Effect of Support System Stiffness on the Stability of the Tunnel

MSc Thesis submitted to

Civil Engineering Department / College of Engineering

University of Mosul

By

Mohammed Ali Amin

Supervised by

Prof. Dr. Moataz A. Al-Obaydi

2022

Abstract

The rock-bolt and concrete lining have been an essential structural element of the supporting system in order to regulate stress redistribution and reduce tunnel boundary displacement. Bolt properties, such as length, diameter and distribution pattern, besides lining thickness variation, are crucial factors in this domain. A parametric study was carried out using the Plaxis 2D numerical finite element program. A geometry model is created by numerical simulation with the semicircle tunnel shape of a height (H = 9 m) and width of (B = 10 m).The study is undertaken to investigate the effects of different bolt and lining parameters on tunnel stability in terms of radial and tangential stress redistribution with maximum boundary displacement of the tunnel in two soil types: soft and hard soil. Bolt's parameters were available in five sizes 16, 22, 25, 28, and 32 mm and four lengths 3, 4, 5, 6 m were selected. The lining changeable parameter was only its thickness by taking four different thicknesses of 30, 35, 40, and 50 cm, respectively.

In addition, an assessment of a section of the Haybet Sultan tunnel is conducted as a case study in this research. A Horseshoe tunnel shape with height of (H_t = 9.6 m) and width of ($W_{t.}$ = 12.25 m) is sketched. This tunnel is supported by preliminary support of a 28mm fully embedded bolt of 6m and the reinforced shotcrete of 25cm thickness. Then a 40cm of reinforced concrete is applied as an inner lining.

During the parametric study, it was observed that in both soil types, the bolt role in the stress redistribution is minor relative to the lining effect. Its effect is more pronounced in displacement reduction. The lining effect is relatively higher than the bolt in both stresses' redistribution and displacement reduction. The performance of the lining is best in soft soil. The combined support is best for the hard at the tunnel crown.

In soft soil applying a 3m,32mm bolt as best choice of the bolt, led to increasing the ($\sigma y/\sigma y_o$) at tunnel crown 3 times and ($\sigma x/\sigma x_o$) at sidewall 7.7

times. In the hard soil the 6m, 32mm bolt effect the ($\sigma y/\sigma y_o$) at the crown more than 3 times and 2.82 times on ($\sigma x/\sigma x_o$) at the sidewalls.

The soft soil showed the largest boundary displacement at all. The sidewall displacement is greater than the crown displacement at excavation in the soft soil. Generally, bolts at the sidewalls performed better than at the crown. In displacement reduction, the maximum displacement in the side walls was about 166 cm in soft soils at the excavation phase. It reduced by 31.52% when using a 3m bolt with a diameter of 32 mm. In hard soil, the reduction percentage of crown displacements when using a 6-m bolt with a diameter of 32 mm, become 8.6% as the best choice of the bolt. The bolt showed a decrease in the floor displacement by 20% and 3.6% in soft and hard soils, respectively.

In the soft soil, the performance of the lining was much better than the bolt effect. It's reduced the displacement at sidewall (when using a lining of 50 cm thickness) from 165.6 cm to only 5 cm which is means a 97% reduction and also shows a 98.4% reduction for crown displacement. The combined structure of 6m length with 32mm diameter can be combined with 30cm at the tunnel sidewall but it's not the preferred option and has the same effect as the lining at the crown. In hard soil the combined of 30cm with 6m,32mm bolt is better than the 50cm lining at the crown and sidewall.

For the tunnel in the case study, it is observed that the inner lining has crucial effect on the stress ratios then the shotcrete effect as a second level. This pattern of the stress increment at the tunnel border leads to more stability. At the tunnel crown and sidewall, the 28mm, 6m rock-bolt doesn't affect these ratios effectively. Meanwhile the inner lining support amplified the ($\sigma x/\sigma x_o$) by 4.6 times and ($\sigma y/\sigma y_o$) by 26.74 times at crown. The ($\sigma x/\sigma x_o$) and ($\sigma y/\sigma y_o$) at the sidewall are amplified by 14.86 and 5.39 times, respectively. The shotcrete at the crown induced an increase by 1.06 and 13.87 times for radial and tangential ratios, respectively. The ($\sigma x/\sigma x_o$) and ($\sigma y/\sigma y_o$) increased by 7.91 and 1.46 times, respectively at the tunnel sidewall.

تأثير صلابة نظام الدعم على ثباتية النفق

رسالة تقدم بها

محمد علي امين

إلى

مجلس كلية الهندسة في جامعة الموصل

كجزء من متطلبات نيل شهادة الماجستير في علوم هندسة المدنية

(اختصاص ميكانيك تربة وهندسة الأسس)

بإشراف

الأستاذ

أ.د.معتز عبدالجبار محمد العبيدي

2022

الملخص

إن المسمار (البولت) الصخري والبطانة الخرسانية كانتا عنصران أساسين في النظام الهيكلي الداعم لغرض تنظيم اعادة توزيع الإجهادات وتقليل إزاحات في محيط النفق. ان خصائص المسمار مثل الطول والقطر ونمط التوزيع ، إلى جانب تباين سمك البطانة ، من العوامل المهمة في هذا المجال. تم إجراء دراسة معلمية باستخدام تقنية تحليل العناصر العددية عن طريق برامج (Plaxis 2D) للتحقق من تأثيرات معاملات المسمار والبطانة المختلفة على ثباتية النفق من حيث إعادة توزيع الإجهادات المحورية والمماسية و الإزاحات حدودية للنفق وذلك في نوعين من الأتربة: تربة رخوة واخرى صلبة. تم استخدام مسمار بخمسة أقطار (16 ، 22 ، 25 ، 28 ،32) ملم و بأربعة أطوال مختلفة (3 ، 4 ، 5 ، 6) م. تبنت الدراسة اربعة سماكات مختلفة للبطانة الخرسانية (30 و 35 و 40 و 50) سم على التوالي.

بالإضافة إلى ذلك ، تم إجراء تقييم لقسم من نفق قيد الانشاء في جبل هيبت سلطان في قضاء كوية محافظة أربيل كدراسة حالة في هذا البحث. يتم استخدام نظام دعم أولي مكونة من مسامير ذات مقاس 28 مم وبطول 6 أمتار ومن الخرسانة المرشوشة ذات سمك 25 سم, ونظام دعم نهائي باستخدام 40 سم من الخرسانة المسلحة كبطانة داخلية.

من خلال الدراسة المعلمية ، لوحظ أنه في كلا النوعين من الأتربة المستخدمة ، يكون دور المسمار في إعادة توزيع الضغط ضئيلا بالمقارنة لتأثير البطانة. أما تأثيره فيكون أكثر وضوحا في تقليل الإزاحات الحدودية. إن تأثير البطانة يكون في إعادة توزيع الإجهادات وتقليل الإزاحة. بصورة عامة يكون أداء البطانة أفضل في التربة الرخوة. الدعم المشترك هو الأفضل للقوة عند التاج.

أظهرت التربة الرخوة أكبر إزاحة حدودية بمقدار حوالي 166 سم. بشكل عام ، كان أداء المسمار الصخري عند الجدران الجانبية أفضل من أداءها عند التاج النفق. في تقليل الإزاحة ،. حيث تم تقليله بنسبة 31.52٪ عند استخدام بولت بطول 3 م وبقطر 32 مم. تصبح نسبة التخفيض

الازاحة في التربة الصلبة عند التاج النفق بنسبة 8.6٪ وذلك عند استخدام بولت بطول 6 م وبقطر 32 مم كأفضل خيار. أظهر المسمار انخفاضًا في إزاحة عند أرضية النفق بنسبة 20٪ و 3.6٪ في التربة الرخوة والصلبة على التوالي.

في التربة الرخوة, تم تقليل الإزاحة عند الجدار الجانبي (عند استخدام بطانة بسمك 50 سم) من 165.6 سم إلى 5 سم فقط مما يعني انخفاض بنسبة 97٪ ويظهر أيضًا انخفاض بنسبة 98.4٪ لإزاحة التاج. يمكن استخدام الهيكل المدمج مكون من المسمار الصخري بطول 6 أمتار وقطر 32 ملم مع بطانة خرسانية بسمك 30 سم كخيار أفضل من استخدام البطانة 50 سم بصورة مفردة عند التاج والجدار الجانبي.

أظهرت نتائج دراسة لتحليل مقطع من نفق " جبل هيب سلطان" أن البطانة الداخلية لها تأثير حاسم على نسب الإجهادات المحورية والممساية يليها تأثير الخرسانة المرشوشة كمستوى ثان. حيث ان النمط الذي اظهره في زيادة الضغط عند حدود النفق يظهر مزيدا" من الاستقرارية عند التاج والجدار الجانبي للنفق. لا يؤثر المسمار الصخري المستخدم على هذه النسب بشكل فعال و يقتصر دورها في منع حدوث سقوط للكتل الصخري اثناء الحفر.