

PhD thesis:

Winarputro Adi RIYONO

Title:

CJS-RE: A hierarchical constitutive model for rammed earth

Abstract:

Rammed earth is a vernacular building technique consisting in compacting successively layers of moist earth within formworks. This technique is present worldwide and in particular in the region Auvergne-Rhône-Alpes in France. As no regulation exists for rammed earth structures in France, the owners of such structures are helpless at the time when repairing damages appearing in any aging heritage structures. Moreover, this lack of regulation tends to slow down the development of such a constructive solution in new projects though this technique answers many of the issues raised by the sustainable development. The work presented herein is part of the national research project PRIMATERRE devoted to the study of construction building involving earth.

Herein, an elasto-plastic constitutive law is developed for modeling the behavior of rammed earth. It is based on a hierarchical approach of the modeling in relation to the information available to identify the set of model parameters and the refinement of phenomena to be modelled. This model was adapted from a pre-existing CJS model used in advanced foundation engineering for the modelling of granular soils. The necessary adaptation of some mechanisms of the model in the context of rammed earth material which holds the characteristics of a quasi-brittle material is highlighted.

Two levels for the model denoted CJS-RE which can be used in the context of monotonous loadings are presented herein. The first level is a simple elastic perfectly plastic model (CJS-RE1) and the second model is an elasto-plastic model with an isotropic hardening (CJS-RE2). Two mechanisms of plastic deformation are involved, one related to purely deviatoric phenomena and one related to tensile phenomena. The validation of the model was performed based on different sets of actual tests including diagonal compression tests and pushover tests on wallets. The simple elasto-plastic model CJS-RE1 was able to capture some basic features for these two tests and may be used for a first estimate of the system resistance. The more sophisticated model CJS-RE2 was found better to retrieve the nonlinear behavior of rammed earth over a larger range of deformations throughout both a diagonal compression test and a pushover test.

Finally, the modelling of interfaces between layers of earth seems oversized when the resistance of the system is investigated. However, since they may influence the simulated ductility of the system, they may be used to model the behavior of rammed earth system more precisely.

Keywords: constitutive model, elasto-plastic, interfaces

Resumé:

Le pisé est une technique constructive vernaculaire consistant à compacter successivement des couches de terre humide entre des coffrages. Cette technique, présente dans le monde entier, l'est en particulier en France dans la région Auvergne-Rhône-Alpes. Comme il n'existe pas de réglementation attachée à cette technique constructive, il est très difficile pour des propriétaires de réparer leur bien. Le développement de cette technique pour de nouveaux projets souffre aussi de cette absence alors qu'elle répond à certains enjeux posés par le Développement Durable. Le travail présenté ici fait partie intégrante du projet national PRIMATERRE dédié à l'étude des constructions impliquant de la terre.

Une loi de comportement élasto-plastique est développée dans ce travail pour modéliser le comportement du pisé. Elle s'appuie sur une approche hiérarchisée de la modélisation en lien avec le nombre d'essais disponibles pour identifier les paramètres de modèle mais aussi en lien avec la complexité de phénomènes à prendre en compte. Ce modèle s'inspire d'un modèle pré-existant, CJS, développé en géotechnique pour modéliser le comportement mécanique des matériaux granulaires. Une adaptation s'est imposée pour prendre en compte les spécificités du comportement mécanique du pisé qui possède de nombreuses similitudes avec celui des matériaux quasi-fragiles.

Deux niveaux de modélisation pour le modèle de comportement appelé CJS-RE sont présentés, pouvant être utilisés dans un contexte de sollicitation monotone. Le premier niveau CJS-RE1 est un modèle élastique parfaitement plastique alors que le second niveau CJS-RE2 est un modèle élasto-plastique à écrouissage isotrope. Deux mécanismes de déformation plastique sont présents, l'un lié aux phénomènes purement déviatoires et l'autre aux phénomènes de traction. La validation du modèle a été entreprise sur la base de la simulation d'essais en laboratoire de compression diagonale et de chargement latéral (pushover) sur des murets, issus de la littérature. Le niveau CJS-RE1 a été capable de capturer les phénomènes essentiels issus de ces deux tests et peut être utilisé comme une première approche des problèmes. Le niveau CJS-RE2 a permis de retrouver plus précisément le comportement non linéaire du pisé sur une large gamme de déformations, que ce soit dans l'essai de compression diagonale ou dans le pushover.

Enfin, la prise en compte d'interfaces entre les couches dans la modélisation semble constituer une approche surdimensionnée lorsque seule la résistance d'un système constitué en pisé est recherchée. Cependant, parce qu'elles apportent une certaine ductilité au système dans la modélisation, elles peuvent être utilisées lorsque des résultats plus détaillés sont attendus.

Mots-clés: modèle constitutif, élasto-plastique, interfaces