

○熊谷組 正員 竹林 義雄
 京都大学工学部 正員 黒田 勝彦
 京都大学大学院 学生員 中村 誠

1. はじめに

斜面の設計や解析には多くの不確実な要素が含まれている。すなわち、解析法モデル誤差、現場の土質諸係数に関する測定誤差およびそれらの空間的バラツキ、土質試験個数の制限による統計的不確実性、等が考えられる。もちろん、解析法の精度が向上し、現場における正確な土質係数の値が測定できるようになれば、現行の設計安全率に含まれる不確実性は減少させることができる。しかし、現段階では、これらの不確実性の存在を認めたと上り最良の設計・施工の方法を考えていくことが一つの合理的な対処法であると考え。その為に、現場ではしばしば動態の観測を行なって、いわば監視しながら工事を進めていく方法が有効である。この観点から、本研究は、広大な掘削斜面についてFEM解析を行ない、斜面の変形と安全率との対応づけを試みた。なお、筆者の研究に前後して、後述するし、M. Kraft¹⁾らの同様の解析結果が発表されたが、あくまでもオリジナルな成果であり、Kraftの解析結果とを対照しながら得られた結果を報告する。

2. 解析上の仮定

対象とする地盤は飽和した正規粘土地盤で、Kondner²⁾による双曲線応力～ひずみ関係を修正したDuncan & Chang³⁾による非線形応力～ひずみ曲線を用いる。すなわち、非排水強度を C_u 、初期接線係数を E_i 、破壊比を R_f とすると、任意の応力レベル($\sigma_1 - \sigma_3$)において、接線係数 E_t は次式で与えられる。

$$E_t = E_i \left[1 - \frac{R_f (\sigma_1 - \sigma_3)}{2 C_u} \right]^2 \quad (1)$$

境界条件は、深さDで固定、側方はスライド、上側はFreeとした。(Fig. 1)

掘削斜面は、勾配1:3として、一段階2mずつの8段階掘削を想定した。FEMメッシュはFig. 1に示す通りであるが、解析に際しつぎの如き注意が必要である。すなわち、土質諸係数の空間的バラツキのモデル化である。つぎにこの点について述べる。

3. 入力パラメータ

解析に用いたパラメータは、 E_i 、 C_u 、ポアソン比 ν 、静止土圧係数 K_0 である。

3-1. $E_i \sim C_u$ 関係

初期の非排水条件下の弾性係数は、 C_u と強い相関があることが知られている⁴⁾。ここでは、最も平均的に見られる関係として、 $E_i/C_u = 600$ を用いた。簡単の為に、この関係は相関1で成り立つとした。また、 C_u の分布は正規分布とし、変動係数 V_{Cu} は0.3⁵⁾とした。したがって、 E_i の変動係数も0.3である。(1)式の破壊比 R_f は、Duncan³⁾によれば、0.75～1.00の間であるとされているが、ここでは $R_f = 0.9$ を用いた。

3-2. K_0 及び ν

静止土圧係数 K_0 は全応力で表わした値として、 $K_0 = 0.9$ を用いた。また、ポアソン比 ν は $\nu = 0.475$ を用いた。

3-3. 空間的バラツキとメッシュ・スケールとの関係

C_u 値は連続サンプリング等による調査結果や各種の報告によると統計的な自己相関が

Fig.1 Finite Element Mesh & Boundary.



認められる。これによると深さが 2 ~ 3 m 離れると相関はほとんど無くなる。したがって、メッシュの大きさが一辺 2m 以上になれば C_u 値は互いに独立と考えてよい。また、自己相関 ρ 、分散 σ_u^2 を持つ n 個のサンプル平均の分散 V_n は、

$$V_n = \sigma_u^2/n + (1 - 1/n) \rho \sigma_u^2 \quad (2)$$

となる。したがって、メッシュに n 個のサンプルの平均値を用いて性質を代表させる場合は (2) 式の分散を考慮しなければならない。しかし、今の場合、 n は充分大きい値で ρ はメッシュ内で 1 に近いと考えられることから、 $V_n \approx \sigma_u^2$ と考え、各メッシュに独立に C_u 値を割り当てることにした。

4. 解析の結果

Fig. 2 は V_c の変形に与える影響を示したものの一例である。これから、地盤内での C_u 値のバラツキが大きくなるに従って、変形量が大きくなっていくことがわかる。このような傾向は Kraft の解析結果にもみられる。Fig. 3 は、法先における合成変位の関係を示したもので、破線は Kraft が示している関係である。安全率の定義が異なっているものの、Kraft の結果は $R_f = 1.0$ としたものであるので、 $F_s \rightarrow 1$ に従って $\delta_n \rightarrow \infty$ となる。しかし、今回の解析では、 $R_f = 0.9$ としているので、 $F_s = 1$ に対応する δ_n が有限値として表山れており、合成変位の増分が F_s に敏感に効いている。同様の関係を掘削底面の中央の盤ぶくれで整理したものが Fig. 4 である。これによると、盤ぶくれが 2 cm を越えうと安全率は 1.0 を割っており、 $\phi_u = 0$ 法の安全率の精度を考慮すると、1.5 ~ 1.7 cm 程度を危険信号と考えて良いように思われる。紙数の都合上、他のシミュレーションの結果を説明できないが、合せて講演時に説明する。

Fig. 2. Effect of V_c on Displacement.

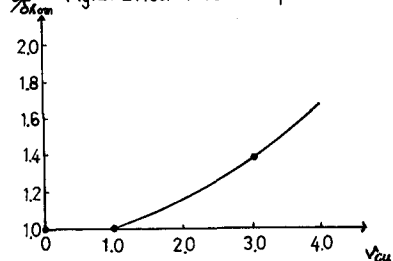


Fig. 3. Relationship bet. Safety Factor and Normalized Displacement.

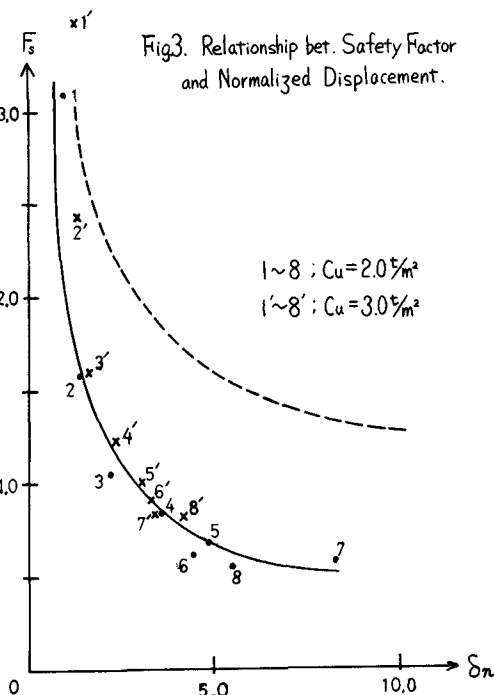
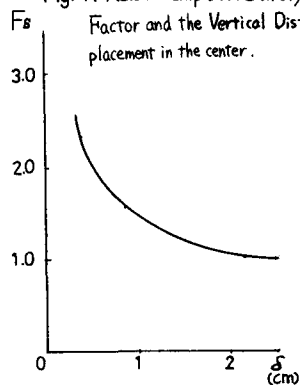


Fig. 4. Relationship bet. Safety Factor and the Vertical Displacement in the center.



参考文献

- 1) Kraft, L.M. & Mukhopadhyay, J. : Proc. of 9th International Conference on SM. & F.E.
- 2) Kondner, R.L. : ASCE, vol. 89, No. SM.1, 1963
- 3) Duncan, J.M. & Chang, C.Y. : ASCE, vol. 96, No. SM.5, 1970
- 4) 例えば, D'Appolonia, D. J. et al : ASCE, vol. 97, No. SM.10, 1971
- 5) Matsuo, M. & Kuroda, K : soils & Foundations, vol. 14, No. 2, 1974
- 6) Matsuo, M., Kuroda, K & Asaoka, A : Proc. of 2nd ICASP, 1975, Aachen