

Shear strength mechanisms in reinforced concrete structures: a one-dimensional finite element approach

Mecanismos de resistência ao cisalhamento em estruturas de concreto armado: uma abordagem via método dos elementos finitos unidimensionais



C. G. NOGUEIRA^a
gorlanog@sc.usp.br

H. B. CODA^b
hbcoda@sc.usp.br

W. S. VENTURINI^c
venturin@sc.usp.br

Abstract

This paper shows the development of a mechanical model to reinforced concrete analysis based on the finite element method, taking into account the non-linear material behavior with shear strength mechanisms, such as shear reinforcement and dowel action. These mechanisms are coupled to a damage model for concrete to better represent the material stiffness loss, as well as the global response of beams. Numerical examples are presented to validate the model, verifying the importance of these contributions, mainly for hyperstatic beams with high span-to-depth ratio.

Keywords: Finite element method, damage, complementary mechanisms, shear strength, beams.

Resumo

Este trabalho apresenta um modelo mecânico para análise de vigas em concreto armado com base no método dos elementos finitos, considerando a não-linearidade física dos materiais em conjunto com mecanismos específicos de resistência ao cisalhamento do concreto armado, tais como a armadura transversal e o efeito de pino. Esses mecanismos são acoplados a um modelo de dano para o concreto com o objetivo de representar melhor as perdas de rigidez do material, bem como a resposta global das vigas. Foram apresentados exemplos numéricos para validação do modelo, verificando-se a importância dessas contribuições, principalmente em vigas hiperestáticas com elevada relação altura/comprimento.

Palavras-chave: Método dos elementos finitos, dano, mecanismos complementares, resistência ao cisalhamento, vigas.

^a Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, Pós-doutorando, gorlanog@sc.usp.br, Av. Trabalhador São-carlense 400, CEP 13560-000, São Carlos-SP, Brasil;

^b Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, Professor associado, hbcoda@sc.usp.br, Av. Trabalhador São-carlense 400, CEP 13560-000, São Carlos-SP, Brasil;

^c Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, Professor titular, venturin@sc.usp.br, Av. Trabalhador São-carlense 400, CEP 13560-000, São Carlos-SP, Brasil.

5. Agradecimentos

Ao inestimável e saudoso professor Wilson Sergio Venturini por tudo que fez. À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo suporte financeiro.

6. Referências bibliográficas

- [01] KREFELD, W.J.; THURSTON, C.W. Studies of the shear and diagonal tension strength of simply supported reinforced concrete beams. *ACI Journal*, v.63, n.4, 1966; p.451-476.
- [02] DEI POLI, S.; DI PRISCO, M.; GAMBAROVA, P.G. Shear response, deformations and subgrade stiffness of a dowel bar embedded in concrete. *ACI Structural Journal*, v.89, n.6, November-December, 1992; p.665-675.
- [03] GERGELY, P. Splitting cracks along the main reinforcement in concrete members. Dept. of Structural Engineering, Report, Cornell University, 1969.
- [04] DULACSKA, H. Dowel action of reinforcement crossing cracks in concrete. *ACI Journal*, Proceedings, v.69, n.12, December, 1972; p.754-757.
- [05] JIMENES, R.; WRITE, R.N.; GERGELY, P. Bond and dowel capacities of reinforced concrete. *ACI Journal*, January, 1979; p.73-91.
- [06] WALRAVEN, J.C. Fundamental analysis of aggregate interlock. *Journal of the Structural Division, ASCE*, v.107, n.ST11, November, 1981; p.2245-2270.
- [07] LAIBLE, J.P.; WHITE, R.N.; GERGELY, P. Experimental investigation of seismic shear transfer across cracks in concrete nuclear containment vessels. Reinforced concrete structures in seismic zones. Detroit, American Concrete Institute, ACI Special Publication SP-53, 1977; p.203-206.
- [08] BAZANT, Z.P.; GAMBAROVA, P.G. Rough cracks in reinforced concrete. *Journal of the Structural Division, ASCE*, v.106, n.4, April, 1980; p.819-842.
- [09] MILLARD, S.G.; JOHNSON, R.P. Shear transfer across cracks in reinforced concrete due to aggregate interlock and to dowel action. *Magazine of Concrete Research*, v.36, n.126, 1984; p.9-21.
- [10] MARTÍN-PEREZ, B.; PANTAZOPOULOU, S.J. Effect of bond, aggregate interlock, and dowel action on the shear strength degradation of reinforced concrete. *Engineering Structures*, v.23, 2001; p.214-227.
- [11] HE, X.G.; KWAN, K.H. Modelling dowel action of reinforcement bars for finite element analysis of concrete structures. *Computers and Structures*, v.79, 2001; p.595-604.
- [12] EL-ARISS, B. Behavior of beams with dowel action. *Engineering Structures*, v.29, 2007; p.899-903.
- [13] SANCHES JR, F.; VENTURINI, W.S. Damage modelling of reinforced concrete beams. *Advances in Engineering Software*, v.38, 2007; p.538-546.
- [14] OLIVER, J.; LINERO, D.L.; HUESPE, A.E.; MANZOLI, O.L. Two-dimensional modeling of material failure in reinforced concrete by means of a continuum strong discontinuity approach. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, v.197, 2008; p.332-348.
- [15] NICKEL, R.E.; SECOR, G.A. Convergence of consistently derived Timoshenko beam finite elements. *Int. J. Num. Meth. Eng.*, v.5, 1972; p.243-253.
- [16] PRATHAP, G.; BHASHYAM, G.R. Reduced integration and the shear-flexible beam element. *J. Num. Meth. Eng.*, v.18, 1982; p.195-210.
- [17] HEYLIGER, P.R.; REDDY, J.N. A higher order beam finite element for bending and vibration problems. *Journal of sound and vibration*, v.126, n.2, 1988; p.309-326.
- [18] MAZARS, J. Application de la mécanique de l'endommagement au comportement non linéaire et à la rupture du béton de structure, Paris, 1984, Thèse de Doctorat d'État, Université Paris 6.
- [19] NOGUEIRA, C.G. Desenvolvimento de modelos mecânicos, de confiabilidade e de otimização para aplicação em estruturas de concreto armado. São Carlos, 2010, Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 345 p.
- [20] KACHANOV, L.M. Time of rupture process under creep conditions. *Izvestia Akademii Nauk, USSR (em russo)*, n.8; 1958, p.26-31.
- [21] LEMAITRE, J.; CHABOCHE, J.C. *Mécanique des matériaux solides*. Paris, Dunod-Bordas; 1985.
- [22] BOTTA, A.S. Cálculo de esforços e deslocamentos em estruturas reticuladas considerando a mecânica do dano no contínuo para a modelagem do concreto armado. São Carlos, 1998, Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 98 p.
- [23] PITUBA, J.J.C. Estudo e aplicação de modelos constitutivos para o concreto, fundamentados na mecânica do dano contínuo. São Carlos, 1998, Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 130 p.
- [24] PAULA, C.F. Contribuição ao estudo das respostas numéricas não-lineares estática e dinâmica de estruturas reticuladas planas. São Carlos, 2001, Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 128 p.
- [25] ÁLVARES, M.S. Estudo de um modelo de dano para o concreto: formulação, identificação paramétrica e aplicação com o emprego do método dos elementos finitos. São Carlos, 1993, Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 123 p.
- [26] ARAÚJO, F.A. Formulação de um modelo de dissipação concentrada para análise não-linear de estruturas reticuladas planas em concreto armado. São Carlos, 2007, Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 232 p.

- [27] OWEN, D.R.J.; HILTON, H. Finite elements in plasticity. Swansea, U.K, Pineridge Press; 1980.
- [28] PROENÇA, S.P.B. Sobre modelos matemáticos do comportamento não-linear do concreto: análise crítica e contribuições. São Carlos, 1988, Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 330 p.
- [29] BELARBI, A.; HSU, T.T.C. Stirrup stresses in reinforced concrete beams. ACI Structural Journal, September-October, 1990; p.530-538.
- [30] SOROUSHIAN, P.; OBASEKI, K.; ROJAS, M.C. Bearing strength and stiffness of concrete under reinforcing bars. ACI Materials Journal, v.84, n.3, May-June, 1987; p.179-184.
- [31] NEVES, R.A. Cálculo de esforços e deslocamentos em estruturas de pisos de edifícios considerando-se a influência das tensões cisalhantes. São Carlos, 2000, Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 132 p.