

บทที่ 3

พฤติกรรมของข้อต่อใน โครงสร้างมัลติปีม

3.1 ทัวไป

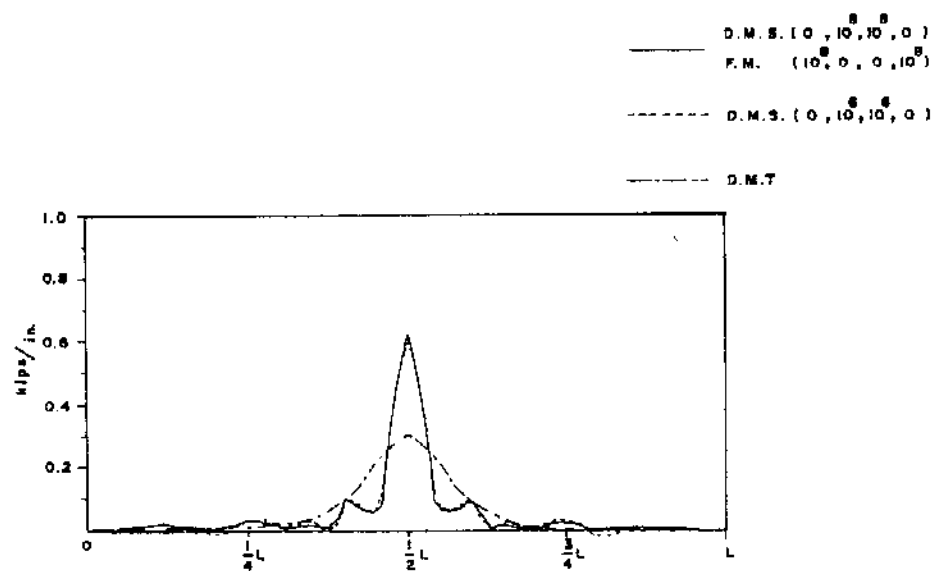
ในบทนี้ผลกระทบของสติฟเนส และ เฟล็กซิบิลิตี ของข้อต่อและได้ถูกนำมาศึกษาทั้งในแง่ของหน่วยแรงและการกระจัดโดยอาศัยข้อมูล และแนวคิดมาจากเอกสารอ้างอิง ซึ่งผลลัพธ์และการทดลองจากหลายๆ ตัวอย่างได้เสนอ และเปรียบเทียบกับวิธีต่าง ๆ ดังกล่าวต่อไป

3.2 ผลกระทบของสติฟเนสของข้อต่อ (Effect of Shear Connector Stiffnesses)

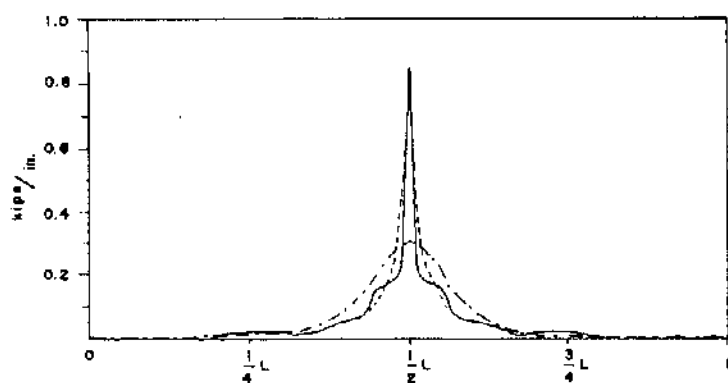
3.2.1 ข้อต่อแบบสปริง (Spring Type Representation)

วิธีการเปลี่ยนตำแหน่งด้วยข้อต่อแบบสปริง ได้ถูกจัดสติฟเนสของข้อต่อออกเป็น 4 ทิศทาง และได้ถูกเปรียบเทียบกับวิธีแรง (Force Method) โดยการใช้ปูนผสมทรายเป็นข้อต่อ ดังภาพที่ 2.7(a) ซึ่งการเคลื่อนที่ที่สัมพันธ์กันในแนวตามยาว, ในแนวดิ่ง และด้านข้าง ไม่สามารถนำมาใช้กับวิธีแรงได้ (เช่น $f_x = f_y = f_z = 0$) ซึ่งเป็นสมมติฐานของ Khachaturian และคณะในวิธีการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacement Method) นั้นอาจจะมีการกำหนดค่าสติฟเนสในแนวตามยาวของข้อต่อให้เป็นศูนย์ (เช่น การเคลื่อนที่ที่สัมพันธ์กันในแนวตามยาวของข้อต่อสามารถนำมาใช้ได้) ซึ่งจะดูเป็นจริงกว่าเนื่องจากข้อต่อเมื่อรับโมเมนต์จนถึงกำลังประลัย การเกาะยึดระหว่างข้อต่อกับคานจะลดลงซึ่งพฤติกรรมนี้ได้ทดสอบโดย Buckle⁽¹⁾ และได้กล่าวว่า "เมื่อ $k_x = 0$ และเมื่อ $k_x = \infty$ จะให้ผลที่แตกต่างกันน้อยมาก" และจากตัวอย่างของโครงสร้างทั้งหมด ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สติฟเนสของข้อต่อในแนวตามยาว มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยสำหรับพฤติกรรมของโครงสร้าง อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างที่ได้จากการสังเกตการณ์นี้อาจเกิดขึ้นได้เมื่อขนาดความหนาหรือความลึกของข้อต่อเปลี่ยนไป

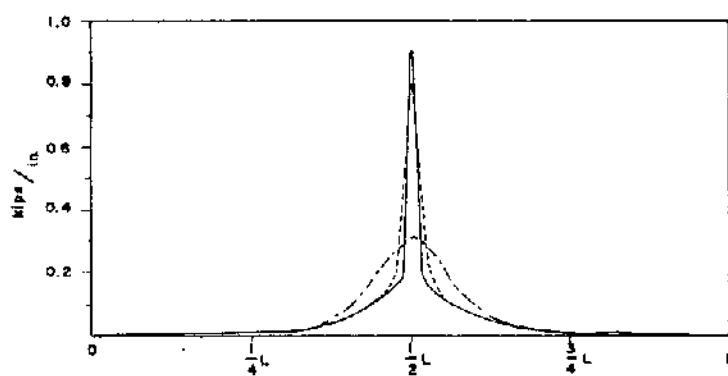
สำหรับสติฟเนสของข้อต่อในทิศทางแนวดิ่งและแนวราบนั้นจะให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ถ้ากำหนดค่าสติฟเนส (∞) ในการคำนวณให้มีค่า 10^6 ถึง 10^8 ksi ซึ่งเพียงพอแล้วสำหรับค่าทั้ง 2 ผลลัพธ์ที่คำนวณได้ทุกตัวยกเว้น แรงของข้อต่อเมื่อใช้สติฟเนสตั้งแต่ 10^6 ถึง 10^8 ksi



(a) 25 ฮาร์โมนิค



(b) 49 ฮาร์โมนิค



(c) 99 ฮาร์โมนิค

a)

ภาพที่ 3.1 แรงในแนวดิ่งของข้อต่อตัวที่ 4 ที่กึ่งกลางช่วงคานของ Centerport Bridge

เหมือนกัน และจะต่างกัน 2% เมื่อใช้ 25 ฮาร์โมนิค ส่วนแรงของข้อต่อจะเบนเข้าหากันอย่างช้า ๆ และจะขึ้นอยู่กับค่าสถิติเฟสที่กำหนด

ข้อสังเกตอีกอย่างหนึ่งคือ ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการเปลี่ยนตำแหน่งทุกผลลัพธ์จะเท่ากับผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากวิธีแรง เมื่อใช้พฤติกรรมของข้อต่อที่เหมือนกัน ($k_x = k_o = 0$; $k_y = k_z = 10^8$ เท่ากับ $f_x = f_o = 10^8$; $f_y = f_z = 0$) เมื่อพิจารณารูปภาพของแรงในข้อต่อในแนวดิ่ง เมื่อใช้ 25, 49 และ 99 ฮาร์โมนิคของ Centerport Bridge ที่ใช้สถิติเฟสของข้อต่อที่ 10^6 และ 10^8 ksi (ภาพที่ 3.1 (A),(b),(c)) จะพบว่า ยิ่งจำนวนฮาร์โมนิคยิ่งมาก ค่าสูงสุดของแรงในข้อต่อจะยิ่งสูง และจะมีการกระจายน้ำหนักน้อยด้วยความแตกต่างของแรงในข้อต่อแบบสปริงที่กำหนดสถิติเฟส 2 ทิศทาง นั้นจะเพิ่มขึ้นเท่ากับจำนวนของฮาร์โมนิคที่เพิ่มขึ้น

3.2.2 ข้อต่อแบบโครงข้อหมุน (Truss Type Representative)

การนำเสนอวิธีเปลี่ยนตำแหน่ง และตั้งสมมุติฐานให้ข้อต่อเป็นโครงข้อหมุนช่วยยืนยันผลลัพธ์ที่ว่า $k_x = k_o = 0$ อัตราเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์จะเข้าเบนหากันในอัตราเดียวกันโดยจะเป็นค่าเดียวกันเมื่อใช้ 49 ฮาร์โมนิค และจะต่างกัน 2% เมื่อใช้ 25 ฮาร์โมนิค (ดูภาพที่ 3.1 (a),(b),(c))

3.2.3 ข้อต่อแบบแผ่น (Plate Type Representative)

การนำเสนอวิธีเปลี่ยนตำแหน่ง และตั้งสมมุติฐานให้ข้อต่อเป็นแบบแผ่นจะประยุกต์ใช้กับโครงสร้างมัลติบีมได้ก็ต่อเมื่อข้อต่อจะต้องมีพฤติกรรมเหมือนแผ่น และผลลัพธ์จะเป็นค่าเดียวกันเมื่อใช้ 49 ฮาร์โมนิค และจะต่างกัน 2% เมื่อใช้ 25 ฮาร์โมนิค

3.2.4 สรุป (Summary)

จากการสังเกตพฤติกรรมของข้อต่อข้างต้นพบว่า ข้อต่อแบบสปริงจะไม่แสดงพฤติกรรมที่แท้จริงของข้อต่อ ซึ่งเป็นการคาดเดาสถิติเฟสของข้อต่อซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างสมเหตุสมผลสำหรับโครงสร้างทั้งหมด (เช่น แรง และการกระจัดขององค์อาคาร) ที่เป็นไปตามความต่อเนื่องในการกำหนดทิศทาง โดยไม่ได้ให้ค่าที่แท้จริงของข้อต่อ และค่าของสถิติเฟสของข้อต่อที่ให้อยู่ในช่วง 10^6 และ 10^8 ksi จะให้ความแตกต่างเล็กน้อยในแรงและการกระจัดขององค์อาคาร แต่จะให้ความแตกต่างถึง 11% สำหรับแรงในข้อต่อ (ภาพ 3.1(c)) ดังนั้นการคาดเดาเรื่องสถิติเฟสของข้อต่อ จึงเป็นการคาดเดาเรื่องของแรงในข้อต่อด้วย ค่าของแรงในข้อต่อจะมีปลายแหลม เมื่อใช้ 99 ฮาร์โมนิค และค่าสูงสุดจะสูงกว่าค่าที่ได้จากสมมุติฐานโครงข้อหมุนถึงสามเท่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สมมุติฐานของสถิติเฟสของข้อต่อแบบแข็งแรงแรงมาก ๆ จะให้ค่ามากกว่าแรงในข้อต่อเป็นอย่างมาก และจะให้ค่าของแรง และการกระจัดขององค์อาคารน้อยกว่า

ดังนั้นการจะพิจารณาเรื่องแรงของข้อต่อโดยวิธีแรง และวิธีการเปลี่ยนตำแหน่งโดยใช้ข้อต่อแบบสปริง จะไม่เหมือนพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริง

ขนาดที่เหมาะสมของฮาร์มอนิกสำหรับวิธีการเปลี่ยนตำแหน่ง (สำหรับข้อต่อทุกประเภท) จะอยู่ระหว่าง 25 และ 49 และผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองของโครงสร้างมัลติบีมทุกตัวในบทนี้ได้จาก 49 ฮาร์มอนิก ถึงแม้ว่าโดยทั่วไปแล้วใช้เพียง 25 ฮาร์มอนิก ก็พอแล้ว

3.3 พฤติกรรมและการทดลอง

ได้มีการเปรียบเทียบและวิเคราะห์โครงสร้างมัลติบีมหลายตัว (ภาพ 3.2 ถึง 3.10) วิธีหลักที่ใช้คือวิธีการโยกย้ายโดยเมตริกซ์ (Transfer Matrix Method) หรือ T.M. วิธีแรง (Force Method หรือ F.M.) วิธีการเปลี่ยนตำแหน่งโดยใช้สมมติฐานข้อต่อแบบสปริง (D.M.S.) ในบางตัวอย่างไม่ได้ใช้ สมมติฐานของโครงข้อหมุน (D.M.T.) เนื่องจากขาดข้อมูลด้านภาพร่างของข้อต่อและมีหนึ่งตัวที่ใช้วิธีการเปลี่ยนตำแหน่งโดยใช้ สมมติฐานแบบแผ่น (D.M.P.) ดังภาพที่ 3.9

3.3.1 Centerport Bridge (30)

การวิเคราะห์เรื่องน้ำหนักที่กระทำของ Centerport Bridge โดยกระทำ ณ จุดกึ่งกลางของช่องความกว้างโดยใช้วิธีต่าง ๆ และได้ทำการเปรียบเทียบไว้แล้วในภาพที่ 3.2 และภาพที่ 3.3 จะเห็นได้ว่าการคาดเดาสัมประสิทธิ์การกระจาย ดังภาพที่ 3.2 และภาพที่ 3.3 โดยใช้ T.M., D.M.T. และ D.M.S. จะใกล้เคียงกว่าวิธีอื่น ๆ ค่าการแอ่นตัวของ T.M. จะยืดหยุ่นกว่า D.M.T. ในขณะที่ค่าการแอ่นตัวสูงสุดที่ได้จากการทดลองจะอยู่ระหว่างทั้งสองวิธี D.M.S. จะให้ความแข็งแรงของการแอ่นตัวมากกว่าสามวิธีดังกล่าวสำหรับโมเมนต์ (ภาพที่ 3.3 (a)) จะเห็นว่า D.M.T. จะให้โมเมนต์สูงสุดที่ 1119 kip-ins ส่วน D.M.S. และ T.M. จะให้ 91% และ 76% ตามลำดับโดยเทียบจากค่าที่ให้โดย D.M.T. ในทางคล้ายกันสำหรับหน่วยแรงในด้านข้างของคาน D.M.T. ให้ค่าหน่วยแรงสูงสุดที่ 0.477 kips/in² ส่วน D.M.S. และ T.M. ให้ 91% และ 76% เมื่อเทียบค่าที่ให้โดย D.M.T.

กราฟของแรงในข้อต่อในทิศทางแนวดิ่งตาม D.M.S. และ D.M.T. แสดงไว้ในภาพ 3.3 (c) แรงในข้อต่อในทิศทางแนวดิ่งของข้อต่อที่ 4 (เป็นข้อต่อที่ให้ค่าสูงสุด) ได้จาก D.M.S. จะให้ค่าที่สูงขวงเล็กน้อย เนื่องจากข้อต่อมีความแข็งแรงมาก ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของ D.M.T. ทั้งในแนวดิ่ง และแนวราบที่มีอยู่ในข้อต่อ จะให้ค่าการกระจายของแรงของข้อต่อในแนวดิ่งไปตามแนวยาวของความกว้างของโครงสร้าง ค่าสูงสุดในข้อต่อในทิศทางแนวดิ่งที่ได้จาก D.M.S. จะสูงกว่าค่าที่ได้มาจาก D.M.T. ประมาณสามเท่า

ค่าต่ำสุดของโมเมนต์ดัดและหน่วยแรงของ T.M. และ D.M.S. ที่ได้มาจากการกระจายแรงในข้อต่อ ถ้าแรงในข้อต่อถูกกระจายไปตามความยาวที่มากขึ้นปฏิกิริยาระหว่างน้ำหนักและแรงในแนวดิ่งของข้อต่อจะให้ค่าของโมเมนต์ดัดมากขึ้น

3.3.2 Slippery Creek Bridge⁽¹⁾

ผลการคำนวณของ Slippery Creek Bridge สำหรับน้ำหนัก 64 kips บนคาน 1 และ 5 ได้แสดงไว้ในภาพที่ 3.4 และ 3.5 การคาดเดาของการแอ่นตัวโดยทั้ง 3 วิธีจะใช้เหมือน Centerport Bridge ผลลัพธ์จะใกล้เคียงสำหรับน้ำหนักที่กระทำบนคานตัวที่ 5 แต่จะได้ค่าที่น้อยกว่าสำหรับน้ำหนักที่กระทำบนคานตัวที่ 1

ซึ่งอธิบายได้ว่าน้ำหนักที่ถ่ายจากคานตัวริมของโครงสร้างจะมากกว่า และอาจจะเป็นสาเหตุของการผิดพลาดเล็กน้อยของข้อต่อแต่ละตัว

ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของคาน เมื่อพิจารณาแรงอัดในข้อต่อที่คาดเดาโดย D.M.T. จะมีค่าสูงเมื่อน้ำหนักกระทำที่คานตัวที่ 1 แต่จะน้อยสำหรับน้ำหนักที่กระทำกับคานตัวที่ 5 โมเมนต์ดัดและหน่วยแรง (ภาพที่ 3.5 (a,b,c)) ได้ใช้วิธีเดียวกันกับ Centerport Bridge

3.3.3 Nathan's Bridge⁽²³⁾

การวิเคราะห์ Nathan's Bridge โดยการให้น้ำหนักจุดศูนย์กลางของโครงสร้างโดยวิธี D.M.S. ($10^8, 10^8, 10^8, 0$), D.M.S. ($0, 10^8, 10^8, 0$) และ T.M. (ตัวเลขในวงเล็บแสดงสถิติเอนหรือฟลักซ์บิลิตี (Flexibilities) ของสปริงในทิศทาง x, y, z และ o ตามลำดับ)

ผลลัพธ์ (ภาพที่ 3.6) โดยวิธี D.M.S. ที่ใช้ ∞ ในทิศทางตามความยาวของข้อต่อ และ 0 ในทิศทางตามความยาวของข้อต่อจะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยโดยสถิติเอนของข้อต่อในทิศทางตามยาวของข้อต่อที่ใช้ ∞ จะให้ความแข็งแกร่งเพียงเล็กน้อย ส่วน T.M. จะให้ค่าการแอ่นตัวสูงสุด แต่ก็ให้ค่าโมเมนต์ดัด และหน่วยแรงต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ

3.3.4 Powell's Bridge⁽²⁵⁾

โครงสร้างนี้ได้มาจากเอกสารอ้างอิงที่ 25 ถูกวิเคราะห์โดยใช้วิธีแรงที่ไม่ยอมให้เกิดการเคลื่อนที่ตามความยาวในข้อต่อ ในเอกสารอ้างอิงนี้การวิเคราะห์โดยวิธีแรง (F.M.) และวิธีเปลี่ยนตำแหน่ง (D.M.S.) ที่มีสถิติเอนในทิศทางตามยาว ∞ และ 0 (อย่างไรก็ตามต้องเข้าใจว่าข้อต่อที่ 1 และ 13 ยังคงเหลือความแข็งแกร่งในทุกทิศทางในทั้งสองกรณี) จากการเปรียบเทียบในภาพที่ 3.7 และ 3.8 ผลของทั้งสองกรณีจะแตกต่างกัน กราฟของการแอ่นตัวที่ได้จากสถิติเอนที่เป็นศูนย์ในทิศทางตามยาวจะได้ต่ำกว่า (การแอ่นตัวมากกว่า) ที่ได้จากสถิติเอนของข้อต่อเป็น ∞ ซึ่งจะทำให้โมเมนต์ดัดและหน่วยแรงมีความแตกต่างอย่างมาก ในกรณีสถิติเอนของข้อต่อมี

ค่า ∞ โมเมนต์ดัดและหน่วยแรงจะน้อยกว่าประมาณ 30% และ 60% ซึ่งต่ำกว่าที่ได้จากกรณี สติฟเนสของข้อต่อมีค่าศูนย์ ค่าโมเมนต์สูงสุดภายในคานตัวในจะอยู่ที่คานตัวที่ 4 ในกรณี สติฟเนสของข้อต่อในทิศทางตามยาวมีค่า ∞ โมเมนต์จะต่ำกว่า 10% ที่ได้จากสติฟเนสของ ข้อต่อในทิศทางตามยาวที่มีค่าศูนย์ แต่ท้ายที่สุดแนวของแรงดึงที่เกิดจากแรงในข้อต่อในทิศทาง ตามยาวนั้นทั้งสองกรณีจะได้หน่วยแรงคล้ายกัน แรงในแนวตั้งของข้อต่อในข้อต่อที่ 4 (ซึ่งสูงสุด) จากทั้งสองกรณีจะใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 3.8 (c))

ตามที่แสดงไว้ในการวิเคราะห์ Nathan's Bridge ในหัวข้อ 3.3.3 ว่า สติฟเนส ตามแนวยาวของข้อต่อ จะมีผลกระทบต่อพฤติกรรมของโครงสร้างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดย โครงสร้างนี้พบว่าผลกระทบของสติฟเนสตามแนวยาวของข้อต่อ จะมีผลอย่างมากต่อพฤติกรรม ของโครงสร้าง เนื่องจากผลของคานตัวริม ซึ่งอาจอธิบายได้จากการสังเกตแรงปฏิกิริยาของ คานเมื่อคานตัวในรับน้ำหนักก็จะเกิดการแอ่นตัว ในกรณีสติฟเนสตามแนวยาวของข้อต่อมีค่า ∞ ถ้าระดับของข้อต่ออยู่สูงกว่าจุดศูนย์กลางของคาน (คานของ Powell's Bridge) น้ำหนักของคาน จะกดคานตัวใกล้เคียงให้ต่ำลงมารวมทั้ง แรงอัด โดยใช้แรงตามความยาวของข้อต่อในโครงสร้าง คานตัวที่ 3 จะกดคานตัวที่ 2 ที่จุดหมุนตรงจุดศูนย์กลางของคานตัวที่ 2 และคานตัวที่ 2 จึง กดคานตัวที่ 1 ที่จุดหมุนซึ่งอยู่ต่ำกว่าจุดศูนย์กลางตัวที่ 1 โดยทำให้เกิด โมเมนต์ดัดลบในคาน ตัวที่ 1 และเป็นสาเหตุให้คานตัวที่ 1 เกิดแอ่นตัวขึ้น และคานตัวที่ 1 จะเข้าไปดันคานตัวที่ 2, 3 และ... ตามลำดับ

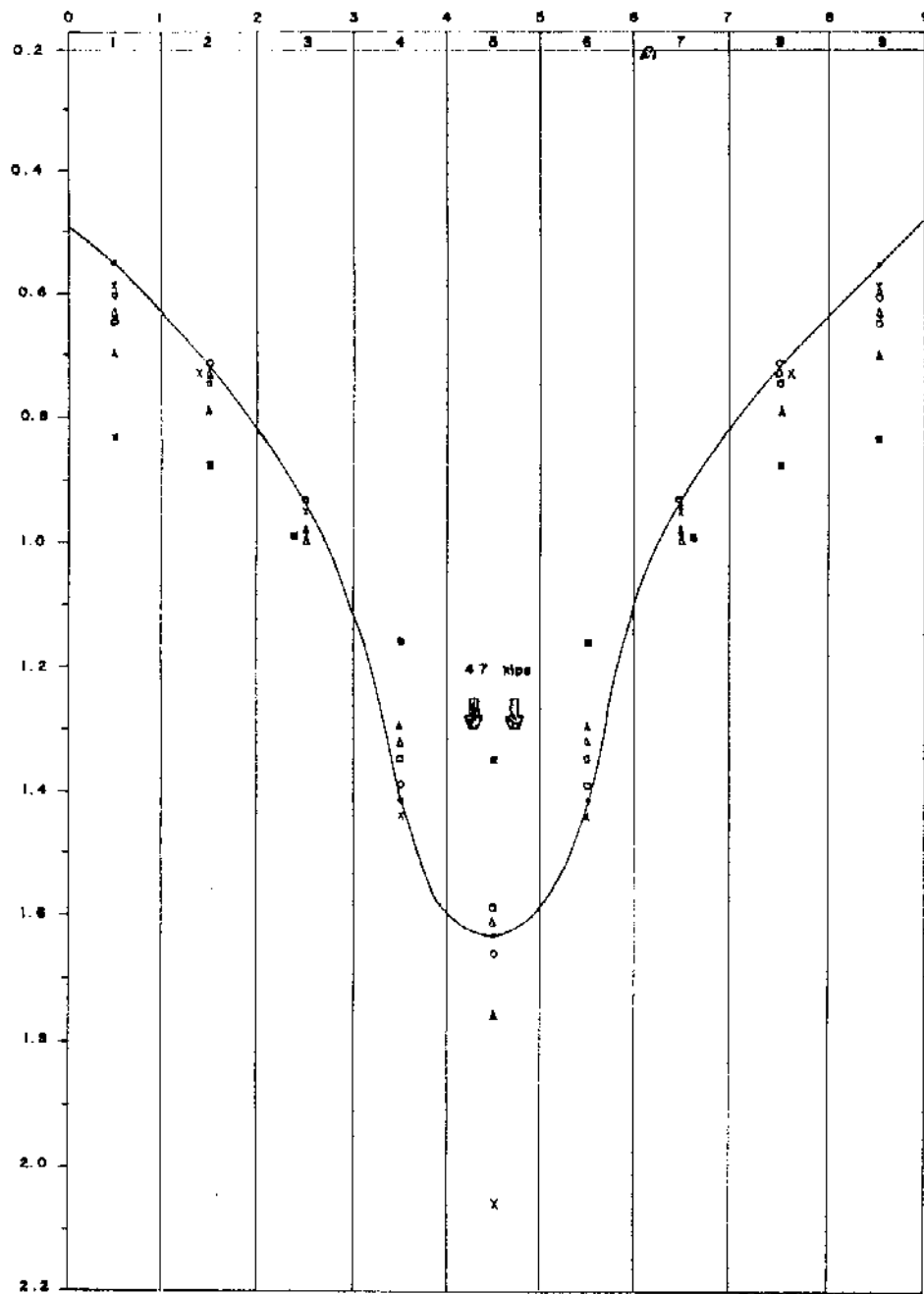
เป็นที่ทราบแล้วว่าพฤติกรรมของโครงสร้างที่จริงจะไม่ตรงกันเสมอไปกับที่กล่าวมา ข้างต้น ซึ่งเป็นเพียงการอธิบายพื้นฐานเพื่อให้แนวความคิดว่าสภาวะเช่นนั้นเกิดขึ้นอย่างไร จากตัวอย่างนี้อาจจะเห็นว่า ถ้าแรงตามความยาวของข้อต่อมีอยู่มากในข้อต่อพฤติกรรมของ โครงสร้างจะต้องมีการปรับปรุง แต่ถ้าหากไม่มีอยู่หรือมีเพียงบางส่วนวิธีการซึ่งยอมให้มีแรงดึง กล่าวอยู่จะให้คานหน่วยแรงน้อยกว่าเป็นอย่างมาก

ในตัวอย่างนี้สรุปว่า แรงในแนวตั้งของคานตัวริมที่ให้แรงโดยวิธีแรงโดยกำหนด ให้เฟลกซิบิลิตี (Flexibilities) ของข้อต่อในทิศทางตามยาวมีค่าศูนย์ไม่ให้ความสมดุลง่าย โดยจะให้ ค่า 42.87 kips แทนที่จะเป็น 48 kips และสภาวะสมดุลง่ายจะยังคงใช้ได้เมื่อกำหนดเฟลกซิบิลิตีใน แนวตามยาวของข้อต่อมีค่า ∞

สำหรับวิธีการเปลี่ยนตำแหน่งนั้น สภาวะสมดุลง่ายจะยังคงอยู่ในทั้งสองกรณีเหตุผล ของความคลาดเคลื่อนนี้ คือการคำนวณแรงในแนวตั้งในวิธีแรงนั้นไม่ถูกต้องในเรื่องผลกระทบ ของแรงในแนวตามยาวของข้อต่อ

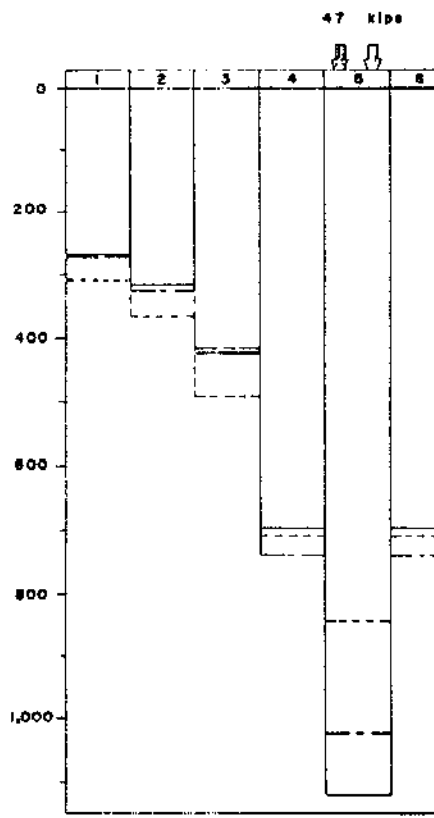
3.3.5 ตัวอย่างการวิเคราะห์โดยใช้ข้อต่อแบบแผ่น

ตัวอย่างโครงสร้าง ซึ่งถือว่าเป็นแบบอย่างของโครงสร้างมัลติบีมโดยใช้สมมุติฐานของข้อต่อเป็นแผ่นดังแสดงในภาพที่ 3.9(a) โครงสร้างดังกล่าวจะประกอบด้วยคานภาพสี่เหลี่ยมเชื่อมด้วยแผ่น (ดังแสดงด้วยเส้นประ) โครงสร้างจะรับน้ำหนักที่ 100 kips ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของโครงสร้างบนจุดศูนย์กลางของคานตัวที่ 3 กราฟการแอ่นตัว, โมเมนต์ดัดของคาน, หน่วยแรงของคาน, แรงในแนวตั้งของข้อต่อและโมเมนต์ดัดของข้อต่อ ดังแสดงไว้ในภาพ 3.9 (a,b,c,d,e และ f) ตามลำดับ จากการวิเคราะห์นี้จะเห็นว่า โครงสร้างมัลติบีมโดยใช้คานรูปรางตัวรางน้ำ อาจจะใช้สมมุติฐานของข้อต่อแบบแผ่นและสปริงรวมกัน

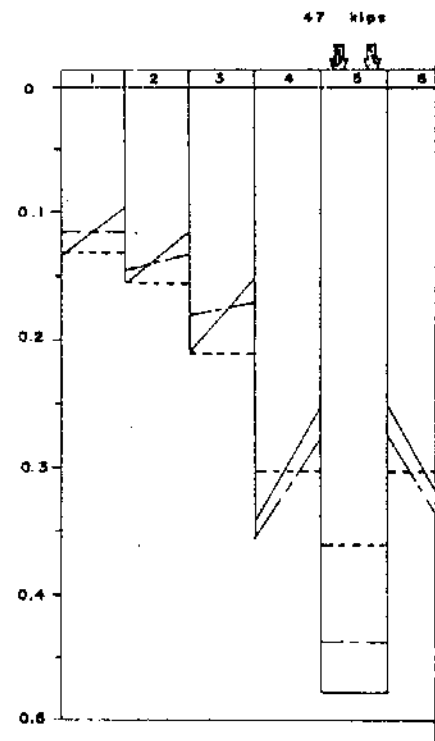


ภาพที่ 3.2 กราฟสัมประสิทธิ์การกระจาย
ของ Centerport Bridge สำหรับ
มีน้ำหนักกระทำบนคานตัวที่ 5

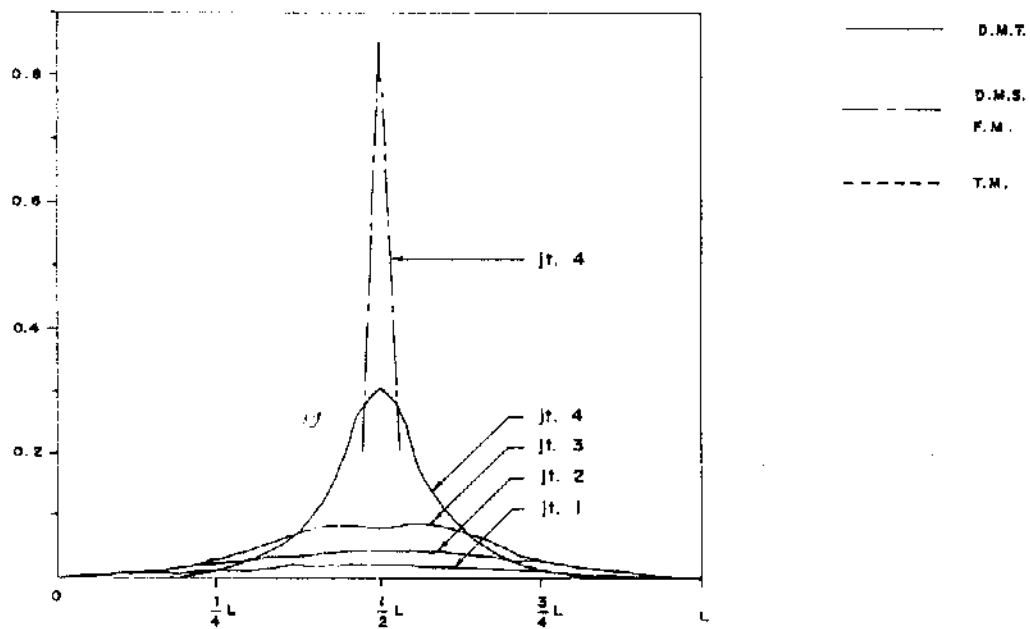
	Observed in field test
■	Recess or al
x	Spindel
▲	Guano and Poma
○	T.M.
□	F.M. and D.M.S.
△	D.M.T.



(d) ค่าโมเมนต์ตัดที่กลางคาน (kip - ft)

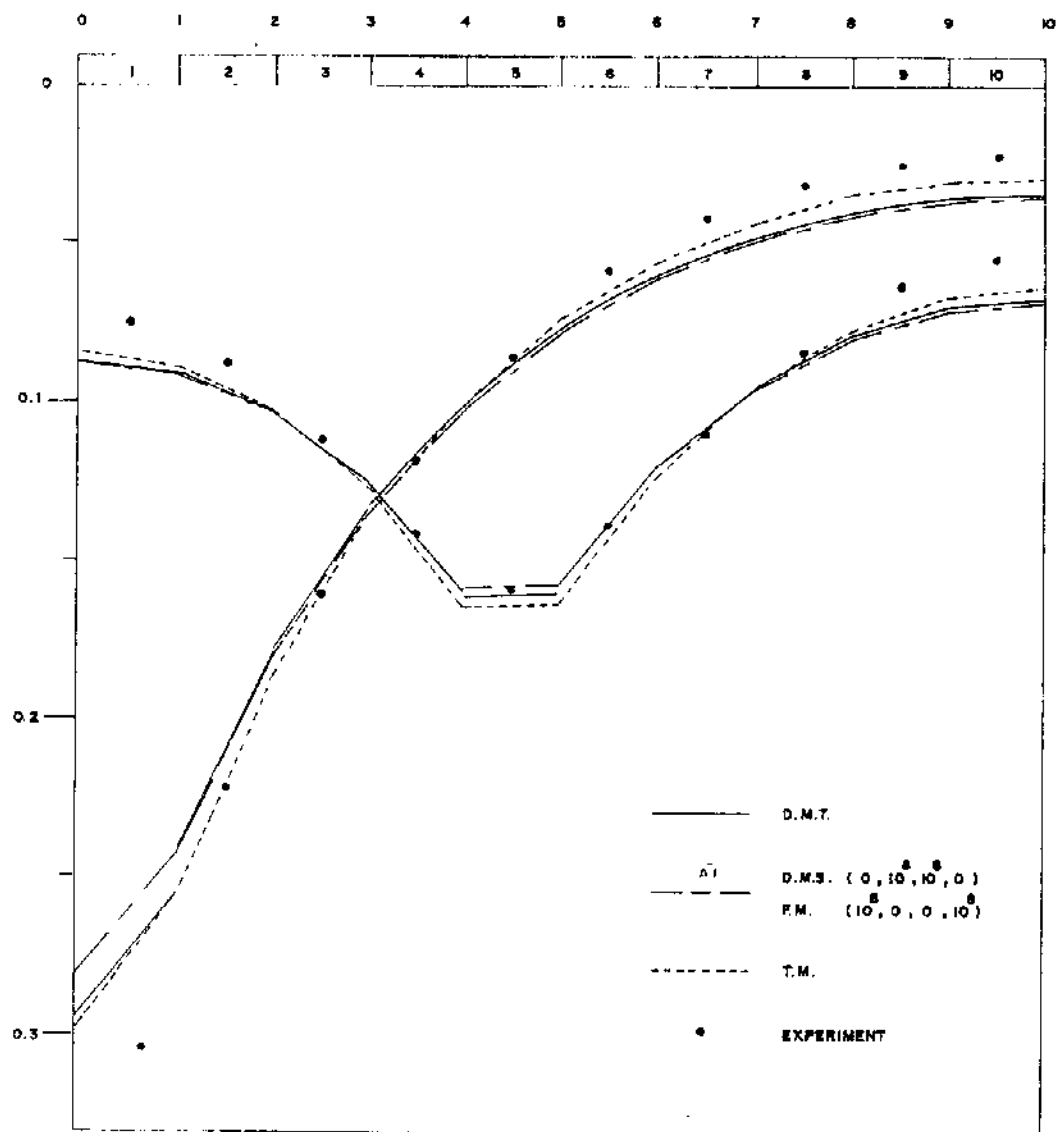


(b) หน่วยแรงตามยาวด้านข้างของคาน (kip - ft)

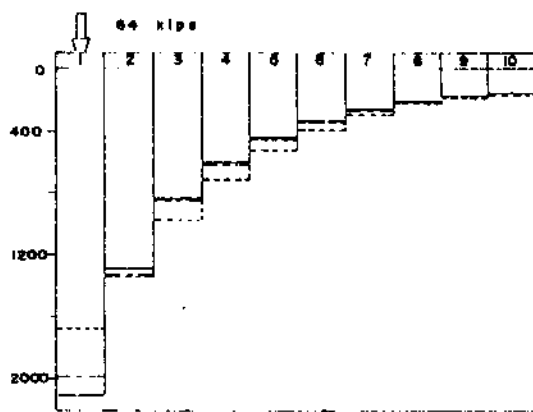


(c) แรงในแนวตั้งของข้อต่อ (kips/ft)

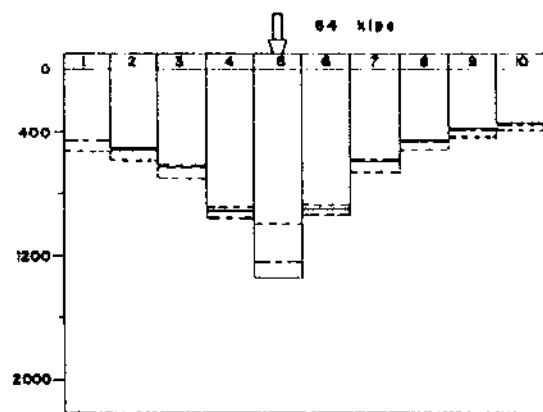
ภาพที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์ของ Centerport Bridge โดยมีน้ำหนักกระทำบนคานตัวที่ 5



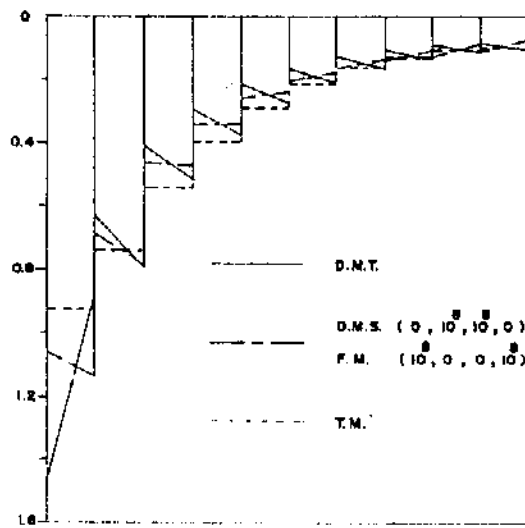
ภาพที่ 3.4 ผลการวิเคราะห์ของ Slippery Creek Bridge สำหรับการแอ่นตัวโดยใช้น้ำหนัก 64 KIPS กระทำบนคานตัวที่ 1 และ 5



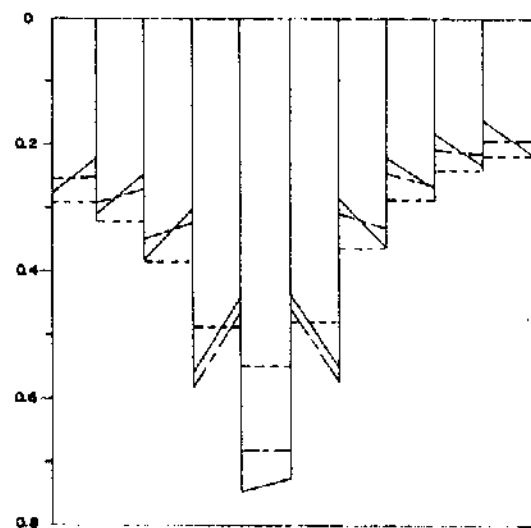
a) โมเมนต์ดัดสำหรับน้ำหนักกระทำคาน
ตัวที่ 1 (kip - ins)



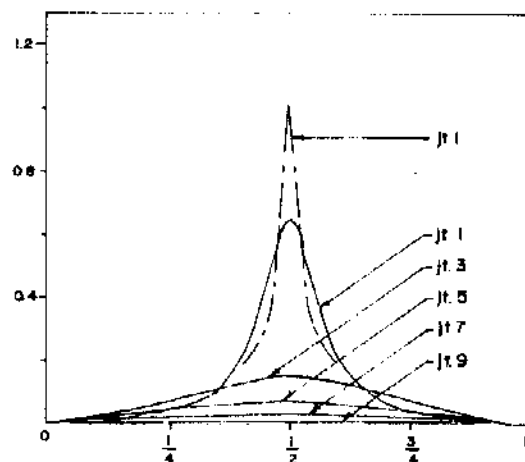
b) โมเมนต์ดัดสำหรับน้ำหนักกระทำคาน
ตัวที่ 5 (kip - ins)



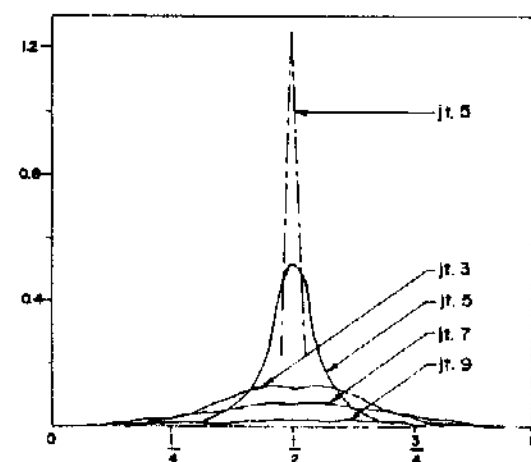
c) หน่วยแรงด้านข้างของคาน (kips / in²)



d) หน่วยแรงด้านข้างของคาน (kips / in²)



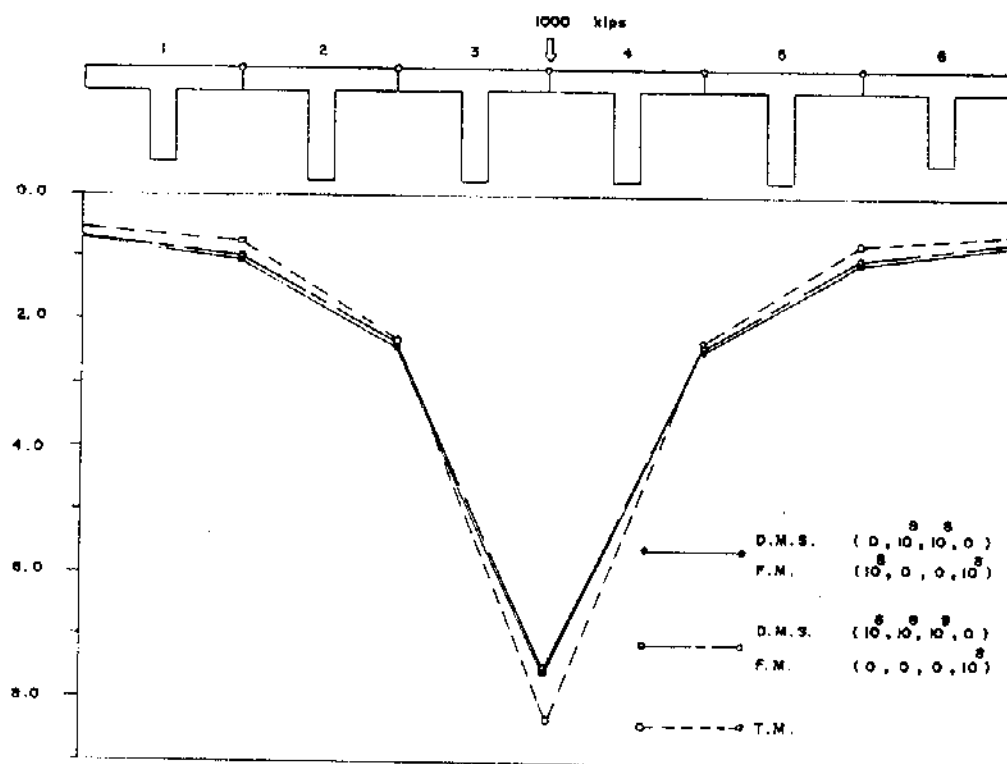
e) แรงในแนวตั้งสำหรับน้ำหนักระทำกับคาน
ตัวที่ 1 (kips - in)



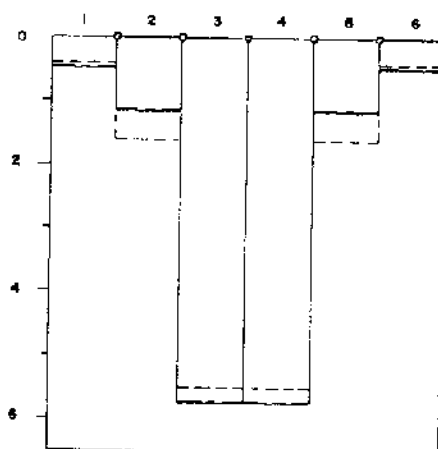
f) แรงในแนวตั้งสำหรับน้ำหนักระทำกับคาน
ตัวที่ 5 (kips - in)

ภาพที่ 3.5 ผลการวิเคราะห์ของ Slippery Creek Bridge สำหรับน้ำหนักระทำคานกับตัวที่ 1

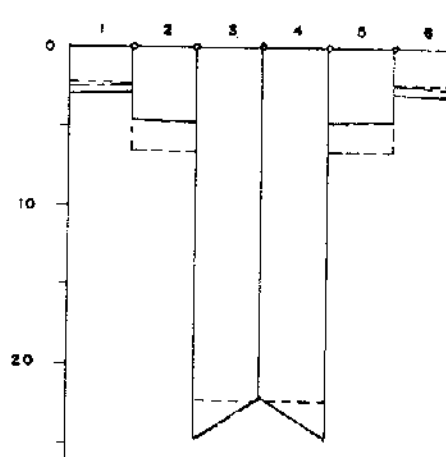
และ 5



(a) การทรงตัวที่กลางคานของ NATHAN'S BRIDGE (ins.)

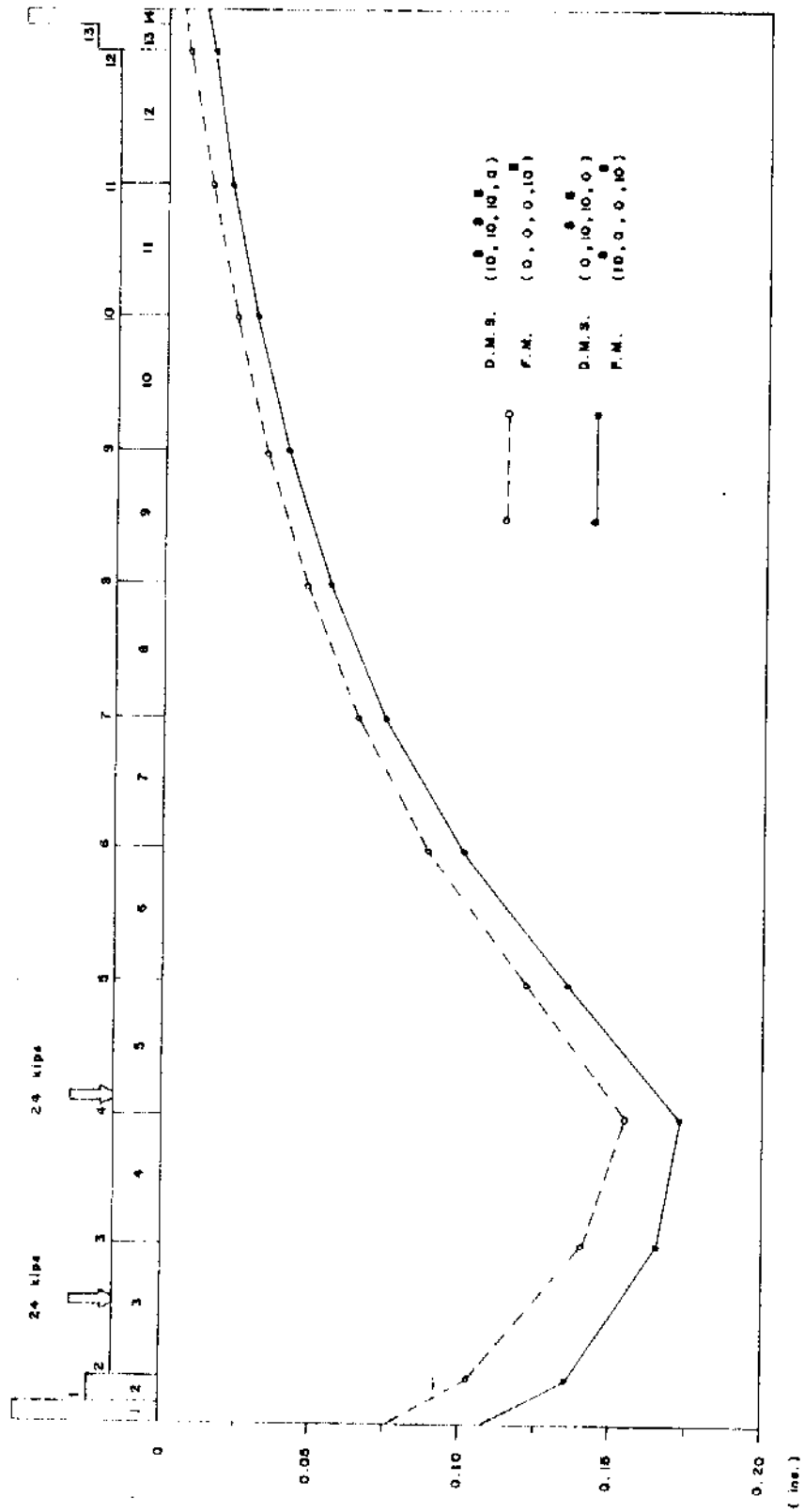


(b) โมเมนต์คัตที่กึ่งกลางคาน (klp-ins)

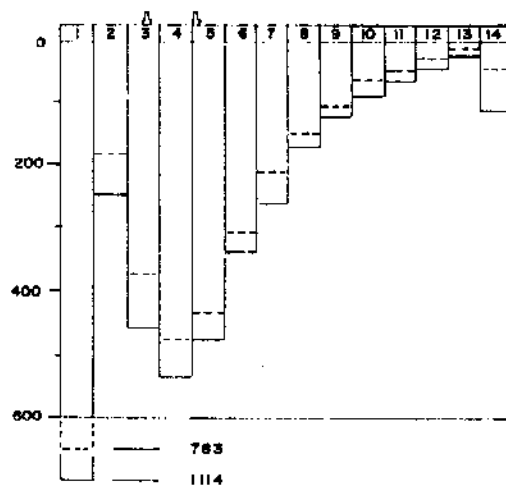


(c) หน่วยแรงด้านข้างของคาน (ktps-in.)

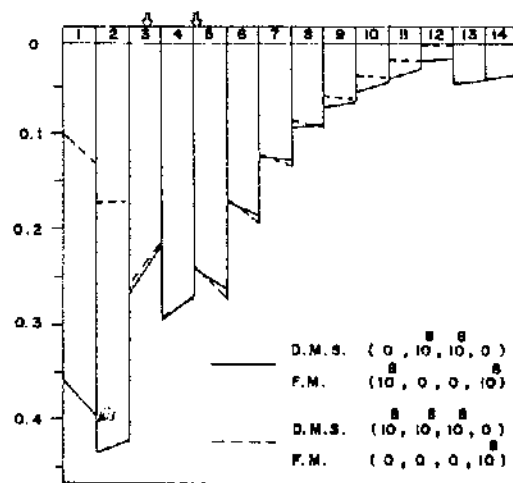
ภาพที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์ของ Nathan's Bridge สำหรับน้ำหนักกระทำที่จุดกึ่งกลางของคาน



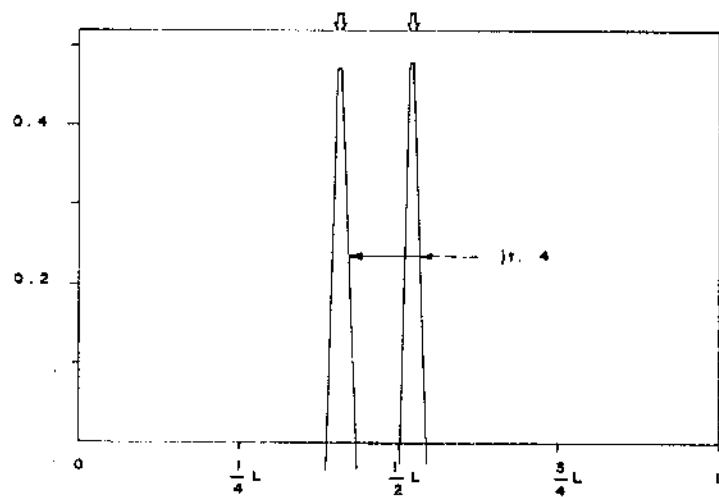
ภาพที่ 3.7 การอันตัวของ Powell's Bridge



(a) โมเมนต์ที่จุดกึ่งกลางคาน (kips-in.)

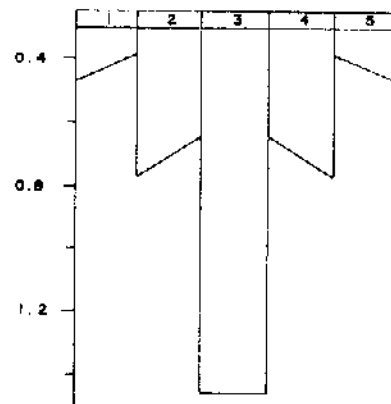
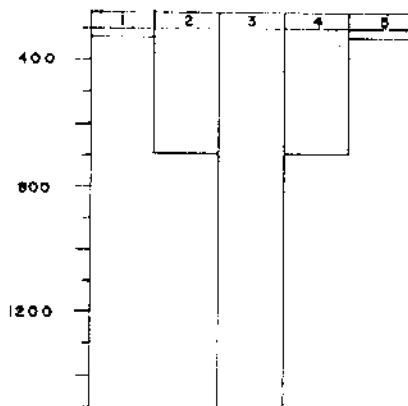
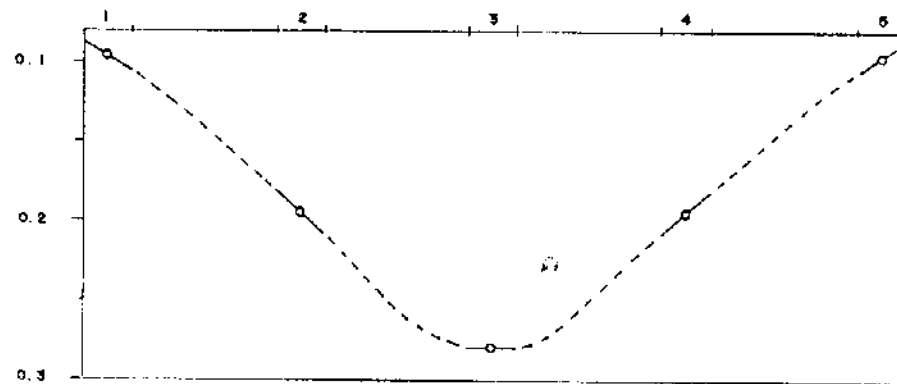
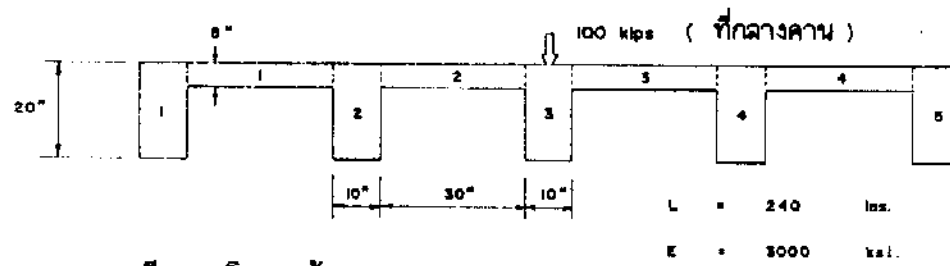


(b) หน่วยแรงด้านข้างของคาน (kips/in.)

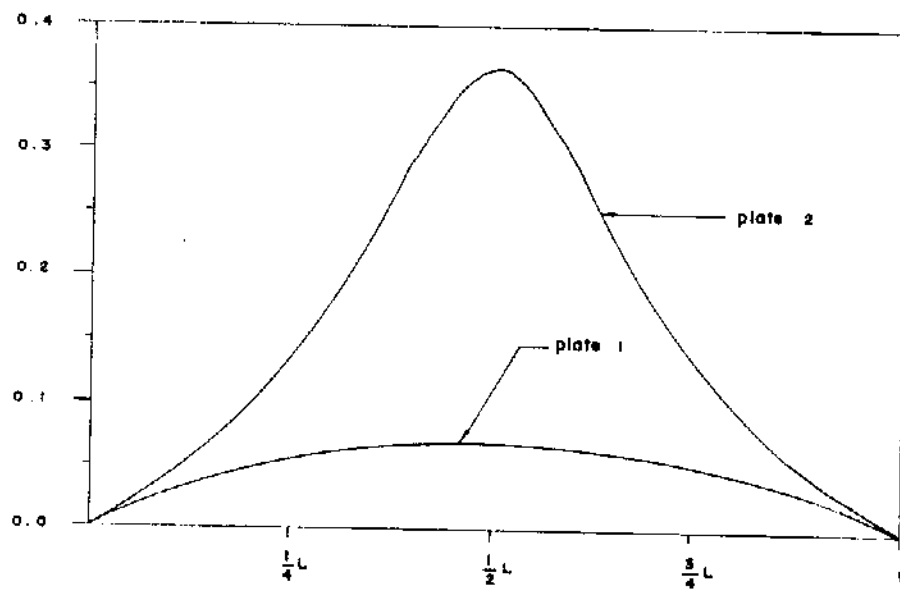


(c) แรงในแนวตั้งของข้อต่อ (kips/in)

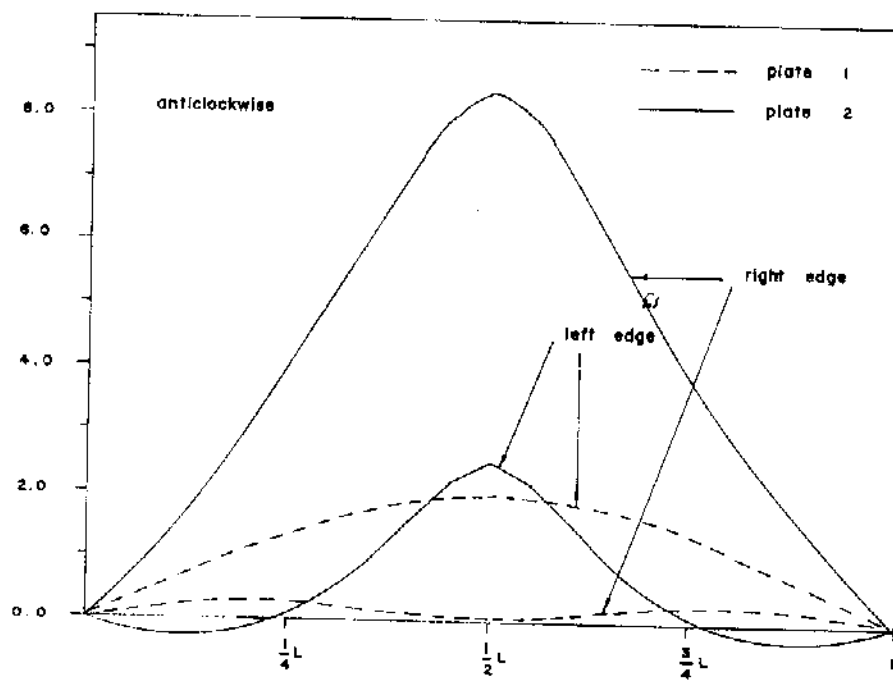
ภาพที่ 3.8 ผลการวิเคราะห์ ของ Powell's Bridge



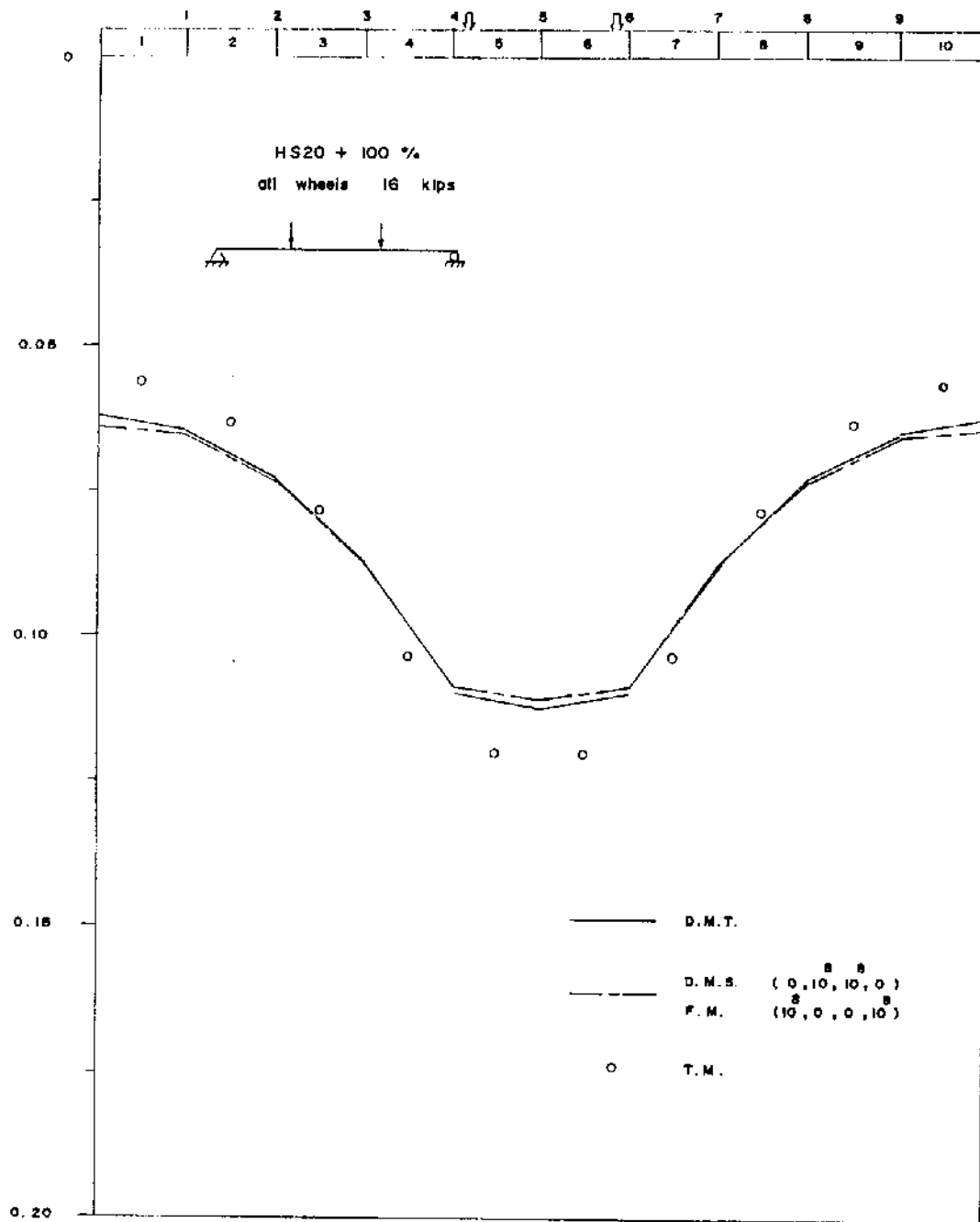
ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างการวิเคราะห์โดยใช้สมมุติฐานข้อต่อแบบแผ่น



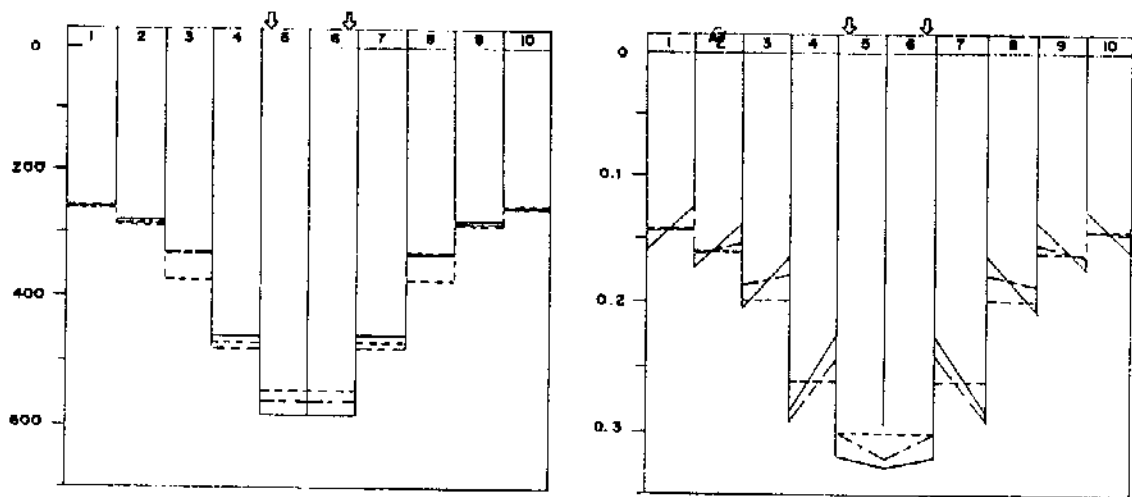
(e) แรงในแนวตั้งของข้อต่อแบบแผ่น (kips / in.)



(r) โมเมนต์ของข้อต่อแบบแผ่น (kip-ins / in.)

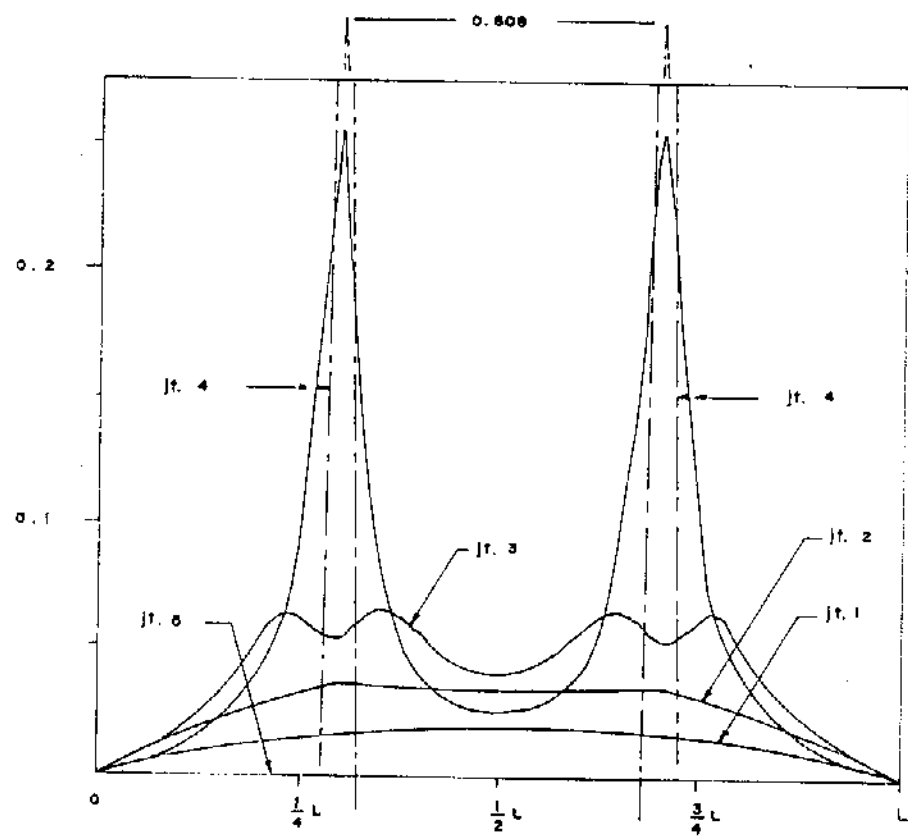


ภาพที่ 3.10 การแอ่นตัวของ Slippy Creek Bridge สำหรับ HS 20 x 100%



(b) โมเมนต์ที่กึ่งกลางคาน (kip-in.)

(c) หน่วยแรงด้านข้างของคาน (kips/in.)



(d) แรงในแนวตั้งของข้อต่อ (kips/in.)