

エネルギーNewmark 法による斜面地震時安定性と滑り変位量の統一的評価 その2：地震波入力による計算

西日本技術開発(株)正会員 ○森 二郎・水原道法

中央大学名誉教授 國生剛治

中国浙江大学 方 火浪

1. まえがき

筆者らは Newmark 斜面モデルと地震波動伝播を組み合わせた解析により地震エネルギーから滑りの有無と滑る場合の変位量を統一的に評価できる「エネルギーNewmark 法」を提案した^{1), 2)}。ここでは前報その1³⁾に引き続き、同じ無限長斜面モデルに多岐にわたる観測地震波を加え、Newmark β 法で計算した結果を示す。さらに正弦波に対する応答と地震波特性との対比を行い、設計法への反映を図る。

2. 斜面モデルと解析方法

図1に示す摩擦角 ϕ （粘着力 c を包含し決定）、傾斜角 θ の無限長斜面に沿って滑る剛体ブロックのNewmarkモデルを対象にエネルギー的検討を加える。用いた基本式は前報その1と同様である。

3. 数値解析結果

観測地震波を対象に前報その1の正弦波入力と同様の検討を試みる。主としてKiK-net、K-NET から20波の地震動を収集した。解析に当たっては、0.2Hz～5Hzのバンドパスフィルター処理を施した。また、解析対象時間と

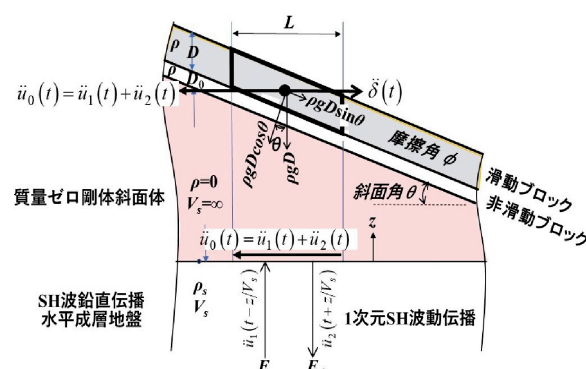


図1 解析対象の無限長斜面解析モデル

しては、原波形を最大加速度 1000gal に引き延ばして入射波として使用した場合にも、滑動の開始からほぼ終了するまでを包含できる範囲とした。収集した加速度波形は加速度や卓越周波数も様々であるが、地震波による滑りの基本的なメカニズムの把握と、正弦波との比較のため、速度応答スペクトルが単一のピークを有し、かつ卓越周期が 0.3 秒以上の波形を短周期から長周期まで 6 波形抽出した。卓越周期を 0.3 秒以上としたのは高周波成分が滑り変位量に及ぼす影響は少ないことによる。正弦波の場合と同様に、基準化上昇エネルギー(E_u/E_{u0})と基準化エネルギー比($E_{eq}/E_u/\alpha/\beta$)の関係を整理した。ここに、 α 、 β は前報と同様にそれぞれブロックインピーダンス比と厚さ波長比係数である。ただし、正弦波では E_{u0} (滑り開始上昇エネルギー)は式(1)を用いていたが、地震波の場合は1周期の定義が困難であり、また個々の地震波の特性を反映させる必要があることから、地震波ごとに最大加速度を変化させた計算を行い、滑り変位量が微少な範囲での上昇エネルギー(E_u)と

$$E_{u0} = \left(\pi \rho_s V_s g^2 \tan^2(\phi - \theta) \right) / (4\omega^3) \quad (1)$$

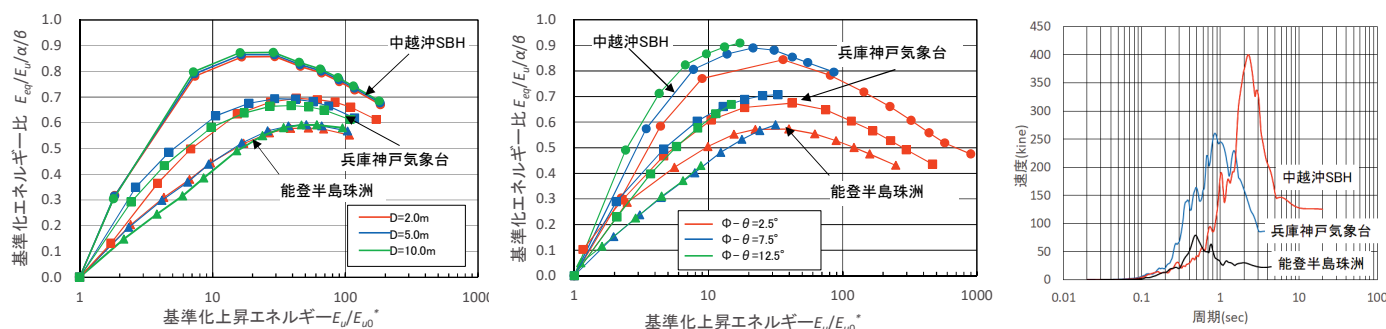


図2 代表波形の $E_{eq}/E_u/\alpha/\beta \sim E_u/E_{u0}^*$ 関係と速度応答スペクトル

キーワード 地震波動エネルギー, Newmark 法, 無限長斜面, 重力エネルギー, 摩擦角

連絡先 〒810-0004 福岡市中央区渡辺通 1-1-1 西日本技術開発(株) Tel 092-781-1403

滑り変位量(δ_r)の関係を直線で近似し、 $\delta_r=0$ での切片値を滑動開始閾値エネルギー(E_{u0}^*)とした。

図2に検討した6波形のうち、卓越周期の異なる3波について $E_{eq}/E_u/\alpha/\beta \sim E_{eq}/E_{u0}^*$ 関係と3波形の速度応答スペクトルを示す。多少のばらつきはあるものの、正弦波と同様に滑り層厚 D , ($\phi-\theta$)の変化に対しほぼ1本の曲線に集約されている(他の3波についても同様である)。しかし、縦軸の値は波形により異なる結果となっている。

図3は20波形についての $E_{eq}/E_u/\alpha/\beta \sim E_{eq}/E_{u0}^*$ 関係である。凡例は曲線のピーク値が大きい順に記載しており(カッコ内はピーク周期(秒)), 赤字で示したものは速度応答スペクトルが単一ピークのものである。図には正弦波(周期1秒)の結果も記載している。ただし、正弦波は横軸を式(1)の理論値で整理しているため、地震波との比較は縦軸のみが可能である。各曲線のピーク値に対応する横軸の値は大半が20~30の範囲に分布しているが、中には、20以下のものや50以上のものもある。3波ほどピーク値に未到達のものがあるが、これらはピーク到達前に計算によるエネルギー誤差が5%以上となったためプロットしていないためである。縦軸の値は地震波による差異が大きく、0.2~1.0の範囲に分布している。正弦波が最も大きく1.1程度であり周期に依らず一意的であるのに対し、地震波では短周期ほど縦軸が小さくなりピークの横軸値が大きくなる傾向があるが、短周期でも縦軸が比較的大きいものもある(岩手東成瀬, 岩手一関, 十勝沖広尾)。大まかな傾向として、長周期で単一スペクトルピークほどピーク値が大きくなり、波形の特性に大きく依存すると言える。

図4は速度応答スペクトルのピーク振動数 f_p に対する E_{eq}/E_u のピーク値を■でプロットしたものである。また、図中の曲線は振動数 f を変化した正弦波入力での $E_{eq}/E_u \sim E_u/E_{u0}$ 関係において、ピーク付近の E_{eq}/E_u の f に対する変化である。地震波の E_{eq}/E_u はかなりばらついているが、大部分は正弦波曲線の近傍に分布している。また、曲線から大きく外れている地震波の中で速度応答スペクトルが単一ピーク以外のものについては1次ピークを2次ピークで置き換えると図中に□で示しているように正弦波曲線に近いところに点が落ちる。ピーク振動数をいかに設定するかという課題は残るものの図3で示した正弦波曲線を基に、そのピーク振動数などを調整することで地震波に対する変位予測に適用することが可能であると考えられる。

4. まとめ

エネルギーNewmark法を用いて不規則波を対象に検討を行い、速度応答スペクトルが1つのピークを有する波形は定常波と同様に D , V_s , $\phi-\theta$ などのパラメータによらず一意的な $E_{eq}/E_u/\alpha/\beta \sim E_{eq}/E_{u0}^*$ 関係が成り立つことを示した。不規則波のエネルギー的挙動も定常波に似通っていることがわかり、地震波の変位予測に際しても定常波の結果が十分活用可能であることを示した。

参考文献:

- 1) 國生剛治(2014):地震地盤動力学の基礎—エネルギーの視点を含めて—, 第6章, 鹿島出版会, 321-352.
- 2) 國生剛治(2019):エネルギーNewmark法による地震時斜面滑り発生と滑り変位量の簡易評価, 地盤工学ジャーナル, Vol.14, No.1.
- 3) 國生・森・水原・方:エネルギーNewmark法による斜面地震時安定と変位量評価 その1:正弦波入力による計算, 土木学会第75回年次学術講演会

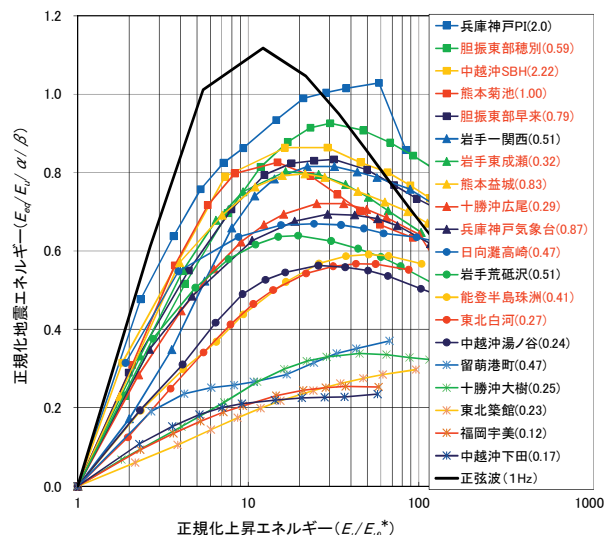


図3 20波形の $E_{eq}/E_u/\alpha/\beta \sim E_{eq}/E_{u0}^*$ 関係

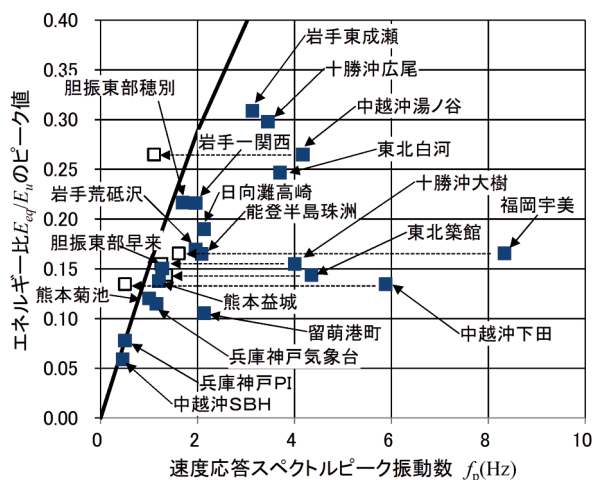


図4 20波形のスペクトルピーク振動数と E_{eq}/E_u の関係