

METODOLOGIE

privind calculul sistemelor de protecție seismică pasivă. Clădiri autoadaptabile la solicitări seismice

1. PREVEDERI GENERALE

1.1 Domeniul de aplicare

Prezentul ghid stabilește prevederile generale de alcatuire și de calcul referitoare la sistemele de protecție seismică pasivă a clădirilor autoadaptabile la solicitări seismice (clădiri cu autoacordare).

Prevederile ghidului se aplică în principal la construcții de locuințe, social-culturale și industriale realizate cu structuri în cadre de beton armat sau metalice.

Prevederile se referă cu precădere la construcții noi; cu titlu informativ, ele pot fi utilizate ca elemente de referință în proiectarea unor consolidări ale clădirilor afectate de cutremure, atunci când concepția inițială a acestora nu intră în contradicție cu principiile de bază ale prezentului ghid.

Respectarea măsurilor constructive prevăzute de prezentul ghid nu anulează obligația proiectantului de a verifica prin calcule ingineresti rezistența, stabilitatea și rigiditatea elementelor structurale propuse.

1.2 Definiții

1.2.1 *Structurile în cadre* sunt cele la care încărările verticale și orizontale sunt preluate și transmise fundațiilor (sau infrastructurii) în totalitate printr-un sistem spațial de stalpi și grinzi.

1.2.2 *Sisteme de protecție seismică pasivă* sunt sisteme structurale proiectate astfel încât să se obțină o micșorare semnificativă a încărărilor dinamice prin modificarea caracteristicilor dinamice ale sistemului în procesul acțiunii seismice, în limitele reglabile prevăzute inițial.

1.2.3 *Legături care ies din lucru* – elemente constructive de rezervă, care se decuplează din sistemul structural atunci când se depășește un anumit nivel de solicitare structurală, nivel prestabilit în procesul de proiectare.

1.2.4 *Cadrelle cu contravanturii excentrice* – un sistem structural in care eforturile din structura sunt absorbite sub forma de forta taietoare sau moment incovoietor, prin intermediul unor segmente scurte de grinda denumite linkuri active.

1.3 Clasificari

1.3.1 Sisteme de legaturi care ies din lucru:

- *panouri - legaturi rigide*: panouri fixate de fundatiile stalpilor sau de grinda de fundare la partea inferioara si de rigle, la partea superioara. Iesirea din lucru este produsa de distrugerea panoului;
- *tiranti diagonali* care ies din lucru. Drept asemenea legaturi se pot folosi elemente din beton armat precomprimat sau metalice cu bolt de forfecare;
- *diafragme* sub forma de panou, zabrele decorative, arc, element triunghiular de tipul grinzii cu zabrele cu noduri rigide. Panoul se fixeaza de structura portanta principala cu ajutorul unor pane de beton sau fonta, elemente metalice sudate, etc.

Prima varianta prezinta avantajul simplitatii tehnologice si nu necesita masuri speciale de protectie anticoroziva.

A doua si a treia varianta se caracterizeaza printr-un grad sporit de incredere al calculului, refacerea legaturii este mai simpla si necesita un consum neinsemnat de materiale.

1.3.2 *Cadrelle contravantuite excentric (CCE)* sunt un sistem hibrid ce imбина proprietatile cadrelor rezistente la moment incovoietor cu cele ale cadrelor contravantuite simetric. Acest sistem ofera avantaje economice si satisface atat cerintele de rigiditate cat si cele de ductilitate. In mecanismul de cedare intervin deformatii importante ale linkurilor in domeniul postelastice. In functie de modul de plasticizare se disting trei tipuri de linkuri:

- *lungi sau de incovoiere* - la care capacitatea de rezistenta se obtine prin curgerea materialului datorita eforturilor axiale din incovoierea sectiunii;
- *scurte sau de forfecare* - la care capacitatea de rezistenta se obtine prin plasticizarea materialului datorita eforturilor tangentiale din forta taietoare;
- *intermediare* - la care capacitatea de rezistenta se obtine prin plasticizarea simultana a sectiunii din incovoiere si din forfecare.

1.4 Acte normative complementare

Prezenta metodologie de calcul se va utiliza impreuna cu prevederile din actele normative care precizeaza aspecte specifice de calcul si alcatuire, cum ar fi:

- STAS 10107/0-90 Constructii civile si industriale. Calculul si alcatuirea elementelor din beton, beton armat si beton precomprimat;
- STAS 10101/1-91 Actiuni in constructii. Greutati tehnice si incarcari permanente.
- STAS 10101/2A1-91 Actiuni in constructii. Incarcari datorite procesului de exploatare;
- STAS 10103-76 Constructii din otel. Principii fundamentale de calcul.
- Normativ pentru proiectarea antiseismica a constructiilor de locuinte, social-culturale, agrozootehnice si industriale. Indicativ P100-92;
- Cod de proiectare pentru structuri in cadre din beton armat. Indicativ NP 007-97;
- Normativ pentru executarea lucrarilor din beton si beton armat. C140-86;

Lista actelor normative complementare nu este exhaustiva si se va actualiza in raport de revizuirea sau modificarea acestora.

2. MATERIALE

2.1 In piesele scrise si desenate ale proiectului de executie se vor preciza urmatoarele caracteristici ale materialelor prevazute:

- Tipul si clasa betoanelor – eventualii aditivi care se vor utiliza
- Tipul si marca otelului beton
- Tipul de otel si profile laminate utilizate

2.2 Caracteristicile fizico-mecanice ale materialelor care participa atat in calculul static de rezistenta, de rigiditate, de stabilitate si in calculul de armare, cat si la executia propriu-zisa a lucrarilor, vor fi apreciate astfel:

- Pentru materiale nou introduse in opera, conform prevederilor normativelor in vigoare la data executiei proiectului, specifice fiecarui tip de material in parte;
- Pentru materialele existente in structurile ce urmeaza a se consolida, conform determinarilor distructive si nedistructive de laborator si a specificatiilor expertizelor tehnice.

Prevederi suplimentare pentru materialul "beton":

- Clasa minima recomandata: C12/15.

Prevederi suplimentare pentru materialul "otel-beton":

- Pentru armaturi de rezistenta: otel-beton OB37 si PC52, conform STAS 438/1-80 "Otel-beton laminat la cald. Marci si conditii generale de calitate"
- Pentru armaturi constructive: otel-beton OB37

3. CONDITII GENERALE DE PROIECTARE

3.1 Conditii generale

Conditiiile generale de proiectare precizeaza cerintele de performanta structurala care, daca sunt respectate, asigura sistemului structural o comportare favorabila sub actiunea incarcarilor seismice, un nivel controlat de siguranta prin reglarea autoacordarii, conditii favorabile de executie, de intretinere si de reparare/consolidare in cazul producerii unor degradari sau avarii.

3.2 Realizarea conditiilor de proiectare

3.2.1 Indeplinirea conditiilor generale de proiectare (a cerintelor de performanta structurala) la care se refera prezentul capitol, se realizeaza prin:

- Conceptia generala de proiectare care sa asigure alegerea unor sisteme de protectie pasiva adecvate conditiilor de structura (destinatie, regim de inaltime, forma in plan si elevatie, deschideri, travei, inaltimi de etaj) si amplasament (zona seismica, teren de fundare) specifice constructiei;
- Respectarea prezentei metodologii de calcul si a actelor normative complementare privind calculul si alcatuirea tuturor componentelor sistemului structural si ale elementelor nestructurale;
- Utilizarea metodelor de calcul al eforturilor, deplasarilor si treptei de solicitare la care legaturile de rezerva ies din lucru, adecvate importantei constructiei, tipului si caracteristicilor sistemului structural, conditiilor de amplasament;
- Efectuarea, in conditii justificate din punct de vedere tehnic si economic, a unor cercetari suplimentare pe modele sau pe prototipuri realizate la scara naturala si/sau a unor studii analitice aprofundate care sa precizeze particularitatile structurii autoadaptabile la solicitari seismice in toate stadiile semnificative de comportare. Acestea se impun cu precadere in cazul in care este necesara refacerea sistemelor de protectie pasiva scoase din lucru de miscarile seismice.

3.2.2 Comportarea structurală la acțiunea seismică poate fi semnificativ îmbunătățită (scădere importantă a încărcărilor dinamice) prin modificarea (autoadaptarea) caracteristicilor dinamice ale sistemului, în limitele reglabile prevăzute inițial. Astfel de sisteme nestationare, cu parametri variabili în sensul definit, se pot "autoadapta" la acțiunile seismice.

Indicativ	Schema și mod de lucru	Denumire	Material
S1		Tiranti diagonali cu bolt de forfecare	Metal
S2		Panou de rigidizare în forma de H	Beton armat
S3		Contravantuire excentrică de tip K	Metal

3.2.3 Una din căile de realizare constructivă a sistemelor antiseismice cu "autoadaptare" este proiectarea unor construcții cu legături care ies din lucru, adică elemente constructive de rezerva care se decuplează din sistem atunci când se depășește un anumit nivel dat al amplitudinii oscilațiilor construcției. Iesirea din lucru a legăturilor de rezerva produce restructurarea scheletului intern al sistemului și modificarea caracteristicilor sale dinamice. Utilizarea elementelor de rezerva sporește siguranța construcțiilor la acțiuni seismice de diferite tipuri.

3.2.4 Impunerea mecanismului de lucru sub acțiunea seismică încă din stadiul de proiectare permite obținerea unor modele de calcul simple și asigurarea unui calcul cu

un grad sporit de siguranta si incredere. Se poate prevedea, de asemenea, o tehnologie simpla si convenabila pentru reparatii dupa cutremur.

3.3 Conditii de rezistenta si stabilitate

3.3.1 Toate elementele sistemelor de protectie pasiva vor fi dimensionate sau, dupa caz, verificate la starile limita ultime (de rezistenta si stabilitate) in conformitate cu prevederile standardelor in vigoare , cu cele ale actelor normative specifice, precum si cu cele ale prezentei metodologii de calcul.

3.3.2 Din punct de vedere al dimensionarii, alcatuirii si armarii se vor diferentia zonele curente ale elementelor, zonele plastice potientiale si zonele de cedare corespunzatoare iesirii din lucru a legaturilor de rezerva.

3.3.3 Stabilirea zonelor plastice potientiale ale sistemelor de protectie din beton armat si evaluarea lungimii lor de calcul, conform STAS 10107/0-90, pct. 1.2.5 se vor face in conformitate cu prevederile prezentei metodologii de calcul.

3.4 Conditii de rigiditate

3.4.1 Sistemul structural al constructiilor cu autoacordare va respecta urmatoarele conditii de limitare a deplasarilor:

- Deplasarile relative de nivel maxime date de fortele seismice orizontale vor respecta prevederile normativului P100-92, pct. 6.2.4.
- Dupa iesirea din lucru a legaturilor de rezerva si autoacordarea sistemului structural, deplasarile relative de nivel (incluzand componenta post-elastica), vor respecta, de asemenea, deplasarile limita admise de normativul P100-92, precum si cele din prezenta metodologie de calcul.

3.4.2 Din punct de vedere al rigiditatii la deplasari laterale ale sistemului structural, se recomanda urmatoarele conditii:

- Sistemele de protectie pasiva vor fi astfel dimensionate si dispuse in structura incat rigiditatea cadrelor plane care compun sistemul spatial sa fie cat mai

uniforma. In acest sens se recomanda ca perioadele proprii corespunzatoare modului fundamental de vibratie, calculate pentru cadrele independente si ansamblul constructiei cu autoacordare, sa fie cat mai apropiate.

- Sistemele de protectie pasiva nu vor introduce variatii mari ale rigiditatii de nivel pe inaltimea constructiei; variatia local brusca a rigiditatii relative de nivel in zona de dispunere a legaturilor de rezerva este admisa cu conditia considerarii in calcule a efectelor determinate de aceasta.

3.5 Conditii privind mecanismul structural de disipare a energiei la actiuni seismice

3.5.1 Pentru a obtine un mecanism favorabil de disipare a energiei la actiuni seismice se va urmari ca, la cutremurele de intensitate ridicata (vezi pct. 2.3 din Normativul P100-92) sa se respecte urmatoarele:

- Amplasarea sistemelor de protectie pasiva nu trebuie sa modifice ordinea de aparitie a articulatiilor plastice in structura de rezistenta, la inceput in rigle si numai ulterior – eventual - in stalpi;
- Sistemul de protectie S2 va fi astfel proiectat incat la nivelul prevazut de solicitare sa apara articulatiile plastice la capetele riglei, stalpii urmand sa lucreze in continuare in domeniul elastic;
- Legaturile de rezerva vor fi proiectate astfel incat sa iasa din lucru la eforturi corespunzand unui nivel de cca. 50% din solicitarea structurata in domeniul de rezonanta;
- Sistemele de protectie proiectate la parterul cladirilor vor fi fixate pe fundatii astfel incat infrastructurile si fundatiile sa lucreze, de regula, numai in domeniul elastic. In situatii justificate se pot admite incursiuni in domeniul post-elastic de comportare si in unele elemente ale infrastructurii, cu luarea masurilor adecvate de asigurare a ductilitatii acestora ca si a posibilitatii de reparare post-seism.

3.5.2 Indeplinirea cerintelor de la pct. 3.5.1 se face prin ierarhizarea adecvata a capacitatilor de rezistenta ale celor trei componente ale sistemului structural: infrastructura, suprastructura si sistemele de protectie pasiva.

3.6 Conditii privind ductilitatea

In cazul sistemului S2, cu panou de rigidizare din beton armat in forma de H, posibilitatea de dezvoltare a unui mecanism favorabil de reducere semnificativa a eforturilor din sollicitari seismice este conditionata de realizarea unei ductilitati locale suficiente a zonelor plastice precum si de evitarea producerii unor ruperi premature, casante, ale elementelor structurale. Pentru aceasta, se vor respecta urmatoarele conditii:

- Prin dimensionarea, alcatuirea si armarea sistemul S2 se va asigura zonelor plastice potientiale de la capatul riglei panoului o capacitate ridicata de deformare post-elastica, fara o scadere semnificativa de capacitate portanta si/sau rigiditate sectionala la cicluri repetate de incarcari-descarcari in domeniul plastic de comportare;
- Prin dimensionarea, alcatuirea si armarea elementelor sistemului S2, se vor evita ruperile premature, cu caracter casant, care ar impiedica functionarea mecanismului de autoadaptare a structurii la sollicitarile seismice;
- Se vor evita ruperile in sectiuni inclinate din forta taietoare, separari ale elementelor in lungul unor planuri de lunecare prefisurate (rosturi de turnare), ruperea specifica elementelor subarmate.

Masuri minimale pentru realizarea acestor conditii sunt prevazute in STAS 10107/0-90.

4. CALCUL DE REZISTENTA

4.1 Schema de calcul

4.1.1 Calculul eforturilor structurale se poate face prin metode cu diferite grade de complexitate, clasificate astfel dupa gradul de fidelitate cu care reflecta comportarea sub incarcari a structurii.

4.1.2 In selectarea metodelor de calcul al eforturilor, proiectantul va tine seama de urmatoarele:

- Categoria de importanta a constructiei si gradul ei de repetitivitate

- Caracteristici geometrice si mecanice ale sistemului structural (deschideri, travei, forma in plan si elevatie, modul de realizare-monolit, prefabricat, mixt)
- Posibilitatile de amplasare a sistemelor de protectie pasiva de dimensiuni si in numar suficient astfel incat sa se obtina eficienta maxima in reducerea solicitarilor din actiunea seismica

4.1.3 Sistemul S1 (cu tiranti diagonali) va fi inclus in calculul structural utilizand programe de calcul spatial care permit modelarea tirantilor. In cazul constructiilor din clasa de importanta III sau IV, cu o forma cvasiregulata in plan si o distributie relativ uniforma a rigiditatilor pe nivel (deci cu o pondere redusa a eforturilor din torsiune), se admite calculul cadrelor plane independente, considerand tirantii in calcul pe rand, cate unul, in functie de sensul de actionare. Astfel se pot utiliza instrumente simplificate de calcul plan, care nu admit modelarea tirantilor ca elemente structurale.

4.1.4 Sistemul S2 (panou de rigidizare din beton armat in forma de H) se schematizeaza in calculul static prin reducerea elementelor componente (rigle si stalpi) la axele lor, corespunzand pozitiei centrului de greutate al sectiunilor transversale (vezi fig. 4.1).

In calculele mai detaliate sau daca

- $\Delta M < 0.15 M$

se considera dimensiunea finita a nodului.

- $\Delta M = M - M_r$

unde:

- M = momentul in stalp
- M_r = momentul in rigla

In calcule se va tine seama de excentricitatile determinate de dezaxarea prin variatiile de sectiune ale stalpilor. Aceasta dezaxare poate fi neglijata la stalpii la care variatiile de sectiune la nivelul riglei respecta conditiile:

- $\delta \leq 100 \text{ mm}$
- $\delta \leq h/4$

unde:

- δ reprezinta decalajul pe orizontala al axelor stalpilor
- h reprezinta inaltimea stalpilor sub sau deasupra riglei pana la prinderile pe structura principala.

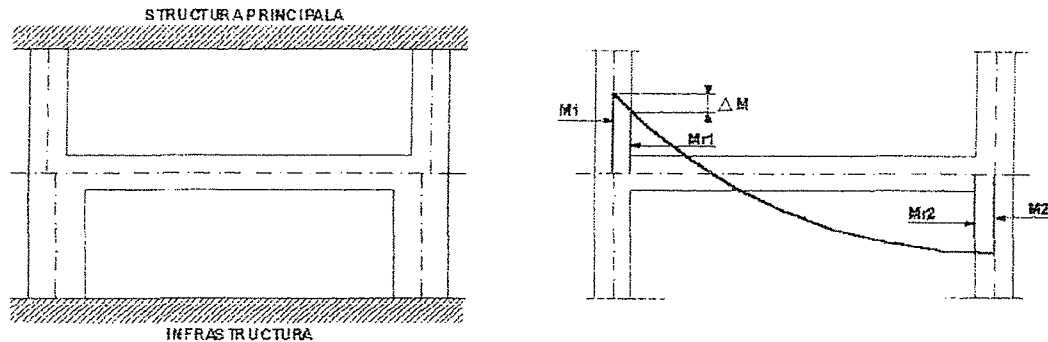


Fig. 4.1

4.1.5 Deschiderile și înălțimile de calcul se determină funcție de pozițiile axelor stalpilor și riglei. Întrucât sunt recomandate prinderile articulate pe structura principală (din considerente de refacere post-seism), înălțimea stalpilor se măsoară între prinderea pe fundații și intradosul riglei (ramura inferioară) și între fața superioară a riglei și prinderea articulată pe structura principală (ramura superioară).

4.2 Incarcari

4.2.1 Incarcările luate în calcul sunt incarcările din gruparea specială aplicate structurii principale. Se vor respecta integral prevederile Codului de proiectare pentru structuri în cadre din beton armat indicativ NP 007-97.

4.2.2 Structura principală se va schematiza – de regula – ca un sistem dinamic cu mase discrete, conform prevederilor Normativului P100-92 (sisteme cu un număr

finit de grade de libertate dinamica). Masele vor fi concentrate astfel incat sa reflecte cu suficienta acuratete comportarea dinamica reala a sistemului.

4.2.3 Sistemele de protectie pasiva vor fi incluse in schema statica de calcul a structurii cladirii conform precizarilor din cadrul subcapitolului 4.1.

4.3 Calculul eforturilor in gruparea speciala de incarcari (actiuni seismice)

4.3.1 Analiza structurala la actiuni seismice cuprinde:

- determinarea fortelor seismice;
- determinarea eforturilor si deplasarilor produse de actiunile seismice in punctele caracteristice ale structurii din punct de vedere al sistemelor de protectie pasiva;
- determinarea eforturilor in elementele sistemelor de protectie pasiva corespunzatoare nivelului de 50% din eforturile maxime la rezonanta;

4.3.2 Metodele de analiza structurala la actiuni seismice se clasifica si se caracterizeaza conform tabelului 4.1, adaptat dupa normativul P100-92.

Tabelul 4.1 Metode de analiza a structurilor cu sisteme de protectie pasiva

Nr. crt.	Metoda de analiza	Metoda de calcul al eforturilor	Modelarea actiunii seismice	Sistem de protectie pasiva	Eforturi de dimensionare	Conditii generale de proiectare
1	Metoda A Metoda curenta de proiectare	Static elastic	Forte conventionale conform P100-92	S1	N	Conform capitolului 3
		Static postelastice	idem	S2	N, M, T	
				S3	M, T	
2	Metoda B Metoda bazata pe considerarea proprietatii de deformare inelastica	Statica neliniara	Forte conventionale	S2	N, M, T	Se stabileste mecanismul structural de plastificare si cerintele de deformare si ductilitate in articulatiile plastice
				S3	M, T	
		Dinamica neliniara	Accelerograme	S2	N, M, T	
				S3	M, T	

4.3.3 Metoda curenta de proiectare (metoda A) este obligatorie, cel puțin ca etapa preliminară, pentru toate cele trei tipuri structurale. Când este asociată unui model de calcul plan, metoda se poate aplica pentru calculul construcțiilor din clasa de importanță III și IV, conform clasificării din Normativul P100-92, în următoarele condiții:

- construcții cu înălțime redusă sau medie, conform clasificării Codului de proiectare indicativ NP 007-97, cu structură regulată, cu o distribuție relativ uniformă a rigidităților pe cele două direcții ortogonale (a căror rigiditate la deplasări laterale nu diferă cu mai mult de 20%)
- construcțiile trebuie să aibă o formă în plan cât mai regulată, favorabilă unei bune comportări la acțiuni seismice, conform normativului P100-92, astfel încât să nu se dezvolte eforturi semnificative din torsiune.

Când este asociată unui model de calcul spațial, metoda curentă de proiectare poate fi utilizată pentru structurile etajate curente, cu înălțime redusă și medie, fără restricții în ceea ce privește forma în plan, cu condiția utilizării calculului automat.

4.3.4 Metoda bazată pe considerarea proprietății de deformare inelastică a structurii (metoda B) cuprinde două procedee:

- analiză statică în domeniul post-elastic de comportare, la încărcări orizontale crescătoare monoton, proporționale cu forțele seismice convenționale. Procedeele pun în evidență succesiunea formării articulațiilor plastice pentru sistemele S2 și S3 de protecție pasivă. Este recomandat pentru construcțiile din clasa a II-a de importanță, conform clasificării Normativului P100-92.
- analiză dinamică, cu considerarea proprietăților post-elastice de deformare a secțiunilor, la acțiuni seismice modelate ca o mișcare a bazei descrisă prin accelerograme (înregistrate sau artificiale). Este recomandat pentru construcțiile din clasa I de importanță, conform clasificării Normativului P100-92.

5. DIMENSIONAREA ELEMENTELOR COMPONENTE ALE SISTEMELOR DE PROTECTIE PASIVA

5.1 Sistemul S1-cu tiranti diagonali

Tirantii se vor dimensiona astfel incat sa iasa din lucru la o sollicitare axiala corespunzatoare unui nivel de sollicitare structurala de cca. 50% din sollicitarea la rezonanta (conform precizarilor cap.6).

Tirantii cu bolt de forfecare ofera un control eficient al momentului cedarii. Boltul este metalic, cu sectiune circulara si are doua sectiuni de forfecare. Dimensionarea diametrului va fi determinata din conditia de forfecare la nivelul de sollicitare prestabilit.

5.2 Sistemul S2-cu panou de beton armat in forma de H

5.2.1 Elementele sistemului (stalpi si rigla) se dimensioneaza la starile limita ultime conform prevederilor din STAS 10107/0-90.

5.2.2 Diagramele de momente infasuratoare pe rigle se stabilesc pe baza rezultatelor calculului static.

Sectiunile semnificative de la extremitatile riglelor corespund sectiunii de la fata reazemului (vezi fig. 4.1).

Situatia de sollicitare corespunde gruparii speciale de incarcari, notata in continuare GS. Se vor considera diagramele de momente din GS pentru actiuni seismice pe directia riglei, in ambele sensuri. Principiul aplicarii metodei este indicat in fig. 5.1

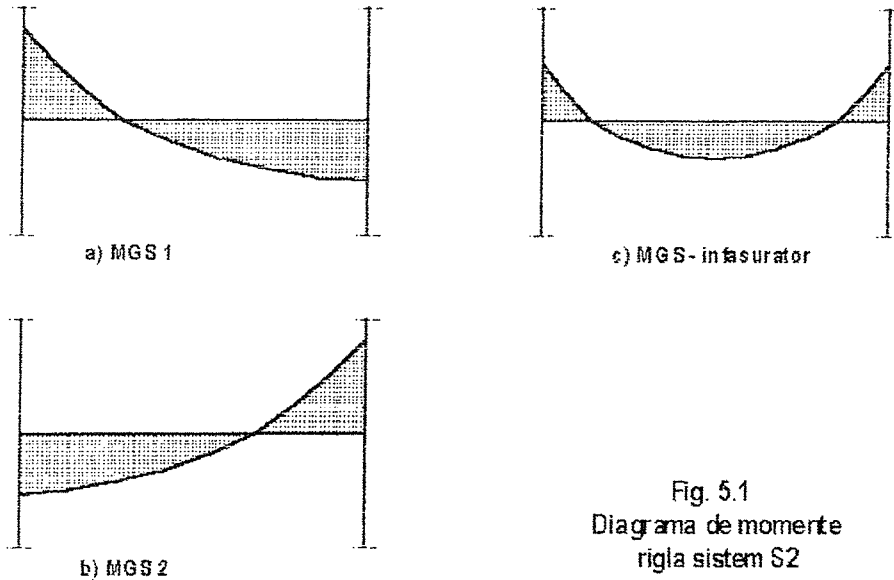


Fig. 5.1
Diagrama de momente
rigla sistem S2

5.2.3 Stabilirea diagramelor de forta taietoare pe rigla are in vedere evitarea ruperilor casante, prin cedari in sectiuni inclinate.

Stabilirea valorilor fortei taietoare asociate momentelor capabile (Q_{as}) se face cu relatia:

$$Q_{as} = (|M_{cap}^{st}| + |M_{cap}^{dr}|) / l_1 \quad (5.1)$$

unde:

- Momentele capabile M_{cap}^{st} si M_{cap}^{dr} se determina in functie de armaturile efective din rigla considerand rezistentele de calcul ale armaturii (R_a) majorate cu 25%.
- Q_{as} se determina pentru ambele sensuri ale actiunii seismice pe directia riglei
- l_1 = distanta intre sectiunile in care se formeaza articulatiile plastice

Valorile diagramei de momente capabile ale riglei se vor stabili astfel incat sa se evite formarea de articulatii plastice in camp: $l_1 \rightarrow l_0$, unde l_0 este distanta dintre fetele reazemelor riglei pe stalpi (fig.5.2).

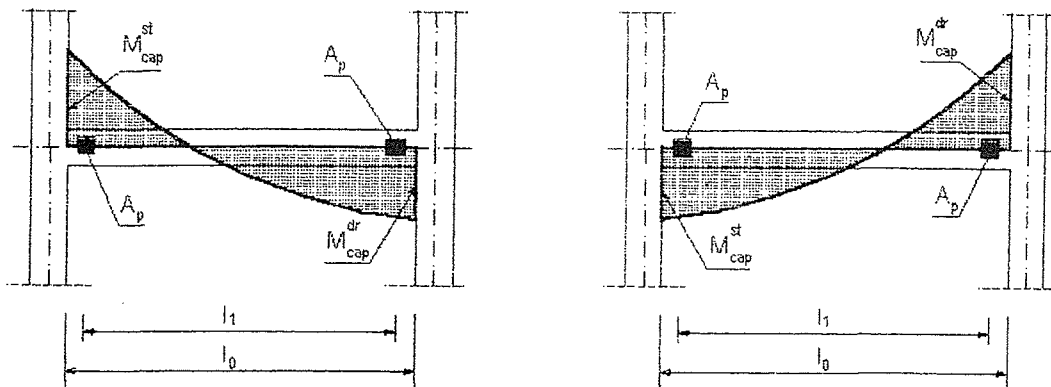


FIG. 5.2 Articulații plastice în rigla

5.2.4 Pentru stabilirea diagramei înfășurătoare în stalpi se vor considera momentele încovoietoare determinate prin calcul în GF și GS de încărcări și corecții stabilite funcție de momentele capabile în rigle, pentru asigurarea mecanismului favorabil de formare a articulațiilor plastice la capetele riglei.

Momentele încovoietoare în secțiunile extreme ale stălpilor, corespunzătoare GS de încărcări, se determină cu relația:

$$M = k_M M_s \sum |M_{\text{cap, rigla}}| / \sum M_{\text{rigla}}^s \leq M / \phi \quad (5.2)$$

La aplicarea acestei relații se vor considera următoarele:

- M_s = momentul încovoietor în stălp în GS de încărcări, considerând acțiunea seismică pe direcția panoului în forma de H (sistemul S2);
- $\sum |M_{\text{cap, rigla}}|$ = suma momentelor capabile în secțiunile în care apar articulații plastice, determinate pentru același sens de rotație și în condițiile precizate la paragraful 5.2.3, fără majorarea rezistenței armaturilor din rigle;
- $\sum M_{\text{rigla}}^s$ = suma algebrică a valorilor momentelor încovoietoare corespunzătoare, obținute în GS de încărcări
- $K_M = 1.4$

5.2.5 La sistemele de protectie pasiva cu stalpii avand schema statica de consola verticala (incastrare in infrastructura si articulatie cu suprastructura), pentru determinarea fortelor taietoare de dimensionare (Q) se va considera valoarea:

$$Q = 1.2 Q_s M_{cap, st} / M_s \quad (5.3)$$

unde:

- Q_s = forta taietoare din GS de incarcari
- $M_{cap, st}$ = momentul capabil in stalp
- M_s = momentul in stalp din GS de incarcari

5.2.6 Daca sistemul de protectie pasiva S2 se proiecteaza cu prinderi prin noduri rigide pe infrastructura si suprastructura constructiei, atunci determinarea fortelor taietoare de dimensionare se face cu relatia:

$$Q = 1.2 Q_s \sum |M_{cap, gr.}| / \sum M_{gr.}^s \quad (5.4)$$

cu limitarile:

$$Q \leq (\sum |M_{cap, st.}^s| + |M_{cap, st.}^i|) / H_{0E} \quad (5.5)$$

$$Q \leq Q_s / \psi \quad (5.6)$$

unde:

- $M_{cap, st.}^s$ si $M_{cap, st.}^i$ = valorile momentelor capabile in sectiunea de la extremitatea superioara, respectiv inferioara a stalpului, determinate corespunzator fortei axiale din GS de incarcari
- H_{0E} = inaltimea libera a stalpului
- ψ = coeficientul de reducere a fortei seismice, dat in normativul P100-92, pct. 5.3.6.

5.2.7 Fortele axiale in stalpii sistemului de protectie pasiva S2 in GS de incarcari se determina dupa cum urmeaza:

- riglele sistemului se considera plastificate; reactiunile transmise stalpilor de aceste rigle se determina cu relatia 5.1.
- reactiunea transmisa la stalp de riglele neplastificate corespunde GS de incarcari

5.2.8 Redistribuirea momentelor incovoietoare de la rigla la stalp

Dupa formarea articulatiilor plastice la capetele riglei, la suprasolicitarea acestora se admite redistribuirea momentelor incovoietoare la stalpii adiacenti.

Redistribuirea momentelor este admisa in urmatoarele conditii:

- redistribuirea sa fie mai mica decat 30% din valoarea momentelor determinate de ipoteza comportarii elastice;
- pe elementele la care se opereaza redistribuiri de momente, forta taietoare determinata din actiuni seismice nu se modifica (se admit translatii ale diagramelor de momente incovoietoare, conform Codului de proiectare pentru structuri in cadre din beton armat indicativ NP007-97, paragraful 6.1.7

5.2.9 Riglele sistemului S2 se dimensioneaza si verifica conform prevederilor din STAS 10107/0-90, cap.3 (Calculul elementelor din beton armat).

Se recomanda ca momentele capabile in rigle sa fie stabilite astfel incat la actiuni seismice de mare intensitate, distanta intre sectiunile de formare a articulatiilor plastice (l_1) sa respecte conditia:

$$l_1 \geq 5/6 l_N \quad (5.7)$$

unde l_N = distanta intre sectiunile de formare a articulatiilor plastice de moment negativ, corespunzator celor doua sensuri ale actiunii seismice.

5.2.10 Nodurile stalp-rigla ale sistemului de protectie pasiva S2 sunt solificate predominant la actiuni seismice.

Fortele taietoare de calcul la care se dimensioneaza aceste noduri se vor determina cu urmatoarele relatii:

- forta taietoare orizontala

$$Q_h = 1.25 A_a R_a - Q_s \quad (5.8)$$

unde:

- A_a = aria de armatura intinsa a riglei din sectiunea de la fata nodului
- Q_s = forta taietoare de calcul a stalpului superior in sectiunea de la fata nodului

$$Q_v = Q_h h_g / h_s \quad (5.9)$$

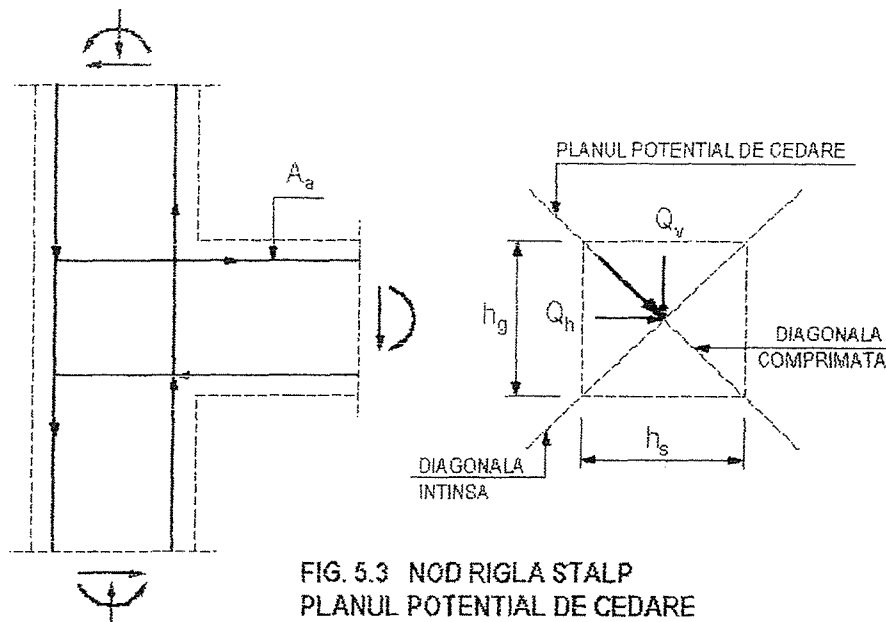


FIG. 5.3 NOD RIGLA STALP
PLANUL POTENTIAL DE CEDARE

5.2.11 Forța tăietoare orizontală în nod, determinată conform prevederilor paragrafului 5.2.8, se preia prin beton și armături transversale, ale căror contribuții se însumează:

$$Q_h < Q_{ha} + Q_{hb} \quad (5.10)$$

unde:

Q_{ha} = forța tăietoare preluată de armăturile transversale (orizontale) în nod, care se calculează cu relația: $Q_{ha} = A_h R_a$

A_h = suma ariilor armăturilor transversale din nod care îndeplinesc simultan următoarele condiții:

- intersectează planul potențial de cedare (pe diagonala nodului), fig.5.3
- sunt situate în lățimea nodului b_n
- sunt dispuse între armăturile longitudinale superioare și inferioare din rigla

Q_{hb} = forța tăietoare preluată de beton, care se calculează cu relația

$$Q_{hb} = [(0.5 + n) A_t / A_a] Q_h \quad (5.11)$$

A_t și A_a sunt ariile de armatură comprimată și respectiv întinsă din rigla, pentru care rezultă cel mai mic raport A_t / A_a ; se va respecta $A_t / A_a < 1$;

$$N = N / (b_n h_n R_c)$$

5.3 Sistemul S3 – cadre contravantuite excentric

Cadrelor cu contravantuiri excentrice prezinta urmatoarele avantaje principale :

- rigiditati laterale de valori apropiate celor corespunzatoare cadrelor cu contravantuiri clasice;
- capacitate de disipare a energiei in domeniul postelastice similara cadrelor clasice , cu noduri grinda-stalp rezistente la momente incovoietoare;
- consumuri de otel cu 25 ÷ 35 % mai reduse fata de cadrelor clasice, necontravantuite.

La proiectarea structurilor prevazute cu acest sistem de protectie se au in vedere urmatoarele deziderate principale :

- distribuirea incarcarilor laterale in proportie de 70 ÷ 80 % la contravantuiri si 20÷30% la stalpi;
- stabilirea unei variante optime de structura privind rigiditatea laterala, pe de o parte si capacitatea de disipare a energiei, pe de alta parte fiind cunoscut ca aceste cerinte sunt in opozitie;
- realizarea imbinarilor grinda-stalp rezistente la momente si forte taietoare severe avand in vedere cresterea importanta a rigiditatii linkurilor de forfecare prin consolidarea otelului, imbinari la care articulatiile plastice sunt dirijate in sectiunea grinzii;
- formarea mecanismelor de cedare prin dezvoltarea initiala a articulatiilor plastice in linkuri astfel incat stalpii si contravantuiriile sa lucreze in domeniul elastic moderat plastic pana la epuizarea capacitatii linkurilor.

Pentru asigurarea formarii mecanismului dorit de plasticizare si disipare a energiei pe durata incarcarilor laterale mari se recomanda folosirea procedeeelor de analiza in domeniul plastic.

Predimensionarea elementelor structurale corespunzatoare CCE impune parcurgerea urmatoarelor etape principale :

a. determinarea excentricitatilor convenabile astfel incat sa fie satisfacute cerintele de rigiditate si ductilitate;

b. determinarea fortelor orizontale maxime pe niveluri conform prevederilor normativului P 100-92 in care coeficientul Ψ se considera egal cu 1;

c. determinarea unui prim set de solicitari in elementele CCE in ipoteza distribuirii fortei taietoare de nivel la contravanturii si la stalpi intr-o proportie prestabilita;

d. dimensionarea sectiunilor astfel incat articulatiile plastice sa se produca in linkuri.

Controlul deplasarii relative de nivel a structurii se realizeaza prin lungimea linkului activ.

Relatia intre deformatia ultima a structurii , θ_p si deformatia ultima a linkului , γ_p rezulta din mecanismele de cedare:

$$\theta_p \cdot L = \gamma_p \cdot e \quad (5.12)$$

in care L – deschiderea cadrului ; e – lungimea linkului activ.

Relatia dintre deplasarea relativa de nivel prescrisa in norme Δ si deformatia θ_p este:

$$\Delta \leq \Psi \cdot \theta_p \quad (5.13)$$

in care Ψ – coeficientul din normativul P, 100-92 , tabel 5.4.

Deformatia unghiulara γ_p masoara efortul mediu de lunecare in linkurile de forfecare, iar in cele de moment - rotirile articulatiilor plastice de la capetele linkului.

In cazul linkurilor corect conformate se accepta deformatia maxima unghiulara $\gamma_{max}=0,10$.

Pentru o deplasare Δ impusa, lungimea aproximativa a linkului rezulta din relatia :

$$e = 10 \cdot \Delta \cdot L / \Psi \quad (5.14)$$

In mecanismele de deplasare in domeniul postelastice, corespunzatoare CCE, se disting trei tipuri de articulatii plastice :

- tip 1 – articulatia dezvoltata de momentul de plasticizare integrala a sectiunii, M_p ;
- tip 2 – articulatia dezvoltata de un moment $M < M_p$ si $M > M_p^*$, care este supusa, simultan si la o forta taietoare relativ mare;
- tip 3 – articulatia dezvoltata de momente egale sau mai mici decat M_p^* insotita de plasticizarea integrala a inimii, din forta taietoare.

Valorile solicitarilor M_p , M_p^* si V_p asociate articulatiilor plastice mentionate anterior se determina cu relatiile :

$$M_p = \sigma_c \cdot W_p \quad (5.15)$$

$$M_p^* = \sigma_c \cdot (h-t) \cdot (b-t_j) \cdot t \quad (5.16)$$

$$V_p = \tau_c \cdot (h-t) \cdot t_j \quad (5.17)$$

$$\tau_c = \sigma_c / \sqrt{3} \quad (5.18)$$

in care:

M_p – momentul capabil plastic al sectiunii;

M_p^* – momentul capabil plastic al sectiunii redus datorita eforturilor de forfecare;

V_p – forta taietoare capabila a sectiunii in domeniu plastic;

σ_c , τ_c – limia de curgere din eforturi axiale si respectiv tangentiale;

h , b , t , t_j – dimensiunile sectiunii dublu T.

In functie de lungimea de balans a unei sectiuni, b^* linkurile se clasifica astfel:

- pentru $e > b^*$ linkuri lungi sau de moment care formeaza articulatii plastice de tip 1;
- pentru $e < b^*$ linkuri scurte sau de forfecare care formeaza articulatii plastice de tip 2 sau 3;
- pentru $e = b^*$ linkuri ideal plastice care formeaza articulatii de tip 3.

Pentru obtinerea unui raspuns inelastic optim al linkului de forfecare sectiunea grinzii CCE se va proiecta cu $b_{max}^* > 2 \cdot M_p^* / V_p^*$.

Capacitatile de rezistenta si de disipare a energiei ale CCE sunt conditionate de capacitatea de rezistenta a imbinarilor linkului cu celelalte elemente structurale, acestea trebuind sa suporte incarcari ciclice severe. Masurile cele mai importante privesc asigurarea stabilitatii la flambaj general al ansamblului link-contravantuire si la flambaj local a inimii si talpilor linkurilor de ductilitate mare.

6. ALTE PREVEDERI

Analiza parametrica a carui necesitate s-a impus in scopul relevarii aspectelor caracteristice sistemelor studiate, are doua componente distincte:

- analiza fiecarui sistem in parte, cu evidentierea datelor caracteristice privind raspunsul seismic, respectiv a factorilor de amplificare in acceleratii si deplasari;
- analiza comparativa a comportarii sistemelor inainte si dupa iesirea din lucru a legaturilor suplimentare, cu referire la mecanismul de cedare si eficienta tipurilor de protectie pasiva la actiunile seismice.

In consecinta, desfasurand un proces de analiza complex, in ambele componente ale studiului parametric asa cum au fost ele definite mai sus, se evidentiaza urmatoarele caracteristici esentiale ale sistemelor de legaturi care ies din lucru:

- Sistemul diagonalelor de rigidizare impune un control riguros al momentului iesirii din lucru a acestora. Cedarea simultana a legaturilor suplimentare este importanta, in caz contrar putand apare sollicitari severe la torsiune generala. Cedarea brusca a diagonalelor la sistemul M1 conduce la o modificare radicala a caracteristicilor dinamice proprii ale structurii de rezistenta, intr-un interval de timp foarte scurt.
- Panourile de rigidizare din beton armat reactioneaza mai lent la actiunea seismica in domeniul de rezonanta. De asemenea, flexibilizarea structurala nu este atat de accentuata ca la sistemul cu diagonale de rigidizare. Din acest punct de vedere, sistemul este mai putin eficient, avand insa avantajul controlului mai exact asupra mecanismului de flexibilizare.

In concluzie, atunci cand se dispune de mecanisme performante si fiabile de scoatere din lucru a diagonalelor de rigidizare la un nivel prestabilit al eforturilor induse in structura de rezistenta de actiunea seismica, acest sistem poate fi considerat mai eficient. Aceasta eficienta consta atat in reducerea substantiala a sollicitarilor in domeniul de raspuns maxim, cat si in usurinta refacerii ulterioare a acestor legaturi, cu cheltuieli minime. Se recomanda fie folosirea unor bolturi de forfecare proiectate din materiale cu comportare omogena si cat mai sigura, sau utilizarea unor dispozitive electromecanice care sa intrerupa continuitatea diagonalelor la un anumit nivel de sollicitare prestabilit.

Pentru dimensionarea sistemului de legaturi care ies din lucru, este necesara determinarea fortei taietoare de nivel multiplicata cu factorul de amplificare pentru domeniul de rezonanta, factor cu valoarea $\Psi = 5$.

Aceasta forta taietoare de nivel se distribuie la elementele structurale de nivel, inclusiv la sistemul de legaturi care ies din lucru.

Acestea vor fi dimensionate astfel incat sa cedeze la cca. 50 % din nivelul de solicitare determinat conform precizarilor de mai sus. Aceasta cedare implica forfecarea boltului de cuplare in cazul diagonalelor de rigidizare sau formarea de articulatii plastice in rigla panoului de rigidizare din beton armat in forma de H.

Este foarte importanta conditia ca formarea articulatiilor plastice la capetele riglelor sa se produca la eforturi nu mai mari de 50 % din cele prevazute la rezonanta, astfel ca modificarea semnificativa a caracteristicilor dinamice ale structurii sa se produca in timp util.
