

FACULTATEA DE CONSTRUCȚII DEPARTAMENTUL DE CONSTRUCȚII METALICE ȘI MECANICA CONSTRUCȚIILOR Str. Ioan Curea nr.1, 300224, Timișoara, ROMÂNIA tel. 0256/403911; fax 0256/403917

Titlu proiect: Concepția structurala si proiectarea pe baza controlului mecanismului de cedare a structurilor multietajate supuse la acțiuni accidentale (CODEC) Nr. contract: PN II nr. PCCA 55/2012

Raport etapa III/finala 2014

Denumire etapa:

Etapa III: Incercari experimentale pe noduri si subansambluri si calibrarea modelelor numerice:

- Activitatea III.1: Execuția specimenelor experimentale si a standurilor pentru încercări pe noduri si subansambluri
- Activitatea III.2: Incercari experimentale pe noduri in regim monoton
- Activitatea III.3: Incercari la explozie pe noduri
- Activitatea III.4: Incercari experimentale pe subansambluri la cedarea unui stalp
- Activitatea III.5: Calibrarea si validarea modelelor numerice pe baza rezultatelor experimentale

Cuprins:

2
2
9
13
15
16
· · · ·

Timisoara, decembrie 2014

Piața Victoriei nr. 2, RO 300006 - Timișoara, Tel: +40 256 403000, Fax: +40 256 403021, rector@rectorat.upt.ro, www.upt.ro



1. Rezumatul etapei

Etapa 3/2014 a cuprins cinci activitati, dintre care patru activitati au avut ca obiectiv realizarea programului experimental iar una validarea modelelor numerice folosind rezultatele experimentale.

Activitățile experimentale au cuprins trei tipuri principale de incercari si anume incercari pe noduri la scenariu de tip stalp lipsa, incercari pe subansambluri la scenariu de tip stalp lipsa si incercari la explozii pe noduri grinda-stalp.

Incercarile pe noduri au cuprins patru tipuri de imbunari, doua cu suruburi si doua sudate. Rezultatele au aratat ca imbinarile cu suruburi pot suferi cedari premature fara a perite dezvoltarea de forte de intindere in grinzi. Acest lucru nu permite dezvoltarea actiunii catenare si ca urmare nu au o robustete ridicata in cazul unor cedari accidentale. Capacitatea imbinarii cu suruburi creste daca sunt dispuse mai multe randuri de suruburi (imbinarea cu placa de capat si vuta). Si aici insa sunt necesare ajustari deoarece comportarea este diferita in zona de intindere de la partea superioara fata de cea cu intindere la partea inferioara a grinzii.

Imbinarile sudate au avut o comportare mult mai buna. Astfel, imbinarea cu grinda redusa a permis dezvoltarea unor forte axiale mari, cedarea fiind ductila, dupa producerea unor deformatii mari. Imbinarea cu placi sudate pe talpi a avut de asemenea o comportare foarte buna, capacitatea ultima fiind cu peste 100% mai mare decat capacitatea la incovoiere.

Al doilea program experimental, cel pe subansambluri, a fost desfasurat pe doua specimene, unul din otel si celalalt din otel si planseu de beton armat in conlucrare cu grinzile. Primul test a aratat o comportare foarte buna, fiind dezvoltate forte de intindere in grinzi, astfel ca valoarea capacitatii ultime depaseste cu peste 100% capacitatea la incovoiere. Cel de al doilea specimen a aratat ca interactiunea cu planseul conduce la o robustete crescuta si un mod ductil de cedare.

Cel de al treilea program experimental s-a desfasurat pe noduri in T supuse la actiunea directa a exploziei. Au fost incercate pattru specimene, doua intermediare si doua de colt. Rezultatele au aratat ca actiunea exploziei poate avaria si imbinarea, pe langa scoaterea din lucru a stalpului. De asemenea, atunci cand stalpul are o legatura in afara planului, avariile sunt mai mici.

Modelele numerice pentru fiecare tip de incercare au fost validate folosind rezultatele experimentale. S-au obtinut corelari foarte bune, care au surprins cu exactitate modul de cedare si capacitatea ultima. Acest lucru va permite dezvoltarea parametrica pe diferite tipuri de noduri, la diferite scenarii de cedare. Aceste rezultate sunt deosebit de importante, avand in vedere lipsa unor rezultate similare pe plan national si international.

In cadrul etapei urmatoare aferente anului 2015 se va realiza un amplu program de simulari numerice si de asemenea vor fi dezvoltate modele numerice si criterii de acceptare pentru structuri metalice supuse la actiuni accidentale.

2. Incercari experimentale pe noduri in regim monoton

Incercarile au cuprins patru tipuri de imbinari (Fig. 1):

- placa de capat extinsa si suruburi EP: îmbinarea are 6 rânduri de șuruburi M16, grupa 10.9 și placă de capăt de 16 mm grosime;
- placa de capat extinsa cu vuta si suruburi EPH: îmbinarea are 8 rânduri de şuruburi M20, grupa 10.9 şi placă de capăt de 20 mm grosime. Vuta are 200 mm lățime și 250 mm lungime.
- sectiune redusa si sudura RBS: îmbinarea are reduceri de forma circulara în tălpi. Dimensiunile a, b și c ale zonei reduse sunt a=
 110 mm, b= 280 mm și c=36 mm. Tălpile și inima grinzii sunt prinse de talpa stâlpului cu sudura cu prelucrare.
- placi sudate pe talpi si suruburi pe inima CWP: îmbinarea are plăci de 20 mm grosime, 200 mm lăţime şi 250 mm lungime sudate pe tălpile grinzii.

Doua dintre imbinari, EP si RBS au capacitate mai redusa decat grinda imbinata, in timp ce EPH si CWP au capacitate mai mare decat grinda, vezi Fig. 2.

Universitatea Politehnica Timişoara



Fig. 1 Tipurile de imbinari testate experimental: a) standul cu specimenul experimental; b) tipurile de imbinari



Fig. 2: Curbele moment - rotire: a) îmbinare cu placă de capăt (EP); b) îmbinare cu placă de capăt și vută (EPH); c) îmbinare sudată cu secțiune redusa de grinda (RBS); d) îmbinare sudată cu plăci pe talpi (CWP)

In Fig. 3 - Fig. 10 se prezinta specimenele incercate si modul de cedare. Se poate observa ca in cazul celor doua specimene realizate cu prinderi cu placa de capat, cedarea s-a produs prin ruperea suruburilor, dupa dezvoltarea de rotiri plastice semnificative. Capacitatea de preluare a fortelor axiale este insa mai redusa decat la cele sudate, care au un mod de cedare mai ductil.





Fig. 3 Standul experimental cu specimenul EP inainte de incercare





Fig. 4 Vedere de ansamblu cu specimenul EP dupa incercare (sus) si detalii cu cedarea imbinarilor (jos)



Fig. 5 Standul experimental cu specimenul RBS inainte de incercare







Fig. 6 Vedere de ansamblu cu specimenul RBS dupa incercare (sus) si detaliu cu modul de cedare (jos)



Fig. 7 Standul experimental cu specimenul EPH inainte de incercare



Fig. 8 Vedere de ansamblu cu specimenul EPH dupa incercare (sus) si detaliu cu modul de cedare al imbinarii marginale (jos)





Fig. 9 Standul experimental cu specimenul CPW inainte de incercare





Fig. 10 Vedere de ansamblu cu specimenul CPW dupa incercare (sus) si detaliu cu modul de cedare (jos)



Pentru cele patru modele incercate experimental a fost realizat un program de validare numerica folosind programul ABAQUS. Analizele numerice au fost efectuate în control de deplasare pana la cedare, similar cu modul în care au fost realizate testele experimentale (Fig. 11). Fig. 12 prezinta comparativ curbele forta-deplasare obtinute experimental si prin simulari numerice. Se poate vedea ca modelele numerice ofera curbe de comportare foarte apropiate de cele obtinute experimental, incluzand aici evaluarea capacitatii si rigiditatii initiale, aparitia curgerii, capacitatea maxima si deplasarea maxima. De asemenea, modul de cedare obtinut numeric este similar celui real, obținut experimental, vezi Fig. 13 - Fig. 14. Este de precizat ca spre deosebire de modelele EP, RBS si CWP, care sunt simetrice, modelul EPH este nesimetric ceea ce conduce la moduri de cedare diferita in nodul central si in nodurile marginale. Se poate observa că deformațiile plastice se concentrează în tălpile grinzii, cu excepția îmbinării EP, unde placa de capăt este cea mai deformată componentă.







EP

RBS





Fig. 12: Prezentarea comparativa a curbelor forta - deplasare din testele experimentale si modelarea numerica



Fig. 13: Distributia deformatiilor plastice inainte de cedare in modelarea numerica pentru specimenele EP, RBS si WCP



Fig. 14: Distributia deformatiilor plastice inainte de cedare in modelarea numerica pentru specimenul EPH

3. Incercări experimentale pe subansambluri în regim monoton

Proiectarea s-a făcut plecând de la nivelul structurii in ansamblu. Pentru aceasta, s-a folosit ca structura de referința o structura cu 6 etaje proiectata si analizata in etapa 1/2012 a proiectului. Din structura s-au selectat subansamblurile pentru programul experimental, respectiv un modul alcătuit din doua travei si doua deschideri (Fig. 15). Au fost realizate doua module experimentale. Primul model este alcatuit din grinzi si stalpi metalici (Ans-M), iar cel de al doilea din elemente similare dar are in plus si planseu de beton armat (Ans-C). Simularea etajelor superioare si a deschiderilor adiacente s-a realizat prin intermediul prinderilor laterale la nivelul grinzilor și în plus a fost

- necesară împiedicarea rotirii excesive stâlpilor în consolă. Soluția pentru rezolvarea acestor aspecte este următoarea (Fig. 17):
- pentru prinderea la nivelul grinzilor, au fost dispuse elemente de legătură (contrafişe) din ţevi (S350)
- pentru stabilizarea capetelor stâlpilor, s-a utilizat un sistem articulat, din profile tubulare;





Fig. 15 Extragerea modelului experimental din structura de referinta



Fig. 16 Stand și specimen experimental Ans-M pentru încercarea pe subansambluri la cedarea unui stâlp: vedere de ansamblu (stanga) si detaliu de nod cu instrumentarea pentru achizitia de date (dreapta)





Fig. 17 Detalii specimen experimental, cu sistemul de contravantuiri verticale si orizontale (sus) si detaliul de prindere a stalpilor la baza (jos)



Fig. 18 Specimen experimental Ans-C pentru încercarea pe subansambluri la cedarea unui stâlp, cu detaliu de sudare conectori

Fig. 19 prezinta modul de cedare pentru specimenul Ans-M. Cedarea s-a produs prin ruperea la intindere a grinzii in zona nodului central, in urma dezvoltarii fortelor de intindere. Nodurile marginale au avut deformatii plastice mari fara insa sa cedeze complet. Se poate vedea capacitatea mare de deformare a sistemului cu legaturi pe doua directii.





Fig. 19 Vedere de ansamblu cu specimenul Ans-M dupa incercare (sus) si detalii cu modul de cedare – nod central (jos-stanga) si nod marginal (jos-dreapta)

Pentru validarea modelelor numerice s-au folosit doua programe de analiza si anume Abaqus si ELS (Extreme Loading for Structure). Rezultatele numerice obtinute au fost foarte apropiate de cele experimentale. In cazul analizei cu programul ELS (Fig. 20), ductilitatea a fost ceva mai redusa pentru modelul numeric, insa o aproximare foarte buna a comportarii pana la curgere (rigiditate initiala, capacitate) si de asemenea o evaluare riguroasa a comportarii inclusiv cresterea rigiditatii datorita dezvoltarii fortelor axiale in grinzi. Printr-o corectare a parametrilor de ductilitate si a altor elemente care tin de geometria structurii, se poate obtine un model numeric precis, ce poate fi folosit in programul de simulari numerice.



Fig. 20 Analiza numerica cu ELS: deformatiile plastice la cedare (stanga) si curba forta-deplasare (comparativ cu cea experimentala) (dreapta)

In cazul analizei cu programul Abaqus (Fig. 23), atat forta maxima cat si ductilitatea au fost supraevaluate, acet lucru fiind cauzat de dificultatea modelarii exacte a ruperii. S-a obtinut o aproximare foarte buna a comportarii pana la curgere (rigiditate initiala, capacitate) si de asemenea o evaluare riguroasa a comportarii inclusiv cresterea rigiditatii datorita dezvoltarii fortelor axiale in grinzi. Printr-o corectare a parametrilor de ductilitate si a altor elemente care tin de geometria structurii, se poate obtine un model numeric precis, ce poate fi folosit in programul de simulari numerice.





Fig. 21 Analiza numerica cu Abaqus: deformatiile plastice la cedare (stanga) si curba forta-deplasare (comparativ cu cea experimentala) dreapta



Fig. 22 Analiza numerica cu ELS in specimenul Ans-C: deformatiile plastice la cedare (dreapata) si reprezentarea deformatiilor plastice in armatura - dreapta

4. Incercări experimentale pe noduri la acțiunea exploziei

Nodurile proiectate au fost realizate in patru variante de alcătuire:

- noduri de cadru pentru stâlpi intermediari dispuși după axa maxima;
- noduri de cadru pentru stâlpi intermediari dispuși după axa minima;
- noduri de cadru pentru stâlpi de colt dispuși după axa maxima;
- noduri de cadru pentru stâlpi de colt dispuși după axa minima.



Fig. 23 prezintă un nod de cadru cu stâlp intermediar dispus după axa minima, montat in buncărul pentru explozii (Fig. 24). Încercările au fost realizate cu diferite incarcaturi explozive, dispuse in imediata apropiere a stâlpului.





Fig. 24 Planul Buncărului de încercări exploziv – INSEMEX





Fig. 25 Simulari numerice pentru încercări la explozie: Propagarea undei de soc (stanga) deplasari remnente (dreapta)

5. Rezultate obținute si modul de diseminare a rezultatelor

Rezultatele obținute in etapa 3/2014 au constat in principal in execuția incercarilor experimentale si validarea modelelor numerice. A fost o activitate extraordinar de complexa, care a necesitat un suport tehnic si uman deosebit. In mare majoritate, incercarile reprezinta o premiera pentru tara noastra, fiind extrem de necesare in vederea elaborarii unor recomandari de calcul si executie pentru reducerea riscului de cedera a cladirilor solicitate la actiuni extreme. De o importanta semnificativa sunt si modelele numerice dezvoltate si validate pe baza datelor obtinute in cadrul testelor experimentale. Acestea se adauga modelelor de macrocomponente deja finalizate in etapa 2/2013. Programele folosite, respectiv Abaqus si ELS sunt de referinta pe plan mondial si permit extinderea cercetarilor prin intermediul unor programe de simulare numerica extinse.

Valorificarea acestor rezultate si diseminarea lor s-a făcut prin publicarea unor lucrări de cercetare in cadrul unor manifestări ştiințifice naționale si internaționale, in jurnale de specialitate si de asemenea prin pregătirea unor propuneri de proiecte de cercetare internaționale. Mai jos este prezentata lista lucrărilor, a prezentărilor si a propunerilor de proiect rezultate din activitatea desfăşurata in 2014. Este de menționat in special suportul oferit de rezultatele obținute in acest proiect la pregătirea unei noi propuneri de proiect FP7 RFCS, împreuna cu parteneri din cercetare si industrie din Europa care se bucura de o mare recunoaștere pe plan mondial in domeniul robusteții structurilor.

Lucrări publicate si prezentate in cadrul unor conferințe naționale si internaționale

- 1) Dinu Florea, Dan Dubina, Ioan Marginean, Neagu Calin, Experimental tests of steel beam-to-column joints under column loss scenarios, Napoli, Italy, ISBN 978-92-9147-121-8, 2014, 275, 276, 7th Europeean Conference on Steel and Composite Structures
- 2) Dan Dubina, Dinu Florea, Essential features of robustness design of multi-storey steel framed buildings, Napoli, Italy, ISBN 978-92-9147-121-8, 2014, 275, 276, 7th Europeean Conference on Steel and Composite Structures
- Dinu Florea, Dan Dubina, Petran Ioan, Ciutina Adrian, Kovescsi Tamas, Numerical simulation of 3d assembly models under large deformation conditions, Napoli, Italy, ISBN 978-92-9147-121-8, 2014, 275, 276, 7th Europeean Conference on Steel and Composite Structures
- 4) Ioan Marginean, Dinu Florea, Dan Dubina, Neagu Calin, Experimental and numerical investigations of beam-to-column connections under column loss scenarios, Pecs, Ungaria, 21-22 octombrie 2014, 9th PhD & DLA Symposium
- 5) Handabut Andreea, Dubina Dan, Petran Ioan, Dinu Florea, Dan Dubina, Numerical investigation of steel moment frame structures under the loss of a column, Pecs, Ungaria, 21-22 octombrie 2014, 9th PhD & DLA Symposium
- 6) Marginean Ioan, Dinu Florea, Ciutina Adrian, Dubina Dan, Kovesci Tamas, Contributia efectului de membrana al planseului din b.a. asupra capacitatii de prevenire a colapsului progresiv in cazul structurilor metalice multietajate, București, Romania, 22-23 mai 2014, A XXIV-a CONFERINȚĂ NAȚIONALĂ A.I.C.P.S.





Lucrari publicare in reviste de specialitate

1. Florea Dinu, Dan Dubina & Ioan Marginean (2014): Improving the structural robustness of multistory steel-frame buildings, Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance, factor de impact 2.805. Link catre articol: http://dx.doi.org/10.1080/15732479.2014.927509

6. Bibliografie

- ASCE/SEI 7-05, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, Virginia, 2005.

- Baldridge S., Humay F., Preventing Progressive Concrete Buildings, Concrete International, Vol.25, pp. 73-79, 2005.



- Dinu F., Santiago A., Dubina d., Simoes Da Silva L., Robustness demand for structural connections of multistory steel building frames under elevated temperature; in Performance, Protection&sthregthening od structures under Extreme Loading - Protect 2013, Mysore, India, Aug. 26-27, 2013, Published by Indian concrete Journal (ICJ) p. 9.(CD paper).

- Dinu.F., Dubina., Marginean., Effect of connection between reinforced concrete slab and steel beams in multistory frames subjected to different column loss scenarios. Proc. 4th int. Conf on Integrity, Reliabiliy and Failure –IRF,2013, 23-27 June, Funchal, Portugal, p 215-16, (CD paper ref 3882), ED. INEGI, Porto, Portugal, ISBN 978-9772-8826-27-7.

- Dubina D., Dinu.F., Margineani I., Collapse prevention design criteria for moment connections in multi-story steel frames under extreme actions. Proc. 4th int. Conf on Integrity, Reliabiliy and Failure –IRF,2013, 23-27 June, Funchal, Portugal, p 41-42 (CD paper ref. 388) Porto, Portugal, ISBN 978-9772-8826-27-7

- Department of Defense DOD UFC 4-023-03 (2010): Unified Facilities Criteria (UFC), Design of Buildings to Resist Progressive Collapse.

- Ellingwood, B. and E.V. Leyendecker, 1978, "Approaches for design against progressive collapse." J. Struct. Div. ASCE 104(3):413-423.

- Granstrom, S., (1970): Stability of Buildings after Accidental Damage. Forces in Element Joint - Model Tests, Swedish Building Research Report R20: 1971, V. 4, No.3, March.

- GSA (2003): General Services Administration (GSA) Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines For New Federal Office Buildings and Major Modernization Projects.

- Huynh, C.T., Park, J., Kim, J., Progressive collapse resisting capacity of reinforced concrete beam-column sub-structures, 2009.

- Ioani, A.M., Cucu, H.L., Mircea, C., Seismic design vs. progressive collapse: a reinforced concrete framed structure case study, Proceedings of ISEC-4, Melbourne, Australia, 2007.

- Joshi D., Patel P.V., Tank S.J., Linear and Nonlinear Analysis for Assessment of Progressive Collapse Potential of Multistoried Building, ASCE Structures Congress, 2010.

- Kaewkulchai, G., Williamson, E.B., Beam element formulation and solution procedure for dynamic progressive collapse analysis, J. of Computers & Structures, No.82, 2004, pg.639-651.

- Kim, H., Progressive collapse behavior of reinforced concrete structures with deficient details, The University of Texas at Austin, 2006.

- Li, Z., Shi, Y., Methods for progressive collapse analysis of building structures under blast and impact loads, Transactions of Tianjin University, Vol. 12, No.5, 2008, pg. 329-339.

- NIST 2007. Best Practices for Reducing the Potential for Progressive Collapse in Buildings. NISTIR 7396 Gaithersburg, MD.

- NISTR 7396, Best Practices for Reducing the Potential for Progressive Collapse in Buildings, National Institute of Standards and Thenology, Oakland, CA, 2007.

- Sadek F., and all, Testing and Analysis of Steel and Concrete Beam-Column Assemblies under a Column Removal Scenario, Journal of Structural Engineering, ASCE, 2011, pg. 881-892.

- Sasani M., Bazan M., Sagiroglu S., Experimental and Analytical Progressive Collapse Evaluation of Actual Reinforced Concrete Structure, ACI Structural Journal, Vol. 104, No.6, 2007, pg.731-740.

- Tsai M.H., Investigation of progressive collapse resistance and inelastic response for an earthquake-resistant RC building subjected to column failure, Journal of Engineering Structures, No. 30, pg. 3619-3628, 2008.

- U.S. Department of Defense (DoD 2009), Design of building to resist progressive collapse, Unified Facility Criteria, UFC 4-023-03, Washington, DC, 2009.

- U.S. GSA (2004): U.S. General Services Administration Progressive Collapse Design Guidelines Applied to Concrete Moment Resisting Frame Buildings, Washington, DC.

- Yi, W.J., He, Q.F., Xiao, Y., Kunnath, S.K., Experimental study on Progressive Collapse-resistant behavior of reinforced concrete frame structures, ACI Struct. J., Vol. 105, No.4, 2008, pg.433-438.