

CSAVARAZOTT KAPCSOLATOK KÍSÉRLETI EREDMÉNYEINEK ÖSSZEHASONLÍTÓ ELEMZÉSE

Kovács Nauzika - Ádány Sándor***

RÖVID KIVONAT

A cikk két, a szerzők által végrehajtott kísérleti program leírását és az eredmények összehasonlítását tárgyalja. A kísérleteket magyar-portugál együttműködés keretében végeztük Lisszabonban az Instituto Superior Tecnico laboratóriumában 1999-ben és 2000-ben. A tesztek során csavarozott véglemezes oszlop-gerenda kapcsolat ciklikus viselkedését vizsgáltuk. A próbatestek két változatban készültek: acél oszloppal az első, míg öszvér oszloppal a második kísérletsorozat esetén. A próbatesteket úgy terveztük, és a kísérleteket úgy hajtottuk végre, hogy a kapott eredmények összehasonlíthatók legyenek. A cikk célja a ciklikus nyomaték-elfordulás összefüggések alapján meghatározott burkoló görbék felhasználásával az eredmények összehasonlítása és a szerzett tapasztalatok alapján a kedvező kapcsolati kialakítás megadása.

I. BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedben számos hazai és nemzetközi kutatás irányult acél keretszerkezetek kapcsolataira. A kérdéskör azonban semmiképpen nem tekinthető lezártnak. Számos, a gyakorlatban használt kialakításra továbbra sem állnak rendelkezésre megfelelő számítási eljárások, és ez fokozottan igaz nem monoton vagy nem statikus (pl. ciklikus, dinamikus) terhelés esetén. Jelen cikk szerzőinek fő kutatási területe éppen a ciklikus terhelés alatti csomóponti viselkedés, melynek gyakorlati jelentősége foként a földrengéssel szembeni ellenállás vizsgálatánál mutatkozik meg.

A kapcsolatok viselkedése különböző, önmagukban is összetett jelenségek kölcsönhatásaként adódik. A viselkedés nagyfokú összetettsége miatt mindenképpen szükséges, hogy a kutatások kísérleti háttérrel rendelkezzenek. Ugyanakkor, a viselkedés alapvető törvényszerűségeinek megismerése után, megfelelő számítási modelleket is ki kell dolgozni, melyeknek mind a kutatásban, mind a tervezésben fontos szerepe van. Jelen cikkben bemutatott kísérletek egy ilyen folyamat első lépésének tekinthetők, melyben talplemezes oszloptalp-kapcsolatok ciklikus terhelés alatti viselkedését vizsgáljuk.

Jelen cikkben a következő két témát részletezzük. Egyrészt példát mutatunk rá, hogyan használhatók a ciklikus kísérleti eredmények monoton nyomaték-elfordulás

* okl. építőmérnök, tudományos segédmunkatárs, MTA-BME Tartószerkezetek Numerikus Mechanikája Kutatócsoport

** okl. építőmérnök, PhD, egyetemi adjunktus, BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

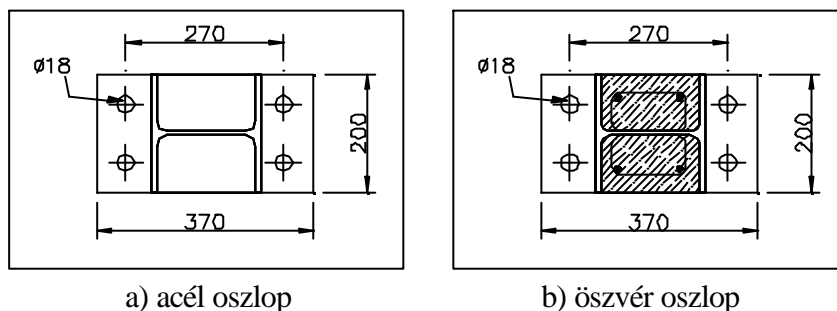
karakterisztikák előállítására, másrészt elemezzük az acél oszlop köré – elsodlegesen tűzvédelmi céllal – vont betonköpeny hatását a csomópont viselkedésére.

2. A KÍSÉRLETEK ISMERTETÉSE

Az első kísérletsorozat próbatesteinek kialakítása során az volt a cél, hogy az együttműködési program keretein belül a lehető legtöbb tapasztalatot szerezzük a csomópont ciklikus tulajdonságairól, különböző tönkremeneteli módokat vizsgáljunk [1]. A második kísérletsorozatnál megtartottuk a próbatestek fő paramétereit – csavarátméno, véglemezvastagság és csomóponti geometria – a különbség az oszlop keresztmetszetében jelentkezett: az első esetben acél I keresztmetszetű, míg a második sorozat esetén öszvér oszloppal készült csomópontot teszteltünk [2].

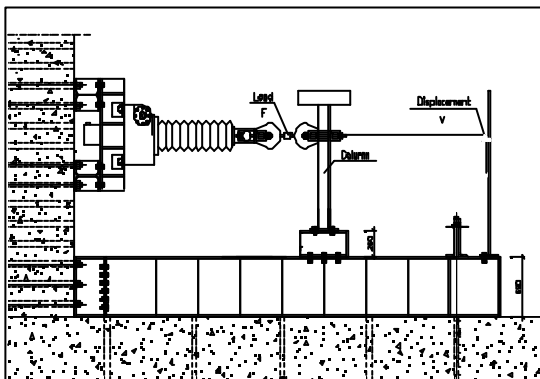
2.1. A kísérlet elrendezése és a próbatestek

A kísérleteket oszlopok véglemez kapcsolán végeztük, különböző véglemezvastagságokkal. Az első sorozat esetén az oszlopok HEA vagy hegesztett I keresztmetszettel készültek. A próbatestek keresztmetszete az 1. a) ábrán látható. Az öszvér kialakítás esetén az I keresztmetszetű acél oszlopot az övei között kibetonoztuk és hosszanti acélbetétekkel, valamint az együttdolgozást biztosító kengyelekkel (az acél oszlop gerincéhez hegesztve) láttuk el. A kialakítást az 1.b) ábra szemlélteti.



1. ábra: Jellemző keresztmetszetek

A terhelő berendezést és a kísérlet elrendezését oszlop-gerenda kapcsolatok síkbeli ciklikus tulajdonságainak kísérleti vizsgálatára fejlesztették ki a Lisszaboni Műszaki Egyetemen [1][2]. A 2. ábra a kísérletek elrendezését mutatja.



2. ábra: A kísérletek elrendezése

A cikkben elemzett próbatestek jellemzőit az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat: Próbatestek adatai

Acél próbatestek				
	Teszt	Acél oszlop	Véglemez vastagság [mm]	Csavar
1	CB1R	HEA-200	25	8.8
2	CB2	HEA-200	16	8.8
3	CB3	hegesztett I	25	8.8
4	CB5	HEA-200	12	8.8

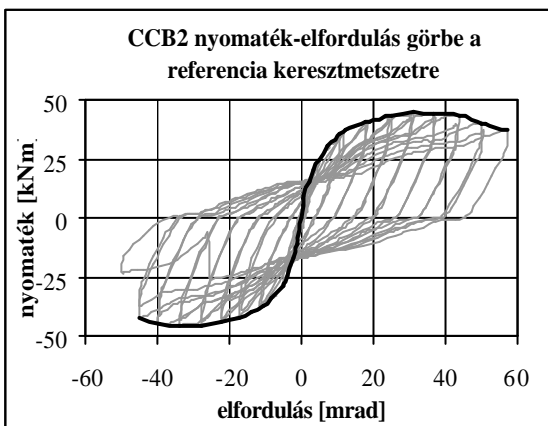
Öszvér próbatestek				
	Teszt	Öszvér oszlop	Véglemez vastagság [mm]	Csavar
1	CCB1	HEA-200	25	8.8
2	CCB2	HEA-200	16	10.9
3	CCB3	hegesztett I	25	8.8
4	CCB4	HEA-200	19	8.8

A táblázatból látható, hogy a két kísérletsorozatban szereplo egyes próbatestek fő paramétereikben megegyeznek: A CB1R (a CB1 ismétlése) és CCB1 próbatestek azonos kialakításúak, a CB2 és CCB2 esetén csak a csavarminőség az eltérő. A CB3 és CCB3 szintén egyező kialakítású, hegesztett oszloppal, míg a CCB4 új próbatest közepes lemeztvastagsággal.

3. EREDMÉNYEK

3.1. Nyomaték – elfordulás görbék és a burkoló ábrák

A mért erő-eltolódás diagramokból kiszámítottuk a csomópont jellemzésére alkalmas nyomaték-elfordulás görbéket. Mivel a csomópont viselkedését nem pusztán a kapcsolóelemek viselkedése jellemzi, a számításokat nem a véglemez keresztmetszetére, hanem az ún. referencia keresztmetszetre végeztük el, amelyet a véglemezről 360 mm-re definiáltunk az oszlop öveinek horpadása miatt kialakuló zavaró hatás elkerülésére. A nyomaték-elfordulás görbékben a csavarozott véglemez kapcsolatot tipikus tulajdonságait láthatjuk, a diagramok jellemzik a kapcsolatok ciklikus viselkedését maximális elfordulás és nyomatéki ellenállás, merevség, ill. energia elnyelő képesség szempontjából [4]. A cikkben a nyomaték-elfordulás görbékhez tartozó burkoló görbék alapján jellemezzük a próbatestek viselkedését a kezdeti merevség, maximális elfordulási képesség és a nyomatéki teherbírás alapján. A 4. ábra mutat egy jellegzetes nyomaték-elfordulás görbét a hozzá tartozó burkoló görbével. A felsorolt paraméterek mennyiségi



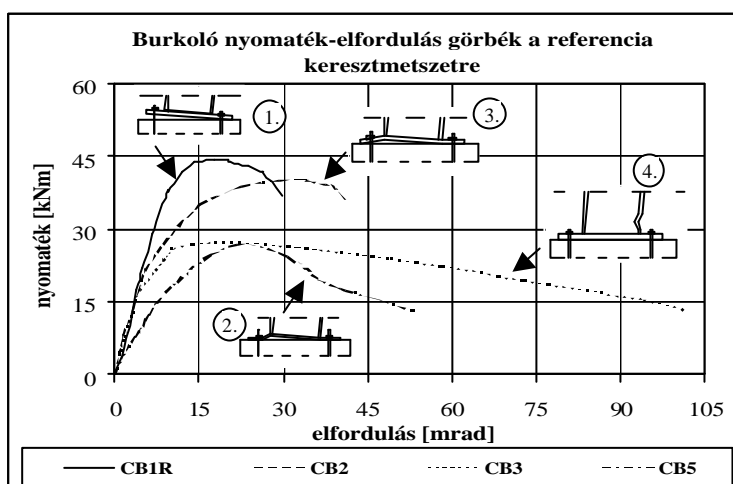
jellemzésére az ECCS ajánlása alapján ciklikus paraméterek számíthatók. Ezek részletezése [1]-ben található.

4. ábra Ciklikus és burkoló nyomaték-elfordulás görbe

3.2. Tönkremeneteli módok jellemzése

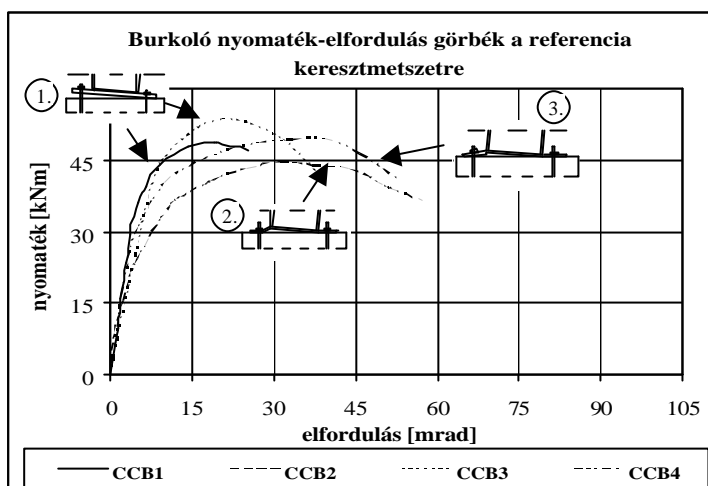
A 5. és 6. ábra az alapkísérletek burkoló nyomaték-elfordulás diagramjait tartalmazza a két különböző kialakítás (acél és öszvér oszlop) esetére. A cikkben csak a pozitív ciklusokra vonatkozó görbéket közöljük. Jellegzetes görbék rendelhetők az egyes tönkremeneteli módokhoz [6], ahogy azt az ábrákon jelöltük.

1. A „tisztá” *csavar tönkremenetel* a vastag véglemezzel kialakított próbatest esetén jellemző. A tönkremenetelt a csavarok jelentős képlékeny alakváltozása majd szakadása előzi meg. Magukban a próbatestekben jelentős károsodás nem tapasztalható. Ezt a tönkremeneteli módot magas nyomatéki teherbírás (a csavar ellenállásától függően) és igen alacsony elfordulási képesség jellemzi.
2. Vékony véglemeztes próbatest esetén a viselkedési mód a „tisztá” *véglemez tönkremenetel*, amikor a véglemez képlékeny alakváltozást szenved, majd megreped és végül eltörik. Ezeket a próbatesteket az előző viselkedési módhoz képest alacsonyabb nyomatéki teherbírás, de kedvezőbb elfordulási képesség jellemzi.
3. A kombinált *csavar + véglemez tönkremenetelnél* a lemez képlékeny alakváltozása mellett a csavarok megnyúlása is megfigyelhető a törés kialakulása előtt. Ez a viselkedési mód a legkedvezőbb, mert jelentős teherbírás mellett nagy elfordulási képessége van a próbatestnek.
4. Vastag véglemezzel és hegesztett szelvényű oszloppal kialakított próbatest esetén érhető el a legmagasabb elfordulási érték az oszlop alkotó lemezeinek horpadásával bekövetkező *horpadási tönkremenetellel*. Ez a jelenség az acéloszlop keresztmetszet duktilis viselkedésének köszönhető.



5. ábra Burkoló görbék az 1. sorozathoz (acél oszlop)

A CB1R, CB2 és CB3 kísérletek burkoló nyomaték-elfordulás görbéi egymáshoz igen közeli meredekséggel indulnak, mert ebben a korai szakaszban a csavar befolyásolja a viselkedést. A görbék későbbi szakaszán a meredekség csökkenésében a véglemez képlékenyedése (CB2) ill. a CB3 esetén az oszlop alkotó lemezeinek horpadása játszik szerepet. A vékony véglemezzel készült CB5 esetén a csavarok hatása nem jelentos, a görbe kezdeti meredekségét a véglemez viselkedése befolyásolja.



6. ábra Burkoló görbék a 2. sorozathoz (öszvér oszlop)

A második sorozatnál szintén az tapasztalható, hogy a burkoló nyomaték-elfordulás görbék egymáshoz igen közeli meredekséggel indulnak, a korai szakaszban a csavarok a dominánsak a viselkedés alakulásában. A CCB2 ill. a CCB4 esetében megjelenik a véglemez képlékeny alakváltozásainak a hatása, amely a görbék további meredekségének csökkenésében látszik. A maradó képlékeny alakváltozások ill. a véglemezben kialakuló repedések hatása a görbék leszálló szakaszaiban, a csökkeno ellenállásban mutatkozik meg. A CCB1 és CCB3 viselkedését a csavar befolyásolja, az eredményekben mutatkozó eltérést okozhatja a csavarminőség szórása, a véglemez nem tökéletesen sík kialakítása (hegesztés miatt) ill. a nem tökéletesen szimmetrikus viselkedés.

3.3. Eredmények értékelése

3.3.1. Számított értékek A 3. táblázatban összefoglaltuk az alapkísérletek (lásd. 1. táblázat) vizsgálati során kapott eredményeket.

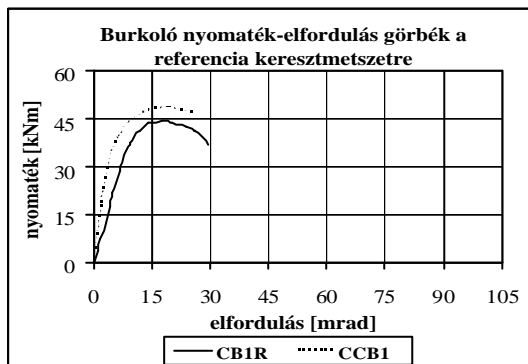
3. táblázat: Eredmények összefoglalása

	próbatest	Folyási nyomaték [kN]	Folyási elfordulás [mrad]	Kezdeti merevség	Nyomatéki teherbírás [kN]	Max. elfordulás [mrad]
acél oszlop	CB1R	31,8	4,3	7,40	44,49	29,66
	CB2	31,0	6,8	4,56	40,20	40,84
	CB3	21,5	4,2	5,12	27,88	101,54
	CB5	25,2	12,6	2,00	27,14	53,83
öszvér oszlop	CCB1	42,8	5,0	8,56	48,75	24,46
	CCB2	33,5	6,2	5,4	43,45	57,36
	CCB3	47,9	9,2	5,18	52,41	38,51
	CCB4	35,9	3,7	9,8	48,77	51,79

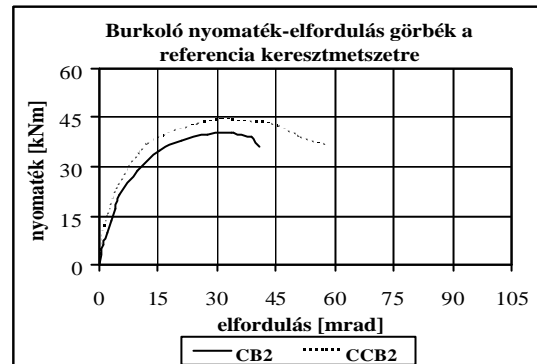
A folyáshatárhoz tartozó nyomatékot és

elfordulást az ECCS [3] ajánlása alapján számítottuk. A kezdeti merevséget, a nyomatéki teherbírást és a maximális elfordulási képességet a ciklikus nyomaték-elfordulás diagramok alapján határoztuk meg.

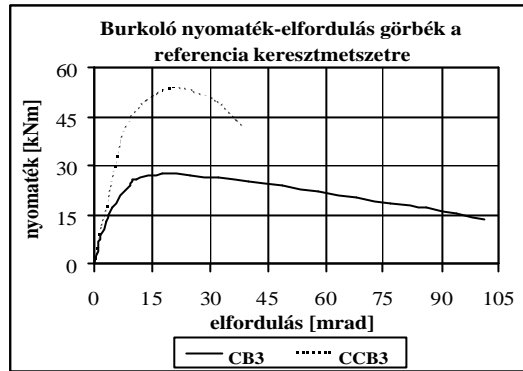
3.3.2. *A kibetonozás hatása* A 8. ábrán a két sorozat egymásnak megfelelő kísérleteit tüntettük fel. A különbség az oszlopszelvény kibetonozásában jelentkezett. A csavar tönkremenetel (8. a ábra) és a véglemez tönkremenetel (8. b ábra) esetén a kibetonozás a viselkedésmódot nem befolyásolta. A maximális nyomaték elérése után az ellenállás degradálódás figyelhető meg a csavar képlékeny alakváltozása ill. a véglemezben kialakuló repedések növekedése miatt.



a)



b)



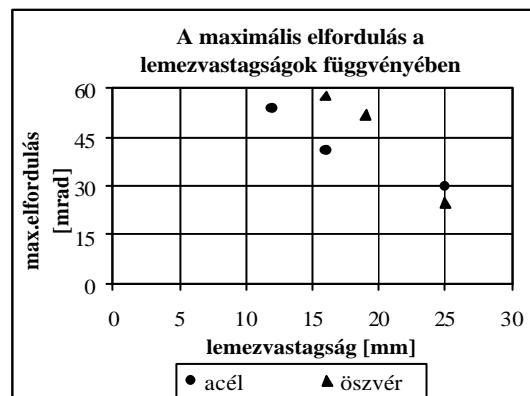
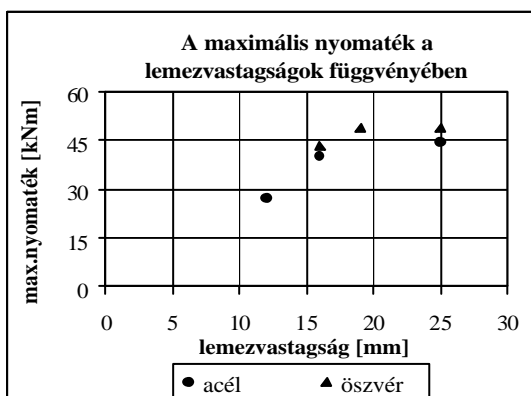
c)

8.ábra A két kísérletsorozat összehasonlítása

Az oszlop horpadási tönkremenetele esetén a kibetonozás megtámasztja a vékony alkotó lemezeket, ezzel megakadályozva a horpadás kialakulását, így megváltoztatva a viselkedési módot (lásd 8.c ábra) [6]. Továbbá az övek között elhelyezett beton nyomott zónája átvéve a teher egy részét a nyomott övrol, növeli a kapcsolat nyomatéki teherbírását. A kibetonozás ugyanakkor csökkenti az oszlop duktilitását, jelentősen lecsökkentve a kapcsolat elfordulási képességét.

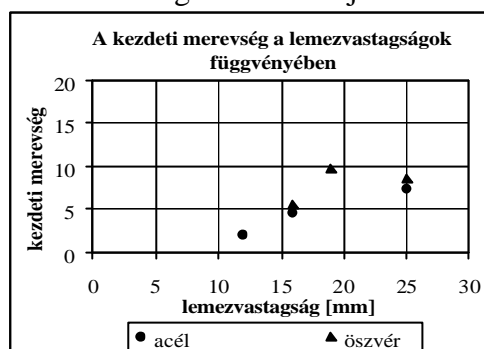
Öszvér oszlopok esetén a kezdeti merevség magasabb értékeket ér el. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy az elfordulásokat nem a véglemez keresztmetszetében, hanem a referencia keresztmetszetben számítottuk. Így ezekben az elfordulásokban az oszlop rugalmas alakváltozásának a hatása is megjelenik. A kibetonozással az oszlop merevebbé vált, így nagyobb ellenállást képvisel már a korai ciklusokban is, amikor még a csavarok ill. a véglemez képlékeny alakváltozásai nem jelentősek.

3.3.3. *A véglemez-vastagság hatása* A 9. ábrán látható a nyomatéki teherbírás és a maximális eltolódási képesség változása a véglemez-vastagság függvényében. A vékony véglemezrel kialakított próbatest alacsony nyomatéki teherbírást és jelentős elfordulási képességet mutat a lemez korai képlékeny alakváltozása ill. repedése miatt. A lemezvastagság növelésével növekvő nyomatéki teherbírást a csavarminőség determinálja, a csökkenő elfordulási képesség a csavar kis megnyúlási képességével magyarázható. Az acél keresztmetszetű oszlopok kibetonozása és a beton és acél együttműködésévé tétele nem befolyásolta jelentősen a viselkedési módot (a görbék tendenciája hasonló).



9. ábra A nyomatéki teherbírás és a maximális eltolódási képesség változása a véglemez-vastagság függvényében

Ahogy az a 10. ábrán látható, a kialakult kezdeti merevség a lemezvastagságokkal növekvő tendenciát mutat azoknál a próbatesteknél, ahol a lemez viselkedése határozta meg a csomópont viselkedését (12 mm és 16 mm véglemez). Ahol viszont a lemez viselkedése mellett megjelent ill. dominánssá vált a csavar hatása is (19 mm és 25 mm) ott a lemezvastagság hatása a kezdeti merevségre nem tűnik jelentősnek.



10. ábra A kezdeti merevség változása a véglemez-vastagság függvényében

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen dolgozatban talplemezes oszloptalp-kapcsolatokon végzett kísérletek eredményeit elemeztük. Az eredetileg ciklikus terhelést alkalmazó kísérletek alapján meghatároztuk a ciklikus nyomtérk-elfordulás görbéket, majd definiáltuk ezek burkolóját. Az így előállított görbéket használtuk – közelítően – monoton nyomtérk-elfordulás görbeként, melyeket nyomtérki teherbírás, kezdeti merevség, ill. elfordulási képesség alapján elemeztünk. Megmutattuk a talplemez vastagság hatását, valamint összehasonlítottuk a betonköpeny nélküli ill. betonköpennel ellátott oszlop eseteit. Az eredmények alapján egyértelműen látszik, hogy olyan oszlopok esetén, melyeknél az alkotólemezek nagyobb karcsúsága miatt azok horpadása jelenti a jellemző tönkremeneteli módot, az övek közötti rész kibetonozásának hatása jelentős: a viselkedés jellegét változtatja meg. Azokban az esetekben azonban, ahol magában a kapcsolatban (csavarok és/vagy talplemez) jön létre a tönkremenetel, a kibetonozás hatása nem jelentős: a viselkedés jellege nem változik meg. A számszerű eredményekben mutatkozó különbség egyrészt a kísérleti eredmények elkerülhetetlen szórásának, másrészt annak köszönhető, hogy az ún. referencia-keresztmetszetet használatával figyelembe vettük nemcsak magának a kapcsolatnak, hanem a kapcsolat környezetének (azaz a kapcsolódó oszloprésznek) a hatását is.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatási programot a Portugál-Magyar Tudományos Kormányközi Együttműködési Program – ICCTI/OM TÉT P-4/99, TÉT P-11/01 – ill. az OTKA – F 037869 kereteiben végeztük.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Ádány S. - Calado L. - Dunai L.: Experimental program on bolted end-plate joints *Report ICIST, DTC No. 10/00*, Lisbon, 2000.
- [2] Kovács N. - Ádány S. - Calado L. - Dunai L.: Experimental program on bolted end-plate joints of composite members *Report ICIST, DTC No. 15/01*, Lisbon, 2001.
- [3] ECCS, Recommended Testing Procedure for Assessing the Behaviour of Structural Steel Elements under Cyclic Loads, Technical Committee 1, TWG 1.3, No. 45. 1986.
- [4] Calado L. - Kovács N. - Ádány S. - Dunai L.: Bolted end-plate joints, Steel vs Composite *III. Encontro de Construção Metálica e Mista*, pp. 289...298, Aveiro, Portugal, 2001.
- [5] Kovács N. - Ádány S. - Dunai L. - Calado L.: Experimental program on bolted end-plate joints of composite members *The First International Conference on Steel and Composite Structures*, Vol. 2. pp. 1237...1244, Korea, 2001.
- [6] Kovács N. - Calado L. - Ádány S. - Dunai L.: Experimental study on the cyclic behaviour of end-plate joints of steel and composite columns, *12th European Conference on Earthquake Engineering*, London, 2002.