University of Mosul
College of Engineering

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL ANALYSIS FOR RETAINING WALL IN SATURATED-UNSATURATED EXPANSIVE SOIL

PhD Thesis Submitted by

KHAWLA AHMED KHALIL AL-JUARI

to

The Council of the College of Engineering

University of Mosul

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of

Doctor of Philosophy

in

Civil Engineering −Geotechnique

Supervised by

Prof. Suhail Idrees Khattab, PhD

Asst. prof. Mohammed Kassim Al-Shamam, PhD

Prof. Mohammed Yousif Fattah, PhD

2018 A.D. **1439 A.H.**

Abstract

The main objective of the study is to investigate the effect of expansive soil on the resulting horizontal stresses and deformations inflicted on a retaining wall, as a result of transforming the soil from unsaturated to saturated state. Laboratory physical model was designed with box of 950 mm in height, 900 mm in length and 600 mm in width. The test was conducted in five stages; equilibrium time of the probes, saturation, loading, wall movement and unloading stage. The main variables studied included the magnitude of horizontal swelling pressure and vertical swelling during saturation, the active and passive earth pressures with vertical movement of the backfill soil during loading, the wall movement and unloading stage, and suction along with the depth of the wall. The time was measured throughout the test.

The results showed that at the saturation stage, the lateral swelling pressure increased with time to a maximum value and then decreased gradually until reaching a constant value. The maximum values of lateral swelling pressure increased with the depth of the wall then decreased near the wall base. The total suction varied along the depth of the wall during saturation. At the upper half, the total suction decreased and then dropped to zero with time increasing. However, near the wall base, the total suction decreased to a small value during saturation period. The backfill soil uniformly swelled and the percent of swelling was 8.45 %. At loading stage, the maximum increase in lateral earth pressures under the applied vertical stresses were observed at the top of the wall and reached maximum values at the depth 100 mm from the surface, then decreased to reach the minimum values at the depth 285 mm. The total suction varied between (0 to 12), (0 to10) and (10 to 0) kPa at depths of 100, 350 and 590 mm, respectively. The maximum settlement of the soil under applied stresses was about 31.33 mm.

After the specified conditions of saturation and normal stresses were applied, the wall is allowed to move horizontally in several distances (0.1, 0.2, 0.3, 0.6, 0.8, 1.0 , 2.0, 3.0 and 4.0) mm, and the stresses were being measured, then the vertical loading was released. Results showed that the lateral earth pressure along with the depth of the wall largely decreased when the wall moved away from the soil. Total suction was slightly affected during wall movement. At the unloading stage, the lateral earth pressure decreased at the upper half of wall height, but increased at the other wall part. The total suction was increased at all depths during this stage.

Finite element method was used to simulate the retaining wall supporting highly expansive soil in saturated and unsaturated conditions using GeoStudio program- 2007. The results show that the lateral swelling pressure increases linearly with the depth of the wall up to the maximum value of about 165 kPa at depth 0.6 m. Predictions

capture important qualitative features of each of the four stages and in all instances the quantitative predictions are within measurement accuracy. The lateral swelling pressure and vertical swelling obtained from the numerical analysis are compatible with that obtained from the experimental work.

At wall movement stage, the settlement of the soil increased linearly with wall movements. The settlement of the soil behind the wall was more than that away from the wall. At unloading stage, the volume of the soil increased when the applied stresses were released, the maximum value of 6.25 mm when the applied stress was equal to zero.

An extensive parametric study was carried out in this research to show the variation of the lateral stress and deflection of the wall. The main study variables are: the height of the wall, the depth of water table, the rainfall infiltration and the replacement the expansive soil by bentonite-sand mixture. Results showed that, the lateral deflection of the wall decreased with increasing height of the wall. However, the deflection of the wall increased with rising the water table upward. The initial and the lateral swelling pressures increased with the increasing height of the wall and rising water table. The soil surface uniformly swelled along the horizontal distance behind the wall, when the water table was located at depth H below the base of the wall footing.

The lateral deflection of the wall, lateral stress and vertical swelling increased with increasing the rate of infiltration. However, infiltration of water from the soil surface is more effective on the deflection, lateral stresses and vertical swelling of soil behind the wall than rising of water table. The maximum lateral stresses and vertical swelling obtained from infiltration of water is about 1.04 and 3.38 times that obtained from rising of water table, respectively.

The replacement of expansive soil by bentonite-sand mixture is a successful method, to reduce the lateral stresses and lateral deflection of the wall as well as the vertical swelling of the soil, when the water table is located at low depth below the soil surface, whereas it is not useful when the water table is located at high depth.

Finally a case study of retaining wall supporting swelling soil was applied in Mosul city. The wall is not deflected when the water table is located at depth H below the base of the wall footing. The lateral deflection of the wall increased with the increasing height of the wall and rising the level of water table. The lateral stresses increased with the depth of the wall and reached the maximum value at 0.625 m then decreased. The soil surface uniformly swelled along the horizontal distance, when the water table is located at depth H below the base of wall footing. The study shows a good agreement between the results obtained from the numerical analysis and the recorded observation on the constructed concrete retaining wall in Mosul city.

الخلاصة

يهدف البحث الى دراسة تأثير ضغط الانتفاخ الجانبي والتشوه الجانبي على الجدران الساندة للتربة الانتفاخية، عندما تتغير حالة التربة من الحالة غير المشبعة إلى الحالة المشبعة.

تم تصميم موديل مختبري بأبعاد (950 ×900×600) ملم. اذ اجري الفحص خلال خمس مراحل: مرحلة التوازن لمتحسسات قياس اجهادات المص، مرحلة التشبيع، مرحلة التحميل، مرحلة حركة الجدار ومرحلة رفع التحميل. وتضمنت المتغيرات الرئيسة في هذه الدراسة ما يلي: ضغط الانتفاخ الجانبي والانتفاخ العمودي خلال مرحلة التشبع، الضغط الايجابي والسالب مع حركة التربة العمودية خلال مراحل التحميل، حركة الجدار وتخفيف الحمل، قياس التغير باجهادات المص مع عمق الجدار بالإضافة إلى إيجاد تأثير الوقت أثناء الفحص.

اظهرت النتائج خلال مرحلة التشبع، إن ضغط الانتفاخ الجانبي يزداد مع الوقت ويصل إلى أعلى قيمة ثم يقل تدريجيا إلى أن يصل قيمة ثابتة. كما إن أعلى القيم لضغط الانتفاخ الجانبي تزداد مع عمق الجدار ثم تقل تدريجيا بالقرب من القاعدة. وتتغير اجهادات المص للتربة مع عمق الجدار خلال مرحلة التشبع. ففي النصف العلوي من الجدار يقل إجهاد المص الكلي ويصبح مساوياً للصفر عند زيادة الوقت. أما بالقرب من قاعدة الجدار فان اجهاد المص يقل ويستقر عند قيمة قليلة. وتنتفخ التربة خلف الجدار بشكل منتظم وتصل نسبة الانتفاخ إلى (8.45) بالمائه. اما في مرحلة التحميل، يلاحظ إن اكبر زيادة في الضغط الجانبي تحصل في الجزء العلوي من الجدار وتصل إلى اكبر قيمة عند عمق 100 ملم تحت سطح التربة ثم تقل مع زيادة العمق. أما المص الكلي للتربة يتغير بين (0–12)، (0–10)، (10–0) كيلوباسكال عند الأعماق 100، 350، 650 ملم على التوالي. كما إن اكبر هبوط للتربة يصل إلى 31.33 ملم تحت تأثير الاجهادات المسلطة.

بعد أن اكتملت مرحلتي التشبع والتحميل، سمح للجدار أن يتحرك أفقيا لعدة مسافات (4 ، 3 ، 2 ، 1 ، 0.8 ، 0.6 ، 0.3 ، 0.2 ، 0.1) ملم وتم قياس الاجهادات ثم أجريت عملية رفع للأحمال. بينت النتائج أن الضغط الجانبي للتربة على طول الجدار يقل بشكل كبير عندما يبتعد الجدار عن التربة. أما اجهادات المص تتأثر قليلا عند حركة الجدار. اما خلال مرحلة رفع الاحمال، فأن الضغط الجانبي للتربة يقل عند الجزء العلوي من الجدار لكنه يزداد في الجزء السفلي منه. أما اجهادات المص فإنها تزداد عند جميع الأعماق للجدار خلال هذه المرحلة.

استخدمت طريقة العناصر المحددة لتمثيل الجدار الساند للتربة الانتفاخية في حالتي التربة المشبعة وغير المشبعة باستخدام برنامج جيوستوديو 2007. وبينت النتائج إن

ضغط الانتفاخ الجانبي يزداد خطياً مع عمق الجدار إلى أقصى قيمة 165 كيلوباسكال عند عمق 0.6 م. وقد اتفقت هذه النتائج مع ما تم الحصول عليه من العمل ألمختبري.

أما في مرحلة حركة الجدار، فان هبوط التربة يزداد خطيا مع حركة الجدار. كذلك فان هبوط التربة بالقرب من الجدار كان أكبر منه للتربة بعيدا عن الجدار. وخلال مرحلة رفع الأحمال، لوحظ ازدياد حجم التربة وكانت أقصى زيادة 6.25 ملم عندما رفعت الأحمال بالكامل.

أجريت دراسة مكثفة لعدة متغيرات في هذا البحث لملاحظة التغيرات التي تحصل على مقدار الضغط الجانبي والتشوه الجانبي للجدار. وقد اعتمدت المتغيرات الرئيسية في هذه الدراسة وهي: ارتفاع الجدار و عمق الماء الجوفي و ارتشاح الماء وتبديل التربة الانتفاخية بمزيج من الرمل و البنتونايت . وضحت النتائج أن التشوه الجانبي للجدار يقل مع زيادة ارتفاع الجدار ولكن يزداد مع زيادة ارتفاع منسوب المياه الجوفية. ولوحظ ايضاً ازدياد ضغط الانتفاخ الجانبي مع زيادة ارتفاع الجدار وارتفاع منسوب المياه الجوفية. أما الانتفاخ العمودي لسطح التربة يزداد بشكل منتظم على طول المسافة الأفقية خلف الجدار عندما يكون منسوب المياه الجوفية على عمق يساوي ارتفاع الجدار تحت قاعدة الجدار.

يزداد التشوه الجانبي للجدار، الضغط الجانبي والانتفاخ العمودي مع زيادة معدل الارتشاح للتربة. كما إن ارتشاح التربة للماء من الأعلى يكون ذا فعالية اكبر على التشوه الجانبي والضغط الجانبي للجدار والانتفاخ العمودي للتربة من ارتفاع منسوب الماء الجوفي. اذ إن اكبر ضغط جانبي وانتفاخ عمودي ناتج من ارتشاح الماء يعادل 1.04 و 3.38 مرة من الضغط الجانبي والانتفاخ العمودي الناتج من ارتفاع منسوب الماء الجوفي.

تعتبر عملية استبدال التربة الانتفاخية بمزيج من الرمل–بينتونايت طريقةً ناجحة للتقليل من الضغط الجانبي والتشوه الجانبي للجدار بالإضافة إلى الانتفاخ العمودي للتربة، عندما يقع منسوب الماء الجوفي على عمق قليل تحت سطح الأرض. بينما تعد طريقة استبدال التربة غير فعالة عندما يقع منسوب الماء الجوفي على عمق كبير تحت سطح الأرض.

أجريت دراسة واقعية على جدار ساند لتربة انتفاخية في مدينة الموصل. وضحت نتائج التحليل النظري إن الجدار لا يحصل فيه تشوه عندما يقع منسوب الماء الجوفي على عمق كبير تحت سطح الأرض، كما إن التشوه الجانبي للجدار يزداد عند زيادة ارتفاع الجدار وارتفاع منسوب الماء الجوفي. ويزداد الضغط الجانبي للجدار مع زيادة عمق الجدار ويصل إلى أعلى قيمة عند عمق 0.625 م ثم يقل. وينتفخ سطح التربة بشكل منتظم عندما يقع الماء الجوفي على عمق يساوي ارتفاع الجدار تحت قاعدة الجدار. واخيراً اتفقت النتائج التي تم الحصول عليها من التحليل النظري مع تلك المسجلة حقلياً على الجدار الساند في مدينة الموصل.

جامعة الموصل
كلية الهندسة

تحليل عملي وعددي لجدار ساند في الترب الانتفاخية المشبعة-غير المشبعة

خولة احمد خليل الجواري

اطروحة دكتوراه فلسفة في
الهندسة المدنية-الجيوتكنيك

باشراف
أ.د. سهيل ادريس عبدالقادر خطاب
أ.م.د. محمد قاسم محمد الشمام
أ.د. محمد يوسف فتاح

1439هـ **2018 م**