

접합요소를 도입한 기초지반의 유한요소해석

The Finite Element Analysis of Foundation Layer by
Introducing Interface Element

정진섭* · 이대재 · 봉기영(원광대)

Jeong, Jin Seob · Lee, Dae Jae · Bong, Ki Young

Abstract

In the analysis of deformation in which the stiffness is greatly different between the adjacent materials, the desired results have been obtained by using the interface element method compared with those secured by the conventional method of the concept of continua. This study deals with the deformation analysis of soft foundation by the introduction of interface element. The physical conditions of interface element are divided into three categories by Mohr-Coulomb failure criterion ie. sliding, separation, and contact. Finally the accuracy of the program proposed in this paper is proved highly accurate by performing the comparison of the theoretical values numerical results of a model element with simplified boundary conditions.

1. 서론

연약지반 위에 성토를 하거나 구조물을 설치하는 경우에 침하나 측방유동을 억제할 목적으로 Sheet Pile을 타설하거나 심층혼합처리공법을 사용하는 경우가 많다.

이러한 지반의 거동을 해석하려면 유한요소법이 많이 사용되며, 이때 Sheet Pile과 흙 또는 강성을 높인 처리부와 연약지반인 미처리부와의 접촉면에서 상호매체의 강성이 크게 다른 재료 사이에서 미끄럼이나 분리가 생기지 않는 연속체로서 취급되어 왔다. 그러나 실제문제에서는 이와 같은 경계면에서 하중에 의해 미끄럼 또는 분리가 생길 수 있다.

본 연구에서는 Siriwardane 등¹⁾이 흙-구조물의 접합면(경계면 : Interface)과 같이 강성이 서로 다른 재질의 접합면 해석에 대해서도 접합요소를 적용할 수 있다는 연구발표를 근거로 하여 Goodman 등²⁾이 제안한 4절점 4각형요소를 채택, 이 요소로 흙의 접촉문제를 해결할 수 있도록 프로그램화하였다. 그리하여 Biot이론^{3,4,5)}에 기초한 다목적 프로그램 (각종 흙의 구성모델⁶⁾과 배수조건 등을 고려하여 여러 유형의 토질구조물에 대한 변형해석이 가능한 프로그램)에 삽입시켰다. 또, 연약지반의 해석에 사용한 구성식으로는 수정 Cam-Clay Model을 선정하였다.

2000년도 한국농공학회 학술발표회 논문집(2000년 10월 14일)

2. 접합요소에 관한 기본이론

2.1 개요

둘 또는 그 이상의 물체가 상호접촉상태의 거동을 해석하는 방법은 크게 두가지로 나눌 수 있다.

그 하나는 두 물체의 접촉면상에서 대응하는 절점간의 접촉조건을 고려하여 이미 만들어진 계 전체의 강성방정식을 수정하는 방법이 있고 다른 하나는 접촉면에 특수한 요소를 삽입하는 방법이다. 이 경우에 접촉조건에 따라 특수요소의 강성중복부분만 변화되므로 연산이 용이하다. 한편 활동상태(sliding)의 접촉조건에 있어서 특수요소의 부가적인 절점력을 고려할 필요가 있지만 연산하는 데는 문제가 되지 않는다. 그러므로 본 논문에서는 특수요소의 강성을 변화시키는 방법을 사용하여 흙의 접촉문제를 다루었다.

또한 접합요소와 관련된 재료특성은 접합요소의 전단특성과 연직강성(normal stiffness)으로 이루어지는데, 이들 특성은 물리적으로 흙의 강성과 강도에 상관되고 접합요소의 조도(roughness)에도 영향을 받으며 접합요소가 확장되거나 수축을 일으키면 “dilatant” 라 하고 전단과 연직변위간에 관련이 없으면 “non-dilatant” 라 한다. 이 후자의 경우를 수학적으로 모델화하는 것은 어렵지 않다. 그것은 전단변형율에 의한 체적변위가 없으며 변형의 전단성분과 연직성분이 결합되지 않기 때문이다.

본 연구에서는 non-dilatant interface의 가정 아래 유도한 강성행렬을 사용하였다.

2.2 접합요소의 강성행렬

기초지반의 재료적 성질이 서로 상이한 복합적 상태로 존재할 때 그 변형거동을 해석하는데는 이들 접촉면에서의 역학적 불연속면의 영향을 고려하여 해석할 필요가 있다. 이와 같은 해석수법의 하나로서 접촉면의 불연속면을 접합시키는 Goodman 등²⁾의 접합요소 수법을 이용하여 지반해석을 하였다. Fig. 1에 접합요소의 개념을 나타내었는데 4각형 4절점 요소이고 이 요소의 길이는 L 이며 절점 1, 4와 2, 3은 동일좌표로서 폭은 없다고 본다. 이 좌표계는 길이 방향으로 X 축을 갖는 국부좌표계를 사용하였으며 원점은 중앙에 있다.

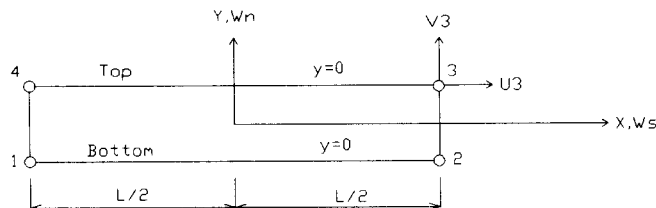


Fig. 1 Interface Element

3. 심층혼합처리부의 유한요소해석

일반적으로 연약지반 위에 성토를 하게 될 경우 인접구조물에 유해한 측방변위가 발생하는 수가 많이 있다. 그러므로 연약지반에서는 과도한 측방유동 및 지표면 침하를 억제할 목적으로 심층혼합처리공법을 실시하여 지반을 보강한 후 그 위에 성토를 하는 경우가 많은데, 이러한 복합기초지반의 변형을 예측하기 위한 기존의 해석방법은 불연속면을 고려하지 않았기 때문에 실제의 측방변위나 지표면 침하를 예측해 보았다.

접합요소 사용의 효과를 알아보기 위하여 시간에 따라 (재하후 0, 100, 1000일) 접합요소를 사용한 경우와 접합요소를 사용하지 않은 경우를 해석하여 비교하였다.

3.1 모형지반의 조건

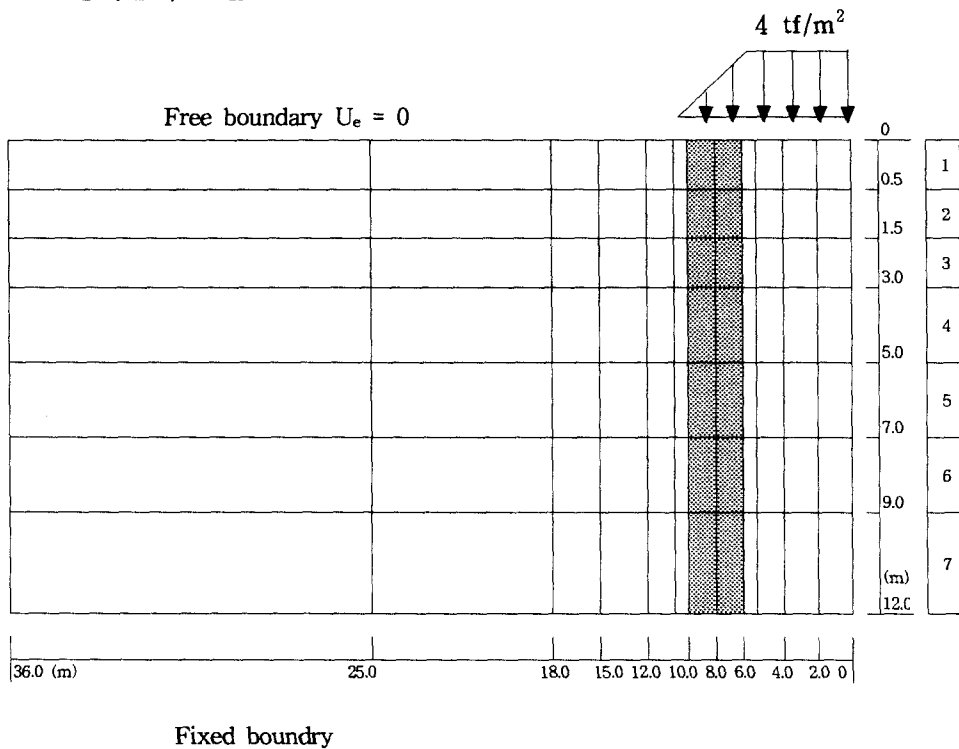


Fig. 1 FEM representation with reinforced material

- i) 성토기초지반의 요소분할을 Fig. 1과 같으며, 층 두께는 12m, 기초폭 72m를 반분하였다.
- ii) 성토부 저폭은 20m로서 성토하중 $g=4\text{tf/m}^2$ 을 시간 Δt 마다 1.0tf/m^2 으로 1층씩 증가하였다.

- iii) 배수조건으로 바닥과 측면은 비배수, 기초지반상부는 배수조건이고, 바닥은 고정, 측면은 연직변위 허용조건으로 하였다.
- iv) 점토층은 등방정규 K_0 압밀층이고 지반의 심층혼합처리부에서 전단탄성계수 (G_0)는 $10,000\text{tf/m}^2$ 이고, Poisson비(ν)와 투수계수는 미처리부와 동일하게 하였다.

3.2 해석결과 및 고찰

(1) 지표면 침하

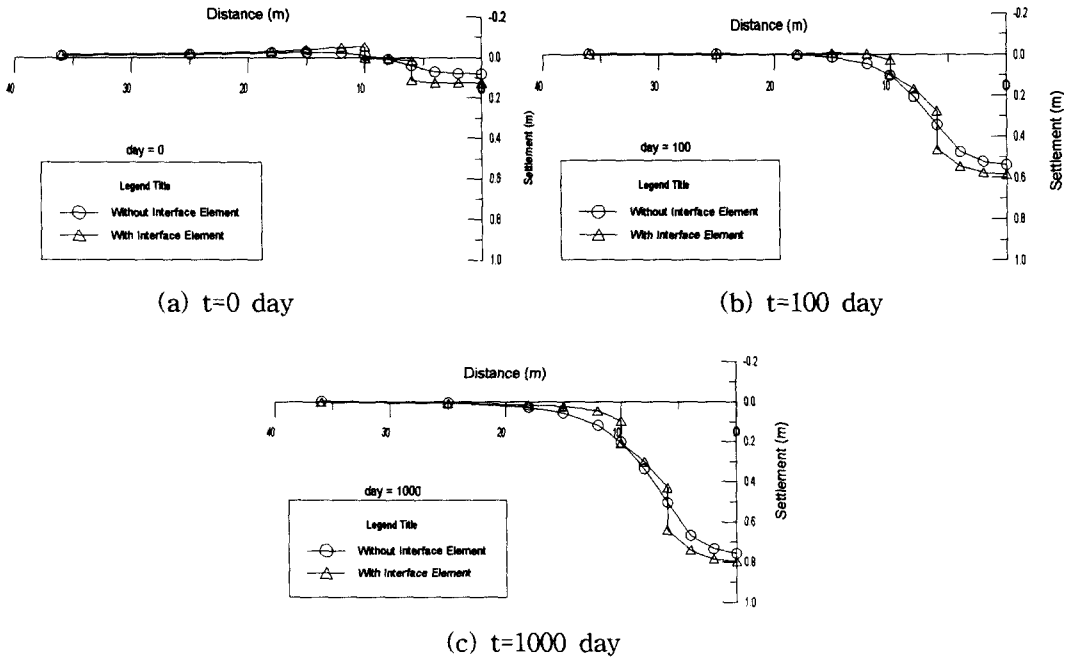


Fig. 2 Comparison of settlement between the method with joint element and without joint element

Fig. 2 (a)는 $t=0$ 일인 경우로 즉시침하가 접합요소를 고려했을 때에 경계면에서 불연속이고, 고려하지 않았을 때는 매끈하게 연속이 되므로 해석결과가 이론적으로 생각해 볼 때 타당하다고 판단된다.

또, Fig. 2 (b), (c)는 각각 $t=100, 1000$ 일의 경우에 대한 수치해석결과를 나타낸 것으로 Fig. 2 (a)와 비슷한 형상이고 침하량이 좀 크게 나타나고 있으며, 응기의 경우도 마찬가지로 짐을 알 수 있다. 특히 Fig. 2 (b)에서는 접합요소를 사용한 경우와 사용하지 않는 경우가 현저한 차이를 나타내고 있는데, 이는 접합요소의 효과가 잘 발휘됨을 입증해 주고 있는 것으로서, 이는 실제와 잘 부합된다고 생각된다.

(2) 측방변위

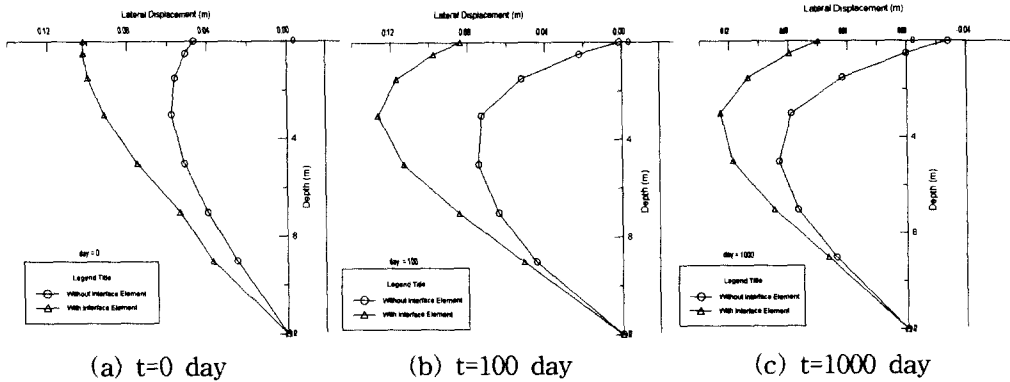


Fig. 3 Comparison of lateral displacement between the method with joint element and without joint element

Fig. 3은 모형지반에서 심층처리부와 자연지반과의 성토 끝, 접합경계면에서 측방변위를 구하여 나타낸 것으로서 접합요소를 고려한 경우가 고려하지 않은 경우보다 ($t=0, 100, 1000$ 일 일 때의 각각에 대해서) 변위가 크게 나타나고 있다.

4. 결 론

강성이 크게 다른 두 재질 사이의 접합조건을 해석할 수 있는 유한요소프로그램을 사용하여 모형지반에 적용해 본 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

복합기초지반의 변형해석의 경우 접합요소를 사용하지 않은 경우에, 지표면 침하 및 측방변위 등이 접합요소를 사용한 경우보다 작게 나타난다. 접합요소를 사용하지 않고 지반변형을 해석할 경우 변위를 과소평가하며, 실제의 경우가 접합요소를 도입하는 것이 해석상 타당하다고 볼 때 간과해서는 안될 문제라 생각된다.

따라서 강성이 다른 이질재료 사이의 접합면에서 불연속 변형거동이 실제적이라고 볼 때 변형이나 응력해석에 있어서 종래의 연속체 개념에 의하는 것보다 접합요소(불연속 변형 표현요소)를 사용하는 것이 타당하다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. Siriwardane, H. J., "Nonlinear Soil-Structure Interaction Analysis of One-, Two- and Three-Dimensional Problems using Finite Element Method", Ph. D. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1980.

2. Goodman, R. E., Taylor, R. L., and Brekke, T. L., A Model for the Mechanics of Jointed Rock, J. of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 94, No. SM 3, 1968, pp. 637-659.
3. Biot, M. A. 1956, Theory of deformation of a porous visco elastic anisotropic solid. Journal of Applied Physics, Vol. 27, pp. 240-253.
4. Biot, M. A. 1956, General Solutions of the equations of elasticity and consolidation for a porous material, Journ. Appl. Mech, pp. 78-91.
5. Biot, M. A. 1941, General theory of three-dimensional consolidation, Journal of Applied physics, Vol. 12, pp. 155-164.
6. 鄭鎮燮(1983) “飽和粘土의 應力-變形率에 관한 研究” 全南大學院 博士學位 論文, pp. 11-26.