

Inginerie seismică

Curs 13

- **Metode de calcul structural**
- **Controlul structural**

Notele de curs sunt disponibile la
<http://cemsig.ct.upt.ro/astratan/didactic/seism/>

Metode de calcul structural pentru proiectare

- **Metoda forțelor laterale**
 - răspunsul structurii guvernat de modul fundamental de vibrație
 - perioada proprie de vibrație fundamentală $T \leq 1.5$ sec
 - structura regulată pe verticală
 - înălțimea mai mică de 30 m
- **Metoda de calcul modal cu spectre de răspuns**
 - consideră proprietățile dinamice ale structurii
 - aplicabilă structurilor complexe (neregulate)
 - o aproximare bună a răspunsului "real" dacă se consideră un număr suficient de moduri proprii de vibrație
 - aproximări datorită combinării răspunsurilor modale
 - aproximări datorită combinării efectelor componentelor acțiunii seismice

Metoda forțelor laterale și metoda spectrală

- **Limitări:**
 - **Acțiunea dinamică**
 - Acțiunea seismică - dinamică
 - Rezultatele celor două metode de calcul - înfășurători
 - Metoda de calcul modal cu spectre de răspuns: pierderea semnului datorită combinării răspunsurilor modale
 - **Răspunsul inelastic al structurilor**
 - Majoritatea structurilor au o comportare inelastică la acțiunea seismică de calcul
 - Modelul de calcul - comportare elastică
 - Ductilitatea structurii este considerată prin factorul q

- **Avantaje:**
 - Simplitate
 - Calcul elastic - suprapunerea efectelor
 - Eficiență de calcul

Metode alternative de calcul

- **Metoda de calcul dinamic liniar**

- **Metoda de calcul dinamic neliniar**

- **Metoda de calcul static neliniar**

Metode de calcul dinamic (liniar și neliniar)

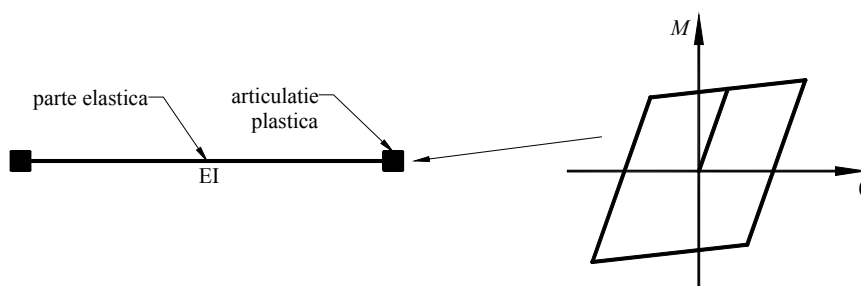
- **Acțiunea seismică - definită prin accelerograme**
- **Accelerogramele - reprezentative pentru mișcarea seismică din amplasamentul considerat**
 - magnitudine
 - distanța sursă-receptor
 - condiții locale
- **Accelerograme:**
 - înregistrate
 - artificiale
- **Acțiunea seismică - un grad ridicat de incertitudine ⇒ răspunsul seismic trebuie determinat pe baza mai multor accelerograme**
 - trei accelerograme: răspunsul maxim
 - șapte accelerograme: răspunsul mediu

Calcul dinamic liniar

- **Model elastic al structurii**
- **Răspunsul seismic este obținut prin integrarea numerică directă a ecuației de mișcare**
$$[m]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}\} + [k]\{u\} = -[m]\{1\}\ddot{u}_g(t)$$
- **Rezultate: variația în timp a mărimilor de răspuns**
- **Avantaje: reflectă cel mai fidel răspunsul real al structurii (dacă e elastic)**
- **Dezavantaje:**
 - Calcul elastic
 - Volum mare de rezultate
 - Putere ridicată de calcul

Calcul dinamic nelinier

- Model inelastic al structurii
- Răspunsul seismic este obținut prin integrarea numerică directă a ecuației de mișcare
- Modelul de calcul al elementului structural trebuie să reflecte comportarea inelastică la cicluri repetate
- Avantaje: modelul cel mai "exact" al răspunsului seismic al unei structuri

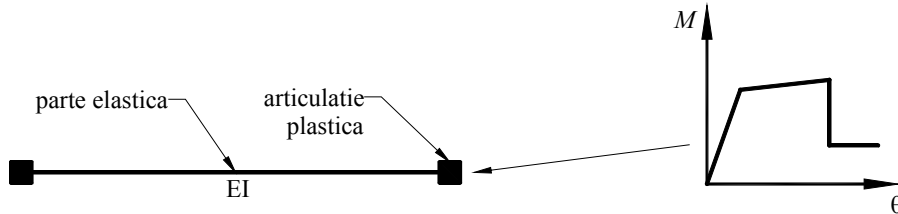


Calcul dinamic nelinier

- Elementele disipative: verificarea deformațiilor inelastice (ductilitatea)
- Elementele nedisipative: verificarea rezistenței
- Dezavantaje:
 - laborios
 - programe de calcul sofisticate
 - modelarea comportării inelastice a elementelor structurale
 - prelucrarea unui volum mare de rezultate
- Utilizare:
 - evaluarea performanței seismice a unor construcții noi de importanță ridicată
 - evaluarea performanței seismice a clădirilor existente

Calcul static neliniar ("push-over")

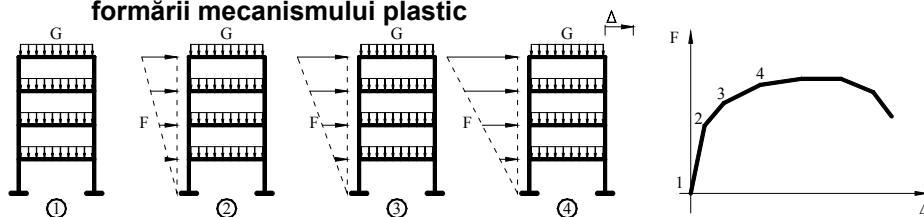
- Modelul structurii - inelastic (monoton)
- Multe structuri răspund preponderent într-un singur mod propriu de vibrație - modul fundamental



- Încărcările gravitaționale: constante
- Încărcările seismice: variabile

Calcul static neliniar ("push-over")

- Principiul calcului static neliniar:
 - aplicarea încărcărilor gravitaționale
 - aplicarea și creșterea progresivă a unei distribuții de forțe laterale ("acțiunea seismică")
- Calculul static neliniar - "capacitatea" structurii
- Informații legate de:
 - mecanismul plastic al structurii
 - redundanța structurii (factorii α_d, α_1)
 - ordinea apariției articulațiilor plastice
 - nivelul eforturilor din elementele nedisipative corespunzătoare formării mecanismului plastic



Controlul structural

- **Proiectarea convențională a structurilor la SLU - structurile rezistă acțiune seismică prin asigurarea unei:**
 - rezistențe ridicate (comportare slab-disipativă)
 - ductilitate ridicată (comportare disipativă)
- **O rigiditate suficientă la SLS**

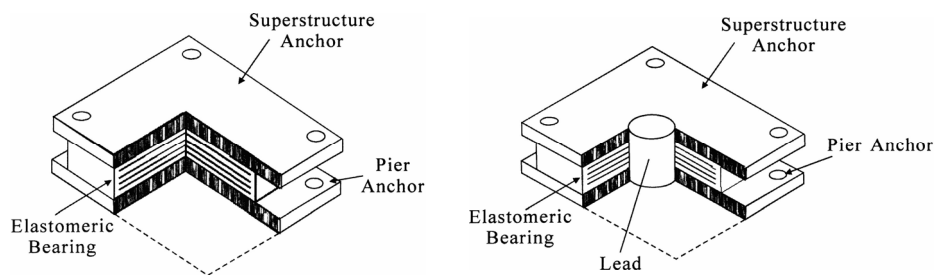
- **Dezavantaje:**
 - structuri rigide: accelerații mari ale planșeelor ⇒ avarierea echipamentelor
 - structuri flexibile: deplasări relative de nivel mari ⇒ avarierea componentelor nestructurale
- **Intolerabil pentru:**
 - clădiri al căror conținut este mai scump decât structura însăși
 - clădiri care trebuie să rămână operaționale după cutremur

Controlul structural

- **Controlul structural - modificarea proprietăților dinamice ale structurii pentru a reduce răspunsul dinamic**
- **Control pasiv - dispozitive care nu necesită surse externe de energie pentru a fi activate**
 - izolarea bazei
 - amortizori hysteretici
 - amortizori cu lichid vâscos și visco-elastici
 - disipatori cu masă acordată (TMD)
 - disipatori cu lichid acordat (TLD)
- **Control activ - folosește dispozitive care necesită o sursă de energie externă pentru a fi efective în reducerea vibrațiilor structurii**
 - disipatori cu masă acordată activă (AMD)
 - disipatori cu tendoane active (ATD)
 - sisteme cu contravântuiri active

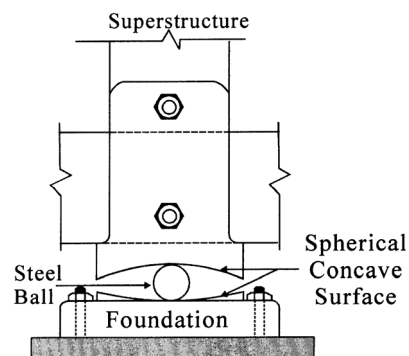
Izolarea bazei

- Instalarea unor dispozitive între fundație și structură pentru izolarea mișcării terenului de mișcarea structurii
- Varianta 1: reazeme cu o rigiditate laterală mică și cu rigiditate verticală mare
 - Reazeme din elastomeri: reduc forțele seismice aplicate structurii dar induc deformații mari în reazeme
 - Reazeme din elastomeri cu miez de plumb: reducerea deplasărilor datorită amortizării suplimentare



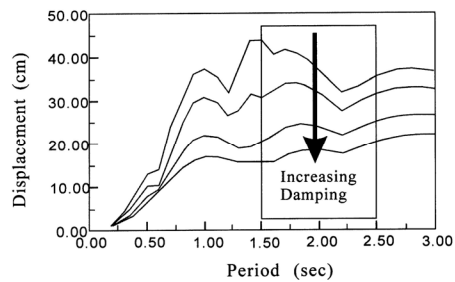
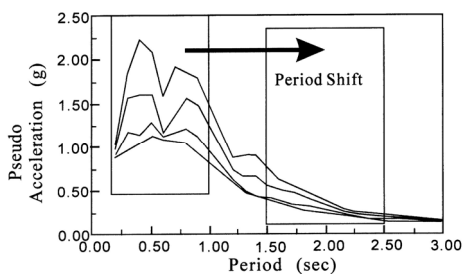
Izolarea bazei

- Varianta 2: suprafețe de alunecare sau frecare între fundație și structură
- Forța tăietoare transmisă structurii este limitată la forța statică de frecare \Rightarrow coeficientul de frecare cât mai redus
- Vânt puternic și cutremure minore fără alunecări \Rightarrow este necesară o forță de frecare minimă
- Deplasări reziduale \Rightarrow suprafețe de alunecare concave pentru revenire



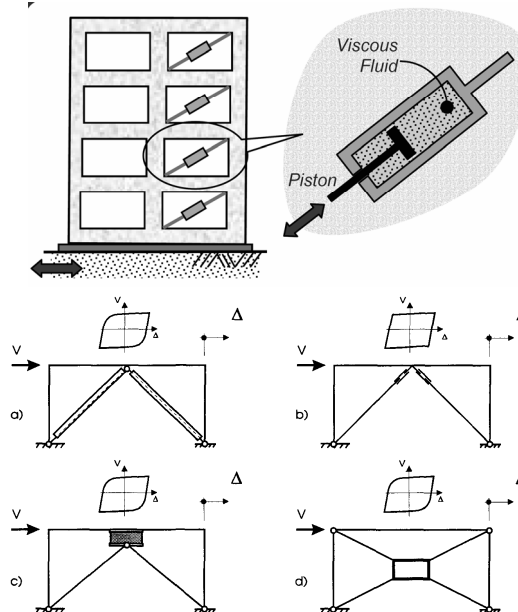
Izolarea bazei - principii

- **Modificarea perioadei proprii de vibrație**
 - creșterea perioadei proprii de vibrație
 - diminuarea pseudo-acelerațiilor (forțelor seismice)
 - creșterea deplasărilor la nivel de reazeme
- **Disiparea energiei seismice**
 - reducerea deplasărilor
 - reducerea pseudo-acelerațiilor
 - sensibilitate redusă la variații în spectrul de pseudo-acelerație



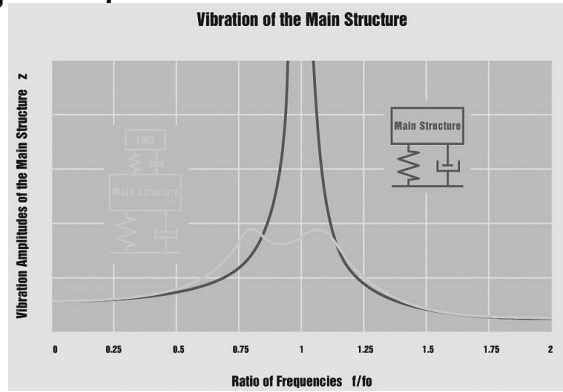
Control pasiv

- **Disipatori histeretici, cu lichid vâscos, viscoelastici și de frecare: dispozitive inserate în structură pentru asigurarea unei amortizări suplimentare**



Control pasiv

- **Disipatori cu masă acordată: un sistem format dintr-o masă, un arc și un amortizor, de obicei instalat la vârful clădirii**
- **Eficient pentru reducerea vibrațiilor armonice, prin modificarea perioadei proprii de vibrație a structurii față de perioada de vibrație a acțiunii armonice**



Control activ

- **Sistemele de control activ sunt alcătuite din:**
 - **senzori:** măsurarea acțiunii seismice, a răspunsului structurii la aceasta, sau a ambelor
 - **dispozitivul de control:** procesează informația măsurată și calculează forțele de control necesare
 - **actuatori:** aplică forțele necesare și sunt de obicei acționați de surse externe de energie
- **Răspunsul dinamic al structurii este parțial eliminat de forțele externe aplicate de actuatori**
- **Avantaje:** sunt efective pentru un domeniu larg de frecvențe ale acțiunii perturbatoare
- **Dezavantaje:** cost ridicat și necesitatea unei surse externe de putere