พฤติกรรมของเสาเข็มเดี่ยวเมื่อได้รับแรงกระทำด้านข้างเมื่อทำนายด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์และวิธีเชิงตัวเลข

Behaviors of a Single Pile Subjected to Lateral Loading Predicted by Analytical and Numerical Methods

ภณ พงศ์สุวรรณ[1] สุทิวัส นาคศรี[1] สิบปภาส สุวรรณชล[1] และ วรัช ก้องกิจกุล[1,*]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จ.กรุงเทพ

& kmnadlkj ejc]qpdkn7A)i]eh] naoo6s]hjpgkj gi qpp] pd

บทคัดย่อ

ทต ทฟ ถ ฉ รตวต ต ฟ ง วต ณฬฟต วต ฟ ฟ รต ม ฒ พณฒม ฐต ฐพฑ ต วต ณฒม พณฒม ค ฟ ฟ รต วฉ ทต ฟ ต ตรฐ Rampe]hHk] ต ร ทตคฟ มร พ ฟต ฟ ฟ ณ ณ ฐ ต H]pan]hHk] ฐรพ ง ทต รต ฉ ต ฟบค ฟฐ ถถ ต ต ตรคฟต ต ค ฟร ฟ ว ฐพรง ฐ พ ต ตฐตณฟพ ฟต ฟฐ ต ณฦณ ฐพรฐรพ Jkj) é ajoekj]hi apdk J@l (Bejepa ahai ajpi apdk BAl ม Bejepa ebbanaj a i apdk B@l ง วธมมบดทต ฟ ผ พ ต ม ฟ ร วต ฟร ทฒ Lkqhkooi apdk Lkqhkoo ม d]nj panepe Hk] i apdk Hl ง วธมมบดทต ฟ รณธรฐต ม ต ฐฐ ฐ ณ ฐ ต ต ธม ฟร ฟ ว วม ตฒ ต ท ทฟฟต ณฟต ถธมณ ฐ ค ฟณฐ ถฐรพ ถถค ม ณ พผ บค ตรคฟ ตวต ค ฟทฟฟต ณฟตบถร J@l ม Lkqhkoo วธมมบดณ ตพ ฟ ฟ ณ ฐ ต ณวร ต ฐพรต ถ BAl ม B@l ต ต ฟร ฟ ว ฐรพ B@l ฟ ฐม ฐต ณ ร ม ว ร ตพ ธมมบดต พ ร ฟ ฐม ฐต ถถ ทฟรต ร ม พ ฟ Hl วธมมบดณ ตพ ร รด ฟ ต ต ค ธมมบดณ ฐพ ร ตพ ฟ ฟ ณ ณวร บ ต บฟ ตรดตบค ฟฐ บภ ฟฟ ต ฐตฟ ถ ง ค รด ฟ ต ณ บค ฟฐ บภ ฟฟ ต ฐตฟ ถ

ฉ6ณฟพ(รด ร ม (รด ร ฟ ว(ฐพร(ฟ ฐ ต

Abstract

Lbba eo kja kb pda gau ahai ajpo kb] qehejc(s ded eo nadlkjoe ha bkn oq[lknpejc pda s aecdp kb] qpnq pqna]j pn]jdbanmejc epejpk pda cnkqj oq]hhu(pda s aecdp eo pda rampe]h bkn a Ejbj p(pda lbba]hdk i qpp pn]jdban pda h]pan]hbkn a(s ded eo é lknp]jp pk kjoe an Pdeo naoa]n d eo ejpana qpa ejpda]j]hvoeo kb ad]rekqno kb] oejcha lbba ejqp]hha ejo]j s daj oq fa pa pk h]pan]hHk] qoejc jkj) é ajoekj]hi apdk J@l (bejepa ahai ajp i apdk BAl]j bejepa ebbanaj a i apdk B@l (kbs ded pda kqp ki ao]na ejpanj]hbkn a]j abba pekj]hkjc pda lbba Pda]j]hvoeo]hdk ejhq a Lkqhkoo i apdk Lkqhkoo]j d]nj panepe Hk] i apdk Hl (kbs ded pda kqp ki ao]na abba pekj]p pda cnkqj harah]j i]t é qi aj ejc i ki ajp ejpda lbba Pda naoqhpo kb pda oa]j]hvaos ana ki l]na s epd pda naoqhpo k p]ejaa bnki]l duce]hi k ahejc paqp bnki l nar ekqo naoa]n d u ki l]nekj(qpeo bkqj pd]p J@l]j Lkqhkooc]ra] qn]pa naoqhpos da j pda h]pan]hHk] kj pda lbba da] eo Hks Oe é]nnaoqhp kqh a k oanna s epd BAl]j B@l Bkn B@l (qoejc kb ockeh i k qhqo kjqp]jp s epd al pd naoqhpa ejhaoo] qn] u pd]j qoejc kb ockeh i k qhqo r]na s epd al pd Jkj apda haoo(Hl c]ra pda i kqp] qn]pa naoqhp ki l]nejc pk pda kpdan i apdk o]o pda naoqhpo nai]eja] qn]pa ad lqpa pda ejna]oa Hk] kj pda lbba da] (a]qoa pda jkj)hejaa]n ad]rekqno kb ockeh]na p]gaj ejpk kjoe an]pekj Pdeo eo ebbanaj p bnki pda kpdan i apdk o ejpd]p pda jkj)hejaa]n ad]rekqno kb ockeh]nkqj pda lbba]na jkp kjoe ana

Gaus kn cr O]j (Jqi are]hl apdk (=j]hupe]hl apdk (Oejcha Lbba(H]pan]hHk] ejc

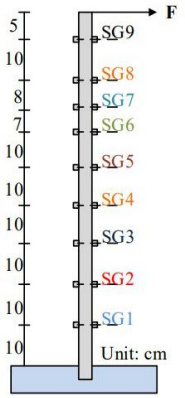
1. บทนำ

ฒ ทต ทฟ ถ รต ฉ ณ ฐ รตวต ฟ ฐพณ วต ณ ต ฟฒม พณฒ วต ร ฟม บตฐต ง ฟ ณ ฐ ค ฟ ฒม พณฒ วต ต มรต มร ทต ฟ ฟ ณ ต ตรฐ ต ร ทต คฟ มร พ ฟต ฟ ฟ ณ ณ ฐ ต ง ทต รต ฉ ต ฟบค ฟฐ ถถ ต ต ฐ ต ต ตรคฟตค ฐฤ ล บภ ฟฟ ฐพรฟต ฟ ฐ ต ฐรพรด ฟ ร ค ทตรด ร ฟ ว =j]hupe]hi apdk วฟรด ร ม Jqi are]hi apdk ณ ทตณตพ ม ฐพต ฟฟ ฟต ต ฟ ทฉว วฟต ฐพรฟต ฟ ฐ ต ฟร ทฒ ทฟฟต ณฟตธมมบดณ ฐค รด ฟวม ต ถบภ ฟฟ คฟ ณ ฐค ฟณ ถถ ผ บ ตรคฟ ตวต ฐพ

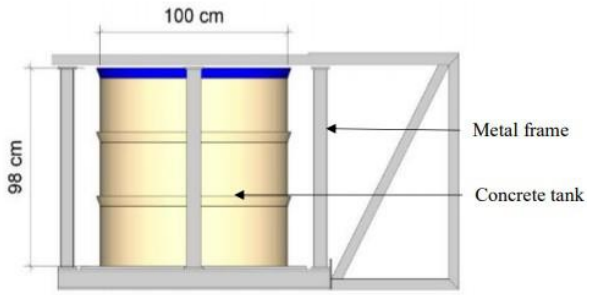
ร ฒ ทฟ บ ฤ ล ม ทฟพถ ณพถ ถธม พณฐ ถฐรพรด ฟ ร ฟ ว ฐพรพถ ฟ ฐ ต ฐ - Jkj)@ie ajoekj]h l apdk J@l . Lkqhkoo l apdk Lkqhkoo / Bejepea Ahai ajp l apdk BAl 0 Bejepea @ebbanaj a l apdk B@l ม 1 d]n] panepe Hk] l apdk Hl ตรคพต ถ ฟฤ ล ฐ ทต - ฟร ฟ ว บภ ฟฟ ฐพรค ณ ฐรพรด ฟ ฐ ณ ม ร ท ต ณ ตต . ฟ ฟ ณ บ ต ต ต ณฐุณ ฐพร ณ ตต ฐพ ต ณวร ทต ถถพฐ ตต Beea / ต ฐตณ ร ฟ ว ทตฐตณฟ พ Olj ม 0 ธม ฟร ฟ ว ค ต ทฟพถ ณพถ ถธม พณฐ ถค ฟร ค พ Oqa pd]s ejgqh WY ณ ตต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

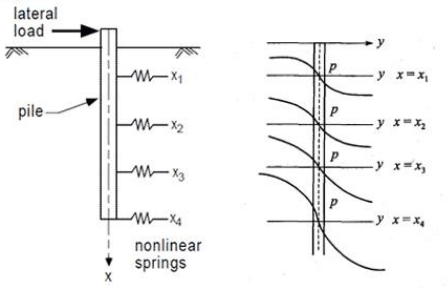
ตรคพ Oqa pd]s ejgqh WY ณ ฟณฐ ถ ถ ฐพร ค ม ฐพณ ฐ พ ถฒ ณฟ พ ฐ ตฟท ณ - ม . ม ฐถ



รูปที่ 1 ค ม ตรคพ Oqa pd]s ejgqh WY



รูปที่ 2 ฒ ณฟ พ ว ฟถ ฐ Oqa pd]s ejgqh WY



รูปที่ 3 ต S ejghan WY

2.1 Finite Difference Method

2.1.1 สมมติฐานของ Winkler

ต S ejghan WY ว พ ฟ ฐม ฟ ต ฟ ฐ ฐต l k qhqokboq cm] a ma] pekj (g d ว พ ตถ ฟ ค ฟพ ร ฐม ฐต Okehi k qhqo(A o ง S ejghan WY ฐ ว ฐต บภ ฟฟ ทต ว ต ทฟ ณฟ ฐถ ร ม ฐพ ร ต Okehma] pekj l l ebea abba pekj u ฐม ฟ ต ฟ ฐ ฐต ง ฐ พ ตฟท ณ /

ฐพณ P anv] cde WY ม รร ว ฟถ ฐตณฟ พ ค ว ฐม ฐต ทตฤตพณธรฐต ม บ ต ทต ต ฟ ร ม ฐ ฟณ -

$$K_h' = E_s = n_h x \qquad -$$

ฐพณ K_h' ฐม ตณ ฟ ฐ ฐต gJ i ·
E_s ฐม ฐต gJ i ·
n_h ทฟ ณด ฟทม พต ทม ฐม ฐต gJ i /
x ฟ ฐถ ร ม i

2.1.2 สมการเชิงอนุพันธ์สำหรับเสาเข็มเดี่ยวรับแรงด้านข้าง

L]hi an]j Pdkil dkj WY ต รด B@l ง ฟ ว ฟถ ฐพรฟถ ฟ ฐ ต ฐ ฐฐ ฟณ .

$$\frac{d^4y}{dx^4} + \frac{E_s}{EI} y = 0 \qquad .$$

ฐพณ y ฟ ร i
E ฐม gL]
I ต ร พ i 0

ค ฟทฟ ฏ ฟ ตบตด ค ฐ ฟ ว ฟถ ฐพร ฟถ ฟ ฐ ต ฐ ฟณ /

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + 6y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2} = -\frac{E_{si}h^4}{EI} y_i \qquad /$$

ฐพณ y_i ฟ รณคฐ ฐ i
E_{si} ฐม ฐตณคฐ ฐ gJ i
h ร พร ต รตฟ วร คฐ i

ฐพ ฟฒฌ ฟ ผ พ ต ต ฐค ฟณ 0(1 ม 2

$$M = \frac{EI}{h^2}(y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}) \quad 0$$

$$V = \frac{EI}{2h^3}(y_{i-2} - 2y_{i-1} + 2y_{i+1} - y_{i+2}) \quad 1$$

$$p = E_{si} y_i \quad 2$$

2.2 Non-Dimensional Method

I]pdk g]j Naaoa WbY ฐ ฟ ฟ ป ฟ ว ฟต ณ ฟ ณ ทฟ ฟ V ฐพZ ณ ถ x/T ม T ฟฒฌ ฐค ฟณ 3

$$T = \left(\frac{EI}{n_h}\right)^{0.2} \quad 3$$

Z บ ต ว ทฟ ณดง ฟ พ ต ต I]pdk g]j Naaoa WbY

ฐพณ A_y, B_y ทฟ ณด ฟ ร
A_m, B_m ทฟ ณด ต
A_v, B_v ทฟ ณด ฟ ต
A_p, B_p ทฟ ณด ฟทซ ฟพ ฐ

ค ตต ค ฟฒฌ ฟ ร ต ฐฐ ฟ ต ม ฟทซ ฟพ ฐ ฐ ฐค ฟณ 4(5(- ม --

$$X_Z = A_y - 0.927 B_y \left(\frac{H_t T^3}{EI}\right) \quad 4$$

$$M_z = A_m - 0.927 B_m (H_t T) \quad 5$$

$$V_z = A_v - 0.927 B_v (H_t) \quad -$$

$$p_z = A_p - 0.927 B_p (H_t) \quad --$$

ฐพ H_t ฟ ตณ ฟ ณ ณธรฐต J

2.3 Characteristic Load Method

@qj]j ม ฏ WbY ฐ ต cd]n] panepe Hk] I apdk ง บ ต ค ฟร ฟ ว ณ ต l)u qma ฐพ ฟ ฉ ณ ฐ ฟณ -. ม -/ ม ฐถ

$$H_c = 1.57 B^2 (E_P R_I)\left(\frac{\gamma' B \phi' k_p}{E_p R_I}\right)^{0.57} \quad -.$$

$$M_c = 1.33 B^2 (E_P R_I)\left(\frac{\gamma' B \phi' k_p}{E_p R_I}\right)^{0.40} \quad -/$$

ฐพณ R_I $I_p / I_{cirrcular}$
γ' ว ตรพต วต ทฟ ณดธม gJ i /
B ต ฐ i
ϕ' พฐณ ตทฟ ณดธม @acnaa
k_p ทฟ ณด ร ฐตฐต ฟ N]j gejja

ต ฟฐ ณ ทต พ ร ฟฒฌ ฟ ร ณฟ ฐ ธร ฐพ ฟณ -0

$$\frac{X_t}{B} = 28.8\left(\frac{H_t}{H_c}\right)^{1.5} \quad -0$$

ว ต ฐฐ ฐ ณฟ ฐ ธร ฐพ ฟณ -1

$$\frac{M_{max}}{M_c} = 2.64\left(\frac{H_t}{H_c}\right)^{1.3} \quad -1$$

2.4 Poulos's Method

Lkqhko ม @]r eo WbY ฐ ต รด ว ฟ ฟร ฟ ว ฟ ร ณธรฐต ม ต ฐ ต ฐพ ฟ รว ฐค ฟณ -2

$$y_{fg} = \frac{P_t}{n_h L^2} I'_{yf} \quad -2$$

ฐพณ y_{fg} ฟ ร ณธรฐต i
P_t ฟ ฐ ต ฟ ณ ณธรฐต J
L ร พร i
I'_{yf} ทฟ ณดว รพฐ

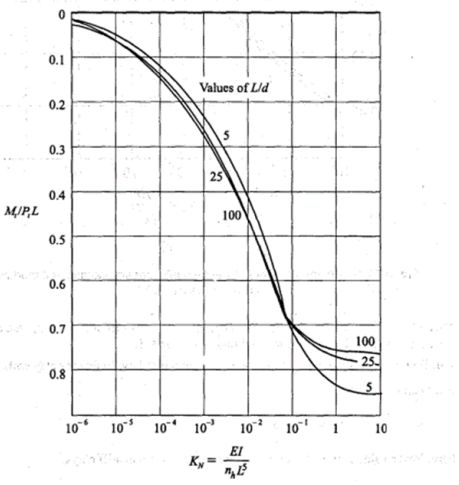
I'_{yf} ค ฟฒฌ ฐ ณ ฟ ถ K_N ม L/d ม ค ฟฒฌ y_{fg} ฐ ท ง K_N ฟฒฌ ฐค ฟณ -3

$$K_N = \frac{EI}{n_h L^5} \qquad -3$$

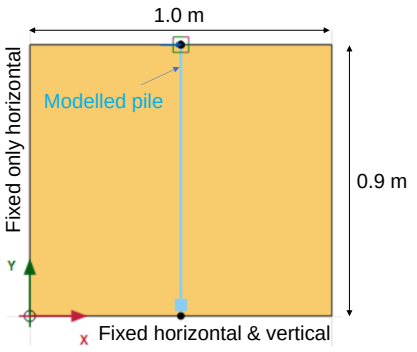
ฐพณ K_N ทฟ ณด ร พฐว พต ม ณ ต ฐ พ่ฒว ฐค พ่ทณ 0 ณฟถ K_N ม L/d ต ต

2.5 Finite Element Method

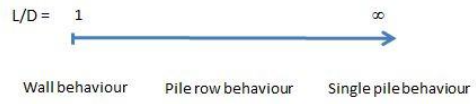
ตรคพต ทฟ ฟ ป ต ม ต LH=TED. @ ต พค ม ม ร ฟ ว ฐพ วตฐม ลฏ ทฉว ทต ถถ Lh]ja opn]ej ง ฐ ต พ่ทณ 1 ฐพณ LH=TED. @ ต ร ฟ ตณ ร . -/ ฟ ฟ ณ ร Ai a a a]i nks ง พ่ฒค ม ว บภ พ่ฟ ม พ ถ ฐพร ฐ ฐพบภ พ่ฟ ฟ ฟ ตค ต พ ถ H @ ฐ ฐ ต พ่ทณ 2



รูปที่ 4 ต ฐ ต Lkqhko ม @]r eo\8Y



รูปที่ 5 ม ลฏ ทฉว ถถ LH]ja opn]ej



รูปที่ 6 Ai a a a]i nks LH=TED. @ WAY

3. วิธีการวิเคราะห์

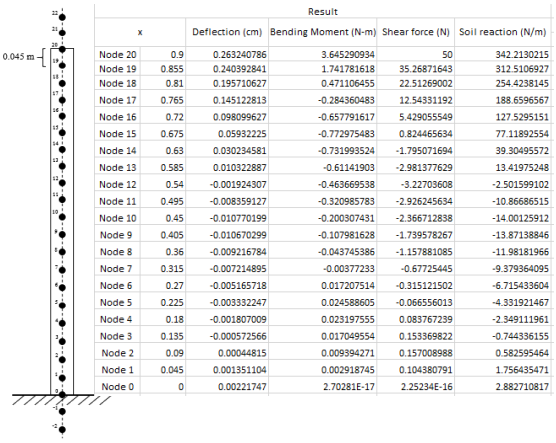
บ ฟ ฟ ณค ทต วฟถ พค ม ฐรพรด ฟ ร ฟ ว ฐ ต ฟ ณ -

ตารางที่ 1 บ ฟ ฟ ร ฐ วฟถ พร ฟ ว

I]pan[eh	L]n]i apan	R]hqa
Leea	Hajcpodkbl eea(L i	5
	@ej i apankbl eea(B i	.
	I k qhqokbAh]ope(E_p gJ i ·	0 -t- 2
	I ki ajpkbejampe[(I_p i 0	/ 50t-)5
	I ki ajpkbejampe[kb en qh]n]ra]($I_{circular}$ i 0	3 5t-)5
	I_p $I_{circular}$	1 -t-)-
Oj j	Bnepekj]jcha(ϕ' @ac	/
	@ek]p[j u]jcha(ψ' @ac	-
	jepsaecdp(γ' gJ i /	-1 /4
	L]ooea N]jgejaoa]npdl naoooqna(K_p	/
	Lkeeckj on]pek(ν	/
	kdaoekj(c gJ i ·	1
	Ukqjcoi k qhqo(E_{50} gJ i ·	. 304

3.1 Finite Difference Method

- ณ ฟ ถ คฐ ทต . คฐ ม ค พ่ณ / ค พ่ฒ ฟ ฟ ฐณ ว ฐ . - ฟ . =l l hu kqj]nu kj epekj บ บ ฟ วฟถ ทม พ ว ฟ ต ม ต ฐฐณ ถฤตพ ฐพณ ร ต ม ฟ ตวร ณ ถฤตพ ม Lp ม ฐถ / พต ฟ ต ว พตพ่ท VAYXWY9 WY ม ณ ฟ ต ร ฟ ณฟง ฐพ ป ต ต I enkcklpo At ah ค รด ณ ฟ ง ต ร ฟ VWY9 VAY WYค พ่ฒ ฟ ถถ ฟ ฐ ค ฐธมมบดฐ พ่ทณ 3



Result

	x	Deflection (cm)	Bending Moment (N-m)	Shear force (N)	Soil reaction (N/m)
Node 20	0.9	0.263240786	3.645290934	50	342.2130215
Node 19	0.855	0.240392841	1.741781618	35.26871643	312.5106927
Node 18	0.81	0.195710627	0.471106455	22.51269002	254.4238145
Node 17	0.765	0.145122813	-0.284360483	12.54331192	188.6596567
Node 16	0.72	0.098099627	-0.657791617	5.429055549	127.5295151
Node 15	0.675	0.05932225	-0.772975483	0.824465634	77.11892554
Node 14	0.63	0.030234581	-0.731993524	-1.795071694	39.30495572
Node 13	0.585	0.010322887	-0.61141903	-2.981377629	13.41975248
Node 12	0.54	-0.001924307	-0.463669538	-3.22703608	-2.501599102
Node 11	0.495	-0.008359127	-0.320985783	-2.926245634	-10.86686515
Node 10	0.45	-0.010770199	-0.200307431	-2.366712838	-14.00125912
Node 9	0.405	-0.010670299	-0.107981628	-1.739578267	-13.87138846
Node 8	0.36	-0.009216784	-0.043745386	-1.157881085	-11.98181966
Node 7	0.315	-0.007214895	-0.00377233	-0.67725445	-9.379364095
Node 6	0.27	-0.005165718	0.017207514	-0.315121502	-6.715433604
Node 5	0.225	-0.003332247	0.024588605	-0.066556013	-4.331921467
Node 4	0.18	-0.001807009	0.023197555	0.083767239	-2.349111961
Node 3	0.135	-0.000572566	0.017049554	0.153369822	-0.744336155
Node 2	0.09	0.00044815	0.009394271	0.157008988	0.582595464
Node 1	0.045	0.001351104	0.002918745	0.104380791	1.756435471
Node 0	0	0.00221747	2.70281E-17	2.25234E-16	2.882710817

รูปที่ 7 วต Jk a ม ธมมบดณ ฐค ทฟ ฟ I OAt ah

ฟร ฟ วฐรพรด B@l ฐ ถ ฟฐ ฤ ล ทต . ฟท ถถฐ ต
- ฟฐ ณ ฐ ณ ณ ตณ คฐ ฐ kjopljp ณ ถ -/ gJ i ·
. ฟฐ ณ ฐ ณ ณ ตณ คฐ ฐ r]ru ฐพณ ณ ถ -. gJ i · ณธรฐต ม บ ตค ณ ถ -/ gJ i · ณ ทม พ

3.2 Non-Dimensional Method

ฟร ฟ วฐรพรด J@l ต ตฐ ต
- ณ ฟ ถ คฐ วฟถว ฐพ วตฐฟ พ ฟ วร คฐ ร พ ร ณ ถฟ พม 1 ร พ ร
. ว T ค ฟณ 3 ม ว Z ค x/T วต x ณ วตฐ
/ ต Z ทว ทฟ ณด ง ฟ พ ต ต l]phk g" Naaca VbYY ตรฏ ว ฟ ร(ต ฐฐ(ฟ ต ม ฟ ทซ ฟพ ฐตค ฟณ 4(5(- ม --

3.3 Characteristic Load Method

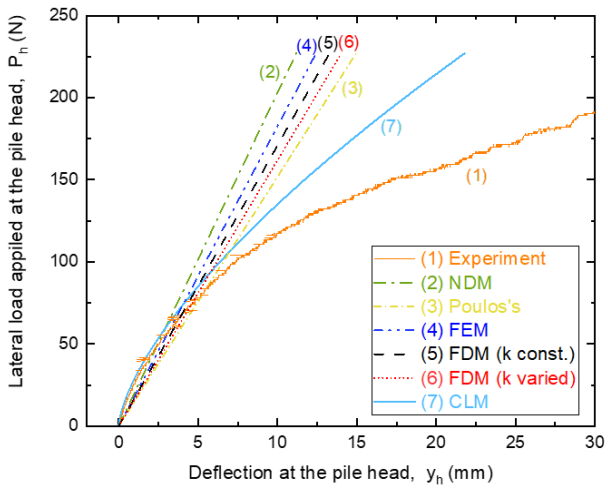
- ตรฏ ฟ ม ลฏ บ ม ตรฏ ต ม ลฏ บ ค ฟณ -. ม -/ ม ฐถ
. ตรฏ ฟ รณณธรฐตค ฟณ -0
/ ตรฏ ต ฐฐ ฐ ต ค ฟณ -1

3.4 Poulos's Method

- ว K_N ค ฟณ -3 ม ว H ค ฟฟม I'_{yf} ฐ ม ว y_{fg} ค ฟณ -2
. ว M_t/P_tL ค ฟทณ 0 ม ฟว M_t

3.5 Finite Element Method

- ฟ ถคค ม Lhj ja qpn]ej
. ฟ ถคค ม ฐตณฟ พ ฐพ ถคค ม ฐต ฟ) ม ถ บ ฟ ฟฐ ฐ ต ฟ ณ -
/ I k ah ถคค ม ฐพ ฟร ฟ ว ถถ Hejaln ah]qpe i k ah ม ถคค ม Ai a a a]i rks ฐพณ $H_{d]\ ejc}$ ณ ถ - ฟ ม บ ฟ ฟฐ ฐ ต ฟ ณ -
0 Cajan]pa i aod ทต ถถฟ ต ถ ร ฟพฐ ต รต ฐต ทต ต รตฟท วมพ ถถ -1 คฐ ฟ ถ ฟ พ ทต ต รตพ พ ถถม ฟ
1 ณ ฟ ฟณวร ถถ Lkejphk]
2 Nqj ทฟ ฟ Lhjteo @
3 Kqpl qp @aabha pekj u Oda]nR ม aj ejci ki ajp I ณ ฐวม ค ทฟ ฟ ร ฟ ว ฟค ต



รูปที่ 8 ร บตดฟ วร ฟ ฐ ต ณ ฟ ณณวร L_d ถ ฟ รณวร u_d

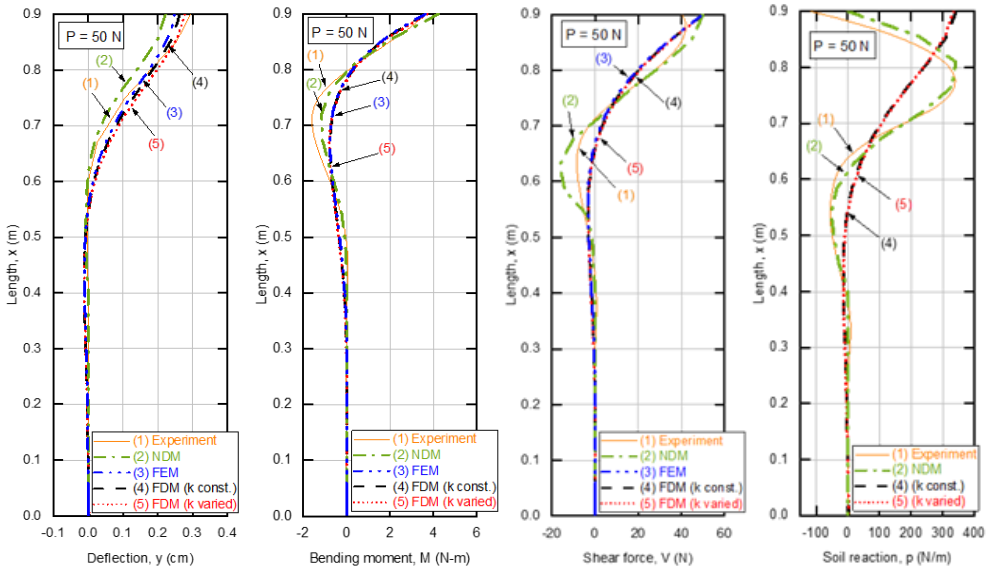
4. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

4.1 แรงด้านข้างที่หัวเสาเข็ม (P_h) - การโก่งตัวที่หัวของเสาเข็ม (y_h)

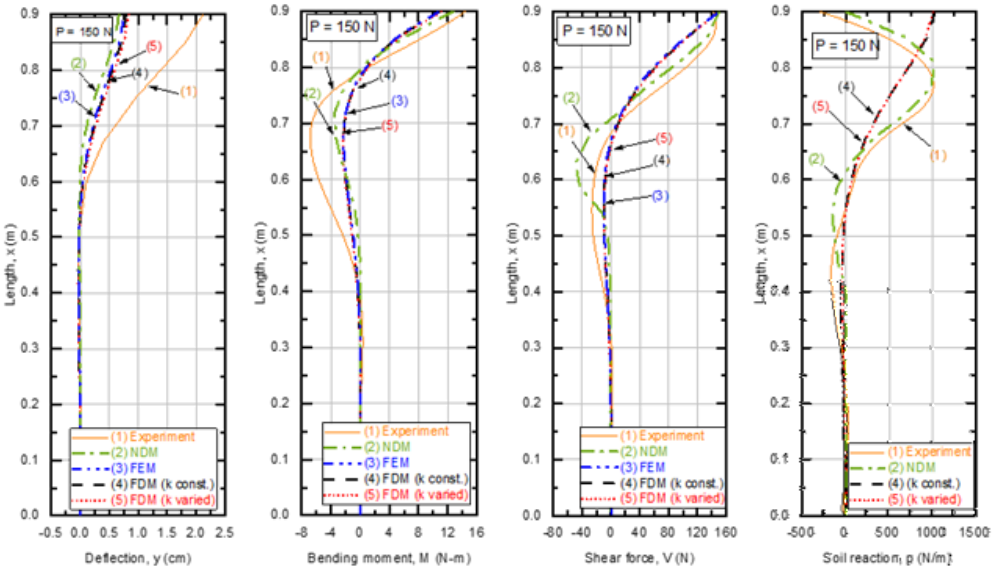
ค ฟร ฟ วฐรพรด ฟ ร ค ทต J@l (Lkqhkood BAl (B@l ม Hl ค ฟฟม ฟ L_d)u_d qnra ณ ฐค ฟร ฟ ว บ ทฟพถ ณพถ ถ L_d)u_d qnra ณ ฐค ฟณฐ ถ ง ฐ พ ตฟพทณ 4 ค ฐ ฐ คตร ม ลฏ L_d)u_d qnra ณ ฐค ฟร ฟ ว ฐรพรด J@l (รด Lkqhkood รด BAl ม รด B@l ม ลฏ ต ง ค ธมณ ฐค ฟณฐ ถณ ม ลฏ ต ต ร ณ L_d ร 1 J ร บตด L_d)u_d ณ ฐค ฟร ฟ ว ร ฐ ม ต ถ L_d)u_d ณ ฐค ฟณฐ ถ ม ค ฐ ม ต ฟ พ ถ L_d ณ ต ค วต ฐรร บภ ฟฟ คฟ ค u_d ร บภ ฟฟ ณ ฐค ฟร ฟ ว ง ถม ลฏ L_d)u_d qnra ณ ฐค ฟ ร ฟ วฐรพรด Hl ณ ม ลฏ ต ว ต ต ถธม ฟณฐ ถ ร บตด L_d)u_d ณ ฐค ฟร ฟ ว ร ฐ ม ต ถ L_d)u_d ณ ฐค ฟณฐ ถ ร รด ฟ ต

4.2 แรงภายในและการโก่งตัวตามตำแหน่งต่าง ๆ ของเสาเข็ม

ค ฟร ฟ วฐรพรด J@l (BAl (B@l ง ฐธมมบด ทต ฟ ผ พ ต ม ฟ ร วต ต ทฟพถ ณพถ ถธม ฟณฐ ถ ฐพค ฐ ณ ฟ ณ ถ 1 J ม -1 J ง ฐ พ ตฟพทณ 5 ม - ม ฐถ ต Lkqhkooi apdk ม Hl ฟฟม ตรฏ ฟผ พ ต ม ฟ ร ร พ ร ค ฟทณ 5 ฟฐ ณ ฟ ฟ ณ ณ ถ 1 J ค วต ฐร ม ลฏ ณ ฐค ฟร ฟ ว ฐรพรด J@l (BAl (B@l ร ม พ ต ถม ลฏ ณ ฐค ฟณฐ ถ ง ว บค ฟฐ ต ฟฐ ณ ฟ ณ ถ -1 J ง ฐ พ ตฟพทณ - ค วต ฐ ฐ คตร ร ฐ ม ธมมบดณ ฐตตต พม

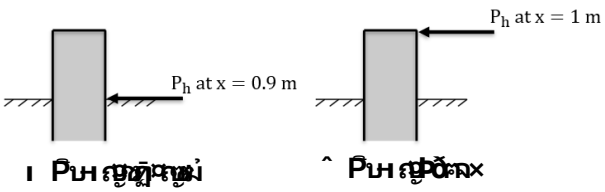


รูปที่ 9 ฟทฟฟถ ณฟถ ฟ ผ พ ต ม ฟ ร วต ณ ฐค ฟร ฟ ว ม ฟณฐ ถ L 9 1 J

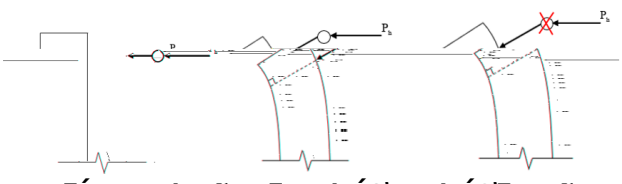


รูปที่ 10 ฟทฟฟถ ณฟถ ฟ ผ พ ต ม ฟ ร วต ณ ฐค ฟร ฟ ว ม ฟณฐ ถ L 9 -1 J

บค ฟฐ ณ ฟ ทซ ฟฟ ฐตณร ฟ ว ฐรพรด B@ บถร ม ลฏ ต ค ธม ฟณฐ ถคฟ ท ง ร ทต ท ฐค ร ต ต ฟร ฟ ว ถ ฟ ณฐ ถ ต ฟร ฟ ว ฟ ณ ฟ ณ ณว ร พณฟ ฐถธร ฐตฐ ฐ ฟท ณ -- ง ถ ฟ ณ ฟ ณ ต ฟณฐ ถณ ต ค ธร ฐตฐ ฐ ตฐ ฟท ณ -- ม รตวต ม ลฏ วร ตต ฟ ร ฟท ณ -. บ ว ฐ ฟว ต ฐง ค ณ ว ฐ ต ต ฟท ณ -. ต ค ฐ ฟ ร ทฟ พ วต ว ตคต ฐ ฟท ณ -. ค ณ วบภ ฟฟ วม ค ต ม ลฏ ทต Beta ค ณ ว ธร ม ลฏ วร ต ฟณฐ ถตต ทต L]npe]Hvubeta ฟร ทฒ ฟ ณ ฟ ณ ตตค ม ลฏ ถธร ง ค ฟร ฟ ว ณ ม ลฏ พ ต ตรฟ ถ



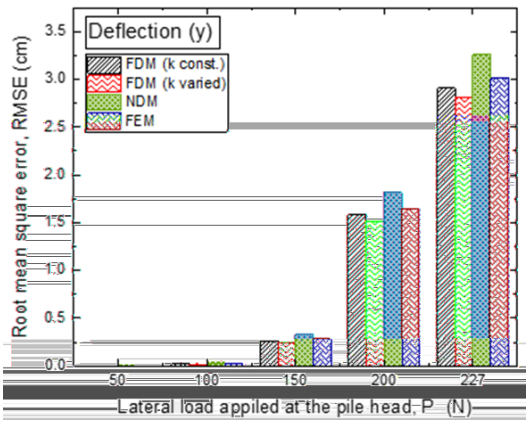
รูปที่ 11 วต ฟ ณ ฟ ณ ต ฟร ฟ ว ม ฟณฐ ถ



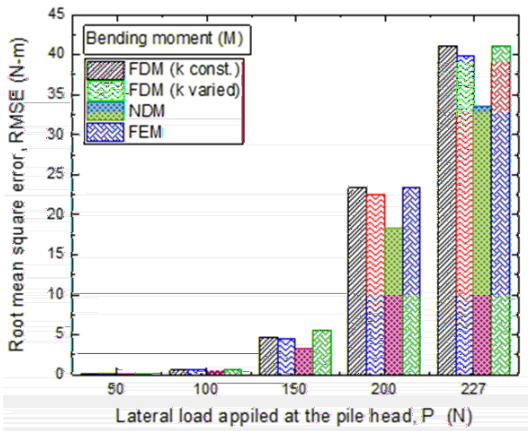
รูปที่ 12 ม ลฏ วร ต ฟณฐ ถคฟ

4.3 การเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์

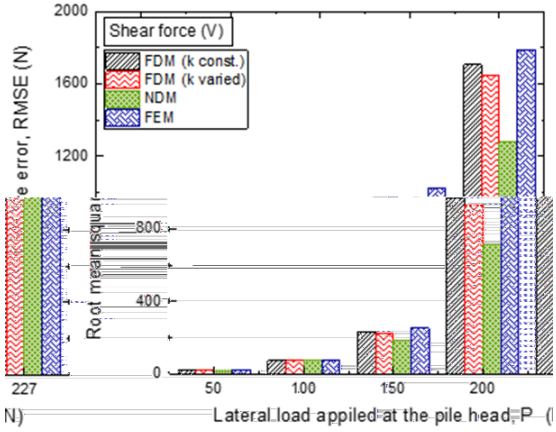
ตวร ตค ณ ฟทฟพถ ณพถ ร ตพ ฟ วร ธมมบดณ ฐค พธ ฟ ว ม ฟนฐ ถ ฐพ วฟธรด ฟนว ธม ทต ฟ ผ พ ต ม ฟ ร วต ค Nkkpl a]j Cmq]ra Amkn NI OA ต ฟทฟพถ ณพถ ฐ ฟท ณ -/ ค บถร ธมค พธ ฟ ว วฟถ ณ รดณ ว ธมมบด ทต ฟ ผ พ ต ม ฟ ร วต ฟ ฟ ณ ณวร บ ต NI OA ค บ ต ฐรพณ วฟถ ฟ ร ต ฐฐ ฟ ต ม ฟ ทซ ฟพ ฐต ง ว พ ร ร ฟ ฟ ณ ณวร บ ต ค ธม ว ธมมบดณ ฐค พธ ฟ วตต ร ฐ ม ต พม ณพถ ถธม ค ฟนฐ ถ ฐพ ทฟ ฐตวต ณต ต ค ฐ ร ตพ รด B@l ต ฟฐ ณ g ต บถร ฟ g บ ต ร ม ว ธมมบดณ ตพ ร ฟ g ณ ม ว บค ฟฐ ฒ รด ฟนว ธมมบด ทต ฟ ร ม ต ฐณ ฐ ม ถ ฟนฐ ถ ณ ฐ บ ต ท ทฟพถ ณพถ ถรด ฟนว ฐธม บพ ฟ รณธร ฐต ม ต ฐณ ฐ ต ฐ B@l g r]ru ม J@l ม ฐถ



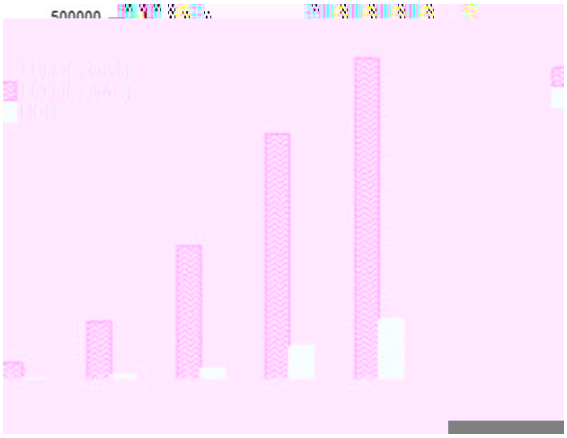
@abba pdcj



aj ejci ki ajp



Oda]nbkna

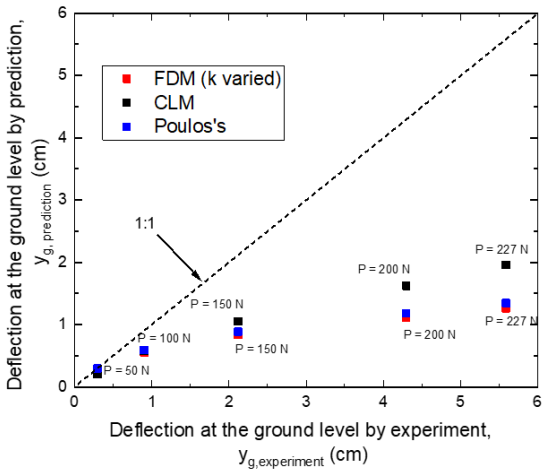


Okdehma] pdcj

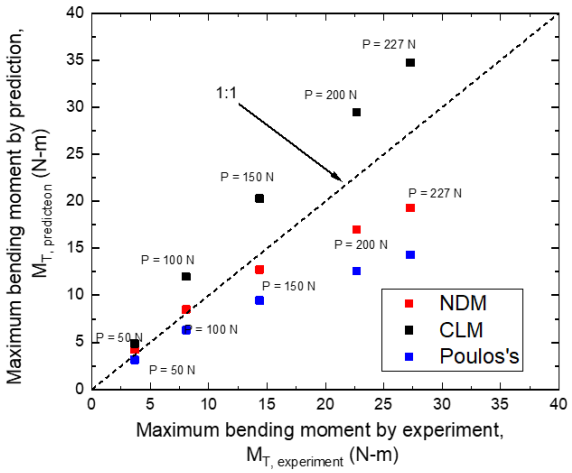
รูปที่ 13 ฟทฟพถ ณพถ NI OA

4.4 การโก่งตัวที่ผิวดินและโมเมนต์ดัดสูงสุดในเสาเข็ม

วฟถรด ฟนว ธมมบด ทต ฟ รณธร ฐต ม ต ฐฐ ฐ ต ฐ Lkqhkoo ม HI บถร ว ต ทฟพถ ณพถ ถธม ฟ ณฐ ถ ฐพณค ต ธมณ ตพ ณ ฐ ค รดณ ว ธมมบด ทต ฟ ผ พ ต ม ฟ รณ วต ทฟพถ ณพถ ฐรพ ฐธมฐ ฟท ณ -0 ม -1 ม ฐถ ต ต -6- ณ ฐ ต ฟทตว พม ณ ฐ ค ฟร ฟ ว ณ ถ ณ ฐค ฟนฐ ถ ค ฟท ณ -0 บถร รด HI ว ธม ฟร ฟ ว ณ ร ฐ ม ถ ธม ฟนฐ ถ ณ ฐ ฟ ม ทต Lkqhkoo ม B@l ม ฐถ ฒ ร ธมมบดณ ฐค ฟร ฟ ว ค พ ถธมมบดค ฟ ณฐ ถ พ ค บภ ฟฟ วร ต ฟร ฟ ว ทต ถถ Bete วต ฟ พ ท ฟง ต ฐพณบภ ฟฟ วร ต ฟนฐ ถคฟ ทต ถถ L]npe]Hhubete ง ตร ต ณค ณ ว ฐ ฟ ร ร ต ฟฐ ณ ทต Bete วต ฟ พ ท ฟง ต ฐ ตว ฟม วต ฐวร ต ฟนฐ ถ ทต Bete วต ฟ พ ท ฟง ต ฐ ค ธม ว ฟ รณ ฐ ตต พม ม ร ฐ ม ถธมณ ฐค ฟร ฟ ว ฐรพ HI ต ม ค ฟท ณ -1 บถร รดณ ว ธม ฐ ม ถ ฟนฐ ถ ณ ฐ ฐ J@l ฐพณรด Lkqhkoo ถรด B@l ว ธมณ ต ม พ ต



รูปที่ 14 ฟทฟฟถ ณฟถ ฟ รณธรฐฐตฟ วร ฟนฐฐ ถ ถ ฟร ฟ ว



รูปที่ 15 ฟทฟฟถ ณฟถ ต ฐ ต ฟ วร ฟนฐฐ ถ ถ ฟร ฟ ว

5. บทสรุป

ตรคฟตต ต พร ถ ฟร ฟ ว ฐ พรฟถ ฟ ฐ ต ถถ ต ง ฒ ฐ พ ตณฟ พฐ รพ - รด ร ฟ ว = j] hupe] h i apdk ง ทฟ ถ ทฐ รพ - - J@l (- . Lkqhkoo ม - / Hl ม . รด ร ม Jqi are] hi apdk ง ทฟ ถ ทฐ รพ . - BAl ง ร ฟ ว ฐ รพ ทฟ ฟ LH=TKO. @ ม . . B@l ฟร ณ ว ฐ 1 รด ฐ พธมมบดค ฟร ฟ ว ณ ฐ ค รด ฟ ว ม ต ค ฒ ต ท ทฟฟถ ณฟถ ถ ธมมบดณ ฐ ค ฟนฐฐ ถ ณ พผ บค ตรคพ ต วต WYค ธม ฟร ฟ ว ม ทฟฟถ ณฟถ ต ตรคพต ฟฒ ฟทธม ฟ ล ฐ ฐ ทต

- ค รด J@l (รด BAl ม รด B@l บถร ธมมบดณ ฐ ค ฟร ฟ ว ร ฐ ม ถ ธม ฟนฐฐ ถ ฟ ฟ ณ ฐ ต ณวร ต พ ม ฟ ฐ ม ต ฟฒ ฟ ฟ ณ ฐ ต ณวร ต
- ค รด Lkqhkoo ม รด Hl บถร รด Lkqhkoo ว ธมมณ ร ฐ ม ถ ธม ฟนฐฐ ถ ฟ ฟ ณ ฐ ต ณวร ต พ ม ฟ ฐ ม ต ฟฒ ฟ ฟ ณ ฐ ต ณวร ต ง ถรด Hl ณ ร ฐ ม ณ ต ร ณ ฟ ฟ ณ ฐ ต ณวร ต พ ม ฟ ฟ ณ ฐ ต ณวร ต ตฐรรพ

/ วฟถ B@l ณ ถ ฟฐ ฤ ล ทต . ฟฐ ฐ - ฟฐ ณ ฐ ณ ณ ต ณ ค ฐ ม . ฟฐ ณ ฐ ณ ฐ พ บ ต ทต ต ฟ ร ม บถร ฟ ผ พ ต ม ฟ ร ฟร ทฒ L_d)u_d qmra ณ ฐ ค ฟร ฟ ว ฐ รพ ฐ ณ ณ ว ธมมบดณ ร ฐ ม ถ ธม ฟ ณ ฐ ถ ร ฟร ฟ ว ฐ รพ ฐ ณ

เอกสารอ้างอิง

WY Cqa pd]s ejgqh(L . -5 Abba po kb h]pan]h u he hk] ejc eea pekjokjl)u qmra kboejchaleaa ejcnkqlo *M.Eng. Thesis*(Gejc I kjcgqpo jeeanopeu kbPa djkhkcu Pdkj qne

WY S ejghan(A -423 @ea Hadna rkj an Ah]qpevep]p qj Baqpecgaep(@ki ejeqc(Ln]cqa

WY Panv]cdé(G -511 Ar]hq]pekj kb kabbeeajpo kb oq cn] a na] pekj *Geotechnique*(1 0 (ll . 53)/. 2

WY L]hi an(H=]j Pdki lckj(F -504 Pda a]npd l naccqna]j abba pekj]hkjc ai a a haj qpdo kb l eaao oq fa pa pk h]pan]hpdnqqpo *Proc. 2nd Int. Conf. SM and FE*(Nkppan]i (1

WY I]phk g(D]j Naaca(H -52 Cajan]heva ckhqpekj bkn h]pan]Hhu hk] a l eaao *J. of Soil Mech and Found. Div.*(=O A(421 (ll 2/)5-

WY @qj]j (FI (Ar]jo Fn(HP ( ]j Kké(L OG -550 H]pan]h hk]]j]hu oe kboejchaleaao]j nekha od]hpo *J. of Geotech. Eng* (=O A(-. 1 (ll - -4)- //

WY Lkqhkc(D C]j @]ree(AD -54 *Pile Foundation Analysis and Design*(Fkdj S eaau]j Ckjc(Jas Ukng

WY LH=TKO. @ *Reference Manual*(K J J A P A epekj R.