

전면부 변형형태에 따른 보강토 벽체 구조물의 파괴거동에 관한 연구

A Study on the Failure Behavior of the Reinforced Earth Wall Structures according to the Deformed Types of the Face

김 준 석^{*1}

Kim, Joon-Seok

이 상 덕^{*2}

Lee, Sang-Duk

Abstract

In this paper the failure behavior of the reinforced earth retaining wall structures according to the deformed types of the face was studied by model test using carbon rods. In model test the behavior of the face for the model of the reinforced earth wall was divided into three cases : the displacement of the top part(case 1), the lateral displacement(case 2) and the displacement of the lower part (case 3). The photographic method was applied to examine the failure line of the deformed wall with the naked eye. The failure line shows a parabolic shape for case 1, a large circular arc for case 2 and a logarithmic spiral for case 3 in the experimental results. The design failure line for the coherent gravity structure hypothesis was most similar to the failure line for the case of the lower part displacement.

요 지

본 논문에서는 전면부 변형형태에 따른 보강토벽체의 파괴거동을 탄소봉 모형 실험장치를 이용하여 실험적으로 연구하였다. 실험에서는 모형 보강토 벽체의 전면부 변형 형태를 상부변형, 수평변형, 하부변형 등 3종류로 나누어 실시하였다. 변형된 벽체의 파괴선을 육안으로 확인하기 위하여 사진촬영 기법을 이용하였다. 실험결과 상부변형의 조건일 경우 파괴선은 포물선의 형태를, 수평이동의 조건일 경우 파괴선은 매우 큰 원호의 형태를 보였으며, 하부변형의 조건일 경우 파괴선은 직선화된 대수나선형태를 보였다. 현재 설계에 많이 사용되고 있는 복합중력식 설계법의 가상파괴선은 하부변형 조건의 파괴선과 가장 유사한 형태를 보였다.

Keywords : Reinforced earth, Retaining wall, Model test, Carbon rods

*1 정희원, 청운대학교 토목환경공학과 전임강사

*2 정희원, 아주대학교 공과대학 토목공학과 부교수

1. 서 론

산지와 구릉지가 많은 우리나라에서는 적절한 토지의 활용을 위하여 옹벽구조물을 설치하는 경우가 많으며 근래에 그 동안 많이 사용해 왔던 콘크리트옹벽 대신 보강토옹벽이 많이 시공되고 있다. 보강토옹벽은 공법의 특징으로 인하여 기존의 콘크리트옹벽과 함께 중요한 옹벽구조물이라는 인식이 확산되고 있다. 따라서 우리나라에서도 보강토옹벽 공법에 대한 설계 및 시공기술이 상당히 축적되었으나 보강토옹벽의 설계에서 중요한 요소인 파괴거동에 대해서는 계측 및 실험의 어려움 때문에 가상파괴선의 설정과 같은 독창적 설계에 있어서 미흡한 실정이다. 보강토옹벽의 설계에 있어서 파괴거동은 보강재를 설계하기 위한 가상파괴선을 결정하는데 중요한 요소이다. 즉 보강재의 길이, 폭, 두께, 간격 등을 결정하기 위해서는 가상파괴선을 먼저 설정해야 하며 이를 통하여 보강재의 무효길이와 유효길이를 산출하게 된다. 즉, 가상파괴선은 보강재의 길이를 결정하는데 필수적인 설계요소가 된다. 대표적인 가상파괴선은 타이백(tie-back)구조개념에 의한 주동파괴선과 Schlosser (1978), McKittrick (1978) 등이 제안한 복합중력식 개념(the coherent gravity structure hypothesis)에 의한 가상파괴선, Smite와 Worth(1977), Romstad(1978) 등이 제안한 가상파괴선 등이며 특히 이중에서 복합중력식 개념에 의한 것이 우리나라에서 많이 사용되고 있다. 보강토벽체의 파괴거동에 따라 가상파괴선의 형태가 달라지기 때문에 보강토벽체의 파괴거동에 따른 가상파괴선의 형태를 규명하는 것이 우선적으로 필요하다. 본 논문에서는 보강토벽체 파괴거동에 따른 가상파괴선의 형태를 규명하기 위하여 옹벽의 파괴거동을 벽체의 상부변형, 수평변형, 하부변형 등 3종류로 나누고 탄소봉 모형 실험장치를 이용하여 2차원에서의

파괴거동을 실험적으로 연구하였다.

2. 실험방법

2.1 실험개요

본 논문의 목적인 보강토옹벽에서 벽체의 변위형태에 따른 토체의 파괴거동과 가상파괴선 형태의 관계를 규명하기 위하여 시각적으로 관찰이 가능한 탄소봉 모형실험장치를 이용하였다. 탄소봉 모형실험장치의 한쪽 면에 변위제어가 가능한 모형전면판을 설치하고 모형전면판 뒷면에 탄소봉을 쌓으면서 계획된 위치에 알미늄 박판으로 제작된 보강재를 설치하였다. 모형토체가 완성되면 모형전면판의 변형에 따라 파괴되는 모형토체의 거동을 확인하기 위하여 모형토체에 5 cm 간격으로 흰색의 수평, 수직선을 작도하였다. 또한 B셔터가 설치된 카메라를 이용하여 한 장의 필름에 파괴되어 가는 토체의 모습이 여러 장 겹치도록 함으로써 파괴면에 포함되어 이동하는 토체의 모습이 육안으로 확인될 수 있도록 했으며 정지되어 있는 토체와도 구분될 수 있도록 하였다. 즉 본 실험을 통하여 보강토옹벽 토체의 파괴거동에 따른 파괴면의 형상이 육안으로 확인될 수 있도록 하였다. 토체의 파괴 거동은 ① 전면판 하부는 힌지로 고정되고 상부가 변형되는 경우(case 1), ② 전면판 상하부 균등하게 수평 이동되는 경우(case 2), ③ 전면판 상부는 힌지로 고정되고 하부가 변형되는 경우(case 3) 등 3가지 종류로 나누었다. 이때 전면판 자체는 변형되지 않도록 하였다. 또한 탄소봉벽체 뒷면에 균등한 상재하중이 작용될 수 있도록 하여 벽체를 지지하고 있던 지지봉을 제거하였을 때 알미늄 박판 보강재로 보강된 모형 보강토체가 원활히 파괴될 수 있도록 하였다.

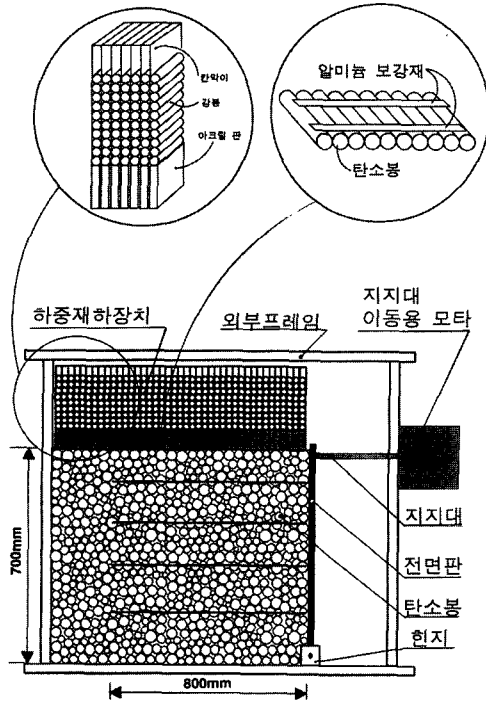


그림 1. 탄소붕 실험 장치

2.2 실험장치

2.2.1 탄소붕 모형실험장치

모형실험장치는 그림 1과 같은 형태로 외부틀은 두께 5 mm 크기의 C형강(channel)으로 제작되었으며 형틀 내부에 길이 55 mm인 탄소붕을 채울 수 있도록 하였다.

2.2.2 모형지반

모형 지반은 같은 실험 조건으로의 재현성이 우수한 탄소붕을 사용함으로써 반복 실험이 가능하도록 하였으며, 길이가 55 mm이고, 직경이 8 mm, 6 mm, 4 mm인 세 종류의 탄소붕을 사용하였다. 모형지반과 전면판의 접촉부에는 전단응력이 작용하지 않도록 윤활제를 도포하였다. 탄소붕으로 구성된 모형 지반은 길이 방향의 변형을 무시할 수 있으므로 평면 변형률(plane strain)

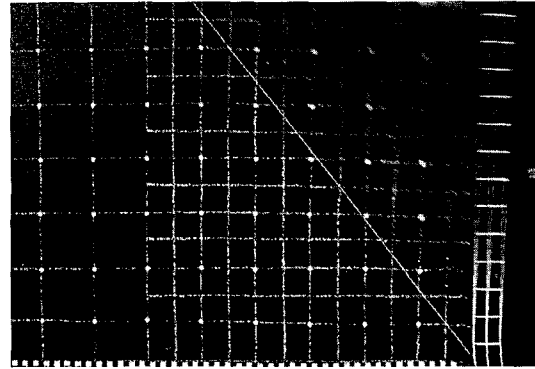


그림 2. 보강되지 않은 경우(case 1)

상태에 있다고 가정할 수 있다. 모형 지반의 공학적 특성은 비중(탄소붕)($2.0 \leq G_c \leq 2.1$), 간극비($0.23 \leq e \leq 0.27$), 단위 중량($1.36 \text{ t/m}^3 \leq \gamma_t \leq 1.41 \text{ t/m}^3$), 내부마찰각($27^\circ \leq \phi \leq 31^\circ$)이다.

2.2.3 재하장치

재하장치는 알루미늄 박판을 보강재로 사용한 모형보강토체의 파괴를 위하여 보강토체 상부면에 강봉(직경=10 mm, 길이=76 mm, 무게=46g)을 쌓으므로써 균등한 상재하중이 작용되도록 그림 1과 같은 장치를 이용하였다.

2.2.4 보강재

실험에 사용된 보강재는 0.1 mm 두께의 알루미늄 박판을 너비 3 mm로 제단한 후 한 층에 2개씩 그림 1과 같은 방법으로 설치하였으며 한쪽면을 전면판에 부착하였다.

3. 실험결과 및 분석

실험결과는 3가지 파괴거동에 대하여 나누어 분석하였다.

3.1 하부한지-상부변형의 경우(Case 1)

보강되지 않은 경우는 그림 2와 같이 직선의

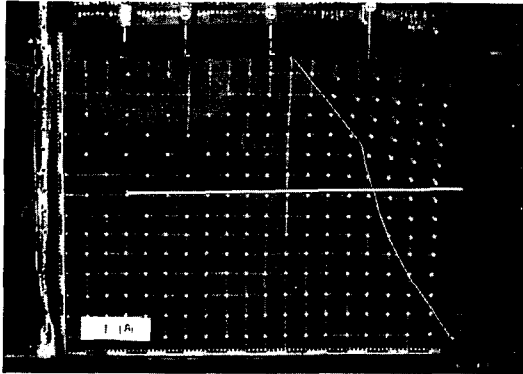


그림 3. 보강재가 1층인 경우(case 1)

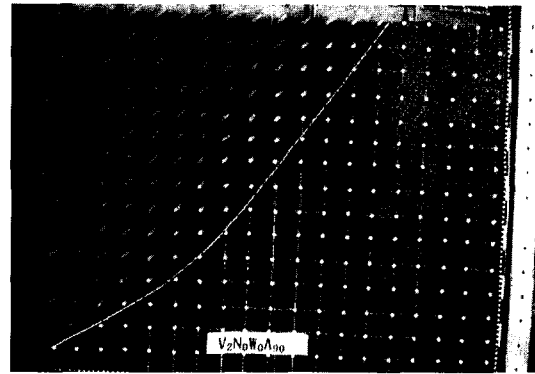


그림 6. 보강되지 않은 경우(case 2)

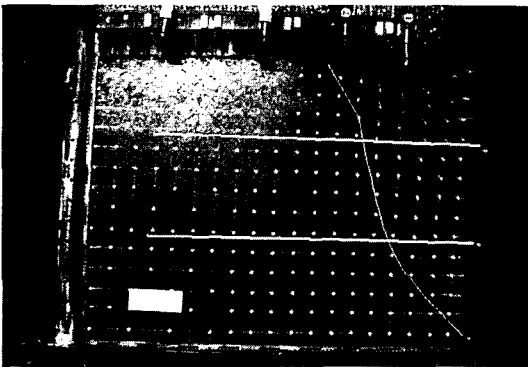


그림 4. 보강재가 2층인 경우(case 1)

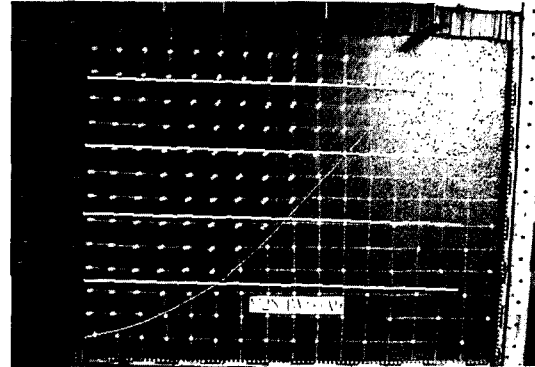


그림 7. 보강재가 4층인 경우(case 2)

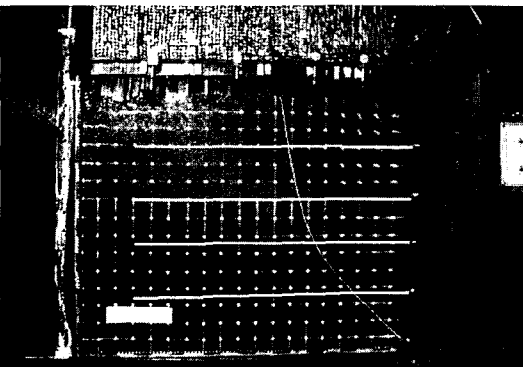


그림 5. 보강재가 4층인 경우(case 1)

파괴선을 따라 거동하였다. 보강재를 1층 설치한 경우는 그림 3과 같이 파괴선은 힌지에서 보강재를 통과하는 동안 전면판 쪽으로 조금 휘는 경향을 보인 후 다시 직선을 나타내었다. 보강재가 2

층인 경우(그림 3)도 1층인 경우와 같은 경향을 보였다. 이것은 보강재 때문에 파괴선이 전면판 쪽으로 휜 후 보강재의 영향범위 밖으로 벗어나면 다시 직선으로 파괴된 것으로 생각된다. 보강재가 4층인 경우는 보강토체가 모두 보강재의 영향범위 안에 있기 때문에 그림 5와 같이 파괴선이 전면판 쪽으로 휘어서 포물선의 형태를 보였다.

3.2 균등 수평이동의 경우(Case 2)

전면판이 수평으로 이동하는 경우에 보강재가 없는 경우는 그림 6과 같이 아래쪽에서는 완만한 경사면을 보이다가 위로 올라가면서 경사가 급한 직선의 형태를 보였다. 보강재가 4층 설치된 경우에는 그림 7과 같이 파괴선이 전면판 쪽으로

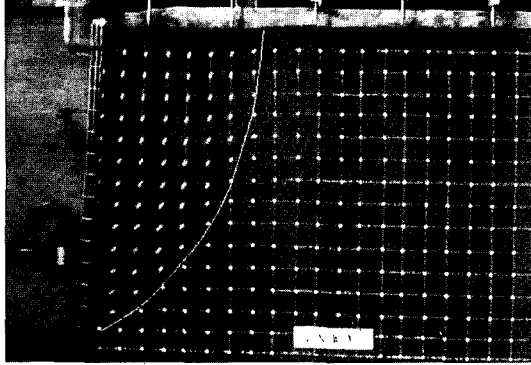


그림 8. 보강되지 않은 경우(case 3)

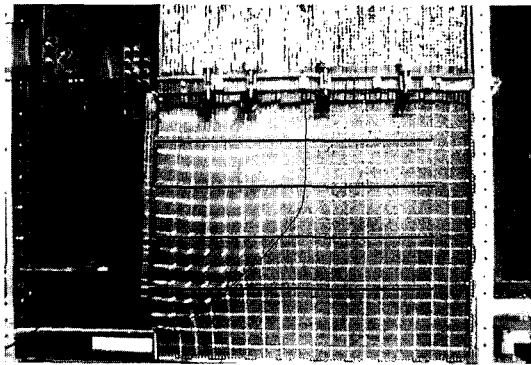


그림 9. 보강재가 4층인 경우(case 3)

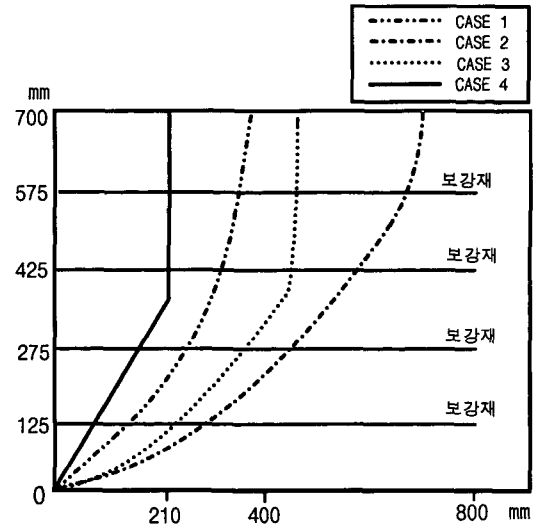
휘는 것을 알 수 있다. 즉 전체적으로 전면판 상부 끝점을 원점으로 하는 원형(1/4원)에 가까운 파괴선의 형태를 보였다.

3.3 상부힌지-하부변형의 경우(Case 3)

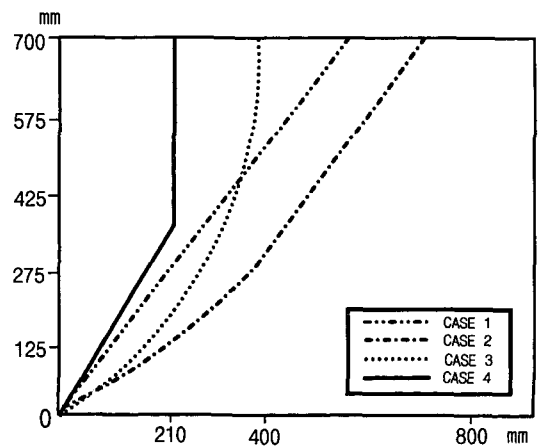
보강재 없는 무보강 상태의 경우 그림 8과 같이 대수나선형태의 파괴선을 보였다. 보강재가 4층인 경우에도 그림 9와 같이 대수나선형태와 유사하지만 비교적 두 개의 직선을 연결한 것과 같은 거동을 보였다.

3.4 비교분석

그림 10에 전면판의 3가지 파괴조건에 따른



(a) 보강재가 4층인 경우



(b) 보강재가 없는 경우

그림 10. 파괴선의 비교

보강토체의 파괴선과 현재 많이 사용하고 있는 복합중력식 설계방법의 가상파괴선(case 4)을 비교하였다. 그림 10에서 전면판의 변형조건에 따라 파괴선의 형태가 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 복합중력식 설계방법의 가상파괴선과 가장 유사한 형태는 상부힌지고정-하부변형(case 3)의 경우인 것으로 판단된다. 하부힌지고정-상부변형(case 1)의 경우도 유사한 형태를 보였다. 그러나 전체수평이동(case 2)의 경우는 파괴선이 원호의

형태이면서 전면판으로부터 가장 큰 파괴선을 보이고 있다. 따라서 파괴선의 형태적인 면에서 복합중력식 설계방법의 가상파괴선은 전면판의 하부변형조건(case 3)이 가장 잘 고려된 것으로 판단되며 상부변형조건(case 1)의 경우도 어느정도 고려될 수 있다고 사료되지만 수평이동조건(case 2)은 고려되지 않은 것으로 판단된다. 또한 그림 10에서 복합중력식 설계방법의 가상파괴선이 전면판 쪽에 가장 가까우며 다른 파괴선들은 상대적으로 먼 것을 알 수 있다. 파괴선이 전면판으로부터 멀어지면 동일한 설계에 대해서 보강재의 유효길이가 짧아지게 되므로 결국 내적 안전율이 작아진다. 따라서 이 문제에 대해서도 향후 정량적인 연구가 필요할 것으로 사료되나 본 연구에서는 모형실험조건과 현장조건의 차이점에 기인된 때문으로 사료되기 때문에 본 연구의 목적인 파괴형태의 정성적인 분석에는 문제가 없을 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구를 통하여 보강토옹벽에 있어서 전면판의 파괴거동의 형태가 파괴선의 형태에 미치는 영향에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 보강토옹벽의 전면판이 하부-힌지고정, 상부-변형의 조건일 경우 파괴선은 포물선의 형태를 보였다.
- 2) 보강토옹벽의 전면판이 전체 수평이동 조건일 경우 파괴선은 매우 큰 원호의 형태를 보이며 본 연구에서는 전면판 상부 끝점을 원점으로 하는 원형(1/4원)에 가까운 파괴선의 형태를 보였다.
- 3) 보강토옹벽의 전면판이 하부-변형, 상부-힌지고정의 조건일 경우 파괴선은 직선화된 대수 나선형태를 보이며 현재 많이 사용하고 있는 복합중력식 설계법의 파괴선과 가장 유사한 형태를 보였다.

- 4) 파괴선의 형태적인 면에서 복합중력식 설계방법의 가상파괴선은 전면판의 하부변형조건(case 3)이 가장 잘 고려된 것으로 판단되며 상부변형조건(case 1)의 경우도 어느정도 고려될 수 있다고 사료되지만 수평이동조건(case 2)은 고려되지 않은 것으로 판단된다.
- 5) 현장에서 보강토옹벽의 파괴형태는 현장상황에 따라 상기 3가지 조건이 단독 또는 복합적으로 발생될 수 있으므로 향후 설계시 종합적인 고려가 필요하며 특히 전면판의 수평이동시 파괴선이 상대적으로 크게 발생될 수 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 청운대학교 학술연구비 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다. 또한 공동연구에 협조해 주신 아주대학교에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. A. Nakane, Y. Yokota, M. taki, H. Miyatake (1996) "FEM Comparative analysis of facing rigidity of geotextile - reinforced soil walls", Proceedings of the *International Symp. on Earth Reinforcement*, Vol. 1, pp. 433~438.
2. Henri Vidal (1978) "The Development And Future of Reinforced Earth", *Proceedings of Symposium on Earth Reinforcement, ASCE*.
3. Ilan Juran, F. Schlosser (1978) "Theoretical Analysis of Failure in Reinforced Earth Structure", *Proceedings of Symposium on Earth Reinforcement, ASCE*. pp. 528~555.
4. Ingold, T. S. (1981) "Reinforced earth - theory and design", *Proc. Inst. Highw. Engrs.* 28, No. 7.
5. Jean Binquet & Lee, K. L. (1975) "Bearing capacity analysis of reinforced earth slabs", *J. of Geot. Engineering Div. ASCE*, 101, GT12, pp. 1241~1255.
6. M. Bastick & P. Segrestin(1996) "Use of double wedge equilibrium for reinforced earth structures design", *Proceedings of the International Symp. on*

- Earth Reinforcement*, Vol. 1, pp. 309~314.
7. McKittrick, D. P. (1978) "Reinforced earth - application of theory and research to practice", Proc. Symp. *Soil Reinforcing and Stabilizing Techniques*, NSWIT/NSW Univ. (separate volume).
 8. Romstad, K. M., Al-Yassin, Z., Herrmann, L. R. & Shen, C. K. (1978) "Stability analysis of reinforced earth retaining structures", Proc. *ASCE Symp. Earth Reinforcement*, Pittsburgh, pp. 685~713.
 9. Schlosser, F. (1978) "La terre armee, historique development actuel," NSW Univ., pp. 5~28.
 10. Smith, A. K. C. S. & Wroth, C. P. (1977) "The failure of model reinforced earth walls," Proc. TRRL/Heriot-Watt Univ. Symp. *Reinforced Earth and other Techniques*. TRRL Sup.Rep. 457, pp. 109~131

(접수일자 1998. 3 .12)