

토질구성이 다양한 붕적층의 합리적인 전단강도 평가방법

Shear Strength Evaluation of Composite Colluvial Soil

이 강 일^{1*} Lee, Kang-Il
강 준 호² Kang, Jun-Ho
김 태 훈³ Kim, Tae-Hoon

ABSTRACT

Determination of design parameters of composite ground including colluvial soil layer is far difficult because the maximum particle size of such a soil is remarkably large and particle distribution may vary from area to area. The stress-strain behavior of colluvial soils is in fact dependent upon the engineering characteristics at the boundary between coarse and fine materials. However, strength parameters are in general determined based on the characteristics of fine material, which causes an underestimation of such parameters. In this study, strength parameters of colluvial soil are evaluated by means of BIMROCK model curve. In addition, limit equilibrium analysis is carried out to verify the rational shear strength evaluation.

요 지

붕적층을 포함하는 복합지반의 경우 역의 최대입자크기가 매우 크고, 붕적층을 구성하는 토질의 입도분포가 지역마다 다양하여 시험을 통한 설계지반정수 산정은 매우 어렵다. 또한 이러한 지층의 응력-변형을 거동은 블록(자갈, 전석 등)과 기질(모래, 실트 등)부 경계면의 공학적 성질에 좌우되지만 통상적으로 강도가 작은 기질부의 특성으로 강도정수가 결정되어 대상지반이 과소평가되기 쉽다. 따라서 본 연구에서는 대상지역에 대한 대규모 트렌치 조사를 실시하고 굴착면에 대한 스캔라인 및 이미지 분석을 통한 역의 분포비율을 결정하고 이들 역의 분포비율과 기질부 강도정수를 BIMROCK 모형곡선에 적용하여 대상지역 붕적층의 강도정수 범위를 추정하였다. 마지막으로 강도정수의 적정성을 대상지층에 대하여 한계평형해석을 통해 검증한 결과 합리적인 전단강도를 평가할 수 있었다.

Keywords : Colluvial soil, Shear strength, Limit equilibrium analysis, Fine material

1. 서 론

일반적으로 산사태는 붕괴, 이동, 붕적의 과정을 거친다. 최종 붕적상태가 되면 더 이상의 토사이동은 발생하지 않고 붕적된 토체는 느슨하지만 안정한 상태를 유지하게 된다. 이러한 붕적토(colluvial soil)는 사면상의 풍화쇄설물이 중력에 의해 서서히 밀려내려 가거나 갑자기 붕괴되어 산기슭에 퇴적된 흙으로서 큰 투수성을 가진다. 붕적토

의 공학적 특성으로서 붕적층과 하부지반의 경계부는 매우 연약할 수 있으며, 일반적으로 기초지반으로는 부적합하지만 옹벽의 뒷채움재 등으로 많이 사용된다. 또한 붕적층으로 지하수 유입시 갑작스러운 사면붕괴로 이어질 수 있으며, 터널 갱구부 붕괴의 주요 원인이 되기도 한다. 따라서 대규모 붕적층이 관찰되는 지역에 절토 또는 성토가 계획된다면, 붕적층의 불안정성에 대한 영향을 주의 깊게 해석해야 하고 붕적층 사면의 적절한 안정성 검토가 필요하다.

1* 정회원, 대전대학교 건설시스템공학과 교수 (Member, Prof., Depart. of Civil Engrg., Daejin Univ., E-mail: kilee@daejin.ac.kr)

2 비회원, (주)현대건설 토목환경사업본부 부장 (Non-Member, General Manager, Hyundai Engineering & Construction, Civil & Environment Division)

3 정회원, (주)대우건설 기술연구원 선임연구원 (Member, Researcher, Daewoo Institute of Construction & Technology)

붕적층에 계획된 구조물의 안정성을 평가하기 위해서는 우선 붕적층 고유의 설계지반정수가 결정되어야 한다. 통상적으로 설계지반정수는 현장 또는 실내시험을 통해 해당지역의 대표적인 값을 결정하는 방법이 많이 사용되고 있다. 그러나 붕적층 지역은 역의 최대입자크기가 매우 크고, 붕적층을 구성하는 토질의 입도분포가 지역마다 다양하여 시험을 통한 설계지반정수 산정은 현실적으로 매우 어렵다.

이러한 특성을 갖는 붕적층에 대한 설계지반정수 결정 방법으로는 수치해석을 들 수 있다. 수치해석에는 개별요소법인 PFC (Particle Flow Code) 모델링 방법과 지형이 붕괴된 후 안정된 모양을 갖춘 현재의 지층조건에 대한 역해석(back analysis) 방법이 있다. 이중 PFC모델링은 역과 기질부의 물성을 시험을 통해 파악한 후 이들 두 물질의 거동양상을 수치해석을 통해 설계정수를 결정할 수 있는 방법이지만, 가정이 필요한 입력변수가 많기 때문에 결과치의 신뢰성이 떨어진다. 따라서 수치해석에는 주로 한계평형해석을 이용한 역해석 방법이 사용되지만, 본 연구 지역과 같이 붕괴이후 안정적인 지층조건을 갖는 붕적층일 경우, 여러 입력매개변수(단위중량, 강도정수 등)의 개략적인 추정값이 결정되어 있지 않으면, 설계지반정수의 산정이 그리 쉬운 것만은 아니다.

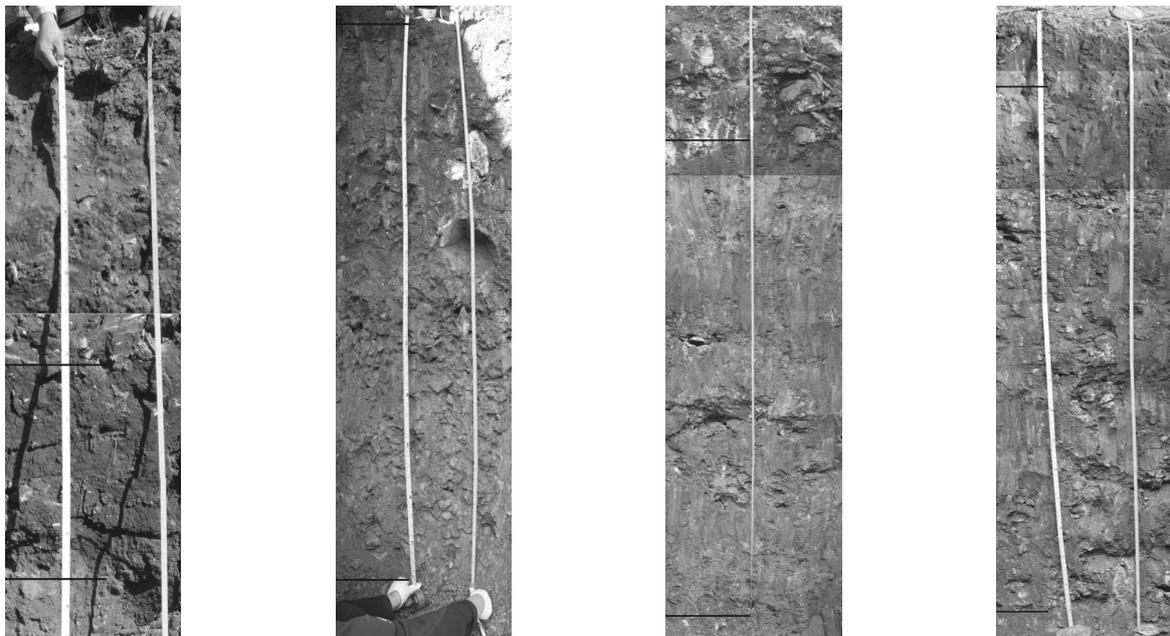
따라서 본 연구에서는 다음과 같은 일련의 과정을 통해 붕적층의 설계지반정수를 합리적으로 결정하였다. 먼저

대상지역 붕적층의 입도분포를 대표할 수 있는 3개소에 대한 대규모 Trench 조사를 통해 들밀도시험을 수행하고, 실내시험용 시료를 채취한 후 굴착면의 세밀한 관찰을 통해 토질구성을 분석할 수 있는 기초자료를 확보하였다. 다음으로 물성 및 강도시험을 통해 연구지역 붕적토의 공학적 특성을 파악하였으며, 굴착면에 대한 스캔라인(scanline) 및 이미지분석을 통해 역의 분포비율을 결정하였다. 이들 역의 분포비율과 기질부 강도정수를 BIMROCK 모형곡선(Medley & Goodman, 1994)에 적용하여 대상지역 붕적층의 강도정수 범위를 추정하고 이로부터 시험치 및 BIMROCK 모형곡선 적용결과를 기초로 적절한 강도정수를 결정한 뒤, 한계평형해석을 통해 강도정수의 적정성을 최종적으로 검증하였다.

2. 현장조사 및 실내시험

2.1 트렌치 조사

조사지역은 경상남도 진해시 석동 IC 부근으로 붕적층이 광범위하게 분포하고 있어 트렌치(trench) 조사를 통한 역의 분포비율을 파악하는 것이 붕적층 강도정수 특성을 분석하는데 있어 매우 중요한 부분을 차지한다. 따라서 전 지역을 대상으로 실시할 수 있는 정도의 간단한 조사가 아니므로 그림 1과 같이 붕적층을 대표할 수 있는 3개소를



(a) TR-1 (GL.-0.0~2.0m)

(b) TR-1 (GL.-2.0~4.2m)

(c) TR-2 (GL.-0.0~3.5m)

(d) TR-3 (GL.-0.0~3.5m)

그림 1. 트렌치조사 및 굴착면 상태

표 1. 지층분포 및 토질특성

구 분	매립토			표토			붕적토			굴착 심도 (m)
	토질구성	심도 (GL.-m)	두께 (m)	토질구성	심도 (GL.-m)	두께 (m)	토질구성	심도 (GL.-m)	두께 (m)	
TR-1	자갈, 점토섞인 실트질 모래	0.0~1.1	1.1	자갈, 점토섞인 실트질 모래	1.1~2.0	0.9	실트질 점토섞인 각진 자갈	2.0~4.2	2.2	4.2
TR-2	실트, 자갈 및 콘크리트	0.0~0.6	0.6	실트 및 점토섞인 자갈	0.6~0.9	0.3	자갈 및 실트섞인 점토	0.9~3.5	2.6	3.5
TR-3	-	-	-	자갈섞인 점토질 실트	0.0~0.3	0.3	실트질 점토섞인 자갈	0.3~3.5	3.2	3.5

선정하여 트렌치 조사를 수행하였다.

굴착된 조사위치의 층서는 TR-1과 TR-2는 매립토, 표토, 붕적토, TR-3은 표토, 붕적토의 층서를 이루고 있으며, 지층분포 심도 및 토질특성은 표 1과 같다.

2.2 실내 물성 및 강도시험

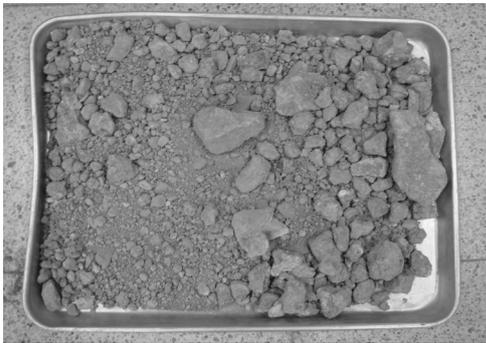
트렌치 조사에서 채취된 3개소(TR-1, 2, 3)의 시료의 단위중량을 파악하기 위해 세립질로 구성된 토사와 역(자갈)과 토사가 혼합된 붕적토에 대하여 들밀도 시험, 물성시험

및 강도시험을 실시하여 토층별 물리적 특성 및 역학적 특성을 파악하였다.

가. 물리적 특성

트렌치 조사위치 내에 포함된 토사 및 붕적토(토사+역)의 입도분포를 파악하기 위해 역의 입자크기를 측정하고 체분석을 실시하였으며, 그림 2는 채취된 시료와 추출된 역의 크기를 보인 것으로서 역은 0.5~14.0cm의 다양한 크기를 가진 것으로 관찰되었다.

토사와 붕적토에 대한 입도분석결과는 그림 3과 같으며



(a) 채취시료



(b) 역의 입자크기

그림 2. 역의 입자크기 측정

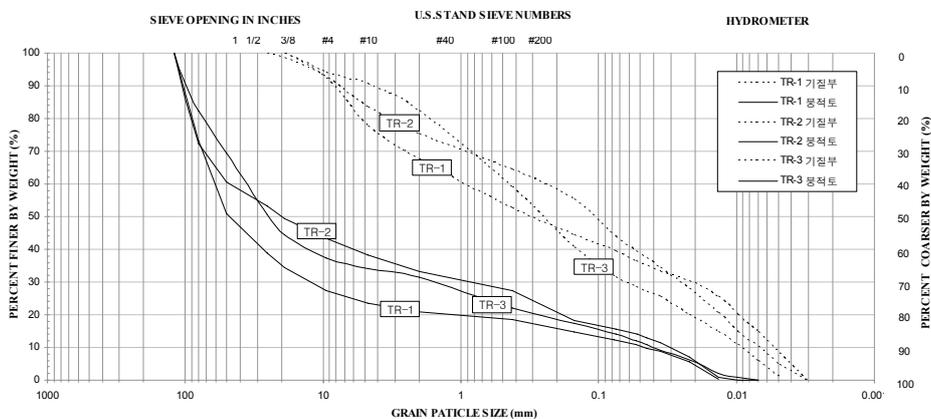


그림 3. 토사 및 붕적토의 입도분포곡선

토사의 경우 No.4체(4.75mm) 통과율 77.7~90.5%, No.200체(0.075mm) 통과율 31.5~43.8%인 세립질 모래로 평가되었고, 붕적층의 경우 No.4체(4.75mm) 통과율 23.5~38.3%, No.200체(0.075mm) 통과율 12.5~15.5%인 세립질 자갈로 평가되었다.

토사 및 붕적토의 균등계수는 토사의 경우 $C_u > 6$, 붕적토의 경우 $C_u > 4$ 로서 양호하게 나타났지만, 곡률계수는 토사 및 붕적토 모두 $C_g < 1$ 로 입도분포가 불량한 것으로 분석되었다. 또한 액, 소성한계 및 입도분석 결과에 의한 토사 및 붕적토의 통일분류를 실시한 결과 토사는 점토질 모래(SC), 붕적토는 점토질 자갈(GC)로 평가되었다.

나. 강도특성

트렌치 조사시 채취된 세립질 토사는 직접전단시험(직

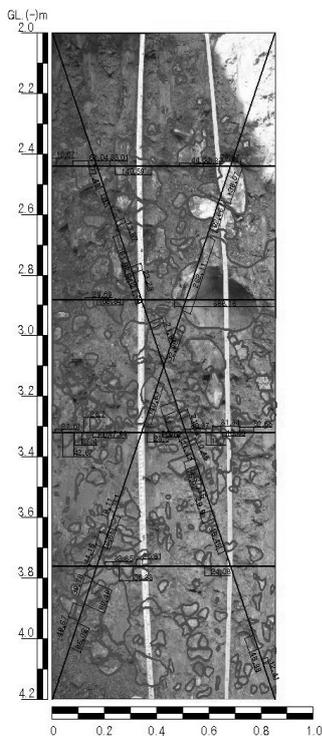
경:5cm) 및 삼축압축시험(직경:5cm) 그리고 붕적토는 삼축압축시험(직경:10cm)을 실시하여 강도정수를 측정하였다. 직접전단시험과 삼축압축시험을 통해 강도정수를 측정 한 결과, 표 2와 같이 토사의 점착력(c)은 11.8~17.7kPa, 내부마찰각(ϕ)은 19.5~28.5°로 측정되었으며, 붕적토의 점착력(c)은 9.8~15.7kPa, 내부마찰각(ϕ)은 29.5~32.0°로 측정되었다.

3. 역의 분포비율 결정

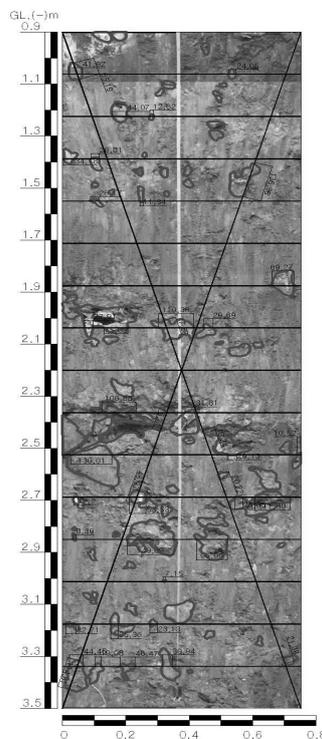
붕적층의 강도정수를 평가하기 위해서는 역의 분포비율을 정확히 평가하는 것이 중요하다. 체구조의 부분적인 구조가 서로 닮는다는 Fractal 특성(Medley, 1994)에 따라 트렌치 조사를 통해 관찰된 역은 일부분이지만 전체지반

표 2. 토사 및 붕적토의 강도시험 결과

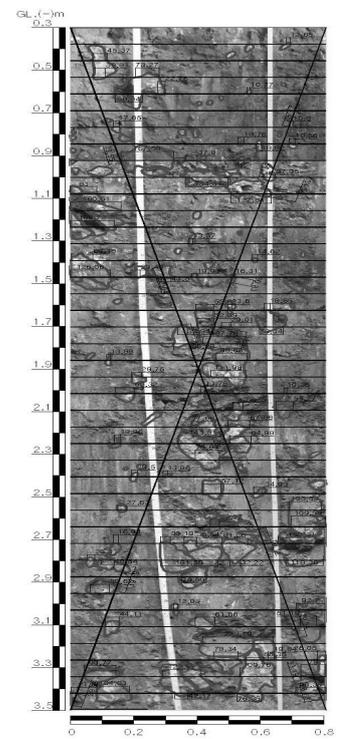
구 분	토사						붕적토(토사+역)			
	통일 분류	No.200 통과율 (%)	직접전단		삼축압축		통일 분류	No.200 통과율 (%)	삼축압축	
			c (kPa)	ϕ (°)	c (kPa)	ϕ (°)			c (kPa)	ϕ (°)
TR-1	SC	39.3	11.8	28.5	12.7	26.4	GC	12.5	9.8	32.0
TR-2	SC	43.8	17.7	19.5	16.7	20.2	GC	15.5	15.7	29.5
TR-3	SC	31.5	13.7	22.5	11.8	23.2	GC	14.0	10.8	30.5



(a) TR-1 (GL, -2.0~4.2m)



(b) TR-2 (GL, -0.9~3.5m)



(c) TR-3 (GL, -0.3~3.5m)

그림 4. 스캔라인 결과

과 유사하다고 할 수 있다. 역의 분포비율산정은 스캔라인(scanline) 방법과 이미지분석법을 사용하였다.

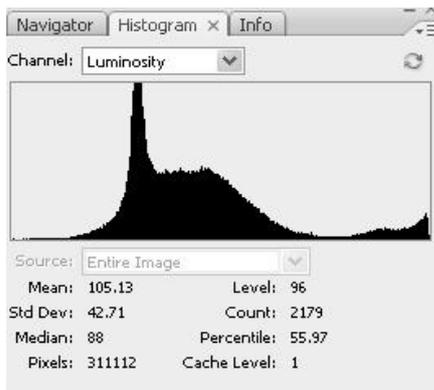
스캔라인 방법은 역의 길이를 측정하여 이를 합한 후 스캔라인 길이로 나누어 선형블록비율(block lineal proportion)을 구하고, 이미지분석법은 역의 픽셀(pixel)수를 구한 후 전체면적에 대한 역의 면적을 평가하여 공간블록비율(block areal proportion)을 구한다.

조사지역은 그림 4와 같이, TR-1>TR-3>TR-2의 순으로 역이 많이 분포하고 있으며, 평균적인 역의 크기는 표 3과 같이 TR-1 : 3cm, TR-2 : 4cm, TR-3 : 6cm이고, 스캔라인을 통해 결정한 선형블록비율은 13.2~37.0%로 평가되었다. Holmes (1921)는 스캔라인의 적절한 길이는 평균입자 크기의 100배가 적당하다고 추천한 바 있으며 본 연구 지역의 블록의 평균입자 크기는 Holmes의 연구결과 범위에 들어있다.

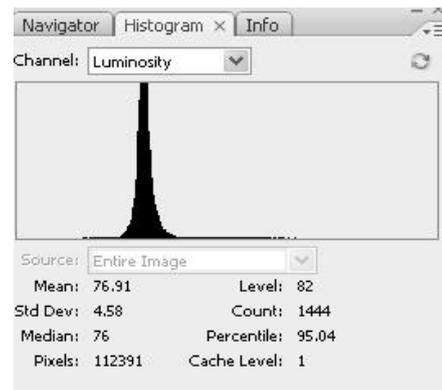
스캔라인에 사용된 사진을 이용하여 이미지분석을 수행한 결과 역의 공간블록비율(분포비율)은 그림 5 및 표 4와 같이 14.2~36.1%로 측정되었으며, 이는 스캔라인에 의한 선형블록비율과 유사한 값을 나타낸다.

표 3. 역의 분포비율(스캔라인)

구분	Scanline 길이(m)	자갈길이의 합(m)	평균 자갈길이(cm)	선형블록비율(%)
TR-1	8.1	3.0	3	37.0
TR-2	16.7	2.0	4	13.2
TR-3	38.9	5.8	6	19.4



(a) 전체이미지(TR-1)



(b) 역의 이미지(TR-1)

그림 5. 이미지분석 결과의 예(TR-1지역)

표 4. 역의 분포비율(이미지분석법)

구분	TR-1		TR-2		TR-3	
	전체이미지	역의 이미지	전체이미지	역의 이미지	전체이미지	역의 이미지
Pixel수	311,112	112,391	228,473	32,514	202,044	42,199
공간블록비율(%)	36.1		14.2		20.9	

4. 설계지반 강도정수 결정

4.1 붕적층의 강도정수 범위

붕적토는 세립질 토사에 역이 포함되어 있는 토질구성을 가지고 있으므로 BIMROCK으로 분류할 수 있다. BIMROCK이란 Block-In-Matrix-Rock의 약어로서 세립질의 토사에 상대적으로 더 조립질이며 단단한 암석블록이 형성된 지반을 의미한다. 현재까지 알려진 BIMROCK의 강도특성을 규명하는 방법으로는 역의 함량을 고려하여 가중치를 부가한 산정법, 기질의 최저강도를 전체 지층의 대표적인 강도로 이용하는 방법, 물리적 모형결과를 통한 방법 등이 있다. 이와 같은 BIMROCK의 강도정수를 평가하는 여러 방법 중 Goodman 등이 개발한 물리적 모형을 통한 추정법이 가장 많이 사용되고 있다. Lindquist & Goodman (1994)은 실내에서 각력층의 모델을 구현하기 위해 인공적인 기질과 블록을 제작하여 모델화하였으며 블록의 방향성을 분류하고 각각의 방향성에 대한 블록비율을 변화시켜 삼축시험을 실시하였으며 그 결과는 표 5와 같다.

표 5와 같이, 블록의 비율이 커지면, 점착력은 감소하고 내부마찰각은 증가하며, 블록의 비율이 70% 이상인 각력층의 경우 점착력은 토사만의 점착력 값의 절반 정도로 감소한다. 또한 블록의 비율이 높아지면 내부마찰각은 블록 방향성에 따라 크게 변화되지 않음을 알 수 있다.

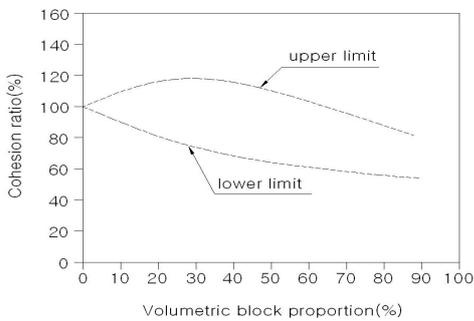
블록의 비율이 0%인 시료, 즉 토사만의 점착력과 마찰

각을 기준으로 시험결과를 도시하여 BIMROCK의 물리 모형 결과를 일반화시킨 것이 그림 6이다. 그림에서 보인 바와 같이, 토사의 강도정수와 역의 분포비율이 결정되면 점착력비와 내부마찰각비를 통해 붕적층의 강도정수 범위를 결정할 수 있다.

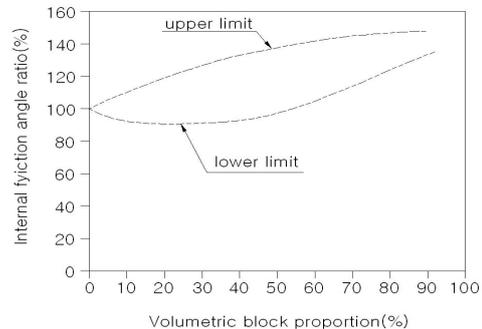
그림 7은 각 트렌치 지역에 대하여 스캔라인 및 이미

표 5. 삼축압축 시험에 의한 전단강도 시험 결과(Lindquist & Goodman(1994))

블록방향(°)	블록비율(%)	점착력(psi)	내부마찰각(°)
N/A	0	330	24.7
N/A	100	445	38.3
0	29	345	26.2
30	31	250	32.9
60	33	377	23.4
90	29	276	32.8
0	50	233	33.5
30	53	206	32.3
60	54	229	33.3
90	57	231	37.6
0	72	199	39.6
30	74	163	38.2
60	73	180	41.2
90	71	302	34.0

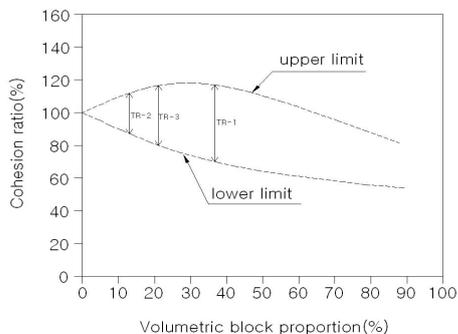


(a) 점착력비

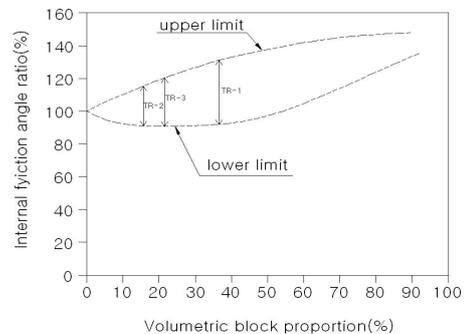


(b) 내부마찰각비

그림 6. 일반화된 BIMROCK곡선



(a) 점착력비



(b) 내부마찰각비

그림 7. BIMROCK 모형곡선에 의한 강도정수비의 추정

표 6. BIMROCK 모형곡선에 의한 붕적층 강도정수 범위

구분	토사 강도정수		역의 평균 분포비율(%)	점착력비(%)		마찰각비(%)		점착력(kPa)		내부마찰각(°)	
	c (kPa)	ϕ (°)		최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값
TR-1	11.8~12.7	26.4~28.5	36.6	71	117	92	131	8.4	14.9	24.3	37.3
TR-2	16.7~17.7	19.5~20.2	13.7	88	113	91	114	14.7	20.0	17.7	23.0
TR-3	11.8~13.7	22.5~23.2	20.2	80	117	90	119	9.4	16.0	20.3	27.6

지분적으로 결정된 붕적층 내에 포함된 역의 분포비율을 BIMROCK 모형곡선에 적용하여 점착력비와 내부마찰각비를 결정하였다. 이들 값에 토사의 강도정수를 적용하여 추정된 붕적층의 강도정수는 표 6과 같이 점착력 8.4~20.0kPa, 내부마찰각 17.7~37.3°범위 내에 존재할 것으로 판단할 수 있다.

4.2 붕적층의 토질구성에 따른 강도정수 결정

대상지역 붕적층의 토질구성은 시추조사 결과에 의하면 자갈 섞인 호박돌, 점토 및 자갈 섞인 호박돌, 자갈 섞인 전석, 모래 및 실트 섞인 자갈, 점토 섞인 모래질 자갈, 실트 섞인 자갈, 자갈 섞인 실트질 모래, 자갈 섞인 모래질 점토, 자갈 섞인 모래질 실트 등으로 매우 다양하게 구성되어 있다.

구조물 안정해석을 위한 강도정수를 결정하기 위해서는 다양한 토질구성을 가진 붕적층을 어떠한 기준에 의해

그룹화 할 필요가 있으며, 통상적으로 표준관입시험에 의한 N치를 이용하고 있다. N치는 지층별 강도정수를 개략적으로 추정할 수 있으며, 지층을 구분하는데 널리 사용하는 원위치 측정값이다. 비록 입자가 대단히 큰 역을 함유하는 본 연구지역 붕적층에서는 N치를 이용하여 강도정수를 추정하는 것이 불합리하지만, 표준관입시험시 채취한 시료를 육안 관찰한 결과와 더불어 조사지역 붕적층을 그룹화 하는데 중요한 판단기준이 된다.

표 7은 다양한 토질로 구성된 붕적층에 대하여 N치와 육안관찰을 통해 세립질 우세지층, 세립질 및 자갈 우세지층, 전석우세지층으로 그룹화 한 것이며, 세립질 우세지층은 역의 분포비율이 적은 TR-2의 시험치를 적용하였고, 세립질 및 자갈 우세지층은 역이 세립질과 골고루 섞인 TR-1과 TR-3를 적용하였다. 또한 이러한 지역의 실내시험결과 및 BIMROCK 모형곡선을 통한 전단강도 값은 표 8과 같다.

그러나 전석 우세지층의 경우 전단시험이 불가능하므

표 7. 대상지역 붕적층의 토질구성에 따른 그룹화

구분	토질구성	N치 범위	평균N치	비고
세립질 우세지층	자갈섞인 실트질 모래	5/30~39/30	15/30	TR-2
	자갈섞인 모래질 점토	29/30	29/30	
	자갈섞인 모래질 실트	10/30~22/30	15/30	
세립질 및 자갈 우세지층	모래 및 실트섞인 자갈	13/30~50/3	50/12	TR-1 TR-3
	점토섞인 모래질 자갈	16/30~50/1	50/5	
	실트섞인 자갈	25/30~50/1	50/3	
전석 우세지층	자갈섞인 호박돌	50/9~50/1	50/3	
	점토 및 자갈섞인 호박돌	50/19~50/8	50/13	
	자갈섞인 전석	50/7~50/1	50/2	

표 8. 실내시험결과 및 BIMROCK 모형곡선을 통한 전단강도 적용결과

구분	역의 평균 분포비율 (%)	단위중량		삼축압축시험		BIMROCK 모형곡선	
		토사부 (kN/m ³)	붕적토 (kN/m ³)	점착력 c (kPa)	내부마찰각 ϕ (°)	점착력 c (kPa)	내부마찰각 ϕ (°)
TR-1	36.6	19.5	21.0	9.8	32.0	8.4~14.9	24.3~37.3
TR-2	13.7	19.3	19.8	15.7	29.5	14.7~20.0	17.7~23.0
TR-3	20.2	19.6	20.0	10.8	30.5	9.4~16.0	20.3~27.6

표 9. 붕적층의 강도정수 결정

구 분	단위중량(kN/m ³)	점착력 c (kPa)	내부마찰각 ϕ (°)
세립질 우세지층	19.5	16.0	26.5
세립질 및 자갈 우세지층	20.0	10.0	31.0
전석 우세지층	22.0	3.0	34.0

로 문헌치 및 기존 적용사례를 참고하고 트렌치 조사결과를 고려하였다. 문헌에 의하면 입도가 양호한 자갈(GW), 입도가 불량한 자갈(GP)의 내부마찰각은 Roy(1984) : $c=0\text{kPa}$, $\phi=32\sim40^\circ$, 한국도로공사(1996) : $c=0\text{kPa}$, $\phi=35\sim40^\circ$, Tomlison(1994) : $c=0\text{kPa}$, $\phi=28\sim40^\circ$ 의 범위를 제시하였다. 그러나 본 지역과 같이 점토질 자갈로 구성된 붕적층은 점착력을 0으로 결정하기에 다소 무리가 있으며, 기존 설계사례에서도 실트질 자갈(GM)의 경우 $c=20\text{kPa}$ 까지 적용한 사례가 있으므로 다른 두 지층에 대한 적용치를 고려하여 $c=3\text{kPa}$ 로 결정하였고, 내부마찰각은 다른 두 지층의 적용치와 문헌치를 고려하여 $\phi=34^\circ$ 로 결정하였다. 또한 지층별 단위중량은 현장 들밀도시험 결과를 고려하

여 결정하였고 각 토질구성별 붕적층의 최종 강도 정수는 표 9와 같다.

5. 강도정수의 적정성 검증

5.1 대표단면설정

연구 대상지역 붕적층을 대표할 수 있는 전석우세지층, 세립질 우세지층, 세립질 및 자갈 우세지층에 대한 비탈면 안정검토를 수행하기 위해 대표단면을 그림 8과 같이 연구 대상지역의 시추조사 결과로부터 선정하였다.

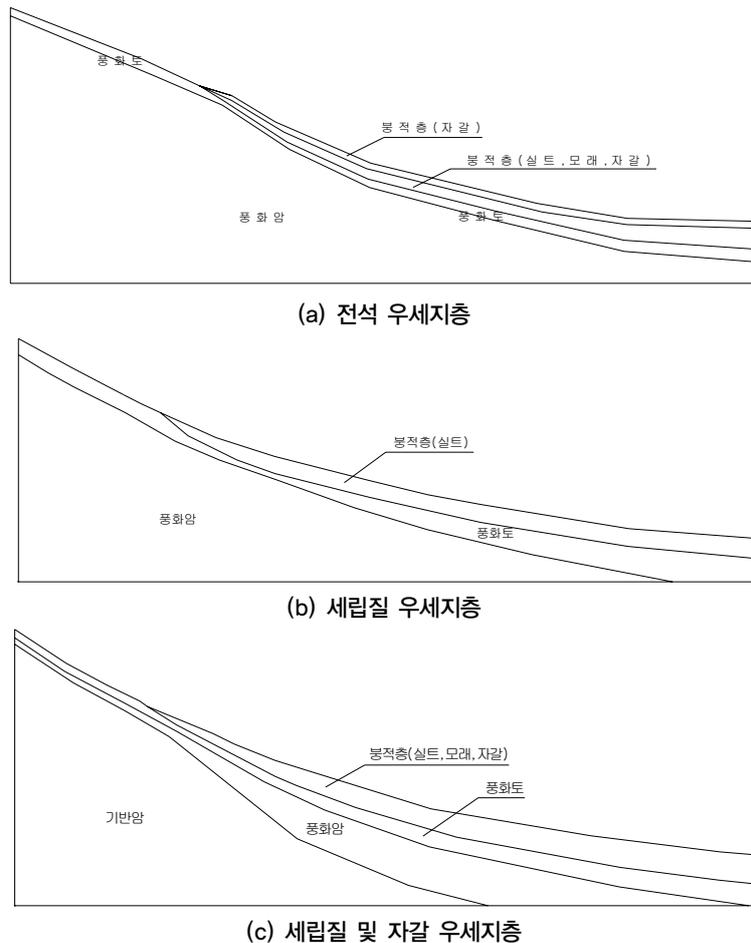


그림 8. 한계평형해석을 위한 붕적층 대표단면

5.2 강도정수의 적정성 평가

현재 연구대상 구간의 붕적층 비탈면이 붕괴된 후 안식각 상태로 퇴적되어 있다는 가정하에 한계평형해석을 반복적으로 실시하여 안정하지만 잠재적 활동 가능성이 있는 불안정한 상태의 안전율($F_s=1.0\sim 1.2$)에 해당하는 강도정수 범위를 결정하여 표 9에서 선정된 강도정수가 이 범위 이내에 분포하는지 여부를 파악하여 강도정수의 합

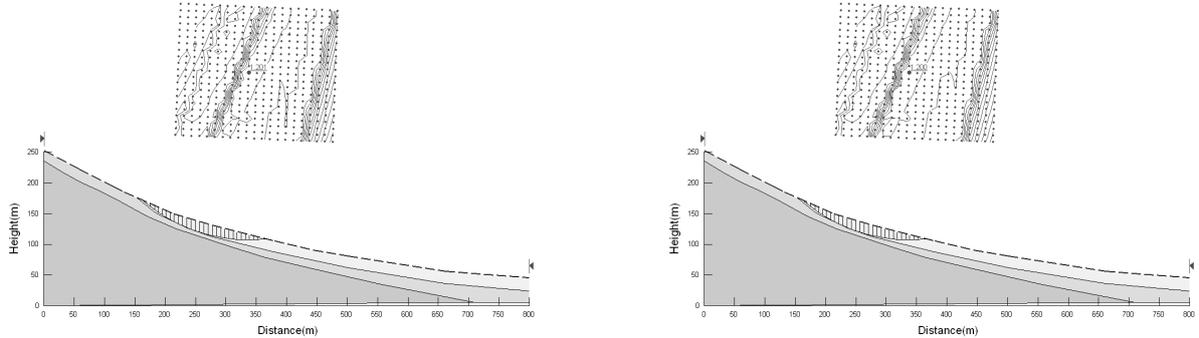
리적인 적정성을 평가하였다. 해석방법은 Bishop의 간편법을 적용하였으며, 그 해석결과는 표 10과 같고 대표적인 한계평형해석 결과는 그림 9와 같다.

5.3 강도정수의 적정성 평가 결과

연구대상 지역 붕적층이 안전율 $F_s=1.0\sim 1.2$ 사이에 존재할 수 있는 강도정수를 가지고 그림 10과 같이 적정성

표 10. 한계평형해석에 의한 비탈면 안정검토 결과

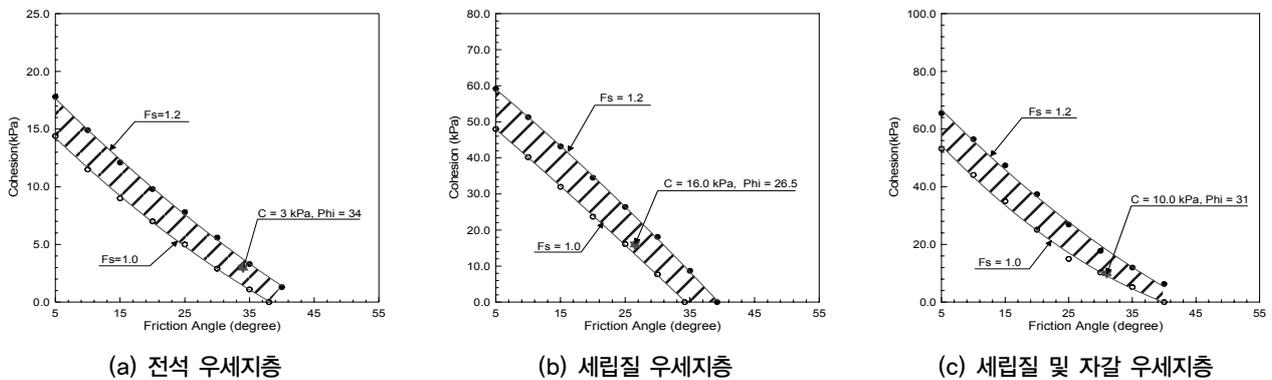
전석 우세지층			세립질 우세지층			세립질 및 자갈 우세지층		
내부마찰각 (°)	점착력(kPa)		내부마찰각 (°)	점착력(kPa)		내부마찰각 (°)	점착력(kPa)	
	$F_s=1.2$	$F_s=1.0$		$F_s=1.2$	$F_s=1.0$		$F_s=1.2$	$F_s=1.0$
5	17.8	14.4	5	59.2	48.0	5	65.5	53.2
10	14.9	11.5	10	51.3	40.2	10	56.5	44.1
15	12.1	9.0	15	43.2	32.0	15	47.4	35.0
20	9.8	7.0	20	34.5	23.7	20	37.4	25.1
25	7.8	5.0	25	26.4	16.1	25	26.9	15.0
30	5.6	2.9	30	18.1	7.7	30	17.8	10.3
35	3.3	1.1	34	-	0.0	35	12.0	5.2
38	-	0.0	35	8.7	-	40	6.3	0.0
40	1.3	-	39	0.0	-	-	-	-



(a) $c=59.2\text{kPa}$, $\phi=5^\circ$

(b) $c=51.3\text{kPa}$, $\phi=10^\circ$

그림 9. 세립질 우세지층인 경우 예($F_s=1.2$)



(a) 전석 우세지층

(b) 세립질 우세지층

(c) 세립질 및 자갈 우세지층

그림 10. 강도정수 적정성 평가곡선

평가곡선을 작도하였다. 곡선이 의미하는 바는 비탈면이 붕괴되지 않는 강도정수의 최소 범위는 $F_s=1.0\sim 1.2$ 사이에 존재하며, 이는 비탈면이 잠재적 붕괴위험성은 있으나 실제로는 붕괴가 발생하지 않는 상태로 볼 수 있으므로 이 범위내의 값이 현재 붕적층 비탈면이 가지는 최적의 강도정수라고 생각할 수 있다.

따라서, BIMROCK 모형곡선을 통해 결정된 붕적층의 고유 설계지반정수가 그림 10과 같이 안전율 $F_s=1.0\sim 1.2$ 사이에 존재하므로 적절한 붕적층의 고유 설계지반정수라 할 수 있다.

6. 결론

대규모 비탈면 붕괴가 발생된 비탈면에 분포하는 붕적층의 강도정수를 예측하기 위해 트렌치 조사 및 각종실내 시험, 굴착면에 대한 스캔라인 및 이미지분석, BIMROCK 모형곡선 방법을 적용하였고, 반복적인 한계평형해석을 통해 붕적층 고유 설계지반정수의 적정성을 확인하였으며, 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 트렌치 조사를 수행한 연구지역 붕적층 내 역의 분포비율은 13.2~37.0%이며, 각 지점에 대한 스캔라인에 의한 선형블록비율, 이미지분석에 의한 공간블록비율은 유사한 결과를 나타내었다.
2. 조사지역 붕적층 내 역의 분포비율과 기질부의 강도정수를 BIMROCK 모형곡선에 적용한 결과, 붕적토의 강도정수는 점착력 8.4~20.0kPa, 내부마찰각 17.7~37.3° 범위 내에 존재할 것으로 추정되며, 역의 분포비율이 증가할수록 점착력은 작아지는 반면, 내부마찰각은 커지는 경향이 있다.

3. 각각의 붕적층에 대해 결정된 강도정수의 적정성을 한계평형해석을 통해 평가한 결과, 모두 현재 분포하고 있는 지역의 지형형상을 고려할 때 적절한 값으로 판단되며, 설계시 합리적이고 안전한 설계를 유도할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2009학년도 대전대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

참고문헌

1. 한국도로공사 (1996), *도로설계 실무편람*, 한국도로공사 편집부.
2. Holmes, A. (1921), *Petrographic methods and calculations*, Thos. urray and Co., London, England.
3. Lindquist, L.S. & Goodman, R.E. (1994), "Strength and deformation properties of a physical model melange", *Proc. 1st North American Rock Mechanics Symposium*, Balkema, pp.843-850.
4. Medley, E. (1994), "Using stereological methods to estimate the volumetric proportion of blocks in melanges and similar block-in-matrix rocks (bimrocks)" *Proc. 7th International IAEG Congress*, Balkema, pp.1031-1040.
5. Medley E. and Goodman R. E. (1994), "Estimating the block volumetric portion of melanges and similar block-in-matrix rocks (bimrocks)", *Proceedings of the 1st North American Rock Mechanics Conference*, Austin, Texas., Laubach SE, editors.
6. Roy E. Hunt (1984), *Geotechnical engineering investigation manual*.
7. Tomlinson M. J. (1994), *Pile design and construction practice*, 4th Edition, E & FN Spon, London.

(논문접수일 2009. 8. 19, 심사완료일 2009. 9. 28)