

# PECSÉTNYOMÁSSAL TERHELT PRIZMATIKUS BETONOSZLOPOK MEGEROSÍTÉSE SZÉNSZÁLÁS SZÖVETTEL

*Verók Krisztián\**

## RÖVID KIVONAT

Az elmúlt években végzett vizsgálataink során lehetőségem nyílt különböző kísérleteket végezni szénszálás kompozittal megerosített beton oszlopokon. Ezek a kísérletek három témakör köré csoportosíthatók, úgymint kör keresztmetszetű oszlopok vizsgálata pillanatnyi<sup>(1)</sup> és tartós<sup>(2)</sup> teherre, valamint négyzet keresztmetszetű oszlopok vizsgálata pecsétnyomásra<sup>(3)</sup>. Mindezen oszlopok azonos szénszálás kompozit megerosítéssel voltak ellátva.

Ebben a cikkben a 20x20x60 cm-es oszlopokkal végzett törési kísérleteinket szeretném ismertetni. Röviden bemutatom a próbatestek készítésének fobb lépéseit, áttekintem a kísérletsorozat legfontosabb eredményeit, az azokon elvégzett teszteket.

## 1. BEVEZETÉS

A cikkben ismertetni szeretném pecsétnyomással terhelt prizmatikus oszlopoknak szénszállal való megerosítésével foglalkozó, a Laboratoire Central des Ponts et Chaussées-n (LCPC) végzett kísérleteket [1].

A kísérletsorozat elindítása egy, az LCPC-n 1999-ben elvégzett vizsgálati program eredményei miatt vált szükségessé [2]. A különböző betonminőségű, a pecsétnyomás viselésére kialakított vasalással ellátott 20x20x60 cm-es próbatestet egyszerű statikus vizsgálatnak vetették alá. A nagy szilárdságú és teljesítőképességű próbatestek szálerosítéssel betonból készültek.

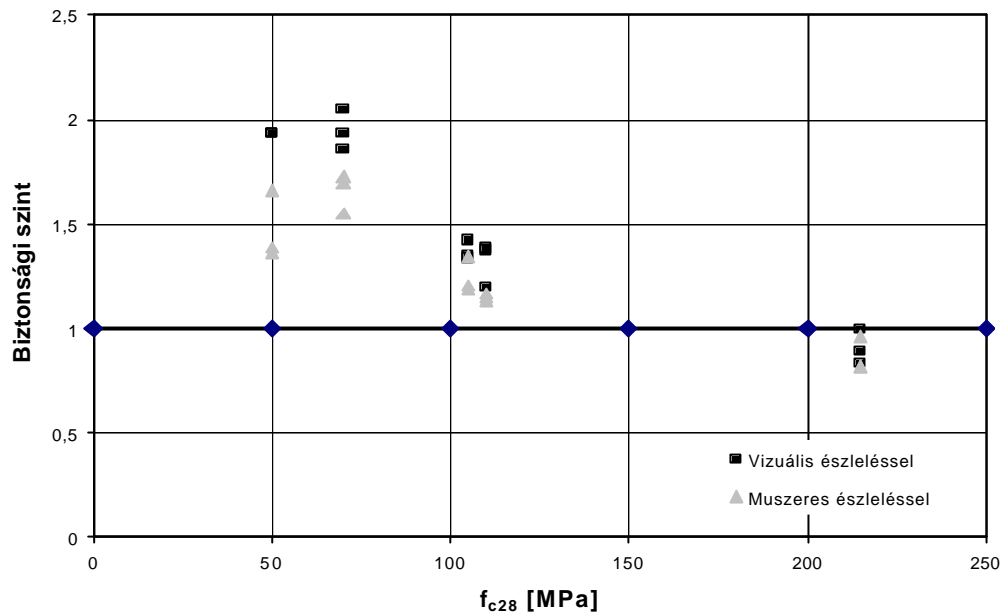
Eredményeik alapján azt kapták, hogy a francia szabvány (BAEL) alapján méretezett oszlopok biztonsága, melyet a szemmel észlelt ( $s_{lev}$ ), vagy műszeresen detektált első repedéshez tartozó pecsétnyomás ( $s_{led}$ ), és a francia szabályzatok szerint számolható első repedéshez tartozó pecsétnyomás ( $\bar{s}_{bc}$ ) hányadosaként definiálhatunk, a beton szilárdságának növelésével akár 1 alá is csökkenhet. Ezt a jelenséget szemlélteti az 1. ábra.

Az ábrán jól látható, hogy kezdetben minden pont a vastag fekete vonallal jelzett 1-es biztonsági szint felett található. A betonszilárdság növekedésével a pontok megközelítik az 1 biztonsági szintet, majd az igen magas szilárdsági értékeknél az alá is mehetnek.

---

\* okl. építőmérnök, doktorandusz, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

Ez a jelenség az elvégzett kísérletek eredményei alapján akkor részletesen meg lett vizsgálva, és a megoldásra ajánlás is született [2].



1. ábra: A biztonság alakulása a betonszilárdság függvényében

A megerosítés szerepe azért kerül előtérbe, mert Franciaországban számtalan olyan kivitelezett oszlopot találhatunk, amelyeket a már említett szabvány segítségével terveztek, így azok valójában nem biztos, hogy megfelelnek a biztonsági követelményeknek. Ezek érdekében indítottuk útnak az ebben a cikkben tömören ismertetésre kerülő kísérlet sorozatot, mely során azt próbáltuk megvizsgálni, hogy miként viselkedik egy 20x20x60 cm-es prizmatikus betonoszlop pecsétnyomás hatására, ha azt *TFC* megerosítéssel láttak el [1].

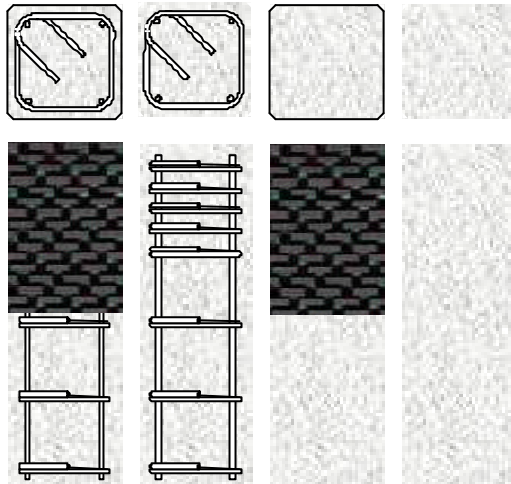
## 2. A KÍSÉRLETEK

### 2.1. A kísérletek és a próbatestek elokészítése

Ahhoz, hogy a kísérletek összehasonlíthatóak legyenek a korábbi kísérletekkel, a próbatestek geometria méreteit és a hozzá tartozó vasalást ugyan olyanra vettük fel, mint amilyen az az elozoekben volt, azonban elozetesen csak a legkisebb szilárdságú, azaz körülbelül 50 MPa átlagszilárdságú próbatest viselkedését vizsgáltuk meg.

Ehhez a betonszilárdsághoz 8 db próbatest készült, hogy teljes képet kaphassunk annak viselkedéséről. A prizmák kialakítását és darabszámát az 1. ábra és a benne található táblázat mutatja. Ezek szerint két próbatest készült minden kialakítású próbatestbol, mint vasalatlan-megerosítetlen, vasalatlan-megerosított, vasalt-megerosítetlen és vasalt-megerosított próbatest.

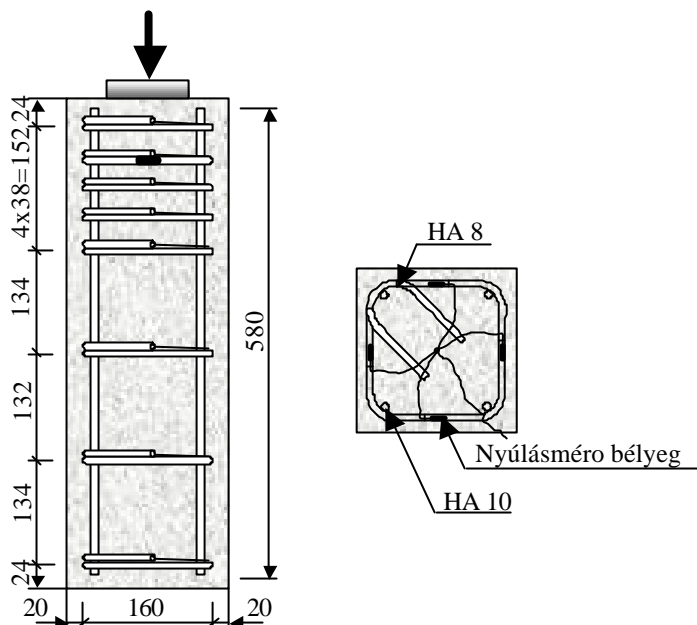
Az is jól látható, hogy a *TFC* megerősítéseket a megerősített próbatetek felső felében alkalmaztuk csak. Ez azért készült így, mert a pecsétnyomás hatása a felső zónában jelentkezik elsősorban, azaz ha csak ott alkalmazunk megerősítést, akkor ez jelentős, mintegy 50%-os anyagmegtakarításra jelentett.



Kialakítás	Vasalás nélkül	Vasalással
<i>TFC</i> nélkül	2 db	2 db
<i>TFC</i> -vel	2 db	2 db

2. ábra: A próbatetek

Egy próbatest geometriáját és vasalását mutatja a 3. ábra. Az egyenként 60 cm magas oszlopok négy Ø10-es sarokvasat és 8 db Ø8-es kengyelt tartalmaznak az ábrán látható módon elhelyezve. A vasalt próbatetekben felülről a második kengyelen helyeztük el a keresztirányú vasalás alakváltozásának mérésére beszerelt 4 db nyúlásméző bélyeg.

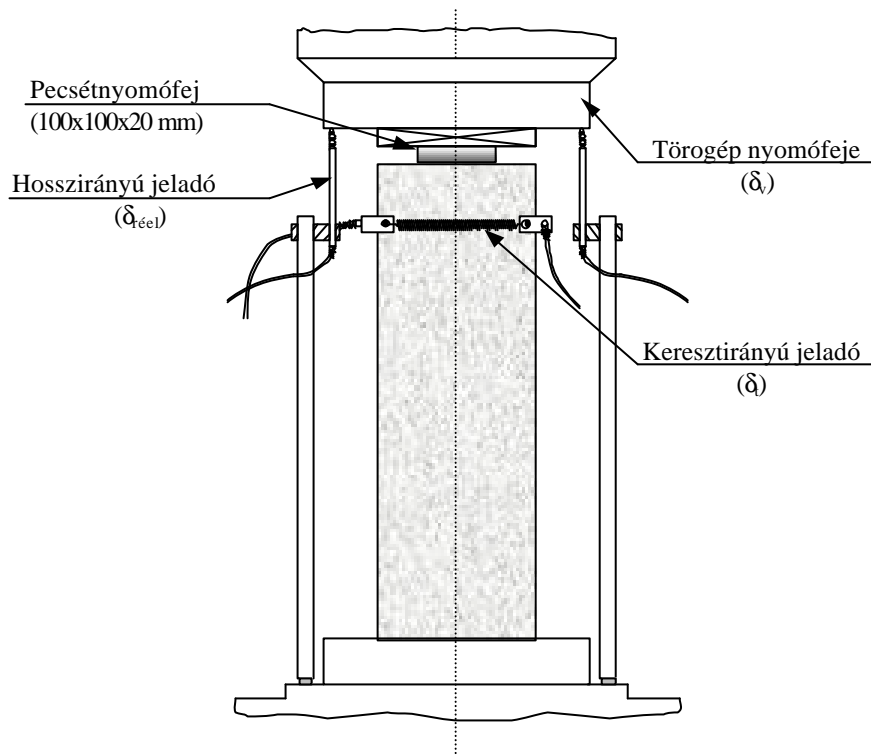


### 3. ábra: A próbatetek mérete és vasalása

A kísérleteket egy 5000 kN törokapacitású, 320 mm átméőju terhelolapú nyomógépen végeztük. A kísérlet elrendezése és a felhasznált muszerek láthatók a 4. ábrán.

Általános esetben a következők berendezéseket használtuk:

- 4 darab  $\pm 5$  mm mérési tartományú 1 V/mm-es LVDT jeladó a tengelyirányú alakváltozások mérésére. A törogepet ezen jeladók átlagos értékével vezéreltük.
- 4 darab  $\pm 5$  mm mérési tartományú 1 V/mm-es LVDT jeladó a keresztirányú alakváltozások mérésére, melyeket a második kengyel szintjén egy speciális rögzítő kereten helyeztünk el.



4. ábra: A kísérleti elrendezés

- A vasalt próbatesteken a második kengyelre felragasztott 4 db nyúlásméő bélyeg a 3. ábrának megfelelően.
- A *TFC*-vel megerosított próbatesteken a második kengyel szintjén 4 db nyúlásméő bélyeg.
- Az egyik *TFC*-vel megerosított próbatesten 2 db nyúlásméő bélyeg a *TFC* tengelyirányú alakváltozásainak mérésére,
- A megerosítetlen próbatesteken a repedéskép felvételére oldalanként egy átlátszó muanyag fóliát is elhelyeztünk.

A próbatetek gondos elokészítése után a megfelelő betonszilárdság elérését követően egy sor kiegészítő műveletet kellett végrehajtani. Ezek közül a legfontosabbak voltak az oszlopok oldalainak egymáshoz, valamint azok alsó és felső lapjához képest a merolegesség biztosítása, és a *TFC*-vel megerősítendő oldalak felületi kezelése és az éles sarkok lekerekítése.

A legfontosabb lépés azonban a *TFC* felragasztása volt. Ez részletesen ismertetésre is kerül. Az 5. ábrán az egyik próbatest megerősítési folyamata látható, melyre a FREYSSINET cég egyik laboratóriumában került sor. Az alkalmazott szövet T700SC-12000-5C típusú, 30 cm szélességű szénzál volt [1]. Ez az egyik legnagyobb szövetszélesség a gyártott szénzálás szövet a FREYSSINET választékából.



a) A próbatest



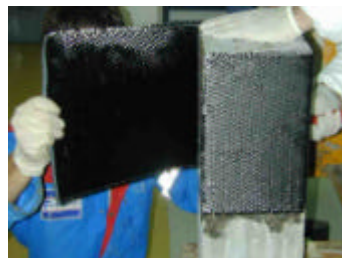
b) Az epoxy bekeverése



c) A ragasztó felvitele



d) A szövet felhelyezése (1.)



e) A szövet felhelyezése (2.)



f) A jeladók talpának rögzítése

5. ábra: A *TFC* felerosítása egy próbatestre (a-f)

Ezután már csak a *TFC* felületére kerülő nyúlásméző bélyegek felragasztására került sor, amelyet a 6. ábra szemléltet.



6. ábra: A felragasztott és védelemmel ellátott nyúlásméző bélyegek egy oszlopon.

## 2.2. A kísérleti eredmények

A kísérletben szereplő próbatetek neveinek fontos szerepe van későbbi azonosíthatóság miatt. Az 1. táblázat első felében a próbatetek nevei kialakításuk szerinti csoportosításban szerepelnek a töro és repeszto terhek ismertetésével egyetemben.

1. táblázat: A próbatetek elnevezése és repeszto, valamint töroterhek értékei

A próbatetek nevei	Vasalás nélkül	Vasalással
<b>TFC</b> nélkül	NueSA1	NueAA1
	NueSA2	NueAA2
<b>TFC</b> -vel	TFCSA1	TFCAA1
	TFCSA2	TFCAA2

Próbatetek		$F_{\text{repeszto}}$ [kN]	$F_{\text{max}}$ [kN]
<b>NueSA1</b>	<i>TFC</i> nélkül	795	831
<b>NueSA2</b>		855	885
<b>NueAA1</b>		710	1115
<b>NueAA2</b>		722	1172
<b>TFCSA1</b>	<i>TFC</i> -vel	-	1037*
<b>TFCSA2</b>			1028*
<b>TFCAA1</b>			1275*
<b>TFCAA2</b>			1273*

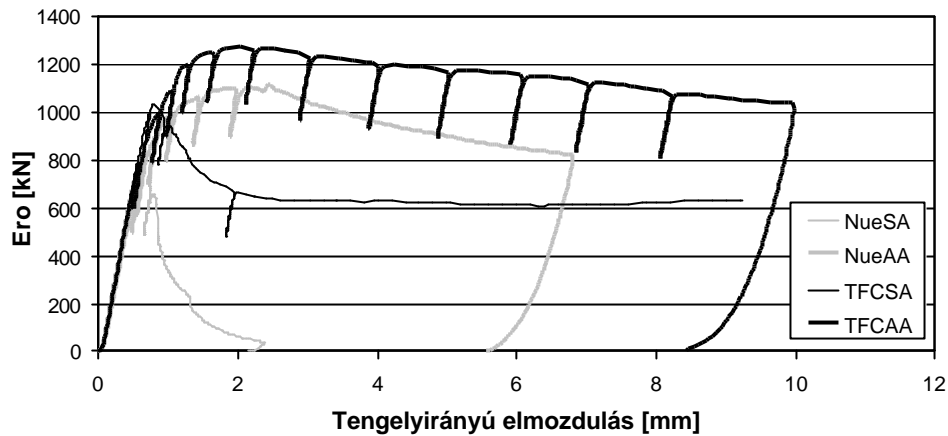
\*: A *TFC*-vel megerosített próbateteket nem törtük össze, mert azokon 10 mm-nél nagyobb alakváltozások keletkeztek.

A méréseket számítógéppel regisztráltuk. Egy-egy mérésen akár 18 csatornás adatrögzítésre is szükség lehetett attól függően, hogy hány mérőhely volt elhelyezve az adott próbatesten.

Mérés közben több, részleges tehermentesítési ciklust hajtottunk végre. Ez a *TFC* megerosítés nélküli próbatetekeken a repedéskép fokozatos kialakulásának a függvényében történt. Ezekben a lépcsőkben a repedéskép rögzítésére is sor került a terhelési lépcső gondos regisztrálásával párhuzamosan (lásd később 8. ábra). A *TFC*-vel bevont oszlopokon a repedéskép felvétele lehetetlen volt az azokat elfedő megerosítés miatt.

Az 1. táblázat második feléből jól kiolvasható, hogy az első repedések, az azonos típusú próbatetekeken nagyjából egy időben keletkeztek. Szembetűnő, hogy a megerosítés nem túl hatékony, hiszen vasalás nélküli esetben átlagosan 885 kN-ról csupán 1032 kN-ra növelte a teherbírást, ami 15%-os növekedést jelent, míg a teherbírást vasalt esetben 1144 kN-ról 1274 kN-ra nőtt és ez 10%-os növekedést jelent csupán.

Az 1. táblázatból viszont nem látszik az alakváltozások alakulása. A 7. ábrán négy elmozdulás-erő görbét mutatunk be a négy különböző típusú próbatestnek megfelelően. Jól látható a megerősített próbatestek nagymértéken megnövekedett alakváltozási képessége.



7. ábra: Mérési eredmények a 20x20x60 cm-es prizmatikus oszlopokon

A megerősítetlen vasalatlan (NueSA) próbatest kb. 1 mm elmozdulási értéknél tönkrement, míg a vasalatlan, de megerősített (TFCSA) oszlopon több mint 10 mm összenyomódás alakult volna ki, de ezt már az alkalmazott LVDT-k méréshatárának kimerülése és a pecsétnyomófej nem elegendó vastagsága miatt nem tudtuk mérni, így a terhelést leállítottuk. Ezen a ponton semmi jele nem mutatkozott annak, hogy a *TFC*-ben keletkező nyúlás illetve feszültség közel került volna akár a határnyúlásához, akár hátráfeszültségéhez.

A vasalt (NueAA) próbatest kb. 6 mm-es elmozdulási értékek mellett ment tönkrement eróss repedezettség mellett (8. ábra), nagy betonfedés degradációval, míg a megerősített és vasalt (TFCAA) próbatest ugyancsak több mint 10 mm összenyomódás alakult volna ki, mint az előző TFCSA próbatest esetében. Ezekon a próbatesteken azonban a *TFC* kihasználtságának külső jelei mutatkoztak. A felragasztott nyúlásmérő bélyegek tanulsága szerint, ehhez a 10 mm/m-es hosszirányú alakváltozáshoz egy majdnem 9 mm/m-es keresztirányú alakváltozás tartozott, ami a *TFC* esetében a korábbi kísérleteink alapján már tönkremenetel közeli értékek felel meg [3].



NueAA2/1.oldal



NueAA2/2.oldal



NueAA2/3.oldal



NueAA2/4.oldal

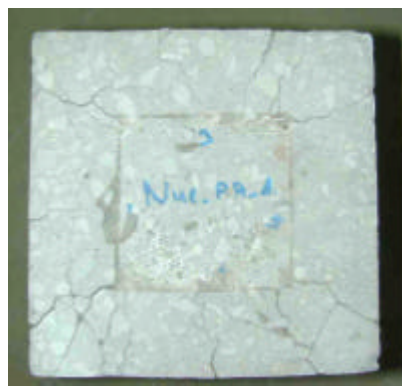
8. ábra: Repedezettségi kép a NueAA2 próbatesten



Azt is érdemes megjegyezni, hogy az első repedések a lágyacél vasalással ellátott próbatesteken korábban jelentkezett, mint a vasalatlan próbatesteken. Ezt a jelenséget a pecsétnyomásból adódó sajátságos erójátéknak köszönhetjük, melynek hatására a függőleges acélbetétek fokozatos kihajlása miatt a repedések korábban jelentkeznek. Továbbá a vasalt próbatestek repedéseinek helye határozottan jól mutatják a függőleges vasak elhelyezkedését, ahogy ez a 8. ábrából jól kivehető.

A görbék alatti terület arányos az próbatestek töréséhez szükséges munkával, ami fontos paraméter lehet több alkalmazási terület esetén is, ezért egy alkalmas új pecsétnyomóbetét segítségével majd újra terheljük az össze nem tört oszlopokat.

A pecsétnyomófej 10 mm-es benyomódásának hatása nem jelentkezett a megerősített próbatesteknél a külső megerősített szakasz alatti betonrész tönkremenetelének formájában. A benyomódás felülnézete a 9. ábrán látható az egyik próbatesten.



9. ábra: A benyomódási kúp felülnézete a NueAA1 próbatesten

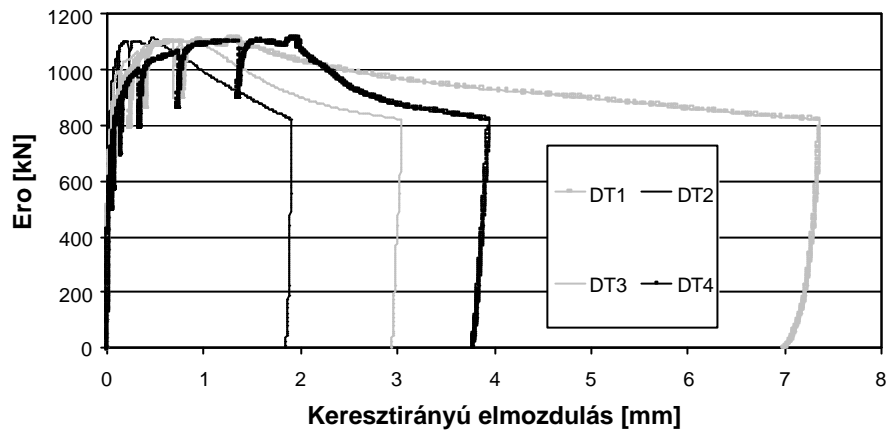
A középso 10x10 cm-es terhelt felület 10 milliméternyit nyomódott a beton próbatestbe anélkül, hogy ez a 100 cm<sup>3</sup> beton bárhol is tönkremenetelt okozott volna.

A tönkremeneteli mechanizmus a megerősítetlen próbatesteken a korábbi vizsgálatok alapján a benyomódott kúp miatt a hosszanti acélbetétek folyása közben létrejövő kihajlás okozta betonfedés lerepedés miatt jön létre. A teljes betonfedés lerepedése jelentős keresztmetszet csökkenést eredményez, mely a próbatestek tönkremeneteléhez vezet.

Ez a jelenség a megerősítés hatására módosul, hiszen a *TFC* körbeveszi a próbatestet, így az nem tudja ledobni a betonfedését. Mivel azonban a prizmatikus oszlopok megerősítése során a keresztirányú feszültségek kialakulását a *TFC* nem tudja olyan hatékonyan felvenni, mint hengeres oszlopoknál, a megerősítésnek a teherbírásra nincs jelentős hatással. Ezt azzal magyarázhatjuk, hogy az oldalakon lévő *TFC* tulajdonképpen az oldal két élénél van feltámasztva és így módon egy megoszló erővel terhelt kéttámaszú tartónak tekinthető. Ilyen körülmények között igen nagy alakváltozásoknak kell kialakulniuk ahhoz, hogy a *TFC*-ben akkora feszültségek keletkezzenek, amelyek segíthetnek a tengelyirányú teherbírás felvételében. Ekkor azonban a beton már annyira összemorzsolódik, hogy többet nem visel el.

A megerosítésnek az alakváltozásokra van jelentos hatása. Ahogy a megerosítéssel körbevett beton a nyomóero hatására kezd tönkremenni, úgy no a keresztirányú alakváltozása. Közvetlenül a törés előtt a *TFC* összefogja azt és ezzel csekély nyomóero felvételét teszi lehetővé a keresztirányú alakváltozás gátlásával. Ezen folyamat közben viszont jelentos összenyomódás alakul ki, ahogy ez a kísérleti próbatetek viselkedéséből is látszik.

A 10. ábrán az egyik próbatesten a keresztirányú alakváltozások alakulása található. Jól látható, hogy a próbatest négy oldalán kezdetben azonosak az elmozdulások, majd amikor a függőleges vasak kihajlása megkezdődik, ez az együttes alakváltozás módosul. Végül ezen próbatesten az első oldalon alakult ki a próbatest tönkremenetelét előidéző alakváltozás, amely 3,5-szer nagyobb volt, mint a mellett lévő 2. oldal alakváltozása.



10. ábra: A keresztirányú alakváltozások alakulása a NueAA1 próbatesten

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS

Az ebben a cikkben ismertetésre került kísérletsorozat fontosabb eredményei és a megállapítások a következők:

- a.) A *TFC* megerosítés alig volt hatással a pecsétnyomás alatti próbatetek teherbírásra:
  - 10% többlet teherviselés vasalatlan próbatetekeken,
  - 15% többlet teherviselés vasalt próbatetekeken.
- b.) A *TFC* megerosítés nagy mértékben befolyásolja a pecsétnyomás alatti próbatetek alakváltozási képességet:
  - a vasalatlan próbatetekeken, egy kb. 40%-os teher visszaesés után, további ero felvétele nélkül az alakváltozások folyamatosan nottek a tehermentesítésig, ahol 10 mm-es függőleges összenyomódás mellett még nem következett be a tönkremenetel,

- a vasalt próbatetekken is, a maximális teherfelvétel után folyamatos elmozdulás növekedés alakult ki a teher egyenletes csökkenése mellett, mely az elozoekben leirtakhoz hasonlóan a tehermentesítésig nem okozta a próbatetek tönkremenetelét.
- c.) A pecsétnyomással terhelt és *TFC*-vel megerosített négyszög keresztmetszetu oszlopok *TFC*-vel történo megerosítése egy igen szívós, nagy alakváltozási képességekkel rendelkezo kompozit szerkezetet eredményez, mely igen elonyös tulajdonság különösen a földrengésbol és egyéb dinamikus hatásokból származó terhek felvételénél.

### HIVATKOZÁSOK

- [1] K. Verók: „*Renforcement des prismes 20x20x60 cm sous pression localisée à l'aide de matériaux composites*”, Rapport d'Essais, Division BCC – Section CMM Groupe de Recherche, LCPC, juillet 2001,
- [2] C. Boulay, J. L. Clément, F. Toutlemonde, P. Fakhri, K. Verók: „*Étude du dimensionnement des éléments de structure en BTHP soumis à des forces de compression localisées*”, BHP 2000, Projet National: Béton à Hautes Performances, LCPC, Paris, France, novembre 2000,
- [3] Krisztián Verók and Jean-Luc Clément: “*Retrofitting of Reinforced Concrete Columns with TFC*”, Final Report, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, 1999