

กำลังเฉือนของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กบนเสาเข็ม
SHEAR STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE FOOTING ON PILES

วุฒิพงศ์ เมืองน้อย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
กรุงเทพฯ

WUTTHIPONG MOUNGNOI
*King Mongkut's Institute
of Technology Thonburi
Bangkok*

เอนก ศิริพานิชกร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
กรุงเทพฯ

ANEK SIRIPANICHGORN
*King Mongkut's Institute
of Technology Thonburi
Bangkok*

ไกรวุฒิ เกียรติโกมล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
กรุงเทพฯ

KRAIWOOD KIATTIKOMOL
*King Mongkut's Institute of Technology Thonburi
Bangkok*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากำลังเฉือนของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กที่วางอยู่บนเสาเข็ม 2 ต้น ซึ่งมีระยะห่างต่าง ๆ กันและมีน้ำหนักระทำที่กึ่งกลางฐานรากระหว่างเสาเข็มทั้งสอง ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำการทดสอบจำนวน 12 ตัวอย่าง มีขนาดความกว้าง 0.60 ม. ความหนา 0.35 ม. และความยาวตั้งแต่ 0.90 ม. ถึง 1.65 ม. ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วน a/d (Shear span to depth ratio)

จากผลการทดสอบพบว่า กำลังเฉือนของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วน a/d โดยที่กำลังเฉือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วน a/d น้อยกว่า 1.50 และเพิ่มขึ้นมากเมื่อ a/d น้อยกว่า 1.00 นอกจากนี้ได้นำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดตาม ACI 318-83 กับมาตรฐาน CP 110 และกับทฤษฎีคานลึก ปรากฏว่าอัตราส่วนความปลอดภัย เมื่อ a/d อยู่ในช่วง 0.75-2.00 ตาม ACI 318-89 อยู่ในช่วง 0.31-4.54 เมื่อพิจารณาตาม CP 110 อัตราส่วนความปลอดภัยอยู่ในช่วง 1.62-3.22 และ เมื่อพิจารณาตามทฤษฎีคานลึก ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 1.15-2.28

ABSTRACT

The aim of this experimental work is to study the shear strength of reinforced concrete footing raised on piles located in different distances. Twelve footings of 0.6×0.35 m. in width and depth with varying in length depending on a/d ratio were tested. The prototype test set-up in this study is mid-panel loading.

The results show that the shear strength of reinforced concrete footing are related to the a/d ratio as the shear strength tends to be increased when the a/d ratio is less than 1.50 and increased rapidly when the a/d ratio is less than 1.00 The results are also compared with the ACI 318-83, the CP 110 and the deep beam theory. The values obtained from the test are higher than those specified in the mentioned codes. The factors of safety, as the a/d ratio between 0.75 to 2.00, according to the ACI 318-89 are in the range of 0.31-4.54 and 1.62-3.22 for the CP 110 while for the deep beam theory are of 1.15-2.28.

บทนำ

ฐานรากเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างอาคารที่ทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจากสิ่งก่อสร้างส่วนบนลงสู่พื้นดินที่รองรับเบื้องล่างเพื่อป้องกันและให้ความปลอดภัยกับอาคารจากการขยับเขยื้อน การออกแบบฐานรากนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน (Bearing Capacity) และการทรุดตัวของดิน (Settlement) ดังนั้นในบางท้องถิ่นที่มีสภาพดินที่รับน้ำหนักได้สูงและมีการทรุดตัวน้อย การออกแบบฐานรากจะใช้ฐานรากวางบนดินโดยตรง แต่ในบางสภาพที่ดินมีความสามารถรับน้ำหนักได้น้อยและมีการทรุดตัวมาก การออกแบบฐานรากให้วางบนดินโดยตรง

จะทำให้ได้ฐานรากขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองและเกิดการทรุดตัวมาก ในสภาพเช่นนี้นิยมที่จะออกแบบเป็นฐานรากที่วางอยู่บนเสาเข็ม ซึ่งทำให้ได้ฐานรากที่มีขนาดเล็ก ประหยัด และเหมาะสมกว่า

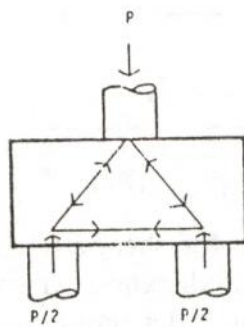
ในการคำนวณออกแบบฐานรากต้องพิจารณาถึงโมเมนต์ดัด แรงยึดหน่วงและแรงเฉือน เพื่อให้มีความสามารถในการรับแรง และป้องกันผลอันอาจก่อให้เกิดความเสียหายหรือพังทลายอันเนื่องมาจากแรงดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งแรงเฉือนซึ่งเป็นตัวกำหนดความหนาของฐานราก

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากำลังเฉือนของฐานรากที่วางอยู่บนเสาเข็ม 2 ต้น โดยพิจารณาถึงผลของ

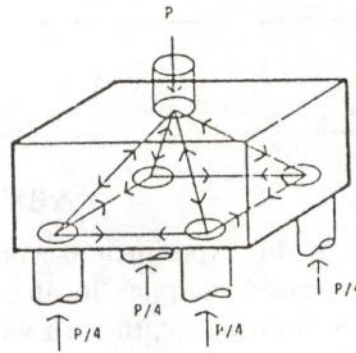
อัตราส่วนระหว่างระยะขอบเสาตอม่อถึงกึ่งกลางเสาเข็ม (ช่วงแรงเฉือน) กับความลึกประสิทธิผล (a/d) ที่เปลี่ยนแปลงไป โดยทำการทดสอบกับตัวอย่างฐานรากจำนวน 12 ต้น เพื่อนำค่าที่ได้จากการทดสอบไปเปรียบเทียบกับข้อกำหนดในมาตรฐานต่าง ๆ ตลอดจนทฤษฎีคานลึก

การศึกษากำลังเฉือนของฐานรากนั้น มีผู้ให้

ความสนใจศึกษาเป็นจำนวนมาก อาทิ Sub-nis และ Gogate [1] ได้ทำการทดสอบเพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของฐานรากบนเสาเข็ม (Pile Caps) โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริมกับแรงเฉือน โดยตั้งสมมติฐานของเส้นทางการถ่ายน้ำหนักจากตอม่อไปยังเสาเข็มไว้ดังแสดงในรูปที่ 1



ก. เสาเข็ม 2 ต้น

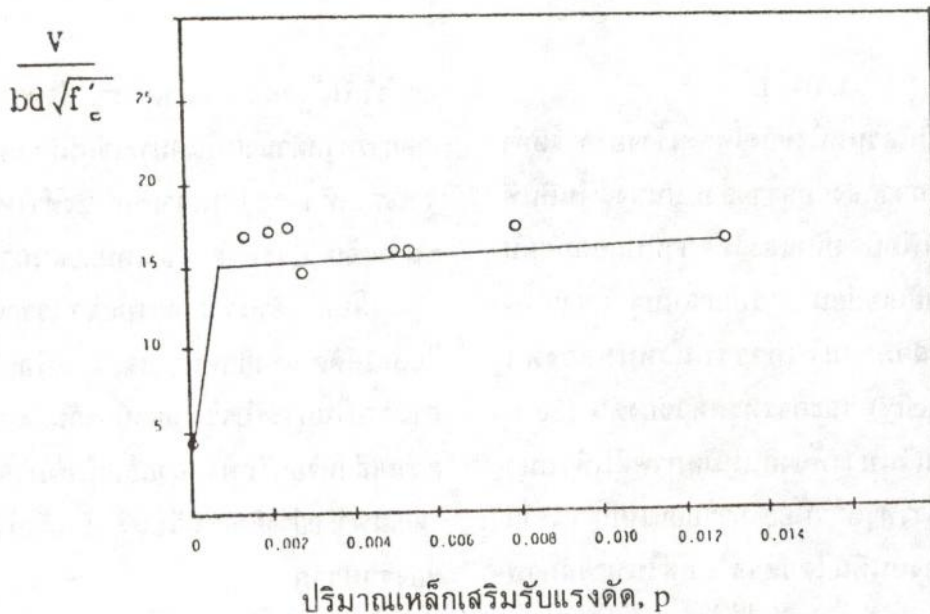


ข. เสาเข็ม 4 ต้น

รูปที่ 1 ลักษณะการถ่ายน้ำหนักจากตอม่อสู่เสาเข็ม

ผลการทดลองสรุปได้ว่า กำลังเฉือนของฐานรากขึ้นอยู่กับความลึกประสิทธิผล ส่วนปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดัด จะมีผลเฉพาะต่อเมื่อปริมาณเหล็ก

เสริมรับแรงดัดมีค่าไม่เกิน 0.0025 ดังแสดงในรูปที่ 2 ทั้งนี้เป็นที่น่าสังเกตว่าที่ปริมาณเหล็กเสริมที่มีค่ามากกว่า 0.0025 จะมีผลต่อกำลังเฉือนน้อยมาก



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเฉือนกับปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดัด

Gogate และ Subnis [2] ยังได้ทำการศึกษาฐานรากหนานบนเสาค้ำ (Thick Pile Caps) โดยใช้ทฤษฎีของคานลึก (Deep Beam) ผลการศึกษาพบว่าลักษณะการพังทลายของฐานรากหนานบนเสาค้ำจะมีพฤติกรรมแบบคานลึกและพบว่าอัตราส่วนของช่วงว่างระหว่างที่รองรับ (ช่วงว่างระหว่างเสาค้ำ) l_n กับความลึกประสิทธิผล d ได้แสดงให้เห็นว่ากำลังเฉือนของฐานรากหนานบนเสาค้ำเป็นดังสมการ (1)

$$V_n = (15 - l_n/d) \sqrt{f_c} b_w d$$

เมื่อ $0 < l_n/d < 5$ (1)

โดยที่

f_c = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตแท่งทรงกระบอก

b_w = ความกว้างของฐานราก

จากการศึกษาได้ข้อสรุปว่า เมื่ออัตราส่วนของช่วงว่างระหว่างที่รองรับ (l_n) กับความลึกประสิทธิ

ผล (d) มีค่าเท่ากับ 5 กำลังเฉือนของฐานรากจะมีค่าเท่ากับกำลังเฉือนที่คำนวณตาม ACI 318-77 [3] แต่เมื่อค่า l_n/d มีค่าน้อย ๆ กำลังเฉือนของฐานรากจะได้ค่าที่แตกต่างออกไปมาก

ในงานวิจัยนี้ได้จัดเตรียมตัวอย่างฐานรากจำนวน 12 ตัวอย่าง ที่แปรผันค่า a/d ทั้งหมด 6 ค่า โดยใช้ค่าละ 2 ตัวอย่าง ตัวอย่างฐานรากมีขนาดกว้าง 0.60 ม. ลึก 0.35 ม. โดยมีความลึกประสิทธิผลเท่ากับ 0.30 ม. เสริมเหล็กรับแรงดัดโดยคำนวณจากตัวอย่างฐานรากที่ยาวที่สุดแล้วเสริมเหล็กในปริมาณเท่ากับ 39.26 ซม.² ทุกตัวอย่างเพื่อป้องกันมิให้ฐานรากเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงดัด นอกจากนั้นได้เสริมเหล็กป้องกันการแตกร้าวในปริมาณ 4.20 ซม.² สำหรับค่อม่อใช้ขนาดกว้าง 0.15 ม. ลึก 0.30 ม. สูง 0.30 ม. และได้ออกแบบเพื่อป้องกันการวิบัติจากแรงแบกทานโดยใช้เหล็กเสริมปริมาณ 29.45 ซม.² ทุกตัวอย่าง รายละเอียดของฐานรากที่ใช้ในการศึกษาได้จัดแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดตัวอย่างฐานราก

หมายเลข	a/d	a (ซม.)	ความยาว (ซม.)
1,2	0.75	22.5	105.0
3,4	1.00	30.0	120.0
5,6	1.25	37.5	135.0
7,8	1.50	45.0	150.0
9,10	1.75	52.5	165.0
11,12	2.00	60.0	180.0

ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง คำนวณกำลังเฉือนของคอนกรีตที่พิจารณาตามพฤติกรรมแบบคาน (Beam Action) อาจเป็นตัวกำหนดถึงกำลังเฉือนของฐานราก (P) ตาม ACI 318-89 [4] เมื่อเสาค้ำอยู่นอกหน้าตัด

วิกฤตคำนวณได้จาก

$$V_c = 0.53 \sqrt{f_c} b_w d \quad (2)$$

ในการคำนวณออกแบบฐานรากโดยใช้เสาค้ำเสริมแรงด้านของเสาค้ำแต่ละต้น (P) ต้องไม่เกินกำลังของคอนกรีต และหากพิจารณาถึงตำแหน่งของเสาค้ำ

ที่อยู่ภายในหน้าตัดวิกฤต แรงดันของเสาค้ำที่ใช้
คำนวณ $\dot{P}$ หาได้จากสมการ (3)

$$\dot{P} = P(x + d_p/2)/d_p \quad (3)$$

โดยที่

P = แรงดันของเสาค้ำแต่ละต้น, กิโลกรัม

$\dot{P}$ = แรงดันของเสาค้ำที่ใช้คำนวณ, กิโลกรัม

d_p = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางเสาค้ำ, เซนติเมตร

x = ระยะระหว่างหน้าตัดวิกฤตกับศูนย์กลาง
เสาค้ำ มีค่าเป็นลบเมื่ออยู่ภายในหน้า
ตัดวิกฤตและเป็นบวกเมื่ออยู่ภายนอก
หน้าตัดวิกฤต, เซนติเมตร

นอกจากจะคำนวณออกแบบตามมาตรฐาน
ACI แล้วอาจพิจารณาว่าพฤติกรรมของฐานราก
เป็นแบบคานลึกลับค่ากำลังของคอนกรีตตาม ACI
Committee 426 [5] หาได้จาก

$$P = V_c = (2d/a)v_b b_w d \quad (4)$$

โดยที่

$$v_b = (0.8 + 120.p_w)0.27\sqrt{f'_c}$$

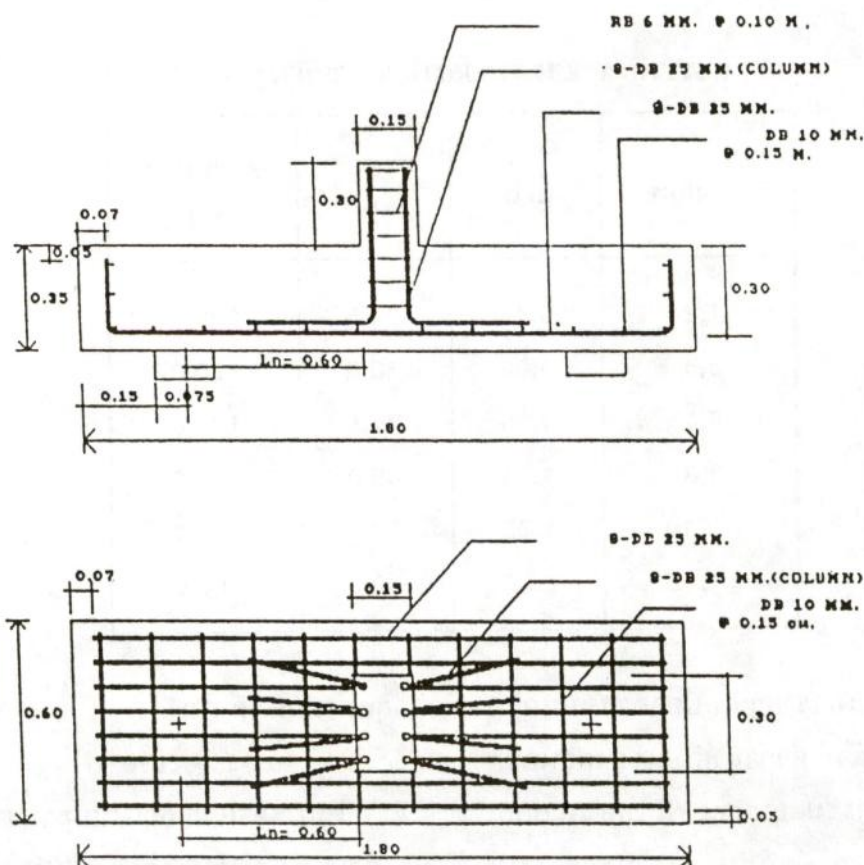
แต่ต้องไม่เกิน $0.61\sqrt{f'_c}$

อย่างไรก็ตามมาตรฐาน CP110 [6] ถ้า
พิจารณาพฤติกรรมของฐานรากตามแบบโครงข้อ
หมุน (Truss) ค่ากำลังเฉือนของฐานรากที่กำหนด
โดยกำลังเฉือนของคอนกรีตเช่นกันหาได้จาก

$$P = V_c = (2d/a)v_c b_w d \quad (5)$$

วิธีการศึกษา

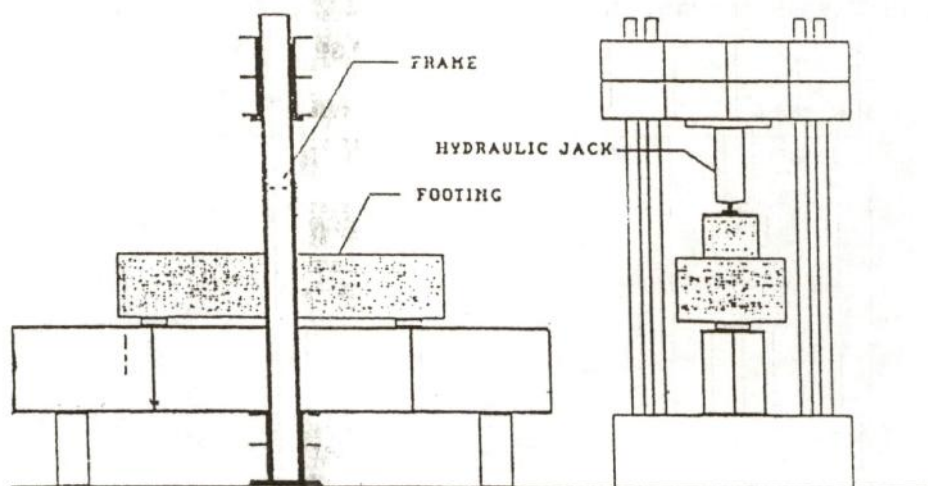
ในการวิจัยนี้ได้ทำการหล่อตัวอย่างฐานราก
ทดสอบจำนวน 12 ตัวอย่าง โดยแปรผันค่า a/d
ทั้งหมด 6 ค่า กล่าวคือที่อัตราส่วนเท่ากับ 0.75,
1.00, 1.25, 1.50, 1.75 และ 2.00 ทั้งนี้ได้ใช้ค่า
2 ตัวอย่าง รายละเอียดของฐานรากได้แสดงไว้ในรูปที่
3 ทั้งนี้กำลังอัดทรงกระบอกของคอนกรีตที่ใช้ในการ
ออกแบบฐานรากนั้นมีค่าเท่ากับ 150 กก./ซม.².



รูปที่ 3 รายละเอียดการเสริมเหล็กตัวอย่างฐานราก

เมื่อตัวอย่างทดสอบได้กำลังตามที่ออกแบบไว้แล้ว จึงนำมาติดตั้งยังแท่นโครงเหล็กทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4 โดยจัดให้เสาเข็มอยู่ในระยะตามที่กำหนดไว้ในการศึกษาครั้งนี้ เมื่อติดตั้งเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงเริ่มให้แรงกระทำแก่ฐานรากที่กึ่งกลางดอมด้วยอัตรา

คงที่จนฐานรากวิบัติ ในระหว่างการทดสอบได้สังเกตจุดบันทึกลักษณะและแนวของรอยแตกร้าวไว้ทุกอย่างเพื่อผลในการวิเคราะห์สาเหตุของการวิบัติ ตลอดจนได้ทำการบันทึกค่าน้ำหนักสูงสุดที่ฐานรากแต่ละต้นรับได้



รูปที่ 4 ผังการทดสอบ

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

ผลการทดสอบที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ได้นำไปเปรียบเทียบกับกำลังเฉือนของฐานรากที่ออกแบบไว้ โดยพิจารณาว่ามีพฤติกรรมแบบคาน (Beam Action) และกรณีที่พิจารณาเป็นแบบโครงข้อหมุน (Truss)

ตลอดจนที่พิจารณาเป็นแบบคานลึก (Deep Beam) นอกจากนั้นยังได้ทำการคำนวณหาอัตราส่วนความปลอดภัยเทียบกับมาตรฐานและทฤษฎีดังกล่าวข้างต้น โดยจัดแสดงผลไว้ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบ

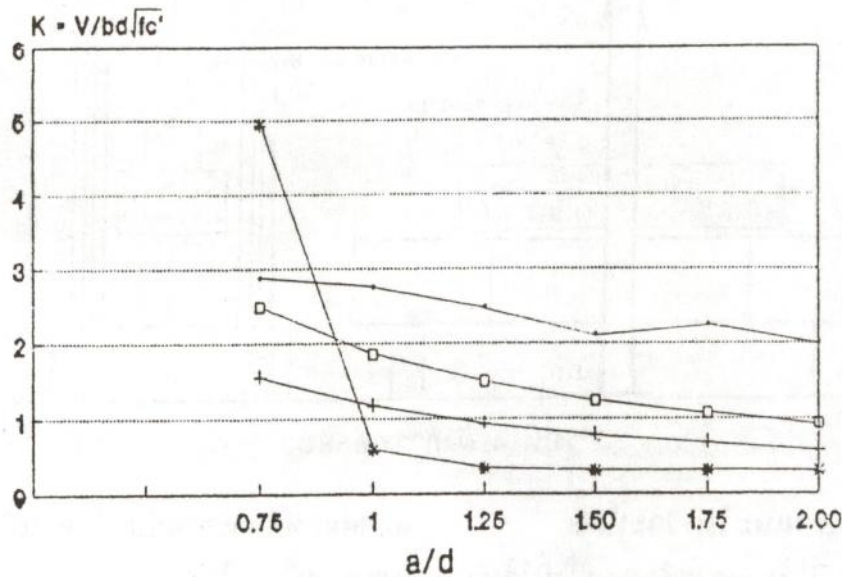
no.	a/d	a	กำลังปาดื้อ (ตัน)				$K = V/bd/f_c'$				อัตราส่วนความปลอดภัย		
			ทดสอบ	ACI	CP 110	คานลึก	ทดสอบ	ACI	CP 110	คานลึก	ACI	CP110	คานลึก
1	0.75	22.50	123.66	394.60	76.33	107.71	2.82	9.01	1.74	2.46	0.31	1.62	1.15
2	0.75	22.50	125.48	394.60	76.33	107.71	2.87	9.01	1.74	2.46	0.32	1.64	1.16
3	1.00	30.00	117.25	48.42	57.25	80.78	2.68	1.06	1.31	1.84	2.53	2.05	1.45
4	1.00	30.00	121.83	46.42	57.25	80.78	2.78	1.06	1.31	1.84	2.62	2.13	1.51
5	1.25	37.50	105.34	24.66	45.80	64.63	2.41	0.56	1.05	1.48	4.27	2.30	1.63
6	1.25	37.50	109.92	24.66	45.80	64.63	2.51	0.56	1.05	1.48	4.46	2.40	1.70
7	1.50	45.00	89.77	23.21	38.16	53.85	2.05	0.53	0.87	1.23	3.87	2.35	1.67
8	1.50	45.00	94.35	23.21	38.16	53.85	2.15	0.53	0.87	1.23	4.07	2.47	1.75
9	1.75	52.50	91.60	23.21	32.71	46.16	2.09	0.53	0.75	1.05	3.95	2.80	1.98
10	1.75	52.5	105.34	23.21	32.71	46.16	2.09	0.53	0.75	1.05	4.54	3.22	2.28
11	2.00	60.00	85.19	23.21	28.26	40.39	1.95	0.53	0.65	0.92	3.67	2.92	2.11
12	2.00	60.00	88.52	23.21	28.26	40.39	2.02	0.53	0.65	0.92	3.81	3.05	2.19

นอกจากนี้ยังได้พิจารณาโดยนัยความสัมพันธ์ระหว่างค่า K และ a/d จากตารางที่ 2 มาสร้างกราฟดังรูปที่ 5 โดยแสดงอยู่ในค่า K ซึ่งเป็นค่าที่ใช้สำหรับออกแบบกำลังเฉือนของฐานรากตามมาตรฐาน ACI เมื่อพิจารณาพฤติกรรมแบบคาน (Beam Action) และนำค่า K มาเปรียบเทียบกับกำลัง

เฉือนของฐานรากเมื่อคิดแบบคาน (ACI) แบบ CP 110 และแบบคานเล็ก โดยแสดงในรูปทั่วไปคือ

$$V = K\sqrt{f'_c}b_wd$$

เมื่อคิดแบบคาน (Beam Action) K มีค่าเท่ากับ 0.53 เมื่ออยู่นอกหน้าตัดวิกฤติ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเสาเข็มอยู่ภายในหน้าตัดวิกฤติ



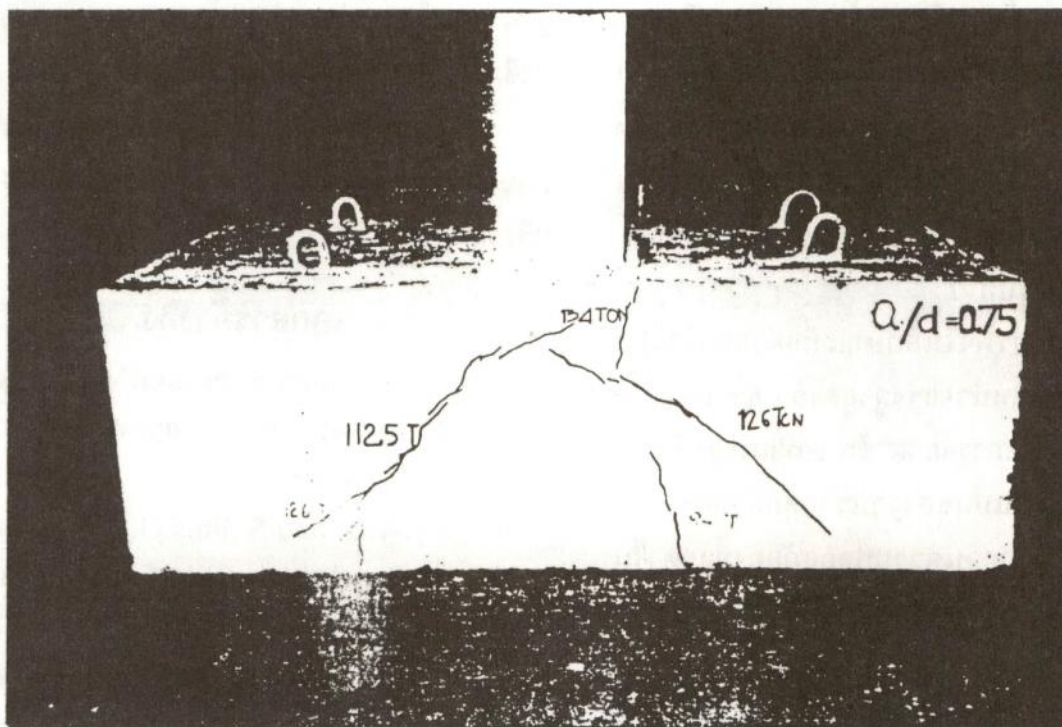
- ทดสอบ *ACI + CP 110 □ คานเล็ก

รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่า K และ a/d

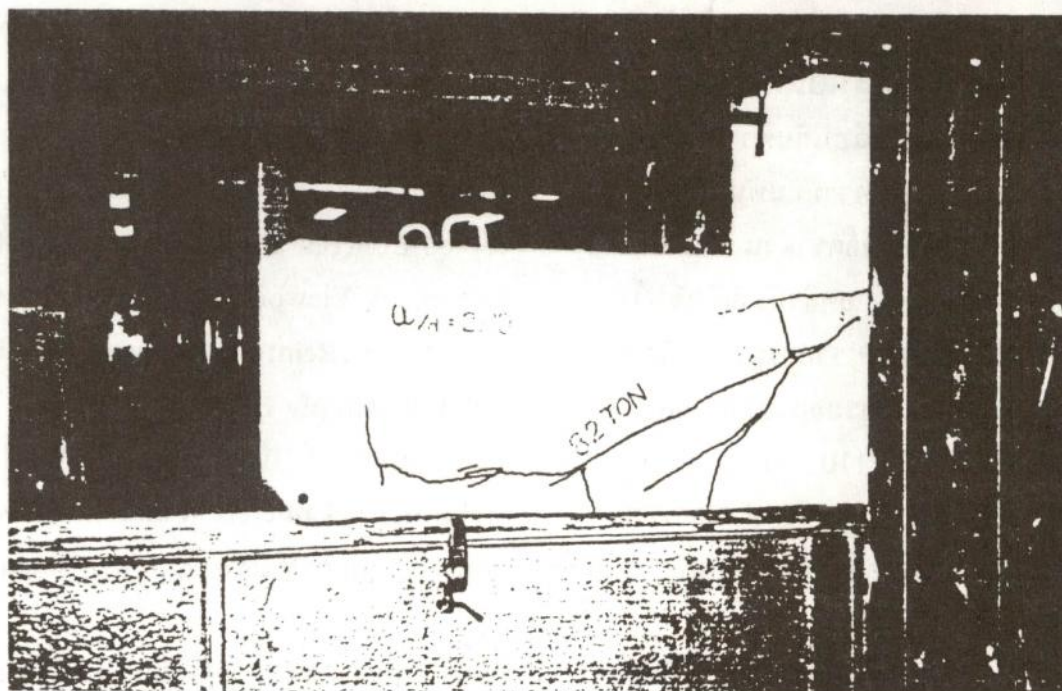
จากรูปที่ 5 พบว่าค่า a/d เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อกำลังเฉือนของฐานราก กล่าวคือ หากกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ เมื่อค่า a/d ลดลง จะทำให้กำลังเฉือนของฐานรากเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานต่าง ๆ พบว่าที่ a/d มากกว่า 1 ค่า K ที่ได้จากการทดสอบจะอยู่เหนือเส้นกราฟที่ได้จากการคำนวณที่เป็นไปตามข้อกำหนด ACI 318-89 ทุกค่า แสดงว่าการคำนวณตามข้อกำหนดดังกล่าวในช่วงนี้ให้อัตราส่วนความปลอดภัยมากกว่า 1 แต่ที่อัตราส่วน a/d น้อยกว่า 1 ค่าที่ได้จากการคำนวณตาม ACI 318-89 (สมการ 11-28) จะได้มากกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบ สำหรับค่า K จากการคำนวณตาม CP 110 และที่พิจารณาให้มีพฤติกรรมแบบคานเล็ก จะต่ำกว่าค่า K ที่ได้จากการทดสอบ

สำหรับการวิเคราะห์การวิบัติของฐานราก ผลจากการสังเกตแนวการแตกร้าวที่บันทึกไว้ตลอดการทดสอบพบว่า อัตราส่วน a/d ที่ต่างกันจะเป็นสาเหตุให้ฐานรากเกิดการแตกร้าวในรูปแบบต่าง ๆ กันซึ่งแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

1. เมื่อ a/d ไม่เกิน 1 รอยร้าวแนวทะแยงจะเริ่มปรากฏขึ้นก่อนทางด้านล่าง แต่ยังมีสาเหตุที่ทำให้ฐานรากพังทลาย ต่อเมื่อยรอยร้าวได้ลุกลามขึ้นไปจนถึงบริเวณที่เกิดแรงอัดในฐานราก จึงทำให้ฐานรากเกิดการวิบัติภายใต้สภาวะร่วมกันระหว่างแรงอัดเฉือน (Shear-compression) ดังแสดงในรูปที่ 6
2. เมื่อ a/d มากกว่า 1 จะเกิดรอยร้าวเริ่มต้นที่ด้านล่างตรงบริเวณที่เกิดโมเมนต์ดัดสูงสุดก่อน และรอยร้าวจะเริ่มลามขึ้นไปสู่ผิวด้านบนที่รับแรงอัด



รูปที่ 6 การวิบัติแบบแรงอัด-เฉือน



รูปที่ 7 การวิบัติแบบแรงดึง-เฉือน ร่วมกับแรงอัด-เฉือน

ของฐานราก จากนั้นจะเกิดรอยร้าวใหม่ขึ้นมาอีกแนวหนึ่งเป็นแนวยาวตามแนวเหล็กเสริมจนเป็นเหตุให้ฐานรากเกิดการวิบัติดังกล่าวจึงเป็นผลร่วมกันของทั้งแรงดึง-เค้น (Shear-tension) และแรงอัด-เค้น (Shear-compression) ตัวอย่างของการวิบัติดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 7

นอกจากการพังในลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว พบว่าเมื่อเกิดหน่วยแรงสูงสุดแล้ว การพังทลายของฐานรากจะเกิดการแยกผ่าซีก (splitting) ที่แนวกึ่งกลางระนาบด้านบนของฐานรากทุกตัวอย่าง

สำหรับอัตราส่วนความปลอดภัยดังที่แสดงในตารางที่ 2 พบว่า ค่าความปลอดภัยที่คำนวณออกแบบตาม ACI Committee 426 และ CP 110 ให้อัตราส่วนความปลอดภัยที่มากกว่า 1 ส่วนข้อบัญญัติ ACI 318-89 (สมการ 11-28) ให้ความปลอดภัยมากกว่า 1 เมื่อ a/d มากกว่า 1 และเมื่อ a/d น้อยกว่า 1 การคำนวณออกแบบกำลังเค้นตาม ACI 318-89 (สมการ 11-28) จะไม่เหมาะสมในการนำไปใช้

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

อัตราส่วนของช่วงแรงเค้นกับความลึกประสิทธิภาพของฐานราก (a/d) มีความสัมพันธ์กับกำลังเค้นของฐานราก กล่าวคือเมื่ออัตราส่วน a/d ต่ำ ๆ พฤติกรรมของฐานรากจะคล้ายคลึงกับที่เกิดขึ้นในคานเล็ก โดยกำลังเค้นของฐานรากจะสูงขึ้น เมื่อค่าอัตราส่วน a/d ลดลง ในการออกแบบกำลังเค้นโดยทฤษฎีคานเล็ก และ CP110 อัตราส่วนความปลอดภัยจะมีค่ามากกว่า 1 ทุกช่วง ส่วนการออกแบบตาม ACI ให้อัตราส่วนความปลอดภัยน้อยกว่า 1 เมื่อ a/d น้อยกว่า 1

นอกจากนั้น ผลการทดสอบและการศึกษาเปรียบเทียบตลอดจนการวิเคราะห์การวิบัติของฐานรากตัวอย่างที่ทำการทดสอบ สามารถสรุปให้ข้อเสนอแนะได้ดังต่อไปนี้

1. ควรเสริมเหล็กตามแนวขวางด้านบนของ

ฐานราก เพื่อป้องกันการแตกร้าวตามแนวยาวแบบแยกผ่าซีก (splitting)

2. เมื่ออัตราส่วน a/d น้อยกว่า 1 ควรออกแบบกำลังเค้นของฐานรากตามมาตรฐาน CP 110 หรือทฤษฎีคานเล็ก

เอกสารอ้างอิง

1. Gogate, A.B. and Subnis, G.M., Design of Thick Pile Caps, **ACI Journal**, V.77, No.1, Jan.-Feb., 1980.
2. Gogate, A.B. and Subnis G.M., Investigation of Thick Slab (Pile Caps) Behavior, **ACI Journal**, V.81, NO.1, Jan-Feb., 1984.
3. ACI Committee 318, **Building Code Requirements for Concrete**, (ACI 318-77), 1977.
4. ACI Committee 318, **Building Code Requirements for Concrete**, (ACI 318-89), 1989.
5. ACI-ASCE Committee 426, "The Shear Strength of Reinforced Concrete Members", Chapters 1-4, **Proceedings**, ASCE, V.99, June 1973.
6. Renolds, C.E. and Steedam J.C., **Reinforced Concrete Designer's Handbook**, 8th edition, A Viewpoint Publication, 1974.
7. Allen, A.H., **Reinforced Concrete Design to CP 110**, Simply Explained, 1977.
8. Ferguson, P.M., Breen J.E. and Jirsa J.O., **Reinforced Concrete Fundamentals**, 5th edition, John Wiley & Sons, Singapore, 1988.
9. กิตติกร ดันเปาว์, ขจร แก้วจันทิก, วศิน วิถีภาณุเวช, วุ่น แซ่หลี่ และ สมพร นิยมพรวศิน "กำลังรับแรงเค้นของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กบนเสาเข็ม" วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีการศึกษา 2532