University of Mosul
College of Engineering

SLOPE STABILITY ANALYSIS OF UNSATURATED SOIL UNDER DYNAMIC LOADING WITH VARIOUS CONDITIONS

TAREQ HASAN MOHAMMED AL-RAHAL

Doctor of Philosophy Thesis in

Civil Engineering - Geotechnique

Supervised by

Prof. Suhail Idrees Khattab, PhD
Prof. Bayer Jaffar Al-Sulyfani, PhD

2020 A.D. **1441 A.H.**

Abstract

The slopes stability is one of the significant subject in civil engineering. The slopes failure occurs as a result of various forces such as applied vertical static load , expose to earthquakes or any changes in the surrounding soil conditions rewrite its structure.

The aim of this study is to detect the effect of static load, dynamic condition and rainfall on slopes stability. A laboratory model with box in dimensions of (2000 × 1000 × 1450) mm was manufactured to achieve this aim.

Several tests were executed by utilizing the experimental model. The first test was carried out under condition of static load (test A), three tests at static and dynamic loading conditions(tests B) and the last three tests were conducted after the slope was exposed to a rainfall and then applied static and dynamic loading conditions(tests C). The objective of these tests are to find the settlement, slip surface form and loading capacity for unsaturated low plasticity clayey soil slopes under various loading conditions.

Results indicated that the stress failure for the slope in test (A), is (408) kPa and led to slope settlement (6) mm. The slip surface for this test had a rotating shape beginning from the interior edge of the footing and dropped to a depth equal to 300 mm. A very limited soil suction variation was obtained.

Applying dynamic loading negatively affected on slope stability through reduction in failure stress of slope, it decreased for the tests (B) by (6.22 %, 25 % and 31.22 %) respectively as compared with static test(A test). The dynamic conditions are vibrations in (0.5 Hz, 1.0 Hz and 2.0 Hz) for each loading stage and the horizontal displacement for these tests are (10, 20 and 40) mm, respectively. The slope settlement

increases from (4.13) mm to (5.17, 5.87) mm with the increase in the horizontal displacement of vibration from (10) mm to (20 and 40) mm, respectively. A decrease in the total time required for slope failure from 20 hours to (16 and 15.78) hours with an increase in the horizontal displacement of vibration. Sliding curves for dynamic tests had a circular form that began at the inner edge of the strip footing and continued to the lower end of the slope.

Applying rainfall and dynamic condition negatively affected on the slope stability through reduction in failure stress of slope, it decreased for the tests(C) by (50 %, 68.75 % and 75 %) respectively comparing to the static test. The dynamic conditions are vibrations in (0.5 Hz, 1.0 Hz and 2.0 Hz) of each loading step and horizontal displacement for these tests is (20)mm. Whereas the rainfall was applied at intensity 20 mm/hour at first test and at (30, 40) mm/hour in the second and third test respectively. Moreover, the total suction of slope layers decrease by (76 %, 48 % and 9.5%) for the upper, middle and bottom slope layer respectively at the first rainfall test.So this reduction increased with increased rainfall intensity.

There is a close convergence between the failure condition obtained by laboratory tests with the failure condition for numerical analysis by Geo-Studio software. For static test, the difference in failure stress was 6 %. While, the load capacity of soil slope was identical in the other tests. Otherwise, the average variance between the numerical and experimental slope settlement in all tests was approximately (26 %).

Four parametric studies were executed to show the effect of the footing width, slope angle, water table level and rainfall intensity on condition failure of unsaturated low plasticity clayey soil under static stress and dynamic condition(Real earthquake has PGA = 0.0372 g and duration= 540 sec). At static condition, the loading capacity and

settlement reduce about (62) % when the slope angle is increased from (33.7º to 73.3º). Moreover, for slope angle (45º) applying dynamic condition caused reduce loading capacity and settlement about (42 and 44.5) % respectively. Furthermore, A design chart was made to obtain ultimate load capacity of slope within limited range of slope angle and PGA of earthquake.

Finally, the right side bank of the Darbndekan dam was taken as a case study. This slope was simulated and then exposed to similar field conditions that caused failure (rainfall in 24 mm/day intensity and earthquake in Mw=7.3, duration= 30 sec and Peak Ground Acceleration =8.152 g). The analyses results showed that slope failure occurred when applied earthquake is applied at the end of rainfall period 20 days. This result agrees with the site failure conditions.

شكلا دائريا امتد من حافة الأساس الخارجية إلى أسفل المنحدر. يظهر التأثير السلبي لتسليط الإمطار وظروف التحميل الساكنة والديناميكية على استقرارية المنحدرات من خلال نقصان حمل فشل المنحدرات في الفحوصات (C) الثلاثة وبنسبة (50، 68.75 و70) % على التوالي. إن الظرف الديناميكية للفحوصات(C) هي الاهتزاز بإزاحة أفقية (20) ملم وبترددات (0.5, 1 و2) هرتز لكل مرحلة من مرحل لتحميل السكن بينما سلطة أمطار بشدة (20) ملم /ساعة في الفحص الأول وبشدة (30 ،40) ملم /ساعة على التوالي في الفحوصات الثاني والثالث. أدى تسليط الأمطار في الفحص الأول إلى انخفاض إجهاد مص التربة بنسبة (79، 48 و 9.5)% للطبقات العليا، الوسطى والسفلى على التوالي ويزداد هذا الانخفاض مع زيادة الشدة المطرية في الفحوصات اللاحقة. وجد تقارب كبير بين ظروف الفشل في الفحوصات التجريبية والتحليل العددي باستخدام برنامج أل (Geo-slope)، ففي الفحص الساكن وجد فرق مقدره (6)% في حمل الفشل في حين كانت النتائج متطابقة في بقية الفحوصات. من جهة الأخرى، كان متوسط الفرق بين هبوط المنحدر التحليلي والتجريبي حوالي (26) %.

تم إجراء أربعة دراسات حدودية لإظهار تأثير عرض الأساس الشريطي، زاوية ميل المنحدر، منسوب المياه الجوفية وشدة هطول الأمطار على حالة الفشل لمنحدرات من التربة الغرينية الواطئة اللدونة وغير المشبعة تحت تأثير الأحمال الساكنة والظروف الديناميكية (زلزال حقيقي يمتلك سعة تعجيل عظمى مقدارها 0.0378g وديمومته 540 ثانية). في ظرف التحميل الساكن، انخفض حمل الفشل للمنحدر بنسبة (62) % عند زيادة زاوية ميله من (33.3º إلى 73.3º) في حين انخفض حمل الفشل للمنحدر المائل بزاوية (45º) بنسبة (45) % عند تعرضه إلى الظروف الديناميكية. بعد ذلك، تم أيجاد علاقة تصميمية للحصول على حمل الفشل للمنحدر ضمن مدى محدد من زاوية الميل وسعة التعجيل العظمى للزلزال.

أخيرا، تم اخذ الكتف الأيسر لسد دربنديخان كدراسة تطبيقية، حيث تم تمثيل المنحدر وتعريضه إلى ظروف تماثل الظروف الحقلية التي تسببت بفشله (تساقط أمطار بشدة (24) ملم/يوم وزلزال قيمته (M_w=7.3) على مقياس ريختر، ديمومته (30)ثانية وسعة تعجيله العظمى (8.152g)). أظهرت نتائج التحليل أن المنحدر يفشل عند تعرضه إلى الزلزال في نهاية فترة تسليط الأمطار البالغة (20) يوم، علما أن هذه النتيجة اتفقت مع ظروف الفشل الحقيقية.

الخلاصة

يعد استقرار المنحدرات أحد المسائل المهمة في الهندسة المدنية. يحدث الفشل في المنحدرات نتيجة لأنواع مختلفة من القوى مثل الزلازل، الأحمال الإضافية أو أية تغييرات في الظروف المحيطة التي تضعف من بنية التربة. يهدف هذا البحث إلى التحري عن تأثير الأحمال الساكنة، الظروف الداينميكية والأمطار على استقرارية المنحدرات. لذا تم تصنيع نموذج هندسي باستخدام خزان أبعاده (1450×1000×2000) ملم. استخدم هذا النموذج لإجراء سبع فحوصات. اجري الفحص الأول (A) تحت ظروف التحميل الساكن وثلاثة فحوصات أجريت تحت ظروف التحميل الساكنة والديناميكية (B) بينما أجريت الفحوصات الثلاثة الأخيرة (C) بعد تعرض المنحدر إلى الأمطار ثم الأحمال الساكنة والظروف الديناميكية. تم إجراء هذه الفحوصات لإيجاد الهبوط، شكل سطح الانزلاق وحمل الفشل لمنحدرات من التربة الغرينية الواطئة اللدونة تحت ظروف التحميل المختلفة. في الفحص الساكن (A) وصل المنحدر إلى مرحلة الفشل بعد ارتفاع قيمة الإجهاد المسلط على قمته إلى (408) كيلو باسكال. تسببت هذه الاجهادات بهبوط مقداره (6) ملم. اتخذ سطح الانزلاق لهذا الفحص شكلا دائريا يبدأ من الحافة الداخلية للأساس الشريطي ويمتد عمق (300) ملم أسفل السطح. من جهة أخرى، بعد مرور عشرة أيام من تحضير النموذج وصل إجهاد مص التربة إلى قيمة التوازن البالغة (25، 23، 21) كيلو باسكال في طبقات المنحدر العليا، الوسطى والسفلى على التوالي. انخفض إجهاد المص في الطبقة العليا من (25 إلى 23) كيلو باسكال عند زيادة الإجهاد العمودي من (0- 204) كيلو باسكال ويستقر بعد ذلك إلى أن يحدث الفشل بينما انخفض إجهاد المص إلى (14و 13) كيلو باسكال في الطبقات الوسطى والسفلى عند زيادة الإجهاد العمودي من (0- 306) كيلو باسكال ويثبت بعد ذلك إلى أن يحدث الفشل.

بينت النتائج إلى أن تسليط الظروف الداينميكية يؤثر سلبا على ثبات المنحدرات غير المشبعة من خلال انخفاض قابلية تحملها في الفحوصات (B) بنسبة (25,6.22 و 31.22) % على التوالي. إن الظروف الداينميكية هي الاهتزاز الأفقي بتردد (0.5, 1 و2) هرتز على التوالي ولكل مرحلة من مراحل التحميل الساكن. نفذت فحوصات (B) الديناميكية (الأول، الثاني والثالث) بإزاحة اهتزاز أفقية مقدارها (10،20 و40) ملم على التوالي وبينت نتائج هذه الفحوصات زيادة هبوط المنحدر من (4.13) ملم إلى (5.15 ,5.87) ملم عند زيادة الإزاحة الاهتزاز الأفقية من (10) ملم إلى (20، 40) ملم ، كما انخفض الوقت اللازم لفشل المنحدر من (20) ساعة إلى (15.75، 16) ساعة، من جهة أخرى، اتخذ سطح الانزلاق لهذه الفحوصات

جامعة الموصل
كلية الهندسة

تحليل استقرارية المنحدرات للترب غير المشبعة تحت أحمال ديناميكية لظروف مختلفة

طارق حسن محمد الرحال

أطروحة دكتوراه فلسفة في
الهندسة المدنية / ميكانيك التربة وهندسة الأسس

بإشراف

أ.د. سهيل إدريس عبدالقادر خطاب
أ.د. بيار جعفر محمد السليفاني

1441هـ 2020 م