

퍼스날 컴퓨터用 斜面安定解析 프로그램 「PC-SLOPE」의 紹介

권 호 진*
변 광 옥**

1. 序 言

캐나다의 土質工學 관련 소프트웨어 개발전문 회사인 GEO-SLOPE社에서 개발한 斜面安定解析 프로그램인 PC-SLOPE는 퍼스날 컴퓨터 전용 프로그램으로서, 3개의 프로그램 즉 PROMSL, SLOPE, DOT로 구성되어 있다. PROMSL은 資料入力(data input)用 프로그램으로서 입력 資料의 포맷(format)이 필요없는 先處理(preprocessor) 프로그램이고, SLOPE는 入力資料를 이용하여 斜面安定解析을 실시하는 實行 프로그램(main processor program)이며, DOT는 入力資料 및 解析結果를 그림으로 나타내는 圖化用 프로그램(post processor)이다.(Fig.1 참조)

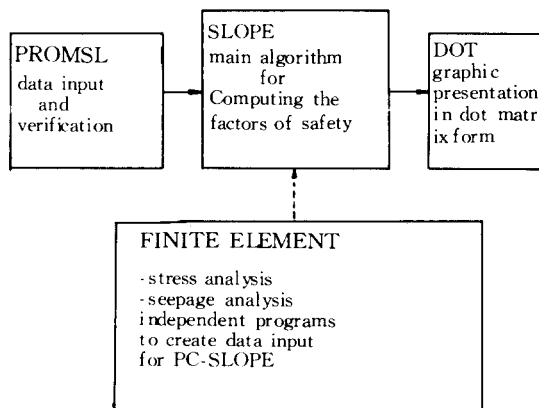
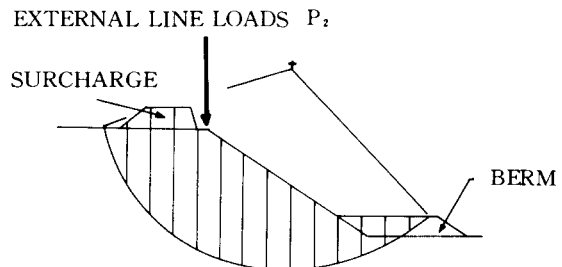


Fig. 1 Software system of PC-SLOPE.

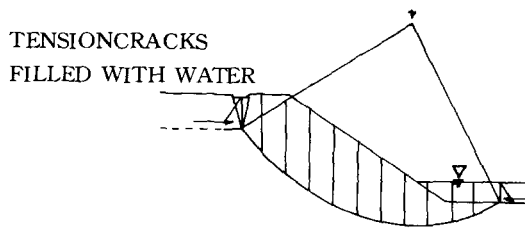
2. PC-SLOPE의 특징

PC-SLOPE에서는 限界平衡解析理論을 이용한 切片法중에서 다음과 같은 여러가지 방법을 기본적 또는 선택적으로 사용할 수 있다. 즉 Fellenius 방법, Bishop의 간편법, Janbu의 간편법, Spencer 방법, 一般限界平衡방법 (general limit equilibrium method), Morgenstern-Price 방법, Lowe-Karafiath 방법, Corps of Engineers 방법 등을 사용할 수 있다. 滑動形象(slip surface)도 圖弧滑動(circular slip), 平面滑動(fully specified slip), 複合滑動(composite slip)중 선택사용이 가능하며, 最大 15층까지 異質土層으로 이루어진 사면의 해석이 가능하다. 剪斷強度破壞規準으로는 Mohr-Coulomb의 破壞規準에 二線形破壞包絡線(bilinear strength envelope)을 附加하여 적용할 수 있다. 또 사면 주변에 작용하는 지진 하중, 地表面上載荷重, 線荷重(line load)등을 고려할 수 있으며, 사면의 完全침수, 부분침수 및 인장균열등을 고려할 수 있다.(Fig.2 참조)



(a) External line loads and surcharges

*正會員, 光州大學校 工科大學 土木工學科 助教授
**대림엔지니어링 (주) 정보사업부

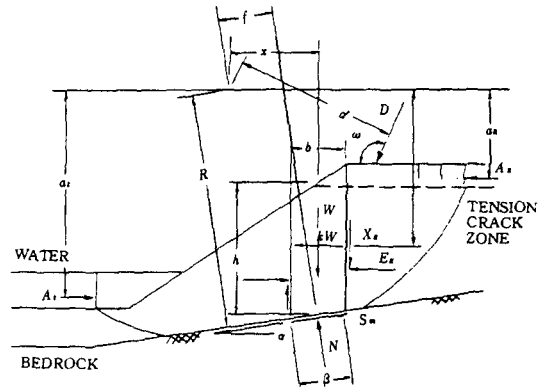


(b) Partial submergence and tension cracks.

Fig. 2 Examples of external loads on a slope.

3. PC-SLOPE에서 사용한 사면안정해석 방법의 비교

Fig.3은 斜面滑動破壞時 切片에 작용하는 여러 힘들을 나타낸 것이며, 이때 사면해석을 위하여 필요한 方程式의 數가 未知數의 數보다 적기 때문에, 切片 側面에 작용하는 水平力과 剪斷力의 方向이나 作用점위치 등을 가정하여야 해석이 가능하게 된다. Table 1은 PC-SLOPE에서 사용하고 있는 여러 해석방법에서의 가정 조건을 요약한 것이며, Table 2는 각 방법에서 고려하고 있는 힘의 평형 및 모멘트 평형에 대해서 비교한 것이며, 이들에 대해서는 大韓土質工學會誌 斜面安定講座(Ⅰ)·(Ⅱ)에 자세하게 설명되어 있다.^{2, 3)}



Force	Description
W	the total weight of the slice of width 'b'
N	the total normal force on the base of the slice
S_m	the shear force mobilized on the base of each slice
E	the horizontal interslice normal forces
X	the vertical interslice shear force
D	an external line load
k_w	the horizontal seismic load applied through the centroid of each slice
A	the resultant external water forces

Fig. 3 Forces acting on a slice through a sliding mass with a composite slip surface

Table 1. Assumptions used in various limit equilibrium methods

Method	Assumption
Ordinary or Fellenius	Interslice forces are neglected
Bishop's Simplified	Resultant interslice forces are horizontal(i.e., there are no inter-slice shear forces).
Janbu's Simplified	Resultant interslice forces are horizontal. An empirical correction factor is used to account for interslice shear forces.
Janbu's Generalized	Location of the interslice normal force is defined by an assumed line of thrust.
Spencer	Resultant interslice forces are of constant slope through out the sliding mass.
Morgenstern-Price	Direction of the resultant interslice forces is determined using an arbitrary function. The percentage of the function, λ , required to satisfy moment and force equilibrium is computed.
GLE	Direction of the resultant interslice forces is defined using an arbitrary function. The percentage of the function, λ , required to satisfy moment and force equilibrium, is computed.
Corps of Engineers	Direction of the resultant interslice force is i) equal to the average slope

Lowe-Karafiath	from the beginning to the end of the slip surface or ii) parallel to the ground surface. Direction of the resultant interslice force is equal to the average of the ground surface and the slope at the base of each slice.
----------------	--

Table 2. Elements of statical equilibrium satisfied by various limit equilibrium methods

Meteod	Force Equilibrium		Moment equilibrium
	1st Direction* (e.g., Vertical)	2nd Direction* (e.g., Horizontal)	
Ordinary or Fellenius	Yes	No	Yes
Bishop's Simplified	Yes	No	Yes
Janbu's Simplified	Yes	Yes	No
Janbu's Generalized	Yes	Yes	**
Spencer	Yes	Yes	Yes
Morgenstern-Price	Yes	Yes	Yes
GLE	Yes	Yes	Yes
Corps of Engineers	Yes	Yes	No
Love-Karafiath	Yes	Yes	No
Sarma	Yes	Yes	Yes

* Any of two orthogonal directions can be selected for the summation of forces.

** Moment equilibrium is used to calculate interslice shear forces.

4. 資料入力用 프로그램 PROMSL

先處理프로그램인 PROMSL은 實行프로그램인 SLOPE에의 入力를 위한 자료화일(data file)의 작성·확인·수정을 하기 위한 프로그램으로 對話式(interactive) 또는 一括處理式(batch)으로 작업이 가능하다.

PROMSL에서 필요한 입력자료의 주요내용은 다음과 같으며, Fig.4에 입력자료의 한 예가 주어져 있다.

1) POINT ; 지반의 기하학적 형태를 나타내

기 위해 필요한 점의 x, y 좌표
(최대 999점)

2) SOIL ; 각 토층의 단위중량, 점착력, 마찰각(최대 15층)

3) TENSION ; 인장균열이 발생하는 토층의 지정

4) GRID ; 滑動圓의 중심좌표 범위(무제한)

5) RADIUS ; 활동원의 반경제한(각 활동원당 21개)

6) SLIP ; GRID와 RADIUS대신에 임의 활동면을 지정(최대 10개)

7) LOAD : 外部荷重의 작용점, 크기, 방향(최대 10개 하중)

8) 間隙水壓係數, 等間隙水壓線(최대 15개),
절점의 間隙水壓(최대 800점)

```

EXCAVATION IN SILTY CLAY (CIRCULAR SLIP SURFACES)
    20,      = # OF SLICES / SLIP SURFACE
    .01000,  = TOLERANCE
    .00000,  = SEISMIC COEFFICIENT
    62.40000, = UNIT WEIGHT OF WATER
POINT      ,      22
    1,      10.000,  160.000
    2,      160.000, 160.000
    3,      174.000, 153.000
    4,      190.000, 143.000
    5,      240.000, 120.000
    6,      400.000, 120.000
    7,       10.000, 153.000
    8,       10.000, 143.000
    9,       10.000, 113.000
   10,      400.000, 113.000
   11,       10.000, 100.000
   12,      400.000, 100.000
   13,       10.000, 143.000
   14,      160.000, 141.000
   15,      200.000, 134.000
   17,      170.000, 170.000
   18,      210.000, 170.000
   19,      192.500, 260.000
   20,      100.000, 130.000
   21,      300.000, 130.000
   22,      100.000, 102.000
   23,      300.000, 102.000
LINE        ,      5
    1, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
    2, 7, 3, 4, 5, 6, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
    3, 8, 4, 5, 6, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
    4, 9, 10, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
    5, 11, 12, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
SOIL        ,      5
    1, 113.0000, 700.0000, 22.0000, .0000, .0000, .0000
    UPPER PORTION OF SILTY CLAY
    2, 112.0000, 600.0000, 21.0000, .0000, .0000, .0000
    LOWER PORTION OF SILTY CLAY
    3, 110.0000, 300.0000, 20.0000, .0000, .0000, .0000
    SOFT SILTY CLAY
    4, 123.0000, 600.0000, 27.0000, .0000, .0000, .0000
    SANDY CLAY TILL
    5, -1.0000, .0000, .0000, .0000, .0000, .0000
    BASE OF PROBLEM
TENSION    ,      0
GRID
    17, 18, 19
    2, 3
RADIUS
    20, 21,
    22, 23,
    2.
SIDE
    1,      1-CONSTANT FUNCTION
LAMBDA    ,      1
    .0000,  .0000  .0000  .0000  .0000  .0000
LOAD      ,      0
PIEZ     ,      5
    1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
    2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
    3, 13, 14, 15, 5, 6, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
    4, 13, 14, 15, 5, 6, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
    5, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
END
  
```

Fig. 4 An example of data input file

5. 實行프로그램 SLOPE

實行프로그램(main-processor program)인 SLOPE는 PROMSL에서 작성된 데이터화일을 이용하여 안전율을 계산하고 2개의 새로운 화일(file)을 만들어 낸다. 한 화일은 가정된 모든 활동면에서의 안전율을 계산한 결과이며

(FIG.5 참조), 또 다른 화일은 가장 위험한 활동면일때 모든 절편에 작용하는 여러 힘들의 크기와 위치를 계산한 결과이다. SLOPE는 항상 Fellenius 방법, Bishop의 간편법, Janbu의 간편법에 의한 안전율 계산을 기본적으로 실행되지만, 기타 다른 방법에 의한 안전율 계산은 사용자(user)가 선택·지정하여야 실행이 이루어진다.

SLIP NO.	36=NO. OF SLIP SURFACES		3=NO. OF RADII		2=NO. OF FUNCTIONS		
	X-COORD.	Y-COORD.	RADIUS	ITERATION NO.	LAMBDA	FACTOR OF SAFETY (MOMENT (FORCE))	
1	170.0000	170.0000	40.0000	1	.000	2.566	2.887
1	170.0000	170.0000	40.0000	8	.000	2.877	2.594
2	170.0000	170.0000	54.0000	1	.000	2.073	2.433
2	170.0000	170.0000	54.0000	8	.000	2.493	2.167
3	170.0000	170.0000	68.0000	1	.000	2.481	3.136
3	170.0000	170.0000	68.0000	8	.000	3.079	2.474
4	190.0000	170.0000	40.0000	1	.000	1.824	1.957
4	190.0000	170.0000	40.0000	7	.000	1.945	1.855
5	190.0000	170.0000	54.0000	1	.000	1.427	1.595
5	190.0000	170.0000	54.0000	7	.000	1.642	1.501
6	190.0000	170.0000	68.0000	1	.000	1.780	2.158
6	190.0000	170.0000	68.0000	7	.000	2.157	1.814
7	210.0000	170.0000	40.0000	1	.000	2.239	2.286
7	210.0000	170.0000	40.0000	7	.000	2.275	2.265
8	210.0000	170.0000	54.0000	1	.000	1.251	1.341
8	210.0000	170.0000	54.0000	6	.000	1.362	1.300
9	210.0000	170.0000	68.0000	1	.000	1.502	1.794
9	210.0000	170.0000	68.0000	7	.000	1.801	1.541
10	177.5000	200.0000	70.0000	1	.000	2.265	2.387
10	177.5000	200.0000	70.0000	5	.000	2.383	2.266
11	177.5000	200.0000	84.0000	1	.000	1.793	1.955
11	177.5000	200.0000	84.0000	5	.000	1.983	1.827
}	}	}	}	}	}	}	}
30	192.5000	260.0000	158.0000	1	.000	2.073	2.231
30	192.5000	260.0000	158.0000	4	.000	2.237	2.082
31	212.5000	260.0000	130.0000	1	.000	2.065	2.080
31	212.5000	260.0000	130.0000	4	.000	2.080	2.066
32	212.5000	260.0000	144.0000	1	.000	1.455	1.488
32	212.5000	260.0000	144.0000	4	.000	1.499	1.465
33	212.5000	260.0000	158.0000	1	.000	1.875	2.004
33	212.5000	260.0000	158.0000	4	.000	2.024	1.894
34	232.5000	260.0000	130.0000	1	.000	2.496	2.501
34	232.5000	260.0000	130.0000	5	.000	2.500	2.498
35	232.5000	260.0000	144.0000	1	.000	1.439	1.469
35	232.5000	260.0000	144.0000	4	.000	1.479	1.448
36	232.5000	260.0000	158.0000	1	.000	1.830	1.962
36	232.5000	260.0000	158.0000	4	.000	1.986	1.854

: SUMMARY OF MINIMUM FACTORS OF SAFETY :

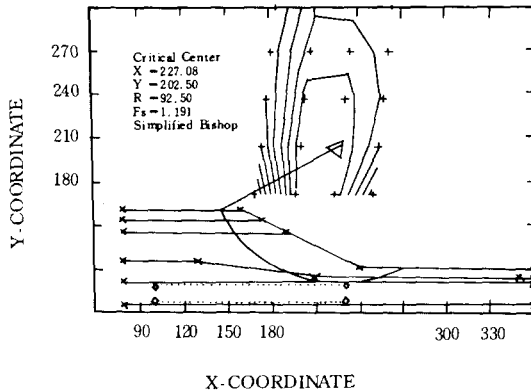
MOMENT EQUILIBRIUM: FELLENIUS OR ORDINARY METHOD			
217.5000=X-COOR.	200.0000=Y-COOR.	84.0000=RADIUS	1.222=F.S.
MOMENT EQUILIBRIUM: BISHOP SIMPLIFIED METHOD			
217.5000=X-COOR.	200.0000=Y-COOR.	84.0000=RADIUS	1.286=F.S.
FORCE EQUILIBRIUM: JANBU SIMPLIFIED METHOD (NO F ₀ FACTOR)			
217.5000=X-COOR.	200.0000=Y-COOR.	84.0000=RADIUS	1.237=F.S.

Fig 5 An example of output file

6. 圖化프로그램 DOT

PROMSL에 入力된 자료와 SLOPE에 의해 해석된 결과를 그림으로 그려주는 後處理(postprocessor) 프로그램인 DOT는 DOT 1, DOT 2, DOT 3, DOT 4의 4 프로그램으로 되어 있다. DOT 1은 입력자료와 함께 해석결과의 일부를 그림으로 나타내고(Fig.6 참조), DOT 2는 해석결과중 안전율을 그림으로 나타내며(Fig.7 참조), DOT 3는 최소안전율을 갖는 滑動面에 관한 여러가지 정보를 圖化하며, DOT 4는 각 절편에 작용하는 힘의 多角形(force polygom)과 함께 自由物體圖(free body diagram)를 도화하는 프로그램이다. DOT 3에서 그림으로 보여주는 정보는 다음과 같은 12가지이다.

- 1) 지표면과 활동파괴면의 위치
- 2) 각 절편의 폭과 저면길이(base length)
- 3) 각 절편저면의 경사각
- 4) 각 절편저면에서의 점착력
- 5) 각 절편저면에서의 간극수압
- 6) 각 절편저면에서의 단위길이당 중량과



UNIT WEIGHT	COHESION	PHI	DESCRIPTION
115.0000	700.0000	22.0000	UPPER PORTION OF SILTY CLAY
112.0000	600.0000	21.0000	LOWER PORTION OF SILTY CLAY
110.0000	300.0000	20.0000	SILTY CLAY
109.0000	100.0000	18.0000	SOFT CLAY
-1.0000	.0000	.0000	SANDY CLAY TILL
-1.0000	.0000	.0000	BASE OF PROBLEM

Fig. 6 Plot of DOT

수직력

- 7) 각 절편저면에서의 내부마찰각
- 8) 切片間 作用力極數(force function)와 常數 λ 의 값
- 9) 전단력, 자중, 법선력, 지진력등에 의한 모멘트 팔(moment arm)의 길이
- 10) 각 절편저면의 수직력; 모멘트 평형조건시
- 11) 각 절편저면의 수직력; 힘의 평형 조건시
- 12) 각 절편측면의 수직력과 전단력

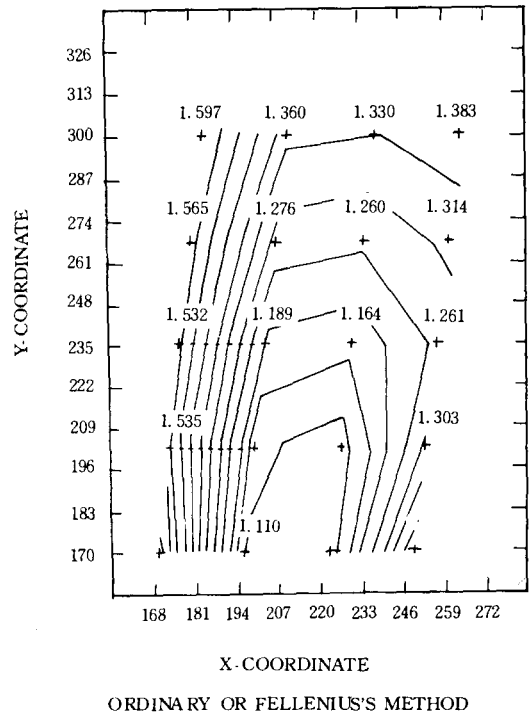


Fig 7 Plot of DOT2.

後記

토질공학관련 프로그램 개발전문회사인 GEO-SLOPE사는 퍼스널 컴퓨터용 사면안정 해석 프로그램뿐만 아니라 침투해석 (seepage

analysis), 현장계측결과해석 프로그램 등을 개발·공급하고 있으며, 국내에서는 대림엔지니어링(주)와 기술제휴를 하고 있다.

참 고 문 헌

1. Fredlund, D.G., "Users Manual of PC-SLOPE : A Comprehensive Program for Slope Stability Analysis", GEOSLOPE Programming Ltd., Calgary, Alberta, Canada, 1988.
2. 김상규, 강좌 : 사면안정 (I), 대한토질공학회지, 제 4 권 제 1 호, 1988, pp 90-101.
3. 백영식, 강좌 : 사면안정 (II), 대한토질공학회지, 제 4 권 제 2 호, 1988, pp 74-104.