

불교란 점토 압밀시험 결과의 새로운 해석법

A New Analysis Method of the Consolidation Test Data for an Undisturbed Clay

박종화* · 고우모토 타쓰야**

Park, Jong Hwa · Koumoto Tatsuya

Abstract

In this study, the results of a series of consolidation test for undisturbed Ariake clay in Japan were analyzed by three methods, e -log p (e : void ratio, p : consolidation pressure), log e -log p and n -log p (n : porosity). Moreover, the characteristics of each analysis method were studied. For undisturbed Ariake clay, the log e -log p and the n -log p relationships can be found as two groups of straight lines of different gradients, but both the elastic consolidation and plastic consolidation regions of e -log p relationship are expressed as a curve. In this paper, the porosity of consolidation yield n_y , consolidation yield stress p_y , and the gradient of the plastic consolidation region C_p were represented by the log e -log p method, and n_c , p_{cn} and C_{cn} were represented by the n -log p method. The meaning and the relationships of each value were studied, and the interrelationships among compression indices i.e. C_{cn} , C_p and C_c are obtained from each analysis method as a function of initial porosity n_0 .

Keywords: Porosity, Void ratio, Consolidation yield stress, Compression index, Consolidation test, Undisturbed clay

I. 서론

일반적으로 흙의 압밀시험에서 얻을 수 있는 e -log p 곡선(여기서, e : 공극비, p : 압밀하중)의 소성압밀영역(혹은 정규압밀영역)의 직선 기울기를 압축지수 C_c 로 정의하고 있다. 그러나 초기공극비

e_0 가 큰 점토나 예민비가 큰 점토의 경우 e -log p 곡선은 소성압밀영역이 아래로 볼록한 곡선이 되므로 C_c 는 제한된 압밀 압력 p 의 범위에서 구해지게 된다. 또 e -log p 곡선의 선형압밀하중 p_c 의 결정법은 번거로운 방법일 뿐만 아니라 Mikasa(1964)에 의하면 현재 널리 이용되고 있는 Casagrande법은 공극비 e 의 눈금 잡는 방법에 따라 p_c 값이 큰 폭으로 변화하고 있음을 밝히고 e 의 눈금 잡는 방법에 영향을 받지 않는 압밀항복응력 p_y 의 결정방법을 제안하였다. 더욱이 선형압밀하중 p_c 라는 표현을 압밀항복응력 p_y 로 하는 편이 좋다는 의견

* 일본 사가대학 농학부
** 일본 사가대학 농학부
* Corresponding author. Tel.: +81-952-28-8759
fax: +81-952-28-8709
E-mail address: pjhokl@yahoo.co.kr

(Matsuo, 1974)과 함께 일본국내에서는 시험조건에 따라 p_c 값이 크게 변화하고 있는 사실에 따라 흙의 탄성역으로 부터 소성역으로의 전이점에 상당하는 응력이라는 의미에서 압밀항복응력이라는 호칭이 일반화되어 있다. 또한, Fujikawa 등(1980)은 이러한 압밀시험 결과 표시법상의 난점들, 특히 $e-\log p$ 곡선에서 직선이 명확히 나타나지 않은 경우도 꽤 많다는 점 등에 관한 문제해결 방법으로 $\log e-\log p$ 표시법을 제안하여 그 유효성을 지적하였다.

한편, Park, J. H.와 T. Koumoto(2000)는 점토의 압축성에는 공극비 e 보다 공극률 n 이 크게 관계하고 있음을 지적하고 이러한 관점에서 Koumoto, T와 Park, J. H.(2001)는 폭 넓은 소성을 가진 여러 교란된 자연점토 및 광물점토의 압밀시험 결과를 종래의 e 대신에 n 을 사용하여 $n-\log p$ 로 정리하는 것을 생각하여 그 표시법의 의의에 대해서 밝혔다.

본 논문에서는 지금까지 얻어진 이러한 결과들 토대로 일본의 저평지대대의 연약지반에 분포하고 있는 불교란 아리아계점토(有明粘土)에 대해 검토하고, 이 표시법에서 새롭게 정의되어진 압축지수 C_{en} 과 종래의 C_c 와 $\log e-\log p$ 표시법에 의해 정의되어지는 압축지수 C_p 와의 관계를 해석적·실험적으로 검토하여 그 유효성을 제시하였다.

II. 아리아계점토의 물리적 성질 및 특징

일반적으로 아리아계점토(有明粘土)는 일본(日本) 큐슈(九州)서부에 위치한 아리아계 해역(有明海域)의 간석지 및 해안 평야의 대부분을 포함하고 있는 충적점토를 가리키며, 아리아계점토로 구성되어진 지층을 아리아계점토층이라 한다. 특히 아리아계점토층은 주변의 시오타가와(鹽田川), 록카쿠가와(六角川), 가세가와(嘉瀬川), 치쿠고가와(筑後川)등의 하천으로부터 송류되어진 이토(泥土)가 조류와 큰 간만차의 영향을 받아서 퇴적된 것이다

(Fujikawa, T and M. Takayama, 1980). 이러한 아리아계점토는 다른 지역의 일반 해성점토보다 액성한계 w_L 이 크고 액성지수 I_L 이 1 이상이며 예민비 S_f 가 큰 이유 등으로 연약점토 혹은 초 연약점토라고 한다.

본 연구에서는 일본 사가현(佐賀縣) 메구리에지구(廻里江地區), 니시가와조에 지구(西川副地區), 오오타쿠마 지구(大託間地區)의 불교란 아리아계점토의 데이터를 사용했다.

Table 1은 불교란 아리아계점토의 입도분포 및 물리적·역학적성질 등을 요약한 것이다. Table 1에 의하면 액성한계, 액성지수 그리고 예민비의 값은 각각 $w_L = 51.2\sim 140.2\%$, $I_L = 0.34\sim 3.43$, $S_f = 3.9\sim 35.5$ 이다.

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 3지역의 불교란 아리아계점토의 소성도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 대부분의 점토가 B선의 우측방향에 그리고 A선의 아래 방향에서 거의 평행하게 분포한다. 즉 CH, MH 또는 OH의 범위에 들어 있다.

Table 1 Physical properties of undisturbed Ariake clay

Site		Megurie area	Nishikawazoe area	Otakuma area
Grain size distribution (%)	Sand	0.9~11.6	1.5~45.8	6.2~42.8
	Silt	-	25.1~56.7	28.5~51.8
	Clay	49.0~79.2	29.1~67.2	24.7~60.2
G_s	2.61~2.66	2.53~2.74	2.61~2.68	
w_L (%)	69.2~140.2	59.8~128.0	51.2~131.2	
w_0 (%)	62.7~164.6	48.7~158.5	55.0~133.7	
I_p	34.2~89.2	23.6~84.9	21.1~81.9	
I_L	0.47~2.03	0.34~3.43	0.39~1.49	
e_0	1.665~4.288	1.418~3.948	1.495~3.505	
n_0 (%)	62.48~81.09	58.64~79.79	59.92~77.80	
S_f	6.9~30.1	4.9~35.5	3.9~19.0	
C_c	0.57~2.32	0.32~1.81	0.45~2.19	
C_p	0.202~0.263	0.116~0.283	0.161~0.325	
C_{en}	10.92~13.95	6.56~15.17	9.21~18.55	

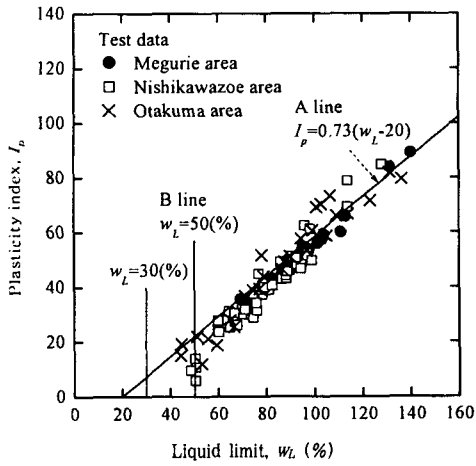


Fig. 1 Plasticity chart for undisturbed Ariake clay

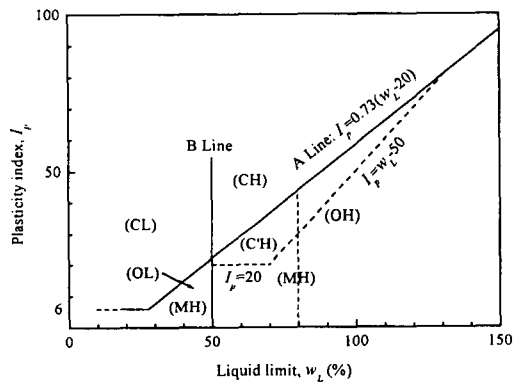


Fig. 2 Plasticity chart(unconfined soil classification of Japan)

그러나 CH, MH 또는 OH로 구분하는 Casa-grande의 A선은 경험적인 것으로 Fujikawa, T와 M. Takayama. (1980)의 보고와 흙의 판별분류법 시안의 일본 통일토질분류의 소성도인 Fig. 2에 의하면 아리아케점토층중 점토의 대부분은 CH범위에 들어있다. 특히, 일본 통일토질분류의 소성도의 A선 아래에 파선으로 나타난 영역($I_p=20$ 및 $I_p=w_L-50$ 선)은 A선의 아래에 분포되어 있을지라도 다이레이턴시가 현저하지 않고 건조강도가 중위 또는 높은 것이기 때문에 실트의 성질을 나타내지 않은 것이 거의 대부분이고 A선 위에 분포하는 흙

과 같은 종류로 볼 수 있기 때문에 CH로 표현하고 CH와 같은 공학적성질을 갖는 흙으로서 취급하기로 되어 있다(Japanese Geotechnical Society, 1990). 따라서 본 실험에 사용한 아리아케점토는 고 압축성 점토로 분류할 수 있다.

III. 결과 및 고찰

1. 압밀시험 결과의 $n-\log p$

Fig. 3, Fig. 4 및 Fig. 5는 이것들의 압밀시험 결과를 e_0 혹은 n_0 의 크기를 고려해 얻어진 9개의 데이터에 대해서 각각 $e-\log p$ 와 $\log e-\log p$ 및 $n-\log p$ 로 표시한 그림의 대표적인 것들이다. 이에 의하면 Fig. 3에서는 $e-\log p$ 관계가 전반적으로 곡선으로 되어 있는 것에 비해 Fig. 4에서는 e 와 p , Fig. 5에서는 n 과 p 의 어느 쪽도 양대수 용지에서 탄성압밀영역(혹은 과 압밀영역) 및 소성압밀영역(혹은 정규압밀영역)의 기울기가 다른 2개의 직선군으로 나타난다. 여기서, $\log e-\log p$ 표시에서 탄성 및 소성압밀선의 교점의 좌표를 (e_y, p_y)로 하고 $n-\log p$ 표시에서 탄성 및 소성압밀선의 교점

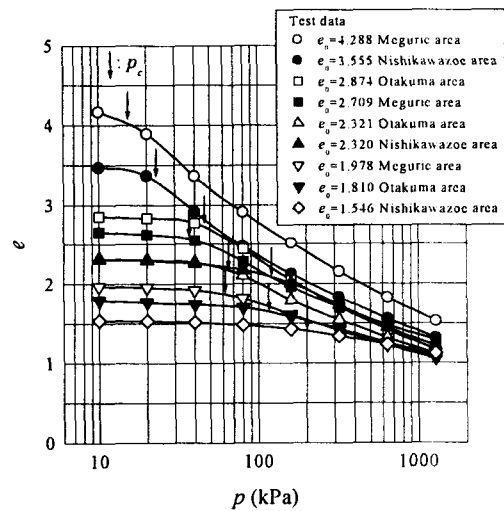


Fig. 3 $e-\log p$ curves for undisturbed Ariake clay

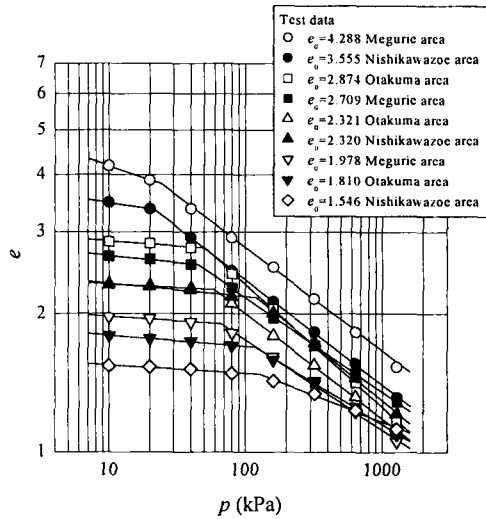


Fig. 4 log e -log p curves for undisturbed Ariake clay

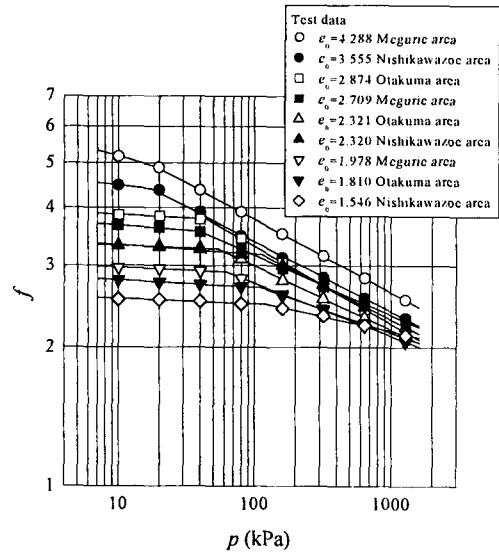


Fig. 6 log f -log p curves for undisturbed Ariake clay

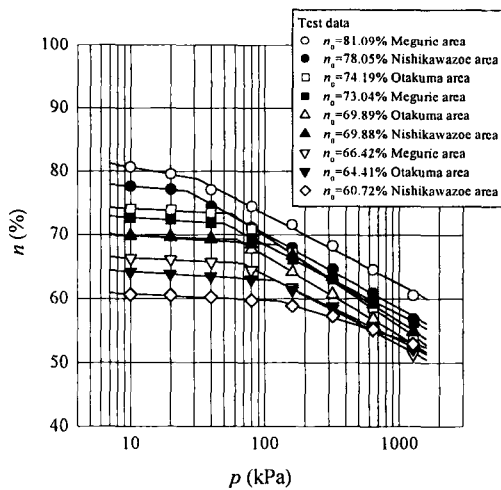


Fig. 5 n -log p curves for undisturbed Ariake clay

의 좌표를 (n_c, p_{cn})으로 하며, e_y 및 n_c 를 각각 압밀 항복시의 공극비 및 공극률로 하고 p_y 및 p_{cn} 을 각각 새로운 압밀항복응력(혹은 선행압밀하중)으로 한다. 또한, log e -log p 및 n -log p 표시에서 소성압밀선의 기울기를 각각 새로운 불교란 점토의 압축지수 C_p 및 C_{cn} 으로 한다. 한편, Butterfield (1979), Matsuo (1986) 및 Oikawa (1987) 등은

체적비 $f = 1 + e$ 개념을 도입해 log f -log p 관계도 2개의 직선 군으로 나타나고 있음을 밝혔다.

Fig. 6은 Fig. 3~5와 동일한 데이터에 대해서 log f -log p 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 것처럼 log e -log p 및 n -log p 관계와 같은 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

2. 탄성 및 소성압밀선의 교점 좌표 n_c 및 p_{cn}

가. 탄성 및 소성압밀선의 교점 n_c 와 초기공극률 n_0 의 관계

Fig. 7은 n_c 와 n_0 의 관계를 나타낸 것이다. 그림에 의하면 n_c 는 n_0 가 크면 클수록 큰 값을 나타내고 양자 사이에는 다음 식의 관계가 성립한다.

$$n_c = 0.98n_0 \quad (r = 0.991, N_s = 83) \dots \dots \dots (1)$$

여기서, n_c 는 탄성 및 소성압밀선의 교점, n_0 는 초기공극률, r 은 상관계수, N_s 는 데이터 수이다. 이 식으로부터 n -log p 표시법으로부터 얻어진 n_c 값은 n_0 에 의해 정해진다.

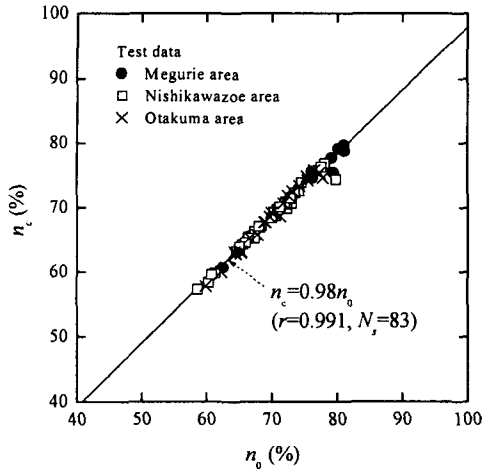


Fig. 7 Relationship between n_c and n_0 for undisturbed Ariake clay

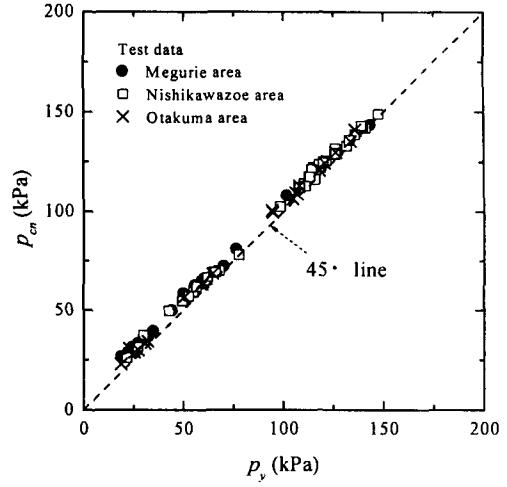


Fig. 9 Relationship between p_{cn} and p_y for undisturbed Ariake clay

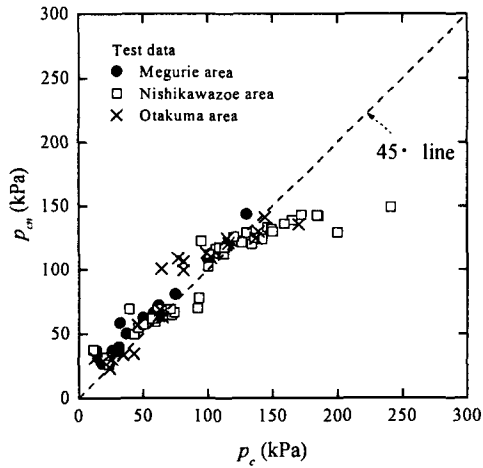


Fig. 8 Relationship between p_{cn} and p_c for undisturbed Ariake clay

나. 탄성 및 소성압밀선의 교점 p_{cn}

Fig. 8은 p_{cn} 과 $e-\log p$ 곡선에서 Casagrande법에 의해 구해진 p_c 와의 관계를 나타낸 것이다. 그림에 의하면 $p_c < 140$ kPa범위에서는 $p_{cn} \geq p_c$ 관계가 있고 $p_c > 140$ kPa범위에서는 $p_{cn} \cong 140$ kPa의 일정치가 얻어졌다. Fig. 9는 p_{cn} 과 p_y 와의 관계를 나타낸 것이다. 그림에 의하면 p_{cn} 은 p_y 가

크면 클수록 큰 값을 나타내며 전반적으로 $p_{cn} \geq p_y$ 와의 관계가 얻어졌다.

3. C_c , C_p 및 C_{cn} 사이의 상호관계

가. C_c 와 C_{cn} 의 관계

C_{cn} 및 C_c 는 정의로부터

$$C_{cn} = \frac{dn}{d \log p} = 2.30 p \frac{dn}{dp} \dots \dots \dots (2)$$

및

$$C_c = \frac{de}{d \log p} = 2.30 p \frac{de}{dp} \dots \dots \dots (3)$$

이다. (2)식과 (3)식으로부터

$$\frac{C_{cn}}{C_c} = \frac{dn}{de} \dots \dots \dots (4)$$

여기서, e 와 n 과의 사이에는 정의로부터

$$e = \frac{n}{100 - n} \dots \dots \dots (5a)$$

$$n = \frac{100e}{1 + e} \dots \dots \dots (5b)$$

의 관계가 있으므로 (5a)식으로부터 $\frac{de}{dn} = \frac{100}{(100-n)^2}$ 이 되고, 이것으로부터 $\frac{dn}{de} = \left(10 - \frac{n}{10}\right)^2$ 이 된다. 따라서, (4)식은 다음 식과 같이 된다.

$$\frac{C_{cn}}{C_c} = \left(10 - \frac{n}{10}\right)^2 \dots\dots\dots (6)$$

지금 (6)식에 있어서 $n = \alpha n_0$ 라 놓으면 (6)식은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{C_{cn}}{C_c} = \left(10 - \frac{\alpha n_0}{10}\right)^2 \dots\dots\dots (7)$$

Fig. 10은 불교란 아리아케점토에 대해서 얻어진 C_{cn}/C_c 와 n_0 와의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 C_{cn}/C_c 와 n_0 사이 (7)식을 적용하여 가장 상관관계가 좋을 때의 α 값을 구하면 $\alpha=0.92$ 이며 그 관계는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{C_{cn}}{C_c} = \left(10 - \frac{0.92n_0}{10}\right)^2 \quad (r = 0.908) \dots\dots\dots (8)$$

또한, 그림에는 Koumoto, T와 Park, J. H. (2001)가 교란점토로부터 얻은 관계식을 점선으로 같이 나타냈다. 한편, 흙이 압력을 받으면 공극부분의 체적의 변화와 함께 전 체적이 변동하기 때문에 n_0 는 흙의 압축성과 직접적인 관계를 갖는 인자라고 할 수 있다. 지금까지 Koumoto, T와 Park, J. H. (1998)는 $C'_c \sim (e_0 - e_p)$ 관계에서 대단히 높은 상관의 직선식이 성립함을 나타냈으나 큰 공극비를 갖는 광물점토를 주체로 한 교란점토의 압밀시험결과에 적용해 보면 얻어졌던 직선식으로부터 크게 벗어나고 있음을 알 수 있다. 그러나 C'_c 와 n_0 와의 관계에 있어서는 통일적으로 상관관계가 좋게 표현되고 있음이 밝혀졌다. 그 이유로서 초기공극비 e_0 는 상태량을 나타내는 인자이나 초기공극률 n_0 는 e_0 를 $(1+e_0)$ 로 나누어서 정규화하고 있기 때문에 더 한층 흙의 종류까지도 불문한 인자가 될 수 있기 때

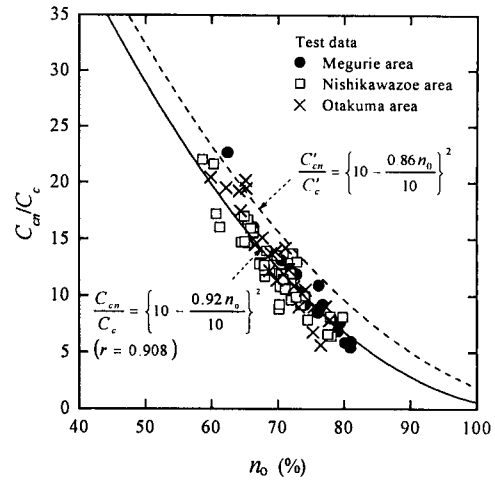


Fig. 10 Relationship between C_{cn}/C_c and n_0 for undisturbed Ariake clay

문인 것으로 판단되어진다 (Park, J. H.와 T. Koumoto, 2000).

나. C_{cn} 과 C_p 와의 관계

C_p 는 정의로부터

$$C_p = \frac{d \log e}{d \log p} = \frac{b}{e} \frac{de}{dp} \dots\dots\dots (9)$$

(2)식과 (9)식으로부터

$$\frac{C_{cn}}{C_p} = 2.30 e \frac{dn}{de} \dots\dots\dots (10)$$

여기서, (5b)식으로부터 $\frac{dn}{de} = \frac{100}{(1+e)^2}$ 이며 여기에 (5a)식을 사용하면 (10)식은 다음과 같다.

$$\frac{C_{cn}}{C_p} = 2.30 n \left(1 - \frac{n}{100}\right) \dots\dots\dots (11)$$

지금 (11)식에 있어서 $n = \alpha n_0$ 라 놓으면 (11)식은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{C_{cn}}{C_p} = 2.30 \alpha n_0 \left(1 - \frac{\alpha n_0}{100}\right) \dots\dots\dots (12)$$

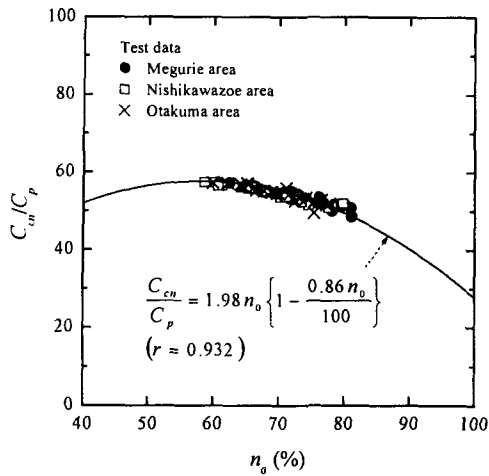


Fig. 11 Relationship between C_{cn}/C_p and n_0 for undisturbed Ariake clay

Fig. 11은 불교란 아리아계점토에 대해서 얻어진 C_{cn}/C_p 와 n_0 의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 C_{cn}/C_p 와 n_0 사이 (12)식을 적용하여 가장 상관성이 좋을 때의 α 값을 구하면 $\alpha=0.86$ 이며 서로의 관계는 다음 식으로 주어졌다.

$$\frac{C_{cn}}{C_p} = 1.98n_0 \left(1 - \frac{0.86n_0}{100} \right) \quad (r = 0.932) \dots (13)$$

다. C_p 와 C_c 와의 관계
(3)식과 (9)식으로부터

$$\frac{C_p}{C_c} = \frac{1}{2.30e} = \frac{1}{2.30} \left(\frac{100}{n} - 1 \right) \dots (14)$$

지금 (14)식에 있어서 $n = \alpha n_0$ 라 놓으면 (14)식은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{C_p}{C_c} = \frac{1}{2.30} \left(\frac{100}{\alpha n_0} - 1 \right) \dots (15)$$

Fig. 12는 불교란 아리아계점토에 대해서 얻어진 C_p/C_c 와 n_0 의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 C_p/C_c 와 n_0 사이 (15)식을 적용하여 가장 상관성이 좋은 α 값을 구하면 $\alpha = 0.94$ 이며 서로의 관계는

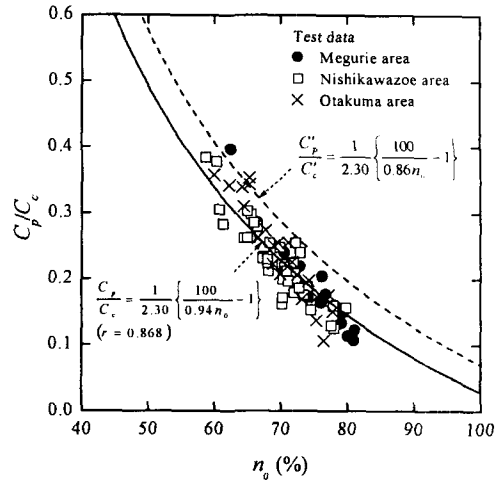


Fig. 12 Relationship between C_p/C_c and n_0 for undisturbed Ariake clay

다음 식이 된다.

$$\frac{C_p}{C_c} = \frac{1}{2.30} \left(\frac{100}{0.94n_0} - 1 \right) \quad (r = 0.868) \dots (16)$$

한편, Park, J. H.와 T. Koumoto(2000)는 불교란 아리아계점토에 대해 C_c 와 n_0 의 관계는 다음 식에 의해 높은 상관관계가 있음을 밝혔다.

$$C_c = \frac{n_0}{371.747 - 4.275n_0} \dots (17)$$

여기서, (8)식 및 (16)식에 (17)식을 대입하면 각각 (18)식 및 (19)식이 얻어진다.

$$C_{cn} = \frac{100n_0 - 1.848n_0^2 + 0.0085n_0^3}{371.747 - 4.275n_0} \dots (18)$$

$$C_p = 0.1017 + \frac{8.595}{371.747 - 4.275n_0} \dots (19)$$

또 새로운 압축지수 C_{cn} 과 n_0 를 사용하면 정규압 밀상태의 최종압밀침하량 산정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S = \frac{C_{cn}(100 - n_0)}{(100 - n_0)^2} H \log_{10} \left(\frac{p_0 + \Delta p}{p_0} \right) \dots (20)$$

여기서, S 는 최종압밀침하량, H 는 점토층의 두께, p_0 는 유효응력, Δp 는 상재증가하중이다.

또한 C_{cn} / C_c 와 n_0 와의 관계에서 얻어진 $n=0.92n_0$ 관계를 사용하면 (20)식은 (21)식이 된다.

$$S = \frac{C_{cn}(100 - n_0)}{(100 - 0.92n_0)^2} H \log_{10} \left(\frac{p_0 + \Delta p}{p_0} \right) \dots \dots (21)$$

이와 같이 불교란 점토의 압밀시험 결과를 표시 하는데 있어 새롭게 정의되어진 압축지수 C_{cn} 은 해석적·실험적인 검토에서 그 유효성이 매우 높은 것으로 나타났다.

IV. 결 론

본 연구에서는 폭 넓은 소성을 가진 여러 종류의 교란 자연점토와 광물점토에서 얻어진 결과를 중심으로 불교란 아리아케점토에 대해서 압밀시험 결과의 새로운 해석법을 적용 검토했으며 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 압밀항복시의 공극률 n_c 와 초기공극률 n_0 사이에는 $n_c = 0.98n_0$ ($r = 0.991$, $N_r = 83$)의 관계가 성립하였다.
2. 새로운 압밀항복응력 p_{cn} 과 종래의 p_c 사이에는 $p_c < 140$ kPa 범위에서 $p_{cn} \geq p_c$ 관계가 있고 $p_c > 140$ kPa 범위에서 $p_{cn} \cong 140$ kPa의 일정치가 얻어졌다.
3. p_{cn} 과 p_y 사이에는 일반적으로 p_{cn} 은 p_y 가 크면 클수록 큰 값을 나타내며 $p_{cn} \geq p_y$ 관계가 있는 것으로 나타났다.
4. 불교란 아리아케점토에 있어서 새로운 압축지수 C_{cn} 과 종래의 압축지수 C_c 사이에는 다음 식과 같은 관계가 성립한다.

$$\frac{C_{cn}}{C_c} = \left(10 - \frac{0.92n_0}{10} \right)^2 \quad (r = 0.908)$$

5. C_{cn} 과 C_p 사이에는 다음 식과 같은 관계가 성

립한다.

$$\frac{C_{cn}}{C_p} = 1.98n_0 \left(1 - \frac{0.86n_0}{100} \right) \quad (r = 0.932)$$

6. C_p 와 C_c 사이에는 다음 식과 같은 관계가 성립한다.

$$\frac{C_p}{C_c} = \frac{1}{2.30} \left(\frac{100}{0.94n_0} - 1 \right) \quad (r = 0.868)$$

7. C_{cn} 과 n_0 로 부터 간단히 추정할 수 있는 정규 압밀상태의 최종압밀침하량 산정식은 다음과 같다.

$$S = \frac{C_{cn}(100 - n_0)}{(100 - 0.92n_0)^2} H \log_{10} \left(\frac{p_0 + \Delta p}{p_0} \right)$$

References

1. Butterfield, R. 1979. A Natural Compression Law for Soils (An Advance on $e - \log p'$). *Geotechnique*. 29(4): 469-480. (in English)
2. Fujikawa, T., T. Koumoto and K. Kaku. 1980. On the Linearity in the Log e vs. Log p Relationship from Consolidation Tests and its Application. *Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering*. 87: 31-36. (in Japanese)
3. Fujikawa, T and M. Takayama. 1980. Physical Properties of Ariake Marine Clay - Geotechnical properties of Ariake marine clay (1)-. *Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering*. 88: 51-61. (in Japanese)
4. Japanese Geotechnical Society. 1990. Method and Explanation of Soil Testing. 188.
5. Koumoto, T. and J. H. Park. 1998. Compression Index Equation for Remolded Clays. *Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering*. 193: 81-85. (in Japanese)

6. Koumoto, T. and J. H. Park. 2001. Interrelationship Among Three Arrangement Methods of e -log p , log e -log p and n -log p for Remolded Clays. *Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering*. 211: 43-49. (in Japanese)
7. Matsuo, K. 1986. Relationship between Properties and Compression Index Arranged by Logarithmic Strain. *Soils and Foundations, JSSMFE*, 26(4): 177-185. (in Japanese)
8. Matsuo, M. 1974. Soil Test. Morikita Shuppan Co., Ltd: 86. (in Japanese)
9. Mikasa, M. 1964. Arrangement Method of Consolidation Test. *Proceedings of the 19th Annual Conference of the Japan Society of Civil Engineers*. III: 7(1)-7(2). (in Japanese)
10. Oikawa, H. 1986. Compression Curve of Soft Soils. *Soils and Foundations, JSSMFE*. 27(3): 99-104. (in English)
11. Park, J. H and T. Koumoto. 2000. Compression Characteristics of Remolded Clays. *Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering*. 205: 13-17. (in Japanese)
12. Park, J. H and T. Koumoto. 2000. The Ultimate Settlement Equation Using Initial Porosity, n_0 . *Proceedings of the 81st Annual Conference of the Japanese Society of Irrigation Drainage and Reclamation Engineering, Kyushu Branch*: 239-242. (in Japanese)