

측방유동지반상 교대의 안정성에 관한 연구

A Study on the Stability of Bridge Abutment
on Soil Undergoing Lateral Movement

홍원표¹⁾ 조용량²⁾ 이재호³⁾

1. 서 론

우리 나라는 한정된 국토로 인하여 연약지반을 피하여는 도로를 건설할 수 없는 현실에 있다. 따라서, 최근 남해안, 서해안 고속도로 건설에 있어서도 연약지반상에 교대를 시공하고 있는 실정이다. 이러한 연약지반상에 구조물 하중이 재하되는 경우 지반은 압밀과 전단에 의해 침하와 측방유동이 발생된다. 특히 말뚝기초로 지지된 교대의 경우 지반의 측방유동으로 인하여 말뚝도 변형하게 되어 결국 구조물에 유해한 영향을 미치게 된다.

최근 교대의 측방이동에 관한 많은 연구결과가 발표되고 있으며⁽¹⁻³⁾ 일부는 설계단계에서 교대 기초말뚝에 관한 검토를 하고 있다. 이들은 주로 사면 안전율, 측방유동지수 및 측방이동 판정식등으로 측방이동 여부를 판정하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 국내의 연약지반에 설치된 교대의 측방이동 사례를 조사하여 기 발표된 측방이동 판정식을 검증하고 말뚝기초를 고려한 사면안전율과 측방변위의 관계를 분석하여 국내 교대의 안정성에 대한 판정기준을 마련하고자 한다.

2. 교대의 측방이동 사례현장

국내에서 교대의 측방이동 변위에 관한 조사는 1994년, 6개 현장의 12개 교대에 대한 측방이동 사례가 분석되었으며⁽²⁾, 최근의 도로공사 보고서에서는 140여개의 교량, 교대중 40여개의 교대에 변위가 발생된 것으로 보고되었다⁽³⁾. 이들 현장의 자료를 토대로 국내의 34개 교대현장에 대한 사례를 조사하였으며 이를 정리하면 표 1과 같다.

3. 측방이동 판정법

연약지반상의 교대 측방이동 판정법은 1)사면안전율과 압밀침하량에 대한 판정, 2)측방유동지수(F)에 의한 판정, 3)측방이동 판정식에 의한 판정, 4)캐나다법에 의한 판정, 5)말뚝효과를 고려한 사면안전율에 대한 판정 등이 있다.

보다 합리적인 방법은 교대기초말뚝의 설계를 실용적으로 고려하고 지반의 안정성을 극한평형 문제로 취급하는 접근방식이 바람직할 것이다. 즉, 지반의 측방유동 판정은 상기의 영향요소를 종합적으로 반영할 수 있는 지표로 사면의 안전율을 고려하여 측방이동 발생여부를 검토하는 것이 가장 효과적이라 판단된다.

본 연구에서 사면안정해석은 중앙대학교에서 개발된 교대 기초말뚝 해석전용 프로그램인 "CHAMP"를 사용하여 수동말뚝의 사면안정 효과를 무시한 경우와 고려한 경우의 사면안전율을 모두 구하였다. 또한 수동말뚝의 효과를 무시한 사면안정해석을 영국의 Geosolve사에서 개발한 "SLOPE" 프로그램으로도 실시하였다.

1) 정희원, 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과교수

2) 정희원, (주)삼호 기술사업팀장

3) 정희원, 중앙대학교 대학원 박사과정

표 1 사례교대 현장현황

No	교대명	성토고 (m)	연약층 두께 (m)	발생 변위 (cm)	대책 공법	No	교대 No.	성토고 (m)	연약층 두께(m)	발생 변위 (cm)	대책 공법
1	D11	4.20	20.1	6.0		18	Y53	7.09	15.8	1.2	
2	D12	5.10	14.1	5.0		19	S41	12.71	19.5	3.8	
3	Y11	5.97	14.0	0.6		20	S42	12.21	19.2	7.5	
4	Y12	7.94	12.0	0.4		21	S43	11.65	15.5	0.6	
5	Y13	9.75	7.30	3.0		22	S44	11.35	16.7	6.5	
6	Y14	9.41	13.10	6.0		23	S11	5.55	16.5	3.7	
7	Y15	10.75	7.30	0.5	EPS	24	S12	5.96	12.0	1.0	
8	Y16	13.19	13.10	0.8	File Slab	25	K01	12.45	18.7	10.0	
9	Y21	8.56	40.1	8.1		26	K02	8.67	17.7	3.2	
10	Y22	10.16	40.1	23.4		27	K03	5.03	17.0	1.0	
11	Y25	7.13	35.0	0.0	EPS	28	NS1	5.00	11.0	7.0	
12	Y26	8.45	33.0	0.0	EPS	29	NS2	7.30	13.3	23.95	
13	Y27	8.4	40.1	0.0	EPS	30	NS3	4.10	24.6	1.00	
14	Y28	9.6	40.1	0.0	EPS	31	J01	8.54	28.8	22.25	
15	Y31	7.5	25.2	0.0	EPS	32	J02	11.00	26.3	9.50	
16	Y51	9.35	11.4	2.5		33	J03	8.54	29.3	19.75	
17	Y52	10.49	12.0	0.7		34	R01	7.30	4.8	5.0	

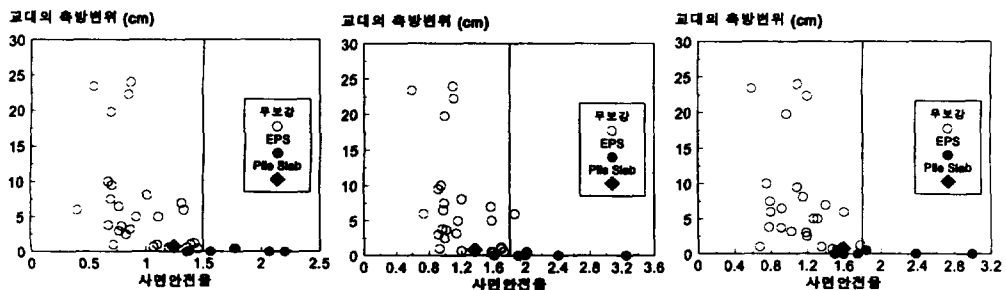
4. 해석결과 분석

4.1. 사면안전율과 측방변위와의 관계

본 절에서는 측방변위가 발생한 국내의 34개 교대현장에 대한 지반조건을 근거로 하여 사면안정 해석을 실시하였다. 해석결과 산출된 사면안전율과 현장에서 실측한 교대의 측방변위량의 관계는 그림 1과 같다.

그림 1 (a), (b)는 프로그램 "CHAMP"를 사용하여 구한 사면안전율과 측방변위와의 관계이며 말뚝효과를 고려한 경우와 말뚝효과를 무시한 경우를 각각 해석하여 분석한 결과 말뚝효과를 무시한 경우에는 사면안전율 1.5이하에서, 말뚝효과를 고려한 경우에는 사면안전율 1.8이하에서 측방이동 가능성이 있는 것으로 판정되었다. 또한 그림 (c)는 프로그램 "SLOPE"를 사용하여 구한 사면안전율로서 안전율이 1.8 이하에서 측방이동 가능성이 있는 것으로 나타났다.

전반적으로 말뚝효과를 고려한 경우가 말뚝효과를 무시한 경우보다 큰 사면안전율이 산출되고 있으며 말뚝효과를 무시한 경우의 사면안전율 산출시 "SLOPE" 프로그램은 Bishop법을 사용하였으므로 Fellenius 법을 사용한 "CHAMP" 프로그램과 안전율과 차이를 보이고 있다.



(a) CHAMP(말뚝효과무시) (b) CHAMP(말뚝효과고려) (c) SLOPE(말뚝효과무시)

그림 1 사면안전율과 측방변위와의 관계

4.2 사면안전율과 측방유동지수의 관계

일본도로공단이 발표한 측방유동지수(F)와 사면안전율과의 관계를 도시하면 그림 2와 같다. 측방유동지수는 식 (1)과 같이 교대배면의 성토고와 단위중량, 연약층의 전단강도 및 깊이의 함수로 F치가 4×10^{-2} 이하이면 측방유동의 우려가 있다고 판정하고 있다.

$$F = \frac{c}{\gamma H} \times \frac{1}{D} \quad (1)$$

여기서, c는 연약층의 평균 점착력이며 γ 는 성토재의 단위중량이고 H와 D는 각각 성토고와 연약층의 두께이다. 본 절에서는 기존의 판정법인 측방유동지수와 사면안전율의 관련성을 비교하고, 국내 연약지반상 교대의 안정성판단에 본 판정법이 적합한지를 분석하였다.

그림 2에서 점선은 기존의 판정기준인 4×10^{-2} 를 도시한 선이나, 분석결과 보강공법을 시행한 교대를 제외하고는 실선으로 표시한 바와 같이 국내 교대의 경우 측방유동지수가 3×10^{-2} 기준으로 함이 적합한 것으로 얻어졌다.

4.3 사면안전율과 측방이동 판정지수와의 관계

일본 건설성 토목연구소에서는 교대의 측방이동에 관련된 요인으로 교대제원, 기초말뚝, 지반에 관련한 요인이 고려된 측방이동 판정지수(I_L)를 식 (2)와 같이 정의하였다. 여기서 μ_1, μ_2, μ_3 는 각각 연약층과 기초재 및 교대의 크기와 관련된 보정계수이며, I_L 값이 1.2 이상이면 측방이동의 우려가 있는 것으로 판정하고 있다.

$$I_L = \mu_1 \mu_2 \mu_3 \frac{\gamma H}{c} \quad (2)$$

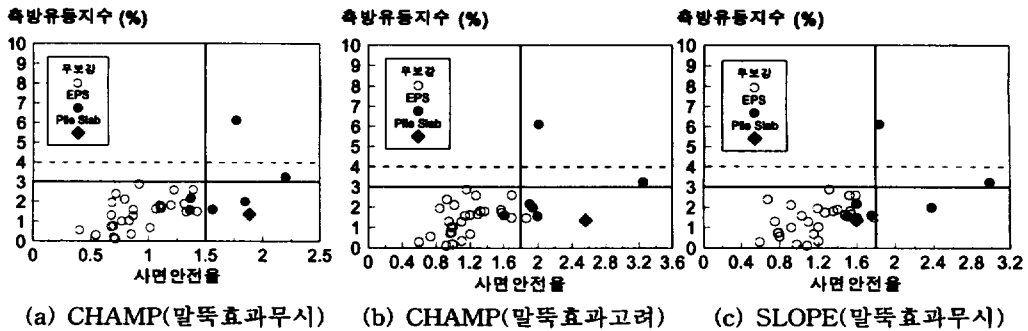


그림 2 사면안전율과 측방유동지수와의 관계

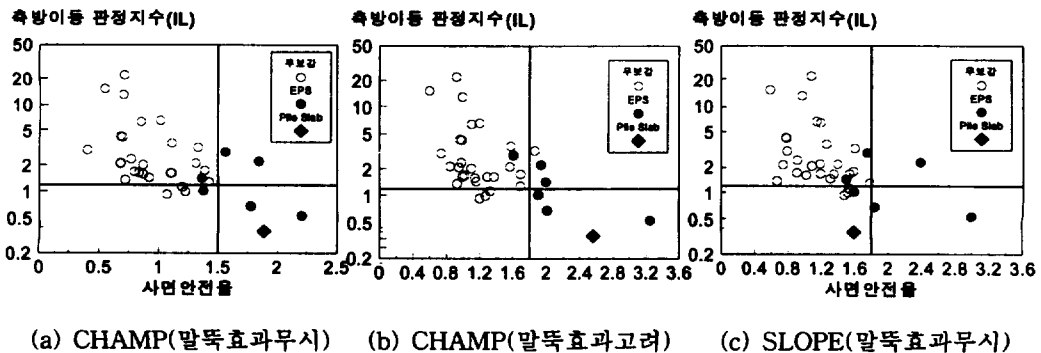
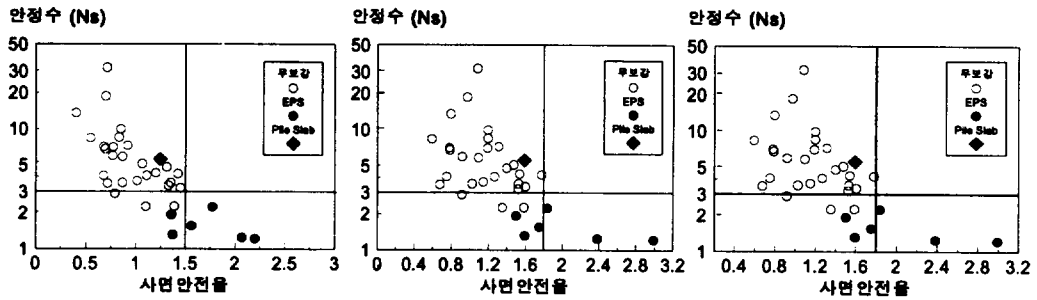


그림 3 사면안전율과 측방이동판정지수와의 관계



(a) CHAMP(말뚝효과무시) (b) CHAMP(말뚝효과고려) (c) SLOPE(말뚝효과무시)

그림 4 사면안전율과 안정와의 관계

그림 3은 "CHAMP"와 "SLOPE" 프로그램을 사용하여 구한 사면안전율과 측방이동 판정지수(I_L)와의 관계를 나타낸 것이다. 해석결과 보강공법을 시행한 교대를 제외하고는 전 교대의 측방이동 판정지수(I_L)가 기존 판정법과 일치하는 1.2 경계부에서 나타나 기존식이 국내 교대의 안정성 판정기준으로 적절한 것으로 판단되었다. 그러나 본 판정식만으로는 교대의 측방이동을 판단할 수 없으므로 말뚝의 효과를 고려한 사면안전율과 비교하여 판단하여야 할 것이다.

4.4 사면안전율과 안정수의 관계

그림 4는 "CHAMP"와 "SLOPE" 프로그램을 사용하여 구한 사면안전율과 안정수(N_s)와의 관계를 도식한 것이다. Tschebotarioff는 안정수가 3.0이상이면 측방유동 현상의 우려가 있다고 발표한 바 있다.

$$N_s = \frac{H}{c} \quad (3)$$

본 연구의 분석결과 측방이동 방지 대책공법을 시공한 교대를 제외하고는 거의 Tschebotarioff 제안식과 일치하고 있다. 그러나 측방이동량은 연약층의 두께 및 말뚝의 강성과 매우 관련성이 있기 때문에 정성적 판정만으로는 부족하며 정량적으로 판단이 필요하다고 생각된다.

6. 결 론

본 연구에서는 국내의 34개 교대현장에 대한 사례분석을 실시한 결과 안정성 판정기준에 대한 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 교대의 측방이동에 대한 안정성을 평가할 수 있는 요소는 여러 가지가 있으나 이를 복합적으로 가장 잘 표현할 수 있는 인자는 사면안전율이다.
- 2) 검토결과 측방이동을 판정할 수 있는 사면안전율은 "CHAMP" 프로그램 사용시 말뚝의 효과를 고려할 경우 1.8이하, 말뚝효과를 무시할 경우 1.5이하이면 측방이동 가능성이 있는 것으로 판정되었다. 또한 Bishop법을 이용한 "SLOPE" 프로그램 사용시에는 1.8이하에서 측방이동이 발생할 수 있는 것으로 나타났다.
- 3) 연약지반상에 축조되는 구조물의 기초용 말뚝은 설계시 주동말뚝해석 및 상기 판정식에 의해 측방유동의 가능성이 있을 경우 수동말뚝해석을 실시하여야 한다.

참 고 문 헌

1. 한국도로공사(1996) : "교대변위 억제대책에 관한연구(Ⅱ)"
2. 홍원표, 권오현, 한중근, 조성한(1994) : "연약지반상 교대의 측방이동에 관한 연구" 한국지반공학회지, 제10권, 제4호, pp.53~65
3. 홍원표(1994) : "수동말뚝" 이진문화사