การประเมินค่าสติฟเนสของหินคลุกด้วยวิธีการปล่อยน้ำหนักตกกระทบ
Evaluation of stiffness of crushed rock by a falling weight method

ธนรัฐ ขวัญเจริญทรัพย์[1,*] วรัช ก้องกิจกุล[1]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพ, ประเทศไทย
**Corresponding author; E-mail address: thanarut.mossco1840@mail.kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

M_r (k) (M_{DH}) M_{DH} M_r (M_{1D})

M_r k (n) n k n $(k_{n=\infty})$ (k) (M_{DH}) (M_{DH}) k (M_{1D}) (θ) $M_{DH}-\theta$ k $M_{1D}-\theta$ $(n=\infty)$ $k_{n=\infty}$ (M_{DH}) k (θ) $M_{DH}-\theta$ $M_{1D}-\theta$

Abstract

(M_r) M_r M_r M_r M_r M_r

1. บทนำ

M_r

k
(M_{DH})

(M_{1D})

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ค่าโมดูลัสคืนกลับ (M_r) ของวัสดุชั้นทาง

M_r

M_r

M_r

M_r

(E)

θ

θ

K_0

M_0

θ / P_a

M_{1D}

E

2.2 ค่าความแข็งแรงของวัสดุ (Soil Stiffness of Materials)

2.3 การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฮเพอร์โบลิก (Hyperbolic method)

S (t)

t / S

t (β)

$(1/\beta)$

3. วิธีการทดสอบ

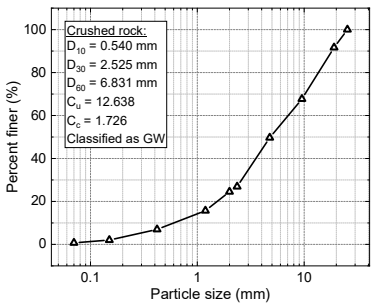
3.1 โมลซีบีอาร์ดัดแปลง

ε_θ

ε_θ

σ_h

3.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

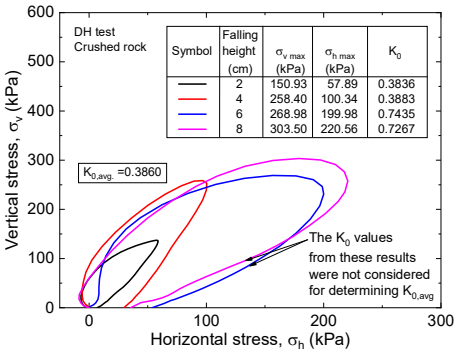


รูปที่ 1

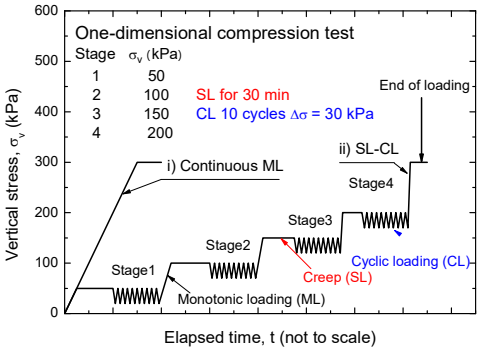
3.3 การทดสอบ DH กับตัวอย่างดินที่บดอัดในโมลซีบีอาร์

ε_θ

K_0



รูปที่ 7 $\sigma_v - \sigma_h$ (K_0)



รูปที่ 6

4.1.2 การคำนวณค่าสติฟเนสของดิน (k) ด้วยวิธีไฮเพอร์โบลิก

(p)

(s_1)

(k)

k

k $(k_{n=\infty})$

4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบ DH

4.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาวะอยู่นิ่ง (K_0)

$$k = \frac{p_{\max}}{s_{1,\max}}$$

$k-n$

(n) k

n

(σ_h) ε_θ

$$\sigma_h = \frac{\varepsilon_\theta E t}{r}$$

E t r

$$k = \frac{n}{\alpha + \beta n}$$

$n=\infty$ k $(k_{n=\infty})$

$1/\beta$ k

k

$\sigma_v - \sigma_h$

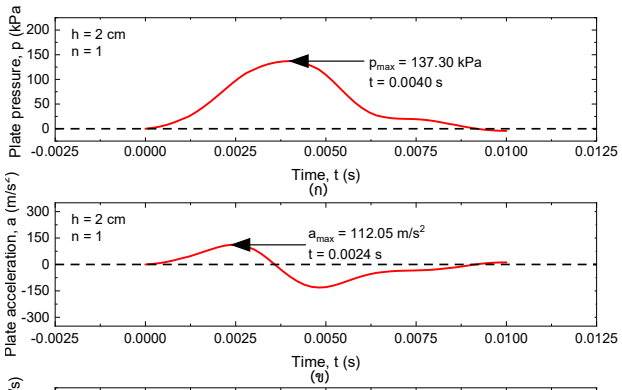
$n=1$

(K_0)

K_0

$$\lim_{n\to\infty} k = \lim_{n\to\infty} \frac{1}{\alpha/n + \beta} = \frac{1}{\beta}$$

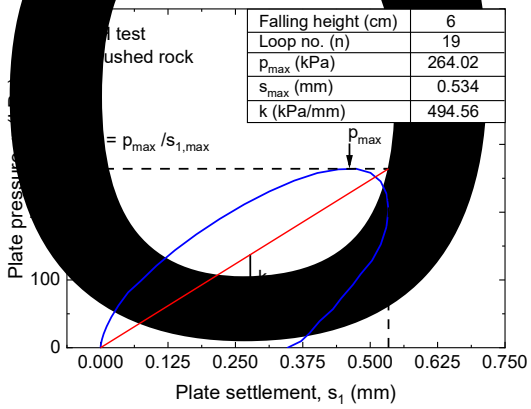
Symbols	h (cm)
□	2
○	4
△	6
◁	8

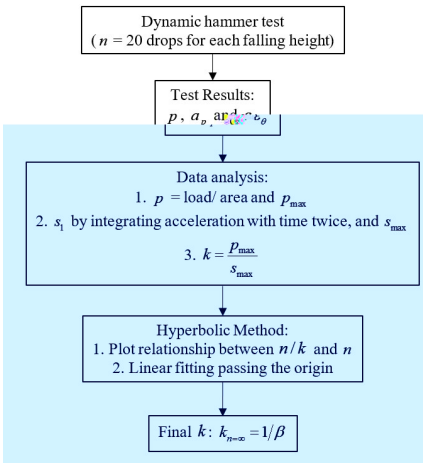


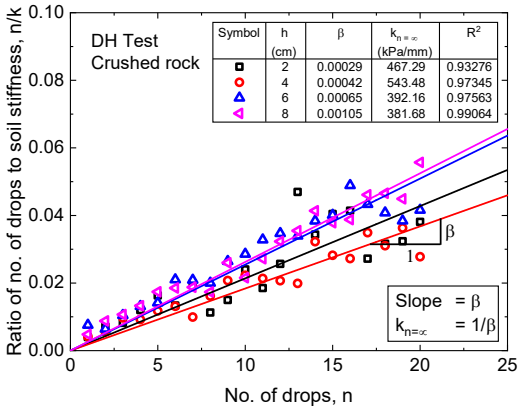
รูปที่ 8 (k) (n)

ตารางที่ 3

ลำดับ	ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฮเพอร์โบลิก
	(a) (ε_θ)
	$k_{n=\infty}$ k
	p_{max}
	(s_1) s_1 $(s_{1,max})$
	p_{max} $s_{1,max}$ k k
	n/k n n $n=20$ (β)
	$k_{n=\infty}$ $1/\beta$







รูปที่ 9

$k_{n=\infty}$

$k_{n=\infty}$

k

ตารางที่ 4 $(k_{n=\infty})$

ความสูงปล่อยตก, h (cm)	$k_{n=\infty}$ (kPa/mm)

4.1.3 การปรับแก้ค่าการทรุดตัวสูงสุดที่ได้จากการอินทริเกรต

$(p-s)$

p

(s_{1p})

$(s_{1,\max})$

(s_{2p})

s_{1p}

s_{2p}

$s_{1,\max}$ k

$s_{1,\max}$ k

$k_{n=\infty}$

$s_{1,\max}$ k

$s_{1,\max}$ $k_{n=\infty}$

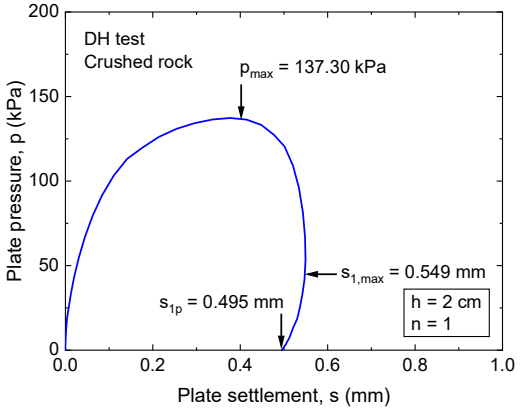
$$CF = \frac{s_{2p,avg}}{s_{1p,avg}}$$

CF $s_{1p,avg}$

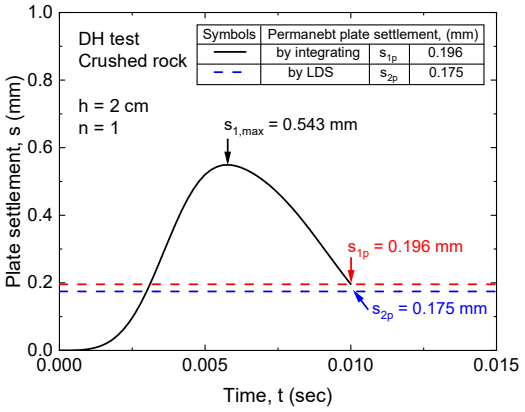
$s_{2p,avg}$

ตารางที่ 5

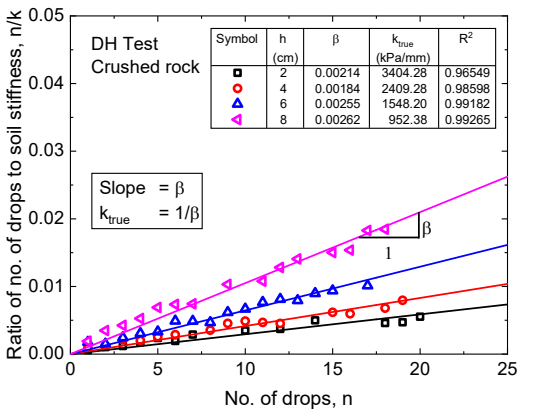
ความสูงปล่อยตก, h (cm)	CF



รูปที่ 13 $p-s$ $(s_{1,\max})$ (s_{1p})



รูปที่ 14



รูปที่ 15 n/k n k (k_{true})

$k_{n=\infty}$ k_{true}

$k_{n=\infty}$

$s_{1,\max}$

k_{true} $s_{1,\max}$

4.1.4 ค่าโมดูลัสจำกัดจากการทดสอบ DH (M_{DH})

M_{DH}

$$E=\left(1-\frac{2v^2}{1-v}\right)\frac{4H}{\pi D^2}k$$

E v H

D

k

M_{DH}

$$M_{DH}=k\times H_{CBR}$$

M_{DH}

H_{CBR}

k

θ

$\sigma_{v,\max}$ σ_v

$\sigma_{h,\max}$

θ

$$\sigma_h=K_0\times\sigma_v$$

K_0

$$\theta=\sigma_v+2\sigma_h$$

θ M_{DH}

k $k_{n=\infty}$ θ

M_{DH} k k_{true}

k M_{DH}

ตารางที่ 6 $k_{n=\infty}$ k_{true}

ความสูงปล่อยตก, h (cm)	$k_{n=\infty}$ (kPa/mm)	k_{true} (kPa/mm)

ตารางที่ 7 θ M_{1D} k $(k_{n=\infty})$

K_0	h (cm)	$\sigma_{v,\max}$ (kPa)	$\sigma_{h,\max}$ (kPa)	θ [1] (kPa)	k_{true} (kPa/mm)	M_{DH} [2] (MPa)

[1] $\theta=\sigma_{v,\max}+2\sigma_{h,\max}$: [2] $M_{DH}=kH_{CBR}$ H_{CBR}

ตารางที่ 8 θ M_{1D} k (k_{true})

K_0	h (cm)	$\sigma_{v,\max}$ (kPa)	$\sigma_{h,\max}$ (kPa)	θ [1] (kPa)	k_{true} (kPa/mm)	M_{DH} [2] (MPa)

$\theta=\sigma_{v,\max}+2\sigma_{h,\max}$ $M_{DH}=kH_{CBR}$ H_{CBR}

4.2 ผลการทดสอบการอัดตัวหนึ่งมิติ (1D compression)

4.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาวะอยู่นิ่ง (K_0) จากการทดสอบ 1D compression แบบให้แรงกระทำต่อเนื่อง (Continuous monotonic loading, ML) ในโมลซีบีอาร์แบบดัดแปลง

(σ_v)

(σ_h)

K_0

σ_h

$\sigma_v-\varepsilon_v$ $\sigma_h-\varepsilon_v$

$\sigma_v-\sigma_h$ K_0

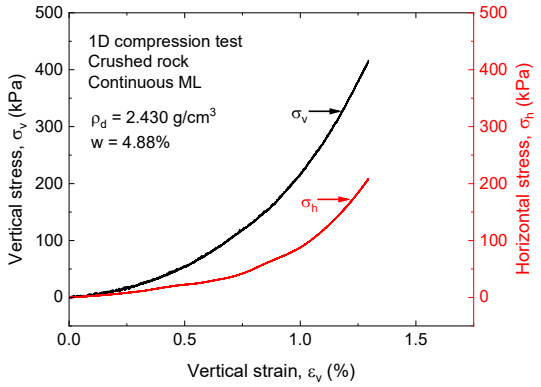
$\sigma_v-\sigma_h$ K_0

4.2.2 ค่าโมดูลัสจำกัดจากการทดสอบ 1D compression (M_{1D})

จากการทดสอบ 1D compression แบบให้แรงกระทำคงค้าง (Sustained loading, SL) และตามด้วยแรงกระทำเป็นวัฏจักร (Cyclic loading, CL) ในโมลซีบีอาร์แบบดัดแปลง

$\sigma_v - \varepsilon_v$

$\sigma_v - \varepsilon_v$



รูปที่ 16 $\sigma_v - \varepsilon_v$ $\sigma_h - \varepsilon_v$

M_{1D}

σ_v

θ M_{1D}

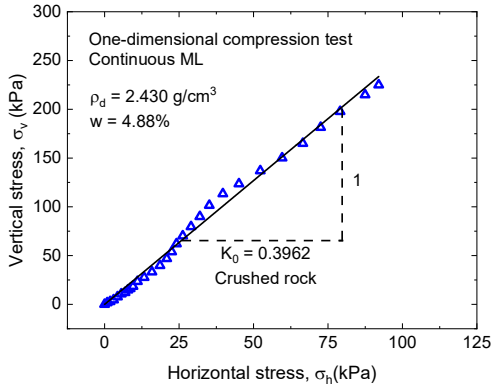
σ_v σ_h σ_h K_0

M_{1D}

M_{1D}

M_0

M_{1D}



รูปที่ 17 $\sigma_v - \sigma_h$ K_0

M_{1D} M_0

(θ / P_a) θ

(P_a)

$M_{1D} - \theta$ M_{1D}

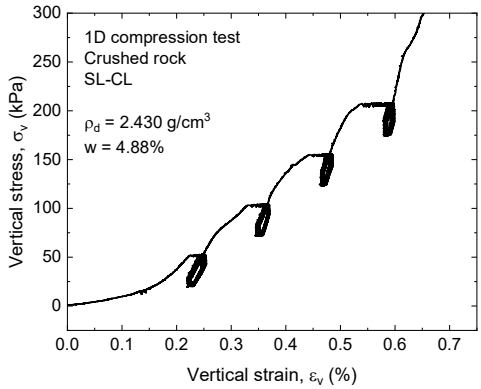
θ

M_0

M_{1D} θ / P_a

$$M_{1D} = M_{1D,0}\left(\frac{\theta}{P_a}\right)^{k_{M_{1D}}}$$

$M_{1D} - \theta$

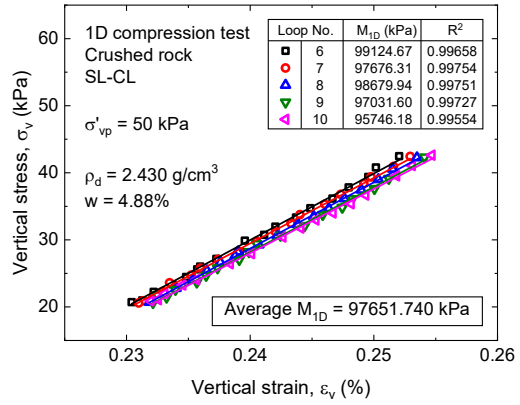


รูปที่ 18 $\sigma_v - \varepsilon_v$

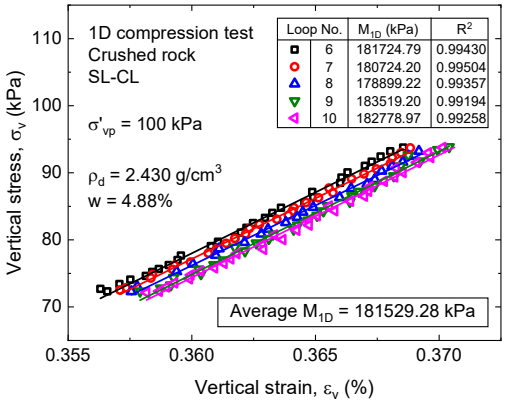
ตารางที่ 9 θ M_{1D}

K_0	σ_v (kPa)	σ_h (kPa)	θ [1] (kPa)	M_{1D} [2] (MPa)

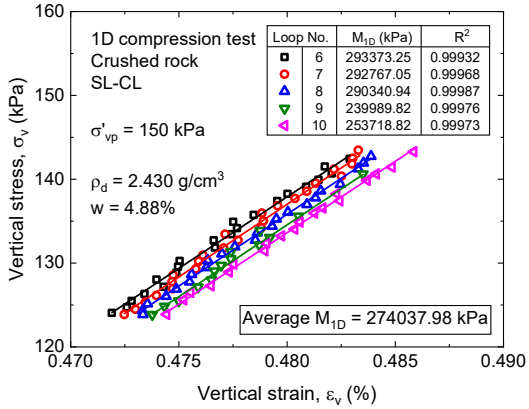
$\theta = \sigma_v + 2\sigma_h$ M_{1D}



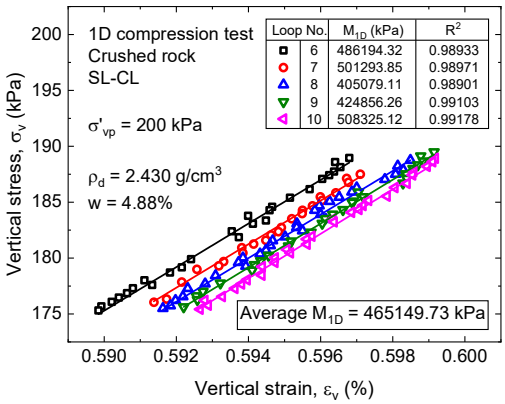
σ_v



σ_v



σ_v

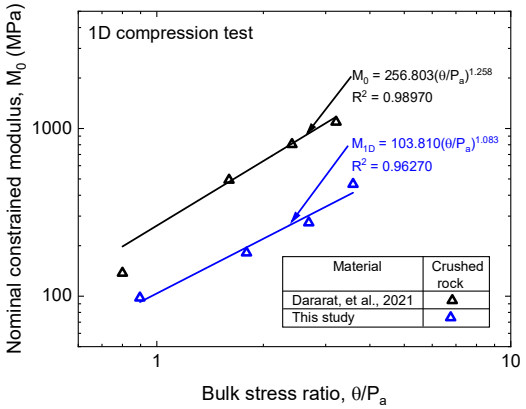


σ_v

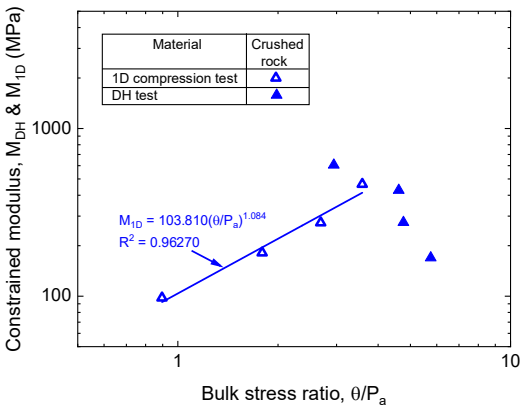
รูปที่ 19

(M_{1D})

σ_v



รูปที่ 20 M_{1D} M_0 θ / Pa



รูปที่ 21 M_{DH} M_{1D} θ / Pa

4.3 การเปรียบเทียบค่าโมดูลัสจำกัด (Constrained modulus)

$M_{DH} - \theta/P_a$

$M_{1D} - \theta/P_a$

$M_{DH} - \theta/P_a$

M_{1D} θ / P_a

M_{DH}

5. สรุปผลการทดสอบ

(k)

$(n=\infty)$

$(k_{n=\infty})$

$n=\infty$

$(s_{1,p})$

$(s_{2,p})$

$(s_{1,\max})$

(k_{true})

(M_{DH})

(θ)

(h) $s_{1,\max}$

(k_{true}) M_{DH}

M_{DH}

$(M_{1D}-\theta)$

(M_{DH})

E E

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

. Vulcan Materials Company
Standard method of test for determining the resilient modulus of soil and aggregate materials T307-99

. Transportation Geotechnics

. Road Materials and Pavement Design

. Transportation research record

. Journal of geotechnical engineering

. Nigerian journal of technology

. Shigley's mechanical engineering design

Pavement design: A guide to the structural design of road pavements

Standardizing lightweight deflectometer modulus measurements for compaction quality assurance

ASTM

. Soils and foundations

. Soils and foundations