

백령도 사곶해수욕장의 지지력에 관한 연구

A study on bearing capacity of Sagot beach in Baekryong island

박상산¹⁾, Sang San Park, 조남준²⁾, Nam Jun Cho

¹⁾ 국민대학교 대학원 건설시스템공학부 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil & Environ Eng, Kookmin Univ.

²⁾ 국민대학교 건설시스템공학부 부교수, Associate Prof, Dept. of Civil & Environ Eng, Kookmin Univ.

SYNOPSIS : 본 논문에서는 백령도 사곶해수욕장의 지반지지력 변화를 알아보고자, 평판재하시험(이하 PBT로 표시함)을 실시하였다. 시험에서 얻어진 데이터는 최대극률법, logP-logs법, P- Δ s/ Δ (logt)법을 종합적으로 분석 검토하여 결과값을 산출하였고, 시료를 채취하여 실내실험을 한 결과 통일분류법상 SP의 상태를 나타내었다. 재하시험과 실내실험의 데이터를 비교 분석한 결과, 물다짐의 상태에 따라 침하량의 차이가 2배 가까이 차이를 보였으며, 물다짐이 이루어진 곳의 침하량값이 작고, 허용지지력이 높은 것으로 산출 되었다.

Key words : PBT, 물다짐, 허용지지력

1. 서 론

사곶은 인천광역시 옹진군 백령면 백령도에 위치한 해수욕장으로, 백사장은 세계에서 두개뿐인 천연비행장(천연기념물 제391호)이다. 길이가 약 4km이며 썰물 때에는 300m이상의 단단한 도로가 생겨 차도로도 사용되고, 군 수송기의 이착륙도 가능하다. 본 논문에서는 최근 사곶해수욕장 주변에 신항만이 건설되는 관계로 천연기념물인 사곶해수욕장에서의 지반강도 변화를 알아보기 위해서 평판재하시험을 실시하였다.

2. 본 론

2.1 백령도 사곶해수욕장의 평판재하시험

백령도 사곶해수욕장의 기초지반에 대한 지지력 및 침하량을 확인하기 위하여 현장여건 등을 고려하여 평판재하시험 5개소를 실시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 시험방법은 KS F-2444(확대 기초에서 정적하중에 대한 흙의 지지력 시험방법)의 규정을 적용하였으며, 기타사항은 ASTM D1194-72, JGS 1521-1993 규정을 참조하였다. 시험은 Single type stress control method, Constant time interval method 에 의하여 실시하였고, 항복하중은 ①최대극률법, ②logP-logs법, ③ P- Δ s/ Δ (logt)법을 종합적으로 분석 검토하여 산정하였다. 재하시험 결과에 의해 허용지지력은 (항복하중 \times 1/2)이하로 산출하였다. 사용된 장비로는 Dump(자체용량15.0ton)1대, Hydraulic-Jack(30ton용량)1조, Dial Indicator(1/100mm)2개, Magnetic-Holder 2개, Stop-Watch 1개, 재하판(ϕ 30 \times 30cm, t=30mm) 1개, 기타 부대장비 1식 이다.

2.2 평판재하시험 시험방법

평판재하시험을 시행하기 위한 제반준비가 끝나면 재하판을 지반에 밀착시키기 위하여 약간의 압력 ($4.9\text{KN}/\text{m}^2$, Singh, 1981)을 재하판에 가했다가 제거한 후 Dial Indicator의 영점을 조정한다. 재하판에 하중을 가하는 방법은 여러 가지가 사용되고 있으나 본 시험에서는 하중을 일정하게 증가시키며 침하량을 측정하는 등시차재하법을 사용하였다. 이때 침하량 측정은 재하 직후 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20분마다 측정하고, 각 단계별로 침하량의 증분이 거의 정지되었다고 판단될 때 이를 종료시점으로 하였다. 또한 시험을 최종적으로 종료하는 조건은 Singh의 종료조건을 적용, 침하량이 25mm 이상 되었을 경우, 시험을 종료하였다.

2.3 시험위치 및 개소선정

백령도의 사곶해수욕장의 위치를 그림1에 나타내었다. 시험위치는 그림2에 나타내었듯이, 백령도 사곶해수욕장의 해변 중앙을 기준으로 상·하 세 지점을 선정하였다. 시험당시의 현장여건은 다음과 같다. PBT-1지점은 물다짐이 이루어 지지 않은 지점이었고, PBT-2, PBT-3지점은 물다짐이 이루어진 지점이었다. 나머지 두 지점은 현장조사결과, 담수호 주변의 지반이 연약하다고 판단하여, 재하차량의 진입 가능한 곳 두 지점을 PBT-4, PBT-5지점으로 선정 하였다.

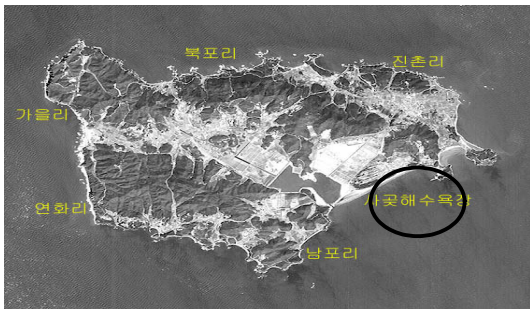


그림 1. 백령도 전경

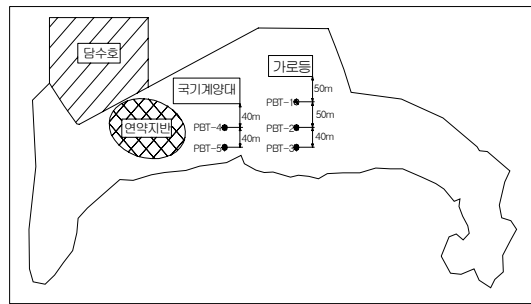


그림 2. 시험위치 및 개소선정

2.4 시험결과 분석방법

평판재하시험은 기초 지반의 지지력과 침하특성을 측정하기 위한 시험으로서 시간-침하량, 하중-침하량 관계를 구할 수 있으며, 리바운딩을 한 경우에는 하중에 따른 탄성변형 및 잔류변형을 측정할 수 있다. 그림3은 대표적인 기초지반의 파괴형태이며, 그림4는 하중-침하곡선을 나타내었다.

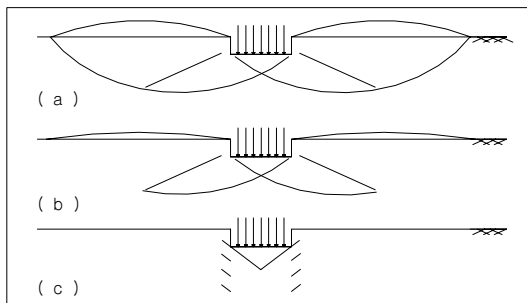


그림 3. 기초지반의 파괴형태

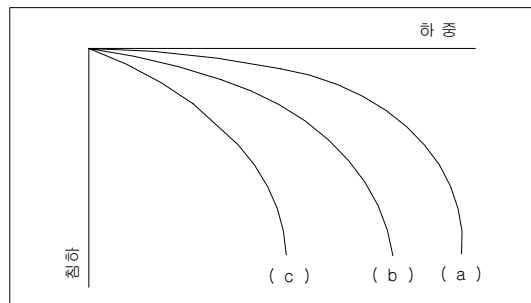


그림 4. 하중-침하곡선

그림3의 (a)는 전반전단파괴의 형상을 나타 낸 것이다. (a)는 압축성이 작은 사질토 지반이나 굳은 점토지반에서 볼 수 있는 기초파괴 형태로서 뚜렷한 항복점을 갖는 전단파괴인 경우이다. (b)는 국부전단파괴의 형상을 나타 낸 것이다. (b)는 압축성이 큰 점토지반에서 볼 수 있는 항복점이 분명하지 않은 전단파괴 형태이다. 이러한 경우에는 침하량이 많으므로 대부분 침하량이 25mm를 초과하여 발생된다. (c)는 관입전단파괴의 형상을 나타 낸 것이다. (c)는 지반의 압축성이 매우 클 때 발생하며, 이러한 경우에 평판재하시험을 행하는 경우는 매우 드물다. 그림3, 그림4에 나와 있는 바와 같이 극한하중을 구하기는 간단하지만, 항복하중을 찾아내기는 쉽지 않다. 항복하중을 구하는 방법으로, 최대곡률법, logP-log s 법, P- $\Delta s/\Delta(\log t)$ 법, 등이 있다.

1) 최대곡률법

그림4의 하중-침하량 곡선에서 보듯이 곡선초기에서 초기 직선 부분과 후기 직선 부분의 접선으로 이루어진 교점, 즉 최대곡률점을 찾아, 이 점을 항복점으로 간주하는 방법이다. 양끝부분에서 직선부분이 잘 형성되지 않을 경우에는 사용하기 어려운 방법이다.

2) logP-log s 법

하중과 침하 관계를 대수눈금에 그리면 절점이 발생한다. 이점을 항복점으로 간주하는 방법으로서 항복하중을 구하는 방법 중에서는 가장 신뢰도가 높은 방법으로 알려져 있으며, 실제로 많이 사용되고 있다.

3) P- $\Delta s/\Delta(\log t)$ 법

종축에 $\Delta s/\Delta(\log t)$ 를, 횡축에 하중 P를 그리면 항복점에서 절점이 생긴다. 이때 시간 간격을 취하는 범위에 따라 절선이 조금씩 차이가 생기는데 지반의 초기침하와 압밀침하의 비에 따라 절선의 모양이 결정된다.

2.5 각 위치별 시료의 특성

각 지점의 시료에 대해서 실내실험을 실시하고, 통일분류법을 이용하였다. 그림 5의 입도분포시험에서 $D_{10}=0.27$, $D_{30}=0.24$, $D_{60}=0.22$ 의 평균값을 산출하였다. 균등계수(C_u)와 곡률계수(C_z)를 구한결과, $C_u=0.81$, $C_z=0.97$ 의 값을 얻었다(입도불량). 그림6에서 다짐곡선이 평평하고, 최대값이 분명하지 않음을 알 수 있다(입도불량). 표1에서는 최대건조밀도가 입도가 좋을때의 $20.384KN/m^3$ 의 평균값 보다 작은 값을 나타내었다(입도불량). 위의 결과를 이용, 통일분류법상, SP로 분류됨을 알 수 있다.

표 1. 시료토의 기본특성

구분	비중 (G_s)	최대건조밀도 (γ_{dmax}) KN/m^3	최적함수비 (O.M.C)%	다짐방법
PBT-1	2.72	15.092	14.12	KS F 2312A
PBT-2	2.84	14.994	17.75	KS F 2312A
PBT-3	2.89	14.700	16.74	KS F 2312A
PBT-4	2.71	14.700	14.75	KS F 2312A
PBT-5	2.81	14.896	17.60	KS F 2312A

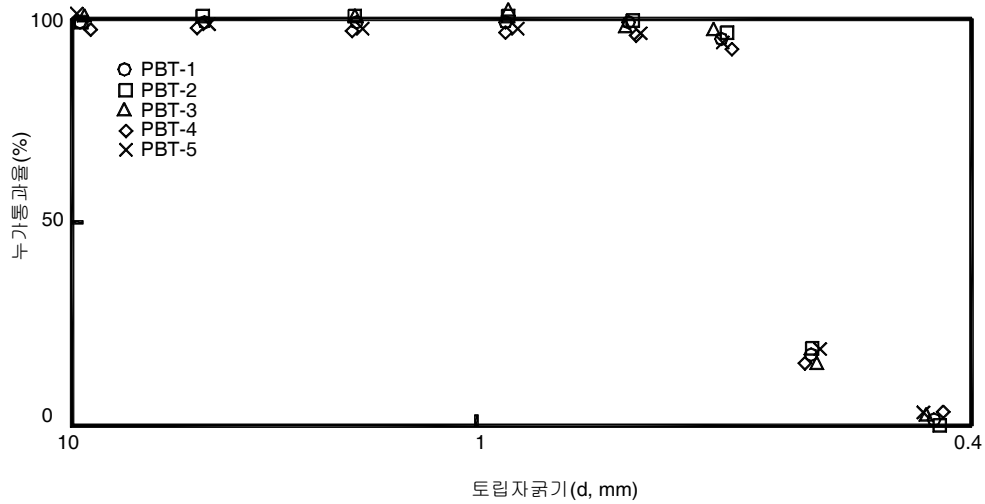


그림 5. 입도분포곡선

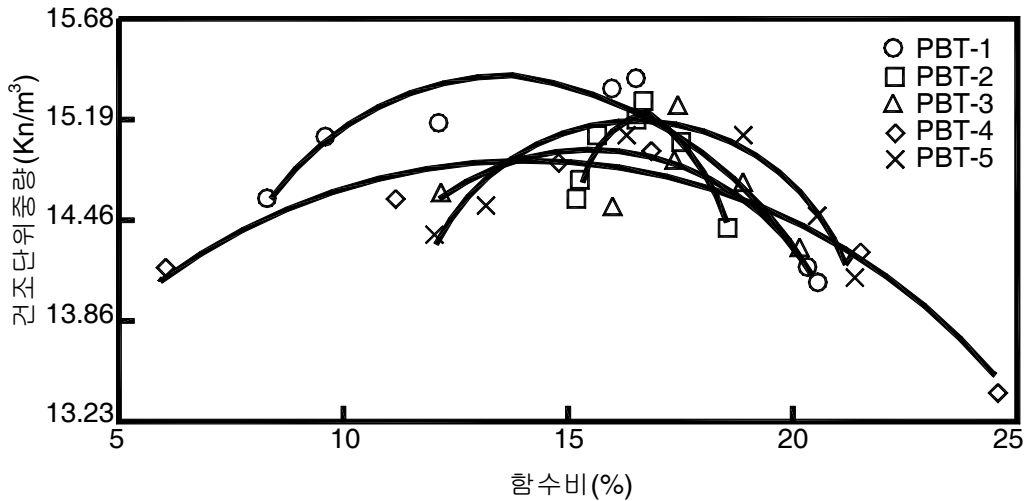


그림 6. 다짐분포곡선

2.6 각 시험위치의 재하하중

표 2. 하중재하의 단계별 구분 (각 시험위치에 동일)

LOAD STEP	실하중(KN)		LOAD STEP	실하중(KN)	
	환산하중(KN/m ²)			환산하중(KN/m ²)	
1	19.6	277.340	2	39.2	555.464
3	58.8	832.314	4	78.4	1109.654
5	98.0	1387.09	6	78.4	1109.654
7	58.8	832.314	8	39.2	555.464
9	19.6	277.340	10	0	0

지반이 항복 할 때까지 하중을 가하여, 최대재하하중을 결정하기 위해, 그림7과 같이 시험 하중재하를 실시하였다. 각 시험위치에서의 최대재하하중은 실하중 98KN에 환산하중 1387.09KN/m²을 재하하여 실험 하였으며, 리바운드를 포함하여, 각 10회로 나누어 실험하였다. 실제 하중재하시험 모습은 그림8에 나타내었다. 하중재하를 단계별로 구분하면 표2와 같다.



그림 7. 시험 하중재하



그림 8. 실제 하중재하

2.7 항복하중 산정법의 데이터 분석

2.7.1 최대곡률법

그림9는 각 지점의 데이터 값을 하중과 침하량으로 나타낸 그래프이다. 항복하중의 최대값은 PBT-2 지점에서, 1065.26 KN/m^2 의 값을 나타내었다. 최소값은 PBT-1지점에서 926.10 KN/m^2 의 값을 나타내었다. PBT-4와,PBT-5는 980 KN/m^2 의 같은 값을 나타내었다. 최대곡률법으로 항복하중을 산정한 결과의 값은 표3과 같다.

표 3. 최대곡률법 산정 결과

시험위치	항복하중 (KN/m^2)	침하량(mm)
PBT-1	926.10	4.40
PBT-2	1065.26	4.60
PBT-3	1029.00	4.25
PBT-4	980.00	4.00
PBT-5	980.00	4.00

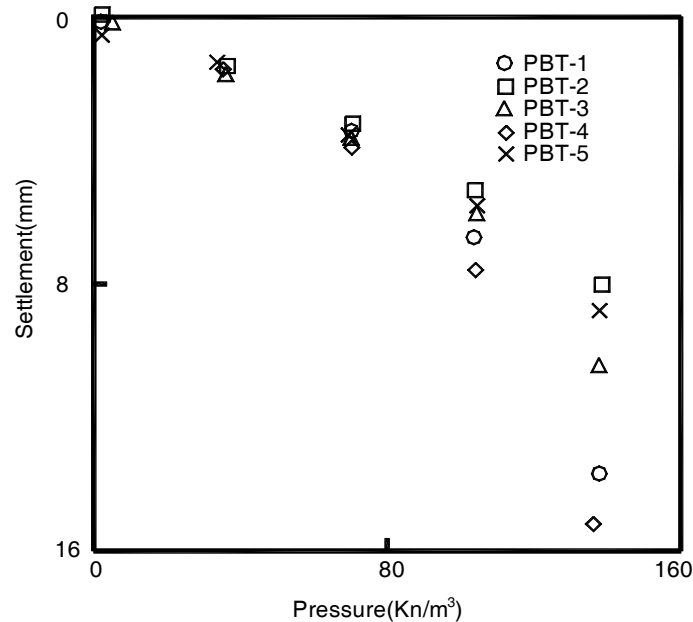


그림 9. P - S 관계도

2.7.2 logP-log s 법

그림10은 각 지점의 데이터 값을 하중과 침하량으로 나타낸 그래프이다. 항복하중의 최대값은 PBT-1,PBT-4지점에서, 각각 980 KN/m^2 의 값을 나타내었다. 최소값은 PBT-5지점에서 774.2 KN/m^2 의 값을 나타내었다. PBT-2,PBT-3지점은 그래프에서 절선이 생기지 않아, 결과값이 산출되지 않았다. logP-log s 법으로 항복하중을 산정한 결과의 값은 표4와 같다.

표 4. logP-log s 법 산정 결과

시험위치	항복하중(KN/m^3)	침하량(mm)
PBT-1	980.0	6.6
PBT-2	-	-
PBT-3	-	-
PBT-4	980.0	6.5
PBT-5	774.2	2.8

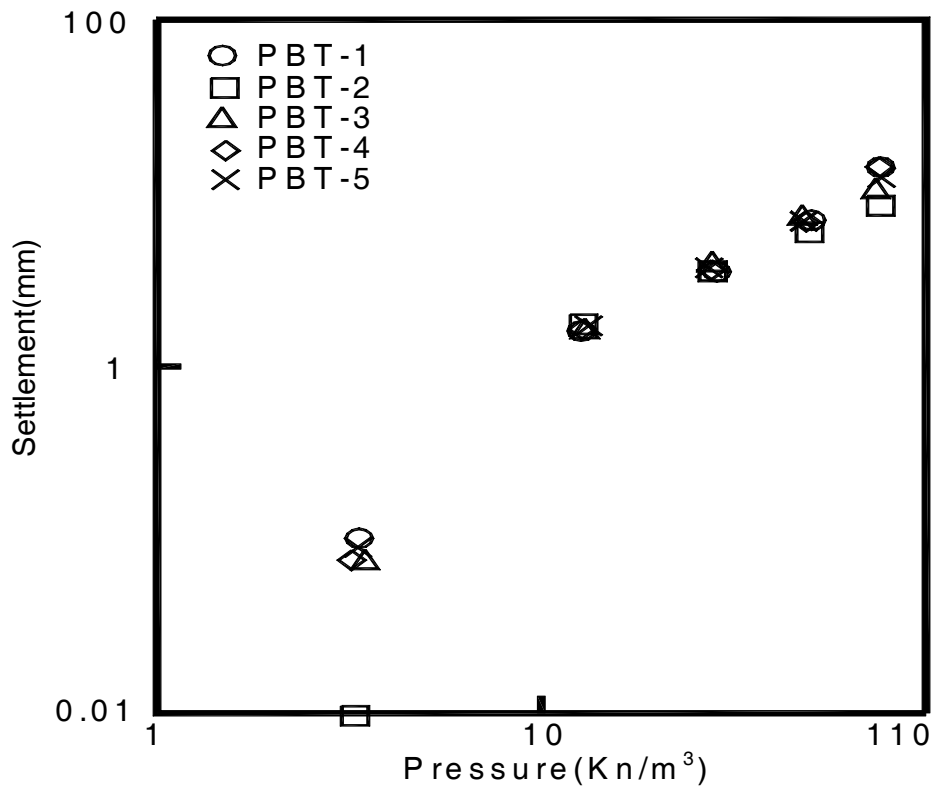


그림 10. logP-log s 관계도

2.7.3 P- $\Delta s/\Delta$ (log t)법

그림11은 각 지점의 데이터 값을 하중과 침하량으로 나타낸 그래프이다. 항복하중의 최대값은 PBT-2,PBT-3지점에서, 1053.5 KN/m^2 의 값을 나타내었다. 최소값은 PBT-5지점에서 950.6 KN/m^2 의 값을 나타내었다. PBT-1과,PBT-4은 각각 1019.2 KN/m^2 과 1042.7 KN/m^2 의 값을 나타내었다. P- $\Delta s/\Delta$ (log t)법 항복하중을 산정한 결과의 값은 표5와 같다.

표 5. P- $\Delta s/\Delta(\log t)$ 법 산정 결과

시험위치	항복하중(KN/m^3)
PBT-1	1019.2
PBT-2	1053.5
PBT-3	1053.5
PBT-4	1042.7
PBT-5	950.6

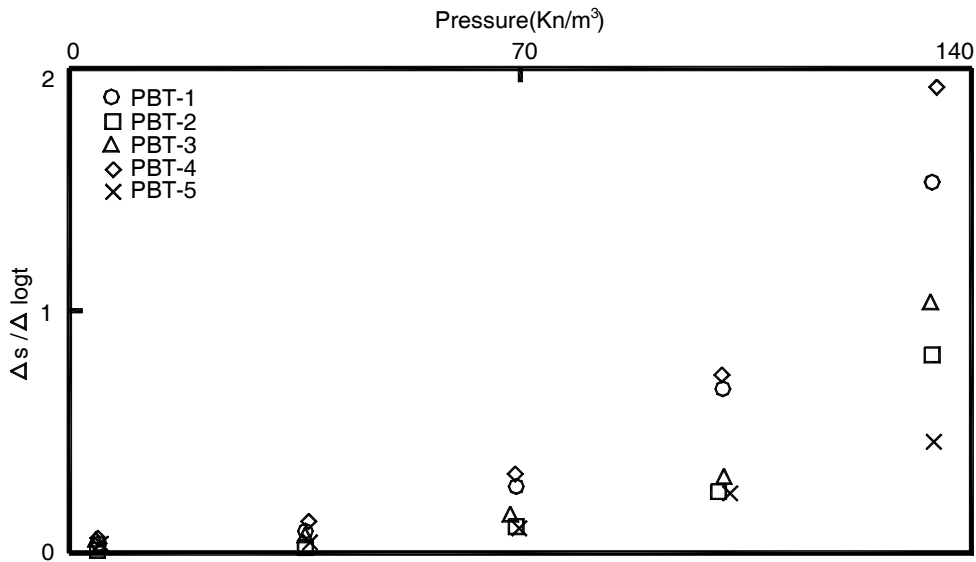


그림 11. P- $\Delta s/\Delta(\log t)$ 관계도

2.8 평판재하시험 결과표

위의 평판재하시험 실험결과를 표5에 정리 하였다.

표 5. 평판재하시험 결과표

구분	최대재하하중		항복하중에 의한 분석법						허용 지지력 (KN/m^2)
	실하중 (KN)	환산하중 (KN/m^2)	최대곡률법		LogP - LogS		P- $\Delta S/\Delta(\log t)$	평균 항복하중 (KN/m^2)	
			항복하중 (KN/m^2)	침하량 (mm)	항복하중 (KN/m^2)	침하량 (mm)	항복하중 (KN/m^2)		
PBT-1	98/1387.09	13.64	926.10	4.40	980.0	6.6	1019.20	975.10	487.55
PBT-2	98/1387.09	8.02	1065.26	4.60	-	-	1053.50	1059.38	529.69
PBT-3	98/1387.09	10.31	1029.00	4.25	-	-	1053.50	1041.74	520.87
PBT-4	98/1387.09	15.14	980.00	4.00	980.0	6.5	1042.72	1000.58	500.29
PBT-5	98/1387.09	8.61	980.00	4.00	774.2	2.8	950.60	901.60	450.80

3. 결론

본 논문에서는 새로 건설되는 신항만으로 인하여, 천연기념물인 백령도 사곶해수욕장 지반의 지지력 변화를 알아보려고 조사하였다. 본 실험에서 결과는 다음과 같다.

1. PBT-2, PBT-3지점은, 간조시 물다짐으로 인해, 상대적으로 물다짐이 이루어 지지 않은 PBT-1지점보다, $4\sim 5\text{ tf/m}^2$ 정도의 차이를 보임을 알 수 있었다.
2. PBT-2, PBT-3지점을, logP-log σ 법으로 해석한 결과, 결과 값을 산출 할 수 없었다. 이는 지반의 강도가 클수록, logP-log σ 법상의 그래프에, Plot된 점의 분포가, 완만하다는 것을 알 수 있었다.
3. 본 실험에서 PBT-2, PBT-3에 비해 PBT-4의 허용지지력이 작으며, PBT-4에 비해 PBT-5의 허용 지지력이 현저히 낮음을 알 수 있었다. PBT-5지점이 물다짐이 이루어짐에도 불구하고, 연약지반의 생성분포가 육지안쪽에서부터, 해안쪽으로 이동한다고 판단되었다.

4. 참고문헌

1. 김용필(2000), 지반공학 시험법 및 응용, 세진사, pp.554~574
2. 다산이엔지(1998), 기초공법검토보고서, 다산이엔지, pp.19~29
3. 심태섭(2001), PBT에 의한 얽은기초의 지지력 및 침하량 산정연구, 조선대학교, 1~22
4. 이 송 (2002), 토질시험법, 구미서관, pp.444~464
5. 한국지반공학회(1997), 지반조사결과의 해석 및 이용, 구미서관, pp.226~241
6. 황성일, 권오엽, 박용원(1999), 토질역학, 사이텍미디어, pp.7~24, 305~314
7. Braja M.D(2004), Foundation Engineering 5e. Tomson Learning, Inc. pp.123~136, pp.189~254
8. F.H.Kulhawy(1983), Transmission Line Structure Foundations for Uplift-Compression Loading, Cornell University Geotechnical Engineering Group, pp.7-1~7-8
9. R.F. Craig(1997), Soil Mechanics, E & FN SPON, pp.302~375
10. Robert, W. D(1999) "Geotechnical and Foundation Engineering". McG raw - Hill, pp.4~42
11. T.William Lambe, Robert V.Whitman(1986), Soil Mechanics SI VERSION, John Wiley & Sons, Inc. pp.97~107, pp.195~226