
ANALIZA RĂSPUNSULUI SEISMIC AL CLĂDIRILOR CIVILE DIN BETON ARMAT REABILITATE PRIN DIFERITE METODE MODERNE DE INTERVENȚIE

Andreea DUȚU

REZUMAT

Articolul prezintă un studiu de caz prin care se analizează răspunsul seismic a două structuri în cadre din beton armat cu înălțimi diferite (o structură joasă și una înaltă) când sunt supuse la trei tipuri de înregistrări seismice (cu frecvență joasă, medie și înaltă). S-au studiat trei modele de cadre din beton armat: cadre simple, cadre cu panouri din zidărie cu rigiditate mică și cadre cu panouri din zidărie cu rigiditate mare. Patru metode de reabilitare au fost aplicate și studiate pe aceste modele de structuri în cadre: (1) introducerea pereților din beton armat, (2) introducerea contravântuirilor metalice, (3) utilizarea diagonalelor din benzi din polimeri armați cu fibre (FRP) și (4) înfășurarea parțială sau totală a elementelor cadrului (stâlpi și grinzi) folosind materialele din polimeri armați cu fibră de carbon. Analiza a fost efectuată având ca parametri accelerația de vârf a terenului maximă, deplasarea relativă de nivel maximă, forța tăietoare de nivel maximă și capacitatea de disipare a energiei.

Cuvinte cheie: reabilitare, consolidare, metode, răspuns seismic

ABSTRACT

The article presents a case study that analyzes the seismic response of two RC frame buildings with different heights (a low and a tall structure) with or without masonry infill, when they are subjected to three types of seismic motion records (low, medium and high frequency). This analyze was made on three models of RC frame buildings: simple frame, masonry infill frame with soft infill and masonry infill frame with stiff infill. Four rehabilitation methods were applied and studied on these frame structure models: (1) introducing RC walls, (2) introducing steel bracings, (3) using diagonal FRP bracing and (4) partial or total wrapping of frame elements (columns and beams) using FRP. The analysis was made having as parameters the maximum peak ground acceleration, the maximum inter-storey drift, the maximum storey shear and the energy dissipation capacity.

Keywords: rehabilitation, strengthening, methods, seismic response

1. INTRODUCERE

Istoria ingineriei seismice în România este marcată de patru cutremure importante: 14/26 octombrie 1802, 11/23 ianuarie 1838, 10 noiembrie 1940 și 4 martie 1977.

Primul este considerat a fi cel mai mare eveniment seismic din zona Vrancea, când a avut loc prăbușirea turnului Colței. Cel de-al doilea este comparabil cu primul, ca magnitudine și efecte. Cutremurul din 10 noiembrie 1940, care a determinat prăbușirea blocului Carlton, a fost primul care a născut întrebări și preocupări în ingineria structurală a clădirilor din beton armat. Acestea au condus la apariția primelor norme de proiectare a construcțiilor la cutremur „Instrucțiunile pentru prevenirea

deteriorării construcțiilor din cauza cutremurelor și pentru refacerea celor degradate” publicate în 1942, norme în care a fost introdusă prima zonare seismică a teritoriului.

La acea vreme, calculul structural se făcea numai la forțe gravitaționale, iar tendința de aliniere la principiile arhitecturale comune (de ex.: retragerile în trepte de la frontonul stradal, cu excentricități în sistemul de transmitere a forțelor), a determinat o vulnerabilitate seismică importantă [1].

Deși avariile au fost majore, nu s-a pus problema reabilitării fondului construit avariat în urma cutremurului din 1940. Acest lucru a avut consecințe grave în comportarea structurilor la cutremurul din 4 martie 1977, când s-au prăbușit sau avariat în mare proporție 28 de clădiri în București [1].

După acest eveniment inginerii, cercetătorii și seismologii au făcut progrese semnificative în domeniul ingineriei seismice. Pe baza înregistrării seismice de la INCERC, coeficienții seismici asociați gradelor din harta de zonare de atunci au fost drastic măriți, modificându-se curba de amplificare dinamică din normativul de proiectare antiseismică.

În prezent proiectarea clădirilor noi se face cu metoda de proiectare bazată pe conceptul de performanță, prin care se urmărește evitarea prăbușirii clădirilor, în principal prin creșterea capacității structurilor acestora de disipare a energiei [2].

Rămân, însă, câteva întrebări: „cum răspund cerințelor seismice în realitate aceste clădiri noi, moderne, proiectate pe această bază?” sau „ce facem cu clădirile vechi afectate de cutremurele majore anterioare?”. Deoarece, unele dintre clădirile vechi, deși consolidate, reprezintă un mare pericol pentru locatari, și aceasta nu numai datorită faptului că reabilitarea lor, imediat după cutremurul din 1977, a fost realizată cu metode de intervenție cât mai ieftine, a căror eficiență ridică mari semne de întrebare.

În ultimii ani, problema reabilitării structurale a clădirilor degradate a devenit stringentă deoarece probabilitatea iminenței unui nou cutremur, asemănător cu cel din 1977, este foarte mare. Totuși, deși populația a realizat necesitatea protecției antiseismice, lucrurile merg foarte lent în ceea ce privește finanțarea lucrărilor de consolidare.

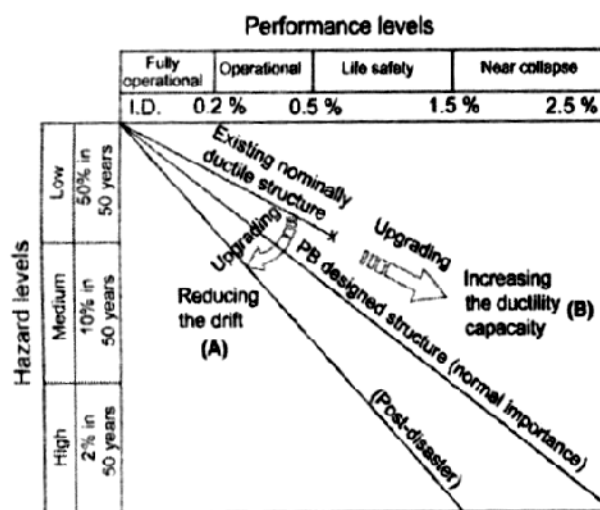


Fig. 1. Performanța seismică a structurilor existente ne-ductile și posibilitățile de sporire

Soluțiile de consolidare pentru structuri din beton armat pot fi extrem de variate, în funcție de scopul urmărit: sporirea rezistenței, sporirea ductilității, evitarea concentrării eforturilor în unele elemente sau reducerea forțelor seismice.

În momentul în care se ia decizia de consolidare a unei structuri, trebuie avut în vedere în primul rând scopul urmărit și, în al doilea rând, soluția de consolidare prin care se poate realiza acest scop. Din acest motiv, este necesar să se cunoască aportul fiecărei soluții de intervenție în ceea ce privește creșterea performanței structurii la seism, în funcție de obiectivul scopul prin realizarea consolidării.

2. STUDIU DE CAZ. ANALIZĂ COMPARATIVĂ PRIVIND DIFERITE METODE DE REABILITARE

H. El-Sokkary și K. Galal [2] de la Universitatea Concordia din Canada au investigat eficiența unor soluții de reabilitare a structurilor din beton armat prin creșterea performanței la seism. În acest studiu sunt investigate performanțele a două tipuri de cadre din beton armat care corespund structurii pentru o clădire joasă și o clădire înaltă cu sau fără panouri din zidărie, în cazul în care sunt supuse la trei tipuri de înregistrări ale mișcării terenului. Înregistrările reprezintă seisme cu conținut de frecvențe joase, medii sau înalte.

În fig. 1 se poate observa că sporirea performanței seismice a structurilor existente ne-ductile, poate fi realizată prin creșterea capacității de rezistență cu sau fără reducerea deplasărilor laterale.

Creșterea capacității prin reducerea deplasărilor laterale a structurii, la aceeași valoare a accelerației de proiectare (valoarea de vârf a accelerației orizontale a terenului)[4], reprezentată în figură prin săgeata A, se poate realiza prin creșterea rigidității structurii, de exemplu prin introducerea pereților din beton armat sau a contravântuirilor metalice.

Pentru sporirea ductilității fără reducerea deplasării relative de nivel, la aceeași valoare a accelerației de proiectare (reprezentată în figura 1 prin săgeata B) se poate spori ductilitatea elementelor structurale ale clădirii fără să fie modificată rigiditatea, de exemplu prin utilizarea fâșiilor din FRP pentru înfășurarea stâlpilor și/sau riglelor.

S-au luat în considerare trei modele pentru cadrele din beton armat: cadru simplu, cadru cu panouri de umplură din zidărie cu rigiditate mică și cadru cu panouri de umplură din zidărie cu rigiditate mare. S-au utilizat patru soluții de reabilitare: (1) introducerea unui perete din beton armat, (2) introducerea contravânturilor metalice, (3) utilizarea fâșiilor din polimeri armați cu fibră de carbon (FRP) pentru cadrele cu panouri din zidărie și (4) înfășurarea totală sau parțială a elementelor structurale ale cadrului (grinzi și stâlpi) folosind polimeri FRP [2].

În studiul de caz, care va fi prezentat în continuare, s-au folosit înregistrări ale unor cutremure din SUA. Deși caracteristicile cutremurelor vrâncene sunt diferite de cele ale cutremurelor din SUA, se pot trage concluzii privind eficiența metodelor de reabilitare studiate.

2.1. Prezentarea metodelor de intervenție utilizate pentru consolidarea cadrelor din beton armat

Diafragmele din beton armat și contravânturile metalice reprezintă sisteme eficiente din punct de vedere al rezistenței la forțe laterale și sunt considerate soluții potrivite pentru reabilitarea structurilor existente. Diafragmele din beton armat pot asigura rigiditatea laterală și rezistența la forțe orizontale, consecință a încărcărilor din vânt sau seism. S-au efectuat multe studii pentru aceste soluții pentru a analiza comportamentul lor la forțe laterale și pentru a ajuta proiectanții să poată prevedea răspunsul la seism al clădirilor la care se utilizează aceste soluții pentru intervenție.

Sistemul de contravânturi metalice are, de asemenea, câteva avantaje datorită cărora reprezintă o alternativă eficientă pentru asigurarea rezistenței și rigidității structurii la forțe laterale. Contravânturile metalice au avantajul major de a fi aplicate cu ușurință, mai ales pe exteriorul clădirii, fără a deranja locuitorii clădirii. Metalul este caracterizat printr-o rezistență mare raportată la greutate, astfel că masa adăugată structurii este mai mică decât în cazul introducerii diaframelor.

Materialele din polimeri armați cu fibre (FRP) sunt considerate a avea un potențial ridicat în ceea ce privește consolidarea și reabilitarea structurilor existente datorită rezistenței mari și aplicării ușoare. Au fost propuse câteva soluții de reabilitare cu FRP care pot fi folosite pentru elementele structurale ale cadrului. Materialele din FRP pot fi utilizate pentru înfășurarea totală sau parțială a elementelor, cum sunt stâlpii și grinzi, pentru a le spori ductilitatea și capacitatea la forță tăietoare. În cazul cadrelor cu panouri din zidărie, pot fi aplicate pe suprafața panoului, pe anumite direcții, de regulă diagonalele sau în întregime, plăci sau țesătură din FRP, lipite cu rășini sintetice [2].

2.2. Caracteristicile mișcărilor seismice utilizate în analiză

În studiu, a fost ales pentru analiză un set de cutremure de adâncime înregistrate în SUA.

Înregistrările mișcării terenului reprezintă cutremure cu frecvențe joase, medii și înalte. Caracteristicile acestor cutremure sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1.

Nr. crt.	Cutremurul	Locația	Data	A (g)	V (m/s)	Durata (s)	Condiții de amplasament
1	Lower California	El Centro	30.12.1934	0,160	0,209	90,36	Teren rigid
2	San Fernando, Cal.	2500 Wilshire Blvd., LA	9.02.1971	0,101	0,193	25,32	Teren rigid
3	Long Beach, Cal.	LA Subway Terminal	10.03.1933	0,097	0,237	99,00	Rocă
4	San Fernando, Cal.	234 Figueroa St., LA	9.02.1971	0,200	0,167	47,10	Teren rigid
5	Kern County, Cal.	Taft Lincoln School Tunnel	21.07.1952	0,179	0,177	54,42	Rocă
6	Imperial Valley	El Centro	18.05.1940	0,348	0,334	53,76	Teren rigid
7	Lytle Creek, Cal.	6074 Park Dr., Wrightwood	12.09.1970	0,198	0,096	16,74	Rocă
8	Parkfield, Cal.	Cholame, Shandon	27.06.1966	0,434	0,255	44,04	Rocă
9	San Francisco	Golden Gate Park	22.03.1957	0,105	0,046	39,88	Rocă

2.3. Proprietățile structurilor utilizate pentru studiul diferitelor tehnici de reabilitare

Au fost alese pentru acest studiu cadrele din beton armat corespunzătoare structurilor a două clădiri proiectate după un standard vechi, cu metoda proiectării la capacitatea de rezistență. Clădirile au înălțimea de 5, respectiv 15 etaje, reprezentând clădiri joase, respectiv înalte. Înălțimea etajului este de 3,25 m, iar înălțimile totale ale celor două tipuri de cadre sunt de 16,25 m și, respectiv, 48,75 m. Elevațiile celor două tipuri de cadre, în secțiune transversală prin clădire, dimensiunile stâlpilor și grinzilor, precum și armarea și procente de armare sunt prezentate în figura 2.

Dimensiunile secțiunii stâlpilor și rapoartele de armare variază pe înălțimea cadrelor datorită variației

forței axiale, în timp ce dimensiunile grinzilor și armarea acestora sunt la fel pe toată înălțimea structurii. Rezistența la compresiune a betonului este $f'_c = 25$ MPa, iar rezistența la întindere a oțelului este $f_y = 400$ MPa.

2.4. Scheme de aplicare a tehnicilor de reabilitare pe structurile existente

Pentru a studia influența rigidității panourilor de umplură din zidărie asupra răspunsului la seism al structurilor în cadre, s-au luat în considerare două tipuri de panouri din zidărie, cu rigidități diferite. Au fost reabilitate trei tipuri de cadre (un cadru din beton armat, un cadru cu panouri din zidărie cu rigiditate mică și un cadru cu panouri din zidărie cu rigiditate mare) prin patru soluții de intervenție. Prima soluție

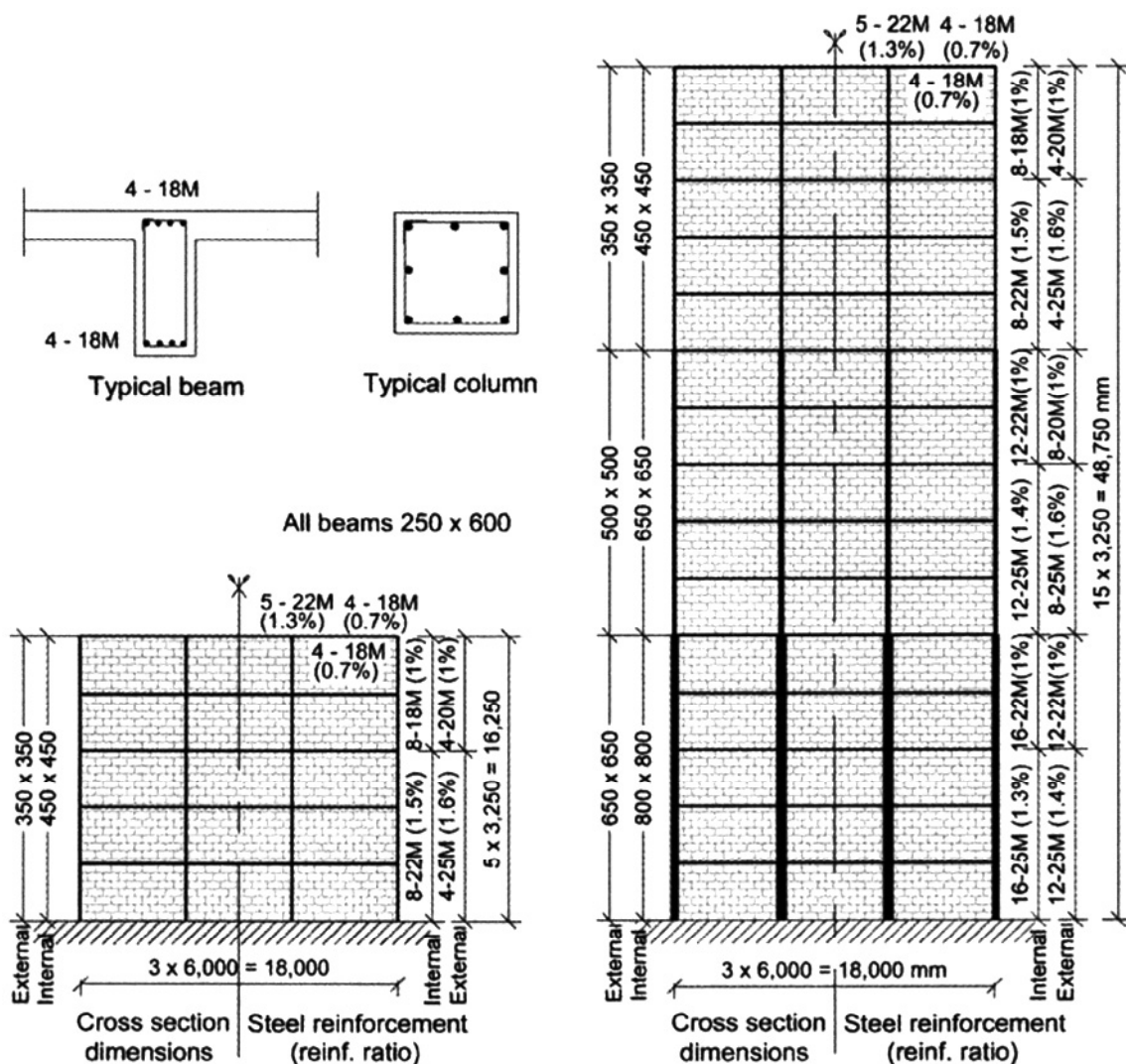


Fig. 2. Elevațiile structurilor în cadre din beton armat cu 5, respectiv 15 niveluri

a fost prin demolarea panoului din zidărie din deschiderea centrală și introducerea unui perete din beton armat de 6 m lățime (deschiderea centrală) și 20 cm grosime pentru cadrul cu 15 etaje și, respectiv, 10 cm grosime pentru cadrul cu 5 etaje. Procentul de armare este de 0,015 pentru ambele cazuri. S-a considerat că dimensiunile și procentul de armare rămân constante pe toată înălțimea clădirii.

A doua soluție de reabilitare a fost prin introducerea contravânturilor metalice în formă de „X” în deschiderea centrală, pe întreaga înălțime a cadrelor. Au fost utilizate profile HSS 219 × 6,4, pentru structura cu 5 etaje și HSS 273 × 11 pentru cea cu 15 etaje. Limita de curgere pentru oțel este $F_y = 350$ MPa.

Cea de-a treia soluție de reabilitare a fost aplicarea diagonalelor din benzi din FRP, ancorate în zidărie și elementele structurale pe cele trei deschideri ale cadrelor, pe toată înălțimea. A mai fost studiat și cazul în care diagonalele din FRP au fost aplicate doar pe deschiderea centrală.

A patra soluție de reabilitare a fost prin înfășurarea stâlpilor cu fâșii din FRP, în timp ce grinziile au fost înfășurate cu fâșii din FRP, pe trei laturi, până aproape de reazeme.

S-au studiat: structura nereabilitată și structura reabilitată cu pereți structurali din beton armat, cu contravânturi metalice, cu benzi diagonale din FRP și structura reabilitată prin înfășurarea cu materiale din FRP. Toate acestea s-au studiat pentru cadrul din beton armat, cadrul cu panouri cu umplutură din zidărie cu rigiditate mică și cadrul cu panouri cu umplutură din zidărie cu rigiditate mare.

În figura 3 au fost prezentate schematic cele 4 soluții de reabilitare, într-o singură figură.

În tabelele 2, 3 și 4 este prezentată influența fiecărei soluții de consolidare asupra perioadei proprii de vibrație pentru fiecare tip de cadru analizat.

Tabelul 2.

Perioadele proprii de vibrație ale cadrului din beton armat simplu reabilitat cu diferite metode

Nr. et.	Cadrul simplu			
	Nereabilitat	Pereți	Contravânturi metalice	Înveliș din FRP
5	1,01	0,38	0,59	1,01
15	2,49	1,52	1,75	2,49

Tabel 3.

Perioadele proprii de vibrație ale cadrului cu panouri din zidărie cu rigiditate mică reabilitat cu diferite metode

Nr. et.	Cadru cu umplutură din zidărie cu rigiditate mică				
	Nereabilitat	Pereți	Contravânturi metalice	Diagonale FRP	Înveliș din FRP
5	0,39	0,28	0,35	0,38	0,39
15	1,38	1,19	1,28	1,36	1,38

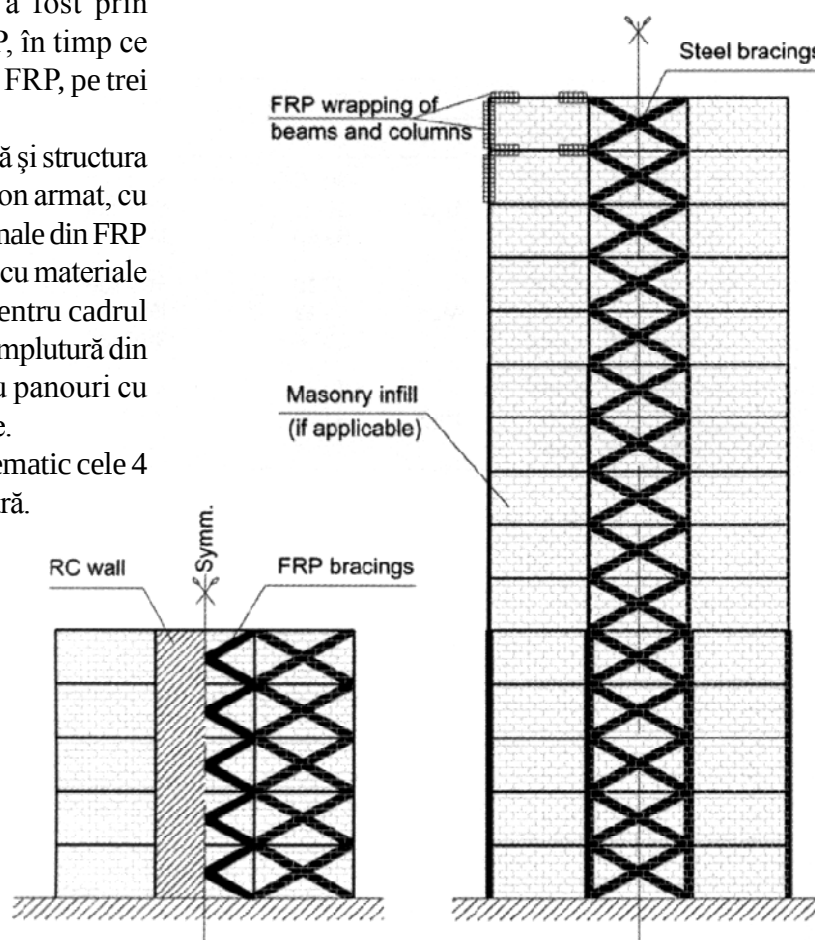


Fig. 3. Cele patru soluții de intervenție utilizate pentru reabilitarea structurilor din beton armat de 5, respectiv 15 etaje

Tabel 4.

Perioadele proprii de vibrație ale cadrului cu panouri din zidărie cu rigiditate mare reabilitat cu diferite metode

Nr. et.	Cadru cu umplutură din zidărie cu rigiditate mare				
	Nereabilitat	Pereți	Contravântuiri metalice	Diagonale FRP	Înveliș din FRP
5	0,22	0,21	0,21	0,21	0,22
15	1,04	1,02	1,04	1,04	1,04

2.5. Rezultatele răspunsului la seism al cadrelor analizate

Analiza răspunsului cadrelor (neconsolidate și consolidate) supuse acțiunii seismice, a fost efectuată prin modelare matematică cu ajutorul unui program de analiză dinamică pentru structuri, CANNY, și este prezentată pentru cei patru parametri avuți în vedere la efectuarea studiului:

- valoarea de vârf a accelerației orizontale a terenului (PGA) determinată pentru intervalul mediu de recurență de referință (IMR) corespunzător stării limită ultime care descrie hazardul seismic [4];
- deplasarea relativă de nivel, determinată ca diferența deplasărilor laterale medii la partea superioară și cea inferioară a nivelului considerat;

- forța tăietoare de nivel reprezentând forța ce acționează în direcție orizontală la un anumit nivel;

- capacitatea de disipare a energiei care se referă la cantitatea de energie indusă de seism pe care o poate consuma structura.

2.5.1. Valoarea de vârf a accelerației terenului

Ambele structuri, de 5, respectiv 15 etaje evaluate pentru diferite scheme de reabilitare supuse la 3 tipuri de cutremure (cu conținut de frecvențe joase, medii și înalte), s-au comportat satisfăcător la intensitățile maxime ale cutremurelor folosite în analiză.

În figura 4 sunt prezentate accelerațiile de vârf ale terenului (PGA), maxime, corespunzătoare, atinsă de structurile reabilitate cu diferite metode având rigidități diferite în funcție de înălțime, înalte sau joase. În figură se prezintă valoarea medie a PGA pentru cutremure cu frecvențe joase, medii și înalte. Această valoare este utilă pentru evaluarea efectului frecvenței cutremurului asupra comportării structurilor analizate.

Din figură se poate observa că utilizarea diagonalelor cu benzi din FRP sporește capacitatea de rezistență la valori maxime ale accelerației în

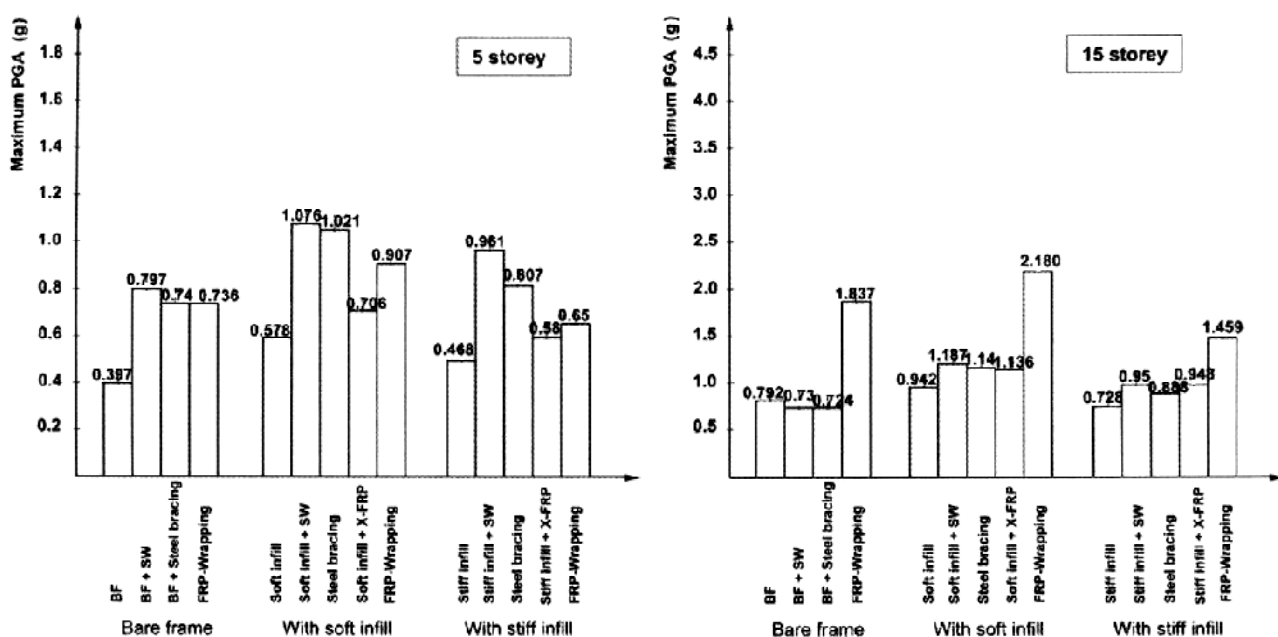


Fig. 4. Accelerația de vârf a terenului maximă pentru cele patru soluții de intervenție

amplasament și pentru clădiri joase și pentru clădiri înalte. În același timp se observă că utilizarea pereților structurali sau a contravânturilor metalice sporește și mai mult capacitatea la PGA, în comparație cu metoda cu diagonale din FRP.

Se mai evidențiază eficiența tehnicii înfășurării cu folii din FRP, în special pentru clădiri înalte.

În ceea ce privește efectul frecvențelor corespunzătoare cutremurelor asupra comportamentului structurilor în cadre din beton armat, se poate reține că această capacitate de rezistență pentru PGA a fost semnificativ dependentă de frecvența mișcării seismice.

2.5.2. Deplasarea relativă de nivel maximă pentru structurile din beton armat reabilite

Pentru calculul deplasării relative de nivel maxime s-a utilizat un model al cadrului simplificat prin concentrarea maselor la fiecare nivel, considerând diafragma orizontală infinit rigidă. Astfel, s-a obținut deplasarea laterală la fiecare nivel, prin împărțirea diferenței de deplasări laterale dintre două etaje succesive la înălțimea etajului.

În figura 5 este prezentată deplasarea relativă de nivel maximă (atunci când structura este supusă unei PGA maxime) pentru structurile în cadre din beton armat reabilite prin diferite metode.

Din figură reiese că diagonalele din FRP au o influență neglijabilă asupra deplasării relative de nivel maxime. Pe de altă parte, reabilitarea structurilor prin introducerea de pereți sau de contravânturi metalice conduce la reducerea deplasării relative de nivel. Acest lucru poate fi asociat cu creșterea rigidității structurii, datorită acestor două metode de reabilitare. Trebuie menționat că pentru cele trei soluții de reabilitare amintite mai sus, cedarea a apărut în stâlpii și grinzile neductile ale structurii existente. Se poate vedea, din figura 4, că deplasarea relativă de nivel maximă este mare pentru structurile reabilite prin înfășurarea elementelor cu folii din FRP, atât pentru clădiri joase cât și pentru cele înalte, ceea ce conduce la o structură cu ductilitate mai amplă și cu o deplasare relativă de nivel maximă mai mare.

Figura evidențiază, de asemenea, că pentru o anumită înălțime a clădirii (joasă sau înaltă) și pentru anumite proprietăți dinamice și histeretice ale clădirii,

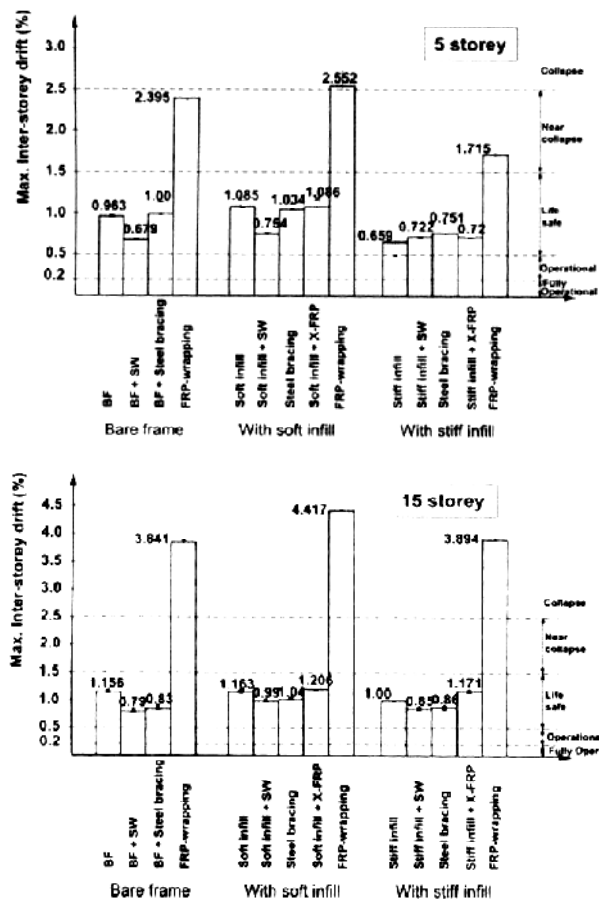


Fig. 5. Deplasarea relativă de nivel maximă pentru structurile cu 5, respectiv 15 niveluri

deplasarea relativă de nivel maximă s-a modificat ușor. Acest lucru nu este valabil și în ceea ce privește PGA maximă a structurii care a fost influențată de conținutul de frecvențe al cutremurului, după cum este arătat în figura 4. Astfel se justifică validarea utilizării deplasării relative de nivel maximă ca parametru uniform și de încredere pentru degradări, folosit pentru evaluarea performanței structurilor reabilite. Nivelele de performanță care reprezintă gradul de degradare al structurii în termeni de deplasare relativă de nivel sunt, de asemenea, prezentate în figură.

În figura 6 este prezentată curba accelerație de vârf a terenului – deplasare relativă de nivel maximă a structurilor în cadre din beton armat cu 5, respectiv 15 etaje, reabilite prin diferite metode de intervenție. Se poate observa că prin reabilitarea structurilor cu diagonale din FRP a rezultat o scădere a deplasării relative de nivel maximă pentru o anumită valoare a PGA, atunci când se compară cu structura nereabilitată. În timp ce, pentru același nivel al PGA, reabilitarea cadrelor prin introducerea pereților din

beton armat sau a contravântuirilor metalice în „X” a produs o creștere semnificativă a forței axiale în stâlpii existenți de la etajele inferioare, ceea ce indică necesitatea consolidării stâlpilor existenți (de ex.: prin cămășuială din beton armat) pentru a le spori capacitatea la forță axială și la forțe laterale. De asemenea, ar putea fi necesară și consolidarea fundațiilor.

Figura indică și faptul că reabilitarea cadrelor prin metoda înfășurării cu folii din FRP nu a redus semnificativ valoarea deplasării relative de nivel maxime la același nivel al PGA, dar a sporit PGA maximă.

Figura 7 prezintă distribuția deplasării relative de nivel pe înălțimea structurilor de 5, respectiv 15 etaje cu panouri de umplutură din zidărie atunci când sunt supuse mișcării seismice înregistrate la cutremurul El Centro. Figura 7 evidențiază eficiența fiecărei scheme de reabilitare în ceea ce privește reducerea valorii deplasării relative de nivel maxime. Din figură, se poate vedea că reabilitarea structurii prin introducerea pereților din beton armat sau a contravântuirilor metalice au caracteristici diferite în ceea ce privește deplasarea relativă de nivel, în comparație cu alte soluții de reabilitare.

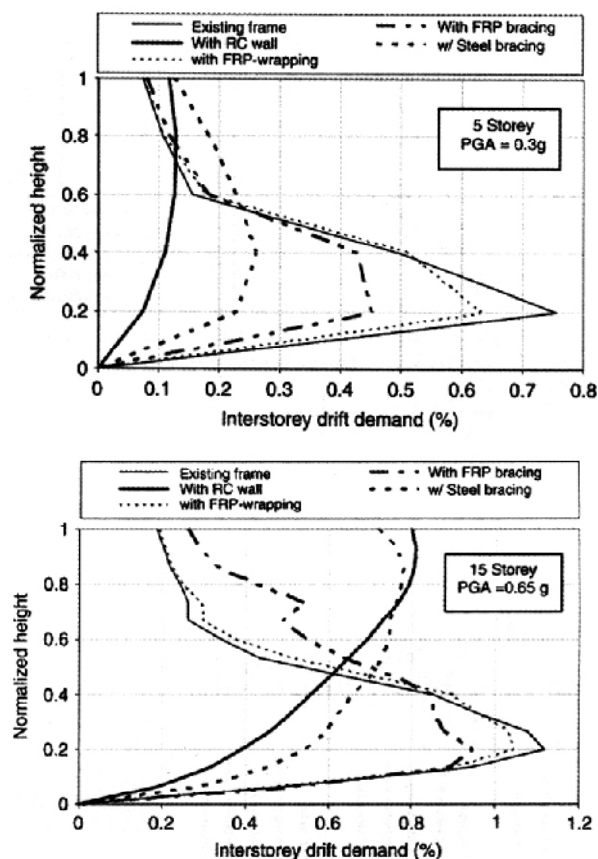


Fig. 7. Distribuția deplasării relative de nivel în funcție de înălțimea structurii

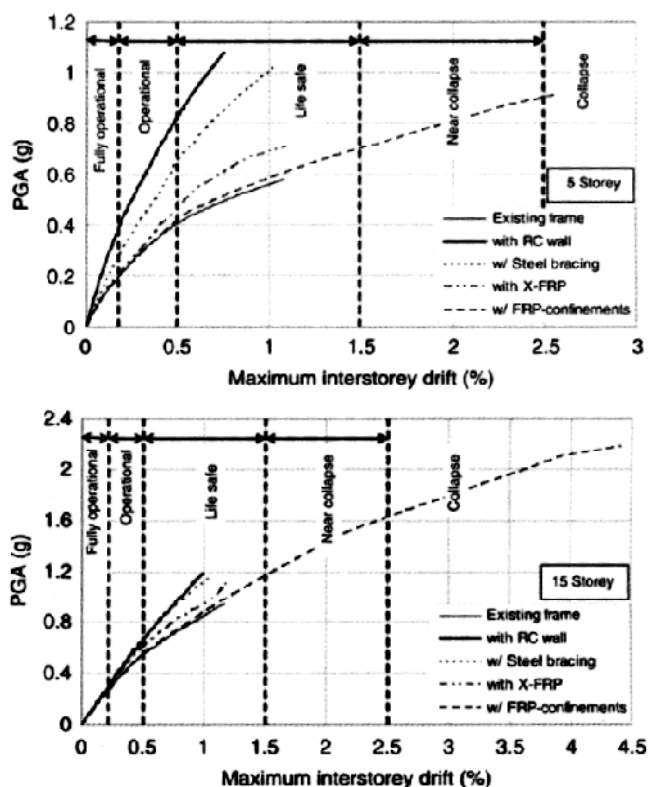


Fig. 6. Curbele de capacitate pentru structurile cu 5, respectiv 15 niveluri

Trebuie remarcat faptul că profilul deplasării relative de nivel asociat schemei de reabilitare prin introducerea pereților din beton armat sau a contravântuirilor metalice are avantajul de a avea o deplasare relativă de nivel maximă mai redusă (în comparație cu alte soluții de reabilitare) și că deplasarea relativă de nivel maximă apare la un nivel mai sus al clădirii. Acest lucru ar reduce neliniaritățile suplimentare rezultate din efectele $P-\Delta$.

2.5.3. Forța tăietoare de nivel maximă pentru structurile în cadre din beton armat reabilite

În figura 8 este prezentat raportul dintre forța tăietoare de nivel maximă și greutatea totală a structurii pentru clădiri joase și înalte. Se observă că reabilitarea cadrelor prin introducerea pereților din beton armat sau a contravântuirilor metalice implică preluarea unor forțe mai mari datorită creșterii rigidității, ceea ce conduce la o reducere a perioadei proprii de vibrație a structurii. Figura

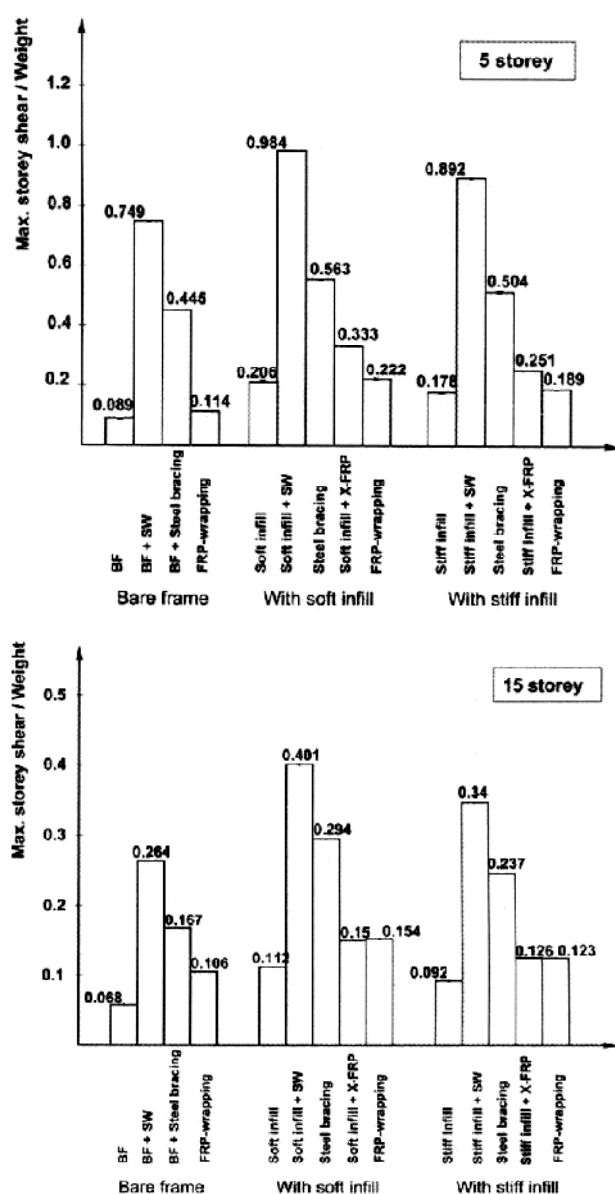


Fig. 8. Forța tăietoare de nivel capabilă raportată la înălțimea totală a structurii

scoate în evidență și faptul că prezența panourilor din zidărie sporește rigiditatea structurii și este important să se ia în calcul acest aport de rigiditate.

Figura 10 prezintă capacitatea maximă de disipare a energiei de către o structură cu 5, respectiv 15 etaje reabilitată prin diferite metode de reabilitare pentru modele cu panouri cu umplutură din zidărie cu rigiditate mică și mare. Se poate vedea că pentru clădirile joase reabilitarea prin introducerea pereților din beton armat sau a contravântuirilor metalice a condus la o disipare de energie mai mare decât în cazul diagonalelor din FRP sau a înfășurării elementelor cu folii din FRP, ceea ce indică faptul că introducerea unui perete din beton armat va fi

mai eficientă pentru preluarea forțelor laterale decât utilizarea diagonalelor din FRP sau a înfășurării elementelor cu folie din FRP, deși această soluție nu este practică în cazul în care clădirea este ocupată de locatari în timpul reabilitării. În acest caz, contravântuirile metalice, diagonalele din FRP și înfășurarea elementelor cu folie din FRP pot reprezenta soluții alternative.

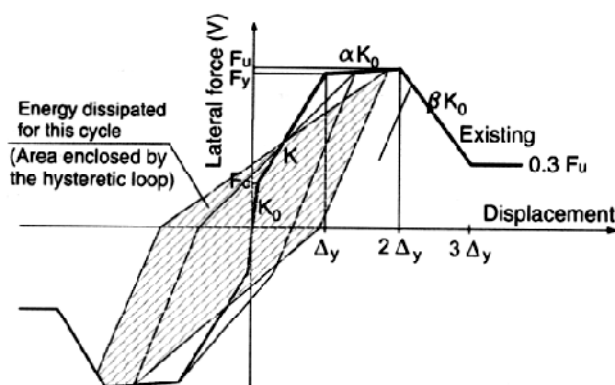


Fig. 9. Curba de comportare histeretică

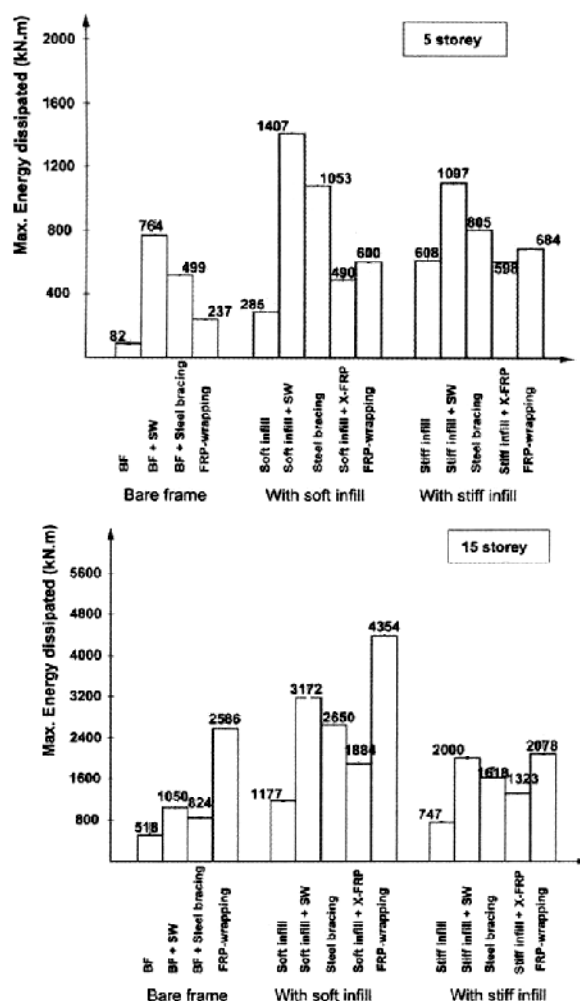


Fig. 10. Energia maximă disipată de structura joasă, respectiv de cea înaltă

Figura evidențiază, de asemenea, faptul că pentru clădirea înaltă, înfășurarea stâlpilor și grinzilor cu folii din FRP determină o disipare de energie mai mare decât în cazul introducerii unui perete din beton armat, a contravântuirilor metalice sau a diagonalelor din FRP.

3. CONCLUZII

Din studiul de caz prezentat putem trage câteva concluzii care pot fi luate în considerare la alegerea metodei de intervenție celei mai potrivite atunci când este necesară reabilitarea unei structuri în cadre din beton armat.

Pentru structura joasă, introducerea unui perete din beton armat a determinat creșterea PGA, forța tăietoare de nivel capabilă și capacitatea de disipare a energiei, în timp ce reabilitarea stâlpilor și a grinzilor structurii prin înfășurarea cu folii din FRP a determinat creșterea deplasării relative de nivel maxime.

În cazul structurilor înalte, introducerea unui perete din beton armat a condus la creșterea forței tăietoare de nivel capabile, în timp ce reabilitarea stâlpilor și a grinzilor prin înfășurarea cu folii din FRP a condus la creșterea PGA maxim, a deplasării relative de nivel maxime și a capacității de disipare a energiei.

Driftul relativ de nivel maxim este puțin influențat de caracteristicile cutremurului. Acest lucru justifică validarea utilizării deplasării relative de nivel maxime ca parametru uniform și de încredere al degradării, care poate fi folosit pentru analiza performanței structurii reabilite.

Pentru cazul reabilitării prin înfășurarea elementelor cu fâșii din FRP, toate cadrele structurii existente trebuie reabilite pentru a ajunge la nivelul de ductilitate dorit pentru creșterea performanței structurii la seism.

BIBLIOGRAFIE:

- [1] Emil-Sever GEORGESCU, *Bucureștiul și seismele*, Editura Fundației Culturale Libra, ISBN 978-973-7633-50-7, 2007
- [2] El-Sokkary H, Galal K., *Analytical investigation of the seismic performance of RC frames rehabilitated using different rehabilitation techniques. Engineering Structures* (2009), doi: 10.1016/j.engstruct.2009.02.048
- [3] Cod P 100-3:2006 – *Cod de evaluare și proiectare a lucrărilor de consolidare la clădiri existente, vulnerabile seismic*
- [4] Cod P 100-1:2006 – *Proiectarea seismică a clădirilor*