

# INVESTIGAREA INTEGRATĂ A PERFORMANTELOR CONSTRUCȚIILOR

## Claudiu-Sorin DRAGOMIR

CS III, dr., I.N.C.D. URBAN-INCERC, Sucursala INCERC București,  
Laborator Evaluarea Riscului Seismic și Acțiuni în Construcții,  
dragomircs@incerc2004.ro

## Daniela DOBRE

CS III, dr., I.N.C.D. URBAN-INCERC, Sucursala INCERC București,  
Laborator Evaluarea Riscului Seismic și Acțiuni în Construcții,  
dobred@hotmail.com

## Nicolae-Cristian CROICU

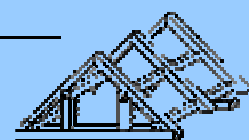
CS, I.N.C.D. URBAN-INCERC, Sucursala INCERC București, Rețeaua  
Națională Seismică pentru Construcții, cristian.croicu@incerc2004.ro

## Emil-Sever GEORGESCU

CS I, dr., Director Științific Construcții, I.N.C.D. URBAN-INCERC,  
ssever@incerc2004.ro

**Abstract.** In accordance with seismic design codes in force, the buildings are designed to resist seismic actions under some conditions. Due to the time evolution of these design provisions, there are buildings that were designed decades ago, using less stringent provisions. Thus, when the earthquake is produced, there are many cases where such buildings are badly damaged. To analyze the behaviour of the building after each earthquake, the authorities, owners and professionals take as a reference size the seismic movements of that site. Structural engineering is closely related to parameters such as acceleration, velocity, displacements, and spectral composition, therefore, with the widespread use of strong motion apparatus, in the '70s they started seismic instrumentation with help of seismic stations located in the buildings, dams and bridges. According to the modern approach of the post-seismic investigation the damage building assessment should be clearly foreseen and properly planned in order to obtain dynamic parameters for the analysis. The objectives of the paper is the integrated assessment of building performances. All the aforementioned ideas are illustrated through a case study. Specifically, the dynamic parameters evolution of 3D model of reinforced concrete at natural scale will be analyzed.

**Key words:** caracteristici dinamice, moduri proprii, analiza time-history



## 1. Aspecte privind instrumentarea/monitorizarea seismică

Instrumentarea seismică a clădirilor este o formă de monitorizare specifică și reprezintă un sistem modern, complex și multilateral de obținere a datelor seismice, atât cu privire la caracteristicile seismice ale amplasamentelor, cât și referitor la caracteristicile dinamice de răspuns ale structurilor.

Având în vedere caracterul aleatoriu al fenomenului seismic, fiecare cutremur furnizează informații suplimentare despre o anumită zonă seismică, date care trebuie integrate cu datele privind mișcarea seismică la sursă și în puncte de referință de pe traseul către epicentru, observațiile și analizele ingineresti privind comportarea structurilor la amplasament.

Necesitatea unui astfel de studiu este susținută de prevederile codului de proiectare seismică, anexa A, cu privire la instrumentarea seismică viitoare a construcțiilor din România (Cod P100-1:2006).

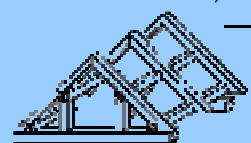
Analiza comportării la cutremur a diferitelor categorii de construcții și aprecierea efectelor cutremurelor asupra acestora, pe lângă o examinare vizuală detaliată a stării construcției și a înregistrării avariilor constatate, implică în multe cazuri și o serie de determinări și cercetări experimentale atât pentru depistarea unor defecte ascunse, cât și pentru precizarea unor caracteristici reale ale materialelor și elementelor de construcție care au suferit avarii, inclusiv ale terenului de fundație, în vederea cunoașterii capacității reale de rezistență a construcției avariate și a stabilirii soluțiilor de consolidare.

Determinările nedistructive pe clădiri, înainte și după seisme, în care INCERC a creat o bază de date inestimabile, înainte și după 1977, permit corelații și evaluări vitale privind starea și siguranța acestora, dacă sunt comparate și cu observațiile vizuale de teren.

În România, în domeniul monitorizării seismice există câteva rețele: INCERC, INCDFP, ISPH/GEOTEC, METROU, dintre care o parte sunt orientate spre instrumentare-monitorizare în construcții și lucrări publice; au fost instrumentate experimental clădiri, baraje și alte lucrări ingineresti. În prezent, rețeaua seismografică de înregistrare a cutremurelor puternice INCERC / Inspectoratul de Stat în Construcții / Centrul Național de Reducerea Riscului Seismic operează cu 117 aparate în teritoriu (dintre care 4 instrumentează clădiri) și 39 aparate în București (dintre care 7 instrumentează clădiri) (<http://www.incerc2004.ro/>) (Georgescu și Borcia, 2005).

Criteriile privind caracterizarea clădirilor instrumentate seismic sunt (Ghid GP129a,1999):

- poziția geografică și localizarea amplasamentului în care este situată clădirea;
- definirea succintă a caracteristicilor fizico-mecanice și geotehnice ale terenului din amplasament, precum și evaluarea condițiilor de seismicitate a zonei;
- descrierea sistemului constructiv și structural al clădirii, perioada în care s-a executat și în ce condiții de solicitare a fost proiectată;
- modul în care s-a comportat (eventual a fost afectată) structura de rezistență la cutremurele mai



semnificative care s-au manifestat în intervalul anilor 1940-1990; eventuala existență a unor expertize tehnice;

- intervenții post seismice asupra structurii de rezistență prin lucrări de consolidare locală sau generală; eventuala existență a unor proiecte de intervenție tehnică/consolidare;
- evaluarea globală a nivelului actual de risc seismic sau de protecție antiseismică de mare intensitate (în comparație cu seismul din 4.03.1977);
- alte informații suplimentare cu privire la eventualele modificări sau intervenții efectuate, în timp, asupra sistemului constructiv sau asupra structurii de rezistență.

## **2. Echipamente și tehnici moderne utilizate pentru determinarea caracteristicilor dinamice ale clădirilor**

### *2.1. Soft-uri utilizate în prelucrarea datelor*

Universitatea Bergen a dezvoltat trei programe pentru analiza datelor seismice pentru care au fost optimizate echipamentele GeoSIG. SEISLOG este un sistem avansat complet de achiziție a datelor seismice ce permite înregistrarea pe maximum 64 canale în timp real cu rezoluție de 24 biți. SEISAN este cel mai cuprinzător pachet de achiziție a datelor seismice, și are încorporate o puternică bază de date. SEISNET este folosit pentru a colecta date din rețelele locale sau regionale, cu date în diferite tipuri de formate. Suportă stații de tip SEISLOG și IRIS/GSN. Această combinație oferă un pachet complet și cuprinzător, de analiză a datelor seismice.

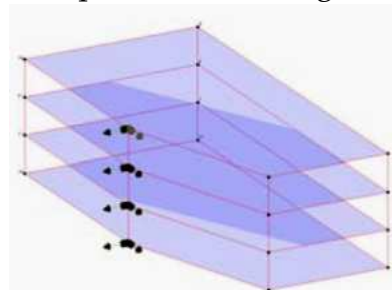
Programul de calcul modal Artemis Extractor permite determinarea cu

ușurință a caracteristicilor dinamice (frecvențele proprii, formele modale asociate și amortizarea) a structurilor excitate de surse ambientale. Determinarea și/sau monitorizarea caracteristicilor dinamice, de asemenea, menționate ca "parametri modali", este deosebit de importantă atunci când încearcă să valideze modelarea cu element finit a unei structuri sau în cazul monitorizării structurii. ARTEMIS Extractor, este dezvoltat de Compania Structural Vibration Solutions ApS, Aalborg, Denmark, pentru care producatorul de echipamente pentru achiziția datelor seismice GeoSIG este un reprezentant.

### *2.2. Echipamentul compus din instrumentul GMS-18 și accelerometrul biaxial AC-63*

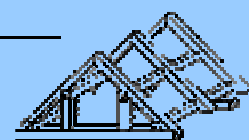
În aprilie 2009, reprezentanții GeoSIG au prezentat una din noile tehnici de instrumentare seismică a clădirilor și evaluare a avariilor produse de cutremurele de pământ. Este prezentat studiul de caz al clădirii Centrului european de afaceri (EBC).

Cu ajutorul programului ARTeMIS a fost creat un model al structurii EBC, iar poziționarea senzorilor pe acest model este prezentată în Fig. 2.1.



**Fig. 2.1.** Modelul ARTeMIS și schema de amplasare a senzorilor

Pentru achiziția de date, configurarea sistemului și analiza preliminară a datelor s-a utilizat programul GeoDAS. Pentru a realiza această măsurătoare s-au



utilizat 3 instrumente de tip GMS-18 cu senzori biaxiali AC-63. GMS-18 aparține celei de a doua generație de echipamente produse de GeoSIG cu capacitate de conectivitate și flexibilitate extinse. Acesta include o conexiune Ethernet și, opțional, un modul de 2,4 Ghz Wi-Fi cu scopul de a asigura transferul rapid de date.

Fiecare din cele 3 instrumente au fost configurate să genereze fișiere cu înregistrarea accelerațiilor pe o durată de 15min.



Fig. 2.2 Instrument GMS-18 fabricat de GeoSIG

Pentru evaluarea datelor a fost utilizată o procedură care necesită parcurgerea a două etape:

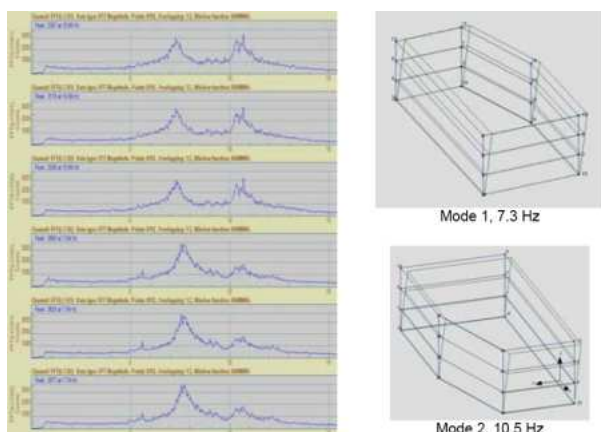


Fig. 2.3. Modurile EBC

Prima etapă a fost achiziția fișierelor cu aceeași durată și pas de timp, efectuarea unei analize inițiale cu GeoDAS în scopul de a determina frecvențele dominante și

de a evalua corectitudinea datelor achiziționate (Geo Watch, 2009). Evaluarea datelor în prima etapă a fost următoarea:

- corecția liniei de zero (utilizând întregul șir de date înregistrate);
- Filtrare pentru frecvențe înalte (pragul de tăiere 15 Hz);
- Filtrare pentru frecvențe joase (pragul de tăiere 0,7 Hz);
- Transformata Rapidă Fourier.

Cea de-a doua etapă a fost configurarea modelului și rularea unei analize modale simple pentru a valida frecvențele stabilite și pentru a vedea formele modale.

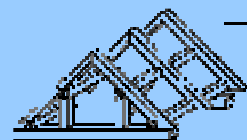
În consecință analiza datelor, atât cea preliminară cât și cea completă, indică identic primul și al doilea mod la 7,3 și 10,5 Hz de așteptat pentru că rigiditățile după cele două direcții ortogonale sunt diferite.

### 3. Studiu de caz. Modelul experimental de structură duală, realizat la scară naturală

Modelul experimental prezentat în studiul de caz a fost realizat în anii 1990-1991 în hala seismică a INCERC București, în vederea unor încercări la scară naturală.

Construcția se bazează pe o rețea modulară pătrată 3,90 x 3,90 m și o înălțime de etaj de 2,75 m, alcătuită din două deschideri și două travee, care cuprinde un singur perete structural.

La intersecția axelor sunt plasați stâlpi cu secțiune constantă, 500 x 500 mm, pe toată înălțimea clădirii. Stâlpii sunt prefabricați pe înălțimea a două etaje, având o porțiune nebetonată la mijloc, de 350 mm, în care intră armăturile



din fâșiile de placă. Îmbinarea stâlpilor s-a făcut prin înădăirea armăturilor longitudinale cu eclise sudate, plasarea de etrieri în jurul barelor și betonarea spațiului între cele două prefabricate, lung de 350 mm, până la refacerea secțiunii placă.

Pe o deschidere, între stâlpi, este plasat un perete structural, alcătuit dintr-un panou de perete și doi bulbi. Se elimină îmbinările verticale între panoul de perete și bulbi, elementele de perete au doar o îmbinare orizontală, la nivelul planșelor. Îmbinarea bulbilor este similară cu cea a stâlpilor, în timp ce îmbinarea inimii se face prin intermediul unor bucle  $\phi 12/200$  suprapuse.

Pe conturul clădirii sunt plasate grinzi din beton armat monolit cu dimensiunile 350 x 190 mm care îmbunătățesc comportarea structurii, în special prin reducerea deplasărilor relative de nivel.

Planșeul este realizat din panouri mari prefabricate cu dimensiunile 3.40 x 3.40 m și grosime 180 mm. Panourile sunt prevăzute pe toate laturile cu alveole din care ies bucle de armătură. Pe lățimea stâlpilor (500 mm), în deschiderile centrale, se realizează benzi din beton armat monolit, armate relativ puternic ( $\phi 16-12$ ), care au rolul unor grinzi de cadru.

Structura este dimensionată pentru gradul 8 de intensitate seismică (cf. Normativului P100-81), caracterizat printr-un coeficient seismic  $k_s = 0.20$ . Proiectarea a urmărit ca prin dimensiunile adoptate pentru secțiunile de beton și armătură, să se obțină o comportare a structurii caracterizată prin:

- sub acțiunea cutremurului de proiectare să apară articulații plastice doar la baza pereților structurali, restul elementelor rămânând în domeniul elastic;
- sub acțiunea unui cutremur de gradul 9 se permite apariția de articulații plastice în stâlpi și dale, dar colapsul este evitat;
- sub acțiunea unui cutremur de gradul 7, cu o frecvență mai ridicată, toate elementele structurale rămân în domeniul elastic.

Fundațiile modelului experimental constau în fundații izolate cu dimensiunile 2,00 x 1,60 m sub stâlpi și o fundație sub formă de talpă, cu dimensiunile 5,50 x 1,60 m.

Încercările la scară naturală s-au derulat astfel (Vlaiicu, 1999):

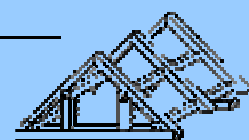
Prima etapă a încercării sistemului experimental a fost încărcarea cu greutatea proprie și greutatea din beton armat suplimentare.

În anul 1995, a avut loc prima încărcare cu forțe laterale, cu ajutorul unor prese, iar în 1996 au fost aplicate încărcări orizontale în domeniul postelastice, în 8 cicluri (cu trepte de încărcare).

În anul 1997 s-a reluat încercarea modelului experimental urmărindu-se comportarea la solicitări din domeniul de rupere.

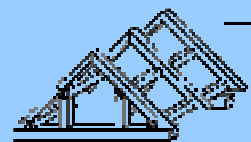
S-au constatat următoarele:

- sub acțiunea încărcărilor laterale, mecanismul post-elastic este caracterizat de formarea unei articulații plastice la baza peretelui, celelalte elemente rămânând în





- domeniul elastic; după formarea acesteia se plastifică și stâlpii și grinzile;
- articularea bazei peretelui este însoțită de articularea planșeelor, în lungul monolitizărilor, datorită unui mecanism general de antrenare a planșeelor în mișcarea de rotire a pereților; formarea acestui mecanism înlătură riscul de străpungere al planșeelor de către stâlpi;
  - apare flambajul barelor longitudinale în diferite planuri (perete structural), dar armătura transversală lucrează în domeniul elastic;
  - stâlpii au intrat în domeniul postelastice după ce s-a depășit momentul capabil calculat al peretelui;
  - studiul îmbinărilor verticale ale panourilor prefabricate de perete - îmbinări deschise, prevăzute cu praguri de forfecare, supuse acțiunii eforturilor de lunecare, a pus în evidență comportarea favorabilă în ceea ce privește modul de fisurare, cu fisuri dese și deschidere mică, și modul de rupere, cu deformații mari înainte de cedare;
  - îmbinările orizontale, solicitate până la rupere prin eforturi de lunecare, au o comportare similară cu cea a îmbinărilor verticale;
  - lunecarea în rosturile verticale este preluată pe întreaga înălțime a peretelui și nu numai pe primul nivel;
  - comportarea pereților de beton armat, alcătuiți din elemente prefabricate asamblate prin îmbinări verticale și orizontale, este identică cu cea a pereților din beton armat monolit în ceea ce privește modul de lucru în stadii avansate de solicitare (capacitatea de rezistență, formarea articulațiilor plastice, rotirile capabile, deplasările maxime, etc.); diferența principală constă în mărimea deplasărilor în domeniul elastic de comportare, mai mari cu 50% la pereții din elemente prefabricate față de cei din beton armat;
  - planșeele lucrează ca grinzi pereți rezemate pe stâlpii marginali și apar fisuri înclinate în plăci pornind de la stâlful pe care acționează forțele;
  - ieșirea din lucru a peretelui de la parter nu a condus la colapsul structurii, celelalte elemente structurale continuând a prelua sporuri de încărcare;
  - structurile în sistem dual cu planșee tip dală groasă au la dimensiunile obișnuite ale pereților o flexibilitate apropiată de aceea a structurilor în cadre;
  - în urma aplicării mai multor programe de calcul, s-au obținut eforturi și deplasări relative apropiate de cele obținute experimental;
  - Pentru a simula modul de comportare a unei clădiri avariate la un viitor cutremur, s-a urmărit realizarea următoarelor etape:
    - determinarea perioadelor proprii de vibrație prin măsurători microseismice și prelucrări ale acestora;
    - modelarea unei structuri spațiale identice cu cea existentă în hala seismică; de menționat faptul că modelul a fost creat cu cinci niveluri spre deosebire de cel existent care avea numai patru niveluri (fiind lestat la nivelul planșeului-terasă pentru a simula încărcarea dată de un etaj suplimentar).



- analiza de tip time-history pentru determinarea spectrelor de răspuns ale structurii utilizând accelerogramele înregistrate la cutremurele din '77, '86 și '90.

Urmând etapele de mai sus au fost realizate măsurători microseismice pe modelul experimental după două scheme de amplasare a senzorilor prezentate în Fig. 3.1. Măsurătorile au fost realizate atât cu aplicarea șocului la nivelul central al etajului 2, cât și din mișcarea microseismică din amplasament.

Rezultatele măsurătorilor microseismice obținute în cazul modelului experimental la scară naturală, cu regim de înălțime P+3 etaje sunt prezentate în tabelul 3.1. Aceste valori ale perioadelor proprii de vibrație sunt determinate din spectrele Fourier. Prelucrările înregistrărilor realizate în stadiul actual de fisurare a modelului sunt prezentate în Fig. 3.4.



Fig. 3.1. Model experimental la scară naturală

Pentru calculul structural au fost utilizate următoarele caracteristici ale materialelor:

- Caracteristici beton: modul de elasticitate  $E=22.500 \text{ MPa}$ , greutatea pe unitatea de volum  $\rho_w=23 \text{ kN/m}^3$ .
- Caracteristici oțel: modul de elasticitate  $E=199.900 \text{ MPa}$ ,

greutatea pe unitatea de volum  $\rho_w=77 \text{ kN/m}^3$ .



Fig. 3.2. Stația seismică cu 12 canale model GEODAS 12-USB, Buttan Service, Japonia



Fig. 3.3. Amplasarea unui senzor triaxial pe modelul experimental la scară naturală

Tabelul 3.1. Caracteristici dinamice ale modelului experimental în starea actuală de fisurare

Echiptament/Program utilizat	T <sub>dir. x</sub> (s)	T <sub>dir. y</sub> (s)
GEODAS 12-USB, Buttan Service, Japonia / Microwave tremor observation	0.60	0.32

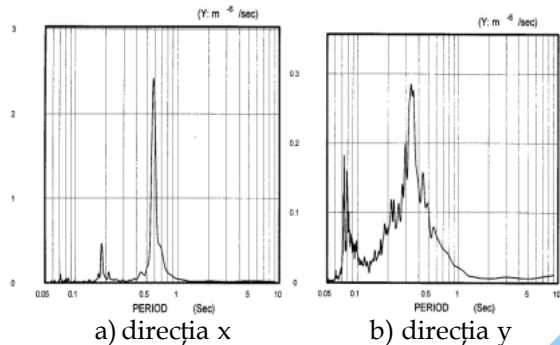
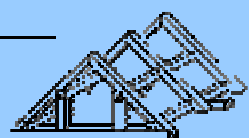
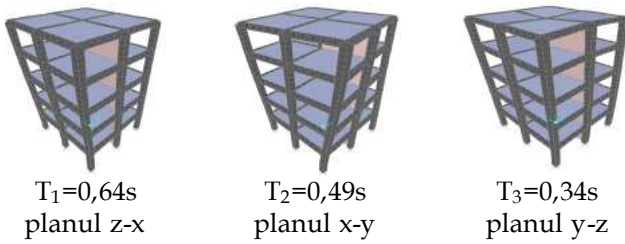


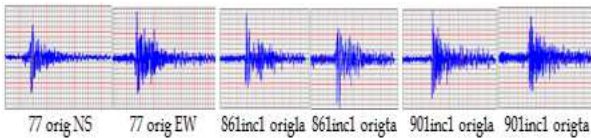
Fig. 3.4. Spectrele de răspuns obținute prin prelucrarea înregistrărilor microseismice



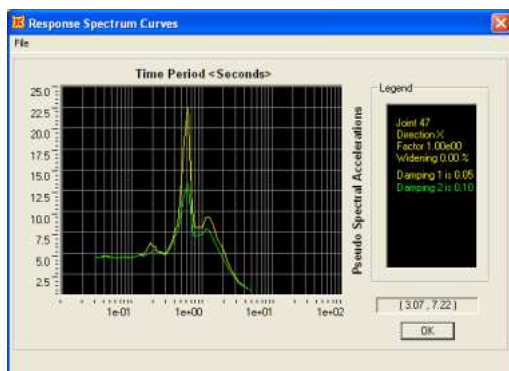


**Fig. 3.5.** Moduri proprii de vibrație. Caracteristici dinamice sistem

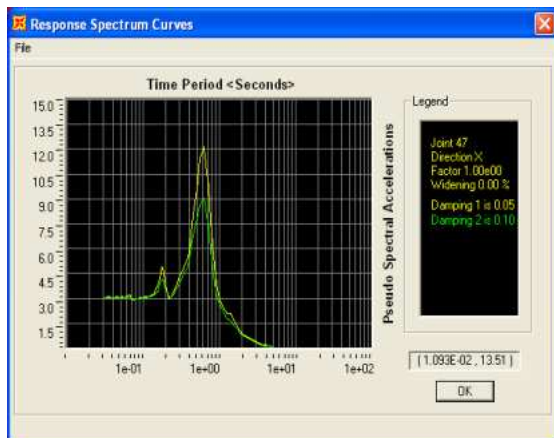
**Observație:** Diafragma din beton armat este dispusă după direcția y a modelului structural.



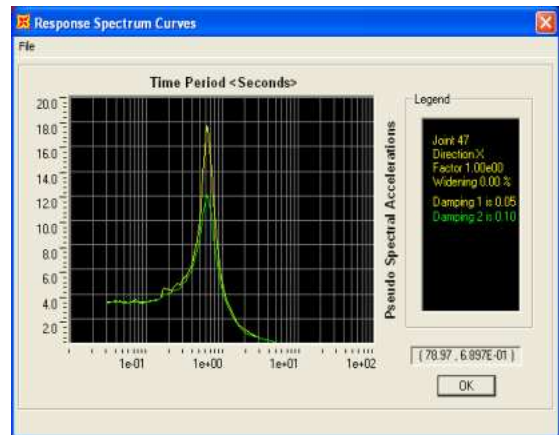
**Fig. 3.6.** Accelerogramele utilizate pentru analiza time-history



**Fig. 3.7.** Spectrul de răspuns obținut la ultimul nivel al structurii pentru accelerograma înregistrată pe direcția N-S la cutremurul din '77, aplicată pe dir. x



**Fig. 3.8.** Spectrul de răspuns obținut la ultimul nivel al structurii pentru accelerograma înregistrată pe direcția long. la cutremurul din '86, aplicată pe direcția x

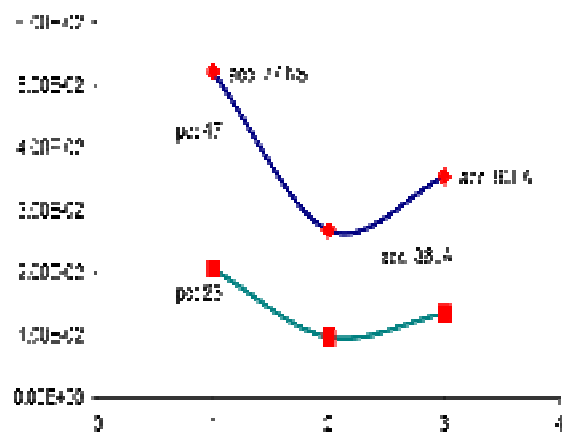


**Fig. 3.9.** Spectrul de răspuns obținut la ultimul nivel al structurii pentru accelerograma înregistrată pe direcția long. la cutremurul din '90, aplicată pe direcția x

Analiza de tip time-history liniară modală furnizează rezultatele sub forma unor grafice și sunt prezentate, pentru sistemul structural studiat, variațiile deplasării și accelerației în funcție de timp, într-un nod de la nivelul superior și de la nivelul 1.

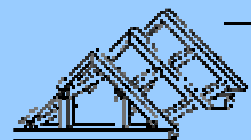
Rezultate obținute:

- în ceea ce privește deplasările, rezultatele sunt prezentate în Fig. 3.10 și 3.11.



**Fig. 3.10.** Valori maxime ale deplasărilor în direcția x corespunzătoare nodurilor 47 și 23 la diferite cutremure ('77, '86 și '90)

- în ceea ce privește accelerațiile, rezultatele sunt prezentate în Fig. 3.12 și 3.13.





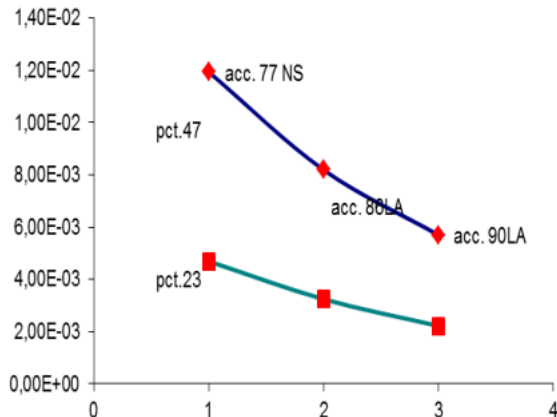


Fig. 3.11. Valori maxime ale deplasărilor în direcția y corespunzătoare nodurilor 47 și 23 la diferite cutremure ('77, '86 și '90)

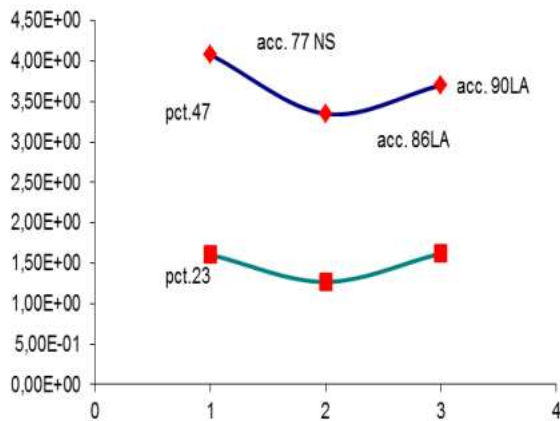


Fig. 3.12. Valori maxime ale accelerațiilor în direcția x corespunzătoare nodurilor 47 și 23 la diferite cutremure ('77, '86 și '90)

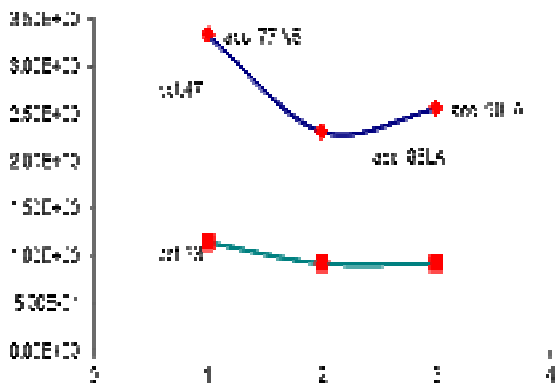


Fig. 3.13. Valori maxime ale accelerațiilor în direcția y corespunzătoare nodurilor 47 și 23 la diferite cutremure ('77, '86 și '90)

#### 4. Concluzie

Pe baza rezultatelor obținute se pot face următoarele observații:

Conceptul de investigare a performanțelor unei dădiri propune validarea unor calcule

cu un program dedicat de calcul structural cu ajutorul tehnicilor de prelucrare a datelor instrumentală;

Prin calculul structural prezentat au fost obținute valori ale deplasărilor și accelerațiilor în nodurile relevante ale structurii definite: nodul 47 – centrul ultimului planșeu, respectiv nodul 23 – centrul planșeului de peste parter.

Au fost obținute perioadele de vibrație corespunzătoare celor 3 moduri fundamentale de vibrație;

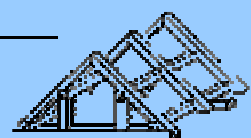
Prin prelucrarea datelor microseismice s-au obținute spectrele de răspuns prezentate în figura 3.4 care indică perioadele de vibrație pe cele două direcții date în tabelul 3.1.

Perioadele de vibrație corespunzătoare celor două direcții respectiv modurilor 1 și 3 din figura 3.5 obținute prin calcul structural și cele obținute prin prelucrarea datelor microseismice din figura 3.13, sunt aproximativ egale.

În concluzie, pe baza rezultatelor obținute în amplasament cu ajutorul stației seismice GEODAS 12-USB, Buttan Service, Japonia, s-a modelat un sistem structural cu caracteristici dinamice identice și astfel s-a studiat comportamentul structurii existente la cutremurele puternice din România. Putem afirma că în acest mod se poate anticipa modul în care anumite structuri care au trecut prin cutremurele din ultimul secol vor răspunde la un viitor seism.

#### BIBLIOGRAFIE

- \*\*\*Cod de proiectare seismică a clădirilor, Indicativ P100-1:2006.
- \*\*\*Ghid pentru instrumentarea seismică a dădilor, Indicativ GP129a/1999.



---

Georgescu E. S., Borcia I. S. (2005), *Monitorizarea construcțiilor în zone seismice*, Revista Construcțiilor **1(9)**.

GeoWatch (2009), *Wireless GMS Used to Identify Building Sway Frequency*, Professional Bulletin prepared by GeoSIG Ltd, Issue 3.

Vlaicu G. (1999), *Contributii la perfectionarea metodelor de proiectare antiseismica a structurilor mixte cu diafragme prefabricate si cadre din beton armat*, Teza de doctorat, Universitatea Tehnica de Constructii București.

---

**Primit:** 11 aprilie 2012 • **Acceptat în forma finală:** 4 mai 2012

