

I-547 長大斜面の動的破壊解析に関する研究

埼玉大学工学部 正員 渡 辺 啓 行
電源開発(株) 正員 O五月女 敦

1 はじめに 長大斜面の地震時安定性を調べるために原位置材料としての洪積砂で一定形状の斜面模型を作成し、模型を振動台上にのせ水平振動を加える実験を行い模型斜面の振動特性や振動破壊現象を把握した。ついで、材料非線形性を考慮した等価線形解析、ジョイント要素を導入した非線形解析で実験をシミュレートし現象の追跡を行うことにより動的解析の妥当性を示すと共に、実験と数値解析で振動特性や振動破壊パターンを解明することを目的とする。

2 実験 洪積砂(平均真比重: 2.652, 最適含水比: 16.2%, 最大乾燥密度: 1.72gr/cm^3)の含水比を調整したもの(平均含水比: 14.5%)を用いて砂箱(内のり寸法、幅4.5m, 長さ10m, 高さ2m)にM1~M15の15模型(M1: 天端幅: $W=2.1\text{m}$, 高さ: $H=1.0\text{m}$, M2: $W=1.4\text{m}$, $H=1.0\text{m}$, M3: $W=0.7\text{m}$, $H=1.0\text{m}$, M4: $W=0.35\text{m}$, $H=0.5\text{m}$, M5: $W=1.0\text{m}$, $H=1.5\text{m}$, M6~M15: M3と同寸法, ただしすべての模型が斜面勾配1:2)を製作し振動台上にのせ水平振動を加える実験を行った。模型M1~M5は、振動特性を調べるために入力加速度を25, 50, 75, 100galに固定し各々ごとに振動数を0.5 またわ1.0 Hz刻みで10Hz~30Hzの間で増減することにより変化させる共振実験を行った。図1に実験結果による共振曲線の一例を示す。模型M6~M15は、振動破壊特性を調べるために各々2模型ずつ振動数を5, 10, 15, 20, 25 Hzに固定して入力加速度を段階的に増加(約20gal)し模型盛土斜面にクラックおよび破壊が生じるまで加振を行った。破壊は同一人による目視と変位計により判断した。図2に破壊時の水平加速度応答倍率分布図の一例を示し、図3, 4に破壊形状図を示す。

3 解析 解析に用いた物性は、常時応力計算時にはP波, S波速度を測定して $G_0 = 58(\text{kgf/cm})$, $\nu = 0.3$ を与え、動的定数は低拘束圧中空ねじれ試験より求めた双曲線モデルで与えた。すなわち、 $G_0 = 948 \times \frac{(2.7 - e)^2}{1 + e} (\sigma'_c)^{0.525}$, $\gamma_r = 2.69 \times 10^{-4}$, $h_{\max} = 0.14$ とし、全模型の平均値として $e=1.1$, $\rho=1.39(\text{gr/cm}^3)$ を与えた。等価線形解析においては、動的定数のひずみ振巾異存性に適合するまでくり返し計算を行った。M3模型は入力加速度を25galに固定し、入力振動数を9種類変化させて等価線形解析により共振特性を解析した。その解析結果の例を前掲図1に示す。動的破壊実験は、実験と同じケースにより、まず、等価線形解析によりシミュレートした。等価線形解析による破壊時水平加速度応答倍率分布の一例を図5に示す。その結果における最大せん断ひずみより定まる動的定数をFEM要素に与え、固定境界を除くすべての隣接要素間にジョイント要素を配置したモデルで非線形解析を行った。要素分割図を図6に、ジョイント要素の復元力特性を図7示し、強さ定数は $C=12\text{g/cm}^2$, $\phi = 36^\circ$ を与えた。その解析結果の応答加速度, 変位の一例を図8に、変形図を図9, 10に示す。

4 結論 1) 振動実験と数値シミュレーションによる共振曲線形状の一致から低ひずみ振幅における等価線形解析の妥当性を示した。 2) 破壊とみなした地動加速度での応答解析では頂部近傍の剛性が極端に低下している。このことは頂部での形状に加えてインピーダンス比の急激な低下に伴い破壊時には振動エネルギーが頂部に集中することを示す。等価線形解析であるにもかかわらず現象を良好に記述している。 3) ジョイント要素を導入した不連続体解析の加速度応答波形には非線形形状がみられるが、加速度の絶対値の振幅は、等価線形解析と変わらない。 4) 実験と非線形数値解析とで模型斜面の振動破壊パターンを解明した。破壊パターンの振動特性はかなり顕著であって低振動数(5Hz)の破壊は脆性的で滑り位置がやや深く崩壊土量も多いが共振破壊(15Hz)は、法肩のゆっくりした小さい崩壊にとどまり、クラックが多い。高い振動数(25Hz)では、クラックが法面のかかなり下方から発生し、法肩直下まで拡大した後、法肩直下から崩壊する。いずれにしても破壊は頂部に発生し法面下方に発生しない。 5) 定量的な振動破壊の解明は多くのパラメーターサーベイによらなければならないが本研究ではサーベイの手法としての非線形解析プログラムの開発を達成したものである。

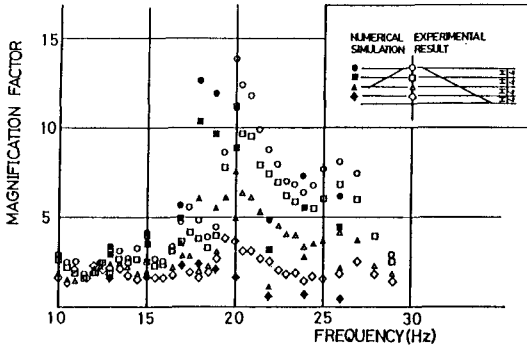


図1 中心線上測点の共振曲線(入力加速度25gal)

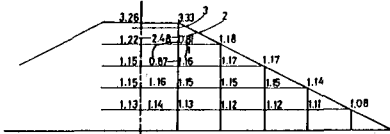


図2 実験結果の加速度応答倍率分布図
(破壊入力加速度403gal 振動数5Hz)

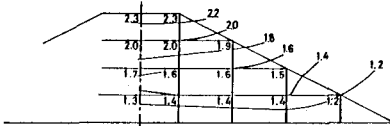


図5 等価線形解析による加速度応答倍率分布図
(破壊入力加速度403gal 振動数5Hz)

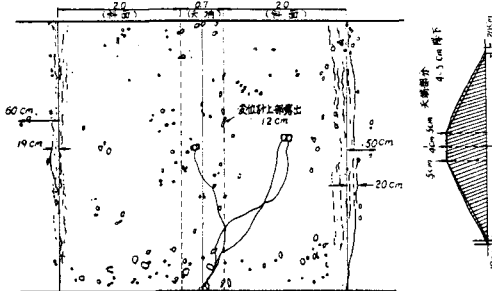


図3 破壊状態スケッチ(破壊入力加速度403gal 振動数5Hz)

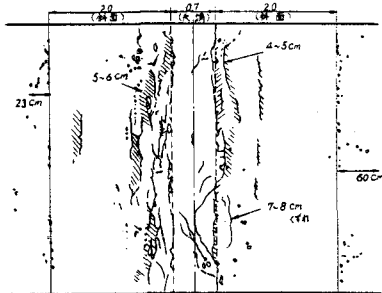


図4 破壊状態スケッチ(破壊入力加速度351gal 振動数25Hz)

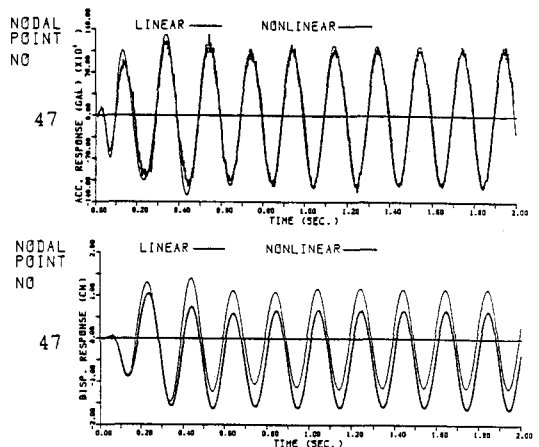


図8 解析による応答加速度および変形図
(破壊入力加速度403gal 振動数5Hz)

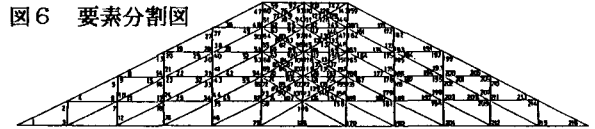


図6 要素分割図

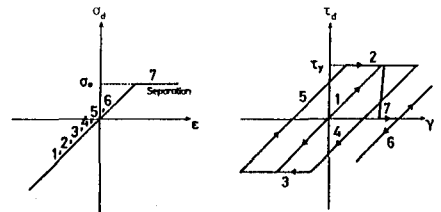


図7 ジョイント要素の復元力特性

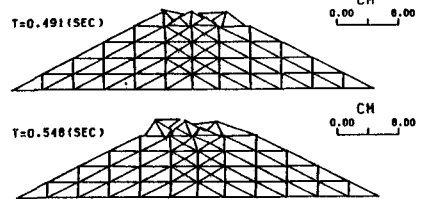


図9 解析による変形図(破壊入力加速度403gal 振動数5Hz)

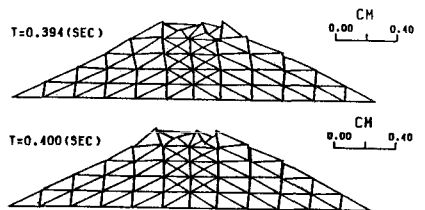


図10 解析による変形図(破壊入力加速度351gal 振動数25Hz)

参考文献 1) 土岐憲三・佐藤忠信・

三浦房紀: 強震時における地盤と構造物の間の剥離と滑動, 土木学会論文報告集, 第302号 pp.31~41, 1980,

2) 渡辺啓行: フィルダムの動的解析 Iー動的解析の方法, 大ダム, No.87, 1979-3, pp46~64