

Cylindrical cavity expansion in Hoek-Brown rock

Analytical Solution with experimental Validation through pressuremeter tests in marls and numerical modeling

Sami Hamdi¹ and Steve Gruslin¹

*¹GEOCONSEILS S.A., Department of Geotechnics and Engineering Geology, 4, rue Albert Simon, L-5315 Contern, Luxembourg
Corresponding author:*

ABSTRACT

The cylindrical cavity expansion problem is an important aspect of geotechnical engineering, with applications in tunneling, geothermal exploration, drilling activities, and underground construction. This study develops a closed-form analytical solution for the expansion of cylindrical cavities in rock masses modeled as elastic-plastic media using the Hoek-Brown (H-B) yield criterion. The solution uses the Lambert W function to express stress distributions, while strains are calculated based on a non-associated plastic flow rule. Key results include predictions for the yielding pressure, plastic zone extent, and stress profiles around the cavity.

To validate the analytical model, pressuremeter tests were conducted in marls, providing experimental data for comparison. Finite element analyses (FEA) were also performed using PLAXIS 2D, with the Hoek-Brown criterion implemented to ensure consistency. Calibration of the numerical model confirmed the accuracy of the simulations for the cavity expansion process.

A comparison of the analytical solution, experimental data, and numerical results shows good agreement, supporting the reliability of the proposed method. While some discrepancies are observed, particularly in the transition between elastic and plastic zones, the analytical approach offers a useful tool for predicting key parameters such as yielding pressure, stress distribution, and plastic zone extent. These results suggest that the analytical method can serve as an efficient alternative to numerical simulations in certain geotechnical applications, particularly when computational efficiency is desired. This study contributes to a deeper understanding of cavity expansion mechanics in rock masses and provides practical insights for the design and analysis of underground structures.

RESUME

Le problème de l'expansion de cavités cylindriques est crucial en ingénierie géotechnique, notamment pour le tunnelier, l'exploration géothermique, le forage et la construction souterraine. Cette étude propose une solution analytique pour l'expansion des cavités cylindriques dans des masses rocheuses modélisées comme des milieux élasto-plastiques selon le critère de Hoek-Brown. La solution utilise la fonction Lambert W pour exprimer les distributions de contraintes, tandis que les déformations sont calculées à l'aide d'une règle de flux plastique non associée. Les principaux résultats incluent la prédiction de la pression de rupture, l'étendue de la zone plastique et les profils de contraintes autour de la cavité.

Afin de valider le modèle, des essais de pressiomètre ont été réalisés dans des marnes, fournissant des données pour la comparaison. Des simulations par éléments finis (PLAXIS 2D) ont également été effectuées, intégrant le critère de Hoek-Brown. La calibration du modèle numérique a confirmé la précision des simulations.

Les comparaisons entre la solution analytique, les données expérimentales et les résultats numériques montrent une bonne cohérence, validant la méthode proposée. Bien que des divergences existent dans la transition entre zones élastiques et plastiques, l'approche analytique permet de prédire des paramètres clés comme la pression de rupture et la zone plastique. Cette méthode représente une alternative efficace aux simulations numériques, surtout lorsque l'efficacité de calcul est nécessaire, et offre des perspectives pour la conception des structures souterraines.

Keywords: Cylindrical cavity expansion, Lambert W function, Hoek-Brown, pressuremeter tests, marls, PLAXIS 2D, yielding pressure.