

DPに基づく弾塑性応力場の臨界すべり面探索例について

徳島大学 工学部 正 山上 拓男
 阪神コンサルタンツ 正 植田 康宏
 中電技術コンサルタント 正 小山 正之
 中電技術コンサルタント 正 ○土田 章仁

1. まえがき： 近年、FEMと土の構成則に関する研究の発展により、土構造物の応力・変形解析が高い精度で実行可能となりつつある。そして、FEMによって得られた各要素ごとの応力を用いると、構造物内各点の局所的な安全率（局所安全率）の分布をきわめて容易に知ることができる。ところが、こうした局所安全率の分布から、ただちに構造物全体としての安全率（全体安全率）を知ることはできない。このような観点から、先に、FEMで求められた応力場に潜在する全体安全率最小の曲面と、そのときの安全率の値を探索するアルゴリズムを動的計画法（DP）に基づいて構築し、実際問題へ適用する手順^{1), 2)}と、具体的な適用例を示した³⁾。ただし、このとき用いた応力場は、主として非線形弾性解析によって得られたものであった。本報告では、新たにCap Model⁴⁾に基づく弾塑性応力場とDPによる最短経路アルゴリズムを結合した解析を行った結果を示す。

2. 適用例： 紙面の制約上、本手法の概要については文献1), 2)を参照していただくことにし、ここではその記述を割愛する。第1の問題は、等分布荷重を受ける水平地盤の安定解析である。FEMの要素分割を図-1に、また材料特性を表-1に示す。まず増分法と混合法2つの手法により、応力・変形解析を行った。このとき、分布荷重が与えられる節点の水平方向の変位を拘束した場合と、しない場合の2通りのケースを考えた。前者は完全に粗い底面をもつたわみ性基礎が載荷される場合(Rough)、後者は完全に滑らかな底面をもつたわみ性基礎が載荷される場合(Smooth)を想定している。荷重段階は、表-2に示すとおりである。

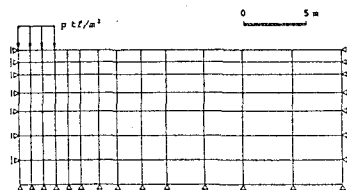


図-1 要素分割図

そして、この表中の*印をつけてある荷重段階の応力場に対して、DP探索を行った。このうち、第14段階(43tf/m²)での探索結果を図-2～5に示す。

表-1 地盤の材料特性

$\phi = 10.0^\circ$	$C = 3.955 \text{ tf/m}^2$
$\alpha = 0.058$	$k = 3.875 \text{ tf/m}^2$
$D = 0.012 \text{ m}^2/\text{tf}$	$W = 0.06$
$R = 4.00$	$K = 2034.35 \text{ tf/m}^2$
$C = 938.93 \text{ tf/m}^2$	$v = 0.3$
$\gamma = 1.800 \text{ tf/m}^3$	

第2の問題は、剛性の高いフーチング基礎が載った場合の水平地盤の安定解析である。剛性の高い基礎は、一様に沈下することから、基礎の載荷を表現するために境界条件として載荷面上に等変位を与えた。そして、増分法により

RoughとSmoothの2つの場合の応力・変形解析を行った。なお、この問題でも、第1の問題と同じ要素分割と材料特性を用いた。このときの変位段階を表-3に示す。この表中の各段階の変位の値は、第1の問題の増分法による応力・変形解析の結果より求めた。すなわち、これらは表-2の各荷重段階での荷重を与えた節点の鉛直変位を平均した値である。DP探索は、表-3中の*印をつけてある変位段階の応力場に対して行った。このうち、第14段階での探索結果を図-6、7に示す。図-2～7にみられるように、以上2つの問題で探索された臨界すべり面の形状は、文献3)のときと同様、安全率が1.0に近い状態でいずれも滑らかなものとなった。また、Terzaghiの支持力公式より求めた支持力は41tf/m²であった。このようなことから、Cap Modelに基づく弾塑性応力場へも、本手法が十分に適用できるものと考えている。第3の問題は、築造過程を考慮した盛土の安定解析である。盛土の形状ならに層構成を図-8に、また、材料特性を表-4に示す。まず、図-8に示す基礎地盤上に盛

表-2 荷重段階

段階	荷重(tf/m ²)
1	4
* 2	8
3	12
* 4	16
5	20
* 6	23
7	26
* 8	29
9	32
* 10	35
11	37
* 12	39
13	41
* 14	43

表-3 変位段階

段階	変位 (cm)	
	Rough	Smooth
1	0.0256	0.0267
* 2	0.0959	0.0955
3	0.1654	0.1650
* 4	0.2479	0.2499
5	0.3381	0.3503
* 6	0.3988	0.4103
7	0.4637	0.4907
* 8	0.5327	0.5568
9	0.6036	0.6427
* 10	0.6684	0.7079
11	0.7158	0.7656
* 12	0.7626	0.8138
13	0.8152	0.8790
* 14	0.8620	0.9256

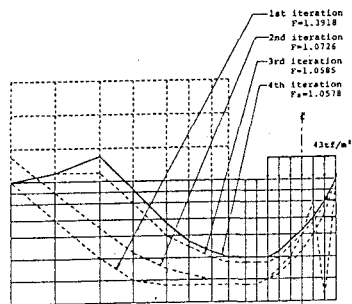


図-2 問題1の探索結果
(混合法, Rough)

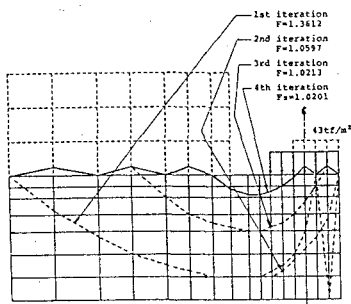


図-3 問題1の探索結果
(混合法, Smooth)

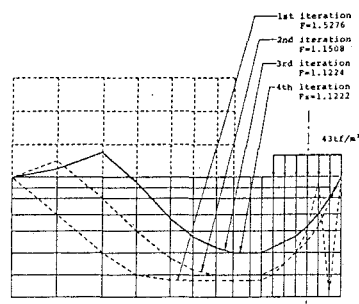


図-4 問題1の探索結果
(増分法, Rough)

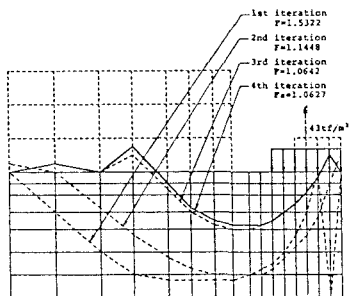


図-5 問題1の探索結果
(増分法, Smooth)

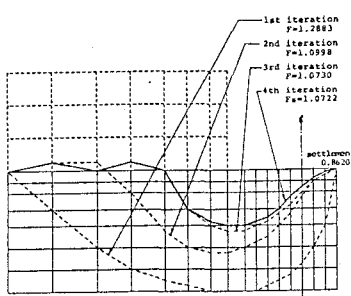


図-6 問題2の探索結果
(Rough)

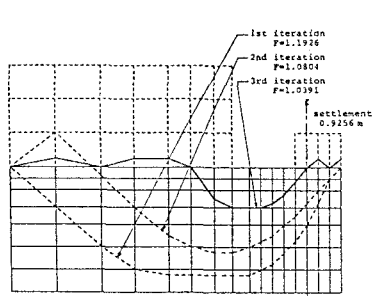


図-7 問題2の探索結果
(Smooth)

土を10層に分けて築造する過程をFEMでシミュレートした。なお、この問題でも増分法と混合法2つの手法を用いて解析した。そして、築造完了時の応力場に対して、DP探索を行った。このうち混合法を用いた応力場に対するDP探索の結果を簡便Bishop法、Morgenstern-Price法(M.P.法) + Simplex法⁵⁾による安定解析の結果とともに図-9に示す。図-9を見るとDP、M.P.法 + Simplex法、簡便Bishop法いずれの手法によって得られたすべり面もその形状が非常によく似ている。しかし、M.P.法 + Simplex法と簡便Bishop法による安全率の値が、それぞれ0.79、0.78と1.0より小さい値であるのに対し、DPによる安全率の値は1.14と1.0を上回っている。このように、すべり面形状がよく似ているにもかかわらず、安全率が異なっている原因として、DP探索法では地盤の初期応力の効果や土の構成則を考慮している点があげられる。

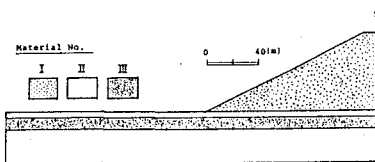


図-8 盛土形状及び層構成

表-4 盛土の材料特性

	I	II	III
ϕ (deg.)	10.0	49.1	33.0
C (tf/m ²)	3.955	0.0	0.0
α	0.058	0.231	0.173
k (tf/m ²)	3.875	0.0	0.0
D (m ² /tf)	0.012	0.014	0.071
w	0.06	0.007	0.18
R	4.00	4.33	2.00
k (tf/m ²)	2034.35	3024.20	3124.89
G (tf/m ²)	938.93	1612.78	1041.63
v	0.300	0.274	0.350
γ (tf/m ³)	1.800	1.700	1.993

土を10層に分けて築造する過程をFEMでシミュレートした。なお、この問題でも増分法と混合法2つの手法を用いて解析した。そして、築造完了時の応力場に対して、DP探索を行った。このうち混合法を用いた応力場に対するDP探索の結果を簡便Bishop法、Morgenstern-Price法(M.P.法) + Simplex法⁵⁾による安定解析の結果とともに図-9に示す。図-9を見るとDP、M.P.法 + Simplex法、簡便Bishop法いずれの手法によって得られたすべり面もその形状が非常によく似ている。しかし、M.P.法 + Simplex法と簡便Bishop法による安全率の値が、それぞれ0.79、0.78と1.0より小さい値であるのに対し、DPによる安全率の値は1.14と1.0を上回っている。このように、すべり面形状がよく似ているにもかかわらず、安全率が異なっている原因として、DP探索法では地盤の初期応力の効果や土の構成則を考慮している点があげられる。

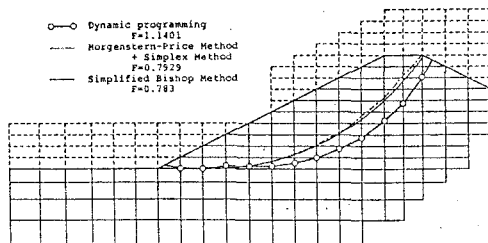


図-9 問題3の探索結果
(混合法)

3. あとがき： 適用例より、DPがCap Modelに基づく弾塑性応力場に対して十分に適用できることが確認できた。今後は、実測値などに対比し、精度等についてさらに検討していく必要があると考えている。

【参考文献】 1) 山上ら：第19回土質工学会, pp. 901-902, 1984. 2) 山上ら：第39回土木学会, pp. 157-158, 1984. 3) 山上ら：第20回土質工学会, pp. 1001-1002, 1985. 4) DiMaggio, F.L. : J. Engn. Mech. Div. ASCE, Vol. 97, No. EM3, pp. 935-950, 1971. 5) 山上ら：第22回土質工学会, pp. 1467-1468, 1987.