

CONTROLUL ENERGIEI DISIPATE CU AJUTORUL DISPOZITIVELOR FLUIDICE PENTRU PROTECȚIA CONSTRUCȚIILOR LA ACȚIUNEA ȘOCURILOR SEISMICE

DISIPERED ENERGY CONTROL WITH THE AID OF FLUID DEVICES FOR BUILDING PROTECTION AT SEISMIC SHOCK ACTION

Drd. Ing. PUNGOCI Alexandru
Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti, Romania

Rezumat

Protecția construcțiilor împotriva oscilațiilor introduse de seism prin folosirea unor dispozitive atașate structurii este acceptată în prezent ca o tehnică foarte eficientă, atât pentru construcțiile noi, cât și pentru consolidarea celor existente.

În cadrul lucrării sunt trecute în revistă principalele concepte și realizări aplicate în domeniul controlului structural al construcțiilor supuse acțiunilor seismice.

Sunt analizate comparativ diferitele procedee de control structural și evidențiate avantajele dispozitivelor fluidice, precum și tipurile de structuri la care acestea au eficiență maximă.

Au fost efectuate în acest context, analize / simulări structurale pentru o structură din beton armat P+8, subdimensionată. Simulările au condus la optimizarea valorilor coeficienților de amortizare și implicit a forțelor reactiv – disipative.

Cuvinte cheie: *disipatori, fluidici, amortizare, dispozitive, dampere*

Abstract

The protection of constructions against the oscillations introduced by the earthquake through the use of devices attached to the structure is currently accepted as a very effective technique, both for new constructions and for the consolidation of existing ones.

During the paper, the main concepts and achievements applied in the field of structural control of constructions subjected to seismic actions are reviewed.

The various structural control processes are compared and the advantages of the fluidic devices as well as the types of structures at which they have maximum efficiency are highlighted.

Were carried out in this context, the analysis / simulation structure for a reinforced concrete structure P + 8 undersized. Simulations were conducted to optimize the values of the coefficients of damping and hence the reactive forces - dissipative.

Keywords: *heatsinks, fluidics, damping, devices, dampers*

1. INTRODUCERE

Este unanim acceptat în prezent, ca pe durata de viață a unei structuri amplasată în zone geografice cu potențial seismic, pot fi atinse în timpul cutremurului nivele ridicate ale accelerației terenului. S-a considerat până nu de mult că este imposibil a proiecta și construi clădiri, cel puțin din punct de vedere economic, capabile să rămână în domeniul elastic sub acțiunea unor astfel de cutremure.

Consecința logică a condus la filozofia curentă de proiectare la cutremure puternice, care acceptă deformări structurale plastice în vederea absorbirii unei părți din energia seismului (disiparea histeretică). Nivelul acceptat al acestor deformări plastice este determinat de destinația clădirii, natura și amploarea acțiunilor de repunere în funcțiune a acestora, considerente economice și altele.

Strategiile alternative de proiectare și de tehnici constructive care au drept scop reducerea sau chiar eliminarea deformărilor plastice sub acțiunea cutremurelor puternice, sunt cunoscute în prezent sub denumirea de tehnici de „protecție pasivă”.

Sistemele de protecție pasivă curente, se bazează pe următoarele două tehnici:

- a) tehnica izolării structurale;
- b) tehnici de disipare de energie.

Aceste tehnici introduc una sau mai multe discontinuități pe înălțimea structurii care trebuie izolată, aceasta fiind „decuplată” în una sau mai multe părți. Dacă prima decuplare este situată la baza structurii, tehnica folosită poartă numele de „izolarea bazei”.

Sistemul de izolare seismică conține „izolatori” care pot fi instalați atât la baza structurii, cât și între două suprastructuri decuplate.

Clasificarea dispozitivelor izolatoare se face în funcție de modalitățile folosite pentru atingerea proprietăților de decuplare și de mecanismul de disipare a energiei și anume:

- izolatori stratificați din straturi de elastomeri și lamele de oțel;
- izolatori glisanți;
- izolatori cu rostogolire;
- izolatori cu disipare adăugată.

Întrucât primele trei categorii de izolatori nu se încadrează în obiectivele generale ale lucrării, vor fi analizate în continuare tipurile principale de izolatori cu disipare adăugată și în acest cadru, cei cu disipare fluidică, vâscoasă.

Dintre dispozitivele disipatoare de energie, cele mai des folosite sunt:

- dispozitive vâsco-elastice;
- dispozitive histeretice elasto-plastice;
- dispozitive cu frecare;
- dispozitive fluidice cu frecare vâscoasă.

1.1 Stadiul actual de dezvoltare a sistemelor de protecție a clădirilor la solicitări seismice.

Sisteme cu disipatori fluidici realizate pe plan mondial

Sistemele de disipare fluidică a energiei de vibrație sau a solicitărilor prin șoc au apărut, după generalizarea lor în construcția de automobile, în tehnica militară și aerospațială.

Necesitatea adaptării caracteristicilor de răspuns ale disipatorilor fluidici la excitații externe variabile a condus, pentru prima dată în domeniul tehnicii militare, la realizarea unor disipatoare ajustabile/semiactive.

După dezvoltarea amortizorilor de energie primită de către punțile autovehiculelor de la teren, au apărut și alte aplicații industriale. Sunt dezvoltate în acest sens aplicațiile pentru macarale și pentru standurile de testare a vehiculelor la coliziune.

1.1.1 Aplicații ale disipatorilor fluidici pasivi în controlul structural al construcțiilor

Dezvoltarea aplicării disipatorilor fluidici în construcția de mașini și în mod deosebit în tehnicile militare și aerospațiale, a determinat în țările amplasate în zone geografice cu risc seismic, extinderea

Controlul energiei disipate cu ajutorul dispozitivelor fluidice pentru protecția construcțiilor la acțiunea șocurilor seismice

acestor experiențe în protecția antiseismică a clădirilor. Până în prezent sunt dezvoltate și aplicate numai sisteme de disipatori fluidici pasivi, care au totuși anumite inconveniente (legate în principal de imposibilitatea adaptării capacităților lor disipative la caracteristicile seismului și la valorile de etaj induse de acesta), dar care deschid calea realizării și utilizării disipatorilor semiactivi – obiectivul acestei lucrări. În continuare sunt prezentate diferite aplicații ale disipatorilor pasivi în construcții civile și de poduri.



Fig. 1 Amortizori seismici utilizați pentru o sală de basket la Seattle – SUA



Fig. 2 Amortizori fluidici pasivi utilizați în construcția podului Sidney Lanier – SUA



Fig. 3 Amortizori seismici utilizați la construcția podului Bill Emerson Memorial



Fig. 4 Amortizor seismic fluidic utilizat în izolarea bazei



Fig. 5 Amortizor seismic fluidic utilizat pentru izolarea bazei, SUA



Fig. 6 Amortizori fluidici pasivi instalați la o clădire de birouri din Boston

2. ANALIZA STRUCTURALĂ

Pentru optimizarea caracteristicilor disipatorilor seismici a fost realizată o simulare pe un tip de structură constructivă reprezentativă și anume o structură P + 8 pe cadre din beton armat.

Structura din beton armat P + 8, a fost dimensionată cu un coeficient seismic de 5%, față de unul considerat acceptabil de 7,66%. Subdimensionarea deliberată a fost destinată suplinirii capacității disipative a structurii cu disipatori hidraulici semiactivi.

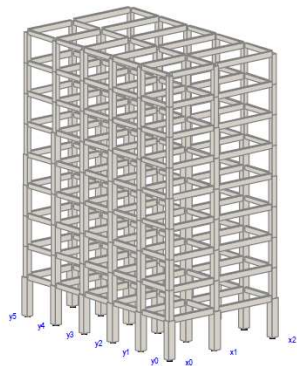
Simulările efectuate pe această structură subdimensionată au condus la deplasări foarte mari la vârf ($\sim 0,35$ m) și la un drift relativ la parter de 0,025, valori inacceptabile pentru o structură în exploatare.

Simularea a fost repetată pentru o amortizare totală de 30%, care include și efectul disipatorilor semiactivi. Se constată în acest caz o reducere a deplasărilor la vârf cu 50%.

Aceste rezultate au condus la elaborarea unor procedee de optimizare a amortizării pentru diferite tipuri de structuri constructive.

Au fost de asemenea stabilite și sistemele optime de dispunere a disipatorilor în structură, precum și măsurile constructive locale care trebuiesc luate în vederea consolidării zonelor de integrare a acestora la structură.

Studiile și simulările întreprinse, au condus la o formă optimă a coeficientului de amortizare, care implică o variație hiperbolică a acestuia, pentru viteze mai mari decât $v_0 = \frac{F_{max}}{c_0}$ și implicit o reglare automată a forței $F = F_{max} = ct$ pe tot domeniul de viteze $> V_0$



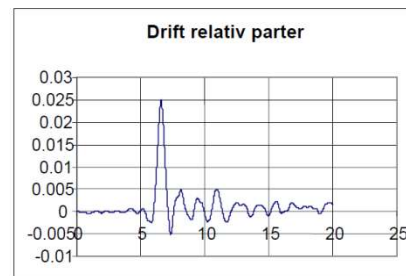
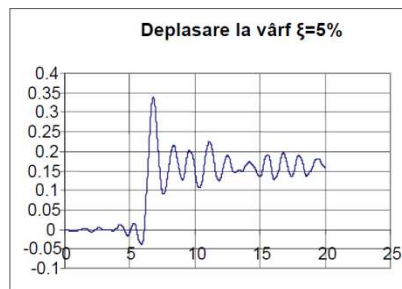
Geometrie
 2 deschideri de 5.60m și 4.20m (axa X)
 5 travei de 4.20m (axa Y)
 Parter de 3.80m + 8 etaje de 3.0m

Materiale
 Beton Bc20 Oțel PC52

Încărcare verticală : 10kN/m²

Secțiuni (cu unele majorări la etajele 1-3)
 Grinzi transversale 30 x 55
 Grinzi longitudinale 25 x 45
 Stâlpi centrali 65 x 65 (cu anumite
 Stâlpi marginali 55 x 55 variații)

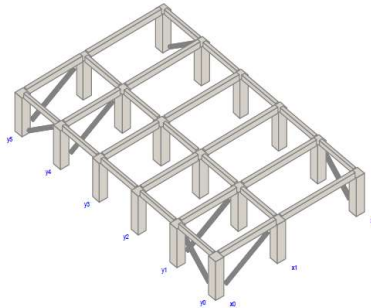
Pentru dimensionare, în gruparea specială s-a considerat un coeficient seismic de 5% față de $c = 1.0 \cdot 0.2 \cdot 2.5 \cdot 0.2 \cdot 0.766 = 0.0766$ (7.66%) în ideea de a suplini diferența cu disipatori hidraulici semiactivi. Perioadele de vibrație sunt de aproximativ 1.1 sec. pe ambele direcții.



Controlul energiei disipate cu ajutorul dispozitivelor fluidice pentru protecția construcțiilor la acțiunea șocurilor seismice

Calculul dinamic neliniar (accelerograma Vrancea 77 N-S), cu o amortizare naturală de 5% din cea critică, evidențiază comportarea inacceptabilă a structurii. De exemplu: driftul relativ la parter depășește de peste 7 ori valoarea admisibilă iar **deplasarea remanentă la vârf** este de ≈ 17 cm.

Dispunerea disipatorilor



Sunt prevăzute 4 planuri de disipatori pe fiecare direcție – în total 72 de dispozitive identice.

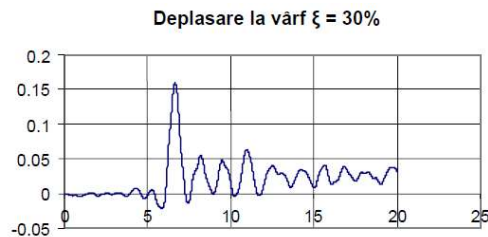
Determinarea coeficienților de amortizare (C) ai dispozitivelor

În această lucrare este propusă o metodologie bazată pe o succesiune de analize dinamic neliniare.

Într-o primă etapă disipatorii sunt considerați liniari și pasivi: $F = C \cdot v$.

Se caută o amortizare naturală “țintă” care să aducă structura la performanțe acceptabile de comportare (încadrarea în restricțiile de deformabilitate).

Din amortizarea proporțională Rayleigh: $[C] = \alpha[M] + \beta[K]$ se păstrează doar α care, în acest caz, se obține cu ușurință din perioada proprie fundamentală T și fracțiunea din amortizarea critică aleasă ($\xi = c/c_{cr}$): $\alpha = \frac{4\pi}{T} \xi$ pentru $T = 1,126$ sec. și $\xi = 0.3$ (amortizare totală de 30%) $\alpha = 3.348 \text{ sec}^{-1}$



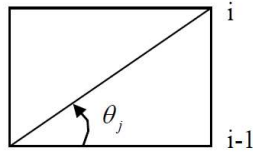
Se constată o reducere la jumătate a deplasării la vârf și o deplasare remanentă doar de 2 cm. (valori relativ acceptabile)

Pentru sistemele echipate cu dispozitive dependente de viteză se definește o amortizare echivalentă: rezultată din egalarea energiei disipate într-un ciclu de oscilație de structura reală cu cea a unui sistem vâscos echivalent. Energia disipată de dispozitive, E_d este suma lucrurilor mecanice efectuate de fiecare în parte într-un ciclu de încărcare complet: $E_d = \sum_j \frac{2\pi^2}{T} C_j \delta_{rj}^2$, în care T este perioada modului fundamental, C_j este constanta de amortizare a dispozitivului (liniar și pasiv) iar δ_{rj} este deplasarea relativă, pe direcția axei, între capetele sale.

Energia potențială maximă de deformație, E_s este dată de: $E_s = \frac{1}{2} \sum_i F_i \delta_i$, unde F_i este forța de inerție iar δ_i – deplasarea planșeului i . Mai notăm cu m_i – masa și a_i – accelerația de nivel.

$$\text{Avem: } F_i = m_i a_i = \frac{4\pi^2}{T^2} \delta_i \text{ și deci } E_s = \frac{1}{2} \frac{4\pi^2}{T^2} \sum_i F_i \delta_i^2$$

În locul deplasărilor δ se pot utiliza, în această variantă, ordonatele Φ ale formei proprii corespunzătoare modului fundamental. Fie θ_j unghiul pe care îl face dispozitivul j cu orizontala (ordonatele Φ sunt componentele orizontale ale formei proprii). Rezultă $\Phi_{rj} = \Phi_i - \Phi_{i-1}$ și $\delta_{rj} = \Phi_{rj} \cos \theta_j$.



$$\xi_{eq} = \frac{\sum_j \frac{2 \cdot \pi^2}{T} C_j \Phi_{rj}^2 \cos^2 \theta_j}{4 \cdot \pi \frac{2 \cdot \pi^2}{T^2} \sum_i m_i \Phi_i^2} = \frac{T}{4 \cdot \pi} \frac{\sum_j C_j \cos^2 \theta_j \Phi_{rj}^2}{\sum_i m_i \Phi_i^2}$$

Dacă vom considera $C_j = \alpha_j C_0$, în care α_j reprezintă “rapoarte de proiectare” iar C_0 o constantă de referință, se poate obține o relație de dimensionare care să furnizeze parametrul C_0 pentru rapoarte α_j specificate de proiectant.

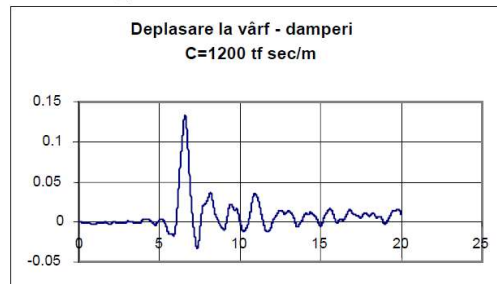
Experimentele numerice efectuate pe diverse scheme de distribuție pe verticală a rapoartelor α_j relevă diferențe mici între variante, deci, o mare varietate de tipuri de ‘damperi’ nu se justifică. **Unele reduceri la nivelele superioare conduc, însă, la soluții mai economice.**

Relația: $C_0 = \frac{4\pi\xi_{eq}}{T} \frac{\sum_i m_i \Phi_i^2}{\sum_j \alpha_j \cos^2 \theta_j \Phi_{rj}^2}$ are un caracter ‘planar’ datorită modului particular de definire a unghiului θ_j . Pentru calculul spațial, θ_j trebuie redefinit ca fiind cosinusul director al axei dispozitivului față de direcția de atac a mișcării seismice. Cu această generalizare, relația de predimensionare obținută, poate fi utilizată în orice context tri-dimensional de alcătuire structurală. Pentru direcțiile de atac (uzual X, Y din plan) trebuie selectate modurile cu factor de participare maxim.

Pentru structurile ortogonale și monotone pe verticală se pot obține simplificări suplimentare.

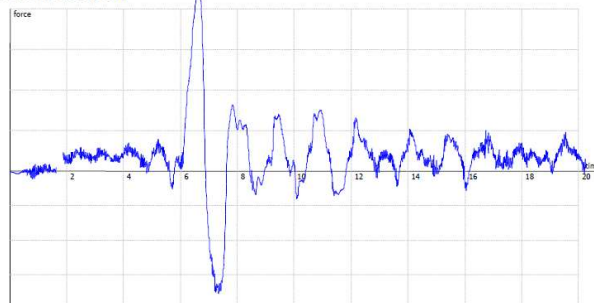
Dacă, de exemplu, se consideră $\alpha_j = 1$ și $\cos \theta_j$ constant, iar ‘n’ este numărul planelor de ‘contravântuire’ pe direcția analizată rezultă $C_0 = \frac{4\pi\xi_{eq}}{nT} \frac{\sum_i m_i \Phi_i^2}{\cos^2 \theta_j \sum_j \Phi_{rj}^2}$ pentru structura propusă, pe direcția X avem : $\xi_{eq} = 0.30 - 0.05 = 0.25$ (amortizarea totală sau ‘țintă’ minus amortizarea naturală), $T = 1,126$ sec. $n = 4$ și $\cos \theta_j = 0.881$ (pentru deschiderea de 5.60 m și înălțimea de etaj de 3.0m , neglijând diferența de la parter) rezultă : $C_0 = \frac{4\pi \cdot 0.25}{4 \cdot 1.126} \frac{9997.69}{0.777 \cdot 7.9975} = 1122.2 \cdot \frac{tf}{\left(\frac{m}{s}\right)}$

Rezultatele analizei dinamic-nelineare pentru varianta ‘damperi’ pasivi (direcția X – transversală)



Rezultatele obținute sunt apropiate de cele anticipate de amortizarea ‘țintă’ propusă ceea ce confirmă procedeul de predimensionare propus

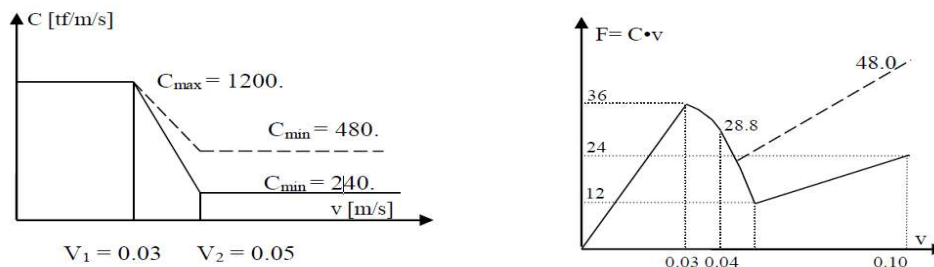
Damper 406
max 81.8500 at 6.3500



Strategiile de control elaborata vizează limitarea forței din ‘damperi’ la aprox. jumătate din valoarea maximă înregistrată .

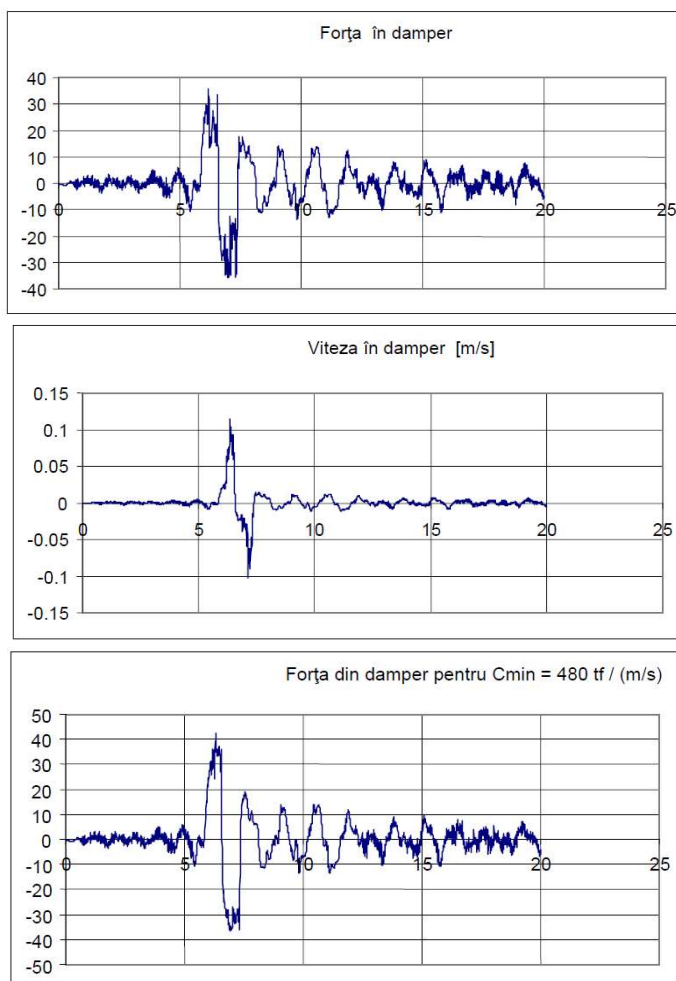
Controlul energiei disipate cu ajutorul dispozitivelor fluidice pentru protecția construcțiilor la acțiunea șocurilor seismice

Varianta de control cu praguri de viteze



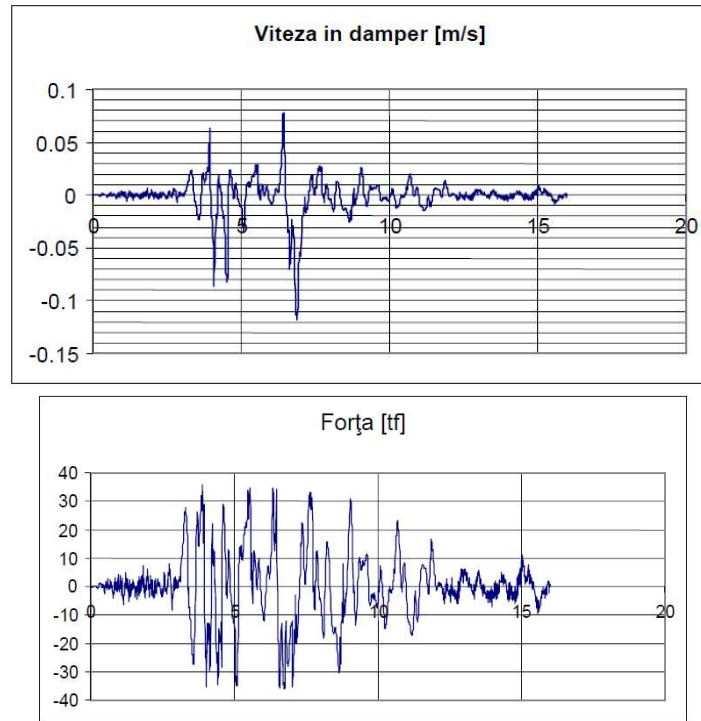
În această variantă se consideră o variație liniară a constantei de amortizare (între două valori extreme C_{max} - C_{min}) pentru un interval de viteze dat ($v_1 - v_2$). Rezultă $F_{max} = 36$ tf.

Accelerograma Vrancea 77 componenta N-S



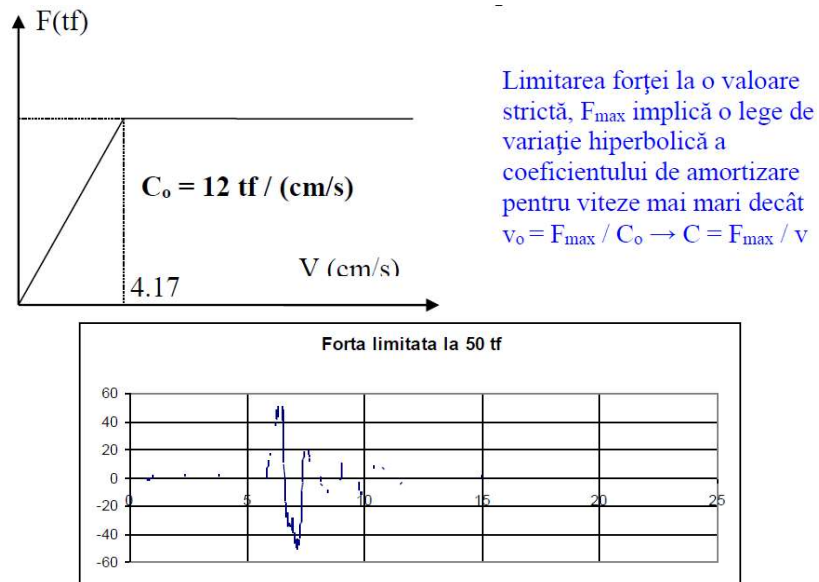
Opțiunea $C_{min} = 240$ tf / (m/s) corespunde unei recomandări din literatură ($C_{min} \approx 1/5 C_{max}$)
Dacă acest prag se dublează, la viteze mari, peste 0.1 m/s, limitarea forței nu mai corespunde valorii propuse.

Accelerograma Northridge 1994

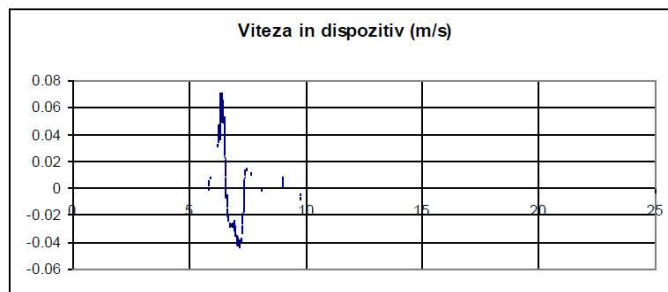


Pentru accelerograma Northridge 1994 numărul treceri prin ‘filtrul’ $v_1 - v_2$ este sensibil mai mare decât pentru cea din Vrancea, altfel însă, vitezele înregistrate la nivelul dispozitivului sunt comparabile. Diagramele corespund valorii $C_{min} = 240 \text{ tf} / (\text{m/s})$.

Varianta de control cu limitarea strictă a forței din dispozitiv



Controlul energiei disipate cu ajutorul dispozitivelor fluidice pentru protecția construcțiilor la acțiunea șocurilor seismice



Observație legată de stabilirea valorii maxime la care trebuie plafonată forța din dispozitiv :

Pre-standardul **FEMA 356** recomandă ca, pentru structurile echipate cu disipatori vâscoși să se efectueze verificări de rezistență în două ipostaze :

- la deplasare maximă, când vitezele (deci și forțele) din dispozitive sunt nule.
- la deplasare nulă când forțele din dispozitive sunt maxime.

A doua ipostază ar conduce la stabilirea plafoanelor F_{max} . Raționamentul este exact pentru un oscilator cu un singur grad de libertate aflat în mișcare armonică. Urmărirea în timp a evoluției forțelor din dispozitive plasate într-un plan de ‘contravântuire’ infirmă aceste ipostaze: atât la deplasare apropiată de cea maximă, cât și la una apropiată de cea nulă, forțele sunt comparabile iar valorile maxime se produc într-o situație intermediară.

BIBLIOGRAFIE

1. A.S Whitaker , R.C. Krumme, J.R.Hayes, *Structural control of building response using shape memory alloys*, Headquarters U.S. Army corps of engineers , Washington DC 1995
2. Aiken,I.D.,and Kelly,J.M.,1990 *Earthquake simulator testing and analytical studies of two energy-absorbing systems for multistory structures* , Pensylvania Report No.EERC-90/03, University Of California, Berkeley
3. Aiken,I.D.,Nums,D.K,Wittaker,A.S.,and Kelly,J.M.,1993 *Testing of passive energy dissipation systems ,earthquake spectra*, Oakland , California
4. Aizawa,S.,Ohtake,K.,Yamamoto,M.,Azuma,T.,Miyazaki,M.,and S.Fujimori 1997 *The characteristics of wind fluctuation and the results of structural control at porte Kanazawa*
5. Al-Hussaini,T.,Zayas,V.,and Constantinou,M.C.,1994
6. Asher,J.,Young,R.,and R.Ewing (oct.1994) *Seismically Damping the San Bernadino Country medical center , Structural Engineering Forum 39-43*
7. ASTM,latest edition,Standard D4014,American Society of testing materials ,Philadelphia,Pennsylvania
8. Baker,W.P,Brown,C.D. and R.C. Sirm (July 1998) belt wall/core interacting system for 77-story plaza rakyat tower, *Proceedings of structural engineers world congress , San Francisco*
9. Banavalkar,P.V. and N.Isyumov, Tuned mass damping system to control wind-induced accelerations of Washington National Airport Air Traffic Tower Control Tower , *Proceedings of structural engineers world congress , San Francisco*
10. Chopra, A. K., 1995, *Dynamics of Structures*, Prentice – Hall, Englewood Cliffs, New Jersey *Civil Engineering*. (Aug. 1996), No More Flapping in the Wind, ASCE: 14. *Civil Engineering*. (Feb. 1999), World’s Tallest Building Will Grow Down Under, ASCE: 16.
11. Constantinou, M.C., and Szmans, M.D., 1993, “Experimantal Study of Seismic Response of Buildings with Supplemental Fluid Dampers”, *TheStructural Desing of Tall Buildings*, John Wiley & Sons, New York, Vol. 2, pp. 93-132.

12. Constantinou, M.C., Soong, T.T., and Dargush, G.F., 1996, *Passive Energy Dissipation Systems for Structural Design and Retrofit*, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, New York.
13. T. Mizuno, T. Kobori, J. Hirai, M. Yoshinori and N. Niwa, „ Development of adjustable hydraulic damper for seismic response control of large structures ”, in PVP-Vol.229, DOE Facilities Programs, Systems Interaction, and Active/Inactive Damping, ASME, New Orleans, LA, June, 1992, pp.163-170.
14. S. Rakheja and A.K. Ahmed, „ Simulation of non-linear variable dampers using energy similarity”, Eng. Comput. 8, 333-344 (1991).
15. M. Shinozuka and R. Ghanem, „ Use of variable dampers for earthquake protection of bridges ”, Proc.2nd U.S.- Japan workshop on earthquake protective systems for bridges, Public Works Research Institute, Tsukuba Science City, Japan, December, 1992, pp. 507-516
16. W. N. Patten, R. L. Sack, W. Yen, C. Mo. and H. C. Wu, „ Seismic motion control using semi-active hydraulic force actuators”, in Proc. Seminar on seismic isolation, passive energy dissipation, and active control, Report No. ATC-17-1, Applied Technology Council, San Francisco, CA, March, 1993, pp. 727-736.
17. H. P. Gavin, Y. D. Hose and R. D. Hanson, “Design and control of electrorheological dampers”, in Proc. 1 st. world conf. on structural control, Los Angeles, CA, August, WP3 – 83 – WP3 – 92, 1994.
18. N. Makris, D. Hill, S. Burton and M. Jordan, “Electrorheological fluid damper for seismic protection of structures”, in Proc. Smart structures and materials conf., San Diego, CA, February, 1995, pp.184-194.
19. K. Kawashima, S. Unjoh, H. Iida and H. Mukai, “Effectiveness of the variable damper for reducing seismic response of highway bridges”, in Proc. 2nd U. S-Japan workshop on earthquake protective systems for bridges, PWRI, Tsukuba Science City, Japan, December, 1992, pp. 479-493.
20. W. N. Patten, R. L. Sack and Q. He, “Controlled semiactive hydraulic vibration absorber for bridges”, J. struct. eng. 122 (2), 187-