

현장재하시험에 의한 준설토지반의 지지력 평가방법 연구

Evaluation on Bearing Capacity of Dredging Ground by Field Loading Test

박종범^{1*}, 주재우², 김장흥³

Jong-Beom Park^{1*}, Jae-Woo Ju², Jang-Heung Kim³

¹Member, Chief, Shinmyeong Construction Engineering, 961-2 gagok-Dong, Suncheon-Si, 540-080, Republic of Korea

²Member, Professor, Dept. of Civi Engineering, Suncheon National Univ., 255, Chungang-Ro, Suncheon-Si, 540-742, Republic of Korea

³Member, President, Shinmyeong Construction Engineering, 961-2 gagok-Dong, Suncheon-Si, 540-080, Republic of Korea

ABSTRACT

Sea gives us a lot of benefits and one of them is a role of transporting goods easily by ship. Accordingly the industrial area or the container yard is constructed either on the low sea or near the sea. Sea dredging ground is made by pumping them using dredge pump to the inside of embankment after dredging undersea soils. The dredging ground after pumping is in the slurry state but as time goes, consolidation by the own weight happens and evaporation happens at the surface of dredging ground. The evaporation causes the crest layer in the upper side of dredging ground. Under the crest layer there is still a soil of slurry state which has just little bearing resistance. This kind of characteristics makes it difficult to get a exact bearing capacity using the equations proposed until now. In this study we have performed simultaneously both the field loading tests and the cone penetration tests on the sea dredging ground. From the result of field tests, new experimental equation for the ultimate bearing capacity has been proposed. If we use the new equation, it is believed that some design of sea dredging ground could be more accurate.

요 지

준설토지반은 준설토에 의해 매립되어 지반이 매우 연약한 상태이며, 설계시 정확한 지지력을 예측하는 것은 더욱 힘들다. 실제 준설토지반을 대상으로 여러 가지 연약지반처리공법을 설계하고 있지만, 특히 준설토지반의 특성에 기인한 장비진입 즉 표층처리공법 또한 문제점을 안고 있다. 이러한 문제점을 개선하고자 연약지반에서 적용 할 수 있는 평판재하시험장치를 개발하게 되었다. 본 연구에서는 준설토지반현장을 대상으로 현장에서 개발된 평판재하시험을 이용하여 현장시험을 실시하였으며, 아울러 콘테스트만의 결과를 가지고 준설토지반의 지지력을 구하는 실험식을 제안하고자 하였다. 대부분 준설토지반은 매립경과시간에 따라 표면건조층의 두께가 달라지게 되므로 본 연구에서 제안한 실험식이 매우 효과적인 방법이라 판단되며, 향후 준설토 매립지반의 공법설계시 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

Keywords : Sea dredging ground, Bearing capacity, Plate loading test, Support triangle

1. 서 론

준설토지반이란 먼저 바다와 경계가 될 제방을 먼저 축조한 다음 바다밑의 흩은 준설토로서 펌프를 이용하여 제

방 내측으로 이동시켜서 만든 지반을 말한다. 이러한 과정에서 제방내측에서는 물이 다량 섞여있는 준설토가 점차 자중압밀에 의한 침강을 시작하나 입자의 대부분이 매우 작기 때문에 침강은 하지만 여전히 연약지반으로 남으며 아직 침강이 되지 않은 부분은 슬러리상태를 유지한다. 그러나, 준설토지반의 상부표면에서는 태양이나 바람 등으로 인한 증발이 활발하게 진행된다. 증발량이 지반의 하부

Received 28 Nov. 2013, Revised 19 Mar. 2014, Accepted 21 Mar. 2014

*Corresponding author

Tel: +82-61-750-8081; Fax: +82-61-727-4569

E-mail address: bankgeo@hanmail.net (J. B. Park)

에서 공급되는 물의 양보다 클 때 상부표면에서는 증발에 의한 건조층이 형성되기 시작한다. 따라서, 준설토로 제방 내를 성토 한후 수년이라는 상당기간 방치해 두면 준설토 지반의 건조층은 점차 두꺼워지며 사람이나 토목용장비가 진입하더라도 견딜수 있는 지지력을 가질 수도 있다.

장기간 방치된 준설토지반의 경우 건조층이 두터워져 추가적인 보강을 하지 않더라도 장비진입이 가능할 수도 있다. 그러나, 깊이가 깊어지면 점차 강도가 작아지다 어느 깊이에서는 완전히 강도를 잃어버리는 준설토지반의 특이성 때문에 정확하게 지지력을 예측한다는 것은 무척 어려운 일이다. 즉 테르자거나 기타 학자들이 제시한 지지력을 구하는 메카니즘과는 상당히 다르다고 말할 수 있다.

본 연구에서는 실제 현장에서 준설토 매립지반을 대상으로 평판재하시험 실시하여 콘테스트시험의 결과를 가지고 준설토지반의 지지력을 구하는 실험식을 구하고자 하였다. 실험식에서 극한지지력식을 구하는 중요한 팩터는 콘테스트결과에서 콘지지력이 깊이와 관련 삼각형형태를 보이는데, 이 삼각형의 면적이다. 즉 면적이 크면 극한지지력은 커지며, 면적이 작으면 극한지지력은 작아진다.

따라서 준설토지반의 지지력 관련연구를 위해 본 연구에서는 기존 평판재하시험기를 응용하여 연약지반 즉 준설토지반에서도 사용할 수 있는 평판재하시험기를 제작하였으며, 평판재하시험은 재하판의 깊이를 달리하여 재하시험을 행하고자 한다.

이상과 같이 본 연구에서는 준설토매립지반의 현장평판재하시험결과로부터 이론적인 실험식을 제안하였으며, 이

는 준설토지반의 개량을 위한 공법설계를 더욱 정확히 행하는데 큰 도움이 될 것으로 본다.

2. 층상지반의 극한지지력 및 준설토지반의 강도 특성

2.1 층상지반의 지지력

Meyerhof & Hanna(1978)는 층상지반의 극한지지력을 구하는 방법은 제안하였다. 즉 상부와 하부가 전단정수가 다를 경우 극한지지력 계산방법이다. 그러나, 준설토매립지반의 경우에는 층상으로 지반을 나누기는 어렵기 때문에 본 식을 사용하여 지지력을 구하는 것은 타당치 않을 것이다.

준설토지반의 경우 기존의 지지력공식인 Terzaghi(1943) 및 Meyerhof(1974)의 극한지지력공식을 이용하여 극한지지력을 계산하는 것은 매우 어렵다. 현재 준설토매립지반과 같이 상부에 건조층과 하부에 연약한 준설토층이 존재하는 경우 즉 층상지반의 극한지지력을 Meyerhof & Hanna (1978)가 제안하였다.

하층지반의 깊이와 기초폭비(H/B) 값이 상대적으로 작은 경우 Fig. 1의 우측과 같이 상부 견고한 지반에서는 관입전단파괴가 발생하고, 하부 연약한 지반에서는 전반전단파괴가 발생한다. 이와 같이 가정하면 극한지지력은 식 (1)로 나타낼 수 있다. 또한 반대로 H/B값이 비교적 크면, 극한하중상태에서의 지반파괴형태는 상부의 견고한 지층에서만 발생한다. 극한지지력은 식 (2)와 같다.

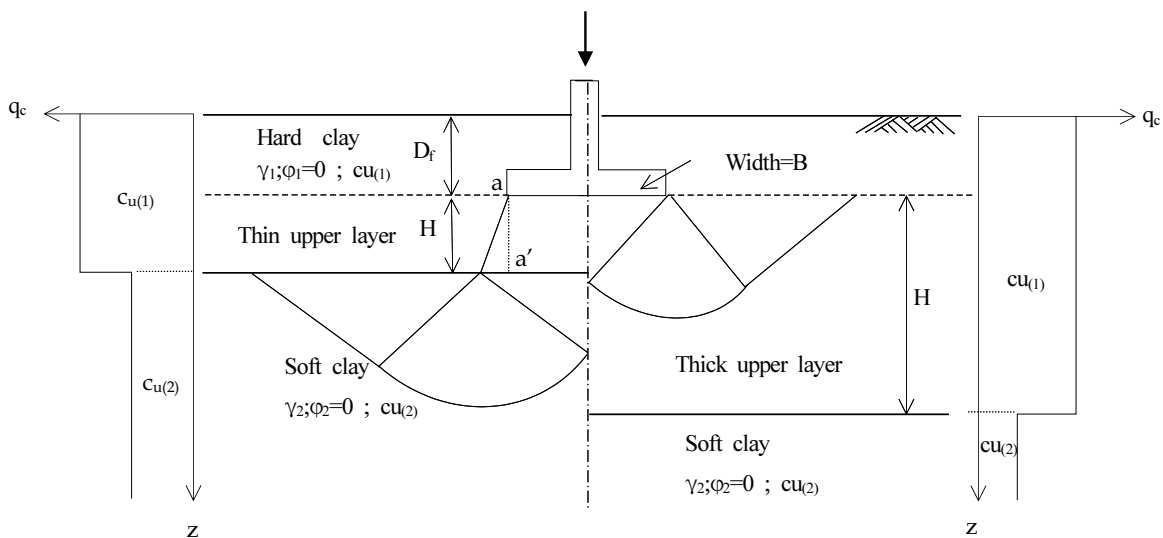


Fig. 1. Ultimate bearing capacity of soil layer in layered soils (Meyerhof & Hanna, 1978)

$$q_u = [1 + (0.2)\left(\frac{B}{L}\right)]c_{u(2)}N_c + \left(1 + \frac{B}{L}\right)\left(\frac{2c_u H}{B}\right) + r_1 D_f \quad (1)$$

$$q_u = [1 + (0.2)\left(\frac{B}{L}\right)]c_{u(1)}N_c + r_1 D_f \quad (2)$$

여기서, B=기초의 폭, L=기초의 길이, $N_c=5.14$, $c_u =$ aa'면을 따라 발생하는 점착력

2.2 준설토지반의 깊이에 따른 강도특성

상부표층이 태양이나 바람 등에 의해 증발하면서 껍질 층을 형성한다. 아래 Fig. 2는 실내에서 제작된 준설패립 지반의 콘지력 시험과를 나타낸 것이다. 30일, 60일, 90 일을 경과했을 때의 콘지력의 분포는 깊이에 따라 감소하는 일정한 경향을 보이며 경과일수가 증가함에 따라서 콘 저항곡선은 우측으로 진행함으로서 지반이 점차 강도가 증가하고 있음을 보여준다.

3. 준설토지반의 지지력의 크기에 영향을 주는 요소

3.1 지지층의 깊이

콘저항력이 점차 감소하다가 일정한 값으로 수렴하는 지점까지의 깊이를 지지층의 깊이로 가정한다. 지지층의

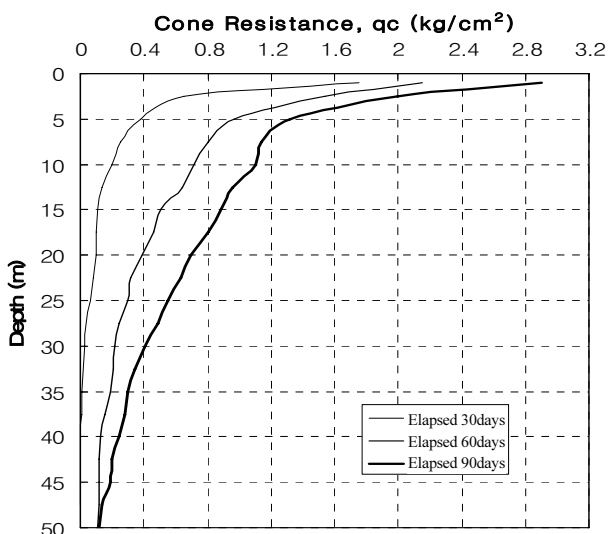


Fig. 2. The results of the cone penetration test (Lee, et al., 2002)

깊이가 깊으면 준설토지반의 지지력은 증가할 것이다.

3.2 지지층에서의 전단저항강도

준설토 지반은 건조의 정도에 따라 저항력은 달라진다. 즉 콘의 저항력이 크면 지지력은 증가하는 것으로 생각할 수 있다. 일반적으로 지반 표면에서의 콘의 저항력이 최대가 되며 최대저항력(q_c)_{max}가 크면 클수록 준설토지반의 지반의 지지력이 커진다고 가정할 수 있다.

3.3 지지삼각형

지지층의 깊이와 최대전단저항력을 두변으로 하여 이루어지는 삼각형을 지지삼각형이라 정의하였다. 즉 지지삼각형의 면적에 비례해서 준설패립지반의 지지력은 커진다는 가정이 본 실험식의 중요 개념에 속한다. Fig. 3에서 지지삼각형을 굵은 실선으로 표시하였는데 지지력식의 도출을 위한 지지삼각형을 다음과 같이 정의하였다.

첫째, 지지삼각형의 한변은 최대 콘지력값, (q_c)_{max}로 가정한다. 둘째, 지지삼각형의 다른 한변은 콘지력값이 일정한 값으로 수렴되는 지점의 깊이, (Z) _{q_c const}로 가정한다. 셋째, 지지삼각형의 면적은 다음 식 (3)으로 계산한다.

$$A_{TRI} = \frac{(q_c)_{max} (Z)_{q_c const}}{2} \quad (3)$$

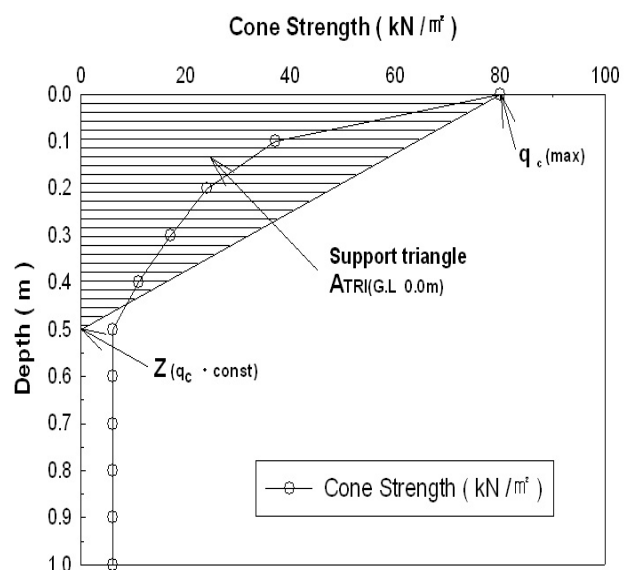


Fig. 3. The concept of the Support triangle

4. 준설토지반의 지지력을 구하는 실험식의 제안

Fig. 3에서는 지지삼각형과 지표면에서 10cm깊이 간격으로 콘지지력시험을 실시한 결과를 보여준다. 준설토지반 표면에서는 82kN/m²로서 콘 저항력이 크지만 지중으로 깊어질수록 그 값은 작아지다가 깊이 50cm지점부터는 약 6kN/m²로서 일정한 값을 보인다. 현장에서 콘 저항력 시험결과만을 가지고 준설토지반의 극한지지력을 구하는 실험식을 아래와 같이 제안하고자 한다.

$$q_u = F [(q_c)_{\max}, (Z)_{q_c \text{ const}}] = F [(A_{TRI})] \quad (4)$$

즉,

$$q_u = k_1 + k_2 \cdot (A_{TRI}) + k_3 \cdot (A_{TRI})^2 \quad (5)$$

본 연구에서는 현장시험을 통해서 지지력 상수 k₁, k₂, k₃를 결정하였다. 또한 상부재하중 폭의 영향을 검토하기 위해 재하폭, B를 달리하여 B가 극한지지력에 영향을 미치는가를 검토하며 영향을 미치는 경우 실험식을 보정하고자 하였다.

$$(q_u)_{\text{mod}} = F [(q_u)_1, B] \quad (6)$$

따라서, 위의 과정을 거치면 실험식을 이용하여 준설토지반의 극한지지력을 구할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 지지력 상수를 구하기 위한 현장시험

5.1 현장평판재하시험

준설토 지반개량방법은 다양하며, 연약지반의 깊이나 강



Photo 1. Plate loading test apparatus

도에 따라 공법이 달라진다. 지반의 강도가 클수록 경제적인 설계가 가능하겠지만, 매립지반에 대한 정확한 지지력시험 자료가 없다면 기존의 방법에 의해서 준설토지반의 지지력을 구하는 것은 어렵다는 것이 자명하다. 따라서 본 연구에서는 해성 준설토지반에 직접 정적인 하중을 가해서 지지력을 구하는 정적 평판재하시험장치를 개발하였다.

Photo 1과 Fig. 4는 본 연구에서 개발된 정적 평판재하시험장치를 나타낸 것이다. 재하장치의 재하판은 직경이 각각 10cm, 15cm 및 20cm로 두께가 12mm의 강재원판을 사용하였으며, 평판재하시험시 재하판의 영향을 최소화하기 위하여 지지대 기초크기를 가로세로 50cm×50cm로 제작하였다. 기존 평판재하시험과 달리 재하판은 D300mm, 400mm, 750mm중 선택하여 사용하지만, 준설토 매립지반의 특성을 고려하여 20cm 이내로 제작하였다.

재하판의 침하량을 측정하기 위해 다이얼게이지를 부착하였으며, 재하중은 재하추 0.64kg (B=10cm)와 2.90kg (B= 20cm)을 단계적으로 쌓아올려 재하하였다. 즉 재하추를 단계적으로 재하판위에 올려서 하중을 가하는 방법으로 재하시켰으며, 하중(재하추)의 크기와 침하량을 기록한 실험결과로부터 해성준설토지반의 지지력을 평가하였다. 여기서 단계하중 재하시간은 기존 평판재하시험과 같이 최소 15분이상, 침하량이 1/100mm이하가 될 때까지 실시하였다.

5.2 현장 평판재하시험조건

준설토지반이 존재하는 현장은 준설투기후 경과시간에 따라서 표층의 두께가 다르다. 즉 준설투기후 경과시간이 짧은 경우, 지지삼각형의 면적은 작을 것이며, 반대로 경과시간이 길면 지지삼각형의 면적은 커진다. 현장재하시험을 통해서 제안된 실험식의 계수를 얻기 위해서는 다양

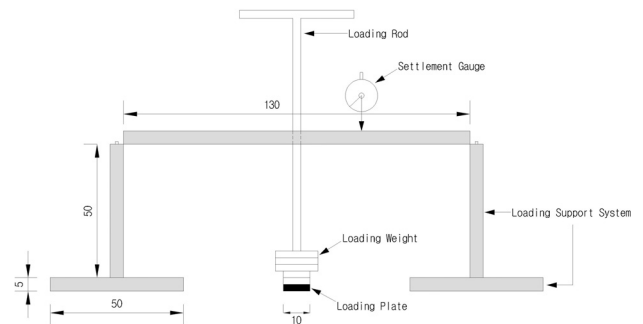


Fig. 4. Schematics of the plate loading test apparatus (unit:cm)

Table 1. Test conditions of the plate loading test

Test type	Test condition		Remarks
	Plate diameter (B)	Excavation depth (Z)	
Test - 1	10cm	0cm	- Constant plate diameter - Change support triangle area
Test - 2	"	5cm	
Test - 3	"	10cm	
Test - 4	"	15cm	
Test - 5	15cm	0cm	
Test - 6	"	5cm	
Test - 7	"	10cm	
Test - 8	"	15cm	
Test - 9	20cm	0cm	
Test - 10	"	5cm	
Test - 11	"	10cm	
Test - 12	"	15cm	

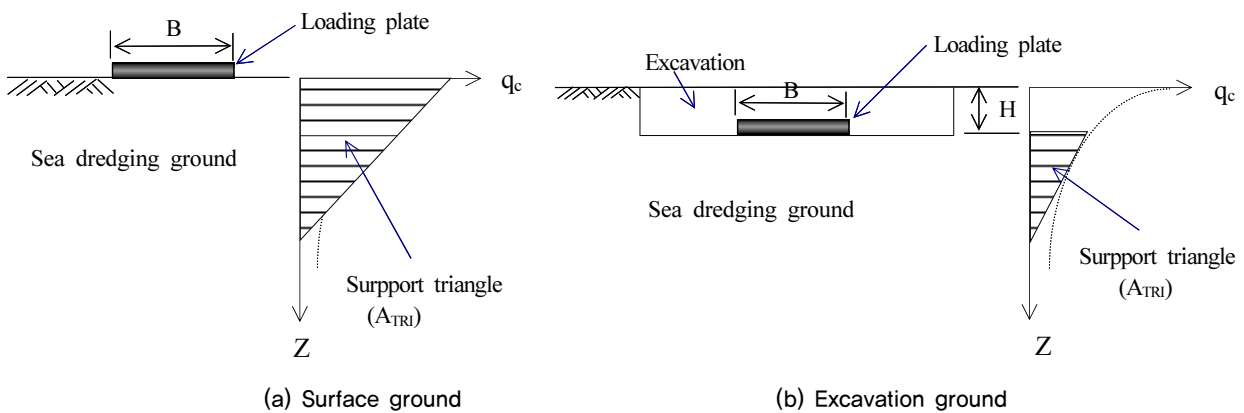


Fig. 5. Comparison of plate loading test type in dredged and reclaimed ground

한 지반위에서의 재하시험과 그 지점에서의 콘지지력시험이 필요하다. 그러나, 표층의 두께가 얇을 경우 사람이나 장비의 접근이 어려워서 재하시험은 사실상 불가능하다.

본 연구에서는 표층의 두께를 다양화 하는 방법으로 굴착이라는 방법을 사용하였으며, 사람이나 장비인입이 충분한 지반에서 재하시험을 실시하였다. Table 1은 평판재하시험을 조건을 나타낸 것이며, Fig. 5는 현장평판재하시험 모식도를 나타낸 것이다.

실험결과들은 굴착깊이가 클수록 표층의 두께가 작아지는 결과를 얻으며, 즉 지지삼각형의 크기는 작아진다. 또한 이에 따른 평판재하시험결과로부터 가정된 극한지지력을 구할 수 있어서 콘지지력시험결과에서 구한 지지삼각형의 면적과 극한지지력사이의 관계식을 구할 수 있게 된다.

5.3 시험방법

본 해성준설토지반의 지지력평가를 위한 현장평판재하

시험에 대한 시험방법 및 순서는 다음과 같으며, Photo 2 과 3, 4는 재하깊이가 G.L(-)10.0cm인 경우 현장재하시험 광경을 순서대로 정리한 것이다.

- (1) 해성준설토지반에 대한 시험위치를 결정한 후, 재하 위치가 지표면인 경우 약간의 모래로 지반을 정돈한 다음 재하판을 설치한다. 하지만 Photo 2,3에서와 같이 재하깊이가 지표면 이하인 경우에는 재하깊이 까지 터파기를 실시한 후 기초모래를 부설하고 재하판을 설치한다.
- (2) 재하판을 설치한 후 나머지 재하대, 다이얼게이지, 로드고정장치등 평판재하시험장치를 Setting한다.
- (3) 인근 재하시험의 영향을 최소화하기 위하여 시험위치간의 거리는 최소 1m이상 유지하여 재하시험을 행한다.
- (4) 재하추를 단계적으로 재하판위에 올려서 하중을 가하는 방법으로 재하시킨다.



Photo 2. Excavation

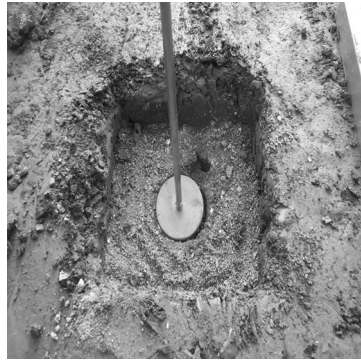
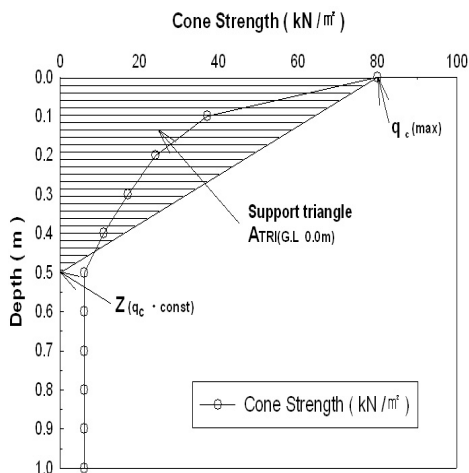


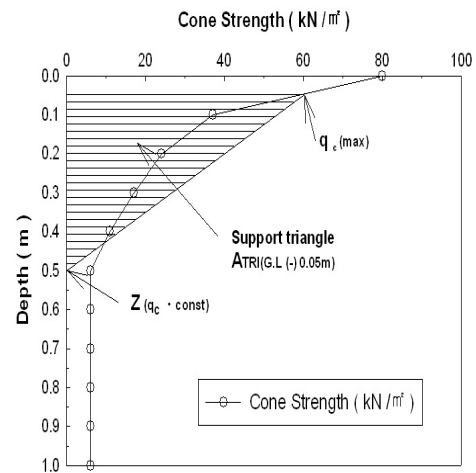
Photo 3. Loading plate install



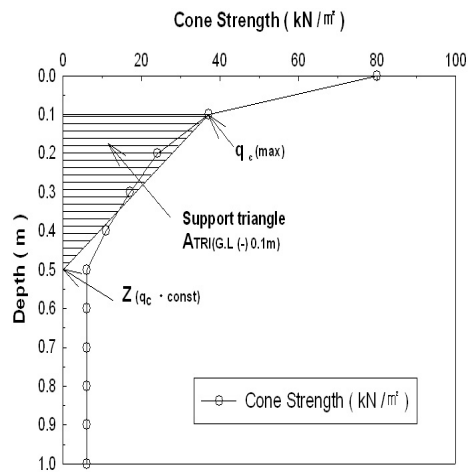
Photo 4. Step-by-step loading



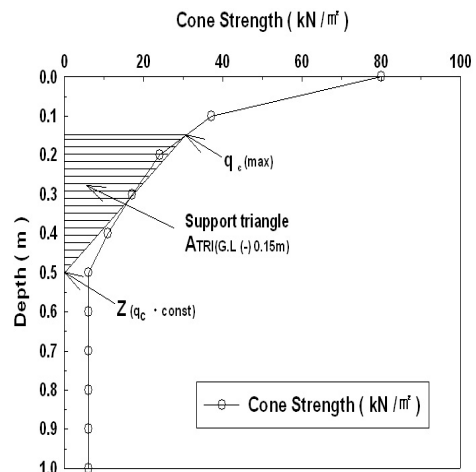
(a) Loading depth G.L = 0.00m



(b) Loading depth G.L = (-)0.05m



(c) Loading depth G.L = (-)0.1m



(d) Loading depth G.L = (-)0.15m

Fig. 6. Area of the support triangle according to loading depth

- (5) 하중(재하추)의 크기와 침하량을 기록한다.
- (6) 실험결과로부터 해성준설토지반의 지지력을 평가한다.

5.4 지지삼각형의 면적 계산

준설매립지반의 현장에서 콘저항시험을 실시하였으며,

콘관입결과로부터 지지삼각형의 면적을 계산하였다. Fig. 6의 (a)는 지표면에서 재하시험을 행한 경우, 이에 상응하는 지지삼각형의 면적이며, 그림 6의 (b), (c), (d)는 지표면에서 각각 5cm, 10cm, 15cm 굴착한 후 재하시험을 행한 경우는 그에 상응하는 지지삼각형의 면적이다.

6. 실험결과 및 고찰

Fig. 7은 본 연구에서 제작한 실험장치를 이용하여 재하판의 직경이 10cm일 때 현장평판재하시험을 행한 결과를 나타낸 것이다. 초기에는 침하 증가에 따른 지지력의 증가가 크지만 점차 그 기울기는 감소하지만 peak는 보이지 않는다. 따라서, 극한지지력을 정확하게 정의하는 것이 어렵다. 본 연구에서는 평판재하시험 결과분석방법(KS F 2444, ASTM D 1194)에서와 같이 침하를 기준할 경우 재하판의 10% 침하가 발생할때를 극한지지력으로 정의하였

다. 본 현장실험에서는 재하판의 직경이 10cm, 15cm, 20cm이므로 Fig. 7, 8, 9에서 각각 10mm, 15mm, 20mm 지점에서의 지지력을 각각의 극한지지력으로 가정하였다.

Table 2는 재하위치 및 재하판의 직경에 따른 현장평판재하시험을 실시한 결과를 정리한 것이다. 실험결과 재하위치가 깊어질수록 극한지지력이 감소하며, 재하판의 직경이 10cm이고 재하위치가 지표하 15cm일 경우에는 준설토 매립지반이 매우 연약하여 극한지지력을 추정하기 어렵다. 또한 재하판의 직경이 20cm이고 재하위치가 지표면일 경우에는 많은 재하중이 필요하기 때문에 정확한 극

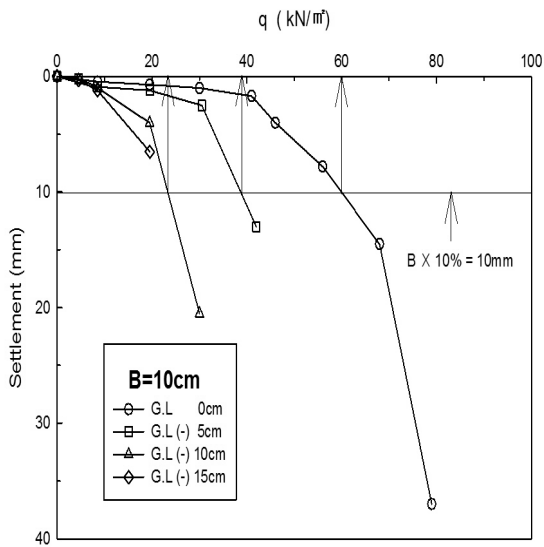


Fig. 7. Results of plate loading test according to loading depth (B=10cm)

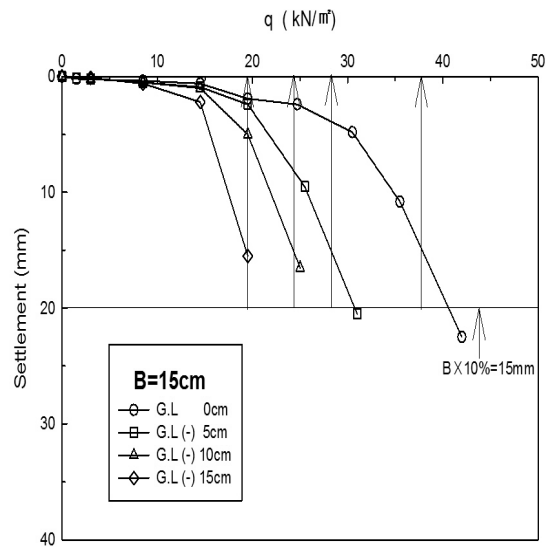


Fig. 8. Results of plate loading test according to loading depth (B=15cm)

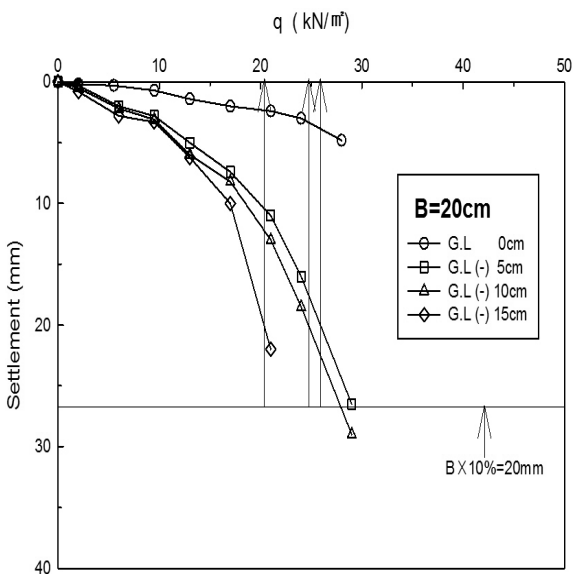


Fig. 9. Results of plate loading test according to loading depth (B=20cm)

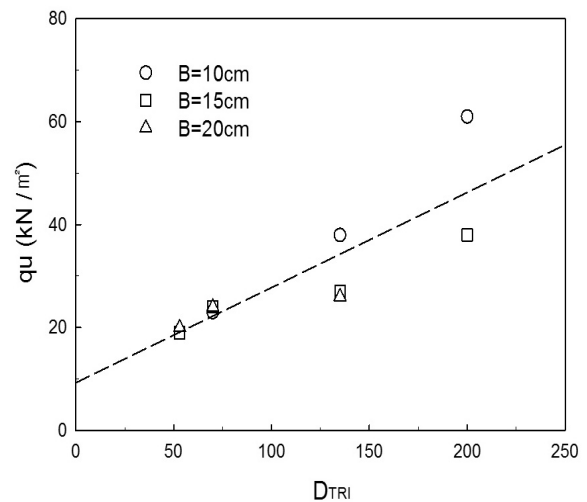


Fig. 10. Relation curve between support triangle and Ultimate bearing capacity

Table 2. Loading plate load test results according to the loading depth

Test. No	Test Conditions		Test Results			
	Plate Width (cm)	Excaving Depth (cm)	$q_{c(max)}$ (kN/m ²)	$Z_{qcconst}$ (m)	$A_{TRI} \times 100$ (m ²)	q_u (kN/m ²)
T-1	10	0	80	0.50	200	61
T-2		5	60	0.45	135	38
T-3		10	35	0.40	70	23
T-4		15	30	0.35	53	-
T-5	15	0	80	0.50	200	38
T-6		5	60	0.45	135	27
T-7		10	35	0.40	70	24
T-8		15	30	0.35	53	19
T-9	20	0	80	0.50	200	-
T-10		5	60	0.45	135	26
T-11		10	35	0.40	70	24
T-12		15	30	0.35	53	20

한지지력을 추정하기가 매우 어렵다. 그리고 재하깊이가 G.L 0cm와 5cm일 경우 극한지지력이 재하위치와 재하판의 직경에 따라 다르게 나타나고 있지만, 재하깊이가 G.L 10cm와 15cm일 경우 극한지지력이 일정한 값을 나타내고 있다.

현장 평판재하시험결과에서와 같이 평판의 크기가 증가할수록 그리고 재하깊이가 깊어질수록 극한지지력은 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 준설매립지반의 특성인 표면건조층(crust)의 두께에 따른 영향이라 판단되며, 표면건조층의 하부는 연약한 준설매립지반층이 형성되어 있기 때문이다. 즉 준설매립지반과 같이 연약한 점성토지반일 경우 극한지지력은 기초크기와 무관하다는 이론적인 근거와 일치하고 있음을 보여주고 있다.

Table 2에서 지지삼각형(A_{TRI})은 실험식을 간편화하기 위하여 상수 100을 곱하여 지지삼각형의 면적을 D_{TRI} 로 수정하여 계산하였다.

Fig. 10은 평판재하시험으로부터 구한 극한지지력과 지지삼각형의 면적관계를 나타낸 것이다. 그림과 같이 지지삼각형의 면적이 증가할수록 극한지지력은 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 따라서 준설토지반의 극한지지력은 아래 식 (8)을 이용하여 구할 수 있을 것이다. 따라서 상기의 식 (5)으로부터 제안된 실험식의 지지력상수 k_1 과 k_2 를 구하면, 지지력상수 k_1 은 9.28이고, k_2 는 0.185이다.

$$D_{TRI} = A_{TRI} \times 100 \quad (7)$$

$$q_u = 0.185 D_{TRI} + 9.28 \quad (8)$$

7. 결론

본 연구에서는 콘관입시험결과에 의한 준설토 지반의 극한지지력을 예측할 수 있는 실험식을 얻기 위해 실제 매립되어 있는 준설토 매립지반을 대상으로 콘관입시험과 현장재하시험을 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 해성준설토지반에 직접 정적인 하중을 가해서 지지력을 구하는 정적 평판재하시험장치를 개발하였다. 그리고 개발된 시험장치를 이용하여 현장에서 재하시험을 실시한 결과 본 시험장치가 연약지반현장에서 간편하게 극한지지력을 구할 수 있는 시험장치로서 사용될 수 있음을 확인하였다.
- (2) 현장 평판재하시험결과 평판의 크기가 증가할수록 그리고 재하깊이가 깊어질수록 극한지지력은 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 준설매립지반의 특성인 표면건조층(crust)의 두께에 따른 영향이라 판단되며, 표면건조층의 하부는 연약한 준설매립지반층이 형성되어 있기 때문이다.
- (3) 준설토지반에 대한 콘관입시험결과는 준설토 표면에서는 82kN/m²로서 콘 저항력이 크지만 지중으로 깊어질수록 그 값은 작아지며, 깊이 50.0cm지점부터는 약 6kN/m²로서 일정한 값을 나타낸다. 즉 콘지지특성은 역삼각형 형태로 점차 저항력이 작아지는 형태이다.
- (4) 콘관입시험 및 평판재하시험결과로부터 해성준설토 지반의 극한지지력을 구하는 식을 다음과 같이 제안하였다.

$$q_u = 0.185(A_{TRI}) + 9.28(\text{Unit : kN/m}^2)$$

References

1. ASTM D1194 (2003), 'Standard Test Method for Bearing Capacity of Soil for Static Load and Spread Footings', *American Society for Testing and Materials*.
2. KS F 2444 (1990), 'Testing method for bearing capacity of soil for static load on spread footings', *Korean Standards Association*.
3. Lee, Y. M. and Yoo, G. S. (2002), 'Scale Design on Containment Area and Self-Weight Consolidation in Dredged Clay', *Hyundai Institute of Construction Technology*.
4. Meyerhof, G. G. (1974) "Ultimate Bearing Capacity of Footings on Sand Layer Overlying Clay", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.11, No.2, pp.224-229.
5. Meyerhof, G.G., and Hanna, A. M (1978), 'Ultimate Bearing Capacity of Foundations on Layered Soil under Inclined Load' *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.15, No.4, pp.565-572.
6. Terzaghi, K. (1943), *Theoretical Soil Mechanics*, Wiley, New YORK.