

계측자료를 활용한 남해안 연약 점성토의 압축지수 산정

A Calculation of Compression Index of the South Coast Soft Clay Utilizing Field Measurement

이 창 옥¹⁾ · 박 춘 식²⁾ · 권 현 진³⁾ · 김 종 환[†]

Changouk Lee · Choonsik Park · Hyeonjin Kwon · Jonghwan Kim

Received: March 10th, 2015; Revised: March 17th, 2015; Accepted: May 4th, 2015

ABSTRACT : This study analyzed degree of disturbance, using specimens by laboratory test with large block specimens and piston samplers collected from the Korea's two typical soft ground districts: South coast Gwangyang and Yangsan. To assess the characteristics of compression index of laboratory test incurred by disturbance, the compression index of laboratory test was compared with the back analysis compression index resulting from the analysis of the measured settlement. The analysis of specimen disturbance of the laboratory test results with the piston specimens of the two districts found that the qualities of most specimens were poor and the settlement predicted by the laboratory test compression index was underestimated. The analysis of test material taken from nearby areas proved that the disturbance degrees of large block specimens were lower than that of the piston specimens. The hyperbolic method, Hoshino method, Asaoka method, and \sqrt{S} method, all of which are predictive methods using measured settlement, were employed to reach a conclusion that reliabilities of each predictive method except predictive material of a few points were the same. To compensate the disturbance effects on compression index of the piston specimens, we suggested a new modification formula that estimates compression index of piston specimens, using Schmertmann's corrected compression index, and back analysis compression index from the analysis of predictive settlement.

Keywords : Pison samplers, Large block specimens, Disturbance, Compression index, Measured settlement

요 지 : 본 연구는 국내의 대표적인 연약지반인 남해안 광양지역과 양산지역의 피스톤 샘플러와 대형블록시료로 수행된 실내시험 시료를 이용하여 교란도 분석을 시행하고 교란에 따른 실내시험 압축지수 특성을 평가하기 위하여 계측침하량 분석에 의한 역해석 압축지수와 비교 분석하였다. 본 연구대상지역의 피스톤 시료에 의한 실내시험 결과로 시료교란도 분석을 수행한 결과 대부분 시료가 품질이 불량한 것으로 평가되어 실내시험결과로 산정된 압축지수를 이용한 설계 예측침하량이 과소평가되었음을 알 수 있었다. 인근지역에서 수행된 시험자료에 대한 교란도 분석결과 대형블록시료가 피스톤 시료보다 교란도가 작은 것으로 분석되었다. 계측침하량을 이용한 장래침하량 예측기법인 쌍곡선법, Hoshino법, Asaoka법, \sqrt{S} 법으로 예측한 결과 일부 측정의 예측자료를 제외하고는 예측기법별 신뢰도는 동일한 것으로 분석되었다. 피스톤 시료의 압축지수에 대한 교란영향을 보정하기 위하여 Schmertmann의 수정 압축지수와 계측침하량 분석에 의한 역해석 압축지수를 이용하여 피스톤 시료의 압축지수를 추정하는 새로운 보정식을 제시하였다.

주요어 : 피스톤 시료, 대형블록시료, 교란도, 압축지수, 계측침하량

1. 서 론

일반적으로 점성토는 현장에서 불교란 시료를 채취하여 실내시험을 통해 지반 정수를 결정하게 되는데 시료채취, 시료 운반 및 보관, 시험공시체 성형 시 교란되어 실내시험 값이 자연상태와 다르게 되어 부정확한 지반 정수 산정과 침하예측 오차의 원인으로 작용할 수 있다는 점은 Olsson(1925), Casagrande(1936), Hvorslev(1949), Berre et al.(1969), Jamiolkowski et al.(1985), Kwon(1997), Chang et al.(2000), Chung et al.(2002), Yu et al.(2005), Yu(2007) 등 국내·외 많은 연구자들에 의해

연구되어 왔다. 특히 국내에서 많이 사용되고 있는 피스톤 샘플러(NX size)는 시료의 교란 정도가 지반 정수에 어느 정도 영향을 미치는지 체계적으로 정립되어 있지 않은 실정에서 기계적 교란을 방지하기 위하여 Lee & Lee(1998)와 Kim et al.(2006)에 의해 대형블록샘플러가 개발되었지만 설계 시 대형블록샘플러에 의한 시료 채취 및 시험은 많은 비용과 시간이 소요된다. 따라서 계측결과를 활용한 Asaoka(1978), Choi et al.(1997)의 장래침하량 예측법과 계측결과를 바탕으로 한 Kim(1997), Lee et al.(2005)의 역해석법에 의해 현장 성토관리를 하고 있으며 이러한 기존의 방법들은 계측결

1) Kyungwon Engineering

2) School of Civil, Environmental and Chemical Engineering, Changwon University

3) Security & Construction Bureau, Gyeongsangnam-do

† School of Civil, Environmental and Chemical Engineering, Changwon University (Corresponding Author : gypsys@nate.com)

과가 없는 단계에서 사용할 수 없는 단점이 있다.

또한 현장계측결과를 활용하여 역해석을 통한 연약지반의 압밀특성 재평가 연구는 Pelletier et al.(1979), Cao et al. (2001), Lee et al.(2006), Kim & Ahn(2008), Seo(2008) 등의 여러 국내·외 학자들에 의해 연구되었지만, 실제 설계 초기 단계에서 활용할 수 있는 정량적인 제안식을 제안하는 연구는 아직까지 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하고 침하가 과도하게 발생하는 국내의 대표적인 연약지반인 남해안 지역에서 수행된 피스톤 및 대형블록시료의 실내시험 압축지수와 계측자료를 활용한 압축지수를 산정·비교하여 설계 초기 단계에서 적용할 수 있는 합리적인 점토층의 압축지수 산정 방안을 모색하고자 한다.

2. 연구대상지역 현황

본 연구는 Table 1과 같이 연약 점토층이 발달한 남해안 광양지역의 두 군데와 양산지역의 한 군데에 대한 지반조사 및 현장계측 자료를 활용하여 연구를 수행하였다. 이들 지역의 연약 점토층은 Site A는 약 10.0~22.9m, Site B는 약 7.1~19.1m, Site C는 약 1.5~6.5m의 두께로 형성되어 있으며, N치는 5 이하로 매우 연약한 특성을 나타내었다.

Table 2에는 각 대상지역에서 NX 크기의 수압식 피스톤 샘플러로 채취한 시료의 연약 점성토의 특성을 나타내었다. 함수비의 변화폭이 크게 나타났는데 이는 샘플 시료의 채취 위치 및 심도에 따른 영향으로 판단되었고, 압밀시험은 표준압밀시험(Standard Consolidation Test)을 수행하였다. 또

한 압밀시험 수행 시 높은 함수비의 시료도 시료성형 및 실험 수행에는 크게 문제가 되지 않았다.

3. 실내시험 및 계측 분석

3.1 교란도 분석

본 연구대상지역의 피스톤 시료에 대한 압밀시험결과를 토대로 Andersen & Kolstad(1979)의 방법, NGI(Norwegian Geotechnical Institute)의 방법, Lunne et al.(1997)의 방법에 의해 정량적인 평가방법으로 Fig. 1과 같이 교란도를 평가하였다. Andersen & Kolstad(1979)의 방법과 NGI의 방법은 시료교란의 정량적 평가를 위하여 체적변형률($\epsilon_{10} = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0}$)을 이용한 시료의 품질등급을 평가하였고, Lunne et al.(1997)은 체적변형률과 유사한 개념으로서 간극비 변화량($\Delta e = e_0 - e_1$)과 초기 간극비(e_0)의 비로서 시료의 품질을 4개의 등급으로 Table 3과 같이 분류하였다. 이와 같은 방법들에 의한 교란도 분석결과, 전체심도에 걸쳐 시료품질이 불량한 것으로 분석되었다.

또한 Fig. 2와 같이 Horiuchi et al.(1987)이 제안한 일축압축시험에 의한 교란도 분석결과, 변형계수비(E_{50}/q_u) 값이 50 이상을 만족하는 경우 불교란시료는 35%로 나타났고, 변형계수비 50 이하의 교란시료는 65%로 나타났으며 파괴변형률(ϵ_f)에 의한 교란도를 평가하면 파괴변형률 6% 이상은 64%로 평가되어 전체 심도에 걸쳐 시료의 품질이 불량한 것으로 분석되었다. 따라서 연구대상지역의 교란 정도가 심한 피스톤 시료로 수행된 실내시험 압축지수를 사용한 침하

Table 1. Research sites

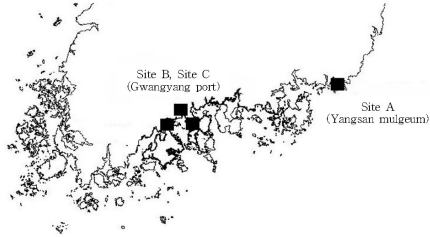
| | Location |  |
|--------|-------------------------------------|--|
| Site A | Yangsan mulgeum | |
| Site B | Internal road of gwangyang port | |
| Site C | Western rear road of gwangyang port | |

Table 2. Properties of soft clay

| | Site A | | Site B | | Site C | |
|---------------------------------|-----------|---------|------------|---------|-----------|---------|
| | Range | Average | Range | Average | Range | Average |
| Water content (%) | 2.6~70.7 | 49.5 | 48.8~117.7 | 79.9 | 12.2~86.2 | 48.3 |
| Liquid limit (%) | 29.2~60.4 | 44.9 | 34.2~91.4 | 76.2 | 26.2~71.4 | 50.5 |
| Plasticity index (%) | 4.2~35.5 | 21.4 | 9.6~58.2 | 45.8 | 3.4~43.3 | 25.8 |
| Preconsolidation pressure (kPa) | 42~150 | 85 | 2~75 | 21 | 46~80 | 59 |
| Compression index | 0.16~0.91 | 0.64 | 0.17~0.99 | 0.69 | 0.57~1.05 | 0.83 |

량 예측은 실제 침하량에 비해 과소평가되었다고 판단하였다.

피스톤 시료와 대형블록시료의 교란도를 비교하기 위하여 동일한 위치와 심도에서 채취된 시료에 대하여 Fig. 3과 같이 교란도 분석을 하였다. 이때 대형블록시료는 시추공의 시료 채취 심도까지 오거($\phi=500\text{mm}$)를 이용하여 케이싱을 설치하고, 천공 슬라임을 제거한 후 대구경샘플러($\phi=250\text{mm}$, $H=500\text{mm}$)를 룯드에 연결하여 채취 심도까지 내려 지반에

관입시키고 하부시료절단장치로 시료를 절단하여 샘플러를 끌어올려 대형블록시료를 채취하였다.

대형블록시료는 체적변형률 4% 이하로 대부분 양호한 등급으로 평가되었고, 피스톤 시료는 불량한 등급이 50%로 평가되었다. 또한 간극비 변화율에 의한 교란도 평가 결과에서도 대형블록시료는 58%가 양호한 등급으로 피스톤 시료는 21%만 양호한 등급으로 분석되어 대형블록시료의 품질

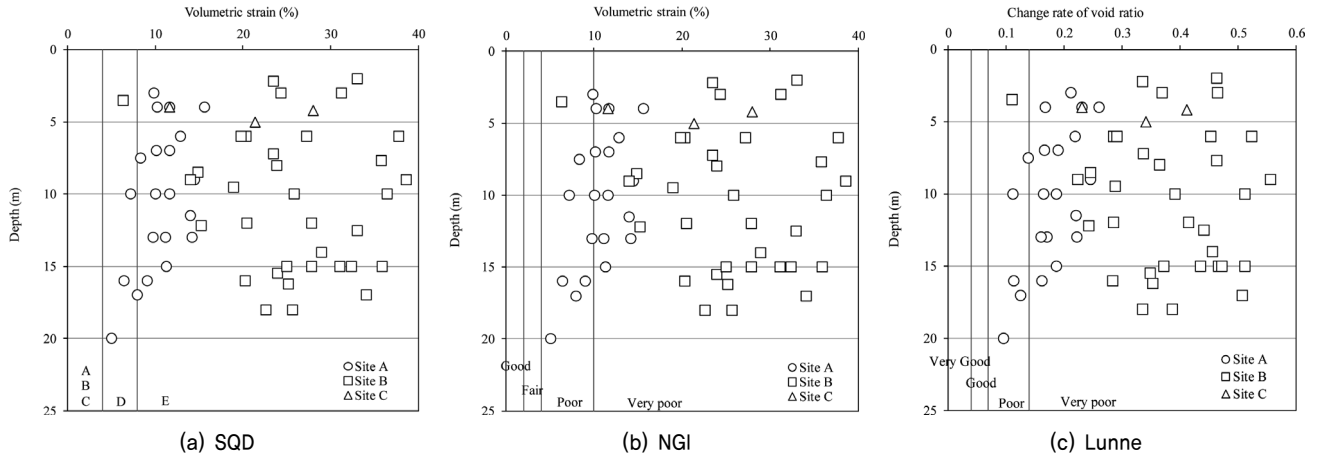


Fig. 1. Evaluation of disturbance by volumetric strain

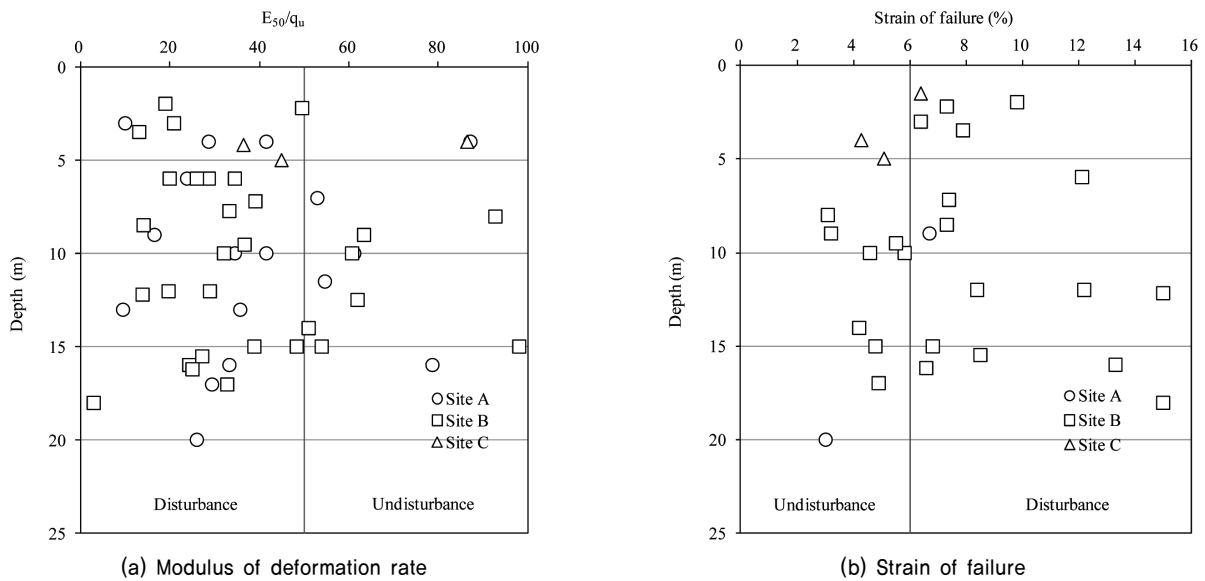


Fig. 2. Evaluation of disturbance by unconfined compressive strength

Table 3. Evaluation method of disturbance by volumetric strain

| Andersen & Kolstad (1979) | | NGI | | Lunne et al. (1997) | |
|---------------------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| Volumetric strain (%) | S.Q.D (Specimen Quality Designation) | Volumetric strain (%) | Specimen quality | $\Delta e/e_0$ | Specimen quality |
| < 1 | A | < 1 | Very good to excellent | 0.00~0.04 | Very good to excellent |
| 1~2 | B | 1~2 | Good | 0.04~0.07 | Good to fair |
| 2~4 | C | 2~4 | Fair | 0.07~0.14 | Poor |
| 4~8 | D | 4~10 | Poor | > 0.14 | Very poor |
| > 8 | E | > 10 | Very poor | | |

이 더 좋은 상태로 평가되었다. 하지만 심도가 깊어질수록 교란도가 점진적으로 증가하는 경향이 나타나 깊은 심도에서 시료 채취 시 주의가 필요할 것으로 판단되었다.

3.2 교란에 따른 압축지수 산정

교란시료에 대한 압밀곡선을 수정하는 방법은 Schmertmann (1955)이 제안하였으며 국내에서는 실내압밀 시험에서 산정된 압축지수를 교란 효과가 제거된 상태인 현장상태의 압축지수로 보정하는데 주로 이용되고 있다. Fig. 4와 같이 Schmertmann의 방법에 의한 수정압축지수(C_c')는 기존의 실험결과보다 20% 증가하는 것으로 산정되었다.

3.3 계측자료를 활용한 장래침하예측

실측한 자료를 활용한 장래침하예측을 위해 쌍곡선법, \sqrt{S} 법은 각 측정점에 대한 계수 결정을 위한 S_0 의 결정을 최종성 토 완료 후의 시점을 기준으로 하였고, Hoshino법은 S_0 를 변

화시켜 시행착오법에 의하여 가장 직선화되는 경향을 선정하였다. 또한 Asaoka법은 시간을 분할함에 있어 Δt 의 선택에 따라 예측치가 다른데 본 연구에서는 30일을 기준으로 시간 분할을 하여 각 예측기법별로 장래침하량을 예측하였다.

Fig. 5와 같이 예측 최종침하량과 계측 최종침하량이 Site A에서는 7% 차이가 발생하였고, 인접한 두 지역 Site B와 Site C에서는 2% 정도의 침하량 차이가 발생하였다. 이는 각 지역의 압밀도에 따른 결과로 Site A는 계측종료 시의 압밀도가 78.9%~100.0%, Site B는 92.7%~99.8%, Site C는 96.7%~99.7%로 나타나 압밀도가 낮을수록 침하량 차이가 발생하는 것을 알 수 있었다. 또한 Table 4와 같이 각 장래침

Table 4. Settlement ratio by prediction methods

| Prediction method | Measurement | Prediction |
|-------------------|-------------|------------|
| Hyperbolic | 1.0 | 1.031 |
| Hoshino | 1.0 | 1.034 |
| Asaoka | 1.0 | 1.016 |
| Root (S) | 1.0 | 1.025 |

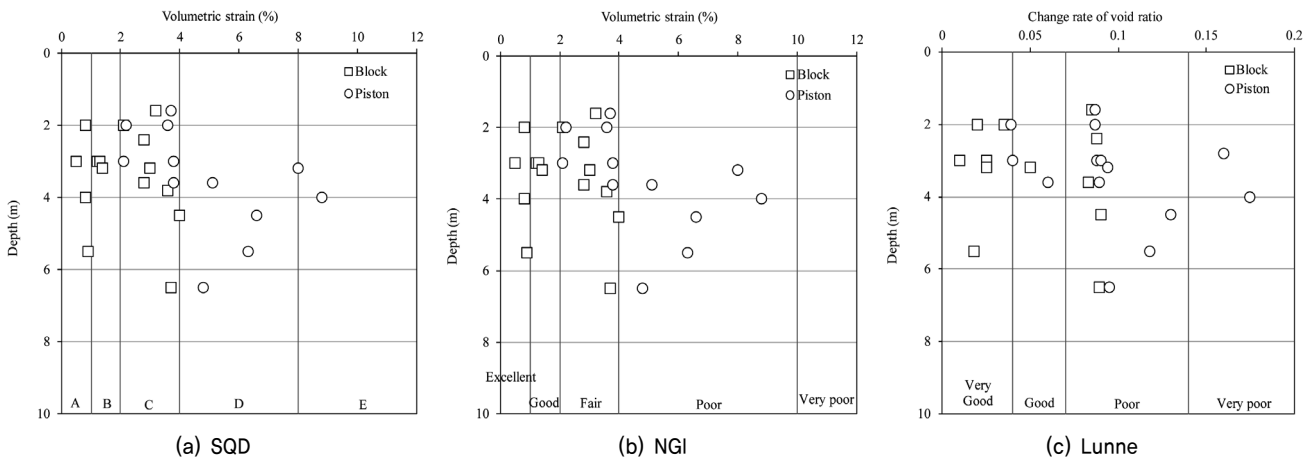


Fig. 3. Evaluation of disturbance by sampling methods

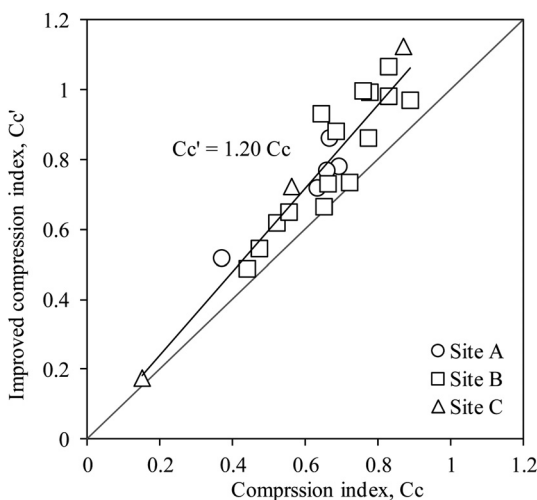


Fig. 4. Improved compression index by Schmertmann

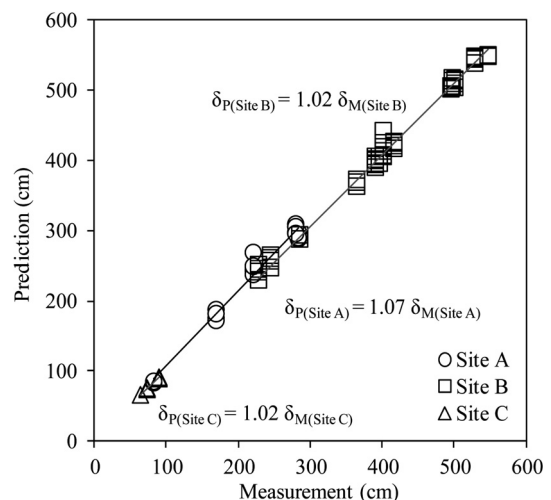


Fig. 5. Difference between prediction and measurement by sites

하 예측기법별 예측결과가 1.6~3.4%로 침하에 따라 오차가 발생하는 것으로 나타났지만 각 장래침하 예측기법별 최종 침하량 차이는 미미한 것으로 나타났다.

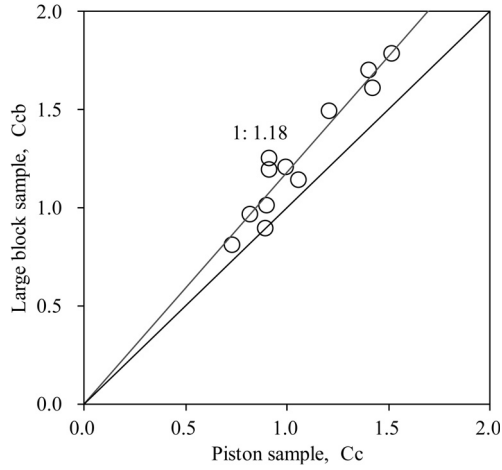


Fig. 6. Comparison of compression index by sampling

4. 압축지수 분석

4.1 샘플링에 따른 압축지수 분석

시료샘플링에 따른 압축지수 특성을 파악하기 위하여 연구대상지역의 동일한 위치와 심도의 피스톤 시료와 대형블록시료의 압축지수를 Fig. 6과 같이 비교하였다. 피스톤 시료의 압축지수(C_c)는 대형블록시료의 압축지수 값(C_{cb})보다 약 18% 적게 나타났는데 이는 교란도 분석결과에서 시료 샘플의 교란이 대형블록시료가 적게 되어 양호한 상태로 샘플링되었기 때문인 것으로 판단되었다.

4.2 장래침하예측에 따른 압축지수 분석

연구대상지역의 계측자료를 이용하여 장래침하량 예측기법에 의해 최종침하량(S_f)을 추정하고 예측된 최종침하량과 1차원 압밀 침하량 계산식을 이용하여 역해석 압축지수(C_{cr})를 산정하였다. Site B와 Site C는 실내시험에서 구한 선행압

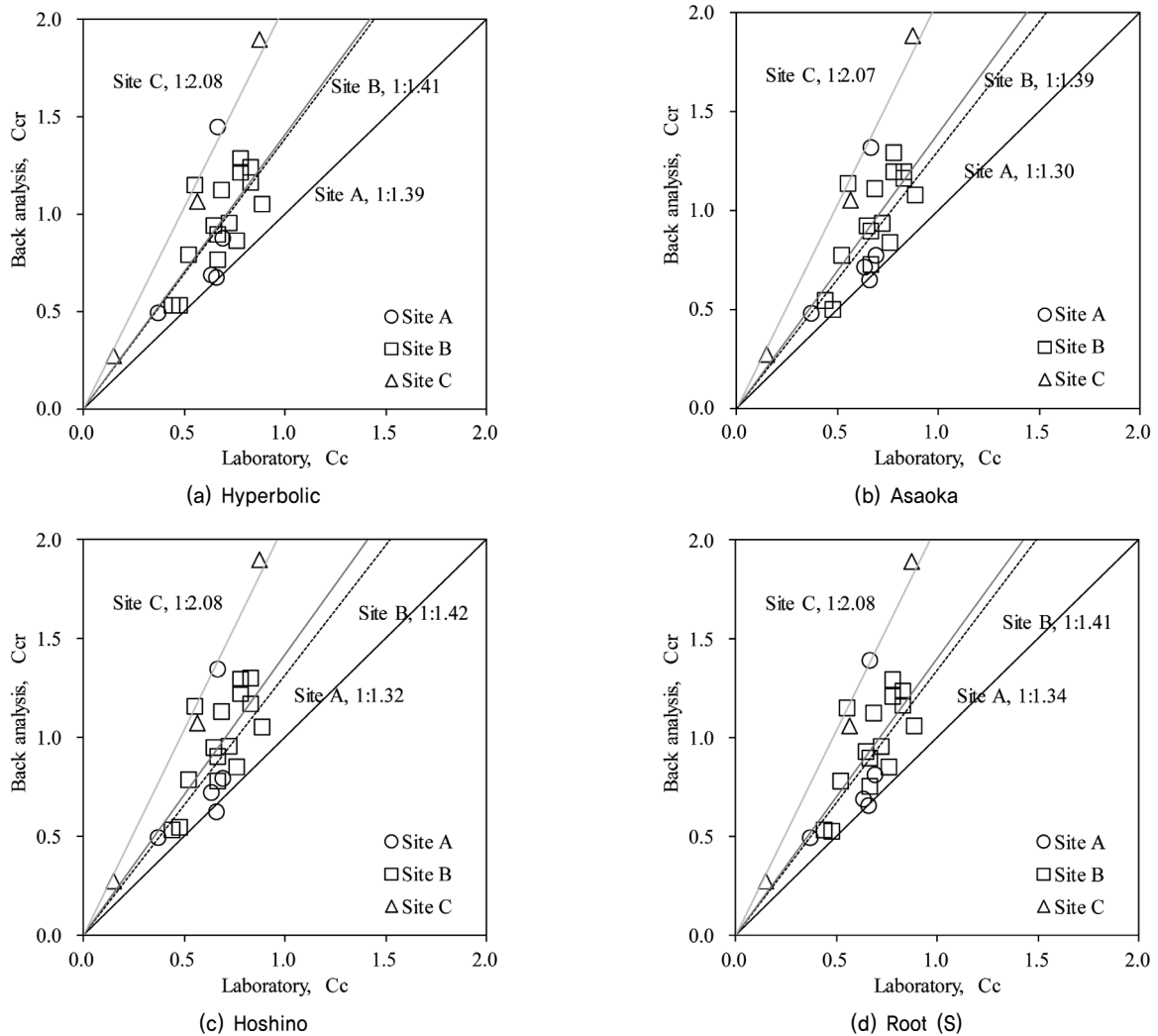


Fig. 7. Compression index by back analysis

밀응력과 유효상재하중과의 관계를 검토하여 정규압밀영역의 침하량 공식으로 Site A는 과압밀영역의 침하량 공식을 사용하여 역해석 압축지수를 Fig. 7과 같이 분석하였다.

Site A에서는 침하량예측기법에 의한 역해석 압축지수가 실내시험 압축지수보다 30%~39%, Site B에서는 39%~42% 크게 분석되었으며, Site C에서는 Site A, B 보다는 연약층의 깊이가 얇고, 발생하는 침하량이 작기 때문에 약 2배가량 크게 압축지수가 산정되었다. Table 5에는 장래침하량 예측기법별로 역해석에 의한 압축지수를 나타내었다. 각 예측기법에 따른 차이는 거의 없는 것으로 산정되었고, 실내시험 압축지수보다 45~48% 크게 분석되었다.

4.3 각 방법별 압축지수 비교분석

연약지반의 침하를 정확하게 예측하는 것은 무엇보다 중요하며 현장시험 및 실내시험을 통하여 얻은 각종의 토질정수들을 이용하여 보다 정확한 침하량을 산정하기 위하여 많은 노력을 경주하고 있다. 그러나 흙은 균질하지 않고 서로 다른 입자와 유기물, 물, 공기 등으로 구성된 매우 복잡한 구조를 가지고 있으므로 현장에서 발생하는 여러 가지 거동을 정확히 파악하는 데 많은 어려움이 따르고 있다.

따라서 본 연구에서는 피스톤 시료의 압축지수와 현장침하량 예측자료를 바탕으로 장래침하량 예측방법에 의한 역해석 압축지수를 비교하여 실제 현장의 침하량에 대응하는 압축지수의 보정방법을 알아보고, 또한 피스톤 시료 압축지수와 Schmertmann의 수정압축지수, 대형블록시료의 실내압밀시험에 의한 압축지수를 서로 비교하여 시료교란이 제거된 현장상태의 압축지수를 비교하였다.

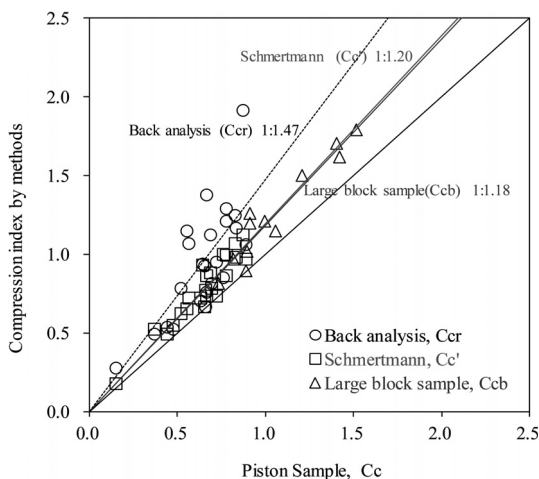


Fig. 8. Compression index by each method

Fig. 8에서 대상연구지역에 대한 피스톤 시료의 압축지수에 비해 대형블록시료의 실내시험 압축지수가 평균 18% 크게 평가되었고, Schmertmann의 수정압축지수는 피스톤 시료에 비해 평균 20% 크며, 현장계측침하량에 의한 장래침하량예측기법을 이용한 역해석에 따른 압축지수는 피스톤 시료에 비해 평균 47% 큰 것으로 평가되었다.

이와 같은 결과에 의해 피스톤 시료의 압축지수는 시료 채취 시의 교란과 현장상태의 압밀거동을 정확히 반영하기 어려우며 현장계측침하량 역해석 압축지수와 많은 차이를 보이고 있으며, Schmertmann의 수정압축지수와 대형블록시료에 의한 압축지수도 역해석 압축지수와 많은 오차가 있는 것을 알 수 있었다. 이와 관련하여 Chung et al.(1999, 2002)은 낙동강 하구 지역에서 각종 목적으로 실시된 5개 현장의 연약지반 개량공사에서 얻어진 설계 및 계측침하량 자료를 제시하며 관련 지반 정수의 신뢰성에 의문을 제기하였고, 실내에서 실시한 시료의 교란 정도가 시험 값에 미치는 영향이 크므로 이를 보정하여 사용할 것을 제안하였다.

대형블록시료의 압축지수와 수정압축지수는 피스톤 시료의 압축지수보다 약 20% 크므로 시료의 교란 영향을 어느 정도 보정할 수 있는 것으로 평가할 수 있으나, 계측침하량으로 산출된 역해석 압축지수의 결과에 의해 실내시험에 의한 압축지수는 추가적인 보정이 필요할 것으로 판단되었다.

따라서 본 연구대상지역과 같이 설계와 다르게 과다침하가 문제가 되는 곳에서 설계 시 피스톤 시료의 실내시험에 의한 압축지수를 보정하는 자료로 활용하기 위하여 현장계측침하량 분석에 의한 역해석 압축지수와 피스톤 시료의 압축지수의 상관관계를 Fig. 9와 같이 나타내었다. 역해석 압

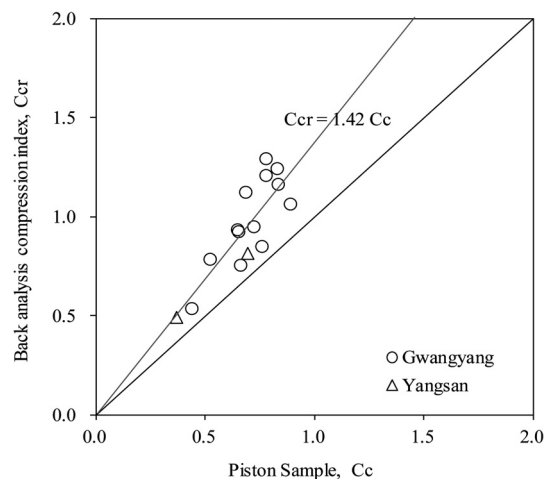


Fig. 9. Compression index of the southern coastal region

Table 5. Increment ratios of compression index by prediction methods

| Future settlement prediction methods | Hyperbolic | Asaoka | Hoshino | Root (S) |
|--|------------|--------|---------|----------|
| Increment ratios of compression index (Ccr/Cc) | 1.48 | 1.45 | 1.47 | 1.47 |

축지수는 각 침하량 예측기법별 역해석 압축지수의 평균값을 적용하였고, 평균값에서 신뢰도가 떨어지는 값은 비교 대상에서 제외하여 각각의 피스톤 시료 압축지수 값과 비교하였다. 그 결과 역해석 압축지수와 피스톤 시료 압축지수의 상관관계로 선형회귀분석을 한 결과 피스톤 시료의 압축지수는 역해석 압축지수보다 약 42% 과소평가된 경향을 나타내었고, C_{σ} (역해석 압축지수)= $1.42 \times C_c$ (피스톤 시료 압축지수)의 보정식을 제안할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 침하가 과대하게 발생하는 연약지반인 광양과 양산의 남해안 지역의 피스톤 시료와 대형블록시료의 실내시험자료와 계층침하량 자료를 이용하여 실내시험에 의한 압축지수를 보정하는 방안을 제시하였다.

- (1) 교란도 분석에 의해 피스톤 시료는 시료의 품질이 불량한 하여 실내시험 압축지수를 사용한 침하량 예측은 실제 침하량에 비해 과소평가되었음을 알 수 있었고, 대형블록시료가 비교적 피스톤 시료보다 양호한 상태의 품질을 보여 교란 정도가 적은 것으로 조사되었다.
- (2) 실측한 자료를 활용한 예측 최종침하량 산정은 압밀도가 낮을수록 침하량 차이가 많이 발생하는 것으로 나타났다. 각 장래침하 예측기법별 최종침하량 차이는 미미한 것으로 나타났다.
- (3) 피스톤 시료의 실내시험 압축지수를 시료교란영향을 제거하여 Schmertmann의 수정압축지수로 보정하면 피스톤 시료 압축지수가 수정압축지수보다 약 20% 과소평가 되는 것으로 나타났고, 샘플링에 방법에 따른 시료교란의 영향이 많은 피스톤 시료의 압축지수는 대형블록시료의 압축지수 값보다 평균 18% 적게 평가되었다.
- (4) 피스톤 시료의 압축지수를 현장계측자료를 이용하여 장래침하예측기법으로 역해석하여 산정하면 실내시험에 의한 압축지수보다 현장상황에 따라 30%에서 많게는 2 배 정도 크게 산정되지만 연구대상지역과 같이 설계와 달리 과다침하가 문제 되는 남해안 일대의 연약지반에서는 설계 시 피스톤 시료에 의한 압축지수를 약 42% 정도 크게 평가하여 설계 시 적용할 수 있을 것으로 사료되었다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 창원대학교 박사학위논문(Lee, 2011)에서 발췌하였습니다.

References

1. Andersen, A. AA. and Kolstad, P. (1979), The NGI 54-mm samplers for undisturbed sampling of clays and representative sampling of coarser materials, In Proceedings of the International Symposium of Soil Sampling, State of the Art on Current Practice of Soil Sampling, Singapore, pp. 13~21.
2. Asaoka, A. (1978), Observational procedure of settlement prediction, Soils and Foundations, Vol. 18, No. 4, pp. 87~101.
3. Berre, T., Schjetne, K. and Sollie, S. (1969), Sampling disturbance of soft marine clays. In Proceedings 7th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico, Vol. 1, pp. 21~24.
4. Cao, L. E., Chang, M. F., The, C. I. and Na, Y. M. (2001), Back-calculation of consolidation parameters from field measurements at a reclamations site, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 38, No. 4, pp. 755~769.
5. Casagrande, A. (1936), The determination of the pre-consolidation load and its practical significance, Proceedings of the international Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cambridge, Vol. 3, pp. 60~64.
6. Chang, M. C., Kwag, J. M., Chung, S. G. and Pham, H. G. (2000), Effect of sample disturbance due to nonhomogeneity of yangsan clay, KSCE Conference, Vol. 2, pp. 251~254 (in Korean).
7. Choi, H. K., Lee, D. M., Baek, S. H. and Chung, S. G. (1997), A new observation method and its application, KGS Fall Conference, pp. 37~48 (in Korean).
8. Chung, S. G., Kim, G. J., Baek, S. H. and Lee, D. M. (1999), Prediction and field measurement of settlement due to preloading at the delta of nakdong river, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 15, No. 5, pp. 99~110 (in Korean).
9. Chung, S. G., Kwag, J. M., Jang, W. Y. and Kim, D. G. (2002), Compressibility characteristics of estuarine clays in the nakdong river plain, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 18, No. 4, pp. 295~307 (in Korean).
10. Horiuchi, T., Eiki, A. and Funahashi, M. (1987), Evaluation of sample quality by thin-wall sampling tube, In Proceeding of the 8th Asian Regional conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, pp. 41~44.
11. Hvorslev, M. J. (1949), Subsurface exploration and sampling of soils for civil engineering purpose, Vicksburg, Miss., (U.S. Army, Corps of Engineers) Waterways Experimental Station, pp. 521.
12. Jamiolkowski, M., Ladd, C. C., Germaine, J. T. and Lancellotta, R. (1985), New developments in field and laboratory testing of soils, Theme Lecture No. 2, Proceedings of the XI International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, Vol. 1, pp. 57~154.
13. Kim, D. B. and Ahn, T. B. (2008), Comparison of compressibility between the oedometer tests with the field measurements in namak clay, Journal of the Korean Geo-environmental Society, Vol. 9, No. 5, pp. 15~20 (in Korean).
14. Kim, Y. C., Kang, J. M., Yune, C. Y. and Kim, Y. S. (2006), A study on development of KICT large diameter sampler and evaluation of field applicability, KSCE Conference, pp. 4057~4060 (in Korean).
15. Kim, Y. T. (1997), Consolidation analysis and application of back-analysis techniques for drainage-installed soft deposits, Ph D. dissertation, Korea Advanced Institute of Science of Technology,

- pp. 74~92 (in Korean).
16. Kwon, K. H. (1997), Sample disturbance influencing undrained strength and compressibility due to sampling tube sizes, Master's thesis, Dong-A University, pp. 4~35 (in Korean).
 17. Lee, C. O. (2011), A study on the compression index characteristics by analyzing field measurement settlements, Ph D. dissertation, Changwon Univ., pp. 1~108 (in Korean).
 18. Lee, K. J., Lee, S. J. and Yoon, H. S. (2006), A verification for determination of soil properties using field measurement and back analysis, Journal of the Korean Geoenvironmental Society, Vol. 7, No. 5, pp. 5~11 (in Korean).
 19. Lee, K. W., Ryu, I. H. and Park, T. G. (2005), Reappraisal of compressibility properties of nakdong river estuarine clays from field measurement, KGS Spring Conference, pp. 1013~1022 (in Korean).
 20. Lee, Y. G. and Lee, Y. N. (1998), A study on the variation of soil properties and disturbance effects with sampling methods, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 18, No. III-5, pp. 699~709 (in Korean).
 21. Lunne, T., Berre, T. and Strandvik, S. (1997), Sample disturbance effects in soft low plastic Norwegian clay, In Symposium on Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics, pp. 81~102.
 22. Olsson, J. (1925), Kolvborrh, ny borrhyp for upptagning av lerprov., Tek. Tidskr., Upplaga V.V. 55, pp. 13~16 (in Russian).
 23. Pelletier, J. H., Olson, R. E. and Rixner, J. J. (1979), Estimation of consolidation properties of clay from field observation, Geotechnical Testing Journal, Vol. 2, No. 1, pp. 34~43.
 24. Schmertmann, J. H. (1955), The undisturbed consolidation behavior of clay, Trans., ASCE, Vol. 120, pp. 1201~1233.
 25. Seo, J. Y. (2008), A study on the determination of soft ground characteristics based on result of field measurement, Master's thesis, Yeungnam University, pp. 71~72 (in Korean).
 26. Yu, S. J. (2007), Effects of disturbance on the strength and consolidation characteristics of marine clay, Ph D. dissertation, Suwon Univ., pp. 171~189 (in Korean).
 27. Yu, S. J., Kim, J. K. and Chae, Y. S. (2005), A study on the disturbance properties of kwang-yang by large scale consolidation test, KSCE Conference, pp. 3503~3506 (in Korean).