

PROTECȚIA ANTISEISMICĂ A STRUCTURILOR ÎN CADRE CU CONTRAVÂNTUIRI CU FLAMBAJ ÎMPIEDECAT

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnică Timișoara

în domeniul de doctorat inginerie civilă și instalații

autor ing. Ciprian-Ionuț Zub

conducător științific Acad.Prof.univ.dr.ing. Dan Dubină

noiembrie 2018

1. Abstract

Proiectarea anti-seismică a clădirilor amplasate în zone seismice are o importanță critică în prevenirea de pierderi de vieți omenești și distrugerii de bunuri materiale. În ultimele decade au fost propuse câteva sisteme structurale anti-seismice pentru a reduce și a controla avarierea clădirilor în timpul unui cutremur. Acest tip de sisteme utilizează elemente disipative ("siguranțe" structurale) pentru protecția clădirii. Un exemplu de "siguranță" structurală o reprezintă contravântuirea cu flambaj împiedecat (BRB). În comparație cu contravântuirea convențională, BRB-urile s-au dovedit a avea caracteristici îmbunătățite: lipsa flambajului la compresiune, răspunsul ciclic stabil și cvasi-simetric, capacitatea de a disipa o cantitate mare de energie.

BRB-urile au un potențial ridicat în aplicații anti-seismice datorită performanței hysteretice. Totuși, în România încă nu există aplicații ale BRB-urilor în proiecte reale, deși recomandări de proiectare pentru cadrele cu contravântuiri cu flambaj împiedecat (BRBF) au fost introduse în codul românesc de proiectare seismică începând cu data de 1 ianuarie 2014. Limitarea largii utilizări a BRB-urilor poate fi cauzată de faptul că BRB-urile comercializate sunt brevetate de producători, de nevoia de validare experimentală a BRB-ului, sau de lipsa experienței de proiectare a inginerilor practicieni a BRB-urilor sau a cadrelor BRBF.

De aceea, principalul obiectiv al tezei îl constituie precalificarea experimentală a unui set de contravântuiri BRB utilizate pentru clădiri tipice de înălțime mică și medie amplasate în România. Precalificare va elimina necesitatea validării experimentale pentru fiecare proiect. Programul experimental a fost conceput pentru a facilita implementarea rapidă a BRB-urilor în practica de proiectare din România prin dezvoltarea de soluții tehnice precalificate și prin transferul de "know-how" despre proiectarea BRB-urilor către industrie.

Această teză este structurată pe opt capitole și prezintă programul de precalificare a BRB-urilor, program ce include atât încercări experimentale cât și simulări numerice pre/post-încercări, și un studiu de caz al aplicării BRB-urilor pe o structură în cadre metalice. În continuare se prezintă o descriere succintă pe capitole a tezei.

2. Descrierea capitolelor tezei

Capitolul 1: Introducere

În primul capitol se prezintă motivația, obiectivele și cadrul în care s-a realizat teza. Motivația acestei teze constă în necesitatea de a soluționa problemele legate de utilizarea BRB-urilor în

România. Obiectivul principal constă în precalificarea unui set de contravântuiri BRB în vederea facilitării implementării rapide a acestora în practica curentă de proiectare. Cadrul principal în care s-a dezvoltat teza îl constituie un proiectul național de cercetare, intitulat "Implementarea în practica de proiectare anti-seismică din România a contravântuirilor cu flambaj împiedicat", acronim IMSER.

Capitolul 2: BRB – stadiul cunoașterii

Capitolul doi prezintă stadiul cunoașterii BRB-urilor, accentul fiind pus pe principul de funcționare, istoria dezvoltării, aplicabilitate, avantaje și dezavantaje. Performanța diverselor sisteme de contravântuiri (BRBF vs. CBF) sunt comparate din punctul de vedere al reducerii costului. Evaluarea critică a soluțiilor tehnice de BRB existente permite identificarea detaliilor tehnice optime a fi utilizate în vederea dezvoltării de noi soluții BRB. De asemenea sunt prezentate coduri existente de proiectare a BRB-urilor, dar și nevoile de cercetare și dezvoltare ulterioară [1-15].

Capitolul 3: Dezvoltarea soluțiilor tehnice

Capitolul trei prezintă dezvoltarea soluțiilor de contravântuiri BRB, atât "convenționale" cât și "uscate". Pentru precalificare au fost propuse două valori ale rezistenței BRB-urilor, 300 kN și 700 kN. Au fost utilizate atât pre-testări numerice cât și pre-testări experimentale în vederea definirii soluțiilor conceptuale BRB. Patru tipologii BRB au fost propuse, două "convenționale" și două "uscate". Au fost propuse îmbinări cu șuruburi pentru BRB-uri, utilizându-se un detaliu de îmbinare special ce permite îmbunătățirea performanței ciclice a BRB-urilor [16-17].

Capitolul 4: Încercări experimentale pentru precalificarea BRB-urilor

Programul experimental ce include încercări de precalificare pe BRB-uri și încercări de material pe componente de bază sunt prezentate în capitolul patru. 14 contravântuiri BRB la scala reală au fost încercate ciclic. Detalierea specimenelor a avut în vedere investigarea influenței unor parametrii asupra performanței ciclice a BRB-urilor. Pe baza criteriilor de performanță, soluțiile BRB precalificate au fost selectate, iar pentru acestea au fost propuse recomandări de proiectare [18-19].

Capitolul 5: Simulări numerice post-test

Capitolul cinci prezintă rezultatele a două seturi de simulări care au fost efectuate în vederea evaluării: (1) acurateței diverselor modele de material în reproducerea comportării oțelului sub încărcări monotone și ciclice; (2) influenței unor parametrii (care nu au putut fi evaluați/măsurați în timpul încercărilor experimentale) asupra răspunsului ciclic al BRB-urilor.

Capitolul 6: Recomandări de proiectare

Pe baza rezultatelor experimentale și numerice obținute pe BRB-uri, recomandările de proiectare se prezintă numai pentru soluția precalificată. De asemenea, se precizează și limitele de aplicare a procedurii de proiectare în vederea asigurării unui grad ridicat de încredere pentru proiectarea unor noi contravântuiri BRB.

Capitolul 7: Proiectare bazată pe criterii de performanță a cadrelor BRBF

Capitolul șapte prezintă un studiu de optimizare a geometriei miezului BRB-ului. Pentru studiul de caz s-a considerat o structură metalică în cadre contravântuită cu BRB-uri având diferite

geometriei pentru miez. Este evaluată influența nivelului de deformație specifică din miez asupra performanței seismice a structurii și sunt elaborate recomandări de proiectare suplimentare pentru BRB-uri. De asemenea, este evaluată influența tipului de reazem ale bazei stâlpilor asupra răspunsului seismic al structurii și sunt elaborate soluții de îmbunătățire a răspunsului.

Capitolul 8: Concluzii

O sinteză a concluziilor din teză, precum și contribuțiile autorului și valorificarea cercetării sunt prezentate în capitolul opt. Direcții viitoare de cercetare sunt stabilite în vederea continuării studiilor dezvoltate în teza de doctorat.

Bibliografia conține lucrări de teză, articole de jurnal și conferințe, rapoarte de cercetare și investigații, precum și standarde care conțin informații prezentate în teză. Alte surse pentru informații tehnice, programe software și detaliile de granturi de cercetare, sunt de asemenea prezentate aici.

Anexe oferă informații detaliate despre modelul numeric dezvoltat în OpenSees utilizat pentru calculul pe cadre contravântuite cu BRB-uri, alături de accelerogramele utilizate pentru analizele dinamice neliniare.

3. Mențiuni

Cercetările care au dus la precalificarea BRB-urilor au fost finanțate prin programul Parteneriate în domenii prioritare – PN II, derulat cu sprijinul MEN – UEFISCDI, proiect nr. 99/2014 "IMSER".

Cercetările care au dus la rezultatele din capitolul 7 au fost finanțate de către programul Erasmus+, prin intermediul căruia a fost posibilă efectuarea unui stagiu de cercetare la Nagoya Institute of Technology, NITech, Japan.

4. Bibliografie

- [1] Takeuchi, T. and Wada, A. (2017), Buckling-Restrained Braces and Applications, The Japan Society of Seismic Isolation (JSSI), Jingumae Shibuyaku, Tokyo, Japan.
- [2] Xie, Q. (2005), "State of the art of buckling-restrained braces in Asia", Journal of Constructional Steel Research. 61, 727–748.
- [3] EN 1998-1 (2004), Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European Committee for Standardization; Brussels, Belgium.
- [4] EN 15129 (2010), Anti-seismic devices, European Committee for Standardization; Brussels, Belgium.
- [5] P100-1/2013 (2014), Code for seismic design – Part I – Design prescriptions for buildings, Official Journal of Romania; Bucharest, Romania (in Romanian).
- [6] IMSER project website (last visited 15 August 2018): <http://www.ct.upt.ro/centre/cemsig/imser.htm>.
- [7] D'Aniello, M., Costanzo, S., Tartaglia, R., Stratan, A., Dubina, D., Vulcu, C., Maris, C., Zub, C., Da Silva, L., Rebelo, C., Augusto, H., Shahbazian, A., Gentili, F., Jaspert, J.P., Demonceau, J.F., Van Hoang, L., Elghazouli, A., Tsitos, A., Vassart, O., Nunez, E.M., Dehan, V. and Hamreza, C. (2016), European pre-QUALified steel JOINTS (EQUALJOINTS), Editor Raffaele Landolfo, Final report RFSR-CT-2013-00021, University of Naples Federico II, Italy.
- [8] Both, I., Zub, C., Stratan, A. and Dubina, D. (2017), "Cyclic behaviour of European carbon steels", DOI: 10.1002/cepa.370, CE/Papers, Ernst& Sohn/Wiley, Vol.1, Issue 2-3, 3173-3180.
- [9] Robinson K. (2014), "Advances in design requirements for buckling restrained braced

- frames", Proceedings of the 2014 NZSEE, Auckland, New Zealand, March.
- [10] Tremblay, R., Bolduc, P., Neville, R., DeVall, R. (2006), "Seismic testing and performance of buckling-restrained bracing systems, *Can. J. Civ. Eng.* 33(2),183–198.
- [11] Stratan, A., Zub, C.I. and Dubina, D. (2018), "Experimental Tests for Pre-Qualification of a Set of Buckling-Restrained Braces", *Key Engineering Materials*, 763, 450–457.
- [12] Tinker, J. and Dusicka, P. (2012), "Challenges in designing ultra-lightweight buckling restrained brace". *STESSA 2012 – Mazzolani & Herrera (eds)*, Taylor & Francis Group, London, UK.
- [13] Tsai, K.C., Lai, J.W., Hwang, Y.C., Lin, S.L., Weng, C.H. (2004). "Research and implementation of double-core buckling restrained braces in Taiwan". 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, august 1-6, 2004, Paper no. 2179.
- [14] Mazzolani, F.M., Della Corte, G. and D'Aniello, M. (2009), "Experimental analysis of steel dissipative bracing systems for seismic upgrading", *Journal of Civil Engineering and Management*, 2009, 15(1), 7-19.
- [15] BSLJ-2000 (2000), *The Building Standard Law of Japan*, Ministry of Construction and The Building Center of Japan; Tokyo, Japan. [104] Dassault (2014), *Abaqus 6.14 - Abaqus Analysis User's Manual*, Dassault Systèmes Simulia Corp.
- [16] Zub, C.I., Dogariu, A., Stratan, A. and Dubina, D. (2017), "Pre-test numerical simulations for development of prequalified buckling restrained braces", DOI: 10.1002/cepa.395, *CE/Papers*, Ernst& Sohn/Wiley, Vol.1, Issue 2-3, 3404-3413.
- [17] Kaufmann, E.J., Metrovich, B. and Pense, A.W. (2001), "Characterization of cyclic inelastic strain behavior on properties of A572 Gr. 50 and A913 Gr. 50 rolled sections". *ATLSS Report No. 01-13*, to American Institute of Steel Construction, by Lehigh University, USA.
- [18] Stratan, A., Zub, C.I. and Dubina, D. (in press). "Prequalification of a set of buckling restrained braces: Part I – experimental tests". *Steel and Composite Structures*, (in print).
- [19] CEMSIG Laboratory website, <https://www.ct.upt.ro/centre/cemsig/index.htm> (accessed on 29 August 2018).
- [20] Zub, C.I., Stratan, A. and Dubina, D. (in press), "Modelling the cyclic response of structural steel for FEM analyses", *Proc. 1st Int. Conf. on Computational Methods and Applications in Engineering*, Timisoara, Romania, May.
- [21] Zub, C.I., Stratan, A., Dogariu, A. and Dubina, D. (2018), "Development of a finite element model for a buckling restrained brace", *Proceedings of the Romanian Academy Series A*, (accepted for publication in Vol. 4/2018).