

## 근입깊이에 따른 기초지반의 파괴형태에 관한 실험적 연구

### An Experimental Study on the Failure Mechanism of Foundation with Depth

奉賢奎\* · 李相德\*\* · 具滋甲\*\*\* · 全夢角\*\*\*\*

Bong, Hyoun Gyu · Lee, Sang Duk · Koo, Ja Kap · Jeon, Mong Gag

#### Abstract

The studies on the bearing capacity of shallow and deep foundations have been made in various fields and formulas for various failure mechanisms have been presented. But, for these models, the method of classification with foundation depth has been obscure and bearing capacity factors have not been uniformly applied. An experiment was performed, in plane strain conditions, with ground model made of carbon rods. The failure mechanism of foundation and ultimate bearing capacity with foundation depth were observed. Based on experimental results the classification between shallow and deep foundations by failure shape was tried. Various present failure mechanisms of foundation were verified through the experiment.

#### 요 지

얕은기초 및 깊은기초의 지지력에 관한 연구는 여러 분야에서 진전을 이루고 있으며, 다양한 파괴 모델에 따른 지지력 공식들이 발표되었다. 이들 모델들에 대한 얕은기초와 깊은기초의 근입깊이와 기초폭의 비에 따른 구분 방법은 명확하지 않고 지지력계수의 적용에 통일성이 없는 실정이다. 본 실험에서는 탄소봉을 이용하여 평면변형을 상태로 모형지반을 구성하고, 근입깊이에 따른 지반의 파괴 메카니즘과 지지력을 조사하였으며 이로부터 파괴형태에 따른 얕은기초와 깊은기초의 구분을 시도하였다. 또한 여러가지 기존의 기초 파괴형태를 실험으로 검증하였다.

#### 1. 서 론

일반적으로 기초를 설계하는데 있어서 필요한 사항에는, 지반의 강도계수, 상부구조물 하중을 지반에

전달하는 기초의 폭(B), 근입깊이(D<sub>f</sub>) 등이 있지만 경시해서는 안될 요소가 얕은기초로 설계할 것인가 깊은기초로 설계할 것인가 하는 판단 기준이다. 또한 기초의 안전성을 지배하는 요소로는 침하(Settlement)와 기초지반의 지지력(Bearing capacity)으로서 모두 허용치내에 속하도록 설계를 해야 한다.

얕은기초의 정의로서 Terzaghi는 기초의 근입깊이 D<sub>f</sub>와 폭 B를 비교하여 D<sub>f</sub>/B ≤ 1라고 정의했으며,<sup>(1)</sup>

\* 성균관대학교 토목공학과 대학원 석사과정

\*\* 정희원 · 아주대학교 공과대학 토목공학과 조교수

\*\*\* 정희원 · 안성산업대학교 토목공학과 전임강사

\*\*\*\* 정희원 · 성균관대학교 공과대학 토목공학과 교수

Meyerhof는 파괴면이 지표면까지의 연장 유무로서 얇은기초와 깊은기초로 정의하고 있다.<sup>(2)</sup> 그러나 최근에 얇은기초의 범위는  $D_f/B < 4 \sim 5$ 라고 알려져 있다.<sup>(5)</sup>

따라서 본 실험에서는 탄소봉을 이용하여 모형지반을 구성하고, 근입깊이비( $D_f/B$ )를 변화시키면서 변형제어법으로 기초에 하중을 재하시켜 지반의 파괴형태와 극한지지력을 분석하고, 모형지반의 파괴형태에 따른 얇은기초와 깊은기초의 구분을 시도하였으며, 여러가지 기준에 발표된 기초 파괴형태를 실험으로 검증하였다. 또한 실험에서 구한 극한지지력을 Terzaghi, Meyerhof, Vesic의 지지력 공식<sup>(6)</sup>에서 계산된 극한지지력과 비교하였으며, 기초의 주면에 작용하는 마찰력의 분포형태 및 마찰의 영향이 파괴 메카니즘과 지지력에 미치는 영향을 분석하였고,  $D_f/B$ 에 따른 기초의 침하로 인해 유발되는 기초 부근의 지표면 변위량과의 관계를 연구하였다.

## 2. 기초의 극한지지력 산정을 위한 이론적 고찰

### 2.1 얇은기초

#### 2.1.1 Terzaghi의 파괴모델<sup>(1)</sup>

Terzaghi는 균질하고 깊은 토층위에 놓인 저면이 거친 강성 연속기초(Strip foundation)의 극한지지력에 대한 식을 제시하였다. 이때 얇은기초를  $D_f/B \leq 1$ 라고 정의했으며 그림 2.1과 같은 파괴모델로서 극한지지력 산정을 위한 지지력계수를 유도하였다.

Terzaghi의 얇은기초 파괴모델에서 특징은 다음과 같다.

(1) 지반의 지지력 파괴가 일어날때 기초저면위에 놓인 흙에 의해서 저항되는 전단저항을 무시했다.

(2) 기초저면에 발생하는 탄성영역인 흩췌기  $\Delta abc$ 에서의  $\angle bac$ ,  $\angle abc$  그리고 기초와 지반 사이의 마찰각( $\delta$ )은 지반의 내부마찰각( $\phi$ )과 같다고

가정했다.

(3) 지반 파괴모델은 얇은기초와 깊은기초의 구분이 없이  $D_f$ 에 해당하는 흩의 무게를 단순히 상재하중으로 치환했다.

여러 실험결과, 특징 (2)에서  $\angle bac$ 와  $\angle abc$ 는 기초저면의 조도와 관계가 깊고, 약  $45^\circ + \phi/2$ 에 가깝다고 알려져 있다.<sup>(1)</sup>

연속기초에 대한 극한 지지력은 다음과 같다.

$$q_u = c N_c + q N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

여기서, B : 기초의 폭

c : 흩의 점착력

q : 상재하중(=  $\gamma D_f$ )

$N_c, N_q, N_\gamma$  : 지지력계수

#### 2.1.2 Meyerhof의 파괴모델<sup>(2)</sup>

Meyerhof는 소성이론을 기반으로 얇은기초와 깊은기초의 파괴모델을 제시하였으며, 얇은기초의 파괴모델은 그림 2.2와 같다. Meyerhof의 파괴모델에 대한 특징은 다음과 같다.

(1) 탄성영역인 흩췌기  $\Delta abc$ 에서  $\angle bac$ 와  $\angle abc$ 는  $45^\circ + \phi/2$ 이다.

(2) 등치자유면(Equivalent free surface)과 수평면이 이루는 각  $\beta$ 의 개념을 설정하고, 기초의 근입깊이  $D_f$ 에 따라 변화한다고 했다.

(3) be면에는 bef 흩췌기에 의해 발생하는 법선응력( $p_0$ )과 전단응력( $s_0$ )을 고려했다.

Meyerhof는 얇은기초와 깊은기초의 구분을 기초지반의 전단파괴면이 지표면까지 연장 유무로서 구분을 하고 있으며, 이는 근입깊이와 기초의 마찰에 의해 영향을 받는다고 제시하였다.

### 2.2 깊은기초

#### 2.2.1 깊은기초의 극한지지력<sup>(7)</sup>

깊은기초의 극한지지력은 그림 2.3과 같이 기초

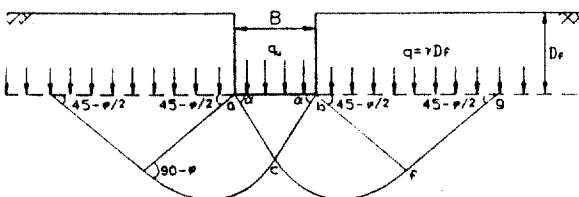


그림 2.1. Terzaghi의 얇은기초 파괴모델

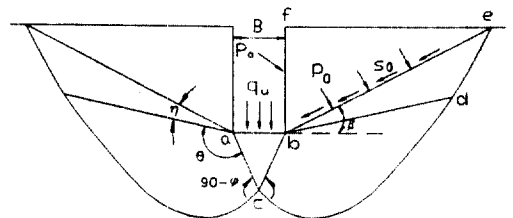


그림 2.2. Meyerhof의 얇은기초 파괴모델

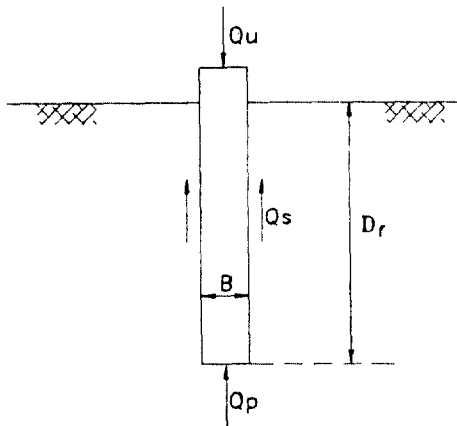


그림 2.3. 깊은기초의 극한지지력

선단부에 의한 선단 지지력과 기초 측면과 지반과의 마찰에 의한 주면 마찰력으로 나누어 생각할 수 있다. 즉,

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$Q_p$  : 선단지지력

$Q_s$  : 주면 마찰력

주면 마찰력  $Q_s$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$Q_s = p \cdot D_r \cdot f$$

$p$  : 기초의 유효면

$D_r$  : 기초의 근입깊이

$f$  : 마찰력으로서  $f = K \cdot \sigma_v \cdot \tan \delta$

$K$  : 정지토압계수  $K = 1 - \sin \phi$

$\delta$  : 기초와 지반 사이의 마찰각( $\phi/3 \sim 2\phi/3$ )

### 2.2.2 Terzaghi의 깊은기초 파괴모델<sup>(2)</sup>

Terzaghi는 깊은기초에 대해서 얇은기초 모델을 그대로 확장하여 근입깊이  $D_r$ 에 해당하는 흙을 얇은기초 모델에서의  $q (= \gamma D_r)$ 로 대체하였다. 또한 Terzaghi는 기초의 측면과 지반 사이에 마찰이 없는 경우에 대해서 파괴모델을 제시하였다. Terzaghi의 깊은기초 파괴모델이 그림 2.4에 나타나 있다.

### 2.2.3 Meyerhof의 깊은기초 파괴모델<sup>(2)</sup>

Meyerhof는 얇은기초에서와 동일한 방법으로 깊은기초에 대한 지지력계수를 유도할 수 없었다. 이는 그 파괴면이 지표면까지 도달하지 않으므로 토체에 발휘되고 있는 전단저항 정도가 불분명하였기 때문

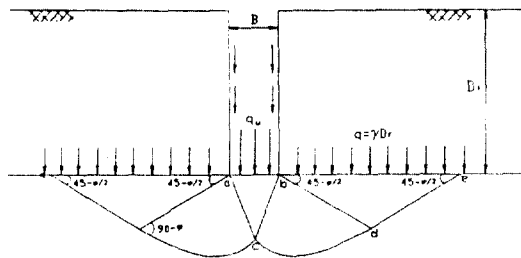


그림 2.4. Terzaghi의 깊은기초 파괴모델

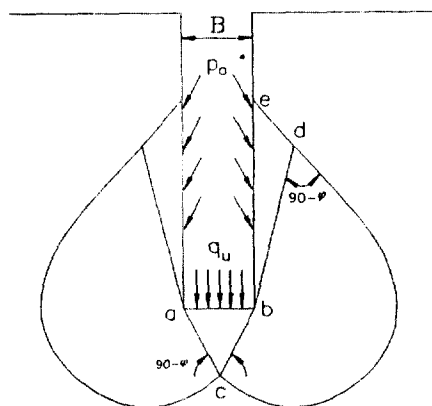


그림 2.5. Meyerhof의 깊은기초 파괴모델

이다. 이에 따라 Meyerhof는 많은 시험결과와 경험을 바탕으로,  $D_r/B$ 와  $(D_r/B)_{critical}$ 의 관계(Kerisel, 1958; De Beer, 1963; Vesic, 1970), 내부마찰각( $\phi$ )에 따른 깊은기초의 지지력계수  $N_c, N_q$ 를 결정할 수 있는 도표(1976)<sup>(4)</sup>를 제시하였다. Meyerhof의 깊은기초 파괴모델은 그림 2.5와 같다.

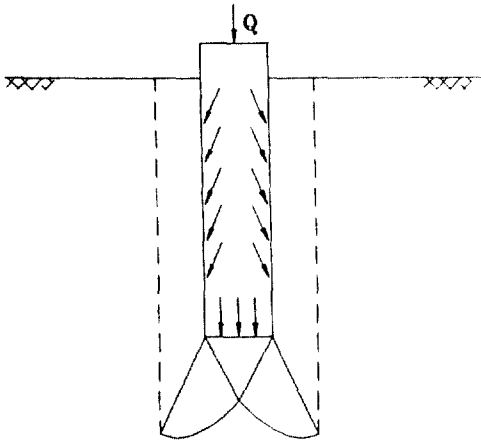
### 2.2.4 기타 깊은기초의 파괴모델<sup>(7)</sup>

Vesic, Berezanzenov와 Hu, Durgunoglu & Mitchell은 깊은기초 파괴모델을 다음의 그림 2.6과 같이 제시하였다.

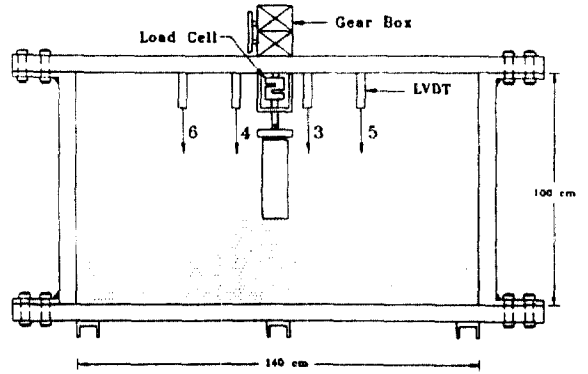
## 3. 시 험

### 3.1 모형지반

모형시험은 평면변형률상태에서 실시하였으며 시험장치의 구성은 그림 3.2의 (a)와 같다. Frame의 폭은 140 cm이며, 높이는 100 cm로서 C형강(50×100×5)을 이용하였다. 기초와 하중재하장치와의 마찰을 줄이고 하중이 균일하게 전달될 수 있도록



Vesic, Berezanzenv

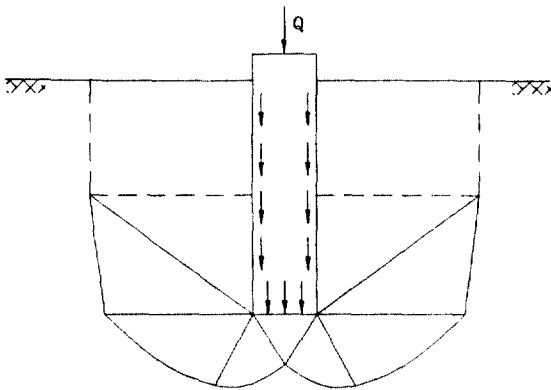


(a)



(b)

그림 3.2. (a) 모형시험장치  
(b) 하중 및 변위측정 장치



Hu, Durgunoglu & Mitchell

그림 2.6. 여러가지 깊은기초의 파괴모델



그림 3.1. 모형지반의 수동파괴형태

기초와 하중재하장치 사이에 수평으로 자유롭게 이동되는 물러를 장치했다. 그림 3.2의 (b)는 하중과 지표면 변위를 측정하는 장치의 사진이다.

모형지반을 구성하고 있는 탄소봉은 길이가 55 mm이고, 직경이 8 mm, 6 mm, 4 mm(각각 4.8 g, 2.7 g, 1.1 g)를 섞어서 구성했으며, 탄소봉의 길이가 일정하기 때문에 모형지반의 길이방향 변형률은 항상 0이다. 또한 모형지반과 Frame의 접촉부에는 전단응력이 작용하지 않도록 Grease를 바른 비닐을 여러겹 부착함으로써 평면변형률상태를 유지하도록 하였다. 모형지반의 단위중량은 1.4 tf/m<sup>3</sup>이고, 모형지반의 내부마찰각( $\phi$ )을 구하기 위하여 모형지반에 강성이 큰 판을 관입시킨 후 판에 횡방향 하중을 증가시킴으로서 지반을 수동파괴시킬 때 소요되는 하중 즉, 수동토압을 측정하여  $\phi$ 를 역산하였고, 시험이 진행되는 동안 사진촬영을 실시하여 사진상에 나타난 파괴면<sup>(18)</sup>이 지표와 이루는 각을 측정하였으며, 그 결과  $\phi=27^\circ$ 이고, 탄소봉의 재료적 성질상 점착력  $c=0$ 이다. 그림 3.1은 모형지반을 수동파괴

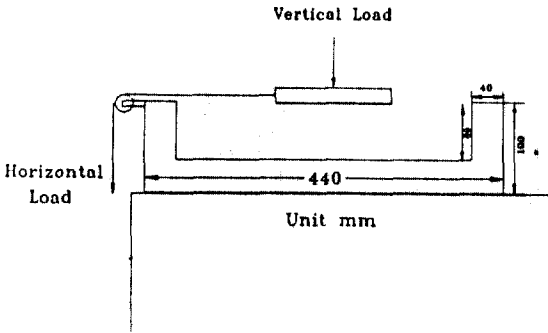


그림 3.3. 마찰각( $\Delta$ ) 시험장치

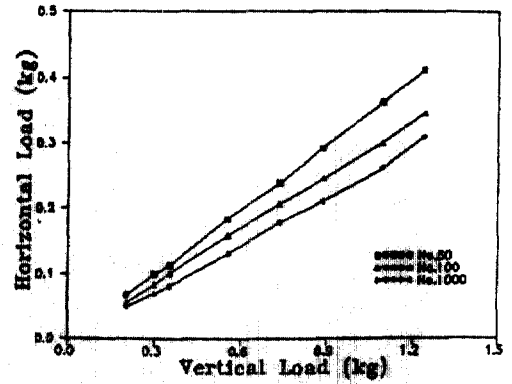


그림 3.4. 마찰각( $\delta$ )의 결정

시킬 때 사진상에 나타난 파괴 메카니즘이다.

### 3.2 측정장치 및 시험조건

기초에 재하되는 하중측정은 Load cell을 사용하였고, 지표면 변위량을 측정하기 위하여 LVDT(Linear Variable Differential Transformers)를 기초의 중심으로부터 약 2B(9.5 cm) 그리고 약 6B(33 cm) 정도 떨어진 위치에 각각 LVDT 3, 4와 5, 6을 설치하였다(그림 3.2의 (a) 참조). Load cell과 LVDT에서 측정된 하중과 변위 데이터는 Validyne Engineering 회사의 UPC(Universal PC Sensor Interface Card)를 통해 자동으로 Computer에 입력된다.

이때 LVDT의 정밀도는 1/100 mm까지 측정이 가능하고 Load cell은 1g까지 측정이 가능하다. 실험에 있어서 기초의 재질은 강성이 크고 자중이 가벼운 아크릴을 사용했으며 기초의 폭(B)은 50 mm이고,  $D_i/B$ 는 0~8까지 변화를 주며 시험을 하였다.

기초저면의 조도가 극한지지력에 미치는 영향<sup>(5)</sup>을 고려하고 파괴 메카니즘을 분명히 하기 위하여  $2\phi/3$  정도의 조도를 가진 사포를 기초저면에 부착하여 시험을 실시하였다. 시험의 종료는 기초의 연직변위와 극한하중과의 관계에서 지지력은 기초폭의 10~15%에 해당하는 침하량에서 구할 수 있다는 Vesic의 주장<sup>(6)</sup>을 포함할 수 있도록 기초폭 B의 20%에 해당하는 기초의 연직침하량 10 mm에서 종료하였고 변위가 발생되는 동안 카메라의 조리개를 개방한 상태에서 사진촬영을 실시하였다. 하중-침하의 그래프에서 극한하중 결정법은 Mansur & Kaufmann(1956, 하중-침하 곡선의 초기접선과 최종접선

의 교차점)<sup>(15)</sup>의 방법을 이용하였다.

### 3.3 마찰각( $\delta$ )의 결정

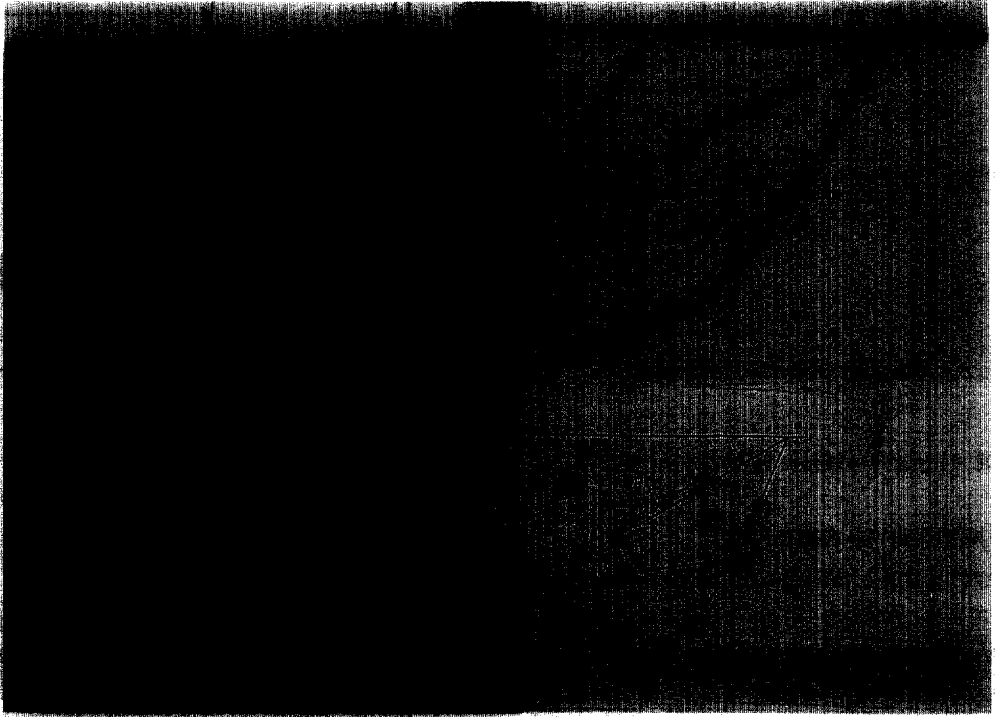
주면 마찰력( $Q_s$ )을 산정할때, 기초의 근입깊이 전체에 걸쳐 정지토압계수를 적용했으며, 탄소봉과 기초와의 마찰각( $\delta$ )은 예비실험을 실시하여 결정하였다. 이는 마찰각의 기본 원리에 충실하도록 시험장치(그림 3.3)를 구현했다. 탄소봉을 길이 440 mm, 높이 60 mm로 쌓아 놓고 연직하중을 변화시키면서 횡방향 하중을 점차 증가시켜 사포를 부착한 판이 움직이기 시작할 때의 횡하중을 측정하여  $\delta = \tan^{-1}(P_h/P_v)$ 를 결정하였다. 그림 3.4는 마찰각을 결정하기 위해 연직력과 수평력을 도식화한 것이다.

실험결과 약  $2\phi/3$ ,  $\phi/3$  정도의 마찰각을 갖는 사포 #50, #1000(각각  $\delta = 18.5^\circ, 13.4^\circ$ )을 결정했으며, 마찰이 없는 경우의 파괴 메카니즘과 비교할 수 있도록 Grease를 사이에 바른 비닐을 기초측면과 지반사이에 부착하고 시험을 실시하였다.

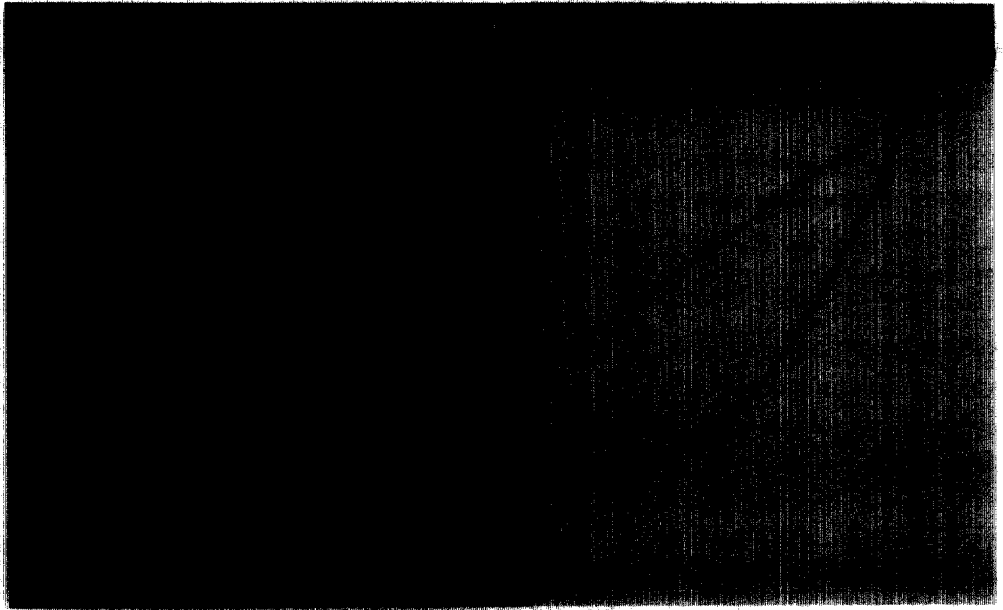
## 4. 시험결과 및 분석

### 4.1 파괴형태

그림 4.1의 (a)는  $D_i/B=3$ 이고 기초측면의 마찰각이 약  $\phi/3$ 인 경우에 대해 실험이 진행되는 동안 촬영한 사진(左)과 모형지반에 부착한 측정 변위의 크기와 방향을 반투명지를 이용하여 동일하게 복사한 그림(右)이다. 여기서, 흙찌기의 분할은 측정 변위의 이동 방향과 크기로서 분할을 하였다. 또한 Meyerhof가 제시한 얇은기초의 파괴 메카니즘(下)을

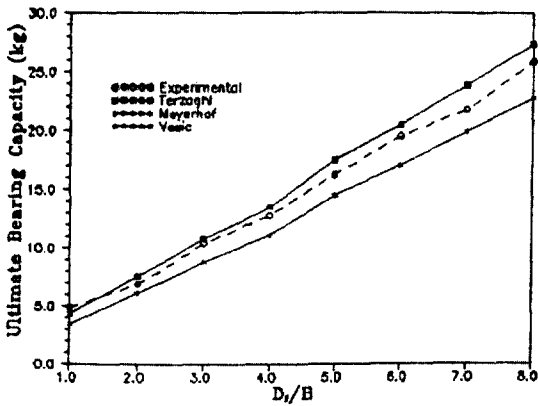


(a)

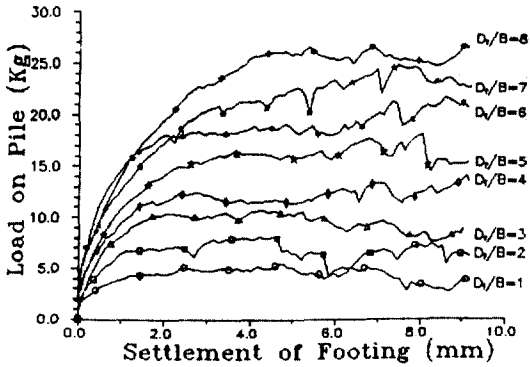


(b)

그림 4.1. (a)  $D_r/B=3$ 의 파괴형태와 Meyerhof의 얇은기초 파괴모델  
(b)  $D_r/B=7$ 의 파괴형태



(a)



(b)

그림 4.2. (a) 극한 지지력 비교  
(b)  $D/B$ 에 따른 하중-침하 곡선

비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 모형지반의 파괴 메카니즘은 Meyerhof의 파괴모델과 유사하며 Meyerhof의 파괴모델로서 지지력 및 지표면 변위 상태등의 설명이 가능하다.<sup>(2)</sup>

그림 4.1의 (b)는  $D/B=7$ 이며 기초측면과 지반 사이의 마찰이 없는 경우의 사진이다.  $D/B$ 가 증가함에 따라 기초 선단부의 대수나선 활동면이 점차 확대되며 파괴면이 지표면까지 연장됨을 알 수 있다. 본 실험조건에서 Meyerhof의 이론에 따르면  $D/B=7$ 에서도 이 기초는 얇은기초로 작용하고 있음을 알 수 있다. 이에 따라 얇은기초의 지지력계수를 적용해야 시험치와 이론치가 유사하게 됨을 그림 4.2의 (a)에 나타난 지지력 비교에서 볼 수 있다.  $D/B \geq 7$ 에서부터 기초측면에 곡선모양의 흠뻐기가 나타나기 시작하며 이는 Meyerhof가 제시한 깊은기초의 파괴형태로 이어지는 분기점으로 사료된다.

## 4.2 지지력 관계

모형실험에서 얻은 하중-침하 곡선으로부터 구한 극한지지력과 Terzaghi, Meyerhof, Vesic의 지지력 공식에 의한 극한지지력과 비교하였으며 그 결과는 그림 4.2의 (a)에 나타나 있다. 실험치는 Terzaghi와 Meyerhof, Vesic의 중간에 위치하며 비교적 선형관계를 유지하고 있다.

Meyerhof의 지지력 공식 적용에 있어서  $D/B \geq 5$ 의 경우에도 얇은기초에 대한 지지력계수를 사용하였다. 이는 사진상에서 그 전단파괴면이 지표면까지 연장되는 것을 확인할 수 있었기 때문이다. 여기서, Meyerhof가 제시한 깊은기초의 지지력계수로 계산하면 시험치와 큰 차이를 나타낸다. 또한 본 실험 조건에서 Terzaghi의 극한지지력은 시험치를 다소 크게 평가하고 있음을 알 수 있고, Meyerhof 및 Vesic의 극한지지력은 시험치에 비해 안전측에 속함을 알 수 있다. 그림 4.2의 (b)는 약  $2\phi/3$ 의 마찰각을 갖는 기초의  $D/B$ 에 따르는 하중-침하 곡선이다.

## 4.3 기초침하에 따른 주변 지표변위

본 실험에서 나타난  $D/B$ 에 따르는 기초침하와 지표면 변위 관계는 Meyerhof의 얇은기초의 파괴 모델로서 설명이 가능하다. 그림 4.3에서  $D/B \leq 2$ 까지 LVDT 3,4위치의 변위량이 LVDT 5,6변위량보다 크다. 이는 기초의 근입깊이가 얇은 경우 그림 4.1의 (a)에서 ③, ④ 영역이 발생하지 않고 ② 영역의 발달로 기초 주변 지표의 변위가 커지는 것을 보여준다. 그러나  $D/B \geq 3$ 에서는 LVDT 3,4의 변위가 침하를 나타내는데 이는 극한 하중에 도달한 후 ③ 영역이 밀려남에 따라 ④ 영역의 침하가 이루어지기 때문이라고 설명할 수 있다.

또한,  $D/B \geq 3$  범위에서 지지력 파괴가 일어난 후부터 LVDT 3,4는 초기에 침하를 일으키게 되고 활동면이 커짐에 따라 최종침하량은 줄어드는 경향을 보이고 있다. 또한  $D/B \geq 7$ 에서 활동면의 확장으로 LVDT 3, 4, 5, 6의 최종변위량은 거의 동일하게 됨을 알 수 있다.

## 4.4 기초의 주변 마찰에 의한 영향

그림 4.4에서 지표면 가까운 곳의 축점은 그 변위량이 기초 선단부의 변위량보다 작음을 알 수 있다. 이는 유효연직응력의 증가에 따라 정지토압의

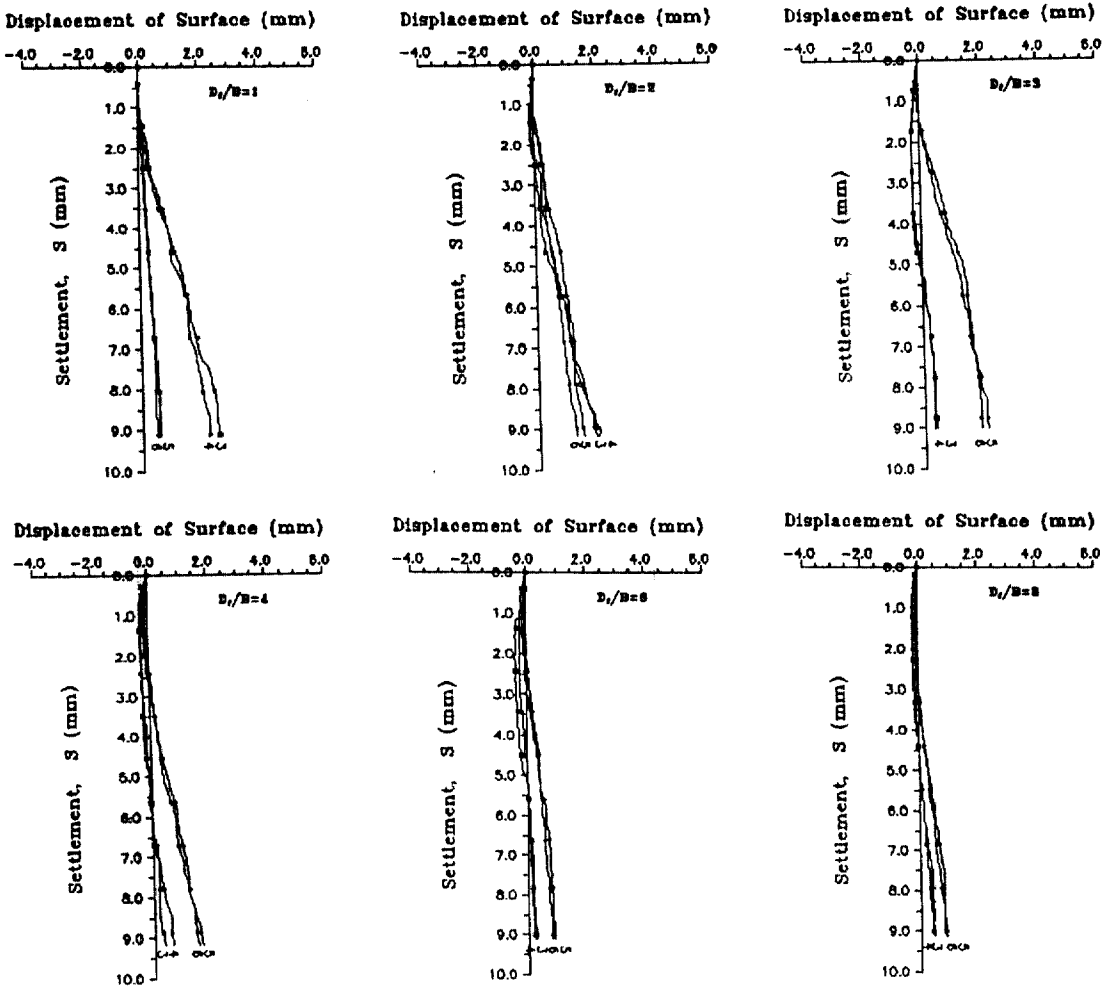


그림 4.3. 기초침하지표면 변위

증가로 선단부에서 마찰에 의한 저항력의 대부분이 발휘되고 있음을 의미한다. 마찰에 의한 저항력의 크기는 예비실험에서 얻은  $\delta$ 를 이용하여 구할 수 있으며, 사진에 나타난 기초측면의 변위량을 검토 하면 기초하부로 갈수록 변위가 커지므로 이론에 의한 마찰력 분포가 깊이에 따라 선형 증가한다는 것을 알 수 있다.

그림 4.5는  $D_1/B=5$ 이면서  $\delta=0$ 와  $\delta=2\phi/3$ 인 경우의 하중-침하 곡선을 나타낸 것이다. 이론에 의한 마찰력 차이는 0.85 kg이지만 약 1.2 kg의 지지력의 차이가 나타나고 있다. 이는 Scale Effect의 영향으로 사료된다. 또한 마찰각( $\delta$ )이 파괴 메카니즘에 미치는 영향을 고려하여,  $\delta=0$ ,  $\delta=\phi/3$ ,  $\delta=2\phi/3$ 를 실험한

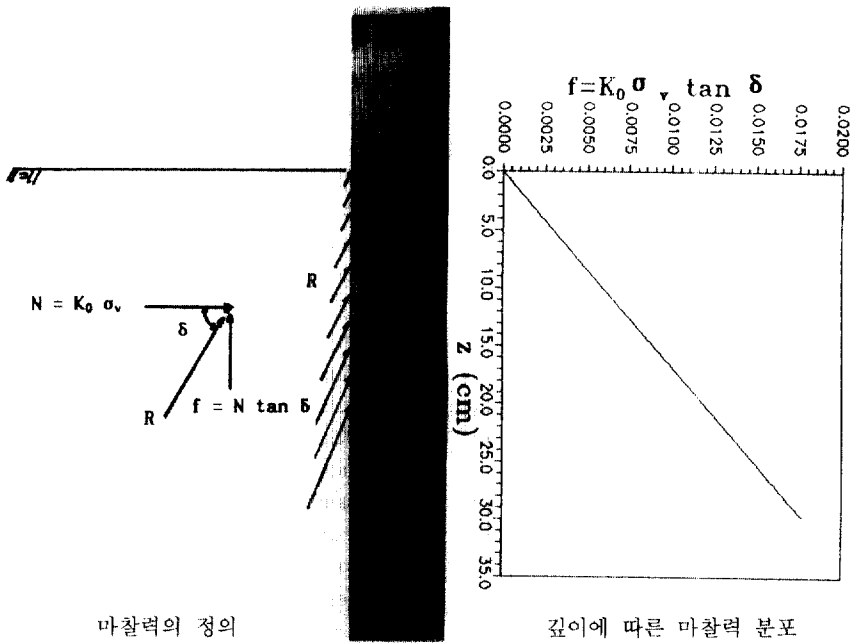
결과 그 영향은 비교적 크지 않음을 알 수 있다. 그림 4.6과 그림 4.7에  $D_1/B=5$ 이면서  $\delta=0$ 와  $\delta=2\phi/3$ 인 경우의 파괴 메카니즘이 나타나 있다.

## 5. 결 론

탄소봉을 이용한 모형지반을 구성하고,  $D_1/B$ 를 변화시키며 기초지반의 파괴 메카니즘에 관한 시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 실험 조건에서 기초지반의 파괴형태는  $D_1/B \leq 7$  범위에서도 Meyerhof의 얽은기초에 의한 파괴모델과 유사하게 나타났다.
2. 본 실험 조건에서 구한 극한지지력은 Terza-





마찰력의 정의

깊이에 따른 마찰력 분포

그림 4.4. 마찰에 의한 기초 측면의 축점변위

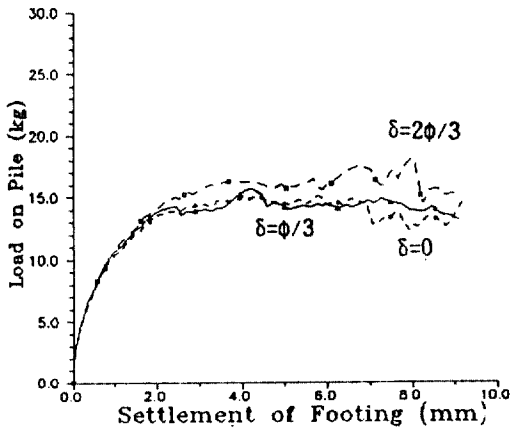


그림 4.5.  $\delta=0, \phi/3, 2\phi/3$ 인 경우의 하중-침하곡선

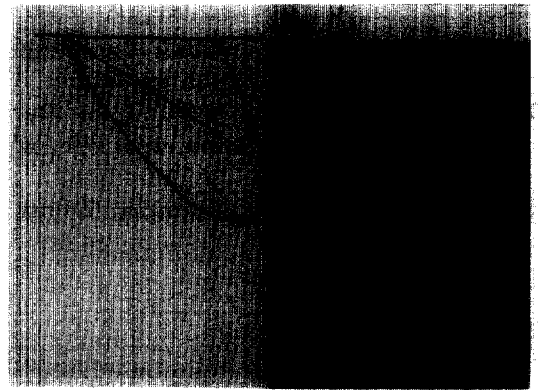


그림 4.6.  $\delta=0$ 인 경우의 파괴 메카니즘

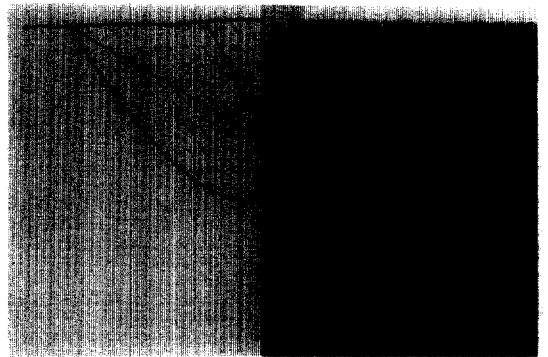


그림 4.7.  $\delta=2\phi/3$ 인 경우의 파괴 메카니즘

ghi에 의한 극한지지력과 Vesic, Meyerhof에 의한 극한지지력의 중간치 정도로 나타났다.

3. 기초의 침하에 의하여 기초에 인접한 주변 지표면은  $D_f/B \leq 2$  범위에서 부풀어 오르며,  $3 \leq D_f/B \leq 8$  범위에서 파괴가 발생할 때까지 침하를 일으킨다.  $D_f/B \geq 7$ 에 대해서 지표면의 변위 거동은 매우 작았다.

4. 기초의 주변과 지반 사이의 마찰은 파괴형태에

큰 영향을 미치지 않으며, 본 실험에 의하면 기초의 지지력은 주로 기초의 선단부에서 작용하는 것으로 사료된다.

5. 추후의 연구과제로서 지반의 밀도를 변화시키며 동일한 실험을 실시해 결론을 검증할 필요가 있다고 생각된다.

### 참고문헌

1. Das, B.M., *Theoretical Foundation Engineering*, Elsevier, 1987, pp. 206-248.
2. Meyerhof, G.G., "The Bearing Capacity and Settlement of Foundations", Selected paper 1981, *Tech-Press*, pp. 2-32, pp. 197-219.
3. 유남재, 이상덕 외 2인, "기초저면조도가 극한지지력 및 파괴메카니즘에 미치는 영향", 대한토목학회 학술발표회 개요집, 1992, pp. 635-638.
4. 이인모, 이명환 외 4인, "모형토조시험을 통한 말뚝지지력의 평가", 한국지반공학회 추계학술발표회 논문집, 1992, pp. 13-39.
5. Bowles, J.E., *Foundation Analysis and Design*, 4th Edition, McGraw Hill, 1988, pp. 113-143, pp. 508-550.
6. Das, B.M., *Principles of Foundation Engineering*, Wadsworth Inc, 1984, p.101-123, pp. 330-361.
7. Shamsher Prakash and Hari D. Sharma, *Pile Foundations in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, Inc, 1990, pp. 1-35.
8. Leonards, G.A., *Foundation Engineering*, McGraw Hill, 1962, pp. 525-633.
9. McCarthy, D.F., *Essentials of Soil Mechanics and Foundations*, Reston Inc, 1982, pp. 347-372.
10. Fang Hsai Yang, *Foundation Engineering Handbook*, 2nd Edition, Van Nostrand Reinhold, 1991, pp. 511-519.
11. Poulos, H.G. and Davis, E.H., *Pile Foundation Analysis and Design*, John Wiley & Sons, 1980, pp. 18-30, pp. 265-274.
12. Edile, T.B. and Abdel Rahman, M.A., "Shaft Resistance Model Pile in Granular Soil", *Proc. Deep Foundation on Bored and Auger Piles*, Balkema, A.A, 1993, pp. 279-285.
13. Das, B.M., *Principles of Geotechnical Engineering*, 2nd Edition, PWS-KENT, 1990, pp. 441-466.
14. Lambe, T.W. and Whitman, R.V., *Soil Mechanics*, John Wiley & Sons, 1969, pp. 195-224.
15. Salden, D., "Der Einfluss der Sohlenform auf die Traglast von Fundamenten", MIT.12, Baugrundinstitut UNI. Stuttgart, 1980.
16. 김팔규, 김영수 외 8인, *최신토질역학상론*, 학연사, 1986, pp. 451-494.
17. Ramiah, B.K. and Chikkanagappa, L.S., *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2nd Edition, Balkema, Rotterdam, 1990, pp. 242-260, pp. 306-322.
18. 구자갑, "Slurry Wall 공법에서 Guide Wall의 최적설계에 관한 연구", 박사학위논문, 1992, pp. 18-26.

(接受 : 1993. 12. 2)