

# คู่มือ วิศวกรรม ฐานราก

FOUNDATION  
ENGINEERING  
HANDBOOK

ดร.พัลลภ วิสุภธีเมธานุกุล



# คู่มือ วิศวกรรม ฐานราก

FOUNDATION  
ENGINEERING  
HANDBOOK

ดร.พิศล วิสุทธิเมธานุกูล <sup>SCAN</sup>

เลขทะเบียน M 0150817

วันลงทะเบียน 7 ส.ย. 2560

เลขเรียกหนังสือ

624.15  
พ 3819  
2558



บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)  
SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED

ค้นหาหนังสือที่ต้องการ (รวม e-book และสินค้าที่น่าสนใจ) ได้เร็ว ทันใจ

- บน PC และ Notebook ที่ [www.se-ed.com](http://www.se-ed.com)
- สำหรับ SmartPhone และ Tablet ทุกยี่ห้อ ที่ <http://m.se-ed.com> (ผ่าน browser) เก็บเงินเหรียญเปิดบัญชี  
Bookmark บนจอ Home จะใช้งานได้ฟรีใน App ทุกประเภท) หรือคลิก SE-ED Application ได้จาก Play Store  
บน Android (ใช้ดาวน์โหลดทุกสิ่งฟรี) หรือจาก App Store บน iOS (iPhone / iPad / iPod) เก็บเงินเหรียญ e-book





- หนังสือเล่มนี้ ได้รับการแก้ไขเล่มอย่างตั้งใจภายใต้วิธี *แฮบกี* (แฮบด้วยเรือก) เพื่อให้ท่านใช้งานได้อย่างยาวนาน โดยกระดาษไม่หลุดออกจากตัวเล่ม ซึ่งแตกต่างจากหนังสือทั่วไป ที่กำลังเล่นด้วยกาว
- ในกรณีที่มีข้อบกพร่องเกิดขึ้นจำนวนมาก เพื่อใช้ในการสอน การฝึกอบรม การส่งเสริมการขาย หรือเป็นของขวัญพิเศษ เป็นต้น กรุณาติดต่อสอบถามราคาพิเศษได้ที่ ฝ่ายขาย บริษัท ซี.อี.เอดูเคชั่น จำกัด (มหาชน) เลขที่ 1858/87-90 ถนนบางนา-ตราด แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 10260 โทรศัพท์ 0-2739-8222 โทรสาร 0-2739-8359
- หากมีคำแนะนำหรือติชม สามารถติดต่อได้ที่ [comment@se-ed.com](mailto:comment@se-ed.com)

### คู่มือวิศวกรรมฐานราก

โดย ดร.พิศลภ วัสดุวิไลพานุกูล

ราคา 480 บาท

สงวนลิขสิทธิ์ในประเทศไทยตาม พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ © พ.ศ. 2558 โดย ดร.พิศลภ วัสดุวิไลพานุกูล ห้ามคัดลอก ลอกเลียน ดัดแปลง ทำซ้ำ จัดพิมพ์ หรือกระทำอันใด โดยวิธีการใดๆ ในรูปแบบใดๆ ไม่ว่าส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้ เพื่อเผยแพร่ในสื่อทุกประเภท หรือเพื่อวัตถุประสงค์ใดๆ นอกจากจะได้รับอนุญาต

0 4 6 - 7 9 2 - 3 2  
0 8 5 5 6 5 4 3 2 1 0 9 8

### ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

National Library of Thailand Cataloging in Publication Data  
พิศลภ วัสดุวิไลพานุกูล 著.

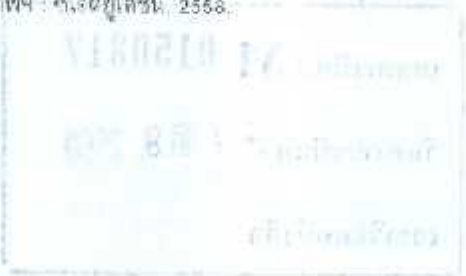
คู่มือวิศวกรรมฐานราก—กรุงเทพฯ : ซี.อี.เอดูเคชั่น, 2558.  
792 หน้า

1. ฐานราก. 2. ปู่อีกาลศาสตร์.

I. ชื่อเรื่อง.

524.16

ISBN 978-616-08-2198-3



จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดย



**บริษัท ซี.อี.เอดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)**  
SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED

เลขที่ 1858/87-90 ถนนบางนา-ตราด แขวงบางนา  
เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 10260 โทรศัพท์ 0-2739-8000

พิมพ์ที่ บริษัท ซี.อี.เอดูเคชั่น จำกัด เลขที่ 23/71/78 หมู่ 1 ซอยพืชมงคล 10 ถนนบางนา-ตราด-สายพิเศษ แขวงแคว้นฟ้า  
เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 10150 โทรศัพท์ 0-2451-3010  
นายวิโรจน์ ภาณุพนธ์กุล ผู้จัดพิมพ์โดย พ.ศ. 2558

# คำนำ

ดินเป็นวัสดุที่มีความเก่าแก่และสลับซับซ้อนที่สุดทางด้านวิศวกรรมซึ่งเกิดจากกากรวดพังของหิน ดินถูกใช้เป็นตัวอุดรูหรือสร้าง รอยรั่วยังเป็นวัสดุที่รับแรงจากโครงสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้นด้วย ดังนั้น วิศวกรจึงต้องมีความรู้ความเข้าใจในคุณสมบัติและพฤติกรรมของดินด้านต่างๆ เช่น ประเภทของดิน การไหลของน้ำผ่านดิน การยุบตัว การรับแรงเฉือน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง ฯลฯ เพื่อที่จะวิเคราะห์และออกแบบงานวิศวกรรมออกมาได้อย่างปลอดภัยและประหยัด

การใช้ปฐพีกลศาสตร์เข้าแก้ปัญหาทางวิศวกรรมฐานราก เป็นทั้งศาสตร์และศิลป์ ปัญหาทางปฐพีกลศาสตร์แตกต่างจากปัญหาในวิศวกรรมโครงสร้าง ซึ่งมีรูปแบบปัญหาที่ชัดเจนกว่าและมีคำตอบที่แน่นอน ความหลากหลายของคำตอบสำหรับปัญหาทางปฐพีกลศาสตร์เกิดจากความจริงที่ว่า ดินมีโครงสร้างที่สลับซับซ้อนและมีคุณสมบัติที่ไม่แน่นอนในสภาพธรรมชาติ ดังนั้น จึงมีผู้นำเสนอทฤษฎีต่างๆ ขึ้นมาเพื่อคำอธิบายพฤติกรรมของดิน แต่ระบอทฤษฎีก็มีความเหมาะสมกับสภาพปัญหาแตกต่างกันไป วิศวกรจึงต้องใช้ทั้งความรู้ประสบการณ์ และวิจารณญาณ เข้าแก้ไขปัญหาย่างเหมาะสม

หนังสือเล่มนี้ใช้สำหรับประกอบการเรียนการสอนวิชา วิศวกรรมฐานราก หรือ ปฐพีกลศาสตร์ประยุกต์ โดยให้ความสำคัญกับการคำนวณด้วยมือและการใช้ตารางคำนวณเป็นหลัก ซึ่งเป็นวิธีอนุรักษ์นิยม มีความปลอดภัยค่อนข้างสูง และยังเน้นพื้นฐานความเข้าใจในการคำนวณวิเคราะห์ปัญหาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งมีอยู่ดาษดื่นในปัจจุบัน เนื้อหาสาระของหนังสือเล่มนี้เกิดจากประสบการณ์การทำงานของผู้เขียนในบริษัทก่อสร้างและบริษัทวิศวกรที่ปรึกษาทั้งในและต่างประเทศ และการอ้างอิงตำราและบทความทางวิชาการที่ค่อนข้างหลากหลายทั้งในและต่างประเทศ และมีการดัดแปลงให้เหมาะสม คำอธิบายหลายๆ อย่างในหนังสือเป็นการทำเนื้อหาให้ง่ายต่อการใช้งานของผู้อ่านมากกว่าที่จะเน้นลงรายละเอียดลึกเกินไป

ผู้เขียนได้ใช้คำศัพท์เทคนิคภาษาอังกฤษในวงเล็บตลอดทั้งเล่ม เนื่องจากเวลาทำงานจริง วิศวกรมักจะใช้คำทับศัพท์ภาษาอังกฤษเป็นส่วนใหญ่ และเพื่อให้ผู้อ่านสามารถนำคำศัพท์ภาษาอังกฤษไปใช้ในการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมจากตำรา มาตราฐานการออกแบบ บทความทางวิชาการ เอกสารทางเทคนิคต่างๆ รวมทั้งอินเตอร์เน็ตได้ ซึ่งทั้งหมดนี้เขียนขึ้นภายใต้ auspices ของกรมโยธาธิการและผังเมือง ปี พ.ศ. 2558 ด้วย

ผู้เขียนเริ่มเขียนหนังสือเล่มนี้มาตั้งแต่ต้นปี พ.ศ. 2551 ในยามว่างจากงานประจำ และในวันหยุดพักผ่อน โดยขอขอบคุณภรรยาของผู้เขียน คุณดาวเรือง สุขทอง ที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยผลักดันให้เขียนหนังสือเล่มนี้จนแล้วเสร็จ และยังช่วยตรวจสอบการใช้ภาษาไทยอย่างละเอียดด้วย ขอขอบคุณคุณพรชัย สุขทอง และทีมงาน Crest Studio ที่ได้ช่วยออกแบบหน้าปกหนังสือเล่มนี้ ขอขอบคุณแหล่งความรู้ทางวิชาการต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งห้องสมุดของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย หรือ AIT ที่เป็นแหล่งรวมความรู้อันมีความมากมายจากคุณผู้บังคับบัญชาและเพื่อนร่วมงาน บริษัท อีตาเลียนไทย ดีเวลอปเม้นท์ จำกัด (มหาชน) และบริษัท พาร์สันส์ บร็อกเกอร์ฮอฟ จำกัด สาขาสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นองค์กรที่ผู้เขียนได้เรียนรู้ สังเกต ประสบการณ์ทำงานด้านวิชาชีพที่เป็นประโยชน์เพื่อนำมาถ่ายทอดแก่ผู้อ่านหนังสือเล่มนี้ และหากหนังสือเล่มนี้พอจะมีคุณประโยชน์แก่ผู้อ่านประการใด ผู้เขียนขอขอบคุณความคิดนี้ให้แก่บิดา มารดา อันเป็นที่รัก ครูบาอาจารย์ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้ทั้งที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ไม่สามารถเอื้อชื่อได้หมด หากมีความผิดพลาดประการใดในหนังสือเล่มนี้ ผู้เขียนขออภัยไว้แต่ใจศอไป

ดร พัลลภ วิสุทธเมธานุกุล

Special thanks are extended to Prof. Dennis I. Bergado, my former advisor at AIT, Prof. Masashi Kamon, my former advisor at Kyoto University, and Dr. Wong Kai Sin, my geotechnical advisor at Parsons Brinckerhoff Singapore for their hospitality and valuable advice on academic and professional aspects.

Punlop Visudmedanukul



# สารบัญ

คำนำ.....	3
สัญลักษณ์.....	7
การแปลงหน่วย.....	18
<b>บทที่ 1 คุณสมบัติทางธรณีเทคนิคของดิน.....</b>	<b>27</b>
1.1 บทนำ	27
1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของดิน	28
1.3 การกระจายของขนาดเม็ดดิน	33
1.4 การหาพิสัยความชื้นเหลวของดินเม็ดละเอียด	37
1.5 การจำแนกประเภทดินแบบ USCS	41
1.6 การไหลของน้ำในดิน	47
1.7 หน่วยแรงในดิน	53
1.8 หน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิผล	54
1.9 การวัดค่าความนำของดินเหนียว	58
1.10 กำแพงที่แรงเฉือนของดิน	86
1.11 คุณสมบัติยึดหยุ่นของดิน	104
1.12 บทสรุป	111
<b>บทที่ 2 การสำรวจชั้นดินภาคสนาม.....</b>	<b>115</b>
2.1 บทนำ	115
2.2 จำนวน ระยะห่าง และความลึกหลุมเจาะ	116
2.3 การเจาะหลุมสำรวจในสนาม	118
2.4 การทดสอบดินในสนาม	123
2.5 การทดสอบกระบอกทะลวงมาตรฐาน	123
2.6 การทดสอบไบนารีเฉือน	137
2.7 การทดสอบเจาะห้องด้วยหัวกรวย	141

2.8	การเก็บตัวอย่างดิน	141
2.9	การทดสอบ Diatometer	145
2.10	การทดสอบด้วยเครื่องวัดความดัน	147
2.11	การติดตั้งเครื่องวัดความดันในสนาม	149
2.12	บทสรุป	152

**บทที่ 3 น้ำใต้ดิน..... 153**

3.1	บทนำ	153
3.2	การวัดความดันน้ำในโพรงดิน	155
3.3	การทดสอบค่าการซึมในสนาม	156
3.4	การลดระดับน้ำใต้ดิน	162
3.5	การสูบน้ำบาดาลและการทรุดตัวของดิน	166
3.6	การไหลซึมของน้ำใต้ดินในแนวตั้ง	168
3.7	การไหลซึมของน้ำใต้ดินแบบ 2 มิติ	172
3.8	บทสรุป	181

**บทที่ 4 ฐานราก..... 183**

4.1	บทนำ	183
4.2	รูปแบบของกรณีปฏิบัติ	189
4.3	ทฤษฎีกำลังรับแรงแบกทานประลัยโดย Terzaghi	185
4.4	ทฤษฎีกำลังรับแรงแบกทานประลัยโดย Meyerhof	187
4.5	ทฤษฎีกำลังรับแรงแบกทานประลัยของดินเหนียวโดย Skempton	189
4.6	ผลกระทบของระดับน้ำใต้ดิน	190
4.7	การเลือกให้ทฤษฎีกำลังรับแรงแบกทานประลัย	191
4.8	กำลังรับแรงแบกทานที่ยอมรับได้	191
4.9	ทฤษฎีกำลังรับแรงแบกทานอื่นๆ	196
4.10	ฐานรากรับแรงเฉือนสูง	201
4.11	การทรุดตัวของฐานราก	203
4.12	การทดสอบแรงการรบกวนขนาดเล็ก	232
4.13	การคำนวณแรงยกขึ้น	235
4.14	บทสรุป	239

## บทที่ 5 ฐานรากยึด ฐานรากร่วม และฐานรากพรอม.....241

5.1	บทนำ	241
5.2	ฐานรากยึดร่วม	241
5.3	ฐานรากพรอม	245
5.4	ฐานรากพรอม	254
5.5	บทสรุป	264

## บทที่ 6 ฐานรากเสาเข็ม.....265

6.1	บทนำ	265
6.2	ชนิดของเสาเข็ม	266
6.3	การติดตั้งเสาเข็ม	269
6.4	กลไกการถ่ายแรงสู่เสาเข็ม	275
6.5	กำลังเสาเข็ม	277
6.6	การทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว	289
6.7	แรงเสียดทานจุดเสาเข็มลง	297
6.8	เสาเข็มรับแรงด้านข้าง	305
6.9	เสาเข็มรับแรงดึง	335
6.10	สูตรคอกเสาเข็ม	335
6.11	การทดสอบน้ำหนักบรรทุกเสาเข็ม	342
6.12	การทดสอบเสาเข็มแบบพลศาสตร์	349
6.13	เสาเข็มกลุ่มรับแรงค้ำ	351
6.14	เสาเข็มกลุ่มรับแรงด้านข้าง	354
6.15	เสาเข็มกลุ่มรับแรงเชิงศูนย์	359
6.16	เสาเข็มเจาะลงไปโนนิน	361
6.17	บทสรุป	362

## บทที่ 7 ความดันด้านข้างของดินและกำแพงกันดิน.....365

7.1	บทนำ	365
7.2	ความดันดินแบบดินไม่พยาย	365
7.3	ความดันดินเชิงราบตามทฤษฎี Rankine	370
7.4	ความดันดินเชิงรับตามทฤษฎี Rankine	375



## 24 คู่มือวิศวกรรมธรณีวิทยา

7.5	ความดันดินเชิงรุกตามทฤษฎี Coulomb	379
7.6	ความดันดินเชิงรับตามทฤษฎี Coulomb	387
7.7	ความดันด้านข้างของดินเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก	390
7.8	กำแพงกันดินแบบแข็งเกร็ง	392
7.9	กำแพงกันดินชนิดมีเสาเข็ม	405
7.10	เสถียรภาพของทรงชุดใช้น้ำโคลนเบนโทไนท์	407
7.11	กำแพงกันดินเสริมกำลัง	416
7.12	บทสรุป	429

### บทที่ 8 กำแพงเข็มพืด..... 431

8.1	บทนำ	431
8.2	ประเภทของเข็มพืดและการติดตั้ง	432
8.3	กำแพงเข็มพืดชนิดคานยื่น	436
8.4	กำแพงเข็มพืดแบบมีผสมยึด	444
8.5	รูปแบบการรับดินของกำแพงเข็มพืด	465
8.6	บทสรุป	466

### บทที่ 9 งานขุดดินใช้ค้ำยันหลายระดับ..... 467

9.1	บทนำ	467
9.2	ประเภทของความดันด้านข้างของดินที่กระทำต่อระบบค้ำยัน	468
9.3	การออกแบบของค้ำประเภทต่างๆ ของกำแพงเข็มพืดแบบมีค้ำยัน	474
9.4	การรับดีเพราะแรงยกขึ้น	486
9.5	ทางปูดของดินเหนียวที่ระดับกันหลุม	487
9.6	การเคลื่อนตัวของทรายที่ระดับกันหลุม	493
9.7	เสถียรภาพของชั้นกำแพง	498
9.8	การเคลื่อนตัวของระบบค้ำยัน	502
9.9	กำแพงไดอะแฟรมในงานขุดดินลึก	506
9.10	บทสรุป	511

### บทที่ 10 เสถียรภาพของลาดดิน..... 511

10.1	บทนำ	513
------	------	-----

10.2	ประเภทของกาบิبيتี	513
10.3	ขีดราคัวมลลอดกับ	515
10.4	เสถียรภาพของลาดดินไร้ขอบเขต	515
10.5	เสถียรภาพของลาดดินจำกัดขอบเขต	520
10.6	เสถียรภาพของลาดดินเสริมกำบัง	538
10.7	บทสรุป	548

**บทที่ 11 การปรับปรุงคุณภาพดิน ..... 551**

11.1	บทนำ	551
11.2	การบดอัดดิน	552
11.3	การใส่เถ้าหยาบให้ดินทรุดก่อนใช้งาน	555
11.4	เสาเข็มดินเม็ดหยาบ	579
11.5	เสาเข็มดินซีเมนต์	580
11.6	การป้องกันดินทรายแปลงสภาพเป็นของเหลว	589
11.7	บทสรุป	597

**บทที่ 12 ธรณีเทคนิคเพื่อสิ่งแวดลอม ..... 599**

12.1	บทนำ	599
12.2	การปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน	600
12.3	ทฤษฎีการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน	604
12.4	หลุมฝังกลบขยะ	619
12.5	กำแพงสกัดสารปนเปื้อน	627
12.5	ประสิทธิภาพของชั้นกันซึมและกำแพงสกัดสารปนเปื้อน	629
12.7	บทสรุป	643

**บทที่ 13 การก่อสร้างอุโมงค์ ..... 645**

13.1	บทนำ	645
13.2	การก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธี NATM	645
13.3	การก่อสร้างอุโมงค์หินหรือเจาะอุโมงค์	647
13.4	การเสถียรของอุโมงค์และการทรุดตัวของดิน	650
13.5	วงรับตารอุโมงค์	660

26 คู่มือวิศวกรรมฐานราก

13.6	เสถียรภาพหน้าจอยิ่งค้ำ	674
13.7	เสถียรภาพอื่นๆ	680
13.8	รถไฟฟ้ามหานครสายเฉลิมรัชมงคล	684
13.9	บทสรุป	686

บทที่ 14 การประเมินความเสียหาย..... 689

14.1	บทนำ	689
14.2	พิกัดการหาค่าตัวที่ยอมรับได้ของอาคาร	689
14.3	การประเมินความเสียหาย 3 ขั้นตอน	694
14.4	การวัดตั้งเครื่องมือตรวจวัดในสนาม	709
14.5	การสันนิษฐาน	714
14.6	บทสรุป	715

ภาคผนวก..... 717

ก.	การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลัง	719
ข.	คุณสมบัติของรูปหล่อตัดและวัสดุ	726
ค.	พารามิเตอร์ของมวลหิน	730
ง.	ตัวอย่างตารางคำนวณ	737

บรรณานุกรม..... 761

บรรณานุกรม..... 777