

# ANALIZA NELINIARĂ A CADRELOR DIN BETON ARMAT CONSOLIDATE CU PEREȚI TURNAȚI IN SITU

## NON-LINEAR ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE FRAMES STRENGTHENED WITH INFILLED WALLS

LIANA TERC<sup>1\*</sup>, TUDOR BUGNARIU<sup>2</sup>, MIRCEA PĂSTRĂV<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institutul Național de Cercetare Dezvoltare în Construcții și Economia Construcțiilor (INCERC) Sucursala Cluj,  
Calea Florești nr. 117, 400524 Cluj-Napoca, România

<sup>2</sup> Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Hidrotehnică, B-dul Lacul Tei nr. 124, sect. 2, București, România

*Un important program de cercetări teoretice a fost desfășurat în cadrul INCERC Sucursala Cluj-Napoca, în scopul de a studia metode de consolidare a structurilor în cadre cu degradări reduse și moderate, una dintre categoriile de structuri care pot prezenta deficiențe.*

*Principalele obiective ale studiilor au fost analizarea comportării la sarcini de tip seismic a pereților de consolidare prinși de structură cu ancore fixate cu rășină și evaluarea influenței diferiților parametri, ca grosimea pereților de consolidare, grosimea cămășuielii, procentul de armare longitudinal în cămășuială.*

*An important theoretic research program was conducted in INCERC Cluj, in order to study the strengthening technique of the low or moderate damaged reinforced concrete frame structures, one of the existing construction types susceptible to damage.*

*The principal objectives of the analytical studies were to analyze the behavior under seismic loads of infill walls connected to the reinforced concrete frame with bonded anchors and to evaluate the influence of several parameters, like the thickness of infill walls, the thickness of the jackets, respectively the longitudinal reinforcement ratio in the jacket of the columns.*

**Keywords:** construction (D, d), composites (B), concrete (D, a), reinforcement (D, a), modeling (B)

### 1. Introducere

Cadrelor din beton armat construite înainte de apariția codului de proiectare seismică *P 100-1* reprezintă unul dintre tipurile de structuri susceptibile de a fi degradate. Rezistența laterală insuficientă asociată cu o slabă conformare sunt principalele cauze pentru performanțele seismice inadecvate ale acestor structuri. Una dintre metodele de consolidare a unor astfel de cadre este prevederea de pereți de consolidare din beton armat, turnați in situ în ochiurile cadrului.

Pincheira și Jirsa [1] au urmărit prin analiză dinamică neliniară cu programul DRAIN-2D comportarea la sarcini de tip seismic a unei structuri în cadre cu 12 niveluri, cu capacitate insuficientă la forțe laterale și cu stâlpi neductili, consolidată cu pereți din beton armat turnați in situ. Pereții de consolidare realizați in situ au fost dispuși în deschiderile marginale ale cadrelor, au fost prinși numai de stâlpi pe toată înălțimea structurii și au fost astfel proiectați încât să se evite cedarea lor prematură la forfecare, înainte de atingerea la bază a capacității la moment. În urma consolidării, perioada proprie fundamentală a structurii s-a redus de la 3,5 s la 1,2 s. Capacitatea maximă la forțe laterale a structurii consolidate a fost de patru ori mai mare față de cea a structurii inițiale.

Principalele obiective ale cercetărilor [2] și [3]

### 1. Introduction

Reinforced concrete frames built prior the advent of the seismic design code *P 100-1* represent one type of existing construction susceptible to damage. Insufficient lateral resistance along with poor detailing of reinforcement are the main reasons for inadequate seismic performance of these structures. Strengthening of such frames has been accomplished by infilling frames with cast-in-place reinforced concrete walls.

Pincheira and Jirsa [1] investigated, using nonlinear dynamic analyse, with the computer program DRAIN-2D, the behaviour of a 12-story frame structure, with insufficient lateral resistance and nonductile columns, retrofitted with cast in place infilled walls. Infilled walls were located in the outer bays of the building, were connected to existing columns on the entire height of the building and were designed to prevent premature shear failure, prior development of the flexural capacity of the wall. After the strengthening, the fundamental period of vibration decreased from 3.5 s to 1.2 s. The lateral capacity for the retrofitted building was four times greater than the lateral capacity for the initial building.

The main objectives of the research programs [2] and [3] regarding the behavior of

\* Autor corespondent/Corresponding author,  
Tel.: +40 264-425462, e-mail: liana.terec@incerc-cluj.ro

efectuate pe ancore fixate cu rășină în beton au fost cunoașterea tipului de cedare, caracteristicile curbei efort-deformație și determinarea rezistenței de aderență a ancorelor fixate cu rășină. Parametrii urmăriți au fost: diametrul ancorei, adâncimea de înglobare în beton, rezistența la compresiune a betonului din elementul suport, tipul de rășină, modul de prelucrare a interfeței și modul de aplicare a forței (monoton sau ciclic).

Programul experimental descris în [4] și [5] a avut ca scop cunoașterea modului în care pereții de consolidare prinși de cadrul existent cu ancore fixate cu rășină interacționează cu cadrul existent. Experimentările s-au desfășurat pe două modele de cadru cu o deschidere și un nivel, la scara 1:2. Modele au fost proiectate să reprezinte o deschidere marginală la primul nivel al unei clădiri existente în cadre cu nouă niveluri, afectată de cutremurele vrâncene din 1977, 1986 și 1990. Ancorele fixate cu rășină au fost bare de armătură PC52, montate în stâlpii și grinzile ochiului de cadru, cu adâncimea de înglobare de 12 diametre, la distanță interax de 220 mm. Ancorele fixate în stâlpi au fost prevăzute într-un singur plan median la unul dintre modele, respectiv în două planuri, corespunzător planurilor de armare, la al doilea model. Rășina epoxidică utilizată a fost bicomponentă, și anume Ropoxid 510 și Romamid 700, produse de Policolor București. Grosimea pereților de consolidare a fost 150 mm. Deplasarea relativă de nivel corespunzătoare forței seismice de cod a fost de aproximativ 50 de ori mai mică la cadrul consolidat decât la cadrul neconsolidat.

Fisurarea pereților de consolidare s-a produs la forțe aproximativ de două ori mai mari decât cele calculate după codul de proiectare seismică. Prevederea ancorelor în două planuri a condus la o comportare de perete monolit, fără fisuri la interfața cadru-perete. Valoarea maximă a lunecării la interfață a fost 2,5 mm, valoare care nu a afectat semnificativ capacitatea de smulgere a ancorelor.

Cercetările teoretice prezentate în acest articol au fost desfășurate în scopul de a elucida modul în care pereții din beton armat, prinși de structură cu armături ancorate cu rășini sintetice [4], [5], interacționează cu cadrul existent. Comportarea cadrului consolidat a fost evaluată pe baza rezultatelor analizei neliniare prin metoda elementului finit cu ajutorul programului ANSYS 5.2.

Concluziile prezintă, pe baza rezultatelor obținute, sugestii privitoare la aplicarea acestei metode de consolidare pentru reabilitarea cadrelor din beton armat prezentând degradări moderate.

## 2. Studii teoretice

### 2.1. Structura originală și variantele de consolidare

Clădirea selectată pentru studiu, o structură existentă în cadre pe nouă niveluri, afectată de

bonded anchors were to investigate the type of failure, load-displacement curve characteristics and bond stress of the bonded anchors. The followed parameters were: the bar diameter ( $d_a$ ), embedment length ( $h_a$ ), compressive strength of the concrete, type of adhesive, interface surface preparation and type of loading (monotonic or cyclic).

The experimental program [4] and [5] was conducted in order to better understand how infilled reinforced concrete walls, connected to existing frame by bonded anchors, interact with the existing frame. Two one-half scale models single story-one bay were studied. The models were designed to represent one bay of the first level of an existing 9-story frame structure, damaged in the 1977, 1986, 1990 Vrancea earthquakes. The bonded anchors were reinforcement bars PC52 and were installed on the surrounding frame, with embedment length of 12 diameters, installed at 220 mm centres. The bonded anchors installed in the columns were placed in a single median plane, in one of the specimens, respectively in two planes, corresponding to the reinforcement mesh of the infilled wall, for the second specimen. The chemical bonding agent used for installing of the anchors was epoxy resin, with two compounds Ropoxid 510 and Romamid 700, produced by Policolor București. The infill thickness for both specimens was 150 mm. The interstory drift of the strengthened frame at the seismic code design force was about 50 times smaller than that of the unstrengthened frame.

Cracking of the infilled walls occurred at a force about two times greater than the seismic code design force. The installing of the bonded anchors in two planes led to a behavior similar to a monolithically cast wall, without cracks at the interfaces frame-wall. The maximum value of the slip reached at the interfaces was 2.5 mm, which not significantly affected the pull-out capacity of the bonded anchors.

The analytical studies presented in this paper were conducted in order to better understand how infilled reinforced concrete walls, connected to existing structure members by bonded anchors [4], [5] interact with the existing frame. Behavior of the retrofitted frame was evaluated by conducting two-dimensional non-linear static analysis, using the finite element program ANSYS 5.2.

The conclusions present, on the basis of the obtained results, suggestions regarding this retrofitting method for the strengthening of moderately damaged reinforced concrete frame buildings.

## 2. Theoretical studies

### 2.1. Original building and retrofit schemes

The building selected for study, an existing

cutremurele vrâncene din 1977, 1986 și 1990, prezintă deficiențe de conformare structurală semnificative: lipsa unei confinări adecvate în stâlpi și grinzi în zonele plastic potențiale, procent insuficient de armare longitudinală în stâlpi și grinzi, formă octogonală inadecvată a etrierilor în stâlpi și lungime de suprapunere inadecvată a barelor de armătură.

În structura consolidată, pereții din beton armat se prevăd la două cadre longitudinale și două cadre transversale, pe toată înălțimea structurii. Pentru stâlpii adiacenți pereților se prevăd cămășuieli din beton armat, în timp ce restul elementelor, stâlpi și grinzi, rămân neconsolidate. Pereții de consolidare sunt prinși de structura existentă cu bare de armătură ancorate cu rășină.

Grosimea pereților și armătura transversală au fost astfel prevăzute, încât să se evite cedarea la forfecare înainte de atingerea capacității la moment încovoietor a pereților de consolidare. Procentul de armare orizontală, respectiv verticală în peretele de consolidare a fost 0,45%, respectiv 0,3%, conform cerințelor normativului P 85-1996. În vederea confinării betonului din peretele de consolidare, în zonele de conectare la elementele cadrului, în aceste zone au fost prevăzuți etrieri din oțel OB 37.

La pereții de la primele patru niveluri, pentru prinderea de stâlpii, respectiv grinziile cadrului inițial au fost prevăzute ancore cu rășină PC 52  $\phi$  14, respectiv PC 52  $\phi$  12. Pentru pereții de consolidare turnați la nivelurile superioare, au fost prevăzute ancore PC 52  $\phi$  12 pe tot conturul ochiului de cadru. Adâncimea de ancorare a barelor fixate cu rășină a fost 12 diametre.

9-story reinforced concrete frame, damaged in the 1977, 1986 and 1990 Vrancea earthquakes, presents important structural inadequacies, like: the lack of adequate confinement in columns and girders, within the plastic zones, the insufficient longitudinal reinforcement ratio in columns and girders, the inadequate octagonal form of the stirrups in columns and the inadequate lap lengths.

In the retrofit scheme, infill walls are added to two transverse and two longitudinal frames, on the entire height of the structure. The columns adjacent to the walls are strengthened with reinforced concrete jackets. The rest of the columns and beams in the structure were assumed to remain unstrengthened. The walls are connected to existing frames by bonded anchors.

Wall thickness and shear reinforcement were designed to prevent premature shear failure, prior development of the flexural capacity of the wall. Horizontal reinforcement ratio, respectively vertical reinforcement ratio in the infilled walls was 0.45%, respectively 0.3%, required by Romanian provisions P85-1996. In order to confine the concrete of the infilled walls in the connection zone, stirrups of OB 37 steel were provided.

For the first four floors, bonded anchors PC 52  $\phi$  14, respectively PC 52  $\phi$  12 were installed in columns, respectively in beams. For the subsequent floors, bonded anchors PC 52  $\phi$  12 were installed to the surrounding frame. The embedment length of bonded anchors was 12 diameters. The bonded anchors were placed in two planes, corresponding to the reinforcement

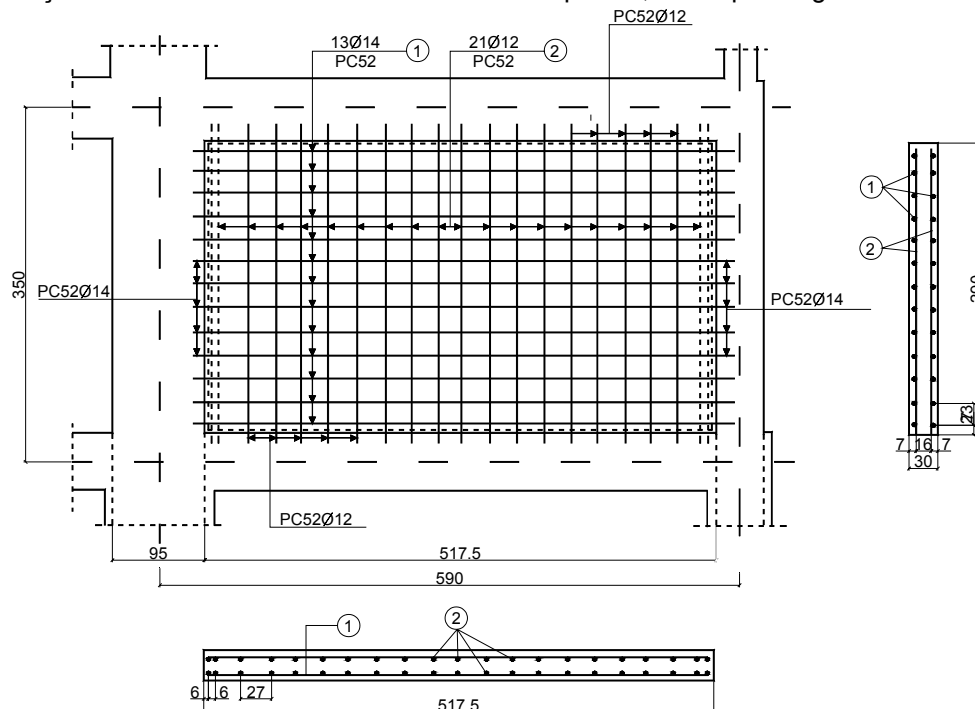


Fig. 1 - Armarea pereților de consolidare. Schema de dispunere a ancorelor / Reinforcement of infilled walls. Installing of bonded anchors scheme.

Tabelul 1

Principalele date de intrare pentru modelele M1, M2 și M3  
*The principal input data for the models M1, M2 and M3*

Model Mod□/	Grosimea pereților de consolidare <i>Infilled wall thickness</i>		Grosimea cămășuielii <i>Jackets thickness</i>		Procentul de armare longitudinală în cămășuiala stâlpilor / <i>Longitudinal reinforcement ratio in the jacket</i>	
	(mm)		(mm)		(%)	
	Primele patru niveluri <i>First four levels</i>	Restul nivelurilor <i>The other levels</i>	Subsol <i>Basement</i>	Restul nivelurilor <i>The subsequent levels</i>	Stâlpi marginali <i>Side columns</i>	Stâlpi centrali <i>Central columns</i>
M1	300	200	150	75	0.5	0.46
M2	200	200	150	75	0.5	0.46
M3	300	200	150	100	1.27	1.17

Ancorele au fost prevăzute în două planuri, corespunzând planurilor de armare a pereților turnați in situ (Figura 1). Lungimea de suprapunere a ancorelor cu barele de armătură din perete a fost 20 de diametre.

Armarea cămășuielii a fost în conformitate cu prevederile normativului P 85-1996, referitoare la armarea zonelor de la extremitățile pereților structurali.

Au fost analizate trei variante de consolidare, respectiv modelele M1, M2 și M3. Parametrii studiați au fost: grosimea pereților de consolidare turnați in situ în zona plastică potențială (300 mm, respectiv 200 mm), grosimea cămășuielii la primele patru niveluri (75, 100 respectiv 150 mm) și procentul de armare longitudinală în cămășuiala stâlpilor (0,5% și 1,27%). Principalele date de intrare în analiza neliniară sunt prezentate în tabelul 1.

## 2.2. Descrierea modelului de calcul

Analiza neliniară a structurii consolidate a fost realizată cu programul de calcul pe element finit ANSYS 5.2. Elementul SOLID 65 3-D, utilizat pentru modelarea comportării neliniare a betonului armat, permite fisurare la întindere în trei direcții ortogonale, zdrobire la compresiune, deformații plastice și curgere lentă. Barele de armătură permit deformații plastice și curgere lentă.

Elementul tridimensional SOLID 65 3-D este definit prin opt noduri și proprietăți de material izotrop. Elementul este caracterizat printr-un material solid și maxim trei direcții pentru barele de armătură. Specificațiile pentru armătură includ numărul materialului, raportul de volum și orientarea unghiurilor. Raportul de volum este definit prin raportul dintre volumul barei de armătură și volumul total al elementului. Orientarea este definită prin două unghiuri (în grade), față de direcțiile sistemului de coordonate. Datele suplimentare pentru materialul tip beton, ca de exemplu coeficienți de transfer al forfecării, sau eforturile de întindere sunt introduse ca date de intrare. Coeficienții specifici de transfer al forfecării variază de la 0,0 (pentru fisură netedă, cu pierderea completă a transferului forței

mesh of the infilled wall. (Figure 1). The lap length with the reinforcement of the wall was 20 diameters.

The reinforcement of the jackets was in agreement with the requirements of Romanian provisions P 85-1996, regarding the concentrated boundary steel of walls.

Three retrofitting variants, respectively the models, M1, M2 and M3 were analyzed. The parameters studied were: the thickness of infill walls within the plastic zone (300 mm, respectively 200 mm), the thickness of the jackets in the first four levels (75, 100 respectively 150 mm) and the longitudinal reinforcement ratio in the jacket of the columns (0,5% and 1,27%). The principal input data for the non-linear analysis are presented in the table 1.

## 2.2. Model description

Analysis of the retrofitted building was performed using the finite element program ANSYS 5.2. The element SOLID 65 3-D, used for the modeling of nonlinear material properties in the structure is capable of cracking in three orthogonal directions, crushing, plastic deformations and creep. The rebars are capable of plastic deformations and creep.

The element SOLID 65 3-D is defined by eight nodes and the isotropic material properties. The element has one solid material and up to three re bars materials. Rebar specifications include the material number, the volume ratio, and the orientation angles. The volume ratio is defined as the re bar volume divided by the total elements volume. The orientation is defined by two angles (in degrees) from the total element coordinate system. Additional concrete material data, such as the shear transfer coefficients or tensile stresses are input in the data table. Typical shear transfer coefficients range from 0.0 to 1.0, with 0.0 representing a smooth crack (complete loss of shear transfer) and 1.0, representing a rough crack (no loss of shear transfer). These specifications may be made for both the closed and open crack.

When both cracking and crushing are used

tăietoare) până la 1,0 (pentru fisură rugoasă, fără pierderea transferului forței tăietoare). Aceste specificații pot fi făcute atât pentru fisuri închise, cât și pentru fisuri deschise.

Când tendințele de fisurare și zdrobire apar simultan, încărcările trebuie aplicate lent, pentru a evita apariția unei posibile fisurări fictive a betonului, înainte de efectuarea transferului forței prin fisurile închise. În punctele de integrare unde a apărut zdrobirea betonului, deformațiile plastice și de curgere lentă se consideră cele de la sub pasul anterior. În continuare, când se produce fisurarea, deformația elastică de ieșire include și deformația generată prin fisurare. Barele de armătură se consideră "topite" în elementele de solid.

Coeficienții de transfer considerați au fost 0,05 pentru fisuri deschise și 0,7 pentru fisuri închise.

### 2.3. Modelarea și strategia de iterare

Analiza neliniară a fost efectuată pe un cadru transversal consolidat cu pereți turnați in situ, încărcat cu forțele gravitaționale și forța laterală de cod aferentă. Modelul în elemente finite pentru pereții de consolidare are 112 elemente la primele patru niveluri, respectiv 28 de elemente la nivelurile următoare. Pereții de consolidare și stâlpii adiacenți au fost modelați cu elemente finite neliniare, în timp ce grinzile din deschiderile centrale au fost modelate cu elemente liniar elastice (figura 2).

În primii trei sub pași de încărcare, cadrul inițial neconsolidat a fost supus numai la sarcini verticale.

together, care must be taken to apply the load slowly, in order to prevent possible fictitious crushing of the concrete, before proper load transfer can occur through a closed crack. At those integrations points where crushing has occurred, the output plastic and creep strains are from the previous converged sub step. Furthermore, when cracking has occurred, the elastic strain output includes the cracking strain. The rebars are assumed to be "smeared" through the elements.

The adopted transfer coefficients  $\beta_t$  were 0.05 for the open cracks and 0.7 for the closed cracks.

### 2.3. Modeling and iteration strategy

One transverse frame, strengthened with infill walls, was tested by applying the gravitational loads and the lateral code load. The mesh for walls had 112 elements in the first four stories and 28 elements in the subsequent stories. The infill walls and the columns adjacent were modeled with non-linear finite-elements, whereas the beams in the central bay were modeled as linear-elastic elements (Figure 2).

In the first three sub steps, the original transverse frame structure was subjected just to vertical loads. The jackets and the infill walls were activated in the next sub step. The lateral code load was applied in 16 increments, in order to ensure the convergence.

### 3. Results

The concrete characteristics in the structure were: the maximum compressive

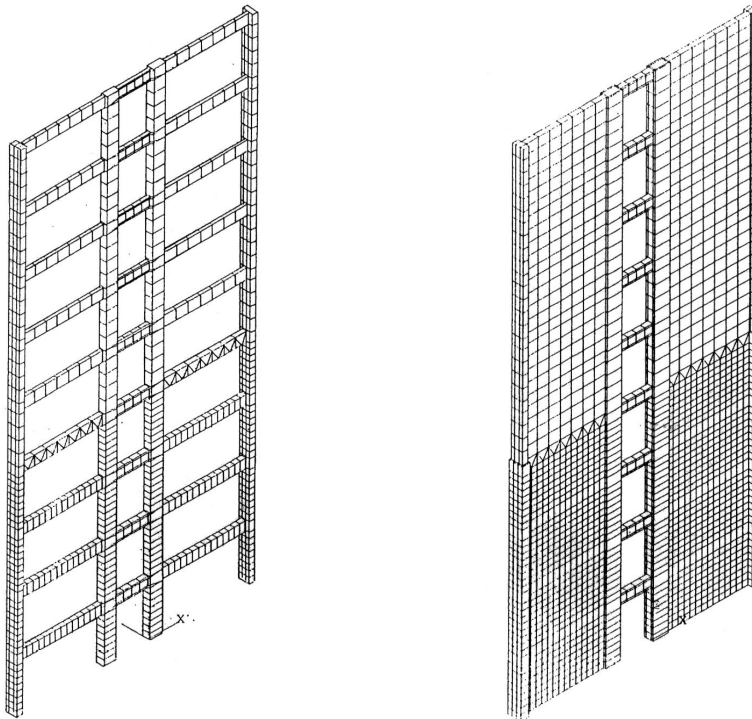


Fig. 2 - Rețeaua de discretizare pentru cadrul transversal inițial și consolidat / Finite element mesh for the original and for the retrofitted transverse frame.

Cămășuiala stâlpilor și pereții de consolidare au fost încărcăți în sub pasul următor. Forța laterală de cod a fost aplicată în 16 incremente, în scopul de a asigura convergența.

### 3. Rezultate

Caracteristicile betonului în structura analizată au fost: rezistența ultimă la compresiune monoaxială  $R_c = 20 \text{ N/mm}^2$ , rezistența ultimă la întindere monoaxială  $R_t = 1 \text{ N/mm}^2$ ; modulul de elasticitate pentru beton  $E_b = 27.000 \text{ N/mm}^2$ ; modulul de elasticitate pentru armatură  $E_a = 2,1 \text{ E5 N/mm}^2$ ; coeficientul Poisson pentru beton  $\mu = 0,16$ . Perioada fundamentală de vibrație a fost 1,42 s pentru cadrul inițial și 0,64 s pentru cadrul consolidat.

Rezultatele obținute la încărcarea cu forța seismică de cod sunt prezentate în continuare.

La cadrul neconsolidat, deplasarea relativă de nivel a fost peste 0,35%, în timp ce la cadrul consolidat, deplasarea relativă de nivel a fost de numai 0,06%. În stâlpul cel mai comprimat, efortul unitar normal în beton a variat între  $12 \text{ N/mm}^2$  și  $13 \text{ N/mm}^2$ , valori semnificativ mai mici decât rezistența la compresiune a betonului.

La toate trei modelele betonul din stâlpul central a fisurat pe toată înălțimea structurii. Stâlpii marginali au prezentat fisuri doar la primul nivel, în cazul modelelor M2 și M3. La modelul M1, stâlpii marginali nu au fisurat.

În cămășuială, betonul a fisurat pe toată înălțimea structurii, la toate trei modelele.

strength  $f_c = 20 \text{ N/mm}^2$ , the maximum tensile strength  $f_t = 1 \text{ N/mm}^2$ , modulus of elasticity  $E_c = 27.000 \text{ N/mm}^2$ , Poisson coefficient  $\mu = 0.16$ . The modulus of elasticity for the reinforcing steel was  $E_s = 210.000 \text{ N/mm}^2$ .

The fundamental period of vibration was 1.42 s for the original structure and 0.64 s for the retrofitted structure.

The principal results obtained at the seismic design code load are presented in the following.

The interstory drifts exceeded 0.35% in the original structure. In the retrofitted structure, the maximum value of the interstory drift was 0.06%. In the more compressed column, the normal stress in concrete varied, for all the models, between  $12 \text{ N/mm}^2$  and  $13 \text{ N/mm}^2$ , significantly less than the compressive strength of the concrete.

For all the models, the concrete in the central columns was cracked on the entire high of the structure. The side columns presented cracks just at the first level, for the models M2 and M3. The side columns of the model M1 were uncracked.

In the jacket, the concrete cracked on the entire high, for all three models.

The tensile stress in the re-bar in the jackets of the columns was  $81 \text{ N/mm}^2$  for the model M1, respectively  $90 \text{ N/mm}^2$  for the model M2 and  $76 \text{ N/mm}^2$  for the model M3.

The shear stress in walls was less than the admissible value  $2f_t$ . The maximum values of the

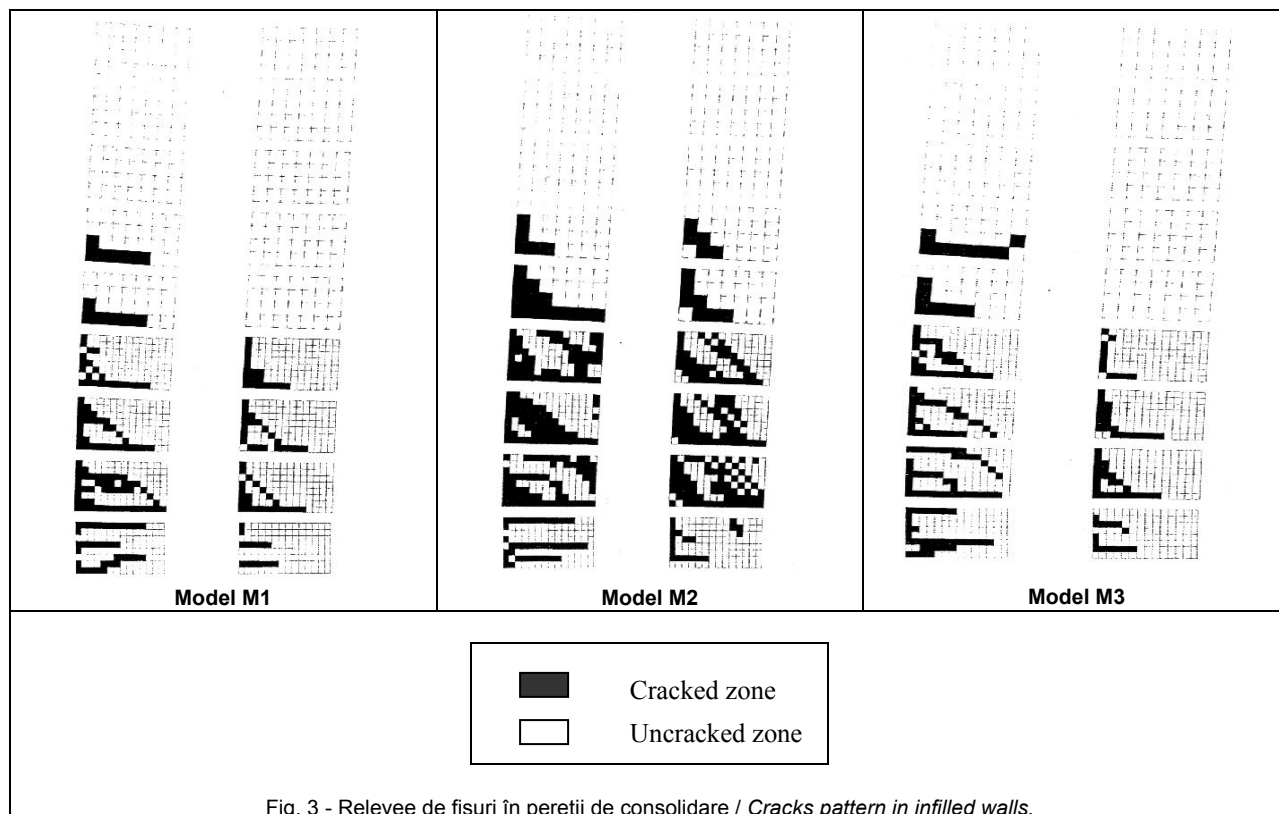


Fig. 3 - Relevee de fisuri în pereții de consolidare / Cracks pattern in infilled walls.



existente, au asigurat o bună transmitere a eforturilor provenite din sarcini gravitaționale și seismice la structură și au rămas în domeniul elastic de comportare, pentru toate variantele studiate de pereți turnați in situ.

#### REFERENCES

1. J.A. Pincheira and J.O. Jirsa, Seismic Response of RC Frames Retrofitted with Steel Braces or Walls, Journal of Structural Engineering, 1995, **121**(8), 1225.
2. R. Cook, Behaviour of Chemically Bonded Anchors, Journal of Structural Engineering, 1993, **119**(9), 2744.
3. J.O. Jirsa, Behavior of epoxy-grouted dowels and bolts used for repair or strengthening of RC structures, Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering, Tokio, 1988, edited by Nissei Kogyo Co., Ltd, VII, p. 371.
4. L. Terec, A. Cosma, C. Bia and I. Pop, Experimental Studies of the Performance of Reinforced Concrete Frames Strengthened with Infilled Walls, Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Concrete Repair, 15-17 July 2003, St-Malo, France, edited by GR Technologie Ltd, London, UK, p. 695.
5. L. Terec, Infill walls of reinforced concrete, Napoca Star, Cluj-Napoca, 2009.

\*\*\*\*\*

## MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE / SCIENTIFIC EVENTS



**ACI Convention,  
Pittsburg 24 – 28 October 2010**

#### Topics:

- ACI Concrete Sustainability Forum
- Blast and Impact Loading Response of Concrete Structures: Experimental and Numerical Investigations
- Design of Sustainable Concrete Bridges
- Emerging Technologies in Civil Infrastructure Applications
- Errors in the Design and Construction of Concrete Structures - Examples, Consequences, and Mitigation
- High Performance Concrete for Sustainable Columns
- Hybrid Systems for Sustainable Construction,
- Practical Applications of Numerical Analysis and Design
- Research in Progress
- Sustainability of Concrete Pavement
- Diagnosis and Repair of Structures Suffering From Durability Problems
- High Performance Concrete for Seismic Design of Bridges
- Analysis, Design and Construction Practices in Environmental Engineering Concrete Structures: An Overview of ACI 350 Code
- Mineral Fillers: Role in Self-Consolidating Concrete
- Seismic Performance of Concrete Joints and Connections
- High Strength & Corrosion Resistant Reinforcing Steel for Concrete Structures
- Corrosion Resistant Reinforcement - Current Performance and Alternative Materials
- Green Binders Technology
- Progress in Reinforced Concrete Chimney Design, Construction, and Retrofits
- Blast Mitigation Retrofits - Research and Application
- Energy Conservation for Greener Buildings
- Textile Reinforced Concrete - Modern Developments

#### Contact:

<http://www.concrete.org/Convention/Fall-Convention/front.asp>

\*\*\*\*\*