ยรรยง วงศ์รำพันธ์ : การวิเคราะห์เสถียรภาพและการออกแบบการค้ำยันอุโมงค์ของโครงการส่งน้ำดิบ ที่ปาหัง-เซลังงอประเทศมาเลเซีย (STABILITY ANALYSIS AND SUPPORT DESIGN OF PAHANG-SELANGOR RAW WATER PROJECT, IN MALAYSIA) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติเทพ เฟื่องขจร, 107 หน้า.

จุดประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพและออกแบบค้ำยันสำหรับอุโมงค์คู่ขนานสำหรับระบายน้ำจากโครงการส่งน้ำดิบ ปาหัง-เซลังงอ ในประเทศมาเลเซีย ความยาวของอุโมงค์จากจุดรับน้ำเซมันตันจนถึงโรงงานระยะทาง 44.6 กิโลเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์เท่ากับ 5.2 เมตร ความลาดเอียง 1 ต่อ 1,900 หินตามแนวอุโมงค์ประกอบด้วยหินแปรของชุดหินคารักระยะประมาณ 3.5 กิโลเมตรจากจุดรับน้ำส่วนช่วงที่เหลือเป็นหินแกรนิต

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะของมวลหิน การประเมินค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับมวลหิน การวิเคราะห์เสถียรภาพและการออกแบบระบบค้ำยันหินรอบอุโมงค์ มวลหินตลอดความยาวของอุโมงค์ได้ถูกจำแนกโดยใช้ระบบการจำแนกมวลหินเชิงประสบการณ์ ซึ่งได้รวมไปถึง ระบบการจำแนกหินด้วยระบบการให้คะแนน (RMR) ระบบดัชนีคุณภาพมวลหินในอุโมงค์ของ NGI (Q-system) ระบบดัชนีมวลหิน (RMi) และดัชนีความแข็งธรณีวิทยา (GSI) ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของมวลหินและตัวแปรของ Hook-Brown แนวทางการออกแบบค้ำยันที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะถูกนำมาใช้ประกอบกับผลการจำแนกคุณลักษณะของมวลหินในสถานที่จริง การจำลองด้วยแบบจำลองตัวเลข (ใช้โปรแกรม Phase2) ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินเกี่ยวกับเสถียรภาพของอุโมงค์ทั้งที่มีและไม่มีระบบค้ำยัน เกณฑ์การวิบัติของมวลหินที่เสนอโดย Hoek และ Brown ถูกนำมาใช้ประเมินบริเวณที่มีการครากและการเคลื่อนตัวสูงสุดของหินรอบอุโมงค์ ระบบค้ำยันที่แนะนำให้ใช้โดยวิธีเชิงประสบการณ์ถูกใช้ในการศึกษาด้วยการจำลองเชิงตัวเลข ซึ่งประกอบด้วยหมุดยึดหิน โครงเหล็กค้ำยันและคอนกรีตพ่นร่วมกันตาข่าย ลวดคุณสมบัติของส่วนที่เป็นค้ำยัน เช่น ความยาวของหมุดยึดหิน ระบบการติดตั้งหมุดยึดหินชนิดและระยะห่างระหว่างโครงเหล็กค้ำยัน ความหนาของคอนกรีตพ่นได้ใช้ให้เหมือนกับที่ระบุไว้ในวิธีเชิงประสบการณ์ ก่อนการติดตั้งระบบค้ำยัน พื้นที่ที่เกิดการครากของหินรอบอุโมงค์ได้ให้ความสำคัญ ผลการศึกษาระบุว่าก่อนการค้ำยันมีบางปัญหาเกิดขึ้นเกี่ยวกับเสถียรภาพของอุโมงค์ กล่าวคือหลังจากที่ติดตั้งระบบค้ำยัน พื้นที่ที่เกิดการครากรอบอุโมงค์และระยะของการเกิดเป็นพลาสติกได้ลดลง และการเคลื่อนตัวสูงสุดของอุโมงค์ยังลดลงอีกด้วย สิ่งนี้บ่งชี้ว่าระบบการค้ำยันมีความเหมาะสมที่ให้ให้เกิดเสถียรภาพของอุโมงค์ สภาวะที่ดีที่สุด

ระหว่างผลการออกแบบค้ำยันด้วยวิธีเชิงประสบการณ์และวิธีทางด้านระเบียบวิธีเชิงตัวเลข นั้นได้กำหนดเพื่อใช้ออกแบบการค้ำยันจริงสำหรับอุโมงค์ในโครงการส่งน้ำดิบที่ปาหัง-เซลังกอ ในประเทศมาเลเซีย

สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2554 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

YANYONG WONGRAMPHAN : STABILITY ANALYSIS AND SUPPORT DESIGN OF PAHANG-SELANGOR RAW WATER PROJECT, IN MALAYSIA. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. KITTITEP FUENKAJORN, Ph.D., P.E., 107 PP.

TUNNEL/DESIGN/STABILITY/SUPPORT/WATER TUNNEL

The objective of this study is to perform stability analysis and support design for water tunnel of the Pahang-Selangor raw water project, in Malaysia. The tunnel is 44.6 km long with a tunnel diameter of 5.2 m, and slope of 1:1,900. The bedrocks along the tunnel alignment are metamorphic rocks of Karak formation for the first 3.5 km from the inlet portal. The remained portion is in granite. The study includes the section of the tunnel that passes underneath the Kerau river.

The study involves rock mass characterizations, evaluation of rock mass parameters, stability analysis and support design for the rock mass around the tunnel. It is classified by using rock mass rating system (RMR), NGI tunneling quality index (Q system), rock mass index (RMi) and geological strength index (GSI). Their rating values are used to determine the in-situ rock mass strength, deformation modulus of rock mass and Hoek-Brown parameters. Traditional guidelines for the rock support have been used based on the results of the site characterizations. A series of numerical simulations (using Phase^2 code) is performed to assess the stability conditions of the tunnel with and without the support systems. Hoek and Brown failure criterion is used to estimate yielding zone around the tunnels and the maximum displacement. The support systems suggested by empirical methods are employed in numerical modeling which include rock bolts, steel rib and shotcrete with wire mesh. The properties

of support components, such as bolt length, spacing of steel rib, bolt patterns and thickness of shotcrete are similar to those proposed by the empirical methods. Before support installation, yielding zones are observed. The results indicate that there would be some stability problems for the tunnel. After support installation, the number of yielding zones and the radius of plastic zone are decreased. The maximum displacement is insignificant. This indicates that the applied support systems are adequate to obtain the tunnel stability. Optimization between the empirical and numerical results is made to obtain the suitable support design for the Pahang-Selangor raw water tunnel.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Geotechnology Student's Signature_____

Academic Year 2011 Advisor's Signature_____