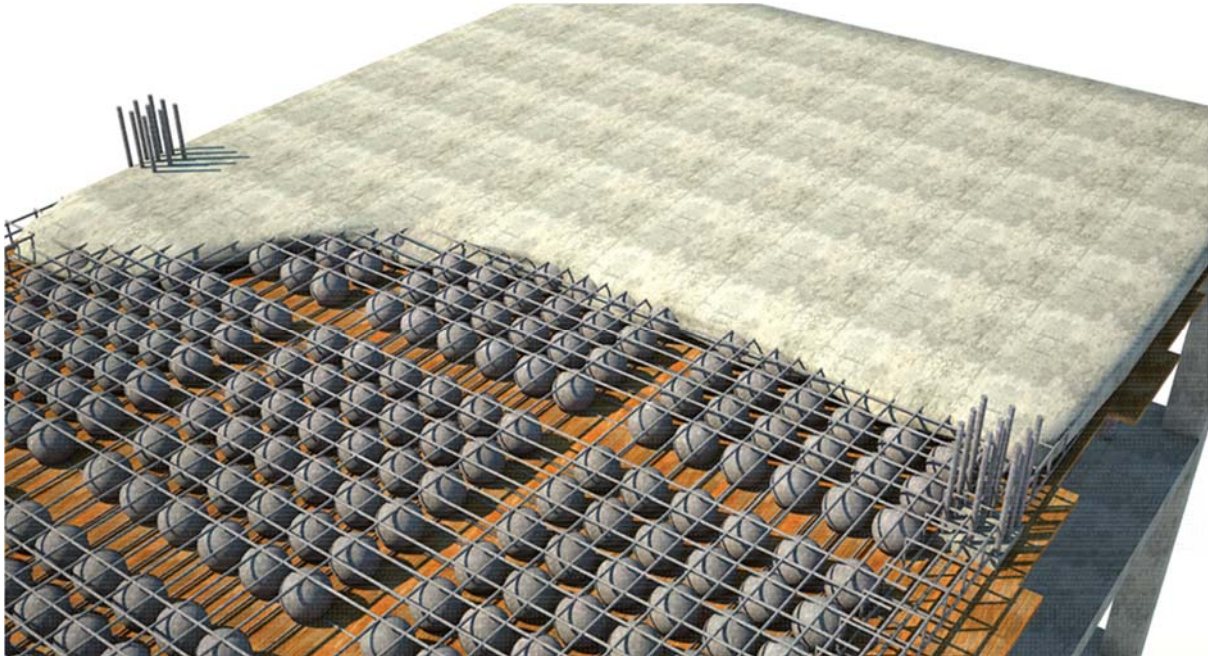


ระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวง

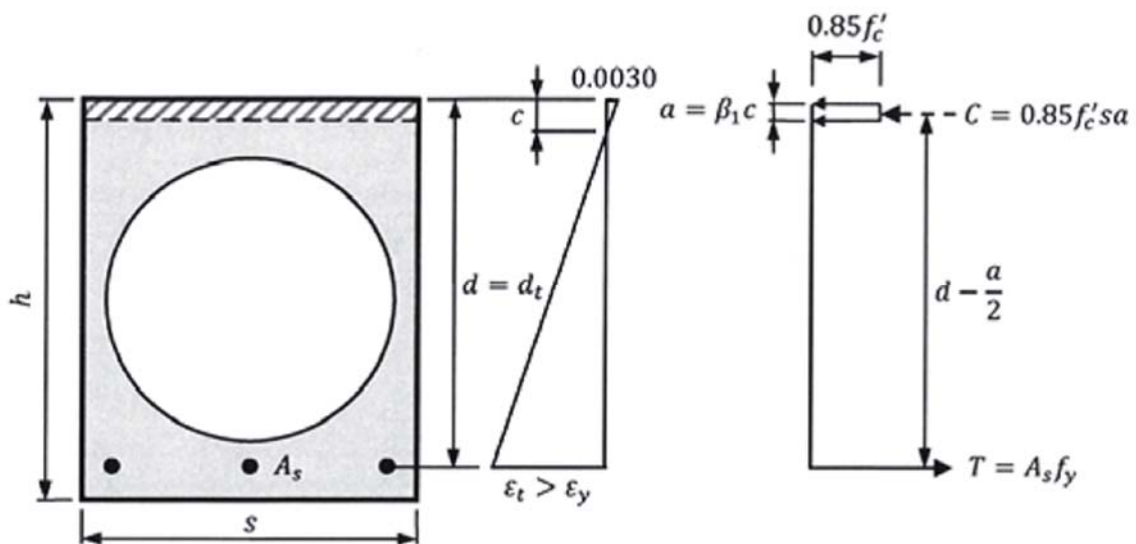
Flat plate voided biaxial slab systems or Bubble deck



ระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวง เริ่มพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 โดยใช้แนวคิดเดียวกับแผ่นพื้นสำเร็จแบบกลวง (Hollow core precast slab) ต่างกันที่ไม่ได้เป็นพฤติกรรมแบบพื้นทางเดียวเหมือนแผ่นพื้นสำเร็จแบบกลวง แต่เป็นพฤติกรรมการรับน้ำหนักแบบพื้นสองทาง (Two way slab)



พิจารณาแรงภายในและความสอดคล้องของความเครียด (Strain compatibility) จะเห็นว่าส่วนที่รับแรงอัดเหนือแกนสะเทินสำหรับพื้นจะอยู่สูงมาก และมีพื้นที่ด้านล่างที่รับแรงดึงอยู่มาก จึงมีแนวคิดในการเอาคอนกรีตบริเวณใต้แกนสะเทินบางส่วนออกได้



เทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการสร้างช่องโหว่ในคอนกรีต คือการใส่ลูกบอลพลาสติก (plastic voided former) ทรงกลมหรือทรงรี ฝังไว้ในความหนาพื้นก่อนเทคอนกรีต โดยมีเหล็กเสริมประคองไว้และเป็นตัวกำหนดระยะและความสูงของลูกบอล



ระบบพื้นโหว่โดยบอลพลาสติก (Plastic Voided Slab Systems)

ลูกบอลพลาสติก (Plastic voided former) ส่วนใหญ่เริ่มพัฒนาและผลิตในยุโรป วัสดุที่นำมาใช้เป็น HDPE plastic ball (High Density recycled PolyEthylene) โดยมีคุณสมบัติดังนี้

Material: HDPE

Compressive strength: 30,000 kN/m²

Young Modulus: 8.00x10⁵ kN/m²

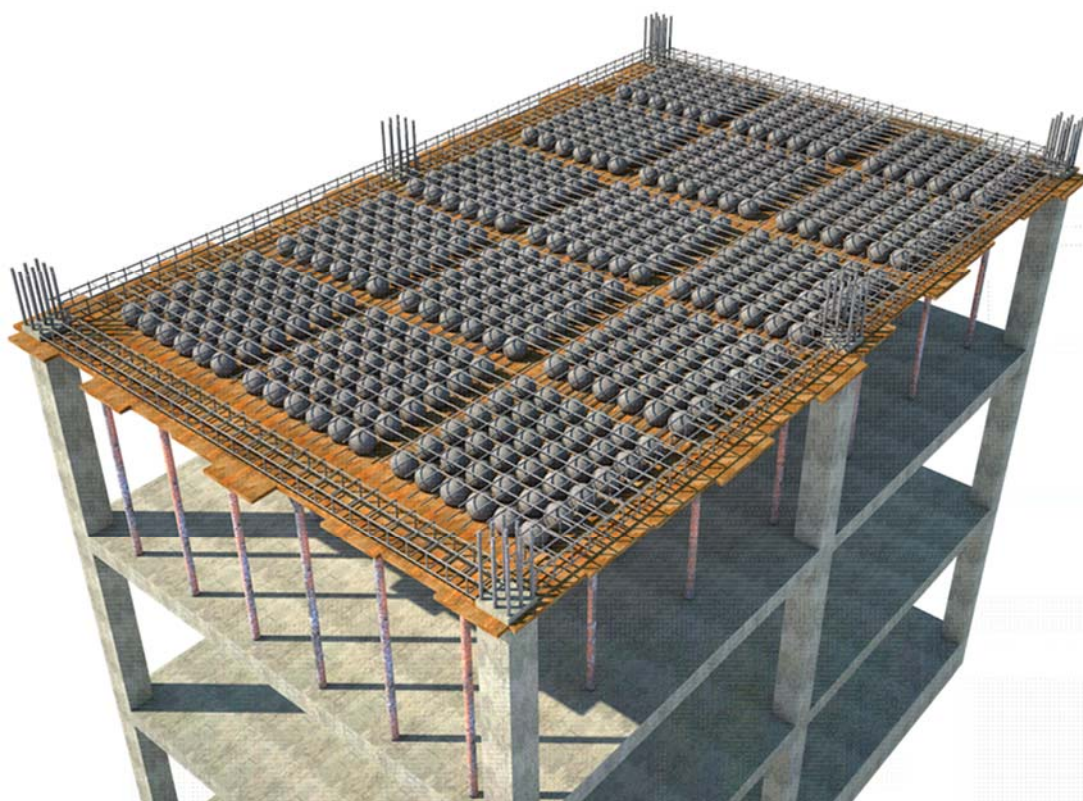
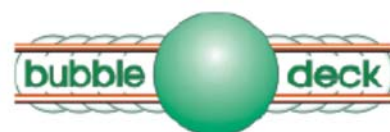
Poisson's Ratio: 0.42

Thermal Expansion: 2.0×10^{-5}

Density: 10.01 kN/m³

โดยทั่วไปมีสองบริษัทที่นิยมใช้กันมากในสหรัฐอเมริกาคือ Bubble deck และ Cobiax ซึ่งใช้ลูกบอลทรงกลมหรือทรงรี ส่วนระบบ U-Boot beton เป็นระบบของบริษัทที่พัฒนาขึ้นในประเทศอิตาลีที่ใช้พลาสติกรูปร่างที่ต่างออกไปเพื่อสร้างแนวคอนกรีตให้เป็นรูปตัวโอ ช่วยในการรับน้ำหนักให้ดีขึ้น โดยแต่ละระบบมีรายละเอียดดังนี้

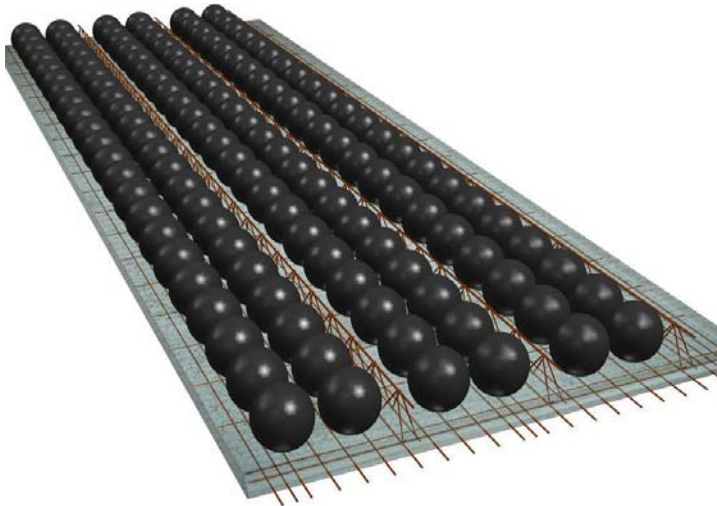
1. ระบบของ Bubble Deck





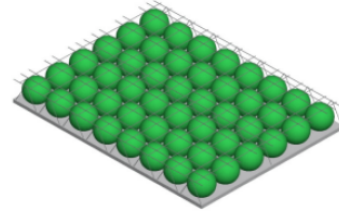
1.1 Semi-precast system เป็นระบบที่หล่อพื้นส่วนล่างมาจากโรงงานเพื่อใช้เป็นแบบหล่อเพื่อติดตั้ง และติดตั้งลูกบอลและเหล็กเสริมมาแล้วเป็นแผงสำเร็จรูป แสดงดังรูปด้านล่าง



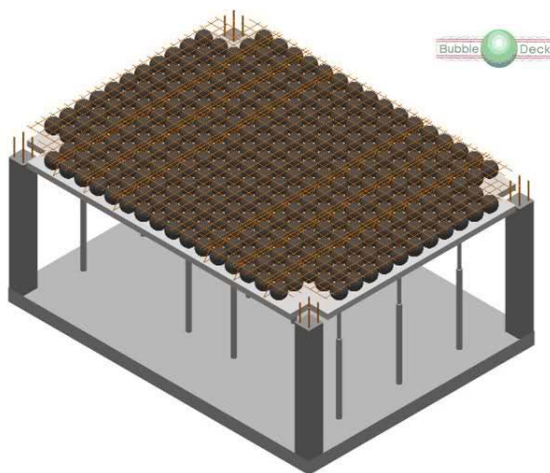
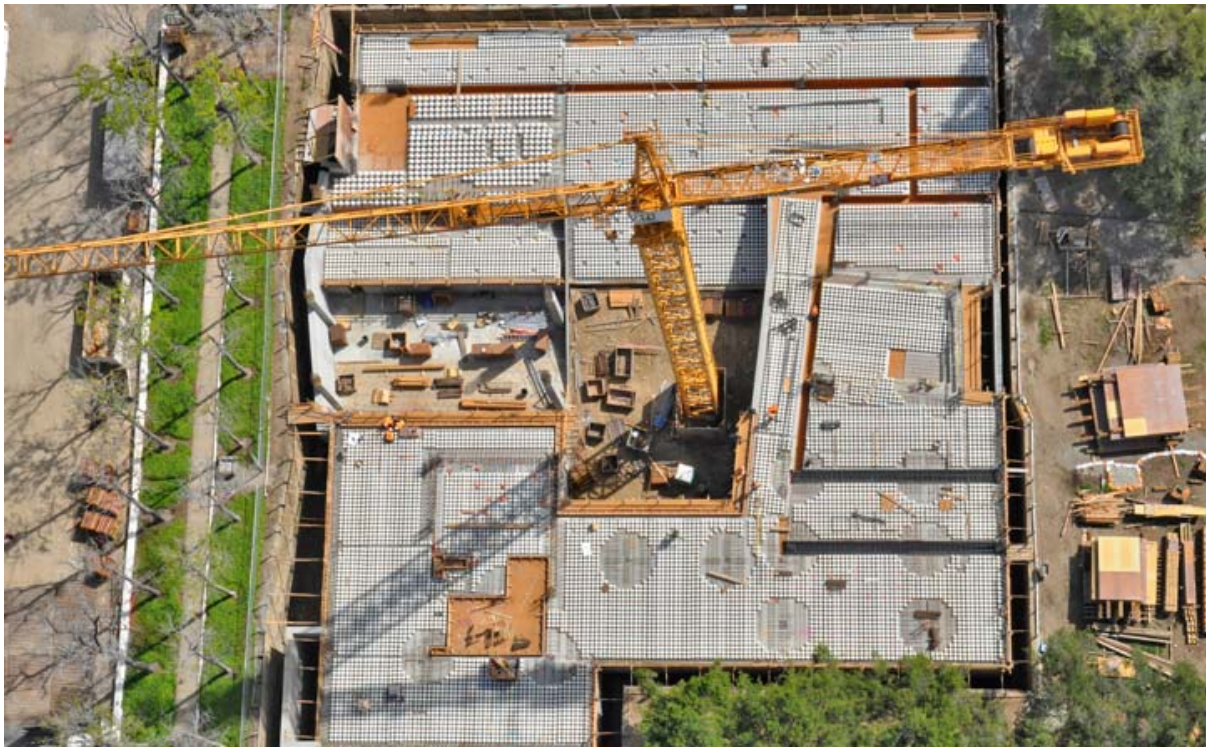


Semi-precast module variant

- Auxiliary-support preparation
- Edge formwork preparation
- Laying the semi-precast modules
- Laying the edge reinforcement
- Laying the upper reinforcement
- Pouring the top concrete layer



1.2 Cast-in-place system ติดตั้งเหล็กเสริมและลูกบอลตามตำแหน่งที่ระบุในแบบก่อสร้างที่
หน่วยงานก่อสร้าง แล้วเทคอนกรีต



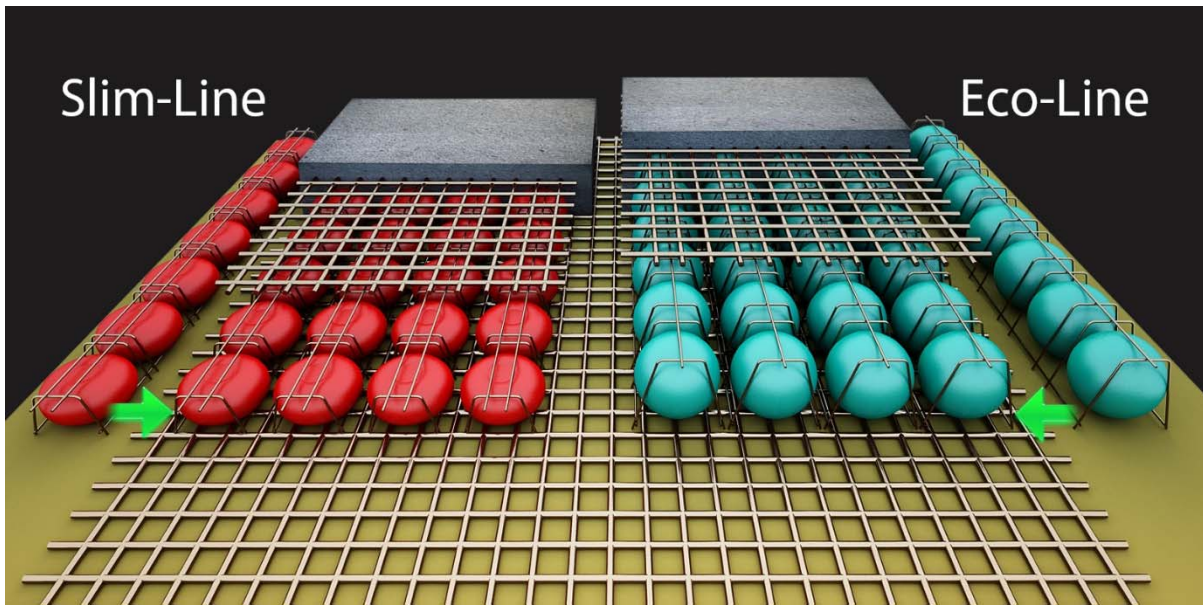
In-situ concrete variant

- Formwork preparation
- Laying the lower reinforcement
- Installation of the basic modules
- Laying the upper reinforcement
- Pouring the bottom concrete layer
- Pouring the top concrete layer

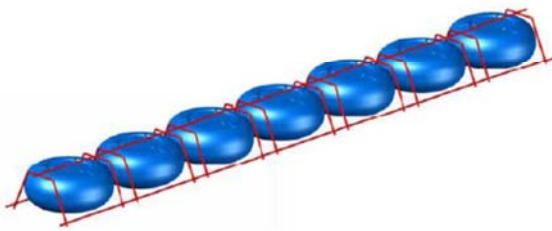
2. ระบบของ Cobiax



Cobix เป็นระบบที่ก่อสร้างหน้างาน มีลูกบอล 2 แบบให้เลือกใช้คือแบบทรงกลม (Sphere) และทรงรี (Ellipse) สำหรับลูกบอลทรงรีจะมีลักษณะคือ เมื่อมองจากด้านบนจะมีรูปร่างเป็นวงกลม และเมื่อมองด้านข้างจะมีลักษณะเหมือนแคปซูล การติดตั้งเริ่มจากติดตั้งแบบหล่อพื้นพร้อมกับติดตั้งเหล็กเสริมล่าง จากนั้นติดตั้งลูกบอลและยึดติดกับเหล็กเสริมตามตำแหน่งที่ระบุในแบบก่อสร้าง จากนั้นติดตั้งเหล็กเสริมบน การเทคอนกรีตแบ่งเป็น 2 ครั้ง ชั้นแรกจะเทให้คลุมเหล็กเสริมล่างและอมลูกบอลบางส่วนเพื่อยึดลูกบอลให้ตรงตามตำแหน่งเมื่อคอนกรีตแข็งตัว เมื่อคอนกรีตที่เทครั้งแรกเริ่มแข็งตัว (ประมาณ 2-3 ชั่วโมง) ให้เทครั้งที่สองจนเต็มความหนาพื้น จุดเด่นของระบบนี้คือ ลักษณะของลูกบอลที่มีสองแบบดังรูปด้านล่าง ลูกบอลในลักษณะทรงรีจะทำให้สามารถออกแบบพื้นได้บางกว่าลูกบอลทรงกลม

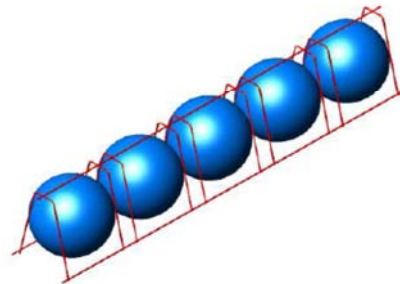


Cobiax **Slim-Line** cage modules, designated **CBCM-S-xxx** (identified by a number [xxx] which is the respective void former's height in mm).



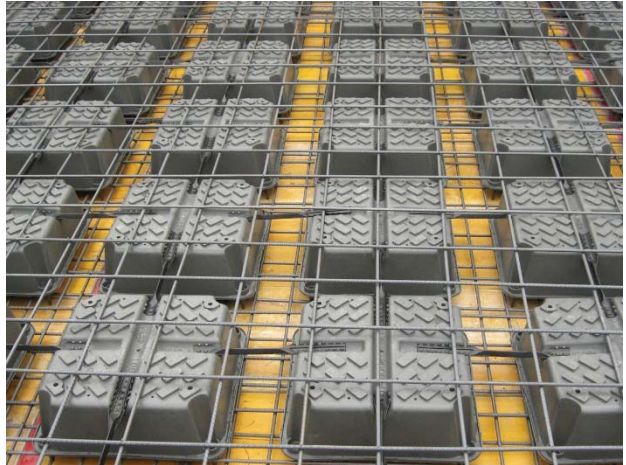
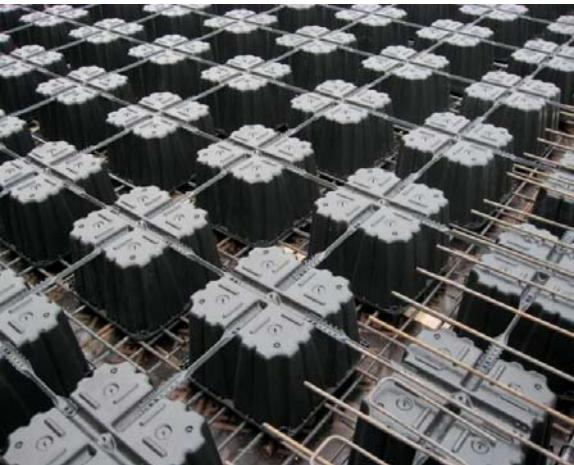
For slab depths 200 mm to 340 cm

Cobiax **Eco-Line** cage modules, designated **CBCM-E-xxx** (identified by a number [xxx] which is the respective void former's height in mm).



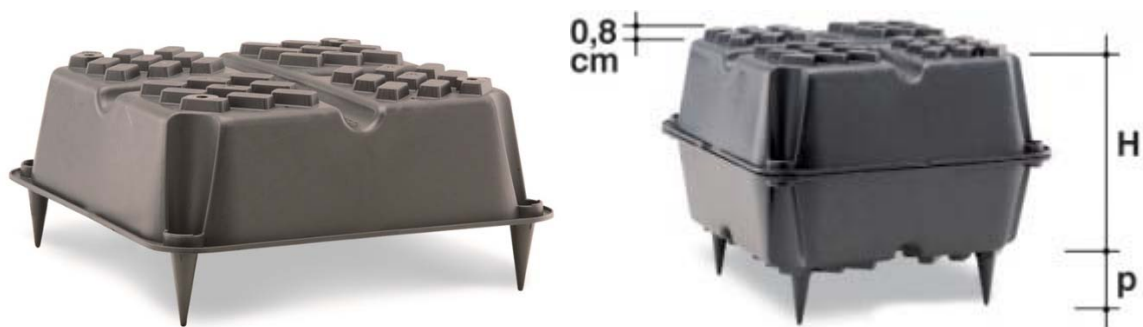
For slab depths 350 mm to 600+ mm

3. ระบบของ U-boot Beton (U-boot)



เป็นระบบที่มาจากประเทศอิตาลี ซึ่งไม่ได้ทำช่องโหว่ด้วยลูกบอลทรงกลมหรือทรงรี แต่มีลักษณะคล้ายกล่อง แสดงดังรูปด้านล่าง

u-boot beton



การทำช่องโหว่ในพื้นลักษณะนี้ จุดประสงค์เพื่อจะช่วยให้สร้างขึ้นส่วนคอนกรีตรูปตัวไอ (I-shape) เพื่อให้พื้นมีความแข็งแรง (ดูรูปด้านล่างประกอบ) วิธีการติดตั้งจะเหมือนวิธีของ Cobiax คือติดตั้งที่หน้างาน และแบ่งเทคอนกรีต 2 ครั้ง



การออกแบบพื้น Post tension สำหรับ Voided slab

ระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวง เริ่มต้นใช้งานในพื้นที่คอนกรีตเสริมเหล็ก จากนั้นจึงเริ่มนำมาใช้ในงานพื้น Post tension ในปัจจุบันเราสามารถใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่วิเคราะห์โครงสร้างด้วย Finite Element Method (FEM) ได้อย่างแพร่หลาย จึงมีความเห็นว่าควรที่จะวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้ FEM

เพื่อที่จะได้ค่าแรงภายในที่เกิดขึ้นและการโค้งตัวอย่างแม่นยำ และนำค่าที่ได้มาออกแบบ ขั้นตอนในการออกแบบมี ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เลือกชนิดของ Plastic ball

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณคุณสมบัติของวัสดุ

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดน้ำหนักบรรทุกทุก SDL, LL หรือ น้ำหนักบรรทุกอื่นๆ

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบแรงเฉือน

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดบริเวณ Solid slab และ Voided slab

ขั้นตอนที่ 6 วางแนวและโปรไฟล์ของลวดอัดแรง

ขั้นตอนที่ 7 วิเคราะห์โครงสร้างด้วย Finite Element

ขั้นตอนที่ 8 กำหนดแนว design strip

ขั้นตอนที่ 9 ตรวจสอบ stress ที่ผิวบนและผิวล่าง

ขั้นตอนที่ 10 ตรวจสอบการออกแบบกำลังรับแรงดัด

ขั้นตอนที่ 1 เลือกชนิดของ Plastic ball

ในที่นี้ขอก้าวถึงเฉพาะ plastic ball ที่นิยมใช้กันทั่วไปคือของ Bubble deck ที่เป็นลูกบอลทรงกลมและ Cobiax ที่เป็นลูกบอลทรงกลมและทรงรี โดยดูคุณสมบัติของวัสดุเพื่อนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง



ขั้นตอนที่ 2 คำนวณคุณสมบัติของวัสดุ

ทั้งสองผลิตภัณฑ์มีข้อมูลทางเทคนิคดังนี้

BubbleDeck® Design Guide

| | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ball diameter | [cm] | 18.00 | 22.50 | 27.00 | 31.50 | 36.00 | 40.50 | 45.00 |
| Minimum axis spacing | [cm] | 20.00 | 25.00 | 30.00 | 35.00 | 40.00 | 45.00 | 50.00 |
| Maximum number of balls | [1/m ²] | 25.00 | 16.00 | 11.11 | 8.16 | 6.25 | 4.94 | 4.00 |
| Recommended minimum slab thickness | [cm] | 23.00 | 28.00 | 34.00 | 40.00 | 45.00 | 52.00 | 58.00 |
| Load reduction per ball | [kN] | 0.08 | 0.15 | 0.26 | 0.41 | 0.61 | 0.87 | 1.19 |
| Maximum load reduction per sq. metre | [kN/m ²] | 1.91 | 2.39 | 2.86 | 3.34 | 3.82 | 4.29 | 4.77 |
| Rigidity factor | [-] | 0.88 | 0.87 | 0.87 | 0.88 | 0.87 | 0.88 | 0.88 |
| Shear factor | [-] | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 |

Main parameter of cobiax cage modules

| Slab depth | [mm] | 200 | 225 | 250 | 275 | 300 | 325 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 |
|---|-----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Recommended Cobiax cage module type | [-] | CBCM-S-100 | CBCM-S-120 | CBCM-S-140 | CBCM-S-160 | CBCM-S-180 | CBCM-S-200 | CBCM-S-220 | CBCM-E-270 | CBCM-E-315 | CBCM-E-360 | CBCM-E-405 | CBCM-E-450 |
| Dead load reduction* per m ² | [kN/m ²] | -1.40 | -1.64 | -1.88 | -2.10 | -2.32 | -2.56 | -2.80 | -2.86 | -3.34 | -3.82 | -4.29 | -4.77 |
| Stiffness correction factor | [-] | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.90 | 0.89 |
| Shear reduction factor | [-] | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.55 |
| Cage module support height | [mm] | 110 | 130 | 150 | 170 | 190 | 210 | 230 | 275 | 320 | 366 | 411 | 457 |
| Void former height | [mm] | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 270 | 315 | 360 | 405 | 450 |
| Void former horizontal diameter | [mm] | 315 | 315 | 315 | 315 | 315 | 315 | 315 | 270 | 315 | 360 | 405 | 450 |
| Spacing between void formers | [mm] | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| Void former centre line spacing | [mm] | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| Number of void formers per m ² | [-] | 8.16 | 8.16 | 8.16 | 8.16 | 8.16 | 8.16 | 8.16 | 11.11 | 8.16 | 6.25 | 4.94 | 4.00 |
| Concrete displacement per m ² | [m ³ /m ²] | 0.056 | 0.066 | 0.075 | 0.084 | 0.093 | 0.102 | 0.112 | 0.114 | 0.134 | 0.153 | 0.172 | 0.191 |
| Void formers per cage module** | [-] | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | 6 | 5 | 5 |
| Equivalent area per cage module | [m ²] | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.72 | 0.86 | 0.96 | 1.01 | 1.25 |

*) assuming a concrete density of 25 kN/m³ **) made to fit the 2.50 m long cages

คำนวณค่าอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัด Sectional area ratio

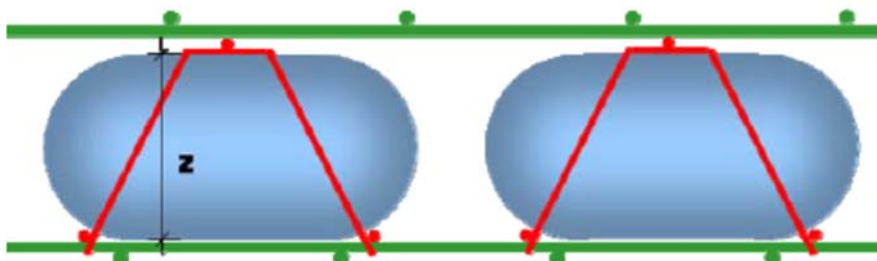
ดูค่า spacing ของลูกบอล และความหนาของพื้น แล้วนำมาคำนวณค่าอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัด ดังนี้ เช่น เลือกใช้ลูกบอลทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100mm clear spacing ระหว่างลูกบอล 30mm ความหนาพื้นเท่ากับ 210mm

$$\text{ตั้งนั้น Area} = 210 \times (100 + 30) = 27,300 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ball Area} = \frac{\pi}{4} D^2 = 7,854 \text{ mm}^2$$

$$\text{Sectional area ratio} = \frac{\text{Area} - \text{Ball Area}}{\text{Area}} = \frac{27,300 - 7,854}{27,300} = 0.71$$

ในกรณีนี้ เลือกใช้ลูกบอลทรงรี ลูกบอลลักษณะนี้เมื่อมองจากด้านบนจะมีรูปร่างเป็นวงกลม และเมื่อมองด้านข้างจะมีลักษณะเหมือนแคปซูล ดังรูป



ยกตัวอย่าง ใช้ลูกบอลทรงรีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 170mm ความสูงของลูกบอล 110mm clear spacing ระหว่างลูกบอล 30mm ความหนาพื้นเท่ากับ 210mm

$$\text{ดังนั้น Area} = 210 \times (170 + 30) = 42,000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ball Area} = \frac{\pi}{4} 110^2 + 110 \times (170 - 110) = 16,103 \text{ mm}^2$$

$$\text{Sectional area ratio} = \frac{\text{Area} - \text{Ball Area}}{\text{Area}} = \frac{42,000 - 16,103}{42,000} = 0.62$$

คำนวณค่าอัตราส่วนของน้ำหนัก Weight ratio

เมื่อกำหนดความหนาพื้น ให้คำนวณค่าน้ำหนักต่อตารางเมตรของพื้นคอนกรีตเต็ม จากนั้นดูน้ำหนักที่หายไปต่อตารางเมตรจากตาราง

เช่น เลือกพื้นหนา 0.23m น้ำหนักต่อตารางเมตรเท่ากับ 552 kg/m² เลือกใช้ ลูกบอลเส้นผ่านศูนย์กลาง 18cm จากตาราง สามารถลดน้ำหนักได้ 1.91 kN/m² หรือ 1.91 x 101.97 = 194.76 kg/m²

$$\text{Weight ratio} = \frac{(552 - 194.76)}{552} = 0.65$$

ค่าอัตราส่วน Rigidity factor หรือ Stiffness correction factor

เมื่อพื้นที่เราใช้งานมีช่องโหว่อยู่ภายในจะทำให้ค่า stiffness ของพื้นมีค่าลดลง จึงต้องมีการปรับแก้ค่า I โดยจะมีค่าระบุไว้ในตาราง เรียกว่าค่า Rigidity factor หรือ Stiffness correction factor เป็นค่า

I_{pvs}/I_{slab}

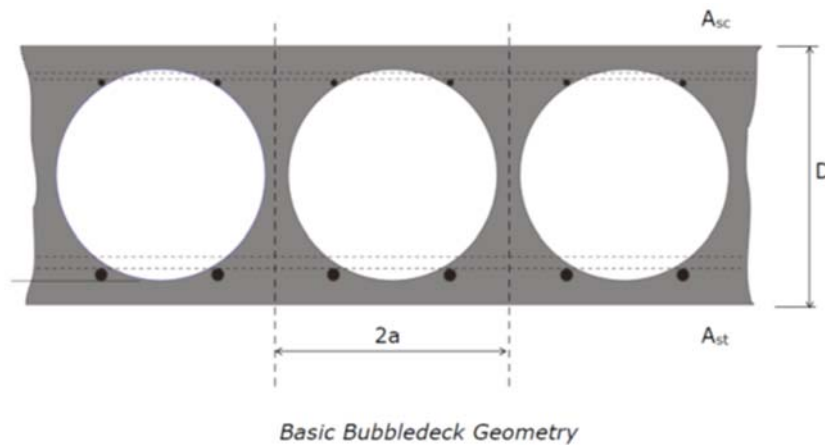
โดยที่ I_{pvs} = ค่า I ของ plastic voided slab

I_{slab} = ค่า I ของ solid slab

สำหรับกรณีที่ไม่ได้ใช้ค่าจากตาราง สามารถใช้สูตรอย่างง่ายในการคำนวณ I_{pvs} ต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง สำหรับลูกบอลแบบทรงกลมเท่านั้นโดยใช้สูตร $I_{pvs} = \frac{D^3}{12} - 0.124a^3$

โดยที่ D = Overall thickness of slab

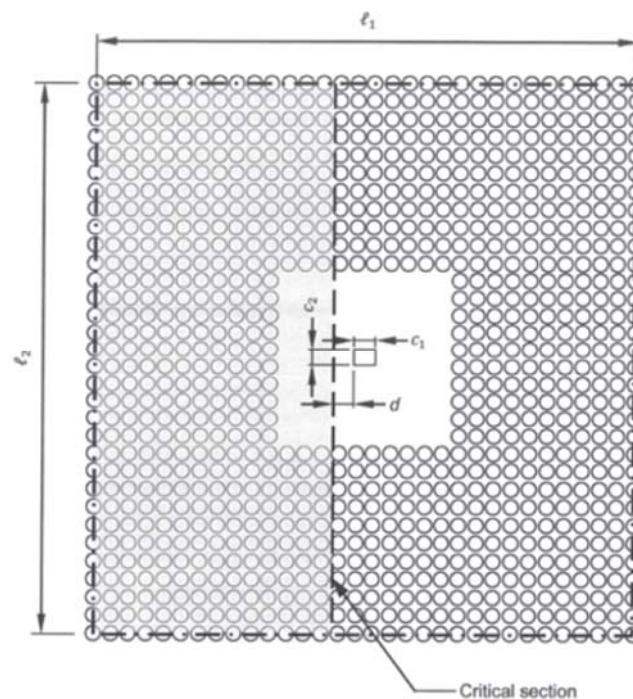
a = distance from the center of one void to the center of a solid section



ขั้นตอนที่ 3 กำหนดน้ำหนักบรรทุกทุก SDL, LL หรือ น้ำหนักบรรทุกอื่นๆ

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบแรงเฉือน

4.1 One way shear or Beam shear

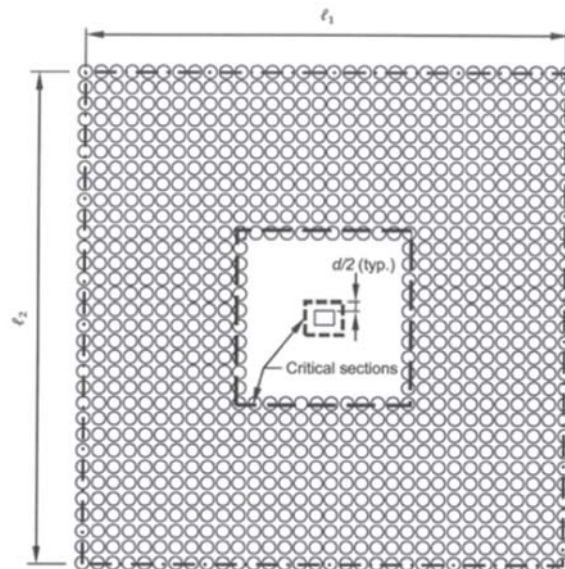


การตรวจสอบ One way shear ที่ระยะ d จากหน้าเสา จะเห็นว่าแนวหน้าตัดวิกฤติผ่านทั้งส่วนที่เป็นพื้นเต็มและพื้นที่เป็น voided slab การคิณน้ำหนักจะต้องลดน้ำหนักเนื่องจาก voided slab ด้วย ส่วนกำลังรับแรงเฉือนของพื้น คำนวณจากสูตร

$$\phi Vc = \phi 0.53 f_{sr} \sqrt{f_{c'}} \cdot b \cdot d \text{ โดยที่ } f_{sr} = \text{Voided shear reduction factor}$$

มีค่าประมาณ 0.50-0.60 ซึ่งจะระบุไว้ในตารางข้อมูลจากผู้ผลิต

4.2 Two way shear or Punching shear



การตรวจสอบ Two way shear จะตรวจสอบที่หน้าตัดวงกลม 2 ตำแหน่งคือ ที่ระยะ $d/2$ จากหน้าเสา และที่ระยะ $d/2$ จากขอบพื้นเต็ม การคิณน้ำหนักจะต้องลดน้ำหนักเนื่องจาก voided slab ด้วย

ส่วนกำลังรับแรงเฉือนของพื้น ที่ระยะ $d/2$ จากหน้าเสา คำนวณจากสูตรปกติ คือ

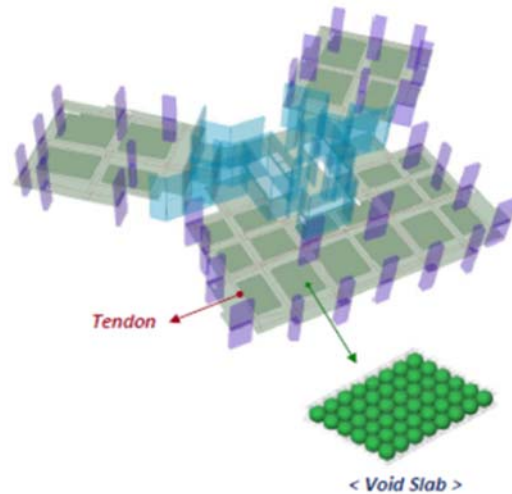
$$\phi V_c = \text{minimum of } \left\{ \begin{array}{l} \phi 1.06 \sqrt{f_c'} b_o d \\ \phi \left(0.53 + \frac{1.06}{\beta} \right) \sqrt{f_c'} b_o d \\ \phi 0.265 \left(2 + \frac{\alpha_s d}{\beta} \right) \sqrt{f_c'} b_o d \end{array} \right\}$$

ส่วนกำลังรับแรงเฉือนของพื้น ที่ระยะ $d/2$ จากหน้าขอบพื้นเต็ม ซึ่งจะไปตกอยู่ในบริเวณ voided slab คำนวณจากสูตร

$$\phi V_c = \text{minimum of } \left\{ \begin{array}{l} \phi 1.06 f_{sr} \sqrt{f_c'} b_o d \\ \phi \left(0.53 + \frac{1.06}{\beta} \right) f_{sr} \sqrt{f_c'} b_o d \\ \phi 0.265 \left(2 + \frac{\alpha_s d}{\beta} \right) f_{sr} \sqrt{f_c'} b_o d \end{array} \right\}$$

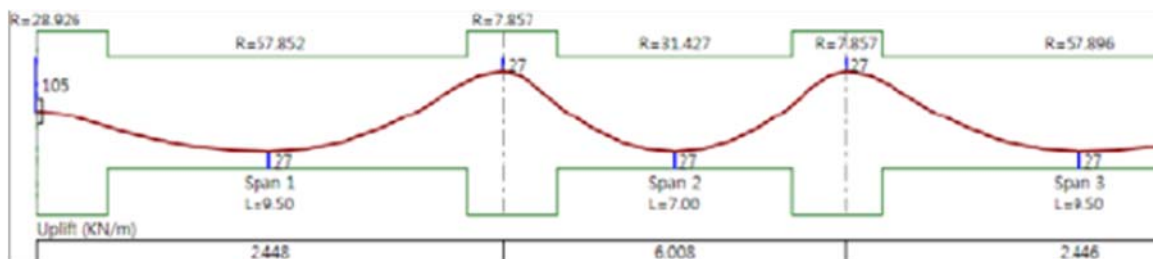
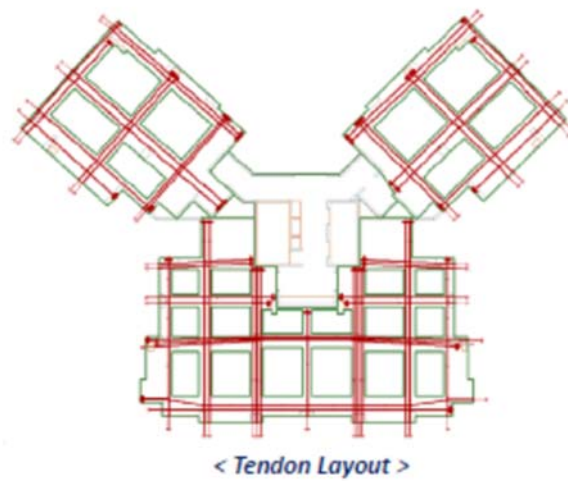
โดยที่ f_{sr} = Voided shear reduction factor มีค่าประมาณ 0.50-0.60 ซึ่งจะระบุไว้ในตารางข้อมูลจากผู้ผลิต

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดบริเวณ Solid slab และ Voided slab



โดยปกติ เมื่อตรวจสอบแรงเฉือนแล้ว ก็จะใช้ระยะที่แรงเฉือนเจาะทะลุผ่านเป็นแนวพื้นเต็มทั้งสองทิศทาง เพื่อให้ลวดอัดแรงสามารถวิ่งผ่านได้

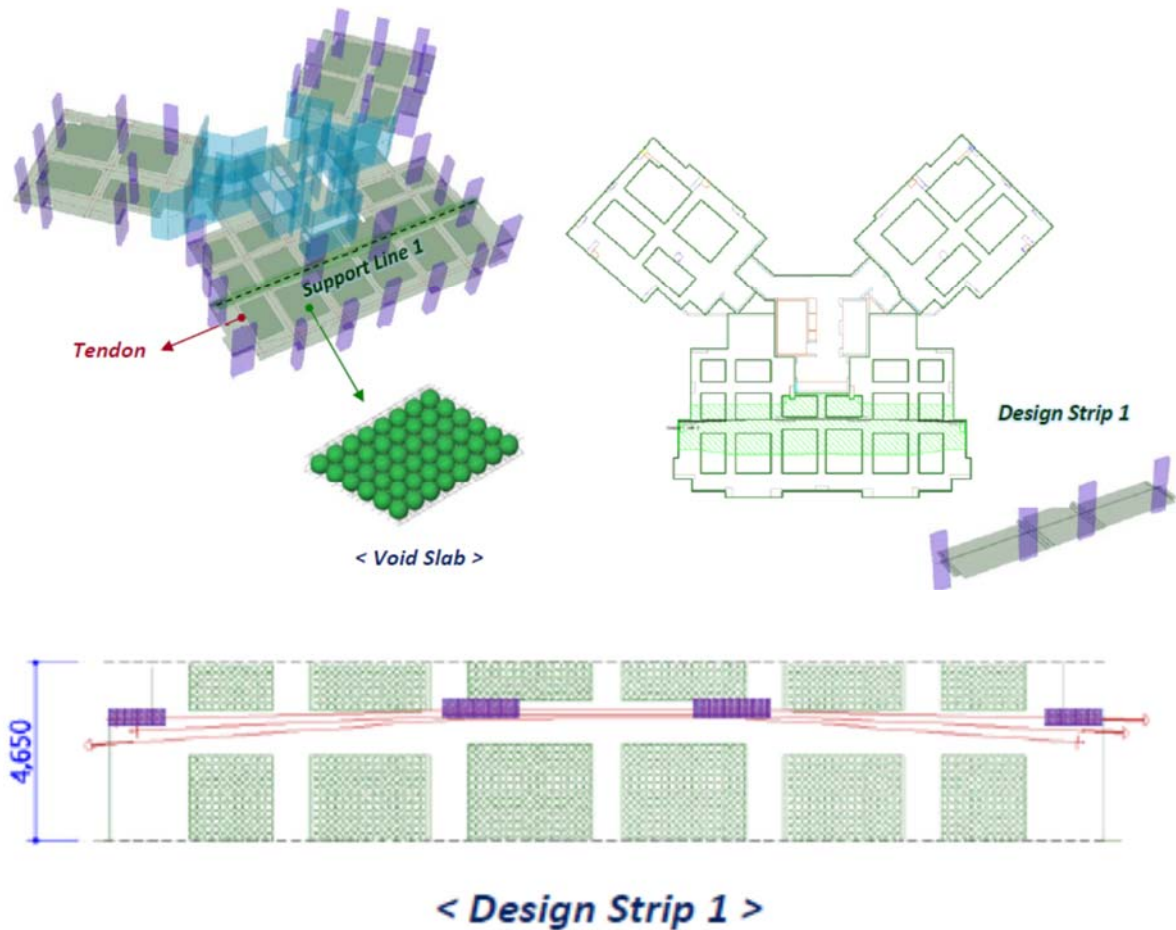
ขั้นตอนที่ 6 วางแนว และโปรไฟล์ของลวดอัดแรง



ขั้นตอนที่ 7 วิเคราะห์โครงสร้างด้วย Finite Element

โดยบริเวณที่เป็นพื้นเต็มให้ใช้ค่า พารามิเตอร์ปกติ ส่วนในบริเวณที่เป็น voided slab ให้ปรับแก้ค่าต่างๆ ตามที่คำนวณไว้ในขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 8 กำหนดแนว design strip



ขั้นตอนที่ 9 ตรวจสอบ stress ที่ผิวบนและผิวล่าง

$$\Sigma = \frac{P}{A'} \pm \frac{P.e.c}{I'} \pm \frac{M.c}{I'} \leq \text{Allowable stress}$$

โดยที่ A' = Sectional area ratio x Solid sectional area

I' = Rigidity factor x I_{slab}

สำหรับค่า Allowable stress ค่าที่แนะนำตามเอกสารอ้างอิงจะใช้เพียง 90% ของค่า Allowable stress ปกติ

At transfer

Allowable compression stress = $0.90 \times 0.60 f_c'$

Allowable tensile stress = $0.90 \times 0.795 \sqrt{f_c'}$

f_c' = compressive stress at transfer

At service

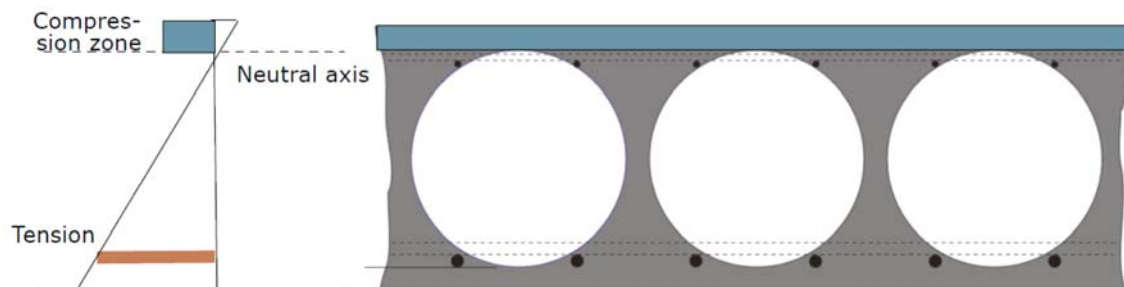
Allowable compression stress = $0.90 \times 0.45 f_c'$

Allowable tensile stress = $0.90 \times 0.1.59 \sqrt{f_c'}$

f_c' = compressive stress at 28 days

ขั้นตอนที่ 10 ตรวจสอบการออกแบบกำลังรับแรงดัด

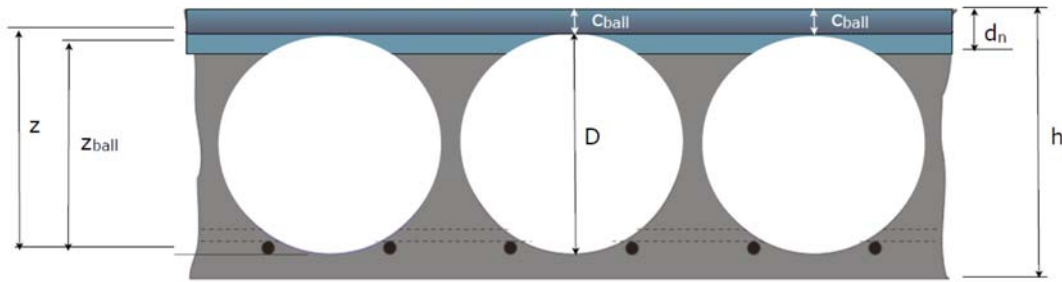
ตามสมมติฐานที่เราตั้งไว้ใน การออกแบบกำลังรับแรงดัดคือ ในบริเวณที่เป็น voided slab เมื่อรับแรงดัด ส่วนที่เป็น compression zone จะอยู่ในส่วนที่เป็นพื้นเต็ม หรือ แนวแกนสะเทินลงมาไม่ถึงลูกบอล



Stress distribution trough BubbleDeck under normal loading

กำลังรับโมเมนต์ของพื้นคำนวณได้จากวิธีปกติ $M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$ โดยที่ $a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b}$

แต่ถ้าพื้นต้องรับน้ำหนักมาก มีโอกาสที่แนวแกนสะเทินจะลงมาถึงลูกบอลทำให้ compression zone มีบางส่วนที่ไหลลงไปในช่วงช่องโหว่ จากการศึกษาและการทดลองในประเทศเยอรมัน สามารถสรุปเป็นข้อแนะนำที่ระบุไว้ใน DIN 1045 ว่า ให้ตรวจสอบด้วยวิธีอย่างง่าย คือค่าอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ที่ต้านโดย voided slab กับโมเมนต์สำหรับพื้นเต็ม (M_{ball}/M_u) จะต้องไม่เกิน 0.20 ระยะของ stress block และความสอดคล้องของความเครียดจึงจะกระจายซ้ำออกไป สามารถยอมให้ใช้การคำนวณ stress block แบบปกติได้



Compression zone can encroach on bubble zone for heavily reinforced slabs

$$\mu_{ms} = \frac{M_u 1.96D}{f_c' h^3} \leq 0.20$$

โดยที่ D = เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอล

h = ความหนาของพื้น

M_u = โมเมนต์ที่ออกแบบ

วิดีโอตัวอย่าง

1. ระบบของ Bubble Deck



2. ระบบของ Cobiax



3. ระบบของ U-boot Beton (U-boot)



เอกสารอ้างอิง

- 1.“Frequently Asked Questions (FAQ) About Flat Plate Voided Concrete Slab System”, CRSI (Concrete Reinforcing Steel Institute)
- 2.“Economic Application of Post-Tensioning in Korean Residence Building”, DAELIM Industrial Co.,Ltd. , Adapt Corporation (2012)
- 3.“Bubble Deck Design Guide for Compliance with BCA using AS3600 and EC2”, Bubble deck company (Australia and New Zealand) (2008)
- 4.“Plastic Voided Slab Systems : Applications and Design”, C.J. Midkiff (2013)
- 5.“The Biaxial Hollow Deck; The way to new solutions”, Bubble deck company
- 6.“Engineering Manual Issue 2010”, Cobiax (2010)
- 7.“Analysis of Bubble Deck Slab Design by Finite Element Method”;M.Pandey, M.Srivastava (2016)

PHOTO CREDIT

1. Bubble Deck
2. Cobiax
3. U-Boot beton

เรียบเรียงโดย

ภาคภูมิ วานิชกมลนันท์ [วย. 1924]