

측방유동 판정기준의 적용성 연구

채영수¹, 문한중², 김대규^{3*}

Study on Application of Criteria of Lateral Flow in Soft Soils

Young-Soo Chae¹, Han-Joong Moon² and Dae-Kyu Kim^{3*}

요약 본 연구에서는 배면성토에 의하여 발생하는 연약지반의 측방유동 판정기준을 평가하고 분석하였다. 이를 위하여 군산신항만 잔교구조물 현장의 측방유동을 계측하였으며, 계측결과와 판정기준을 비교, 분석하였다. 연구결과, 비배수강도로 표현되는 측방유동 한계하중, 일본 도로공단 측방이동지수, 일본 건설성 토목연구소 측방이동판정수, 한국 도로공사 수정 I 지수 등이 각 기준값보다 작은 값에서 측방유동이 발생하였다.

Abstract In this paper, the criteria of the lateral displacement in soft soil due to embankment were evaluated. The lateral displacement was measured at a pier structure in a new harbor construction site, and the measurement was compared with the criteria. The results by the measurement such as the critical pressure causing lateral movement in terms of undrained strength, the lateral movement index by Japan Highway Co., the lateral displacement index by Japan Construction Ministry, the modified index by Korean Highway Co. were estimated to be lower than the respective index values.

Key Words : 측방유동 판정기준, 연약지반, 계측

1. 서론

연약지반상 시공에서는 성토 및 절토 등에 의한 측방유동이 필연적으로 발생하며, 이는 구조물 전체의 안정성에 심각한 영향을 미치게 된다.

측방유동에 대한 연구는 Peck(1969), Marche and Lacroix(1972), Poulos(1972), Tschebotaroff(1973), Ito and Matsui(1975), De Beer(1977), Kimura 등(1994), Stewart 등(1994), 정상섭 등(2000), 장범수 등(2002), 오일록 등(2003), 홍원표와 송영석(2004)에 의하여 수행되어 왔다[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. 그러나 복합적 영향 요소에 의한 해석의 불확실성으로 정량적 해의 신뢰도가 매우 낮은 상황이며, 현재 경험적 측방유동 판정기준이 주로 활용되고 있다.

국내 도로교 시방서에는 측방유동의 가능성을 측방이동지수 F(일본 도로공단, 1980), 측방이동판정수 I(일본

건설성 토목연구소, 1981) 및 점토층의 비배수전단강도를 활용하는 Tschebotarioff 법 등을 사용하여 종합적으로 판단하도록 규정하고 있으나, 국내 계측결과와 부족으로 신뢰도 높은 판정이 어려운 실정이다[13, 14, 15]. 본 연구에서는 활용도 높은 주요 측방유동 판정기준을 서해안 신항만 잔교구조물 현장의 계측결과와 비교, 분석하는 방법으로 판정기준의 적용성을 연구하였다.

2. 측방유동 계측

측방유동의 계측은 군산신항만 잔교현장 일부에서 수행되었다(그림 1 참조). 지층은 실트질 모래(SM, 3.7m)인 표층부, 점토(CL)인 해성퇴적층 1층(4m) 및 2층(10m), 풍화잔류토층(SM, 10m), 풍화암층(9.4m 이상)의 순서로 구성되어 있다(표 1 참조).

¹수원대학교 토목공학과 교수

²(주)서강토질 부사장

³상명대학교 토목공학전공 조교수

*교신저자: 김대규(daekyu@smu.ac.kr)

3. 측방유동 판정기준 평가

본 절에서는 활용도 높은 주요 측방유동 판정기준인 Tschebotarioff(1973) 법, Darragh(1964) 법, 측방이동지수(F, 일본 도로공단, 1980), 측방이동판정수(I, 일본 건설성 토목연구소, 1981), 수정 I 지수(MI, 한국도로공사 판정식, 1996)의 적용성에 대하여 계측결과와 비교, 분석한 내용을 기술한다[13, 14, 15, 16].

소파블럭 배면에 설치된 자동경사계에 측정된 단계별 성토에 따른 지중수평변위는 그림 2와 같다. (+)는 북측(해측) 변위, (-)는 남측(육측) 변위이다. 매립 및 선행하중재하가 이루어짐에 따라 성토높이 6m(04/12/02)와 성토높이 9m(06/10/02) 이후에서 다른 지중수평변위 양상을 보이고 있다. 이는 성토하중이 연약점토층의 측방유동에 대한 한계하중을 초과하게 되어 발생하는 현상으로, 성토높이 6m~8m에서 측방유동이 발생하며, 그 징후는 성토높이 6m에서 나타난다고 판단할 수 있다.

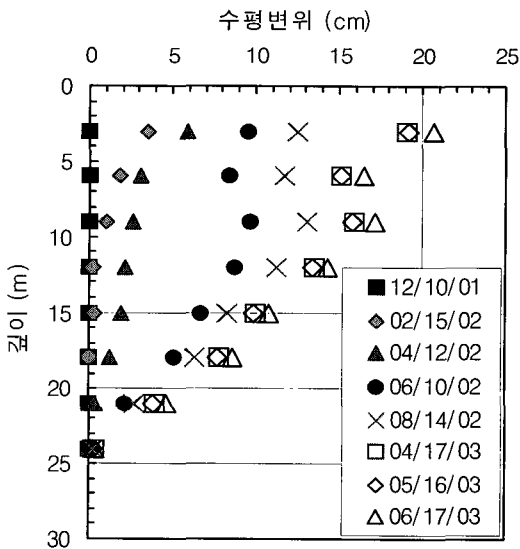


그림 2. 경사계 계측치

표 2는 연약점토층의 비배수전단강도와 성토하중과의 관계를 보여준다. 연약점토층의 비배수전단강도는 $5.16t/m^3$, 성토재의 단위중량은 $1.85t/m^3$ 이다. 표 2에서

측방유동 발생징후가 있는 성토높이 6m에서 $\frac{\gamma H}{c_u}$ 값이 2.15로 성토하중 γH 이 c_u 보다 2.15배 이상 크게 되면 측방유동 발생가능성이 있다고 판단할 수 있다. 이는 Tschebotarioff(1973) 3배, Darragh(1964) 4배 등의 기존식

중 가장 작은 값으로, 모래다짐말뚝의 연약층 보강효과를 고려하여 결정된 증가된 비배수전단강도를 이용하였기 때문이다[4, 16].

표 2. 성토높이와 비배수전단강도 관계

성토높이 H(m)	$\frac{\gamma H}{c_u}$ (단위중량x성토높이/비배수전단강도)
0.5	0.18
1	0.36
2	0.72
3	1.08
4	1.43
5	1.79
6	2.15
7	2.51
8	2.87
9	3.23
10	3.59

일본 도로공단에서는 75개 교대구조물 사례를 대상으로 교대이동에 상관성이 높은 요인을 조합하여 교대의 측방이동지수($F = c_u / \gamma \cdot H \cdot D$, D:연약층 두께)를 산정하고, 이 값이 0.04 보다 작으면 측방유동에 의한 교각 이동의 우려가 있는 것으로 판정하고 있다(高速道路調査會, 1981). 본 연구에서 측방유동이 유발되기 시작하는 성토고 6m 경우에 대한 측방이동지수는 0.033으로 산정되었으며, 일본 도로공단이 제시한 측방이동지수 한계값 0.04와 잘 부합함을 알 수 있다.

일본 건설성 토목연구소에서는 측방이동판정수 ($I = \mu_1 \mu_2 \mu_3 \cdot \gamma H / c_u$) 값이 1.5 이상인 경우 교대의 측방이동 가능성이 있다고 판정한다(그림 3 참조, 建設省 土木研究所, 1981). 측방이동판정수 산정식에서 μ_1 은 연약층 두께에 관한 보정계수, μ_2 는 기초체 저항에 관한 보정계수, μ_3 는 교대길이에 관한 보정계수이며 $\mu_1 = D/L$, $\mu_2 = \sum b/B$, $\mu_3 = D/A$ 와 같이 구한다. A는 교대폭, $\sum b$ 는 기초말뚝 폭의 합계를 의미한다.

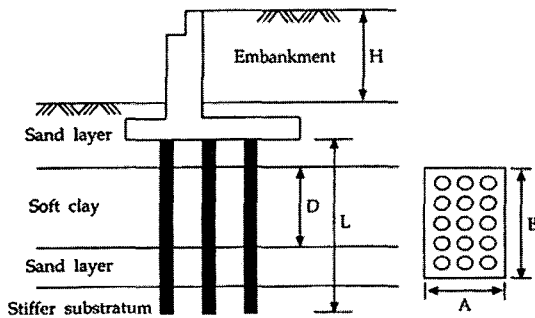


그림 3. 측방이동판정수의 계산(建設省土木研究所, 1981)

본 연구의 경우 $L=28.7\text{m}$, $\sum b=0.9\text{m}$, $D=14\text{m}$, A(소파블럭 폭)= 4m , B(교대길이)= 5.7m , D(연약층 두께)= 14m , $c_u=5.16\text{ t/m}^2$, B(말뚝간격)= 5.7m , $H=6\text{m}$, $\gamma=1.85\text{ t/m}^3$, $\mu_1=D/L=0.488$, $\mu_2=\sum b/B=0.158$, $\mu_3=D/A=3.5$ 를 적용하였다. 산정된 측방이동판정수는 0.581로 일본 건설성 토목연구소에서 제안한 1.5 보다 작은 경우에 측방유동이 발생하기 시작했음을 알 수 있다. 그러나 이 판정수는 보정계수의 중복적용 등으로 적지 않은 오차가 발생한다는 연구(한국도로공사, 1996)가 있을 뿐만 아니라, 교대 적용이 원칙인 판정식을 잔교구조물에 적용하는데 따른 보완이 필요하다 하겠다[15].

한국도로공사(1996)에서는 국내 교대말뚝기초의 자료를 분석하여 기존의 측방유동 판정식을 수정한 수정 I 지수($M_I = \alpha \cdot \gamma H / c_u$, 그림 3 참조, $\alpha = bD/BA$)를 제안하였으며, MI 값이 1.5 이상인 경우 교대의 측방이동 가능성이 있는 것으로 판단한다. 수정 I 지수법에서는 일본 건설성 토목연구소의 교대측방이동판정수에서 과다 적용된 연약층의 깊이 부분을 조절하여 낮은 심도의 연약층의 경우 발생하는 오차를 줄일 수 있다. 본 연구의 경우 MI 값은 한국도로공사 기준 1.5 보다 작은 1.190으로 산정되었다. 이는 교대 적용이 원칙인 판정식을 잔교구조물에 적용하는데 따른 적용성의 문제 및 모래다짐말뚝으로 인하여 증가된 점토층의 비배수강도에 기인한 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 연약지반에 강관말뚝을 활용하여 축조된 잔교구조물에 있어서, 배면성토에 의한 연약지반의 측방유동을 계측하여 현재 활용되고 있는 판정기준과 비교, 분석하였다. 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 측방유동을 유발하는 한계하중은 점토층 비배수강도의 2.15배로 Tschebotarioff, Darragh 등의 기존 판정기준 중 가장 작은 값으로 나타났다.

(2) 측방이동지수 F 값(일본 도로공단)은 0.033으로 기준 값인 0.04와 잘 부합하였으며, 측방이동판정수 I 값(일본 건설성 토목연구소, 기준값 1.5)은 0.581, 수정 I 지수 MI 값(한국 도로공사, 기준값 1.5)은 1.19로 기준보다 작은 값에서 측방유동이 발생하기 시작했다. 이는 교대 적용 판정기준을 잔교구조물에 적용하는데 따른 적용성의 문제 및 모래다짐말뚝의 지반 보강 효과에 기인한 것이다.

참고문헌

- [1] Peck, R. B., "Deep excavation and tunneling in soft ground," Proceedings of 7th Int. Conf. on Soil Mechanics. and Foundation Engineering, State-of-the art report, Mexico, pp.225-290, 1969.
- [2] Marche, R. and Lacroix, Y., "Stabilite des culees de ponts etablies sur des pieux traversant unecouche molle," Canadian Geotechnical Journal. Vol.9, No.1, pp.2-24, 1972.
- [3] Poulos, H. G., "Difficulties in prediction of horizontal deformations of foundations," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Engineering, ASCE, Vol.98(SM8), pp.843-848, 1972.
- [4] Tschebotarioff, G. P., Foundations, retaining and earth structures, McGraw-Hill, New York, 2nd ed., pp. 365-414, 1973.
- [5] Ito, T. and Matsui, T., "Methods to estimate lateral force acting on stabilizing piles." Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol. 15, No.4, pp.43-59, 1975.
- [6] De Beer, E. E., "Piles subjected to static lateral loads," Proceedings of 9th Int. Conf. on Soil Mechanics. and Foundation Engineering, Tokyo, State-of-the-art report, pp.1-14, 1977.
- [7] Kimura, T., Wenz, K. P., Takemura, J., Watabe, Y., Suemasa, N., and Jiro-Oka, A., "Stability of piled bridge abutments on soft clay deposits," Proceedings of 13th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, New Dehli, pp.721-724, 1994.
- [8] Stewart, D. p., Jewell, R. J., and Randolph, M. F., "Design of piled bridge abutments on soft clay for

loading from lateral soil movements," *Geotechnique*, 44(2), 277-296, 1994.

[9] 정삼성, 서정주, 장범수, "측방유동을 받는 교대말뚝기초에 대한 거동분석," *지반공학회 2000 가을 학술발표회 논문집*, pp.25-32, 2000.

[10] 장범수, 이진형, 서동희, 정삼성, "측방유동을 받는 교대말뚝기초의 해석," *대한토목학회 논문집*, 제 21권, 1-C호, pp. 31-90, 2002.

[11] 오일복, 채영수, "연약지반에서의 말뚝기초 교대의 측방유동 대책공법 적용에 대한 연구," *지반공학회 2003 봄 학술발표회 논문집*, pp. 753-760, 2003.

[12] 홍원표, 송영석, "측방변형지반속 줄말뚝에 작용하는 토압의 산정법," *지반공학회 논문집*, 2004년 4월, 제 20권, 3호, pp.13-22, 2004.

[13] 高速道路調査會, 軟弱地盤上の橋臺基礎に関する調査研究報告書(その2), 1980.

[14] 建設省土木研究所, "橋臺の側方移動に関する研究", *土木研究所 資料 第1804號*, 1981.

[15] 한국도로공사, *교대변위 억제대책에 관한 연구 (II)*, 도로연 96-46-12, 한국도로공사, 서울, 1996.

[16] Darragh, R. D., "Controlled water test to preload tank foundation," *Proceedings of ASCE Conf. on Design of Foundation for Control of Settlement*, Evanston, IL., 1964.

문 한 중(Han-Joong Moon)

[정회원]

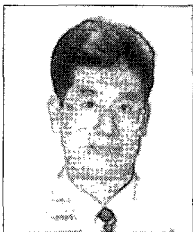


- 2006년 2월 : 수원대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2006년 ~ 현재 : (주)서강토질 부사장

<관심분야>
 항만, 해안, 시공, 품질관리, 연약지반

채 영 수(Young-Soo Chae)

[정회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1986년 ~ 현재 : 수원대학교 토목공학과 교수

<관심분야>
 토질 및 기초, 연약지반, 터널, 시공, 도로

김 대 규(Dae-Kyu Kim)

[정회원]



- 1999년 12월 : 루이지애나주립대학 토목환경공학과(공학박사)
- 2002년 ~ 현재 : 상명대학교 토목공학과 조교수

<관심분야>
 토질 및 기초, 연약지반, 지반조사