

현장계측에 의한 농업용저수지 제체의 안정관리기법

이달원* · 오범환

Stability Evaluation Methods of Agricultural Reservoir by Field Monitoring

Dal-Won Lee* · Beom-Hwan Oh

ABSTRACT

This study was performed to suggest a rational method for the stability evaluation of agricultural reservoir in the very soft ground. The stability methods for agricultural reservoir was used to compare and analyze with various condition by limit equilibrium method.

The behavior of settlement-displacement obtained by field monitoring system was used to compare and analyze with various stability methods, and to investigate the applicability of the methods for stability evaluation of agricultural reservoir.

The horizontal displacement was abruptly increased when physical properties of soft clay reached its maximum values and therefore, the values of these properties could be used to the fundamental data for stability evaluation.

The evaluation of the stability of agricultural reservoir was suggested to use the inclination of curve rather than critical line.

이 논문은 농림부 농과계 특성화 사업에 의하여 연구되었음

충남대학교 농업생명과학대학 농공학과(Dept. of Agricultural Engineering, College of Agriculture and Life Science, Chungnam Nat'l Univ., Daejeon 305-764, Korea)

*Corresponding author(dwlee@cnu.ac.kr, Tel:042-821-5793)

서론

연약지반에 축조되는 방조제, 저수지, 양배수장 등의 시공에 있어 가장 중요시되어야 하는 부분은 실제 지반내의 거동을 정확히 파악하여 최종예상 침하량과 잔류침하등을 예측하고 안정관리기법을 설계에 반영하여 최적의 현장시공 관리방안을 마련하는 것이다.

특히 매우 큰 함수비와 간극비가 포함된 연약지반상에 축조되는 농업용 저수지는 일반적으로와는 다르게 축조후 저수량을 확보하여야 하고, 기초지반내로 유출되는 파이핑현상 방지를 위하여 연직드레인을 타입하는 문제에 대해서는 신중히 검토하여야 한다.

그 동안 해안지역의 연약지반상에 다수의 방조제를 축조하여 시공기술과 기술축척은 향상되었지만, 연약지반상에 축조되는 농업용저수지의 시공실적은 적은 편이고, 현장계측에 의하여 안정관리가 진행된 현장은 거의 없는 실정이다.

그러나, 실제 시공현장에서 시행중인 안정관리는 이론적인 근거와 경험이 빈약함에도 불구하고 시공상의 필요에 따라 조기성토를 실시하고 있어 많은 문제점이 발생하고 있다.

그리고 안정관리는 지반의 변형과 파괴 모두에 관련된 문제이므로 현재로서는 설계에 적용할수 있는 예측법이 아직 확립되지 않아 더욱 더 큰 문제점으로 남아 있고, 설계시의 예측과는 달리 갑자기 성토체가 파괴되는 경우가 발생하여 구조물에 큰 영향을 미치고 있다.

이러한 연약지반 성토시 설계 및 시공상의 문제점을 해결하기 위하여 현장계측을 이용하여 장래 예측의 신뢰성을 높이고, 각 단계별로 성토시 계측 및 토질조사자료의 분석을 통하여 여러 연구자들이 제안한 방법과 현장실측치의 자료를 비교분석

한 결과를 기초로 적절한 적용범위를 제시하는 것이 합리적이다.

따라서, 본 연구는 연약지반상에 축조되는 농업용 저수지의 합리적인 안정관리의 기준을 수립하기 위하여 현장사업지구를 선정하여 연약지반 성토시 침하와 수평변위의 거동이 성토구조물의 안정성에 미치는 영향을 현장계측결과를 기초로 국부적인 전단파괴 가능성을 파악하여 농업용 저수지의 안전관리기법의 기초자료로 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 분석대상 지반

본 연구에 적용된 자료는 충남 태안군에 위치한 농촌용수개발 사업지구에서 수행하였던 농업용 저수지의 현장시험자료(시추조사 및 시료채취, 표준관입시험, Piezocone 조사)를 이용하여 연약지반의 분포특성과 역학적 특성을 파악하였고, 실내시험은 대상 현장에서 채취된 교란시료와 불교란 시료를 이용하여 물리적 성질, 역학적 성질, 압밀 특성시험을 실시하여 현장시험자료와 비교 분석하였다.

현장지반조사 결과 지층은 MH~CH로 N치 6이하의 연약 점성토층이 5.0~10.0m 정도로 분포되어 있고, 점성토층 하부에 모래질 자갈 및 실트질 모래, 점토질 실트로 구성되어 있고 양면배수조건을 충족할 수 있는 지반으로 조사되었다.

또한, Piezocone 조사결과(Campanella 등, 1983) 연약층 심도가 가장 큰 DP-3지점의 하부층은 간극수압이 급격히 떨어지는 사질토의 특성을 보이며 비배수 전단강도가 평균 0.25kgf/cm²의 값을 보이고 있다.

실내시험은 시추조사시 수행된 표준관입시험에 의해 채취된 흐트러진 시료 및 자연시료를 대상으

로 물리적·역학적 특성 파악을 위해 한국공업규격(KS F)의 시험방법에 따라 시험을 수행하였다. 또한, 조사지역의 연약 점성토층에서 채취된 불교란 시료를 대상으로 안정해석에 필요한 강도정수를 구하기 위하여 삼축압축시험 및 압밀시험을 실시하였으며 시험결과는 Table 1과 같다.

자연함수비와 액성한계는 각각 43%와 51~64%의 범위이고, 압밀침하량을 결정하는데 중요한 상수인 압축지수는 0.37~0.41의 범위로 분포되어 있다.(Schmertmann, 1975)

2. 성토시공 및 현장계측

연약지반에 있어서의 현장 계측에는 침하, 변형, 간극 수압 및 토압이 주요 계측대상이 되므로 계

측기 종류는 경사계, 지하수위계, 층별침하계, 간극 수압계, 지표면 침하판을 설치하였다

계측기의 매설 위치는 최소 수량으로 최대 효과를 얻을 수 있도록 제반 여건을 감안하여 Fig. 1과 같이 배치하였으며, 계측방식은 자동계측방식을 채택하였다.

계측기 배치는 지반조사 자료를 이용하여 압밀침하 및 사면안정검토를 실시하고 주계측단면(DP-3)과 부계측단면(DP-5)를 선정하였으며, 그 기준은 연약점성토층 두께가 가장 깊은 위치, 성토고가 가장 높은 위치, 침하량이 가장 큰 위치, 부등침하의 우려가 있는 위치, 성토 시공중 사면 파괴가 예상되는 위치, 침투류에 의해 체체의 안정에 위험 소지가 있는 위치 등을 고려하였다.

Table 1. Geotechnical properties at various site

No.	Depth (m)	W _n (%)	G _s	Atterberg limits		Shear parameters UU c kgf/cm ²	Consolidation test				Grain size distribution %, finer than			U.S.C.S
				LL	PI		P _c kgf/cm ²	C _c	e _o	C _v cm ² /s	No. 40	No. 200	0.005 mm	
DP-3	6.0	43.3	2.675	51.3	22.2	0.31	1.01	0.37	1.180	3.020E-4	99.85	94.00	28.5	MH
	8.0	42.9	2.624	63.9	38.3	0.191	0.94	0.41	1.25	1.03E-3	99.41	53.96	22.5	CH

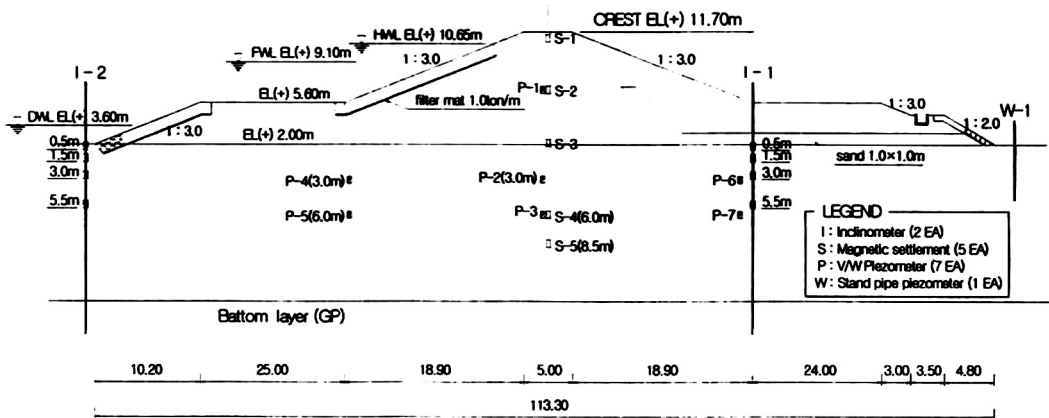


Fig. 1. Reservoir section and monitoring location (DP-3).

저수지 제당의 성토시공은 2000. 8~2000. 10월 까지 약 68일 동안 1차 성토고 2.4m를 완료하고 약 5개월 동안 방치한 후, 2001. 4~2001. 5월까지 약 30일 동안 성토고 1.8m를 완료하여 2차 성토고 4.2m를 완료하였다.

그 후 10~30cm의 높이로 성토시공을 계속하여 2002. 1월까지 515일 동안 총성토고 10.8m까지 완료한 상태이고 192일간의 방치기간을 포함하여 총 707일 동안 현장계측을 실시하였다.

성토 시공속도는 침하관리와 안정관리를 병행하면서 조절하였고, 침하량 측정은 지표면 침하관 및 층별 침하계를 이용하였으며, 간극수압계는 진동현식을 이용하여 측정하였다.

3. 분석방법

가. 한계평형법에 의한 안정성 분석

사면안정의 해석시 사용하는 해석법은 유한요소법과 같은 수치해석법을 이용하여 지반의 변형을 고려하는 탄성 또는 탄소성 해석과 파괴가 발생하는 임계면에서의 역학적 평형관계만을 해석하는 한계평형해석법으로 대별하여 분석하나 유한요소법과 같은 수치해석법은 실제로 적용이 곤란한 경우가 많으며, 해석시간이 많이 소요되므로 비교적 간단하며 실제와 근사한 한계평형법이 많이 적용되고 있다

성토제체의 안정성을 검토하기 위해 이용되는 한계평형법은 유효응력 해석도 가능하지만 주로 파괴가 발생하는 임계면에서의 역학적인 평형관계만을 해석하는 비배수 단기안정해석($\Phi=0$ 해석)을 실시하는 것이 일반적이다. 그러나 안정해석 결과는 연약지반상의 성토에 따른 하부지반의 변위상태를 예측할 수 없고, 많은 가정을 내포하여 정량적인 수치로 안전율을 나타내기 때문에 성토시공시 안정관리에 주의를 기울여야 하고 신뢰도상의

문제점을 내포하고 있다

따라서 이러한 문제점을 극복하기 위하여 단계 성토시 안전율과 성토고의 상호관계를 계측자료와 비교분석하여야 한다

본 연구대상 지구(DP-3)는 연약점토상에 제체를 시공하므로 시공중 진단파괴의 우려가 높아 단계성토에 따른 사면 안정성을 제체 시공직후, 만수위, 수위급강하시의 조건으로 분석하였다.

나. 현장계측에 의한 안정성 분석

현장 계측에 의한 안정관리는 기초지반의 변형량과 변형속도를 계속해서 상세 측정하고, 지반내 간극수압을 동시 측정하여 간극수압의 경시 변화로부터 압밀의 진행상황을 분석한다. 필요시 Piezocone Test 및 시추조사에 의한 자연시료에 대한 강도시험을 하여 강도변화를 측정하는 등을 통하여 성토가 안정상태에서 진행되는지 검토하며, 불안정일 경우 그 정도에 따라 성토속도 지연, 중지 또는 일부 성토 제거조치를 강구해야 한다

특히 연약지반에 성토를 하는 경우 성토하중의 증가가 지반의 강도증가와 균형을 이루도록 성토속도를 조절하여 단계성토를 유도하는 것이 중요하다. 연약지반에 성토하는 경우 안전한 상태에서 시공할 수 있는 성토속도로서는 유기질토 지반의 경우 3~5cm/일, 점성토지반의 경우 5~10cm/일을 초기목표로 설정하고, 시공진행과 함께 계측결과를 기초로 안정관리를 하며, 계측결과를 분석하여 불안정한 징후가 보이면 성토를 중단하고 방치기간을 갖는다.

연약지반의 수직, 수평방향으로 안정적인 거동을 하는가, 또는 불안정상태 인가를 정성적으로 판단하는 방법은 성토의 천단면이나 사면에 hair crack 발생 여부, 성토 중앙부의 침하가 급격히 증가 여부, 성토체 법선부근 지반의 수평변위가 성토체 외

측방향으로 급증여부, 성토체 범선부근 지반의 연직변위가 상방향으로 급증 여부, 성토를 중지하여도 위의 경향이 지속되고, 지반내 간극수압도 계속 상승하는 등의 현상으로 판단할 수 있다. 현장계측에 의한 안정성 분석은 Kurihara-Ichimoto방법, Tominaga- Hashimoto방법, Matsuo-Kawamura방법 등의 3가지 방법을 이용하여 DP-3 단면에서 분석하였다

(1) Kurihara-Ichimoto 방법

Kurihara 방법은 성토사면 선단부의 수평변위속도($\Delta\delta/\Delta t$)와 시간(t)의 관계 그래프를 작성하여 변위 속도의 정량적인 기준으로 안정관리를 시행하는 방법으로 안정성 판단기준은 수평변위속도($\Delta\delta/\Delta t$)가 2~3cm/day이상이면 제방이 붕괴될 위험성이 있는 한계치로 선정하였으며 적용성이 편리하고, 조기 판단이 가능한 방법이다

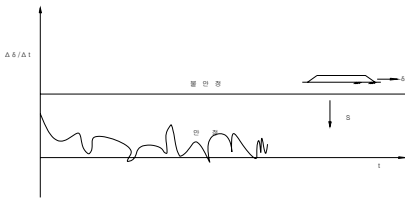


Fig. 2 Kurihara-Ichimoto method

(2) Matsuo-Kawamura법(S- δ /S 관리기준)

Matsuo-Kawamura방법은 수평변위량(δ)/수직 변위(S)와 수직변위(S)와의 관계를 Fig. 3과 같이 그래프로 작성하여 성토시공중 S- δ /S의 궤적이 안정영역에 있는지 여부를 판단하는 방법이다.

안정성 판단기준은, 파괴기준선 $P/Pt = 1.0$ ($0 < \delta/S \leq 1.4$), 준파괴선 $P/Pt = 0.9$ ($0 < \delta/S \leq 1.2$),

위험선 $P/Pt = 0.8$ ($0 < \delta/S \leq 0.8$)이며 본 연구 대상지구에서는 S- δ /S의 궤적이 $P/Pt = 0.8$ 인 선에 도달하게 되면 위험영역으로 선정하여 성토를 중단하였다.

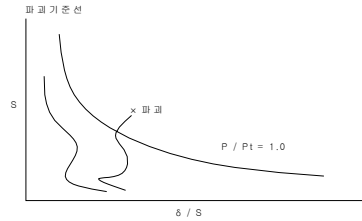


Fig. 3 Matsuo-Kawamura method

(3) Tominaga-Hashimoto법(S- δ 관리기준)

Tominaga-Hashimoto방법은 성토중상부에서의 침하량(S)과 선단의 수평변위량(δ)과의 관계를 Fig. 4와 같이 그래프로 작성하여 안전여부를 판단하는 방법으로 안정성 판단기준은 성토중상부의 침하량(S)이 수평변위량(δ)보다 큰 E선 아랫부분에서는 안정하고, S보다 δ 의 거동이 큰 E선 윗부분에서는 위험한 상태로 판단한다. E선의 아랫부분에 있어서도 δ/S 가 급증할 경우 (파선)에는 위험한 상태로 판단하며 압밀, 전단변형의 관계를 용이하게 파악할 수 있고, 위험징후를 조기에 판단할 수 있는 방법이다

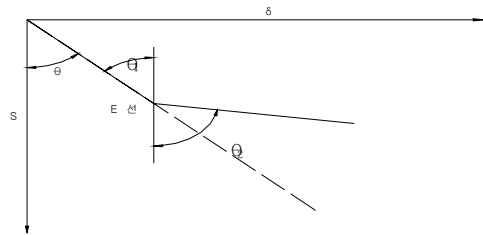


Fig. 4 Tominaga-Hashimoto method

결과 및 고찰

1. 한계평형법에 의한 안정성 평가

연약지반의 안정성의 판단은 한계평형상태에서의 안전율을 기준으로 평가하는 방법이 주로 이용되고 있다.

본 연구대상 지구는 연약점토상에 저수지를 축조하기 때문에 시공중 전단파괴의 가능성이 높았으나 단계성토 및 현장계측관리를 통한 안정관리로 제체가 완성되었다. 완공후 저수지 사면안전성의 검토는 Table 2의 입력상수를 적용하였고, 완공 직후, 만수위시, 수위급강하시를 기준으로 Spencer 방법, 간이 Bishop방법, 간이 Janbu 방법으로 분석하였으며 해석조건은 연약층 심도가 가장 깊고 제고가 가장 높은 Dp-3 단면을 선정하였다.

Table 2. Geotechnical properties

Division	γ_s (tf/m ³)	c(tf/m ²)	ϕ (deg)
Embankment layer	1.95	3.7	15.0
Clay layer	1.7	2.4	0.0
Sand gravel layer	1.9	0.0	35.0

각 조건별로 사면안정 해석프로그램인 SEEP/W 및 SLOPE/W를 이용하였고, 각 조건에서의 해석결과는 Fig. 5와 같으며 분석방법별 안전율은 Table 3과 같다.

각 방법별 안전율을 비교하면 Spencer와 간이 Bishop방법은 거의 유사하게 나타났고, 간이Janbu 방법은 약간 작게 나타났다. 간이 Bishop 및 간이 Janbu 방법은 힘 또는 모멘트 조건중 한가지만을 만족시키는 반면에 Spencer의 방법은 흙의 활동부분에 대해 힘과 모멘트 두 평형방정식을 만족시키는 해석방법이므로 저수지의 안정성을 해석하는데는 Spencer방법이 합리적이라 판단된다. 따라서

Spencer 방법으로 분석한 결과, 각 조건 모두에서 기준 안전율($F_s=1.2\sim 1.3$)보다 커서 제방은 안정한 상태인 것으로 분석 되었다

Table 3. Comparison of safety factor under various condition.

Condition	F_s (basis)	F_s (result)		
		Spencer	Simplified Bishop	Simplified Janbu
After completion	1.3	1.423	1.426	1.342
Full	1.3	1.314	1.318	1.236
Sudden drawdown	1.2	1.465	1.466	1.469

2. 수평변위 속도에 의한 안정성 분석

성토시공중의 안정관리는 침하에 대한 수평방향의 변위거동이 중요한 분석대상이 된다. 정규압밀 점토지반에서 성토시 가장 위험한 상태는 재하직 후이며 안정성의 판단은 재하속도에 의하여 결정되고 재하가 완료된후에는 압밀이 진행되면서 지반의 강도가 증가하여 안정성이 증가하게 된다. 연약지반을 처리한 경우가 무처리한 경우보다 수평변위가 크게 나타났을 경우는 아직 지반개량의 효과가 없다는 것을 의미하므로 연약지반을 처리한 지반과 무처리지반에 대한 안정관리는 성토에 따른 압밀도를 판단하면서 다르게 분석하여야 한다.

수평변위속도에 의한 안정성 평가는 Kurihara-Ichimoto등에 의하여 제안된 방법으로서 성토사면 선단부의 수평변위속도가 어느 한계치를 넘지 않도록 시공관리하는 방법이며, 1일당 변위속도 $\Delta\delta/\Delta t$ 의 한계치에 대한 값이 안정성 판단의 가장 큰 요소가 되지만, 일반적으로 연약지반에 대한 안정관리 판단기준은 $\Delta\delta/\Delta t \leq 2\text{cm/day}$ 로 선정하고 있다.

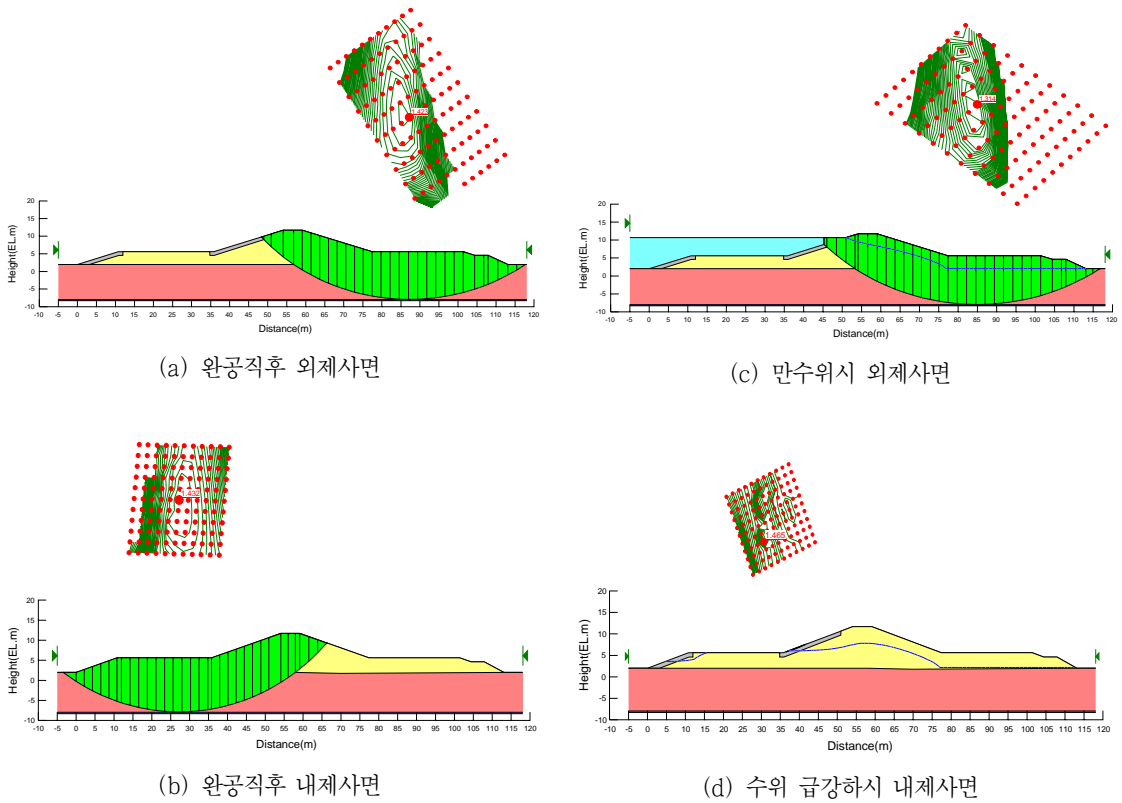


Fig. 5 Comparison of safety factor under various condition

Fig. 6은 재하성토에 따른 경사계 측정 결과이다. 심도에 따른 수평변위 변위분포 형태를 보면 최대 수평변위가 발생한 부분은 지표면하 2~6m에서 가장 큰 변위를 보이고 있으며 심도가 깊을수록 변위가 적어지는 경향을 나타냈다.

전반적으로는 안정관리 판단기준치에 포함되므로 안정상 문제가 발생되지 않는 것으로 나타났으나 초기 성토시 수평변위가 급격하게 증가하여 안정관리의 판단기준치를 초과하는 사례도 있어 일정기간 방치후 추가성토 여부를 검토하여 시공관리를 하였다.

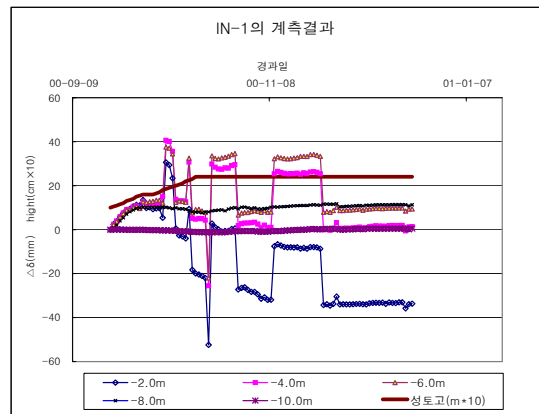


Fig. 6 Inclinometer measured result

Fig. 7은 성토하중 증가에 따른 심도별 수평변위량을 나타낸 것으로 재하성토중 작업차량에 의하여 일시적인 전단변형이 발생한 것으로 판단되는 분포를 보이고 있다. 그림에서 부의 변위를 보이는 것은 측정위치가 2차 단면 선단부에 매설된 경사계로서 좌우에 동시 성토되었기 때문이라 판단된다. 무처리 지반은 처리지반에 비하여 상대적으로 변형가능성이 크며 특히 성토초기에 중장비의 주행으로 인하여 예기치 못한 파괴가 일어날 수도 있으므로 시공관리에 각별한 주의가 요구된다.

연약지반 무처리지역은 침하보다는 변형가능성이 높기 때문에 안정관리 판단기준치를 상당히 초과하여 불안정한 상태로 나타났다.

이 방법은 다른 안정관리방법보다 민감하게 반응하므로 성토시에 중장비의 주행으로 인한 이상 데이터를 확인하여 안정관리를 하여야 한다.

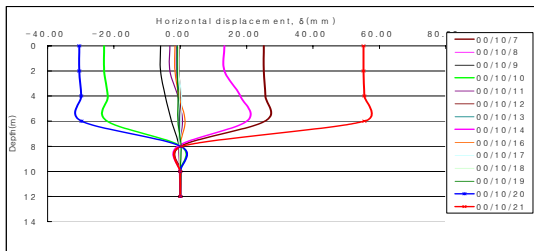


Fig. 7 Variation of horizontal displacement according to depth

심도에 따른 수평변위의 분포형태를 보면 수평변위가 표토층에서 크게 발생되었는데, 그 원인은 표토층에서도 압축성이 큰 점토층이 존재하고 있으므로 하부에서 발생한 수평변위에 대한 저항력이 없기 때문에 변위영향이 그대로 지표에 전달된 것으로 판단된다. 최대수평변위가 발생한 부분은 지표면에서 6.0m 이지만 전단변형은 수평변위량의 차가 가장 큰 부분인 심도 G.L-8m부분에서 발생

될 것으로 예상되므로 경사계 매설시에도 경사계 연결부분의 적절한 허용길이를 결정하는 데에도 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

전체적으로 각 공법의 수평변위의 변화 요인은 토질시험치와도 밀접한 관계를 나타내는데 자연함수비, 간극비, 액성한계가 최대치에 도달한 후 점차로 감소하는 변곡점이 형성되는 부분에서 수평변위가 급증함을 알 수 있다. 따라서 성토의 안정관리는 각 토층의 경계부분에서 가장 불안정한 상태로 나타나므로 분석시 가장 우선적으로 검토하여야 한다.

Suzuki는 시험성토중에 침하량과 수평변위와의 관계를 실측하고 수평변위로 인하여 발생한 침하량(S_f)은 최대수평변위량(δ)의 1/2정도로 전체침하량과 비교하여 작은 값을 나타낸다고 하였다. 또한 Tavenas등은 1차압밀침하량(S_p)과 수평변위로 인하여 발생한 침하량(S_f)은 $S_f=0.08S_p$ 의 관계가 있다고 하였다.

위와같은 결과를 기초로 수평변위속도에 의한 안정성 평가방법은 파괴가능성을 미리 예측하는데 상당히 효율적인 방법이라고 판단되고, 전단파괴가능성이 높은 무처리 지반에서의 안전율의 기준은 처리지반보다도 신중하게 선정하여야 할 것으로 판단된다.

3. 침하량과 수평변위/침하량에 의한 안정성 분석

침하량과 수평변위/침하량에 의한 안정성 평가는 松尾등에 의하여 제안된 방법으로 성토중양부의 침하량(S)에 대해서 성토사면부의 수평변위(δ)를 이용하여 $S-\delta/S$ 관계를 도식하고 시공중 $S-\delta/S$ 관계가 파괴기준선($Q/Q_f=0.6\sim 1.0$)에 근접하면 파괴가 발생되고 멀어지면 안정한 상태를 나타낸다. 이 방법의 근본적인 원리는 동일한 시간에 성토중양부의 압밀침하량보다 수평변위량

이 크게 되면 성토제체는 불안정한 상태로 된다는 것을 의미한다.

Fig. 8은 지반의 안정관리의 판단기준을 $Q/Q_f = 0.80$ 로 선정하였을 경우 $S-\delta/S$ 관계를 나타낸 것이다. 점증하중에 의해 3m 성토후에 수평변위가 5cm 정도까지 증가하여 파괴기준선인 $Q/Q_f = 0.80$ 에 접근하여 불안정한 상태로 나타났으나 50일간 방치후 성토체는 안정한 것으로 확인되었다. 이는 수평변위와 점토층의 상대 침하량이 거의 같은 비율을 유지하면서 증가하고 있기 때문에 안정한 상태를 유지하고 있는 것으로 판단된다.

따라서 파괴기준선으로 안정성을 판단하는 것보다는 곡선의 기울기로 판단하는 것이 합리적이라 판단된다. 그러나 수평변위량 보다 침하량이 상당히 클 경우에 안정상 문제가 발생되지 않을 수도 있기 때문에 성토고가 큰 경우에는 신중한 검토를 요한다. 또한 갑작스러운 전단변형의 발생은 어떠한 방법을 선택하더라도 예측하기가 상당히 어렵지만, 이 방법으로 초기에 성토체의 안정을 판단하는데는 약간의 무리가 있다고 판단된다.

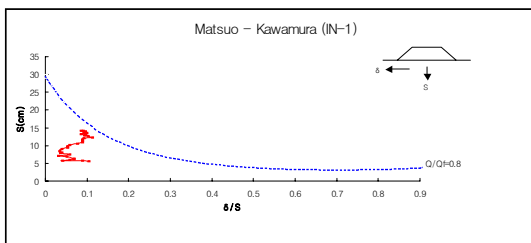


Fig. 8 Stability evaluation methods by Matsuo-Kawamura.

松尾방법과 같이 현장계측에 의하여 성토시공중에 얻을 수 있는 정보는 시공중의 곡선의 궤적이 파괴기준선을 초과하면 파괴된다는 사실뿐만 아니

라, 어느 정도의 성토고(H1)까지 시공해도 안전한가와 다음에 $H1+\Delta H$ 까지 성토하면 파괴한다는 시공정보를 구할 수 있다. 또한 각 시공단계에서 $H1+\Delta H$ 에 대응하는 최적의 방치기간을 계산하여 파괴를 미리 예측하는 단계시공을 계획할 수 있다고 하였다.

4. 침하량과 수평변위에 의한 안정성 평가

富永등은 성토진행에 따라 S (침하량)- δ (수평변위량)의 관계를 표시하여 안정관리를 하는 방법을 제안하였다. $S-\delta$ 의 관계는 S 축에 대하여 임의의 기울기($\alpha = \delta/S$)로 나타낼 수 있는데, 성토가 진행되면서 δ/S 가 급증하면 전단변형이 현저하므로 불안정하게 되고, 감소하는 경우 δ/S 는 압밀침하중이므로 안정하다고 판단한다.

성토가 파괴에 근접하면 S 의 증가에 비하여 δ 의 증가가 현저하므로 이때 직선의 변곡점에서 수직선을 그려보면 기울기 α_1, α_2 의 관계를 고려할 수 있는데 기울기의 크기가 $\alpha_2 \geq 0.7$ 또는 $\alpha_2 \geq \alpha_1 + 0.5$ 이면 불안정하다고 판단하는 방법이다.

Fig. 9는 DP-3에서의 수평변위와 침하량과의 관계를 나타낸 결과이다.

수평변위가 부의 값을 보이는 것은 수평변위를 측정하는 경사계가 2단계 성토사면 선단에 매설되었기 1단계 성토시 경사계 양쪽에서 동시에 성토를 하였기 때문이다. 수평변위와 침하량과의 관계를 나타낸 결과, 파괴 기준인 기울기의 크기는 $\alpha_2 > 0.75$ 로 약간 불안정하게 나타났다. 성토체 단위 체적중량의 급격한 증가에 따른 최대수평변위량의 증가로 곡선의 기울기가 급격하게 변하여 가장 민감하게 전단변형을 예측할 수 있었기 때문에 다른 방법보다는 효과적이라고 판단된다.

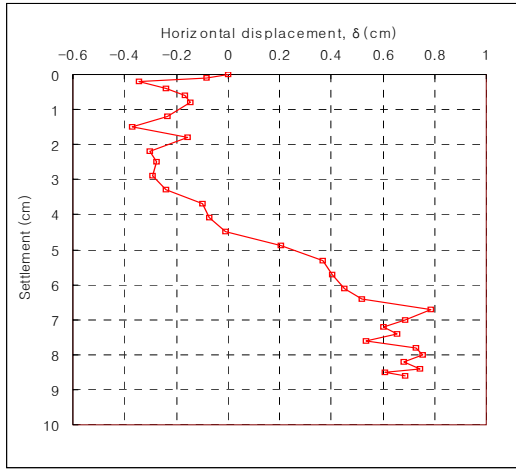


Fig. 9 Stability evaluation methods by Tominaga-Hashimoto.

일반적으로 안정관리 분석방법은 성토중양부의 지표면침하량 S와 지표면의 최대수평변위량 δ 를 주로 이용하고 있으나, 층별침하계에 의한 지중의 침하량과 최대변위량과의 관계에서도 지반의 물리적 성질이 급격하게 변하는 심도에서 변위량이 가장 크게 발생되기 때문에 이러한 심도별 방법을 이용하여 불안정을 예측하는데는 효과적인 방법이다.

적요

본 연구는 연약지반상에 축조되는 농업용 저수지의 합리적인 안정관리의 기준을 수립하기 위하여 현장계측결과를 기초로 시공중 또는 완공후에 측방유동 등으로 인하여 국부적인 전단파괴 가능성을 현장계측치로부터 비교분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 한계평형법에 의해 안전율을 비교하면 Spencer

방법과 간이 Bishop방법은 거의 유사하게 나타났고, 간이 Janbu 방법은 약간 작게 나타났다. Spencer방법은 흙의 활동부분에 대해 힘과 모멘트 두 평형방정식을 만족시키는 해석방법이므로 저수지의 안정성을 해석하는데는 합리적이라 판단된다.

2. 수평변위는 물리적 성질의 변곡점이 형성되는 부분에서 급증하였고, 성토의 안정관리는 각 토층의 경계부분에서 가장 불안정한 상태로 나타나므로 분석시 가장 우선적으로 검토하여야 한다.

3. 수평변위속도에 의한 안정성 평가방법은 파괴 가능성을 미리 예측하는데 상당히 효율적인 방법이라고 판단되고, 전단파괴 가능성이 높은 무처리 지반에서의 안전율의 기준은 처리지반보다도 신중하게 선정하여야 할 것으로 판단된다.

4. 점증하중에 의한 시공중 안정성을 계측자료를 이용하여 분석한 결과, 파괴기준선에 접근하여 위험가능성이 있는 부분도 있었으나 성토체는 안정한 것으로 확인되어 안정관리상 파괴기준선으로 안정성을 평가하는 것보다는 곡선의 기울기로 판단하는 것이 합리적이다.

인용문헌

1. Atkinson, J. H., and P. L. Bransby. 1977. The mechanics of soils, An introduction to critical state soil mechanics, McGraw-Hill.
2. Bergado, D. T., H. Asakami, M. C. Alfaro, and A.S. Balasubramanian. 1991. Smear effects of vertical drains on soft Bangkok clay, J. of Geotechnical Engineering, ASCE, 117(10):1509-1530.
3. Campanella, R. G., P. K. Robertson, and D. Gillespi. 1983. Cone penetration testing in Deltaic soils, Canadian. Geotechnical Journal, 20(1):23-35.

4. Das, B. M. 1990. Principles of geotechnical engineering, Second Edition, PWS-KENT, Publishing, p.267-352.
5. Duncan, J. M., and C. Y. Chang, 1970. Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soils, J. Soil. Meth. and Found. Eng. Div., ASCE, 96(5): 1629-1653.
6. Loganathan, N., A. S. Balasubramaniam and D. T. Bergado, 1993. Deformation analysis of embankments, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 119(8):1185-1206.
7. Onoue, A. 1992. Precompression and vertical drain designs, GEOTECH 92, Applied ground improvement techniques, 2 : 1~78
8. Schmertmann, J. H. 1975. Measurement of in-situ shear strength, Preceedings of the specialty conference on in-situ measurement of soil properties, ASCE, 2 :57-138.
9. Suzuki, O. 1988. The lateral flow of soil caused by banking on soft clay ground, Soil and Foundation, 28(4):1-18.
10. Tavenas, F., C. Mieuessens and F. Bourges, 1979. Lateral displacement in clay foundation under embankments, Canadian Geotechnical Journal, 16(3):532-550.
11. Yeung, A. T., and G. Y. Felio, 1994. Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments, ASCE Geotachnical special publications.
12. 藤田圭一, 1995. 軟弱地盤對策工法總技術, 東和技術編輯部譯.
13. 栗原則夫, 高橋朋和 1984. 泥炭性地盤における盛土の安定と沈下の實態, 土と基礎, 32(3):53-58.
14. 松尾 稔, 川村國夫. 1978. 軟弱地盤上の盛土施工に関する施工管理圖, 土と基礎, 26(7):5-10
15. 富永眞生, 橋本正治. 1974. 側方變位の現場計測による盛土の施工管理について, 土と基礎, 22(11): 43-51.
16. 土質工學會編, 1979. 盛土の調査設計から施工まで, 現場技術者のための土と基礎シリーズ.