หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ตัวอย่างการออกแบบ

การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่จัดทำขึ้น เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพื่อให้รู้ถึงประสิทธิภาพและความเหมาะสมในการนำโปรแกรมไปใช้ช่วยในการออกแบบ โดยนำตัวอย่างการออกแบบที่ทราบผลมาใช้เปรียบเทียบ ซึ่งในตัวอย่างแรกเป็นการวิเคราะห์หาหน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกภายนอกมากระทำของสะพานคานเหล็กประกอบแบบต่อเนื่อง 3 ช่วง สำหรับตัวอย่างที่ 2 เป็นการออกแบบหาขนาดแรงอัดและจำนวนเหล็กอัดแรงในสะพานคอนกรีตอัดแรงหล่อในที่แบบต่อเนื่อง 4 ช่วง ส่วนตัวอย่างสุดท้ายเป็นการแสดงวิธีการใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบสะพานคอนกรีตอัดแรงแบบต่อเนื่อง 4 ช่วง

5.1 ตัวอย่างการวิเคราะห์คานหลัก

ตัวอย่างนี้นำมาจากตัวอย่างที่ 5.1 ในหนังสือของ Heins และ Firmage(11) เป็นสะพานมีคานหลักทำด้วยเหล็กประกอบต่อเนื่องกัน 3 ช่วง ความยาวสะพานช่วงนอกเท่ากับ 30.18 เมตร (99 ฟุต) และสะพานช่วงกลางยาว 40.23 เมตร (132 ฟุต) ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ลักษณะหน้าตัดขวางของสะพานประกอบด้วยช่องทางจราจร 2 ช่องทาง แต่ละช่องทางกว้าง 3.66 เมตร (12 ฟุต) ส่วนความกว้างของผิวทางจราจรเท่ากับ 1.14 เมตร (28 ฟุต) มีพื้นเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 19.05 ซม. (7.5 นิ้ว) ยื่นออกจากตัวคานเท่ากับ 1.14 เมตร (3.75 ฟุต) curb มีความสูง 25.4 ซม. (10 นิ้ว) และมีความกว้าง 0.53 เมตร (1.75 ฟุต) ราวสะพานทำด้วยเหล็กหล่อ ส่วนคานหลักมีจำนวน 2 ตัววางห่างกัน 7.32 เมตร (24 ฟุต) ดังรูปที่ 5.3

ระยะแบ่งย่อยคานหลักสำหรับการวิเคราะห์เท่ากับ 5.03 เมตร (16.5 ฟุต) ทำให้ได้จำนวนหน้าตัดทั้งหมด 21 หน้าตัด และจำนวนช่วงทั้งหมด 20 ช่วงย่อยดังรูปที่ 5.2 ค่าน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำหนักกระทำเป็นจุดใน 1 ช่วงย่อย โดยน้ำหนักบรรทุกคงที่เท่ากับ

17,092 กก. (37,680 ปอนด์) ส่วนน้ำหนักบรรทุกจรเป็นแบบ HS20-40 ซึ่งมีการกระจายของเส้นล้อต่อคานหลักเท่ากับ 1.25 จะได้น้ำหนักกระจายสม่ำเสมอเท่ากับ 5,988 กก. (13,200 ปอนด์) น้ำหนักกระทำเป็นจุดสำหรับใช้คำนวณโมเมนต์เท่ากับ 10,206 กก. (22,500 ปอนด์) และเท่ากับ 14,742 กก. (32,500 ปอนด์) สำหรับใช้คำนวณแรงเฉือน

วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในตัวอย่างนี้ถือว่าหน้าตัดคานหลักมีขนาดคงที่ในทุกช่วงสะพาน แต่เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดคานหลักตามแนวยาวของสะพาน ทำให้ต้องปรับเปลี่ยนค่า Relative Stiffness ค่า Carry-over Factor และค่า Fixed-end Moment สำหรับใช้ในวิธีการกระจายโมเมนต์เสียใหม่ให้เหมาะสม ดังต่อไปนี้คือ

1. ค่า Carry-over ของสะพานช่วงกลางเท่ากับ 0.56

2. ค่า Relative Stiffness ของจุดรองรับช่วงในจะเท่ากับกรณีของขนาดหน้าตัดคานมีค่าคงที่คูณเพิ่ม 10% สำหรับสะพานช่วงกลาง และคูณลด 10% สำหรับสะพานช่วงนอก

3. ค่า Fixed-end Moment จะเท่ากับกรณีของขนาดหน้าตัดคานมีค่าคงที่คูณเพิ่ม 20 % สำหรับปลายด้านใหญ่กว่าของสะพานช่วงนอก และคูณลด 10% สำหรับทั้งสองปลายของสะพานช่วงกลาง

ในขั้นต้นของการวิเคราะห์จะเป็นการหาค่าออร์ดิเนทของอินฟลูเอ็นซไดอะแกรมสำหรับโมเมนต์และแรงเฉือน เมื่อมีแรงหนึ่งหน่วยมากระทำ ดังแสดงในตารางที่ 5.1 และ 5.2 ส่วนตารางที่ 5.3 เป็นการหาผลรวมค่าออร์ดิเนทบวกและลบ รวมทั้งค่าออร์ดิเนทบวกและลบสูงสุดสำหรับโมเมนต์และแรงเฉือน ส่วนตารางที่ 5.4 และ 5.5 จะแสดงค่าโมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนับบรรทุกจรและแรงกระแทก ซึ่งกรณีน้ำหนักบรรทุกจรแบบเทียบเท่าแสดงไว้ในตารางที่ 5.4 ส่วนแบบรถบรรทุกแสดงไว้ในตารางที่ 5.5 และจะนำผลรวมของโมเมนต์ทั้งหมดไปสร้างไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 5.4 สำหรับตารางที่ 5.6 และ 5.7 จะแสดงค่าแรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ มากระทำ และจะนำผลรวมของแรงเฉือนทั้งหมดไปสร้างไดอะแกรมดังรูปที่ 5.5

ผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรมแสดงไว้ในหัวข้อ ข.1 ของภาคผนวก ข. และเมื่อทำการเปรียบเทียบโมเมนต์และแรงเฉือนสูงสุดที่จะนำไปใช้ในการออกแบบดังแสดงในตารางที่ 5.8 พบว่ามีค่าแตกต่างกันประมาณ 2% เนื่องจากค่า Distribution Factor ที่ใช้ในวิธีการกระจายโมเมนต์นั้น ในโปรแกรมได้มาจากวิธี Slope-Deflection อีกทั้งจำนวนรอบในวิธีการกระจาย

โมเมนต์ที่ใช้เพียง 4 รอบ แต่ในโปรแกรมจะกระทำจนกว่าจะกระจายโมเมนต์ได้ทั้งหมด นอกจากนี้เลขนัยสำคัญในการคำนวณด้วยโปรแกรมจะมีจำนวนหลักมากกว่าที่ในตัวอย่างนี้ อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมนี้สามารถนำไปใช้ได้อย่างเหมาะสมในการออกแบบต่อไป

5.2 ตัวอย่างการออกแบบคานหลัก

ตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจสอบการออกแบบของโปรแกรมนี้นำมาจากตัวอย่างที่ 7.1 ในหนังสือของ Heins และ Lawrie(15) ซึ่งเป็นสะพานคอนกรีตอัดแรงแบบหล่อในที่ต่อเนื่องกัน 4 ช่วงดังแสดงในรูปที่ 5.6 หน้าตัดของคานหลักเป็นรูปกล่อง ส่วนการคำนวณจะเริ่มต้นจากการใช้ค่าผลการวิเคราะห์หน่วยแรงตามตัวอย่าง มาทำการออกแบบหาตำแหน่งแนวโปรไฟล์ของเหล็กอัดแรงดังแสดงในรูปที่ 5.7 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 มม. (0.5 นิ้ว) กำลังดึงประลัยเท่ากับ 18,983 กก./ซม.^{2} (เกรด 270 k) และโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 1,898,307 กก./ซม.^{2} (27,000 ksi) โดยใช้แรงดึงสูงสุดเท่ากับ 75% ของกำลังดึงประลัย จากนั้นจะทำการหาค่าการเสื่อมสูญแรงอัดต่าง ๆ แล้วทำการหาโมเมนต์เอกและโมเมนต์โทที่เกิดขึ้น แล้วทำการหาค่าขนาดของแรงอัดที่จะทำให้เกิดหน่วยแรงอัดรวมในช่วงอีลาสติกไม่เกินค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ จากนั้นจะทำการตรวจสอบหน่วยแรงรวมในช่วงใช้งานและช่วงถ่ายแรง แล้วทำการตรวจสอบกำลังรับแรงดัดและแรงเฉือนที่สภาวะประลัย โดยผลลัพธ์ต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในหัวข้อ ข.2 ของภาคผนวก ข. ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการออกแบบดังแสดงในตารางที่ 5.9 จะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงถึงความสามารถและประสิทธิภาพของโปรแกรมในการออกแบบได้อย่างถูกต้องแต่เนื่องจากโปรแกรมไม่ได้กำหนดการเปลี่ยนแปลงความกว้างของปีกคานล่างในแต่ละจุดแบ่งย่อย เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณเช่นในตัวอย่างนี้ ทำให้ผลของโมเมนต์ดัดของจุดแบ่งย่อยบางจุดมีค่าสูงกว่ากำลังรับแรงดัดประลัย ซึ่งจะใช้การเสริมเหล็กเข้าช่วยในการลดโมเมนต์ดัดส่วนที่เกินดังกล่าว

5.3 ตัวอย่างแสดงวิธีการใช้โปรแกรม

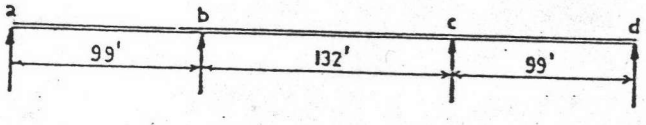
ตัวอย่างนี้เป็นการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำหรับช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบสะพานคอนกรีตอัดแรงแบบช่วงต่อเนื่อง 4 ช่วง โดยช่วงปลายทั้งสองของสะพานยาว 42.00 เมตร และ

สะพานช่วงในทั้งสองช่วงยาว 52.00 เมตร รูปร่างหน้าตัดของคานหลักเป็นรูปกล่องมีการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์อินเนอร์เชียแบบโค้งพาราโบลา ดังแสดงในรูปที่ 5.8 ซึ่งมีมิติและขนาดต่าง ๆ ของโครงสร้างคล้ายกันกับตัวอย่างในหัวข้อ 5.2 ส่วนระยะแบ่งย่อยบนคานหลักใช้ช่วยระยะเท่ากับ 4.00 เมตร

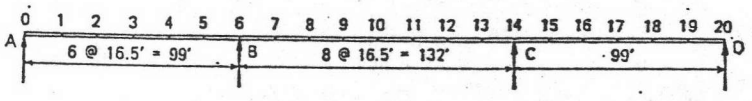
กำลังของคอนกรีตเท่ากับ 210 และ 280 กก./ซม.^{2} ในช่วงขณะถ่ายแรงและที่อายุ 28 วันตามลำดับ ส่วนเหล็กอัดแรงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 มม. และมีกำลังดึงประลัยเท่ากัน 19,000 กก./ซม.^{2} มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 1.9×10^6 กก./ซม.^{2} สำหรับเหล็กเสริมมีกำลังคลากเท่ากับ 4,220 กก./ซม.^{2} และมีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 1.97×10^6 กก./ซม.^{2}

น้ำหนักบรรทุกจะเป็นแบบ HS20-44 และมีการทรุดตัวของจุดรองรับนอกสุดทั้งสองและจุดรองรับกึ่งกลางเท่ากับ 0.025 เมตร ส่วนระยะคลุมเหล็กเสริมและเหล็กอัดแรงขนาดของไดอะแฟรม จำนวนและขนาดของท่อร้อยเหล็ก ตลอดจนรายละเอียดปลีกย่อยที่จำเป็นสำหรับการออกแบบ จะใช้ตามตัวอย่างในหัวข้อ 5.2

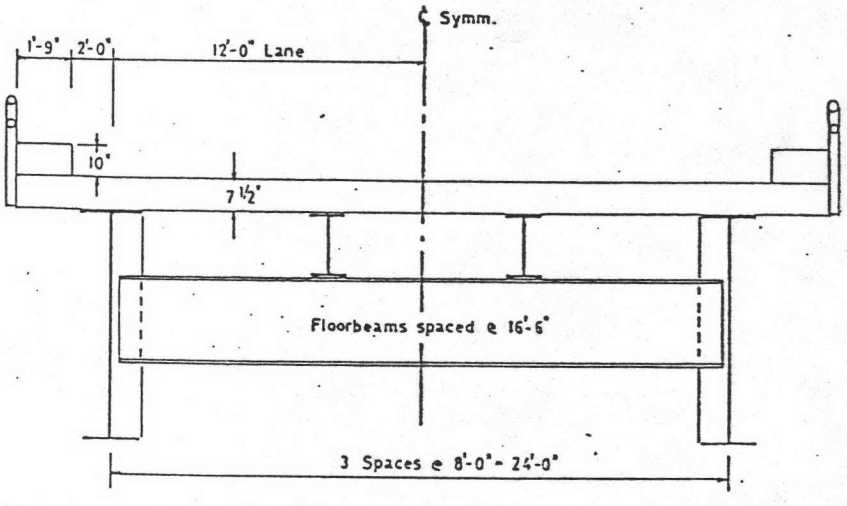
ผลการออกแบบจะได้จำนวนเหล็กอัดแรงทั้งหมด 350 เส้น หรือ 25 เส้นต่อท่อร้อยเหล็ก 1 ท่อ โดยขนาดของแรงอัดในช่วงถ่ายแรงเท่ากับ 4,923.67 ตัน มีแนวโปรไฟล์เป็นโค้งพาราโบลาและมีแนวโค้งคว่ำที่จุดรองรับช่วงใน ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับผลการออกแบบในตัวอย่างของหัวข้อ 5.2 ซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติต่าง ๆ ของสะพานใกล้เคียงกัน แล้วพบว่าผลที่ได้แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมสามารถทำงานช่วยในการออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนการแสดงการทำงานของโปรแกรม ข้อมูลต่าง ๆ ของสะพานและผลการออกแบบอยู่ในหัวข้อ ข.3 ของภาคผนวก ข.



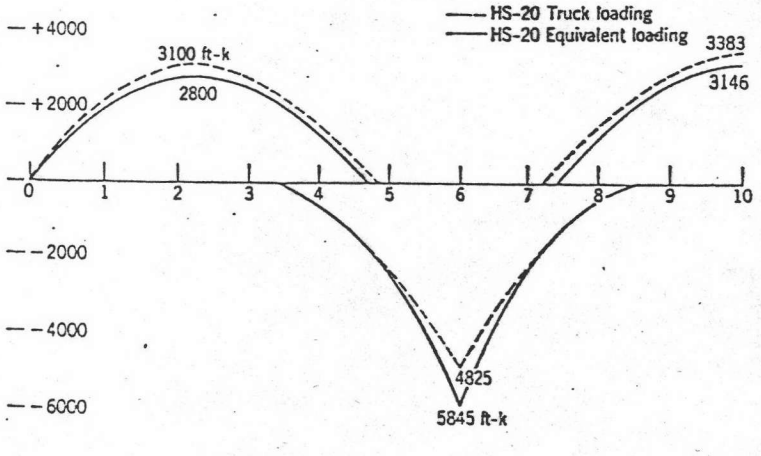
รูปที่ 5.1 ความยาวช่วงของคานหลัก



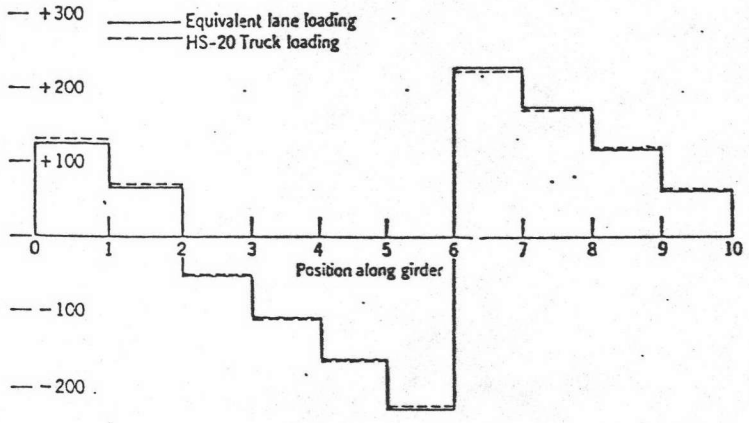
รูปที่ 5.2 จุดแบ่งย่อยบนคานหลัก



รูปที่ 5.3 ขนาดหน้าตัดขวางของสะพาน



รูปที่ 5.4 ไดอะแกรมของโมเมนต์



รูปที่ 5.5 ไดอะแกรมของแรงเฉือน

Moment at Point	Unit Load at Point																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	+12.72	+9.50	+6.35	+3.63	+1.47	0	−1.18	−1.98	−2.07	−1.93	−1.58	−1.07	−0.52	0	+0.38	+0.55	+0.55	+0.43	+0.23
2	+9.44	+19.0	+12.7	+7.27	+2.93	0	−2.37	−3.97	−4.13	−3.87	−3.17	−2.13	−1.03	0	+0.77	+1.10	+1.10	+0.87	+0.47
3	+5.90	+12.0	+19.05	+10.9	+4.40	0	−3.55	−5.95	−6.20	−5.80	−4.75	−3.20	−1.55	0	+1.15	+1.65	+1.65	+1.30	+0.70
4	+2.37	+5.0	+8.90	+14.5	+5.87	0	−4.73	−7.93	−8.27	−7.73	−6.33	−4.27	−2.07	0	+1.53	+2.20	+2.20	+1.73	+0.93
5	−1.17	−2.0	−1.25	+1.70	+7.08	0	−5.92	−9.92	−10.3	−9.67	−7.92	−5.33	−2.58	0	+1.92	+2.75	+2.75	+2.17	+1.17
6	−4.70	−9.0	−11.4	−11.2	−7.70	0	−7.1	−11.9	−12.4	−11.6	−9.5	−6.4	−3.1	0	+2.3	+3.30	+3.30	+2.60	+1.40
7	−3.90	−7.55	−9.56	−9.39	−6.45	0	+7.84	+1.17	−1.73	−3.35	−3.67	−2.96	−1.54	0	+1.05	+1.49	+1.46	+1.15	+0.64
8	−3.10	−6.10	−7.73	−7.58	−5.20	0	+6.28	+14.2	+8.95	+4.90	+2.15	+0.47	+0.03	0	−0.20	−0.33	−0.38	−0.30	−0.13
9	−2.30	−4.65	−5.89	−5.76	−3.95	0	+4.71	+10.8	+19.6	+13.2	+6.97	+3.92	+1.59	0	−1.45	−2.14	−2.21	−1.75	−0.89
10	−1.65	−3.20	−4.05	−3.95	−2.70	0	+3.15	+7.35	+13.8	+21.4	+13.8	+7.35	+3.15	0	−2.70	−3.95	−4.05	−3.20	−1.65

ตารางที่ 5.1 ค่าออร์ดิเนทสำหรับอินฟลูเอ็นซ์ไดอะแกรมของโมเมนต์ดัด

Shear Points	Unit Load at Point																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0–1	+0.786	+0.576	+0.385	+0.220	+0.089	0	−0.072	−0.111	−0.125	−0.117	−0.096	−0.065	−0.031	0	+0.023	+0.033	+0.033	+0.026	+0.014
1–2	−0.214	+0.576	+0.385	+0.220	+0.089	0	−0.072	−0.111	−0.125	−0.117	−0.096	−0.065	−0.031	0	+0.023	+0.033	+0.033	+0.026	+0.014
2–3	−0.214	−0.424	+0.385	+0.220	+0.089	0	−0.072	−0.111	−0.125	−0.177	−0.096	−0.065	−0.031	0	+0.023	+0.033	+0.033	+0.026	+0.014
3–4	−0.214	−0.424	−0.615	+0.220	+0.089	0	−0.072	−0.111	−0.125	−0.117	−0.096	−0.065	−0.031	0	+0.023	+0.033	+0.033	+0.026	+0.014
4–5	−0.214	−0.424	−0.615	−0.780	+0.089	0	−0.072	−0.111	−0.125	−0.117	−0.096	−0.065	−0.031	0	+0.023	+0.033	+0.033	+0.026	+0.014
5–6L	−0.214	−0.424	−0.615	−0.780	−0.911	0	−0.072	−0.111	−0.125	−0.117	−0.096	−0.065	−0.031	0	+0.023	+0.033	+0.033	+0.026	+0.014
6R–7	+0.046	+0.088	+0.111	+0.108	+0.076	0	+0.905	+0.785	+0.647	+0.500	+0.353	+0.215	+0.095	0	−0.076	−0.108	−0.111	−0.088	−0.046
7–8	+0.046	+0.088	+0.111	+0.108	+0.076	0	−0.095	+0.785	+0.647	+0.500	+0.353	+0.215	+0.095	0	−0.076	−0.108	−0.111	−0.088	−0.046
8–9	+0.046	+0.088	+0.111	+0.108	+0.076	0	−0.095	−0.215	+0.647	+0.500	+0.353	+0.215	+0.095	0	−0.076	−0.108	−0.111	−0.088	−0.046
9–10	+0.046	+0.088	+0.111	+0.108	+0.076	0	−0.095	−0.215	−0.352	+0.500	+0.353	+0.215	+0.095	0	−0.076	−0.108	−0.111	−0.088	−0.046

ตารางที่ 5.2 ค่าออร์ดิเนทสำหรับอินฟลูเอ็นซ์ไดอะแกรมของแรงเฉือน

	Bending Moment					Shear				
	Summation of Ordinates			Maximum Ordinate		Summation of Ordinates			Maximum Ordinate	
Point	+	−	Σ	+	−	+	−	Σ	+	−
1	35.81	10.33	+25.48	12.72	1.98	2.185	0.617	+1.568	0.786	0.125
2	55.65	20.67	+34.98	19.00	4.13	1.399	0.891	+0.508	0.576	0.214
3	58.70	31.00	+27.70	19.05	6.20	0.823	1.255	−0.432	0.385	0.424
4	45.23	41.33	+3.90	14.50	8.27	0.438	1.870	−1.432	0.220	0.615
5	19.54	56.06	−36.52	7.08	11.55[a]	0.218	2.650	−2.432	0.089	0.780
6	12.90	106.00	−93.10	3.30	23.80[a]	0.129 3.929	3.561 0.429	+3.432 +3.500	0.033 0.305	0.911 0.111
7	16.14	50.10	−33.96	7.84	13.23[a]	3.024	0.524	+2.500	0.785	0.111
8	36.98	31.05	+5.93	14.20	8.11[a]	2.239	0.739	+1.500	0.647	0.215
9	60.79	30.99	+29.80	19.60	8.10[a]	1.592	1.091	+0.500	0.500	0.352
10	70.00	31.10	+38.90	21.40	8.10[a]	1.352[b]	1.352[b]	0	0.500	0.500
	Reaction at end					2.865	0.617	2.068	1.000	0.215

[a] Sum of maximum ordinates in two spans.
[b] Includes only one-half of ordinate at point 10.

ตารางที่ 5.3 ผลรวมค่าออร์ดิเนทสำหรับอินฟลูเอ็นซ์ไลน์

	Dead-Load Bending Moment	Live-Load Bending Moment						Impact Percentage		Impact Bending Moment (ft-k)		Total Bending Moment (ft-k)	
		Uniform Dist. Load		Concen. Load		Total							
Point	(ft-k)	+	−	+	−	+	−	+	−	+	−	+	−
1	+960	473	136	286	45	759	181	22.3		169		1888	
2	+1318	734	273	428	93	1162	366	22.3		259		2739	
3	+1044	775	409	429	140	1204	549	22.3		268		2516	
4	+147	597	546	326	186	923	732	22.3	20.8	206	152	1276	737
5	−1376	258	740	159	260	417	1000	22.3	20.8	93	208		2584
6	−3508	170	1399	74	536	244	1935		20.8		402		5845
7	−1280	213	661	176	298	389	959		20.8		199		2438
8	+223	488	410	320	182	808	592	19.5	20.8	158	123	1189	492
9	+1123	802	409	441	182	1243	591	19.5		242		2608	
10	+1466	924	411	482	182	1406	593	19.5		274		3146	

ตารางที่ 5.4 ค่าโมเมนต์ดัดกระทำต่อคานหลักในกรณีน้ำหนักบรรทุกจรแบบเทียบเท่า

Point	Dead Load Bending Moment	Summation of Ordinates: 32-k Axles +	32-k Axles −	8-k Axle +	8-k Axle −	Live-Load Bending Moment (ft-k) +	Live-Load Bending Moment (ft-k) −	Impact Bending Moment (ft-k) +	Impact Bending Moment (ft-k) −	Total Bending Moment (ft-k) +	Total Bending Moment (ft-k) −
1	+960	22.71		6.62		974		217		2151	
2	+1318	32.65		10.88		1415		316		3049	
3	+1044	32.12		12.13		1406		314		2764	
4	+147	24.25	16.25	7.71	7.78	1133	728	253	151	1533	732
5	−1376	9.6	20.06	1.07	9.76	395	900	88	187		2463
6	−3508		24.38		11.50		1090		227		4825
7	−1280		18.97		7.85		838		174		2292
8	+223	23.95	15.33	7.48	6.35	1033	675	201	140	1457	592
9	+1123	33.77		12.13		1472		287		2882	
10	+1466	36.35		14.95		1604		313		3383	

ตารางที่ 5.5 ค่าโมเมนต์ดัดกระทำต่อคานหลักในกรณีน้ำหนักรถบรรทุกแบบ HS20-44

Point	Dead-Load Shear	Live-Load Shear: Distribution Load +	Distribution Load −	Conc. Load +	Conc. Load −	Total +	Total −	Impact Percentage +	Impact Percentage −	Impact Shear (k) +	Impact Shear (k) −	Total Shear (k) +	Total Shear (k) −
End Reaction	+77.9	35.4	8.1	32.5	4.1	67.9	12.2	22.3	22.3	15.1	2.7	160.9	
0-1	+59.1	28.8	8.1	25.5	4.1	54.3	12.2	22.3	22.3	12.1	2.7	125.5	
1-2	+19.1	18.5	11.8	18.7	7.0	37.2	18.8	22.3	22.3	8.3	4.2	64.6	3.9
2-3	−16.3	10.9	16.6	12.5	13.8	23.4	30.4	22.3	22.3	5.2	6.8	12.3	53.5
3-4	−54.0	5.8	24.7	7.2	20.0	13.0	44.7	22.3	22.3	2.9	10.0		108.7
4-5	−91.6	2.9	35.0	2.9	25.4	5.8	60.4	22.3	22.3	1.3	13.5		165.0
5-6L	−129.3	1.7	47.6	1.1	29.6	2.8	77.2	22.3	22.3	0.6	17.2		223.7
6R-7	+131.9	51.9	5.7	29.4	3.6	81.3	9.3	19.5	19.5	15.8	1.8	229.0	
7-8	+94.2	59.9	6.9	25.5	3.6	65.4	10.5	19.5	19.5	12.8	2.0	172.4	
8-9	+56.5	29.6	9.8	21.0	7.0	50.6	16.8	19.5	19.5	9.9	3.3	117.0	
9-10	+18.8	21.0	14.4	16.3	11.4	37.3	25.8	19.5	19.5	7.3	5.0	63.4	12.0
10	0	17.8	17.8	16.3	16.3	34.1	34.1	19.5	19.5	6.6	6.6	40.7	40.7

ตารางที่ 5.6 ค่าแรงเฉือนกระทำต่อคานหลักในกรณีน้ำหนักบรรทุกจรแบบเทียบเท่า

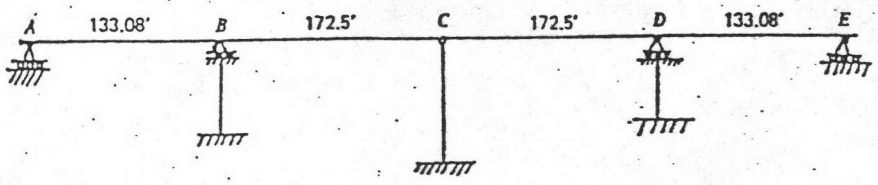
Point	Dead Load Shear	Summation of Ordinates: 32-k Axles +	32-k Axles −	8-k Axle +	8-k Axle −	Live-Load Shear (k) +	Live-Load Shear (k) −	Impact Shear (k) +	Impact Shear (k) −	Total Shear (k) +	Total Shear (k) −
End Reaction	+77.9	1.818	0.243	0.640	0.113	79.1	10.9	17.6	2.4	174.6	
0–1	+59.1	1.395	0.243	0.443	0.113	60.3	10.9	13.4	2.4	132.8	
1–2	+19.1	0.990	0.243	0.270	0.113	42.3	10.9	9.4	2.4	70.8	
2–3	−16.3	0.697	0.670	−0.129	0.065	29.2	27.5	6.5	6.1	19.4	49.9
3–4	−54.0	0.240	1.068	0.027	0.278	9.9	45.5	2.2	10.1		109.6
4–5	−91.6	0.102	1.420	−0.050	0.482	3.6	61.6	0.8	13.7		166.9
5–6*L*[a]	−129.3	0.066	1.711	0.027	0.665	2.9	75.1	0.6	16.7		221.1
6*R*–7[b]	+131.9	1.708	0.219	0.689	0.095	75.2	9.7	14.7	1.9	221.8	
7–8	+94.2	1.453	0.219	0.545	0.095	63.6	9.7	12.4	1.9	170.2	
8–9	+56.5	1.169	0.328	0.398	0.029	50.7	13.4	9.9	2.6	117.1	
9–10	+18.8	0.875	0.588	0.257	0.131	37.6	24.8	7.3	4.8	63.7	10.8

[a] *L* indicates left of point.
[b] *R* indicates right of point.

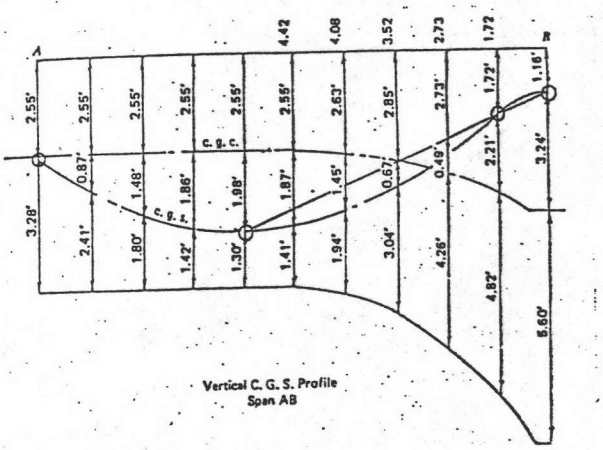
ตารางที่ 5.7 ค่าแรงเฉือนกระทำต่อคานหลักในกรณีน้ำหนักรถบรรทุกแบบ HS20-44

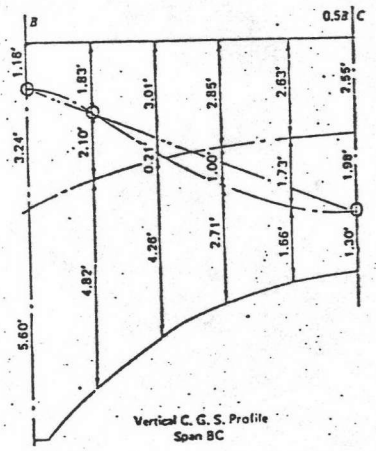
Point	Moment(ton-m.) Example +	Example −	Program +	Program −	Shear(ton.) Example +	Example −	Program +	Program −	Point
0					60.2		60.0		0-1
1	297.4		300.9		32.1		32.9		1-2
2	421.5		421.3			22.6		22.6	2-3
3	382.1		381.8			49.7		49.7	3-4
4	212.0	101.2	196.0	100.0		75.7		75.3	4-5
5		357.2		358.5		101.5		101.4	5-6
6		808.1		807.8	103.9		103.9		6-7
7		337.1		346.4	78.2		78.2		7-8
8	201.4	81.8	206.3	83.8	53.1		53.1		8-9
9	398.4		402.9		28.9		28.8		9-10
10	467.7		466.7						

ตารางที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนที่จะนำไปใช้ในการออกแบบ



รูปที่ 5.6 การวางลักษณะโครงสร้างของสะพาน

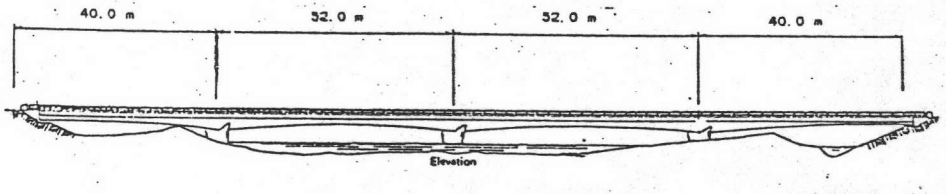




รูปที่ 5.7 แนวโปรไฟล์ของเหล็กอัดแรง

Descriptions	Example	Program
1. Losses (% of Fjack)		
-friction loss	0.1812	0.1813
-grip set loss	0.1284	0.1284
-lump sum loss	0.1580	0.1580
-elastic shortening	0.0667	0.0667
2. Jacking Force (k)		
-by computed	11487	11487
-by selected	11284	11284
3. Number of strands		
-by computed	370	370
-by selected	364	364

ตารางที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบผลการออกแบบ



รูปที่ 5.8 ความยาวช่วงและลักษณะหน้าตัดตามแนวยาวของคานหลัก