

Resumo

A regulamentação europeia de Engenharia de Estruturas (Eurocódigos, CEB - FIP Código Modelo 1990) recentemente publicada aponta para uma maior utilização do cálculo plástico e dos modelos de comportamento não-linear, justificando que seja dada maior atenção ao desenvolvimento e estudo da análise não-linear, com o apoio de métodos numéricos.

O presente trabalho tem como objectivo o estudo de problemas não-lineares unidimensionais em estruturas articuladas planas ou espaciais, contemplando a não-linearidade material e geométrica.

Na análise não-linear geométrica foram desenvolvidas e comparadas a formulação Lagrangeana Total e a Lagrangeana Actualizada, que são as mais correntemente usadas no estudo deste tipo de problemas. Foi ainda efectuada uma abordagem ao estudo de cargas críticas utilizando o método de Vianello.

Na análise não-linear material foram abordados diversos tipos de relações constitutivas, designadamente o comportamento bilinear elasto-plástico com diferentes tipos de endurecimento, o comportamento bilinear e curvilíneo (adoptando as curvas do CEB-MC90) do betão em compressão e o comportamento curvilíneo (CEB-MC90) e trilinear ("tension-stiffening") do betão em tracção. A simulação da resposta de barras de aço de construção metálica tendo em consideração o fenómeno de encurvadura foi também abordada.

São apresentados os algoritmos de solução mais correntemente utilizados na resolução de problemas estruturais, nomeadamente, o método do arco e o "line-search". São também utilizados procedimentos com vista a aumentar a eficácia do processo numérico, tal como o recomeço da análise, a incrementação automática do carregamento e cortes de incremento.

Os fundamentos da análise não-linear (geométrica, material e os algoritmos utilizados) são desenvolvidos e apresentados utilizando como ferramenta auxiliar um programa de cálculo automático. Com o objectivo de facilitar a compreensão das matérias tratadas, este programa está baseado em elementos uniaxiais de barra.

Abstract

The recently published european standards of structural engineering (Eurocodes, Model Code 1990) points towards a wider use of plastic and non-linear analysis, justifying the attention given to the development and study of the non-linear analysis supported by numerical methods.

The aim of this work is the study of non-linear unidimensional problems in plane or spacial trusses, looking into material and geometric non-linearity.

In the geometric non-linear analysis the two most current formulations were studied: Total Lagrangian and Updated Lagrangian, as well as the buckling load, according to the Vianello method.

In the material non-linear analysis several types of constitutive relations were studied, namely, the bilinear elasto-plastic with different kinds of hardening laws, the bilinear and curvilinear behaviour (adopting CEB-MC90 curves) for concrete in compression and the curvilinear (CEB-MC90) or trilinear ("tension-stiffening") behaviour for concrete in tension. The steel construction elements considering the effects of buckling in compressed members were also studied.

There are presented here some the most common solution algorithms for structural problems, for instance, the arc-length and the line-search methods. Other techniques were experienced in order to ease the non-linear analysis, such as the restart, automatic load incrementation and automatic increment cutting.

The basis of non-linear analysis (geometric, material and solution algorithms used) are developed and presented by using, as auxiliary tool, a computer program with uniaxial bar elements, which, owing to its simple formula, eases the comprehension of the related subjects.