

วิธีการก่อสร้างแบบ Balance Cantilever

โดย

ดร. บวรพันธุ์ วงศ์อนันต์

FREYSSINET (THAILAND) Ltd.

วิธีการก่อสร้างแบบ Balance Cantilever

บทนำ

วิธีการก่อสร้างแบบ Balance Cantilever ได้รับความนิยมภายหลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 หลัง จากสะพานหลายแห่งได้ถูกทำลายลงจากสงคราม ประกอบกับการพัฒนาเทคโนโลยีด้านคอนกรีตอัดแรงเป็นผลให้วิธีการก่อสร้าง ประเภทนี้ถูกใช้นำมาก่อสร้างบ่อยครั้ง

วารสารคอนกรีต TCA e-magazine



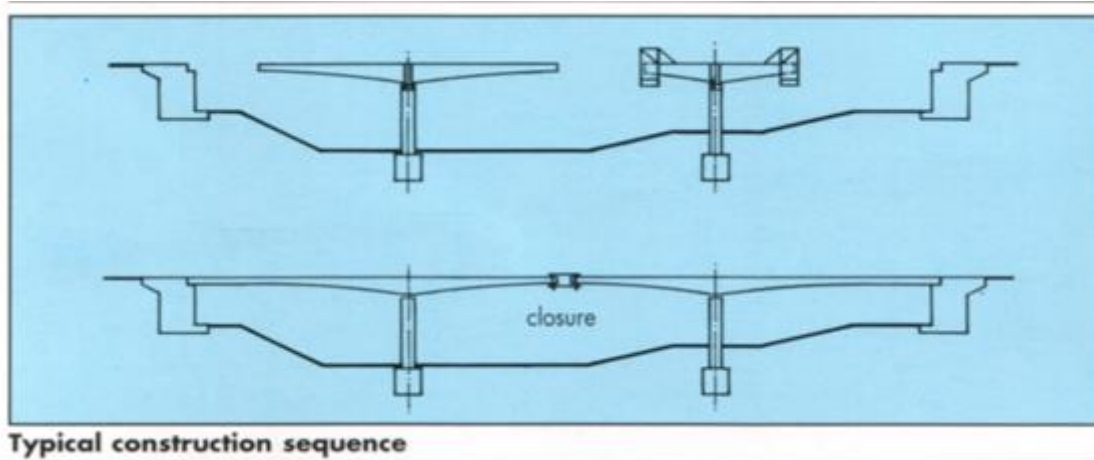
วิธีการก่อสร้างสะพานแบบดังกล่าวจะมีลักษณะการก่อสร้างเพิ่มส่วนยื่นออกไป ทั้งสองข้าง โดยในแต่ละส่วนที่ยื่นออกไป จะมีการดึงลวดอัดแรง เพื่อด้านกับน้ำหนักของส่วน ยื่น เมื่อขั้นตอนการก่อสร้างถึงช่วงหล่อชิ้นสุดท้าย ก็จะมีการดึงลวดช่วงกลาง เพื่อรับน้ำหนัก ที่เกิดจากโครงสร้างต่อเนื่อง (ดังแสดงในรูปที่ 1 และรูปที่ 2)

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

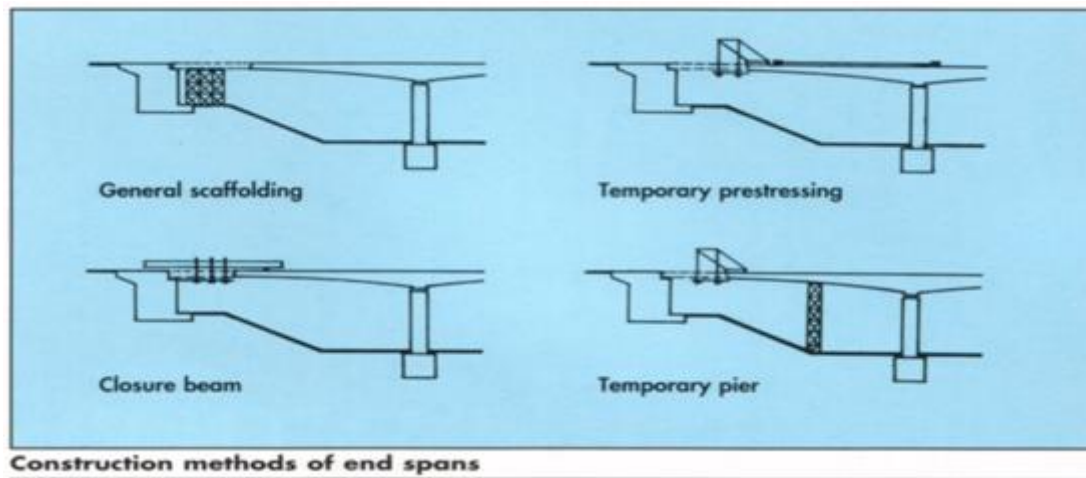
ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>

วารสารคอนกรีต

TCA e-magazine



รูปที่ 1 แสดงวิธีการก่อสร้างแบบ Balance Cantilever



รูปที่ 2 แสดงวิธีการก่อสร้างช่วงสุดท้าย

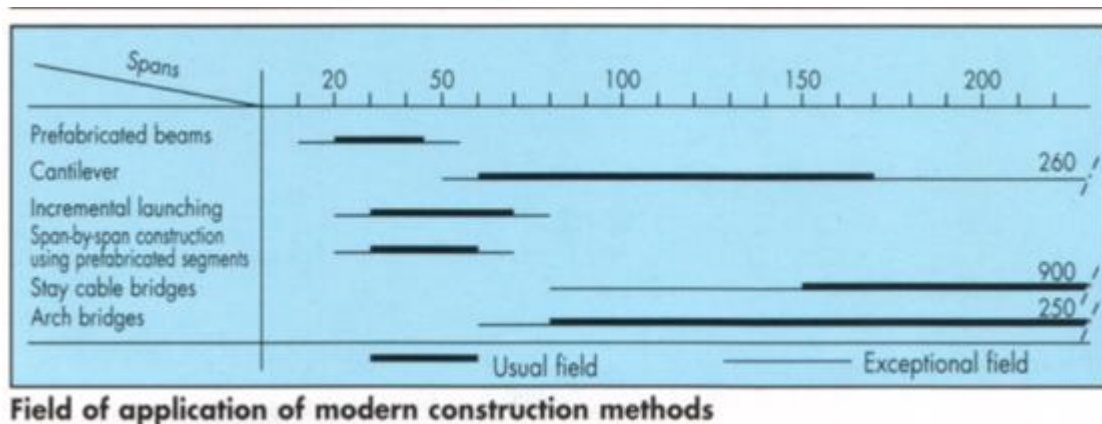
สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>

ข้อดีของการก่อสร้างสะพานด้วยวิธี Balance Cantilever มีหลายประการเช่น

- ไม่ต้องการนั่งร้านค้ำยัน (Scaffolding) ที่ต้องใช้ค้ำจากระดับพื้นล่าง ซึ่งเหมาะสำหรับในกรณีเป็นสะพานข้ามแม่น้ำหรือข้ามถนนที่มีการจราจรหนาแน่น
- ลดปริมาณการใช้แบบหล่อคอนกรีต (Formworks) และนั่งร้านค้ำยัน (Scaffolding) เนื่องจากการหล่อคอนกรีตทำครั้งละชิ้นส่วน (Segment) และใช้แบบหล่อซ้ำได้อีก
- ประสิทธิภาพการทำงานดีกว่าเนื่องจากระบบการก่อสร้างเป็นแบบที่เข้าไปมา ซึ่งจะทำให้คนงานมีความชำนาญมากขึ้นตามระยะเวลา
- การก่อสร้างสามารถก่อสร้างได้หลายช่วงพร้อมๆ กัน

ในปัจจุบันการก่อสร้างสะพานที่นิยมใช้ขึ้นกับช่วงความยาวสะพาน จากสถิติที่เก็บรวบรวมมาจัดแบ่งวิธีการก่อสร้างได้ดังนี้



รูปที่ 3 แสดงชนิดสะพานกับช่วงความยาวสะพานที่เหมาะสม

หลักการและแนวคิด (CONCEPT)

ลักษณะการก่อสร้างด้วยวิธี Balance Cantilever มีส่วนประกอบของโครงสร้างที่สำคัญดังนี้

1. ชิ้นส่วนของคอนกรีต

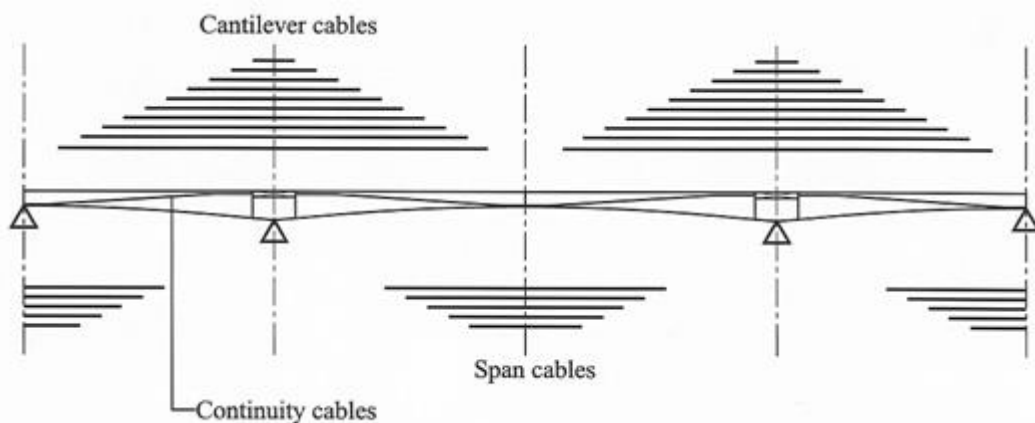
- Pier segment คือ ชิ้นส่วนของคอนกรีตที่อยู่บริเวณหัวเสา
- Segment คือ ชิ้นส่วนของคอนกรีตทั่วไปที่หล่อยื่นออกจากบริเวณหัวเสา
- Closure pour คือ ชิ้นส่วนของคอนกรีตที่ตำแหน่งหล่อช่วงเชื่อมต่อสุดท้าย

2. ลวดอัดแรง (ดังแสดงในรูปที่ 4)

- Cantilever cables คือ ลวดที่ใช้เพื่อรับแรงจาก moment ลบที่ช่วงหัวเสาโดยเฉพาะช่วงก่อสร้างที่มีการยื่นของสะพานมากๆ
- Span cables คือ ลวดที่เสริมในช่วงกลางสะพานเพื่อรับ moment บวกที่เกิดหลังจากที่มีการต่อเชื่อมช่วงกลาง (Closure segment) แล้ว
- Continuity cables คือ ลวดที่ยาวต่อเนื่อง เพื่อเสริมให้โครงสร้างมีพฤติกรรมแบบคานต่อเนื่อง

3. ชิ้นส่วนของโครงสร้างพิเศษที่ใช้ในการก่อสร้าง

- Traveller Formwork
- นั่งร้าน (Scaffolding)
- Closure beam
- Temporary Pier

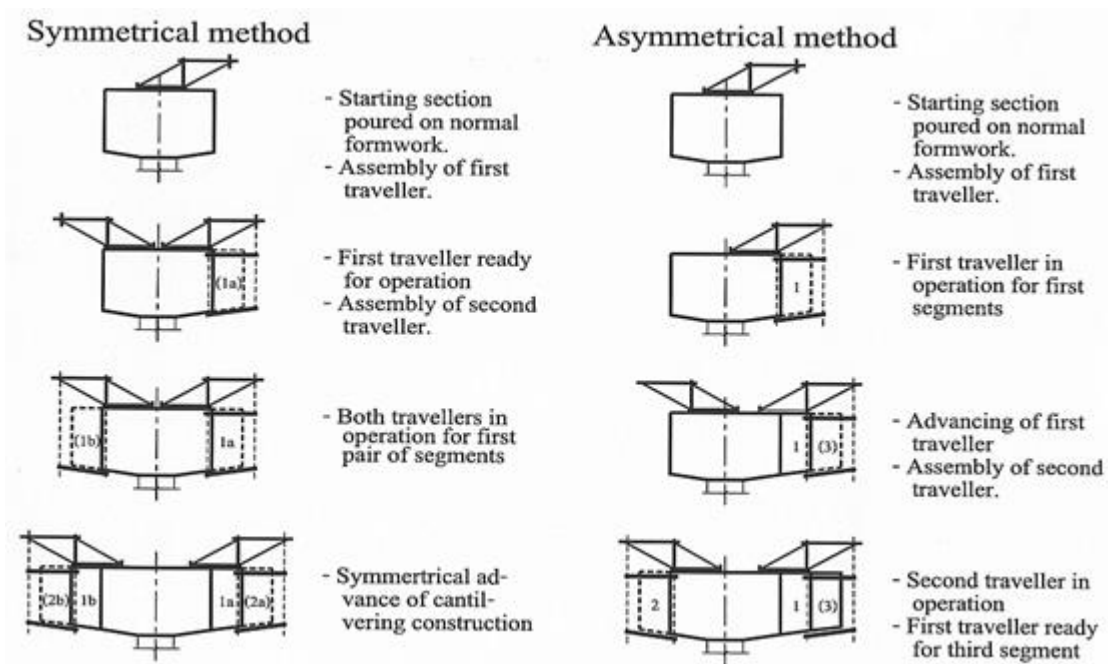


รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งของลวดอัดแรง

วิธีการก่อสร้างด้วย Balance Cantilever จัดได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะของวิธีการยื่นของโครงสร้าง

- วิธีสมมาตร (Symmetrical Method) จะทำการก่อสร้างยื่นทั้ง 2 ข้าง พร้อมๆ กัน วิธีนี้จะง่ายในขั้นตอนการออกแบบ แต่ในขั้นตอนการทำงานแล้วจะต้องการกำลังคนและอุปกรณ์ในการทำงานในเวลาเดียวกัน และต้องการพื้นที่บริเวณหัวเสามากพอที่จะติดตั้ง Formwork Traveller ทั้ง 2 ตัวได้ในเวลาเดียวกัน

วิธีอสมมาตร (Asymmetrical Method) จะทำการก่อสร้างยื่นทีละข้าง เพื่อลดพื้นที่การทำงานบริเวณหัวเสาและกระจายการทำงานและแรงงานออกไปไม่พร้อมๆ กัน แต่ในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงแนวการเสริมลวดอัดแรงและน้ำหนักที่ก่อสร้างไม่ พร้อมกันนี้ด้วย



รูปที่ 5 แสดงวิธีการก่อสร้าง

การวิเคราะห์โครงสร้างและผลจากการก่อสร้างในแต่ละช่วงเวลา

เนื่องจากการก่อสร้างจะทำการหล่อชิ้นส่วนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในแต่ละชิ้นส่วนก็จะทำการอัดแรง ทำให้หน่วยแรงที่วิเคราะห์จะต้องพิจารณาผลการอัดแรงที่มีอยู่ในโครงสร้าง เดิมบวกกับการอัดแรงครั้งใหม่ จึงจะได้หน่วยแรงลัพธ์สุดท้ายที่หน้าตัดนั้นๆ ซึ่งเมื่อทำการก่อสร้างเพิ่มส่วนอื่นไปเรื่อยๆจนถึงส่วนของการหล่อชิ้นส่วน หล่อปิด (Closure pour) และทำการดึงลวดอัดแรงของลวดช่วงกลาง (Span Tendons) ทำให้โครงสร้างเปลี่ยนสภาพจากช่วงขึ้นเป็นช่วงต่อเนื่องใช้รับน้ำหนักที่สภาวะ ใช้งาน ดังนั้นการวิเคราะห์โครงสร้างจะต้องคำนึงถึงผลดังกล่าวในการคำนวณ เพราะค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการก่อสร้าง อาจมีค่าวิกฤติกว่าในสภาวะการใช้งานก็เป็นได้

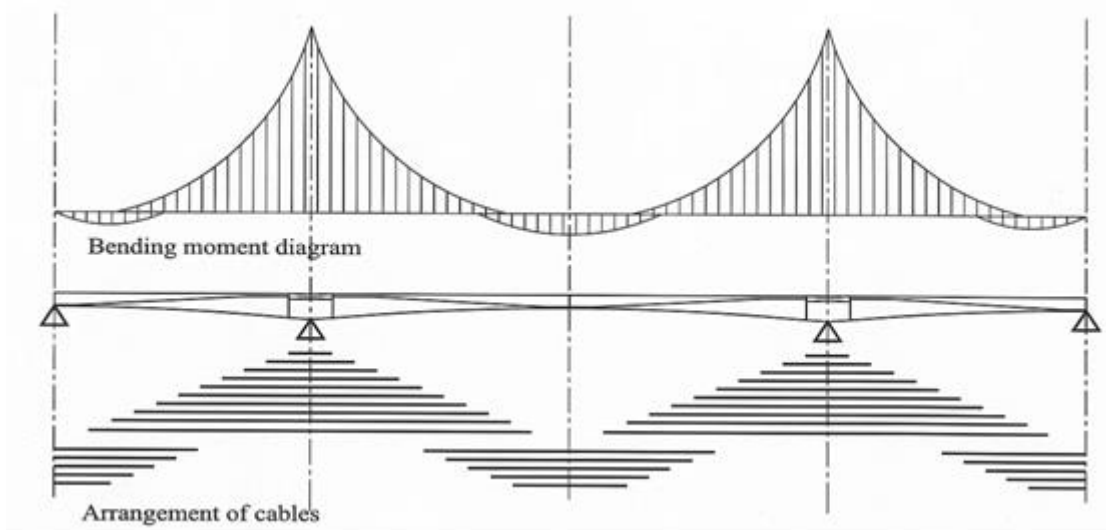
การวิเคราะห์และออกแบบ

การวิเคราะห์โครงสร้างของวิธีการก่อสร้างด้วย Balance Cantilever จะพิจารณาถึงสภาพการก่อสร้างซึ่งค่อยๆ เพิ่มส่วนขึ้นตามเวลา ซึ่งสภาพน้ำหนักที่กระทำต่อตัวโครงสร้างจะเปลี่ยนไปตามสภาพโครงสร้างด้วย เช่น ตำแหน่งของน้ำหนักจาก Traveller, น้ำหนักของชิ้นส่วน ที่เทใหม่ เป็นต้น จากสภาพน้ำหนักที่แตกต่างกัน ในแต่ละช่วงเวลานี้ เป็นผลให้ในการออกแบบจะต้องพิจารณาสภาพของการก่อสร้างและช่วงเวลาที่ใช้ใน การก่อสร้างโดยละเอียด โดยคำนึงถึงผลการเสถียรภาพอันเนื่องมาจาก Creep และ Shrinkage ของคอนกรีตด้วย

นอกจากการก่อสร้างที่เวลาต่างๆ จะมีผลกับน้ำหนักที่กระทำและหน่วยแรงที่เกิดขึ้นแล้ว ในส่วนของตัวโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง แรงในลวดอัดแรงก็จะมีผลสูญเสียไปตามเวลาเช่นกัน สาเหตุของแรงในลวดที่สูญเสียไปตามเวลาคือ Creep, Shrinkage, Relaxation, Elastic Shortening ซึ่งจะต้องนำมาพิจารณาด้วย

จำนวนและตำแหน่งลวด

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างเมื่อรวมผลของเวลาและขั้นตอนการก่อสร้างมาพิจารณาแล้ว การให้จำนวนและตำแหน่งลวดจะขึ้นอยู่กับ Moment Diagram ซึ่งแนวทางการจัดลวดจะเป็นไปตาม Moment Diagram ดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 6



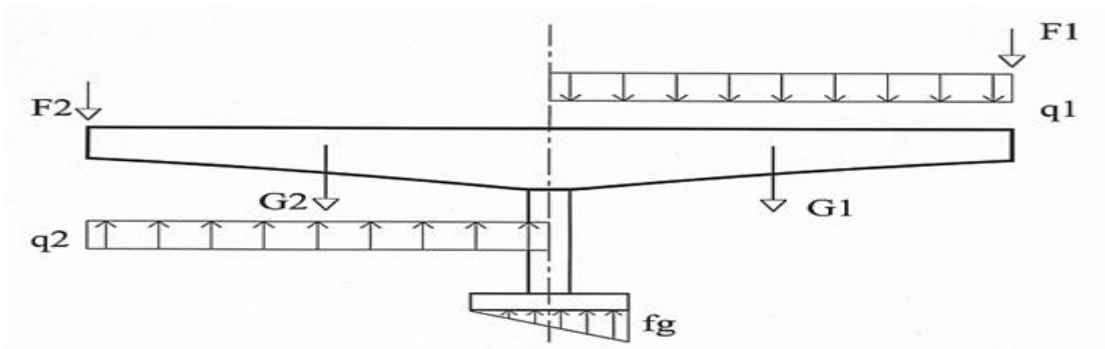
รูปที่ 6 แสดงการจัดลวดกับ Moment ที่เกิดขึ้น

เสถียรภาพของโครงสร้าง

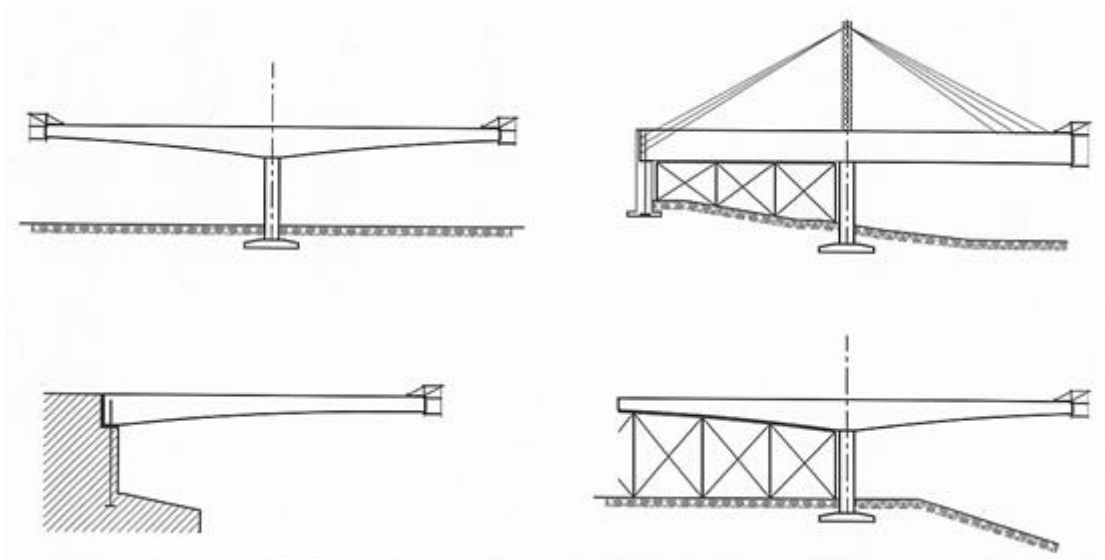
การก่อสร้างด้วยวิธี Balance Cantilever นี้ เสถียรภาพของโครงสร้างเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะการขาดสมดุล (Overturning) จากสภาพน้ำหนัก ที่เกิดขึ้นไม่เท่ากันทั้งสองข้าง สภาพน้ำหนักที่เกิดจะต้องพิจารณาดังนี้

- ผลแตกต่างของน้ำหนักโครงสร้างที่ตั้งสมมุติฐานไว้กับการก่อสร้างจริง
- ผลของน้ำหนักของตัวโครงสร้างกรณี que ก่อสร้างด้วยวิธี อสมมาตร (Asymmetrical)
- ผลของน้ำหนักที่กระทำจากอุปกรณ์การก่อสร้างที่รู้ตำแหน่งแน่นอน เช่น Formwork Traveller
- ผลของน้ำหนักที่กระทำจากการก่อสร้างที่มีการเคลื่อนย้าย เช่น วัสดุ, เครื่องมือ, คน ซึ่งจะต้องพิจารณาเป็นกรณีไป
- แรงลม
- สภาพที่รับน้ำหนักมากขึ้น เนื่องจากผลของแรงกระแทก (Impact Effect)

หากผลของการพิจารณาพบว่าโครงสร้างไม่เสถียรภาพแล้ว จึงจำเป็นต้องเสริมเสถียรภาพของโครงสร้างด้วยวิธีต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 7 แสดงแรงที่กระทำกับ โครงสร้างเพื่อพิจารณาเสถียรภาพ



รูปที่ 8 แสดงวิธีการเสริมเสถียรภาพของโครงสร้าง

ค่าการโก่งตัว

ค่าการโก่งตัวของวิธี Balance Cantilever จะมีลักษณะโก่งลง เมื่อมีน้ำหนักจากการก่อสร้าง และจากน้ำหนักของคอนกรีตส่วนที่หล่อใหม่ แต่จะโก่งตัวขึ้นเมื่อมีการอัดแรง นอกจากนี้ผลจากการทรุดของฐานรากก็มีผลต่อระดับสะพานเช่นกัน ผลดังกล่าวจะเกิดการโก่งตัวเช่นนี้ซ้ำซ้อน จนกระทั่งถึงช่วงที่หล่อ Closure Pour ซึ่งจะต้องให้ระดับที่ทำมาจาก 2 ฝั่งมีค่าใกล้เคียงกันเพื่อหล่อส่วนปิดนี้ได้

ดังนั้นการคำนวณค่าการโก่งตัวโดยละเอียดจึงจำเป็น เพื่อคาดการณ์ค่าการโก่งตัวให้รูปร่างของสะพานได้ตามที่ต้องการในสภาพใช้งาน การวัดค่าการโก่งตัวของแต่ละช่วงที่อัดแรง จะใช้เส้นคานวโน้มการโก่งตัวที่เกิดขึ้นจริงกับการโก่งตัวที่ได้จากการคำนวณ เพื่อนำไปปรับระดับแบบหล่อ ในการหล่อชิ้น (Segment) ต่อไป จนกระทั่งสามารถทำให้ระดับช่วงขึ้นส่วนหล่อปิด (Closure Pour) มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 2 ข้างให้มากที่สุด

การวัดและการตรวจสอบการก่อสร้าง

การวัดและการตรวจสอบการก่อสร้างเป็นสิ่งจำเป็นที่ผู้ควบคุมการก่อสร้างต้องให้ความสำคัญ เนื่องจากจะมีผลถึงลักษณะรูปร่างของสะพาน ความปลอดภัยในระหว่างการก่อสร้าง และความแข็งแรงของโครงสร้างในสถานะใช้งาน วิศวกรและผู้ปฏิบัติงานควรมีประสบการณ์และเชี่ยวชาญเป็นพิเศษ จุดที่ควรให้ความสนใจเป็นพิเศษในการควบคุมการก่อสร้าง ของสะพาน มี 2 จุด ที่สำคัญดังนี้

1. Traveller แบ่งเป็นแต่ละช่วงการทำงานดังนี้

- ขั้นตอนการติดตั้ง ควรตรวจสอบตำแหน่งของ Tie Down ต่างๆ การยึดโยงกัน เช (Bracing) ระดับล้อย ระดับราง ชิ้นส่วนหิ้ว (Hanger) แบบหล่อต่างๆ
- ขั้นตอนการหล่อชิ้นส่วน ควรตรวจสอบระดับการหล่อตามแบบที่ให้ระดับไว้ ตาม Casting Curve

- ขั้นตอนการเลื่อน ควรตรวจสอบว่า ได้ยึดตรงอย่างถูกต้องเพียงพอและได้ถอดชิ้นส่วนแบบให้หลุดพ้นจากคอนกรีตเดิม ก่อนทำการเลื่อน

ในทุกขั้นตอนจะต้องมีรายการตรวจสอบ (Check List) เพื่อให้มั่นใจว่าได้ปฏิบัติตามทุกขั้นตอนอย่างถูกต้อง

2. ระดับ ของสะพาน การคำนวณระดับของสะพานถึงจะคำนวณโดยละเอียดแล้ว แต่ในสภาพจริงอาจไม่ตรงกับสมมติฐานที่ใช้ การวัดระดับตรวจสอบในแต่ละขั้นตอนจึงเป็นข้อมูลที่สำคัญเพื่อใช้ในการปรับแก้ค่าสมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณเพื่อให้ระดับของสะพานให้ มีรูปร่างตามที่ต้องการ

รายละเอียดของแบบก่อสร้าง (Detailing)

การให้รายละเอียดตำแหน่งของลวด จะต้องพิจารณาประกอบไปกับช่องเปิดท่อ (Sleeve) ต่างๆ ซึ่งจะมีไว้สำหรับการยึด Traveller และเหล็กเสริมต่างๆ โดยเฉพาะในแนว Web ที่อาจจะมาตัดกับแนวลวดได้