

토목섬유를 이용한 확대기초의 설계법 연구

Design Method of Spread Footing Reinforced by Geosynthetics

주재우¹⁾, Jae-Woo Ju, 이승은²⁾, Seung-Eun Lee, 서계원³⁾, Kye-hon Suh, 박종범⁴⁾, Jong-Beom Park, 최현기⁵⁾, Hyun-Gi Choi

- 1) 순천대학교 토목환경공학부 교수, Professor, Dept. of Civil Eng, Suncheon Univ
- 2) 순천대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Eng, Suncheon Univ
- 3) 순천대학교 토목공학과 공학석사, Mater of Engineering, Dept. of Civil Eng, Suncheon Univ
- 4) 순천대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Eng, Suncheon Univ
- 5) 한국건설시험연구원 대표이사, Chief, Korea Construction Test Rearch Center, Lo, Ltd

SYNOPSIS : New design method about the spread footing was developed using only soil and geosynthetics. This footing will be able to replace the concrete footing at constructing the foundation of small structures. As shown in Fig-3(b), after excavating the ground in semicircular shape, geosynthetics is layed on the semicircular shape of ground and let the soil filled. Geosynthetics of upper side are fixed tightly each other. It can be thought to be a kind of great bag with semicircular shape. We performed two kinds of experiments to investigate the deformation and the failure shape of spread footing reinforced by geosynthetics. First, after making model ground with aluminium rods, the lattice point of 1cm x 1cm size of the side of aluminium rods have been painted with various kinds of colors. We have observed the movement of painted rods during loading.

Second, we have taken pictures about failure process using B-shutter method. Analysing the behavior of model ground reinforced in a semicircular shape, we could know the reinforced one has much greater and wider plastic area than unreinforced one at failure. Based on the experimental results, new design method was proposed, which has a possibility to apply at the field works.

Key words : Aluminium rods, Spread footing, Semicircular shape

1. 서 론

토목섬유와 흙을 이용하여 확대기초를 형성하는 방법이 소형구조물기초에서 기존의 콘크리트를 이용하여 만드는 확대기초를 대신할 수 있는 것으로 주재우(2001년)등의 연구결과에 의해 밝혀졌다. 즉 그림-3(b)와 같이 반원형으로 흙을 굴착하고 강도가 어느 정도 큰 토목섬유를 부설한 다음 흙으로 다시 채운다. 그 후 상부의 토목섬유를 서로 단단히 연결함으로써 토목섬유내에 흙이 감싸져 있는 형태가 되도록 한다. 먼저 지반의 파괴양상을 검토하기 위해서 두 종류의 실험을 실시하였다. 첫째는 알루미늄봉으로 모형지반을 만든 후 1cm격자가 되도록 다양한 색을 봉직경에 칠하였다. 그리고 하중이 재하되는 동안 색칠해진 알루미늄봉의 움직임을 관찰하였다. 둘째는 알루미늄봉을 이용한 모형시험을 하면서, 동시에 B-Shutter촬영을 실시함으로써 실제 지반의 거동이 사진속에 나타나도록 하였다. 파괴에 다다랐을 때의 촬영된 사진을 관찰해 보면 반원형상의 확대기초가 무보강기초에 비해 크고 넓게 지반을 활동시키는 것을 알 수가 있었다. 본 연구에서 파괴현상의 관찰을 바탕으로 하여 이러한 공법이 실제 현장에서 사용될 수 있는 설계법을 제안하였다.

2. 토목섬유보강 확대기초의 원리

토목섬유로 둘러싸인 흙입자는 상재하중으로 인해 입자간의 접촉응력이 매우 커지게 된다. 그리고 전단강도를 나타내는 식(1)은 다음과 같다.

$$\tau = \sigma \tan \phi + c \text{ ----- (1)}$$

따라서 흙의 강도로 표시되는 전단강도는 입자간의 접촉응력 σ 가 매우 커짐으로서 큰 값으로 바뀐다. 즉 구조물에 작용함으로써 일반적으로 구조물에 해를 주는 외력이 오히려 지반의 강도를 증가시켜 주는 역할을 하고 있다. 이러한 전단강도의 증가는 내부토체의 강성 증가를 의미함으로써 콘크리트로 만든 강성 기초와 유사한 거동을 보이게 된다. 그러나 내부토체에서 증가된 강도가 그 주변을 싸고 있는 토목섬유에 전달되면, 재하중이 커지며 더욱 큰 강도가 전달되어 토목섬유가 갖는 인장강도보다 크게 되면 토목섬유가 파단되므로 충분히 큰 강도를 갖는 토목섬유를 선정 사용하여야 한다.

3. 모형재하실험장치 및 실험방법

3.1 모형재하실험

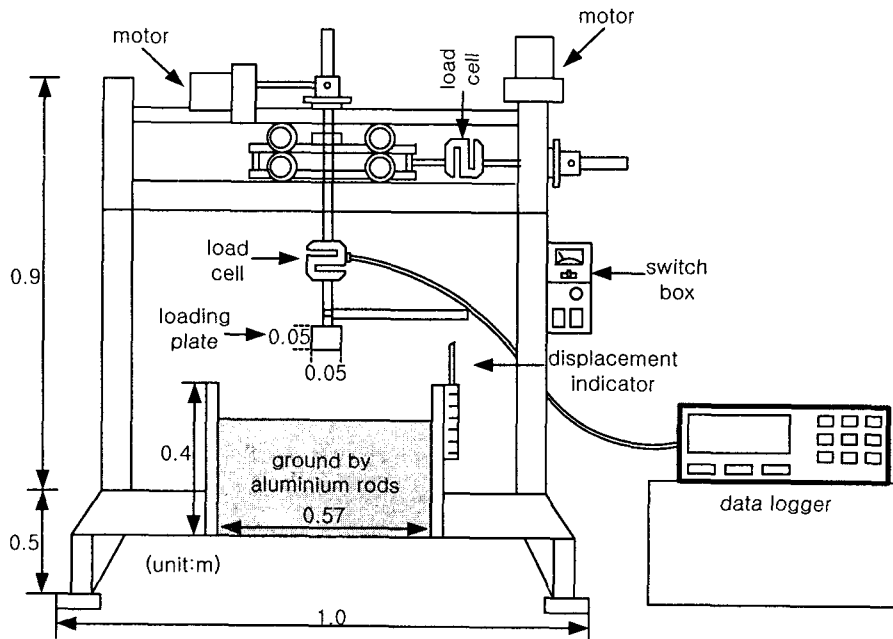


그림 1. 모형재하실험장치

3.2 모형지반 제작

토목섬유보강 확대기초에 대한 지지거동을 관찰하기 위한 모형지반제작은 직경1.6mm와 3.0mm, 길이 5cm의 알루미늄봉 2종을 사용하였다. 중량비 2 : 3의 비율로 혼합하여 지반을 제작하였으며 이렇게 제작된 지반에 대한 단위중량, 비중, 간극비 및 내부마찰각을 산정하였으며 표-1 과같다. 즉 건조단위중량은 1.98로서 큰 편이며 비중은 2.69로서 일반 흙과 거의 비슷하다. 내부마찰각은 마찰각측정기에 의해 산정되었으며 본 제작지반은 28. 로 측정되었다.

표 1. 모형지반의 성질

건조단위중량 γ_d (t/m ³)	내부마찰각 $\phi(^\circ)$	비중 Gs	간극비 e	혼합비율 (1.6mm : 3.0mm) 알루미늄봉 중량비 2:3의 비율
1.98	28	2.69	0.36	

3.3 보강재

본 실험에서는 소형모형지반이기 때문에 보강재로서 실제 토목섬유를 사용하는 대신 종이중에서 인장강도가 어느 정도 큰 것으로 알려진 닥종이를 사용하였으며 인장강도 시험을 행한 결과 최대 인장강도는 약205kgf/m 였다.

3.4 지반의 거동을 관찰하는 실험

3.4.1 격자표시방법

격자표시방법이란 알루미늄 봉에 의해 제작된 지반에 1cm간격으로 알루미늄봉 직경에 색을 칠하는 것을 말한다. 즉 다양한 색을 가지고 알루미늄봉 직경에 색칠하였으며, 실험이 진행됨에 따라 봉의 이동 경로를 관찰하였다.

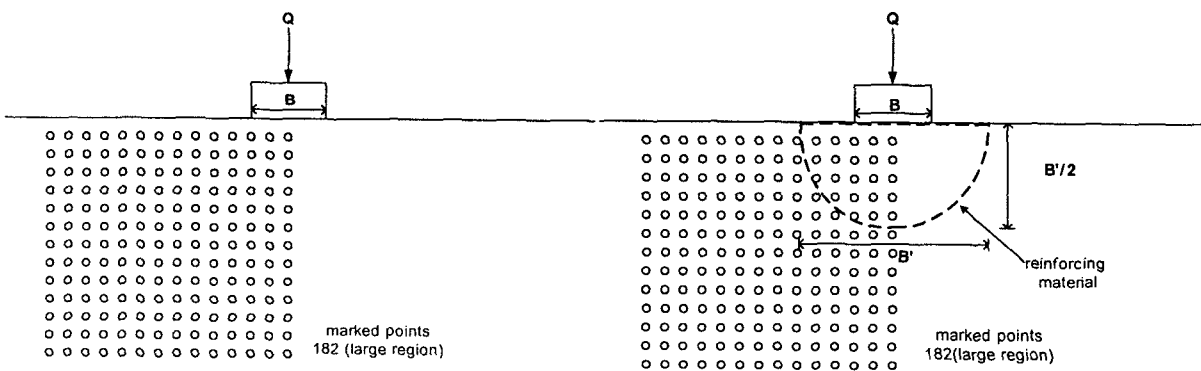
3.4.2 B-Shutter촬영법

B로 표시된 셔터로 셔터 릴리즈가 작동하는 동안 셔터가 계속 열린 채로 사진을 촬영하는방법을 말한다.

4. 실험결과 및 고찰

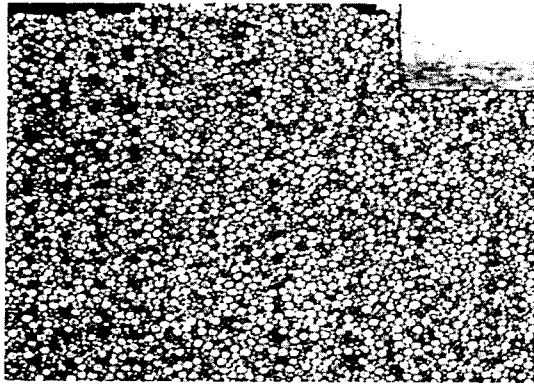
4.1 격자표시방법으로 관찰한 지반거동

그림 2의(c)와 (e)는 무보강 상태의 알루미늄봉으로 만든 모형지반에 재하시험결과를 나타낸 것이다. (c)는약 35.7mm의 침하가 발생했을때의 사진으로 1cm격자로 색칠해진 알루미늄봉이 이동해 있는 것을 명확하게 볼수가 있다. (e)는 이러한 이동점의 좌표를 체크하여 4각형형태의 격자들이 이동해간 모습을 그린것이다. 그림 2의 (d)와(f)는 반원형으로 보강된 지반의 하중재하에 따른 지반의 이동을 나타낸 것이다. 무보강일때는 재하판의 하부근처에 있는 지반만이 좌측 상부방향으로 움직였음을 알 수가 있으며, 반원형으로 보강된지반의 경우는 매우 깊은 지반까지 영향을 미치며 하부에서 좌측상부방향으로 움직였음을 관찰할수 있었다.

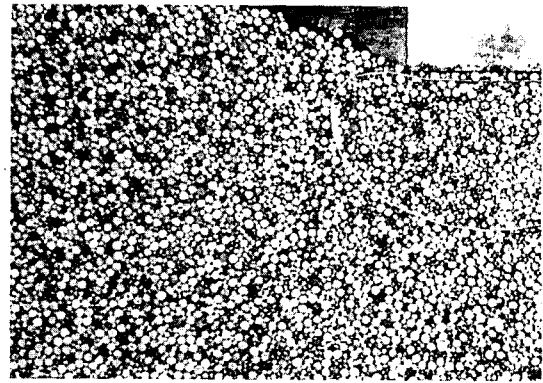


(a) 무보강

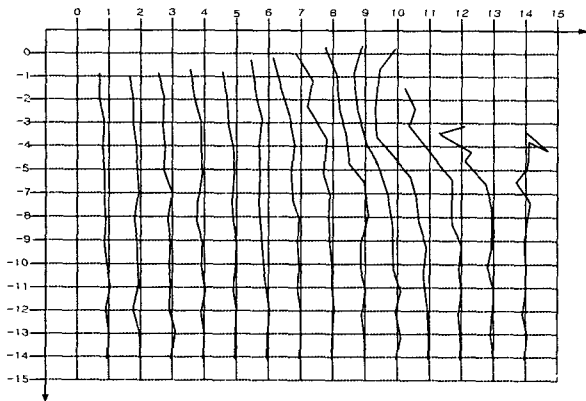
(b) 보강



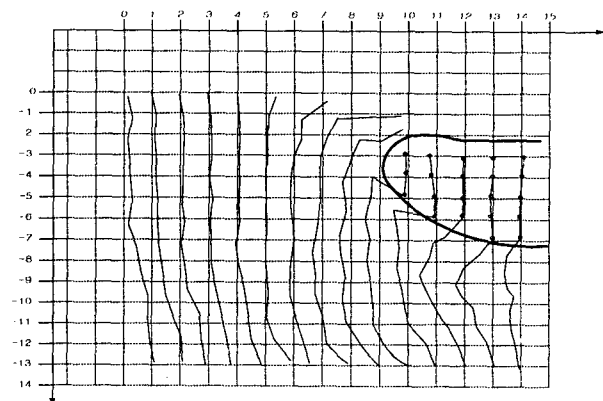
(c) 무보강(S=0~35.7mm)



(d) 보강(S=0~20.8mm)



(e) $B'=10\text{cm}$, $S=0\sim 35.7\text{mm}$

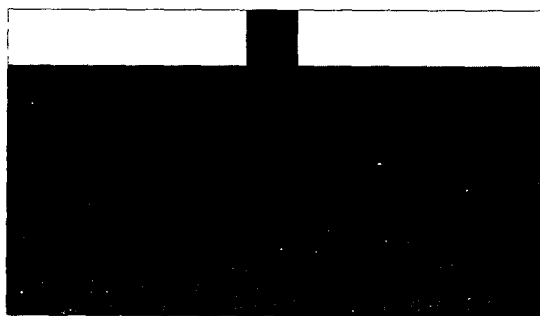


(f) $B'=10\text{cm}$, $S=0\sim 20.82\text{mm}$

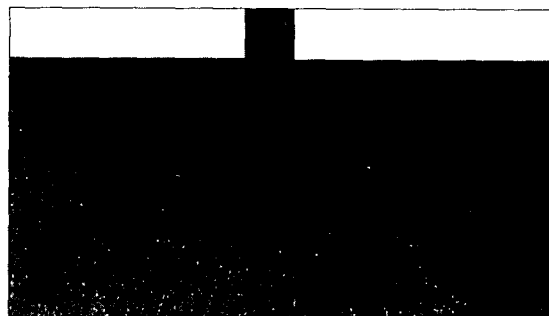
그림 2. 격자표시법에 의한 지반거동

4.2 B-Shutter촬영법

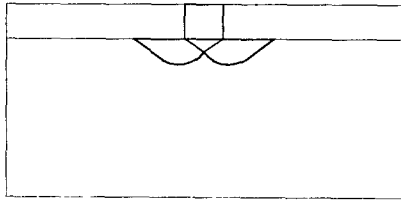
그림 3의 (a)와 (c)는 무보강상태에서 지반이 파괴되어 이동하는 모습을 B-Shutter촬영을 하고 그린 그림이다. 일반적인 연속기초의 파괴형상과 비슷한 모습을 보인다. 그림 3의 (b)와 (d)는 반원형으로 보강한 지반에 대한 파괴시의 사진을 B-Shutter촬영한 것이다. 파괴형상은 무보강의 경우와 유사하지만 반원형보강체로 인하여 매우 깊고 넓게 지반의 움직임이 나타나고 있다. 이렇듯 지반이 움직이는 영역이 커진다는 것은 그만큼 극한지지력이 커진다는 것이다. 즉 이러한 지반의 이동영역의 크나큰 확대는 본 기초의 보강방법이 극한지력을 증가시키는 공법으로 사용될 수 있음을 확인하는 것이다.



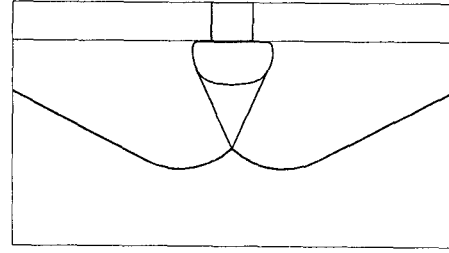
(a) 무보강(S=0mm~10mm)



(b) 보강($B'=10\text{cm}$, $S=0\text{mm}\sim 15\text{mm}$)



(c) 무보강(S=0mm~10mm)

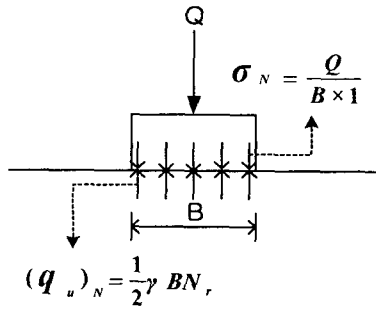


(d) 보강(B'=10cm, S=0mm~15mm)

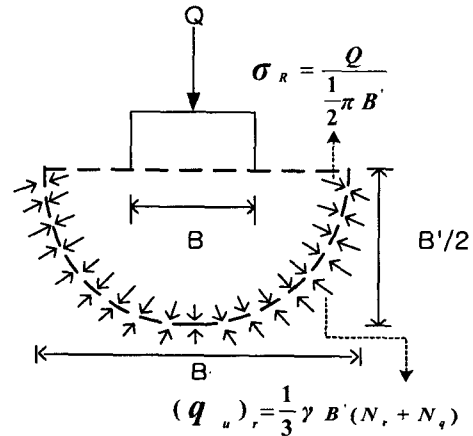
그림 3. B-Shutter촬영에 의한 지반거동관찰

5. 반원형상 토목섬유 보강확대기초 설계

반원형토목섬유 확대기초의 설계법을 검토하고자 한다. 그림 4의 (a)는 무보강의 경우를 나타낸 것이며,그림 4(b)는 반원형으로 보강된 기초의 형상을 나타낸 것이다. 무보강 연속기초인 경우, ϕ 만이 존재하는 입상토라 가정했을 때 극한지지력은 아래 식(2)와 같다.



(a) 무보강



(b) 보강

그림 4. 기초지반의 보강형태

$$(q_u)_N = \frac{1}{2} \gamma B N_r \text{ ----- (2)}$$

한편 안전율 계산에 사용되는 접지압은 아래 식과 (3)과 같다.

$$\sigma_N = \frac{Q}{B \times 1} \text{ ----- (3)}$$

따라서, 무보강시의 안전율은 식(4)와 같다.

$$(F_s)_N = \frac{(q_u)_N}{\sigma_N} = \frac{\frac{1}{2} \gamma B N_r}{\frac{Q}{B}} = \frac{\frac{1}{2} \gamma B^2 N_r}{Q} \text{ ----- (4)}$$

반원형으로 보강했을 경우 극한지지력을 구하는 방법으로 구형 콘크리트기초로 가정하여 구한 극한지

지력의 2/3를 반원형기초의 극한지지력이라 가정한다면 직경 B' 가 기초 폭이 되고 직경 절반인 $\frac{B}{2}$ 가 기초의 깊이로 가정되는 기초를 말한다. 즉 구형 콘크리트기초의 극한지지력은 아래 식과 같다.

$$(q_u)_r = \frac{1}{2} \gamma B' (N_r + N_q) \quad \text{----- (5)}$$

따라서, 반원형보강기초의 경우는 대략 면적의 크기와 관련지어 (5)에서 구한 값의 $\frac{2}{3}$ 값을 취하는 것으로 가정하면 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$(q_u)_r = \frac{1}{3} \gamma B' (N_r + N_q) \quad \text{----- (6)}$$

반원형보강기초의 경우 접지압의 계산은 그림-4(b)에 나타낸바와 같이 반원전체에 걸쳐 고루 분포되는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 접지압은 다음식 (7)로 나타내어 진다.

$$\sigma_R = \frac{2Q}{\pi B} \quad \text{----- (7)}$$

따라서, 반원형으로 보강된 기초지반의 지지력에 대한 안전율을 식으로 나타내면 다음과 같이 된다.

$$(F_s)_R = \frac{(q_u)_r}{\sigma_R} = \frac{\frac{1}{3} \gamma B' (N_r + N_q)}{\frac{2Q}{\pi B}} = \frac{\gamma \pi (B')^2 (N_r + N_q)}{6Q} \quad \text{----- (8)}$$

기초지반이 받아야할 하중 Q를 무보강지반의 안전율을 구하는 식(4)에서 계산했을 때 소정의 안전율을 갖지 못한다면 반원형확대기초를 사용하여 확대기초의 폭을 조정함으로써 소정의 안전율을 갖는 기초의 설계가 가능할 것이다.

6. 결 론

보강재를 이용하여 확대기초를 만듦으로써 지지력을 증가시키는 실험을 실시하였다. 실험 결과 지지력의 증가효과가 큰 것으로 밝혀졌다. 임시구조물의 기초설계 또는 경량구조물의 기초설계에서 본 연구에서 행한 보강재를 이용한 확대기초 형성 방법이 사용될 수 있으리라 판단된다. 추후 실제 현장시험을 통하여 본 공법의 효과를 직접 확인할 계획이다.

참고문헌

- 1 T. William Lambe, Robert V. Whitman, *Soil Mechanics, SI Version*.
- 2 松岡 元, 高木 信, 西井 正浩, *입상체 지반의 유효한 지지력 보강방법*, 일본토목학회 제47회년차 학술 발표회, 1992년 9월
- 3 Kentaro Yamamoto, Koji Kusuda, *Failure mechanisms and bearing capacities of reinforced foundations* ELSEVIER Geotextiles and Geomembranes 19 (2001) 127-162