# ตำแหน่งและสถานการณ์ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในระหว่างการก่อสร้างโครงสร้าง Viaduct ระบบ Segmental Box Girder ด้วย Launching Gantry (LG)

หลักสูตร ความปลอดภัยในการทำงานติดตั้งชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป (Precast Segment)

วันที่ 25 กรกฎาคม 2566 ห้องสัมมนาเทิดศักดิ์ เศรษฐมานพ ชั้น 3 กองฝึกอบรม กรมทางหลวง

บรรยายโดย ปั้นเจตน์ ธรรมรักษ์

# ข้อมูลเบื้องต้นของผู้บรรยาย

**ดร. ปั้นเจตน์ ธรรมรักษ์**

อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโครงสร้าง สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (Asian Institute of Technology, AIT) ปี 2009 – 2020
อาจารย์พิเศษสาขาวิศวกรรมโครงสร้าง ปี 2020 – ปัจจุบัน
กรรมการผู้จัดการ บริษัท เรโซลูชั่น เอนยิเนียริ่ง จำกัด (ดำเนินธุรกิจการตรวจวัด ตรวจสอบ ทดสอบโครงสร้าง) ปัจจุบัน

**Specializations**

Computer Method in Structural Analysis : Direct Stiffness Approach & Computer Implementation
Finite Element Method :
Structural Health Monitoring :
Reversed Engineering :
Physical Specimen Testing :

**ผลงานสำคัญ**

งานตรวจสอบสะพานพระราม 9 ในรอบ 35 ปี
งานตรวจสอบสะพานกาญจนาภิเษกในรอบ 15 ปี
งานตรวจสอบสะพานพระราม 8 และระบบเฝ้าระวังพฤติกรรมของสะพาน
งานออกแบบวิธีการและควบคุมการยกโดมฝาถังเก็บไฮโดรคาร์บอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 เมตร ที่เสียหายจากแรงระเบิด
งานทดสอบผลตอบสนอง และกลไกการถ่ายแรงของถังไซโลขนาด 3,200 ตัน

# กรอบเนื้อหาในการนำเสนอ

**ส่วนประกอบของ Launching Gantry การถ่ายแรง กลไกการรับแรง**

**การ Break Down ความเสี่ยงอันตรายในแต่ละขั้นตอนการทำงาน**

- การประกอบ Launching Gantry
- การยกชิ้นส่วน Segmental Box Girder (SBG) เพื่อติดตั้ง
  - ระบบ Winch และการตรวจสอบลวดสลิง (การแตกขาดของลวด)
  - ระบบ PT Bar
- การดึงลวดอัดแรงและการเกร้าท์ด้วยน้ำปูน
- การ Launch Truss/Girder

**การใช้ระบบเซนเซอร์ IoT เพื่อเฝ้าระวังและแจ้งเตือนเพื่อปิดจุดเสี่ยง**

- ระบบ LG Monitoring System (LGMS)

**การติดตั้งระบบกล้องวงจรปิดเพื่อเก็บข้อมูลภาพวีดีโอในระหว่างเกิดอุบัติเหตุ**

- มุมของการถ่าย และการครอบคลุมพื้นที่เฝ้าระวัง

# ชิ้นส่วนหลักของ Launching Gantry

# ชิ้นส่วนหลักของ Launching Gantry

2019_02_15 DOH M6 (Saraburi)

## Steel Box Girder & Truss Nose

Picture Courtesy: Punchet Thammarak

# ชิ้นส่วนหลักของ Launching Gantry

# ชิ้นส่วนหลักของ Launching Gantry

Picture Courtesy: Punchet Thammarak

# ชิ้นส่วนหลักของ Launching Gantry (LG)

Main Girder / Main Truss : Bending and Shear <PT bar and Shear Pin>

Front Leg

LCB1, LCB2 (Lower Cross Beam / Middle Leg)

Rear Leg

Winch Trolley : Tension <Wire Rope>

Spreader Connection : Shear

Pier Bracket : Bending and Compression <PT Bar>

# Main Girder / Main Truss

Homogeneity / Connectivity

Axial Force > Bending Capacity

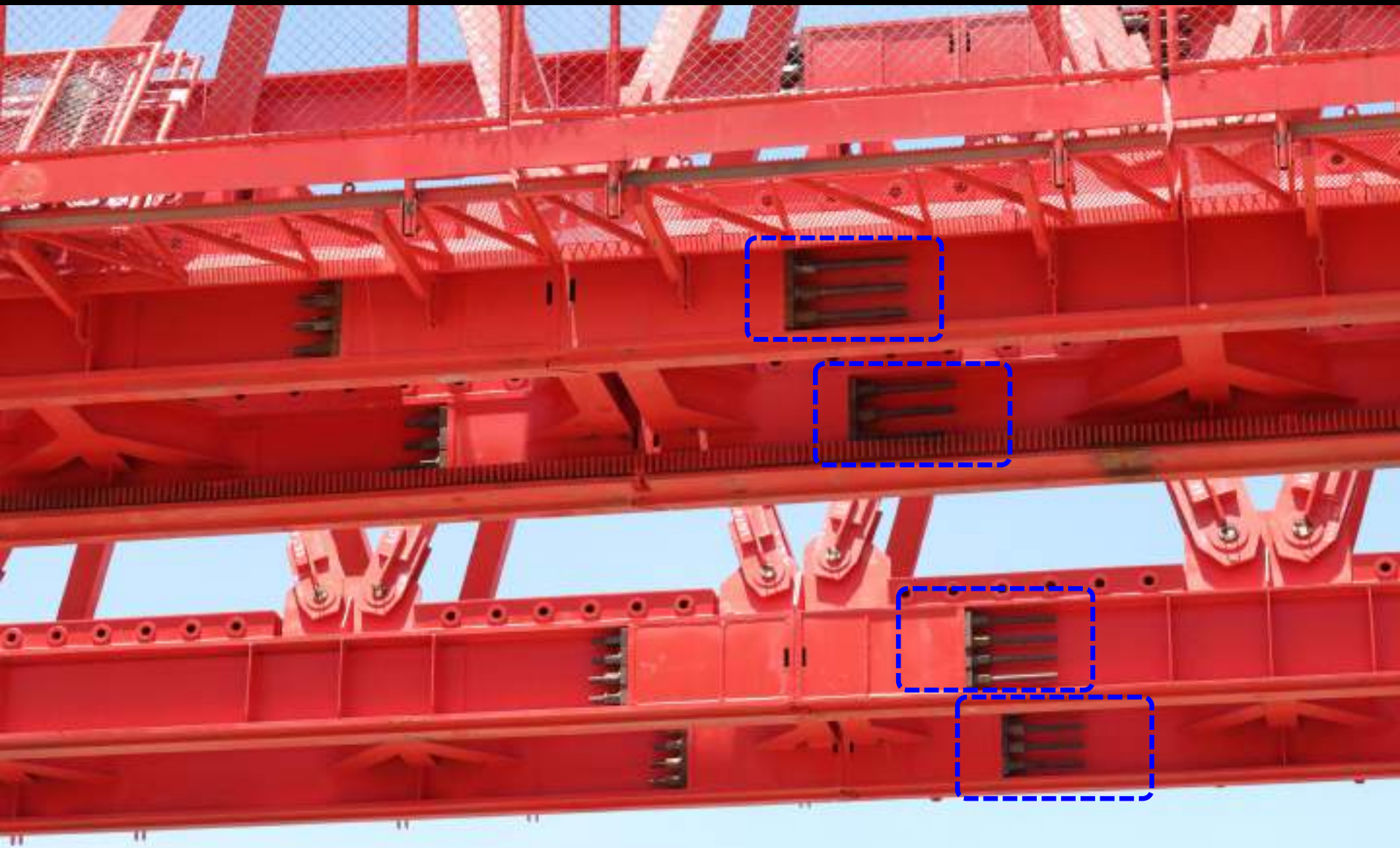
Shear Force

# การใช้ PT Bar ในการประกอบ Main Truss

2018_10_07

Short PT Bar, no space for hollow jack. Preloaded?

# การใช้ PT Bar ในการประกอบ Main Truss



Well prepared for reloading

# การใช้ PT Bar ในการประกอบ Main Truss

2017_06_23

# PT Bar กับการ Preload ด้วยประแจหกเหลี่ยมและค้อนปอนด์ ได้แรงดึงมากน้อยแค่ไหน ?

เคยได้มีการทดสอบว่าแท่งเกลียวเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 50 มม. พร้อม Nut ที่กลึงมาอย่างดี (ดีกว่าเกลียว PT Bar กับตัว PT Nut เพราะลื่นกว่าและเกลียวละเอียดกว่า ได้เปรียบเชิงกลสูงกว่า) และใช้เหล็กยาวมากกว่า 1 เมตรยึดกับเกลียวแล้วออกแรงบิดด้วยแรงคน แล้วทำการวัดค่าแรงอัดที่เกิดขึ้นด้วย Load Cell พบว่า ได้แรงมากสุดไม่เกิน 2 ตัน ด้วยเงื่อนไขดังกล่าวที่ดีกว่าเงื่อนไขการทำงานในภาคสนาม

ดังนั้นแล้ว อย่าใช้ความรู้สึกมาตัดสินความตึงของ PT Bar เพราะแรงของคน เทียบกับแรงของ PT Bar อยู่คนละระดับ Order of Magnitude กันเลย (เกิน 100 เท่า) คำว่า “ตึงมือ” จะทำด้วยวิธีใดก็ตาม แทบจะไม่มีผลอะไรในเชิงโครงสร้างเลย

นอกจากนี้ การใช้ค้อนปอนด์หวดประแจหกเหลี่ยม น่าจะเกิดผลในทางลบมากกว่าด้วยซ้ำ เนื่องจากสร้างแรงกระแทกที่ก่อให้เกิดโมเมนต์ดัดต่อ PT Bar ซึ่งจะลดอายุการใช้งานในระยะยาว

# Trolley Winch & Spreader

# Spreader สำหรับยกชิ้นส่วน Segment

# Spreader สำหรับยกชิ้นส่วน Segment

# Spreader สำหรับยกชิ้นส่วน Segment

# Spreader Beam / Frame & Lifting Gadgets

# Tapered Plate / Anchor Plate

2023_01_19

# Tapered Plate / Anchor Plate

# Tapered Plate / Anchor Plate

# Tapered Plate / Anchor Plate

# Spreader Frame

2019_02_15

# Spreader Frame

# Top Anchor

# Spreader Beam

# Spreader Beam

# Spreader Beam

# Spreader Beam

# Spreader Frame

# Spreader Frame

# Spreader Frame

# การป้องกันการวิบัติของระบบจับยึดชิ้นงานระหว่างการยกและการจัดเรียงก้อน

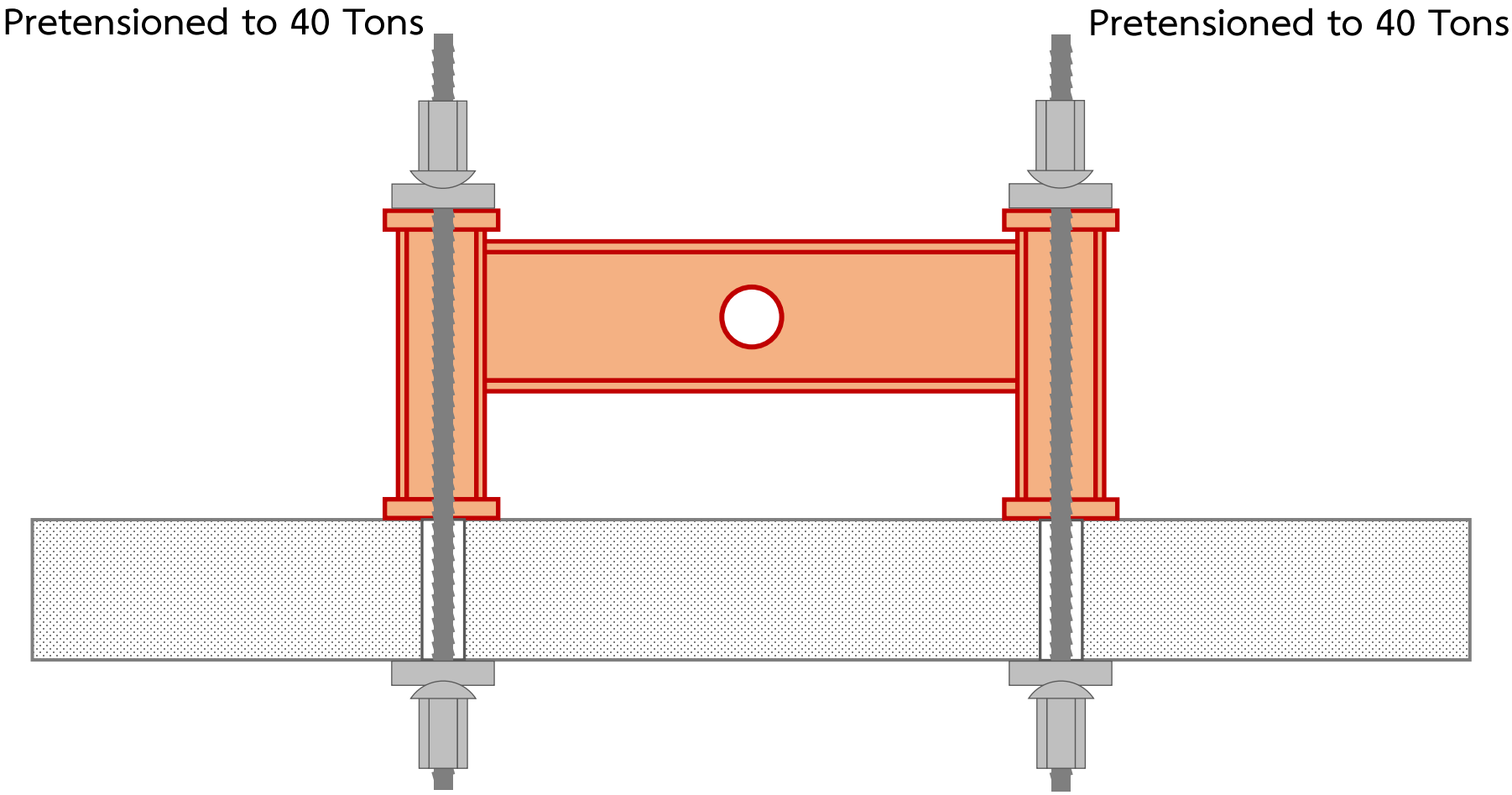
**ปัญหา:** เนื่องจากชิ้นส่วนที่ใช้ในการยึดจับชิ้นงาน อาจผลิตมาจากวัสดุที่มีความเปราะ เช่น High Carbon Steel ซึ่งอาจจะมีปัญหาเรื่องความล้า และรอยตำหนิในเนื้อวัสดุ ซึ่งปัญหาเหล่านี้จะก่อให้เกิดการวิบัติภายใต้หน่วยแรงดึง จึงมีแนวทางปฏิบัติที่แนะนำให้สองแนวทางคือ

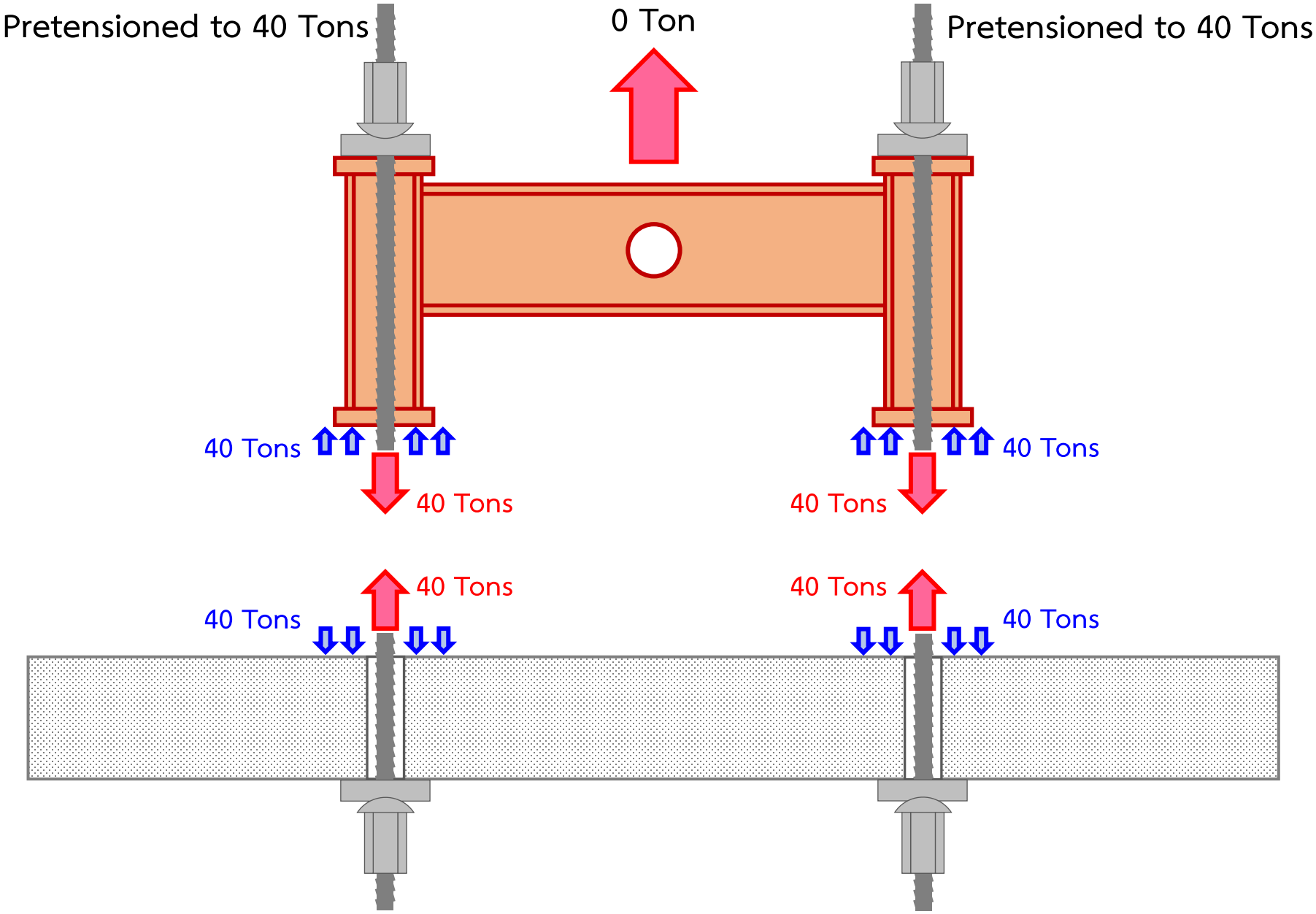
1 ยกเลิกการใช้งานวัสดุที่มีความเปราะ และเปลี่ยนไปใช้วัสดุที่มีความเหนียวแทน เช่น กรณีแผ่นเหล็กรองสลักเกลียว หรือกรณีการใช้ลวดตีเกลียวแทน PT Bar ในบางกรณีที่มีความเหมาะสม

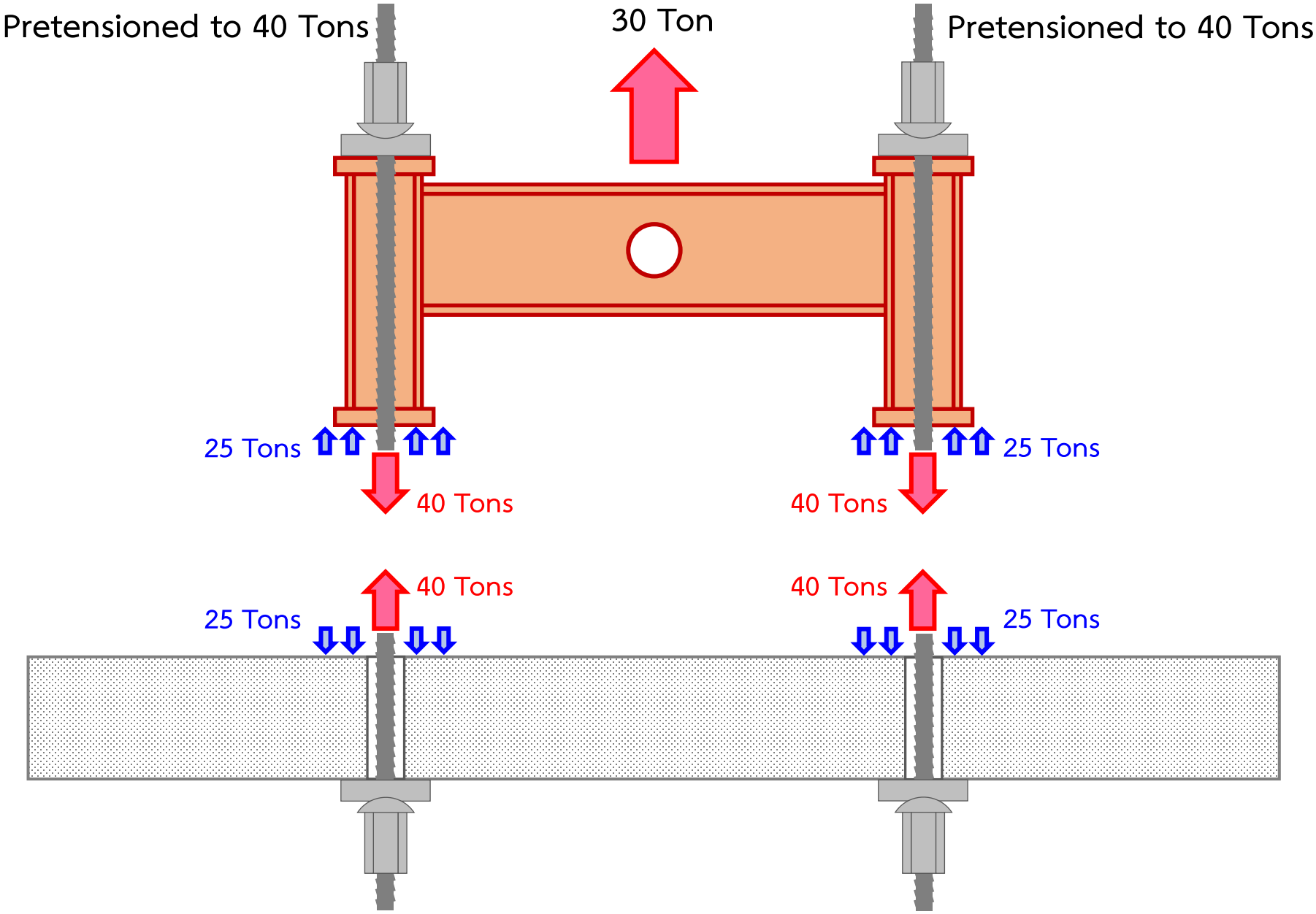
2 หากไม่สามารถหาวัสดุที่มีความเหนียวมาใช้ทดแทนได้ จะต้องทำการทดสอบหาร่องรอยของตำหนิ เช่น การทำ Ultrasonic Test เพื่อหาระนาบแตกร้าวในเนื้อวัสดุ เป็นประจำตามมาตรฐานสากล (ทุกๆ 3 เดือน)

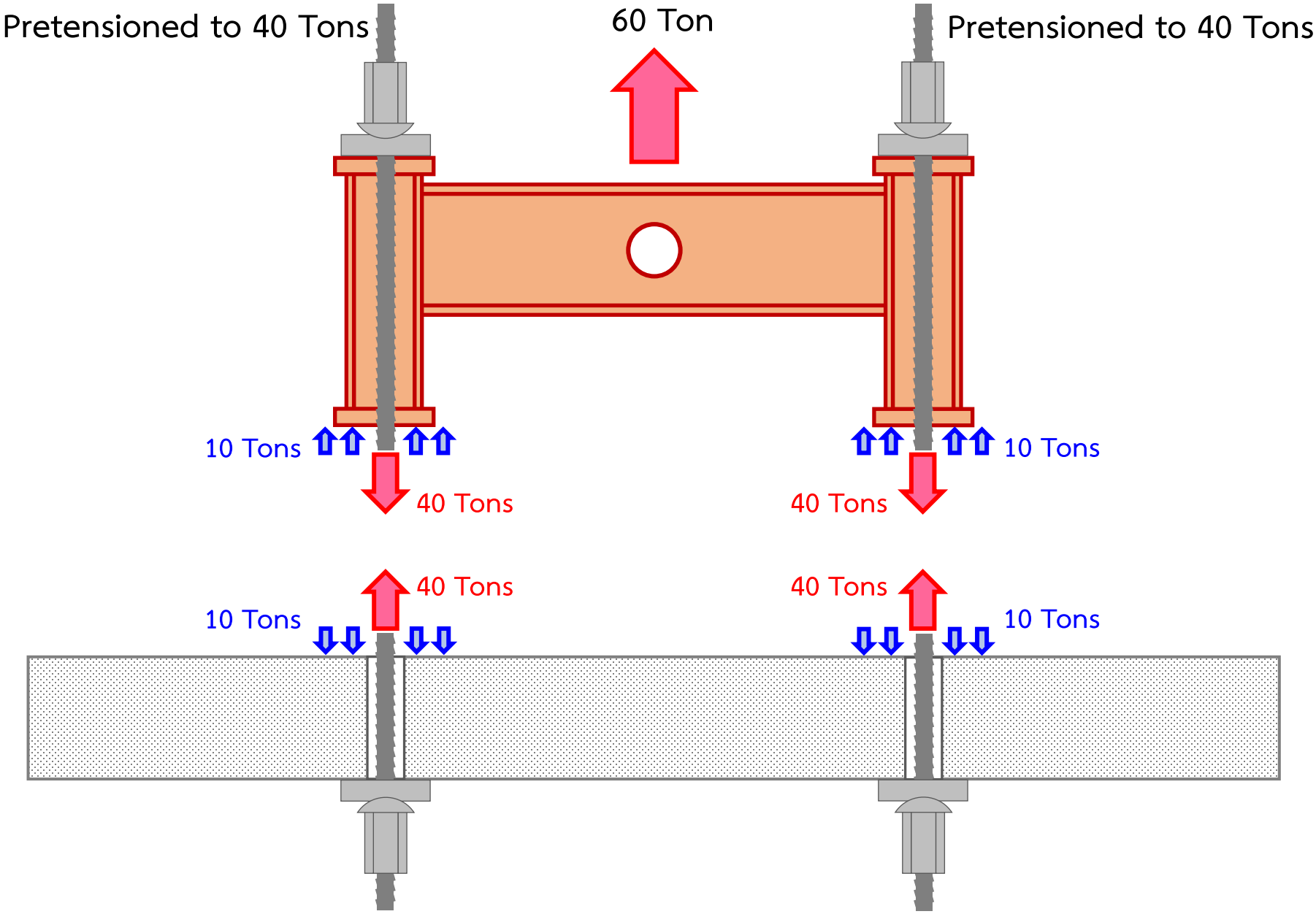
3 ทำการยึดจับชิ้นงาน โดยเฉพาะในบริเวณที่มีชิ้นส่วนที่เปราะ ด้วยการ preload / prestress จนถึงระดับของแรงดึงที่สูงกว่าค่าที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการยก

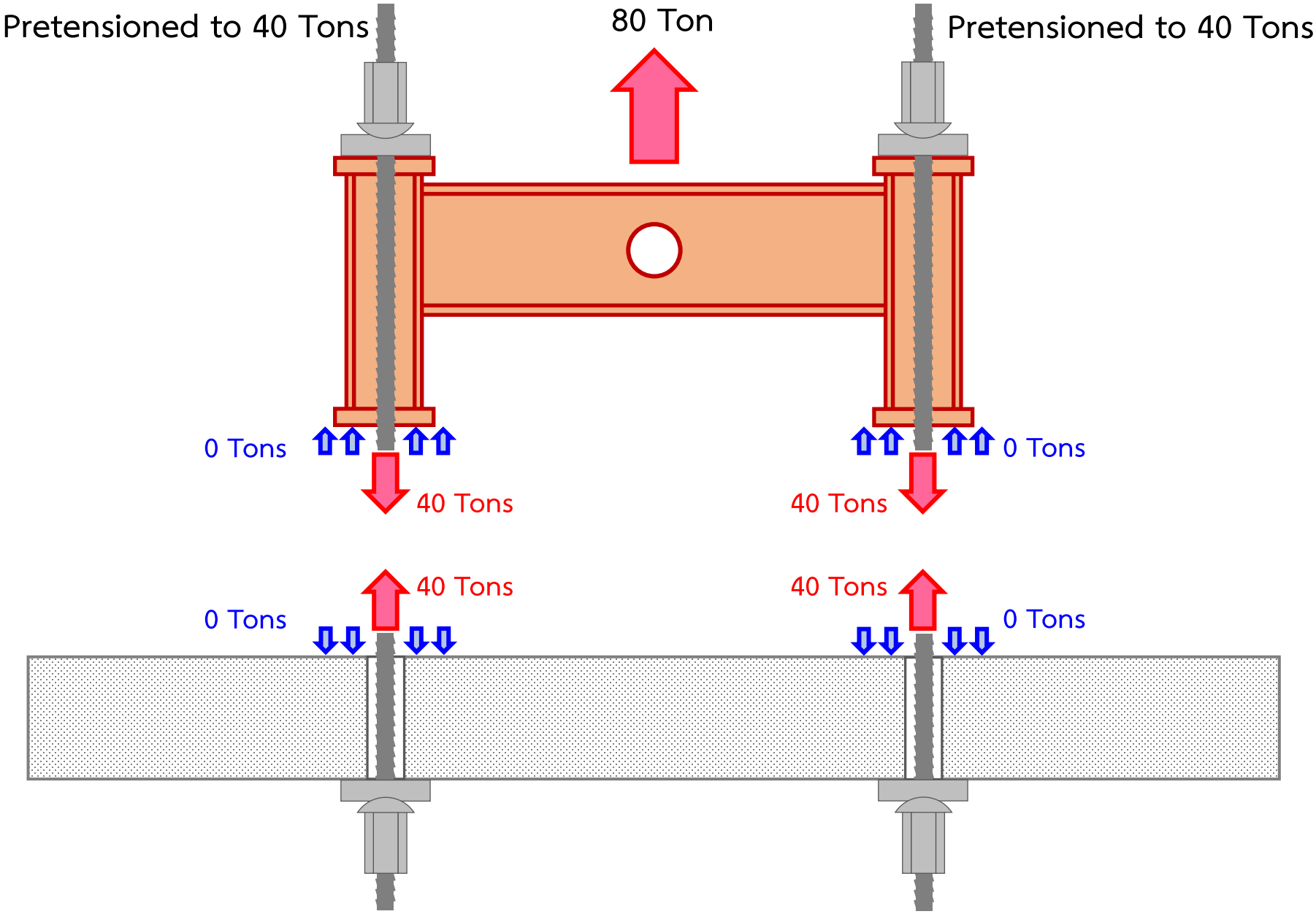
การเกิด Fatigue Crack จะเกิดเฉพาะภายใต้สภาวะที่มีหน่วยแรงดึง (ซึ่งอาจจะเกิดจาก direct tension หรือ bending ก็ได้) และจะมีผลที่เพิ่มมากขึ้น (การแผ่ขยายของรอยร้าว Crack Propagation) เมื่อมีการสลับทิศทางของหน่วยแรง (Stress/Load Reversal)

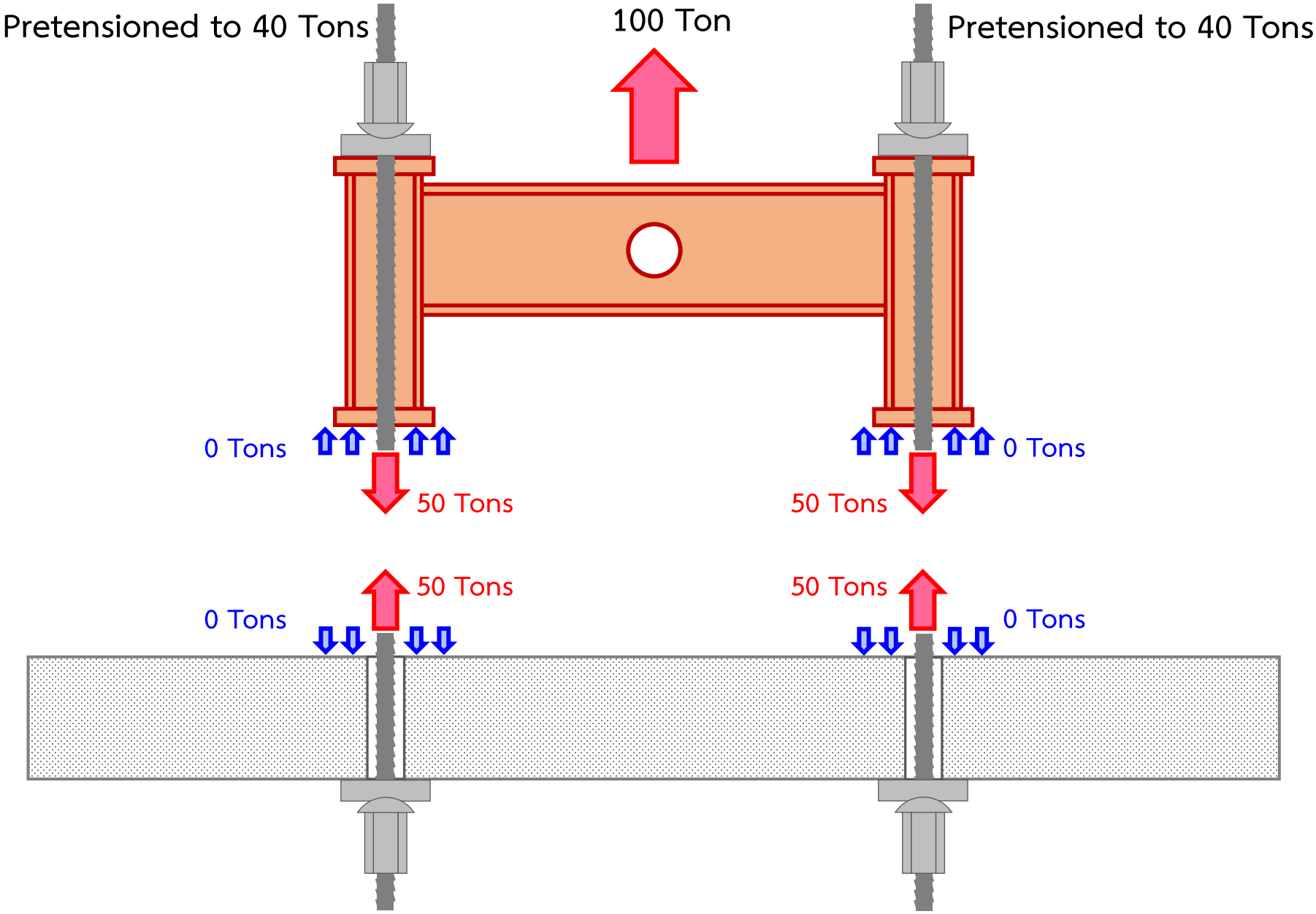

Pretensioned to 40 Tons
Pretensioned to 40 Tons


Pretensioned to 40 Tons
0 Ton
Pretensioned to 40 Tons
40 Tons
40 Tons
40 Tons
40 Tons
40 Tons
40 Tons
40 Tons
40 Tons


Pretensioned to 40 Tons
30 Ton
Pretensioned to 40 Tons
25 Tons
40 Tons
40 Tons
25 Tons
40 Tons
25 Tons
40 Tons
25 Tons


Pretensioned to 40 Tons
60 Ton
Pretensioned to 40 Tons
10 Tons
40 Tons
40 Tons
10 Tons
40 Tons
10 Tons
40 Tons
10 Tons


Pretensioned to 40 Tons
80 Ton
Pretensioned to 40 Tons
0 Tons
40 Tons
40 Tons
0 Tons
40 Tons
0 Tons
40 Tons
0 Tons


Pretensioned to 40 Tons
100 Ton
Pretensioned to 40 Tons
0 Tons
50 Tons
50 Tons
0 Tons
50 Tons
0 Tons
50 Tons
0 Tons

# Pier Segment Installation & Supports

Temporary Stabilizer for Pier Segment : Shear Pin/Sleeve & PT Bar

Capable to Resist Shear Force

# Pier Segment Installation & Supporting Bracket

# Pier Segment Installation & Supporting Bracket

# Pier Segment Installation & Supporting Bracket

# Pier Segment Installation & Supporting Bracket

2017_06_23

# Pier Segment Installation & Supporting Bracket

# Pier Segment Installation & Supporting Bracket

# Pier Segment Installation & Supporting Bracket

# Pier Segment Installation & Supporting Bracket

# Pier Segment Installation & Supporting Bracket

# Pier Segment & Pier Bracket

Lower Cross Beam Leg Positioning : Shear Damage to the Pier Segment

# Load Path through Pier Segment

# Load Path through Pier Segment

# Load Path through Pier Segment

2019_02_15

# Load Path through Pier Segment

2017_06_23

ระหว่างการติดตั้ง SBG น้ำหนัก LG และ Segment ทั้งหมด
ถ่ายลงสู่กระบอกไฮดรอลิคส์ โดย Bearing Unit ยังไม่ได้มีส่วนช่วยรับแรง

# Load Path through Pier Segment

2019_02_15

ตำแหน่งของขา LCB ถูกควบคุมด้วยขนาดเชิงมิติของ Segment ซึ่งกำหนดตำแหน่งการยึดจับชิ้น Segment และการวาง Main Truss/Girder

ตำแหน่งของขาของ Pier Bracket ถูกควบคุมด้วยขนาดเชิงมิติของ Pier และตำแหน่งของ Pot Bearing

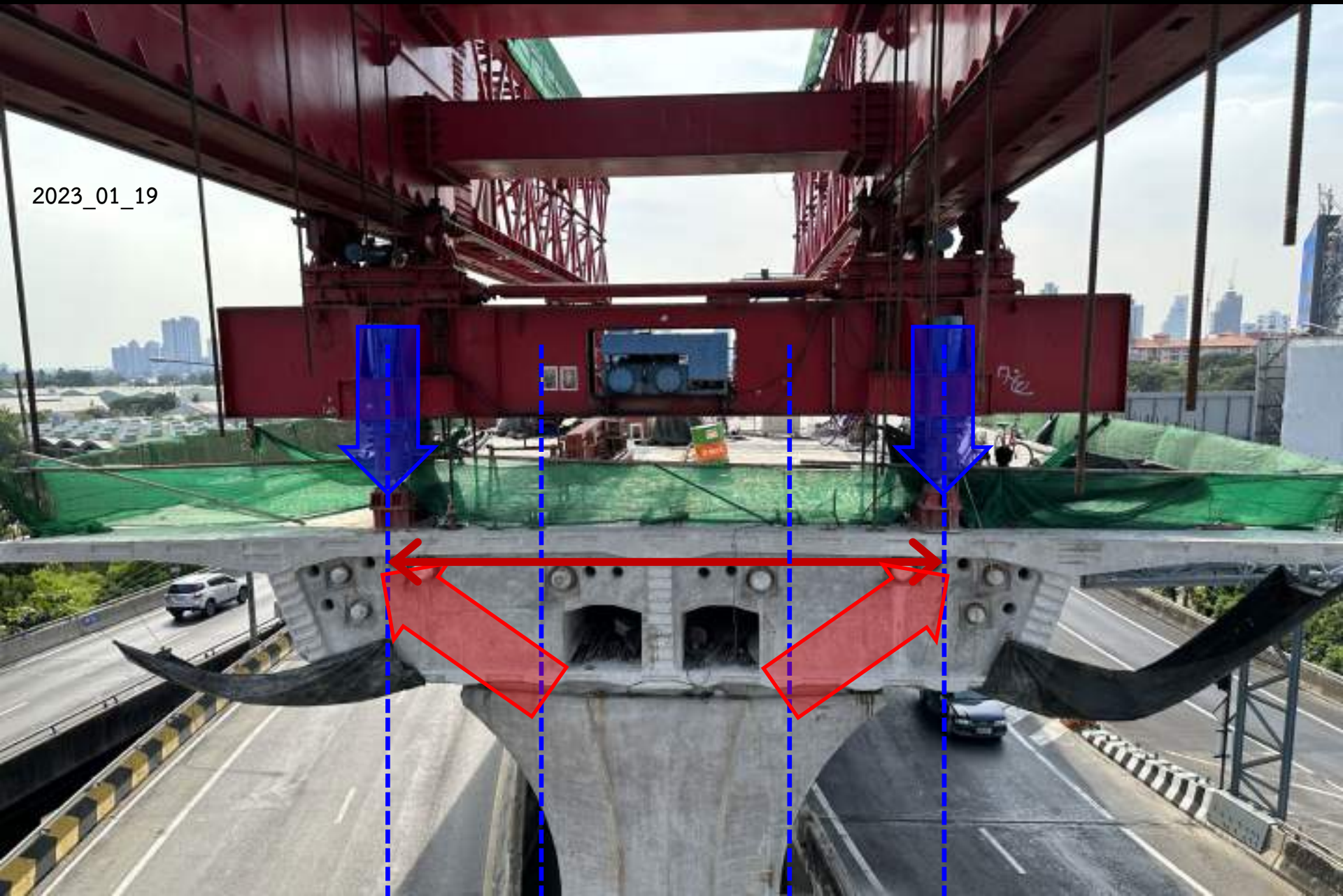
# Load Path through Pier Segment

# Load Path through Pier Segment

# Load Path through Pier Segment

# Load Path through Pier Segment

# Load Path through Pier Segment



Wet Joint

# Defected / Unqualified Wet Joint

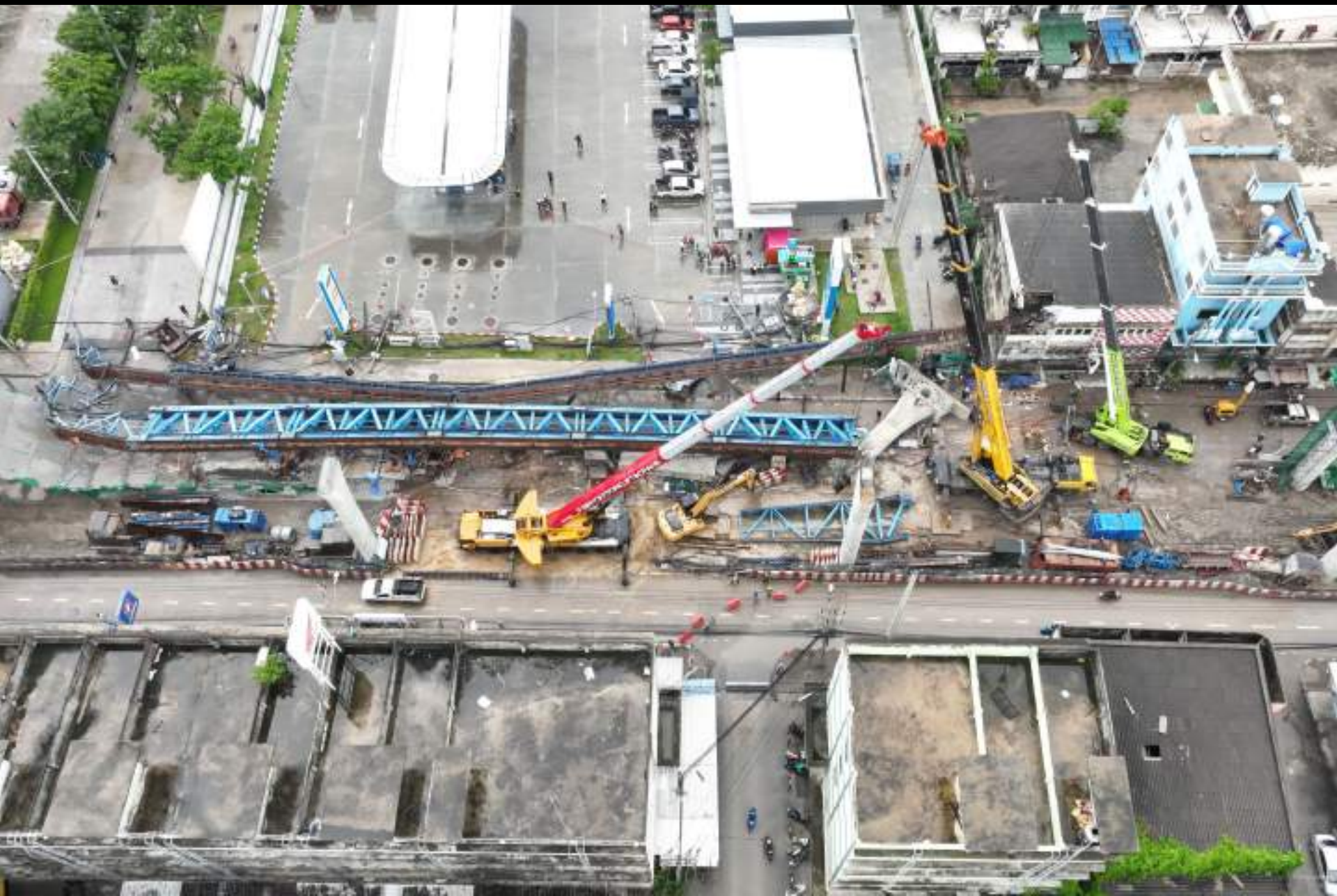
# Defected / Unqualified Wet Joint

# Defected / Unqualified Wet Joint

# Defected / Unqualified Wet Joint

# Defected / Unqualified Wet Joint

# Defected / Unqualified Wet Joint



# Defected / Unqualified Wet Joint

# การควบคุมคุณภาพของ Wet Joint ด้วยการใช้ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของลูกปูน เพียงพอหรือไม่?

โดยปรกติแล้ว การเก็บตัวอย่างลูกปูน ไม่ว่าจะเป็นแท่งคอนกรีตทรงกระบอก หรือก้อนสี่เหลี่ยมลูกบาศก์นั้น จะสามารถจี้เขย่าไล่ฟองอากาศได้ดีกว่าคอนกรีตที่หล่อในที่จริง อีกทั้งสภาพของการบ่มคอนกรีตที่หล่อในที่ แตกต่างจากแท่งตัวอย่างซึ่งมักจะบ่มในน้ำ ดังนั้นแล้ว ด้วยลักษณะความแตกต่างทั้งสองเงื่อนไขที่ได้กล่าวมานี้ จะทำให้กำลังอัดประลัยที่ทดสอบได้จากการกดแท่งคอนกรีตตัวอย่างเป็น “ค่าที่ดีที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้” แต่ไม่ได้สะท้อนค่าความเป็นจริงแต่อย่างใด

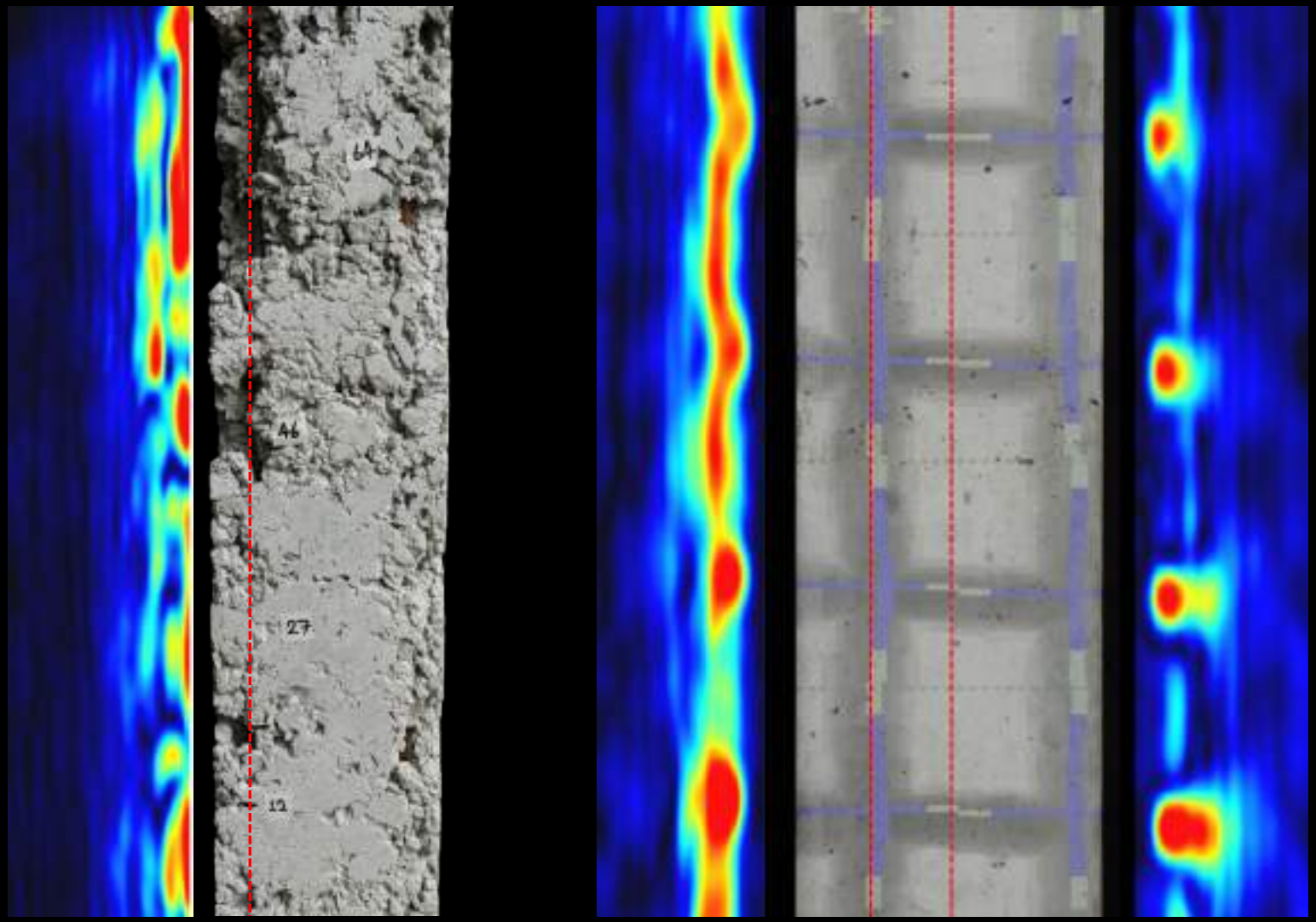
ดังนั้นแล้ว ในการควบคุมงานก่อสร้าง ควรต้องดำเนินการตรวจสอบสองขั้นตอนต่อไปนี้

1 สภาพ Wet Joint ภายหลังการแกะแบบ ก่อนที่ผู้รับเหมาจะทำการซ่อมโพรงผิวด้วยปูนทราย ซึ่งไม่ควรจะมีลักษณะพรุนเป็นโพรงฟองอากาศ (หากต้องการตรวจโพรงภายใน อาจใช้ GPR)

2 อาจใช้ Rebound Hammer ตรวจสอบร่วมกับการตรวจโดยพินิจด้วยถ้าหากไม่มั่นใจในคุณภาพ เช่น กรณีที่ไม่มีฟองพรุน แต่สีของคอนกรีตดูขาวซีด (ปริมาณซีเมนต์ต่ำ) ก็อาจใช้ค่า Rebound Number ในการช่วยพิจารณาแนวทางการดำเนินการต่อไป (อาจสั่งเจาะ coring ทดสอบเพิ่มหรือ reject Wet Joint ไป)

# GPR Technology for Void Detection in Concrete

# GPR Technology for Void Detection in Concrete



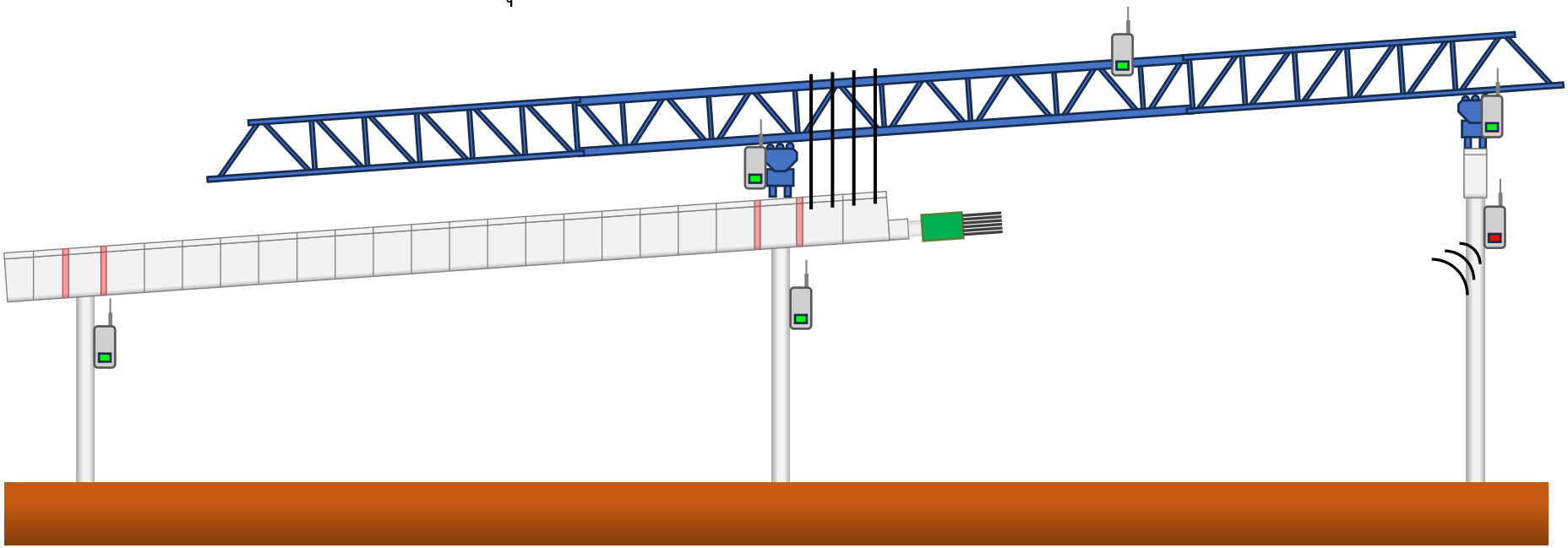
# LG Monitoring System

# Launching Gantry Monitoring System (LGMS)

**ค่า Parameter ที่สามารถตรวจระวังได้**

การเอียงตัวของโครงสร้าง (ใช้ Gyro sensor / Inclinometer) ในสองแกนที่ตั้งฉากกัน

ค่าแรง (ใช้ Load Cell) บริเวณจุดรองรับ



**Output ที่ระบบสามารถแสดงได้บน Unit**

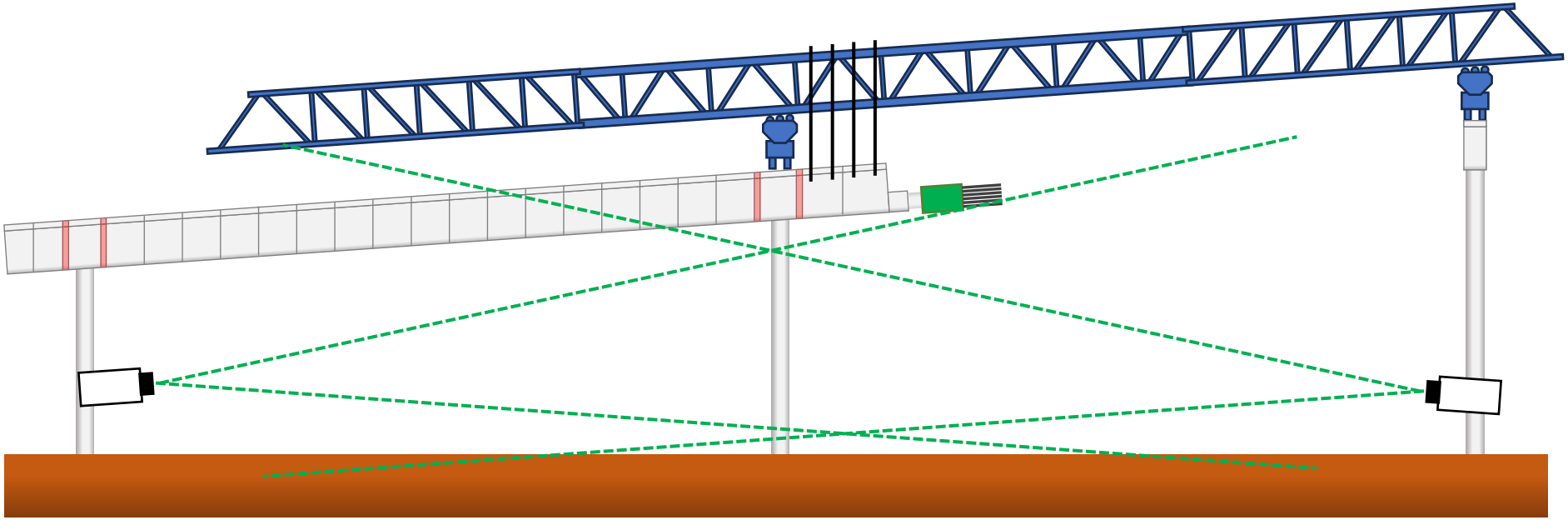
ไฟแสดงสถานการณ์ทำงานของระบบ

ไฟแสดงการเตือนเมื่อค่า Parameter ที่ตรวจวัดได้เกินช่วงขอบเขตที่กำหนดไว้

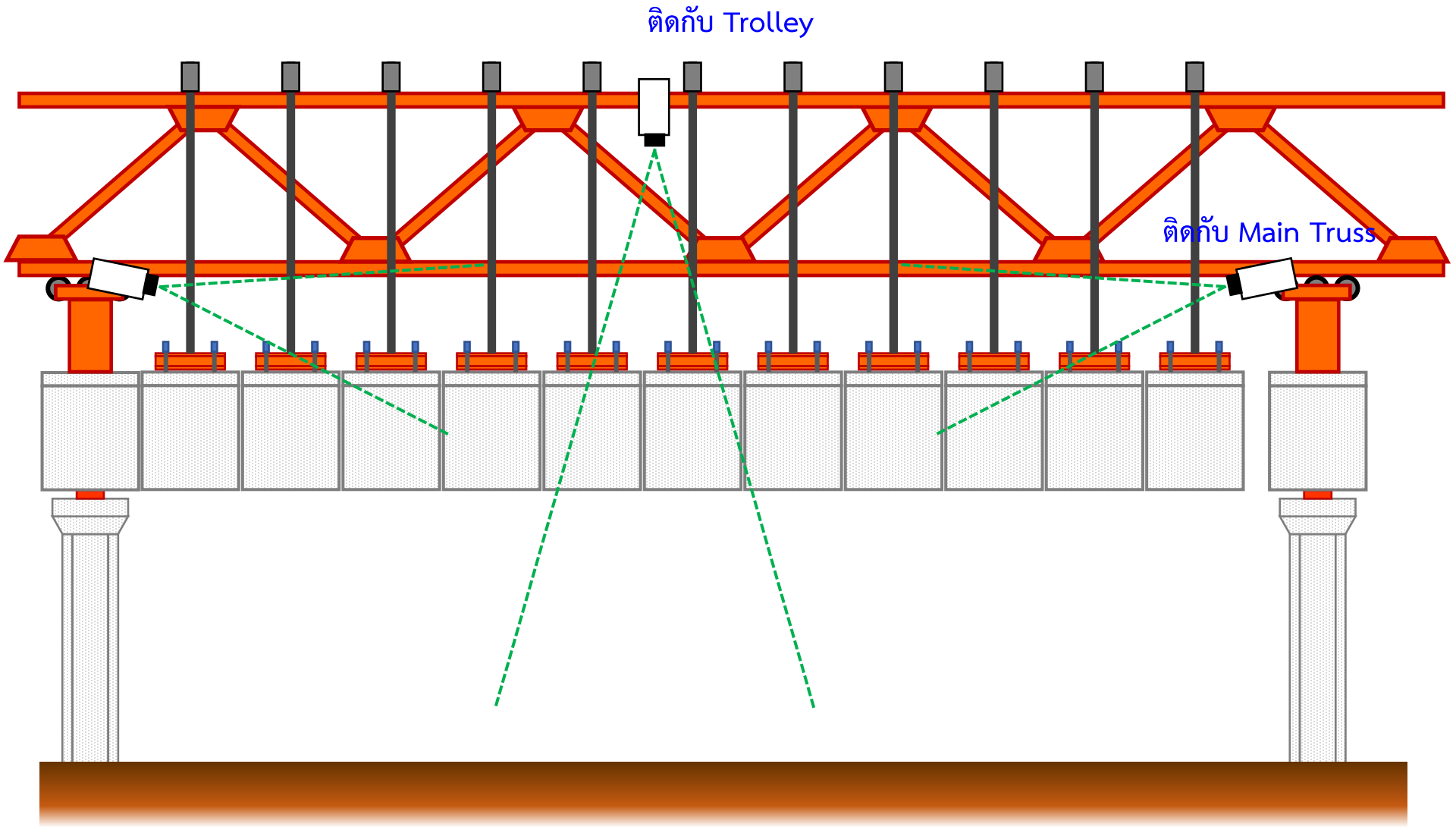
เสียงเตือน

# การติดตั้งกล้องวงจรปิดเพื่อบันทึกเหตุการณ์

# การติดตั้งกล้องวงจรปิดเพื่อบันทึกเหตุการณ์



# การติดตั้งกล้องวงจรปิดเพื่อบันทึกเหตุการณ์



*** ขอบคุณครับ ***

ช่วง ถาม/ตอบ