

## บทที่ 5

### วิเคราะห์ผล

จากน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่หาได้โดยสมการคลื่น นำมาพล็อตกราฟดูลักษณะความสัมพันธ์กับน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากสูตรสแตติก และน้ำหนักที่ได้จากการทดสอบการรับน้ำหนัก ซึ่งน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสมการคลื่น ได้พิจารณาถึงผลของการคืนกำลังของดินแล้ว โดยค่า SOIL SET UP FACTOR ของชั้นดิน SOFT AND MEDIUM CLAY ได้มาจากการทดลองของ LEE KIM KHIEONG (1979) ที่ได้ตอกเสาเข็ม คลส. สี่เหลี่ยมตัน 0.35x0.35 ม. ยาว 18.0 ม. และ 13.0 ม. บนทางหลวงสายบางนา-บางปะกง บริเวณสะพานพระองค์เจ้า และทางแยกต่างระดับที่บางปะกง ตามลำดับ เสาเข็มตันที่ตอก ณ สะพานพระองค์เจ้า ความยาว 16.0 ม. ที่ตอกลงไปอยู่ในชั้น SOFT CLAY ทั้งหมด สำหรับเสาเข็มตันที่ตอก ณ ทางแยกต่างระดับบางปะกง เสาเข็มอยู่ในชั้น SOFT และ MEDIUM CLAY หลังจากนั้นได้ทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มทั้งสองที่อายุ 1, 3, 7, 12, 20 และ 40 วัน ซึ่งได้ค่าน้ำหนักบรรทุกและค่า SOIL SET UP FACTOR ดังตารางที่ 5.1 สำหรับเสาเข็มที่ใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ ระยะเวลาจากวันตอกจนกระทั่งถึงวันทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มมีอายุเฉลี่ย 27 วัน ซึ่งจากตารางที่ 5.1 จะหาได้ว่า ค่า SOIL SET UP FACTOR ของ SOFT และ MEDIUM CLAY เท่ากับ 2.0 สำหรับค่า SOIL SET UP FACTOR ของ STIFF CLAY จากตารางที่ 5.2 และ 5.3 จะเห็นค่า SENSITIVITY ของ STIFF CLAY ชั้นแรก มีค่าต่ำกว่า 2 จัดเป็น INSENSITIVE ได้ ฉะนั้นจึงได้ทดลองใช้ค่า SOIL SET UP FACTOR เท่ากับ 1.0 สำหรับ SAND ระยะเวลาไม่มีผลต่อกำลังรับน้ำหนัก จึงใช้ค่าเท่ากับ 1.0

นอกจากค่า SOIL SET UP FACTOR ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ได้ทดลองคำนวณหา น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม โดยใช้ค่า SOIL SET UP FACTOR อื่น ๆ อีกดังนี้

กรณีที่ 1 หากเป็น - CLAY จะใช้เท่ากับ 2.0 ทั้งหมดไม่ว่า SOFT หรือ STIFF CLAY

- SAND จะใช้เท่ากับ 1.0

- กรณีที่ 2 หากเป็น - SOFT AND MEDIUM CLAY จะใช้เท่ากับ 2.0
- STIFF CLAY จะใช้เท่ากับ 1.3 โดยได้นำ  
ค่านี้จากค่า SENSITIVITY
- SAND จะใช้เท่ากับ 1.0

ซึ่งน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเมื่อใช้ค่า SOIL SET UP FACTOR ต่าง ๆ นั้น สรุป  
ในตารางที่ 5.4 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกดังกล่าวกับน้ำหนักบรรทุกจาก  
สูตรสแตติกและจากการทดสอบการรับน้ำหนักในสนาม แสดงดังกราฟรูปที่ 5.1 ถึง 5.6

### 5.1 การเปรียบเทียบค่า SOIL SET UP FACTOR

จากกราฟรูปที่ 5.1 ถึง 5.6 เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจาก  
สมการคลื่นเทียบกับน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากสูตรสแตติก จะเห็นว่าลักษณะของจุดกระจายมาก  
ไม่ว่าจะใช้ค่า SOIL SET UP FACTOR ชัดใด และเมื่อเทียบกับน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการ  
ทดสอบในสนาม ลักษณะของจุดเมื่อใช้ SOIL SET UP FACTOR ของ CLAY เท่ากับ 2.0 ทั้ง  
SOFT และ STIFF CLAY จะมีลักษณะกระจายมาก และเมื่อใช้ค่า SOIL SET UP  
FACTOR ของ CLAY ย่อลงไปอีก โดยใช้ค่าเท่ากับ 2.0 เฉพาะ SOFT และ MEDIUM CLAY  
ส่วนดิน STIFF CLAY ใช้ค่าเท่ากับ 1.0 และ 1.3 โดยที่ SAND ยังคงเท่ากับ 1.0 จะเห็น  
ว่าลักษณะของจุดเกาะกลุ่มกันมากขึ้น

การหาความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่คำนวณหรือหาได้จาก  
สูตรสแตติก จากการทดสอบในสนามและจากสมการคลื่น โดยวิธีพล็อตกราฟนี้ ไม่สามารถที่จะ  
ตัดสินใจได้อย่างแน่ชัดว่าเป็นอย่างไร เพราะลักษณะการกระจายของกราฟไม่แน่นอน เพียงแต่  
เป็นการดูแนวโน้มของความสัมพันธ์เท่านั้น ดังนั้น จึงต้องใช้วิธีการสถิติเข้าพิจารณา

การหาความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์เชิงสถิติ

หลักการทางสถิติที่นำมาใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม  
จากสมการคลื่น จากสูตรสแตติกและจากการทดสอบในสนามนั้น ใช้หลักการของการถดถอยเชิง  
เส้นแบบธรรมดา (SIMPLE LINEAR REGRESSION) โดยในกรณีนี้สมมุติให้ความสัมพันธ์มีลักษณะ  
เป็นเส้นตรง ผ่านจุด ORIGIN ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$Y_1 = \beta X_1 \quad (5.1)$$

โดยที่  $X_1 =$  ค่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสูตรสแตติกหรือจากการทดสอบการรับน้ำหนักแล้วแต่กรณีที่ต้องการเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์

$$Y_1 = \text{ค่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสมการคลื่น}$$

$$\beta = \text{ค่าคงที่ หาได้โดยวิธี LEAST SQUARE ดังสูตร}$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{\sum_{i=1}^n (X_i)^2} \quad (5.2)$$

ซึ่งเส้นตรงที่สมมุติว่าเป็นความสัมพันธ์ของน้ำหนักทั้งสองที่เปรียบเทียบกัน จะเป็นเส้นที่ดีที่สุดหรือมีความผิดพลาดน้อยที่สุดเพียงใด จะดูได้จากค่า COEFFICIENT OF DETERMINATION ( $R^2$ ) นี้ คำนวณได้จาก

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n X_i Y_i]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i)^2 \sum_{i=1}^n (Y_i)^2} \quad (5.3)$$

หากข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กันดีเพียงใด ค่า  $R^2$  นี้ก็จะมีค่าเข้าใกล้ 1.00 มากขึ้นเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม ค่า  $R^2$  ที่ได้ควรจะมีค่ามากกว่า 0.80 ขึ้นไป

อนึ่ง ในกรณีที่วิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงสถิติของกรณีแปรเปลี่ยนตัวแปรอื่น ๆ อีก ค่า  $X_i$  ในที่นี้ ก็จะหมายถึงน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มของกรณีที่จะเปรียบเทียบกับ และ  $Y_i$  ก็จะหมายถึงค่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มของกรณีที่จะนำมาเปรียบเทียบ

จากตารางที่ 5.5 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสูตรสแตติกและจากสมการคลื่นโดยคำนึงถึงการคืนกำลังของกำลังดินแล้ว จะเห็นว่าค่า COEFFICIENT OF DETERMINATION ในกรณีที่ใช้ค่า SOIL SET UP FACTOR สำหรับ SOFT CLAY เท่ากับ 2.0 STIFF CLAY เท่ากับ 1.3 , SAND เท่ากับ 1.0 และในกรณี SOFT CLAY เท่ากับ 2.0 , STIFF CLAY เท่ากับ 1.0 , SAND เท่ากับ 1.0 มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงค่า MEAN SQUARE ERROR พบว่าค่าน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ค่า SOIL SET UP ของ STIFF CLAY เท่ากับ 1.3 มีค่าน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ค่าอื่น ๆ ซึ่งก็เป็นไปตามที่คาดหมาย แม้นว่าค่าที่ได้จะยังไม่เป็นที่น่าพอใจนัก โดยน้ำหนักบรรทุกของทั้งสองในกรณีค่า SOIL SET UP นี้ มีความสัมพันธ์กัน

$$Q_{WE} \text{ (ACTUAL)} = 0.867 Q_{ST} \quad (5.4)$$

$$R^2 = 0.748$$

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสมการคลื่นกับน้ำหนักที่ได้จากการทดสอบเสาเข็ม จะเห็นว่าค่า COEFFICIENT OF DETERMINATION และ MEAN SQUARE ERROR ในกรณีที่ใช้ค่า SOIL SET UP ของ STIFF CLAY เท่ากับ 1.3 ก็ให้ค่าสูงสุดและน้อยสุดตามลำดับอีกเช่นกัน และคุณภาพของ REGRESSION LINE ที่ได้ก็อยู่ในเกณฑ์ใช้ได้ ซึ่งความสัมพันธ์ ของน้ำหนักบรรทุกของทั้งสอง

$$Q_{WE} \text{ (ACTUAL)} = 1.053 Q_{LT} \quad (5.5)$$

$$R^2 = 0.893$$

จากการเปรียบเทียบของทั้งสองกรณีดังกล่าวข้างต้น ค่า SOIL SET UP FACTOR ที่เหมาะสมคือ

$$\text{SOFT CLAY} = 2.0$$

$$\text{STIFF CLAY} = 1.3$$

$$\text{SAND} = 1.0$$

ซึ่งในการเปรียบเทียบกรณีต่าง ๆ ต่อไปจะใช้ค่า SET UP FACTOR นี้เป็นฐานในการพิจารณาตลอดไป

## 5.2 การเปรียบเทียบค่า DAMPING CONSTANT

ตารางที่ 5.6 ถึง 5.9 ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสมการคลื่นเมื่อทดลองแปรเปลี่ยนค่าคงที่สปริงและค่าคงที่หน่วง โดยน้ำหนักบรรทุกเหล่านี้ได้พิจารณาถึงคุณสมบัติการคืนกำลังของดินแล้ว ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกจากสมการคลื่นและน้ำหนักบรรทุกจากสูตรสแตติกและจากการทดสอบการรับน้ำหนักในสนาม แสดงดังกราฟรูปที่ 5.7 ถึง 5.10 และเมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบทางสถิติกับน้ำหนักบรรทุกจากสูตรสแตติกและจากการทดสอบเสาเข็ม จะได้ดังตารางที่ 5.10 และ 5.11 ตามลำดับ

จากตารางที่ 5.10 เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสมการคลื่นโดยใช้ค่าคงที่หน่วงตามการแนะนำของ TEXAS TRANSPORTATION INSTITUTE, LOWERY และ SMITH เปรียบเทียบกับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสูตรสแตติก จะเห็นว่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากค่าคงที่หน่วงที่แนะนำโดย TEXAS TRANSPORTATION INSTITUTE (TTI)

จะให้ค่า COEFFICIENT OF DETERMINATION สูงกว่าที่แนะนำโดยคนอื่น ๆ แม้ว่าผลที่ได้จะยังไม่น่าพอใจนัก และสมการของความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกทั้งสองเขียนได้ดังนี้

$$Q_{WE} \text{ (DAMPING CONST AFTER TTI)} = 0.867 Q_{ST}$$

$$R^2 = 0.748$$

และเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักบรรทุกจากการทดสอบการรับน้ำหนัก ค่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากค่าคงที่หน่วงที่แนะนำโดย TTI ก็ให้ค่า COEFFICIENT OF DETERMINATION สูงกว่าที่แนะนำโดยคนอื่น ๆ อีกเช่นกัน และค่าที่ได้ก็อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจได้ดังนี้

$$Q_{WE} \text{ (DAMPING CONST AFTER TTI)} = 1.053 Q_{LT}$$

$$R^2 = 0.893$$

### 5.3 ศึกษาผลของการแปรเปลี่ยนค่าคงที่หน่วง (DAMPING CONSTANT)

ในการใช้สมการคลื่นคาดคะเนการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม " MAIN " นั้น ค่าคงที่หน่วงที่ใช้ได้ใช้ตามที่แนะนำโดย TEXAS TRANSPORTATION INSTITUTE และจากการเปรียบเทียบค่าของ DAMPING CONSTANT ในหัวข้อ 5.2 พบว่าค่าที่แนะนำโดย TTI นี้ให้ค่า  $R^2$  ต่ำกว่าค่าที่แนะนำโดยคนอื่น ๆ ฉะนั้นจะใช้น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม MAIN นี้เป็นฐานในการเปรียบเทียบผลของการแปรเปลี่ยนค่าคงที่หน่วงอื่น ๆ ต่อไป

จากกราฟรูปที่ 5.11 และ 5.12 ซึ่งพล็อตแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม MAIN และน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากการใช้ค่าคงที่หน่วงของดินตามการแนะนำของ LOWERY และ SMITH ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าของน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากการใช้ค่าคงที่หน่วงตาม LOWERY และ SMITH มีค่ามากกว่ากรณีของเสาเข็ม MAIN โดยเฉพาะกรณีใช้ค่าคงที่หน่วงตาม SMITH จะมีค่ามากกว่ากรณีของเสาเข็ม MAIN มาก และเมื่อพิจารณาเชิงสถิติ จากตารางที่ 5.12 ค่า COEFFICIENT OF DETERMINATION ของน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากการใช้ค่าคงที่หน่วงตามการแนะนำของ LOWERY และ SMITH มีค่าสูงและมีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งแสดงว่าข้อมูลทั้ง 3 มีความสัมพันธ์ในเกณฑ์ดี ซึ่งหากพิจารณาที่ PARAMETER จะเขียนความสัมพันธ์กันได้ดังนี้

$Q_{WE}$ (LOWERY)	=	1.116	$Q_{WE}$ (MAIN CASE)
$R^2$	=	0.992	
$Q_{WE}$ (SMITH)	=	1.303	$Q_{WE}$ (MAIN CASE)
$R^2$	=	0.992	

#### 5.4 ศึกษาผลของการแปรเปลี่ยนค่าคงที่สปริง (SPRING CONSTANT)

ในการศึกษาผลของการแปรเปลี่ยนค่าคงที่สปริง จะใช้น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม MAIN เป็นฐานในการเปรียบเทียบอีกเช่นกัน ในการแปรเปลี่ยนค่าคงที่สปริงนี้ ได้ทดลองใช้ค่าคงที่สปริงเท่ากับ 0.5 เท่า และ 1.5 เท่าของค่าคงที่สปริงที่ใช้ในเสาเข็ม MAIN จากกราฟรูปที่ 5.13 และ 5.14 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักบรรทุกทั้งสองกรณีเทียบกับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม MAIN จะเห็นว่าลักษณะกราฟเกาะกลุ่มกันดี ยกเว้นเสาเข็มหน้าตัดกลมกลวง ซึ่งเมื่อใช้ค่าคงที่สปริง 1.5 เท่าของกรณีปกติ จะให้ค่าออกมาสูงกว่าน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม MAIN มาก และเมื่อพิจารณาเชิงสถิติ จากตารางที่ 4.12 ค่า COEFFICIENT OF DETERMINATION ของน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่จากการใช้ค่าคงที่สปริงเท่ากับ 0.5 เท่าของ MAIN ให้ค่ามากกว่า กรณีที่ใช้ค่าคงที่สปริงเท่ากับ 1.5 เท่าของ MAIN แต่ทั้งสองกรณีก็มีค่าสูงอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ และหากพิจารณาที่ PARAMETER จะเขียนความสัมพันธ์กันได้นี้

$Q_{WE}$ (0.5 K ACTUAL)	=	0.975	$Q_{WE}$ (MAIN CASE)
$R^2$	=	0.978	
$Q_{WE}$ (1.5 K ACTUAL)	=	1.232	$Q_{WE}$ (MAIN CASE)
$R^2$	=	0.967	

#### 5.5 ศึกษาผลของการแปรเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์และลักษณะแรงต้านทาน

ในกรณีของเสาเข็ม MAIN ได้ใช้เปอร์เซ็นต์และลักษณะแรงต้านทานตามสภาพเป็นจริงตามลักษณะชั้นดิน ซึ่งเปอร์เซ็นต์ของแรงต้านทานต่าง ๆ ที่กระทำต่อเสาเข็มนั้น นำค่ามาจากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลดิน ในการทดลองแปรเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์และลักษณะแรงต้านทานเพื่อเปรียบเทียบกับกรณี MAIN ซึ่งเป็นกรณีปกตินั้น ความสัมพันธ์ที่ได้ดังกราฟรูปที่ 5.15 ถึง 5.22 และเมื่อพิจารณาเชิงสถิติ จะได้ผลสรุปดังตารางที่ 5.13

จากตารางที่ 5.13 จะเห็นว่าค่า COEFFICIENT OF DETERMINATION มีค่าเข้าใกล้ 1.00 มาก ซึ่งแสดงว่าข้อมูลที่นำมาพิจารณา นั้น มีความสัมพันธ์กันดีและ เมื่อพิจารณาที่ค่า PARAMETER,  $\beta$  จะเขียนความสัมพันธ์กันได้ดังนี้

กรณี UNIFORMLY SIDE FRICTION

$Q_{WE}$ (ACTUAL END BEARING)	=	1.024	$Q_{WE}$ (MAIN CASE)
$R^2$	=	0.996	
$Q_{WE}$ (0.0% END BEARING)	=	0.974	$Q_{WE}$ (MAIN CASE)
$R^2$	=	0.995	
$Q_{WE}$ (25% END BEARING)	=	1.018	$Q_{WE}$ (MAIN CASE)
$R^2$	=	0.992	
$Q_{WE}$ (50% END BEARING)	=	1.161	$Q_{WE}$ (MAIN CASE)
$R^2$	=	0.985	

กรณี TRIANGULAR SIDE FRICTION

$Q_{WE}$ (ACTUAL END BEARING)	=	1.026	$Q_{WE}$ (MAIN CASE)
$R^2$	=	0.995	
$Q_{WE}$ (0.0% END BEARING)	=	0.961	$Q_{WE}$ (MAIN CASE)
$R^2$	=	0.994	
$Q_{WE}$ (25% END BEARING)	=	1.040	$Q_{WE}$ (MAIN CASE)
$R^2$	=	0.992	
$Q_{WE}$ (50% END BEARING)	=	1.127	$Q_{WE}$ (MAIN CASE)
$R^2$	=	0.992	

## ตารางที่ 5.1

Gain in Carrying Capacity with Increasing Time after Driving of Piles T6 and T8 into Soft and the Soft and Medium Stiff clay, respectively

Time	Immediately After Driving	1 day	3 days	7 days	12 days	20 days	40 days
Failure Load, (tons)	9.2	10	12	14	16	17	19
Set Up Factor	1.0	1.09	1.30	1.52	1.74	1.85	2.07

(a) SOFT AND MEDIUM STIFF CLAY at BANG PAKONG Interchange Bridge Site Sta. 46+663.529 (Embedded Pile length 13m for Test Pile T8)

Time	Immediately After Driving	1 day	3 days	7 days	12 days	20 days	40 days
Failure Load, (tons)	9.3	10.6	12.9	15.9	18	19	19.5
Set Up Factor	1.0	1.14	1.39	1.71	1.94	2.04	2.10

(b) SOFT CLAY at PRA ONG CHAO Bridge Site Sta. 28+560 (Embedded Pile length 16m for Test Pile T6)



ตารางที่ 5.2 - Index Properties of Stiff Bangkok Clay at  
Chulalongkorn University Campus  
(VONTHIERS, 1966)

Properties	Average Value
Natural Water Content	30%
Liquid Limit	59%
Plastic Limit	23%
Dry Density, lb/ft <sup>3</sup>	93
Unconfined Compressive Strength, lb/ft <sup>2</sup>	2600
Sensitivity	1.3-1.5

ตารางที่ 5.3 - Index Properties of Stiff Bangkok Clay  
(HENGCHIAOVANICH, 1969)

Properties	Average Value
Natural Water Content	20-30%
Liquid Limit	59.3 ± 5.9%
Plastic Limit	22.6 ± 1.6%
Plasticity Index	36.7 ± 4.9%
Liquidity Index	0.1
Specific Gravity	2.74 ± 0.02
% Finer than 200#	44%
Dry Density, lb/ft <sup>3</sup>	100.5
Sensitivity	1.3

## ตารางที่ 5.4

น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ACTUAL เมื่อพิจารณาค่าการดินตัวต่าง ๆ

PILE NO.	CAPACITY OF ACTUAL PILE GAIN STRENGTH, TON			REMARK
	SET UP FACTOR			
	CLAY SOFT = 2.0 STIFF = 2.0 SAND = 1.0	CLAY SOFT = 2.0 STIFF = 1.3 SAND = 1.0	CLAY SOFT = 2.0 STIFF = 1.0 SAND = 1.0	
I 1	112.0	86.9	76.0	
I 2	110.0	93.1	86.0	
I 3	176.0	135.0	127.0	
I 4	170.0	122.4	102.0	
I 5	86.0	60.3	55.0	
I 6	146.0	121.5	111.0	
I 7	52.0	44.4	41.0	
I 8	256.0	141.5	130.0	
SS 1	374.4	313.9	288.0	
SS 2	144.0	116.0	103.7	
SS 3	106.0	79.0	67.3	
SS 4	160.0	105.4	96.8	
SS 5	198.4	174.2	145.2	
SS 6	81.5	69.6	64.5	
SS 7	208.0	155.6	133.1	
SS 8	304.0	209.9	183.9	
SS 9	312.0	224.6	187.2	
SS 10	204.0	151.2	128.5	
HS 1	404.0	356.0	335.0	
HS 2	292.0	210.2	175.0	
HS 3	366.0	263.5	220.0	
HS 4	368.0	262.4	217.0	
HS 5	264.0	195.6	166.0	
HS 6	378.0	266.9	219.2	
HS 7	214.0	148.1	120.0	
HS 8	452.2	379.6	348.0	
HS 9	409.2	446.2	363.0	
HS 10	401.2	427.6	335.0	
HS 11	-	-	-	
HS 12	-	-	-	
HS 13	594.0	386.1	297.0	
HS 14	323.4	286.0	220.0	
HS 15	580.0	377.0	290.0	
R 1	394.0	305.7	267.9	
R 2	504.0	373.5	317.5	
R 3	934.0	626.7	495.0	
R 4	564.0	410.0	344.0	
R 5	700.0	513.8	434.0	
R 6	640.0	469.8	396.8	
R 7	580.0	417.6	348.0	
R 8	580.0	417.6	348.0	
R 9	430.0	309.6	258.0	
R 10	454.0	358.2	308.7	
R 11	306.9	277.6	259.8	
R 12	295.1	258.7	243.0	
R 13	327.0	300.9	273.3	
R 14	33.2	276.1	251.6	
R 15	580.0	417.6	348.0	

เปรียบเทียบค่า และ COEFFICIENT OF DETERMINATION ของเสาเข็ม ACTUAL

เมื่อใช้ค่า SOIL SET UP FACTOR ต่างๆกัน

PILE COMPARED SECTION WITH	STATISTICAL ANALYSIS VALUE						REMARKS
	SET UP FACTOR						
	CLAY		CLAY		CLAY		
	SOFT = 2.0	STIFF = 2.0	SOFT = 2.0	STIFF = 1.3	SOFT = 2.0	STIFF = 1.0	
	$\beta$	$R^2$	$\beta$	$R^2$	$\beta$	$R^2$	
I PILE	1.068	0.952	0.740	0.923	0.670	0.922	
SS CAPACITY	0.989	0.836	0.746	0.805	0.646	0.783	
HS FROM	0.937	0.722	0.764	0.753	0.641	0.777	
R STATIC	1.321	0.703	1.011	0.758	0.871	0.871	
all FORMULA	1.111	0.705	0.867	0.748	0.741	0.787	
I PILE	1.524	0.944	1.058	0.926	0.970	0.922	
SS CAPACITY	1.212	0.956	0.927	0.947	0.808	0.934	
HS FROM	1.195	0.895	0.954	0.895	0.789	0.897	
R STATIC	1.547	0.865	1.164	0.901	0.993	0.916	
all LOAD TEST	1.370	0.869	1.053	0.893	0.891	0.900	

ตารางที่ 5.6

น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากสมการคลื่น เมื่อพิจารณาการคืนกำลังหลังจากทดสอบเสาเข็มหน้าตัด รูป I

PILE NO.	%SIDE FRICTION				%END BEARING				PILE CAPACITY BY THE WAVE EQUATION AFTER GAIN STRENGTH, TONS				REMARKS
	SOFT CLAY		SAND		SOFT CLAY		STIFF CLAY		SET UP FACTOR SOFT CLAY=2.0 , STIFF CLAY=1.3 , SAND=1.0		DAMPING CONSTANT AFTER		
	SOFT CLAY	STIFF CLAY	SOFT CLAY	SAND	SOFT CLAY	STIFF CLAY	SOFT CLAY	STIFF CLAY	MAIN CASE	0.5K ACTUAL	1.5K ACTUAL	LOWERY	
I1	36.0	50.0	-	-	-	14.0	-	86.9	81.1	96.7	96.7	96.7	104.5
I2	56.0	35.0	-	-	-	9.0	-	93.1	85.2	102.2	102.2	102.2	115.8
I3	44.0	32.0	-	-	24.0	-	24.0	135.0	125.1	149.8	149.8	149.8	159.1
I4	20.0	68.0	-	-	-	12.0	-	122.4	122.7	124.2	124.2	135.7	157.4
I5	27.0	44.0	-	-	-	-	29.0	60.3	59.1	66.1	66.1	66.1	70.4
I6	52.0	35.0	-	-	-	13.0	-	121.4	100.5	117.2	117.2	117.2	125.6
I7	58.0	31.0	-	-	-	11.0	-	44.4	44.6	91.0	91.0	91.0	96.2
I8	15.0	34.0	-	-	-	-	51.0	141.5	125.5	143.1	143.1	143.1	143.1

ตารางที่ 5.7

น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากสมการคลื่นเมื่อพิจารณาการคืนกำลังหลังจากตอกเสาเข็มหน้าตัด รูป SS

PILE NO.	%SIDE FRICTION				%END BEARING				PILE CAPACITY BY THE WAVE EQUATION AFTER GAIN STRENGTH, TONS				REMARKS	
	SOFT CLAY		STIFF CLAY		SOFT CLAY		STIFF CLAY		SAND		DAMPING CONSTANT AFTER			SMITH
	SOFT CLAY	STIFF CLAY	SOFT CLAY	STIFF CLAY	SOFT CLAY	STIFF CLAY	SOFT CLAY	STIFF CLAY	LOWERY	SMITH				
									SET UP FACTOR SOFT CLAY=2.0 , STIFF CLAY=1.3 , SAND=1.0					
									MAIN CASE		DAMPING CONSTANT AFTER			
									0.5K ACTUAL		1.5K ACTUAL			
SS1	20.0	36.0	-	-	-	-	-	-	313.9	295.2	345.0	383.1	388.4	
SS2	44.0	45.0	-	11.0	-	-	-	116.0	108.3	121.3	129.3	129.3	155.2	
SS3	27.0	59.0	-	14.0	-	-	-	79.0	79.2	83.7	92.6	92.6	106.1	
SS4	21.0	53.0	-	16.0	-	-	-	105.4	105.7	108.3	116.3	116.3	132.1	
SS5	20.0	44.0	-	36.0	-	-	-	174.2	157.4	177.6	205.0	205.0	212.3	
SS6	29.0	34.0	-	-	37.0	-	-	69.6	65.7	68.5	81.1	81.1	81.1	
SS7	28.0	52.0	-	20.0	-	-	-	155.6	138.1	165.2	165.2	165.2	201.2	
SS8	21.0	36.0	22.0	21.0	-	-	-	209.9	124.7	213.3	213.3	213.3	264.6	
SS9	20.0	60.0	-	20.0	-	-	-	224.6	206.5	225.2	249.8	249.8	294.6	
SS10	26.0	51.0	-	23.0	-	-	-	151.2	133.8	144.2	144.2	144.2	172.5	

ตารางที่ 5.8

น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากสมการคลื่นเมื่อพิจารณาการคืบกำลังหลังจากทดสอบเสาเข็มหน้าตัด รูป HS

PILE NO.	%SIDE FRICTION				%END BEARING			PILE CAPACITY BY THE WAVE EQUATION AFTER GAIN STRENGTH, TONS					REMARKS
	SOFT CLAY	STIFF CLAY	SAND	SOFT CLAY	STIFF CLAY	SAND	SPRING CONSTANT		DAMPING CONSTANT AFTER		SMITH		
							0.5K ACTUAL	1.5K ACTUAL	LOWERY	SMITH			
							MAIN CASE						
								0.5K ACTUAL	1.5K ACTUAL	LOWERY	SMITH		
	SET UP FACTOR SOFT CLAY=2.0 , STIFF CLAY=1.3 , SAND=1.0												
HS1	6.0	22.0	23.0	-	-	49.0	356.0	326.9	365.2	413.7	422.7		
HS2	20.0	65.0	-	-	15.0	-	210.2	216.6	220.9	239.7	288.8		
HS3	20.0	65.0	-	-	15.0	-	263.5	259.9	275.8	297.5	365.3		
HS4	18.0	65.0	-	-	17.0	-	262.4	263.0	271.6	285.9	357.4		
HS5	26.0	60.0	-	-	14.0	-	195.6	182.9	193.3	218.6	281.1		
HS6	16.0	76.0	-	-	8.0	-	266.9	274.5	276.0	318.4	383.5		
HS7	12.0	77.0	-	-	11.0	-	148.1	148.3	163.6	170.5	203.8		
HS8	21.0	36.0	-	-	-	43.0	379.6	366.2	576.5	472.0	483.9		
HS9	10.0	14.0	6.0	-	70.0	-	446.2	437.3	559.2	526.7	492.8		
HS10	4.0	39.0	-	-	57.0	-	427.6	427.8	518.2	510.2	518.2		
HS11	19.0	27.0	7.0	-	47.0	-	-	-	-	-	-		
HS12	4.0	18.0	16.0	-	62.0	-	-	-	-	-	-		
HS13	-	86.0	-	-	14.0	-	386.1	365.3	509.6	436.8	479.8		
HS14	-	47.0	-	-	53.0	-	286.0	265.2	339.3	367.9	379.6		
HS15	-	78.0	-	-	22.0	-	377.0	354.9	500.5	399.1	453.7		

ตารางที่ 5.9

น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากสมการเคลื่อนเมื่อพิจารณาการคืนกำลังหลังจากตอกเสาเข็มหน้าตัด รูป R

PILE NO.	%SIDE FRICTION				%END BEARING				PILE CAPACITY BY THE WAVE EQUATION AFTER GAIN STRENGTH, TONS					REMARKS
	SOFT CLAY	STIFF CLAY	SAND	SAND	SOFT CLAY	STIFF CLAY	SAND	SAND	SPRING CONSTANT		DAMPING CONSTANT AFTER		SMITH	
									0.5K ACTUAL	1.5K ACTUAL	LOWERY	SMITH		
									MAIN CASE					
	SET UP FACTOR SOFT CLAY=2.0 , STIFF CLAY=1.3 , SAND=1.0													
R1	36.0	50.0	-	-	-	14.0	-	305.70	266.6	316.5	335.2	389.8		
R2	26.0	66.0	-	-	-	8.0	-	373.50	324.2	391.1	417.9	468.4		
R3	6.0	79.0	-	-	-	15.0	-	626.70	599.1	-	-	-		
R4	22.0	70.0	-	-	-	8.0	-	410.00	399.6	659.2	471.1	619.8		
R5	24.0	61.0	-	-	-	15.0	-	513.80	480.1	643.6	600.9	760.0		
R6	24.0	61.0	-	-	-	15.0	-	469.80	437.4	674.5	530.2	671.6		
R7	20.0	62.0	-	-	-	18.0	-	417.60	323.4	401.4	374.0	505.4		
R8	20.0	62.0	-	-	-	18.0	-	417.60	353.8	456.3	371.1	499.6		
R9	20.0	58.0	-	-	-	22.0	-	309.60	307.6	454.9	342.2	454.9		
R10	36.0	51.0	-	-	-	15.0	-	358.20	316.5	343.0	350.8	488.0		
R11	16.0	21.0	10.0	53.0	-	-	277.60	365.2	414.4	414.4	300.4	350.7		
R12	12.0	24.0	11.0	53.0	-	-	258.70	415.6	494.5	494.5	345.2	390.6		
R13	22.0	30.0	-	48.0	-	-	300.90	407.0	517.9	517.9	356.2	412.7		
R14	8.0	35.0	-	57.0	-	-	276.10	365.5	422.4	422.4	316.8	363.1		
R15	20.0	70.0	-	-	-	10.0	-	417.60	485.2	456.3	443.3	515.5		

ตารางที่ 5.10

เปรียบเทียบค่า และ COEFFICIENT OF DETERMINATION เมื่อทดลองและไม่เปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ

PILE SECTION	PILE CAPACITY BY THE WAVE EQUATION												REMARKS
	SET UP FACTOR FOR SOFT CLAY = 2.0 , STIFF CLAY = 1.3 , SAND = 1.0												
	MAIN CASE				SPRING CONSTANT				DAMPING CONSTANT AFTER				
		0.5 KACTUAL		1.5 KACTUAL		LOWERY		SMITH					
		$\beta$	$R^2$	$\beta$	$R^2$	$\beta$	$R^2$	$\beta$	$R^2$	$\beta$	$R^2$	$\beta$	$R^2$
I		0.740	0.923	0.686	0.939	0.801	0.929	0.814	0.933	0.872	0.922		
SS	PILE CAPACITY	0.746	0.805	0.650	0.777	0.762	0.773	0.815	0.755	0.934	0.800		
HS	FROM STATIC	0.764	0.753	0.390	0.750	0.872	0.654	0.888	0.749	0.969	0.769		
R	FORMULA	1.011	0.758	1.093	0.868	1.306	0.834	1.054	0.784	1.290	0.755		
all		0.867	0.748	0.878	0.790	1.036	0.734	0.945	0.763	1.093	0.750		



ตารางที่ 5.11

เปรียบเทียบค่า และ COEFFICIENT OF DETERMINATION เมื่อทดลองแบบเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ

PILE SECTION	PILE CAPACITY BY THE WAVE EQUATION													REMARKS			
	SET UP FACTOR FOR SOFT CLAY = 2.0 , STIFF CLAY = 1.3 , SAND = 1.0																
	MAIN CASE				SPRING CONSTANT				DAMPING CONSTANT AFTER								
	$\beta$	R <sup>2</sup>		0.5 KACTUAL	$\beta$	R <sup>2</sup>	1.5 KACTUAL	$\beta$	R <sup>2</sup>		LOWERY	$\beta$	R <sup>2</sup>	SMITH	$\beta$	R <sup>2</sup>	
I	1.058	0.926		0.959		0.936	1.160		0.936		1.160		0.936		1.223		0.926
SS	0.927	0.947		0.811		0.924	0.957		0.929		1.031		0.920		1.161		0.943
HS	0.954	0.895		0.924		0.893	1.123		0.826		1.107		0.886		1.208		0.910
R	1.164	0.901		1.210		0.955	1.508		0.925		1.241		0.904		1.530		0.885
all	1.053	0.893		1.049		0.913	1.275		0.867		1.159		0.895		1.345		0.885

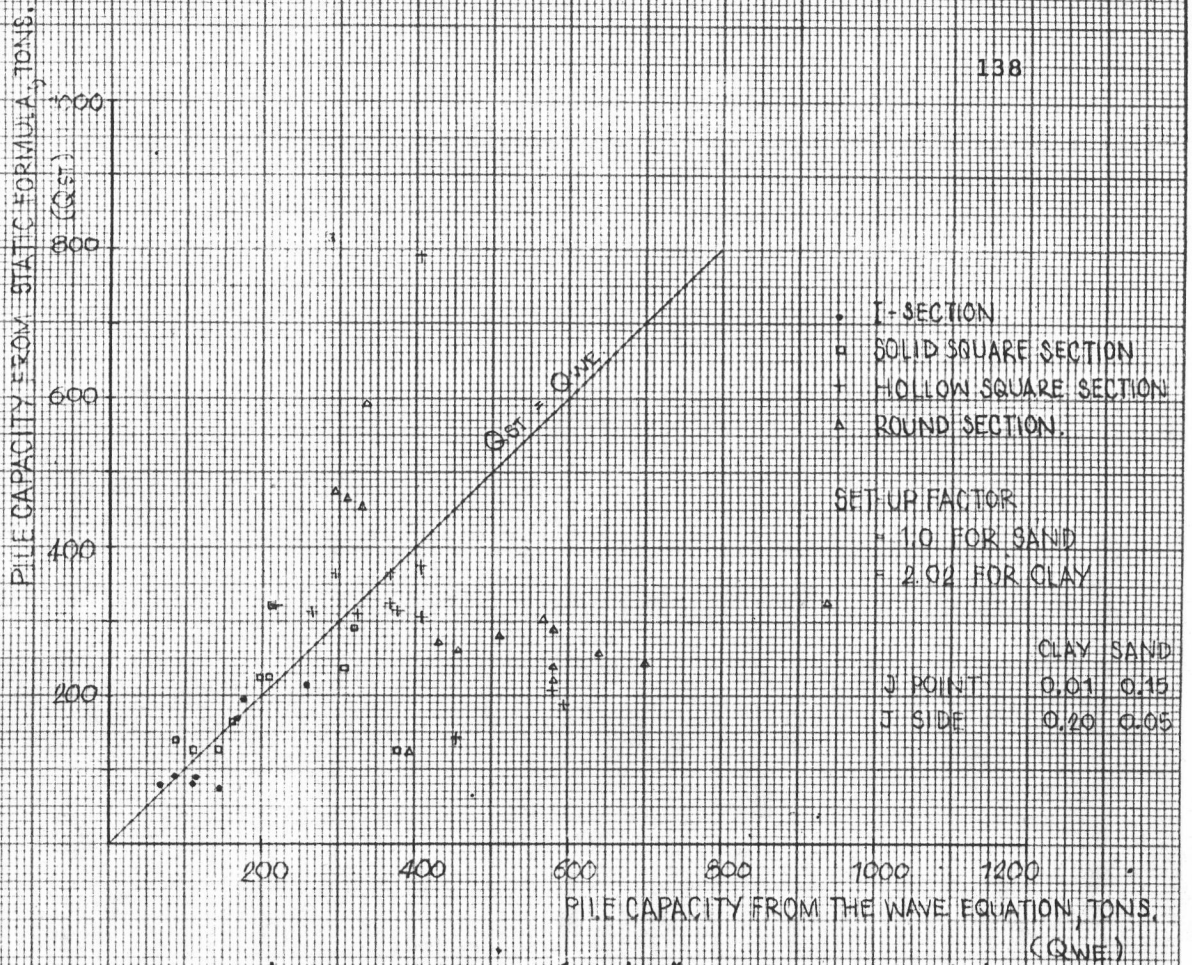
เปรียบเทียบค่า และ COEFFICIENT OF DETERMINATION ของเสาเข็ม ACTUAL และเสาเข็มที่ปรับเปลี่ยนค่าคงที่สปริง และค่าคงที่หน่วง

PILE SECTION	COMPARED WITH	STATISTICAL ANALYSIS VALUES								REMARKS
		SPRING CONSTANT				DAMPING CONSTANT AFTER				
		0.5 KACTUAL		1.5 KACTUAL		LOWERY		SMITH		
		$\beta$	$R^2$	$\beta$	$R^2$	$\beta$	$R^2$	$\beta$	$R^2$	
I		0.917	0.996	1.067	0.979	1.083	0.980	1.165	0.976	
SS		0.878	0.982	1.042	0.998	1.126	0.994	1.245	0.998	
HS	MAIN	0.969	0.999	1.216	0.984	1.165	0.997	1.252	0.994	
R	CASE	0.993	0.967	1.280	0.959	1.083	0.990	1.325	0.993	
all		0.975	0.978	1.232	0.967	1.116	0.992	1.303	0.992	

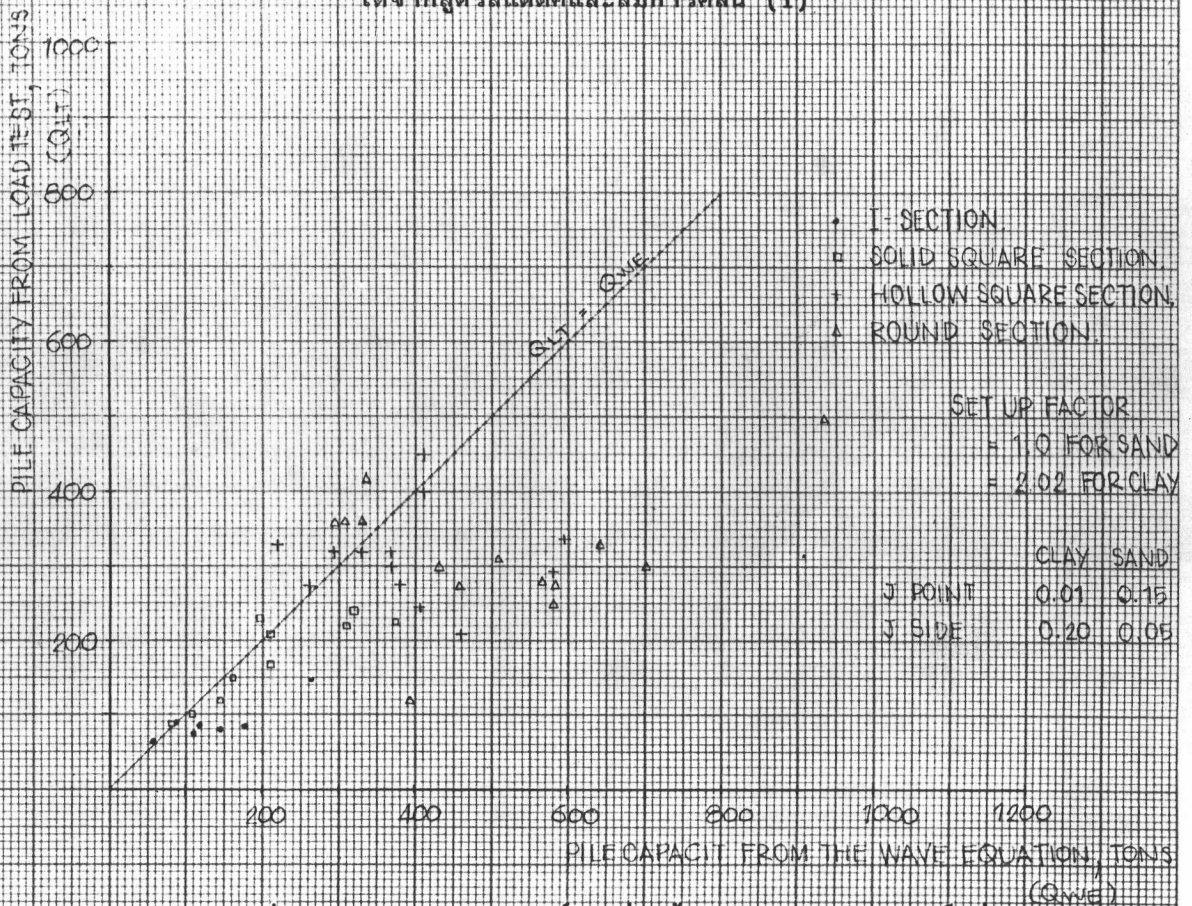
ตารางที่ 5.13

เปรียบเทียบค่า และ COEFFICIENT OF DETERMINATION เมื่อทดลองไม่เปลี่ยนลักษณะและสัดส่วนแรงต้านทาน

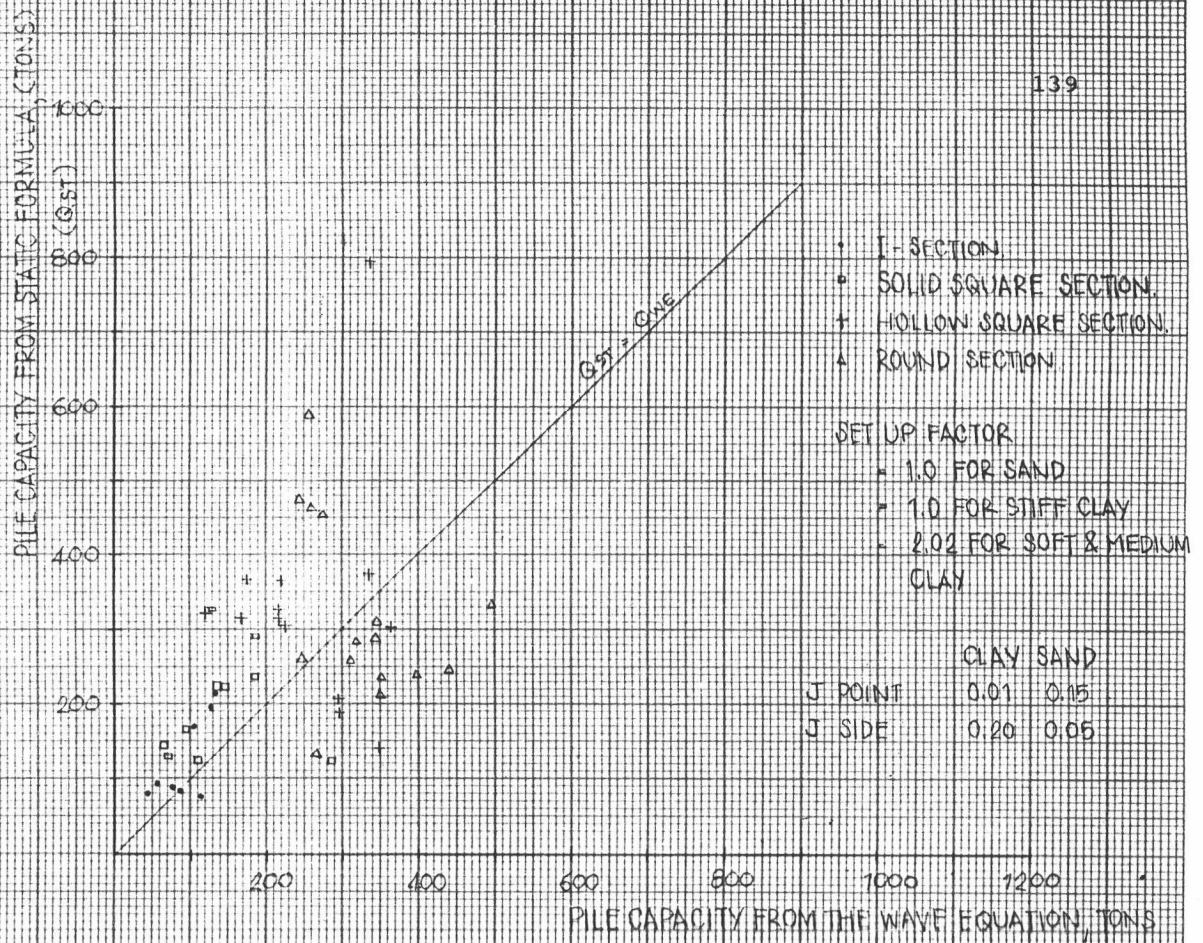
PILE SECTION	COMPARED WITH	STATISTICAL ANALYSIS VALUES																		REMARKS						
		UNIFORMLY SIDE FRICTION									TRIANGULAR SIDE FRICTION															
		ACTUAL END BEARING			0			25			50			ACTUAL END BEARING			0				25			50		
		$\beta$	$R^2$		$\beta$	$R^2$		$\beta$	$R^2$		$\beta$	$R^2$		$\beta$	$R^2$		$\beta$	$R^2$			$\beta$	$R^2$				
I		1.016	0.999	0.976	0.999	1.021	0.999	1.117	0.995	1.000	1.000	0.976	0.999	1.021	0.999	1.105	0.997									
SS		0.999	0.999	0.987	1.000	0.981	0.998	1.115	0.994	1.031	0.998	0.948	0.997	0.957	0.996	1.152	0.996									
HS	ACTUAL	1.004	0.999	0.959	0.998	0.994	0.993	1.094	0.988	1.028	0.999	0.951	0.996	1.020	0.995	1.076	0.987									
R		1.041	0.994	0.983	0.994	1.034	0.992	1.197	0.985	1.025	0.992	0.969	0.992	1.058	0.991	1.148	0.994									
all		1.024	0.996	0.974	0.995	1.018	0.992	1.161	0.985	1.026	0.995	0.961	0.994	1.040	0.992	1.127	0.992									



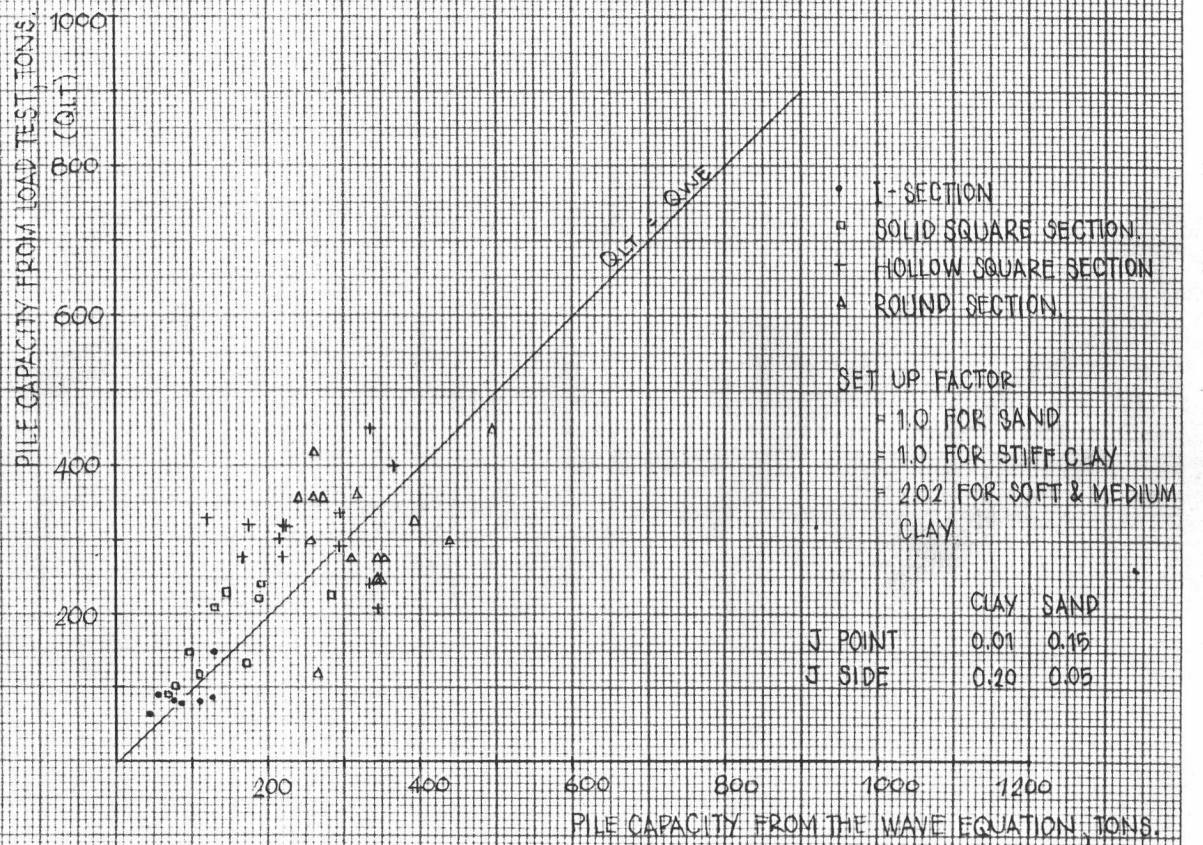
กราฟรูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากสูตรสถิตและสมการคลื่น (1)



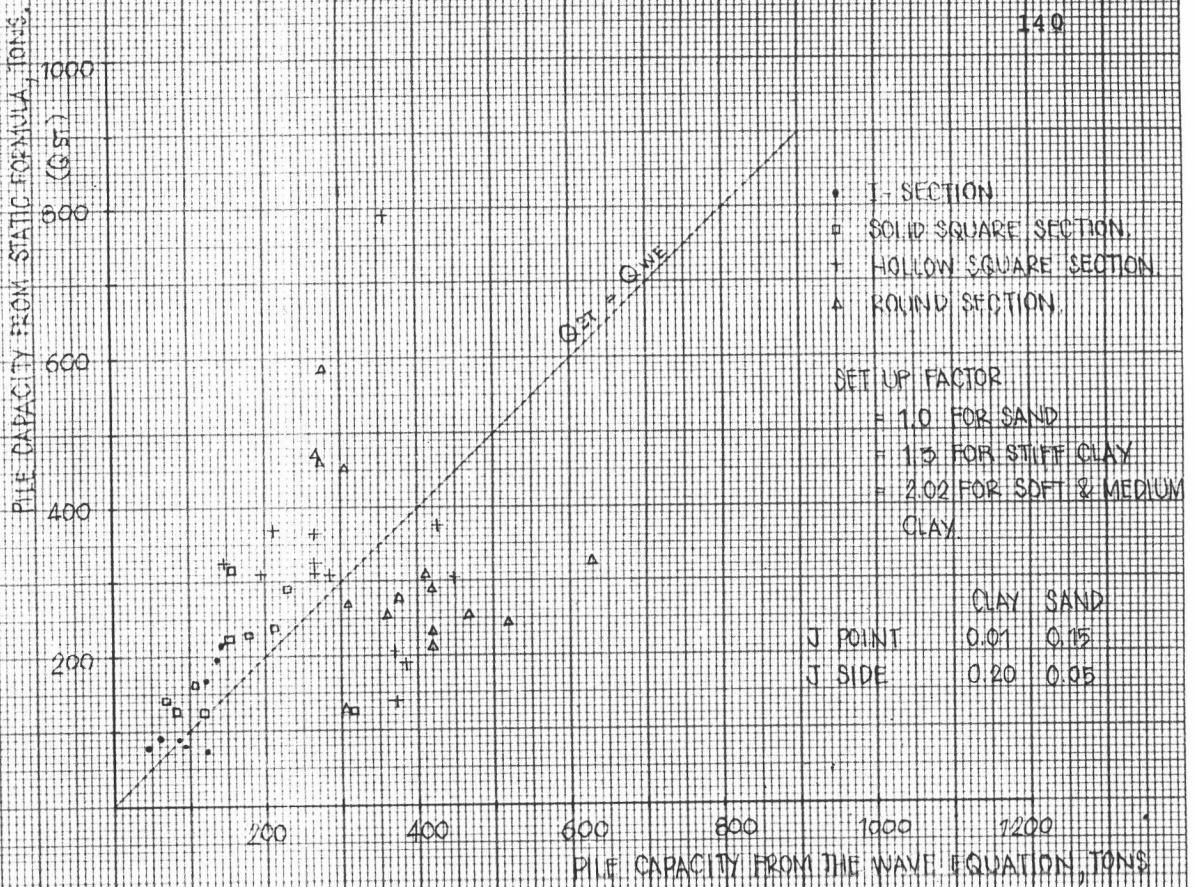
กราฟรูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบการรับน้ำหนักในสนามและสมการคลื่น (1)



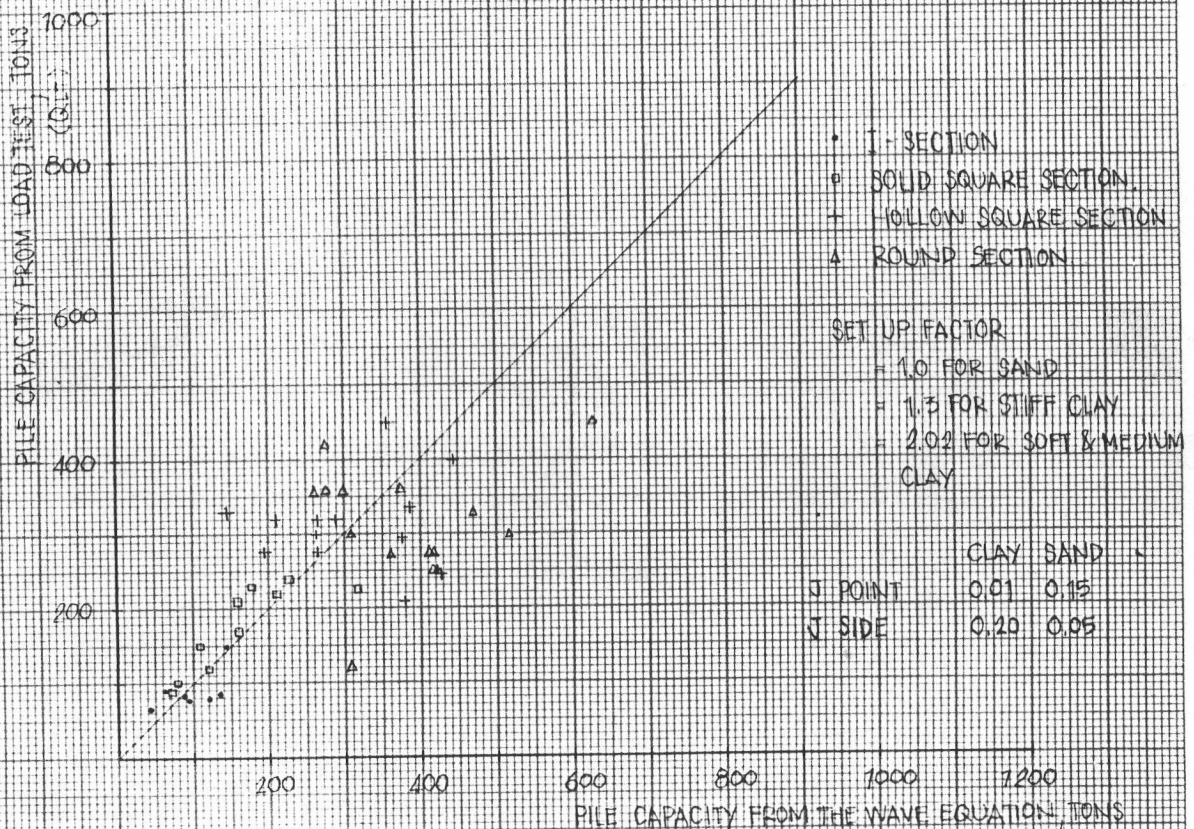
กราฟรูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากสูตรสถิตและสมการคลื่น (2)



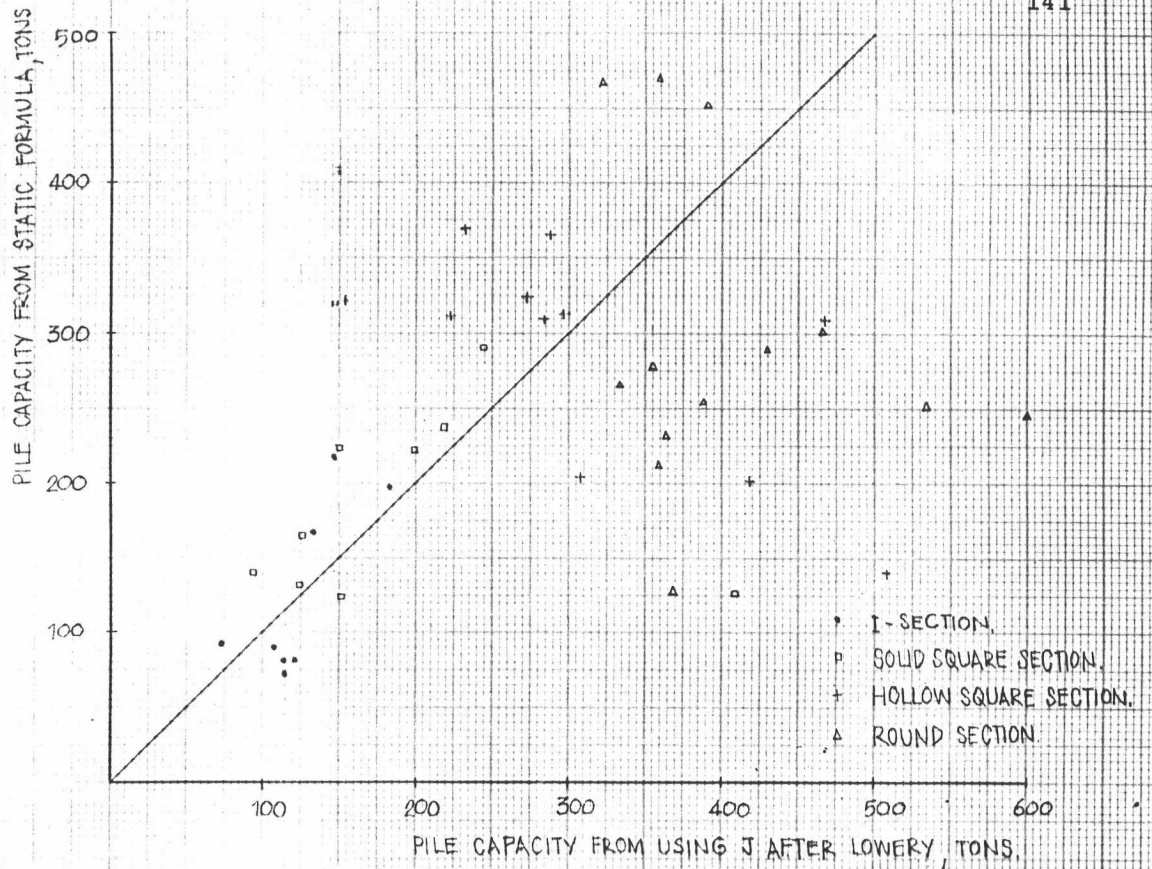
กราฟรูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบการรับน้ำหนักในสนามและสมการคลื่น (2)



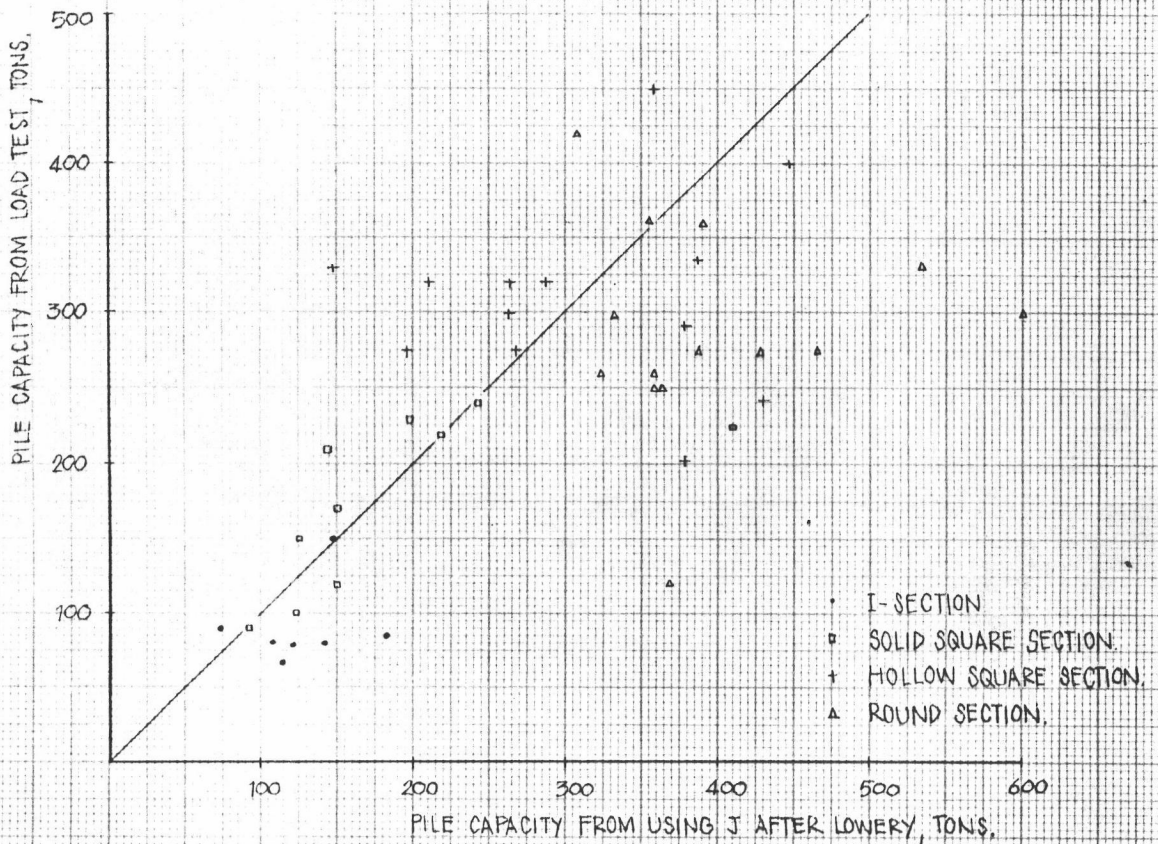
กราฟรูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ (QWE) ได้จากสูตรสถิตยศาสตร์และสมการคลื่น (๓)



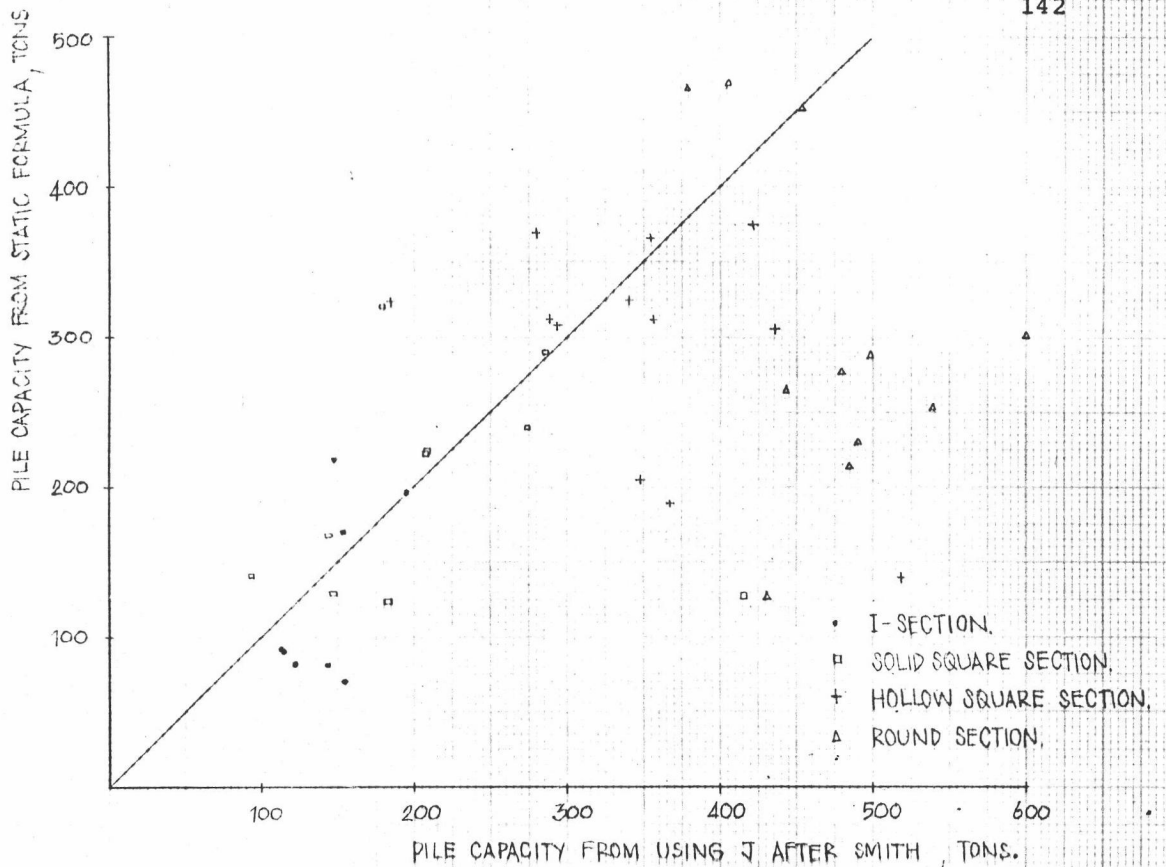
กราฟรูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบการรับน้ำหนักในสนามและสมการคลื่น (๓)



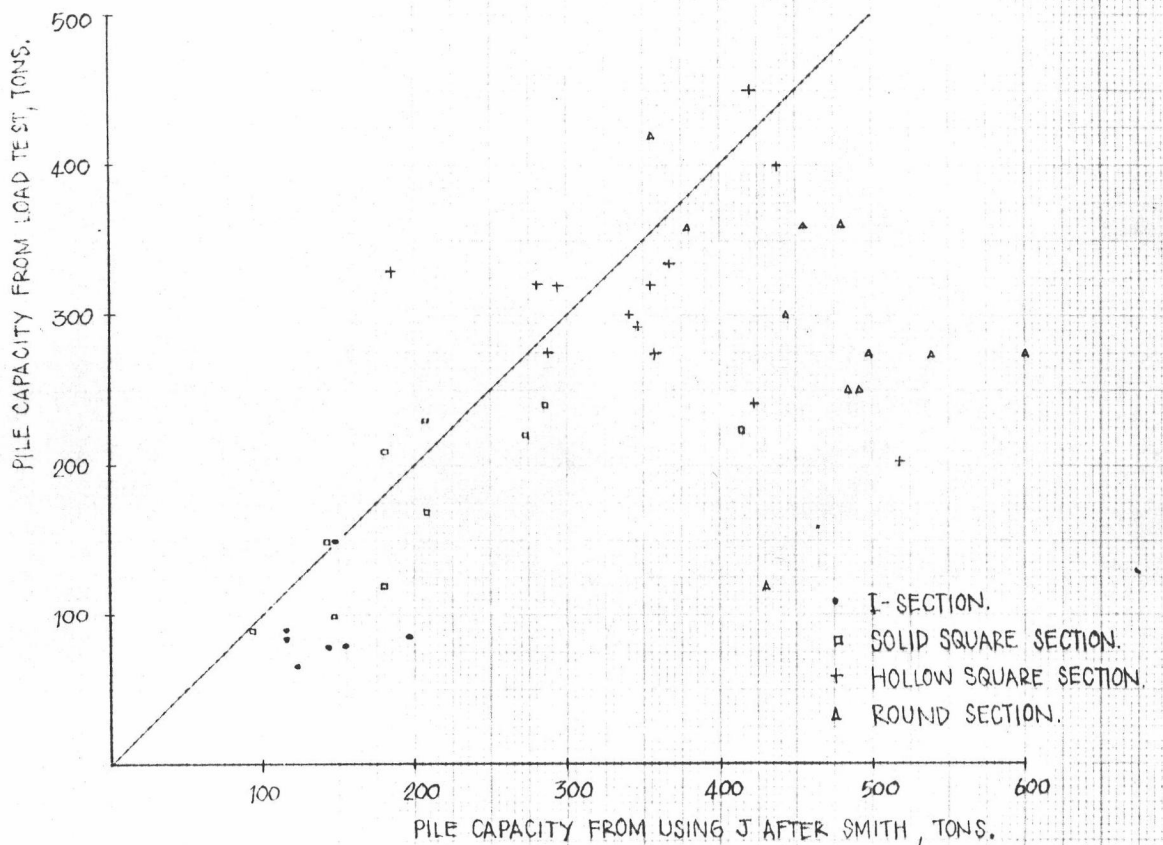
กราฟรูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสมการคลีน โดยใช้ค่าคงที่ที่หามาจากการแนะนำของ LOWERY และน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสูตรสแตติก



กราฟรูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสมการคลีน โดยใช้ค่าคงที่ที่หามาจากการแนะนำของ LOWERY และน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากการทดสอบการรับน้ำหนักในสนาม

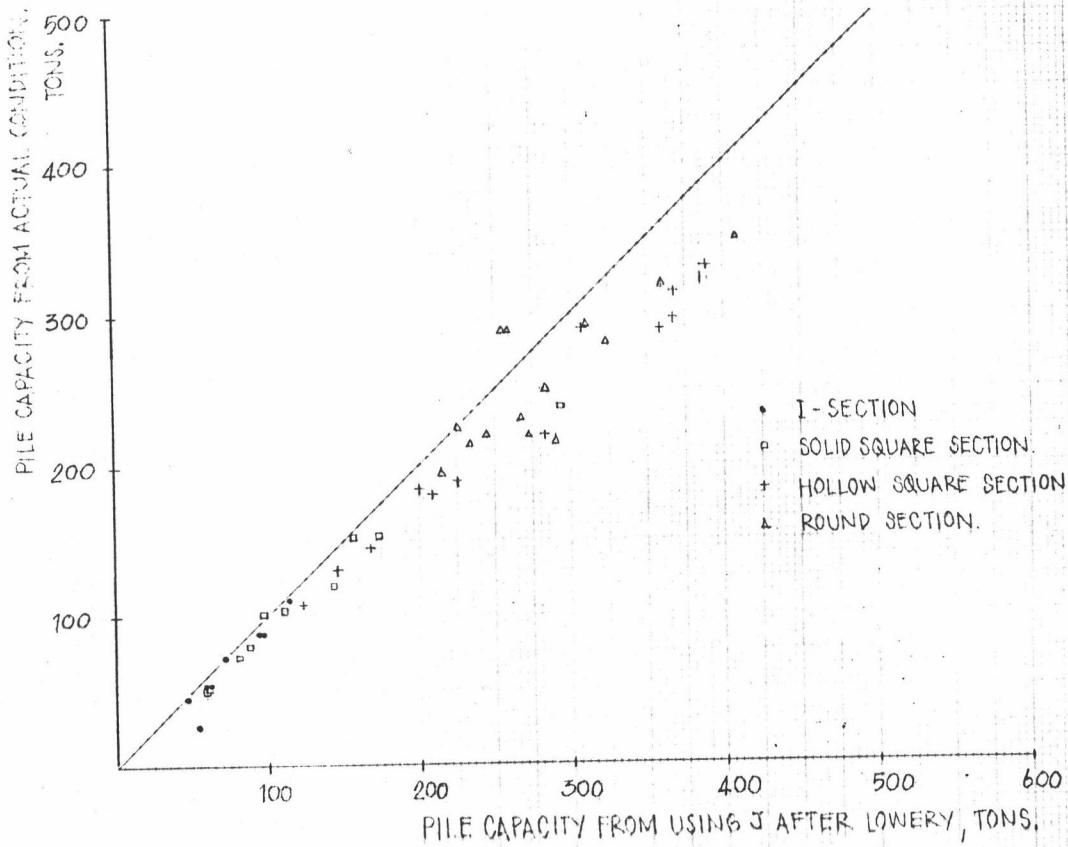


กราฟรูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสมการ คำนวณ โดยใช้ค่าคงที่ที่ทรงตามทีแนะนำ โดย SMITH และน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสูตรสถิต

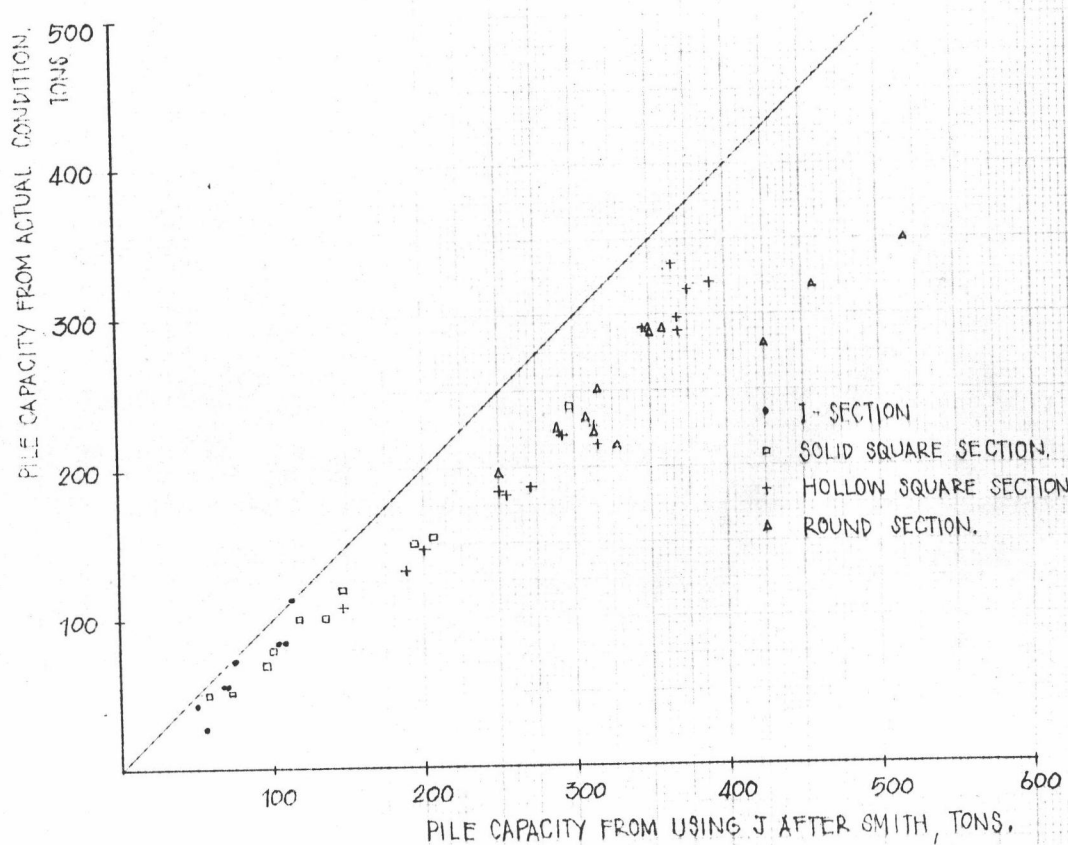


กราฟรูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจาก สมการคำนวณ โดยใช้ค่าคงที่ที่ทรงตามทีแนะนำโดย SMITH และน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากการทดสอบการรับน้ำหนัก ในสนาม

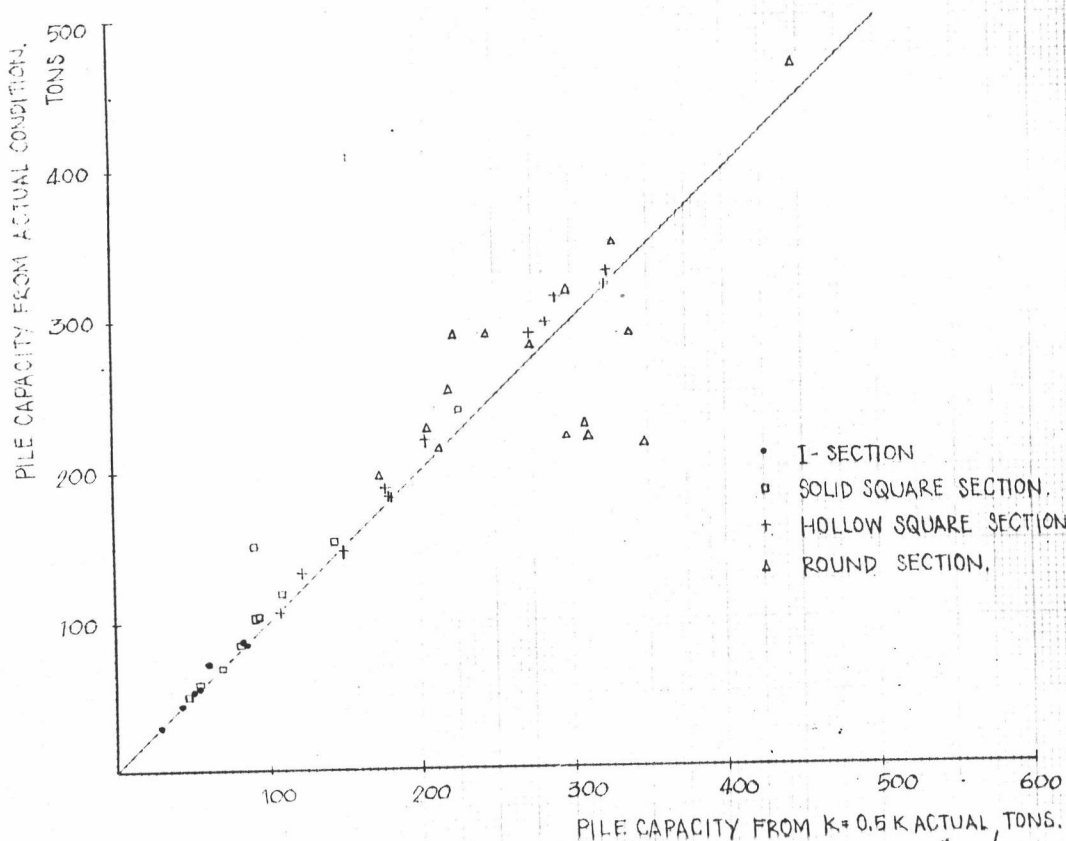




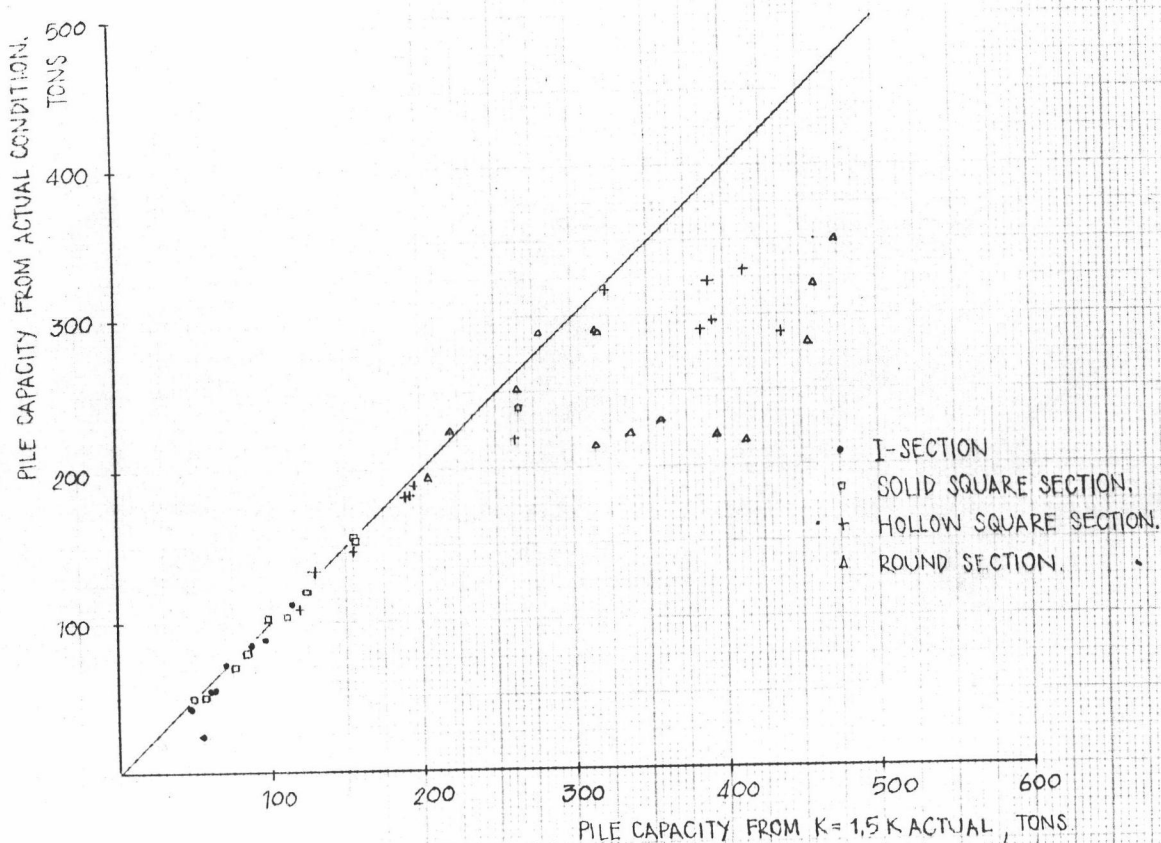
กราฟรูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสมการคลีนในกรณี MAIN และกรณีที่ใช้ค่าคงที่หน่วยตามการแนะนำของ LOWERY



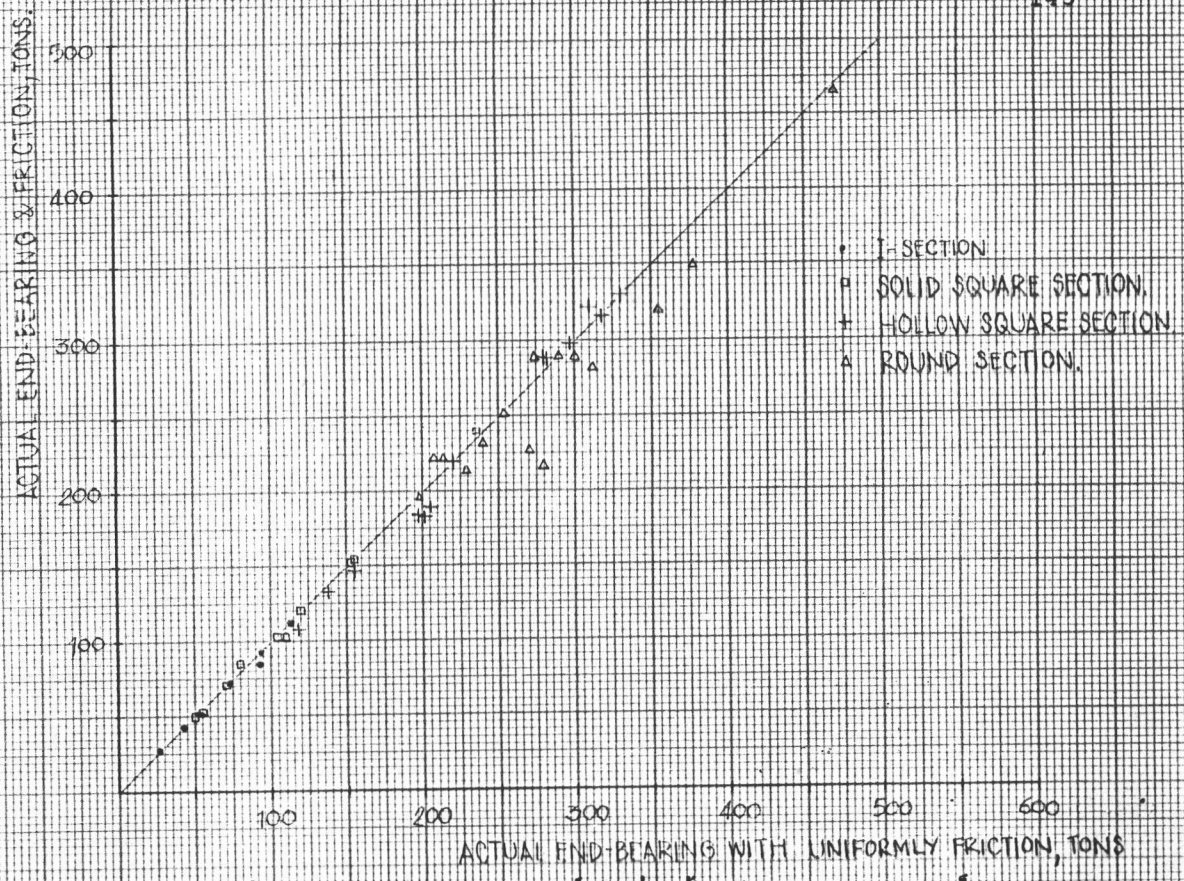
กราฟรูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสมการคลีน ในกรณี MAIN และกรณีที่ใช้ค่าคงที่หน่วยตามการแนะนำของ SMITH



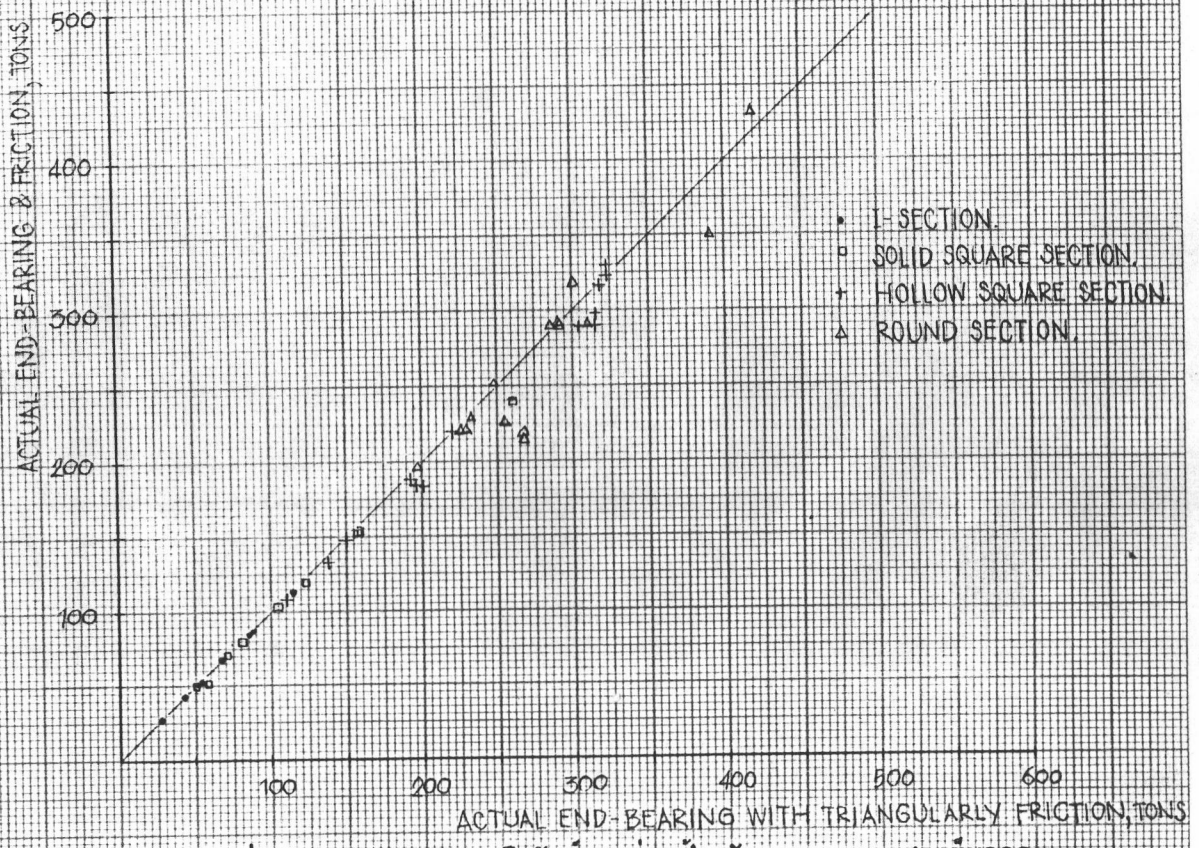
กราฟรูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสมการคลีน โดยใช้ค่าคงที่สปริง 0.5 เท่าของกรณี MAIN และน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสูตรสแตติก



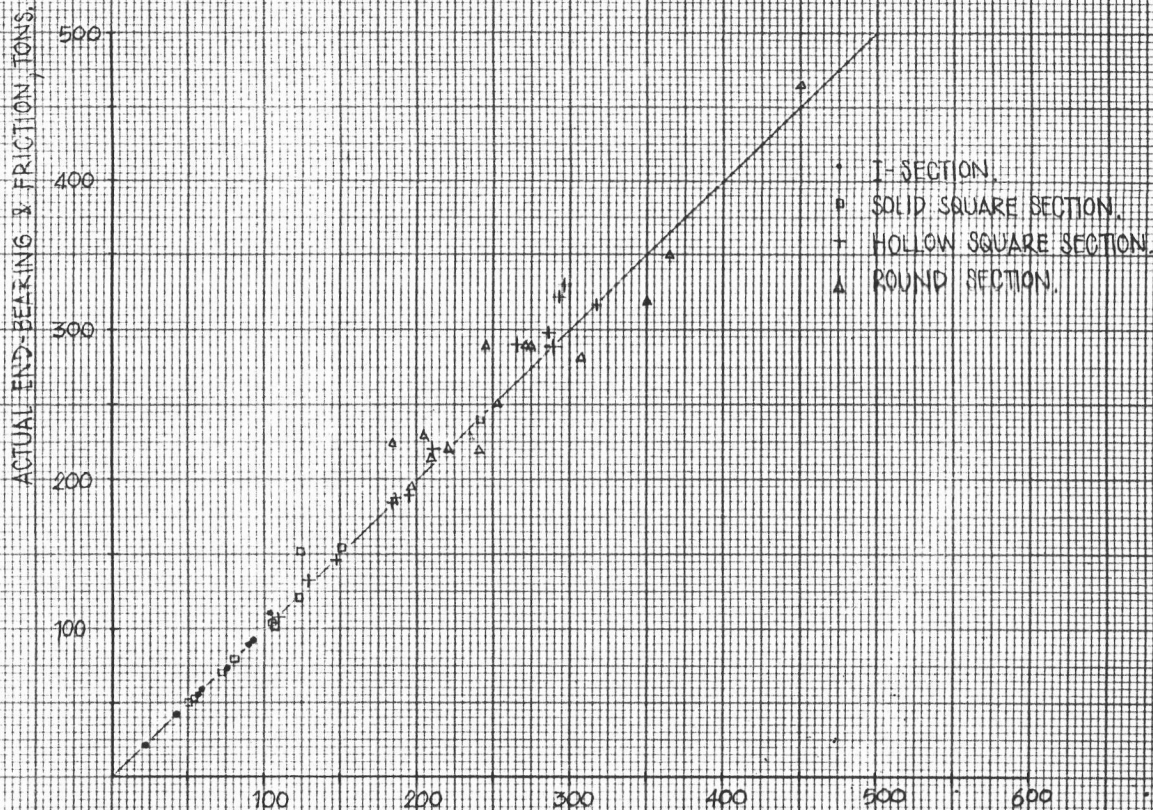
กราฟรูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสมการคลีน โดยใช้ค่าคงที่สปริง 1.5 เท่าของกรณี MAIN และน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากการทดสอบการรับน้ำหนักในสนาม



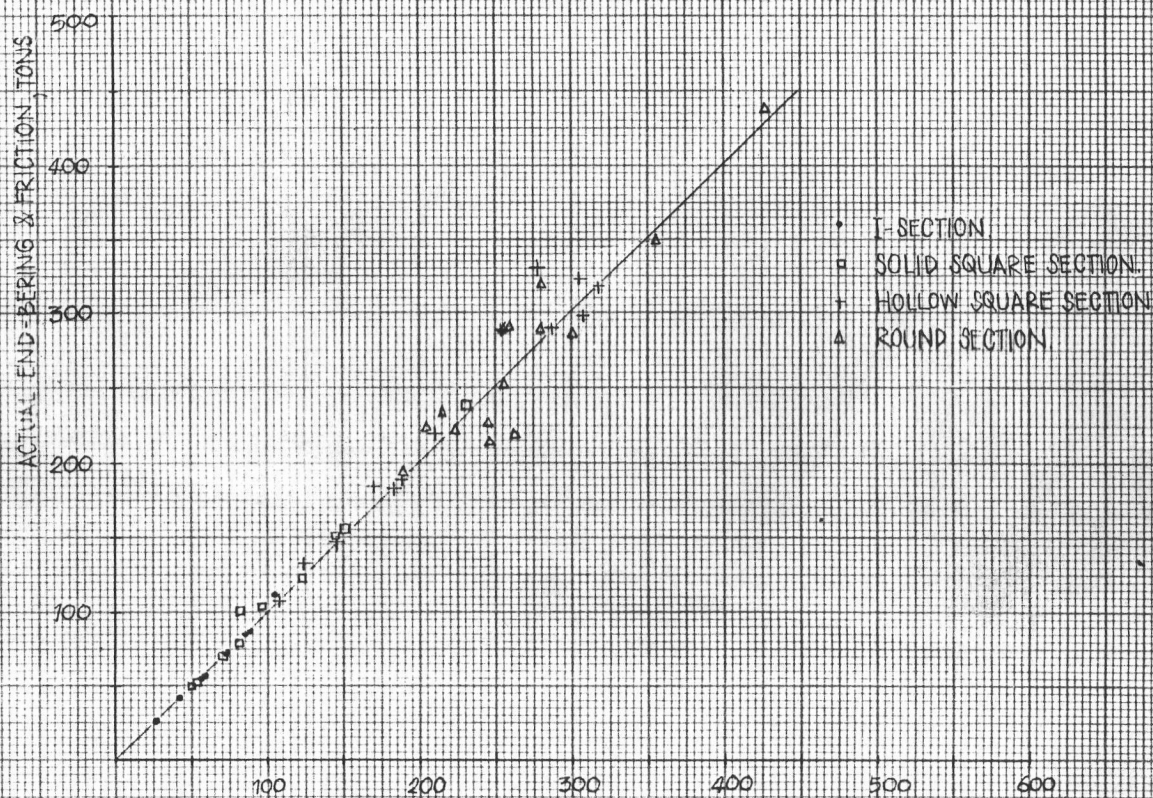
กราฟรูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสมการคลีน ในกรณี MAIN และกรณีแปรเปลี่ยนสัดส่วนและลักษณะแรงต้านทานของดินที่กระทำต่อเสาเข็ม (1)



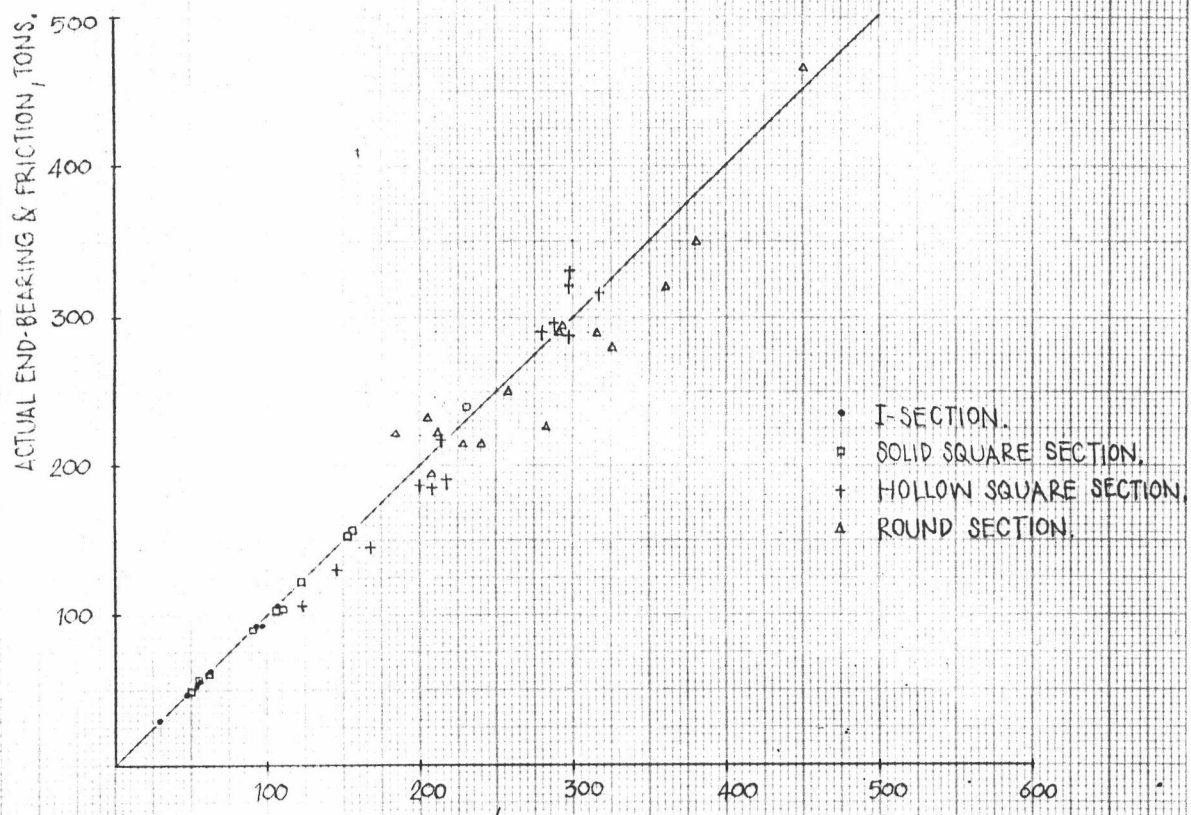
กราฟรูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสมการคลีนในกรณี MAIN และกรณีแปรเปลี่ยนสัดส่วนและลักษณะแรงต้านทานของดินที่กระทำต่อเสาเข็ม (2)



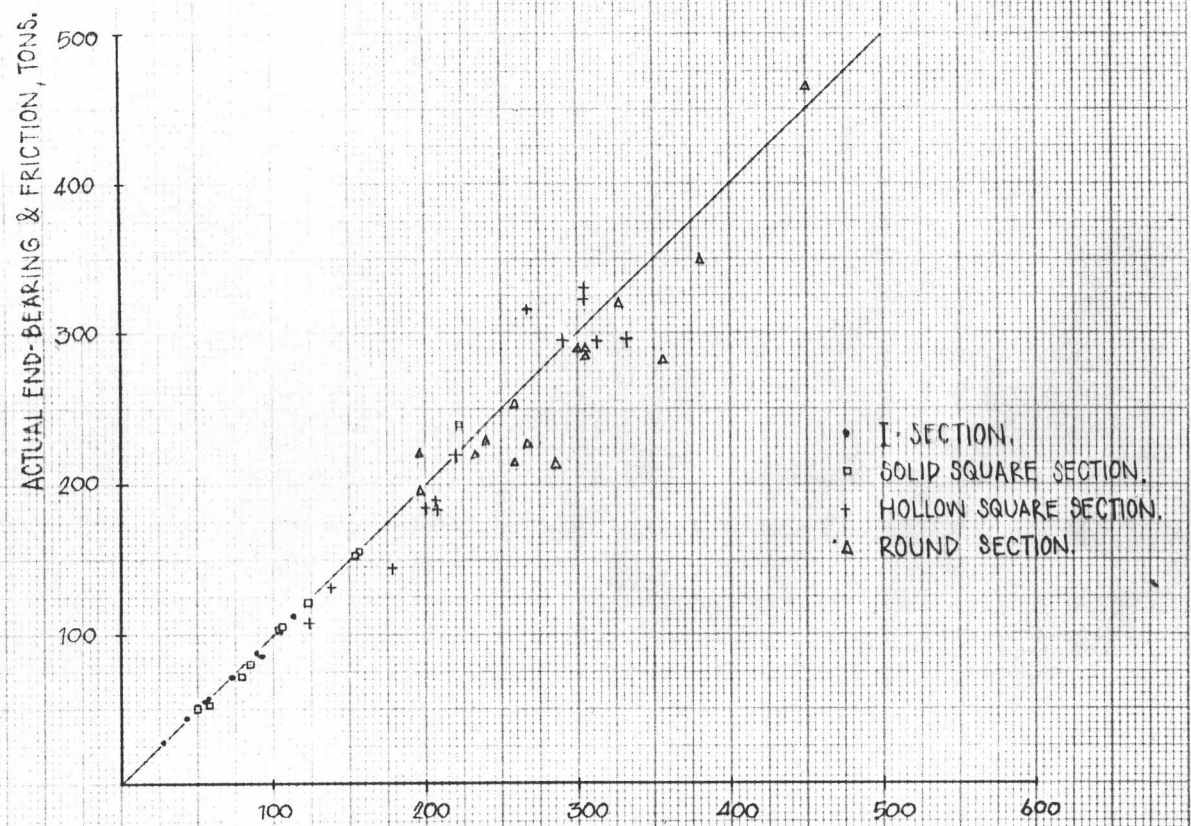
กราฟรูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสมการคลื่น ในกรณี MAIN และกรณีแปรเปลี่ยนสัดส่วน และลักษณะแรงต้านทานของดินที่กระทำต่อเสาเข็ม (3)



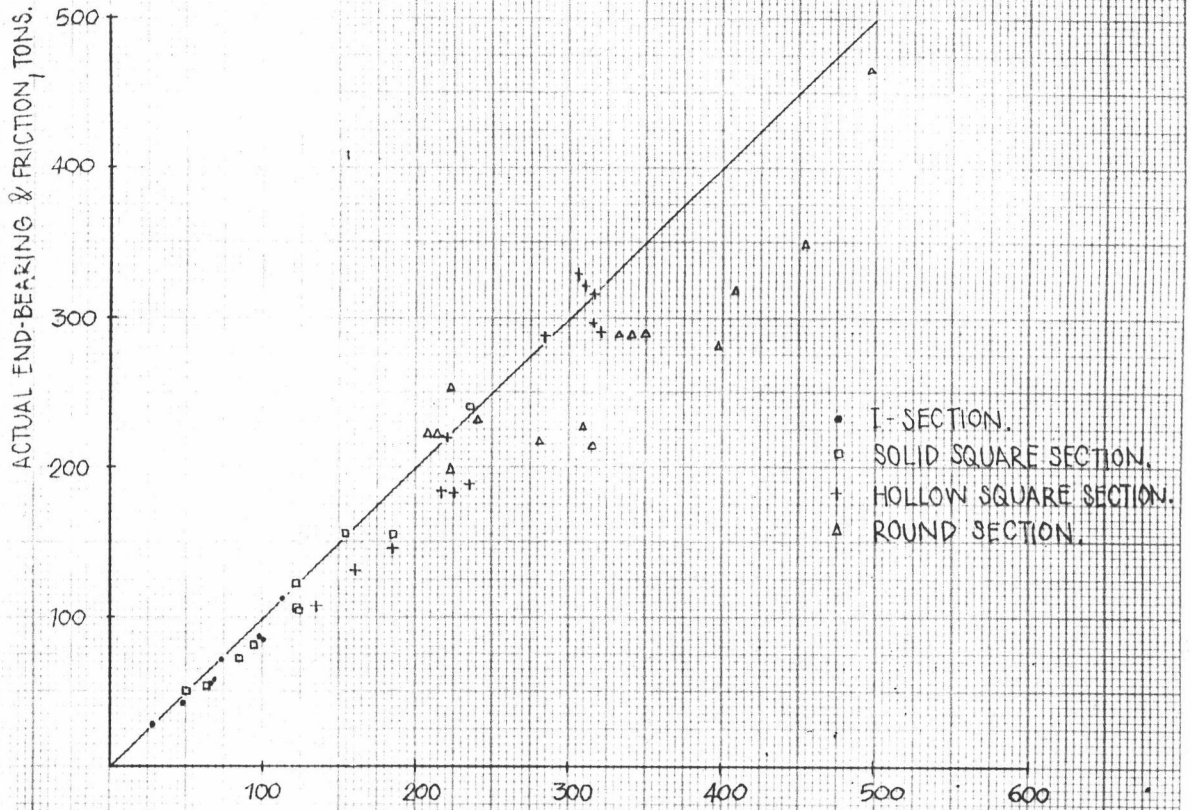
กราฟรูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสมการคลื่น ในกรณี MAIN และกรณีแปรเปลี่ยนสัดส่วน และลักษณะแรงต้านทานของดินที่กระทำต่อเสาเข็ม (4)



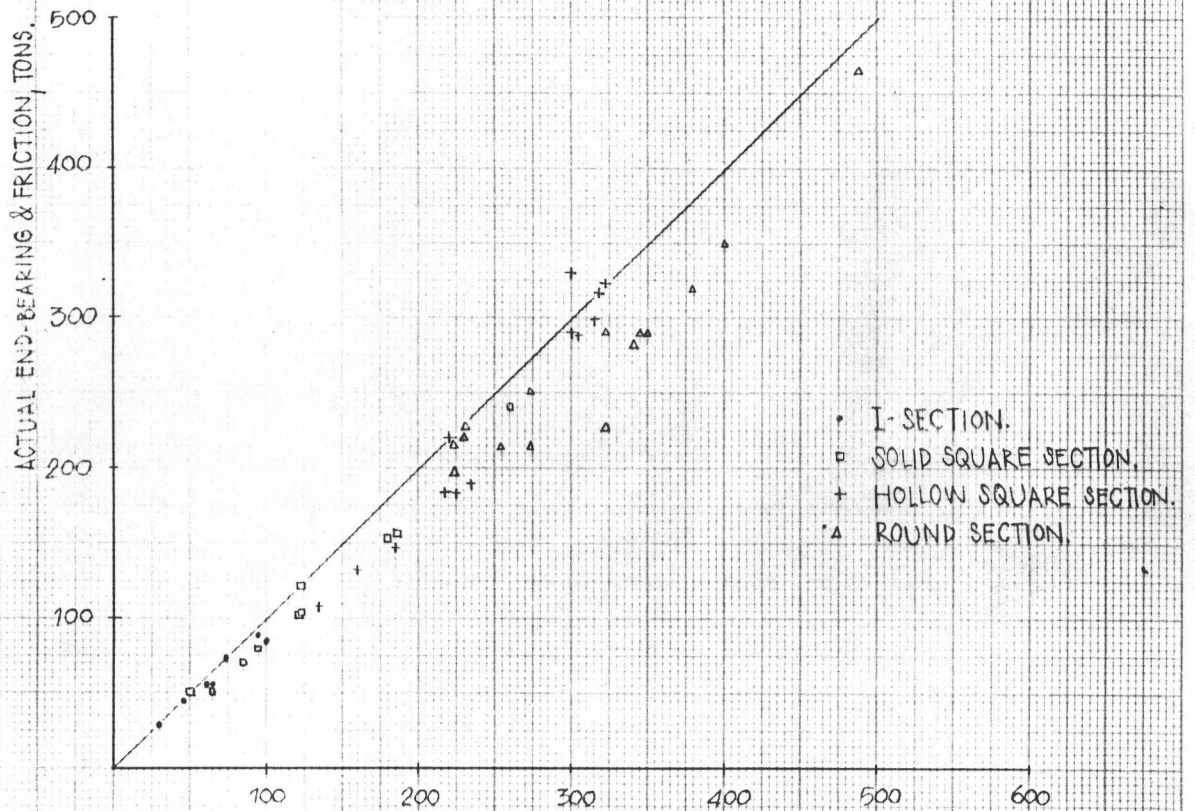
กราฟรูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสมการคลีน ในกรณี MAIN และกรณีแปรเปลี่ยนสัดส่วน และลักษณะแรงต้านทานของดินที่กระทำต่อเสาเข็ม (5)



กราฟรูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากสมการคลีน ในกรณี MAIN และกรณีแปรเปลี่ยนสัดส่วน และลักษณะแรงต้านทานของดินที่กระทำต่อเสาเข็ม (6)



กราฟรูปที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มจากสมการคลื่น ในกรณี MAIN และกรณีแปรเปลี่ยนสัดส่วนและลักษณะแรงต้านทานของดินที่กระทำต่อเสาเข็ม (7)



กราฟรูปที่ 5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มจากสมการคลื่น ในกรณี MAIN และกรณีแปรเปลี่ยนสัดส่วนและลักษณะแรงต้านทานของดินที่กระทำต่อเสาเข็ม (8)