

탄성지반 위에 놓인 평판의 접촉영역 결정에 관한 연구

A Study on the Determination of Contact Area of a Plate on Elastic Half-Space

정진환*
Cheung, Jin-Hwan

이외득**
Lee, Oe-Duck

김동석***
Kim, Dong-Suk

ABSTRACT

According to the relative stiffness between the half-space and plate or loading condition, some parts of the plate can be separated from the half-space. The finite element procedure to determine the contact area by considering the distribution of contact pressure between plate and the elastic half-space is developed. The vertical surface displacements of the elastic half-space can be obtained through the integrations of the Boussinesq's solution for a point load. The rectangular plate on the elastic half-space is modeled by the 8-node rectangular and 6-node triangular elements and the Mindlin plate theory is used in order to consider the transverse shear effect. In this study, the contact area may be determined approximately by the analysis with rectangular elements. From this results, the mesh pattern is modified by using triangular and rectangular elements. The contact area can be determined by the new mesh pattern with a relatively sufficient accuracy.

1. 서 론

지반-평판 상호작용문제를 이용한 탄성지반 위의 평판해석은 접촉압력의 결정문제로 귀착되는 데 이것이 결정되면 평판의 처짐 및 응력 외에도 지반의 내부응력 및 변위가 구해진다⁽¹⁾. 구조물과 지반의 상호작용 문제는 여러 가지 종류의 하중이 여러 형상의 평판에 작용할 때 지반 위에 놓인 평판해석을 탄성이론 및 수치이론을 적용하여 연구하고 있다⁽²⁻³⁾.

기존의 연구의 상당부분은 외력이 작용하게 되면 지반과 분리되지 않는다는 단순한 가정 하에서 평판과 지반의 상호작용을 해석해 왔다. 그러나 지반과 평판사이에 결합력이 존재하지 않으므로 실제의 상호작용에 서는 인장의 접촉압력이 발생하는 곳에서 지반과 평판의 분리현상을 고려하는 방법으로 연구하였다.

본 연구에서는 요소형상에 구애됨 없이 사용할 수 있도록 등매개변수 요소를 사용하였고, Boussinesq의 반무한 탄성체에 대한 해를 이용하여 상호작용을 해석하였다.

판과 지반의 접촉영역 결정은 우선 판과 지반의 분리가 없다는 가정 하에서 접촉응력을 해석하고 인장접촉응력 발생구간을 알아낸 후, 이 부분에서는 접촉이 없는 분리영역으로 가정하고 지반과 판의 분할을 수정하여 지반의 유연도행렬을 수정해 가는 되풀이 방법으로 접촉영역을 결정하였으며, 이렇게 결정된 영역을 이용하여 사각형과 삼각형 요소로 재분할한 후 위와 동일한 해석과정을 통해 정확한 접촉영역을 결정하였다.

* 부산대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 동의대학교 공과대학 토목공학과 교수

*** 부산대학교 공과대학 토목공학과 석사과정

2. 평판의 유한요소 정식화

평판의 해석은 두꺼운 판 등과 같이 전단변형을 고려할 수 있고 연속조건도 만족하는 Mindlin평판이론⁽⁴⁾을 사용하여 등매개변수 요소로 분할하였다. 평판에서의 변위는 다음 식과 같이 나타낸다.

$$[\delta] = \begin{bmatrix} w \\ \theta_x \\ \theta_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial w}{\partial x} + \phi_x \\ \frac{\partial w}{\partial y} + \phi_y \end{bmatrix} = \sum [N_i][\delta_i] = [N][\delta_p] \quad (1)$$

여기서 $[N_i]$ 는 형상함수로서 8절점 사각형 요소와 6절점 삼각형 요소에 대하여 다음 표 1과 같다.

유한요소 정식화 과정에서 삼각형 요소는 요소 재분할을 위해서 채용되었다. 재분할 방법은 4절점 사각형 요소와 3절점 삼각형 요소를 이용하는 방법과 8절점 사각형 요소와 6절점 삼각형 요소를 이용하는 방법이 있다. 그러나 지반해석에 대한 4절점 사각형과 3절점 삼각형 요소의 수렴성이 낮아 후자의 방법을 택하였다 (그림 1 참조)⁽⁵⁾.

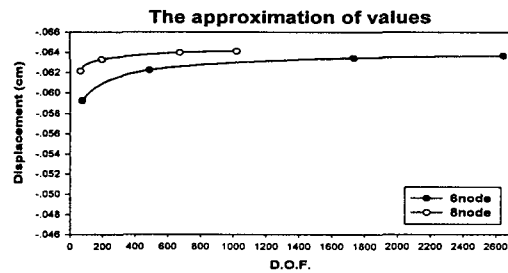
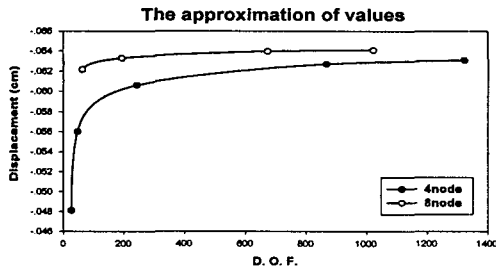


Fig. 1 Comparison of 4-node and 8-node elements Fig. 2 Comparison of 6-node and 8-node elements

요소가 등방, 균질인 경우에 탄성 방정식을 모멘트에 관한 부분과 전단력에 관한 부분으로 나누어 적으면 모멘트에 관하여는

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_x \\ x_y \\ x_{xy} \end{bmatrix} \quad (2)$$

전단력에 관하여는

$$\begin{bmatrix} Q_x \\ Q_y \end{bmatrix} = \frac{Et}{2\alpha(1+\nu)} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\phi_x \\ -\phi_y \end{bmatrix} \quad (3)$$

평판에서 변형도-변위 관계는 아래의 식(5)과 같이 변형도-변위 행렬 $[B_i]$ 항으로 나타낸다.

$$[\epsilon] = [B_1, B_2, \dots, B_n][\delta^{(e)}] = \sum [B_i][\delta_i] \quad (4)$$

절점 i 와 j 를 연결하는 요소 강성도 행렬은 다음과 같이 나타낸다.

$$[K_{ij}]^{(e)} = \int_V [B_i]^T [D] [B_j] dV \quad (5)$$

요소강성도행렬 $[K_{ij}]^{(e)}$ 를 다음 식(6)과 같이 휨에 대한 기여와 전단에 대한 기여 $[K_{ij}^{(s)}]^{(e)}$ 의 항으로 구분할 수 있다.

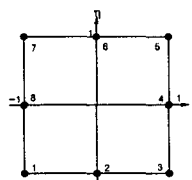
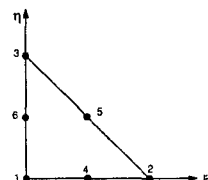
$$[K_{ij}]^{(e)} = [K_{ij}^{(f)}]^{(e)} + [K_{ij}^{(s)}]^{(e)} \quad (6)$$

요소강성도 행렬 $[K_{ij}]^{(e)}$ 를 평판의 전체 계에 대해서 조합하여 전체강성도 행렬 $[K_S]$ 를 구하고 다음의 평형 방정식을 세운다.

$$[P] = [K_S][\delta] \quad (7)$$

여기서 $[P]$: 작용외력 벡터, $[K_S]$: 판의 강성도 행렬, $[\delta]$: 판의 절점변위 벡터

Table 1. The shape function for each element

8절점 사각형 요소	6절점 삼각형 요소
$H_1(\xi, \eta) = -(1-\xi)(1-\eta)(1+\xi+\eta)/4$	$H_1(\xi, \eta) = 1 - 3\xi + 2\xi^2 - 3\eta + 4\xi\eta + 2\eta^2$
$H_2(\xi, \eta) = (1-\xi^2)(1-\eta)/2$	$H_2(\xi, \eta) = -\xi + 2\xi^2$
$H_3(\xi, \eta) = -(1-\xi)(1-\eta)(1+\xi+\eta)/4$	$H_3(\xi, \eta) = -\eta + 2\eta^2$
$H_4(\xi, \eta) = (1+\xi)(1-\eta^2)/2$	$H_4(\xi, \eta) = 4\xi - 4\xi^2 - 4\xi\eta$
$H_5(\xi, \eta) = -(1+\xi)(1+\eta)(1-\xi-\eta)/4$	$H_5(\xi, \eta) = 4\xi\eta$
$H_6(\xi, \eta) = (1-\xi^2)(1+\eta)/2$	$H_6(\xi, \eta) = 4\eta - 4\eta^2 - 4\xi\eta$
$H_7(\xi, \eta) = -(1-\xi)(1+\eta)(1+\xi-\eta)/4$	
$H_8(\xi, \eta) = (1-\xi)(1-\eta^2)/2$	
	

※ 삼각형 요소의 ξ, η 는 삼각형 요소의 면적좌표(area coordinate)이다

3. 지반의 유한요소 정식화

3.1 반무한 탄성체 지반에 대한 Boussinesq의 해

Boussinesq는 지반을 탄성, 균질 및 등방성이라 가정하고 반무한 탄성체의 표면 i 점에 한 개의 연직하중 P_i 가 작용할 때 하중 작용점으로부터 지표면 상의 거리 d_{ij} 떨어진 j 점에서의 지반 연직 변위 w_{ji} 를 다음과 같이 구하고 있다⁽⁶⁾. (그림 3 참조)

$$w_{ji} = \frac{P_i(1-\nu_s^2)}{\pi E_s d_{ij}} \quad (8)$$

위 식에서 E_s 와 ν_s 는 반무한 탄성체의 탄성계수 및 Poisson비이고 d_{ij} 는 하중작용점(i 점)에서 변위측정점(j 점)까지의 거리로서 다음과 같이 주어진다.

$$d_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad (9)$$

그리고, 한 저판 요소 영역의 분포하중에 의한 지반의 변위는 상부구조 저판과 수평 지반의 접촉면의 미소 면적 dA 에서의 지반 반력도를 q_i 라 할 때 이로 인한 j 점의 변위는 식 (8)과 식(9)으로부터 다음과 같이 적을 수 있다.(그림 4 참조)

$$w_j = \alpha \int_{A^{(e)}} \frac{q(x, y) dA}{\sqrt{(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2}} \quad (10)$$

여기서, $\alpha = \frac{1-\nu_s^2}{\pi E_s}$

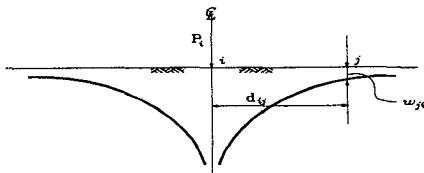


Fig. 3 Surface deflection of the half-space due to a concentrating force

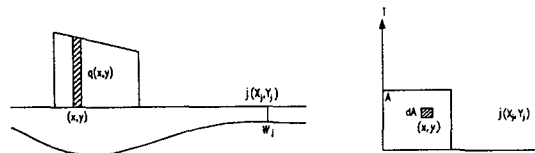


Fig. 4 Distributing reaction applied on soil medium

식(10)의 적분은 먼저 저판의 한 요소 영역이 임의의 형상이고 또 반력 분포가 일정하지 않는 경우를 생각하여야 하므로 수치적분에 의존하지 않을 수 없다.

3.2 지반의 유연도 행렬

3.2.1 수치적분에 의한 정식화

식(10)의 수치적분을 구체적으로 생각하면 아래와 같다. 상부 평판 요소로부터 지반에 주어지는 분포반력의 강도를 요소 절점강도로 부터 보간 하면 다음과 같다.(그림 5 참조)

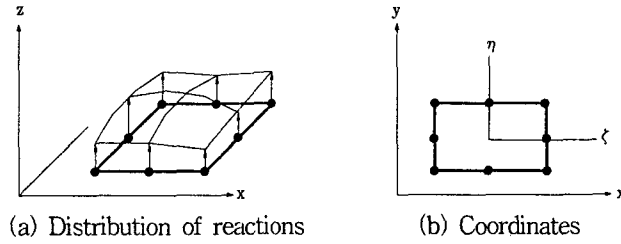


Fig. 5 Distribution of reactions under an element

$$q(x, y) = \sum_{i=1}^n N_i q_i = [N][q]^{(e)} \quad (11)$$

여기서 N_i 는 자연좌표계 (ξ, η) 로 주어지는 요소의 보간함수로서 표 1로 주어진다. 또한 요소 내 임의 점의 좌표값 (x, y) 도 등매개변수 요소의 성질에 따라서 다음과 같이 놓을 수 있다.

$$x = \sum_{i=1}^n N_i x_i = [N][X], \quad y = \sum_{i=1}^n N_i y_i = [N][Y] \quad (12)$$

미소 영역 dA 의 변환도 직교좌표계와 자연좌표계 간의 변환 법칙에 의하여 다음과 같이 주어진다.

$$dA = dx dy = \det J | d\xi d\eta \quad (13)$$

여기서 $[J]$ 는 보간 함수 $[N]$ 의 'Jacobian matrix'이다.

식(11), (12), (13)을 식(10)에 대입하면 저판의 한 요소 (e) 영역에 작용하는 분포반력에 의한 j 점의 변위는 다음과 같은 적분으로 주어진다.

$$w_j^{(e)} = \alpha \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \frac{[N] q^{(e)} \det J | d\xi d\eta}{\sqrt{(x_j - \sum N_i x_i)^2 + (y_j - \sum N_i y_i)^2}} \quad (14)$$

이 식의 적분은 해석 적분이 일반적으로 곤란하므로 Gauss 수치적분으로 처리하면 다음과 같다.

$$w_j^{(e)} = \alpha \left(\sum_{\xi_{G_i}} \sum_{\eta_{G_i}} g(\xi_{G_i}, \eta_{G_i}) \right) q^{(e)} \quad (15)$$

여기서 $g(\xi_{G_i}, \eta_{G_i}) = \left(\frac{W \det J}{d} \right)_{(\xi_{G_i}, \eta_{G_i})} N_{(j)}(\xi_{G_i}, \eta_{G_i})$

위 식에서 $W_{(\xi_{G_i}, \eta_{G_i})}$ 은 적분점의 가중치로서 사각형 요소에 대해서는 3×3 의 2방향 적분을 사용하여 그 점의 ξ, η 축에 대한 각 가중치를 곱한 값이고, 삼각형 요소에 대한 6점 각각의 적분점과 가중치는 표 2와 같다⁽⁷⁾.

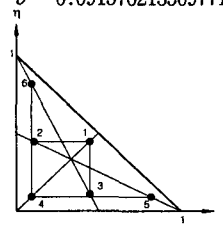
$$W_{(\xi_{G_i}, \eta_{G_i})} = W_{(\xi_{G_i})} \times W_{(\eta_{G_i})} \quad (16)$$

$d_{(\xi_{G_i}, \eta_{G_i})}$ 는 적분점에서 변위를 구하는 점(j 점)까지의 거리로서 다음 식으로 주어진다.

$$d_{(\xi_{G_i}, \eta_{G_i})} = \sqrt{(x_j - \sum N_i(\xi_{G_i}, \eta_{G_i}) x_i)^2 + (y_j - \sum N_i(\xi_{G_i}, \eta_{G_i}) y_i)^2} \quad (17)$$

J 는 직교 좌표계에서 자연 좌표계로의 변환을 지배하는 'Jacobian matrix'이며 $\det |J_{(\xi_{G_i}, \eta_{G_i})}|$ 은 적분점 (ξ_{G_i}, η_{G_i}) 에서의 행렬식의 값이다. $N_{(j)}(\xi_{G_i}, \eta_{G_i})$ 은 행벡터로서 적분점 (ξ_{G_i}, η_{G_i}) 에서의 각 보간 함수의 값이다.

Table 2. Direct integration formula for a 6-node triangle element

6절점 삼각형 요소(Directional method)				
Gauss Point No.	Coordinate		Weight	비 고
	ξ	η		
1	a	a	0.111690794839005	$a = 0.445948490915965$ $b = 0.091576213509771$ 
2	$1 - 2a$	a		
3	a	$1 - 2a$		
4	b	b	0.054975874827611	
5	$1 - 2b$	b		
6	b	$1 - 2b$		

식 (14)의 적분을 수행하면 결국 한 요소(e) 영역의 분포하중에 의한 j 점의 처짐은 다음 꼴로 주어진다.

$$w_j^{(e)} = G_j^{(e)} q^{(e)} = [G]^{(e)} [q]^{(e)} \quad (18)$$

여기서 $G_j^{(e)} = \alpha (\sum \sum g(\xi_{\alpha}, \eta_{\alpha}))$, $g(\xi_{\alpha}, \eta_{\alpha})$ 은 식 (15) 참고

저판 전체에 분포하는 반력에 의한 j 점의 처짐은 선형 탄성의 법칙에 따라서 저판의 각 요소 영역의 분포 하중에 의한 j 점의 변위를 중첩하면 다음의 식을 얻는다.

$$w_j = \sum_{(e)} w_j^{(e)} = G_j q \quad (19)$$

결국 저판의 분포 반력에 의한 모든 절점에서의 수직 변위는 다음 식과 같이 계산될 수 있다.

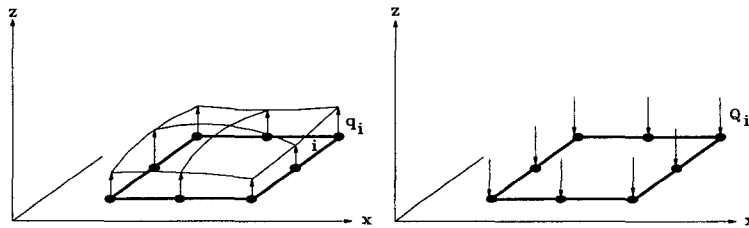
$$w = G q \quad (20)$$

식(19)의 유연도 행렬 G 는 분포 접촉력의 모든 절점 강도(intensity)에 대한 각 절점에서의 변위를 계산하는 유연도 행렬이며 반무한 탄성체 전체를 한 개의 요소로 보고 구한 것이다.

3.4 분포접촉력의 등가 절점력계

상부 평판의 강성도방정식과 지반의 강성도 방정식을 중첩하여 계 전체의 강성도 방정식을 구성하면 하중 벡터는 등가절점력으로 주어지기 때문에 지반에 작용하는 접지압을 등가 절점력계로 변환해야 할 필요가 있다. 한 지반 요소에 작용하는 분포반력 $q(x, y)$ 을 가상 일의 원리에 의하여 정역학적으로 등가인 등가 절점력으로 다음과 같이 변환시킬 수 있다⁽²⁾⁽⁸⁾. (그림 6 참조)

$$[Q]^{(e)} [\delta w]^{(e)} = \int q(x, y) \delta w dA \quad (21)$$



(a) Distribution of contact forces (b) Equivalent nodal forces

Fig. 6 Distribution of contact forces and corresponding equivalent nodal forces of an element

위 식(21)의 분포반력 $q(x, y)$ 및 변위 w 를 요소 절점의 값들로 보간 하면

$$\begin{aligned}
 q(x, y) &= \sum N_i q_i = [N][q]^{(e)} \\
 w(x, y) &= \sum N_i w_i = [N][w]^{(e)}
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

가 되고 이들을 식(21)에 대입하면 등가 절점력계 $[Q]^{(e)}$ 를 구할 수 있다.

$$[Q]^{(e)} = \left(\int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [N]^T [N] \text{det} J |d\xi d\eta \right) [q]^{(e)} = [E]^{(e)} [q]^{(e)}
 \tag{23}$$

$$\text{여기서 } [E]^{(e)} = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [N]^T [N] \text{det} J |d\xi d\eta
 \tag{24}$$

으로 표시되고, 이 변환행렬 $[E]^{(e)}$ 의 적분을 Gauss 수치적분으로 수행하면 다음과 같다.

$$[E]^{(e)} = \sum_{\xi_a} \sum_{\eta_a} (W [N]^T [N] \text{det} J) |_{(\xi_a, \eta_a)}
 \tag{25}$$

상부 판의 개개 요소 영역에 대한 접촉 분포력의 등가 절점력계를 모두 중첩하면 지반 전체의 등가 절점력계 $[Q]$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$[Q] = \sum [Q]^{(e)} = (\sum [E]^{(e)}) [q] = [E][q]
 \tag{26}$$

여기서 $[Q]$: 지반전체의 등가절점력계, $[E] = \sum [E]^{(e)}$: 변환행렬, $[q]$: 접촉압력

4. 지반의 강성도 행렬

판과 지반의 접촉절점의 변위 $[w]$ 를 안다면 그 절점의 접촉압력 강도는 유연도 행렬식(20)로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$[q] = [G]^{-1} [w]
 \tag{27}$$

위 식(27)을 식(26)에 대입하여 정리하면 지반 전체의 강성도 방정식을 구할 수 있다. 즉,

$$[Q] = \sum [E]^{(e)} [G]^{-1} [w] = [K_b][w]
 \tag{28}$$

여기서 $[Q]$ 는 상부 판과 지반간에 주고 받는 접촉 분포력의 등가 절점력계이고 $[w]$ 는 하부 지반의 절점 변위들이며 $[K_b] = [E][G]^{-1}$ 는 반무한 탄성체 지반 전체의 강성도 행렬이다.

5. 구조계 전체의 강성도 방정식의 풀이

5.1 전체 강도방정식의 직접 풀이

판에 작용하는 외력과 반력의 평형을 고려하면 다음의 방정식이 얻어진다.

$$[P] - [Q] = [K_s][U]
 \tag{29}$$

$$\text{또는 } [P] = [K_s][U] + [K_b][w]$$

위의 식에서 지반의 수직변위 $[w]$ 를 전체계의 변위 $[U]$ 속에 포함시키면 상·하 전체계 즉 전체 상호 작용 계의 강성도 방정식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$[P] = [[K_s] + [K_b]][U]
 \tag{30}$$

$$\text{또는 } [P] = [K][U]$$

위의 식(30)에서 상부 구조물의 강성도 행렬 $[K_s]$ 와 지반의 강성도 행렬 $[K_b]$ 을 중첩한 전체 상호작용 계의 강성도 행렬 $[K]$ 는 상부구조물에 유한한 지반 변위에 의한 구속이 주어지는 대상·대칭이 아닌 아래의 꼴이다. 따라서 비대칭의 'full matrix'로 구성된 연립 방정식의 해법으로 잘 알려진 직접 소거법으로 방정식을 풀이하였다.

5.2 지반의 유연도 행렬을 변환한 후 전체 강성도 방정식을 계산하는 방법

전체 행렬 $[K]$ 의 역행렬을 직접 구하지 않고, 각 행렬을 재조정하면 식(31)과 같다.

$$\begin{bmatrix} P \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w \\ \theta \end{bmatrix} \quad (31)$$

여기서 $[K_{11}] = [K_s]_{11} + [K_h]$ 이다.

식(31)을 풀어쓰면

$$\begin{aligned} [P] &= [K_{11}][w] + [K_{12}][\theta] \\ [M] &= [K_{21}][w] + [K_{22}][\theta] = 0 \end{aligned} \quad (32)$$

위 (41) 식을 P 에 관해서 정리하면

$$[P] = [\bar{K}][w], \quad [\bar{K}] = [K_{11}] - [K_{12}][K_{22}^{-1}][K_{21}] \quad (33)$$

식 (28)과 (29)로부터 $[P] - [Q] = [\bar{K}][w]$, $[Q] = [E][q] = [E][G^{-1}][w]$

이것을 정리하면

$$\begin{aligned} [P] - [E][G^{-1}][w] &= [\bar{K}][w] \\ [P] &= [[\bar{K}] + [E][G^{-1}]] [w], \quad [w] = [G][q] \\ [P] &= [[\bar{K}] + [E][G^{-1}]] [G][q] \\ &= [[\bar{K}][G] + [E]][q] \end{aligned} \quad (34)$$

이 과정으로 전체 방정식을 풀면 전체 행렬의 조정과 $[K_{11}]$ 에 대한 역행렬 계산으로 쉽게 방정식을 풀 수 있다.

5.2 지반과 판의 접촉영역 결정

판과 지반의 상호작용계에서 판과 지반의 상대강성 또는 하중의 작용위치에 따라 판의 일부분이 지반과 분리되는 현상이 일어날 수 있다. 이 경우 판과 지반의 상호작용 방정식(34)을 해석하여 접촉압력 q_i 를 계산하면 q_i 는 인장의 접촉압력과 압축의 접촉압력이 발생할 수 있다. 인장의 접촉압력이 발생한 구간을 분리영역으로 보고 압축구간에만 접촉이 있다고 생각한 후 인장인 요소에 대하여 지반의 기여도가 없는 것으로 하여 지반의 유연도행렬 $[G]$ 을 접촉영역만 남겨놓고 축소 조정하는 과정을 반복하는 방법으로 전 과정을 수렴할 때까지 다시 계산한다. 이 과정을 인장부분의 값이 0이 될 때까지 반복한다. 이때 사각형 요소의 절점 8개 각각의 분리 여부에 따라 사각형 요소 내에 부분적인 접촉영역이 발생한다. 이러한 부분을 접촉압력 q_i 의 비율에 따라 절점의 이동과 새로운 절점을 만들어 삼각형 요소를 사용하여 재분할하고, 위의 방법으로 새로운 계산을 수행하여 접촉영역을 확정하게 된다.

6. 계산예

6.1 탄성지반 위에 놓인 사각형판의 계산예

① 표 3의 제원을 가지는 반무한 탄성 지반 위에

놓여 있는 철근콘크리트 사각형판에 $50 \times 50 \text{ cm}$ 의 영역에 걸쳐 등분포하중이 작용할 때 8절점 사각형 요소, 사각형 요소와 삼각형 요소를 혼합하여 재분할하였을 때 판과 지반의 접촉영역을 해석한 예제이다.(그림 7 참조)

Table 3. Material properties and dimensions of example

	사각형판	지반
크 기	$200 \times 200 \text{ cm}^2$	반무한 탄성체
두께	25 cm	-
탄성계수	$2.3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$	800 kg/cm^2
Poisson 비	0.18	0.20

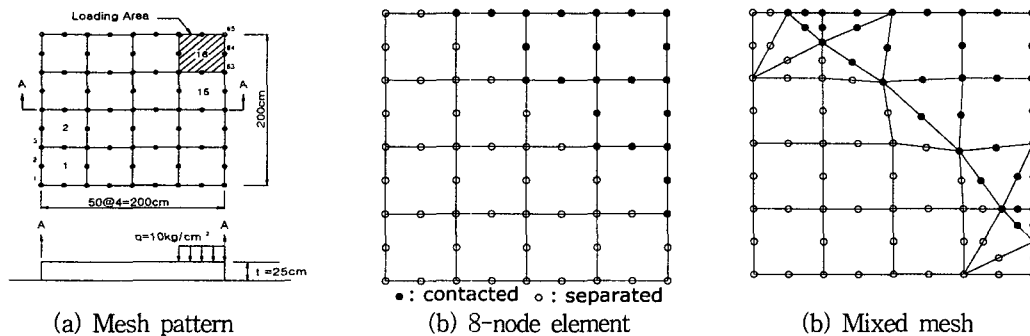


Fig. 7 Contact area of the plate and half-space

6.2 고찰

사각형 요소 및 삼각형 요소를 사용하였을 때 접촉영역이 일정한 영역으로 수렴되고, 이 결과로부터 추정된 재분할 방법에 의해 해석된 결과가 기존의 영역 결정보다는 더 정확한 영역을 결정하는 것을 알 수 있다.

7. 결 론

반무한 탄성 지반 위에 놓여 있는 사각형판에 연직의 분포하중이 작용하는 경우 판과 지반의 분리를 고려한 판의 변위, 응력, 지반의 접촉압력 분포 등을 유한요소법을 이용하여 상호작용 해석을 연구하였다. 상호작용 계에서 판과 지반의 상대강성 또는 하중의 위치에 따라 판의 일부분이 지반과 분리되는 현상이 일어날 수 있는 방법으로 개선하여 해석을 하였다.

이를 이용하여 분리영역을 결정한 후 접촉역에 작용하는 하중만을 고려하여 사각형판의 상호작용 해석을 수행한 다음 지반의 접촉압력을 구하고, 이를 이용하여 삼각형과 사각형 요소로 재분할하여 다시 해석함으로써 더욱 정확한 접촉영역을 결정할 수 있었다.

이상에서 본 연구는 반무한 탄성 지반 위에 판이 아닌 다른 구조물이 오는 경우에도 반무한 탄성체에 대한 본 해석 프로그램을 약간만 수정하여 상부구조의 프로그램과 결합함으로써 별다른 어려움 없이 해석 가능할 것이다. 또한 바뀌하중을 반복해서 받는 콘크리트 포장판이나 전면 기초를 갖는 구조물의 상호작용 해석에 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 【1】 Selvadurai, A. P. S., "Elastic analysis of soil foundation interaction." Elsevier, New York, 1979.
- 【2】 趙顯榮, 鄭振煥, 金成喆, "분리를 고려한 彈性地盤 上的 軸對稱 圓板의 靜的 相互作用 解析에 관한 研究", 大韓土木學會 論文集, Vol. 17, No. 1-4, pp. 589 - 596, 1997.
- 【3】 Desai, C. S., "Soil-structures interaction and simulation problems", in finite elements in Geomechanics edited by Gudeus, G., John Willy & Sons, New York, pp. 209 - 250, 1977.
- 【4】 Timoshenko, S. P. and Woinowsky, K. S., " Theory of plates and shells", McGraw-Hill, New York, 2nd Ed., pp. 310 - 311, 1959.
- 【5】 Akin, J. E., "Finite Elements for Analysis and Design", Academic, San Diego, 1994
- 【7】 Bowles, J. E., "Foundation analysis and design", 3rd Ed., McGraw-Hill, Ch.5, 9, 10, 1974.
- 【6】 Gouri Dhatt and Gilbert Touzot, "The Finite Element Method Displayed", John Willy & Sons, New York, 1984.
- 【8】 Hinton, E. and Owen, D. R. J., "Finite element programing." Academic, New York, 1977.