

การวิเคราะห์ผลการทดลอง



5.1 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎี

เนื่องจากทฤษฎีของคานวางบนฐานยืดหยุ่นใช้ได้เฉพาะกรณีที่คานคอคคินและคินที่เป็นฐานรับยังอยู่ในพิสัยยืดหยุ่นเท่านั้น สำหรับคินมีพิสัยยืดหยุ่นต่ำมาก ดังนั้นการทรุดตัวของคินในพิสัยยืดหยุ่นจึงมีค่าน้อยมาก ผลการทดลองการรับน้ำหนักของตัวอย่างคานคอคคินทั้งสองตัว ซึ่งวางบนคินที่มีสภาพต่างกัน แสดงในรูปที่ 4.9 ถึง 4.13 เส้นกราฟในรูปที่ 4.10 และ 4.12 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวของตัวอย่างคานคอคคินที่ 1 และ 2 เริ่มเบี่ยงเบนไปจากแนวเดิมครั้งแรก (First Yield) เมื่อการทรุดตัวมีค่าประมาณ 0.88 มม. ภายใต้น้ำหนักบรรทุก 1,400 กก. และ 0.978 มม. ภายใต้น้ำหนักบรรทุก 1,150 กก. ตามลำดับ การทรุดตัวของคานเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นจนถึงน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่คานไม่สามารถรับน้ำหนักต่อไปได้ รูปที่ 4.9 และ 4.11 แสดง Elastic Curve และระยะการทรุดตัวของคานคอคคินในแนวตั้ง ภายใต้น้ำหนักบรรทุกตรงจุดที่เส้นกราฟในรูปที่ 4.10 และ 4.12 เริ่มเบี่ยงเบนและภายใต้น้ำหนักบรรทุกสูงสุดเมื่อคานคอคคินหัก

ในการพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลทางทฤษฎีจะพิจารณาเฉพาะช่วงแรกในเส้นกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวเท่านั้น เพราะถือว่าเมื่อพ้นพิสัยน้ำหนักบรรทุกตรงจุดที่เส้นกราฟเริ่มเบี่ยงเบนไปแล้ว คานคอคคินหรือคินที่รองรับอย่างใดอย่างหนึ่งหมดคุณสมบัติคานความยืดหยุ่น (Elasticity) ซึ่งใช้กับทฤษฎีคานวางบนฐานยืดหยุ่นไม่ได้

จากรูปที่ 4.9 และ 4.11 พิจารณา Elastic Curve และการทรุดตัวของคานคอคคินจะพบว่า Elastic Curve มีความโค้งน้อยมาก และการทรุดตัวก็มีค่าน้อยมากเช่นกัน ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง จะคำนวณค่าแรงปฏิกิริยาของคิน (q)

โดยคำนวณจากค่า K'_s และ K' ที่ได้จากการทดลอง Plate Load Test ในวันที่ทำการทดลองการรับน้ำหนักของคานคอกดิน โดยสมมติให้แรงปฏิกิริยาของดิน (q) ในแต่ละช่วงคานแผ่เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังแสดงในรูปที่ 5.1 เพื่อให้การคำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยารวมและแรงดัดสะทวขึ้น ผลที่คำนวณได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎีของตัวอย่างคานคอกดินทั้งสองแสดงในตารางที่ 5.1 และ 5.2

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากตัวอย่างคานคอกดินย่อขนาด ตัวที่ 1 ซึ่งวางอยู่บนดินที่มีสภาพแข็งตามธรรมชาติ

$$\begin{aligned} \text{จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.4)} \quad K_o &= 3.792 \text{ กก./ซม}^2/\text{ซม} \\ K' &= K_o B = 25 \times 3.792 \\ &= 94.8 \text{ กก./ซม}^2 \end{aligned}$$

$$\text{กำลังประลัยของคอนกรีต} \quad f'_c = \frac{246}{1.13} = 218 \text{ กก./ซม}^2$$

$$\text{น้ำหนักของคอนกรีต} \quad W = 2.4533 \text{ ตัน/ม}^2$$

$$\begin{aligned} E_b * E_c &= W^{1.5} 4270 \sqrt{f'_c} \\ &= 2.4533^{1.5} \times 4270 \sqrt{218} \\ &= 242,260 \text{ กก./ซม}^2 \end{aligned}$$

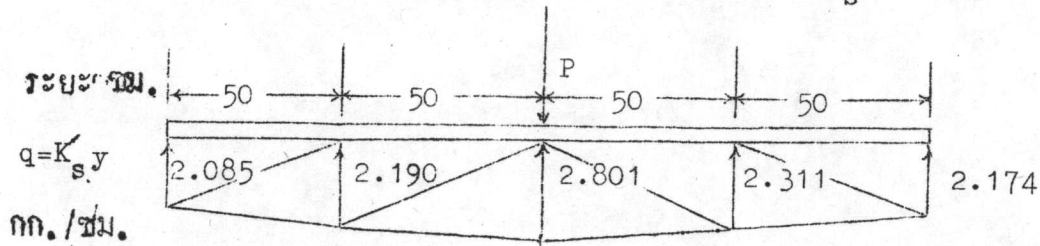
$$I_b = 21455 \text{ ซม}^4$$

$$\mu = 0.4$$

จากสูตรของ Vesic (2.4-6)

$$\begin{aligned} K'_s &= 0.515 \sqrt[12]{\frac{K'(1-\mu^2) B^4}{E_b I_b}} K' \\ &= 0.515 \times 94.8 \sqrt[12]{\frac{94.8 \times 25^4 (1-0.4^2)}{242,260 \times 21455}} \\ &= 48.822 \sqrt[12]{.00598} \\ &= 31.83 \text{ กก./ซม}^2 \end{aligned}$$

การคำนวณแรงปฏิกิริยารวมของดินโดยใช้ค่า K'_s



รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะการแผ่ของแรงปฏิกิริยาในดิน

จากรูปที่ 5.1 แรงปฏิกิริยารวมของดิน = $\sum q \Delta L$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} \times 2.085 \times 50 + \frac{1}{2} \times 2.190 \times (50 + 50) + \frac{1}{2} \times 2.801 \times (50 + 50) + \frac{1}{2} \times 2.311 \times (50 + 50) \\
 &\quad + \frac{1}{2} \times 2.174 \times 50 \\
 &= 471.575 \text{ กก.}
 \end{aligned}$$

แรงค้ำเนื่องจากแรงปฏิกิริยาของดิน

$$\begin{aligned}
 M \text{ จากซ้าย} &= \frac{1}{2} \times 2.085 \times 50 \times (0.5 + 2 \times \frac{0.5}{3}) + \frac{1}{2} \times 2.190 \times 100 \times 0.5 + \frac{1}{2} \times 2.801 \times 50 \times \frac{0.5}{3} \\
 &= 109.86 \text{ กก.-ม.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M \text{ จากขวา} &= \frac{1}{2} \times 2.174 \times 50 \times (0.5 + 2 \times \frac{5}{3}) + \frac{1}{2} \times 2.311 \times 100 \times 0.5 + \frac{1}{2} \times 2.801 \times 50 \times \frac{0.5}{3} \\
 &= 114.737 \text{ กก.-ม.}
 \end{aligned}$$

$$\text{แรงค้ำเฉลี่ย} = \frac{M_L + M_R}{2}$$

$$= \frac{109.86 + 114.737}{2}$$

$$= 112.298 \text{ กก.-ม.}$$

แรงค้ำจากทฤษฎีคานวางบนฐานยึดหยุ่น

$$M_c = \frac{P}{4\lambda} \frac{\cosh \lambda L - \cos \lambda L}{\sinh \lambda + \sin \lambda L}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K_s}{4E_b I_b}} = \sqrt[4]{\frac{31.83}{4 \times 242260 \times 2,1455}}$$

$$= 0.00625$$

$$\lambda L = 200 \times 0.00625 = 1.25$$

โดยที่น้ำหนักบรรทุกบนคาน $P = 1400$

$$M_c = \frac{1400}{4 \times 0.00625} \times \frac{1.8884 - 0.3153}{1.6019 + 0.9490}$$

$$= 34534.32 \text{ กก.}\cdot\text{ซม.}$$

$$= 345.34 \text{ กก.}\cdot\text{ซม.}$$

การทรุดตัว

$$Y_c = \frac{P\lambda}{2K_s} \frac{\cosh \lambda L + \cos \lambda L + 2}{\sinh \lambda L + \sin \lambda L}$$

$$= \frac{1400 \times 0.00625}{2 \times 31.83} \times \frac{1.8884 + 0.3153 + 2}{1.6019 + 0.9490}$$

$$= 0.226 \text{ ซม.}$$

และโดยวิธีการคำนวณเช่นเดียวกันนี้ แต่ใช้ค่า $K' = K_o B$ แทนค่า K_s ก็จะสามารถคำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยารวมแรงค้ำและการทรุดตัวดังแสดงในตารางที่ 5.1 และ 5.2

จากผลการคำนวณเปรียบเทียบค่าทางทฤษฎีกับผลการทดลอง ของคานคอคินทั้ง



สองตัวอย่างในตารางที่ 5.1 และ 5.2 พบว่าการใช้ค่า K'_s โดยสูตรของ Vesic กำหนดหาค่า แรงปฏิกริยารวมแรงค้ำและการทรุดตัวจะให้ความคลาดเคลื่อนไปจากผลที่ได้จากการทดลองมากกว่าการใช้ค่า $K' = K_0 B$ โดยที่การใช้ค่า K'_s จะให้ความคลาดเคลื่อนสำหรับน้ำหนักบรรทุก 66.32 % และ 62.29 % แรงค้ำ 67.48% และ 63.11 % การทรุดตัว 61.06 % และ 57.84 % สำหรับตัวอย่างคานคอกินตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนการใช้ค่า $K' = K_0 B$ จะให้ความคลาดเคลื่อนสำหรับน้ำหนักบรรทุก 0.64 % และ 10.75 % แรงค้ำ 0.67 % และ 10.13 % การทรุดตัว 10 % และ 17.83 % สำหรับตัวอย่างคานคอกินตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนจะเห็นว่าการใช้ค่า $K' = K_0 B$ ในการวิเคราะห์คานคอกินตามทฤษฎีคานวางบนฐานยึดหยุ่น ให้ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าทางทฤษฎีกับผลการทดลองค่ามาก ดังนั้นการเลือกใช้ค่า Modulus of Subgrade Reaction ในการวิเคราะห์ออกแบบคานคอกินเป็นฐานราก จึงควรใช้ค่า $K' = K_0 B$ โดยตรง และอาจสรุปได้ว่าทฤษฎีคานวางบนฐานยึดหยุ่นใช้ประยุกต์กับดินบริเวณที่ทำการวิจัย (กรุงเทพฯ) ได้

สำหรับ Initial Settlement ($y_1 = 0.165$ ซม.) ที่ใช้ในการประมาณการทรุดตัวของคานคอกินในการวิเคราะห์คานคอกินในบทที่ 3 โดยใช้สูตรของ Boussinesq นั้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการทรุดตัวที่จุดกึ่งกลางช่วงคานที่ได้จากการทดลองการรับน้ำหนักของคานคอกิน (ในรูปที่ 4.10 และ 4.12 เมื่อน้ำหนักบรรทุกบนคานมีค่า $P = 1,000$ กก.) จะเกิดความคลาดเคลื่อนเมื่อใช้ค่าทางทฤษฎีของ Boussinesq เป็นหลักในการเปรียบเทียบถึง 62.12 % และ 48.48 % สำหรับตัวอย่างคานคอกินตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นค่อนข้างมากนี้อาจอธิบายได้ดังนี้ กล่าวคือ ประการแรก ค่าความชื้นในดินระหว่างการทดลองแต่ละครั้งไม่เท่ากัน ซึ่งความชื้นในดินนี้มีผลต่อค่า Modulus of Elasticity และกำลังของดินมาก ประการที่สอง ค่า Poisson's Ratio (μ) และค่าความดันเฉื่อยในดิน (q) เป็นเพียงค่าประมาณ ประการที่สาม สูตรการหาค่า Initial Settlement ของ Boussinesq ที่ใช้ในการประมาณค่าการทรุดตัวของคานคอกินนั้นเป็นสูตรที่ประยุกต์กับข้อสมมติฐานที่ว่าดินภายใต้ฐานรากมีเนื้อเป็นเอกพันธ์

มีคุณสมบัติทางกลศาสตร์เหมือนกันรอบคานทุกทิศทางและชั้นดินมีความหนาไม่จำกัด แต่ดินบริเวณที่ทำการทดลอง มีลักษณะเป็นชั้น ๆ (Stratified Soil) โดยชั้นบนสุดเป็นดินเหนียวค่อนข้างสทิฟ (Stiff) ทั้บนชั้นดินที่ประกอบด้วยหินและอิฐหัก ชั้นดินที่อยู่ถัดลงไปเป็นดินเหนียวค่อนข้างอ่อน ซึ่งไม่สอดคล้องกับสมมติฐานในทฤษฎีของ Boussinesq การใช้ทฤษฎีของ Boussinesq ประมาณค่าการทรุดตัวของคานคอดิน จึงเกิดความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก

อย่างไรก็ดี "การประมาณค่า Initial Settlement หรือ Distortion Settlement ในชั้นดินที่มีลักษณะเป็นชั้น ๆ นี้ ยังไม่มีวิธีการที่จะประมาณค่าให้ค่าที่ถูกต้องที่สุด แต่หาพิจารณาจาก Westergaard's Stress Analysis ซึ่งกล่าวถึงความเครียด (Stress) ของวัสดุชั้นบาง ๆ วางซ้อนกันเป็นชั้น ๆ (Thinly Stratified Materials) นั้นจะเห็นว่า ความเครียดใต้ฐานรากตาม Westergaard's Analysis มีค่าน้อยกว่าของ Boussinesq จึงเป็นเหตุผลที่น่าจะเชื่อถือได้ว่า Initial Settlement ในชั้นดินที่มีลักษณะเป็น Stratified Soil จะมีค่าน้อยลงกว่าที่หาได้จากสูตรของ Boussinesq และถ้าอาศัยความเครียดเป็นเกณฑ์การทรุดตัวของ ฐานรากที่จุดกึ่งกลาง ฐานรากที่วางบนชั้นดินชนิด Stratified Soil จะมีค่าประมาณเศษสองส่วนสามของที่คำนวณได้จากสูตร Boussinesq ค่าทรุดตัวโดยเฉลี่ยจะมีค่าประมาณเศษสามส่วนสี่ของที่ได้จากสูตรของ Boussinesq"¹ ถ้าพิจารณาตามนี้ค่าความคลาดเคลื่อนของการทรุดตัวจะลดลงเหลือ 43.18 % และ 22.73 % ตามลำดับ

จากการวัดค่าการทรุดตัวของดินภายใต้น้ำหนักบรรทุกของตัวอย่างคานคอดินที่ 2 ซึ่งอยู่ถือว่าดินอยู่ในสภาพอ่อนเพราะถูกแช่น้ำก่อนทำการทดลองนั้น จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของ Differential Settlement มีค่า 0.0182 ซม. ซึ่งยังน้อยกว่าค่า Allowable Settlement $0.001 L^2$ หรือ 0.2 ซม. มาก แสดงว่าถ้าใช้คานนี้รับกำแพงก่ออิฐจะ

¹Leonards, G.A. Foundation Engineering McGraw-Hill Book Company Inc., 1962. p.568

²Lambe, T. William. Robert, V. Whitman. Soil Mechanics. Series in Soil Engineering, Massachusetts, Institute of Technology. John Wiley & Sons. Inc. 1969, Table 14-1, p.200.

ไม่มีการแตกร้าวเกิดขึ้น

จากการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน (รูปที่ 4.7) ได้ค่า Cohesion (c) ของดิน หรือค่า Undrained Shear Strength (S_u) ของดินประมาณ 4.31 ตัน/ม² โดยการใส่สูตร Ultimate Bearing Capacity ของ Terzaghi (2.6-11) จะได้

$$\begin{aligned} q_d &= 5 \left(1 + 0.2 \frac{B}{L}\right) S_u \\ &= 5 \left(1 + 0.2 \times \frac{25}{200}\right) \times 4.31 \\ &= 22.10 \text{ ตัน/ม}^2 \end{aligned}$$



จะเห็นว่าค่า Ultimate Bearing Capacity ของดินชั้นผิวบน (ดินถม) มีค่าสูงมากและจากรูป 4.10 และ 4.12 ลักษณะของเส้นกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวมีอัตราการทรุดตัวค่อนข้างคงที่เป็นช่วง ๆ เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น และเส้นกราฟไม่แสดงลักษณะที่ดินจะเกิด Shear Failure เมื่อถึงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด เมื่อกานหัก ซึ่งมีค่าความคั้นเฉลี่ยในดินประมาณ 12.1 ตัน/ม² และ 11.7 ตัน/ม² ดังนั้นการใช้ค่ากำลังแบกทานของดินที่ยอมให้ (Allowable Soil Bearing Capacity) 2 ตัน/ม² สำหรับดินบริเวณที่ทำการทดลองการรับน้ำหนักของคานคอดิน ก็อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยมากและอาจใช้ค่ากำลังแบกทานของดินที่ยอมให้สูงขึ้นกว่านี้ได้

ตารางที่ 5.1 ผลการคำนวณและเปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎี ตัวอย่างคานคอดินที่ 1

ระยะจากจุดกึ่งกลางคาน ม.		1.00	0.50	0	0.50	1.00	แรงปฏิกิริยา รวมของดิน กก.	น้ำหนักบรรทุก P จากการทดลอง กก.	%ความแตกต่างของ P	แรงค้ำเฉื่อย กก.-ม.	แรงค้ำจากทฤษฎี กก.-ม.	%ความแตกต่างของแรงค้ำ	การทรุดตัว Y_c มม.	%ความแตกต่าง Y_c	
การทรุดตัว y มม.		0.0655	0.0688	0.0880	0.0726	0.0683									
แรงปฏิกิริยาของดิน $q = K_y y$ กก./ม.	$K'_s =$	31.83	2.085	2.190	2.801	2.311	2.174	471.58	1,400	66.32	112.30	345.34	67.48	0.226	61.06
	$K' =$	94.8	6.209	6.522	8.342	6.882	6.475	1408.9	1,400	0.64	334.43	336.71	0.67	0.080	10.00



ตารางที่ 5.2 ผลการคำนวณและเปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎี ตัวอย่างคานคอดินที่ 2

ระยะวัดจากจุด กึ่งกลางคาน ม.	1.00	0.50	0	0.50	1.00	แรงปฏิกิริยา รวมของ คาน กก.	น้ำหนัก บรรทุก P จากการ ทดลอง กก.	%ความ แตกต่าง ของ P	แรงค้ำ เฉลย กก.-ม.	แรงค้ำ จากทฤษฎี กก.-ม.	%ความ แตกต่าง ของแรง ค้ำ	การทรุด ตัว Y_c ซม.	%ความ แตกต่าง ของ Y_c
การทรุดตัว ซม.	0.0622	0.0673	0.0978	0.0978	0.0970								
แรงปฏิกิริยาของคาน $q=K_s y$ กก./ซม.	$K_s = 25.42$ 1.581	1.708	2.486	2.486	2.465	433.57	1,150	62.29	104.93	284.44	63.11	0.232	57.84
	$K = 74.38$ 4.626	5.006	7.274	7.274	7.215	1273.73	1,150	10.75	307.15	278.90	10.13	0.083	17.83

5.2 การวิเคราะห์การหักของคานคอดินในการทดลอง

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.3 ปรากฏว่าคานคอดินย่อขนาดทั้งสองตัวที่ใช้ในการทดลองแตกหักภายใต้น้ำหนักบรรทุก 6,050 กก. และ 5,850 กก. ตามลำดับ ลักษณะการแตกหักของตัวอย่างคานคอดินทั้งสองมีลักษณะเหมือนกันคือ เกิดรอยแตกแยกในแนวตั้ง (Vertical Crack) ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ที่จุดกึ่งกลางคานใต้น้ำหนักบรรทุกพอดี ลักษณะการแตกหักเช่นนี้ อาจกล่าวได้ว่าคานคอดินแตกหักเนื่องจากเหล็กเสริมในแนวนอนรับแรงดึงเนื่องจากแรงกักเก็บกำลังกลางของเหล็ก ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างการวิเคราะห์การแตกหักของตัวอย่างคานคอดินที่ 2

$$\begin{aligned} \text{จากการทดลองดึงเหล็กเส้นขนาด } \phi 6 \text{ มม. ได้ } f_y &= 3,000 \text{ กก./ซม.}^2 \\ f_u &= 3,734 \text{ กก./ซม.}^2 \\ E_{st} &= 2,040,000 \text{ กก./ซม.}^2 \\ \text{จากการทดลองกดคอนกรีตได้ } f'_c &= 218 \text{ กก./ซม.}^2 \\ E_c &= 242,260 \text{ กก./ซม.}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{E_{st}}{E_c} = \frac{2,040,000}{242,260} = 8.42$$

$$p = \frac{A_s}{bd} = \frac{3 \times 0.283}{7.5 \times 30} = 0.0038$$

$$\begin{aligned} k &= \sqrt{2pn + (pn)^2} - pn \\ &= \sqrt{2 \times 0.0038 \times 8.42 + (0.0038 \times 8.42)^2} - 0.0038 \times 8.42 \\ &= 0.223 \end{aligned}$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 0.926 \text{ และ } jd = 0.926 \times 30 = 27.78 \text{ ซม.}$$

น้ำหนักรบรรทุกบนคานคอดินเมื่อคานหักมีค่า = 5,850 กก. แรงปฏิกิริยาใต้คานคอดิน โดยเฉลี่ยมีค่า = $\frac{5,850}{2}$ กก./ม. และเมื่อเกิดการแผ่ของแรงปฏิกิริยามีรูปตาม Elastic curve เมื่อคานหัก centroid ของแรงปฏิกิริยาจะมีค่าประมาณ 0.40 ม. จากน้ำหนักรบรรทุก

$$\text{แรงค้ำที่ เกิดขึ้นเมื่อคานหัก ประมาณ} = \frac{5,850}{2} \times 1 \times 0.4 = 1,170 \text{ กก.-ม.}$$



$$\begin{aligned} \text{แรงดึงในเหล็ก } T &= \frac{M}{jd} \\ &= \frac{1170}{0.2778} = 4211.66 \text{ กก.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเหล็ก } f_s &= \frac{T}{A_s} \\ &= \frac{4211.66}{3 \times 0.283} = 4960.7 \text{ กก./ซม.}^2 \end{aligned}$$

ค่า f_s ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าแรงประลัยในเหล็กที่ได้จากการทดลอง ซึ่งทำให้คานาคอคินเกิดแตกหักขึ้น การที่ f_s ที่เกิดในคานาคอคินมีค่ามากกว่าแรงประลัยของเหล็กนั้น เนื่องจากเมื่อเหล็กเสริมในคานาคอคินเริ่มรับแรงดึงเพราะเกิด Hair Line Crack ในคอนกรีตนั้น อัตราส่วนระหว่างความยาวอิสระของเหล็กที่รับแรงดึงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริมมีค่าน้อยมาก ทำให้เหล็กสามารถรับหน่วยแรงดึงได้สูงขึ้นกว่าหน่วยแรงประลัยที่ได้จากการทดลองซึ่งมีค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวอิสระของเหล็กต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กมากกว่า 1 ประการหนึ่งหน่วยแรงประลัยที่ได้จากการทดลองเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงดึงกับพื้นที่หน้าตัดเดิมของเหล็กโดยไม่ได้คำนึงถึงการคอคตัวเล็กน้อยของหน้าตัด จึงทำให้ค่าหน่วยแรงประลัยจากการทดลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่ควรเป็นจริง

สำหรับแรงยึดเกาะและแรงเฉือนในคานาใช้ทฤษฎีกำลังประลัยวิเคราะห์โดยไม่คิดค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยแล้ว ปรากฏว่าหน่วยแรงยึดเกาะและหน่วยแรงเฉือนในเหล็กปลอดภัยอยู่ในพิสัยต่ำกว่าหน่วยแรงประลัยทั้งสองกรณี

5.3 การเปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้างฐานรากแบบคานคอดินกับฐานรากแบบเสาเข็ม

ในการก่อสร้างอาคารทั่ว ๆ ไป ขนาดของฐานรากจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของตัวอาคาร น้ำหนักบรรทุก และขนาดของเสาเข็มที่ใช้ อาคารบางชนิดจึงมีฐานรากใหญ่มาก เพราะน้ำหนักบรรทุกสูง ในการพิจารณาเปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้างฐานรากแบบคานคอดินกับฐานรากแบบเสาเข็ม จะพิจารณาเฉพาะราคาค่าก่อสร้างฐานรากที่มีน้ำหนักบรรทุก ในลักษณะเดียวกันและอยู่ในพิภพที่คานคอดินและคันท่อรับจะสามารถรับได้อย่างปลอดภัย เพื่อหาค่าพิภพคานคอดินคานคอดินที่ทำให้ราคาค่าก่อสร้างฐานรากแบบคานคอดินถูกกว่าการใช้ฐานรากแบบเสาเข็ม

ราคาค่าก่อสร้างฐานรากแบบคานคอดินกับฐานรากแบบเสาเข็ม ขึ้นอยู่กับปริมาณวัสดุที่ใช้ ค่าแรงงาน ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ รวมทั้งกำไรและภาษีในการก่อสร้าง และภาวะเศรษฐกิจภายในและภายนอกประเทศ การเปรียบเทียบวัสดุ ค่าแรง และค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ของการใช้ฐานรากทั้งสองแบบแสดงในตารางที่ 5.3 ซึ่งจะเห็นว่าการใช้ฐานรากวางบนเสาเข็มนั้นสิ้นเปลืองวัสดุ และค่าแรงงานมากกว่าการใช้ฐานรากแบบคานคอดิน

การคานน้ำหนักบรรทุกบนคานคอดิน ถือเอาการรับน้ำหนักของดินที่ยอมให้โดยเฉลี่ย 2 ตัน / m^2 เป็นเกณฑ์ และใช้คานขนาดยาวคงที่ 4.00 ม. ส่วนความกว้างของส่วนปีกจะเปลี่ยนแปลงไปตามน้ำหนักบรรทุกเพื่อให้ความดันดินใต้คานไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ การคำนวณออกแบบฐานรากแบบคานคอดิน และฐานรากแบบเสาเข็มใช้กำลังคอนกรีต $f_c = 100$ กก./ cm^2 $f_c = 45$ กก./ cm^2 $f_s = 1,200$ กก./ cm^2 $E_s = E_c = 136,000$ กก./ cm^2 $\frac{E_{st}}{E_c} = 15$ Modulus of Subgrade Reaction $K = 74$ กก./ cm^2 และใช้ Moment of Inertia of Rectangular Gross Section โดยการประมาณน้ำหนักบรรทุกของอาคารที่ถ่ายให้คานคอดินที่ใช้เป็นฐานรากรับอย่างคร่าวๆ และใช้สูตรที่ (2.2-6 a) หาแรงคานโดยประมาณ และใช้ค่าแรงคานนี้ประมาณคาน้ำค้ำเหล็กเสริม เมื่อได้คาน้ำค้ำเหล็กเสริมโดยประมาณแล้ว ก็กำหนดจำนวนเหล็กเสริมจริงในคานใหม่พื้นที่หน้าตัดใกล้เคียงกับที่คำนวณได้ ใช้พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมจริงนี้คำนวณหาแรงคานที่คานจะสามารถรับได้แล้วแทนค่าแรงคานกลับไปในสูตร (2.2-6 a) จะได้น้ำหนักบรรทุกจริง



ที่คานจะสามารถรับได้แล้วคำนวณแรงเฉือนและเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในคาน สำหรับความกว้างของส่วนปีกคานคอคดคั้นนั้น กำหนดขึ้นโดยให้ความคั้นคินเฉลี่ยใต้คานอยู่ในพิสัย 2 คันท่อตารางเมตร แล้วจึงคำนวณแรงค้ำและเหล็กเสริมรับแรงค้ำในส่วนปีก รายละเอียดการออกแบบฐานรากแบบคานคอคดคั้นแสดงในตารางที่ 5.4 ส่วนการคำนวณออกแบบฐานรากแบบเสา เข็มนั้นนอกจากคั้นน้ำหนักบรรทุกบนคานคอคดคั้นแล้ว ยังรวมเอาน้ำหนักของคานคอคดคั้นและน้ำหนักของตัวฐานรากด้วย ซึ่งทำให้น้ำหนักบรรทุกบนฐานรากแบบเสา เข็มสูงกว่าน้ำหนักบรรทุกบนฐานรากแบบคานคอคดคั้น รายละเอียดการออกแบบฐานรากแบบเสาเข็มแสดงในตารางที่ 5.5

การประมาณราคาค่าก่อสร้างฐานรากทั้งสองชนิดใช้วิธี Unit Quantities Method โดยคิดค่าแรง 30 % ค่ากำไรและภาษี 20 % สำหรับราคาวัสดุนั้นถือเอาราคาวัสดุในท้องตลาดเดือนมีนาคม พ.ศ.2518 เป็นเกณฑ์ซึ่งราคาวัสดุนั้นเปลี่ยนแปลงได้ตามภาวะเศรษฐกิจภายในและภายนอกประเทศ ราคาวัสดุที่ใช้ในการประมาณราคาแสดงรายละเอียดในตารางที่ 5.7 (ภาคผนวก จ.)

การเปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้างฐานรากทั้งสองชนิดแสดงในตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.2 โดยถือเอาน้ำหนักบรรทุกบนคานคอคดคั้นเป็นเกณฑ์ จากตารางที่ 5.6 จะเห็นว่าภายใต้น้ำหนักบรรทุกบนคานคอคดคั้นที่ต่ำกว่า 5,500 กิโลกรัม ราคาค่าก่อสร้างฐานรากแบบคานคอคดคั้นจะถูกกว่าฐานรากแบบเสาเข็ม ประมาณ 40 % ถึง 50 % เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มมากขึ้น ราคาค่าก่อสร้างฐานรากแบบคานคอคดคั้นมีอัตราการเพิ่มเร็วกว่าฐานรากแบบเสาเข็ม และแพงกว่าฐานรากแบบเสาเข็มในที่สุด ราคาค่าก่อสร้างฐานรากแบบเสาเข็มในตารางที่ 5.6 เป็นราคาค่าก่อสร้างฐานรากที่ออกแบบให้มีราคาถูกที่สุดสำหรับน้ำหนักบรรทุกคานคอคดคั้นค่าหนึ่ง รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างฐานรากทั้งสองชนิดกับน้ำหนักบรรทุกบนคานคอคดคั้น ราคาค่าก่อสร้างฐานรากแบบเสาเข็มในรูปที่ 5.2 เป็นราคาค่าก่อสร้างฐานรากที่ใช้เสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ยาว 6.00 เมตร โดยกำหนดให้เสาเข็มที่รองรับฐานรากแต่ละต้น

รับน้ำหนักบรรทุกที่ยอมรับได้อย่างเต็มที่ จากรูปที่ 5.2 จะเห็นว่าที่น้ำหนักบรรทุกต่ำ ๆ ราคาการก่อสร้างฐานรากแบบคานคอดินจะต่ำกว่าฐานรากแบบเสาเข็ม เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นความแตกต่างระหว่างราคาการก่อสร้างฐานรากทั้งสองชนิดจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงจุดที่น้ำหนักบรรทุกมีค่าประมาณ 12,000 กิโลกรัม ราคาการก่อสร้างฐานรากทั้งสองชนิดจะมีค่าเท่ากัน เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มมากกว่าพิกัดนี้ ราคาการก่อสร้างฐานรากแบบคานคอดินจะแพงกว่าฐานรากแบบเสาเข็ม จึงอาจสรุปได้ว่าพิกัดน้ำหนักบรรทุกบนคานคอดินที่ทำให้ราคาการก่อสร้างฐานรากแบบคานคอดินมีราคาถูกลงกว่าฐานรากแบบเสาเข็มมีค่าประมาณ 12,000 กิโลกรัม หรือ 12 ตัน

ตารางที่ 5.3 รายการเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ ใช้งานและค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ในการก่อสร้าง
ฐานรากแบบคานคอดิน และฐานรากแบบเสาเข็ม

	รายการ	ฐานรากแบบเสาเข็ม	ฐานรากแบบคานคอดิน
วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง	1. เสาเข็มไม้ หรือ คอนกรีต	ใช่	ไม่ใช่
	2. คอนกรีต เหล็กเสริมและไม้แบบสำหรับ คอม่อและฐานราก	ใช่	ไม่ใช่
	3. คอนกรีต เหล็กเสริมและไม้แบบ สำหรับคานคอดิน	ใช่	ใช่
ค่าแรงงาน	1. การตอกเสาเข็ม	มี	ไม่มี
	2. การขุดดินและกลบถมฐานราก	มี	ไม่มี
	3. การสร้างแบบ คัดเหล็ก ผสมและเท คอนกรีตสำหรับฐานรากและคอม่อ	มี	ไม่มี
	4. การสร้างแบบ คัดเหล็ก ผสม และเท คอนกรีต สำหรับคานคอดิน	มี	มี
	5. การปรับหน้าดินสำหรับคานคอดิน	มี	มี
ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ	1. การสูบน้ำออกในระหว่างการ เทคอน- กรีต	มี	ไม่มี
	2. การตอก เข็มพีคในกรณีที่ดินพังทลาย	มี	ไม่มี
	3. การบดอัดหน้าดินใต้ ฐานราก เพื่อเพิ่ม ความแน่นในกรณีที่ดินมีสภาพเหลว	ไม่มี	มี
	4. ค่ากำไรและภาษีในการก่อสร้าง	มี	มี

ตารางที่ 5.4 รายละเอียดการออกแบบฐานรากแบบคานคอดิน เพื่อใช้ในการประมาณราคา



หน้าตัดของคานคอดิน			เหล็กเสริมรับแรงค้ำ	แรงค้ำ กก.-ม.	น้ำหนักบรรทุกทุก กก.	แรงเฉือนในคาน กก.	เหล็กเสริมรับแรงเฉือน	ความกว้างของปีกคานขม.	ความดันดินเฉลี่ย กก./ม ²	แรงค้ำในส่วนปีก กก.-ม.	เหล็กเสริมรับแรงค้ำในส่วนปีก
b ซม.	h ซม.	t ซม.									
15	50	15	3 Ø 9 มม.	1,276	2,698	1,349	Ø6 มม. @ 0.40	35	1,927	9.63	Ø6 มม. @ 0.40
15	50	15	2 Ø 12 มม.	1,497	3,164	1,582	Ø6 มม. @ 0.40	40	1,978	15.45	Ø6 มม. @ 0.40
15	50	15	4 Ø 9 มม.	1,678	3,547	1,773	Ø6 มม. @ 0.40	45	1,970	22.16	Ø6 มม. @ 0.40
15	50	15	2 Ø 12 มม. + 1 Ø 9 มม.	1,902	4,020	2,010	Ø6 มม. @ 0.30	50*	2,010	30.77	Ø6 มม. @ 0.40
15	50	15	5 Ø 9 มม.	2,080	4,396	2,198	Ø6 มม. @ 0.30	55	1,998	39.96	Ø6 มม. @ 0.40
15	50	15	3 Ø 12 มม.	2,209	4,669	2,334	Ø6 มม. @ 0.30	60	1,945	49.23	Ø6 มม. @ 0.40
15	50	15	3 Ø 12 มม. + 1 Ø 9 มม.	2,603	5,502	2,751	Ø6 มม. @ 0.25	70	1,965	74.30	Ø6 มม. @ 0.30
15	50	15	4 Ø 12 มม.	2,909	6,149	3,075	Ø6 มม. @ 0.20	75*	2,050	92.25	Ø6 มม. @ 0.30
20	50	20	5 Ø 12 มม.	3,962	8,375	4,187	Ø6 มม. @ 0.25	105	1,993	180.00	Ø6 มม. @ 0.25
20	50	25	4 Ø 15 มม.	5,180	10,949	5,475	Ø6 มม. @ 0.15	140	1,955	351.94	Ø6 มม. @ 0.15
20	50	32.5	7 Ø 12 มม.	6,265	13,242	6,621	Ø6 มม. @ 0.15	165*	2,006	527.20	Ø6 มม. @ 0.15

* ค่าความดันดินเฉลี่ยเกินพิสัยที่กำหนด 2 ตัน/ม² เพียงเล็กน้อย อาจแก้ไขโดยเพิ่มความกว้างของส่วนปีกได้

ตารางที่ 5.5 รายละเอียดการออกแบบฐานรากแบบเสาเข็มเพื่อใช้ในการประมาณราคา

น้ำหนักบรรทุก บนคานคอดิน กก.	น้ำหนักบรรทุก บนฐานราก กก.	ขนาดคอมอ มม. x มม.	เหล็กเสริม ในคอมอ	เสาเข็ม	ขนาดฐานราก : มม.			เหล็กเสริมในฐานราก
					กว้าง	ยาว	ลึก	
2,698*	4,550	15 x 15	4 Ø 9 มม.	3Ø6"x6.00ม.	90	90	27	6Ø 9 มม.
3,164*	5,064	15 x 15	4 Ø 9 มม.	3Ø6"x6.00ม.	90	90	27	9Ø 9 มม.
3,547	5,485	15 x 15	4 Ø 9 มม.	8Ø4"x4.00ม.	90	90	20	6Ø 9 มม. #
4,020	6,005	15 x 15	4 Ø 9 มม.	8Ø4"x4.00ม.	90	90	20	7Ø 9 มม. #
4,396	6,420	15 x 15	4 Ø 9 มม.	4Ø6"x6.00ม.	75	75	27	6Ø 9 มม. #
4,669	6,720	15 x 15	4 Ø 9 มม.	4Ø6"x6.00ม.	75	75	27	6Ø 12 มม. #
5,502	7,641	15 x 15	4 Ø 9 มม.	11Ø4"x4.00ม.	90	120	22	7Ø 9 มม. + 6Ø 9 มม.
6,149	8,348	15 x 15	6 Ø 9 มม.	5Ø6"x6.00ม.	120	120	30	5Ø 9 มม. #
8,375	10,796	20 x 20	4 Ø 9 มม.	7Ø6"x6.00ม.	90	120	30	7Ø 12 มม. + 4Ø 12 มม.
10,949	13,628	20 x 20	6 Ø 9 มม.	8Ø6"x6.00ม.	120	120	27	6Ø 12 มม. #
13,242	16,142	20 x 20	6 Ø 12 มม.	10Ø6"x6.00ม.	120	165	30	7Ø 15 มม. + 6Ø 15 มม.

*ใช้ฐานรากรูปสามเหลี่ยมคานเท่า



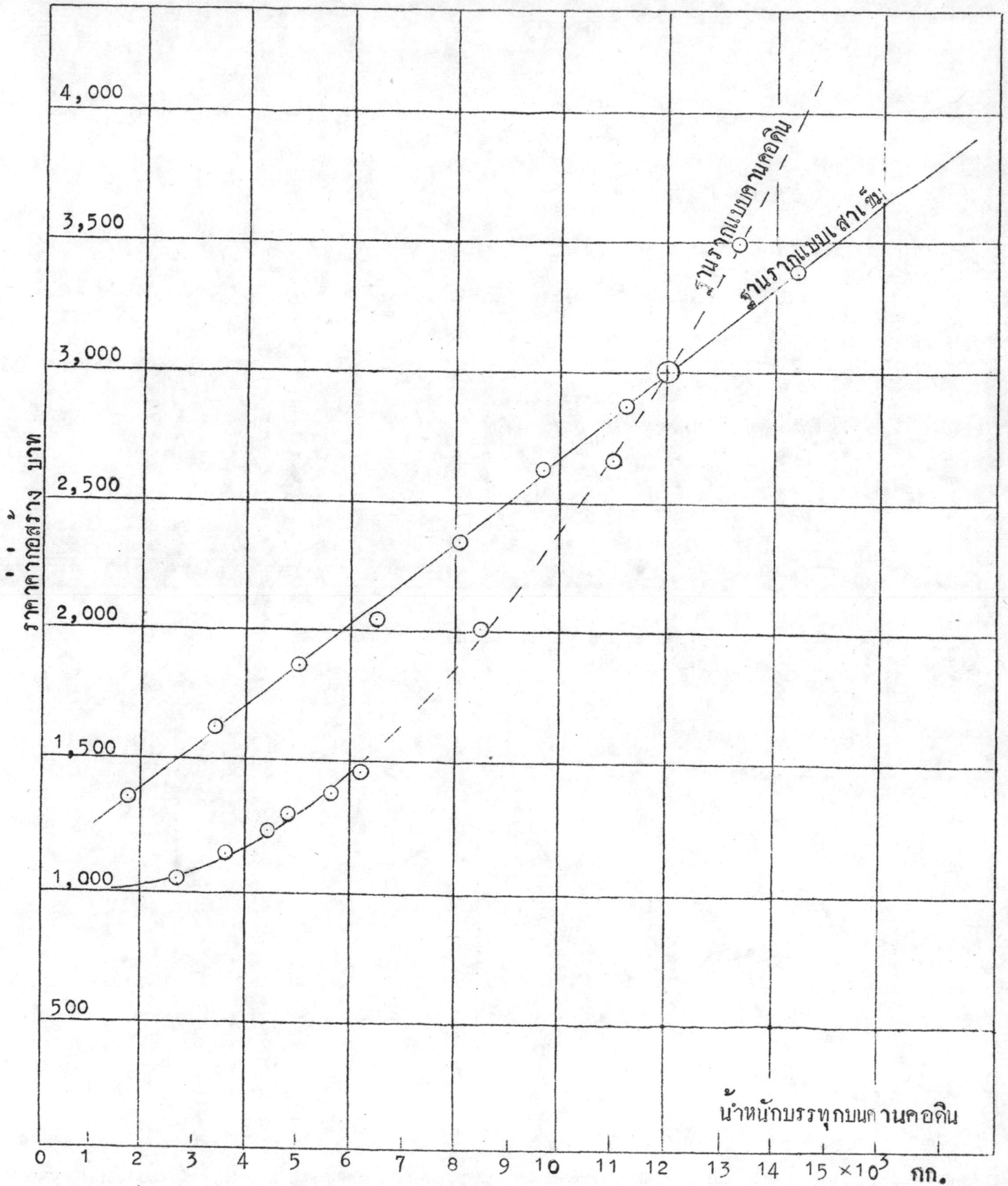
ตารางที่ 5.6

การเปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้างฐานรากแบบคานคอดินกับฐานรากแบบเสาเข็ม โดยถือน้ำหนักบรรทุกบนคานคอดินเป็นเกณฑ์

น้ำหนักบรรทุกบนคานคอดิน กก.	น้ำหนักบรรทุกบนฐานราก กก.	ราคาค่าก่อสร้างฐานรากแบบคานคอดิน 1 ตัว บาท	ราคาค่าก่อสร้างฐานรากแบบเสาเข็ม บาท	ความแตกต่าง %
2,698	4,550	1,036	1,570	51.54
3,164	5,064	1,112	1,585	42.54
3,547	5,485	1,156	1,766	52.77
4,020	6,005	1,180	1,777	50.59
4,396	6,420	1,228	1,834	49.34
4,669	6,720	1,317	1,872	42.14
5,502	7,641	1,371	2,046	49.23
6,149	8,348	1,699	2,106	23.95
8,375	10,796	2,018	2,563	27.00
10,949	13,628	2,665	2,786	4.54
13,242	16,142	3,468	3,453	-0.43*

* แสดงว่าค่าก่อสร้างคานคอดินเป็นฐานรากสูงกว่าค่าก่อสร้างฐานรากวางบนเสาเข็ม

รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกคานคอดิน กับราคาากก่อสร้าง



หมายเหตุ ส่วนของเส้นกราฟที่เป็นเส้นประเป็นส่วนที่ฐานรากมีความกว้าง $B > 75$ ซม.