

斜面地盤における直接基礎の地震時支持力

鹿児島大学 正会員 山本 健太郎

1. はじめに

2003年以降、新潟県中越地震、福岡県西方沖地震をはじめとする震度6以上の地震が日本各地で発生しており、日本列島は本格的な地震活動期に突入したと考えられる。これらの地震においても、建物の被害はそれほど大きくないにもかかわらず、支持地盤が崩れたり、沈んだりする被害が多く観察された。これらの事は地震時支持力を検討する必要性があることを示唆するものと考えられる。山本¹⁾はこれまで、斜面上あるいは斜面肩近傍の直接基礎の地震時支持力特性を検討するために、震度法と上界法に基づいて3つの連続的な領域から構成されるシンプルな破壊メカニズムを提案した。本論文では、上記の研究を受けて、根入れ深さの有無も考慮した斜面肩幅がないケースである、斜面地盤における直接基礎の地震時支持力特性を求めることを主な目的としている。

2. 解析条件

本論文で考慮した解析条件は地盤の内部摩擦角 ϕ を 30, 40, 45° の3ケース、基礎の根入れ深さ D と基礎幅 B の比 D/B を 0.0, 1.0 の2ケース、斜面勾配 α を 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30° の7ケース、水平震度 K_h は 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 と 0.1 おきの5ケースと変化させた。鉛直震度 K_v に関しては、下方と上方に作用する場合が考えられるので、本解析では $K_v = 0$ とした。また、基礎底面に作用するせん断荷重の大きさを変化できるように、せん断荷重に関するせん断伝達係数 f を導入した。支持力解析に用いた破壊メカニズムを図-1に示す。3角形 abc は主動くさび領域、曲線すべり場 cd は対数螺旋と設定した。 dfg は斜面法面に達する直線である。なお、地震時支持力式の導出に関しては、参考文献2)にゆずるものとする。

3. 解析結果と考察

図-2, 3には $\alpha = 30^\circ$ に対する斜面勾配 α を変化させた、水平震度 K_h の増加に伴う地震時支持力係数 N_{cE} , N_E の減少傾向の比較を示す ($D/B=0.0$)。斜面肩幅はなく、 $\alpha = 0$ のケースである。 K_h と α を有する結果と比較するために、静的な場合の支持力係数を提案している Meyerhof (1963)³⁾, Hansen (1970)⁴⁾, Vesic (1973)⁵⁾ に対してはそれぞれの荷重傾斜係数と地盤傾斜係数を用いることにより評価した。なお、基礎上の垂直線からの荷重傾斜角 θ は $\theta = \tan^{-1} k_h$ から算出した。また、Soubra (1997, 1999)^{6), 7)} は上界法、Kumar and Rao (2003)⁸⁾ は特性曲線法、Kumar and Kumar (2003)⁹⁾ は極限釣合い法を用いて、斜面地盤における直接基礎の地震時支持力係数を求めている。まず、 N_{cE} の比較を行っている図-2を見ると、本解析結果は特性曲線法を用いた Kumar and Rao とかなり良好な一致を示すことがわかる。(a) $\alpha = 0^\circ$ の時には、同一手法を用いている Soubra (1997, 1999) と良好な一致を示した。

次に、 N_E の比較を行っている図-3を見る。まず、水平地盤のケースである(a) $\alpha = 0^\circ$ を見ると、本解析結果は同一手法である Soubra (1997, 1999) と良い対応を示している。詳細には、本解析結果は Soubra (1997) と比較して、少し小さめの値をとる。一方、Soubra (1999) が本解析結果よりも K_h が小さい範囲において、より小さい値をとることもわかる。これは、Soubra (1999) が過渡せん断領域を多数の3角形剛体ブロックで表しているためである。これより、 N_E の値を小さくするためには、multi-block メカニズムが連続的なメカニズムに比べて効果的であることがわかる。しかし、 N_{cE} に関しては、multi-block メカニズムは連続的なメカニズムである Soubra (1997) よりもわずかに大きめの値となった。極限釣合い法に基づく Kumar and Kumar は K_h が小さい範囲において、本解析結果と比べてより小さい値をとる傾向を示した。また、不完全解ではあるが、下界値をとる特性曲線法に基づく Kumar and Rao は比較の中で最小値を示した。大まかに Meyerhof, Hansen

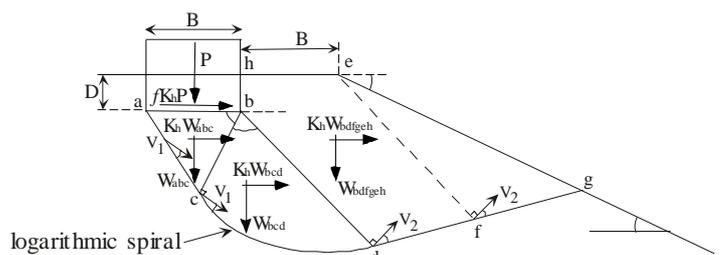


図-1 支持力解析で用いた破壊メカニズム

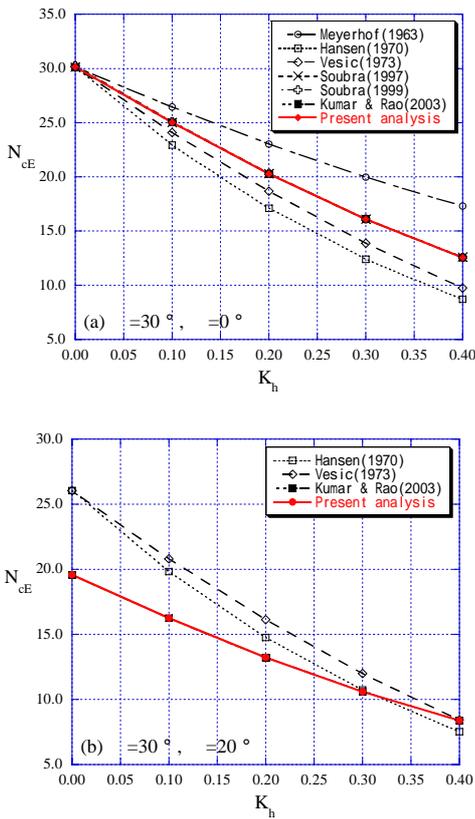


図 - 2 様々な斜面勾配 に対する地震時支持力係数 N_{cE} の比較 ($\alpha=30^\circ$)

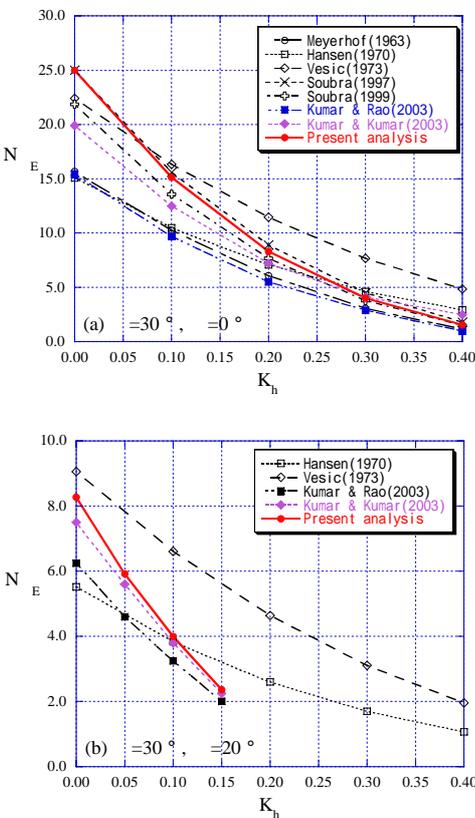


図 - 3 様々な斜面勾配 に対する地震時支持力係数 N_E の比較 ($\alpha=30^\circ$)

は $K_h < 0.2$ においては控えめに N_E を評価し、一方、Vesic は $K_h = 0.2$ においては N_E を大きく評価する傾向があることもわかる。斜面地盤のケースである(b)を見ると、Hansen, Vesicを除く他の提案手法がそれらと比較して、 K_h の増加に伴う N_E の低減率が大きいことがわかる。また、Kumar and Rao, Kumar and Kumar, 本解析結果は $K_h = 0.2$ において解が得られなかった。本解析結果においては最小化演算において、動的可容な速度場を満たす最適解が見出せなかったからである。Kumar and Kumar は $K_h=0.0$ の時に本解析結果よりも少し控えめに N_E を評価することを除けば、本解析結果と良い一致を示した。Kumar and Rao は(a) $\alpha=0^\circ$ と同様に、比較した提案手法の中では多くの場合、最小値を示した。よって、本解析モデルは K_h が小さい範囲、特に通常時 ($K_h=0.0$) において、少し大きく N_E を評価する傾向がある。しかし、上界法に基づいていることも考慮すれば、工学的観点からは十分な精度を有しているものと考えられる。さらに、本解析モデルのメリットとしては、3つの連続的な領域で構成されるシンプルな破壊メカニズムを用いていることから、メカニズムを規定するパラメータの数も少なくすみ、簡便で理解しやすく適用範囲も広い。一方、斜面地盤にも適用が可能である他の提案モデル (Kumar and Rao, Kumar and Kumar) は、特性曲線法と極限釣合い法に基づいており、正解値に対する解の位置付けが厳密ではない。また、それらのメリットとしては K_h が小さい範囲においては本解析モデルよりもより小さい N_E を得ることができる。しかしながら、そのために様々な付加的仮定も必要とし、メカニズムのみならず支持力係数式、最小化演算もかなり複雑なものとなり、理解するのが容易ではなく実務的ではない。

最後に、本論文で提案する手法を用いて、様々な内部摩擦角に対する斜面勾配 を変化させた、水平震度 K_h の増加に伴う地震時支持力係数 N_{cE} , N_E の減少傾向を示す設計チャートを用いれば、工学的観点から十分な精度を有して斜面地盤における直接基礎の地震時支持力を容易に得ることができる。よって、実務に対しても有用になるものと考えられる。

【参考文献】 1) 山本健太郎: 斜面上の直接基礎の地震時支持力特性, 構造工学論文集 Vol.52A, pp.1169-1178, 2006. 2) 山本健太郎: 上界法を用いた斜面地盤における直接基礎の地震時支持力, 構造工学論文集 Vol.53A, 2007, 投稿中. 3) Meyerhof, G. G.: Some recent research on the bearing capacity of foundations, *Can. Geotech. J.*, 1(1), pp.16-26, 1963. 4) Hansen, J. B.: A revised and extended formula for bearing capacity, *Danish Geotech. Inst. Bull.*, 28, pp.5-11, 1970. 5) Vesic, A. S.: Analysis of ultimate loads of shallow foundations, *J. Soil. Mech. And Found. Engrg. Div.*, ASCE, 99(1), pp.45-73, 1973. 6) Soubra, A. -H.: Seismic bearing capacity of shallow strip footings in seismic conditions, *Proc. of the Institution of Civil Engineers, Geotechnical Engineering*, 125(4), pp.230-241, 1997. 7) Soubra, A. -H.: Upper-bound solutions for bearing capacity of foundations, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, ASCE, 125(1), pp.59-68, 1999. 8) Kumar, J. and Mohan Rao, V. B. K.: Seismic bearing capacity of foundations on slopes, *Geotechnique*, 53(3), pp.347-361, 2003. 9) Kumar, J. and Kumar, N.: Seismic bearing capacity of rough footings on slopes using limit equilibrium, *Geotechnique*, 53(3), pp.363-369, 2003.