วิชา 203552 การออกแบบเขื่อนดินและหิน

คาบที่ 3

การสำรวจสำหรับงานเขื่อน

รศ. ดร. วรากร ไม้เรียง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

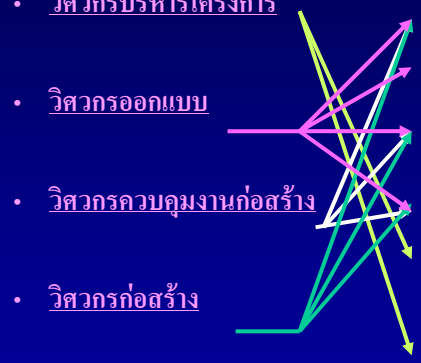
การสำรวจที่เกี่ยวข้องกับงานเขื่อน

งานก่อสร้างเขื่อนเป็นงานใหญ่ที่ต้องการข้อมูลหลายด้านและความถูกต้องของข้อมูลเหล่านั้นจะเป็นพื้นฐานของความสำเร็จของการออกแบบ ก่อสร้างและการดำเนินโครงการต่อไป

1. การสำรวจภูมิประเทศ
2. การสำรวจทางด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์ของลำน้ำ
3. การสำรวจทางด้านธรณีวิทยาของที่ตั้งเขื่อน
4. การสำรวจวัสดุก่อสร้าง
5. การสำรวจผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
6. การสำรวจทางด้านเศรษฐสังคมและความคิดเห็นของประชาชน

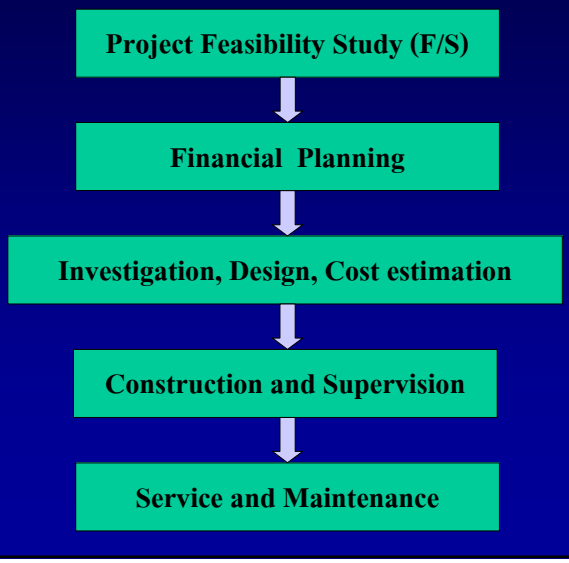
ความเกี่ยวข้องของวิศวกรในการสำรวจต่างๆ

- วิศวกรบริหารโครงการ
- วิศวกรออกแบบ
- วิศวกรควบคุมงานก่อสร้าง
- วิศวกรก่อสร้าง



1. การสำรวจภูมิประเทศ
2. การสำรวจทางด้านอุทกวิทยา
3. การสำรวจทางด้านธรณีวิทยาของที่ตั้งเขื่อน
4. การสำรวจวัสดุก่อสร้าง
5. การสำรวจผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
6. การสำรวจทางด้านเศรษฐศาสตร์และสังคมศาสตร์

ขั้นตอนของการดำเนินโครงการเขื่อน



การสำรวจหรือศึกษาความเหมาะสมของโครงการ

- **วัตถุประสงค์**
  - เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและราคาของโครงการ
  - เพื่อศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม
  - เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์และการเงิน
  - เพื่อเป็นของมูลในการเสนอของบประมาณในการดำเนินโครงการ
- **มีการศึกษาอย่างน้อย 4 ด้าน**
  1. ด้านวิศวกรรม
  2. ด้านเศรษฐศาสตร์
  3. ด้านสภาวะแวดล้อมและสังคม
  4. ด้านการบริหารโครงการ การเมือง และการปกครอง

การศึกษาความเหมาะสมโครงการเขื่อน

- ด้านวิศวกรรมศาสตร์และธรณีวิทยา
  - ก) รูปร่างลักษณะของพื้นที่รับน้ำ รวมทั้งตำแหน่งช่องเขาที่ตั้งเขื่อน
  - ข) ลักษณะธรณีวิทยาภูมิภาค ธรณีวิทยาที่ตั้งเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ
  - ค) พื้นที่บ่อยืมดิน เหมืองหิน และวัสดุก่อสร้างอื่นๆ
  - ง) การกำหนดชนิดตัวเขื่อนและอาคารประกอบเขื่อนที่เหมาะสม
  - จ) การออกแบบเขื่อนเบื้องต้น
  - ฉ) วิธีการก่อสร้างและระยะเวลา
  - ช) ราคาค่าก่อสร้างเบื้องต้น

การศึกษาความเหมาะสมโครงการเขื่อน

- ด้านเศรษฐศาสตร์และการเงิน
  - ก) ราคาค่าก่อสร้าง ค่าเวรคืนหรือชดเชยที่ดิน
  - ข) ประโยชน์หรือรายได้ที่เกิดขึ้น
  - ค) การวิเคราะห์ผลตอบแทนและความคุ้มค่าในการลงทุน
  - ง) แหล่งเงินทุนและดอกเบี้ย
- ด้านการเมืองและการปกครอง
  - ก) ความสอดคล้องกันนโยบายการบริหารของประเทศ
  - ข) ความมั่นคงทางด้านการป้องกันประเทศและมวลชน

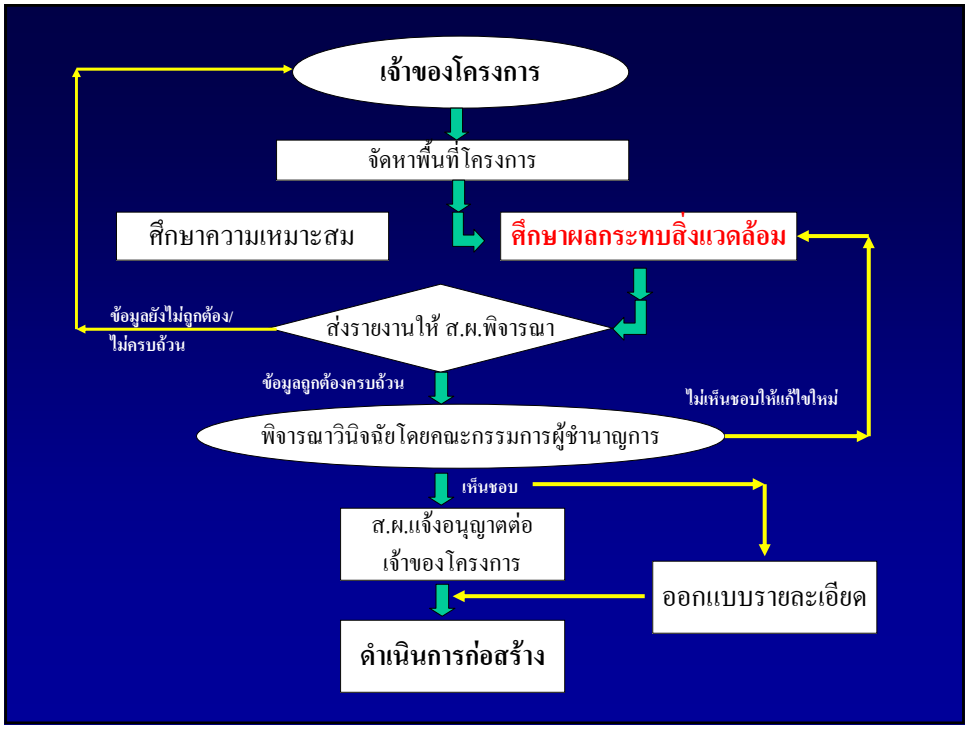
การศึกษาความเหมาะสมโครงการเขื่อน

- ด้านสิ่งแวดล้อมและสังคม
  - ก) การยอมรับของชุมชนที่ได้รับผลกระทบ
  - ข) การอพยพย้ายถิ่นฐานและเปลี่ยนอาชีพใหม่
  - ค) การเกิดมลภาวะในระหว่างการก่อสร้างและใช้งานเขื่อน
  - ง) ผลกระทบของป่าไม้ พืชพรรณและสัตว์ป่า
  - จ) ผลกระทบทางด้านสาธารณสุข
  - ฉ) ผลกระทบทางด้านโบราณคดีและการท่องเที่ยว
  - ช) ผลต่อการเกิดแผ่นดินไหวในระหว่างการเก็บน้ำ

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
เรื่อง กำหนดประเภทและขนาดของโครงการหรือกิจการของส่วนราชการรัฐวิสาหกิจ หรือเอกชนที่ต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

บัญชีท้ายประกาศ

ลำดับที่	ประเภทโครงการหรือกิจการ	ขนาด
๑.	เขื่อนเก็บกักน้ำหรืออ่างเก็บน้ำ	ที่มีปริมาตรเก็บกักน้ำตั้งแต่ ๑๐๐,๐๐๐,๐๐๐ ลูกบาศก์เมตรขึ้นไป หรือมีพื้นที่เก็บกักน้ำตั้งแต่ ๑๕ ตารางกิโลเมตรขึ้นไป
๒.	การชลประทาน	ที่มีพื้นที่การชลประทานตั้งแต่ ๘๐,๐๐๐ ไร่ขึ้นไป
๓.	สนามบินพาณิชย์	ทุกขนาด
๔.	โรงแรมหรือสถานที่พักตากอากาศที่ตั้งอยู่ริมแม่น้ำ ฝั่งทะเล ทะเลสาบ หรือชายหาด หรือที่อยู่ใกล้ หรือในอุทยานแห่งชาติ หรืออุทยานประวัติศาสตร์ ซึ่งเป็นบริเวณที่อาจจะก่อให้เกิดผลกระทบกระเทือนต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม	ที่มีจำนวนห้องพักตั้งแต่ ๘๐ ห้องขึ้นไป
๕.	ระบบทางพิเศษตามกฎหมายว่าด้วยการทางพิเศษ หรือโครงการที่มีลักษณะเช่นเดียวกับทางพิเศษ หรือระบบขนส่งมวลชนที่ใช้ราง	ทุกขนาด
๖.	การทำเหมืองตามกฎหมายว่าด้วยแร่	ทุกขนาด
๗.	นิคมอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วยนิคมอุตสาหกรรม หรือโครงการที่มีลักษณะเช่นเดียวกับนิคมอุตสาหกรรม	ทุกขนาด

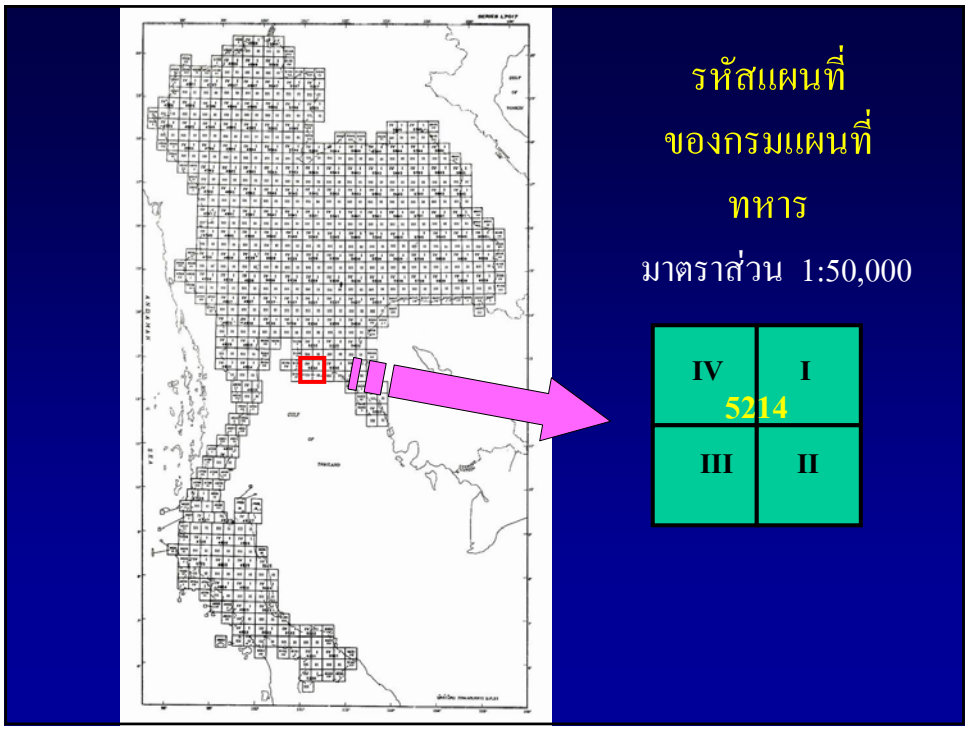


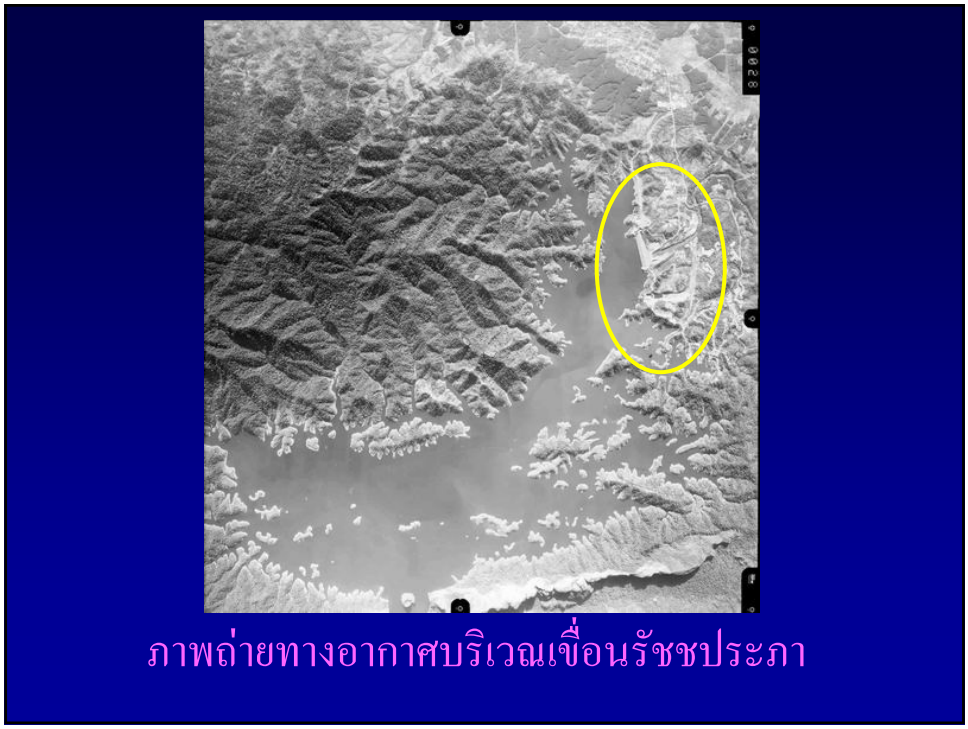
การสำรวจทางด้านวิศวกรรมของงานเขื่อน

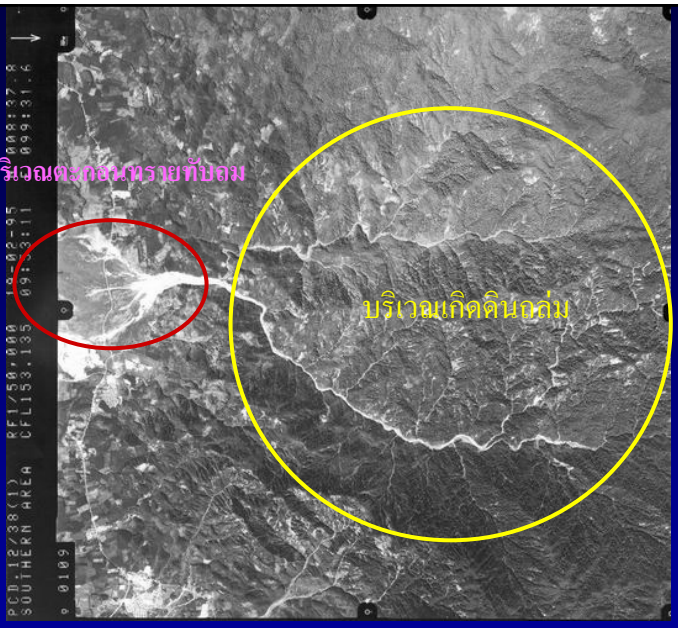
การสำรวจภูมิประเทศสำหรับงานเขื่อน

แผนที่ภูมิประเทศสำหรับงานเขื่อนเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญเพื่อเริ่มต้นงานศึกษาออกแบบ ซึ่งมักได้มาจากแหล่งดังต่อไปนี้

1. แผนที่ภูมิประเทศจากกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1:50,000
2. แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ 1:50,000 ถึง 1:4,000
3. แผนที่สำรวจทางภาคพื้นดิน 1:500 ถึง 1:2,000
4. ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat, Quickbird, Ikonos, IRC


รหัสแผนที่
ของกรมแผนที่
ทหาร
มาตราส่วน 1:50,000
IV
I
5214
III
II


ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณเขื่อนรัชชประภา



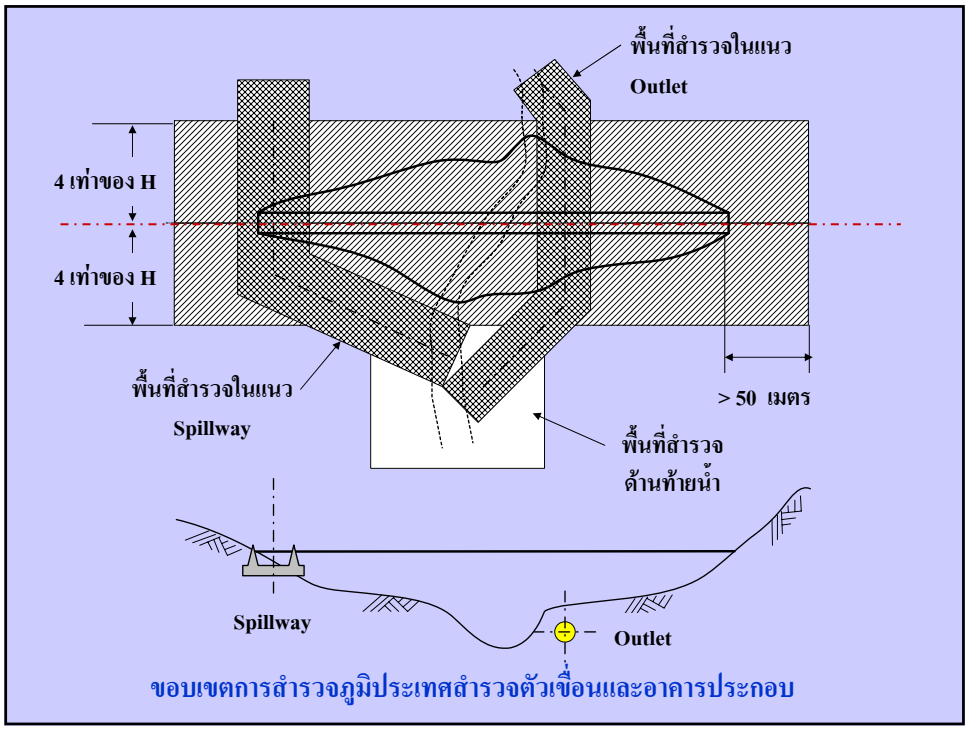
ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณบ้านกระทูนเหนือ
อ. พิปูน จ.นครศรีธรรมราช

การสำรวจภูมิประเทศบริเวณตัวเขื่อน

ก) แผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:500 - 1:2,000
เส้นชั้นความสูง 0.5 - 1.0 เมตร

ข) รูปตัดตามแนวแกนเขื่อนแสดงผิวดิน ร่องน้ำ และระดับน้ำ
มาตราส่วน 1:500 - 1:2,000 ตามแนวราบ
มาตราส่วน 1:200 - 1:500 ตามแนวดิ่ง

ค) รูปตัดขวางตั้งฉากกับแกนเขื่อนทุกระยะ 25 – 100 เมตร
ตลอดแนวแกนเขื่อนจนเลยระดับสันเขื่อนขึ้นไปอีกอย่างน้อย 50 เมตร ทั้งสองข้างของไหล่เขา และแต่ละเส้นตัดต้องห่างจากแกนเขื่อนไปทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำด้านละ 3-5 เท่าของความสูงเขื่อน ณ.ตำแหน่งนั้นๆ โดยสำรวจระดับผิวดินทุกระยะ 20 เมตร เป็นอย่างต่ำ



ขอบเขตการสำรวจภูมิประเทศสำรวจตัวเขื่อนและอาคารประกอบ

การสำรวจภูมิประเทศบริเวณอาคารประกอบเขื่อน

บริเวณอาคารทางชลศาสตร์หรืออาคารประกอบเขื่อนที่สำคัญ เช่น ทางน้ำล้น ท่อผันน้ำ ท่อส่งน้ำ แนวอุโมงค์ อาคารควบคุม หรือโรงไฟฟ้า เป็นต้น ต้องมีการสำรวจภูมิประเทศเพื่อการออกแบบและก่อสร้างดังนี้

ก) แผนที่ Site Plan ครอบคลุมบริเวณอาคารประกอบต่างๆ มาตราส่วน 1:200 - 1:1,000

ข) รูปตัดตามแนวแกนของโครงสร้าง มาตราส่วน 1:200 - 1:500

ค) รูปตัดขวางทุกระยะ 20 – 50 เมตร

การสำรวจภูมิประเทศบริเวณอ่างเก็บน้ำ

การสำรวจบริเวณอ่างเก็บน้ำจนถึงระดับน้ำเก็บกัก จะต้องนำไปใช้ประโยชน์ในการคำนวณพื้นที่อ่างและปริมาณน้ำเก็บกัก กำหนดพื้นที่เขตชักลากไม้ การจ่ายค่าชดเชยที่ดิน การหาตำแหน่งทำนบปิดช่องเขาขาด การทำแผนที่ธรณีวิทยาในบริเวณอ่างเก็บน้ำและตรวจสอบความมั่นคงของลาดเขาขอบอ่างในขณะเก็บน้ำ

การสำรวจแผนที่ภูมิประเทศบริเวณอ่างเก็บน้ำ จะใช้มาตราส่วน 1:2,000 – 1:20,000 หรืออาจใช้แผนที่ที่แปลจากภาพถ่ายทางอากาศโดยมีการตรวจสอบทางภาคพื้นดินประกอบ

การสำรวจภูมิประเทศบริเวณลำน้ำท้ายเขื่อน

ลำน้ำเดิมส่วนต่อเชื่อมกับท้ายน้ำของเขื่อน อาจต้องมีการปรับเปลี่ยนให้เข้ากับการใช้งานของเขื่อน จึงต้องมีการสำรวจลำน้ำต่อจากเขื่อนออกไปอีกมากกว่า 1 ก.ม. แต่ถ้าเป็นเขื่อนใหญ่ที่มีชุมชนอยู่ด้านท้ายน้ำและจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์การไหลบ่าของน้ำกรณีเขื่อนพิบัติ (Dambreak Analysis) จำเป็นต้องสำรวจออกไปอีกไกลจนพ้นขอบเขตที่มีอันตรายจากการไหลท่วมของน้ำ โดยทั่วไปการสำรวจลำน้ำจะมีรายละเอียดดังนี้

ก) สำรวจตามแนวลำน้ำเดิม แผนที่ มาตราส่วน 1:500 – 1:2,000

ข) รูปตัดขวางลำน้ำทุกระยะ 50 - 200 เมตร

การสำรวจภูมิประเทศบริเวณแหล่งวัสดุ

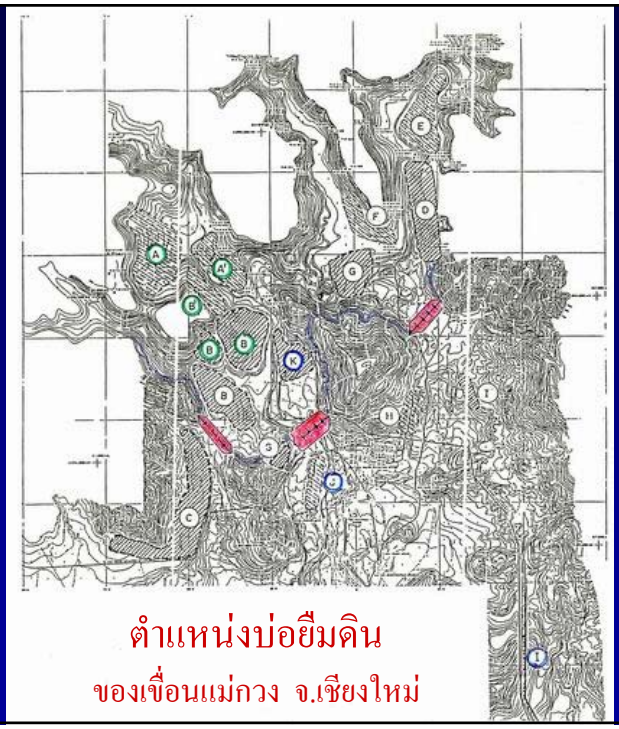
การสำรวจภูมิประเทศบริเวณแหล่งวัสดุ หรือบ่อยืมดิน มีความจำเป็นในการวางแปลงการสำรวจ การคำนวณปริมาณวัสดุก่อสร้าง และวางแผนในการขนส่งวัสดุมายังตัวเขื่อน

ส่วนมากแหล่งวัสดุจะพยายามให้อยู่ในพื้นที่อ่างเก็บน้ำเหนือเขื่อน เนื่องจากเป็นพื้นที่น้ำท่วมอยู่แล้ว

แผนที่มาตราส่วน 1:1,000 - 1:4,000

พร้อมเดินวงรอบขอบพื้นที่ดังกล่าว

ในกรณีที่มีการทำแผนที่ในอ่างเก็บน้ำอยู่แล้วอาจนำมาใช้ได้



ตำแหน่งบ่อยืมดิน

ของเขื่อนแม่กวง จ.เชียงใหม่

การสำรวจทางธรณีเทคนิคสำหรับเขื่อนดิน

ลักษณะทางด้านปฐพีกลศาสตร์และธรณีวิทยาของบริเวณเขื่อน อาคารประกอบ และอ่างเก็บน้ำ มีอิทธิพลต่อการออกแบบและก่อสร้างเขื่อนในหลายๆด้านเช่น

- การเลือกที่ตั้งเขื่อนและอาคารประกอบ
- การวางแผนสำรวจทางธรณีเทคนิคในรายละเอียด
- การผันน้ำในระหว่างการก่อสร้าง
- การปรับปรุงฐานรากเขื่อนและไหล่เขา
- การออกแบบตัวเขื่อนและการขุดฐานราก
- การติดตั้งเครื่องวัดพฤติกรรมเขื่อน

ขอบข่ายของงานธรณีเทคนิคสำหรับงานเขื่อน

1. เกี่ยวข้องกับตัวเขื่อน

- แหล่งวัสดุก่อสร้างตัวเขื่อน ทั้งด้าน ตำแหน่งบ่อยืมดิน ปริมาณ ชนิดดินหรือหิน ที่จะใช้ก่อสร้างตัวเขื่อน
- คุณสมบัติทางวิศวกรรม ได้แก่ การบดอัด ความแข็งแรง ความซึมน้ำ การยืดหดตัวเมื่อชื้น การกระจายตัว เป็นต้น
- คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ชนิดดิน ขนาดคละ ความเหนียว ความชื้นตามธรรมชาติ เป็นต้น

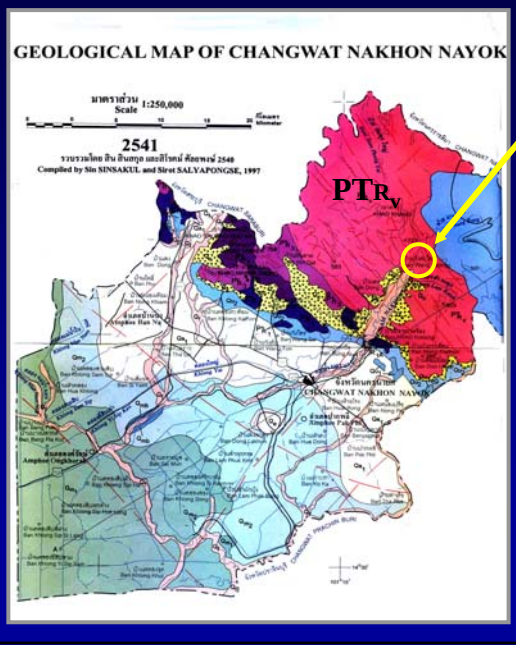
2. เกี่ยวข้องกับฐานรากเขื่อน ไหล่เขา และพื้นที่ท้ายน้ำ

- การจัดเรียงตัวของชั้นดินและชั้นหินฐานราก
- คุณสมบัติการรั่วซึมของชั้นดินและชั้นหิน
- คุณสมบัติความแข็งแรง การทรุดตัว การกระจายตัว เป็นต้น
- ลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้าง แนวชั้นหิน รอยแตก แนวเฉือนของชั้นหิน
- ความแข็งแรงและการยุบตัวของชั้นหินภายใต้น้ำหนักเขื่อน เป็นต้น

3. เกี่ยวข้องกับบริเวณอ่างเก็บน้ำ

- ความมั่นคงของลาดดินและหินโดยรอบขอบอ่าง
- การรั่วซึมของน้ำออกจากขอบอ่าง
- การชะล้างพังทลาย และการเกิดตะกอนในลำน้ำลงในอ่าง
- สภาพแผ่นดินไหวในบริเวณอ่างและพื้นที่ข้างเคียง
- ลักษณะทางธรณีวิทยาที่สำคัญเช่น แนว Fault ขนาดใหญ่

ธรณีวิทยาของพื้นที่บริเวณโครงการ

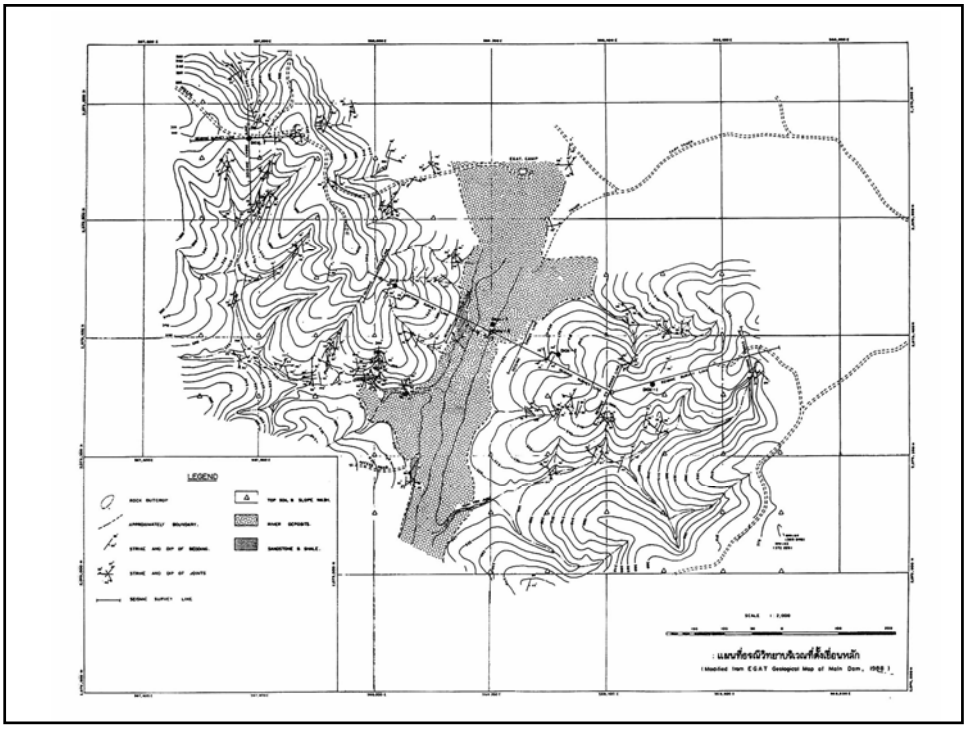


ตำแหน่งที่ตั้งเขื่อนคลองท่าด่าน

PTR$_v$

หินชิ้นภูเขาไฟไม่แยกประเภท ประกอบด้วยหินควอรต์ - เฟลด์สปาร์-ทัฟท์ แสดงการไหลตัวตัว วางปิดทับด้วยหินลาฟิลไลทัฟฟ์ซึ่งแสดงการไหลตัว และหินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ

DAM INSTRUMENTS



4. เกี่ยวข้องกับอาคารประกอบเขื่อน

- ธรณีวิทยาฐานรากของอาคารระบายน้ำล้น
- ธรณีวิทยาอุโมงค์และโรงไฟฟ้าใต้ดิน
- แนวท่อส่งน้ำ และทางผันน้ำ
- แหล่งวัสดุผสมคอนกรีต
- ธรณีวิทยาฐานรากของอาคารประกอบอื่นๆ

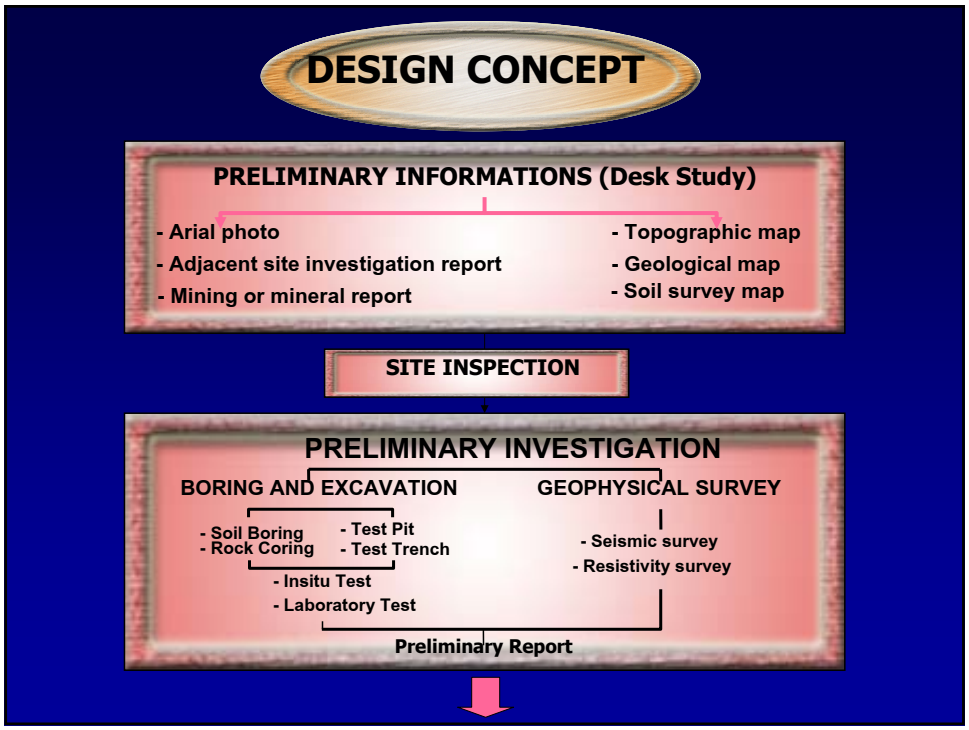
การวางแผนการสำรวจทางธรณีเทคนิค

1. จะต้องการทราบคุณสมบัติอะไรบ้าง
2. จะต้องมีขอบเขตการสำรวจขนาดไหน
   - ความกว้าง ความยาว ความลึก
   - ระยะห่างระหว่างหลุม
   - บริเวณที่สำคัญ
3. จะต้องสำรวจด้วยวิธีใด
4. จะต้องทราบข้อมูลใดก่อนหรือหลัง

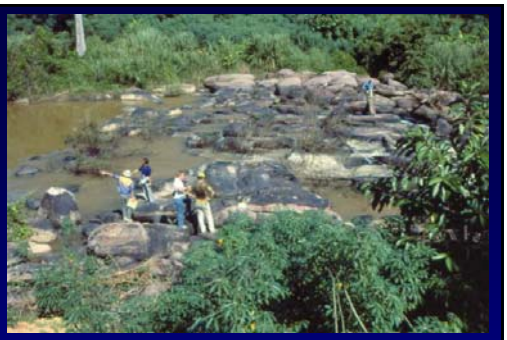
ปัญหาวิศวกรรมปฐพีที่เกี่ยวข้องกับงานเขื่อน

ลักษณะงานทางวิศวกรรมปฐพี	Bearing Capacity	Pile Capacity	Settlement	Slope Stability	Lateral Pressure	Deformation and Creep	Seepage and Drainage	Excavation	Compaction	Erosion
1 EARTH AND ROCK FILLED DAM										
1.1 Dam Embankment			■	●			●		●	■
1.2 Dam Foundation	●		■	■			●	●		
1.3 Dam Abutments	■			■			●	●		
1.4 Dam Appurtenant Struct.	●		■		●		●	■		
1.5 Reservoir Area				●			■			■

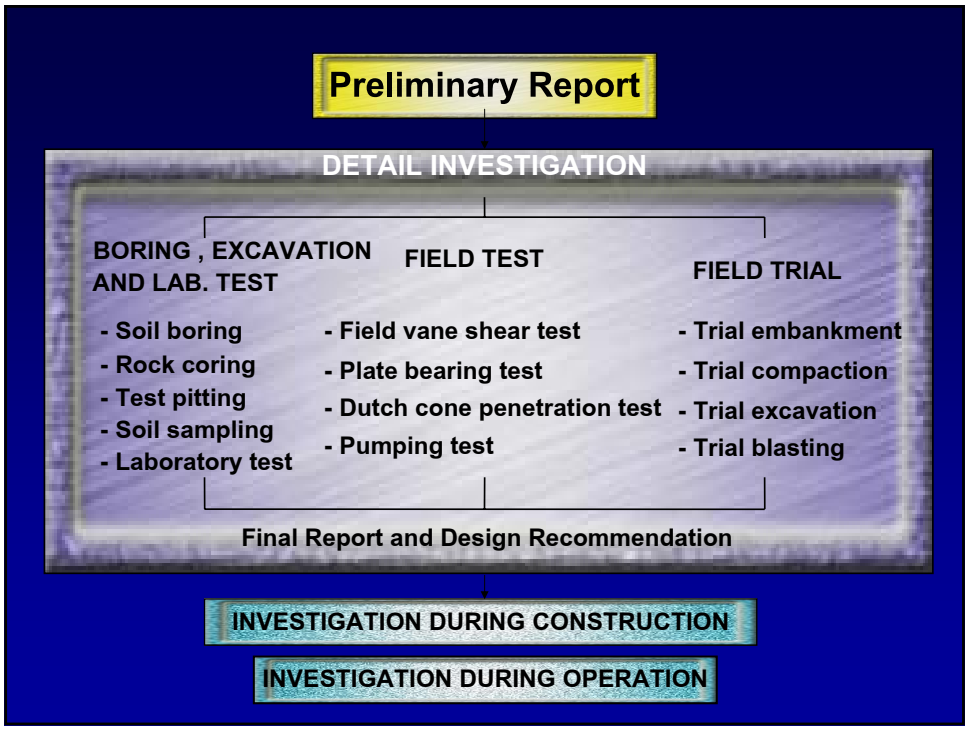
LEGENDS: ● PRIMARY CONCERNED ■ SECONDARY CONCERNED



Site Inspection



Site Inspection



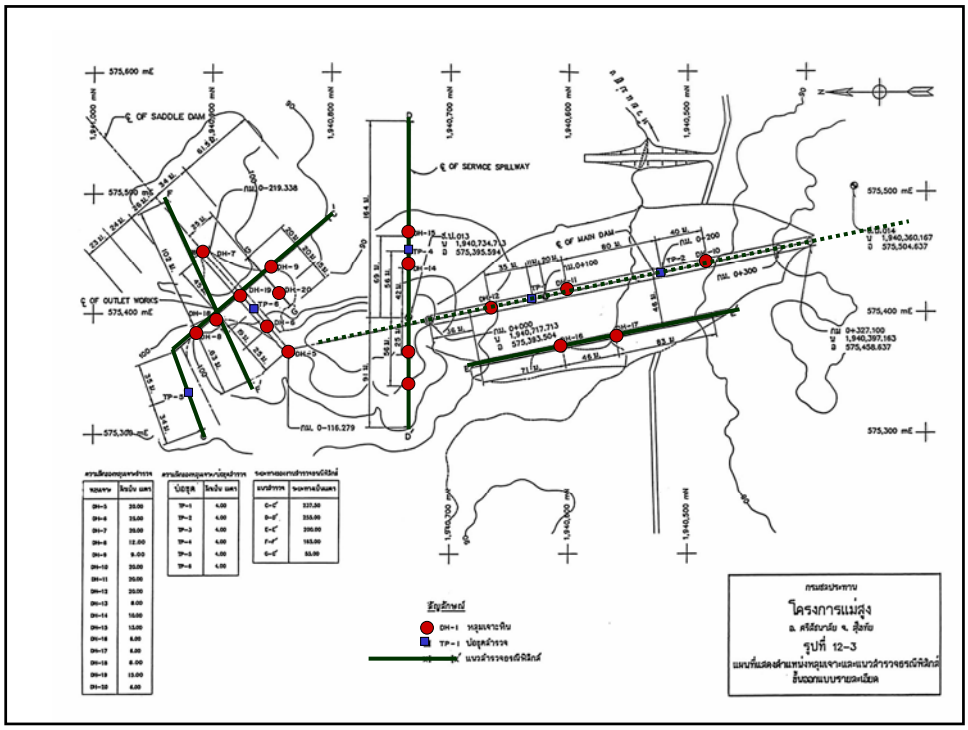
การสำรวจทางธรณีเทคนิคของฐานรากเขื่อนและอาคารประกอบ

วัตถุประสงค์ของการสำรวจฐานรากเขื่อน

1. กำหนดระดับการขุดฐานรากเขื่อนหรืออาคารประกอบ
2. กำหนดระดับหน้าหินที่จะเป็นก้นร่องแกน
3. ออกแบบความลึก การกระจายของหลุม และวิธีการอัดฉีดน้ำปูน
4. ตรวจสอบแนว ขนาด ทิศทาง ของโครงสร้างทางธรณีที่อาจเป็นอันตรายต่อตัวเขื่อน
5. จัดทำแผนที่ทางธรณี (Geological Map)
6. ออกแบบการปรับปรุงฐานรากเขื่อนโดยวิธีอื่นๆที่จำเป็น
7. กำหนดตำแหน่งและระดับของฐานรากอาคารประกอบเขื่อนที่เหมาะสม
8. ช่วยในการวางแผนการก่อสร้างและผันน้ำ

ตำแหน่งการเจาะและพื้นที่สำรวจ

- การสำรวจฐานรากเขื่อนจะต้องครอบคลุมพื้นที่ใต้ฐานเขื่อนทั้งหมดโดยเน้นข้อมูลตามแนวแกนเขื่อนและแนวอาคารประกอบ
- ตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจจะต้องมีอย่างน้อยทุกๆ 50 – 200 เมตร ตามแนวแกนเขื่อนตลอดความยาว และต้องอยู่ในบริเวณจุดสำคัญดังนี้
  - จุดที่ลึกที่สุดที่บริเวณลำน้ำปัจจุบันและลำน้ำเดิมที่อาจถูกทิ้งร้างไปแล้ว
  - จุดที่มีแนวโครงสร้างประกอบเขื่อนตัดผ่าน เช่น ทางน้ำล้น ท่อส่งน้ำ
  - จุดที่คาดว่าจะมีลักษณะทางธรณีวิทยาที่ผิดปกติ เช่น แนว Fault หรือ Dike
- สำหรับเขื่อนขนาดใหญ่ที่ตีนเขื่อนอยู่ห่างจากแกนเขื่อนออกไปมากกว่า 100 เมตร จะต้องมีการเจาะสำรวจเพิ่มเติมในแนวเหนือน้ำและท้ายน้ำขนานกับแนวแกนเขื่อนออกไป โดยเฉพาะในแนวศูนย์กลางของเขื่อน Coffer Dam ที่สูงเกิน 15 เมตร



การกำหนดความลึกของหลุมเจาะสำรวจ

1. ในการเจาะครั้งแรกๆ (F/S)ความลึกของหลุมโดยทั่วไปจะประมาณ 75 - 100 % ของความสูงของเขื่อน ณ จุดนั้นๆ และจะต้องมีการปรับเปลี่ยนไปตามลักษณะธรณีวิทยาที่ตรวจพบจากหลุมก่อนๆ
2. ความลึกในการเจาะสำรวจในขั้นออกแบบรายละเอียด จะต้องถึงระดับหินแกร่งและความทึบน้ำน้อยกว่า 5 Lugeon
3. ในกรณีที่ชั้นหินเป็นหินปูนจะต้องเจาะหลุมลึกกว่าระดับหินแกร่งลงไปในบางหลุมเพื่อสำรวจ ช่องว่างในหินในลักษณะ ถ้ำหรือโพรง
4. สำหรับอาคารประกอบเขื่อนที่ต้องคำนึงถึงแรงแบกทานของฐานรากและการยึดด้วย Rock Anchor ป้องกันการลอยตัว ต้องเจาะถึงชั้นหินที่มีกำลังเพียงพอ

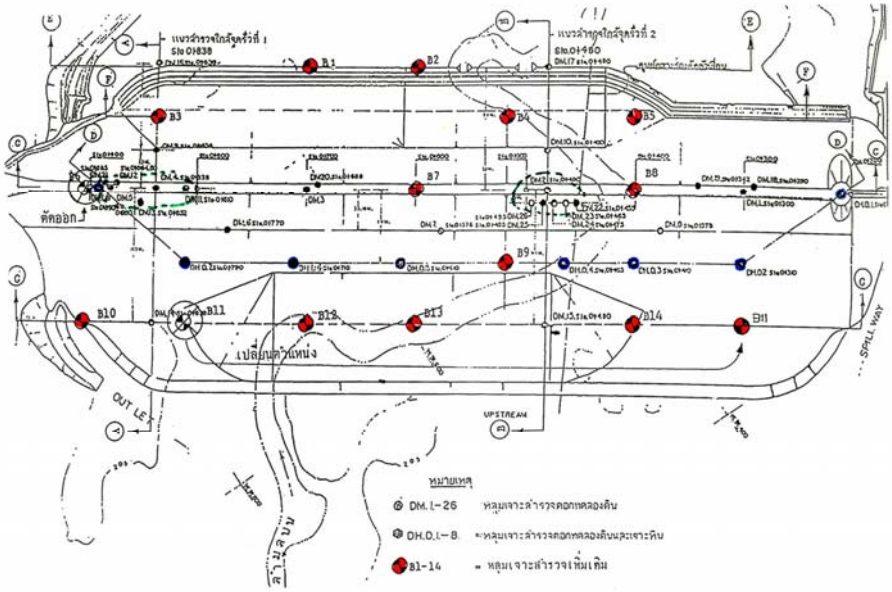
การสำรวจกรณีพิเศษสำหรับงานเขื่อน

การสำรวจกรณีพิเศษในงานเขื่อนนั้นอาจเกิดขึ้นในกรณีดังนี้

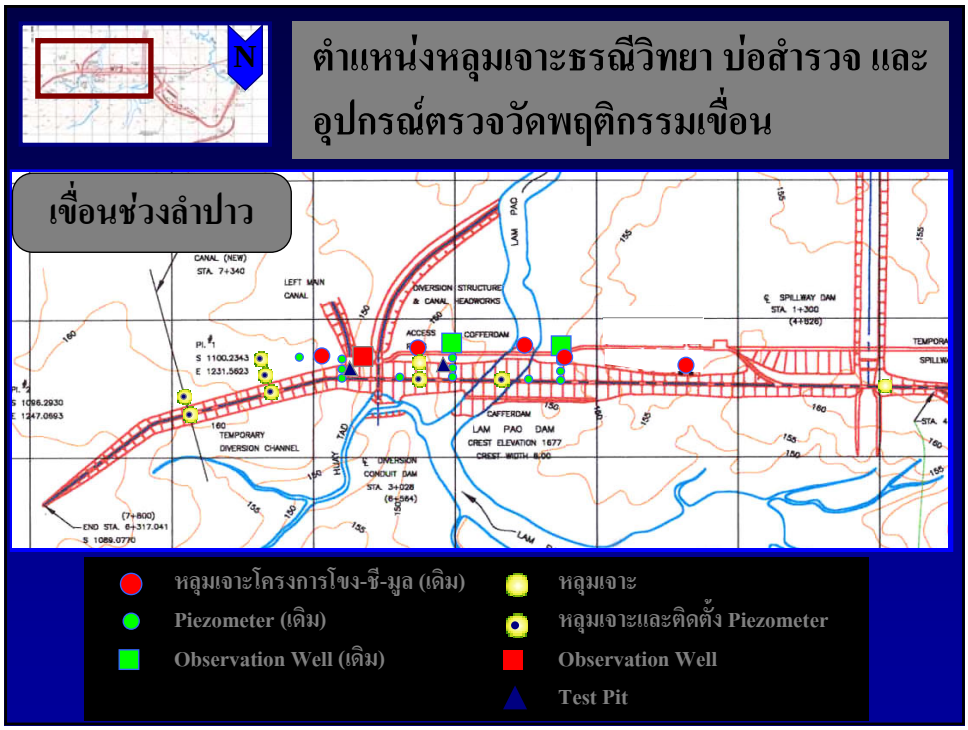
- การสำรวจเพิ่มเติมจากการสำรวจเดิม
- การสำรวจเพื่อการแก้ไขซ่อมแซมความบกพร่อง
- การสำรวจเพื่อการปรับปรุงแบบให้เข้ากับสภาพจริง

ในการดำเนินการสำรวจดังกล่าวจะต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

- การนำเอาผลจากการสำรวจเดิมมาร่วมพิจารณาแปลผลด้วย
- พิจารณาถึงสาเหตุของความบกพร่อง พื้นที่ที่เกี่ยวข้องโดยตรง และพื้นที่ที่อาจเกิดความบกพร่องในภายหลังได้
- ต้องสำรวจให้ทราบถึงลักษณะทางธรณีวิทยาที่แตกต่างไปจากสำรวจเดิม



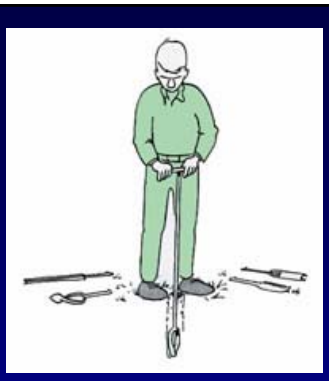
การสำรวจเพิ่มเติมเพื่อการออกแบบแก้ไขการชำรุดของเขื่อนมูลบน



วิธีการสำรวจฐานรากเขื่อน

เครื่องมือและวิธีการสำรวจฐานรากเขื่อน อาจใช้วิธีใดดังนี้หรือหลายวิธีร่วมกัน

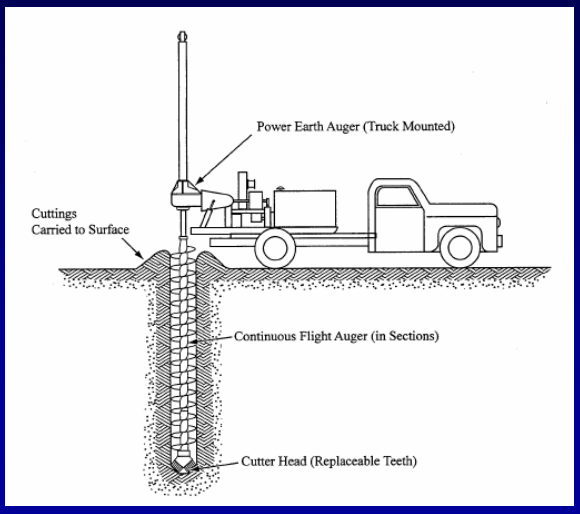
- การสำรวจด้วย Hand Augering → ใช้ในกรณีเขื่อนขนาดเล็ก หรือฝาย โดยความลึกของการสำรวจไม่เกิน 5 เมตร
- การสำรวจวิธี Wash Boring → ใช้สำรวจชั้นดินที่สามารถเป่าล้างด้วยแรงดันน้ำได้ ความลึกของการสำรวจไม่เกิน 25 เมตร
- การสำรวจ Rotary Drilling หรือ Rock Coring → ใช้สำรวจชั้นดินแข็งและชั้นหิน ความลึกของการสำรวจอาจถึง 100 เมตร
- การสำรวจด้วยหลุมขุด หรือร่องขุด (Test Pit or Test Trench) → ใช้ในการสำรวจระดับตื้น และต้องการเก็บตัวอย่างปริมาณมาก ความลึกของการสำรวจประมาณ 5 เมตร
- การสำรวจด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์ (Physical Survey) → ในงานเขื่อนมักใช้ คลื่นความสั่นสะเทือน (Seismic Survey) จะทำให้ทราบลักษณะชั้นดินได้ต่อเนื่อง แต่ไม่สามารถเก็บตัวอย่างดินได้
- การหยั่งชั้นดินด้วย Kunzelstab Penetrometer → ใช้ตรวจสอบความแน่นของชั้นดิน

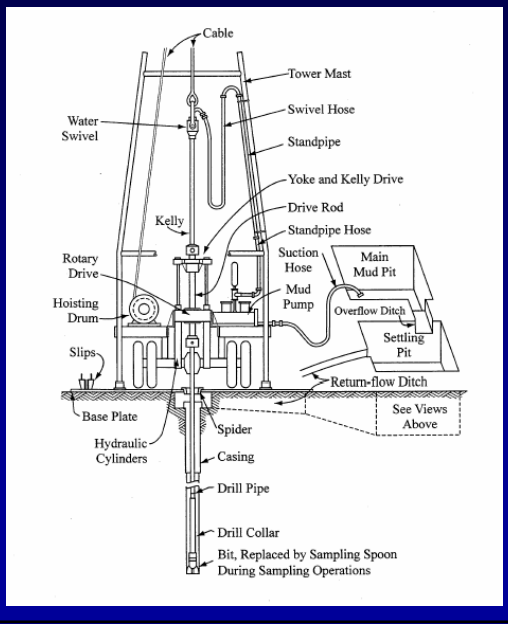


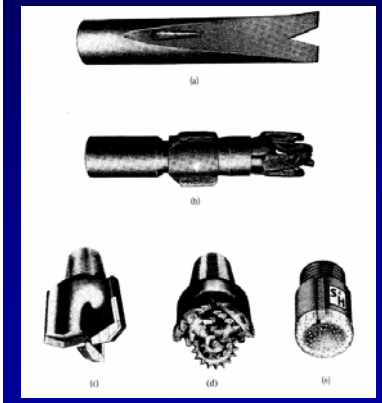
การสำรวจด้วย Hand Auger

การสำรวจด้วย Hand Augering

Power Auger Boring

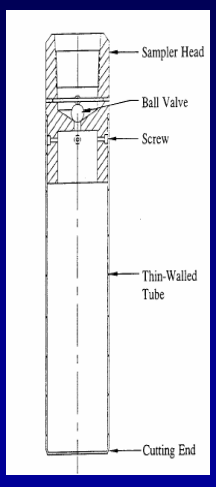




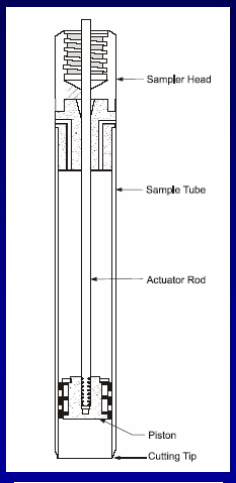


Rotary Drilling

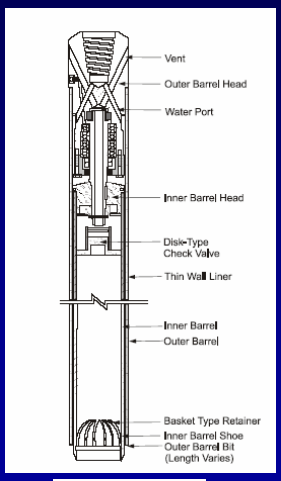
Soil Samplers



Thin-Walled (Shelby) Tube

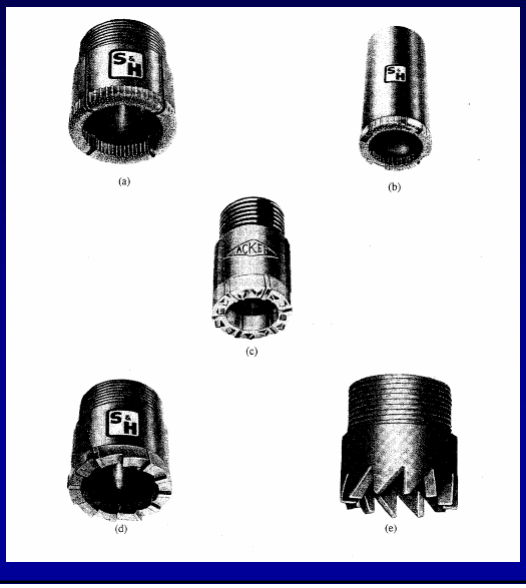


Stationary piston sampler.



Denison Sampler.

Coring Bits: (a) Diamond with Conventional Waterways, (b) Diamond with Bottom-Discharge Waterways, (c) Carbide Insert - Pyramid Type, (d) Carbide Insert - Blade Type, (e) Sawtooth. (Courtesy of Sprague & Henwood, Inc. and Acker Drill Co., Inc.)



Dimatec Inc. Canada

TABLE 3-2
DIMENSIONS OF DRILL RODS
(Longyear Company and Christensen Dia-Min Tools, Inc.)

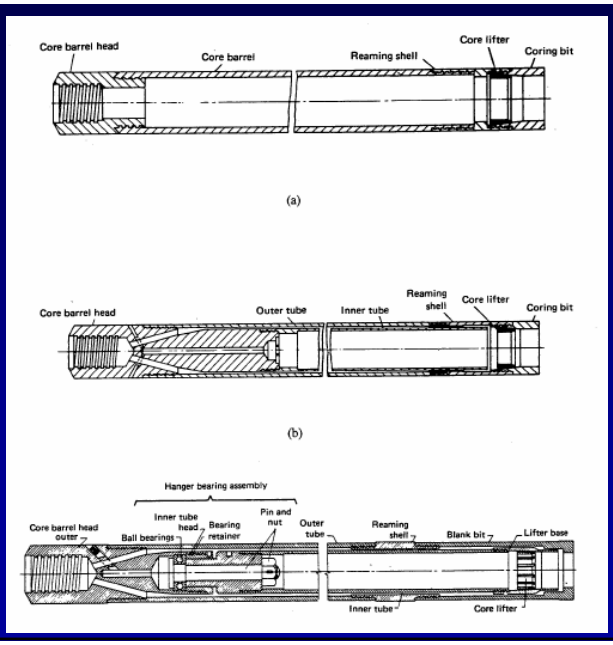
Size[a]	Outside Diameter of Rod (mm)	Inside Diameter of Rod (mm)	Inside Diameter of Coupling (mm)[b]
EX	33.3	21.4	11.1
AX	41.3	28.6	14.3
BX	48.4	35.7	15.9
NX	60.3	50.8	25.4
RW	27.8	18.3	10.3
EW	34.9	22.2	12.7
AW	44.4	31.0	15.9
BW	54.0	44.5	19.0
NW	66.7	57.2	34.9
HW	88.9	77.8	60.3
(L)AQWL	44.5	34.9	-
(C)AXWL	46.0	38.1	-
(L)BQWL	55.6	46.0	-
(C)BXWL	57.2	48.4	-
(L)NQWL	69.9	60.3	-
(C)NXWL	73.0	60.7	-
(L)HQWL	88.9	77.8	-
(C)HCWL	88.9	76.2	-
(L)PQWL	117.5[c]	103.2[c]	103.2
(C)CPWL	117.5	101.6	-

a X and W sizes are available from most manufacturers of drill rod. (L) indicates Longyear Company system. (C) indicates Christensen Dia-Min Tools, Inc. system.

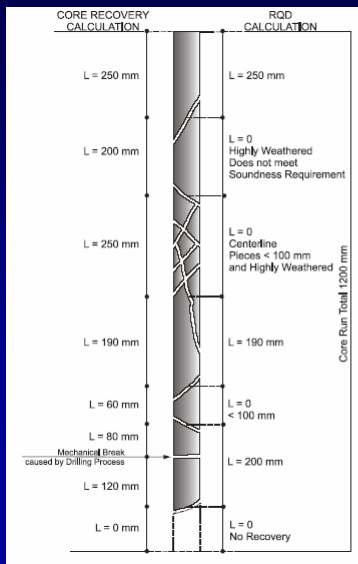
b X and W series have a separate coupling. WL wireline series, except PQWL, are flush-joint, internally and externally, without a separate coupling.

c PQWL has a separate coupling, protruding outside the rod o.d., but internally flush. The outside diameter in table is o.d. of coupling. The outside diameter of rod is 114.3 mm.

Single and double tube rock core barrels (after FHWA-HI-97-021, 1997).



Rock Quality Determination (RQD)



$$\text{Core Recovery, } CR = \frac{\text{Total length of rock recovered}}{\text{Total core run length}}$$

$$CR = \frac{(250+200+250+190+60+80+120)\,mm}{1{,}200\,mm}$$

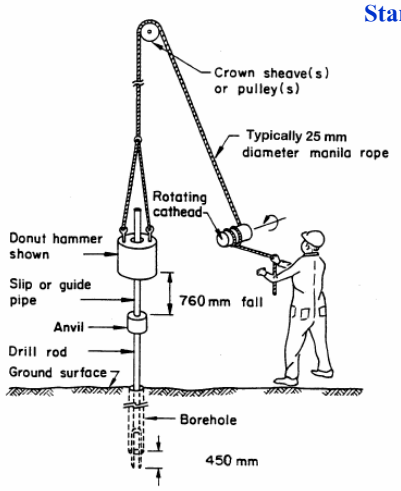
$$CR = 96\%$$

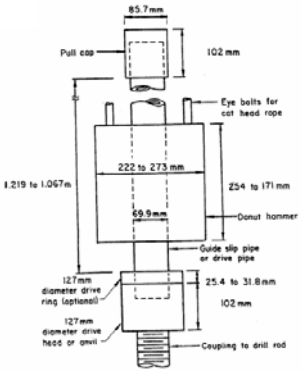
$$RQD = \frac{\sum \text{Length of sound pieces} > 100\,mm}{\text{Total core run length}}$$

$$RQD = \frac{(250+190+200)\,mm}{1{,}200\,mm} * 100\%$$

$$RQD = 53\%$$

Standard Penetration Test (SPT)





$$N_{SPT} \text{ or } \left(\frac{W_1 H_1}{6.2\, D_1^2 L_1}\right) N_{NON\text{-}STANDARD}$$

where, W_1 = the weight of the hammer in kilograms
H_1 = the height of free fall of the hammer in centimeters
D_1 = the outside diameter of the sampler in centimeters
L_1 = the depth of penetration in centimeters

Standard Penetration Test

SPT performed at the back of a drill rig.

Test Pit /

Test Trench

การทดสอบในสนามที่เกี่ยวข้อง

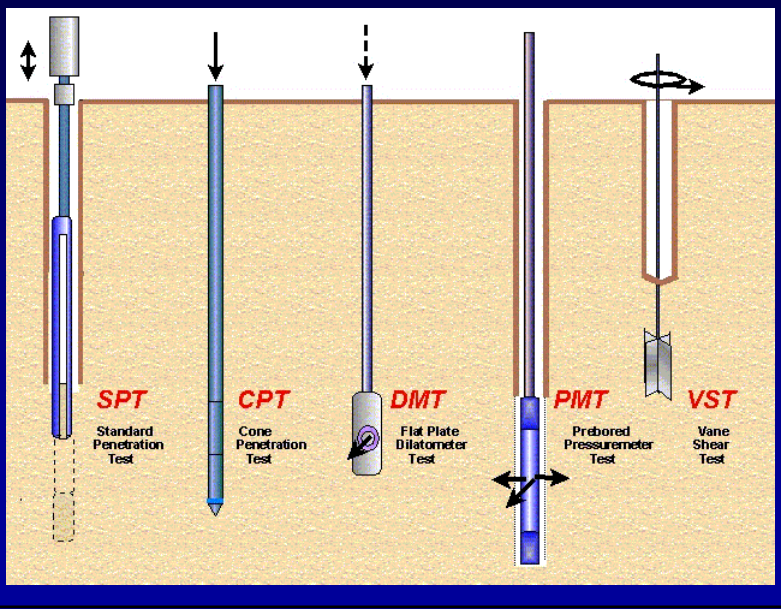
- Cone Penetration Test (CPT)
- Lateral Load Test (LLT)
- Field Vane Shear Test
- Field Direct Shear Test
- Field Permeability Test

การทดสอบคุณสมบัติความแข็งแรงของดินในสนาม

Table 4. Reference publications on in-situ testing.

Test Method	AASHTO/ ASTM Designation	Reference
SPT	AASHTO T206 ASTM D 1586	U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, (1997) *Subsurface Investigations*, Training Course in Geotechnical and Foundation Engineering, FHWA HI-97-021
CPT, CPTu, SCPTu	ASTM D 3341, D5778	U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, (1988) *Guidelines for Using the CPT, CPTu, and Marchetti DMT for Geotechnical Design*, FHWA-SA-87-023-024. Lunne, T., Robertson, P.K., and Powell, J.J.M. (1997) *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*, E & F Spon, 312 pp.
DMT	Suggested ASTM Method Schmertmann, 1986	U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (1992) *The Flat Dilatometer Test*, FHWA-SA-91-044. Marchetti, S., and Crapps, D.K. (1981) Flat Dilatometer Manual, Internal Report of GPE, Inc. (Gainesville, FL), available at http://www.gpe.org.
PMT	ASTM D 4719	U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, (1989) *The Pressuremeter Test for Highway Applications*, FHWA-IP-89-008. Clarke, B.G. (1995) *Pressuremeters in Geotechnical Design*, Blackie Academic & Professional, 364 pp.
VST	ASTM D 2573	American Society of Testing and Materials, (1988) *Vane Shear Strength Testing in Soils: Field and Laboratory Studies*, ASTM STP 1014, 378 pp.

การทดสอบคุณสมบัติชั้นดินและหินในสนาม



Quick Field Soil Strength Tests

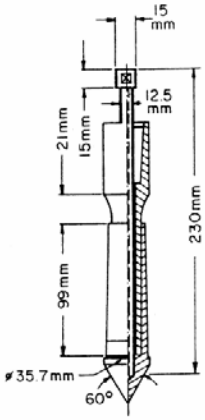
TORVANE

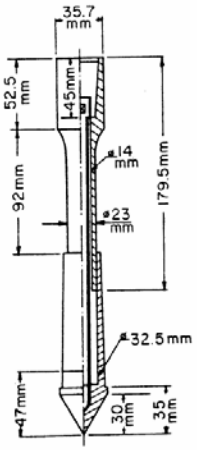
Shown with optional
STCL3-A1 Adapter Foot

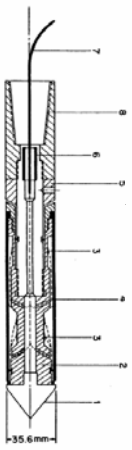
POCKET PENETROMETER

การทดสอบ Pocket Penetrometer ในสนาม

Ducth Cone Penetration (CPT)







1 Conical Point (10 cm²)
2 Load Cell
3 Strain Gages
4 Friction Sleeve (150 cm²)
5 Adjustment Ring
6 Waterproof Bushing
7 Cable
8 Connection with Rods

Cone and piezocone penetrometers

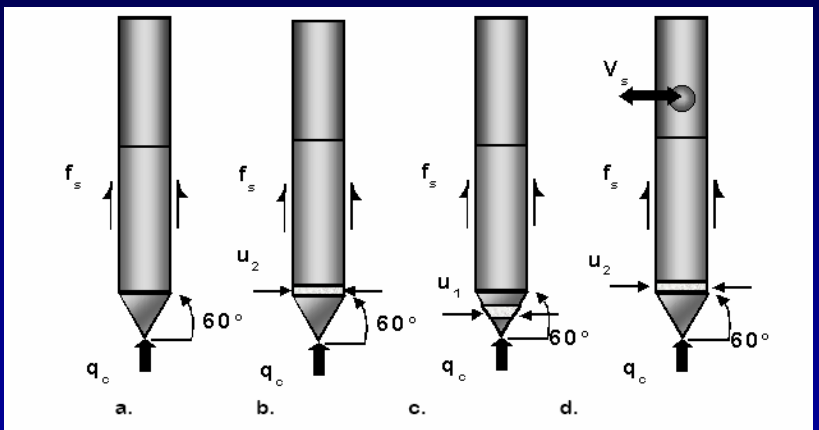
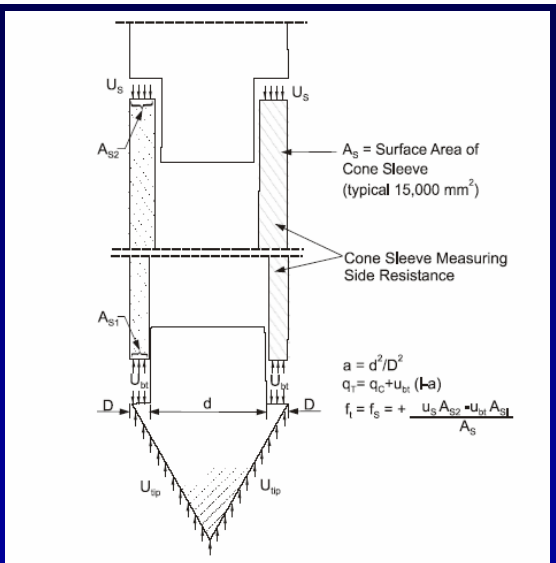
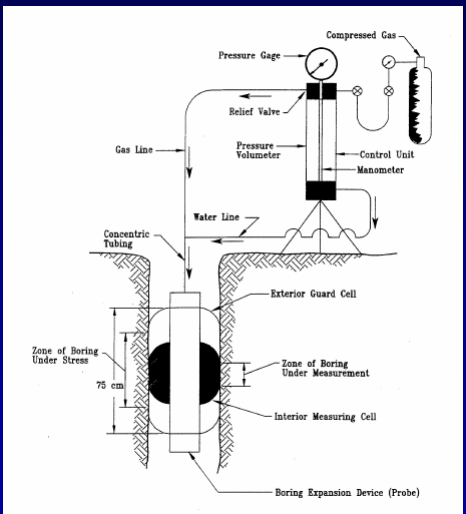


Figure 14. Measurement locations on cone penetrometers:
a. Electric Cone Penetrometer, CPT; b. Piezocone Penetrometer (filter behind tip), $CPTu_2$;
c. Piezocone Penetrometer (mid-face filter) $CPTu_1$; d. Seismic Piezocone, $SCPTu_2$.

Illustration of unequal end areas of CPT (after Kulhawy and Mayne, 1990).



Menard Pressure Meter



LATERAL LOAD TEST

Flat plate dilatometer test equipment.

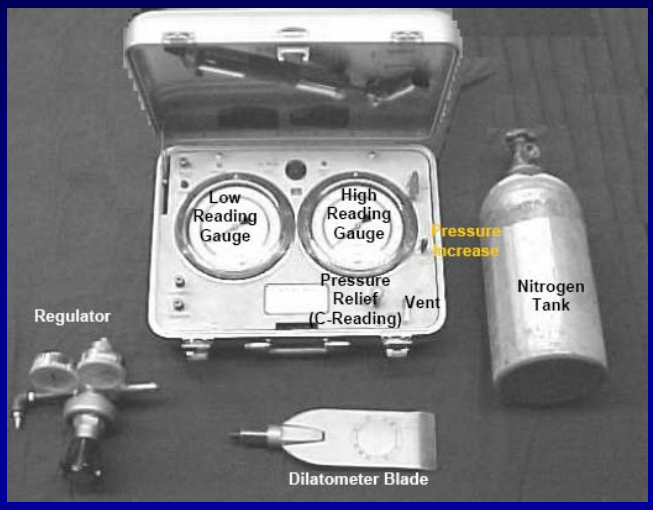
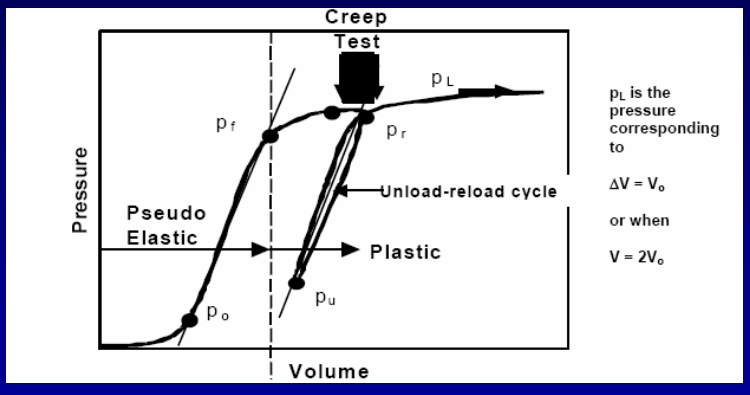
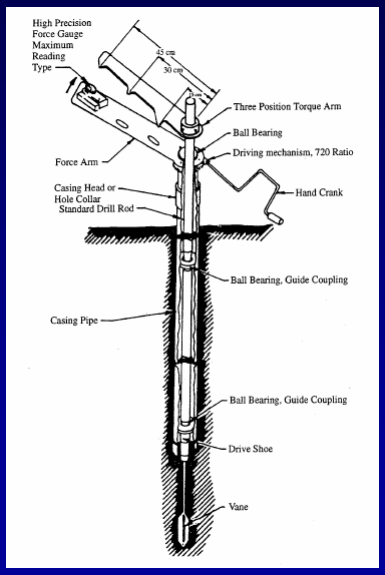
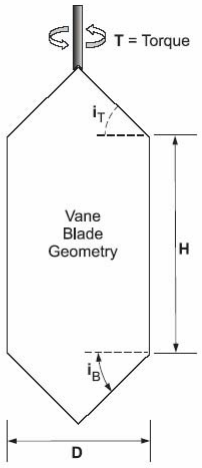


Figure 17. Pre-bored pressuremeter equipment.

Typical curves and characteristic pressures for pre-bored Menard pressuremeter.

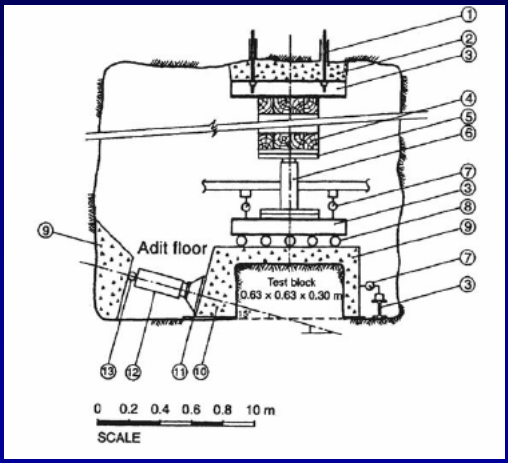






(a) Rectangular vane; and (b) Parameters used to define vane dimensions.

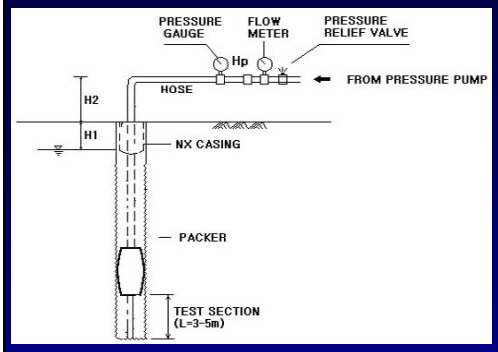
Typical setup for an in-situ direct shear test in an adit (after Saint Simon et al., 1979).



Legend:

1. Rock anchor
2. Hand-placed concrete
3. Wide flange steel beam
4. Hardwood
5. Steel plates
6. 30 ton jack
7. Dial gauge
8. Steel rollers
9. Reinforced concrete pad
10. Bearing plate
11. Styrofoam
12. 50 ton jack
13. Steel ball

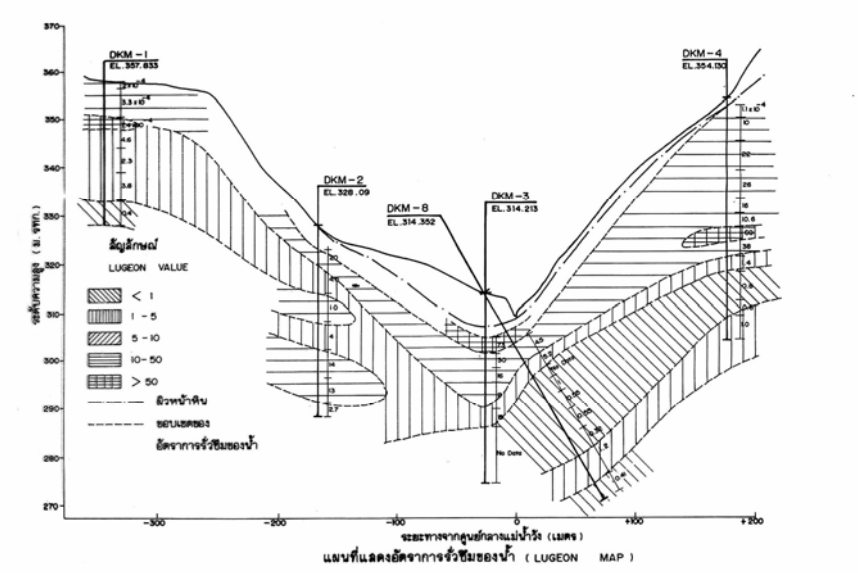
Rock Permeabilty Test



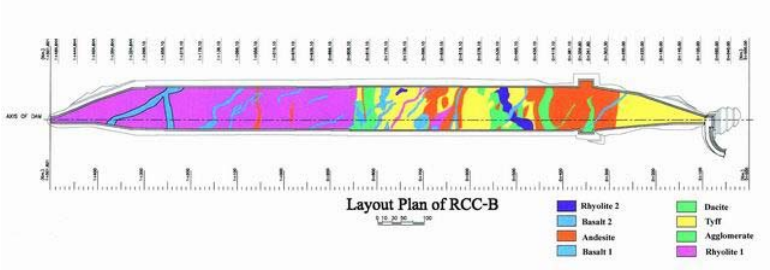
Lugeon Test

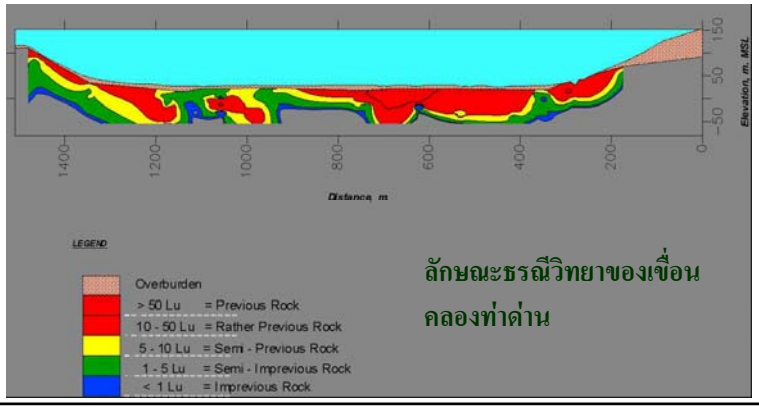
Pumping Test

Packer Test



แผนที่แสดงอัตราการซึมของน้ำ (LUGEON MAP)



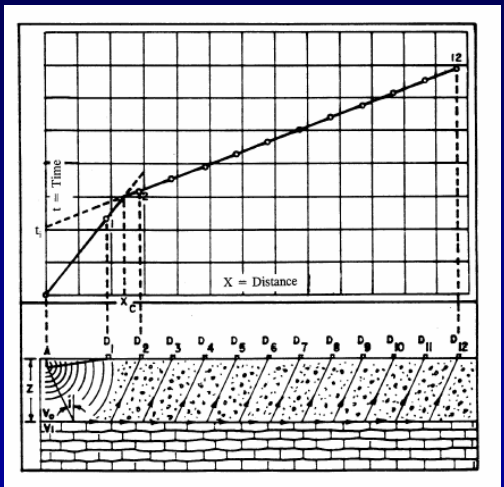


ลักษณะธรณีวิทยาของเขื่อนคลองท่าด่าน

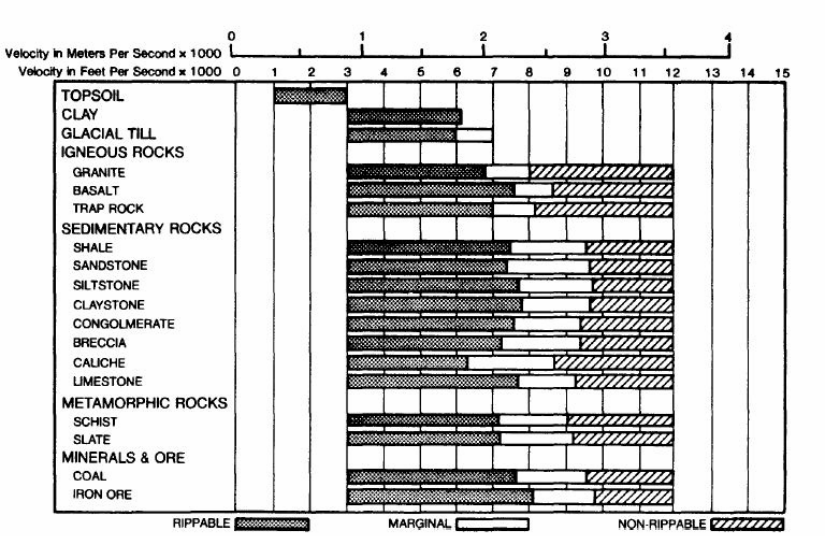
Geophysical surveys

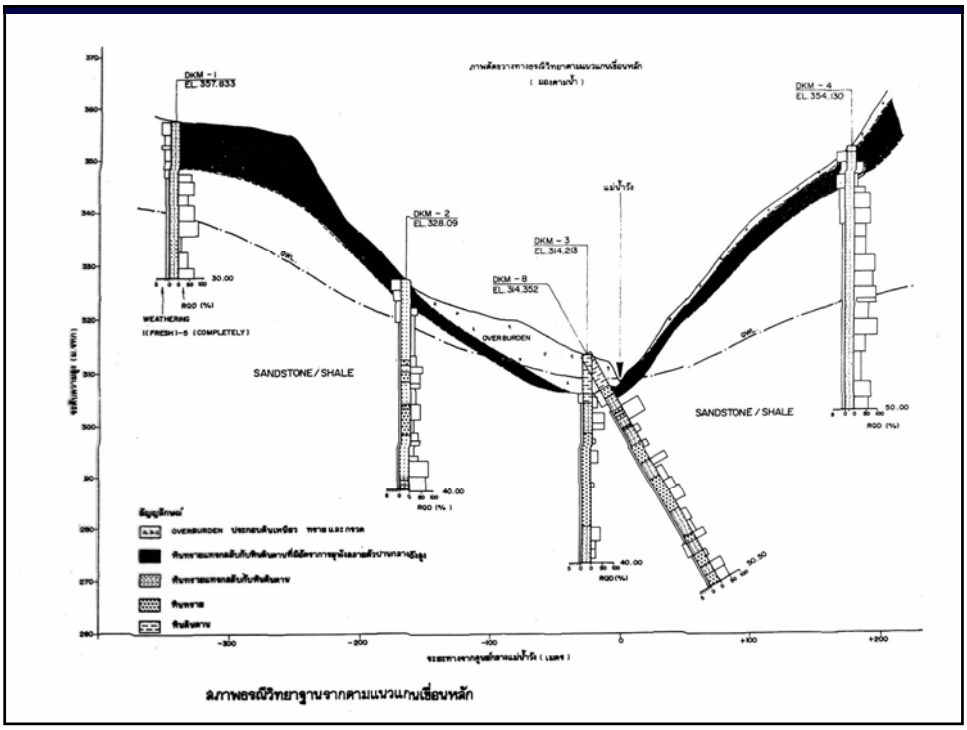
Method	Property	Major Influence	Typical Ranges
Electrical & Electromagnetic	Electrical Conductivity (resistivity)	Lithology (clay content) Moisture (dissolved solids)	10^{4} (sea water) to 10^{-4} (dry sand) millimohs/m
Gravity	Density	Lithology (magnetic mineral)	0 (air filled void) to 1 (sediments) to 3 (massive rocks) gm/km
Magnetic	Magnetic Susceptability	Lithology (mineral, porosity)	10^{-6} (sediments) to 10^{2} (iron alloys)
Seismic	Seismic velocity/attentuation	Lithology (porosity, saturation, pressure)	10^{2} (soil) to 10^{4} (massive rocks) m/sec
Ground Penetrating Radar	Dielectric constant	Lithology, watercontent, density	10 (ice) to 10^{2} (water)

Seismic Surveying

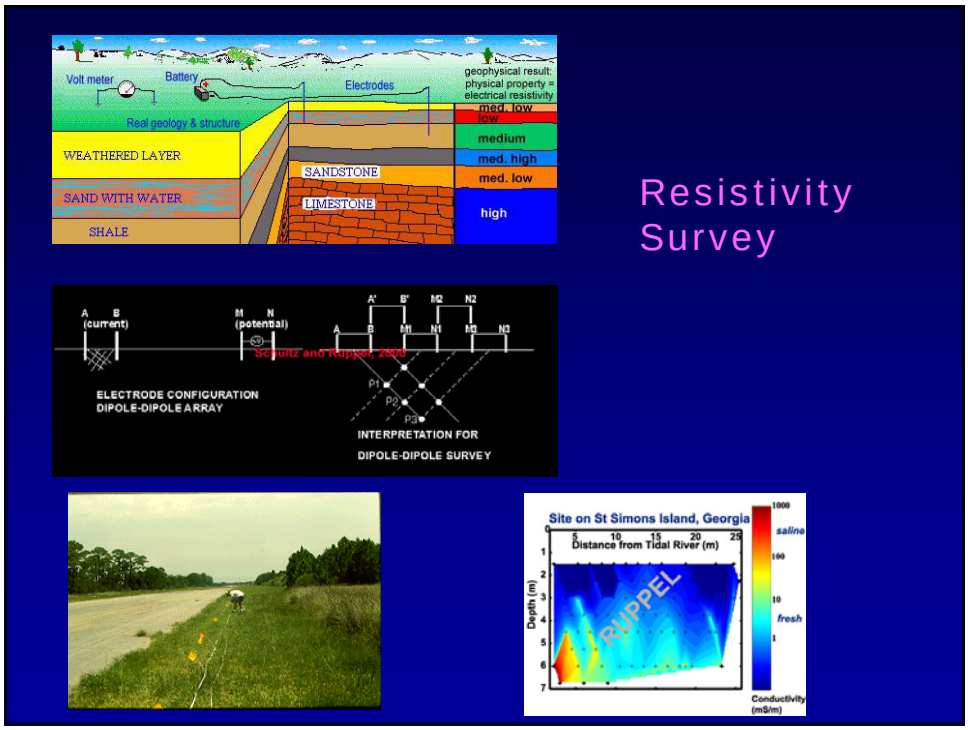


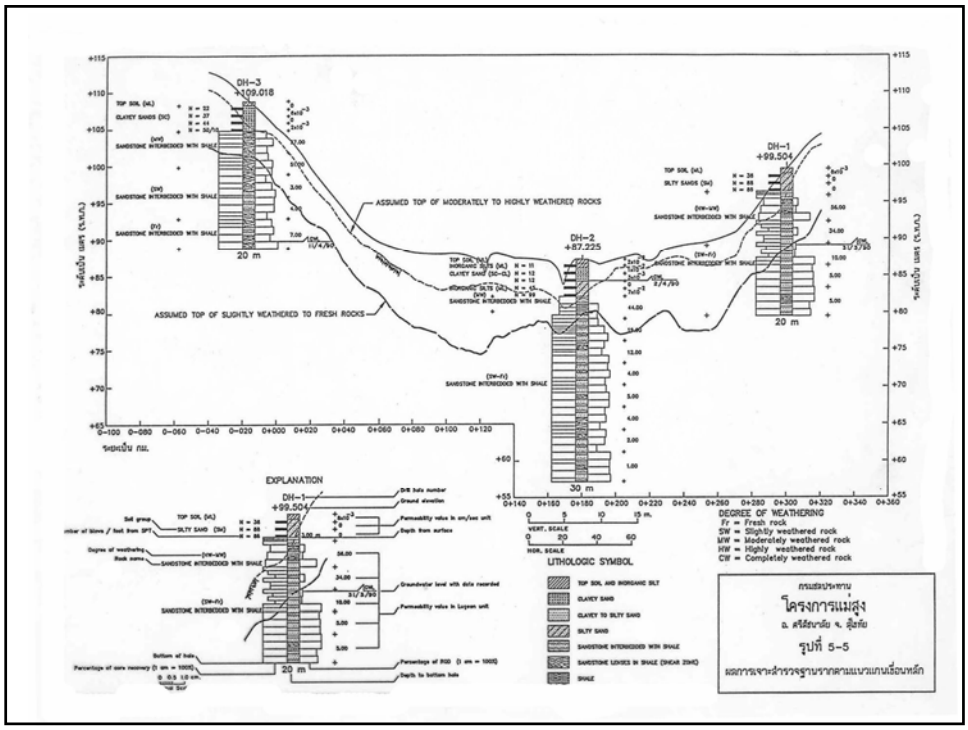
Rocks Rippability by D8L Ripper (Caterpillar)

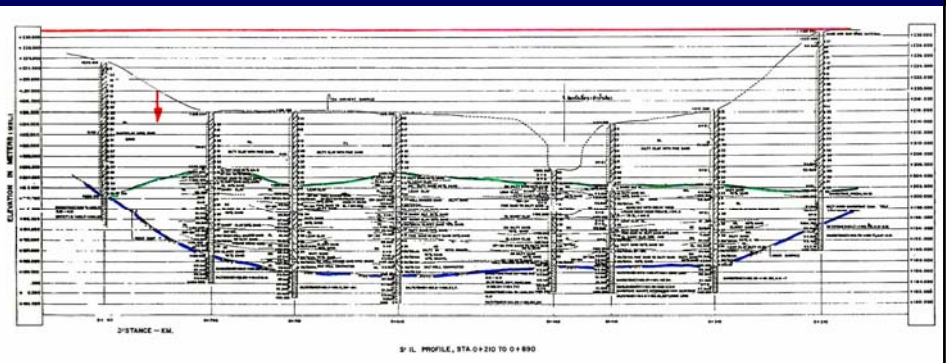




ภาพธรณีวิทยาฐานจากตามแนวแกนเขื่อนหลัก


Volt meter
Battery
Electrodes
geophysical result:
physical property =
electrical resistivity
Real geology & structure
WEATHERED LAYER
SAND WITH WATER
SHALE
SANDSTONE
LIMESTONE
med. low
low
medium
med. high
med. low
high
Resistivity
Survey
A B
(current)
M N
(potential)
Schultz and Ruppel, 2006
ELECTRODE CONFIGURATION
DIPOLE-DIPOLE ARRAY
INTERPRETATION FOR
DIPOLE-DIPOLE SURVEY
Site on St Simons Island, Georgia
Distance from Tidal River (m)
Depth (m)
RUPPEL
saline
fresh
Conductivity
(mS/m)


DH-3
+109.018
DH-2
+87.225
DH-1
+99.504
20 m
30 m
ASSUMED TOP OF MODERATELY TO HIGHLY WEATHERED ROCKS
ASSUMED TOP OF SLIGHTLY WEATHERED TO FRESH ROCKS
EXPLANATION
LITHOLOGIC SYMBOL
DEGREE OF WEATHERING
Fr = Fresh rock
SW = Slightly weathered rock
MW = Moderately weathered rock
HW = Highly weathered rock
CW = Completely weathered rock
โครงการแม่สูง
รูปที่ 5-5



การจำแนกความแน่นและความชื้นในดิน

TABLE 4-1
EVALUATION OF THE APPARENT DENSITY OF COARSE-GRAINED SOILS

N-value	Apparent Density	Behavior of 13 mm Diameter Probe Rod	Relative Density, %
0 - 4	Very loose		
>4 - 10	Loose	Easily penetrated when pushed by hand	0 - 40
>10 - 30	Medium dense	Easily penetrated when driven with 2 kg. hammer	40 - 70
>30 - 50	Dense	300 mm penetration when driven with 2 kg. hammer	70 - 85
>50	Very Dense	Only a few centimeters penetration when driven with 2 kg. hammer	85 - 100

TABLE 4-3
ADJECTIVES TO DESCRIBE WATER CONTENT OF SOILS

Description	Conditions
Dry	No sign of water and soil dry to touch
Moist	Signs of water and soil is relatively dry to touch
Wet	Signs of water and soil definitely wet to touch; granular soil exhibits some free water when densified

การจำแนกความแข็งของดินเหนียว

TABLE 4-2
EVALUATION OF THE CONSISTENCY OF FINE-GRAINED SOILS

N-value	Consistency	Unconfined Compressive Strength, q_u, kPa	Results Of Manual Manipulation
<2	Very soft	<25	Specimen (height = twice the diameter) sags under its own weight; extrudes between fingers when squeezed.
2 - 4	Soft	25 - 50	Specimen can be pinched in two between the thumb and forefinger; remolded by light finger pressure.
4 - 8	Medium stiff	50 - 100	Can be imprinted easily with fingers; remolded by strong finger pressure.
8 - 15	Stiff	100 - 200	Can be imprinted with considerable pressure from fingers or indented by thumbnail.
15 - 30	Very stiff	200 - 400	Can barely be imprinted by pressure from fingers or indented by thumbnail.
>30	Hard	>400	Cannot be imprinted by fingers or difficult to indent by thumbnail.

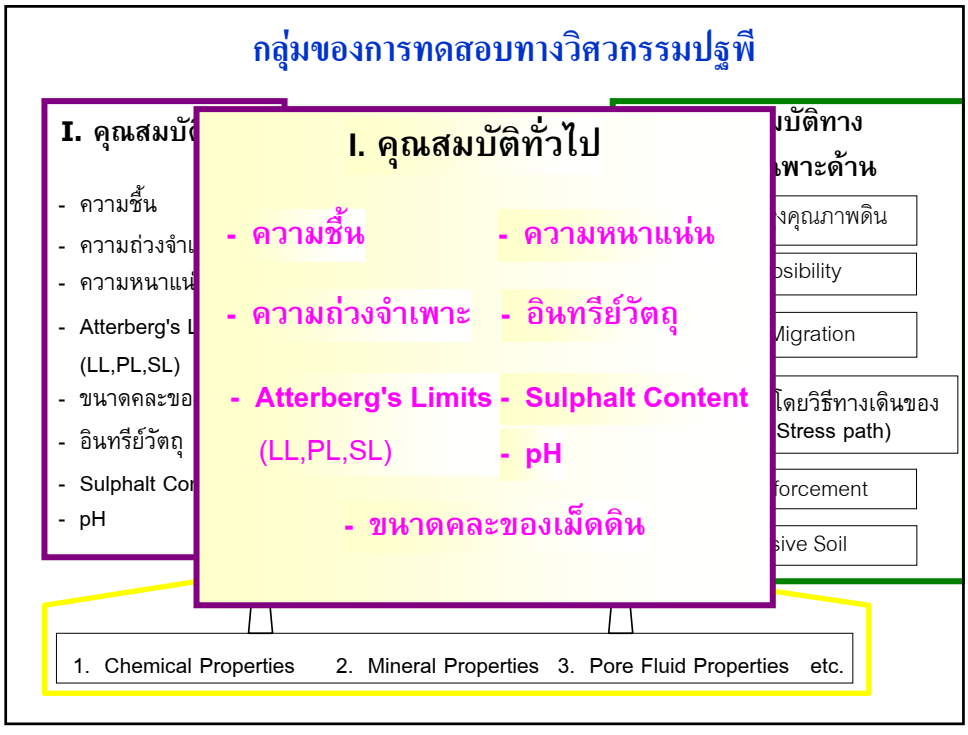
การจำแนกขนาดของหินและดินทราย

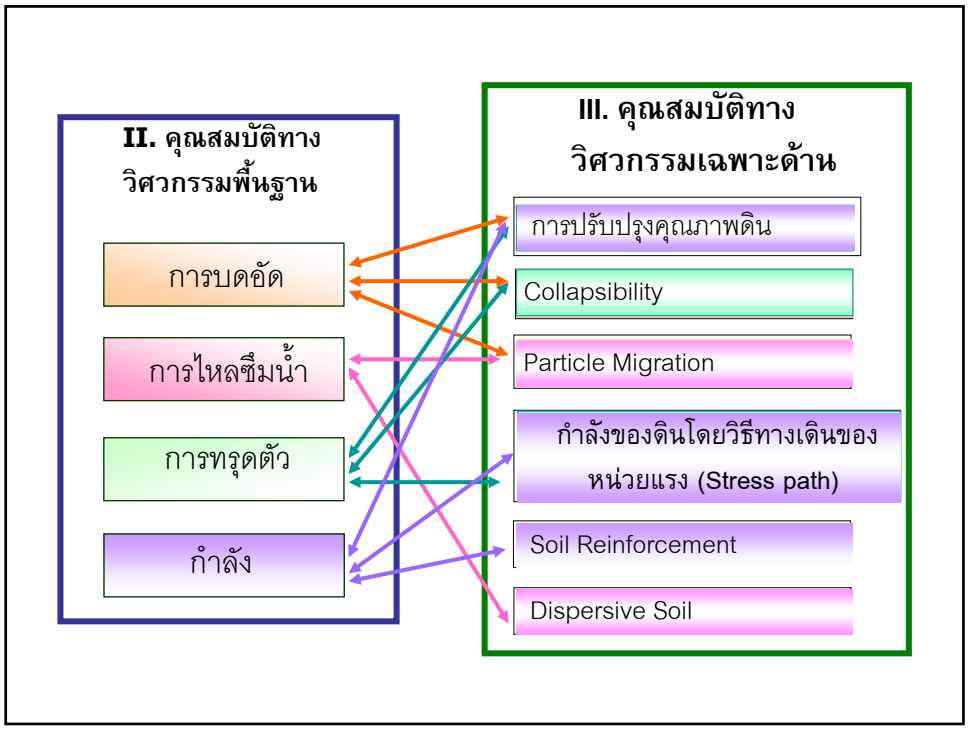
TABLE 4-4
PARTICLE SIZE DEFINITION FOR GRAVELS AND SANDS

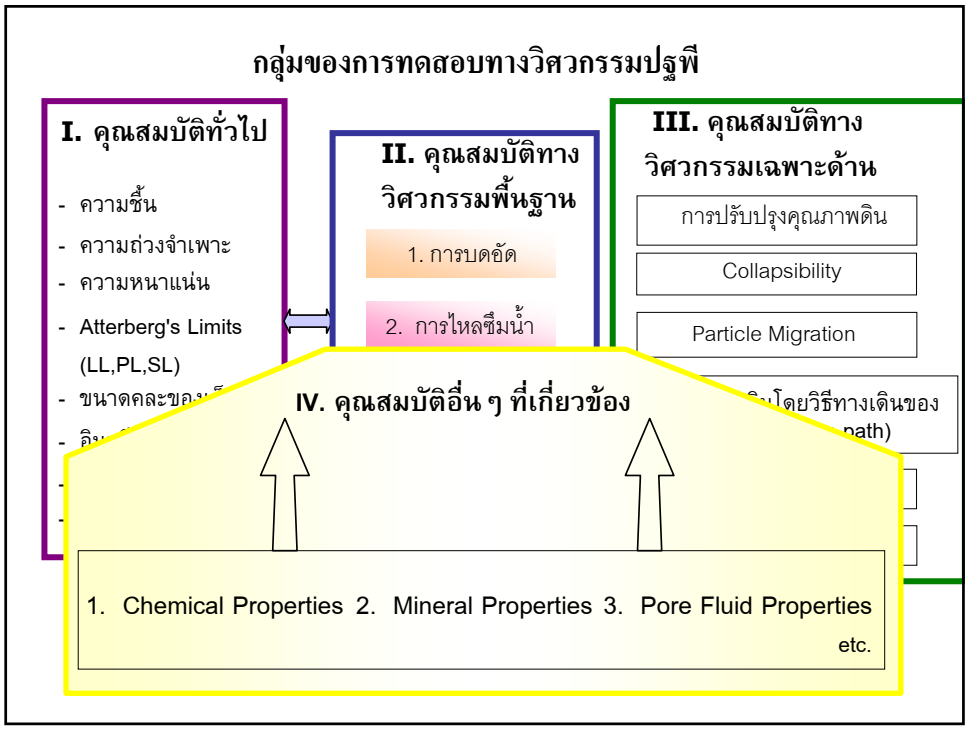
Soil Component	Grain Size	Determination
Boulders*	300 mm +	Measurable
Cobbles*	300 mm to 75 mm	Measurable
Gravel		
Coarse	75 mm to 19 mm	Measurable
Fine	19 mm to #4 sieve (4.75 mm)	Measurable
Sand		
Coarse	#4 to #10 sieve	Measurable and visible to eye
Medium	#10 to #40 sieve	Measurable and visible to eye
Fine	#40 to #200 sieve	Measurable and barely discernible to the eye

*Boulders and cobbles are not considered soil or part of the soil's classification or description, except under miscellaneous description; i.e., with cobbles at about 5 percent (volume).

การสำรวจวัสดุก่อสร้างตัวเขื่อนและอาคารประกอบ



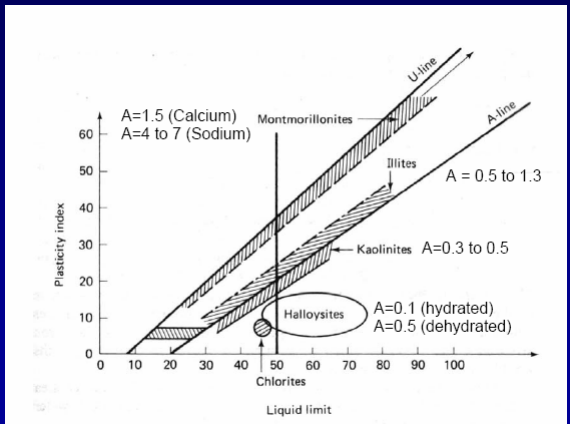

II. คุณสมบัติทาง
วิศวกรรมพื้นฐาน
การบดอัด
การไหลซึมน้ำ
การทรุดตัว
กำลัง
III. คุณสมบัติทาง
วิศวกรรมเฉพาะด้าน
การปรับปรุงคุณภาพดิน
Collapsibility
Particle Migration
กำลังของดินโดยวิธีทางเดินของ
หน่วยแรง (Stress path)
Soil Reinforcement
Dispersive Soil


กลุ่มของการทดสอบทางวิศวกรรมปฐพี
I. คุณสมบัติทั่วไป
- ความชื้น
- ความถ่วงจำเพาะ
- ความหนาแน่น
- Atterberg's Limits
(LL,PL,SL)
II. คุณสมบัติทาง
วิศวกรรมพื้นฐาน
1. การบดอัด
2. การไหลซึมน้ำ
III. คุณสมบัติทาง
วิศวกรรมเฉพาะด้าน
การปรับปรุงคุณภาพดิน
Collapsibility
Particle Migration
IV. คุณสมบัติอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง
1. Chemical Properties 2. Mineral Properties 3. Pore Fluid Properties
etc.

Atterberg's Limits

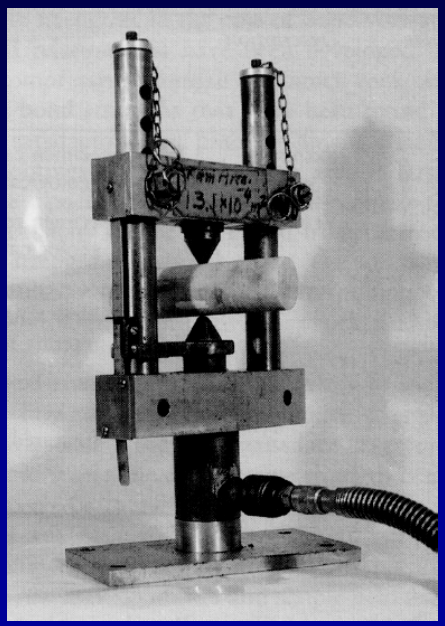
$A-line: PI = 0.73(LL-20)$

$U-line: PI = 0.9(LL-8)$



Consolidation Test

Load frame, pressure panel, and computerized data acquisition system



Point load strength test equipment.

If the distance between the platens is D and the breaking load is P, then the point load strength, Is is calculated as:

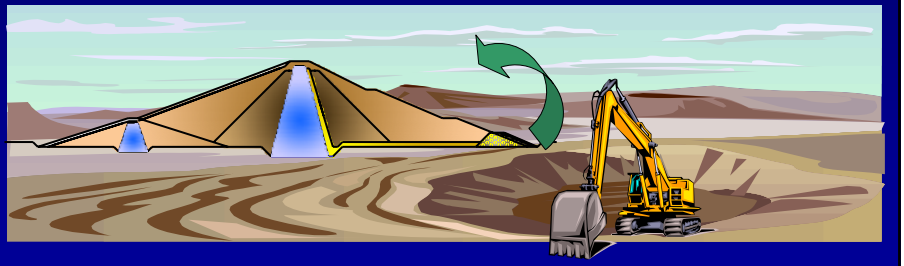
$$I_s = \frac{P}{D_e^{\,2}}$$

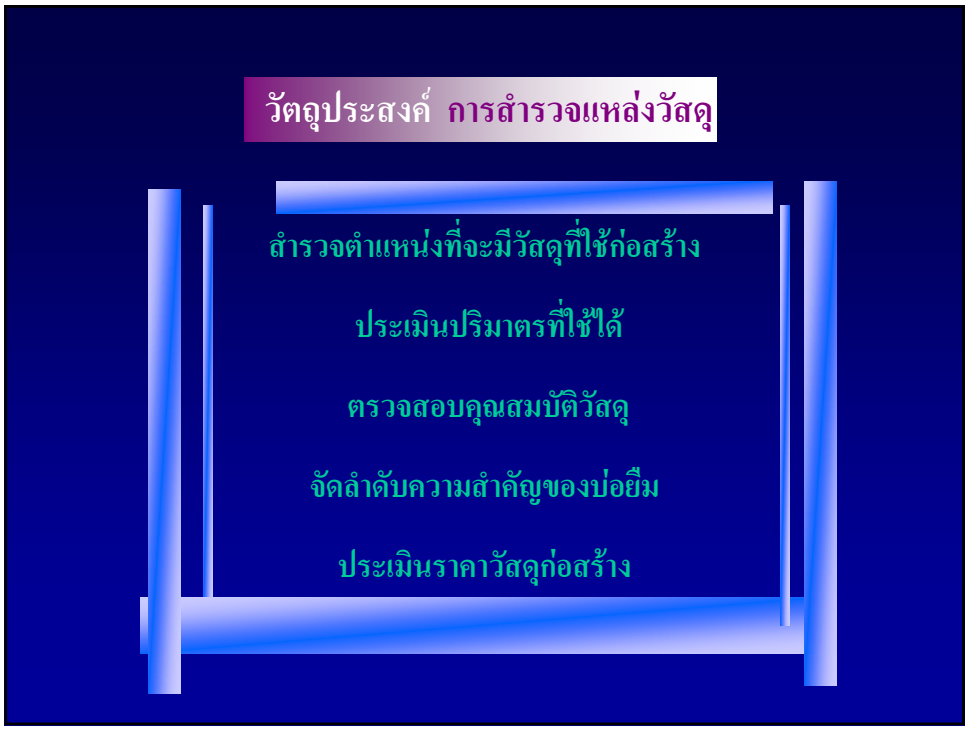
Coefficient of Permeability k (cm /s)

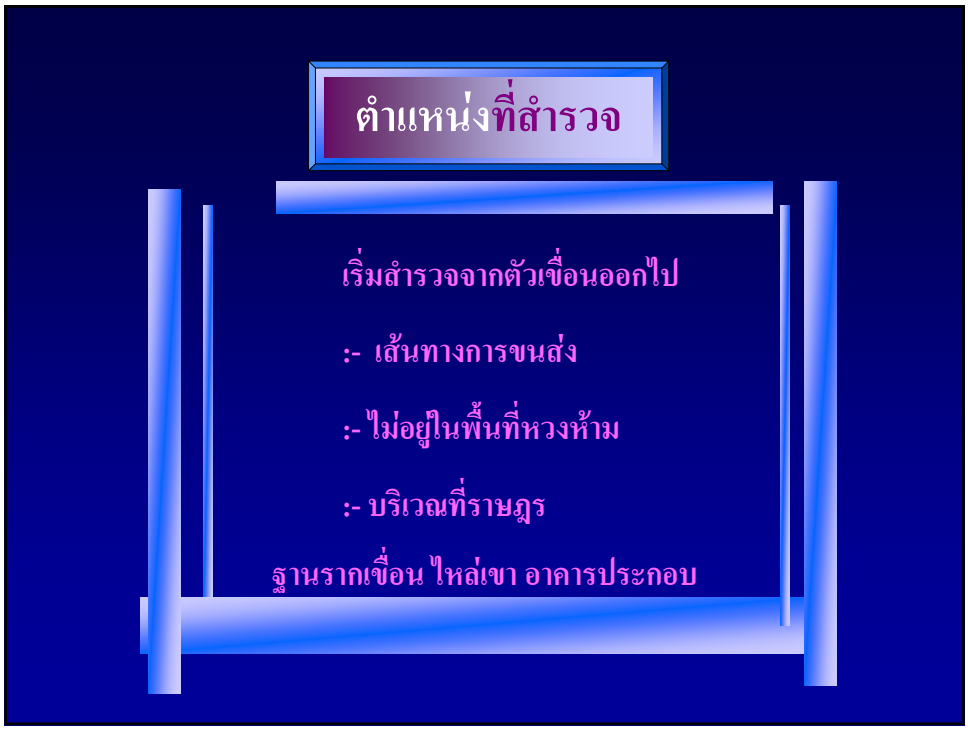
	10^{2}	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
Drainage	Good						Poor		Practically Impervious			
Soil Types	Clean gravel		Clean sand			Very fine sands, Silts			Clay			
Direct determination of k	Field Pumping test .											
	Lab Constant-head permeameter.											
Indirect determination of k		Lab Falling - head 1 reliable; little experience required				Lab Falling - head 2 unreliable; much experience required			Lab Falling - head 3 fairly reliable; considerable experience necessary			
	Computation from grain-size distribution								Computation from Consolidation Test			

การสำรวจวัสดุก่อสร้างตัวเขื่อน

เขื่อน:วัสดุธรรมชาติที่วิศวกรต้องสำรวจเพื่อออกแบบ
ให้สอดคล้องกับวัสดุที่มีอยู่ในพื้นที่นั้น




วัตถุประสงค์ การสำรวจแหล่งวัสดุ
สำรวจตำแหน่งที่จะมีวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง
ประเมินปริมาตรที่ใช้ได้
ตรวจสอบคุณสมบัติวัสดุ
จัดลำดับความสำคัญของบ่อยืม
ประเมินราคาวัสดุก่อสร้าง

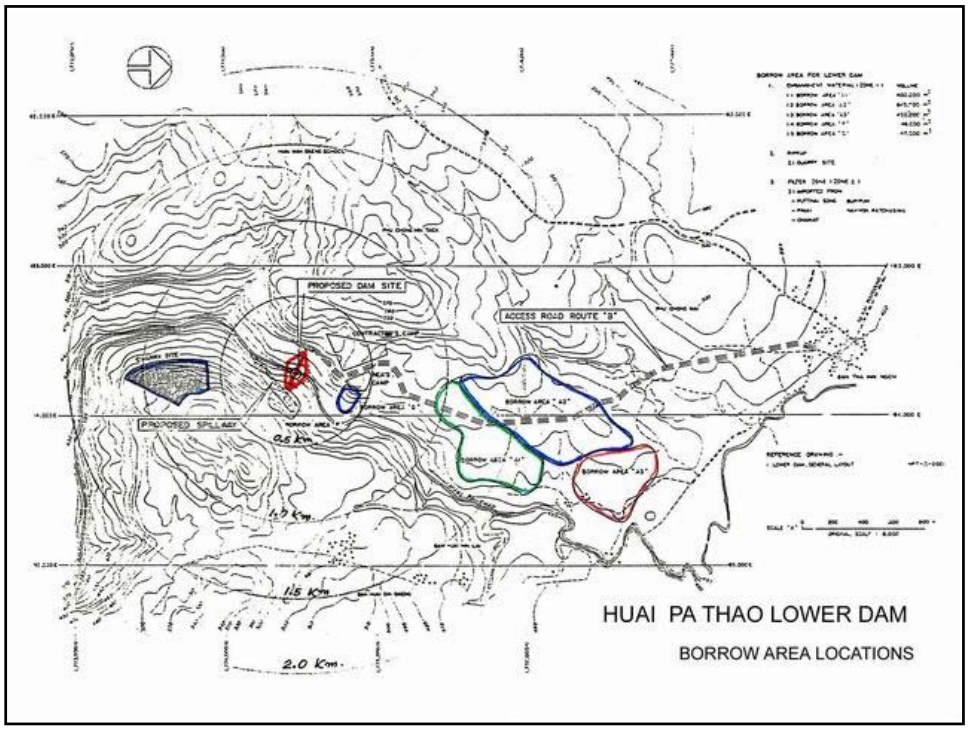

ตำแหน่งที่สำรวจ
เริ่มสำรวจจากตัวเขื่อนออกไป
:- เส้นทางการขนส่ง
:- ไม่อยู่ในพื้นที่หวงห้าม
:- บริเวณที่ราษฎร
ฐานรากเขื่อน ไหล่เขา อาคารประกอบ

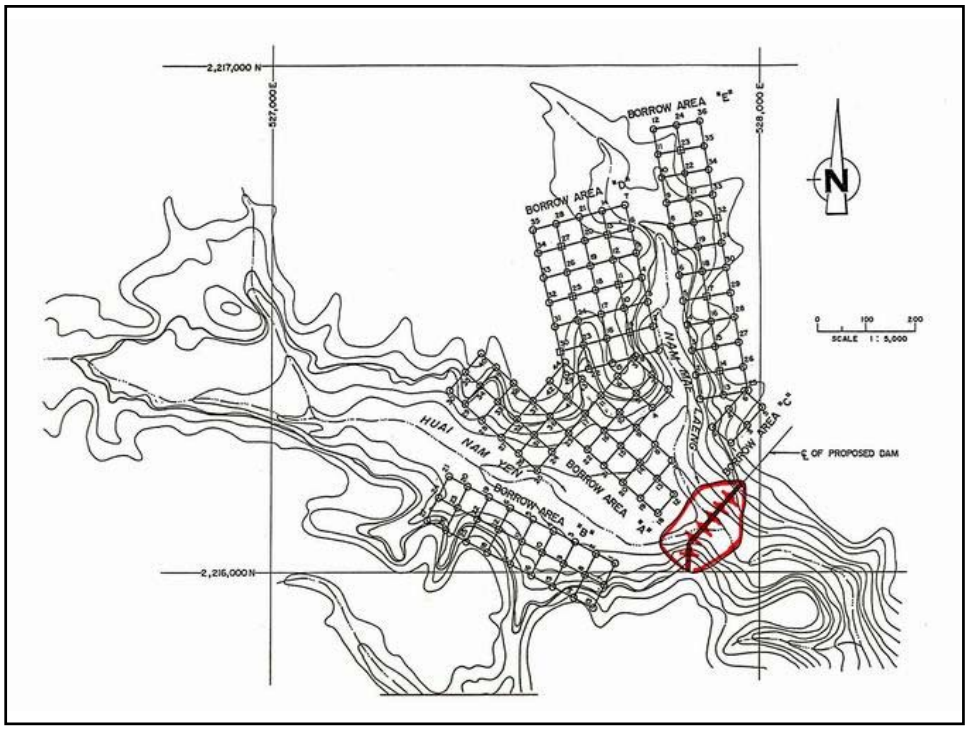
ปริมาณที่สำรวจ

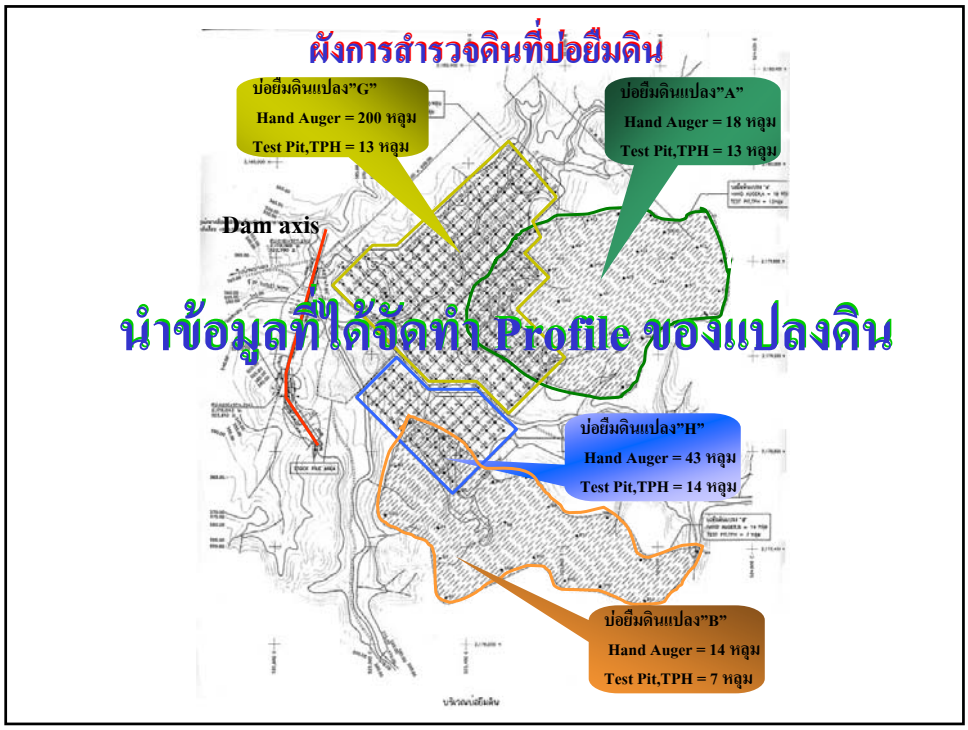
- Preliminary design : ประมาณ 2 - 3 เท่าของ ปริมาตรที่คาดว่าจะใช้
- Detailed design : คัดเลือกแหล่งที่เหมาะสม ประมาณ 1.5 เท่าของปริมาตรใช้งาน

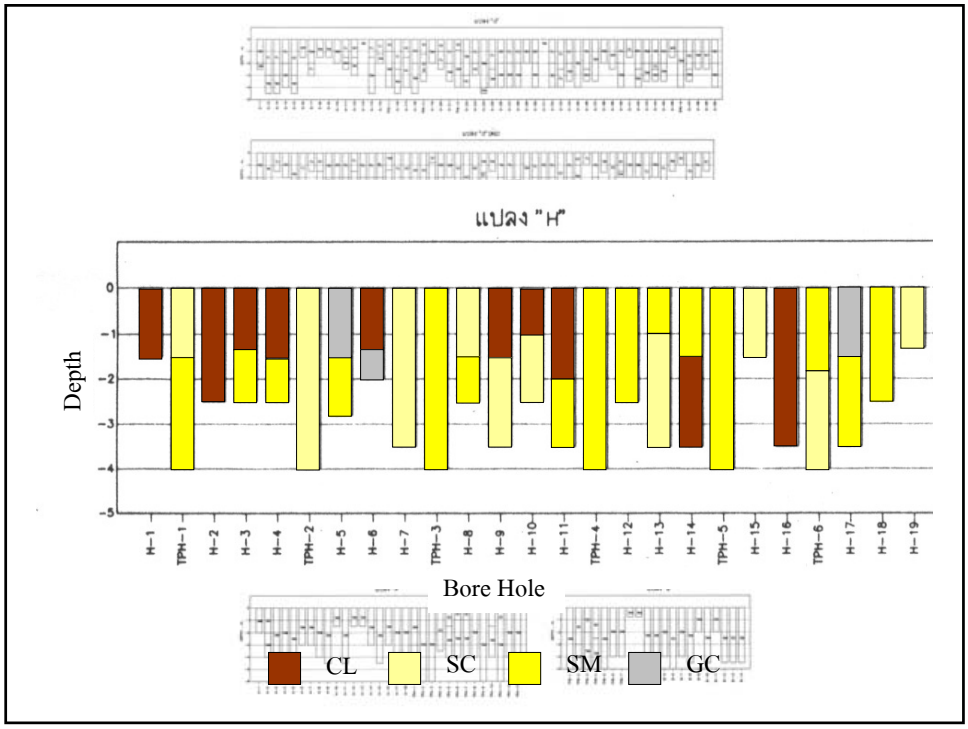
วิธีการสำรวจ

- Hand Auger
- Test Pit
- Test Trench
- Blasting Test


PROPOSED DAM SITE
ACCESS ROAD ROUTE "B"
PROPOSED SPILLWAY
0.5 Km.
1.7 Km.
1.5 Km.
2.0 Km.
HUAI PA THAO LOWER DAM
BORROW AREA LOCATIONS


2,217,000 N
527,000 E
528,000 E
BORROW AREA "E"
BORROW AREA "D"
N
SCALE 1 : 5,000
HUAI NAM ZEN
BORROW AREA "C"
℄ OF PROPOSED DAM
BORROW AREA "B"
BORROW AREA "A"
2,216,000 N


ผังการสำรวจดินที่บ่อยืมดิน
บ่อยืมดินแปลง"G"
Hand Auger = 200 หลุม
Test Pit,TPH = 13 หลุม
บ่อยืมดินแปลง"A"
Hand Auger = 18 หลุม
Test Pit,TPH = 13 หลุม
Dam axis
นำข้อมูลที่ได้จัดทำ Profile ของแปลงดิน
บ่อยืมดินแปลง"H"
Hand Auger = 43 หลุม
Test Pit,TPH = 14 หลุม
บ่อยืมดินแปลง"B"
Hand Auger = 14 หลุม
Test Pit,TPH = 7 หลุม


แปลง "H"
Depth
0
-1
-2
-3
-4
-5
H-1
TPH-1
H-2
H-3
H-4
TPH-2
H-5
H-6
H-7
TPH-3
H-8
H-9
H-10
H-11
TPH-4
H-12
H-13
H-14
TPH-5
H-15
H-16
TPH-6
H-17
H-18
H-19
Bore Hole
CL
SC
SM
GC

สรุปปริมาตรวัสดุ

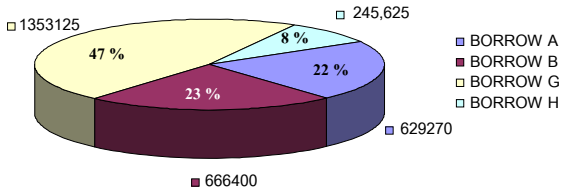
การสำรวจปริมาณดินของบ่อยืมดิน

บ่อยืมดิน	ปริมาตรโดยประมาณ (ลบ.ม.)										
	GC	SC	CL	GM	SM	ML	MH	SM-SC	SW-SM	SP	รวม
แปลง " A"	-	157,320	-	-	471,950	-	-	-	-	-	629280*
แปลง " B"	-	113,288	-	-	506,464	-	46,648	-	-	-	666,400*
แปลง " G"	78,675	239,955	371,145	3,965	614,720	5,500	23,100	11,665	4,400	-	1,353,125
แปลง " H"	8,812	81,875	49,500	-	101,688	-	3,750	-	-	-	245,625
แหล่งทรายเอกชน										เพียงพอ	เพียงพอ

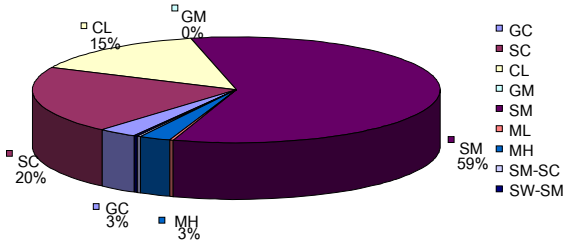
แหล่งวัสดุก่อสร้างเขื่อน

บ่อยืมดิน	ตำแหน่ง	ปริมาณใช้ได้ (ม.^{3})	วัสดุใช้เป็น
แปลง "G"	500 ม.ด้านเหนือน้ำ	1,300,000	CORE AND RANDOM ZONES.
แปลง "H"	800 ม.ด้านเหนือน้ำ	240,000	CORE AND RANDOM ZONES.
แหล่งทรายเอกชน	ดูหมายเลข 1	เพียงพอ	วัสดุกรอง, ผสมคอนกรีต
หิน, หินย่อย	ดูหมายเลข 2	เพียงพอ	วัสดุกรอง, ผสมคอนกรีต

ปริมาตรแหล่งวัสดุจากบ่อยืมดิน



ปริมาตรรวมของวัสดุของบ่อยืม



ตารางที่ 1 การทดสอบในห้องทดลองสำหรับงานเขื่อน

สำหรับดินแกนเขื่อน และวัสดุส่วนนอก

Physical Properties Test

การทดสอบ	ผลที่ได้จากการทดสอบ	การประยุกต์ผลการทดสอบ
1. Gradation Analysis	การกระจายของขนาดเม็ดดิน	- Filter Design
2. Liquid Limit	Plasticity และ "A-line" Chart	- Soil Classification เขียนข้อกำหนดทางวิศวกรรม
3. Plastic Limit		
4. Natural Water Content	ความชื้นในธรรมชาติ	- การปรับความชื้นในการก่อสร้าง
5. Soil Classification	Unified Soil Group	- เขียนข้อกำหนดทางวิศวกรรม
6. Specific Gravity	Specific Gravity	- การคำนวณพื้นฐานของมวลดิน

ตารางที่ 1 การทดสอบในห้องทดลองสำหรับงานเขื่อน

สำหรับดินแกนเขื่อน และวัสดุส่วนนอก (ต่อ)

Compaction and Permeability Test

การทดสอบ	ผลที่ได้จากการทดสอบ	การประยุกต์ผลการทดสอบ
7. Compaction	Compaction Curve (γ_{dmax},w_{opt})	- การควบคุมคุณภาพในสนาม - การกำหนดความแน่นในการทดสอบทางวิศวกรรมอื่น ๆ
8. Permeability	สัมประสิทธิ์ความซึมน้ำ (k)	- Filter Design - Seepage Analysis

ตารางที่ 1 การทดสอบในห้องทดลองสำหรับงานเขื่อน

สำหรับดินแกนเขื่อน และวัสดุส่วนนอก (ต่อ)

Strength and Consolidation Properties Test

การทดสอบ	ผลที่ได้จากการทดสอบ	การประยุกต์ผลการทดสอบ
9. Direct Shear	ความแข็งแรงของมวลดิน โดยประมาณ (c, ϕ)	- วิเคราะห์ความมั่น คงของเขื่อน ในการออกแบบเบื้องต้น
10. Triaxial Compression (UU-Test)	ความแข็งแรงของมวลดิน รวมความดันน้ำ (c, ϕ)	- วิเคราะห์ความมั่นคงของเขื่อน ในระหว่างก่อสร้าง
11. Triaxial Compression (CU-Test)	ความแข็งแรงของมวลดิน แยกจากความดันน้ำ $(\bar{c}, \phi)$	- วิเคราะห์ความมั่นคงของเขื่อน ในระหว่างใช้งาน
12. Consolidation	C_c, C_v % Compression	- วิเคราะห์การทรุดตัวของตัวเขื่อน
13. Soil Dispersion	% Dispersion	- ตรวจสอบการกระจายตัว ของดินจากบ่อยืม

ตารางที่ 1 การทดสอบในห้องทดลองสำหรับงานเขื่อน

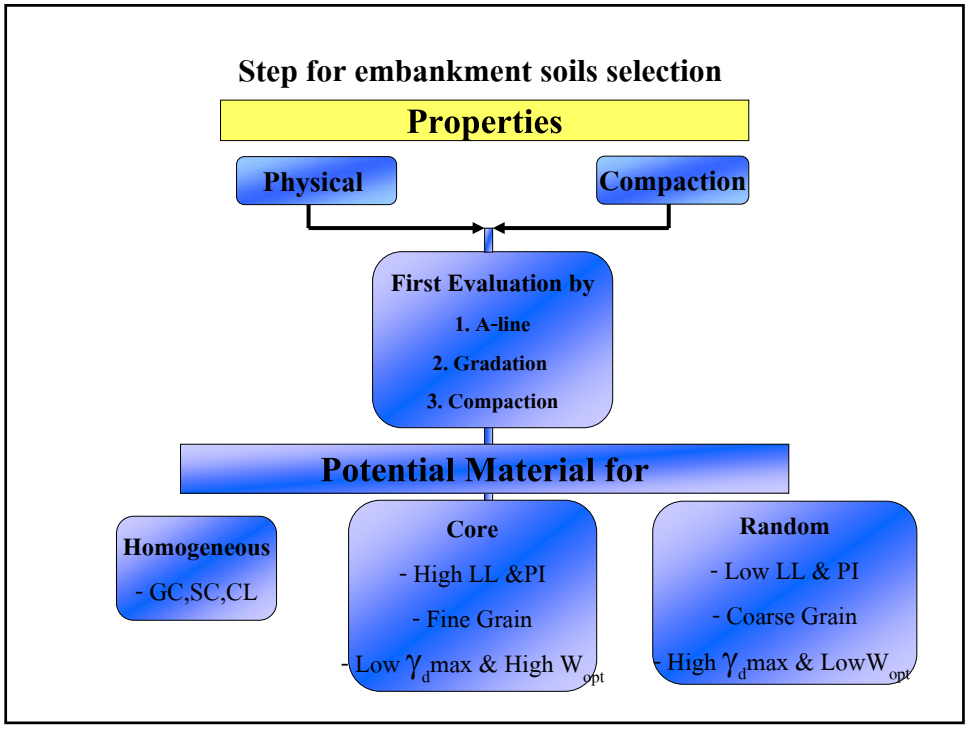
สำหรับกรวดทรายที่ใช้เป็นวัสดุกรอง

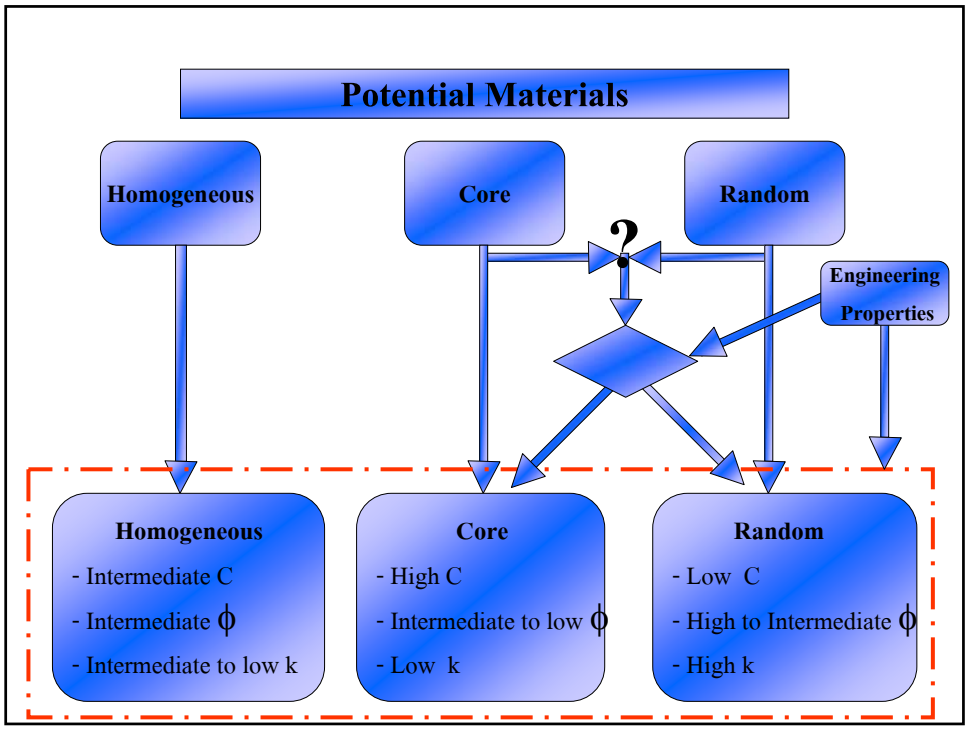
การทดสอบ	ผลที่ได้จากการทดสอบ	การประยุกต์ผลการทดสอบ
1. Gradation Analysis	การกระจายของขนาดเม็ดดิน	- Filter Design
2. Specific Gravity	Specific Gravity	- การคำนวณพื้นฐานของมวลดิน
3. Relative Density	$(\gamma_{dmax}, \gamma_{dmin})$	- การควบคุมคุณภาพในสนาม
4. Permeability	สัมประสิทธิ์ความซึมน้ำ (k)	- Filter Design - Seepage Analysis
5. Soundness	% Soundness	- ตรวจสอบความคงทน ของ เม็ดกรวด ทราย
6. Abrasion	% Abrasion	- ตรวจสอบการกัดกร่อน จากการขัดสี

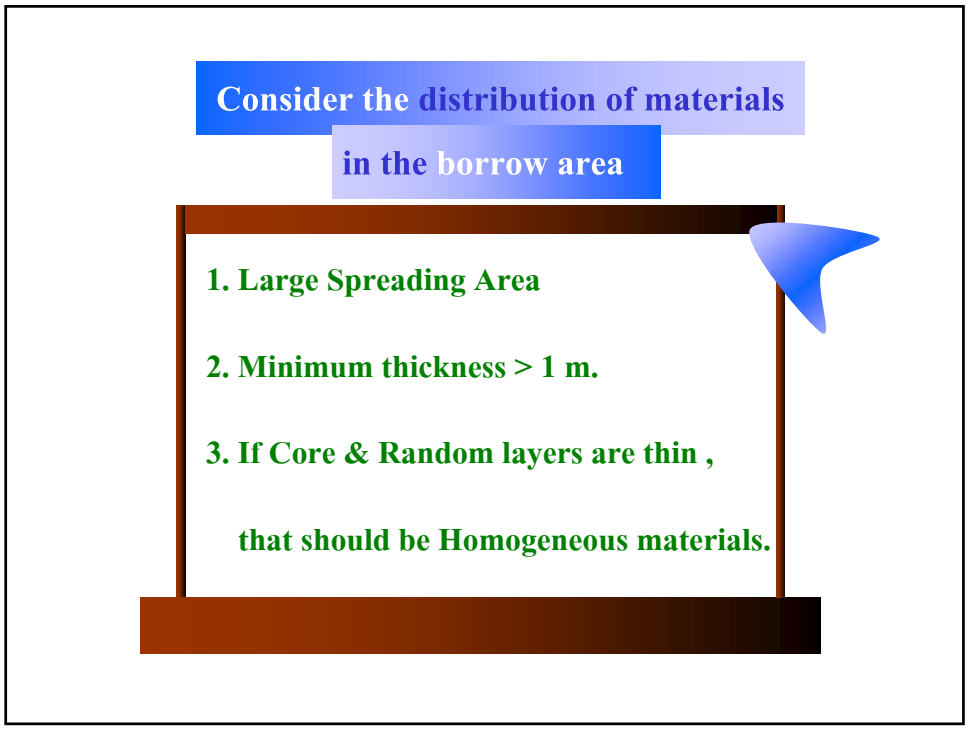
ตารางที่ 1 การทดสอบในห้องทดลองสำหรับงานเขื่อน

สำหรับหินทิ้งกันการกัดเซาะลาดเขื่อน

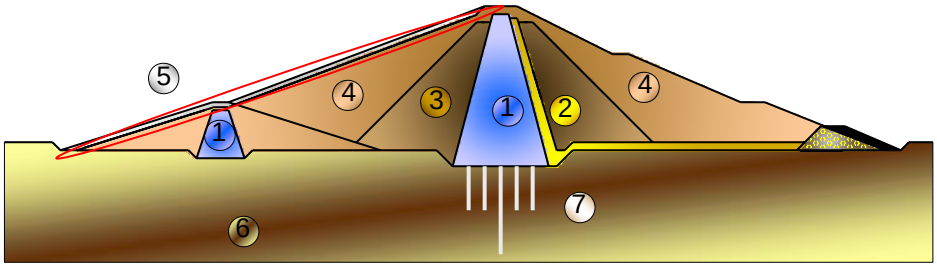
การทดสอบ	ผลที่ได้จากการทดสอบ	การประยุกต์ผลการทดสอบ
1. Specific Gravity	Specific Gravity	- ควบคุมคุณภาพหิน
2. Absorption	% Absorption	- ควบคุมคุณภาพหิน
3. Gradation Analysis	% Absorption	- ควบคุมคุณภาพหิน



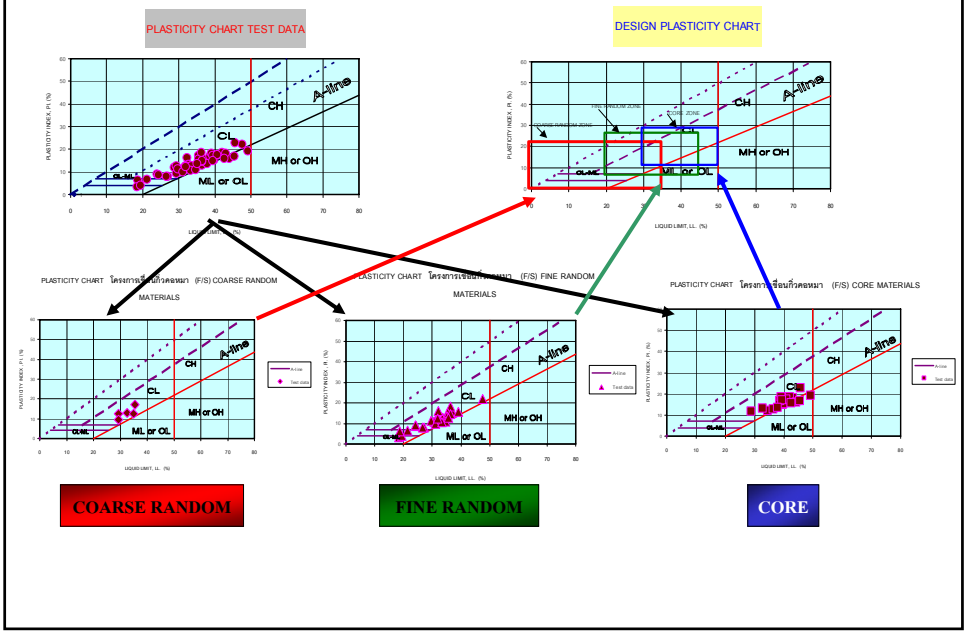

Potential Materials
Homogeneous
Core
Random
?
Engineering Properties
Homogeneous
- Intermediate C
- Intermediate ϕ
- Intermediate to low k
Core
- High C
- Intermediate to low ϕ
- Low k
Random
- Low C
- High to Intermediate ϕ
- High k

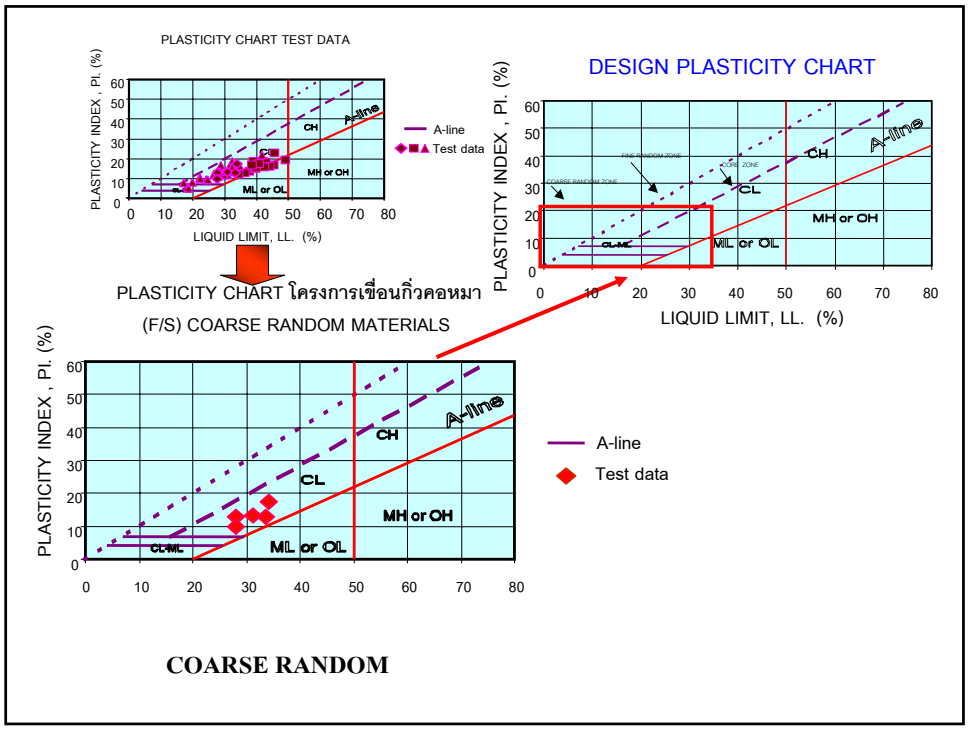

Consider the distribution of materials
in the borrow area
1. Large Spreading Area
2. Minimum thickness > 1 m.
3. If Core & Random layers are thin ,
that should be Homogeneous materials.

หน้าตัดเขื่อนกิ่วคอหมา จังหวัดลำปาง

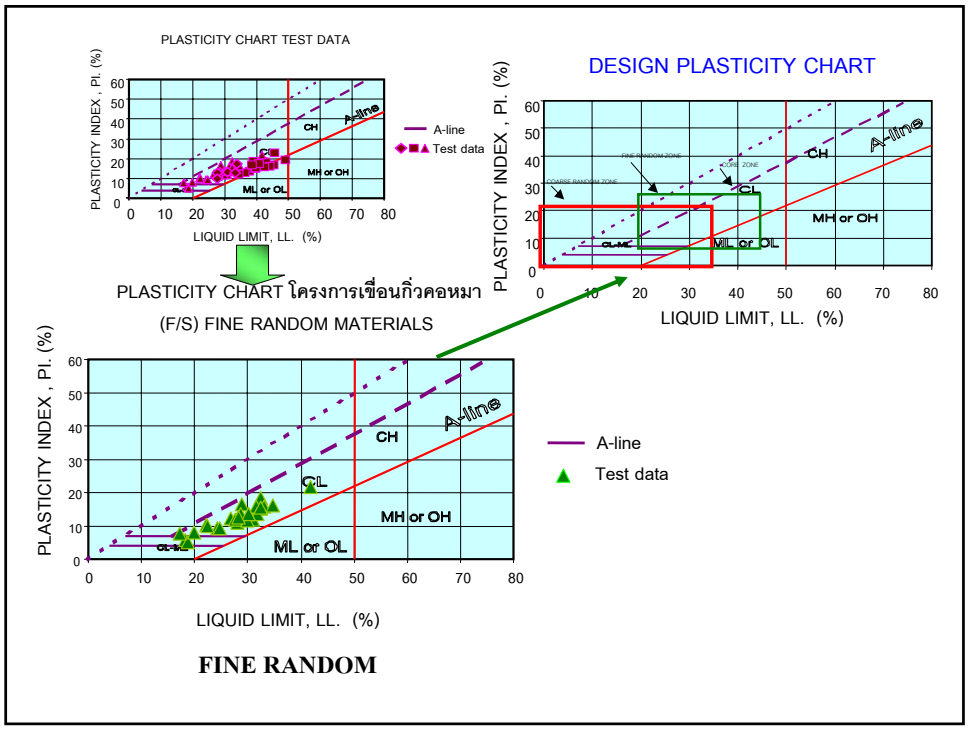


1. Impervious Core Zone
2. Filter Zone
3. Fine Random Zone
4. Coarse Random Zone
5. Rock Riprap
6. Foundation
7. Grouting Zone

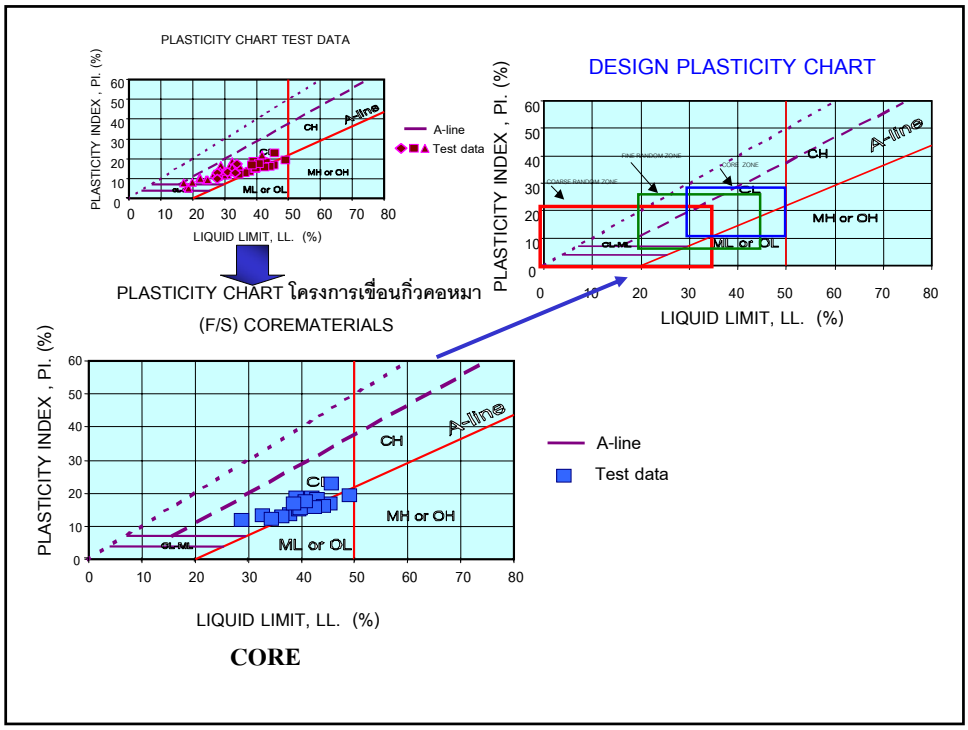




COARSE RANDOM

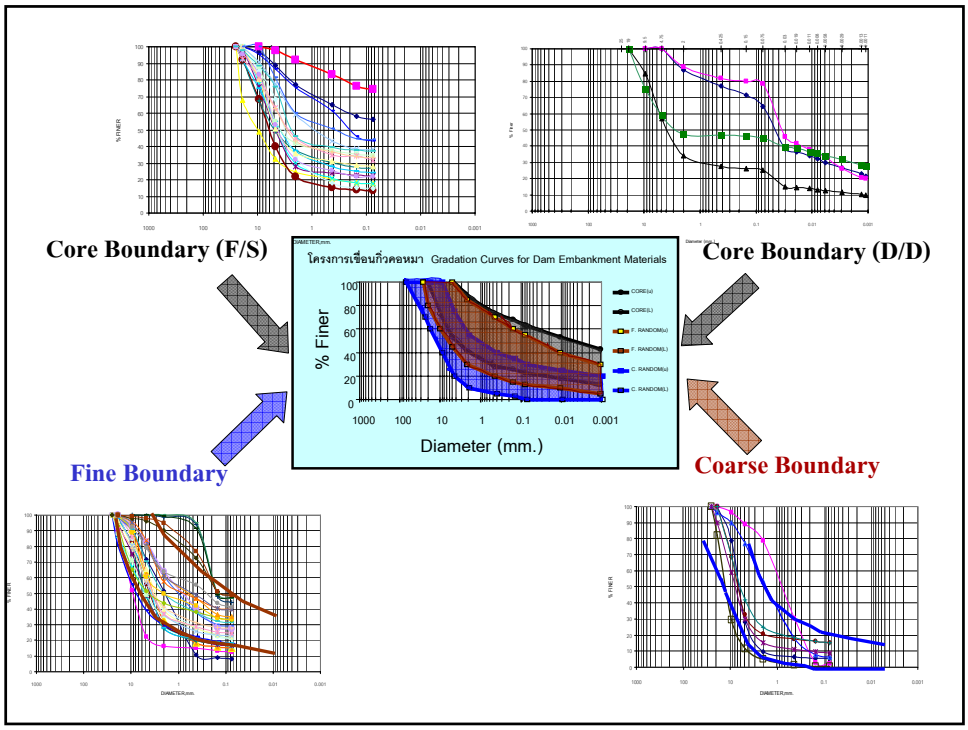


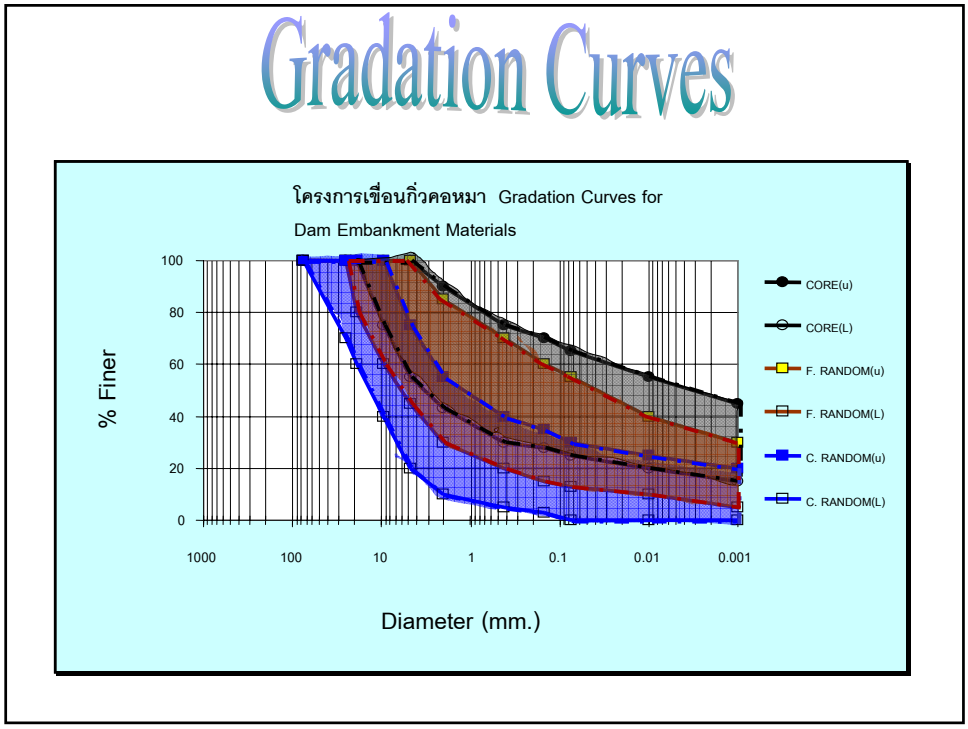
FINE RANDOM



ตารางที่ 2 ค่า Plasticity ของดินตัวเขื่อน

ส่วนต่างๆในตัวเขื่อน	ชนิดดินตาม USC	LL. (%)	PI. (%)
1. Core Zone	SC,GC,CL,SM,ML-CL	30-50	8-25
2. Fine Random Zone	GC,SC,SM-SC,SW-SC	20-45	5-22
3. Coarse Random Zone	GP,SP,GP-GM,GW-GM	0-35	0-20

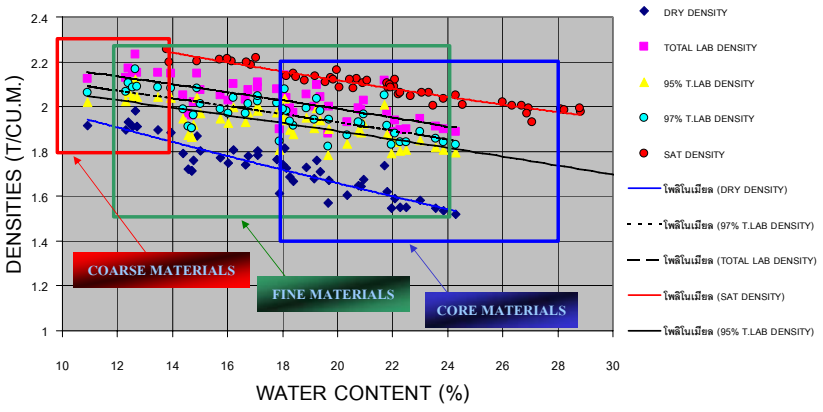

Core Boundary (F/S)
Core Boundary (D/D)
โครงการเขื่อนกิ่วคอหมา Gradation Curves for Dam Embankment Materials
% Finer
Diameter (mm.)
Fine Boundary
Coarse Boundary


Gradation Curves
โครงการเขื่อนกิ่วคอหมา Gradation Curves for
Dam Embankment Materials
% Finer
Diameter (mm.)
CORE(u)
CORE(L)
F. RANDOM(u)
F. RANDOM(L)
C. RANDOM(u)
C. RANDOM(L)

ตารางที่ 3 การกระจายของขนาดเม็ดดินตัวเขื่อน

ส่วนต่างๆในตัวเขื่อน	%FINER							
	1”	3/4”	3/8”	#4	#10	#40	#100	#200
1. Core Zone		100	100-75	100-55	90-43	75-30	70-28	65-25
2. Fine Random Zone	100	100-80	100-60	100-45	85-30	70-20	60-15	55-13
3. Coarse Random Zone	100-70	100-60	100-40	75-20	55-10	40-5	35-3	30-0

COMPACT DENSITY โครงการกิ่วคอหมา (From F/S Report)

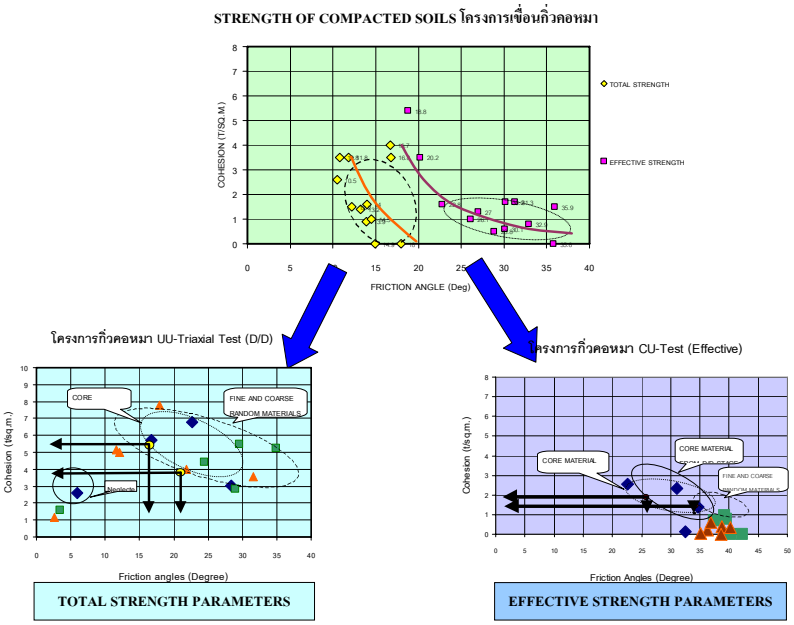


ความหนาแน่นจากการทดสอบการบดอัด

ตารางที่ 4 ผลของการทดสอบการบดอัดของวัสดุตัวเขื่อน

ส่วนต่างๆในตัวเขื่อน	ชนิดดินตาม USC	% OMC	MDD(t/cu.m.)	MSD(t/cu.m.)
1. Core Zone	SC,GC,CL,SM,ML-CL	18-28	1.57-1.72	2.00-2.10
2. Fine Random Zone	GC,SC,SM-SC,SW-SC	12-24	1.58-1.92	2.05-2.20
3. Coarse Random Zone	GP,SP,GP-GM,GW-GM	10-14	1.85-2.0	2.18-2.22

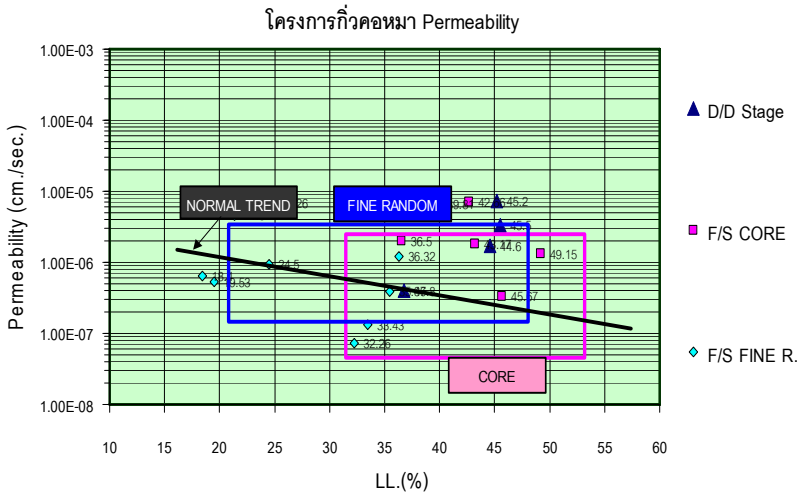
การวิเคราะห์กำลังของตัวเขื่อนดิน



ตารางที่ 5 คุณสมบัติดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน

วัสดุ	Total Strength			Effective Strength		
	γ (ตัน/ม^3)	c (ตัน/ม^3)	ϕ (องศา)	γ (ตัน/ม^3)	$\bar{c}$ (ตัน/ม^3)	$\bar{\phi}$ (องศา)
1. Core Zone	1.95	4.00	20	2.10	2.50	25
2. Filter Zone	2.00	0.00	35	2.00	0.00	35
3. Fine Random Zone	2.00	4.00	22	2.10	0.50	35
4. Coarse Random Zone	2.05	3.00	30	2.15	0.50	38

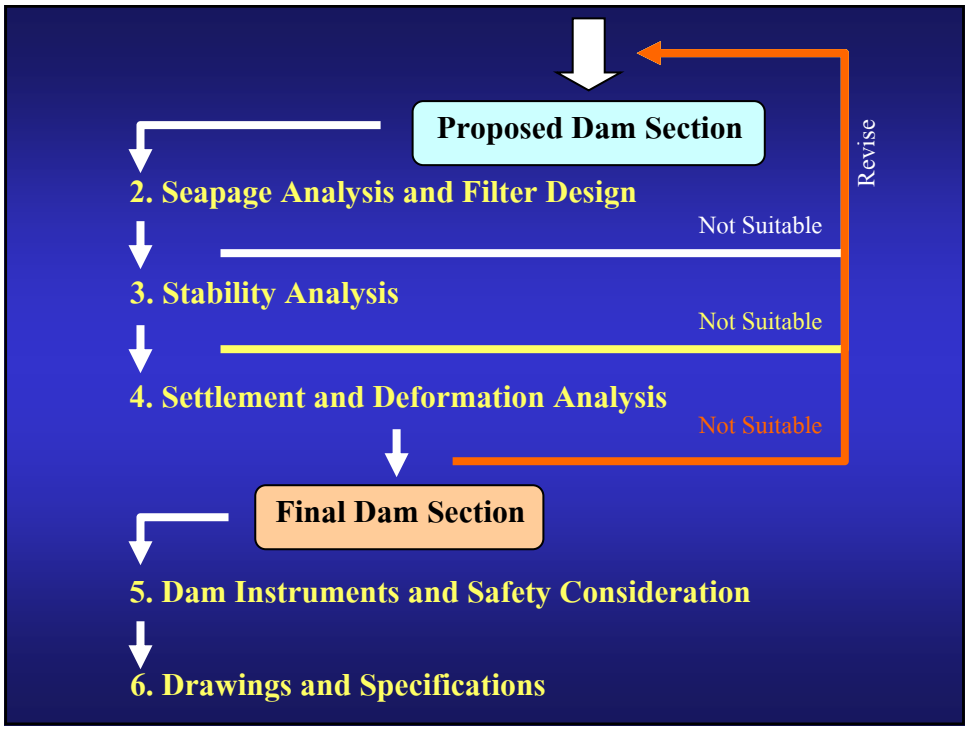
ความซึมน้ำของวัสดุตัวเขื่อน



AVERAGE EFFECTIVE SHEAR STRENGTH OF COMPACTED SOILS
(After Bureau of Reclamation, 1973)

Unified Classification	Soil Type	Standard Proctor Compaction (AASHTO T 99)		As Compacted Cohesion, c_o (kPa)	Saturated Cohesion c_{sat} (kPa)	Friction Angle, ϕ (deg)
		Maximum Dry Density (kN/m^3)	Optimum Moisture Content (%)			
GW	well graded clean gravels, gravel-sand mixture	>18.7	<13.3	*	*	>38
GP	poorly graded clean gravels, gravel sand mixture	>17.3	<12.4	*	*	>37
GM	silty gravels, poorly graded gravel-sand-silt	>17.9	<14.5	*	*	>34
GC	clayey gravels, poorly graded gravel-sand-clay	>18.1	<14.7	*	*	>31
SW	well graded clean sands, gravelly sands	18.7±0.8	13.3±2.5	39±4	*	38±1
SP	poorly graded clean sands, sand-gravel mixture	17.3±0.3	12.4±1.0	23±6	*	37±1
SM	silty sands, poorly graded sand-silt mixture	17.9±0.2	14.5±0.4	51±6	20±7	34±1
SM-SC	sand-silt-clay with slightly plastic fines	18.7±0.2	12.8±0.5	50±21	14±6	33±4
SC	clayey sands, poorly graded sand-clay mixture	18.1±0.2	14.7±0.4	75±15	11±6	31±4
ML	inorganic silts and clayey silts	16.2±0.2	19.2±0.7	67±10	9±*	32±2
ML-CL	mixtures of inorganic silts and clays	17.1±0.3	16.8±0.7	63±17	22±*	32±3
CL	inorganic clays of low to medium plasticity	17.0±0.2	17.3±0.3	87±10	13±2	28±2
OL	organic silts and silty clays of low plasticity	*	*	*	*	*
MH	inorganic clayey silts, elastic silts	12.9±0.6	36.3±3.2	72±30	20±9	25±3
CH	inorganic clays of high plasticity	14.8±0.3	25.5±1.2	103±34	11±6	19±5
OH	organic clays and silty clays	*	*	*	*	*

The entry ± indicates 90 percent confidence limits of the average value, * denotes insufficient data, > is greater than, < is less than

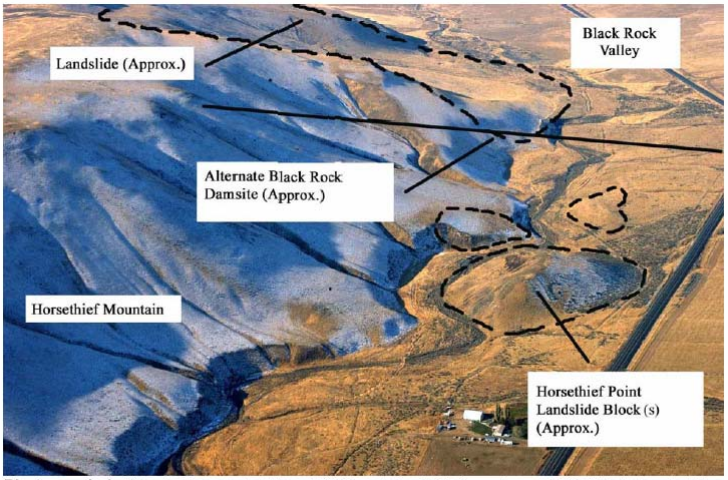


การสำรวจธรณีวิทยาของพื้นที่ขอบอ่างและบริเวณที่มีผลกระทบต่อโครงการ

การสำรวจบริเวณอ่างเก็บน้ำ

อ่างเก็บน้ำที่เกิดจากการสร้างเขื่อนขนาดใหญ่มักจะมีพื้นที่กว้างขวาง อาจถึงหลายร้อยตารางกิโลเมตร จึงมีโอกาสที่มีลักษณะธรณีวิทยาที่หลากหลายและอาจก่อให้เกิดปัญหาขึ้นได้ในระหว่างการเก็บน้ำ ดังนั้นจึงต้องมีการสำรวจดังนี้

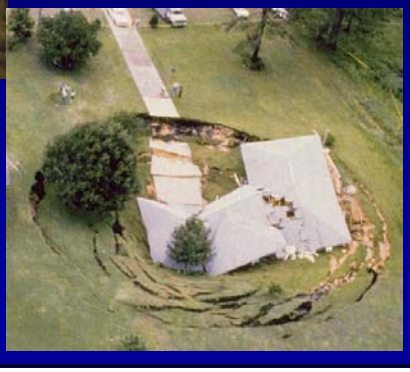
1. ตรวจสอบชั้นหินที่อาจเกิดบริเวณรั่วซึมของน้ำออกนอกขอบอ่าง
2. ตรวจสอบไหล่เขาหรือลาดดินที่มีโอกาสเกิดการถล่มลงในอ่างเก็บน้ำ เมื่อมีการเปลี่ยนระดับน้ำใต้ดิน ในขณะเริ่มเก็บกักหรือน้ำลดระดับ
3. ตรวจสอบรอยเลื่อน(Fault) ขนาดใหญ่ที่มีโอกาสเคลื่อนตัวทำให้เกิดแผ่นดินไหวเนื่องจากการเก็บน้ำในอ่าง ที่เรียกว่า Reservoir induced earthquake



Photograph 4. View looking west at Horsethief Mountain, which forms the south (right) abutment at the Black Rock Damsite. Note landslide upstream of the alternate damsite on the northwest slope of the mountain. Horsethief Point and smaller rock outcrops to the west may be remnants of landslide debris derived from the north slope of the mountain. Black Rock Damsite, Yakima River Basin Water Storage Feasibility Study, Washington – Bureau of Reclamation photograph taken by D.M. Walsh, November 6, 2003.

หลุมยุบ (Sinkholes)

ในบริเวณพื้นที่หินปูนหรือ Karstic Zone



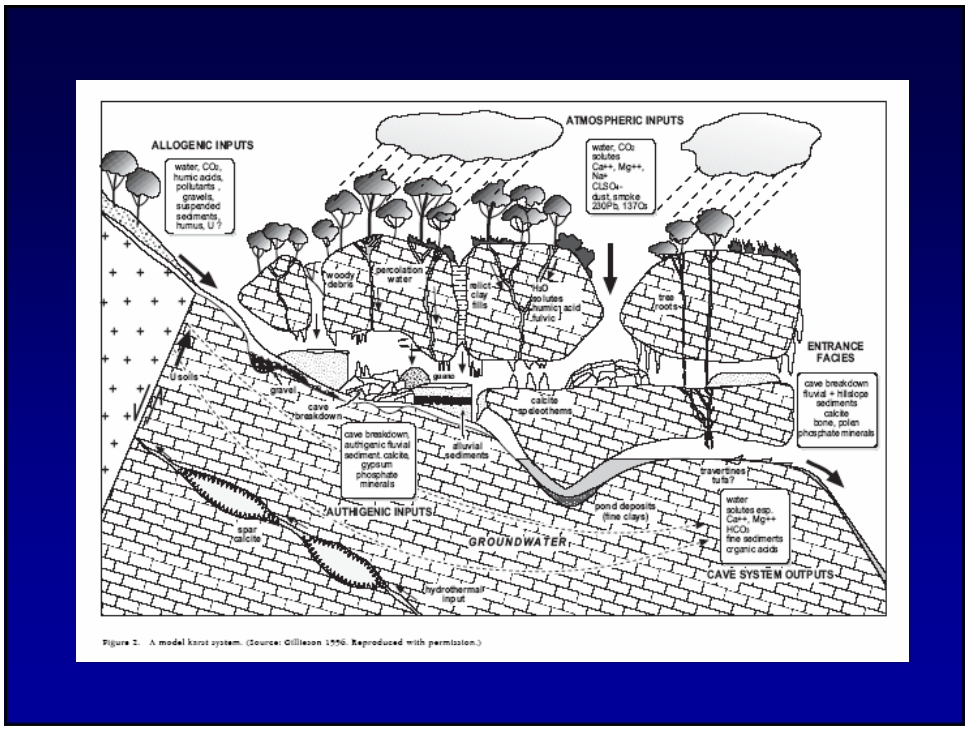
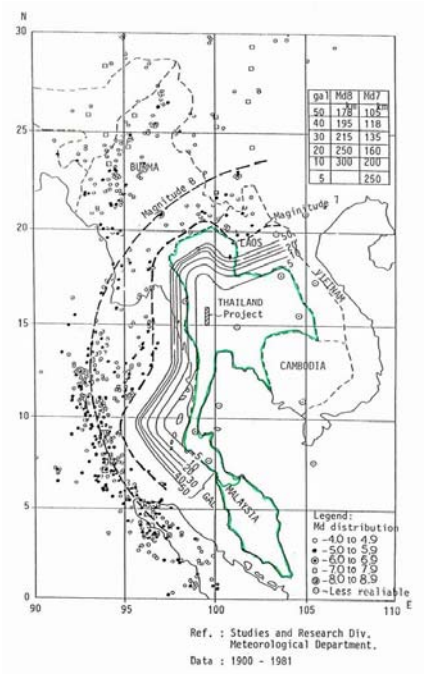
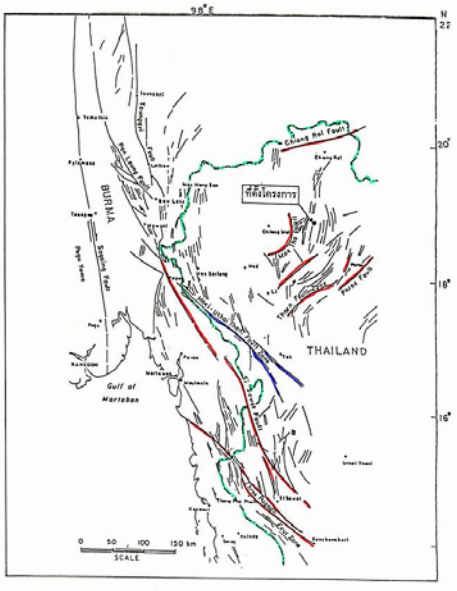


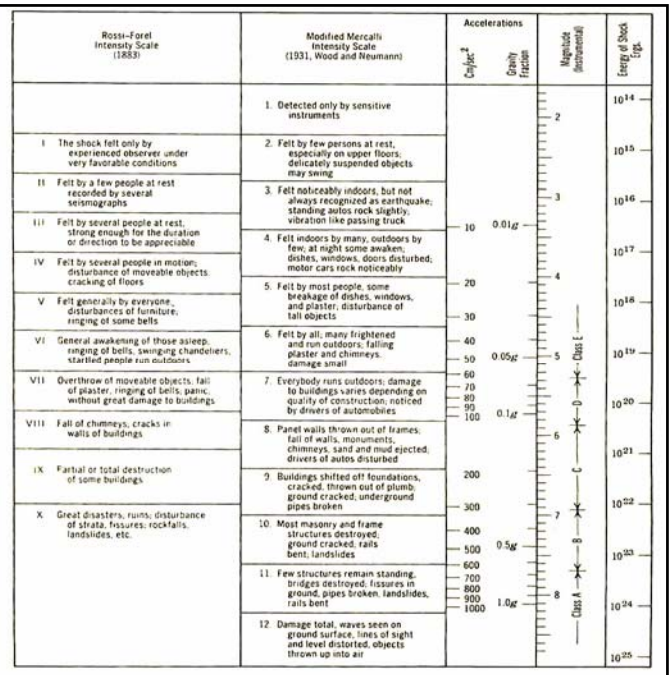
Figure 2. A model karst system. (Source: Gillieson 1996. Reproduced with permission.)





Seismic Activity on Western Region

Earthquake Intensity Scale



Approximate relationships, earthquake intensity, accelerations, and magnitude (after Gumensky, Ref. 282).

Chulalongkorn University

มาตราเมอร์คัลลี่แปลง (Modified Mercallli Intensity Scale)

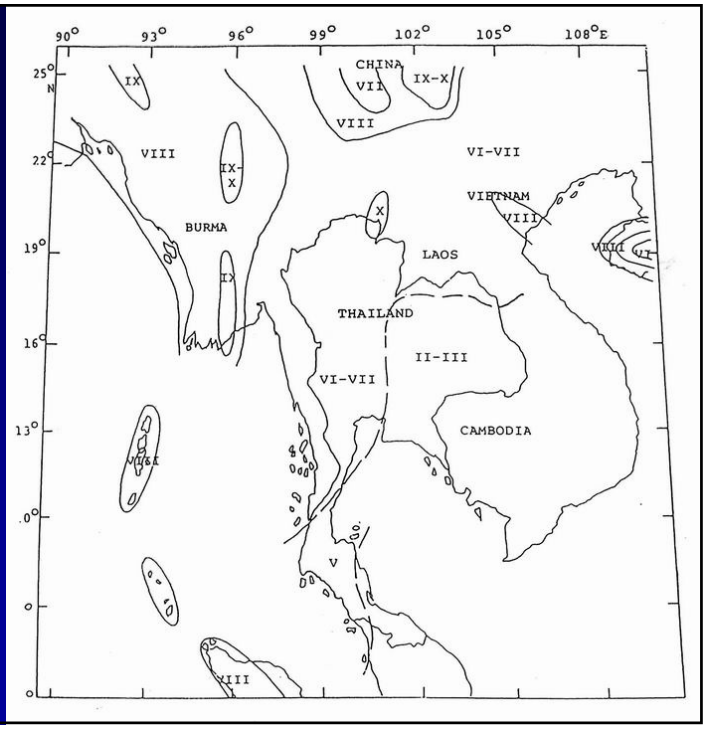
Scale (ลำดับ)	คำอธิบาย
I	อ่อนมาก เครื่องมือตรวจได้เท่านั้น
II	เฉพาะบางคนรู้สึก
III	ผู้ที่อยู่ในบ้านรู้สึก เฉพาะอาคารสูง รถแกว่งเล็กน้อย
IV	ผู้อยู่ในบ้านรู้สึกทั่ว ประตูสั่น ผนังมีเสียงร้าว
V	รู้สึกเกือบทุกคน ถ้วยชามแตก รูปปั้นล้มคว่ำ นาฬิกาหยุดแกว่ง
VI	หลายคนวิ่งออกนอกบ้าน ของหนักๆเคลื่อนที่ บ้านเสียหายเล็กน้อย
VII	หลายคนตื่นตระหนก บ้านออกแบบไม่ดีเสียหาย
VIII	บ้านออกแบบดีเสียหายเล็กน้อย เกิดทรายกระฉูด
IX	บ้านออกแบบดีเสียหาย อาคารเลื่อนออกจากฐาน ธรณีสูบ
X	อาคารไม้อย่างดีพัง ธรณีสูบ รางรถไฟบิดงอ น้ำกระฉอกตามชายฝั่ง
XI	สะพานถูกทำลาย แผ่นดินเหลื่อมดันอย่างกว้างขวาง
XII	ทำลายหมดทุกสิ่งทุกอย่าง

Modified Mercalli Intensity Scale

Mercalli Intensity (at epicenter)	Magnitude	Witness Observations
I	1 to 2	Felt by very few people; barely noticeable.
II	2 to 3	Felt by a few people, especially on upper floors.
III	3 to 4	Noticeable indoors, especially on upperfloors, but may not be recognized as an earthquake.
IV	4	Felt by many indoors, few outdoors. May feel like heavy truck passing by.
V	4 to 5	Felt by almost everyone, some people awakened. Small objects moved. Trees and poles may shake.
VI	5 to 6	Felt by everyone. Difficult to stand. Some heavy furniture moved, some plaster falls. Chimneys may be slightly damaged.
VII	6	Slight to moderate damage in well built, ordinary structures. Considerable damage to poorly built structures. Some walls may fall.
VIII	6 to 7	Little damage in specially built structures. Considerable damage to ordinary buildings, severe damage to poorly built structures. Some walls collapse.
IX	7	Considerable damage to specially built structures, buildings shifted off foundations. Ground cracked noticeably. Wholesale destruction. Landslides.
X	7 to 8	Most masonry and frame structures and their foundations destroyed. Ground badly cracked. Landslides. Wholesale destruction.
XI	8	Total damage. Few, if any, structures standing. Bridges destroyed. Wide cracks in ground. Waves seen on ground.
XII	8 or greater	Total damage. Waves seen on ground. Objects thrown up into air.

Siesmic Zoning

by Modified Mercalli Scale

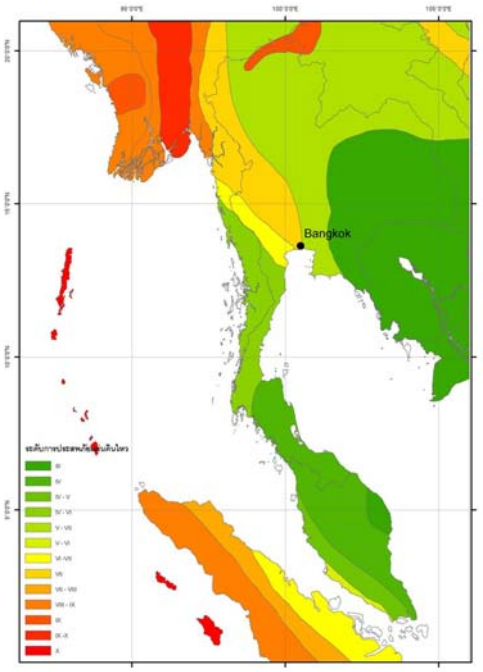


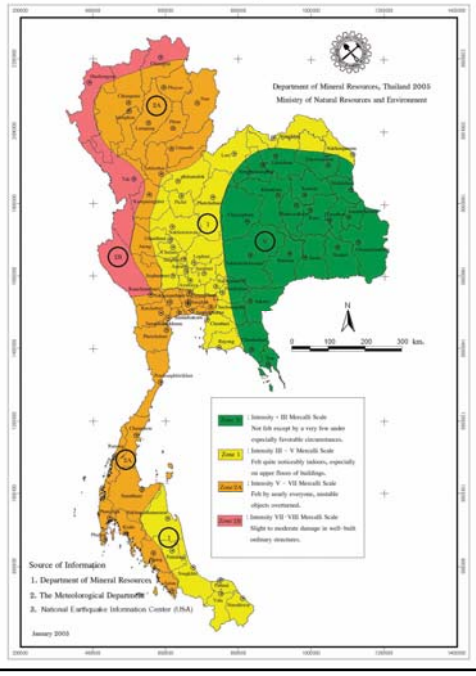
Chulalongkorn University

พื้นที่ประสบแผ่นดินไหวจากงานวิจัยนี้

ระดับการประสพภัยแผ่นดินไหว

- III
- IV
- IV - V
- IV - VI
- V - VII
- V - VI
- VI -VII
- VII
- VII - VIII
- VIII - IX
- IX
- IX -X
- X

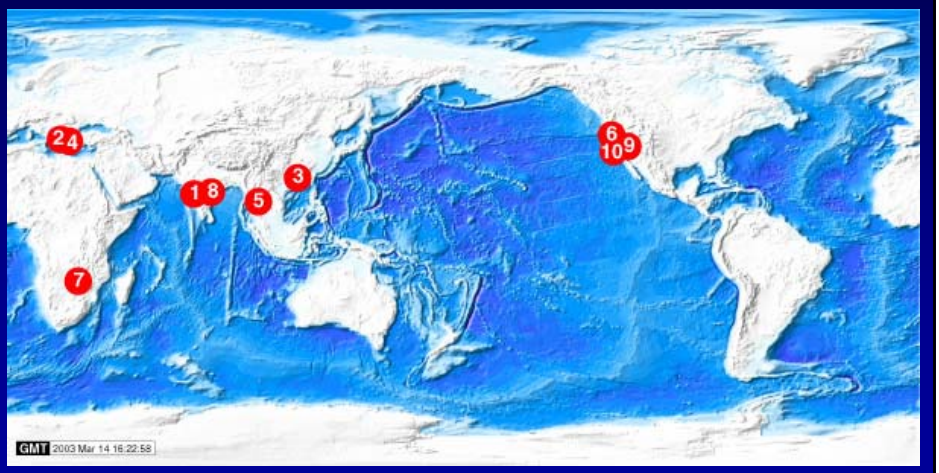




แผนที่ความเข้มของแผ่นดินไหลตาม Modified Mercalli's Scale

10 Largest Reservoir Induced Earthquakes

Earthquakes with known or estimated moment magnitudes only



10 Largest Reservoir Induced Earthquakes

	Date	Origin Time UTC	Latitude	Longitude	Magnitude Mw	Location	Fatalities
1	11-Dec-67	22:51:19	17.400 N	73.740 E	6.6	Koyna, India	177
2	5-Feb-66	2:01:45	39.050 N	21.750 E	6.2	Lake Kremasta, Greece	-
3	19-Mar-62		23.780 N	114.580 E	6.2	Xinfengjiang, China	-
4	20-Jul-38	0:23:35	38.290 N	23.790 E	6	Oropos, Greece	-
5	22-Apr-83		14.400 N	99.130 E	5.8	Srinagarind, Thailand	-
6	1-Aug-75	20:20:12	39.440 N	121.530 W	5.8	Oroville, U.S.A.	-
7	23-Sep-63		16.930 S	27.930 E	5.8	Kariba, Zimbabwe	-
8	13-Apr-69	17:58:39	18.100 N	80.500 E	5.7	Kinnersani, India	-
9	14-Sep-41	18:39:12	37.570 N	118.730 W	5.4	Lake Crowley, U.S.A.	-
10	4-Oct-78	16:42:48	37.520 N	118.660 W	5.4	Lake Crowley, U.S.A.	

Chulalongkorn University

แผนที่ความเสียหายเท่า จากแผ่นดินไหว ในประเทศไทย เมื่อ 22 เม.ย. 2526

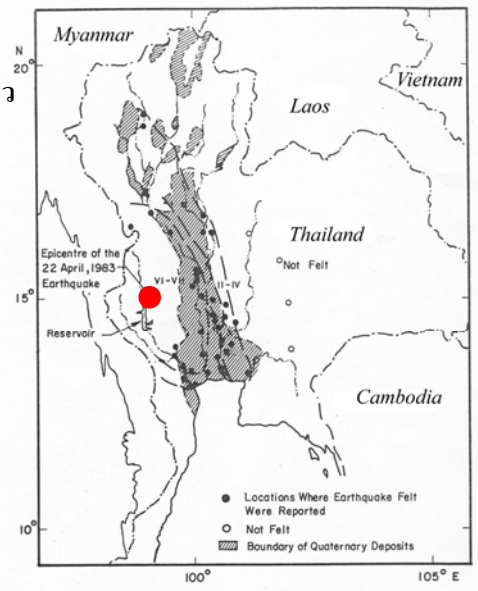


Fig. 18 Intensity Map of 22 April, 1983 Earthquake in Western Thailand

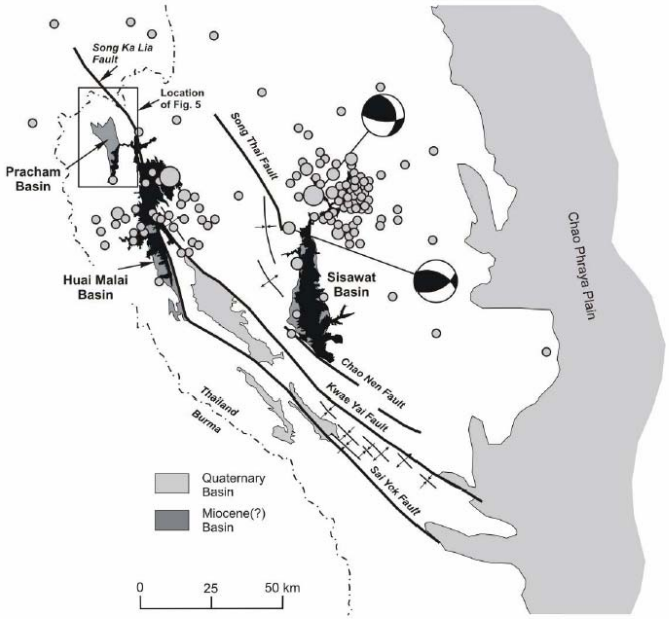
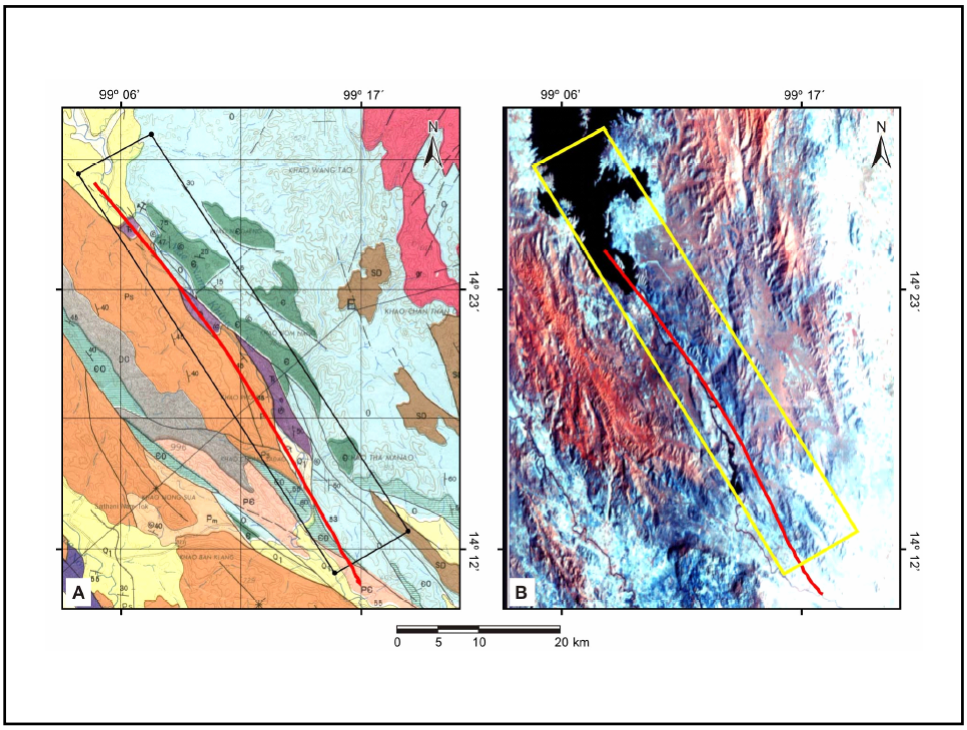


Figure 2. Map of the Three Pagodas Fault Zone. Earthquake epicenters range from M6 to M3. Black shading indicates locations of large reservoirs that partially obscure underlying Tertiary basins. Fold axes from Bunopas (1976). Geology after Bunopas (1976), Siripakdee (1985), and Siripakdee et al. (1985).



รายงานผลการสำรวจทางธรณีเทคนิค

1. ชื่อโครงการ หน่วยงาน และผู้รับผิดชอบในโครงการ
2. วัตถุประสงค์และขอบข่ายของการสำรวจ
3. ข้อมูลเบื้องต้นและลักษณะของโครงการ
4. ลักษณะธรณีวิทยาภูมิภาคและบริเวณโครงการ
5. การสำรวจธรณีวิทยาฐานรากเขื่อน
   1. สำคัญ เช่น แกนเขื่อน แนวทางน้ำลั้น แนวท่อส่งน้ำ
   2. ผลการทดสอบในสนามตำแหน่งการสำรวจ วิธีการสำรวจ การทดสอบในสนาม
   3. ลักษณะชั้นดิน ชั้นหิน ในแนวหน้าตัดที่
6. การสำรวจวัสดุก่อสร้าง
   1. ตำแหน่งบ่อยืมดิน การปูแปลงสำรวจ ตำแหน่งการเจาะสว่านมือหรือบ่อสำรวจ ปริมาณวัสดุที่สำรวจ
   2. การเก็บตัวอย่างดิน ทดสอบในสนาม
   3. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ
   4. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ
7. การวิเคราะห์ผลการสำรวจและข้อเสนอแนะในการออกแบบ
8. ภาคผนวก

เช่น ข้อมูลหลุมเจาะ ตารางผลการทดสอบ รูปภาพประกอบ