

실측 데이터를 이용한 Soil nailed wall 해석 프로그램의 설계 적용성에 관한 연구

A Study on the Design Application of Soil Nailed Wall Analysis Programs Using Field Data

김원철* · 천병식** · 박신영***

Kim, Won-Cheul · Chun, Byung-Sik · Park, Shin-Young

Abstract

The several computer programs for the design of soil nailed wall are often used in Korea. However, these programs have been used without any practical justification. Therefore, in order to evaluate the applicability of these programs for the design of soil nailing, these computer results were analyzed and compared with one another. The performance evaluations by the available programs, such as SNAILZ, TALREN97, SLOPE/W, STABL6, and NAILM16, were applied and the applied data were from 5 case history(15 section). The estimated factors of safety with available programs were compared with observed horizontal deformation from the field. The results showed that the program SNAILZ is most adequate tool for the design of soil nailed wall.

Keywords : Soil nailed wall, Factors of safety, Horizontal deformation, SNAILZ

요 지

국내에서 soil nailed wall 설계를 위한 해석 프로그램이 다수 사용된다. 그러나 이러한 해석 프로그램의 적용성에 대한 실제적인 분석 및 평가 없이 사용되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 soil nailing 설계를 위한 해석 프로그램의 적용성을 비교·평가하기 위하여 실측된 변위를 통해 해석결과와 비교·분석을 실시하고, 각 프로그램을 서로 비교하였다. 사용된 프로그램은 한계평형해석을 이용한 SNAILZ, TALREN97, SLOPE/W, STABL6, NAILM16이고, 5개소 현장의 15개 단면이 적용되었다. 각 프로그램에서 계산된 안전율과 현장에서 관찰된 수평변위에 대해 비교한 결과 미국 캘리포니아 도로국(CALTRANS)에서 개발된 SNAILZ가 soil nailed wall의 설계를 위해 가장 적절한 프로그램으로 사료된다.

주요어 : Soil nailed wall, 안전율, 수평변위, SNAILZ

* 정회원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 겸임 교수
** 정회원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수
*** 정회원 · 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

1. 서론

쏘일네일링은 Top-down 시공방법에 의해 사면에 일정한 간격의 네일을 삽입하여 원지반의 지반강도를 증대시키는 공법으로, 최근 도심지의 흠막이 공사나 도로, 철도 등의 사면안정에 대한 프로젝트의 일환으로 자주 사용되고 있다. 이러한 쏘일네일링공법의 설계를 위한 프로그램이 국내에서도 다수 사용되고 있으나, 이 프로그램들이 soil nailed wall의 다양한 적용물성치나 거동 특성을 적절하게 반영하는지에 대한 실제적인 분석이 없이 설계에 적용되고 있는 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 국내·외에서 다수 사용되고 있는 해석 프로그램의 쏘일네일링 구조물에 대한 설계 적용성을 연구하기 위해 5개소 현장 15개 단면의 현장 데이터를 활용하여 상용화된 5개의 프로그램(SNAILZ, TALREN 97, SLOPE/W, STABL6, NAILMI6)에서 산출된 안전율 및 파괴면의 형상 등을 각 현장의 모니터링을 통해 측정된 수평 방향 변위와 비교 및 분석을 실시하였다.

2. 현장 Data를 통한 프로그램의 해석방법 및 안정해석

2.1 프로그램 해석방법

쏘일네일링 구조물을 5개 지역(15개 단면)의 현장사례를 통해 5가지 설계 프로그램의 적용성을 검토하기 위해 해석을 수행하였다. 프로그램해석에 사용된 모든 지반의 물성치는 부분안전율을 적용하지 않았으며, 극한부착응력은 인발시험 결과나 설계 부착력을 기초로 하여 적용하였다. 네일의 물성치인 규격 및 항복강도는 ASTM A572, A615의 기준을 적용하였다.

SNAILZ는 bilinear wedge 해석방법을 적용하였으며, 프로그램중 유일하게 적용할 수 있는 편칭전단력은 해석시 CALTRANS에서 초기 수행된 값인 30kips를 적용하였다. TALREN97의 해석방법은 Bishop의 간편법을 적용하였다. 보강재는 인장, 전단, 휨 또는 인장, 휨, 전단의 조합으로 작용하는 것으로 고려될 수 있으며 부분 안전계수 방법이 사용된다. 그러나 본 논문에서는 다른 프로그램과의 비교를 위해 네일의 인장력과 부분 안전계수는 1을 적용하

였다. SLOPE/W에서는 한계평형해석을 이용한 여러 절편법 중 Bishop의 간편법, Janbu의 간편법, Morgenstern-Price(M-P)방법을 적용하였다. SLOPE/W는 보강재의 기능이 앵커 설계 전용으로 앵커력은 보강재의 부착력과 네일의 허용인장력을 정규화한 값을 적용하였으며, 부착길이는 전체로 가정하고, 하중의 variable 조건을 적용하여 임계 활동면 밖의 보강재의 유효길이를 산정하였다. STABL6는 2차원 한계평형방법에 의해 사면의 안정성을 해석하는 프로그램으로, 안전율 산정은 Bishop 간편법, Janbu의 간편법의 절편법을 이용하였다. NAILMI6은 도스용 네일링 설계 전용으로 설계변수는 벽체 뒤의 배면 지층과 기초지반에 대한 물성치가 입력된다. 기초지반에 대한 물성치는 배면 지층의 가장 하부 값을 가정하였으며, 깊은 파괴에 대한 안전율을 검토하기 위하여 비배수전단강도 및 기초지반에서 경암층까지의 깊이가 고려되었다. 안전율 산정은 굴착면 하단을 통과하는 30개의 활동면을 가정하여 그 중 최소값으로 산정하였다.

2.2 각 현장 사례별 프로그램에 의한 안정해석

(1) Swedish Hospital Parking Garage

본 프로젝트는 지하 7층의 주차장이 건설될 예정이었으며, 최대굴착깊이 74ft의 3개 층으로 구성되어있다. 설계에 적용된 지반 물성치와 보강재 설계변수는 표 1, 2와 같다(Denby 등., 1993).

표 1. Swedish Hospital Parking Garage에 적용된 지반물성치

깊이 (ft)	지층	단위중량 (pcf)	내부 마찰각 (deg)	점착력 (psf)	설계 부착력 (psi)
0-6	Fill	117	30	0	1.73
6-30	Sandy Till	105	40	500	13.9
30-74	Outwash	117	42	500	13.9

표 2. Swedish Hospital Parking Garage에 적용된 보강재 설계변수

수평간격 (ft)	항복 강도 (ksi)		천공 직경 (in)		편칭 전단력 (kips)
	네일 길이 (ft)	네일 경사 (deg)	수직 간격 (ft)	네일 직경 (in)	
6	42		8		30
위치	네일 길이 (ft)	네일 경사 (deg)	수직 간격 (ft)	네일 직경 (in)	극한 부착응력 (psi)
1	46	15	6.0	1.0	13.9
2-7	46	15	6.0	1.25	13.9
8	44	15	6.0	1.25	13.9
9	35	15	6.0	1.0	13.9
10	28	15	6.0	1.0	13.9
11-12	25	15	6.0	1.41	13.9

각 프로그램의 최소안전율은 SNAILZ는 1.24, TALREN 97은 1.13, SLOPE/W는 Bishop, Janbu, M-S법 각각 0.99, 1.01, 0.99, NAILMI6은 1.33으로 해석되었다.

(2) Cold Mill Facility, Pittsburgh

Cold Mill Facility의 경우 총 굴착깊이는 36.1ft이고, 전면판 20ft 뒤에서부터 50ft 길이를 가진 300psf의 등분 포하중을 적용하였으며, 총 4개의 네일이 설치되었다. 설계 프로그램에 적용된 지반물성치는 단위중량 117pcf, 내부마찰각 25°, 점착력 600psf이고, 보강재 설계변수는 표 3과 같다(Denby, 1998).

표 3. Cold Mill Facility에 적용된 보강재 설계변수

수평간격 (ft)	항복강도 (ksi)		천공직경 (in)		편칭 전단력 (kips)
	네일 길이 (ft)	네일 경사 (deg)	수직 간격 (ft)	네일 직경 (in)	
7	60		7.5		30
위치	네일 길이 (ft)	네일 경사 (deg)	수직 간격 (ft)	네일 직경 (in)	극한 부착응력 (psi)
1	25	15	3.0	1.0	20.8
2-4	25	15	6.7	1.0	20.8

본 지역은 3단계 굴착에 따른 단계별 해석을 하였다. 그

결과 최소안전율은 표 4와 같다.

① 1단계 : 30.1ft 굴착높이에 3개의 네일 설치.

② 2단계 : 1단계에 비해 6ft 더 굴착(총 36.1ft 굴착높이), 4번째 네일을 설치하기 위해 천공할 때 지하수위가 발견되어 부가적인 집수정을 설치해야 했다. 그래서 4번째 네일은 다음날 시공해야 했으며, 3/8인치의 크랙이 발생하였고, 하루 사이에 7/8인치로 증가함.

③ 3단계 : 2단계의 집수정 설치후 다음날 모든 36.1ft의 굴착높이에 총 4개의 네일 시공완료.

표 4. Cold Mill Facility의 최소안전율

단 계	SNAILZ	TALREN 97	SLOPE/W			STABL6	
			Bishop	Janbu	M-S	Bishop	Janbu
1	1.25	1.18	0.74	0.84	0.80	1.04	1.23
2	0.96	0.77	0.41	0.56	0.53	0.70	0.83
3	1.03	0.91	0.51	0.62	0.58	0.80	1.00

(3) Full-scale tests on soil nailed walls at the project CEBTP

프랑스의 쏘일네일 연구 프로젝트 Clouterre의 CEBTP No.1 벽체를 적용하였다. CEBTP No.1 벽체는 23ft를 굴착하였으며, 총 7개의 네일을 설치하였다. CEBTP No.1 벽체에는 알루미늄 파이프가 보강재로 사용되었다. 프로그램에 적용할 보강재의 직경은 알루미늄 파이프의 면적을 기본으로 하여 계산하였다. 그리고 포화의 영향을 조사하기 위하여 벽체의 상단부에 살수를 하였다. 본 해석에서 포화전·후의 두 가지 경우로 해석하였으며, 적용된 지반물성치와 보강재 설계변수는 표 5, 6과 같다(FHWA, 1993). 각 프로그램에 의한 최소안전율은 표 7과 같다.

표 5. CEBTP No.1 wall에 적용된 지반물성치

조 건	깊이 (ft)	단위중량 (pcf)	내부 마찰각 (deg)	점착력 (psf)	설계 부착력 (psi)
Before	0-23	96.1	38	62.65	11.6
After	0-14.8	105.0	38	62.65	11.6
	14.8-23	129.1	38	0	8.0

표 6. CEBTP No.1 wall에 적용된 보강재 설계변수

수평간격 (ft)	항복강도 (ksi)		천공직경 (in)	편칭전단력 (kips)	
3.77	15		2.48	30	
위치	네일 길이 (ft)	네일 경사 (deg)	수직 간격 (ft)	네일 직경 (in)	극한 부착응력 (psi)
1	19.7	10	1.6	0.325	11.6
2	26.2	10	3.28	0.722	11.6
3	24.2	10	3.28	0.722	11.6
4	26.2	10	3.28	0.722	11.6
5	26.2	10	3.28	0.438	11.6
6	26.2	10	3.28	0.438	11.6 or 8.0*
7	19.7	10	3.28	0.722	11.6 or 8.0*

* : 포화 후에 적용

표 7. CEBTP No.1 wall의 최소안전율

단 계	SNAILZ	TALREN 97	SLOPE/W			STABL6		NAILM 16
			Bishop	Janbu	M-S	Bishop	Janbu	
before	1.18	0.89	0.78	0.87	0.88	0.95	1.25	1.09
after	0.98	0.56	0.39	0.54	0.52	0.73	0.96	NA

(4) Portland study

본 시공 지역은 2개의 전형적인 soil nailed wall로 구성되어 있다. 첫 번째 구간 23rd Avenue wall과 두 번째 구간 Marshall Street wall로 굴착고 37ft에 7개의 네일이 설치되었다. 본 해석에서 지반물성치는 2 종류의 지반을 적용하였다. Soil(I)은 단위중량 103pcf, 내부마찰각 최대강도시 36.2°, 잔류강도시 34.4°, 점착력은 최대강도시 393.8psf, 잔류강도시 239.6psf이고, Soil(II)는 단위중량 101.5pcf, 내부마찰각 최대강도시 37°, 잔류강도시 33.7°, 점착력은 최대강도시 339.3psf, 잔류강도시 416psf이며, 보강재 설계변수는 표 8과 같다(Shen et al., 1981). 각 프로그램에 의한 최소안전율은 표 9와 같다.

표 8. Portland study의 보강재 설계변수

수평 간격 (ft)	항복 강도 (ksi)	천공 직경 (in)	편칭 전단력 (kips)			
6	42	4	30			
위 치	네일 길이 (ft)	네일 경사 (deg)	수직 간격 (ft)	네일 직경 (in)	극한부착응력(psi)	
					23rd Avenue wall	Marshall St. wall
1	28	15	4	1.0	7.45 or 6.07*	7.14 or 7.12*
2	28	15	5	1.0	10.06 or 8.52*	9.79 or 9.47*
3	28	15	5	1.0	12.68 or 10.97*	12.45 or 11.82*
4	28	15	5	1.0	15.30 or 13.42*	15.10 or 14.17*
5	28	15	5	1.0	17.92 or 15.87*	17.76 or 16.52*
6	28	15	5	1.0	20.53 or 18.32*	20.42 or 18.87*
7	28	15	5	1.0	23.15 or 20.76*	23.07 or 21.22*

* : 잔류강도의 극한부착응력

표 9. Portland study의 최소안전율

구 간	Soil	SNAILZ	TALREN 97	SLOPE/W			STABL6		NAILM 16	비고
				Bishop	Janbu	M-S	Bishop	Janbu		
23 Avenue wall	Soil (I)	1.55	1.48	1.25	1.33	1.28	1.51	1.96	1.42	최대 강도
		1.34	1.16	1.03	1.06	1.03	1.26	1.64	1.20	잔류 강도
	Soil (II)	1.53	1.44	1.23	1.29	0.95	1.50	1.95	1.40	최대 강도
		1.50	1.41	1.22	1.29	1.25	1.47	1.87	1.36	잔류 강도
Marshall Street wall	Soil (I)	1.33	1.21	1.14	1.10	1.03	1.36	1.51	NA	최대 강도
		1.18	1.03	0.97	0.92	1.14	1.15	1.30	NA	잔류 강도
	Soil (II)	1.33	1.19	1.14	1.09	1.27	1.34	1.50	NA	최대 강도
		1.28	1.15	1.10	1.06	1.12	1.30	1.42	NA	잔류 강도

(5) Earth support system in Fredericksburg Virginia

Fredericksburg에서의 지보시스템은 Schnabel Foundation Co.에 의해 수행된 대규모의 실험이다. 31.5ft의 굴착깊

이에 6개의 네일과 1개의 타이백이 설치되었다. 프로그램에 적용된 지반 물성치는 단위중량 117pcf, 내부마찰각 36°, 점착력 0psf이고, 보강재 설계변수는 표 10과 같다 (Salama, 1992).

표 10. Fredericksburg에 적용된 보강재 설계변수

수평 간격 (ft)	항복 강도 (ksi)	천공 직경 (in)	편칭 전단력 (kips)		
4.5	42	3.5	30		
위치	네일길이 (ft)	네일경사 (deg)	수직간격 (ft)	네일직경 (in)	극한부착 응력(ksi)
1	12	10	2.25	1.25	7.6
2	12	10	5	1.25	25.3
3	49	10	5	2.1	44.2
4-7	12	10	5	1.25	31.6

각 프로그램의 최소안전율은 SNAILZ는 1.51, TALREN 97은 1.25, SLOPE/W는 Bishop, Janbu, M-S법 각각 1.18, 1.22, 1.20이고, NAILMI6은 1.45이다.

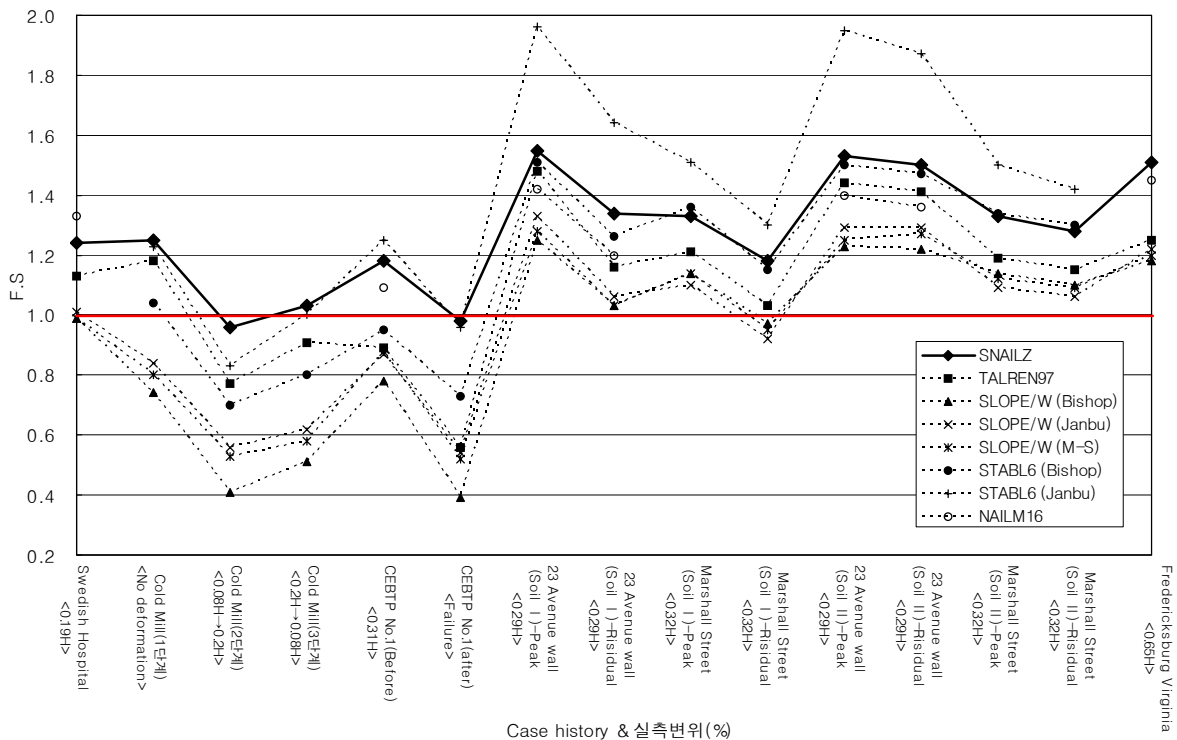
3. 결과 및 비교·분석

3.1 프로그램 해석 결과와 실측 Data의 비교·분석

5개소의 현장 사례(15개의 단면)를 통해 5가지 프로그램의 설계 적용성을 연구하기 해석을 수행하였다. 각 현장별 5가지 프로그램에 의한 해석 결과(안전율, F.S)와 실측된 변위는 그림 1과 같다.

3.1.1 SNAILZ 해석결과

soil nailed wall에서 벽체 상단부의 최대 벽체 변위는 벽체 높이(H)의 약 0.3% 정도 경향을 보인다(FHWA,



* < >값은 실측변위, H는 벽체 높이

그림 1. 각 현장별 5가지 프로그램에 의한 안전율(F.S)과 관찰된 변위(%)

1991). 그림 1에서와 같이 SNAILZ에 의한 해석결과와 실측된 변형을 비교하면, soil nail wall의 거동을 잘 표현하는 것을 알 수 있다. 즉, SNAIL에 의한 2개 단면 Cold Mill 2단계, CEBTP No.1 포화후에서 안전율이 1.0(안전율 1 이하는 파괴)보다 적은 것을 볼 수 있다. Cold Mill의 2단계의 안전율이 0.96이고, 실측변위는 0.08H (3/8인치)에서 0.2H(7/8인치)로 증가했다. CEBTP No.1 실험벽체의 포화후 안전율은 0.93이고, 실제 파괴가 일어났다. 또한 Fredericksburg의 경우 높은 안전율(F.S=1.51)에 비해 상대적으로 큰 변위(0.65H)가 발생하였는데 SNAILZ의 결과로 설명될 수 있다. SNAILZ 결과 Fredericksburg는 상부 3개 네일이 파괴면 내부에 위치하고, 상부에서 7ft 두께의 지반층은 N=10인 느슨한 흙으로 되어있기 때문이다. 즉, 상부의 네일은 저항력이 없기 때문에 변형이 크게 발생한 것으로 사료된다. 그러므로 SNAIL에 의한 해석 결과는 실제 soil nailed wall의 거동을 잘 반영하는 것으로 나타났다(Kim, 1998).

3.1.2 TALREN97 해석결과

그림 1에서와 같이 TALREN97의 결과, 4개 단면의 안전율이(Cold mill 2, 3단계는 0.77, 0.91, CEBTP No.1 포화전·후는 0.89, 0.56) 1보다 적게 나왔다. 특히, Cold mill의 3단계와 CEBTP No.1의 포화전의 경우는 0.31H로 실제 파괴가 일어나지 않았는데 안전율이 1.0보다 적게 나왔다. 그러므로 본 논문의 해석 결과에 의하면 TALREN97은 안전율이 적게 산정되어 쏘일네일링 구조물의 과다설계가 될 것으로 사료된다.

3.1.3 SLOPE/W 해석결과

SLOPE/W는 anchor loads를 사용하기 때문에 네일의 설계하중과 부착길이 산정의 어려움이 있다. 본 논문에서는 네일의 설계하중을 보강재의 부착력(Pull-out value)과 네일의 허용인장력을 네일의 수평간격으로 나눈 값 중 적은 것을 적용하였고(FHWA, 1996), 프로그램의 특성을 고려하여 부착길이는 전체 네일길이로 적용하였다.

SLOPE/W에 의한 해석은 실측 데이터와 비교해볼 때 Portland study와 Fredricksurg를 제외한 나머지 현장은 안전율 1.0 이하로 나타나 잘 맞지 않음을 보여주고 있

다. 그러므로 본 논문의 해석 결과에 의하면 SLOPE/W는 쏘일네일링 해석시 과다설계가 되어 비경제적인 설계가 될 것으로 사료된다.

3.1.4 STABL6 해석결과

프로그램 해석결과에 의하면 최소안전율은 그림 1과 같이 산정되었다. STABL6의 해석방법으로는 Bishop의 간편법과 Janbu의 간편법을 적용하였다. Bishop의 간편법에 의한 해석결과 Cold Mill 3단계는 최대수평변위의 한계값인 0.3%(FHWA, 1991)에 비해 적은 변위(0.08%)이지만 안전율은 0.95로 파괴가 발생한 것으로 해석되었다. 또한 CEBTP No.1 포화전의 경우, 실제변위는 0.31%이나 실제 파괴가 발생하지 않았는데 안전율은 0.95로 적게 나타났다. Janbu의 간편법은 Cold Mill Facility, CEBTP No.1 실험벽체는 실제 변형과 비슷한 경향을 보이고 있지만, Portland study의 경우는 타프로그램과 비교하여 상대적으로 다소 큰 안전율이 산정되었다.

3.1.5 NALM16 해석결과

해석결과 그림 1에서 보는 바와 같이 NALM16에 적용시킨 6개의 단면에서 관찰된 변위와 비교할 때 상대적으로 적절한 안전율이 나왔지만, 지하수위가 있는 Cold mill과 CEBTP No.1 포화후의 경우 NALM16의 특성상 지하수위를 고려할 수 없기 때문에 적절한 비교 대상으로 부족하며, 또한 등분포하중의 시점이 벽체 상단 시점으로 제한되는 단점이 있기 때문에 쏘일네일링 벽체의 해석에는 국부적으로만 쓰일 수밖에 없다.

4. 결론

본 논문에서는 쏘일네일링 적용구조물의 설계를 위한 컴퓨터 프로그램의 적용성을 평가하기 위해 5개소 현장의 15개 단면을 SNAILZ, TALREN97, SLOPE/W, STABL6, NALM16의 해석프로그램에 적용하여 현장에서 관찰된 변위와 비교·분석하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. SNAILZ에 의한 해석 결과와 실측변위를 비교한 결과

soil nailed wall의 거동을 적절하게 반영 할 수 있었으며, SNAILZ의 해석 결과로부터 벽체 상부의 변형을 감소시키기 위해서는 시공전에 지표면의 충분한 다짐이 필요하며, 또한 대안으로 상부 네일 길이를 길게 해야 한다는 결론을 내릴 수 있다. 또한 SNAILZ 프로그램은 윈도우 버전 프로그램으로 설계변수의 입·출력이 용이하며, 해석결과 파괴시 안전율에 대한 각 네일에 영향요소(pull-out, yield, punching shear)를 알 수 있다.

2. TALREN97은 현장 데이터와 안전율을 비교한 결과 2개의 단면에서 실제변위와 맞지 않는 해석이 되었으며, 전체적으로 쏘일네일링 해석이 비교적 잘 반영되는 SNAILZ와 비교하여 안전율이 5~43 % 정도 적게 산정되었다. 그러므로 TALREN97은 soil nailed wall 해석시 안전율의 과소 산정으로 인해 구조물의 과다설계가 될 수 있다.
3. SLOPE/W 프로그램은 윈도우버전 프로그램이므로 사용자가 쉽게 모든 데이터를 쉽게 입력할 수 있고, 에러 검사가 가능하여 쉽게 오류사항을 체크할 수 있는 장점이 있지만, 프로그램 계산에 적합한 설계하중의 결정방법이 없기 때문에 적절한 최소안전율을 산정하는데 어려움이 있다. 또한 본 논문의 해석결과에 의하면 상기에서 검증된 SNAILZ 프로그램에 비해 안전율이 적게 나왔으며, 6개의 단면에서 안전율이 1.0 이하가 나왔다. 그러므로 구조물의 과다설계가 되어 쏘일네일링 설계시 비경제적일 수 있다.
4. STABL6 프로그램은 해석결과 Bishop의 간편법은 Cold mill 3단계와 CEBTP No.1 포화전의 단면에서 실측변위와 맞지 않는 결과가 나왔으며, SNAILZ에

비해 상대적으로 적은 안전율이 산정되었다. 그러므로 구조물이 과다설계가 될 가능성이 있다. Janbu의 간편법은 실측변위와 비교하면 적절한 안전율이 나왔으나, Portland study의 경우 실측변위에 비해 상대적으로 안전율이 다소 많이 산정이 되었다. 그러므로 여기에 따른 세부적인 분석이 더욱 필요할 것이다. 또한 프로그램의 특성상 네일의 개수가 10개로 제한되어 있지만, PCSTABL6의 윈도우 버전인 WINSTABL은 네일 개수 제한이 없다.

5. NAILM16 프로그램은 해석결과 안전율과 관찰된 실측변위가 비교적 적절하지만 프로그램의 특성상 지하수위를 고려할 수 없고, 지표면 상부의 등분포하중의 위치가 벽체 상단 시작점에서부터 시작해야 하기 때문에 쏘일네일링 해석시 제한적으로 사용될 것으로 사료된다. 또한 도스버전으로 입출력이 타 프로그램에 비해 상대적으로 번거로우며, 설계변수의 수정 기능이 상대적으로 다소 불편하다.

본 논문에서 현장 데이터를 통해 5개 프로그램의 해석결과와 비교한 결과 미국 캘리포니아 도로국(CALTRANS)에서 개발된 SNAILZ가 soil nailed wall의 거동을 가장 적절하게 반영하는 것을 알 수 있었다. 그리고 쏘일네일링 구조물의 적절한 설계하중을 적용하기 위해서는 soil nailed wall 설계전 반드시 인발시험을 실시해야 하며, 안정성의 확보를 위해 시공전 적절한 다짐과 시공단계별 확실한 모니터링과 적절한 배수시스템을 설치해야 할 것이다.

(접수일자 : 2003년 10월 29일)

참 고 문 헌

1. Denby, G.(1988), Two soil-nailing case histories, first use in Seattle., 24th Annual Symposium of Engineering Geology and Soil Engineering, February, Coeur d'Alene, Idaho, pp. 1~16.
2. Denby, G., D. Argo, and Campbell(1993), Soil nail design and construction of Swedish Hospital Parking Garage in Seattle, Washington, 29th Annual Symposium of Engineering Geology and Soil Engineering, February, Boise, Idaho, pp. 1~11.
3. FHWA(1996), Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Walls, Rep. No. FHWA-SA-96-069, Washington, D.C., pp. 118~129.
4. FHWA(1993), Recommendations Clouterre 1991(english translation), Report on the French National Project Clouterre, Rep. No. FHWA-SA-93-026, Washington, D.C., p. 302

5. FHWA(1991), Soil nailing for stabilization of highway slopes and excavations, FHWA- RD-89-198, p. 210
6. Kim, W. C.(1998), The effect of nail stiffness and inclination soil nailing by finite element method, Ph. D. Dissertation, Utah State University, Logan, Utah.
7. Salama, M. E.(1992), Analysis of soil-nailed retaining walls Unpublished doctoral dissertation, University of Illinois Library, Urbana-Champaign, Illinois, p. 243.
8. Shen, C. K., S. Bang(1997), User's Manual for NAILMI3, South Dakota School of Mines and Technology.
9. Shen, C. K., S. Bang, and L. R. Herrman(1981), Ground movement analysis of earth support system. Journal of Geotechnical Engineering Division ASCE 107(GT12), pp. 1625~1642.
10. SNAIL(1994), Program for soil nailing. PC Ver. 2.11, California Department of Transportation, Los Angeles, California.
11. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration(1986), PC-STABL6 Users Guide, Turner-Fairbank Highway Research Center, McLean, VA 22101-2296.