

결합강그리드보강재의 특성 및 적용

한 중 근¹⁾

¹⁾ 대림대학 토목과

Charateristics of the Jointed Steel-Grid Reinforcement and the Application

Han Jung-Geun¹⁾

¹⁾ Dept. Civil Engineering Daelim College

ABSTRACT

To analysis of the embanked slope stability using a jointed reinforcement, the internal stability and the external stability have to be satisfied, respectively. But, because the lengths of ready-made steel-grid were limited, the reinforcements must be connecting themselves to the reinforcing.

In this study, the mechanical test was carried out to investigate the tensile failure and the pullout failure at the joint parts of them, which was based on the analysis of reinforced slope in field. Through the tensile tests in mid-air for the jointed steel-grid, the deformation behavior was seriously observed as follows : deformation of longitudinal member, plastic deformation of longitudinal member and of crank part. Those effects were due to the confining pressure and overburden pressure of the surrounding ground. The bearing resistance at jointed part of jointed steel-grid was due to the latter only. The maximum tensile forces were higher about 20kN~27kN than ultimate pullout resistance, but, the results of those was almost the same in mid-soil.

The failures of steel-grid occurred at welded point both of longitudinal members and transverse members and of jointed parts. The strength of jointed parts itself got pullout force about 20kN, which was about 65% for ultimate pullout force of the longitudinal members N=2. To the stability analysis of reinforced structure including the reinforced slope, the studying of connection effects at jointed part of reinforcement members must be considered. Through the results of them, the stability of reinforced structures should be satisfied.

Key words : *Jointed steel-gird, Reinforcement, Reinforced embankment slope, Tensile force, Pullout resistance*

I. 서 론

성토 및 절토사면의 안정을 위한 보강토구조물의 보강재로는 지오택스타일, 지오그리드와 같은 합성수지의 연성보강재, 그리고 강재스트립, 철근, 강그리드와 같은 강성보강재에 이르기까지 많은 종류가 쓰여지고 있다. 이들과 같은 다양한 보강재에 대한 재료물성시험과 보강토구조물에 사용되는 보강재의 보강효과에 대한 연구가 많이 수행되어지고 있다.

그리드형태의 보강재는 마찰 및 지지저항의 메카니즘을 가지므로 마찰저항만을 갖는 다른 보강재에 비해 매우 보강효과가 뛰어나며 특히, 비신장성 재료성질을 갖는 강그리드보강재의 보강효과는 지진에 의한 진동이 많은 일본에서도 과거 고베지진과 같은 대규모 피해가 유발되는 지역에서 증명된 바 있다.

우리나라에서도 지오그리드를 포함한 연성보강재에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나 보강토옹벽의 높이가 상당히 요구되는 산악지대, 도로성토의 시공이나 고속철도 등과 같은 높은 상재하중을 지지할 수 있는 보강토지반의 지지를 위하여는 지반강성을 향상시킬 수 있는 보강토의 적용이 요구된다. 최근에는 성토에 의한 도로폭이 광폭화되고, 이미 시공된 도로에서도 도로확장을 위해 보강재를 이용한 보강성토 구조물들이 그림 1에서 같이 적용되는 사례가 빈번하여 지고 있다.

이와 같은, 짧은 보강재를 연결하여 성토사면을 시공하는 경우 성토사면의 안정해석을 위하여는, 성토사면의 내적·외적안정 메카니즘을 모두 만족하도록 설계·시공하여야 한다. 그러나, 강그리드의 경우 연성보강재와 달리 제품의 길이가 제한되어 있어 보강재를 서로 연결하여 시동되게 된다. 따라서, 강그리드 연결하여 시공하는 경우 결합부가 발생하는 것은 필연적이다. 이때, 강그리드의 연결을 위해 적용되고 있는 방법인 볼트이음 방법에 비해 그림 2의 방법은 공사시간을 절약하고 시공성이 좋아지는 경제적인 장점이 있다. 이러한 경우, 결합부에 대한 역학적 특성 즉, 인장파괴 및 인발파괴에

대한 검토가 선행되어야 할 것이다.

본 연구에서는 강그리드 결합부에 대한 실험적 고찰을 수행하므로서 강그리드 보강성토구조물의 안정해석을 위한 기초자료로 삼고자 한다. 이를 위하여 기성제품에 대한 강그리드의 결합에 따른 역학적 특성을 인장 및 인발시험을 통해 고찰하므로서 조사·분석하고자 한다. 또한, 성토구조물의 안정해석을 통해 비교·고찰하므으로써 결합그리드 보강재를 사용한 성토구조물의 성토하중에 대한 안정을 기대할 수 있는지를 검토하여 보고자 한다.

II. 결합강그리드 보강성토사면의 안정

보강토구조물은 연직성토 옹벽구조물과 성토에 의한 제방 혹은 도로성토와 같은 구조물로 크게 구분할 수 있다. 이때 보강토구조물의 경우, 보강성토되는 면적이 제한되어 있는 경우가 대부분이었으나 최근에는 성토면적이 넓어지는 경우가 많이 늘어나고 있다. 따라서 강그리드보강재를 이용하여 그림 1과 같이 성토하는 경우 보강토구조물은 보강재의 재료적 안정성과 내적안정 및 보강재를 포함한 전체구조물의 외적 안정을 만족하여야만 한다.

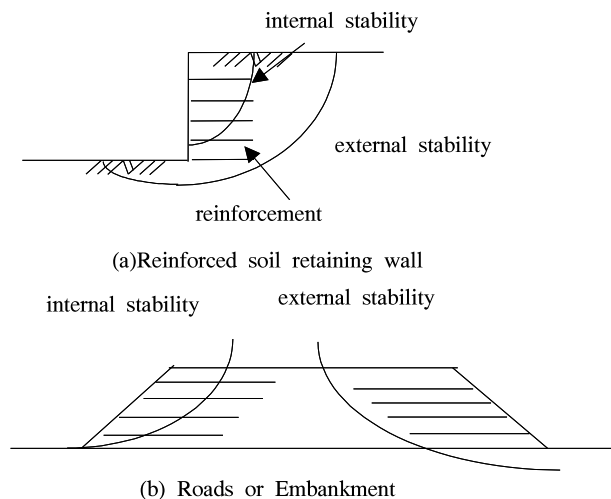


Figure 1. Stability analysis of reinforced structure

따라서, 기성제품을 이용하는 강그리드의 경

우, 두가지 경우에 대한 모든 안정성을 만족하기 위하여 그림 2와 같이 보강재의 연결부분이 생성되는 것은 필수적이라 할 수 있다. 이와 같은 보강성토구조물 특히, 결합강그리드 보강구조물을 건설하는 경우에는 그리드의 연결부에 대한 강성 및 안정검토가 전제되어야 할 것이다. 이때, 강그리드에 대하여는 보강토 부분의 활동이 보강재의 인발 혹은 인장력으로 작용하게 되므로 그림 3과 같이 강그리드에 대한 종방향부재와 횡방향부재의 저항메카니즘을 알아야 할 것이다.

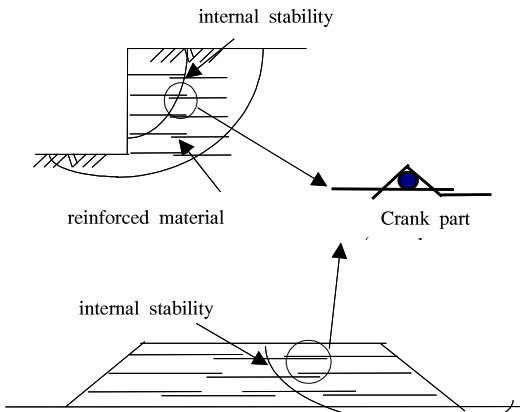
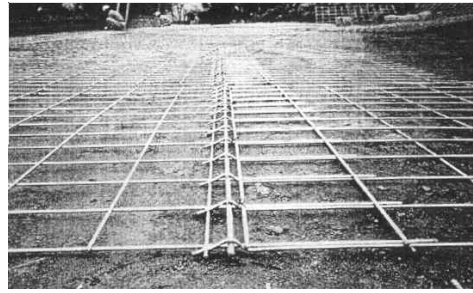


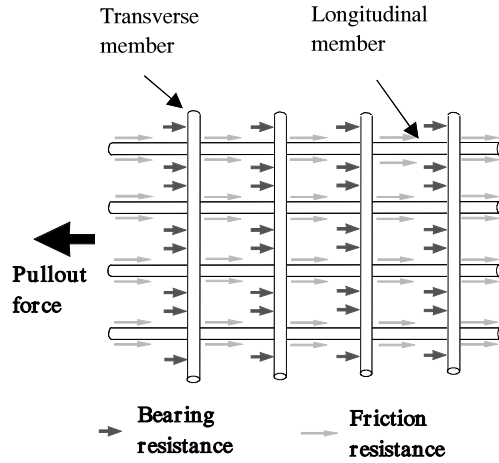
Figure 2. Jointed form of reinforced-soil structure

III. 결합강그리드의 보강시스템

현장시공사례(그림 3(a))에서 보는 바와 같이 강그리드를 서로 연결하여 시공하는 경우, 인발력이 작용하는 방향에 대해 그림 3(b)처럼 보강재의 종방향부재와 흙사이에 마찰저항이 발생하고, 횡방향부재와 흙사이에 지지저항이 발생한다. 이 경우 횡방향부재와 종방향부재의 미치는 영향은 그림 4에서 보는 바와 같이 종방향부재의 경우 초기에는 압축력이 작용하다가 압축력이 감소하며 종국에는 인장력이 작용하게 된다(Matsui, et al,1997). 즉, 횡방향부재의 지지저항이 종방향부재와의 용접부에 전달됨을 알 수 있다. 이러한 지지저항은 전체 인발저항의 80%이상을 차지한다(Bergado, et al., 1993; Bishop, 1979; Matsui, et al., 1996).

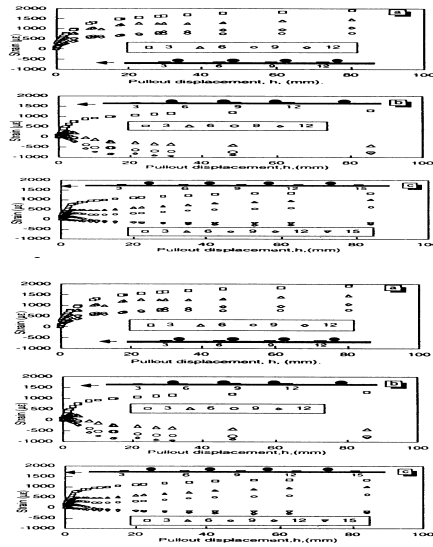


(a) Construction of steel-grid reinforcement in field



(b) Plan of steel-grid reinforcement

Figure 3. Configuration of jointed steel grid reinforcement



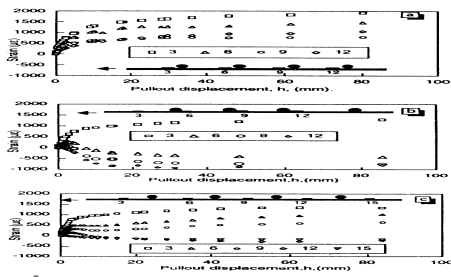


Figure 4. Strain conditions of acting on longitudinal members (Mastui, et al,1996)

IV. 결합강그리드 보강재 거동특성

짧은 강그리드를 이용하여 지반을 보강하는 경우, 강그리드 망(mesh)에는 연결부가 발생하게 된다. 이 경우 보강된 지반의 안정은 보강된 상태에 따라 각각 단일보강재, 강그리드 보강재의 연결부 및 연결부분을 포함한 보강재 전체에 대한 거동특성을 보다 정확히 파악하여야 한다. 이를 위하여 본 장에서는 결합강그리드에 대한 인장 및 인발시험을 수행하였으며 그 결과를 대표적인 것들로 나타내었다.

1. 시험기구 및 시험방법

결합강그리드의 거동특성을 알기 위하여 그림 5와 같은 실내인발시험장치를 구성하였으며 시험방법은 변형률제어방식을 채택하였다. 그림과 같이 결합부는 상재압 및 인발하중을 조절할 수 있도록 하였으며 인발하중에 따른 그리드변화를 알기 위하여 공기중상태와 토중상태에서의 결합그리드의 거동을 각각 조사하였다. 또한, 지반내 보강상태는 현장에서의 성토방법과 동일하도록 다짐 후 결합그리드 설치 그리고 다시 다짐을 실시하였다. 이때 사용된 보강토는 현장성토 상태를 고려하여 $D_{50} = 0.45(\text{mm})$, 상대밀도 80%, $\phi' = 37.3$ 인 모래를 사용하였다.

강그리드의 거동특성은 공기중상태에서의 결합강그리드 인발시험과 토중상태 즉, 보강성토 상태에서의 결합강그리드의 인발시험을 각각 실시하였다. 이때, 인발시험에 적용된 결합강그리드의 연결부는 그림 2에서 보는 바와 같고,

강그리드는 종방향부재 및 횡방향부재의 간격이 $225\text{mm} \times 150\text{mm}$ 인 부재를 사용하였고 각 부재의 지름은 6mm 이며 크랭크부분의 연결핀은 9mm를 사용하였다.

2. 결합그리드의 보강효과

구속압이 없는 강그리드 보강재의 인장강도 및 결합부 파괴특성을 조사하기 위하여 공기중 상태에서 인장시험을 실시하여 공기중 결합그리드 변형을 관찰하여 다음과 같이 3단계 거동으로 요약할 수 있었다.

- step 1) 인장력이 결합부에 작용하면 보강재 전면부의 종방향부재 휨발생
- step 2) 휨발생 보강재의 소성변형발생
- step 3) 결합후면부 보강재의 크랭크부분 이완후 연결핀의 소성변형

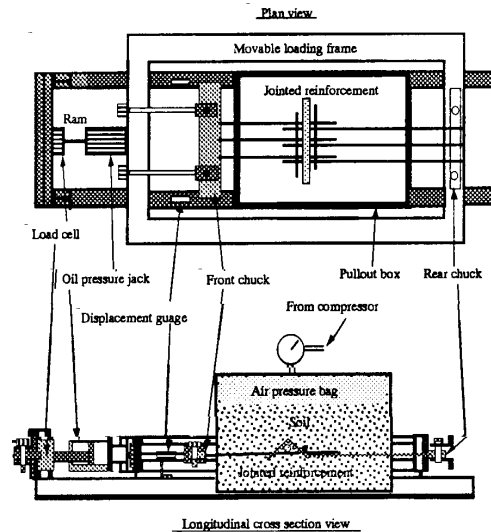


Figure 5. Pullout test apparatus system

현장에서의 보강성토 구조물과 동일한 상태로 취급이 가능하도록 현장상태를 재현하여 토중인장시험을 상재압 98.1kPa인 상태에서 실시하였으며 침투인장강도와 인발변위의 관계를 그림 6과 같이 나타내었다. 이때 사용된 결합그리드의 크랭크규격은 40mm, 45mm, 50mm인 경우에 대하여 각각 수행된 것으로 공기중상태와 토중상태를 표시한 것이다. 그림에서와 같

이 공기중과 토중에서의 그리드의 발생변위 및 크랭크규격별 침투인장강도는 거의 비슷하게 나타나며 토중에서의 인장력은 공기중에서 보다 2배정도 크게 나타났다. 이는 보강된 지반 내 보강재가 받는 인발력은 공기중상태의 보강재가 받는 인발력보다 크며 이는 주위지반의 구속압 및 상재압에 기인한다.

한편, 상재압에 따른 결합그리드의 보강효과는 그림 7과 같이 최대인장력과 극한인발저항에 대하여 상재압 증분에 따라 표시하였다. 그림에서와 같이 상재압이 증가할수록 최대인장력과 극한인발저항이 증가하며, 극한인발저항은 최대인장력보다 항상 작으며 거의 비슷한 증분을 갖는다. 즉, 결합강그리드 결합부에서 지지저항의 증분은 토중에서의 인발시험과 인장시험에도 마찬가지로 대부분 상재압에 영향을 받음을 알 수 있다. 또한, 상재압 증가에 따른 최대인장력은 극한인발저항보다 약 20kN~27kN 큰 값을 보이며 상재압 증분에 비해 인장강도증분 차이는 비교적 적은 폭을 보이므로 상재압 증가에 따른 최대인장력과 극한인발저항 차이는 거의 일정함을 알 수 있다.

3. 결합강그리드보강재의 결합부 거동

그림 5의 단면도에서와 같이 3개의 종방향부재를 갖는 결합강그리드에 대하여 인발시험을 실시하였다. 앞 절에서 검토된 바와 같이 상재압에 따른 결합강그리드의 영향을 검토하기 위하여 토중인발시험을 실시하였으며 대표적으로 상재압이 196.2kPa과 294.3kPa인 경우를 그림 8에 나타내었다. 또한, 시험결과 그림과 같이 종방향부재와 횡방향부재의 용접부와 결합부의 용접부에서 파괴가 발생하였으며 이때 인발력은 상재압의 영향과는 무관하게 결합부자재에서 약 20kN의 인발력을 갖는 것을 알 수 있다. 또한, 강그리드 결합부에서의 극한인발강도는 종방향부재가 2본인 경우 극한인발강도의 61.5%, 70% 값을 보이므로 실제 현장에서의 강그리드파괴에 대한 허용강도는 이 값을 적용하여야 할 것이다.

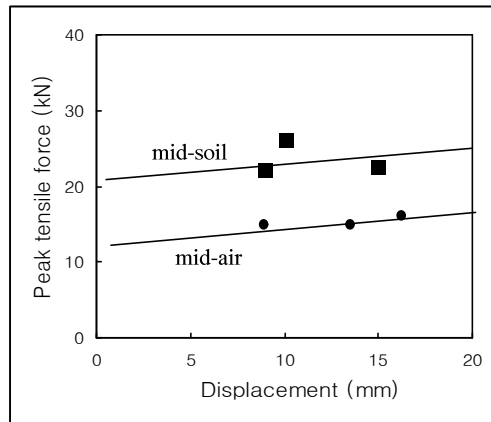


Figure 6. Tensile force and displacement of jointed grid reinforcement in mid-soil and in mid-air

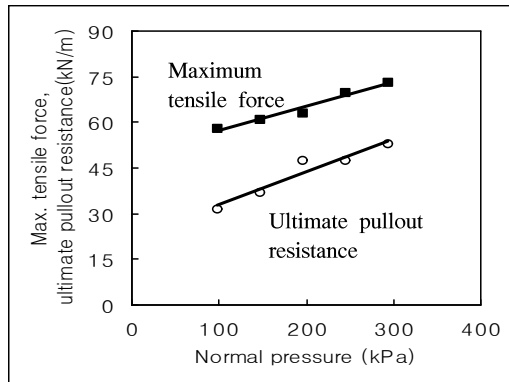


Figure 7. Relationship between max. tensile force or ultimate pullout resistance and normal pressure

V. 결합강그리드 보강사면의 안정해석

강그리드를 이용한 절·성토사면을 보강하는 경우, 보강되는 배면의 길이에 따라 그림 1과 같이 보강된 사면지반의 안정은 보강지반의 내부파괴와 외부파괴로 구분된다. 강그리드 보강사면에 대한 안정해석방법은 기타 다른 보강재들로 구성된 사면에 대하여도 마찬가지로 된다. 따라서, 본 실험에서 사용된 강그리드와 같이 강그리드 보강재는 횡방향부재와 종방향부재의 연결부와 용접부와 강그리드 망(mesh)의 연결을 위한 결합부(크랭크부)가 생기며 이때 인발 및 인장에 의한 강그리드의 강성에 영향

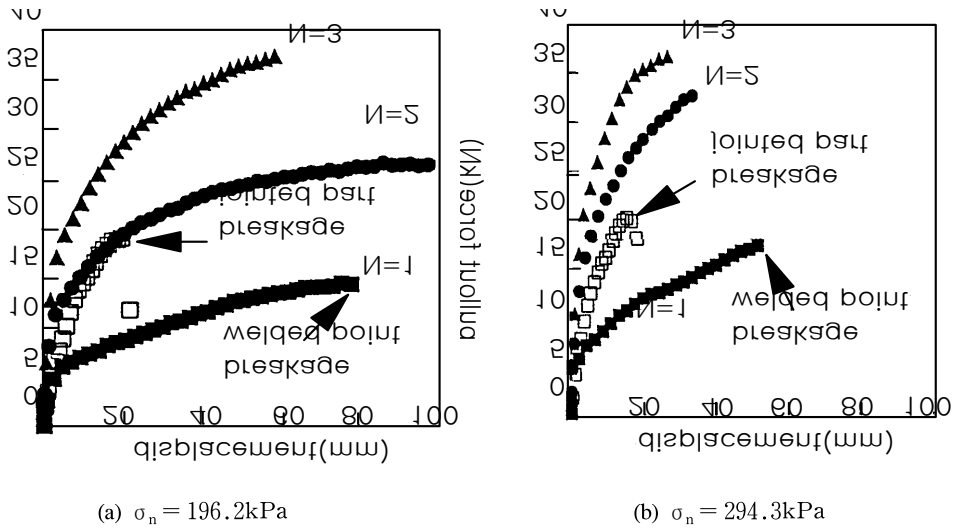


Figure 8. Relationship between pullout force and displacement at joint part and mesh of steel grid(N : Longitudinal member number)

을 미치는 요소는 강그리드 자체의 강성보다는 종·횡방향부재의 연결부 강성과 강그리드 망의 결합부에 대한 강성이 된다(그림 8참조).

따라서, 그림 9에서와 같이 성토되는 지반(여기서는 실제 00도로의 성토부 시공이 되는 일부 구간의 설계도면 및 실험결과를 사용하였음)구간을 대상으로 강그리드 보강사면과 지반치환효과를 고려한 사면안정해석을 수행하여 본 연구에서와 같이 강그리드의 안정 및 적용성에 대하여 검토하여 보고자 한다.

Table 1. Soil strength parameters

Parameter	Embankment	Soft ground(silt)				Weathered soil
		1step	2step	3step	4step	
UU-test $c_u(t/m^2)$	1.5	1.8	2.96	3.69	4.3	1.5
Internal friction angle(ϕ)	25	-				25

본 해석을 위한 대상지역의 단면도는 그림 9와 같고 지층별 지반강도정수는 표 1에서 보는 바와 같다. 그림 9는 도로구간중 최대성토구간을 선정하였으며 성토높이는 9.7m, 연약층 깊이는 9.9m이며 연약층의 GL-3~4m 깊이에서 채취된 불교란시료 비배수전단강도 $c_u=1.4\sim 2.5 t/m^2$ 의 평균값을 성토 1단계에 적용하였다. 지반의 성토단계를 4단계로 하여 압밀도가 96% (계획압밀도는 95%)인 경우에 대하여 지반강도증가율을 고려하여 표 1과 같이 지반강도를 예측한 값을 적용하였다. 또한, 본 해석에 사용된 사면 안정해석은 수정 Bishop법을 적용하였으며 범용프로그램인 SLOPILE(ver 3.0)을 이용하였다.

한편, 강그리드의 기성제품을 이용하여 그림 9와 같이 시공하는 경우, 무보강사면의 안정여부에 따라 보강여부가 결정되며 보강되는 사면에 대하여, 강그리드 보강시 결합강그리드의

Table 2. Safety factor of steel-grid reinforced slope due to the construction steps

Division	non-reinforced non-displacement	Steel-grid mesh				Jointed steel-grid			
		1step	2step	3step	4step	1step	2step	3step	4step
Fs	0.56	0.68	1.04	1.26	1.45	0.65	1.00	1.23	1.40

극한허용인발강도에 따라 각각의 사면의 안정을 검토하여야 한다. 따라서, 앞장에서 검토된 바와 같이 성토층내의 강그리드 보강에 대하여는 결합강그리드의 인장강도를 바탕으로 하여 강그리드망의 허용인장강도는 92kN을 적용하여 그림 10과 같이 결합강그리드 보강사면의 안정해석을 수행하였으며 대표적으로 4단계 시공시 사면안정해석 결과를 나타내었다. 또한, 표 1의 단계별 해석결과는 표 2에서 보는 바와 같다. 또한, 결합부만의 허용인장강도를 고려하는 경우에는 극한허용인장강도의 65%인 60kN을 적용하여 4단계 시공단계에 대한 해석결과를 그림 11에 대표적으로 나타내었으며 시공단계별 해석결과는 표 2에서 보는 바와 같다.

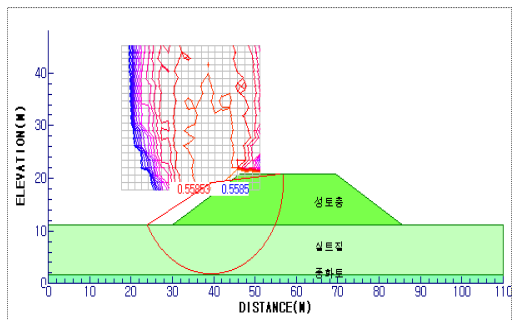


Figure 9. Stability analysis on the non-reinforced and non-displacement of ground

해석결과에서 보는 바와 같이 결합강그리드 시공시 보강사면의 안정은 결합부를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우, 0.03~0.05의 차이를 보이고 있다. 이는 안전한 상태를 요구하는 소요안전율에 대하여 최종시공단계에서는 사면안정평가가 오차로 작용하게 되며, 사면파괴가 야기될 수 있는 가능성을 가지게 되므로 지반구조체의 심각한 안정을 초래하는 원인이 될 수 있다. 따라서, 본 논문에서 검토된 것과 같이 강그리드에 의한 결합을 이용한 보강토구조물의 안정을 위하여는 강그리드자체의 강성과 결합부에서의 인발 및 인장강성에 대하여 조사 후 결합상태에 따른 허용인장강도 시험결과를 적용하여 보강사면의 안정을 검토하여야 할 것이다.

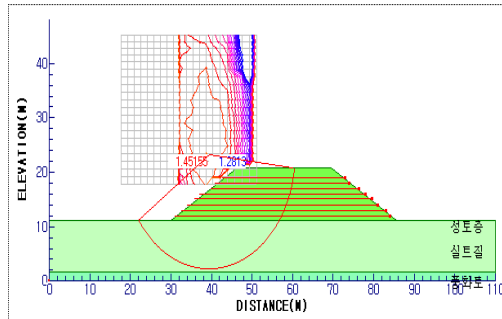


Figure 10. Stability analysis on the 4step embankment within steel-grid mesh

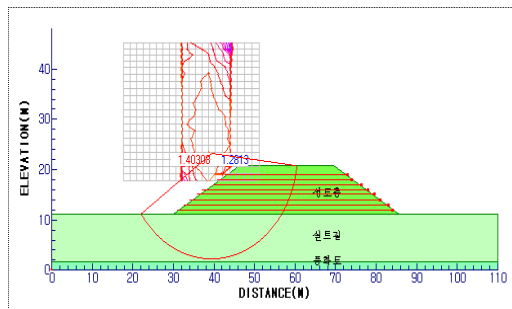


Figure 11. Stability analysis on the 4step embankment within jointed steel-grid

VI. 결 론

결합강그리드로 보강된 성토지반의 안정해석을 위하여 강그리드망과 강그리드 결합부에 대한 특성을 실내시험을 통해 고찰하였다. 또한, 그 결과를 현장사례에 적용하여 강그리드 보강재의 적용성을 고찰하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 결합그리드의 공기중 인장시험을 통해 3단계 변형거동을 보이는 것이 관찰되었고, 결합강그리드 파괴는 종방향부재의 변형과 소성 변형 그리고 결합부인 크랭크부분의 소성 변형 순으로 나타났다.
- 2) 공기중 및 토중의 인장시험에 의해 공기중과 토중에서의 그리드의 발생변위 및 크랭크 규격별 침투인장강도는 거의 비슷하다. 또한, 토중에서의 인장력은 공기중에서 보다 2배 정도 크게 나타난다. 이러한 효과는 주위지반의 구속압 및 상재압에 기인한다

3) 결합강그리드 결합부에서 지지저항의 대부분은 상재압에 영향을 받으며 이에 따른 최대인장력은 극한인발저항보다 약 20kN~27kN 큰 값을 보이며 최대인장력과 극한인발저항 차이는 거의 일정함을 알 수 있다.

4) 중방향부재와 횡방향부재의 용접부와 결합부의 용접부에서 파괴가 발생하였으며 이때 인발력은 상재압의 영향과는 무관하였다. 또한, 결합부자체에서 약 20kN의 인발력을 갖으며 이는중방향부재 2본인 경우의 인발력에 대하여 약 65%에 해당한다.

강그리드 보강된 보강사면의 안정해석에는 강그리드 결합부의 발생여부를 반드시 파악하여야 하며 강그리드결합을 이용한 보강토구조물의 안정을 위하여는 강그리드자체의 강성과 결합부에서의 인발 및 인장강성에 대하여 조사 후 결합상태에 따른 허용인장강도 시험결과를 적용하여 보강사면의 안정을 검토하여야만 한다.

인 용 문 헌

- Bishop, J.A. 1979. Evaluation of a welded wire retaining wall. Master Thesis. Utah State University, Utah. USA.
- Bergado, D.T., K.C. Macatol, N.U. Amin, J.C. Chai, M.C. Alfaro and L.R. Anderson. 1993a. Interaction of Latertic Soil and Steel Grid Reinforcement. Can. Geotech. J. 30. 276-384.
- Bergado, D.T., R. Shivashanker, M.C. Alfaro, J.C. Chai and A.S. Balasubramaniam. 1993b. Interaction Behavior of Steel Grid Reinforcements in a Clayey Sand. Geotechnique.
- Matsui, T., K.C. San, Y. Nabeshima and N.U. Amin. 1996a. Ultimate pullout loads of steel mesh in sand. Technology Reports of Osaka University, Osaka Univ. Osaka. Japan. 46 (2240) : 61-73.
- Matsui, T., Y. Nabeshima and U.N. Amin. 1966b. Reinforcing effect of steel grid reinforcement in granular soil. Proc. of Int. Con. on Urban Eng. in Asian Citiies in the 21st Century. Bangkok. Thailand. (1) 1 : 37-42.
- Matsui, T., Y. Nabeshima, K. Uchihata and J.G. Han. 1997. Tensile strength of jointed reinforcements in the steel grid reinforced earth. Proc. of the Int. of Conf. on Ground Improvement Techniques. : 355-362.
- Matsui, T., K.C. San, Y. Nabeshima and N.U. Amin. 1996c. Bearing mechanism of steel grid reinforcement in pullout test. Proc. of Int. Symp. on Earth Reinforcement(IS-Kyushu). Fukuoka. Japan. (1) : 269-274.
- 한중근. 1997. 억지말뚝을 이용한 사면의 안정해석 및 설계. 중앙대학교 박사학위논문.
- 홍원표 · 한중근 · 김진오. 2001a. 강그리드보강재의 지지저항 산정식. 대한토목학회논문집. 21(3C) : 225-231.
- 홍원표 · 한중근 · 김진오. 2001b. 원주공공확장이론에 의한 강그리드 보강재의 지지저항 산정식. 대한토목학회논문집. 21(4C) : 409-420.
- 홍원표 · 한중근 · 손규만. 2000. SLOPILE프로그램을 이용한 억지말뚝 시공실패사례 분석. 건설공사시 지반공학과 관련된 문제점 및 대책 세미나. 중앙대학교 기술과학연구소 : 1-62.

接受 2002年 4月 29日