるシミュレーションを行なった。傾斜実験では、 37 度で円弧すべりが生じた。1分し計算結果は、粘着力 78 cm^2 のときジョイント要素1、4に滑動が生じ表層破壊した。

動的解析を行なうモデルを図5に示す。変形係数 3000 kJ/cm^2 、ポアソン比 0.3 、単位体積重量 2.02 cm^3 の物性値を用い、地動として最大加速度 200 gal 、周期 0.2 秒の正弦波を与えた。図6は、線形の水平変位を示したもので、上部へ応答の伝わる様子がわかる。図7は、割離が生じた場合のすべり土塊のある斜面の水平変位である。左図は右図に比べて収束判定を厳しくしている。

⑦ 結論 ①すべり要素を導入した基本的な静的および動的解析手法を開発した。②荷重伝達法において、ばね定数の違いによる収束性を明らかにした。③傾斜実験と同じ傾斜角で破壊させるには、粘着力を小さくしなければならなかった。この原因は、要素分割の粗さにより本来の破壊面が形成されなかったことによると思われる。以下図4の小さいアースダムの数値実験より得た結論を述べる。④ジョイント要素の剛性が構造物部分の剛性より小さいと、すべり土塊が別の振動を起こすことが判明した。線形要素の剛性を1とした場合、ジョイント要素の剛性を10以上とする必要が認められる。⑤すべりジョイント要素が割離状態にあるにも関わらず、土塊に振動が生じていた。これは収束が完全でないゆえに強制振動が加算されたためであり、収

束判定を厳しくすることにより低減できた。⑥加速度応答にぶれが生じる原因の1つは、減衰項の無いために初期振動が残っていることである。よって、今後減衰項を入れ、初期応力も考慮した解析を行なう予定である。

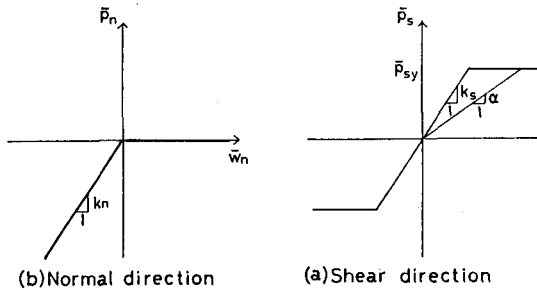


図 1

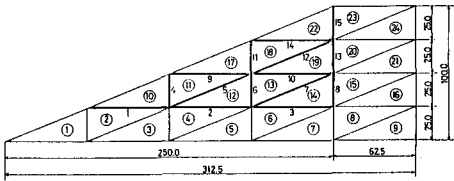


図 4

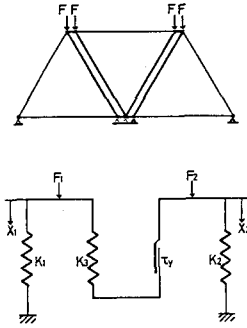


図 2

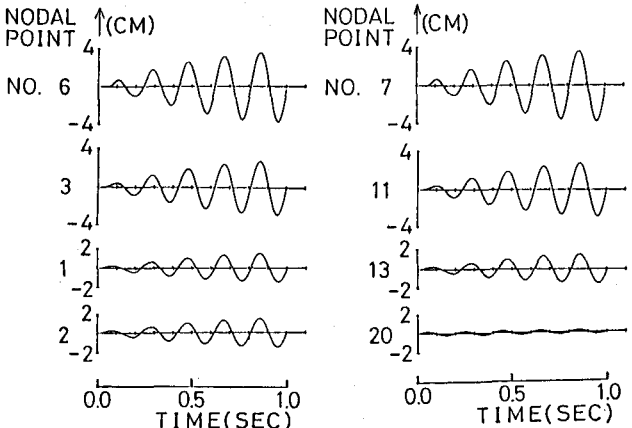


図 6

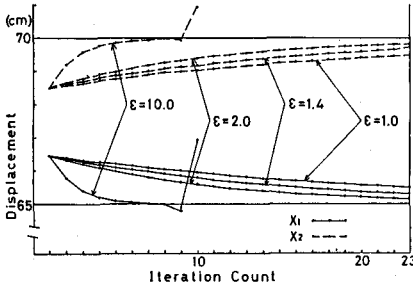


図 3

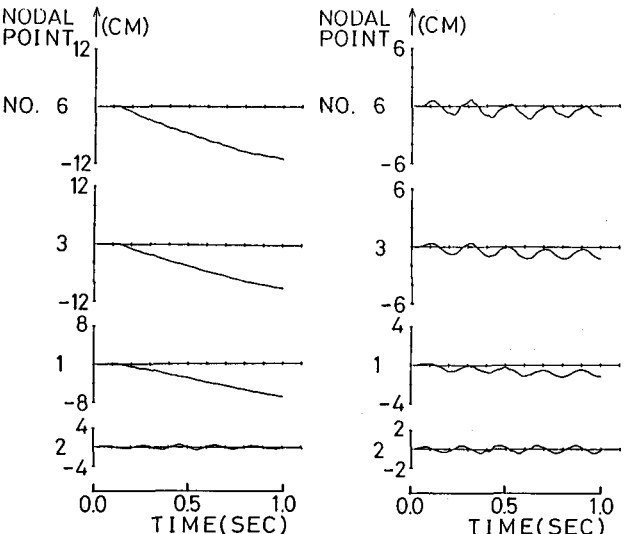


図 7

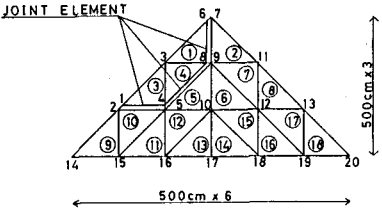


図 5

参考文献 ①渡辺啓行：動的解析の方法，
 “大ダム” No. 87 ②Richard Goodman：A MODEL FOR THE MECHANICS OF JOINTED
 ROCK，J. Soil Mech. Found. Div, ASCE，Vol. 94，1968