

Resumo

A verificação consistente da segurança de estruturas de betão quando se utilizam métodos de análise não linear é um assunto que tem merecido especial atenção no seio da comunidade técnica e científica. As inconsistências existentes na actual regulamentação relativamente aos formatos de segurança têm sido objecto de ampla discussão e de procura de propostas alternativas. A investigação nesta área é por isso de interesse, justificando-se o desenvolvimento de metodologias de avaliação da segurança de nível superior como ponto de partida para a definição de regras simplificadas, lógicas e coerentes. O estabelecimento destas regras deverá basear-se no estudo de vários casos correntes de estruturas de betão tendo em conta as variabilidades das grandezas envolvidas nestes problemas. Exige-se assim a aplicação de modelos de análise estrutural e técnicas probabilísticas que permitam considerar o comportamento não linear dos materiais e avaliar da forma mais rigorosa possível a segurança.

Tendo em atenção os aspectos referidos no parágrafo anterior, desenvolveram-se metodologias de análise de segurança (ou fiabilidade) estrutural. Estas metodologias resultam da associação de técnicas probabilísticas com modelos de análise não linear de estruturas de betão.

Embora seja dado maior destaque às técnicas de análise de segurança, não se descurou a implementação de modelos de análise estrutural. Assim, desenvolveu-se um modelo numérico fundamentado em relações constitutivas que permitem descrever o comportamento não linear instantâneo e diferido dos materiais. Este modelo, apoiado na técnica dos elementos finitos, permite traçar a resposta de estruturas de betão armado e pré-esforçado desde a fase inicial até ao colapso.

Relativamente à avaliação probabilística da segurança existem dois aspectos que condicionam fortemente a solução deste tipo de problemas: o rigor e a eficácia. Tendo presente estes aspectos, desenvolveram-se duas metodologias alternativas: a metodologia baseada no método de Monte Carlo e a metodologia da superfície de resposta baseada nas técnicas de fiabilidade clássicas. Enquanto que na primeira o rigor é a sua característica dominante, na segunda dá-se maior relevância à eficácia. Destacam-se também as técnicas estatísticas desenvolvidas para tornar eficaz a aplicação do método de Monte Carlo. Descrevem-se ainda os procedimentos desenvolvidos para analisar a sensibilidade da resposta em relação às variáveis simuladas.

As presentes metodologias são utilizadas na discussão e clarificação de aspectos regulamentares relativos à verificação da segurança de estruturas de betão. Realizam-se várias aplicações práticas que servem de base à definição de regras simplificadas de avaliação da segurança de estruturas porticadas quando se utilizam métodos de análise não linear. Finalmente, apresenta-se o estudo de um exemplo prático, permitindo avaliar o desempenho dos métodos desenvolvidos com vista ao conhecimento mais aprofundado do comportamento das estruturas e à avaliação (e eventual reavaliação) da segurança e validação das soluções de projecto.

Abstract

A rational format for checking the structural safety when dealing with nonlinear methods of analysis is a matter of great interest within the technical and scientific community. The difficulties encountered in drafting the recent concrete design codes have been discussed and alternative formats proposed. The development of a high level safety methodology, as a starting point to propose simple and consistent rules, is today an important research area. These rules should be based on the study of various current structures, taking into account variabilities of material, geometric and load parameters. The use of structural models and probabilistic techniques, to describe material nonlinear behaviour and to evaluate accurately the structural safety, is mandatory.

Methods for the analysis and evaluation of the structural reliability of concrete structures were developed. These methods are the result of the adequate combination between probabilistic techniques and methods of nonlinear analysis of concrete structures.

Although the development of reliability techniques are the first objective of this work, a significant effort was made to implement the existing structural models of analysis. A numerical model based on realistic constitutive relationships was developed wherein nonlinear and time dependent behaviour of material was considered. This model, supported by finite element techniques can trace the structural response from the initial state up to the collapse by using an incremental-iterative procedure.

Probabilistic structural safety evaluation is conditioned mainly by two features, namely the accuracy and the efficiency. Considering these aspects two alternative methodologies were developed: a methodology based on Monte Carlo method and a response surface approach supported by classic reliability techniques. The former is characterised by its accuracy and the latter by its efficiency. Statistical techniques are combined with simulation Monte Carlo method to obtain accurate results with a minimum number of samples. Procedures to perform a sensitivity analysis of the response in order of basic variables are also described.

The approaches developed are applied to discuss and clarify some features related to the safety format presented by concrete structural codes. Practical applications are performed to provide consistent simple rules to evaluate safety of frame structures when nonlinear methods of analysis are used. Finally, a practical example is presented to point out the potentialities of present methods to infer structural behaviour of concrete structures, to evaluate (or re-evaluate) the structural safety and to design validation.