

Abstract

A mixed elastic-rigid model for masonry structures

by Ida MASCOLO

Masonry is one of the oldest construction materials used by man and still widespread worldwide. Historic buildings with a masonry structure are generally admirable engineering works with paramount socio-economic value and profile of cultural heritage. Despite their high durability when compared to other types of structures (e.g., concrete or steel structures) the masonry structures are especially vulnerable to settlements so that an accurate predictions of their capacity against settlements is of some importance. In the last decades, intensive research has been carried out to develop numerical models with different degrees of complexity able to describe the non-simple behavior of masonry structures under external loads and settlements, but the theme is still open and there is not yet a universally recognized analysis method applicable to any kind of problem.

This dissertation focuses on fracture mechanisms in unilateral masonry-like structures on spreading abutments. Structures composed of unilateral masonry like material are, usually, modelled as a multibody composed of both rigid or elastic blocks, with unilateral no-friction contact condition. However, in this dissertation I present a new approach in which the multibody is composed of a mixed elastic-rigid (i.e., pseudo-rigid) material with unilateral friction contacts subjected to a Principle of Maximum Dissipation. The key contributions of this dissertation consist, on one hand, in introducing a vanishing “fictitious” elasticity useful to give mathematical convergence of the problem and, on the other hand, in taking into account frictional sliding of the blocks with an associative flow rule (i.e., Tresca law). This last assumption implies a normal dilatancy (in real cases essentially due to the roughness of the contact), which gives a useful interpretation of real frictional joints, and produces a frictional contact problem which is expressed through an elliptic variational inequality formulation and can be treated as a standard Convex Optimization Problem.

In this setting, two approaches are implemented: a Piecewise Elastic-Rigid Displacement approach and a Continuous Elastic-Rigid displacement approach. The first approach reduces the Convex Optimization Problem to a Linear Programming Problem, via a block-based approximation, the second one reduces the Convex to a Second-Order Cone Optimization Problem via a FEM-like approximation. Three applications to real structural engineering problems are presented in order to highlight the features, the reliability and the innovation of the proposed method from both a methodological and a practical viewpoint emphasizing the contribution to the issue.

La muratura può considerarsi uno dei materiali da costruzione storicamente più utilizzato dagli uomini e ancora molto diffuso in tutto il mondo. Gli edifici storici con struttura portante in muratura sono generalmente opere di ingegneria straordinarie tanto da costituire un importante patrimonio culturale con un valore socio-economico inestimabile. Nonostante la loro elevata durabilità rispetto ad altri tipi di strutture (i.e., strutture in calcestruzzo o acciaio), le strutture in muratura si mostrano particolarmente vulnerabili rispetto ai cedimenti, cosicché una previsione accurata della loro capacità contro di essi riveste una certa importanza. Negli ultimi decenni la ricerca ha speso molte energie nello sviluppo di modelli numerici, con diversi gradi di complessità, che fossero in grado di descrivere il complesso comportamento delle strutture murarie sotto carichi e cedimenti esterni. Ciononostante, allo stato attuale non esiste ancora un metodo di analisi universalmente riconosciuto per affrontare il problema in maniera univoca e completa.

Questa tesi si concentra sull'identificazione dei possibili meccanismi di frattura in strutture in muratura soggette a vincoli unilaterali e cedimenti in fondazione. Tali strutture sono, generalmente, modellate come un insieme discreto di blocchi, rigidi oppure elastici, con condizioni di contatto unilaterale privo di attrito. In questa tesi presento un nuovo approccio in cui la muratura è modellata con un insieme di blocchi pseudo-rigidi con contatto attritivo e unilaterale, soggetti al Principio di Massima Dissipazione. I contributi chiave di questa tesi consistono, da un lato, nell'introduzione di un'elasticità "fittizia", utile a garantire la convergenza matematica del problema e, dall'altro, nella modellazione dello scorrimento per attrito dei blocchi attraverso una legge di flusso associato (e.g., legge Tresca). Quest'ultima ipotesi implica una certa dilatanza (nei casi reali essenzialmente dovuta alla rugosità del contatto), che fornisce un'utile e realistica interpretazione dei giunti attritivi tipici delle strutture in muratura. Inoltre, essa consente di formulare il problema di contatto attritivo attraverso una formulazione di disuguaglianza variazionale ellittica che può essere trattato come un problema di ottimizzazione convessa standard. In questo contesto, vengono implementati due approcci agli spostamenti: un approccio finito dimensionale (Piecewise Elastic-Rigid Displacement approach) ed un approccio al continuo (Continuous Elastic-Rigid displacement approach). Il primo approccio riduce il problema di ottimizzazione convesso a un problema di programmazione lineare, tramite un'approssimazione basata su blocchi, il secondo riduce il problema di ottimizzazione convesso a un problema di ottimizzazione conica del secondo ordine tramite un'approssimazione di tipo FEM. Vengono, infine, presentate tre applicazioni a problemi reali di ingegneria strutturale al fine di evidenziare le caratteristiche, l'affidabilità e l'innovazione del metodo proposto sia da un punto di vista metodologico che pratico sottolineando il contributo al problema.