

盛土の変位量解析（ニューマーク法）における地震応答解析結果を反映させたすべり面の選定手法例

川崎地質株式会社 ○三山 貴之、西岡 吉彦、佐藤 祥昭、近藤 勉

1. はじめに

地震による地盤の変形量を推測する場合、2次元解析においては、修正フェレニウス法、ニューマーク法、有限要素法などを採用する指針が多い。中でもニューマーク法は、比較的容易に得られるデータにより、妥当な結果を求められる手法とされている。レベル2地震動に対する耐震性能が求められる昨今では、地震の応答解析結果を反映させたニューマーク法の検討は少なくない。この方法では、滑動変位量や必要な抑止力を求める為に用いるべきすべり面を選定する必要があるが、盛土内の応答加速度が異なる為、すべり面の位置を決定する手法は確立されていない。本論文ではその一手法を紹介する。

2. 検討の目的

ニューマーク法では、各指針の水平震度を用いて、最小安全率を示すすべり面、最大抑止力を示すすべり面、深いすべり面などいくつかのすべり面を探し、解析することが多い。今回の解析では修正フェレニウス法において、各土層に一律な水平震度を入力する代わりに、地震応答解析から求まる最大加速度分布より土層を細分したモデルですべり面の決定方法を考えた。

3. 設定した地盤モデル

今回の検討では、盛土内や基礎地盤の応答加速度が複雑になる¹⁾とされている盛土高10m×3段の腹付け盛土で地盤モデルを作成した。盛土は1段目が礫質土、2段目が粘性土、3段目が砂質土、基礎地盤は崖錐及び堆積物、風化岩、岩の構成である。地盤強度及び減衰定数は設計要領¹⁾を参考に定めた。地震応答解析は、道路橋示方書²⁾に記載のレベル2地震動 TYPE2-1の神戸海洋気象台地盤上NS成分の地震波（図-1参照）を基盤波とし、複素応答法での等価線形解析を用いた。この地震波は、地表面波ではあるが、薄い基礎地盤を持つI種地盤のモデルとし、地表面波の引き戻しは割愛している。設定した地盤モデルを図-2に示す。

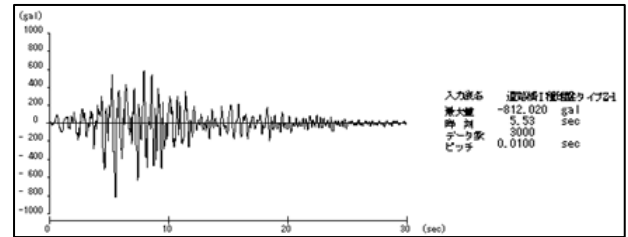


図-1 地震波形 神戸海洋気象台地盤上 NS 成分

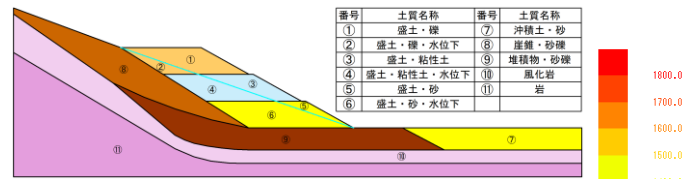


図-2 地盤モデル

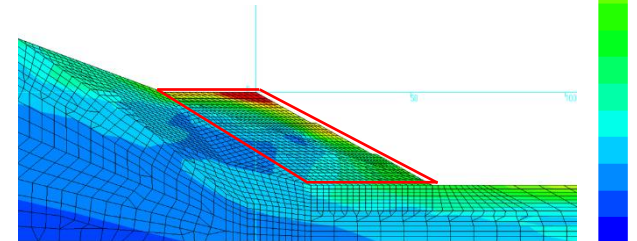


図-3 応答加速度の最大値コンター図 盛土付近の抜粋

実務では、ニューマーク法での計算を格子状に実施することは、計算時間の面で非常に困難である。その為、修正フェレニウス法により、ニューマーク法の計算に用いるすべり面を探すことが多い。しかし、すべり面ごとで応答加速度が異なるので、等価加速度波形は変化してしまう。その結果、地震応答解析で得た応答加速度をどのように修正フェレニウス法に適応させるかという点が問題となる。そこで、地盤応答解析の解析結果の目安として把握しやすい各節点の最大応答加速度に着目し、図-3の応答加速度の最大値コンター図（1m/s²毎）を基に図-4のような解析モデルとした。なお、各節点の応答加速度は、法肩部及び地表面付近においては最大加速度は増幅され、基盤付近及び盛土の地山側下部では減少する一般的な結果であった。なお、応答加速度の最大値の範囲は2.96m/s²～21.1m/s²である。

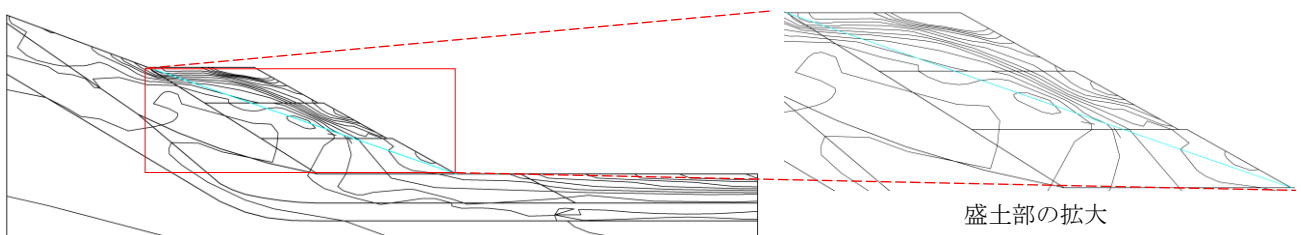


図-4 修正フェレニウス法で用いた解析モデル

4. 解析手法

今回の解析では、全層一律の水平震度 k_h を与えた4ケース（すべり面条件 A）と地震応答解析結果を反映した各土層の最大応答加速度に β 倍（ $\beta=0.05\sim 1.0$ ）した10ケース（すべり面条件 B）の計14ケースとした。後者のケースでは、各層に応じた水平震度（ k_{ha} と定義）= 係数 $\beta \times$ 各土層の最大応答加速度/重力加速度 g である。全層一律に水平震度を与えるケースでは、道路土工に記載の I 種地盤の水平震度³⁾を参考に、 $k_{hi}=0.08, 0.16, 0.24, 0.32$ とした。各ケースにおいて対象とするすべり面の種類は、盛土天端から第1法面、第2法面、第3法面、法先にかかる4種類それぞれのすべり面に対し、最小安全率となるすべり面及び最大抑止力となるすべり面を考えた計8種類とした。なお、最小安全率及び最大抑止力の円弧を決める修正フェレニウス法は x 座標及び y 座標を1mの格子状、半径を0.1m ピッチとして計算した。

5. 解析結果及びその考察

結果の比較は滑動変位量と抑止力の2種類とした。滑動変位量は許容変位量との比較等に用いられる値で重要性が高く、抑止力は対策工を設計する場合に必要な値である。抑止力は滑動変位量の値を鑑みて、多くのケースで比較できるように滑動変位量が300mm となる値を水平震度 k_h を一律に与えた場合と地震応答解析結果を反映させた各土層に対応した水平震度 k_{ha} で比較する為に、 $k_{hi}=0.08$ としたもので除することにより正規化した。滑動変位量の比較図を図-5に、滑動変位量が300mm となる為に必要な抑止力の比較図を図-6に示す。

(1)滑動変位量の比較

①すべり面条件 A(図-5破線)

すべり面を決める水平震度が大きいほど滑動変位量が大きくなるわけではない。むしろ小さい水平震度を与えた方が滑動変位量が大きくなった。

②すべり面条件 B(図-5実線)

第1～第3法面においては、すべり面条件 B の方が、すべり面条件 A よりも大きな滑動変位量のすべり面を見出すことができた。法先での値は同等であった。すべり土塊量の小さいすべり面が第1法面に形成される場合、この傾向は顕著である。

(2)滑動変位量 ≤ 300 mmとなる抑止力の比較

①すべり面条件 A(図-6破線)

概ね大きな水平震度で求めたすべり面の方が必要抑止力は大きくなり、滑動変位量とは逆の傾向を示した。

②すべり面条件 B(図-6実線)

すべり面条件 B の方が、すべり面条件 A よりも大きな滑動変位量のすべり面を見出すことができた。今回の解析モデルの場合では、水平震度 k_{ha} の係数 β が0.2～0.5の範囲で必要抑止力のピークを示した。

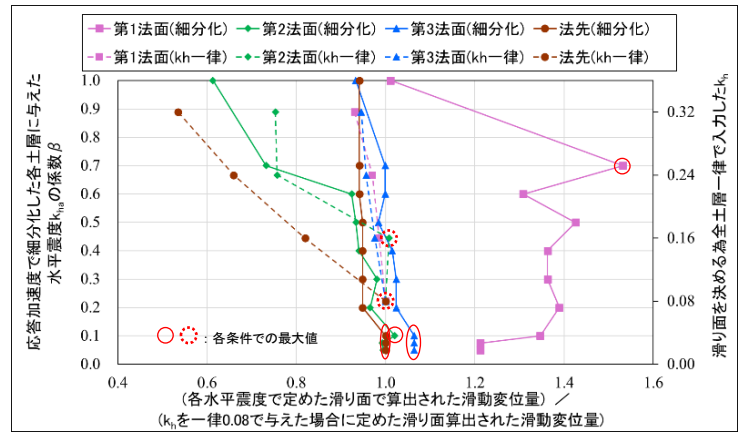


図-5 滑動変位量の比較図

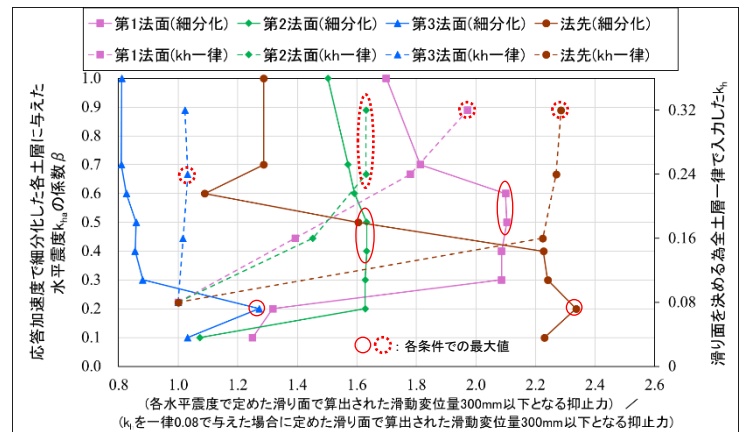


図-6 滑動変位量を300mmにする必要抑止力の比較図

6. まとめ

- (1)ニューマーク法で検討するすべり面を考える際に、地震応答解析を実施すると、盛土内の応答加速度が異なる為、応答加速度を考慮した地盤モデル及び水平震度を用いることで、滑動変位量や必要抑止力の大きなすべり面を見つけることができた。
- (2)細分化した土層に与える水平震度は、滑動変位量及び必要抑止力等の求めたい値により変動する為、係数の倍率を変えて複数の検討を行う必要がある。今回の検討では、滑動変位量を求める際には、等価加速度が高い第1法面のすべり面では係数0.7で適応性が高く、それ以外のすべり面では係数0.1以下で適応性が高かった。必要抑止力を求める際には、すべり面の大きさにより、係数を0.6から0.2の範囲で下げていくと適応性の高い結果となった。今後は、複数の地盤モデルや地震波の種類で比較検討し、応答加速度に与える倍率の傾向を明らかにしたい。

《引用・参考文献》

- 1) 設計要領 第一集 土工 建設編(2020)、p. 1-42, 4-18～4-25：東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社
- 2) 道路橋示方書 V 耐震設計編(2017)、p. 80：公益社団法人 日本道路協会
- 3) 道路土工 盛土工指針(2010)、p. 125：公益社団法人 日本道路協会