

ความมั่นคงของลาดชันจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนใต้ฐานรากเขื่อน กรณีศึกษาเขื่อนศรีนครินทร์

Slope Stability of Srinagarind Dam Subjected to Fault Movement in Dam Foundation

ชินอรส ทองธรรมชาติ (Chinoros THONGTHAMCHART)¹

สุทธิศักดิ์ สรลัมภ์ (Suttisak SORALUMP)²

¹วิศวกรอาวุโส ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²หัวหน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ : เขื่อนศรีนครินทร์เป็นเขื่อนที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทยตั้งอยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยต่อแผ่นดินไหวระดับรุนแรงปานกลาง ความมั่นคงต่อแรงกระทำแผ่นดินไหวของเขื่อนนี้เป็นคำถามจากประชาชนโดยทั่วไปอยู่เสมอ การวิเคราะห์การตอบสนองของตัวเขื่อนจะแสดงพฤติกรรมของตัวเขื่อนระหว่างที่รับแรงกระทำจากแผ่นดินไหวเท่านั้น แต่ผลกระทบจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนใต้ฐานเขื่อนไม่สามารถจำลองได้ด้วยวิธีข้างต้น ในบทความได้นำเสนอการจำลองตัวเขื่อนเมื่อรอยเลื่อนเคลื่อนตัว เพื่อตรวจสอบความมั่นคงของตัวเขื่อนจากการไหลซึมผ่านของน้ำผ่านรอยแตก และผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเขื่อนบ่งชี้ว่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดเขื่อนลดลง เพราะน้ำที่ไหลซึมของน้ำผ่านรอยแตกตามขวางที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนที่สมมติขึ้น

ABSTRACT : Srinagarind dam is the largest dam in Thailand. It located in the moderately seismic hazard area. The seismic performance of the dam always is the question of many spectators. Pervious dynamics response analyses of the dam reassessed gave the dynamic behavior of dam body during and after the modeled seismic forces, not effect of fault movement. This paper presents a simulation of dam when fault beneath the dam moved in both of seepage analyses. Results from slope stability analyses shows factor of safety of downstream slope decreases because of seepage through the modeled transverse crack caused by movement of the fault.

KEYWORDS : Seismic performance, Fault movement

1. บทนำ

เนื่องจากเขื่อนศรีนครินทร์ตั้งอยู่บนพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวระดับกลาง จึงเป็นที่สงสัยว่าเขื่อนมีความมั่นคงต่อแรงกระทำจากแผ่นดินไหวได้มากเพียงใด การวิเคราะห์การตอบสนองของตัวเขื่อนจากแผ่นดินไหว [1] ได้ทำให้เข้าใจพฤติกรรมของตัวเขื่อนระหว่างการเกิดแผ่นดินไหว อย่างไรก็ตามความปลอดภัยของตัวเขื่อนหากรอยเลื่อนใต้ฐานเขื่อนเคลื่อนตัวยังเป็นคำถามที่การวิเคราะห์ข้างต้นไม่ครอบคลุมถึง และแม้ว่ายังไม่พบหลักฐานว่าใต้ฐานเขื่อนมีรอยเลื่อนที่มีพลัง

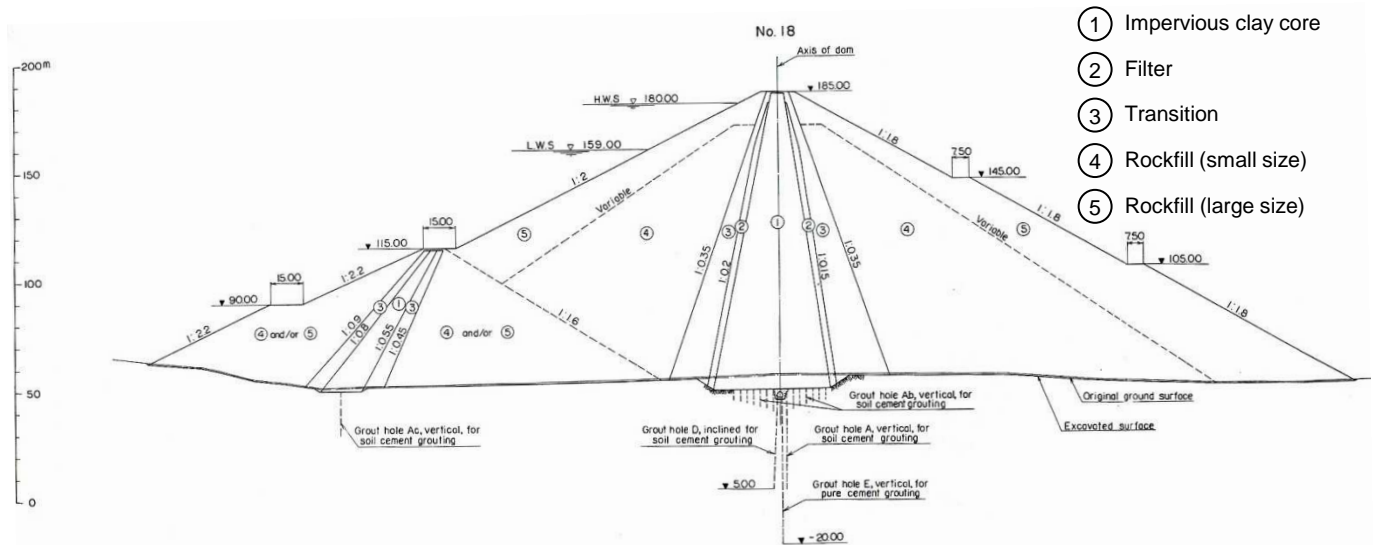
หรือไม่ การวิเคราะห์การไหลซึมและเสถียรภาพของลาดเขื่อนที่จำลองตัวเขื่อนบางลงจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนใต้ฐานเขื่อน จึงดำเนินการเพื่อตรวจสอบเสถียรภาพของลาดเขื่อน

2. ลักษณะของเขื่อนศรีนครินทร์

เขื่อนศรีนครินทร์เป็นเขื่อนหินทิ้งแกนดินเหนียว สูง 140 เมตร มีสันเขื่อนกว้าง 15 เมตร ยาว 610 เมตร มีขนาดความจุ 17,745 ล้านลูกบาศก์เมตร กั้นแม่น้ำแควใหญ่ ตัวเขื่อนตั้งอยู่ที่ อ. ศรีสวัสดิ์ จ.กาญจนบุรี ใช้วัสดุถมเขื่อน 12.1 ล้านลูกบาศก์เมตร

ก่อสร้างโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2519 ถึงพ.ศ. 2521 และได้เริ่มกักเก็บน้ำตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 เพื่อ

ประโยชน์ด้านการพลังงานและเกษตรกรรม รูปตัดขวางของเขื่อนโดยทั่วไปที่จุดลึกที่สุดแสดงในดั่งภาพที่ 1



ภาพที่ 1 หน้าตัดเขื่อนที่ลึกที่สุดของเขื่อนศรีนครินทร์

2.1 หินฐานรากของเขื่อน

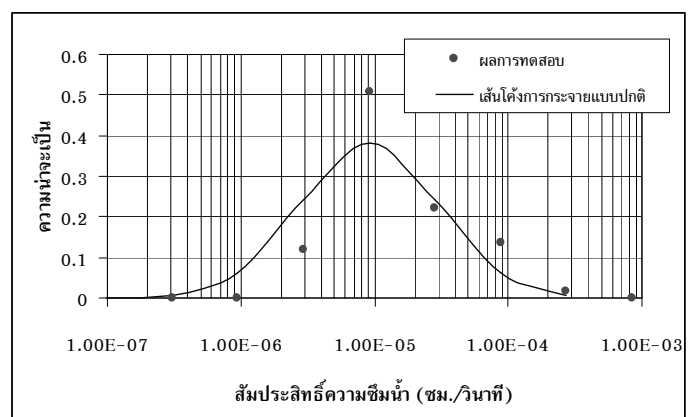
หินฐานรากเขื่อนส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินทราย (Calcareous Sandstone) หินควอร์ตไซต์ (Quartzite) หินปูนแทรกสลับกับหินดินดาน (Limestone with Calcareous Shales Interbedded) โดยหินควอร์ตไซต์ที่กระจายตัวอยู่บริเวณด้านบนมีการผุพังน้อยกว่าชั้นหินทรายที่กระจายตัวอยู่ในบริเวณพื้นที่ที่มีระดับต่ำกว่า ส่วนบริเวณท้องน้ำ ชั้นหินประกอบด้วยหินทราย หินดินดานและหินปูน ที่มีการผุพังสูง ตั้งแต่ระดับท้องน้ำลึกลงไปประมาณ 10 เมตร

โครงสร้างของชั้นหินมีการคดโค้ง (Folding) วางตัวในแนวทิศเหนือถึงตะวันตกเฉียงเหนือ เกือบขนานกับแนวแม่น้ำแควใหญ่ มีระยะห่างระหว่างแกนกลางประทุนคว่ำกับประทุนหงาย (Anticline and Synclinal Axis) ประมาณ 5 เมตร ในบริเวณฐานรากเขื่อน ยังพบแนวรอยเลื่อนหลัก 3 แนว ซึ่งกระจายกันอยู่บริเวณฝั่งซ้ายเขื่อนตอนล่าง บริเวณท้องน้ำ และบริเวณฝั่งขวาของฐานรากเขื่อน โดยแนวรอยเลื่อนบริเวณท้องน้ำพบชั้นหินกรวดเหลี่ยมที่เกิดจากรอยเลื่อน (Fault Breccia) มีความกว้างประมาณ 10 เมตร ส่วนรอยเลื่อนอื่นๆ พบมีความกว้างประมาณ 1 เมตร [2]

2.2 คุณสมบัติของวัสดุถม

ดินแกนเขื่อน (Impervious Core Material) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยดินทรายปนดินเหนียว (Clayey Sand, SC) โดยมี

กรวดที่มีเศษหินทรายปนรวมอยู่ด้วย ดินมีค่า Liquid Limit ในระหว่างก่อสร้างมีค่าในช่วง 25 – 50 % และมีค่า PI ระหว่าง 10 – 25% จากการทดสอบการบดอัด ดินมีค่า OMC ระหว่าง 12 – 17 % และมีค่าความหนาแน่นระหว่าง 1.7 - 1.9 ตันต่อลูกบาศก์เมตร [3] ดินแกนเขื่อนที่ได้จากการเจาะหลุมเพื่อติดตั้งเครื่องมือวัดหลังการใช้งานเขื่อนกว่า 30 ปี มีค่า Liquid Limit ระหว่าง 28 – 30 % และค่า PI ระหว่าง 9 – 10 % เมื่อดินที่มีขนาดละเอียดมีปริมาณน้อยกว่า 50 % สามารถจำแนกดินเป็นประเภท SC และในสนามได้ทดสอบหาสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำของดินเหนียวแกนเขื่อนด้วยวิธี Constant Head พบว่า ดินเหนียวแกนเขื่อนมีสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำ ในระหว่าง $10^{-4} - 10^{-6}$ ซม./วินาที โดยมีการกระจายของสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ผลทดสอบ Permeability Test ของดินแกนกลางเขื่อน

ผลการทดสอบ Pinhole (ASTM D4647) เพื่อนำไปประเมินพฤติกรรมการไหลซึมผ่านและการขยายรอยแตกของดินแกนกลางเขื่อน พบว่าดินแกนกลางเขื่อนมีระดับการกระจายตัวอยู่ที่ระดับ ND1

วัสดุกรอง (Filter Material) ประกอบด้วยหินปูนที่ได้จากการเปิดหน้าฐานรากเขื่อนและจากเหมืองหินปูน โดยมีวัสดุมีขนาดเล็กกว่า 15 เซนติเมตร ขนาดคละของวัสดุถมเขื่อนแสดงในภาพที่ 3

หินถมเขื่อน (Rockfill) เป็นหินปูน สีเทาเข้ม - เทาดำ ที่เป็นชั้นเล็กและมีตะกอนดินเหนียว ทราบแข็ง แทรกตามชั้นและในเนื้อหิน ผลการทดสอบในสนามพบว่าปัจจุบันมวลหินถมมีความแน่น 2.3 - 2.5 ดัน/ม.³ และมีสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำในช่วง 1×10^{-1} ชม./วินาที

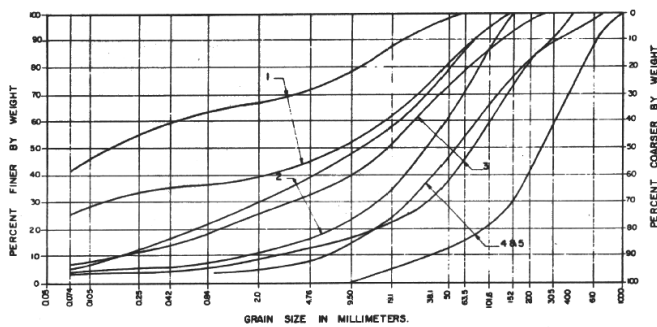


Fig. 12

Gradations of embankment material.

- (1) Core after compaction.
- (2) Filter after compaction.
- (3) Transition before compaction.
- (4) (5) Rockfill before compaction.

ภาพที่ 3 ขนาดคละของวัสดุถมเขื่อน [3]

3. แบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์การไหลซึม

สมมติฐานของการวิเคราะห์การไหลซึมจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนพิจารณาจากรอยเลื่อนที่ปรากฏบริเวณโครงการ คาดการณ์ว่ารอยเลื่อนใต้ฐานเขื่อนเป็นรอยเลื่อนแบบขวาเข้า ตัวเขื่อนอาจเคลื่อนตัวและเกิดรอยแตกตามขวาง (Transverse Crack) ดังนั้นคุณสมบัติความชื้นน้ำของแกนดินเหนียวจะเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งในที่นี้สมมติให้ค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นมีค่าเป็น 5 และ 10 เท่าของคุณสมบัติความชื้นน้ำที่เป็นอยู่เดิม (10^{-5} ชม./วินาที) ตารางที่ 1 แสดงกรณีศึกษาผลกระทบจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนใต้ฐานเขื่อน โดยพิจารณาทั้งในกรณีที่ตัวเขื่อนไม่เกิดการเคลื่อนตัวตามขวางและเกิดการเคลื่อนตัว 1 เมตร ซึ่ง ICOLD [4] แนะนำให้พิจารณาผลกระทบของรอยเลื่อนใต้ฐาน

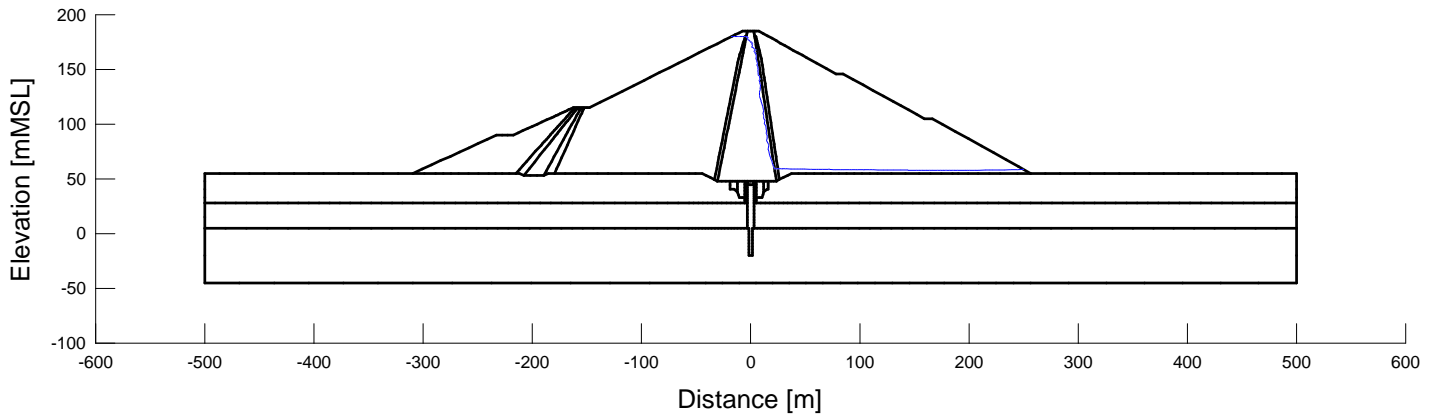
เขื่อน การเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนดังกล่าวเป็นผลให้หน้าตัดแกนดินเหนียวและวัสดุกรองลดลง 2 เมตร ความดันน้ำในตัวเขื่อนจากผลการวิเคราะห์การไหลซึมแบบไม่คงที่กับเวลา (Transient analysis) นำไปวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดชันเขื่อน โดยกำหนดให้กำลังรับแรงเฉือนของมวลหินลดลงเมื่อเกิดแผ่นดินไหว โดยมุมเสียดทานภายในลดลงร้อยละ 20 [5] ซึ่งในที่นี้กำหนดให้มุมเสียดทานภายในลดลงจาก 39 องศาเป็น 31 องศา

ตารางที่ 1 กรณีศึกษาการไหลซึมผ่านตัวเขื่อนจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนใต้ฐานเขื่อน

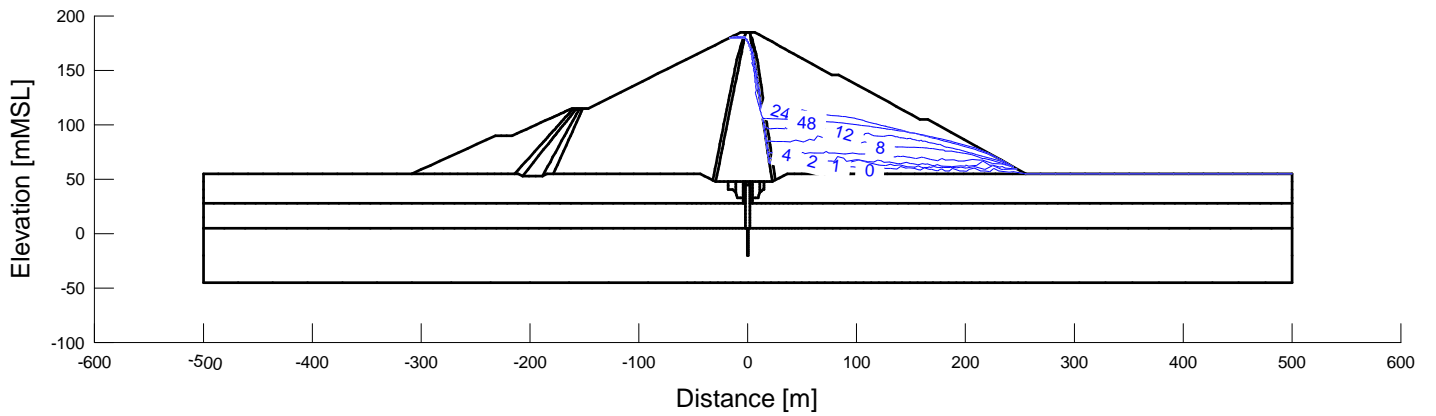
กรณีที่	คุณสมบัติความชื้นน้ำของแกนดินเหนียว (ชม./วินาที)	การเคลื่อนตัวของตัวเขื่อนตามขวาง
1	5×10^{-5}	ไม่เกิดขึ้น ทำให้หน้าตัดเขื่อนคงที่
2	1×10^{-4}	ไม่เกิดขึ้น ทำให้หน้าตัดเขื่อนคงที่
3	5×10^{-5}	เกิดขึ้น ทำให้หน้าตัดเขื่อนแคบลง 2 เมตร
4	1×10^{-4}	เกิดขึ้น ทำให้หน้าตัดเขื่อนแคบลง 2 เมตร

3.1 เสถียรภาพของดินจากกัดเซาะเนื่องจากการไหลซึม

เส้นความดันน้ำของการไหลในกรณีตัวเขื่อนไม่เคลื่อนตัวตามขวาง ในกรณีที่ 1 และ 2 ให้ผลไม่ต่างกัน ในภาพที่ 4 แสดงถึงระดับน้ำในตัวเขื่อนไม่สูงมากในระยะเวลา 48 ชั่วโมง แม้ว่าแกนดินเหนียวมีความชื้นน้ำสูงขึ้น โดย Hydraulic Gradient บริเวณด้านท้ายน้ำมีค่าเท่ากับ 0.5 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์วิกฤติ ($i_c = 1$) สำหรับกรณีตัวเขื่อนเคลื่อนตัวตามขวาง คือ กรณีที่ 3 และ 4 พบว่าระดับน้ำสูงขึ้นหลังรอยแยกเกิดขึ้นนาน 48 ชั่วโมง จากภาพที่ 5 ระดับน้ำในตัวเขื่อนอาจสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในวันแรก และเส้นระดับน้ำจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 26 ชั่วโมง บริเวณด้านท้ายน้ำพบว่ามีค่า Hydraulic Gradient เท่ากับ 0.55 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์วิกฤติ จึงยังมีความปลอดภัยต่อการเกิด Boiling



ภาพที่ 4 เส้นระดับน้ำจากการไหลซึมในลักษณะที่ตัวเขื่อนไม่เกิดการเคลื่อนตัวตามขวาง



ภาพที่ 5 เส้นระดับน้ำจากการไหลซึมในลักษณะที่ตัวเขื่อนเกิดการเคลื่อนตัวตามขวาง

อย่างไรก็ตาม แม้ว่า Hydraulic Gradient ในแกนดินเหนียวจะมีค่าต่ำและอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย แต่ความดันน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลซึมที่น้ำไหลซึมผ่านรอยแยกอาจจะทำให้ในบริเวณรอยแยกมีการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ซึ่งอาจเกิดการกัดเซาะขึ้นได้ จึงได้ทำการประเมินการพัฒนาของการกัดเซาะภายในจากรอยแยกที่เกิดขึ้นในตัวเขื่อน โดยอ้างอิงการศึกษา Fell et al. [6] ที่พิจารณาปัจจัยในเชิงคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับการกัดเซาะภายใน โดยแบ่งเป็น 2 ปัจจัย คือ (1) ปัจจัยที่ส่งผลต่อการขยายตัวของรอยแตก ได้แก่ Hydraulic gradient ที่ผ่านแกนดินเหนียว ชนิดของดิน สัดส่วนของเม็ดดินเหนียว ความเป็นดินกระจายตัว Percent Compaction ปริมาณน้ำที่บดอัด ระดับอิ่มตัวด้วยน้ำ และ (2) ปัจจัยที่จำกัดการไหล ได้แก่ การอุดรอยแตกในแกนดินเหนียว การปิดกั้นการไหลของวัสดุด้านเหนือน้ำ ตารางที่ 2 ได้สรุปปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาของเขื่อนสรีนครินทร์

นอกจากนั้นจากผลการทดสอบพบว่าดินแกนเขื่อนไม่มีปัจจัยที่จะส่งผลขยายรอยแตก กล่าวคือแกนดินเหนียวไม่เกิดการขยาย

ของรอยแยก แม้จะมีรอยแตกเกิดขึ้นทั้งนี้เนื่องจากดินเหนียวแกนเขื่อนจัดเป็นดินไม่กระจายตัวหรือไม่เพิ่มโอกาสการขยายของรอยแตก ซึ่งได้ตรวจสอบจากการทดสอบ Pinhole Test

ตารางที่ 2 การประเมินปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาวัสดุถมเขื่อนสรีนครินทร์ตามวิธีของ Fell et al [6]

ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	สภาพที่พบในเขื่อน	โอกาสของการพัฒนา
ด้านการขยายตัวของรอยแตก (Pipe enlargement)		
Hydraulic gradient ผ่านแกนดินเหนียว	ปกติ	ปานกลาง
ชนิดของดินแกนเขื่อน	PI > 15	น้อย
ปริมาณดินเหนียว	High clay	น้อย
Pinhole dispersion test	ND1	น้อย
%Compaction	~95%	ปานกลาง
Water content	ด้านเปียก	น้อย

Saturation	Saturated	น้อย
ด้านการหยุดการไหล (Limitation of flow)		
การอุดรอยแตกจากวัสดุด้านเหนือน้ำ	มีชั้นกรองบดอัดด้านเหนือน้ำ	น้อย
การปิดกั้นการไหลของวัสดุด้านเหนือน้ำ	ความชื้นน้ำปานกลางถึงสูง	ปานกลาง

การจำกัดการไหลที่ผ่านตัวเชื่อมในชั้นกรองเป็นมาตรการอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งเงื่อนไขของชั้นวัสดุกรอง (Filter Criterion) ของ NAFAC [7] ระบุขนาดเม็ดดินของชั้นกรองตามขนาดของเม็ดดินแกนเชื่อมดังนี้

- $\frac{D_{15}}{d_{15}} > 4$ Drainage requirement
- $\frac{D_{15}}{d_{85}} < 5$ Piping requirement
- $\frac{D_{50}}{d_{50}} < 25$ Piping requirement
- $\frac{D_{15}}{d_{15}} < 20$ Piping requirement

ตารางที่ 3 ได้นำขนาดเม็ดดินที่ขอบเขตด้านบนและด้านล่างของดินแกนเชื่อมกับวัสดุกรอง ตามเงื่อนไขการออกแบบ ซึ่งผลการตรวจสอบพบว่าเม็ดดินขนาด d_{15} และ d_{50} มีแนวโน้มที่อาจถูกพัดพาไปได้ ดังนั้นหลังเกิดแผ่นดินไหวและเกิดรอยแตกตามขวางจึงควรตรวจสอบความขุ่นของน้ำที่ไหลออกจากตัวเชื่อม

ตารางที่ 3 สรุปผลการตรวจสอบเงื่อนไขของวัสดุกรอง

เงื่อนไข	Upper bound grain size	Lower bound grain size	Result
1. $\frac{D_{15}}{d_{15}}$	$\frac{4}{0.045} = 88.9$	$\frac{0.35}{0.03} = 11.7$	Acceptable
2. $\frac{D_{15}}{d_{85}}$	$\frac{4}{55} = 0.07$	$\frac{0.35}{15} = 0.02$	Acceptable
3. $\frac{D_{50}}{d_{50}}$	$\frac{35}{7.5} = 4.7$	$\frac{11}{0.15} = 73.3$	Unacceptable on lower bound
4. $\frac{D_{15}}{d_{15}}$	$\frac{4}{0.045} = 88.9$	$\frac{0.35}{0.03} = 11.7$	Unacceptable on upper bound

ผลการประเมินโอกาสการเกิดการกัดเซาะภายในของเชื่อมหลังการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนได้ฐานรากสรุปได้ว่า การประเมิน

การขยายตัวของรอยแตกโดยวิธีของ Fell et al [6] พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่เพิ่มโอกาสของการพัดพา กล่าวคือ แกนดินเหนียวมีคุณลักษณะที่ไม่ขยายรอยแตก อีกทั้งมีวัสดุกรองมีขนาดละเอียดดีเพียงพอที่ป้องกันการกัดเซาะภายในได้ตามเงื่อนไขการออกแบบวัสดุกรอง [7] ที่ทำให้ช่วยจำกัดการไหลผ่านรอยแตกที่เกิดขึ้นได้

3.2 เสถียรภาพของลาดเขื่อนหลังการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนได้ฐานราก

ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ

ความปลอดภัยของตัวเชื่อมจากการไหลซึมที่เกิดขึ้นหลังเกิดรอยแตกตามขวางจากแรงกระทำแผ่นดินไหวหรือการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนได้ฐานเชื่อมขึ้นอยู่กับอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดชันด้านท้ายน้ำ ดังนั้นจึงได้พิจารณาอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดชัน ณ เวลาต่างๆ ซึ่งพบว่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 1.1 ในช่วง 24 ชั่วโมงแรก ตามระดับของน้ำในตัวเชื่อมที่สูงขึ้น ดังแสดงตารางที่ 4 ภาพที่ 6 แสดงวงการพิบัติที่มีอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุด ซึ่งเกิดขึ้น ณ 26 ชั่วโมงหลังการเคลื่อนตัวของตัวเชื่อม อัตราส่วนความปลอดภัยประมาณ 1.1

ตารางที่ 4 สรุปผลการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ กรณีตัวเชื่อมเคลื่อนตัวตามขวาง

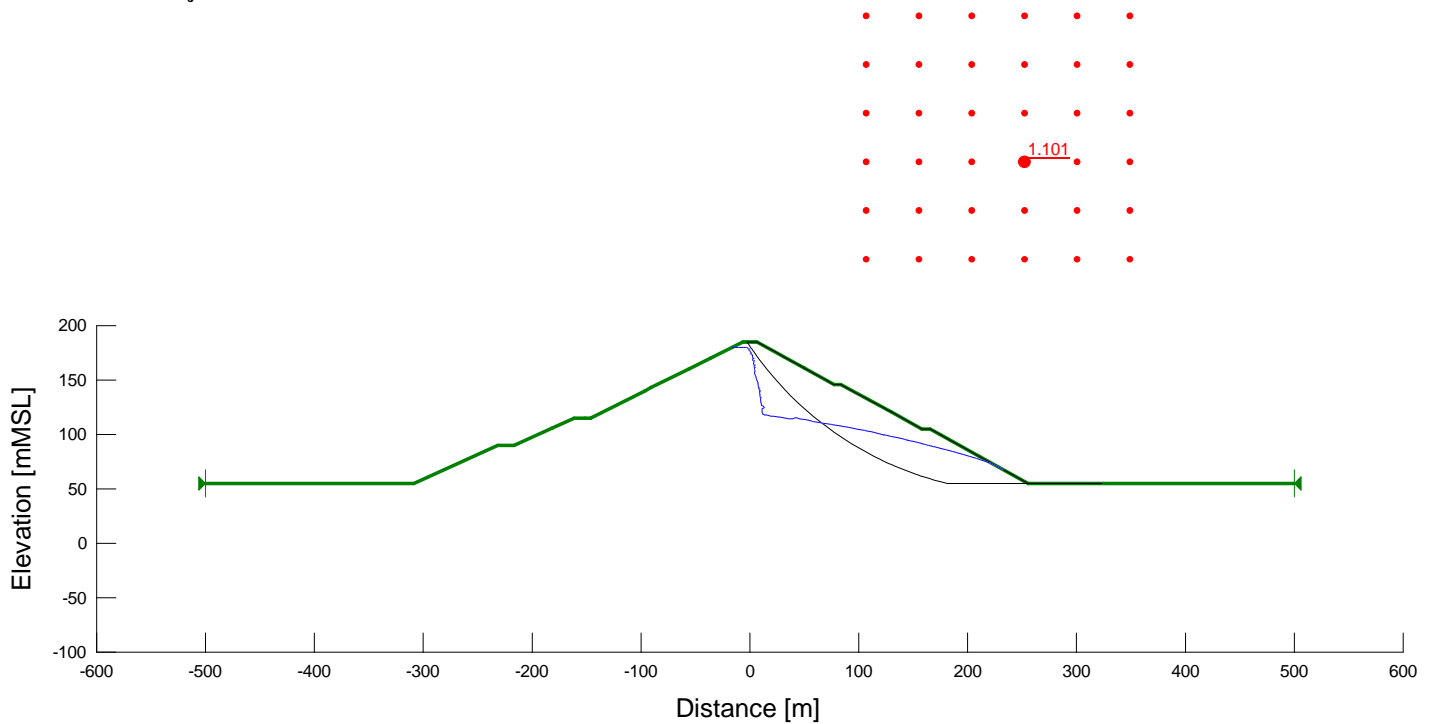
กรณี ที่	Hydraulic gradient	อัตราส่วนความปลอดภัยของลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำหลังเกิดการไหลซึม ณ ชั่วโมงที่พิจารณา						
		1	2	4	8	12	24	48
1	0.51	1.373	1.373	1.372	1.371	1.371	1.369	1.367
2	0.51	1.373	1.373	1.372	1.371	1.371	1.369	1.368
3	0.55	1.358	1.349	1.316	1.258	1.199	1.106	1.124
4	0.55	1.358	1.349	1.316	1.253	1.197	1.104	1.123

ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ

ในกรณีที่ต้องการลดระดับน้ำในทันที (Rapid Drawdown) เพื่อการลดความเสี่ยงต่อการพิบัติของลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพจากการลดระดับน้ำดังกล่าวพบว่าไม่ได้ส่งผลต่อความมั่นคงของลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำได้ อัตราส่วน

ความปลอดภัยของลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำในสภาวะ Rapid

Drawdown ยังคงสูงกว่าเกณฑ์การออกแบบ ($FS > 1.20$)



ภาพที่ 6 วงการพิบัติในกรณีตัวเขื่อนเคลื่อนตัวตามขวาง ณ เวลา 26 ชั่วโมง

4. สรุป

ภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อตัวเขื่อน และเกิดรอยร้าวในแนวขวางกับสันเขื่อนหรือเกิดการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนใต้ฐานราก ผลการวิเคราะห์พบว่าน้ำอาจไหลซึมผ่านรอยแตก แต่จะไม่เกิด Boiling ที่ท้ายเขื่อนและจะไม่มีการขยายตัวของรอยแตกและไม่เกิด Piping จากนั้นหลังจากเวลาผ่านไป 26 ชั่วโมง ระดับน้ำที่ลาดท้ายเขื่อนจะสูงขึ้นทำให้อัตราสวนความปลอดภัยของลาดท้ายเขื่อนลดลงเท่ากับ 1.10 ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงควรติดตั้ง Observation Well ด้านลาดท้ายเขื่อนเพื่อตรวจสอบพฤติกรรมการไหลซึมหลังเกิดแผ่นดินไหวและเตรียมมาตรการการลดการไหลซึมต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองความปลอดภัยเขื่อน ฝ่ายบำรุงรักษาโยธา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์สำหรับข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ครั้งนี้

6. บรรณานุกรม

- [1] Soralum, S. and Tansupo, K., (2008). Safety analyses of Srinagarind dam induced by earthquakes using dynamic response analysis method. *International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering, JGS, Tsukuba, JAPAN, June 15-18, 2009.*
- [2] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2550. การวิเคราะห์ความมั่นคงของเขื่อน SNR ต่อแรงกระทำแผ่นดินไหว.
- [3] Champa, S. and Mahatharodol, B., (1982). Construction of Srinagarind Dam. *14th ICOLD Congress, Vol. 1, Q55-R15, (1982), pp. 255-278.*
- [4] ICOLD (2001). *Bulletin 120 Guideline on Design Features of Dam to Resist Seismic Ground Motion.*
- [5] Makdisi, F.I. and Seed, H.B., (1978). Simplified procedure for estimating dam and embankment earthquake-induced deformations. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 104, No. GT7, pp. 849-867*
- [6] Fell, R., Wan, C.F., Cyganiewicz, J. and Foster, M., (2003). Time for development of internal erosion and piping in embankment dams. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 129, No. 4, pp. 307-314.*
- [7] NAFAC, (1971). Design manual - Soil mechanics, foundations, and earth structures.

