

Abstract

The work presented in this thesis has been developed at the Department of Civil Engineering of University of Minho, Portugal, and at the Department of Structural Engineering of Politecnico di Milano, Italy.

Recent sudden collapses of famous historical buildings, as the Pavia Civic Tower in 1989 or the Noto Cathedral in 1996, has drawn the attention of researchers to the compressive behaviour and time-dependent effects of heavily stressed masonry structures, with an emphasis in multiple-leaf pillars and walls, as this typology is frequently found in historical centres. The objective of this research is to contribute to the present state of knowledge in these fields.

For masonry under compression, a validation of simple analytical methods and non-linear continuum simulations based in plasticity and cracking has been performed. In fact, sophisticated non-linear models are now standard in several finite element based programs but the ability of such models to predict the compressive strength of masonry based on the properties of the constituents, units and mortar, is still an insufficiently debated issue. In the present study, the results obtained using non-linear continuum models and simple analytical methods, based on elastic considerations, have been compared with experimental results available in literature. A clear overestimation of the experimental strength by both numerical models and analytical methods was found, except by the empirical formulas provided by the European and North-American codes, which underestimated the experimental strength.

Alternative modelling approaches that account for the discrete nature of masonry components are therefore of interest, in order to provide reliable estimations of masonry compressive strength. A detailed analysis of a particle model consisting in a phenomenological discontinuum approach to represent the micro-structure of units and mortar was therefore addressed. The micro-structure attributed to masonry components is composed by linear elastic particles of polygonal shape separated by non-linear interface elements. All the inelastic phenomena occur in the interfaces and the process of fracturing consists of progressive bond-breakage. Clear advantages have been shown by the particle model, when compared to continuum models.

In the referred collapses of the Pavia Civic Tower or the Noto Cathedral, the time-dependent mechanical damage of heavily stressed walls and pillars was identified as a possible main cause of collapse. In this study, an experimental investigation has been conducted on a total of 25 ancient masonry prisms, which included standard compression tests, short-term creep tests and long-term creep tests. The results obtained and their careful interpretation are provided.

Multiple-leaf masonry walls and pillars are a typology often found in historical buildings, namely in the Noto Cathedral. Nevertheless, predicting the compressive behaviour of multiple-leaf masonry is a challenging issue, given the influence of a wide range of factors as the mechanical properties of the leaves, the leaves dimensions and the way the leaves are connected to each other. In the present study, an integrated experimental-numerical research program on the behaviour of large three-leaf masonry wallets subjected to shear and compression has been setup and novel experimental results are introduced, together with a careful numerical interpretation. A discussion on simplified calculations for practical assessment of existing walls is also addressed.

Resumo

O trabalho apresentado nesta tese foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho e no Departamento de Engenharia Estrutural do Politecnico di Milano, Itália.

O colapso súbito de algumas construções históricas famosas ocorrido recentemente, como por exemplo a Torre Cívica de Pavia em 1989 e a Catedral de Noto em 1996, despertou o interesse da comunidade científica sobre o comportamento à compressão e efeitos diferidos em estruturas de alvenaria sob estados de compressão muito elevados, nomeadamente em paredes e pilares de alvenaria composta, dada a importante presença deste tipo de elementos em centros históricos. Este trabalho tem como objectivo contribuir para o presente estado de conhecimento nestas áreas.

No caso da alvenaria submetida a esforços de compressão, procedeu-se à validação de métodos analíticos simplificados e de modelos não lineares contínuos, baseados em plasticidade e fendilhação. De facto, modelos não-lineares sofisticados são hoje correntes em diversos programas de elementos finitos. No entanto, a capacidade desses modelos em estimar correctamente a resistência à compressão da alvenaria, com base nas propriedades dos componentes, não se encontra ainda devidamente analisada. Neste trabalho, os resultados obtidos utilizando métodos numéricos do contínuo não-linear e métodos analíticos simplificados, baseados em hipóteses do domínio da elasticidade, foram comparados com resultados experimentais disponíveis na bibliografia. Constatou-se que os resultados numéricos sobrestimavam claramente os resultados experimentais, exceptuando os resultados obtidos de acordo com os regulamentos europeu e norte-americano, que os subestimavam.

Desta forma, abordagens numéricas alternativas que considerem a natureza discreta dos componentes da alvenaria revestem-se de grande importância para uma correcta previsão da resistência à compressão da alvenaria. Realizou-se, assim, uma análise detalhada de um modelo de partículas consistindo numa abordagem fenomenológica e discreta para representar a micro-estrutura das unidades e da argamassa. A micro-estrutura atribuída aos componentes da alvenaria é constituída por partículas de forma poligonal e comportamento elástico linear, separadas por interfaces com comportamento não-linear. Todos os fenómenos inelásticos ocorrem nas interfaces e o processo de fractura consiste na

progressiva rotura da ligação entre partículas. Claras vantagens foram observadas pelo modelo de partículas quando comparado com o modelo contínuo.

Nos referidos casos de colapso da Torre Cívica de Pavia e da Catedral de Noto, o comportamento diferido de paredes e pilares de alvenaria sob elevadas cargas verticais foi apontado como uma possível principal causa de colapso. Neste estudo, foi realizada uma investigação experimental em 25 provetes de alvenaria antiga, que inclui ensaios monotónicos, ensaios de fluência de curto-prazo e ensaios de fluência de longo-prazo. Os resultados obtidos e a sua interpretação cuidada são apresentados neste trabalho.

Paredes e pilares de alvenaria composta são uma tipologia frequentemente observada em construções históricas, nomeadamente na Catedral de Noto. No entanto, prever o comportamento à compressão de paredes compostas de alvenaria representa um importante desafio, dada a influência de um elevado número de factores como as propriedades mecânicas dos panos, a dimensão relativa dos panos e a forma como os panos estão ligados entre si. Neste estudo, novos resultados experimentais em provetes de três panos de grandes dimensões, ensaiados ao corte e à compressão, são apresentados em conjunto com uma interpretação numérica dos resultados. É apresentada, ainda, uma discussão sobre cálculos simplificados para avaliação expedita de paredes existentes.