A XIV-a Conferinţă internaţională – multidisciplinară,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti",
SEBEŞ, 2014

STUDIUL COMPORTĂRII STRUCTURILOR IZOLATE CU SISTEME PENDULARE CU FRECARE
Partea I-a

Claudiu Mirel IAVORNIC, Vasile IANCU, Gilbert-Rainer GILLICH

STUDY OF THE BEHAVIOUR OF STRUCTURES INSULATED WITH FRICTION PENDULUM SYSTEMS - I

The earthquakes have been, and are a great danger against humanity. The study presented in this paper aims to determine the response of an insulated structure due to earthquakes vibration loads, which are randomly, non-periodic and contain various frequencies. The study, made on a two-story structure involved finite element analysis, to determine the displacements, velocities and accelerations in various locations on the structure. The actual results were obtained using statistical methods, in order to determine the dynamic behavior of a vibrating structure.

Keywords: base isolation, friction, pendulum, structure
Cuvinte cheie: izolator seismic, frecare, pendul, structură

1. Introducere

Izolarea seismică a construcţiilor utilizând dispozitive de izolare seismică cu frecare se realizează prin introducerea în structura construcţiei a unor elemente care să preia mişcarea seismică şi să disipeze energie, astfel încât structura să recepţioneze un minimum posibil de solicitări, prin urmare să nu fie avariată [1], [2].

Există diverse dispozitive de izolare seismică cu frecare, care se proiectează şi construiesc în funcţie de: mărimea structurii care trebuie

să fie izolată, complexitatea acesteia, gradul de încărcare, zona seismică în care este sau urmează a fi amplasată structura.

2. Consideraţii teoretice

Studiul comportării structurilor din punct de vedere seismic se efectuează printr-o analiză dinamică în care se urmăreşte evaluarea răspunsul în fiecare mod de vibraţie, iar apoi se determină efectul global prin suprapunerea răspunsului tuturor modurilor. Metoda spectrului de răspuns implică găsirea acceleraţiei spectrale pentru fiecare mod şi evaluarea răspunsului considerând că structura în modurile respective este supusă unei forţe statice echivalente care implică masa modală şi o valoare spectrală (de exemplu acceleraţia); pentru a evalua comportamentul global al structurii trebuie combinate răspunsurile date de toate modurile de vibraţie [3]. Din punct de vedere practic şi al necesarului de putere de calcul, acest lucru nu este întotdeauna posibil; din acest motiv se recurge la trunchierea modurilor de vibraţie, fiind luate în considerare doar cele la care valoarea spectrală este relevantă ca intensitate. Acest lucru conduce la introducerea erorilor în evaluarea răspunsului complet al structurii. Metoda utilizată pentru a evalua răspunsul aproximativ, considerând doar modurile de vibraţie trunchiate, este „masa absentă”; ea consideră că valorile de vârf pentru o direcţie de excitaţie au loc în acelaşi timp, astfel încât aceste valori se pot însuma algebric [4], cum este prezentat în relaţia:

$$R_a = \sqrt{\sum_{n_d=1}^{ND}\left\{\sum_{j=1}^{N}\left(\sum_{n_s=1}^{NS}\left|R_{jn_dn_s}\right|\right)^2 + \left(\sum_{n_s=1}^{NS}\left|R_{Mn_dn_s}\right|\right)^2\right\}} \qquad (1)$$

unde:

R_a – spectrul de răspuns total cu „masa absentă” inclusă;
n_d – indexul excitaţiei după cele trei direcţii ortogonale;
ND – numărul total al direcţiilor de excitaţie;
n_s – indexul suporturilor;
NS – numărul total al suporturilor;
j – numărul modurilor de vibraţie;
N – numărul modurilor de vibraţie considerate pe o direcţie;
R_j – răspunsul modal;
R_M – răspunsul „masei absente”.

Analiza dinamică a unei structuri în domeniul frecvenţă se poate face considerând distribuţia spectrală a puterii, în cadrul analizei structura fiind supusă unui spectru de încărcări armonice pentru care se obţine o distribuţie probabilistică a răspunsului dinamic măsurat.

În cadrul analizei comportamentului dinamic al unei structuri izolate cu sisteme cu frecare se pot lua în considerare două tipuri de încărcări/excitaţie spectrală, şi anume:

- spectrul de excitaţie mono-punct (figura 1, a), la care fiecare suport al structurii este supus aceleaşi excitaţii;
- spectrul de excitaţie multi-punct (figura 1, b), fiecare suport al structurii fiind supus la o excitaţie cu spectru diferit;

În figura 1 abscisa reprezintă domeniul frecvenţă *f* iar ordonata reprezintă valoarea spectrală *s,* care poate fi de natura forţei, acceleraţiei, vitezei sau deplasării. Unitatea de măsură a distribuţiei spectrului este $(\text{u.m.})^2$/Hz, ca de exemplu acceleraţie versus frecvenţă exprimată în g^2/Hz sau $(m/s^2)^2$/Hz.

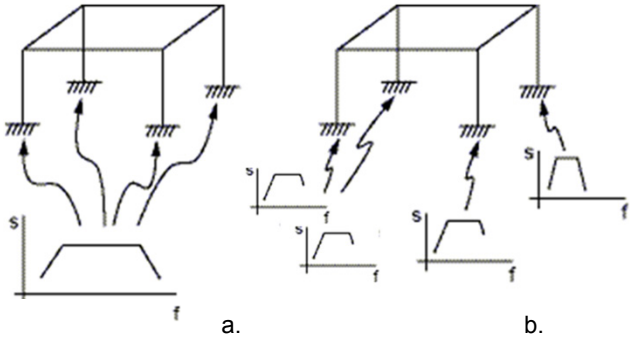

Fig. 1

Spectrul excitaţiei structurii: a. cazul mono-punct; b. cazul multi-punct

În calculul spectrului de răspuns R_a al unei structuri cu excitaţia bazei multi-punct, la care direcţiile de excitaţie pentru suporţi sunt aceleaşi, nu se ia în considerare diferenţa de fază. Vibraţiile pot fi reprezentate în domeniul frecvenţelor de către densitatea spectrală. Spectrul de răspuns poate fi determinist, obţinând valoarea maximă a unei mărimi fizice, sau probabilistic ca în cazul vibraţiilor aleatoare unde se obţine un rezultat ce reprezintă o probabilitate şi nu un rezultat cuantificat printr-un număr [5].

Conform definiţiei generale, abaterea standard a unei variabile aleatoare reprezintă o măsură a dispersiei valorilor acesteia în jurul uneia considerate mijlocii; ea se mai numeşte şi abatere medie

pătratică. Astfel dacă $F(x) = v$ reprezintă o variabilă aleatoare, iar v reprezintă valoarea medie a acesteia, atunci F reprezintă valoarea medie estimată a lui x. Abaterea standard a lui x este:

$$\sigma = \sqrt{F \cdot (x - v)^2} \tag{2}$$

deci abaterea standard σ este rădăcina pătrată a valorii medii a lui $(x - v)^2$. O formulare de tip rădăcina medie pătratică asociază deci curbei spectrului dinamic pentru fiecare cantitate de răspuns o singură valoare unică, cea mai probabilă, care reprezintă magnitudinea unei cantităţi variabile, în cazul de faţă a câmpului acceleraţiei unui seism. Deoarece curba spectrală reprezintă funcţia densităţii de probabilitate, aceasta se va afla în vecinătatea frecvenţelor de rezonanţă ale structurii.

În cazul lucrării de faţă a fost analizat spectrul de răspuns al unei structuri având excitaţie diferită pe fiecare din cei patru suporţi (excitaţie multi-punct). Ca sistem de excitaţie va fi utilizat un spectru dinamic al acceleraţiei cu amplitudini diferite exercitate asupra fiecărui suport în parte conform figurii 2.

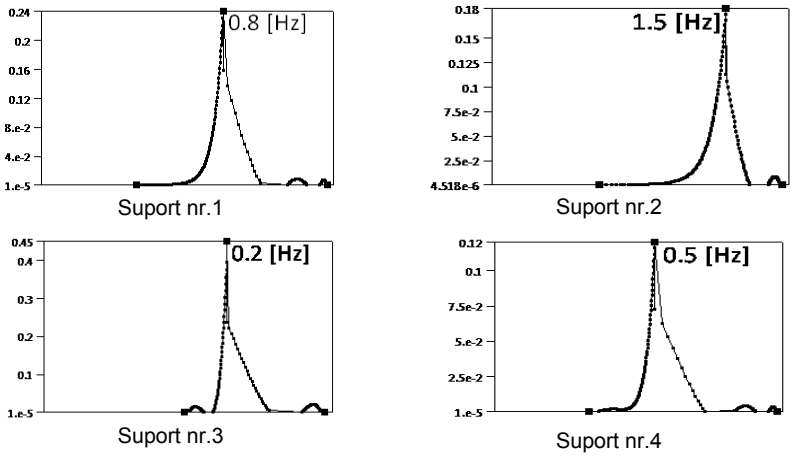

Fig. 2 Spectrul excitaţiei aplicat independent pentru fiecare suport pe abscisă frecvenţa pe ordonată acceleraţia

În urma analizei se obţin rezultatele de tip deplasări, viteze sau acceleraţii. Procesarea numerică a datelor utilizând programul „*Ansys Workbench Random Vibration Module*” permite calculul abaterii

standard $_{1,2,3}\sigma$ a răspunsului structurii. Este deci posibilă determinarea spectrului de răspuns al unei structuri cu baza excitată de vibraţii aleatoare similare cu cele datorate cutremurului, obţinându-se frecvenţele de rezonanţă ale structurii şi amplitudinea valorii spectrale *s* ale tuturor punctelor situate pe structura analizată. Se obţine astfel graficul spectrului de răspuns, care oferă informaţii despre distribuţia puterii spectrale medii.

3. Experimentarea şi rezultatele obţinute

În cadrul lucrări se prezintă analiza efectuată pe o structură cu masa de 28 t, izolată faţă de sol prin intermediul a patru izolatori seismici de tip pendul cu frecare, aşa cum este prezentată în figura 3; ea modelează o construcţie cu două nivele [6]. Pivotul, ca element glisant al pendulului cu frecare, are intercalat un strat elastomeric între talpă şi armatura superioară, cu scopul compensării deformaţiilor şi al reducerii tensiunilor ce induc fenomenul de oboseală după un anumit număr de cicluri. Iniţial asupra ansamblului menţionat a fost efectuată o analiză modală. Pasul următor a constat din aplicarea încărcărilor de tip spectru de acceleraţii pe suprafaţa inferioară a celor 4 armături, conform figurii 3. Analiza a urmărit evaluarea comportamentului izolatorului seismic, astfel încât să se obţină o atenuare semnificativă a valorii acceleraţiei la partea superioară a cadrului testat în patru puncte situate în colţurile ramei (vertexuri) figura 4.

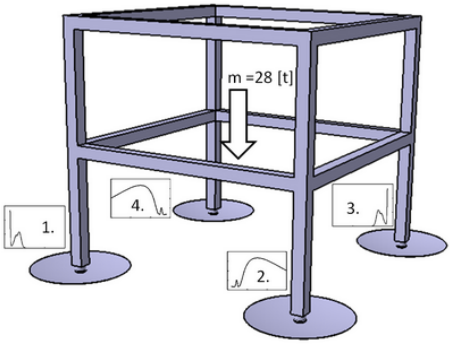

Fig. 3

Modelul geometric al structurii cu schema de excitaţie în punctele unde a fost măsurat spectrul de răspuns

În acest scop conexiunile de tip contact dintre armatura inferioară-talpă şi pivot-armatura superioară au fost configurate astfel încât să prezinte suprafeţe de fricţiune cu coeficienţi de frecare diferiţi

în perechi, cu valori cuprinse între μ = 0,1 şi 0,5 în scopul obţinerii efectului de atenuare seismică al structurii superioare.

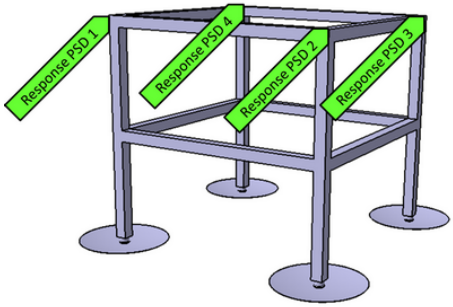

Fig. 4

Modelul geometric al structurii cu evidenţierea punctelor unde a fost măsurat spectrul de răspuns (vertexuri)

BIBLIOGRAFIE

[1] Minda, A.A., Gillich, G.-R., Iavornic,, C.M., Minda, P.F., *Analytical and Finite Element Study for Friction Pendulum with Parameterized Sliding Surfaces*, Proceedings of the World Congress on Engineering 2012, Vol III, WCE 2012, London, U.K., July 4 - 6, 2012.
[2] Iavornic, C.M., Praisach, Z.-I., Vasile, O., Gillich, G.-R., Iancu, V., *Study of Stress and Deformation in Elastomeric Isolation Systems Using the Finite Element Method*, Recent Advances in Signal Processing, Computational Geometry and Systems Theory, pp. 239-244.
[3] Luis San Andres, *Derivation of Mode Acceleration Method for MDOF Systems (Proportional Damping or Light Damping.*
[4] Powell, G.H., *Missing Mass Correction in Modal Analysis of Piping Systems.*
[5] Dhileep, M., Shahul Hameed, N.P., Nagan, S. *An Alternative Cut-Off Frequency for the Response Spectrum Method of Seismic Analysis.*
[6] Kravchuk, N., Colquhoun, R., Porbaha, A., *Development of a Friction Pendulum Bearing Base Isolation System for Earthquake Engineering Education* California State University, Sacramento, CA..

Drd.Ing. Claudiu Mirel IAVORNIC
e-mail: ciavornic@gmail.com
Şef lucr.Dr.Ing. Vasile IANCU
preşedinte AGIR filiala Caraş-Severin
e-mail: v.iancu@uem.ro
Prof.Univ.Dr.Ing.Ec. Gilbert-Rainer GILLICH, Prorector Cercetare
e-mail: gr.gillich@uem.ro
Universitatea „Eftimie Murgu” Reşiţa
membri AGIR