การศึกษาแนวทางการออกแบบคานขวางกึ่งสำเร็จรูปของโครงข้อแข็งสำหรับทางยกระดับ

นาย วีรเจต บัณฑุกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-1984-8

สิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE STUDY FOR DESIGN GUIDELINES OF SEMI-PREFABRICATED CROSSHEAD BEAMS OF THE RIGID FRAME FOR ELEVATED HIGHWAYS

Mr. Werajate Bandhukul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-14-1984-8

481673

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาแนวทางการออกแบบคานขวางกึ่งสำเร็จรูปของโครงข้อแข็งสำหรับทางยกระดับ
โดย	นาย วีรเจต บัณฑุกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.วัฒนชัย สมิทธากร)

วีรเจต บัณฑุกุล : การศึกษาแนวทางการออกแบบคานขวางกึ่งสำเร็จรูปของโครงข้อแข็งสำหรับทางยกระดับ. (THE STUDY FOR DESIGN GUIDELINES OF SEMI-PREFABRICATED CROSSHEAD BEAMS OF THE RIGID FRAME FOR ELEVATED HIGHWAYS) อ. ที่ปรึกษา : ศ.ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ, 53 หน้า. ISBN 974-14-1984-8.

การศึกษาเพื่อนำระบบก่อสร้างกึ่งสำเร็จรูปของคานขวางรูปตัว T หงายของโครงข้อแข็งสำหรับทางยกระดับ คานขวางกึ่งสำเร็จรูปในการศึกษานี้จะพิจารณาคานขวางเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ขนส่งยกขึ้นติดตั้งให้เป็นแบบหล่อของชิ้นส่วนโครงสร้างหล่อในที่โดยพิจารณาออกแบบคานขวางกึ่งสำเร็จรูปเป็นส่วนของโครงข้อแข็งรองรับคานหลักรูป I, รูป T, รูป U และรูป Box มีความยาวช่วงที่เหมาะสมที่ 30, 35, 32 และ 45 เมตรตามลำดับ และรองรับสภาพการใช้งานของ 3, 4 และ 6 ช่องจราจรภายใต้เงื่อนไขและข้อกำหนดระหว่างการก่อสร้างและของการใช้สอยระยะยาว

การศึกษาได้กำหนดความหนาของชิ้นส่วนสำเร็จรูปจากพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของบ่ารองรับคานหลักและพิจารณาความกว้างของชิ้นส่วนสำเร็จรูปจากพฤติกรรมการดัดของคานขวางที่แล้วเสร็จโดยที่ความสูงเท่ากับคานหลักและอาจเสริมเหล็กหรืออัดแรงให้รับแรงและน้ำหนักบรรทุกการใช้งานได้โดยสมบูรณ์ จุดยกและการจัดระบบค้ำยันระหว่างการก่อสร้าง จะควบคุมให้หน้าตัดวิกฤติไม่เกินพิกัดของโมดูลัสแตกร้าว จากการศึกษาพฤติกรรมของคานขวาง พบว่าความหนาของส่วนสำเร็จรูปถูกควบคุมโดยพฤติกรรมการรับแรงเฉือน ได้ความหนาที่ 40 ซม.สำหรับคานหลักรูปตัว I, 50 ซม.สำหรับคานหลักรูป T และรูป U และ 80 ซม. สำหรับคานหลักรูป Box การกำหนดจุดยกของชิ้นส่วนสำเร็จรูปพิจารณาจากน้ำหนักและความยาวช่วงยกโดยที่หน่วยแรงไม่เกินพิกัด พบว่าคานขวาง 3 ช่องทางจราจรสามารถใช้ 2 จุดยกแต่คานขวาง 4 และ 6 ช่องจราจรจะต้องใช้ 4 จุดยก ส่วนการจัดระบบโครงสร้างชั่วคราวให้ค้ำยันรองรับน้ำหนักบรรทุกก่อสร้างและควบคุมพิกัดการแตกร้าวพบว่าตำแหน่งค้ำยันชั่วคราวควรจัดห่างจากเสา 0.2 ของความยาวของคานขวางสำหรับ 3 ช่องจราจรและ 0.3 ของความยาวคานขวางสำหรับ4 และ6 ช่องจราจร

การออกแบบคานขวางของระบบโครงสร้างที่แล้วเสร็จ โครงข้อแข็งอาจพิจารณาใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กหรือโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงขึ้นอยู่กับความยาวของคานขวาง สำหรับ 3 และ 4 ช่องจราจรอาจใช้เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ปริมาณเหล็กเสริมอยู่ในพิกัด $\rho \sim 1.8\%$ แต่สำหรับ 6 ช่องทางจราจรอาจพิจารณาใช้ระบบคอนกรีตอัดแรงภายหลังโดยมีสัดส่วนอัดแรง $\rho_p \sim 0.6\%$ เมื่อตรวจสอบความสามารถการใช้งานทางด้านกำลัง การแอ่นตัว และ การแตกร้าวด้วยการวิเคราะห์หน้าตัดโครงสร้างชี้ชัดว่า คานขวางกึ่งสำเร็จรูปยังคงให้กำลังได้ดีเทียบเท่าการก่อสร้างตามวิธีการปกติ ส่วนการแอ่นตัวและรอยแตกร้าวที่ปรากฏที่จุดวิกฤติมีน้อยมากและต่ำกว่าพิกัดมากๆจนอาจสรุปได้ว่าการก่อสร้างในระบบกึ่งสำเร็จรูป ให้สมรรถนะทางโครงสร้างได้ดีเท่าระบบการก่อสร้างตามวิธีการปกติ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต วีรเจต บัณฑุกุล

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

4570550921 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD : CROSSHEAD BEAMS / SEMI-PREFABRICATED CONSTRUCTION / PRECAST CONCRETE/ TEMPORARY STRUCTURES

WERAJATE BANDHUKUL : THE STUDY FOR DESIGN GUIDELINES OF SEMI-PREFABRICATED CROSSHEAD BEAMS OF THE RIGID FRAME FOR ELEVATED HIGHWAYS. THESIS ADVISOR : PROF. EKASIT LIMSUWAN, Ph.D. 53 pp. ISBN 974-14-1984-8.

This study has introduced a semi-prefabricated construction of rigid frame crosshead of inverted T precast sections to be utilized as formwork and temporary support of the cast-in-situ portion. The behaviors for strengths and serviceability must be satistfied the structural performance of short and long term. Typical highway girders as I, T, U and Box with appropriate span lengths of 30, 35,32 and 45 m., respectively are used to accommodate 3, 4 and 6 lanes traffic. The study of structural behavior of precast portion has been controlled by the thickness as which shear to dominate the behavior with 40 cm for I-Girder, 50 cm. for T and U girder, and 80 cm. for Box-Girder. Sizes of precast member by mean of width and height are controlled by overall height of the highway girders as which the width of the member must be designed to accommodate loads and structural performance. Numbers of lifting has found to be 2 points for 3 lanes crosshead and 4 points for 4 and 6 lanes crosshead. As far as the temporary supports are concerned, the performance under its own weight and the weight of cast-in-situ portion with out crack, then the temporary supports must be located at 0.2 and 0.3 of total length from the columns. For those of 3 lanes and 4, 6 lanes, respectively.

Structural design of cross head frame as which may be considered as reinforced or prestressed concrete structures according to span length of the frame. It has indicated that 3 and 4 lanes frame could be the reinforced one with maximum reinforcement of $\rho \sim 1.8\%$. It has also shown that 6 lanes frame would required some post-tensioning with the prestressing ratio $\left(\rho_p\right)$ of 0.6 % $M-\phi$ diagram to verify the structural performance as strengths, deformation and cracks under service loads. It is shown that the strengths are satisfied and agree well with the conventional construction, upon the servicability as cracks and deformations have exhibited only in the critical section of very big margin. So it has proved that the semi-prefabricated construction can be performed well as those of the conventional ones.

Department Civil Engineering Student's signature

Field of study Civil Engineering Advisor' s signature

Academic year 2005

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือสนับสนุนอย่างดียิ่งจากท่านเหล่านี้ ได้แก่ ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ให้มีความสมบูรณ์มากที่สุด ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี ที่ได้ให้ความกรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร. วัฒนชัย สมิทธากร ที่ได้ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งได้ให้ความกรุณาในการตรวจแก้และให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยของกราบขอบพระคุณ มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านรวมทั้งได้ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยในการศึกษาตั้งแต่เด็กจนถึงปัจจุบันและโดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณสมบูรณ์ เชี่ยงฉิน ซึ่งกรุณาอ่านตรวจทานให้ คุณเอกรินทร์ การทางพิเศษฯและ คุณอาคม (TEC) ซึ่งเอื้อเฟื้อแบบ คุณกนกพัฒน์ ชาญไววิทย์ และ คุณทยากร จารุชัยมนตรี ซึ่งให้ความช่วยเหลือด้านความรู้และกำลังใจและสุดท้าย นาย ภูมิใจ ประเสริฐกุลวงศ์ ซึ่งเอื้อเฟื้อรูปภาพประกอบบางส่วน ประโยชน์ทางการศึกษาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขออุทิศให้แก่ คุณปู่ คุณย่า คุณตา คุณยาย บิดา มารดา และพี่

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา..... 1

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 1

1.3 วัตถุประสงค์..... 2

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย..... 3

1.6 ขั้นตอนการวิจัย..... 3

บทที่ 2 การก่อสร้างระบบกึ่งสำเร็จรูป 5

2.1 แนวคิดในการก่อสร้างคานขวางกึ่งสำเร็จรูป 5

2.2 ขั้นตอนการก่อสร้าง..... 8

บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 10

3.1 กำลังรับแรงเฉือนของบ่ารองรับ..... 10

3.1.1 กำลังรับแรงเฉือนทะลุ..... 10

3.1.2 กำลังรับแรงเฉือนเสียดทาน..... 12

3.1.3 กำลังรับแรงเฉือนอัดแตกในแท่งคอนกรีตรับแรงอัด..... 14

3.2 พฤติกรรมการรับแรงดัดในขั้นตอนการก่อสร้างคานสำเร็จรูป (บ่ารองรับ)..... 17

3.3 พฤติกรรมการรับแรงดัดของคานขวางรูปตัวทีกึ่งสำเร็จรูป..... 18

3.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของวัสดุ..... 19

3.3.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับความโค้ง..... 19

3.4 การแอ่นตัวของคานคอนกรีต..... 21

3.5 ความกว้างของรอยร้าวจากการดัด..... 23

หน้า

บทที่ 4 พฤติกรรมการดัดของคานขวางตัวทีหงายกึ่งสำเร็จรูป..... 24
4.1 ขนาดหน้าดัดของคานขวางรูปตัวทีหงาย..... 24
4.1.1 ความหนาและความกว้างของบ่ารองรับ..... 24
4.1.2 ความกว้างและความสูงของส่วนเอว..... 29
4.1.3 ขนาดหน้าตัดที่ใช้ในการศึกษา..... 30
4.2 พฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตสำเร็จรูป (ชิ้นส่วนบ่ารองรับ)..... 32
4.2.1 พฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตสำเร็จรูปขณะยกเพื่อติดตั้ง... 32
4.2.2 พฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตสำเร็จรูปในระบบโครงสร้างชั่วคราว..... 34
4.3 พฤติกรรมการดัดของคานขวางแล้วเสร็จ..... 36
4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมเมนต์และค่าความโค้ง..... 36
4.3.2 การแอ่นตัวของคานขวางกึ่งสำเร็จรูป..... 38
4.3.3 การแตกร้าวของคานขวางกึ่งสำเร็จรูป..... 41
4.3.4 หน่วยแรงของคานขวางคอนกรีตกึ่งสำเร็จรูป..... 41
บทที่ 5 แนวทางการออกแบบคานขวางกึ่งสำเร็จรูป..... 43
5.1 ขนาดคานขวางกึ่งสำเร็จรูป..... 44
5.2 คานขวางส่วนสำเร็จรูป 44
5.3 คานขวางกึ่งสำเร็จแล้วเสร็จ..... 46
5.4 การตรวจสอบการแอ่นตัวและขนาดรอยแตกร้าวในสภาวะใช้งาน..... 48
บทที่ 6 บทสรุป..... 50
รายการอ้างอิง..... 52
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 53

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 4

ตารางที่ 4.1 ความสูงของคานหลักและน้ำหนักที่ถ่ายสู่บ่ารองรับ..... 24

ตารางที่ 4.2 ความลึกประสิทธิผลของบ่าคานขวางที่รองรับหน้าตัดคานหลักชนิดต่างๆ..... 28

ตารางที่ 4.3 ขนาดของคานขวางรูปตัวทีหงายที่เหมาะสม..... 31

ตารางที่ 4.4 ความกว้างของเอวของคานขวาง..... 33

ตารางที่ 4.5 แสดงน้ำหนักของชิ้นส่วนสำเร็จรูป..... 33

ตารางที่ 4.6 จำนวนจุดยกและหน่วยแรงสูงสุด..... 34

ตารางที่ 4.7 ระยะค้ำยันที่เหมาะสม (l/L) 35

ตารางที่ 4.8 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนโครงสร้างชั่วคราว..... 36

ตารางที่ 4.9 การแอ่นตัวที่วิเคราะห์ได้ของคานขวางกึ่งสำเร็จรูปที่รองรับคานหลักตามขั้นตอนการก่อสร้าง..... 39

ตารางที่ 4.10 ความกว้างของรอยร้าวที่วิเคราะห์ได้จากคานขวางกึ่งสำเร็จรูป..... 41

ตารางที่4.11 หน่วยแรงของคานขวางตามขั้นตอนการก่อสร้าง..... 42

ตารางที่ 5.1 การออกแบบขนาดหน้าตัดของคานขวางกึ่งสำเร็จรูป..... 45

ตารางที่ 5.2 การออกแบบคานคอนกรีตสำเร็จรูป..... 47

ตารางที่ 5.3 ค่าโมเมนต์ในช่วงใช้งานต้านทานโดยานขวางกึ่งสำเร็จ..... 48

ตารางที่ 5.4 ค่าการแอ่นตัวและความกว้างของรอยแตกร้าวที่สภาวะใช้งาน..... 49

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ		หน้า
รูปที่ 2.1	โครงสร้างของทางยกระดับที่ใช้ในงานครั้งนี้	6
รูปที่ 2.2	ขนาดหน้าตัดของคานตัวทีหงาย	6
รูปที่ 2.3	หน้าตัดคานขวางกึ่งสำเร็จรูปตามขั้นตอนการก่อสร้าง	7
รูปที่ 2.4	ขั้นตอนการก่อสร้างคานขวาง	9
รูปที่ 3.1	การวิบัติที่แผ่นรองรับตัวในเนื่องจากแรงเฉือนแบบทะลุ	11
รูปที่ 3.2	ระยะการติดตั้งแผ่นยางรองรับ	11
รูปที่ 3.3	ความกว้างประสิทธิผลของบ่าภายใต้แรงเฉือน	14
รูปที่ 3.4	แบบจำลองสตรัทและไทของบ่ารองรับ	15
รูปที่ 3.5	ขนาดความกว้างของชิ้นส่วนคอนกรีตสตรัทเมื่อมีการเสริมเหล็กในชิ้นส่วนรับแรงดึง 1 ชั้น	16
รูปที่ 3.6	การกระจายของค่าความเครียดในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง	18
รูปที่ 3.7	ค่าตัวคูณสำหรับการแอ่นตัวระยะยาว	22
รูปที่ 3.8	การกระจายความเครียดในหน้าตัดแตกร้าวและค่าที่ใช้ในการคำนวณความกว้างรอยร้าว	23
รูปที่ 4.1	การถ่ายแรงจากคานหลักสู่คานขวาง	25
รูปที่ 4.2	ความลึกประสิทธิผลของบ่าคานขวางที่รองรับคานหลักรูปตัวไอ	26
รูปที่ 4.3	ความลึกประสิทธิผลของบ่าคานขวางที่รองรับคานหลักรูปตัวที	26
รูปที่ 4.4	ความลึกประสิทธิผลของบ่าคานขวางที่รองรับคานหลักรูปตัวยู	27
รูปที่ 4.5	ความลึกประสิทธิผลของบ่าคานขวางที่รองรับคานหลักรูปกล่อง D3	27
รูปที่ 4.6	ความลึกประสิทธิผลของบ่าคานขวางที่รองรับคานหลักรูปกล่อง D2	28
รูปที่ 4.7	การกระจายความเครียดและหน่วยแรงในการคำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัด	30
รูปที่ 4.8	ตำแหน่งจุดยกคานขวางส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปและค่าโมเมนต์ ที่ปรากฏ	32
รูปที่ 4.9	ระบบโครงสร้างชั่วคราว	35
รูปที่ 4.10	การกระจายตัวของความเครียดตามขั้นตอนการก่อสร้าง	37
รูปที่ 4.11	ความสัมพันธ์ของค่าโมเมนต์และค่าความโค้งของคานขวางรองรับคานหลักรูปตัวไอ จำนวนช่องจราจร 3 ช่อง	37
รูปที่ 4.12	ความสัมพันธ์ของค่าโมเมนต์และค่าความโค้งของคานขวางรองรับคานหลักรูปตัวไอ จำนวนช่องจราจร 4 ช่อง	38

หน้า

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของค่าโมเมนต์และค่าความโค้งของคานขวางรองรับคานหลักรูปตัวไอ จำนวนช่องจราจร 6 ช่อง..... 38
รูปที่ 4.14 ใช้แสดงตำแหน่งของหน่วยแรงในตารางที่ 4.11..... 41
รูปที่ 5.1 แผนผังการออกแบบคานขวางกึ่งสำเร็จรูป..... 43
รูปที่ 5.2 แสดงตำแหน่งจุดยกที่เหมาะสม..... 44
รูปที่ 5.3 ระบบโครงสร้างชั่วคราว..... 46