

준설성토지반의 자중압밀해석

Self-weight Consolidation Analysis of Soft Dredged Clay Ground

*김 현 태 · 이 은 성 · 김 석 열 · 홍 병 만 (농업기반공사)

*Kim, Hyun-Tae · Lee, Eun-Sung · Kim, Seog-Yeol · Hong, Byung-Man

Abstract

This paper reviews depositional environments and consolidation characteristic of Soft Dredged Clay fill and then analytical solution of self-weight consolidation is made to find consolidated state. It's known that Soft Dredged Clay Ground is in the under-consolidated state under $U \approx 30\%$ from analytical solution. It is effective for higher consolidation rate that the time of Dredge is shorter and the time of leave is longer. It is conclude that the under-consolidated state should be considered in prediction of consolidation settlement.

I. 서론

매립공사에서 필요한 성토재료를 육상에서 얻기가 점점 더 어려워져 준설성토가 많이 이루어지고 있다. 준설 대상 흙이 해성점토일 경우 압밀침하량이 크고, 침하가 완료되는데 시간이 많이 소요된다.

특히, 준설성토지반은 자중압밀이 진행중인 미압밀상태에 있기 때문에 잔유침하량을 예측하는데 어려움이 많다. 즉, 이 미압밀도를 정확히 고려하지 않고 압밀해석을 할 경우 침하량이 실제보다 훨씬 적게 계산되므로 현장에서 공정차질은 물론 준공 후 과다 침하에 의해 구조물이 파손되는 문제가 발생된다.

본 연구에서는 준설속도, 투수계수변화 등의 실제 준설성토 조건을 고려할 수 있는 자중압밀해석방법을 개발하고 이 해석을 통하여 준설성토지반의 미압밀상태를 분석하였다.

또한 준설성토 후 방치기간에 따른 자중압밀도의 변화를 분석하였으며, 단지조성을 위하여 양질토로 추가성토를 할 경우 자중압밀도에 따라 압밀침하량의 차이가 크므로 추가성토 직전에 준설성토지반의 미압밀상태의 평가와 이를 고려한 압밀해석이 필요함을 확인하였다.

II. 준설성토의 자중압밀해석 방법

2.1 준설성토의 속도와 준설직후의 압밀상태

과잉간극수압의 발생속도가 소산속도보다 큰 퇴적속도에서는 압밀이 완료된 상태가 아닌 부분압밀(Partially consolidated)상태 또는 미압밀(Under consolidated)상태가 된다(Brand & Brenner(1981)). 즉, 대부분의 준설성토의 속도가 빠르기 때문에 해성점토를 준설하여 성토한 지반 내에는 큰 과잉간극수압이 존재하는 미압밀(Under consolidated)상태가 된다.

Sangrey(1977)는 미압밀상태에 영향을 미치는 주요요인은 퇴적속도이며, 흙 내부의 Gas, 피압대 및 파력의 반복 등이 있다고 하였다(Nakase, 1984). Gibson(1958)은 퇴적속도에 따른 심도별 압밀상태를 분석할 수 있는 해를 제시하였다. 해상의 준설성토는 퇴적속도가 매우 빠른 해성퇴적조건으로 볼 수 있으므로 Gibson (1958)의 해를 응용할 수 있는 것으로 보인다.

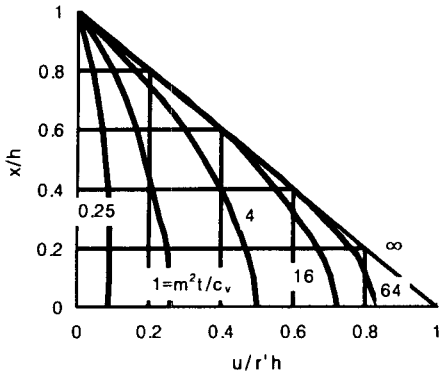


Fig 1. Relation between $u/r'h$ and x/h for $h=mt$ (Impermeable base)

Gibson(1958)은 퇴적속도가 일정한 조건에 대하여 퇴적지반바닥이 대수층인 경우와 불투성인 경우에 대한 퇴적토층내 심도별 과잉간극수압비($u/r'h$)의 분포를 Fig 1. 과 같이 제시하였다.

여기서 흙의 압밀계수 $c_v=0.001\text{cm}^2/\text{s}$, 준설성토속도 $m=5\text{m}/\text{year}$, 준설기간 $t=2\text{year}$ 로 보면 $m^2t/c_v=15.9$ 로 Fig 1. 에서보면 자중압밀도가 매우 적은 즉, 준설성토지반 내에 매우 큰 과잉간극수압이 존재하는 상태에 있음을 알 수 있다.

2.2 자중압밀해석방법

준설토의 투수계수(k_v)변화는 c_v 일정으로, $k_v \approx [0.434 \cdot C_c \cdot c_v] / [(1 + e_0) \sigma_v']$ 의 식을 사용하였으며(김현태, 1998), 압축지수(C_c)는 일정하고, 물의 흐름은 Darcy의 법칙을 적용하였으며, 연직방향의 일차원 압밀배수조건으로 해석프로그램을 구성하였다.(김현태, 1998).

III. 준설성토속도별 대기건조조건의 자중압밀해석 결과

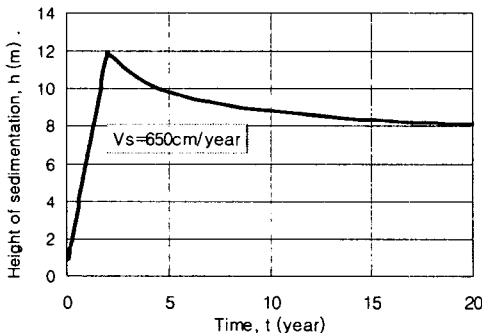
3.1 준설성토속도 $v_s=650\text{cm}/\text{yr}$ 조건 해석

준설성토속도가 $v_s=650\text{cm}/\text{yr}$ 일 때 자중압밀도가 어느 정도이고, 준설성토 후 기간이 경과하면서 어느정도가 되는지 알아보기 위하여 Table 1.과 같은 조건에 대하여 자중압밀해석을 실시하였다.

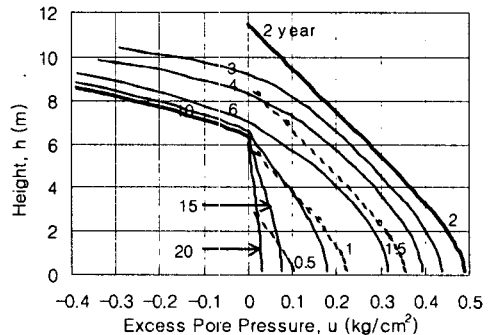
해석결과 Fig.2.a)와 같이 2년간 12m 준설성토되고, 시간이 경과하면서 2m이상의 자중압밀침하가 발생되고, 함수비와 간극비는 Fig.2.c, d)와 같이 변화된다. 과잉간극수압(u) 발생 및 소산은 Fig.2.b)와 같으며, 성토직 후(2년)에 최대 $u=0.49\text{kg}/\text{cm}^2$ 이 소산되지 않고 남아 있으며 $U=1-0.49/0.68=0.28$ 로 매우 큰 미압밀상태에 있음을 알 수 있다.

Table 1. 토질정수

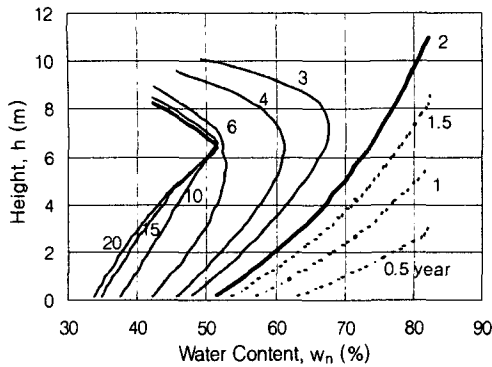
압축지수, C_c	0.9
압밀계수, c_v (cm^2/s)	0.001
초기간극비, e_0	2.2
준설성토고(m)	12



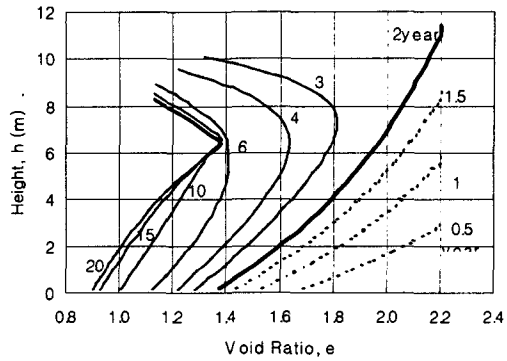
a) Sedimentation and Self Consolidation



b) Variation of Excess Pore Pressure



c) Variation of Water Content



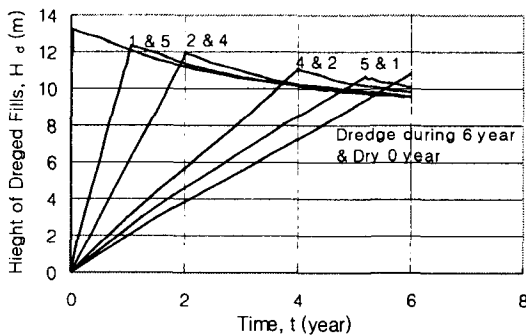
d) Variation of Void Ratio

Fig 2. Result of self consolidation analysis ($V_s=650\text{cm/year}$)

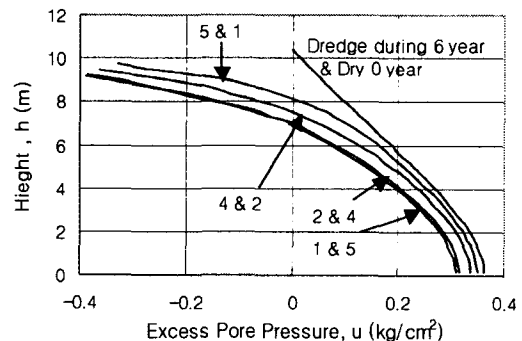
3.2 성토속도와 방치기간별 해석결과

준설성토고 $H_d=12\text{m}$ 를 성토와 방치기간을 각각 1&5, 2&4, 4&2, 5&1, 6&0으로 6년이 경과한 후에 단지조성을 위한 양질토의 성토를 할 경우 잔유침하량을 정확히 예측하기 위하여, 이 시점에 자중압밀도를 파악하여야 한다. 이를 위하여 각 조건에 대하여 자중압밀해석을 실시하였다.

해석결과 Fig.3.a)와 같이 6년이 경과한 시점에 자중압밀침하량이 3.49~2.22m로 차이가 크고, 과잉간극수압분포는 Fig2.b)와 같으므로 가능한 빠르게 준설성토하고 방치기간을 길게 하는 것이 간극수압소산량이 크고 자중압밀도가 높으므로 효과적이라는 것을 알 수 있다.



a) Sedimentation and Self Consolidation



b) Variation of Excess Pore Pressure

Fig 3. Result of self consolidation analysis(different Velocity of Dredge)

IV. 표층 양질토성토 시 미압밀을 고려한 압밀침하예측

Fig 2.b)의 과잉간극수압이 존재하는 미압밀상태의 준설성토 지반에 연직배수재(VD)를 타설하고 2.5m의 추가 매립성토를 할 경우, 압밀침하량을 계산한 결과, Fig 4.와 같이 준설성토(2년경과) 즉시 추가성토를 한 경우 $S_c=432\text{cm}$, 4년경과 후는 263cm, 10년경과 후는 157cm의 침하가 발생되는 것으로 계산되었다. 이러한 차이는 허용잔유침하량(10cm)을 훨씬 초과하는 것으로 성토시점에 자중압밀도를 고려하지 않을 경우 공사관리에 큰 차질을 가져올 뿐만 아니라 완공 후 초과 침하량에 의한 시설물의 파손 등의 문제가 발생할 것이다.

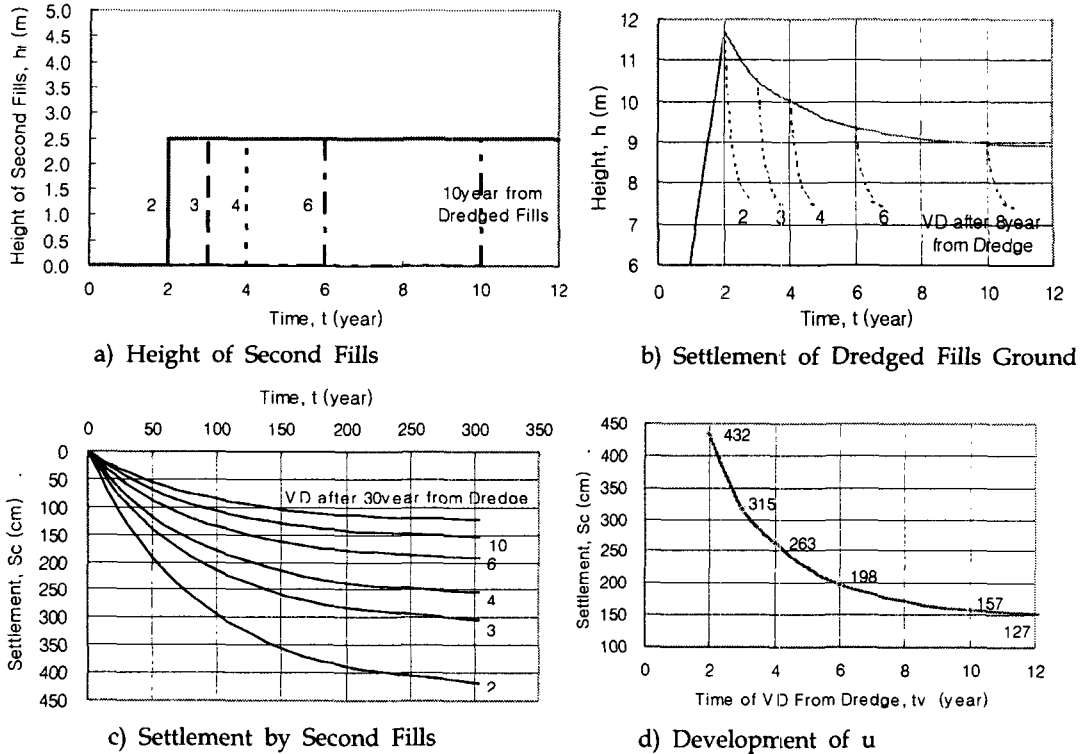


Fig 7. Result of Consolidation Analysis after VD and Second Fills

V. 결론

- 1) 점성토의 준설성토지반은 매우 빠른 퇴적조건으로 준설직후는 자중압밀도($U \approx 30\%$ 이하)가 매우 낮은 미압밀상태에 있으며, 방치기간이 경과하면서 표층(1~2m이내)은 대기건조에 의해 과압밀상태가 되지만 그 하부층은 장기간동안 미압밀상태에 있는 것으로 분석되었다.
- 2) 같은 공사기간일지라도 가능한 빠르게 준설성토하고 방치기간을 길게 하는 것이 자중압밀도가 더 높으므로 효과적이라는 결과를 얻었다.
- 3) 준설성토 후 추가성토 계획 시 압밀침하량은 준설성토지반의 자중압밀도에 따라 차이가 매우 크므로 자중압밀도를 분석하고 이를 고려한 압밀해석이 필요하다는 결론을 얻었다.

참고문헌

1. Kim, H. T. (1998), "Consolidation by the Vertical Drain Considering Well Resistance and the Variation of Permeability in the Smear Zone", Ph.D. Dissertation, Dongkuk University, Seoul, Korea, pp.8~38.
2. Brand, E.W. and Brenner, R.P.(1981), "Soft Clay Engineering", Else-vier Scientific Publishing Company, pp.159~238, 311~317, 537~544.
3. Gibson, R.E.(1958), "The Progress of Consolidation in a Clay Layer Increasing in Thickness with Time", *Geotechnique*, Vol.8, pp.171~182.
4. Nakase, A.(1984), "海洋土質", 日本土木學會, pp.11~12, 119~142.