

การวิเคราะห์และตรวจสอบพฤติกรรมทางโครงสร้าง
ระหว่างขั้วเปลือกและไซโลที่ไซบรจุ โดยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์



นายคชทินทร์ ศรีศิริพันธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคำหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2522

000230


**FINITE ELEMENT ANALYSIS AND EXPERIMENTAL
INVESTIGATION ON THE PADDY GRAIN-SILO INTERACTION**

Mr. Kochatin Srikirinth


**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1979**

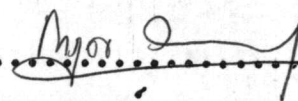
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์และตรวจสอบพฤติกรรมทางโครงสร้างระหว่างขาเปลือก
และโซลที่โซบรจู่ โดยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์
โดย นายคชทินทร์ ศรีศิริรินทร์
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ

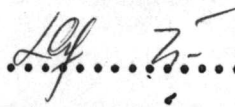
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

.....  คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประสิทธิ์ บุญนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วินิจ ช่อวิเชียร)

.....  กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ)

.....  กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)

.....  กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาศรี)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์และตรวจสอบพฤติกรรมทางโครงสร้างระหว่าง
 ข้าวเปลือกและไซโลที่ไซบรจุโดยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์
 ชื่อนิสิต นายคชทินทร์ ศรีศิริรินทร์
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ
 ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
 ปีการศึกษา 2522



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมทางโครงสร้างระหว่างข้าวเปลือกกับไซโลคอนกรีตเสริมเหล็กทรงกระบอกกลมชนิดถ่ายวัสดุออกทางด้านบนที่ไซบรจุ โดยนำเอาวิธีการของไฟไนท์อีลิเมนต์มาประยุกต์สำหรับการวิเคราะห์ การวิจัยทั้งหมดแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษาตรวจสอบคุณสมบัติและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของมวลข้าวเปลือก ซึ่งผลของการทดลองปรากฏว่ามีคุณสมบัติเป็นวัสดุอิลาสติกชนิดไร้เชิงเส้น และส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์พฤติกรรมทางโครงสร้างด้วยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์โดยอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของข้าวเปลือกที่ได้จากการวิจัยในส่วนแรก

ในการวิเคราะห์พฤติกรรมดังกล่าวได้จำลองสภาพของมวลข้าวเปลือกและไซโล โดยพิจารณาลักษณะการบรรจุข้าวเปลือกลงเป็นชั้น ๆ ในไซโลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6, 8, 10, 15 และ 20 เมตร และทั้งหมดสูง 25 เมตร มวลข้าวเปลือกแต่ละชั้นจะแบ่งออกเป็นไฟไนท์อีลิเมนต์รูปวงแหวนชนิด 8-point Isoparametric Quadrilateral Ring Element มีความสมมาตรรอบแกนศูนย์กลางของไซโล ปรากฏการณ์ความเค้นระหว่างมวลข้าวเปลือกกับผนังไซโลจะถูกพิจารณาเป็นสภาพเงื่อนไขของการวิเคราะห์ นอกจากนั้นลักษณะการยึดหดของผนังไซโลซึ่งจะมีผลต่อพฤติกรรมได้ถูกนำมาพิจารณาด้วยโดยจำลองเป็น Hoop Element ที่มีสภาพเสมือนที่รองรับยึดหยุ่น

สำหรับผลของการวิเคราะห์จะแสดงถึงขนาดความจุของไซโล ลักษณะการทรุดตัวรวมทั้งความหนาแน่นมวลข้าวเปลือกที่ระดับความสูงต่าง ๆ ขนาดและลักษณะการกระจายตัวของแรงดันด้านข้าง และแรงดันในแนวตั้งที่เกิดกับผนังและพื้นไซโล ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทั้งหมดนี้ให้ข้อสรุปว่าขนาดของไซโล ปรากฏการณ์ความถี่ระหว่างมวลข้าวเปลือกกับผนัง และการสั่นไถลของมวลข้าวเปลือกมีผลต่อพฤติกรรมทางโครงสร้างระหว่างข้าวเปลือกกับไซโลที่ไชรบรรจุ

forces along the grain mass wall interface were considered as a force boundary condition. The effect of radial wall deformation was considered by introducing the wall elements as hoop elements.

The analysing results showed the final capacity of silos, the deformation of grain mass, the variation of grain density along depth, lateral pressure distribution against the silo wall, and vertical pressure distribution against the silo floor. These results gave the conclusion that silo diameter, friction mechanism between grain mass and silo wall, and boundary conditions have influence on the grain-silo interactions.



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ ในความกรุณาแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ให้ความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยในทุก ๆ ทาง นับตั้งแต่เริ่มดำเนินการทดลอง จัดหาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ให้ความรู้ทั้งทางทฤษฎี และวิธีปฏิบัติที่จำเป็นในการวิจัย ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น จนทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างสมบูรณ์ และผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณต่อศาสตราจารย์ สนั่น เจริญเผ่า หัวหน้าแผนกวิชาวิศวกรรมโยธา ที่กรุณาอนุญาตให้ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นในห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อบรรดาอาจารย์และเจ้าหน้าที่แห่งศูนย์คอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คุณสุพิธา พวงกนก หัวหน้าแผนกบริการบุคคลภายนอกและเจ้าหน้าที่ของศูนย์ประมวลผลด้วยเครื่องจักรแห่งประเทศไทย สำนักงานสถิติแห่งชาติ รวมทั้งคุณวิโรจน์ รุจิวิวัฒน์ ที่กรุณาให้คำแนะนำในด้านการใช้คอมพิวเตอร์แก่ผู้วิจัยโดยไม่เห็นแก่เหน็ดเหนื่อย จนทำให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินงานได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการจัดสรร เงินทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณานี้ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๘
กิตติกรรมประกาศ	๙
สารบัญ	๙
รายการสัญลักษณ์	๑๐
ประมวลศัพท์วิทยาการ ไทย - อังกฤษ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้	๑๑



1. บทนำ

กล่าวนำ	1
วัตถุประสงค์ในการวิจัย	2
ความเป็นมาของปัญหา	3
ขอบข่ายของการวิจัย	4
2. ความเป็นมาของไซโลที่ใช้สำหรับบรรจุพืชหรือเมล็ดธัญญาหาร	
คำจำกัดความของไซโล	6
คุณลักษณะที่ต้องการในการคำนวณออกแบบไซโล	7
น้ำหนักบรรทุกของไซโลและแรงคั้นภายในไซโล	9
การวิเคราะห์ลักษณะและขนาดของแรงคั้นในไซโลโดย	
สูตรสำเร็จ	11
ผลที่เกิดกับแรงคั้นในไซโลเนื่องจากการเคลื่อนตัวของ	
วัสดุเมล็ดที่บรรจุ	17
แรงคั้นและหน่วยแรงเนื่องจากวัสดุเมล็ดสำหรับใช้	
คำนวณออกแบบ ความวิธึของ ACI Committee 313	18

แรงดันและหน่วยแรงเนื่องจากวัสดุมวลเม็กสำหรับคำนวณ
 ออกแบบโซลิตตามวิธีของ Sargis S. Safarian 19
 ผลของการถ่ายวัสดุในลักษณะเยื้องศูนย์กลาง (Eccentric
 Discharge) ที่มีคอคหน่วยแรงคั้นในโซลิต 21

3. กลสมบัติและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของข้าวเปลือก
 กล่าวนำ 24
 สาเหตุที่ต้องศึกษาคุณสมบัติและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของ
 ธัญญาหาร 24
 ข้าวเปลือกตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย 26
 การตรวจสอบความสัมพันธ์ของสเตรช-สเตรน
 ของข้าวเปลือก 27
 การวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความเครียดของปัวของ
 (Poison's Ratio) 32
 ความเสียหายระหว่างมวลข้าวเปลือกกับผิวผนังโซลิต 34
 การตรวจสอบค่าของมุมลาดชันปกติ (Angle of
 Repose) ของข้าวเปลือก 37

4. สมมุติฐานของการวิเคราะห์และวิธีวิเคราะห์พฤติกรรมทางโครงสร้าง
 สร้างระหว่างมวลข้าวเปลือกกับโซลิตที่ไซบรจโดยวิธีไฟไนต์
 อีลีเมนต์
 กล่าวนำ 39
 สมมุติฐานในการวิเคราะห์พฤติกรรมทางโครงสร้างระหว่าง
 มวลข้าวเปลือกและโซลิตที่ไซบรจโดยวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ 40
 การวิเคราะห์ปัญหาทางกลศาสตร์โดยวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ 41
 การจำลองสภาพมวลข้าวเปลือกและโซลิตสำหรับการ
 วิเคราะห์ 47

5. ผลการวิเคราะห์	
ผลของการวิเคราะห์ที่ประมวลได้	52
ลักษณะการยุบตัวของมวลขาวเปลือก	52
ความหนาแน่นของมวลขาวเปลือก	53
หน่วยแรงคั้นคานข้างเนื่องจากมวลขาวเปลือก	54
หน่วยแรงคั้นในแนวตั้งเนื่องจากมวลขาวเปลือก	56
6. การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์กับผลจากการ คำนวณโดยสูตรสำเร็จ และการใช้หน่วยแรงคั้นที่วิเคราะห์ได้สำหรับ การคำนวณออกแบบ	
การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์ กับสูตรสำเร็จ	58
การใช้หน่วยแรงคั้นที่วิเคราะห์ได้สำหรับ การคำนวณออกแบบ	60
7. สรุปผลการวิจัยและขอเสนอแนะ	
สาระสำคัญของการวิจัยและผลการวิจัยโดยสรุป	63
ขอเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป	65
เอกสารอ้างอิง	67
ภาคผนวก ก. ตารางประกอบ	
ตารางที่	
1. ค่าต่ำสุดของ Overpressure Factor, Cd. โดย ACI-313	70
2. ค่าต่ำสุดของ Impact Factor, Ci. โดย ACI-313	70
3. Correction Factor, Cd. ของ Sargis S. Safarian สำหรับ เพิ่มค่าหน่วยแรงในไซโลเนื่องจากผลของ Overpressure	71

4. ข้อมูลการทดสอบ Consolidation Creep Test
ของชาวเปลือก 72

5. ข้อมูลการทดสอบ Consolidation Test ของชาวเปลือก 73

6. การคำนวณค่า E_0 และ α โดยอาศัยข้อมูลของ Consolidation Test
Consolidation Test 74

7. การคำนวณค่าของแรงกดลงบนจุดเชื่อมต่อ Nodal Point
ของอิลีเมนต์ของมวลชาวเปลือกใน Consolidation Cylinder
โดยแปลงจากค่าแรงคั้นเฉลี่ย 75

8. ข้อมูลการตรวจสอบความเสียดทาน (Friction) ระหว่าง
มวลชาวเปลือกกับผิวคอนกรีตโดยวิธี Direct
Single-Shear Test 76

9. การคำนวณตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของกราฟแสดงความสัมพันธ์
ระหว่างหน่วยแรงเสียดทาน (σ_f) กับ
หน่วยแรงในแนวตั้งฉาก (σ_n) 77

10. ข้อมูลการตรวจสอบความลาดชันปกติ (Angle of Repose)
ของชาวเปลือก 78

11. ลำดับความจุของไซโล แสดงในรูปของมวลชาวเปลือก
ที่บรรจุเป็นชั้นๆ 79

ภาคผนวก ข. รูปประกอบ

รูปที่

1. การแบ่งประเภทของโครงสร้างที่ใช้บรรจุวัสดุมวลเม็ด
โดยพิจารณาจาก Plane of Rupture 81

2. มิติต่างๆของไซโลที่ใช้วิเคราะห์สูตร Janssen's Formula
และ Reimbert's Formula 82

3. ลักษณะสมมูลย์ของแรงที่กระทำกับมวลของวัสดุมวลแม่เหล็กปัดซึ่งใช้ใน
การวิเคราะห์แรงในโซลิตตามวิธี **Airy's Method** 82

4. แรงต้านทานข้างกระทำกับผนังโซลิตสำหรับใช้คำนวณออกแบบ
ของ **Sargis S. Safarian** ซึ่งพิจารณาผลของ **Over-
pressure** และการถ่ายวัสดุแบบเยื้องศูนย์กลาง (**Eccentric
Discharge** 83

5. การเปลี่ยนแปลงของแรงดันกระทำกับผนังโซลิตเนื่องจาก
การถ่ายวัสดุแบบเยื้องศูนย์กลาง 84

6. ลักษณะของ **Triaxial Cell** ในการทดสอบความสัมพันธ์
ของ สเตรซ-สเตรน (**Stress-Strain Relation**)
ในข้าวเปลือก 85

7. **Consolidation Creep Test** เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์
ของ สเตรซ-สเตรน (**Stress-Strain Relation**)
ในข้าวเปลือก 86

8. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสเตรซ-สเตรน (**Stress-
Strain Relation**) ในข้าวเปลือกจากการทดลองด้วย
Consolidation Test 87

9. ลักษณะการแบ่งมวลข้าวเปลือกใน **Consolidation
Cylinder** ออกเป็นอีลีเมนต์เล็กๆพร้อมทั้งแสดงเงื่อนไข
สภาพพื้นผิว (**Boundary Condition**) สำหรับคำนวณค่าของ
สเตรซและสเตรนโดยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์เพื่อตรวจสอบค่า
Poisson's Ratio ของข้าวเปลือก 88

10. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสเตรซและสเตรน (**Stress- Strain
Relation**) ในข้าวเปลือกเปรียบเทียบระหว่างที่ได้จาก
Consolidation Test กับที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี
ไฟไนท์อีลีเมนต์โดยกำหนดค่า **Poisson's Ratio** 89

11.	การตรวจสอบความฝืด (Friction) ระหว่างผิวคอนกรีตกับมวลข้าวเปลือกโดยวิธี Direct Single-Shear Test	90
12.	กราฟแสดงขนาดของแรงเสียดทาน (P_f) ที่ผิวคอนกรีตเมื่อเคลื่อนมวลของข้าวเปลือกครูดไปตามผิวซึ่งทดสอบด้วยวิธี Direct Single-Shear Test	91
13.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเสียดทาน (σ_f) ของมวลข้าวเปลือกกับผิวคอนกรีตและหน่วยแรงคั้นในแนวตั้งฉาก (σ_n)	92
14.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเสียดทาน (σ_f) ของมวลข้าวเปลือกกับผิวคอนกรีตและหน่วยแรงคั้นในแนวตั้งฉาก (σ_n) ใน Logarithmic Scale	93
15.	ผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสเตรซ, สเตรน และระยะเคลื่อนที่	94
16.	การแบ่งอาณาบริเวณของวัตถุออกเป็นไฟไนต์อีลิเมนต์	95
17.	ผังแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ใน Computer Program	96
18.	ไฟไนต์อีลิเมนต์ชนิด 8-point Isoparametric Quadrilateral Ring Element	97
19.	ลักษณะการจำลองสภาพมวลข้าวเปลือกและไซโลสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมโดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์	98
20.	การบรรจุข้าวเปลือกชั้นถัดไปในการวิเคราะห์	99
21.	ลักษณะการยุบตัวของข้าวเปลือกในไซโล ขนาด ϕ 6 ม. x 25 ม.	100
22.	ลักษณะการยุบตัวของข้าวเปลือกในไซโล ขนาด ϕ 10 ม. x 25 ม.	101

23.	ลักษณะการยุบตัวของข้าวเปลือกในไซโล ขนาด ϕ 20 ม. x 25 ม.	102
24.	คอนทัวร์ของความหนาแน่น (Density Contour) ในไซโลบรรจุข้าวเปลือกขนาด ϕ 6 ม. x 25 ม.	103
25.	คอนทัวร์ของความหนาแน่น (Density Contour) ในไซโลบรรจุข้าวเปลือกขนาด ϕ 10 ม. x 25 ม.	104
26.	คอนทัวร์ของความหนาแน่น (Density Contour) ในไซโลบรรจุข้าวเปลือกขนาด ϕ 20 ม. x 25 ม.	105
27.	แรงดันของมวลข้าวเปลือกที่มีต่อผนังไซโลคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาดต่าง ๆ ที่ใช้บรรจุซึ่งคำนวณโดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์	106
28.	แรงดันกระทำกับผนังไซโลคอนกรีตเสริมเหล็กบรรจุข้าวเปลือก ขนาดต่าง ๆ จากการคำนวณโดยสูตรสำเร็จของแจนเสน (Janssen's Formula)	107
29.	แรงดันกระทำกับผนังไซโลคอนกรีตเสริมเหล็กบรรจุข้าวเปลือก ขนาดต่าง ๆ จากการคำนวณโดยสูตรสำเร็จของเริมเบิร์ต (Reimbert's Formula)	108
30.	แรงดันกระทำกับผนังไซโลคอนกรีตเสริมเหล็กบรรจุข้าวเปลือก ขนาดต่าง ๆ จากการคำนวณโดยสูตรสำเร็จของแอร์รี่ (Airy's Formula)	109
31.	ขนาดและลักษณะของแรงดันด้านข้างที่กระทำกับผนังไซโล คอนกรีตเสริมเหล็กบรรจุข้าวเปลือกขนาด ϕ 10 ม. x 25 ม. (เปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์โดย Finite Element Method กับผลที่ได้จากการคำนวณโดยสูตรสำเร็จต่าง ๆ	110

32. แรงดันในแนวดิ่ง (**Vertical Stress**) ที่พื้นไซโลคอนกรีต เสริมเหล็กบรรจุข้าวเปลือกขนาด ϕ 6 ม. x 25 ม. ถึง ϕ 20 ม. x 25 ม. 111

33. แรงดันในแนวดิ่งที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในไซโลคอนกรีต เสริมเหล็กบรรจุข้าวเปลือกขนาด ϕ 6 ม. x 25 ม. ถึง ϕ 20 ม. x 25 ม. (คำนวณโดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ และ โดยสูตรสำเร็จของแจนเสน) 112

34. แรงดันในแนวดิ่งที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในไซโลคอนกรีต เสริมเหล็กบรรจุข้าวเปลือกขนาด ϕ 6 ม. x 25 ม. ถึง ϕ 20 ม. x 25 ม. (คำนวณโดยสูตรสำเร็จของแอร์ย์ และ เร็มเปิร์ต) 113

35. หน่วยแรงดันกระทำกับผนังไซโลสำหรับใช้เป็น **Static Pressure** ในการคำนวณออกแบบผนังไซโลคอนกรีต เสริมเหล็กขนาด ϕ 6 ม. ความสูงไม่เกิน 25 ม. 114

36. หน่วยแรงดันกระทำกับผนังไซโลสำหรับใช้เป็น **Static Pressure** ในการคำนวณออกแบบผนังไซโลคอนกรีต เสริมเหล็กขนาด ϕ 8 ม. ความสูงไม่เกิน 25 ม. 115

37. หน่วยแรงดันกระทำกับผนังไซโลสำหรับใช้เป็น **Static Pressure** ในการคำนวณออกแบบผนังไซโลคอนกรีต เสริมเหล็กขนาด ϕ 10 ม. ความสูงไม่เกิน 25 ม. 116

38. หน่วยแรงดันกระทำกับผนังไซโลสำหรับใช้เป็น **Static Pressure** ในการคำนวณออกแบบผนังไซโลคอนกรีต เสริมเหล็กขนาด ϕ 15 ม. ความสูงไม่เกิน 25 ม. 117

39. หน่วยแรงดันกระทำกับผนังไซโลสำหรับใช้เป็น **Static Pressure** ในการคำนวณออกแบบผนังไซโลคอนกรีต เสริมเหล็กขนาด ϕ 20 ม. ความสูงไม่เกิน 25 ม. 118

40. หน่วยแรงดันในแนวตั้งกระทำกับพื้นไซโลสำหรับใช้เป็น **Static Pressure** ในการคำนวณออกแบบพื้นไซโลคอนกรีต เสริมเหล็กขนาด ϕ 6 ม. ความสูงไม่เกิน 25 ม. 119

41. หน่วยแรงดันในแนวตั้งกระทำกับพื้นไซโลสำหรับใช้เป็น **Static Pressure** ในการคำนวณออกแบบพื้นไซโลคอนกรีต เสริมเหล็กขนาด ϕ 8 ม. ความสูงไม่เกิน 25 ม. 120

42. หน่วยแรงดันในแนวตั้งกระทำกับพื้นไซโลสำหรับใช้เป็น **Static Pressure** ในการคำนวณออกแบบพื้นไซโลคอนกรีต เสริมเหล็กขนาด ϕ 10 ม. ความสูงไม่เกิน 25 ม. 121

43. หน่วยแรงดันในแนวตั้งกระทำกับพื้นไซโลสำหรับใช้เป็น **Static Pressure** ในการคำนวณออกแบบพื้นไซโลคอนกรีต เสริมเหล็กขนาด ϕ 15 ม. ความสูงไม่เกิน 25 ม. 122

44. หน่วยแรงดันในแนวตั้งกระทำกับพื้นไซโลสำหรับใช้เป็น **Static Pressure** ในการคำนวณออกแบบพื้นไซโลคอนกรีต เสริมเหล็กขนาด ϕ 20 ม. ความสูงไม่เกิน 25 ม. 123

ประวัติผู้เขียน 124



สัญลักษณ์

- A = พื้นที่หน้าตัด, พื้นที่รับแรงกระทำ, พื้นที่ของวัตถุอ้างอิงกับสภาพสมมุติ ณ จุดเริ่มต้น C_0
- A_s = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม
- a = ก้านกว้างของไซโลสี่เหลี่ยมผืนผ้า, ก้านยาวที่สุดของไซโลหลายเหลี่ยม,
- = พื้นที่ของวัตถุอ้างอิงกับสภาพสมมุติ ณ จุดปัจจุบัน C_1
- \bar{a} = พื้นที่ของวัตถุอ้างอิงกับสภาพสมมุติ ณ จุดต่อจากปัจจุบัน C_2
- b = ก้านยาวของไซโลสี่เหลี่ยมผืนผ้า, ความหนาของผนังไซโล
- C = ค่าคงที่ Characteristic Abscissa ของไซโล
- C_d = Overpressure Correction Factor
- C_i = Impact Correction Factor
- C_0 = สภาพสมมุติ ณ จุดเริ่มต้น
- C_1 = สภาพสมมุติ ณ จุดปัจจุบัน
- C_2 = สภาพสมมุติ ณ จุดต่อจากปัจจุบัน
- c = ความยาวเส้นรอบรูป
- D = เส้นผ่านศูนย์กลางของไซโลรูปทรงกระบอกกลม
- D_c = เส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่มีพื้นที่สมมูลกับพื้นที่รูปหลายเหลี่ยม
- E = โมดูลัสแห่งการยืดหยุ่น
- E_0 = โมดูลัสแห่งการยืดหยุ่นของข้าวเปลือกเมื่อความหนาแน่น (γ) เท่ากับความหนาแน่นในสภาพปกติ (γ_0)
- E_c = โมดูลัสแห่งการยืดหยุ่นของคอนกรีต
- E_s = โมดูลัสแห่งการยืดหยุ่นของเหล็กเสริม
- E_i = Hoop Force ต่อหนึ่งหน่วยความสูงซึ่งทำให้เกิดหนึ่งหน่วยสเตรน

- E_{ij} = Green Strain Tensor
 e_a, e_b = ระยะเยื้องศูนย์กลางกับคาน a และ b
 e_{ij} = Linear Green Strain Tensor
 f_i = เวกเตอร์หน่วยแรงมวล
 G = โมดูลัสแห่งการเกร็งตัว (Modulus of Rigidity)
 H = ความสูงของไซโล
 H_i = ความสูงของอีลีเมนต์ที่ i
 h = ความสูง, ความหนาตัวอย่างขาวเปลือก
 h_o = ความหนาตัวอย่างขาวเปลือกก่อนยุบตัว
 h = ขนาดการเปลี่ยนแปลงความหนาของตัวอย่างขาวเปลือก
 K = บัลค์โมดูลัส (Bulk Modulus)
 K_G = Geometric Stiffness Matrix
 K_L = Linear Stiffness Matrix
 k = อัตราส่วนหน่วยแรงค้ำคานข้างต่อหน่วยแรงค้ำในแนวตั้ง
 L = ความยาวคานของรูปหน้าตัดไซโลหลายเหลี่ยมค้ำคานเท่า
 M = จำนวนไฟในอีลีเมนต์ทั้งหมดที่ประกอบเป็นวัตถุ
 P = แรงค้ำเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่
 P_i = Hoop Force ของอีลีเมนต์ i
 P_f = แรงเฉือน, แรงเสียดทาน ขนานกับผิวสัมผัส
 P_n = แรงกระทำในแนวตั้งฉากผิวสัมผัส
 P_{r_1}, P_{r_2} = แรงค้ำที่ระยะห่างจากแกนศูนย์กลาง r และ r ของตัวอย่างใน
Consolidation Cylinder
 P_Y = หน่วยแรงค้ำคานข้างกระทำกับผนังไซโลที่ความลึก
 q_Y = หน่วยแรงค้ำในแนวตั้งซึ่งเกิดในไซโลที่ความลึก
 q_m = ส่วนประกอบของเวกเตอร์ระยะเคลื่อนที่ของ Nodal Point ที่ m ของแต่ละไฟในอีลีเมนต์

- R = รัศมีไฮโดรลิก, รัศมีของไซโล
- l_R = เวกเตอร์ของหน่วยแรงที่ทำให้เกิดสภาพสมคูลย์แท้จริง (Load Correction Vector)
- S_{ij} = Second Piola-Kirchoff Stress Tensor
- s_f = ระยะเคลื่อนที่ในแนวแรงเฉือนขนานกับผิวสัมผัส
- s_n = ระยะยุบตัว, ระยะเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส
- s_{r_i} = ระยะเคลื่อนที่ในแนวรัศมีของอีลีเมนต์ที่ i
- t_i = เวกเตอร์ของหน่วยแรงกระทำภายนอก
- u_i = ส่วนประกอบของเวกเตอร์ระยะเคลื่อนที่ของจุดใด ๆ ภายในไฟไนท์อีลีเมนต์
- V = หน่วยแรงเสียดทานที่เกิดกับผิวผนังไซโล
- = ปริมาตรของวัตถุอ้างอิงกับสภาพสมคูลย์ ณ จุดเริ่มต้น C_0
- v = ปริมาตรของวัตถุอ้างอิงกับสภาพสมคูลย์ปัจจุบัน C_1
- \bar{v} = ปริมาตรของวัตถุอ้างอิงกับสภาพสมคูลย์ต่อจากปัจจุบัน C_2
- W = น้ำหนักมวลวัสดุที่บรรจุในไซโล
- x,y,z = Rectangular Coordinate
- Y = ความลึกวัดจากผิวบนของมวลวัสดุมายังจุดที่ต้องการ
- η_{ij} = Nonlinear Green Tensor
- γ = ความหนาแน่นของวัสดุมวลเมื่อกายหลังยุบตัว, สเตรอนในแนวแรงเฉือน
- γ_0 = ความหนาแน่นของวัสดุมวลเมื่อก่อนยุบตัว
- σ_f = หน่วยแรงเสียดทาน
- σ_n = หน่วยแรงในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส
- σ_v = หน่วยแรงที่กระทำกับปริมาตรวัตถุ
- ϵ = อัตราส่วนระยะยุบตัวต่อความหนาเดิมของตัวอย่างยาวเปลือก
- ϵ_v = อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุภายใต้หน่วยแรงกระทำ σ_v
- ν = อัตราส่วนความเครียดของปัวซอง (Poison's Ratio)

- τ = หน่วยแรงเฉือน
 μ = สัมประสิทธิ์ความฝืดภายในของวัสดุมวลเม็ค
 μ' = สัมประสิทธิ์ความฝืด (ความเสียดทาน) ระหว่างวัสดุมวลเม็คกับผิววัสดุที่โซ่ทำ
 ผนังไซโล
 δ = การแปรผัน
 0Ω = สภาพสมคูลย์ ณ จุดเริ่มเปลี่ยนแปลงรูปทรงของวัสดุ
 $f\Omega$ = สภาพสมคูลย์ ณ จุดสุดท้ายของลำดับพฤติกรรม
 $n\Omega$ = สภาพสมคูลย์ ณ จุดปัจจุบันที่ทำการวิเคราะห์
 $m\phi$ = พังกัชั้นแห่งการประมาณของ **Nodal Point** ที่ m ของแต่ละไฟไนต์อีลิเมนต์
 θ = มุมลาดชันปกติของวัสดุมวลเม็ค (**Angle of Repose**)
 ρ = มุมแห่งความฝืดภายในของวัสดุมวลเม็ค
 θ = มุมลาดชันของ **Plane of Rupture**

ประมวลศัพท์วิทยาการ ไทย - อังกฤษ
เฉพาะที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้



การแปรผัน	Variation
การแยกออกเป็นส่วนย่อย	Discretization
การเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุ	Deformation
การถ่ายวัสดุออกทางด้านบน	Top Unloading
การถ่ายวัสดุออกทางด้านล่าง	Bottom Unloading
การวิเคราะห์แบบลำดับขั้น	Incremental Procedure
กลสมบัติ	Mechanical Property
ความหนาแน่น	Density
ความเสียดทาน, ความฝืด	Friction
จุลชีววิทยา	Microbiology
ไซโล	Silo
น้ำหนักบรรทุกคงที่	Dead Load
น้ำหนักบรรทุกจร	Live Load
บั้งเกอร์	Bunker
บิน	Bin
มอดูลัส	Bulk Modulus
ฟังก์ชันแห่งการประมาณ	Interpolation Function
ไฟไนต์อีลีเมนต์	Finite Element
มาตรวัดระยะ	Dial Gage
มุมแห่งความฝืดภายใน	Angle of Internal Friction
มุมลาดชันปกติ	Angle of Repose

แมททริซ	Matrices
โมดูลัสแห่งการยืดหยุ่น	Modulus of Elasticity
โมดูลัสแห่งการเกร็งตัว	Modulus of Rigidity
ระยะเคลื่อนที่	Displacement
ไร้เชิงเส้น	Nonlinear
แรงเฉือน	Shear Force
แรงเสียดทาน	Friction Force
แรงคั่นข้าง	Lateral Force
แรงคั่นในแนวตั้ง	Vertical Force
แรงกระแทก	Impact Force
แรงคั่นส่วนเพิ่ม	Overpressure
รัศมีไฮดรอลิก	Hydraulic Radius
วัสดุคงตัวทางเคมี	Chemically Stable Material
วัสดุมวลเม็ด	Granular Material
เวกเตอร์	Vector
สูตรสำเร็จ	Empirical Formula
สเตรซ	Stress
สเตรน	Strain
สติฟเนส	Stiffness
สมมาตรรอบแกนศูนย์กลาง	Axisymmetric
หน่วยแรงคั่น	Pressure
อัตราส่วนความเครียดของปัวซอง	Poisson's Ratio
อีลาสติก	Elastic

