

STRUCTURI PREFABRICATE DIN BETON IN ZONE SEISMICE: ANALIZA AVARIILOR PRODUSE

PRECAST CONCRETE STRUCTURES IN SEISMIC ZONES: ANALYSIS OF OCCURRED DAMAGES

Victor GIONCU, Universitatea "Politehnica" Timisoara, str. Traian Lalescu 2, Timisoara
Marius MOSOARCA, Universitatea "Politehnica" Timisoara, str. Traian Lalescu 2, Timisoara
Anthimos ANASTASIADIS, Design Office, Thessaloniki, Greece

REZUMAT

Lucrarea prezintă avariile produse la unele structuri prefabricate din beton armat situate în zone seismice, analizând cauzele care au dus la aceste avarii. Sunt analizate avariile la structurile clădirilor parter și etajate, produse în urma cutremurelor importante ale ultimelor decenii.

ABSTRACT

The paper presents the damage occurred at some precast concrete structures from seismic zones, analyzing the causes of these damages. It is presented the damages of one level and multi-storey buildings, produced by the major earthquakes of last decades.

1. INTRODUCERE

Este bine cunoscut paradoxul analizei avariilor produse de acțiunile excepționale asupra construcțiilor (Gioncu și Mazzolani, 2002). Dacă structura nu a suferit avarii, expertul nu poate să explice comportarea corespunzătoare decât cu argumente foarte generale: structura a fost bine concepută și corect executată. În schimb, dacă s-au produs avarii, acestea sunt analizate amănunțit și expertul se poate pronunța cu destul de mare exactitate asupra cauzelor acestor avarii.

Acest paradox se poate aplica și la structurile prefabricate situate în zone seismice. În cele mai multe cazuri ele s-au comportat foarte bine, fără avarii semnificative. Problema de discutat este dacă această comportare s-a datorat unei proiectări și execuții corecte, sau dacă cutremurul care a solicitat construcția nu a avut caracteristicile care să producă avariile construcției. În acest spirit critic se vor analiza și o serie de avarii produse la structurile prefabricate, prezentate în literatura de specialitate, nu cu scopul de a categorisi aceste structuri ca necorespunzătoare pentru zonele seismice, ci numai de a depista cauzele care au produs unele avarii și de a trage concluzii în vederea evitării unor erori de concepție sau execuție.

Prefabricarea este tehnica de a produce și asambla componentele unei structuri realizate în unități specializate și transportate pe situl construcției. Ea se bazează pe realizarea unor elemente modulate cu mare repetabilitate. Evoluția construcțiilor prefabricate din beton armat a ținut pasul cu progresele și cerințele societății de a realiza clădiri cu nivel ridicat de calitate într-un timp cât mai scurt. Avantajele realizării construcțiilor prefabricate sunt bine cunoscute: eliminarea cofrajelor și susținerilor, timp de realizare redus permițând o rapidă reutilizare a capitalului investit, control al calității elementelor prefabricate, producție independentă de vreme etc. Dar în același timp construcțiile prefabricate au o serie de dezavantaje: transportul și montarea elementelor de mari dimensiuni cer utilaje speciale, îmbinările elementelor realizate pe șantier sunt complicate și necesită o tehnicitate ridicată, control al imperfecțiunilor de montaj foarte pretențios etc. Dar cel mai important dezavantaj este cel al sensibilității ridicate la acțiunile excepționale cum sunt exploziile sau cutremurele, din cauza unei robusteți reduse. Robustețea (robustness) este definită prin capacitatea unei structuri de a limita consecințele unei avarii locale, astfel ca să fie evitat colapsul general al structurii (Mazzolani, 2002). Această sensibilitate mărită față de structurile monolite se datorează îmbinărilor dintre elementele care alcătuiesc structura, care nu pot dezvolta articulațiile plastice necesare unei comportări seismice corespunzătoare. Lipsa de ductilitate, ca o consecință a acestei deficiențe, este cauza principală a avariilor produse la structurile prefabricate în timpul cutremurelor. Adoptarea unor măsuri pentru creșterea ductilității este cheia unei comportări corespunzătoare a structurilor prefabricate la acțiunile seismice.

În cele ce urmează se va prezenta o sinteză a avariilor produse la structurile prefabricate de cutremurele majore ale ultimelor decenii, pe baza referințelor bibliografice. O clasificare a tipurilor distincte de construcții prefabricate, care țină seamă de comportarea diferită a acestora la acțiunile seismice, trebuie să considere:

- structurile prefabricate parter pentru hale industriale și spații comerciale de tip supermarket;
- structurile prefabricate etajate pentru clădiri de locuit, comerciale și industriale.

Sunt prezentate avariile structurilor prefabricate produse la cutremurele din 1988 Spitak (Armenia), 1994 Northridge (SUA), 1995 Kobe (Japonia), 1999 Kocaeli (Turcia) și sunt subliniate principalele

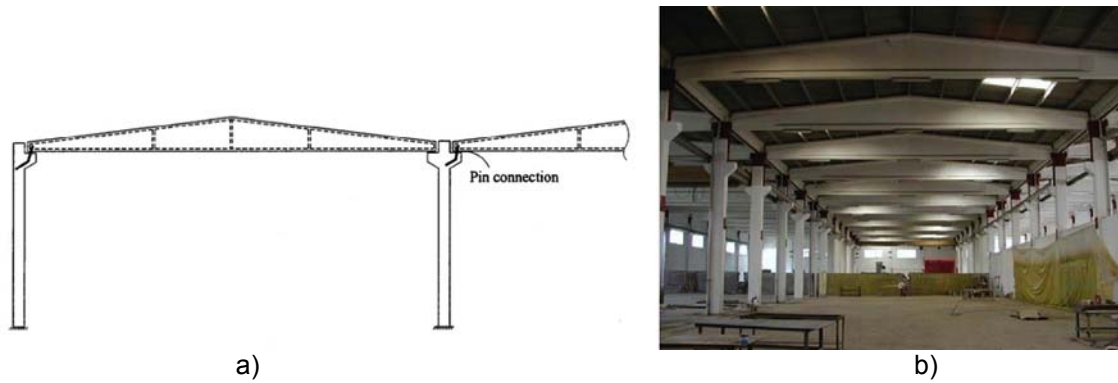


Fig. 1 Hale cu stalpi rectangulari si grinzi cu inaltime variabila

deficiențe ale structurilor prefabricate când sunt supuse unor acțiuni seismice majore și nu sunt luate măsurile corespunzătoare evitării acestor avarii.

2. CONSTRUCTII PARTER

Cele mai importante avarii produse la **structurile prefabricate parter de tip hală industrială**, prezentate în literatura de specialitate, sunt cele rezultate în urma cutremurului 1999 Kocaeli-Izmit (Turcia) (Aschheim et al, 2000, Posada and Wood, 2002, Saatcioglu et al, 2001, Sezen et al, 2000, Sezen and Whittaker, 2006, Wood, 2005).

Cutremurul Kocaeli este produs de o falie de lunecare prin care placa tectonică Anatoliană alunecă față de placa tectonică Eurasiană. Acest cutremur este înrudit cu cele produse în California (SUA) de către falia San Andreas și are caracteristici foarte speciale, cu puține pulsuri de viteze (2-3 pulsuri majore) dar având viteze mari (ajung la 200-300 cm/sec) cu perioade lungi (până la 6-8 secunde). Efectele acestui tip de cutremur nu sunt acoperite de prevederile din coduri, în special dacă cutremurul se produce într-o zonă dens construită, și afectează structurile cu perioade medii și lungi.

Aproximativ 90% din halele construite în Turcia folosesc tipuri de structuri prefabricate folosite pe plan mondial, dar fiecare firma de construcție a folosit un sistem propriu de îmbinare, care variaza foarte mult de la un constructor la altul. În general s-au folosit două tipuri de structuri prefabricate.

Stâlpi rectangulari și grinzi cu înălțime variabilă (Fig. 1a). O vedere interioară a unei astfel de hale este prezentată în Figura 1b. Stâlpii prefabricați sunt încastrați în fundații pahar, iar grinziile prefabricate au un reazem articulat, ce permite o rotire liberă, și unul simplu rezemat, ce permite o lunecare liberă. Articulația este rezolvată prin legarea grinzii de stâlp prin două armături verticale. Acest tip de îmbinare nu asigură efectul de cadru transversal și stâlpii lucrează la acțiunile orizontale ca și console verticale. Această conformare specială se bazează pe conlucrarea cu pereții nestructurali (de obicei realizați din panouri sau fâșii prefabricate), ce rigidizarea structura la acțiunile orizontale. Lipsa acestora s-a evidențiat la structurile în fază de execuție, producându-se colapsul total al unor porțiuni mari ale structurii (Fig. 2). S-au format articulații plastice la îmbinările stâlpilor cu fundațiile pahar (Fig. 3), se vede clar că spațiile dintre stâlpi și pahar nu au fost umplute). De asemenea, se observă cedările prin lunecare sau ruperea armăturilor de legătură dintre stâlpi și grinzi (Fig. 4). Avarii s-au produs și la construcțiile terminate (Fig. 5)



Fig. 2 Colapsul unei hale in curs de executie

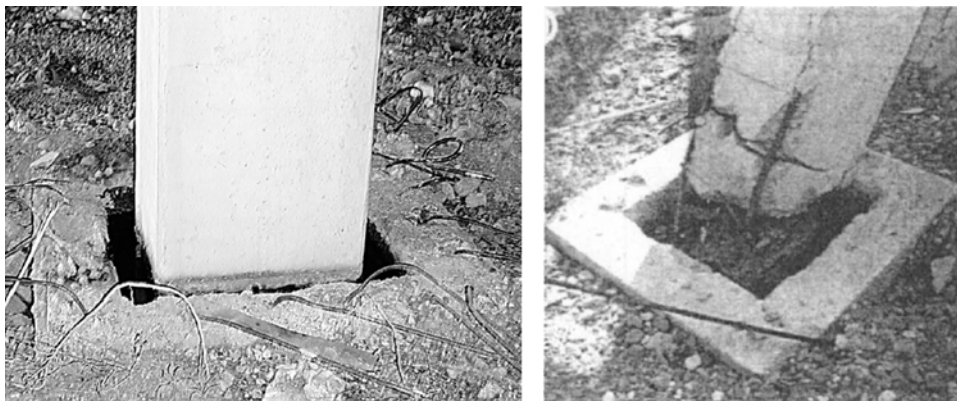


Fig. 3 Avarii la imbinarea stalp-fundatie pahar



Fig. 4 Avarii la imbinarea stalp-grinda



Fig. 5 Avarii la acoperis si colapsul unei cladiri executate

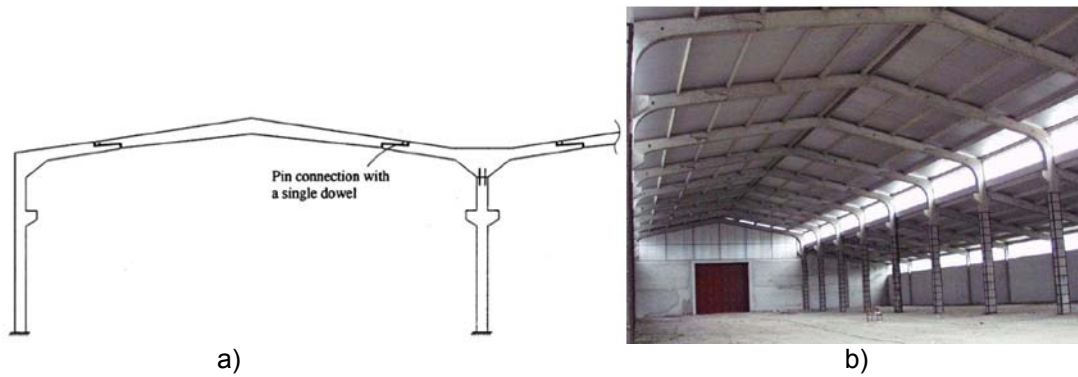


Fig. 6 Hale cu stalpi peron si grinzi frante



Fig. 7 Colapsul unei hale in curs de executie

prin avariile produse la acoperisuri sau colapsul unor grinzi de acoperis din cauza deformațiilor mari transversale (ca urmare a formării unor articulații plastice la baza stâlpilor).

Stâlpi peron cu grinzi frânte (Fig. 6a). O vedere interioară a unei asemenea hale este prezentată în Figura 6b. Stâlpii sunt de tip peron încadrați la bază în fundații pahar. Stâlpii laterali sunt realizați dintr-un singur element, dar cei centrali sunt realizați din două tronsoane, stâlp și consolele, îmbinate prin șuruburi pretensionate. Grinzile frânte sunt prinse de console printr-un singur dorn, asigurând realizarea articulației. Și la acest tip de structură s-a constatat sensibilitate la acțiuni seismice în timpul execuției. Astfel, prinderile cu șuruburi pretensionate au cedat și s-au produs ruperi ale stâlpilor laterali la mijlocul înălțimii, din cauza unei armări necorespunzătoare la momentele încovoietoare din faza de montaj (la componentele verticale foarte mari ale cutremurelor epicentrale) (Fig. 7). Aceleași ruperi ale stâlpilor marginali s-au constatat și la hale executate, precum și articulații plastice la stâlpii centrali la încastrarea în fundații (Fig.8).

La **clădirile comerciale parter** realizate din structuri prefabricate sunt semnificative avariile produse la o serie de construcții de acest tip realizate în California în zona influențată de falia San Andreas, cu caracteristici similare cu cele ale cutremurelor analoliene.

Structuri cu panouri preturnate (tilt-up system) (Glass, 2000, Scawthorn and McCormick, 2003, Wood, 2005). Pereții din beton armat sunt turnați la fața locului în poziție orizontală, după care sunt ridicați în poziția finală verticală (Fig. 9). Structura acoperișului este realizată din grinzi și panouri din lemn, cu prinderi articulate, fiind foarte sensibilă la acțiunile seismice din cauza că acoperișul nu poate asigura efectul de diafragmă orizontală (Fig.10). Colapsul parțial al acestor structuri a fost foarte frecvent, începând cu cutremurul californian din 1971, San Fernando, și terminând cu cel din 1994, Northridge. Imagini ale avariilor produse sunt prezentate în Figura 11.



Fig. 8 Colapsul unei cladiri executate

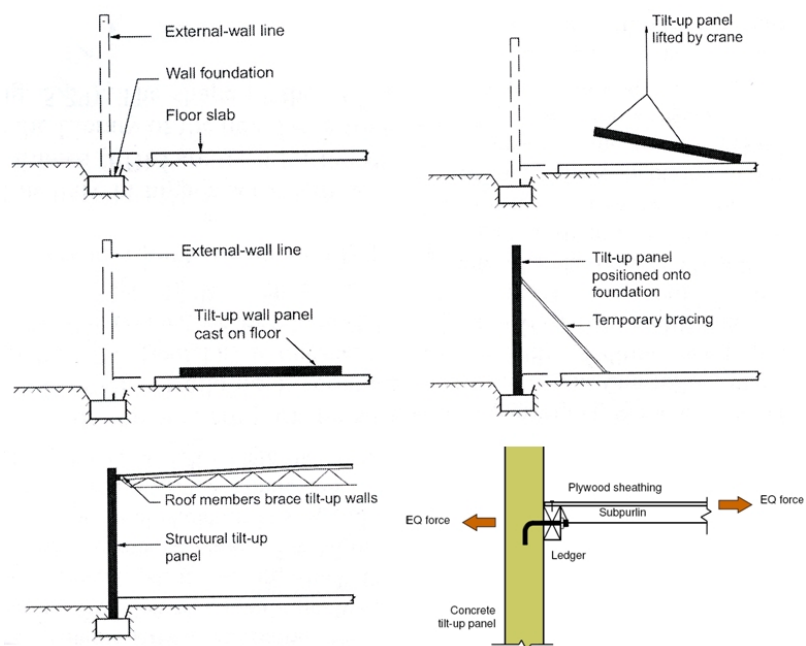


Fig. 9 Structuri cu panouri preturnate (tilt-up system)

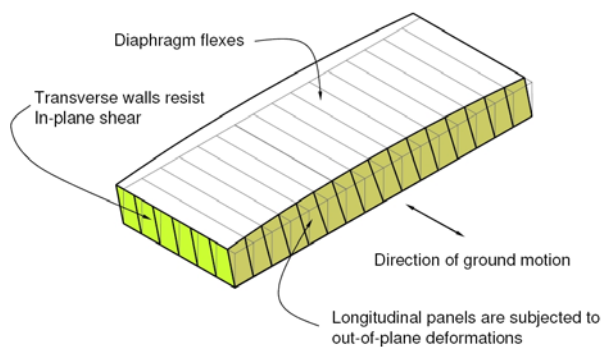


Fig. 10 Lipsa efectului de diafragma orizontala

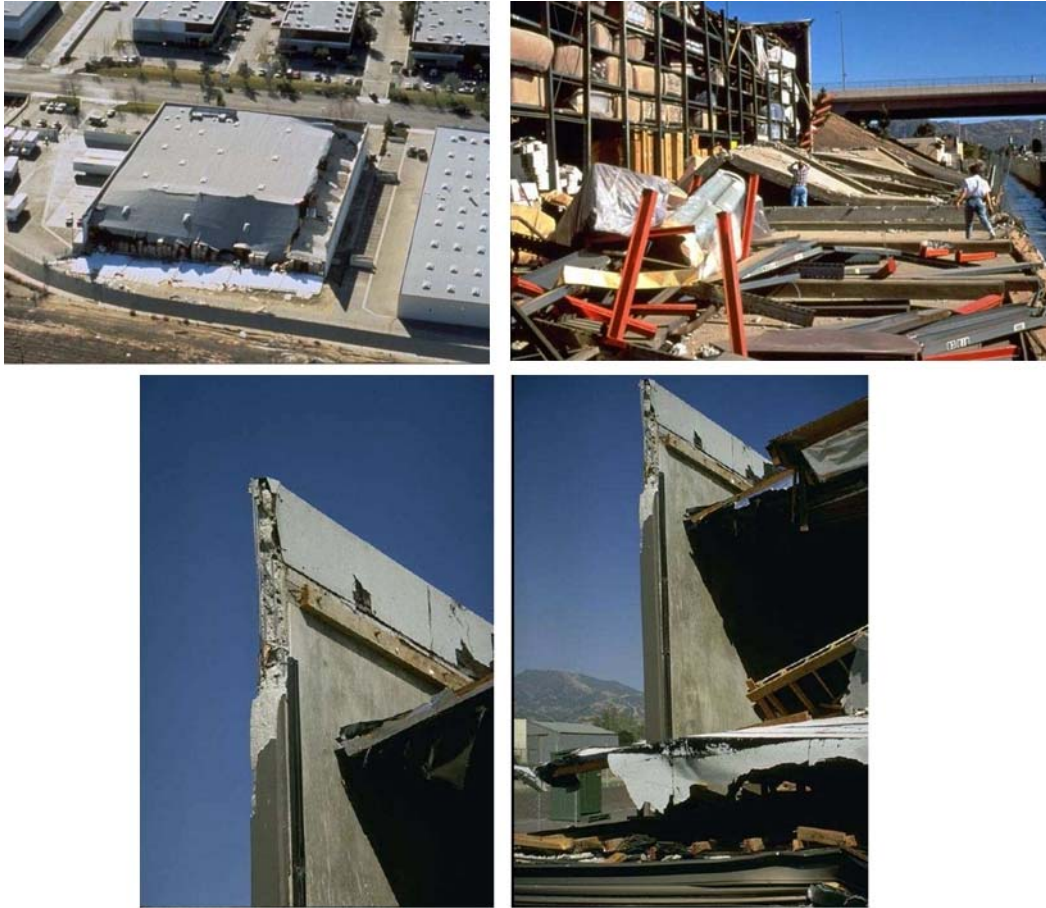


Fig. 11 Colapsul unei hale din panouri preturnate

3. CLADIRI ETAJATE

Există două tipuri distincte de clădiri etajate, cu 2-3 niveluri pentru parcaje (sau spații comerciale), și cu mai multe niveluri, 4-7 etaje, pentru clădirile de locuit.

Clădiri etajate pentru parcaje. Pentru acest tip de structură sunt semnificative avariile produse la parcajele etajate din Los Angeles-Northridge (Scawthorn and McCormick, 2003). Cauzele principale ale acestor avarii sunt comportarea necorespunzătoare a planșeelor, care nu au asigurat efectul de diafragmă și îmbinările grindă-stâlp care nu au asigurat ductilitatea cerută de acțiunea seismică (Ghosh, 2001). Figura 12 prezintă colapsul parțial al garajului etajat prefabricat Northridge Fashion Center iar Figura 13, avariile garajului prefabricat Cal State Northridge.

Clădiri etajate pentru locuințe. Avariile cele mai semnificative prezentate în literatură sunt cele produse în timpul cutremurului din 1988 din Spitak-Armenia. Cutremurul a avut magnitudinea moderată de M 6.9 și a fost produs de o falie de coliziune între placa tectonică arabă și cea Eurasiană. Avariile importante s-au produs la clădirile din zidărie de cărămidă și planșee prefabricate, din cauza unei legături necorespunzătoare dintre planșeele prefabricate de tip fâșii cu goluri și pereți (Fig. 14). Dar cele mai



Fig. 12 Colapsul garajului etajat Northridge Fashion Center



Fig. 13 Colapsul garajului Cal State Northridge

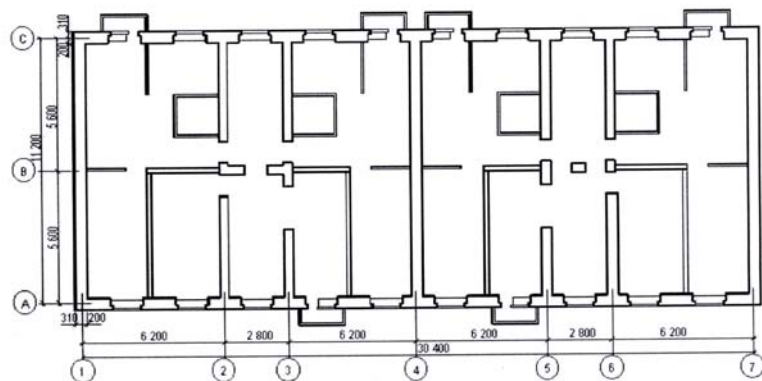


Fig. 14 (continuare)

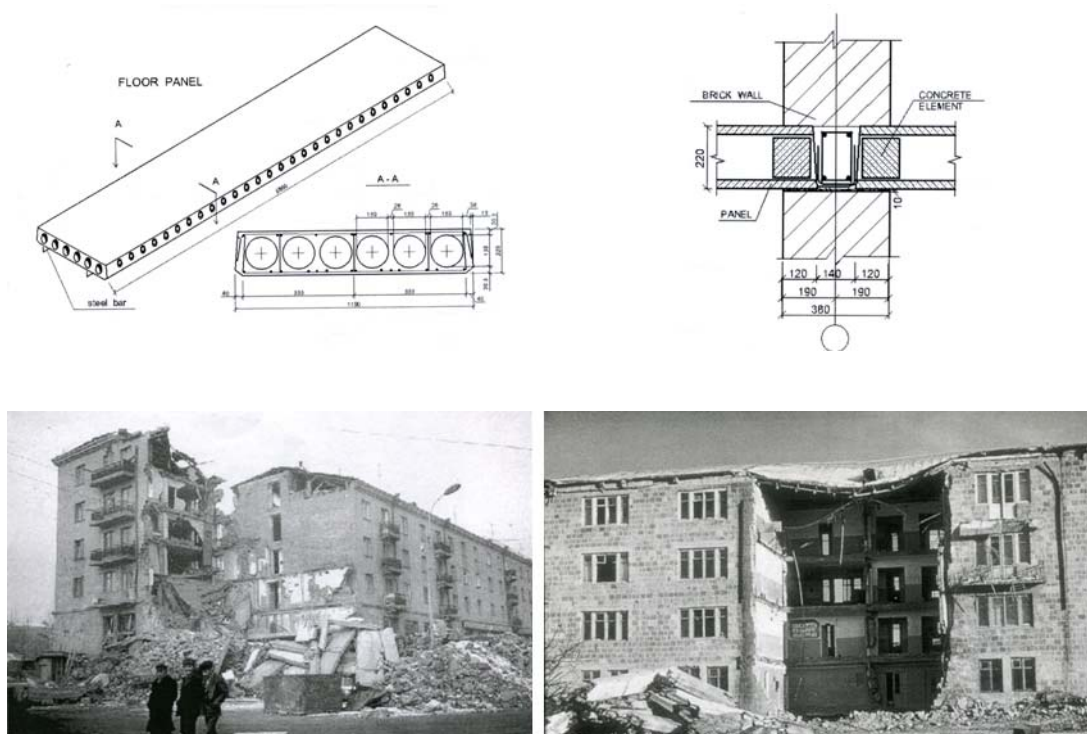


Fig.14 Cladiri din zidarie de caramida cu plansee din fasii cu goluri

importante avarii s-au produs la clădirile realizate din cadre prefabricate, din cauza îmbinărilor grinda-stâlp necorespunzătoare cerințelor de ductilitate (Fig. 15) (EERI, 2002). Figura 16 prezintă colapsul acestor structuri în cadre prefabricate. Avariile acestora pot fi comparate cu comportarea bună a structurilor realizate din panouri mari, care se observă în spatele clădirilor prăbușite ca fiind neafectate de cutremur. Și la cutremurul din 1995 Kobe s-a remarcat faptul că clădirile de înălțime medie realizate din panouri mari s-au comportat fără avarii semnificative (Ghosh, 1995).

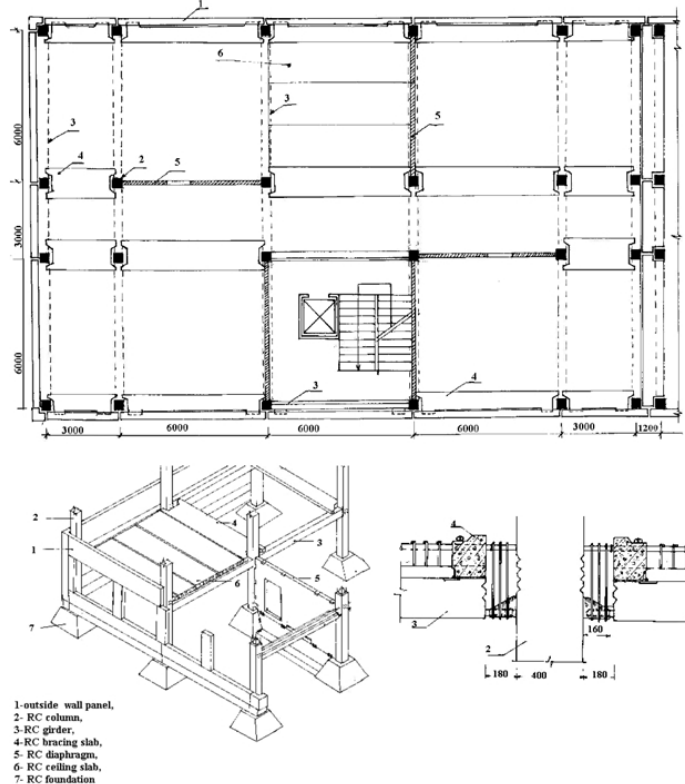


Fig. 15 Structura in cadre integral prefabricata



Fig. 16 Colapsul unor cladiri in cadre prefabricate-Spitak (Armenia)

4. CONCLUZII

În general, structurile prefabricate s-au comportat corespunzător în timpul cutremurelor mari produse în ultimele decenii. Totuși s-au înregistrat și avarii sau colapsul unor structuri prefabricate, care au arătat că unele deficiențe de proiectare sau execuție le fac foarte sensibile la acțiunile seismice. Scopul acestei lucrări a fost de a prezenta aceste deficiențe, pe baza consultării literaturii de specialitate, care prezintă avariile produse la unele structuri prefabricate. Astfel se pot trage următoarele concluzii cu caracter general, de care trebuie să se țină seama în proiectare și execuție.

- Avariile construcțiilor prefabricate descrise în lucrare nu sunt datorate sistemului propriu-zis ci unor detalii incorect rezolvate sau a lipsei unei concepții clare de proiectare.
- Structurile prefabricate sunt foarte sensibile la acțiunile seismice în fazele de execuție, etapă în care nu este asigurată conlucrarea spațială a structurii.
- Comportarea seismică corespunzătoare depinde în cea mai mare măsură de procedeul de îmbinare grindă-stâlp, care trebuie să asigure formarea unui mecanism de cedare și o ductilitate corespunzătoare. În acest sens se constată pe plan mondial o intensificare a cercetărilor teoretice și experimentale, care propun diferite procedee de îmbinare (precomprimarea îmbinării este procedeul cel mai studiat, Priestley et al, 1999, Pampanin, 2005).
- Efectul de diafragmă orizontală asigurat de planșee sau acoperișuri este esențial în obținerea unei comportări corespunzătoare.
- Pentru structurile prefabricate este stringentă necesitatea de completare a normelor seismice cu recomandări speciale. Astfel, se recomandă să fie adoptați coeficienți de comportare q mai reduși decât la structurile monolite și că aceste structuri nu pot fi încadrate în categoria H de ductilitate ridicată.
- Numai pentru cazurile când studiile experimentale și teoretice dovedesc o foarte bună comportare structurală locală și globală pot fi folosite valori similare, sau chiar mai mari, decât cele corespunzătoare structurilor monolite. Această condiție implică și o verificare foarte atentă a modului de aplicare în execuție a cerințelor impuse de proiectare.

5. BIBLIOGRAFIE

- Aschheim, M., Gulkan, P., Sezen, H. (2000) : Chapter 11, Performance of buildings. Structures and Industrial Facilities, Kocaeli, Turkey Earthquake of August 17, 1999, Reconnaissance Report, Earthquake Spectra, Supplement to Volume 16, 237-279
EERI (2002): World housing encyclopedia report: Uzbekistan
EERI (2003): World housing encyclopedia report: Kazakhstan

- Gioncu, V., Mazzolani, F.M. (2002): Ductility of Seismic Resistant Steel structures. Spon press, London
- Ghosh, S.K. (1995): Observations on the performance of structures in the Kobe earthquake of January 17, 1999. PCI Journal, March- April, 14-22
- Ghosh, S.K. (2001): Earthquake-resistant precast buildings. MC Magazine Winter
- Glass, J. (2000): Wall panel renaissance: tilt-up concrete construction. Proceedings of Institution of Civil Engineers, Vol. 140, 277-289
- Mazzolani, F.M. (2002): Structural integrity under exceptional actions: basic definitions and field of activity. Improvement of Buildings' Structural Quality by New Technologies. COST Action C12, Lisbon, 19-20 April 2002, 67-80
- Pampanin, S. (2005): Emerging solutions for high seismic performance of precast/prestressed concrete buildings. Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 3, No. 2 207-233
- Posada, M., Wood, S.L. (2002): Seismic performance of precast industrial buildings in Turkey. 7th National Conference on Earthquake Engineering, 7NCEE, Boston, 21-25 July 2002
- Priestley, M.J.N., Sritharan S., Conley, J.R., Pampanin, S. (1999): Preliminary results and conclusions from the press five-story precast concrete test building, PCI Journal, November-December 42-67
- Saatcioglu, M., Mitchell, D., Tinawi, R., Gardner, N.J., Gilles, A.G., Ghobarah, A., Anderson, D.L., Lau, D. (2001): The August 17, 1999, Kocaeli (Turkey) earthquake – damage to structures. Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 28, 715-737
- Scawthorn, C., McCormick D.L. (2003): Chapter 14. Precast and tilt-up buildings. Earthquake Engineering Handbook (eds. W.F. Chen and C. Scawthorn). CRC Press, Boca Raton
- Sezen, H., Elwood, K.H., Whittaker, A.S., Mosalam, K.M., Wallace, J.W., Stanton, J.F. (2000): Structural engineering reconnaissance of the August 17, 1999, Kocaeli (Izmit), Turkey, earthquake. Pacific Earthquake engineering Research Center, 2000/09
- Sezen, H., Whittaker, A. S. (2006): Seismic performance of industrial facilities affected by the 1999 Turkey earthquake. Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol. 20, No. 1, 28-36
- Wood, S.L. (2005): Seismic rehabilitation of low-rise industrial buildings. Advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Reduction, NATO SIP Project, Istanbul 30May-1June 2005, Springer Netherlands, Vol. 66, 2006, 167-177