

점증재하를 고려한 압밀침하 역해석에 의한 강제치환량 추정

Estimation of replacement depth by consolidation back analysis
considering gradual step loading

전 상 옥* · 강 병 윤 · 임 성 훈 · 정 인 영(농어촌연구원)

Jeon, Sang-Ok* · Kang, Byeong-Yoon · Eam, Sung-Hoon · Jeong, In-Young

Abstract

In this study consolidation back analyses were performed with the data measured in the reservoir construction field. some effects due to gradual step loading were considered carefully in this back analysis. the replacement depth of soft ground was estimated from the difference between the measured and the back analyzed data

I. 서 론

연약지반 압밀에서 실측침하량에 의한 장기침하량 추정방법은 압밀이론을 기반으로 이론침하곡선과 실측침하곡선을 비교하여 입력변수를 최적화하는 Terzaghi의 이론식에 근거한 curve fitting방법, Monden방법, Tewatia방법과 Mikasa의 압밀이론에 근거한 Asaoka방법 등이 있고, 침하곡선의 기하학적인 형태로부터 추정하는 쌍곡선법과 Tan의 방법 등이 있다.

그러나 이러한 방법들은 일시재하에 대한 이론 혹은 침하곡선의 특성에 근거하여 제안된 방법이지만 실제의 시공은 대부분 단계 성토에 의해서 실시되므로 재하 종료 후 일정 시간이 경과한 후에 적용이 가능하다. 물론 Terzaghi가 제안한 정률점증재하시의 $t/2$ 법에 의한 수정방법이 있으나 이 방법은 성토 종료 후의 자료로 침하곡선을 탐색하고 그 결과에서 성토구간의 침하량을 수정하는 방법이므로 성토 중의 계측값은 역해석에서 사실상 제외되고 정률 점증이 아닌 경우에는 적용이 곤란하다. 따라서 예측의 정확도를 높이기 위해서는 성토 종료 후의 장기간의 계측자료가 필요하게 되지만 이 시기는 대부분 상당한 정도의 압밀이 진행된 이후이므로 예측된 침하량의 활용도가 높지 않다. 장기침하량을 예측하여 적절하게 활용하기 위해서는 단계적인 점증재하 기간의 계측치를 이용할 수 있는 기법이 필요하다.

본 연구에서는 단계 성토로 축조된 저류지 성토체의 계측자료를 이용하여 최종침하량을 예측하고 예측침하곡선과 실측침하곡선의 차이로부터 지반의 강제치환에 의한 침하량을 추정하였다.

II. 재료 및 방법

2.1 지반의 물리역학적 성질과 제체의 형상

해석에 사용된 자료는 안면도에서 시행중인 농촌용수개발사업의 일환으로 축조된 저류지제체에서 약 1000일 동안 계측된 결과이다. 제체 중앙 단면의 형상과 크기는 Fig. 1에 나타난 바와 같고, 습윤밀도 1.95 t/m^3 의 압성토공법으로 시공되었다. 지하수위는 연약층

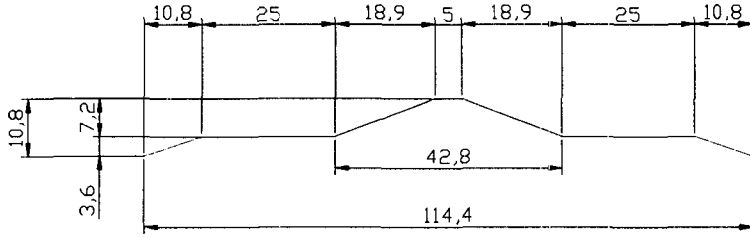


Fig. 1 The cross section of embankment

표면에 있고, 연약층의 두께는 9.97m, 포화밀도는 1.701 t/m³, 초기 간극비는 1.367, 실내 시험에 의한 압축지수 $C_c=0.45$, 압밀계수 $C_v=3.020 \text{ cm}^2/\text{s}$ 로 나타났다.

2.2 점증재하를 고려한 해석방법

시간에 따른 압밀침하곡선은 식(2.1)과 같다.

$$S_t = S_f \times U_v \quad (2.1)$$

여기서 S_t : 임의의 시간 t 에서의 침하량, S_f : 1차 압밀침하량, U_v : 연직방향 압밀도
 임(1997)은 위 식에 Terzaghi의 압밀이론을 적용하고, 각 재하 단계별 압밀은 중첩되는 것으로 선형중첩되는 것으로 가정하여 단계재하에 대한 압밀 역해석 프로그램을 개발하였다.

본 연구에서 사용한 방법은 기본적인 개념은 이 방법에 기초하고 있으나 두 가지 개선이 이루어졌다.

2.3 각 단계별 유효상재하중의 변화량 고려

가정조건

$$S_{f1} + S_{f2} + S_{f3} + \dots + S_{fn} = S_f \quad (2.2)$$

$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \dots + \Delta P_n$, 여기서 n 은 재하단계

재하 n 단계에서 ΔP_n 에 대응하는 1차 압밀침하량은 다음과 같이 일반화 될 수 있다.

$$\begin{aligned} S_{fn} &= \frac{C_c}{1+e_0} H \log \frac{P_0 + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \dots + \Delta P_{n-1} + \Delta P_n}{P_0 + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \dots + \Delta P_{n-1}} \\ &= \frac{C_c}{1+e_0} H \{ \log (P_0 + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \dots + \Delta P_{n-1} + \Delta P_n) \\ &\quad - \log (P_0 + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \dots + \Delta P_{n-1}) \} \end{aligned} \quad (2.3)$$

식(2.3)을 식(2.2)의 좌변에 대입하면 \log 항들이 서로 상쇄되어 다음과 같이 일시재하의 경우와 같은 식이 된다.

$$S_{f1} + S_{f2} + S_{f3} + \dots + S_{fn} = \frac{C_c}{1+e_0} H \{-\log P_0 + \log (P_0 + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \dots + \Delta P_{n-1} + \Delta P_n)\} = \quad (2.4)$$

$$\frac{C_c}{1+e_0} H \log \frac{P_0 + \Delta P}{P_0} = S_f$$

1차 압밀침하량은 n 단계 침하완료 후 $n+1$ 단계 재하가 실시되는 것으로 유효상재하중을 고려하였으나 이는 식(2.1)에서 침하시간에 영향을 미치지 않으므로 정당화 될 수 있다. 실제의 침하는 n 단계 재하 임의의 시간에서 $n+1$ 단계가 재하되므로 다음과 같이 구현될 수 있다.

각각의 단계 하중 증가시간을 $t_0, t_1, t_2 \dots t_n$ 이라하면

임의의 시간 t 에서 각 단계 평균압밀도는

재하 n 단계에 해당하는 압밀도는

$$U_{vn} = 1 - \sum_0^{\infty} (2/M^2) \text{Exp}(-M^2 C_v (t - t_{n-1}) / H^2) \quad (2.5)$$

위 식에서 재하 단계가 늦으면 압밀경과시간은 그만큼 감소한다.

따라서 각 단계별 임의의 시간에서의 침하량 $S_{f1}, S_{f2}, S_{f3}, \dots S_{fn}$ 은

$$S_{fi} = U_{vi} \cdot S_{fvi} \quad i=1,2,3,4, \dots, n, \quad n \text{ 은 전체 재하단계}$$

임의의 시간 t 에서의 전체 침하량 S_t 는

$$S_t = \sum_{i=1}^n U_{vi} \cdot S_{fi} \quad (2.6)$$

따라서 식(2.1)은 근사화 과정없이 단계재하를 구현할 수 있다.

2.4 지중응력분포에 대한 고려

Terzaghi의 압밀이론은 지중응력분포를 무시한 일차원적인 압밀이론이다. 해석 대상 지반은 지반심도 9.96m에 비해 10.8m의 고성토가 이루어졌으므로 재하면의 이동을 고려하여야 할 것인지 판단해야 한다. Fig. 2는 연약층 중심부(-5m)에서 성토고의 변화에 따른 지중응력의 변화를 나타낸 것으로 비선형적인 증가를 나타내고 있다. 따라서 역해석에서도 재하단계를 고려하는 것이 바람직하다.

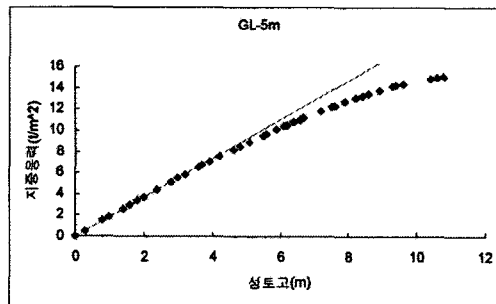


Fig. 2 The earth pressure distributions according to consider or not the variation of loading surface

III. 결과 및 고찰

Fig. 3과 Table 1은 이상과 같은 방법으로 단계재하에 대한 몇몇 해석결과를 나타낸 것이다. 성토는 2.4m까지 빠른 속도로 진행된 후에 안정관리에 의해서 시작일로부터 252일까지 방치된 후에 10.8m까지 다시 진행되었다. 곡선 ①은 실측침하량을 나타낸 것이고, 곡선②는 전체 계측결과를 역해석한 것이다. 지반은 무처리 지반으로 최적화 기법에 의해서 압축지수와 압밀계수가 계측결과에 가장 부합되도록 역해석 되었음에도 불구하고 성토 진행 중에는 실측곡선①과 같은 빠른 침하속도는 나타나지 않으므로 많은 편차를 보이고, 압밀정수도 실내시험으로부터 얻은 결과와는 많은 차이를 나타내고 있다. 곡선③은 이와 같은 문제를 해결하기 위해서 방치기간인 252일까지만의 침하량을 이용하여 역해석한 결과이다. 해석구간에 대해서 실측침하량과 예측침하량은 잘 일치하고 있으며 압밀정수도 실내시험결과에 근접하게 나타났다. 역해석과 실내시험으로부터 얻은 각각의 압밀정수들의 신뢰성을 평가한다면 실제의 현상을 해석한 역해석결과가 보다 신뢰성이 있다고 할 수 있으나 실내시험에서 큰 오류가 없다면 흙의 특성에 의해서 서로 유사한 경향을 나타낸다. 곡선④는 곡선③에서 얻은 압밀정수를 사용하여 성토고 10.8m의 단계성토에 대해서 시간에 따른 침하량을 나타낸 것이지만 역시 편차를 나타내고 있다. 이러한 편차는 지반 강도에 비해 압성토에 의한 고성토가 시공되었으므로 전단변형에 의한 강제치환량으로 판단하여 곡선⑤와 같이 전단변형이 중지되었을 것으로 판단되는 성토종료시점에서 곡선을 약 50cm 일괄이동시킨 결과 실측결과와 잘 일치하고 있다.

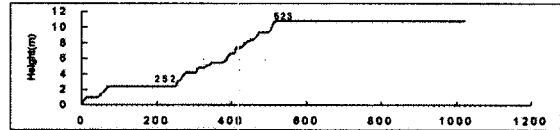


Table 4 The back analysis results

	Cc	Cv (cm ² /s)	Sf (m)
실내시험	0.45	3.020×10^{-4}	1.520
②	0.69	7.986×10^{-4}	2.110
③	0.44	5.440×10^{-4}	0.658
④			1.346
⑤			1.836
평균 압밀도(%)			60
t ₉₅ (yr)			16.9

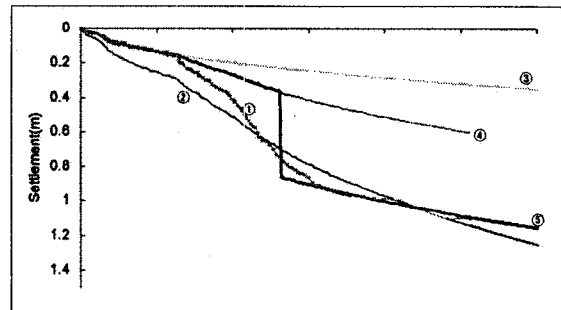


Fig. 3 The back analysis results

IV. 결 론

고성토 지반에 대한 압밀침하 역해석에서 점증재하의 영향을 정밀하게 고려하여 신뢰성이 향상된 시간에 따른 침하곡선을 조기에 얻을 수 있었고, 이 곡선과 실측침하자료로부터 전단변형에 의해서 발생하는 강제치환에 의한 침하량을 구분할 수 있었다.

참고문헌

1. 임성훈 1999, 역해석에 의한 연약지반 최종침하량 추정, 석사학위논문, 충남대학교