

## ประกาศกระทรวงมหาดไทย

### เรื่อง การกำหนดฐานรากของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคาร

โดยที่เป็นการสมควรกำหนดหลักเกณฑ์เกี่ยวกับการรับน้ำหนัก ความต้านทาน และความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารที่เป็นรายละเอียดด้านเทคนิคและหลักวิชาการที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เพื่อให้งานก่อสร้างฐานรากของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารมีประสิทธิภาพและความปลอดภัยต่อชีวิต ร่างกาย และทรัพย์สินของประชาชน

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๘ วรรคสอง แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ ๕) พ.ศ. ๒๕๕๘ ประกอบกับข้อ ๑๗ ข้อ ๒๓ ข้อ ๒๕ ข้อ ๒๗ ข้อ ๒๙ ข้อ ๓๐ และข้อ ๓๑ แห่งกฎกระทรวงกำหนดฐานรากของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคาร พ.ศ. ๒๕๖๖ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมอาคาร ออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ข้อ ๒ ในประกาศนี้

“ดินฐานราก” หมายความว่า ดิน และหมายความรวมถึงวัสดุอื่นที่จัดให้มีเพื่อการปรับปรุงคุณภาพดินที่ใช้รองรับฐานรากของอาคาร

“ดินเหนียว” หมายความว่า ดินที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดละเอียดซึ่งมีขนาดเล็กกว่า ๐.๐๗๕ มิลลิเมตร และมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค ทำให้มีความเหนียวและสามารถปั้นเป็นรูปร่างได้

“ดินเดิม” หมายความว่า พื้นดินที่เป็นอยู่โดยปกติตามธรรมชาติก่อนการก่อสร้าง

“ฐานราก” หมายความว่า ส่วนของอาคารที่ทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักของอาคารส่วนบนลงสู่ดินฐานราก

“ฐานรากแผ่” หมายความว่า ฐานรากที่ทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักบรรทุกของอาคารส่วนบนลงสู่ดินฐานรากโดยตรง

“ฐานรากเสาเข็ม” หมายความว่า ฐานรากที่ทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักบรรทุกของอาคารส่วนบนผ่านเสาเข็มลงสู่ดินฐานราก

“เสาเข็ม” หมายความว่า เสาที่ตอก กัด หรือหล่ออยู่ในดินฐานรากเพื่อรับน้ำหนักบรรทุกของอาคาร

“เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จ” หมายความว่า เสาเข็มคอนกรีตที่หล่อหรือผลิตในโรงงานหรือที่สถานที่ก่อสร้างก่อนที่จะนำมาติดตั้งโดยการตอกกัด หรือเสียบ โดยให้หมายความรวมถึงเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ และเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ

“กำลังอัดของคอนกรีตที่กำหนด” หมายความว่า หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ผู้ออกแบบและคำนวณใช้ในการออกแบบหรือประเมินโครงสร้าง

“การทดสอบแรงต้านทานของเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์แบบคงน้ำหนักบรรทุก” หมายความว่า การทดสอบการรับน้ำหนักโดยคงน้ำหนักกดทับบนหัวเสาเข็มในแต่ละช่วงของน้ำหนักบรรทุกทดสอบตามระยะเวลาและอัตราการทรุดตัวของเสาเข็ม

“ความหนาแน่นแห้งสูงสุด” หมายความว่า มวลดินแห้งต่อหน่วยปริมาตรของดินที่ปริมาณความชื้นเหมาะสมของดินนั้น ซึ่งจะได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดจากการทดสอบการบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ

“การบดอัด” หมายความว่า กระบวนการเพิ่มความหนาแน่นของดินด้วยวิธีทางกล ได้แก่ การบดอัดโดยรถบด รถบดสันสะเทือน การกระทุ้ง และการเขย่า

“การทรุดตัวของฐานราก” หมายความว่า การเคลื่อนตัวในแนวตั้งของฐานราก โดยให้หมายความรวมถึง การทรุดตัวแบบทันทีทันใด การทรุดจากการคายน้ำ และการทรุดตัวเนื่องจากการคืบ (soil creep)

“กำแพงกันดิน” หมายความว่า โครงสร้างที่สร้างเป็นกำแพงเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของดิน

“กำแพงกันดินแบบชั่วคราว” หมายถึง กำแพงกันดินที่ใช้ขณะก่อสร้างหรือตัดแปลงและเมื่อก่อสร้างหรือตัดแปลงแล้วเสร็จมีโครงสร้างถาวรมาแทนที่

“ระบบค้ำยันงานชุดหรืองานถม” หมายความว่า ส่วนของโครงสร้างชั่วคราวที่ต้านแรงกระทำทางด้านข้างจากกำแพงกันดิน

“สถาบันที่เชื่อถือได้” หมายความว่า

(๑) ส่วนราชการหรือหน่วยงานของรัฐที่มีภารกิจหลักเกี่ยวกับงานด้านวิศวกรรม ด้านการออกแบบและคำนวณ การพิจารณาตรวจสอบ หรือการให้คำปรึกษา

(๒) นิติบุคคลซึ่งเป็นผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกรที่มีวัตถุประสงค์ในการให้คำปรึกษาแนะนำด้านวิศวกรรม ซึ่งมีวิศวกรระดับวุฒิวิศวกรสาขาวิศวกรรมโยธาตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร เป็นผู้ให้คำปรึกษาแนะนำ

(๓) สถาบันอุดมศึกษาที่มีการเรียนการสอนหรืองานวิจัยในเรื่องที่เกี่ยวข้อง และเป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมืองประกาศกำหนด

หมวด ๑

บททั่วไป

ข้อ ๓ ประกาศนี้กำหนดรายละเอียดด้านเทคนิคเกี่ยวกับการออกแบบและคำนวณเพื่อก่อสร้างฐานรากของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคาร ดังต่อไปนี้

(๑) ข้อกำหนดเกี่ยวกับฐานรากแผ่ที่วางบนดินฐานราก ซึ่งเป็นวัสดุถมทั้งหมดหรือบนดินฐานรากเดิมปะปนกับดินฐานรากซึ่งเป็นวัสดุถม ต้องมีความสามารถในการถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้างส่วนบนลงสู่ดินฐานราก โดยไม่เกิดการทรุดตัวหรือเอียงตัว

(๒) ข้อกำหนดเกี่ยวกับเสาเข็มคอนกรีต ได้แก่ การคำนวณหน่วยแรงและการกำหนดปริมาณเหล็กในเสาเข็ม ข้อกำหนดในการประเมินแรงต้านทานที่ยอมให้ของเสาเข็ม และค่าหน่วยแรงต้านทานที่ยอมให้ของเสาเข็ม โดยโครงสร้างเสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จต้องคำนึงถึงหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากการรับน้ำหนักบรรทุกของฐานราก รวมถึงหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในขณะขยับหรือขณะก่อสร้าง เพื่อให้เสาเข็มมีความมั่นคงแข็งแรงเพียงพอต่อการรับแรงหรือน้ำหนักบรรทุกในทุกขั้นตอนการก่อสร้างและการใช้งาน

(๓) ข้อกำหนดเกี่ยวกับเกณฑ์การทดสอบ ได้แก่ การทดสอบกำลังแบกทานของดินฐานรากสำหรับฐานรากแผ่ด้วยวิธีทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นดินโดยใช้แผ่นเหล็กทดสอบและการทดสอบแรงต้านทานของเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์แบบค้ำน้ำหนักบรรทุก

(๔) ข้อกำหนดเกี่ยวกับการก่อสร้างและการคำนวณแรงที่กระทำต่อกำแพงกันดิน เพื่อให้สามารถต้านทานแรงดันของมวลดิน แรงดันหรือแรงยกตัวของน้ำ หรือน้ำหนักบรรทุกอื่นใด ที่อาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคง แข็งแรงของกำแพงกันดิน

ข้อ ๔ การออกแบบและคำนวณเพื่อก่อสร้างฐานรากของอาคารและพื้นที่รองรับอาคารที่แตกต่างไปจากประกาศนี้ สามารถกระทำได้ แต่ต้องมีเอกสารรับรองวิธีการออกแบบและคำนวณจากสถาบันที่เชื่อถือได้ โดยผู้ออกแบบต้องเป็นผู้ลงนามประกอบการขออนุญาต

## หมวด ๒

### การออกแบบฐานรากแผ่

ข้อ ๕ การออกแบบฐานรากแผ่ของอาคารที่วางอยู่บนดินเดิม ต้องกำหนดให้ชุดดินให้ลึกลงไปจนถึงระดับชั้นดินเดิมที่มีความมั่นคงแข็งแรง และสามารถรับน้ำหนักเพื่อถ่ายเทหน่วยแรงจากฐานรากลงสู่ชั้นดินเดิมได้อย่างปลอดภัย

ข้อ ๖ กรณีออกแบบโดยวางฐานรากแผ่ของอาคารไว้บนดินฐานรากซึ่งเป็นวัสดุถมทั้งหมดหรือบนดินฐานรากเดิมปะปนกับดินฐานรากซึ่งเป็นวัสดุถม ต้องผสมคละเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกันอย่างสม่ำเสมอและวัสดุถมต้องมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมไม่ด้อยกว่าดินเดิม ทั้งนี้ ไม่ให้ใช้วัสดุถมที่เป็นดินเหนียว ดินทราย แ่งที่บดอัดได้ยาก ดินที่มีอินทรีย์สารปน ดินที่มีโอกาสถูกกัดเซาะได้ง่าย ดินที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรมากเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้น ดินที่มีการทรุดตัวจากการชุ่มน้ำ และดินที่มีการทรุดตัวจากน้ำหนักบรรทุกในระยะยาว

ข้อ ๗ การออกแบบฐานรากแผ่ของอาคารไว้บนดินฐานรากซึ่งเป็นวัสดุถมทั้งหมด หรือบนดินฐานรากเดิมปะปนกับดินฐานรากซึ่งเป็นวัสดุถม ให้ผู้ออกแบบและคำนวณเป็นผู้พิจารณาคุณสมบัติของวัสดุถม โดยชั้นวัสดุถมต้องมีกำลังแบกทานของดินฐานรากไม่น้อยกว่าดินเดิมที่อยู่ข้างใต้ชั้นวัสดุถม นอกจากพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุถมที่เป็นไปตาม ข้อ ๖ แล้ว ต้องดำเนินการดังต่อไปนี้

(๑) วัสดุถมต้องมีขนาดผ่านตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ ๒๐๐ ระหว่างร้อยละ ๑๐ ถึงร้อยละ ๒๕ ในกรณีที่ต้องการใช้วัสดุถมที่มีขนาดผ่านตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ ๒๐๐ ต่ำกว่าร้อยละ ๑๐ สามารถกระทำได้โดยต้องกำหนดสภาพการบดอัดให้อยู่ในบริเวณที่จำกัดการเคลื่อนตัว เช่น บริเวณในหลุมที่ดินไม่อาจเคลื่อนตัวออกด้านข้างได้ และสภาพดินโดยรอบต้องไม่มีวัสดุถมที่น้ำใต้ดินสามารถพัดพาออกไปได้

(๒) วัสดุถมต้องบดอัดให้มีความหนาแน่นแห้งอย่างน้อยร้อยละ ๙๕ ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดตามการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test)

(๓) วัสดุถมต้องมีค่าการทดสอบซีบีอาร์ (California Bearing Ratio) แบบแช่น้ำ ไม่น้อยกว่าร้อยละ ๔

(๔) ในกรณีที่ใช้วัสดุถม ต้องพิจารณาผลของการทรุดตัวของวัสดุถมจากการทดสอบกำลังแบกทานของดินฐานรากด้วยวิธีทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของพื้นดินโดยใช้แผ่นเหล็กทดสอบตามข้อ ๒๐ เพื่อให้ชั้นดินมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกได้

ข้อ ๘ การออกแบบฐานรากแผ่ของอาคารในอาคารหลังเดียวกันที่มีฐานรากวางอยู่บนดินเดิมบางฐานและอยู่บนวัสดุถมบดอัดบางฐาน ให้ผู้ออกแบบและคำนวณพิจารณาการกระจายน้ำหนักส่งผ่านสู่ชั้นดินอย่างสมดุลในแต่ละฐานโดยไม่เกินค่ากำลังแบกทานปลอดภัยของชั้นดินที่แตกต่างกัน และไม่ให้เกิดการทรุดตัวและการเอียงตัวเกินกว่าที่กำหนดไว้ในข้อ ๑๐ และต้องออกแบบโครงสร้างของอาคารให้สามารถต้านทานการทรุดตัวที่แตกต่างกันได้

ข้อ ๙ กรณีออกแบบฐานรากแผ่โดยมีการถมกลับบริเวณพื้นที่โดยรอบฐานรากแผ่ วัสดุถมต้องระบายน้ำได้ดีและบดอัดได้ง่าย

ข้อ ๑๐ การตรวจสอบความสามารถในการถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้างส่วนบนลงสู่ดินฐานราก ให้ผู้ออกแบบและคำนวณพิจารณาการทรุดตัวของฐานรากที่เกิดขึ้นภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งานภายหลังการก่อสร้างไม่เกิน ๒๕ มิลลิเมตร และพิจารณาการเอียงตัวของฐานรากตามตารางที่ ๑ เมื่อการเอียงตัวของฐานรากวัดจากความแตกต่างของการทรุดตัวระหว่างจุดสองจุดของฐานรากที่มีสมมติฐานเป็นแผ่นระนาบ

ตารางที่ ๑ การเอียงตัวของฐานราก

ระยะของฐานราก	การเอียงตัวของฐานราก
จากขอบของฐานรากด้านตรงกันข้าม	ไม่เกิน $B/๓๖๐$ เมื่อ B คือ ความกว้างของฐานราก
จากศูนย์กลางของฐานรากถึงศูนย์กลางของฐานรากข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด	ไม่เกิน $L/๓๖๐$ เมื่อ L คือ ระยะห่างจากศูนย์กลางของฐานราก

กรณีฐานรากแผ่แบบเสาเดี่ยวที่ตำแหน่งของเสาไม่ตรงกับศูนย์กลางของฐาน ให้ผู้ออกแบบและคำนวณพิจารณาถึงความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของฐานรากแผ่ในกรณีที่น้ำหนักบรรทุกไม่ได้กระทำที่ศูนย์กลางฐานรากหรือมีการรับน้ำหนักบรรทุกเอียงศูนย์กลางด้วย

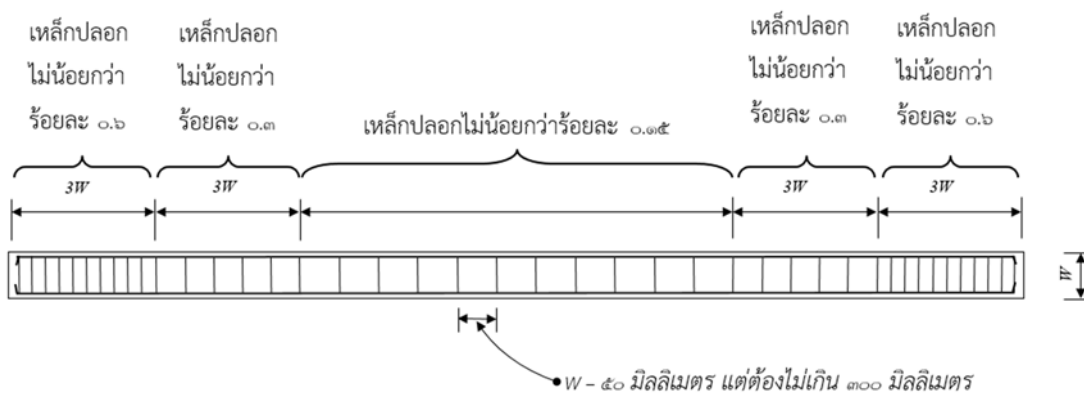
## หมวด ๓

## เสาเข็มคอนกรีต

ข้อ ๑๑ เสาเข็มคอนกรีตที่นำมาใช้ต้องมีความยาว พื้นที่หน้าตัด เส้นรอบรูปประสิทธิผล ที่ติดตั้งในชั้นดิน และความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่เกิดจากแรงในแนวตั้ง แรงกระทำด้านข้าง แรงดัด ตามที่ระบุไว้ในรายการคำนวณ แบบ หรือรายการประกอบแบบ

ข้อ ๑๒ เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จที่จะนำมาดองใช้งานต้องมีกำลังอัดของคอนกรีตที่กำหนด ในแบบหรือรายการประกอบแบบ หากต้องการนำเสาเข็มมาใช้ก่อนกำหนด ให้ทดสอบกำลังของคอนกรีต ซึ่งกำลังของคอนกรีต ณ เวลาที่นำมาใช้นั้นต้องมีค่าไม่น้อยกว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่กำหนด

ข้อ ๑๓ เหล็กปลอกของเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จต้องยึดติดกับเหล็กเสริมตามยาว ให้มั่นคง และมีปริมาณเหล็กปลอกที่มีปริมาตรเป็นร้อยละของปริมาตรคอนกรีตของเสาเข็มในช่วงนั้น ๆ ไม่น้อยกว่าตามที่กำหนดไว้ในรูปที่ ๑

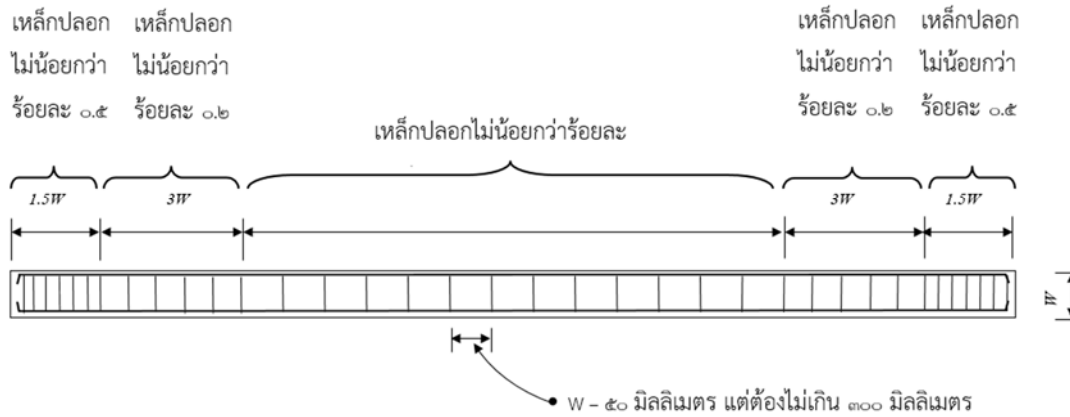


โดยที่  $W$  คือ ส่วนที่แคบที่สุดของรูปตัดขวางทั้งหมดของเสาเข็มมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ ๑ ปริมาตรเหล็กปลอกต่ำสุดของเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ

ระยะห่างของเหล็กปลอกตามวรรคหนึ่งต้องมีระยะห่างไม่น้อยกว่า  $\frac{4}{3}$  เท่าของขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ ยกเว้นช่วงที่กำหนดให้มีปริมาณเหล็กปลอกไม่น้อยกว่าร้อยละ ๐.๑๕ ของปริมาตรคอนกรีตของเสาเข็ม ต้องมีระยะห่างของเหล็กปลอกไม่น้อยกว่าส่วนที่แคบที่สุดของรูปตัดขวางทั้งหมดของเสาเข็ม ( $W$ ) ลบด้วย ๕๐ มิลลิเมตร แต่ต้องไม่เกิน ๓๐๐ มิลลิเมตร

เหล็กปลอกของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จต้องยึดติดกับเหล็กเสริมตามยาวให้มั่นคง และมีปริมาณเหล็กปลอกที่มีปริมาตรเป็นร้อยละของปริมาตรคอนกรีตของเสาเข็มในช่วงนั้น ๆ ไม่น้อยกว่า ตามที่กำหนดไว้ในรูปที่ ๒



โดยที่  $W$  คือ ส่วนที่แคบที่สุดของรูปตัดขวางทั้งหมดของเสาเข็มมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ ๒ ปริมาตรเหล็กปลอกต่ำสุดของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ

ระยะห่างของเหล็กปลอกตามวรรคสามต้องมีระยะห่างไม่น้อยกว่า  $\frac{4}{3}$  เท่าของขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ ยกเว้นช่วงที่กำหนดให้มีปริมาณเหล็กปลอกไม่น้อยกว่าร้อยละ ๐.๐๘ ของปริมาตรคอนกรีตของเสาเข็ม ต้องมีระยะห่างของเหล็กปลอกไม่น้อยกว่าส่วนที่แคบที่สุดของรูปตัดขวางทั้งหมดของเสาเข็ม ( $W$ ) ลบด้วย ๕๐ มิลลิเมตร แต่ต้องไม่เกิน ๓๐๐ มิลลิเมตร

หากมีความจำเป็นต้องเสริมหน้าตัดให้มีปลายแหลมเพื่อการตอกทะลุผ่านชั้นดินแข็ง ให้อยู่ในดุลพินิจของผู้ออกแบบและคำนวณ

ข้อ ๑๔ แรงดัดที่เกิดจากการยก การตอกหรือติดตั้ง และการใช้งานของเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จต้องไม่ก่อให้เกิดหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมเกินกว่า ๑๑๘ เมกาปาสกาล (๑,๒๐๐ กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) เมื่อใช้เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ หรือเกินกว่า ๑๔๗ เมกาปาสกาล (๑,๕๐๐ กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) เมื่อใช้เหล็กข้ออ้อยที่มีกำลังครากน้อยกว่า ๓๙๒ เมกาปาสกาล (๔,๐๐๐ กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) หรือเกินกว่า ๑๙๖ เมกาปาสกาล ๒,๐๐๐ กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) เมื่อใช้เหล็กข้ออ้อยที่มีกำลังครากตั้งแต่ ๓๙๒ เมกาปาสกาล (๔,๐๐๐ กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ขึ้นไป และกำลังอัดในคอนกรีตที่ขณะใช้งานต้องไม่เกินร้อยละ ๔๕ ของกำลังอัดของคอนกรีตที่กำหนด

แรงดัดที่เกิดจากการยก การตอกหรือติดตั้ง ของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จต้องไม่ก่อให้เกิดหน่วยแรงดึงในคอนกรีตเกินกว่า ๐.๕ คูณด้วยรากที่สองของกำลังอัดของคอนกรีตที่กำหนด เมื่อหน่วยแรงมีหน่วยเป็นเมกาปาสกาล (หรือไม่เกินกว่า ๑.๕๙ คูณด้วยรากที่สองของกำลังอัดของคอนกรีตที่กำหนด เมื่อหน่วยแรงมีหน่วยเป็นกิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

แรงดัดที่เกิดจากการใช้งานของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จต้องไม่ก่อให้เกิดหน่วยแรงดึงในคอนกรีตเกินกว่า ๐.๓๗๒ คูณด้วยรากที่สองของกำลังอัดของคอนกรีตที่กำหนด เมื่อหน่วยแรงมีหน่วยเมกาปาสกาล (หรือไม่เกินกว่า ๑.๑๙ คูณด้วยรากที่สองของกำลังอัดของคอนกรีตที่กำหนด เมื่อหน่วยแรงมีหน่วยเป็นกิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

ในกรณีที่หน่วยแรงดึงตามวรรคหนึ่ง วรรคสอง และวรรคสามมีค่าสูงเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ ต้องขยายพื้นที่หน้าตัดหรือเสริมเหล็กยึดท่อนหรือยึดเหนี่ยวเพิ่มเติมในส่วนของคอนกรีตที่เกิดหน่วยแรงดึง เพื่อสามารถรับแรงดึงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตดังกล่าวได้ทั้งหมด โดยที่แรงดึงให้คำนวณจากสมมติฐานของหน้าตัดไม่แตกร้า

ข้อ ๑๕ หน่วยแรงอัดที่ยอมให้จากน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ ต้องไม่เกินกว่าผลต่างระหว่างร้อยละ ๓๓ ของกำลังอัดของคอนกรีตที่กำหนดและร้อยละ ๒๗ ของหน่วยแรงอัดประสิทธิผลที่กระทำกับคอนกรีตเนื่องจากการอัดแรง หรือ

$$\sigma_a \leq 0.33f_c' - 0.27f_{pc} \quad (\text{สมการ ๑})$$

เมื่อ  $\sigma_a$  คือ หน่วยแรงอัดที่ยอมให้จากน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานของเสาเข็ม มีหน่วยเป็นเมกาปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

$f_c'$  คือ กำลังอัดของคอนกรีตที่กำหนด มีหน่วยเป็นเมกาปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

$f_{pc}$  คือ หน่วยแรงอัดประสิทธิผลที่กระทำกับคอนกรีตเนื่องจากการอัดแรง มีหน่วยเป็นเมกาปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

ข้อ ๑๖ น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานของเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กแบบเจาะหล่อในที่ด้านโครงสร้างของเสาเข็มต้องไม่เกินร้อยละ ๒๕ ของกำลังอัดของคอนกรีตที่กำหนด คูณกับพื้นที่หน้าตัดรวมของเสาเข็มคอนกรีต หรือ

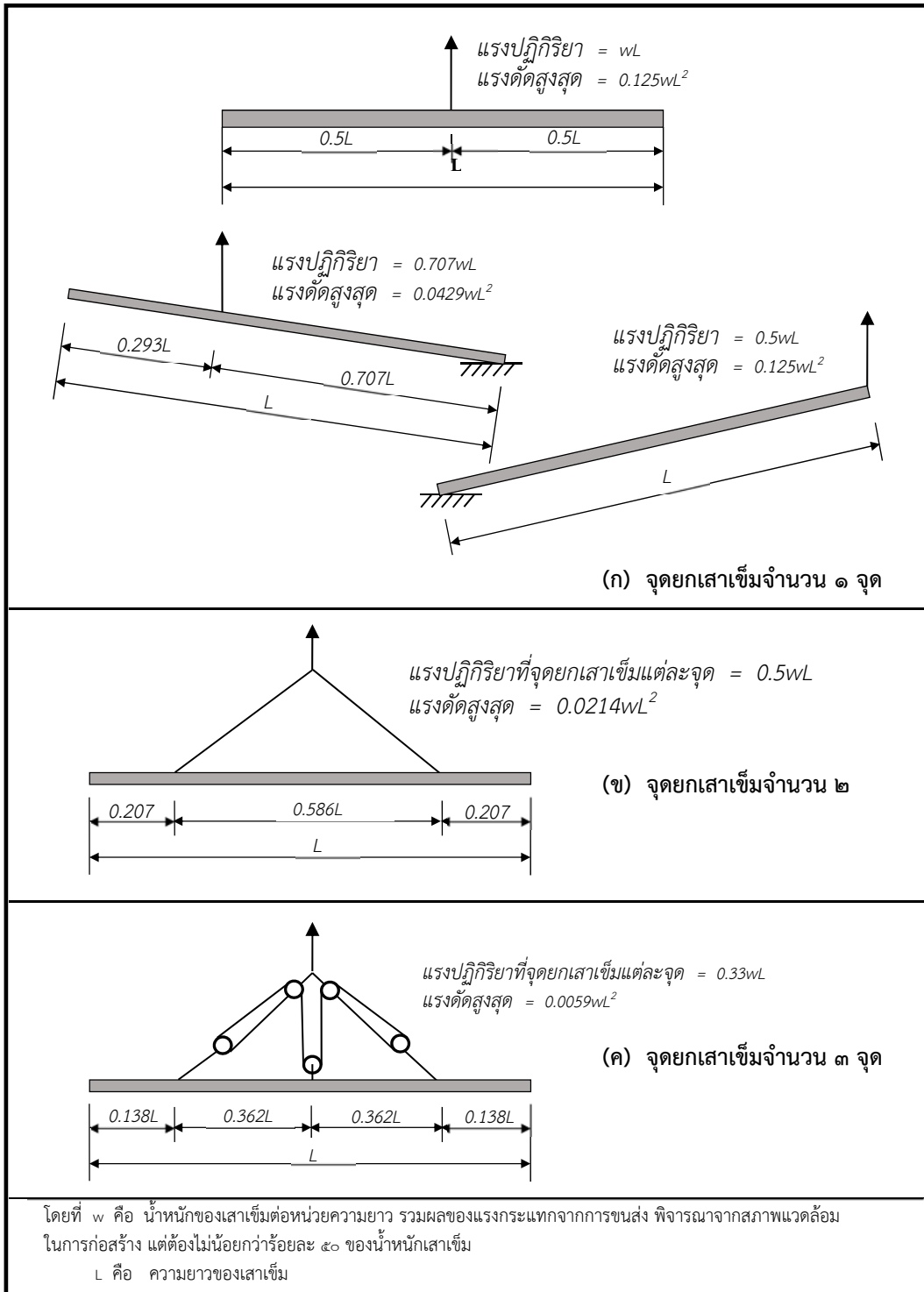
$$P_a \leq 0.25f_c' A_g \quad (\text{สมการ ๒})$$

เมื่อ  $P_a$  คือ น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานของเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กแบบเจาะหล่อในที่ด้านโครงสร้างของเสาเข็ม มีหน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

$f_c'$  คือ กำลังอัดของคอนกรีตที่กำหนด มีหน่วยเป็นเมกาปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

$A_g$  คือ พื้นที่หน้าตัดรวมของเสาเข็มคอนกรีต มีหน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (ตารางเซนติเมตร)

ข้อ ๑๗ ตำแหน่งจุดยกเสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จต้องแสดงไว้อย่างชัดเจน หากไม่มีการกำหนดในแบบหรือรายการประกอบแบบให้กำหนดจุดยก โดยอาจทำเป็นเครื่องหมายหรือผังหรือยี่ห้อหรือที่จับยึดสำหรับการยกและตำแหน่งของจุดยกให้เป็นไปตามรูปที่ ๓



รูปที่ ๓ ตำแหน่งจุดยกเสาเข็ม



ข้อ ๑๘ การประเมินแรงต้านทานที่ยอมให้ของเสาเข็มตอกที่รับแรงต้านทานไม่เกิน ๔๐ ตัน ต่อตัน จากข้อมูลการตอกเสาเข็มในสนาม ให้ใช้สูตรการตอกเสาเข็มที่เหมาะสมเพื่อตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตามที่ได้ออกแบบและคำนวณกำหนด โดยการประเมินดังกล่าวให้ใช้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยไม่น้อยกว่า ๓.๐๐

ข้อ ๑๙ ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้เชิงสถิติศาสตร์ ซึ่งคำนวณได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลการเจาะสำรวจดิน ต้องไม่เกินความสามารถในการรับแรงที่ยอมให้เชิงโครงสร้างของเสาเข็มนั้น

## หมวด ๔

## เกณฑ์การทดสอบกำลังแบกทานของดินฐานรากและแรงต้านทานของเสาเข็ม

ข้อ ๒๐ การทดสอบกำลังแบกทานของดินฐานรากสำหรับฐานรากแผ่ด้วยวิธีทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นดินโดยใช้แผ่นเหล็กทดสอบให้เป็นไปตาม ผนวก ก ท้ายประกาศนี้ ทั้งนี้ ต้องคำนึงถึงการกระจายหน่วยแรงที่แตกต่างกันระหว่างขนาดของแผ่นเหล็กที่ใช้ทดสอบกับขนาดของฐานรากจริงด้วย และให้พิจารณาความขึ้นขณะทดสอบให้สอดคล้องกับสถานะการใช้งานของฐานรากนั้น

ในกรณีที่ผู้ออกแบบและคำนวณไม่ใช้วิธีการทดสอบตามวรรคหนึ่ง ให้ผู้ออกแบบและคำนวณจัดให้มีเอกสารแสดงขั้นตอนการทดสอบกำลังแบกทานของดินฐานรากสำหรับฐานรากแผ่ที่รับรองโดยสถาบันที่เชื่อถือได้

ข้อ ๒๑ การคำนวณหาค่าการทรุดตัวของฐานรากแผ่จากค่าการทรุดตัวของแผ่นเหล็กที่ได้จากการทดสอบ ให้เป็นไปตามสมการ ต่อไปนี้

(๑) กรณีดินฐานรากเป็นดินเหนียว

$$S_f = S_p \left( \frac{B}{B_p} \right) \quad (\text{สมการ ๓})$$

(๒) กรณีดินฐานรากเป็นกรวดแน่นหรือทรายแน่น

$$S_f = S_p \left\{ \frac{[B(B_p+0.3)]}{[B_p(B+0.3)]} \right\}^2 \quad (\text{สมการ ๔})$$

เมื่อ  $S_f$  คือ ค่าการทรุดตัวของฐานรากแผ่ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

$S_p$  คือ ค่าการทรุดตัวของแผ่นเหล็กทดสอบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

$B$  คือ ความกว้างด้านที่มากที่สุดของฐานรากแผ่ มีหน่วยเป็นเมตร กรณีไม่ทราบความกว้างของฐานรากแผ่ ให้กำหนดความกว้างของฐานรากแผ่ มีค่าเท่ากับ ๑ เมตร แทนได้

$B_p$  คือ ความกว้างหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นเหล็กทดสอบ มีหน่วยเป็นเมตร

ในกรณีที่ผู้ออกแบบและคำนวณไม่ใช้การคำนวณหาค่าการทรุดตัวของฐานรากแม่ที่ได้จากการทดสอบตามวรรคหนึ่งหรือฐานรากมีลักษณะถ่ายน้ำหนักจากอาคารลงสู่พื้นดินที่แตกต่างไปจากฐานรากเฉพะเสาเดียว ให้ผู้ออกแบบและคำนวณจัดให้มีเอกสารแสดงการคำนวณหาค่าการทรุดตัวของฐานรากแม่ที่รับรองโดยสถาบันที่เชื่อถือได้

ข้อ ๒๒ การทดสอบแรงต้านทานของเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์แบบค้ำน้ำหนักบรรทุกทุกให้เป็นไปตาม ผนวก ข ท้ายประกาศนี้

ในกรณีที่ผู้ออกแบบและคำนวณไม่ใช้วิธีการทดสอบแรงต้านทานของเสาเข็มตามวรรคหนึ่งให้ผู้ออกแบบและคำนวณจัดให้มีเอกสารแสดงขั้นตอนการทดสอบแรงต้านทานของเสาเข็มที่รับรองโดยสถาบันที่เชื่อถือได้

ข้อ ๒๓ การประเมินค่าแรงต้านทานของเสาเข็มจากการทดสอบ การทรุดตัวของเสาเข็มเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุดให้เป็นไปตามเกณฑ์ ดังต่อไปนี้

(๑) การทรุดตัวทั้งหมดของเสาเข็มจากการรับน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุด แล้วปล่อยคงไว้เป็นเวลา ๒ ชั่วโมง ต้องไม่เกินค่าที่คำนวณได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$S_t = \frac{PL}{AE} + \frac{D}{120} + 4 \quad (\text{สมการ ๕})$$

เมื่อ  $S_t$  คือ การทรุดตัวทั้งหมด หน่วยเป็นมิลลิเมตร

$P$  คือ น้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุด หน่วยเป็นกิโลนิวตัน

$L$  คือ ความยาวเสาเข็มที่ทดสอบ หน่วยเป็นมิลลิเมตร

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มที่ทดสอบ หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร

$E$  คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของเสาเข็มที่ทดสอบ หน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

$D$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือมิติที่แคบที่สุดของเสาเข็มที่ทดสอบ หน่วยเป็นมิลลิเมตร

(๒) การทรุดตัวสุทธิของเสาเข็มหลังจากปล่อยให้รับน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุดเป็นเวลา ๒ ชั่วโมง แล้วลดน้ำหนักบรรทุกลงจนเป็นศูนย์ แล้วปล่อยทิ้งไว้โดยไม่รับน้ำหนักอย่างน้อย ๑ ชั่วโมง จนการคืนตัวมีค่าคงที่ ต้องไม่เกินค่าที่คำนวณได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$S_r = \frac{D}{120} + 4 \quad (\text{สมการ ๖})$$

เมื่อ  $S_r$  คือ การทรุดตัวภายหลังลดน้ำหนัก หน่วยเป็นมิลลิเมตร

$D$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือมิติที่แคบที่สุดของเสาเข็มที่ทดสอบ หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ในกรณีที่ผู้ออกแบบและคำนวณไม่ใช้วิธีการประเมินค่าแรงต้านทานของเสาเข็มจากการทดสอบตามวรรคหนึ่ง ให้ผู้ออกแบบและคำนวณจัดให้มีเอกสารแสดงการประเมินค่าแรงต้านทานของเสาเข็มที่รับรองโดยสถาบันที่เชื่อถือได้

## หมวด ๕

## กำแพงกันดิน

ข้อ ๒๔ การคำนวณแรงที่กระทำต่อกำแพงกันดินให้ผู้ออกแบบและคำนวณใช้หลักการคำนวณตามทฤษฎีของ Rankine โดยพิจารณาแรงดันดินด้านข้าง ได้แก่ แรงดันดินเมื่อกำแพงอยู่ในสภาวะนิ่ง (At rest lateral earth pressure) แรงดันดินด้านข้างเมื่อดินเคลื่อนตัวดันกำแพงหรือแรงดันดินเชิงรุก (Active earth pressure) แรงดันดินด้านข้างเมื่อกำแพงเคลื่อนตัวดันดินหรือแรงดันดินเชิงรับ (Passive earth pressure) เพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดิน

ข้อ ๒๕ การพิจารณาแรงที่กระทำต่อกำแพงกันดินแนวดิ่งให้อยู่บนพื้นฐานของทฤษฎี Rankine โดยกำหนดให้ไม่มีแรงเสียดทานระหว่างดินและกำแพงกันดิน และไม่มีหน่วยแรงเฉือนเกิดขึ้นในระนาบราบ แรงดันดินด้านข้างจากหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง (effective vertical stress) จากสภาวะต่าง ๆ ให้เป็นไปตามสมการ ต่อไปนี้

(๑) กรณีแรงดันดินด้านข้างในสภาวะกำแพงอยู่นิ่ง

$$\bar{\sigma}_{ho} = \bar{\sigma}_v K_o \quad (\text{สมการ ๗})$$

เมื่อ  $\bar{\sigma}_{ho}$  คือ หน่วยแรงดันดินด้านข้างจากหน่วยแรงประสิทธิผลในสภาวะกำแพงอยู่นิ่ง

$\bar{\sigma}_v$  คือ หน่วยแรงดันดินในแนวดิ่งจากหน่วยแรงประสิทธิผล

$K_o$  คือ สัมประสิทธิ์แรงดันดินประสิทธิผลที่สภาวะกำแพงอยู่นิ่ง มีค่าเท่ากับ  $1 - \sin \bar{\phi}$

โดย  $\bar{\phi}$  คือ มุมของแรงเสียดทานภายในประสิทธิผลของดิน

(๒) กรณีแรงดันดินด้านข้างกรณีดินเคลื่อนตัวดันกำแพง

$$\bar{\sigma}_{ha} = \bar{\sigma}_v K_a - 2\bar{c}\sqrt{K_a} \quad (\text{สมการ ๘})$$

เมื่อ  $\bar{\sigma}_{ha}$  คือ หน่วยแรงดันดินด้านข้างจากหน่วยแรงประสิทธิผลกรณีดินเคลื่อนตัวดันกำแพง

$\bar{\sigma}_v$  คือ หน่วยแรงดันดินในแนวดิ่งจากหน่วยแรงประสิทธิผล

$\bar{c}$  คือ ค่าแรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผลระหว่างเม็ดดิน

$K_a$  คือ สัมประสิทธิ์แรงดันดินประสิทธิผลกรณีดินเคลื่อนตัวดันกำแพง มีค่าเท่ากับ  $\frac{1 - \sin \bar{\phi}}{1 + \sin \bar{\phi}}$

(๓) กรณีแรงดันดินด้านข้างกรณีกำแพงเคลื่อนตัวดันดิน

$$\bar{\sigma}_{hp} = \bar{\sigma}_v K_p + 2\bar{c}\sqrt{K_p} \quad (\text{สมการ ๙})$$

เมื่อ  $\bar{\sigma}_{hp}$  คือ หน่วยแรงดันดินด้านข้างจากหน่วยแรงประสิทธิผลกรณีกำแพงเคลื่อนตัวดันดิน

$\bar{\sigma}_v$  คือ หน่วยแรงดันดินในแนวดิ่งจากหน่วยแรงประสิทธิผล

$c$  คือ ค่าแรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผลระหว่างเม็ดดิน

$K_p$  คือ สัมประสิทธิ์แรงดันดินประสิทธิผลกรณีกำแพงเคลื่อนตัวดันดิน มีค่าเท่ากับ  $\frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi}$

ในกรณีที่ผู้ออกแบบและคำนวณไม่ใช้วิธีการพิจารณาแรงที่กระทำต่อกำแพงกันดินตามวรรคหนึ่ง ให้ผู้ออกแบบและคำนวณจัดให้มีเอกสารแสดงวิธีการพิจารณาแรงที่กระทำต่อกำแพงกันดินและมีสถาบันที่เชื่อถือได้เป็นผู้รับรอง

ข้อ ๒๖ การพิจารณาแรงภายนอกที่กระทำต่อกำแพงกันดิน ให้ผู้ออกแบบและคำนวณพิจารณาแรงดันดินด้านข้าง ประกอบด้วย แรงกระทำจากน้ำหนักของกำแพงกันดิน แรงกระทำจากน้ำหนักของดินเหนือฐานของกำแพงกันดินทั้งด้านหน้าและหลังกำแพงกันดิน แรงดันของน้ำ แรงที่ได้รับผลกระทบจากการระบายน้ำของกำแพงกันดิน แรงที่กระทำบนผิวดิน ได้แก่ น้ำหนักบรรทุกทุกสมทบ (surcharge load) รวมถึงแรงกระทำอื่นที่อาจส่งผลกระทบต่อกำแพงเป็นรายการ

ข้อ ๒๗ การวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดินให้พิจารณาผลกระทบจากค่าอัตราส่วนระหว่างแรงหรือโมเมนต์ที่ต้านทานการวิบัติทั้งหมดต่อแรงหรือโมเมนต์ ซึ่งกระทำต่อกำแพงที่พยายามให้กำแพงวิบัติเชิงวิศวกรรมปฐพี ทั้งนี้ ต้องรวมถึงแรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงทั้งสองด้าน น้ำหนักกำแพงและน้ำหนักดินที่อยู่เหนือระดับฐานรากกำแพง แรงจากน้ำหนักเหนือผิวดิน แรงดันน้ำทั้งสองด้านของกำแพง แรงดันลอยตัวของน้ำใต้ฐานกำแพง และผลกระทบจากระบบระบายน้ำของกำแพงกันดิน และต้องคำนึงถึงสภาวะวิกฤตในช่วงการใช้งานของกำแพงที่จะเกิดขึ้นด้วย

การวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดินให้พิจารณาถึงเสถียรภาพเชิงวิศวกรรมปฐพีโดยรวม (global stability) โดยกำหนดให้กำแพงกันดินแบบชั่วคราวมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยอย่างน้อยเท่ากับ ๑.๓๐ และกำแพงกันดินแบบถาวรมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยอย่างน้อยเท่ากับ ๑.๕๐

ในกรณีที่มีสภาวะวิกฤตอื่น ๆ ที่ไม่ได้เกิดขึ้นประจำ (extreme event) เช่น สภาวะระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว สภาวะแผ่นดินไหว หรือสภาวะแรงดันลอยตัวของน้ำใต้ระดับขุดดิน การกำหนดค่าอัตราส่วนความปลอดภัยในสภาวะวิกฤตขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ออกแบบและคำนวณ แต่ทั้งนี้ต้องไม่ต่ำกว่า ๑.๒๐

ข้อ ๒๘ ในกรณีผนังโครงสร้างอาคารที่มีส่วนหนึ่งส่วนใดอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นดินลึกไม่เกิน ๓ เมตร และไม่มีผลการวิเคราะห์ทดสอบดินในการคำนวณ ให้ใช้ค่าแรงดันดินด้านข้างรวมตามตารางที่ ๒

ตารางที่ ๒ แรงดันดินด้านข้างรวมที่คำนวณได้บนพื้นฐานของทฤษฎี Rankine  
โดยรวมแรงดันจากน้ำแล้ว

ความลึกที่คำนวณ (เมตร)	แรงดันดินรวมแรงดันน้ำ (ตัน/ตารางเมตร) จากดินถมบดอัดกลับ ด้านนอกผนัง/กำแพงด้วยดินเหนียวหรือดินทราย	
	ดินเหนียว	ดินทราย
๐ ถึง ๑	๒	๒
มากกว่า ๑ ถึง ๒	๔	๔
มากกว่า ๒ ถึง ๓	๖	๖

หากมีการบดอัดกลับด้านนอกของกำแพงด้วยเครื่องมือหรือเครื่องจักรต้องพิจารณาแรงดันดินด้านข้างเพิ่มขึ้นตามความเหมาะสม ในกรณีใช้เครื่องจักรขนาดเล็กให้เพิ่มแรงดันดินด้านข้างอีกอย่างน้อย ๑.๕ ตันต่อตารางเมตร

หากโครงสร้างของอาคารไม่มีความแข็งแรงมั่นคงเพียงพอให้แยกออกแบบเป็นกำแพงกันดินที่เป็นอิสระจากอาคารและไม่ส่งผ่านแรงใด ๆ ผ่านโครงสร้างของอาคาร

ข้อ ๒๙ กรณีกำแพงกันดินแบบเข็มพืดที่มีลักษณะชั่วคราวหรือกำแพงกันดินที่ใช้กับดินเหนียว อิมตัวในสภาวะไม่ระบายน้ำ ให้ผู้ออกแบบและคำนวณพิจารณาแรงดันดินด้านข้างรวมบนสมมติฐานที่มุมเสียดทานภายในของดินมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยใช้หน่วยแรงรวม (total stress) สำหรับคำนวณแรงดันดินด้านข้างในสภาวะต่าง ๆ ทั้งนี้ ให้พิจารณาเสถียรภาพของกำแพงกันดิน และผลกระทบจากการเคลื่อนตัวของดินที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่ออาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่อยู่บริเวณใกล้เคียง

กรณีกำแพงกันดินแบบเข็มพืดที่มีลักษณะถาวรต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงตัดได้ ทั้งนี้ ให้พิจารณาเสถียรภาพของกำแพงกันดิน และผลกระทบจากการเคลื่อนตัวของดินที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่ออาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่อยู่บริเวณใกล้เคียงเช่นเดียวกัน

ในกรณีที่ผู้ออกแบบและคำนวณไม่ใช้วิธีการพิจารณาแรงดันดินด้านข้างรวมตามวรรคหนึ่ง ให้ผู้ออกแบบ และคำนวณจัดให้มีเอกสารแสดงวิธีการพิจารณาแรงที่กระทำต่อกำแพงกันดินและมีสถาบันที่เชื่อถือได้เป็นผู้รับรอง

ข้อ ๓๐ การออกแบบกำแพงกันดินแบบถาวรให้ผู้ออกแบบและคำนวณพิจารณาถึงการระบายน้ำหลังกำแพง ยกเว้นกำแพงกันดินแบบไม่ต้องการระบายน้ำ หรือแบบต้องการความที่บ้น้ำ กรณีกำแพงกันดินประเภทใช้เสาเข็มร่วมกับแผ่นคอนกรีตให้พิจารณาระยะฝังของแผ่นคอนกรีตที่จะป้องกันมิให้ดินไหลออก และให้คำนึงถึงกระบวนการป้องกันกักตะกอนของน้ำบริเวณด้านหน้ากำแพงด้วย

ข้อ ๓๑ กรณีงานก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินให้ออกแบบระบบกำแพงกันดินและระบบค้ำยันงานชุดหรืองานถมให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะลดการเคลื่อนตัวของดินที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่ออาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่อยู่บริเวณใกล้เคียง

ประกาศ ณ วันที่ ๒ สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๖๗

อนุทิน ชาญวีรกูล

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทย

## ผนวก ก

### การทดสอบกำลังแบกทานของดินฐานรากสำหรับฐานรากแผ่ ด้วยวิธีทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นดินโดยใช้แผ่นเหล็กทดสอบ

#### ก. ๑ การเตรียมการก่อนการทดสอบ

(๑) ดำเนินการสำรวจบริเวณสถานที่ก่อสร้างและตำแหน่งที่ก่อสร้างฐานรากแผ่ กำหนดตำแหน่งที่จะทดสอบอย่างน้อย ๓ จุด โดยตำแหน่งทดสอบแต่ละจุดต้องห่างกันไม่น้อยกว่า ๕ เท่าของความกว้างหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นเหล็กทดสอบ และควรอยู่ในขอบเขตบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง

(๒) ระดับความลึกของหลุมทดสอบต้องเป็นระดับเดียวกับระดับที่จะก่อสร้างฐานรากแผ่ และต้องมีสภาพราบเรียบ ทั้งนี้ เพื่อให้หน้าสัมผัสของแผ่นเหล็กทดสอบและผิวดินแนบติดกัน

(๓) การขุดหลุมทดสอบต้องให้มีความกว้างไม่น้อยกว่า ๔ เท่าของขนาดแผ่นเหล็กทดสอบที่เตรียมไว้ และให้รีบดำเนินการทดสอบก่อนที่จะเกิดการสูญเสียความชื้นบริเวณก้นหลุม

(๔) ในกรณีสถานที่ก่อสร้างเป็นพื้นที่ลุ่ม ถ้าก้นหลุมมีน้ำขังให้ทำการสูบน้ำออก หรือขุดหลุมดักน้ำไว้มุมหนึ่ง แล้วจึงดำเนินการทดสอบ

(๕) ในกรณีที่ต้องการทดสอบกับดินที่ชุ่มน้ำ หรือพื้นดินของโครงสร้างทางชลศาสตร์ ต้องทำให้ดินบริเวณรอบ ๆ จุดทดสอบชุ่มน้ำที่ความลึกลงไปไม่น้อยกว่า ๒ เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นเหล็กทดสอบแผ่นที่มีขนาดใหญ่ที่สุด

(๖) จัดให้มีการทดสอบด้วยวิธีการตอกหยั่ง (sounding test) เพื่อตรวจสอบสภาพชั้นดินใต้ฐานรากอย่างน้อย ๒ ตำแหน่งต่อจุดทดสอบ

(๗) การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ต้องได้รับการตรวจและเห็นชอบจากผู้ควบคุมการทดสอบก่อน จึงจะเริ่มการทดสอบได้

#### ก. ๒ การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ

(๑) แผ่นเหล็กทดสอบ (steel bearing plate) ต้องเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด ๓๐๐ มิลลิเมตร ๔๕๐ มิลลิเมตร หรือ ๖๐๐ มิลลิเมตร และมีความหนาไม่น้อยกว่า ๒๕ มิลลิเมตร หรือแผ่นเหล็กกลม ที่มีความหนาและพื้นที่ เทียบเคียงกัน

(๒) ชุดเพิ่มน้ำหนัก ประกอบด้วยแม่แรงไฮดรอลิกและมาตรแรงกด (hydraulic jack with pressure gauge) ต้องมีความสามารถให้ค่าแรงอัดไม่ต่ำกว่า ๑๕,๐๐๐ กิโลกรัม มีมาตรแรงกด (pressure gauge) วัดแรงกดที่เกิดขึ้น โดยยอมให้ผิดพลาดได้ไม่เกินร้อยละ ๒ ของน้ำหนักที่เพิ่มในแต่ละช่วง พร้อมทั้งมีใบรับรองผลการสอบเทียบ (calibrated and tested report) อายุไม่เกิน ๑ ปี โดยมีจุดสอบเทียบในช่วงน้ำหนักทดสอบสูงสุดที่กำหนดอย่างน้อย ๕ ค่า มาแสดงก่อนใช้ชุดเพิ่มน้ำหนักดังกล่าว

(๓) แคร่บรรทุกน้ำหนัก (loading platform) ทำจากเหล็ก ต้องแข็งแรงและรับน้ำหนักบรรทุกได้มากพอที่จะให้แรงกดได้ตลอดการทดสอบ รองรับของแคร่บรรทุกน้ำหนักต้องห่างจากตำแหน่งทดสอบอย่างน้อย ๒.๔๐ เมตร

(๔) มาตรการทวัดตัว (dial gauge) ให้ใช้อย่างน้อย ๓ ตัว ติดตั้งโดยทำมุม ๑๒๐ องศา เพื่อให้ได้การทวัดตัวทั้งสองทิศทาง และมาตรทุกตัวที่ใช้ต้องมีความละเอียดในการอ่านมาตรได้ไม่น้อยกว่า ๐.๒๕ มิลลิเมตร

(๕) คานรับมาตร (reference beam) ทำจากเหล็กต้องมีความแข็งแรงและติดตั้งแยกอิสระ จูตรองรับต้องมีการยึดแน่น หากเป็นไปได้ จูตรองรับของคานควรห่างจากจุดทดสอบอย่างน้อย ๒.๔๐ เมตร

- (๖) คานปฏิกิริยา (reaction beam) ทำจากเหล็กที่มีความมั่นคงแข็งแรง สามารถรองรับแรงกระทำได้
- (๗) ชุดเสารับแรงอัด (compression post) ให้ใช้เสาเหล็กท่อนเดี่ยว (single member) ปิดปลายเรียบสองด้าน ใช้หนุนเสริมช่องว่างเพื่อรองรับแรงอัดจากแคร่บรรทุกน้ำหนักถ่ายลงแผ่นเหล็กทดสอบ เสารับแรงอัดต้องมีความแข็งแรงและสามารถรับแรงอัดได้โดยไม่บิดหรือโก่งงอ และที่ปลายเสาต้องมีแป้นป้องกันการหนีศูนย์ เพื่อให้การถ่ายแรงในแนวตั้งเป็นไปอย่างสมบูรณ์
- (๘) การประกอบเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสภาพสถานที่ก่อสร้าง โดยให้อยู่ในการพิจารณาของผู้ควบคุมการทดสอบ ทั้งนี้ต้องดำเนินการให้มีความมั่นคงแข็งแรง ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ

### ก. ๓ วิธีการทดสอบ

(๑) พิจารณาน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุดสำหรับใช้ในการทดสอบ โดยให้ใช้กำลังแบกทานของดิน หรือน้ำหนักที่ออกแบบที่มีค่าไม่น้อยกว่า ๓ เท่าหรือตามที่ระบุไว้ในแบบ

(๒) เมื่อติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว ให้เริ่มการทดสอบด้วยน้ำหนักบรรทุกประมาณ ๑ ใน ๑๐ ของน้ำหนักสูงสุดและให้ทำการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกทดสอบแต่ละช่วงประมาณ ๑ ใน ๑๐ ของน้ำหนักสูงสุดที่กำหนดไว้

(๓) เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกทดสอบแต่ละช่วง ให้เริ่มบันทึกค่าการทรุดตัวไม่น้อยกว่า ๖ ค่า เช่น ณ เวลาที่ ๓๐ วินาที ๑ นาที ๒ นาที ๔ นาที ๘ นาที ๑๕ นาที และนาทีต่อ ๆ ไป (ถ้ามี) ทั้งนี้ ต้องคั่งน้ำหนักบรรทุกทดสอบไว้ไม่น้อยกว่า ๑๕ นาทีในแต่ละช่วงของการทดสอบ โดยหลังจาก ๑๕ นาทีไปแล้ว ให้หาค่าเฉลี่ยในเวลา ๓ นาทีที่ต่อเนื่องกัน ต้องมีอัตราการทรุดตัวไม่เกิน ๐.๐๒ มิลลิเมตรต่อนาที จึงจะเพิ่มน้ำหนักบรรทุกทดสอบช่วงต่อไปได้

(๔) ในกรณีที่ต้องคั่งน้ำหนักบรรทุกทดสอบไว้จนครบ ๑ ชั่วโมง แล้วอัตราการทรุดตัวยังมีค่าเกินกว่า ๐.๐๒ มิลลิเมตรต่อนาที โดยเฉลี่ยจากเวลา ๓ นาทีที่ต่อเนื่องกัน ให้คั่งน้ำหนักบรรทุกทดสอบนั้นไว้ต่อไปอีก ๑ ชั่วโมง หากปรากฏว่าอัตราการทรุดตัวยังมีค่าเกินกว่า ๐.๐๒ มิลลิเมตรต่อนาที หรือสภาพดินฐานรากแสดงลักษณะการวิบัติ ให้ยกเลิกการทดสอบ และให้ถือน้ำหนักบรรทุกทดสอบนั้นเป็นน้ำหนักสูงสุด

(๕) เพิ่มน้ำหนักบรรทุกทดสอบจนถึงน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุดหรือน้ำหนักที่กำหนดไว้ ให้คั่งน้ำหนักบรรทุกทดสอบไว้ต่อไปอีก ๑ ชั่วโมง ก่อนทำการลดน้ำหนักบรรทุกทดสอบ

(๖) ลดน้ำหนักบรรทุกทดสอบลงช่วงละร้อยละ ๒๕ ของน้ำหนักบรรทุกทดสอบ โดยต้องคั่งน้ำหนักบรรทุกทดสอบไว้ให้คั่งที่ช่วงละไม่น้อยกว่า ๑๕ นาที และให้บันทึกค่าการคืนตัวจากการลดน้ำหนักบรรทุกทดสอบอย่างน้อย ๓ ค่า เช่น ณ เวลาที่ ๑ นาที ๘ นาที ๑๕ นาที

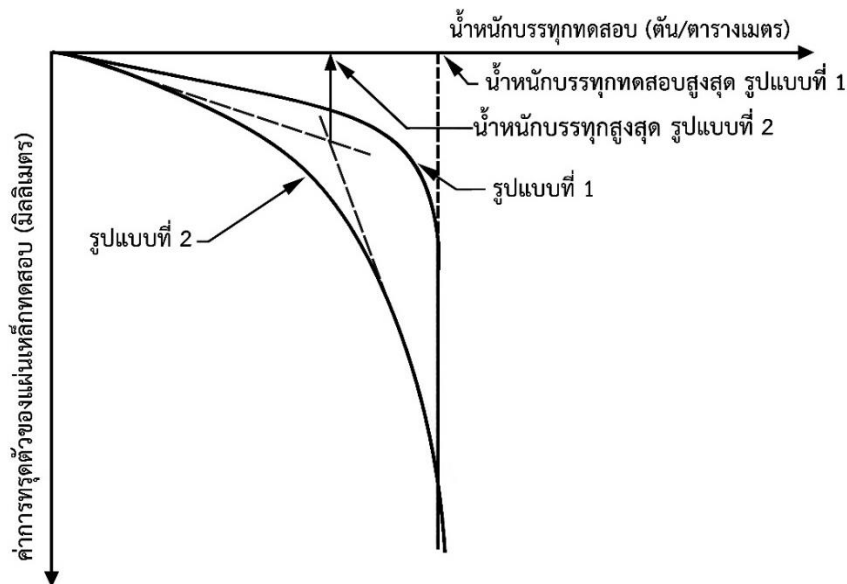
(๗) เก็บตัวอย่างดินฐานรากก้นหลุมทดสอบเพื่อนำไปหาคุณสมบัติพื้นฐานในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ มาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit : L.L.) มาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่าขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit : P.L.) และมาตรฐานการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve Analysis) เพื่อประเมินประเภทดินฐานราก



#### ก. ๔ การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

(๑) หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้ของดินให้พิจารณาจากน้ำหนักบรรทุกสูงสุดหารด้วยอัตราส่วนความปลอดภัย โดยอัตราส่วนความปลอดภัยควรมีค่าไม่น้อยกว่า ๓

(๒) เมื่อทำการทดสอบตามวิธีการทดสอบข้างต้นแล้ว น้ำหนักบรรทุกสูงสุดสามารถประเมินได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการทรุดตัวของแผ่นเหล็กทดสอบ ซึ่งลักษณะโดยทั่วไปของกราฟความสัมพันธ์สามารถจำแนกได้ ๒ รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ ๑ เส้นกราฟความสัมพันธ์แสดงจุดวิบัติของดินฐานรากที่ชัดเจน และรูปแบบที่ ๒ เส้นกราฟความสัมพันธ์แสดงจุดวิบัติของดินฐานรากไม่ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ ๔ โดยเส้นกราฟรูปแบบที่ ๑ สามารถประเมินได้ว่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด คือน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุด ซึ่งทำให้เกิดการทรุดตัวต่อเนื่องโดยไม่สามารถเพิ่มน้ำหนักได้อีก ในขณะที่เส้นกราฟรูปแบบที่ ๒ สามารถประเมินหาน้ำหนักบรรทุกสูงสุดได้จากน้ำหนักบรรทุก ณ จุดตัดระหว่างเส้นตรงสองเส้นที่ลากสัมผัสเส้นกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวจากช่วงเริ่มต้นที่ยังอยู่ในช่วงอิลาสติก และช่วงสุดท้ายที่อัตราการทรุดตัวต่อน้ำหนักบรรทุกทดสอบคงที่



รูปที่ ๔ ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการทรุดตัวของแผ่นเหล็กทดสอบ

(๓) ค่าการทรุดตัวของฐานรากแม่ที่คำนวณจากค่าการทรุดตัวของแผ่นเหล็กทดสอบที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด โดยใช้สมการ (๓) หรือ (๔) ของข้อ ๒๑ ในประกาศนี้ แล้วแต่กรณี และต้องมีค่าไม่มากกว่า ๒๕ มิลลิเมตร จึงสามารถใช้น้ำหนักบรรทุกสูงสุดนั้น นำไปพิจารณาหน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้ของดิน

(๔) กรณีที่ค่าการทรุดตัวของฐานรากจากการคำนวณตามข้อ (๓) มีค่ามากกว่า ๒๕ มิลลิเมตร ต้องแทนค่าการทรุดตัวของฐานรากแม่ ( $S_f$ ) เท่ากับ ๒๕ มิลลิเมตรในสมการ (๓) หรือ (๔) ของข้อ ๒๑ ในประกาศนี้ แล้วแต่กรณี เพื่อคำนวณหาค่าการทรุดตัวของแผ่นเหล็กทดสอบ ( $S_p$ ) จากนั้นนำไปประเมินค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบและค่าการทรุดตัวของแผ่นเหล็กทดสอบ โดยน้ำหนักบรรทุกสูงสุดสำหรับนำไปพิจารณาหน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้ของดินจะเป็นค่าน้ำหนักบรรทุกบนกราฟความสัมพันธ์ที่แผ่นเหล็กทดสอบมีค่าการทรุดตัวเทียบเท่ากับค่าการทรุดตัวของฐานรากที่ ๒๕ มิลลิเมตร

## ผนวก ข

### การทดสอบแรงต้านทานของเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์แบบค้ำน้ำหนักบรรทุก

#### ข. ๑ การเตรียมการก่อนการทดสอบ

(๑) ให้ทำการขุดหรือถมเพื่อปรับระดับพื้นดินบริเวณรอบเสาเข็มต้นที่จะทดสอบหรือเสาเข็มกลุ่มที่จะทดสอบ ให้ได้ระดับตามที่กำหนดไว้

(๒) ทำการตัดหรือเสริมปรับระดับหัวเสาเข็มเท่าที่จำเป็นเพื่อติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเพิ่มน้ำหนักและกำจัดเศษวัสดุบริเวณหัวเสาเข็มรวมถึงทำการเตรียมพื้นผิวคอนกรีตให้สะอาด โดยให้หัวเสาเข็มทดสอบหรือคอนกรีตที่หล่อหุ้มเสาเข็มทดสอบมีผิวหน้าเรียบ และตั้งฉากกับแนวแกนเสาเข็มทดสอบ และได้ระนาบกับแผ่นเหล็กทดสอบ

(๓) กรณีการทดสอบกับเสาเข็มเดี่ยวให้ติดตั้งแผ่นเหล็กทดสอบที่มีความหนาอย่างน้อย ๒๕ มิลลิเมตร ตั้งฉากกับแนวแกนเสาเข็มทดสอบ โดยแผ่นเหล็กต้องมีขนาดเหมาะสมเพียงพอครอบคลุมพื้นที่หัวเสาเข็มทั้งหมดได้

(๔) กรณีทดสอบกับเสาเข็มกลุ่มต้องทำฐานรากปิดหัวเข็ม (pile cap) ครอบหัวเสาเข็มทดสอบทั้งหมดด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือโครงเหล็กที่ออกแบบมาเพื่อให้มีการถ่ายแรงได้ตามที่ต้องการ ใต้ฐานรากปิดหัวเข็มควรมีช่องว่างเพียงพอ เพื่อป้องกันการถ่ายแรงสู่พื้นดินด้านล่าง โดยแต่ละตำแหน่งที่น้ำหนักทดสอบกระทำลงบนแท่นหัวเข็มต้องมีแผ่นเหล็กทดสอบที่มีความหนาอย่างน้อย ๒๕ มิลลิเมตร วางตั้งฉากกับแนวแกนเสาเข็มกลุ่ม เพื่อให้น้ำหนักบรรทุกทดสอบกระทำลงบนแท่นหัวเข็มได้อย่างปลอดภัย โดยให้ตำแหน่งศูนย์กลางของแผ่นเหล็กทดสอบตรงกับจุดศูนย์กลางแรงของเสาเข็มกลุ่ม

(๕) กรณีหัวเสาเข็มไม่เรียบหรือไม่ได้ระดับ ก่อนวางแผ่นเหล็กทดสอบให้ทำการปรับระดับหัวเสาเข็มด้วยซีเมนต์ชนิดไม่หดตัว ที่มีความหนาไม่เกิน ๖ มิลลิเมตร และมีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าคอนกรีตของเสาเข็ม เพื่อป้องกันการไม่สม่ำเสมอของการกระจายน้ำหนักจากแผ่นเหล็กสู่เสาเข็ม

#### ข. ๒ การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

(๑) ชุดเพิ่มน้ำหนักประกอบด้วยแม่แรงไฮดรอลิก (hydraulic jack) ปั๊มไฮดรอลิก (hydraulic pump) และมาตรความดัน (pressure gauge) ต้องมีใบรับรองแสดงผลการสอบเทียบ (calibrated and tested report) ที่ได้รับการรับรองจากสถาบันที่เชื่อถือได้ โดยมีอายุไม่เกิน ๑ ปี มาแสดงก่อนใช้ชุดเพิ่มน้ำหนักดังกล่าว และชุดเพิ่มน้ำหนักดังกล่าวต้องสามารถควบคุมการเพิ่มน้ำหนักเมื่อทำการทดสอบได้ ซึ่งสามารถให้น้ำหนักบรรทุกทดสอบได้สูงกว่าน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุดที่กระทำต่อเสาเข็มอย่างน้อยร้อยละ ๒๐ โดยยอมให้ผิดพลาดได้ไม่เกินร้อยละ ๕ ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่กระทำต่อเสาเข็ม

เมื่อใช้แม่แรงไฮดรอลิกมากกว่าหนึ่งตัว ต้องเพิ่มน้ำหนักจากปั๊มไฮดรอลิกตัวเดียวกัน โดยใช้ท่อจ่ายร่วม (common manifold) และมาตรแรงกดอันเดียว โดยให้ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ (automatic regulator) ในการควบคุมน้ำหนักให้คงที่เมื่อมีการทรุดตัวเกิดขึ้น

(๒) แม่แรงไฮดรอลิก (hydraulic jack) ต้องสามารถเพิ่มน้ำหนักได้อย่างสม่ำเสมอในขั้นตอนการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกทดสอบและรักษาน้ำหนักให้คงที่ในขั้นตอนการรักษาน้ำหนักบรรทุกทดสอบ ในระหว่างการทดสอบไม่ควรปล่อยแม่แรงไฮดรอลิกทิ้งไว้ โดยไม่มีผู้ควบคุมการทดสอบ เพื่อป้องกันการอันตรายที่อาจเกิดขึ้น

(ก) มาตรฐานแรง (load cell) หรืออุปกรณ์วัดแรงชนิดอื่นที่มีความละเอียดเทียบเท่า เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้น โดยติดตั้งระหว่างคานปฏิกิริยา (reaction beam) และแม่แรงไฮดรอลิก (hydraulic jack) สำหรับตรวจสอบแรงกระทำที่เกิดจากแม่แรงไฮดรอลิกเพื่อให้ได้น้ำหนักบรรทุกตามที่ต้องการ ทั้งนี้ มาตรฐานหรืออุปกรณ์วัดแรงชนิดอื่นต้องมีใบรับรองแสดงผลการสอบเทียบ (calibrated and tested report) ที่ได้รับการรับรองจากสถาบันที่เชื่อถือได้ โดยมีอายุไม่เกิน ๑ ปี มาแสดงก่อนใช้

(ข) คานปฏิกิริยา (reaction beam) เป็นคานเหล็กที่วางอยู่บนแผ่นเหล็กรอง ทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากแม่แรงไฮดรอลิกไปยังเสาเข็มสมอหรือวัสดุถ่วงน้ำหนัก ซึ่งคานปฏิกิริยานี้ต้องมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทดสอบได้ไม่น้อยกว่า ๑.๕ เท่าของน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุด

(ค) แผ่นเหล็กรอง (steel bearing plate) ใช้เป็นแผ่นรองช่วยในการกระจายแรงจากขอบด้านบนของแม่แรงหรือจากฐานรองรับของคานรับแรงปฏิกิริยาเพื่อส่งกระจายแรงลงพื้นผิวของเสาเข็มทดสอบหรือแท่นหัวเข็มได้อย่างสม่ำเสมอทั้งหน้าตัด

(ง) บอลเบริง (ball bearing) เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการถ่ายน้ำหนักจากแม่แรงไฮดรอลิกให้มีระยะสัมผัสในแนวราบและรักษาน้ำหนักบรรทุกทดสอบอยู่ในแนวตั้งเสมอ

(จ) มาตรการทวัดตัว (dial gauge) หรืออุปกรณ์วัดการเคลื่อนตัวชนิดอื่นที่มีความละเอียดเทียบเท่าที่ใช้ในการทดสอบต้องมีระบบ และความละเอียดในการวัดค่า (division) เหมือนกันหมดเพื่อป้องกันความผิดพลาด และเพื่อความสะดวกในการอ่านค่า มาตรฐานดังกล่าวต้องสามารถวัดค่าการทวัดตัวได้ไม่น้อยกว่า ๕๐ มิลลิเมตร และอ่านค่าได้ละเอียดอย่างน้อย ๐.๒๕ มิลลิเมตร ให้ติดตั้งมาตรการทวัดตัว ๔ ตัว โดยติดตั้งไว้บริเวณหัวเสาเข็มบนผิวสัมผัสราบเรียบ เช่น แผ่นกระจก มาตรฐานวัดเหล่านี้ต้องห่างจากจุดศูนย์กลางของหัวเสาเข็มทดสอบเท่ากันทั้งสองด้านและอยู่ตรงกันข้ามในแนวเดียวกันด้วย และต้องปรับให้ขาของมาตรวัดทุกตัวขนานกับทิศทางของน้ำหนักที่กระทำต่อหัวเสาเข็ม

(ฉ) คานรับมาตรฐาน (reference beam) ต้องเป็นคานเหล็กและติดตั้งแยกอิสระ โดยให้ยึดกับเสาเหล็กหรือเสาคอนกรีตที่ตอกฝังแน่นลงในดินไม่น้อยกว่า ๑.๐๐ เมตร มีระยะช่องห่างจากเสาเข็มทดสอบและเสาเข็มสมอหรือหมอนรองรับวัสดุถ่วงน้ำหนักไม่น้อยกว่า ๕ เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มทดสอบ แต่ไม่น้อยกว่า ๒.๕๐ เมตร โดยวัดจากขอบเสาเข็มทดสอบถึงขอบเสาเหล็กหรือเสาคอนกรีตดังกล่าว และต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะไม่เกิดการโก่งตัวและเคลื่อนตัวไปทางด้านข้างได้ ปลายด้านหนึ่งของคานต้องสามารถเคลื่อนตัวได้เมื่อมีการยึดหดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

(ช) กล้องระดับใช้สำหรับวัดการเคลื่อนตัวของเสาเข็มทดสอบ ระดับคานอ้างอิง ระดับเสาเข็มสมอ เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงหากเกิดความผิดพลาดจากการวัดค่าการทวัดตัวด้วยมาตรการทวัดตัว (dial gauge) หรืออุปกรณ์วัดการเคลื่อนตัวชนิดอื่นที่มีความละเอียดเทียบเท่า กล้องระดับต้องอ่านค่าที่ไม่วัดระดับได้ละเอียดอย่างน้อย ๑ มิลลิเมตร และอ่านค่าให้มีความแม่นยำได้ใกล้เคียง ๐.๑ มิลลิเมตร โดยให้อ่านค่าเทียบกับหมุดระดับหรือหมุดอ้างอิง (benchmark)

ข. ๓ การทดสอบแบบค้ำน้ำหนักบรรทุก (maintained load)

(๑) น้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุดอย่างน้อย ๒ เท่าของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย (safe load) ของเสาเข็ม แต่ละต้นที่ระบุในรายการหรือแบบรายละเอียด

(๒) การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกให้ดำเนินการเป็นขั้นตอน โดยให้เพิ่มน้ำหนักบรรทุกทดสอบร้อยละ ๑๐ ของน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุด จนถึงน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุด

(๓) ในแต่ละขั้นตอนของการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกให้ค้ำน้ำหนักบรรทุกทดสอบไว้อย่างน้อย ๓๐ นาที และมากที่สุด ๒ ชั่วโมง โดยบันทึกค่าการทรุดตัวที่ ๐ นาที ๕ นาที ๑๐ นาที และ ๓๐ นาที จากนั้นทุก ๆ ๓๐ นาที ตรวจสอบอัตราการทรุดตัวของเสาเข็ม ซึ่งต้องไม่เกิน ๐.๒๕ มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จึงจะเพิ่มน้ำหนักขึ้นตอนต่อไป

(๔) หากอัตราการทรุดตัวของเสาเข็มสูงกว่า ๐.๒๕ มิลลิเมตรต่อชั่วโมงในหนึ่งชั่วโมงแรก ให้ค้ำน้ำหนักบรรทุกทดสอบต่อไปจนครบ ๒ ชั่วโมง หากอัตราการทรุดตัวของเสาเข็มยังคงสูงกว่า ๐.๒๕ มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และเสาเข็มยังไม่เกิดการวิบัติ ให้เพิ่มน้ำหนักบรรทุกในขั้นตอนต่อไปร้อยละ ๕ ของน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุด และให้ค้ำน้ำหนักในแต่ละขั้นตอนไว้เป็นเวลาอย่างน้อย ๑๐ นาที แต่ไม่เกิน ๑ ชั่วโมง

(๕) ในกรณีดำเนินการตามขั้นตอนในข้อ (๔) จนกระทั่งเมื่อเสาเข็มเกิดการวิบัติก่อนทดสอบถึงน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุดที่ต้องการ หรือเสาเข็มเกิดการวิบัติหลังจากค้ำน้ำหนักบรรทุกสูงสุดทดสอบที่ต้องการไว้ ๑๐ นาทีหรือมากกว่า แต่ไม่เกิน ๑ ชั่วโมง ให้บันทึกค่าการทรุดตัวทันทีและถือเป็นน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุด ก่อนที่จะเริ่มลดน้ำหนักบรรทุกทดสอบ จากนั้นให้ลดน้ำหนักบรรทุกทดสอบเป็นขั้นตอนตามข้อ (๗)

(๖) เมื่อดำเนินการทดสอบจนถึงน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุดที่กำหนดโดยเสาเข็มไม่วิบัติ ให้ค้ำน้ำหนักบรรทุกสูงสุดนั้นไว้ ๒ ชั่วโมง และให้ลดน้ำหนักบรรทุกตามข้อ (๗)

(๗) การลดน้ำหนักบรรทุกให้ดำเนินการลดน้ำหนักเป็นขั้นตอน ร้อยละ ๒๕ ของน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุด โดยค้ำน้ำหนักบรรทุกทดสอบไว้ขั้นตอนละ ๑๐ นาที และบันทึกค่าการทรุดตัวที่ ๐ นาที ๕ นาที และ ๑๐ นาที เมื่อลดน้ำหนักบรรทุกลงหมดจนเป็นศูนย์ ให้ค้ำน้ำหนักที่ศูนย์นั้นไว้อย่างน้อย ๑ ชั่วโมง บันทึกค่าการทรุดตัวที่ ๐ นาที ๕ นาที ๑๐ นาที ๒๐ นาที ๓๐ นาที และ ๖๐ นาที จากนั้นบันทึกค่าต่อไปทุก ๆ ๖๐ นาที จนการค้ำตัวมีค่าคงที่

(๘) กรณีที่ได้ทดสอบเสาเข็มตามขั้นตอนข้างต้นจนถึงน้ำหนักทดสอบสูงสุดอย่างน้อย ๒ เท่าของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย (safe load) แล้ว แต่ยังไม่มีความประสงค์ที่จะทดสอบเสาเข็มให้ถึงจุดวิบัติเพื่อใช้ในการออกแบบ ต้องทดสอบกับเสาเข็มที่ไม่ได้ใช้งาน โดยให้ผู้ออกแบบและคำนวณประเมินน้ำหนักบรรทุกสูงสุดก่อนการทดสอบ เพื่อกำหนดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบอย่างเหมาะสมสอดคล้องกับน้ำหนักทดสอบวิบัติที่ผู้ออกแบบได้ประเมินไว้ และดำเนินการทดสอบเพิ่มเติมหลังจากลดน้ำหนักของการทดสอบตามข้อ (๑) ถึงข้อ (๔) ข้อ (๖) และข้อ (๗) เรียบร้อยแล้ว โดยเพิ่มน้ำหนักบรรทุกทดสอบอย่างต่อเนื่องเป็นขั้นตอน ร้อยละ ๑๐ ของน้ำหนักวิบัติ ให้ค้ำน้ำหนักบรรทุกทดสอบในแต่ละขั้นตอนไว้เป็นเวลา ๒๐ นาที และบันทึกค่าการทรุดตัวที่ ๐ นาที ๕ นาที ๑๐ นาที และ ๒๐ นาที จนกว่าเสาเข็มจะถึงจุดวิบัติ ซึ่งสามารถใช้เกณฑ์การทรุดตัวของเสาเข็มที่ร้อยละ ๕ ของเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างของเสาเข็มเป็นเกณฑ์การวิบัติ โดยการทดสอบต้องอยู่ในดุลพินิจของผู้ออกแบบและคำนวณ และเมื่อเสาเข็มถึงจุดวิบัติตามเกณฑ์ที่กล่าวมาแล้ว ให้ดำเนินการลดน้ำหนักเป็นขั้นตอน โดยลดลงร้อยละ ๒๕ ของน้ำหนักวิบัติที่ผู้ออกแบบประเมินไว้ สำหรับการลดน้ำหนักบรรทุกจนถึงศูนย์ให้ค้ำน้ำหนักบรรทุกทดสอบในแต่ละขั้นตอนไว้เป็นเวลา ๒๐ นาที และบันทึกค่าการทรุดตัวที่ ๐ นาที ๕ นาที ๑๐ นาที และ ๒๐ นาที