

접합요소를 도입한 기초지반의 유한요소해석

The Finite Element Analysis of Foundation Layer by Introducing Interface Element

양 극 영†

이 대 재*

Yang, Keek-Young

Lee, Dae-Jae

(논문접수일 : 2000년 7월 26일 ; 심사종료일 : 2002년 1월 26일)

요 지

본 연구의 목적은 비선형 흙-구조물 상호 작용문제를 연구하기 위한 계산 절차를 개발하는 것이다. 흙-구조물 상호 작용 거동을 연구하기 위하여 연직과 수평하중을 동시에 받은 대상기초와 강널말뚝으로 보강된 기초지반에 대한 유한요소 수치해석을 하였으며 흙과 기초구조물 사이의 상호작용 거동을 모델하기 위하여 접합요소를 사용하였다. 주 해석 결과는 다음과 같다.

1. 침하와 측방변위의 예측에 대해서는, 접합요소를 사용한 결과가 더 큰 값을 얻었다.
2. 극한지지력 결정에 대해서는 접합요소를 사용한 경우가 약 12%정도 더 작게 나타났다.
3. 대상기초의 수평과 연직변위는 접합요소의 영향을 받았다.

핵심용어 : 접합요소, 흙-구조물 상호작용, 유한요소해석, 기초지반

Abstract

The purpose of this research is to develop computational procedures for studying nonlinear soil-structure interaction problems. In order to study soil-structure interaction behavior, the finite element analysis for the strip footing subjected to both vertical and lateral loads, and foundation layer reinforced with sheet pile are considered, interface elements are used between the footing and the soil to model the interaction behavior. The main analyzed results are as follows;

1. For the prediction of settlement and lateral displacement, the result due to interface element was evaluated larger than without interface element.
2. For the determination of ultimate bearing capacity, the value using interface element appeared smaller by 12%, which was safe.
3. The horizontal and vertical displacement of strip footing affected by the presence of interface element.

Keywords : interface element, soil-structure interaction, finite element analysis, foundation layer

† 책임저자, 정회원 · 원광대학교 건축공학과 교수
전화: 063-650-6707; Fax: 063-843-0782
E-mail: kyyang@wonkwang.ac.kr

* 정회원 · 원광대학교 건축공학과 박사과정

• 이 논문에 대한 토론을 2002년 6월 29일까지 본 학회에 보내주시면 2002년 9월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

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

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

접합요소를 사용한 물체의 불연속부분을 해석하는 방법은 1968년 Goodman 등¹⁾에 의해서 암석구조물이나 터널 등의 유한요소해석에 처음으로 시도되었다. 이때 개발한 접합요소는 2차원 평면변형을 문제에만 적용할 수 있었으나 1973년 Ghaboussi 등²⁾에 의하여 개발된 접합요소는 축대칭문제에까지 적용 가능케 하였으며, Insenberg 등³⁾은 이를 기초지반의 변형해석에 이용하였다.

그러나 이런 초기상태의 요소들은 수치해석상의 어려움을 야기시켜 왔기 때문에 1978년에 Herrmann 등⁴⁾은 접합요소의 절점들이 비선형스프링으로 연결되었다고 보는 새로운 개념을 제시하여 접촉문제를 해결하려 하였고 3차원 접합면요소의 개발이나 Curved isoparametric interface 요소⁵⁾ 또는 Quadratic surface interface 요소⁶⁾ 등의 개발은 접합요소의 적용범위를 크게 확장시켜 지반과 구조물의 상호작용^{7),8)} 및 지하시설물 설계에 사용되었다.

1982년 Heuze 등⁹⁾의 활발한 연구에 의하여 암반의 접합면 해석뿐만 아니라 토질지반이 복합층으로 구성되어 있거나 연약지반을 보강할 목적으로 심층처리공법을 사용했을 경우의 유한요소 해석법에 접합요소의 이용¹⁰⁾이 보편화되고 있다.

본 연구에서는 Siriwardane 등¹¹⁾이 흙-구조물의 접합면(경계면 : Interface)과 같이 강성이 서로 다른 재료의 접합면 해석에 대해서도 접합요소를 적용할 수 있다는 연구발표를 근거로 하여 Goodman 등¹⁾이 제안한 4절점 4각형요소를 채택, 이 요소로 흙의 접촉문제를 해결할 수 있도록 프로그램화하였다. 그리하여 Biot이론¹²⁾⁻¹⁴⁾에 기초한 다목적 프로그램(각종 흙의

구성모델¹⁵⁾과 배수조건 등을 고려하여 여러 유형의 토질구조물에 대한 변형해석이 가능한 프로그램)에 삽입시켰다. 또, 연약지반의 해석에 사용한 구성식으로는 수정 Cam-Clay Model을 선정하였다.

이상의 접합요소를 도입한 해석결과가 어느 정도의 타당성이 있는가를 밝히기 위하여 수평하중을 받는 연속기초의 흙-구조물 상호작용문제와 강널말뚝으로 보강된 점토지반의 변형해석에 적용하였다.

2. 접합요소에 관한 기본이론

2.1 개요

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

그 하나는 두 물체의 접촉면상에서 대응하는 절점간의 접촉조건을 고려하여 이미 만들어진 제 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 Interface와 관련된 재료특성은 Interface의 전단특성과 연직강성(normal stiffness)으로 이루어지는데, 이들 특성은 물리적으로 흙의 강성과 강도에 상관되고 Interface의 조도(roughness)에도 영향을 받으며 Interface가 확장되거나 수축을 일으키면 "dilatant"라 하고 전단과 연직변위간에 관련이 없으면 "non-dilatant"라 한다. 이 후자의 경우를 수학적으로 모델화하는 것은 어렵지 않다. 그것은 전단변형률에 의한 체적변위가 없으며 변형의 전단성분과 연직성분이 결합되지 않기 때문이다.

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

2.2 접합요소의 강성매트릭스¹⁾

접합요소는 Goodman 등이 제안한(Fig. 1) 4절점 4각형요소를 선택하였다.

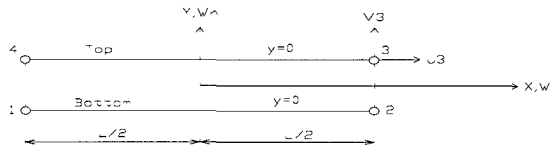


Fig. 1 Interface Element

요소의 길이는 L 이고, 폭 $t=0$ 이며(즉 초기 절점 1과 4, 2와 3은 같은 좌표임) 요소의 중심을 원점으로 하고, 길이방향을 x 축으로 하는 국부좌표계를 사용한다. 이 요소의 저장에너지 Φ 는 다음 식과 같다.

$$\Phi = \frac{1}{2} \int_{-L/2}^{L/2} W_i P_i dx \quad (2.1)$$

여기서,

- L : Interface의 길이
- W_i : 절점 i 의 상대변위 벡터
- P_i : 단위길이 힘의 벡터

식(2.1)의 상대변위 벡터 $\{W\}$ 와 단위길이 힘의 벡터 $\{P\}$ 를 매트릭스형으로 다음과 같이 나타낸다.

$$\{W\} = \begin{Bmatrix} W_s^{top} - W_s^{bottom} \\ W_n^{top} - W_n^{bottom} \end{Bmatrix} \quad (2.2)$$

여기서,

- W_s^{top} : 요소 윗부분의 접선방향 변위
- W_s^{bottom} : 요소 아랫부분의 접선방향 변위
- W_n^{top} : 요소 윗부분의 수직방향 변위
- W_n^{bottom} : 요소 아랫부분의 수직방향 변위

$$\{P\} = \begin{Bmatrix} P_s \\ P_n \end{Bmatrix} = [K] \{W\} \quad (2.3)$$

여기서

- P_s : 접선방향의 힘
- P_n : 수직방향의 힘
- $[K]$: 단위접합요소 강성매트릭스

강성매트릭스 $[K]$ 는 다음과 같다.

$$[K] = \begin{bmatrix} K_s & 0 \\ 0 & K_n \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

여기서,

- K_s : 전단강성계수
- K_n : 수직강성계수

따라서 식(2.1)은 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\Phi = \frac{1}{2} \int_{-L/2}^{L/2} \{W\}^T \{P\} dx \quad (2.5)$$

식(2.3)을 식(2.5)에 대입하면 다음과 같다.

$$\Phi = \frac{1}{2} \int_{-L/2}^{L/2} \{W\}^T [K] \{W\} dx \quad (2.6)$$

변위 W 는 선형보간법을 사용하여 절점변위 벡터 $\{U\}$ 로 나타낼 수 있다. 즉, U_i 와 V_i 를 각각 접합면요소 저면을 따라 절점 i 에서의 접촉방향과 수직방향 변위라고 하면 변위 W 는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{Bmatrix} W_s^{bottom} \\ W_n^{bottom} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 - \frac{2x}{L} & 0 & 1 + \frac{2x}{L} & 0 \\ 0 & 1 - \frac{2x}{L} & 0 & 1 + \frac{2x}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ V_1 \\ U_2 \\ V_2 \end{Bmatrix} \quad (2.7)$$

접합면요소의 윗면을 따라서 변위는 다음과 같다.

$$\begin{Bmatrix} W_s^{top} \\ W_n^{top} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 + \frac{2x}{L} & 0 & 1 - \frac{2x}{L} & 0 \\ 0 & 1 + \frac{2x}{L} & 0 & 1 - \frac{2x}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_3 \\ V_3 \\ U_4 \\ V_4 \end{Bmatrix} \quad (2.8)$$

접합면요소의 상대변위 $\{W\}$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\{W\} = \begin{Bmatrix} W_s^{top} - W_s^{bottom} \\ W_n^{top} - W_n^{bottom} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -A & 0 & -B & 0 & B & 0 & A & 0 \\ 0 & -A & 0 & -B & 0 & B & 0 & A \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ V_1 \\ U_2 \\ V_2 \\ U_3 \\ V_3 \\ U_4 \\ V_4 \end{Bmatrix} \quad (2.9)$$

여기서, $A = 1 - \frac{2x}{L}$
 $B = 1 + \frac{2x}{L}$

이다. 또 식(2.9)를 간단하게 표현하면 다음과 같다.

$$\{W\} = \frac{1}{2} [P] \{U\} \quad (2.10)$$

식(2.10)을 식(2.6)에 대입하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{1}{2} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \{W\}^T [K] \{W\} dx \\ &= \frac{1}{2} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \frac{1}{4} \{U\}^T [D]^T [K] [D] \{U\} dx \end{aligned} \quad (2.11)$$

식(2.11)을 적분하면 다음과 같이 된다.

$$\phi = \frac{1}{2} L \{U\}^T [K] \{U\} \quad (2.12)$$

여기서, 단위길이당 접합요소 강성매트릭스[K]는 다음과 같다.

$$[K] = \begin{bmatrix} 2K_s & 0 & K_s & 0 & -K_s & 0 & -2K_s & 0 \\ & 2K_n & 0 & K_n & 0 & -K_n & 0 & -2K_n \\ & & 2K_s & 0 & -2K_s & 0 & -K_s & 0 \\ & & & 2K_n & 0 & -2K_n & 0 & -K_n \\ & & & & 2K_s & 0 & K_s & 0 \\ & & & & & 2K_n & 0 & K_n \\ sym & & & & & & 2K_s & 0 \\ & & & & & & & 2K_s \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

3. 접합요소를 도입한 기초지반의 유한요소해석

3.1 기본 프로그램

점토지반위에 성토를 하게 되면 지반의 변형은 시간 경과와 더불어 커지게 되므로 이러한 현상을 설명하기 위해서는 압밀이론을 적용해야 하는데 지금까지 압밀 현상을 이론구성상 가장 완전한 형태로 유도한 것이 Biot의¹⁵⁾ 압밀이론이다.

Biot의¹⁵⁾ 압밀방정식은 연립편미분방정식으로 제안 되어 있으므로 지반조건이나 경계조건이 복잡한 경우에는 해석적으로 해를 구할 수 없다.

일반적으로 자연지반은 압밀특성이 상이한 여러 층으로 구성되어 있는 경우가 많고 또한 점토변형특성은 응력이력이나 깊이에 따라 변화하게 되는 응력수준에 따라 강성계수가 크게 변화하여 대표 값을 결정하기 곤란하다. 이러한 이유 때문에 해석해의 적용은 극히 제한된 경우에만 가능하다. 따라서 본 연구에서는 Biot의 다차원 압밀방정식에 탄소성구성식을 사용하여 유한요소법으로 수치해석 할 수 있도록 한 기본프로그램에 불연속면을 해석할 수 있는 접합요소를 삽입한 것으로서 가정 및 조건으로는 다음과 같다.

- (1) 사용차원 : 평면변형률 또는 축대칭문제를 선택적으로 사용할 수 있다.
- (2) 사용된 구성관계식 : 강성(선형 또는 비선형) 모델에 전응력해석과 유효응력해석을 선택적으로 할 수 있으며 탄소성모델로서 수정 Cam-Clay 모델을 사용하였다.
- (3) 다차원압밀유한요소해석 : Christian-Boemher¹⁴⁾ 방법을 사용하였다.

이상과 같은 기본프로그램에 불연속부분 처리가 가능하도록 접합요소를 보완하였다.

3.2 접합요소를 도입한 프로그램의 검증

3.2.1 모형지반 및 경계조건

접합요소를 적용하여 계산된 변형량 및 개발 프로그램의 검증을 위하여 그림 3.1과 같은 모형지반을 사용한다. 그림에서 점선으로 나타낸 것이 접합요소이다.

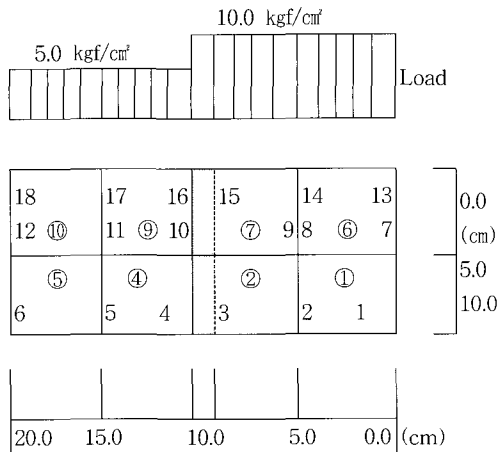


Fig. 2 FEM grid of the problem using the interface element

Fig. 2는 평면변형율 조건과 Table 1의 조건에서

해석한 것인데 그림에서처럼 분포하중에 차이가 있을 때 그 경계면에 접합요소를 고려하여 해석하였다. Fig. 2의 지반에 적용된 구성모델은 탄성모델을 적용하여 접합요소의 적합성을 검토하는데 한정하였다.

3.2.2 해석결과 및 고찰

Fig. 3, 4, 5는 Fig. 2의 모형지반에 대한 침하를 경우별로 나타낸 것이다. 이중 Fig. 3은 경우A와 탄성이론에 의한 계산결과를 비교한 것으로 점선은 탄성이론에 의한 해석결과이고 경우A(실선)는 같은 입력치를 접합요소를 고려하여 해석한 것인데 상호 좋은 일치를 보이고 있다.

또한 Fig. 4는 모형(Fig. 2)의 중앙 대칭선에서 불연속면(slip plane)의 침하 형태를 유효마찰각 $\phi'_a = 0^\circ$ 의 경우 접합요소의 유무에 따른 차이를 검토한 것이다. 접합요소가 없는 경우(경우 F)는 불연속면에서의

Table 1 Input data dependent on boundary conditions

Case	Material	Interface element					Soil		Remarks
	Parameters	K_s	K_n	σ'_{vo}	C'_a	ϕ'_a	G(kgf/cm ²)	ν	
A		0.0	9000.0	0.0	0.0	0.0	200	0.0	with interface
B		0.0	9000.0	0.0	0.0	0.0	200	0.3	"
C		9.0	9000.0	0.0	0.0	0.0	200	0.3	"
D		90.0	9000.0	0.0	0.0	0.0	200	0.3	"
E		9000.0	9000.0	0.0	0.0	0.0	200	0.3	"
F		-	-	-	-	-	200	0.3	without interface

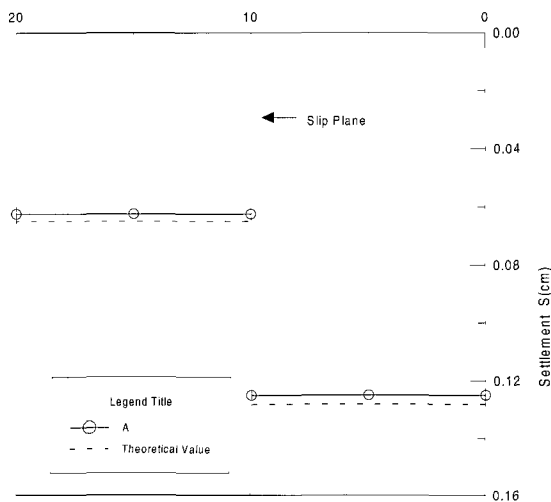


Fig. 3 Comparison of settlements by FEM and theoretical value

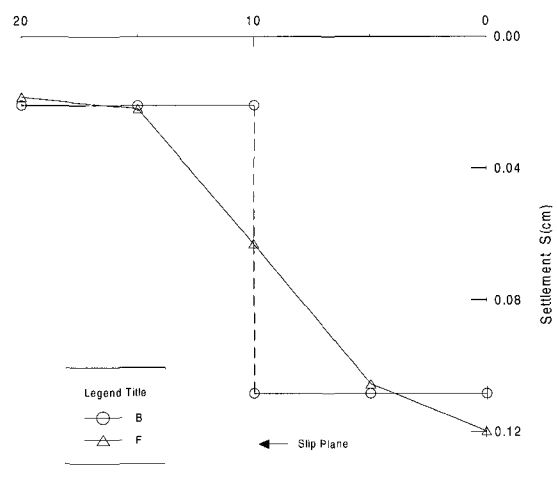


Fig. 4 Comparison of settlements between with and without interface elements

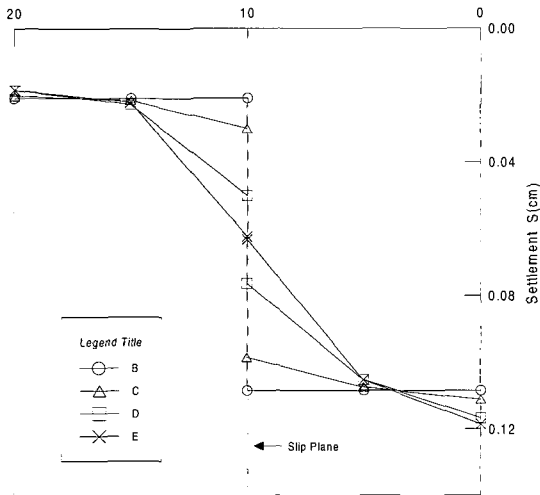


Fig. 5 Settlements according to variation of K_s

해석결과가 매끄러운 연속곡선으로 연결되어 실제 상황과는 큰 차이가 생긴다. 그러나 접합요소를 고려하면 (경우B) 불연속면에서 연속으로 차이점이 발생하여 실제의 침하 현상과 같아진다. 그리고 Fig. 5는 접합요소 재료의 전단강성 K_s 가 침하에 미치는 영향을 조사하기 위하여 K_s 를 각각 0, 9, 90, 9000(kgf/cm²)로 계산한 것이다. 침하는 모두 접합요소를 사용한 것으로서 전단강성에 따라 전단변형의 크기가 다르게 발휘되고 있다. 이와 같은 결과로 보아 접합요소를 포함한 유한요소 프로그램의 우수성을 확인하였다.

3.3 수평하중을 받는 대상기초의 해석

흙-구조물 접합면에서 상호작용 거동을 연구하기 위하여 연직과 수평하중을 동시에 받는 지반위에 놓인 대상기초의 유한요소 해석을 하였다.

3.3.1 모형지반

요소분할은 Fig. 6과 같으며 경계조건은 양 연직면

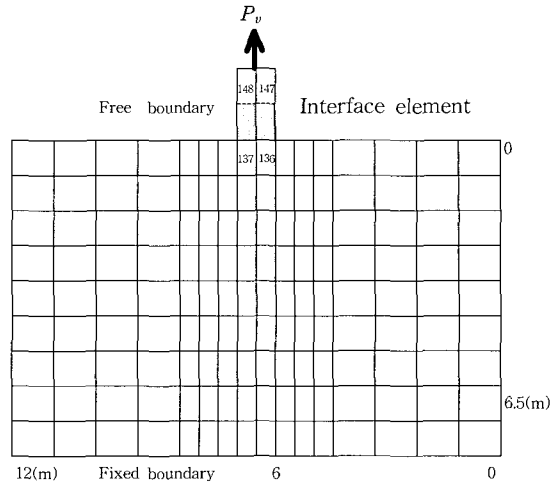


Fig. 6 Finite Element Mesh for Footing-Soil Interaction with a Lateral Load

의 수평방향을 고정, 연직방향은 자유이고 하단은 고정이며, 상단은 자유로 하였다. 대상기초와 접합요소의 재료정수는 Table 2와 같으며, 지반의 계산에 사용된 구성식은 수정 Cam-Clay 모델이고 재료정수는 Table 3과 같으며 단 전단탄성계수와 포아손비는 Table 2의 값을 사용하였다.

3.3.2 해석결과 및 고찰

Fig. 7과 Fig. 8은 Fig. 6의 모형지반에 대한 하중증가에 따른 측방변위와 침하관계를 나타낸 것이다. $P_v=8tf/m^2$, $P_h=4tf/m^2$ 를 16단계로 나누어 작용하여 계산하였다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 접합요소를 사용하여 계산한 수평하중에 대한 측방변위가 약간 크게 나타남을 알 수 있다. 이것은 접합요소의 사용으로 흙-구조물 접합면의 거동해석을 실제로 함으로써 접합면을 연속체로 가정하여 생기는 오차를 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 접합요소를 사용한 경우 하중이 크면 클수록 접합요소가 없는 경우보다 침하량이

Table 2 Material Parameters used in Calculation

Material	Interface element					Soil		Footing	
	K_s	K_n				G(kg/cm ²)	ν	G(kg/cm ²)	ν
with interface	4000	10000000	0.0	0.0	0.0	1000	0.3	20000	0.3
without interface	-	-	-	-	-	1000	0.3	20000	0.3

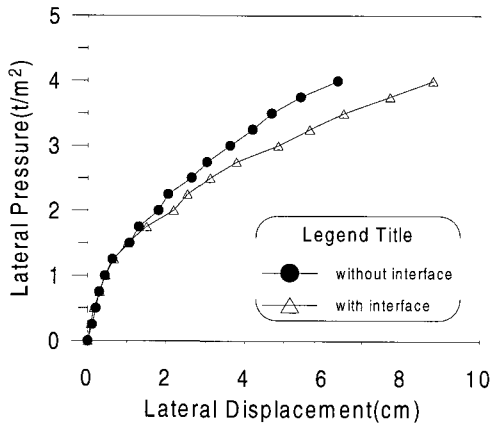


Fig. 7 Lateral-Load Displacements Relationship for the Strip Footing

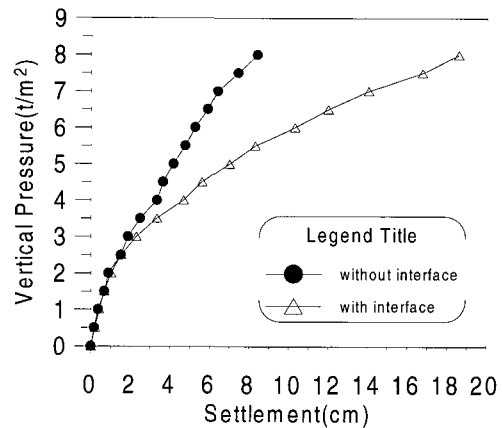


Fig. 8 Vertical-Load Displacements Relationship for the Strip Footing

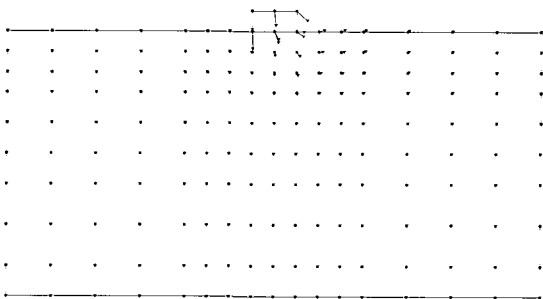


Fig. 9 Displacement Field for Footing-Soil Interface with a Lateral Load

더 큰 차이가 발생하고 있다. 그리고 작용하중이 크면 클수록 접합요소가 있는 경우에 수평변위보다 연직변위에서 접합요소에 따른 차이가 더 크게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 9은 작용하중의 마지막 단계에서 변위량 벡터를 표시하여 나타낸 것으로 이 문제에 대한 변위 벡터의 전형적인 양상을 보여주고 있다.

3.4 강널말뚝으로 보강된 점토지반의 해석

3.4.1 모형모델의 조건

1. 성토기초지반의 요소분할은 Fig. 10과 같으며, 층 두께는 15m, 기초폭 92m를 반분 하였다.
2. 성토부 저폭은 23m로서 성토하중 $Q=6\text{tf/m}^2$ 을 시간 Δt 마다 1.0tf/m^2 으로 1층씩(단위 하중 1.8tf/m^2 의 성토재료인 경우 약 56cm 두께에 해당하는 하중

강도) 증가하였다.

3. 배수조건으로 바닥과 측면은 비배수, 기초지반상부는 배수조건이고, 바닥은 고정, 측면은 연직변위 허용조건으로 하였다.
4. 점토층은 등방정규 K_0 압밀층이며 각 층에 대한 재료정수는 Table 3과 같다.

3.4.2 해석결과 및 고찰

연구에 사용한 모형지반은 Fig. 10에 나타내었다. 또, 해석에 접합요소를 고려한 경우에는 ϕ'_a 값을 0° 와 25° 로 변화시켰으며, 해석결과를 축방변위와 침하를 따로 따로 비교하였다.

(1) 지표면 침하

해석에는 수정 Cam-Clay 모델을 이용하여 표 3에 표시한 재료정수를 사용하였다.

지반부는 Fig. 10에 표시한 요소분할로 하여 요소는 4절점의 일차 요소로 간극수압은 요소내에서 일정하게 하였다. Sheet Pile는 두께가 없는 Beam 요소를 이용하여 표현하였다.

해석은 접합요소의 재료정수에 의해서 다음 세 경우로 나누어 시행하였다. 경우1은 접합요소를 이용하지 않은 경우, 경우2는 $\phi'_a=25^\circ$, 경우 3은 $\phi'_a=0^\circ$ 로 한 것이다.

Fig. 11은 소정의 성토하중이 재하직후(비배수변형)와 압밀완료시($t=100000$ 일)의 지표면 침하를 나

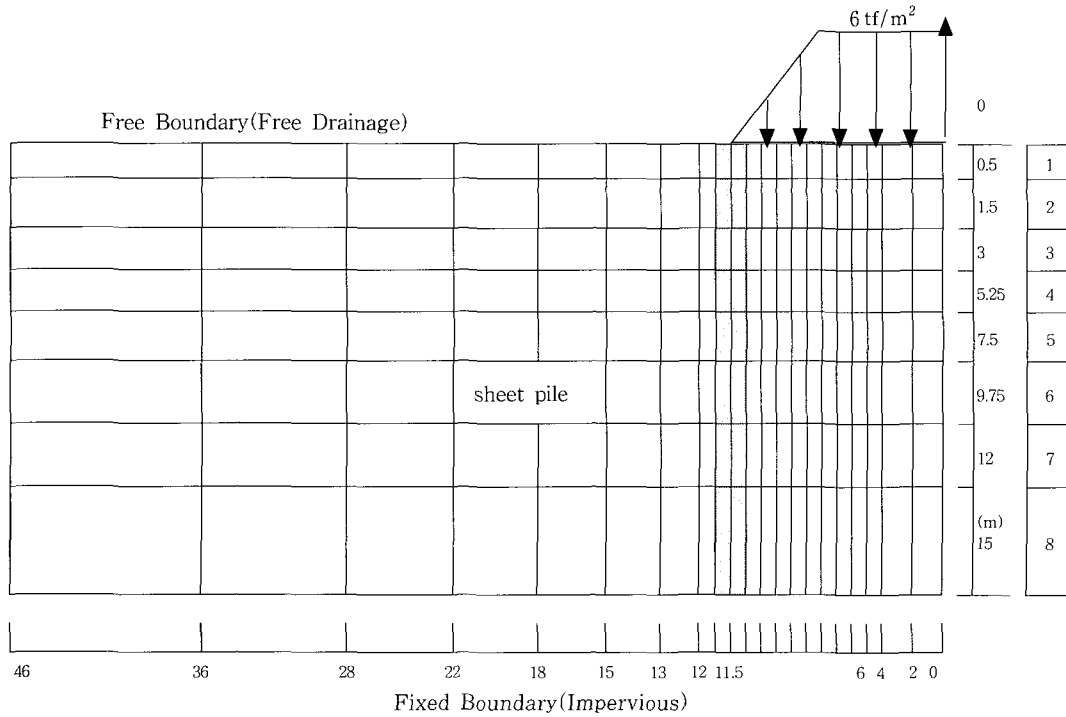


Fig. 10 Finite Element Mesh for Foundation Layer Reinforced with Sheet Pile

Table 3 Material Parameters used in Calculation

layer	λ	K	M	C_a	G_o	ν	σ_{ec}	K_{oc}	σ_{zo}
1	0.291	0.0304	1.4	0.0	100	0.374	2.215	0.597	1.215
2	0.291	0.0304	1.4	0.0	100	0.374	2.946	0.597	1.946
3	0.291	0.0304	1.4	0.0	100	0.374	3.067	0.597	2.067
4	0.291	0.0304	1.4	0.0	100	0.374	3.973	0.597	2.973
5	0.291	0.0304	1.4	0.0	100	0.374	5.059	0.597	4.059
6	0.291	0.0304	1.4	0.0	100	0.374	6.146	0.597	5.146
7	0.291	0.0304	1.4	0.0	100	0.374	7.233	0.597	6.233
8	0.291	0.0304	1.4	0.0	100	0.374	8.750	0.597	7.750

layer	K_o	ρ_o	γ_t	v_o	λ_{zo}	K_{zo}	K_{yo}
1	0.597	1.9	1.8	0.0	0.291	4.06×10^{-4}	4.06×10^{-4}
2	0.597	1.9	1.8	0.0	0.291	3.30×10^{-4}	3.30×10^{-4}
3	0.597	1.9	1.8	0.0	0.291	3.15×10^{-4}	3.15×10^{-4}
4	0.597	1.9	1.8	0.0	0.291	2.55×10^{-4}	2.55×10^{-4}
5	0.597	1.9	1.8	0.0	0.291	2.10×10^{-4}	2.10×10^{-4}
6	0.597	1.9	1.8	0.0	0.291	1.70×10^{-4}	1.70×10^{-4}
7	0.597	1.9	1.8	0.0	0.291	1.45×10^{-4}	1.45×10^{-4}
8	0.597	1.9	1.8	0.0	0.291	1.25×10^{-4}	1.25×10^{-4}

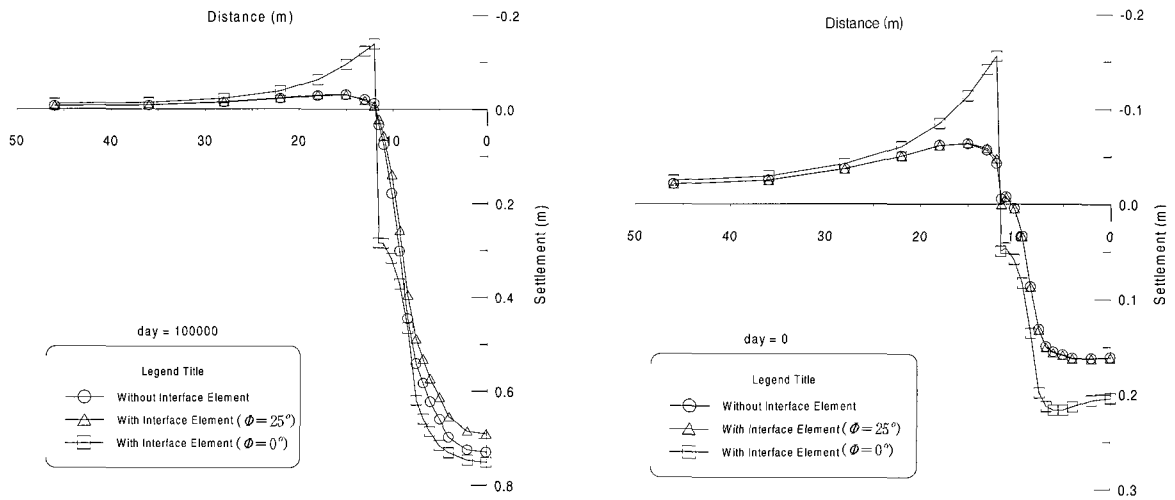


Fig. 11 Comparison of Settlement between the Method with Interface Element and that without Interface Element

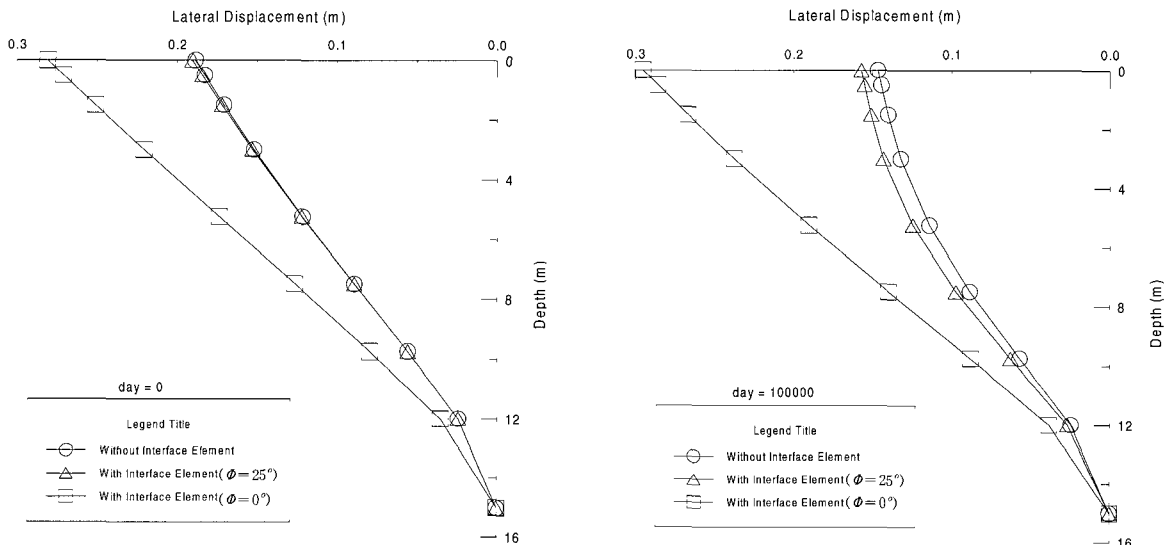


Fig. 12 Comparison of Lateral Displacement between the Method with Interface Element and that without Interface Element

타낸 것이다. 재하직후와 압밀완료시에서 $\phi_a' = 0^\circ$ 의 경우를 제외하고 성토의측과성토부의 지표면침하는 큰 차이가 없다.

(2) 측방변위

Fig. 12는 강널말쪽에서 소정의 성토하중이 재하직후와 압밀완료시의 측방변위를 나타낸 것이다. 재하직후에서 $\phi_a' = 0^\circ$ 의 경우를 제외하고 측방변위는 큰 차이가 없다. 그러나 압밀완료시에서는 접합요소를 사용함으

로써 약간의 영향이 나타난다.

(3) 극한지지력 추정

Fig. 13은 비배수상태에서 재하하는 경우 지표면 침하가 최대로 일어나고 있는 지점의 하중-침하곡선이다. Fig. 13에서와 같이 접합요소를 사용하지 않으면 동일하중에 대한 침하량은 상당히 적게 되어 극한지지력도 크게 추정됨을 알 수 있다. 거기서 시바다, 세끼구찌의 제안방법을 사용해서 극한지지력을 구한 것이

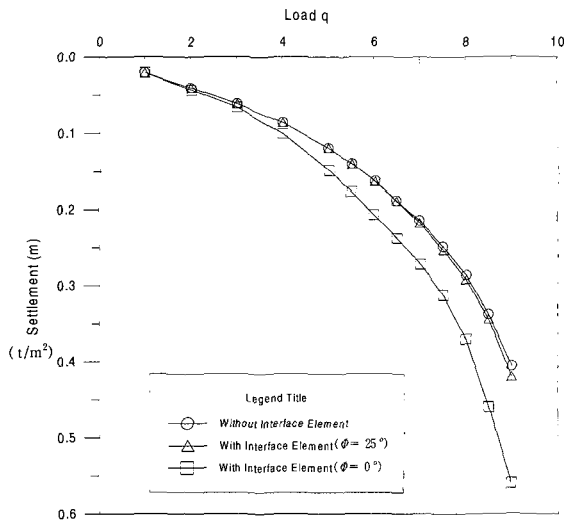


Fig. 13 Load Versus Settlement

Fig. 14이다. 접합요소를 이용하지 않는 경우의 극한 지지력은 $\phi_a' = 0^\circ$ 의 경우보다 1.12배이고, $\phi_a' = 25^\circ$ 의 경우와는 큰 차이가 없다.

4. 결 론

강성이 크게 다른 두 재질 사이의 접합조건을 해석할 수 있는 유한요소 프로그램을 개발하여 그 프로그램의 정도를 확인하고 모형지반에 적용해 본 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

연직과 수평하중을 동시에 받는 대상기초의 하중과 변위관계는 접합요소를 사용한 경우가 크게 나타나며 하중이 크게 작용할수록 수평변위보다는 연직변위에서 접합요소 유무에 따른 차이가 커짐을 알 수 있었다.

강널말쪽으로 보강된 점토지반에서 Sheet Pile과 점토 사이에 접합요소를 설치하면 극한지지력은 작게 되며 압밀에 의한 침하와 측방변위는 크게 나타나고, 기초지반의 극한지지력 추정에 대해서도 강널말쪽으로 보강된 점토지반에서 접합요소를 고려하지 않은 경우에 지지력은 약간 과대평가 되었다고 볼 수 있으며, 접합요소를 도입하여 극한지지력을 산정하는 것이 안전치라 생각된다.

참 고 문 헌

1. Goodman, R. E., Taylor, R. L., and Brekke,

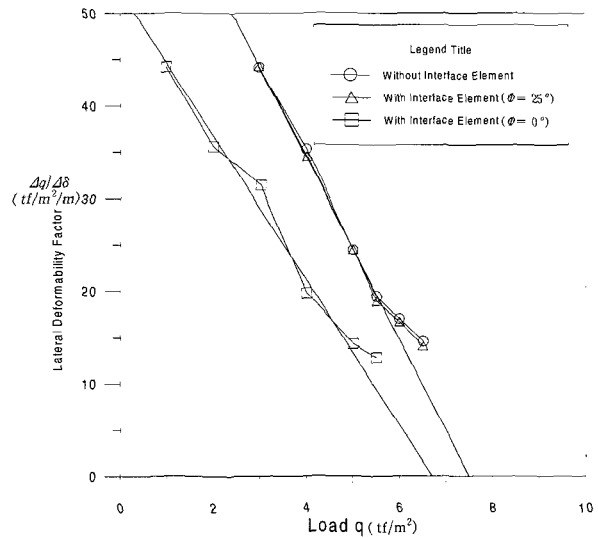


Fig. 14 Load Versus Displacement

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

2. Ghaboussi, J., Wilson, E. L., and Isenberg, J., "Finite Element for Rock Joint and Interface", *J. of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, Vol. 99, No. SM 10, 1973, pp.833~848

3. Isenberg, J., Lee, L. C., and Agbabian, M. S., "Response of Structures to Combined Blast Effects", *J. of the Transportation Engineering*, ASCE, Vol. 99, No. TE 4, 1973, pp.887 ~ 908

4. Herrmann, L. R., "Finite Element Analysis of Contact problems", *J. of the Engineering Mechanics Division*, ASCE, Vol. 104, No. EM 5, 1978, pp.1043~1057

5. Pande, G. N., and Sharma, K. G., "On Joint/Interface Elements and Associated problems of numerical IIIConditioning", *Int. J. for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, Vol. 2, 1978, pp.293~300

6. Buragohain, D. N., and Shah, V. L., "Curved Isorparametric Interface Element", *J. of the*

- Structural Division*, ASCE, Vol. 104, No. ST 1, 1978, pp.205~209
7. Ito Y. M., England, R. H., and Nelson, R. B., "Computational Method for Soil/ Structure Interaction problems", *Computer & Structures*, Vol. 13, 1981, pp.157~162
 8. Desai, C. S., Phan, H. V., and perumpral, J. V., "Mechanics of Three-Dimensional Soil-Structure Interaction", *J. of the Engineering Mechanics Division*, ASCE, Vol. 108, No. EM 5, 1982, pp.731~747
 9. Heuze, F. E., and Barbour, J. G., "New Models for Rock Joints and Interfaces", *J. of the Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 108, No. FT 5, 1982, pp.757~776
 10. Desai, C. S., and Sargand, S., "Hybrid FE Procedure for Soil-Structure Interaction", *J. of the Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 110, No. GT 4, 1984, pp.473~486
 11. 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
 12. Biot, M. A. "Theory of deformation of a porous visco elastic anisotropic solid", *Journal of Applied Physics*, Vol. 27, 1956, pp.240~253
 13. Biot, M. A. "General Solutions of the equations of elasticity and consolidation for a porous material", *Journ. Appl. Mech*, 1956, pp.78~91
 14. Christian, J. T. & J. W. Boehmer, "Plane strain consolidation by finite elements", *Journal of the soil Mechanics and Foundation Division*, ASCE, No. 96, SM 4, 1970, pp. 1435~1457
 15. Biot, M. A. "General theory of three-dimensional consolidation", *Journal of Applied physics*, Vol. 12, 1941, pp.155~164