

Hidegen hajlított acéldomokból kialakított csomópontok vizsgálata végeelem módszer segítségével

FEM investigation of cold-formed joints for multi-storey steel frames

Dr. NAGY Zsolt¹, egyetemi docens - Dező Andrea²- Ballok Róbert²

¹ Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérőki kar, Épületszerkezetek Intézete, C-tin Daicovicu utca, 15 sz., 400020, Kolozsvár, Románia. Tel: 0264 401250, fax: 0264 594967, e-mail: zsolt.nagy@dst.utcluj.ro

² Gordias KFT, Carpați utca, 1 sz., 400180, Kolozsvár, Románia. e-mail: andrea.dezo@gordias.ro, robert.ballok@gordias.ro

ABSTRACT

An experimental program was carried out in order to evaluate the structural performance of back-to back cold formed C beams-to-SHS column joints in low rise multi-story steel framed structures. The experimental results served to build and to calibrate finite element models. Mechanical properties of the analysed joints were estimated by numerical simulation in Abaqus FE software. The numerical investigation focused on two connection types subjected to static loading. The model calibration was carried out by comparing two main aspects between the experimental results and the built FE model: the load-displacement curve and the failure mechanism of the joint. The calibrated models showed good correlation with the experimental results, enabling further evaluation of the mechanical response for similar joint configuration using parametric study of geometrical variables.

Összefoglaló

Korábbi kutatások során a hidegen hajlított C ikerszelvényű acéltartó és SHS oszlop közötti szerkezeti csomópont laboratoriumi vizsgálatának kísérleti eredményeit értékeltük. A szerkezeti megoldás többszintes, de lényegében alacsony (4-5 szint) épületszerkezetek kialakítására alkalmas. A jelenlegi tanulmányban, a kísérleti eredmények két csomópont típusnak a végeelem modell (VEM) előkészítésére és kalibrálására szolgáltak. A modellkalibrációhoz a kísérleti erő-elmozdulási diagramot valamint a csomópont tönkrementeli módját használtuk referenciaként a kialakított VEM eredményei ellenőrzésére. A VEM által generált numerikus eredmények sikeresen tükrözik a kísérletek során regisztrált számadatokat, amely lehetővé teszi a csomópontok parametrikus vizsgálatát és az ezzel kapcsolatos további kutatásokat.

Kulcsszavak: hidegen hajlított C ikerszelvény, végeelem analízis, hollo-bolt kapcsolat, diafragma kapcsolat, több szintes szerkezetek.

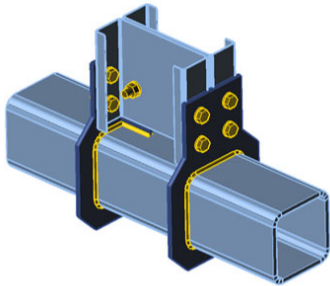
1. BEVEZETŐ

A hidegen hajlított idomacélok főszerkezeti elemeként való alkalmazása egyre gyakoribb. Első sorban előnyeinek köszönhetően, amelyek közül az alacsony tömeg, magas anyagszilárdság, könnyű előregyártás, gyors szerelés vagy a magas szilárdság/tömeg arány említhető meg. Főszerkezeti alkalmazása a szerkezeti csomópontok viselkedésének tanulmányozása iránti érdeklődés növekedését vonja maga után. Előző kísérleti vizsgálatok [1] rámutattak arra, hogy az acélszerkezetek viselkedését jelentősen befolyásolják a szerkezeti kapcsolatok. Hasonló következtetésekre jutott számos kutató kutatásai során, mint Dubina [2], Lim [3], Dundu & Kemp [4], Kwon et al. [5] Ahamed, Hazlan & Mahendran [6], Bučmys & Šaučiuvėnas [7], akik tanulmányaik során igazolták hogy a hidegen hajlított szerkezeti csomópontok általában részleges szilárdsággal rendelkező félmerev kapcsolatok.

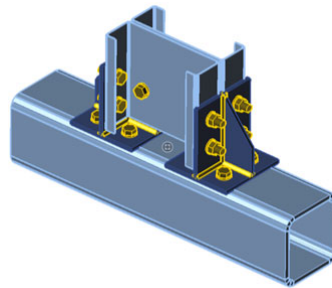
A jelenlegi tanulmány célja a kísérleti úton megvizsgált csomópontok eredményeinek felhasználása [1] véges elem kalibrált modell megépítésére Abaqus szoftver segítségével.

1.1. Csomópont konfigurációk

Két csomóponti konfiguráció volt kísérleti úton vizsgálva, hidegen hajlított C300/3 ikerszelvényből kialakított tartó és SHS 200/12.5 oszlop között. Az első csatlakozás típus (DCBC kapcsolat) két 10 mm-es gyűrű (S235 acél) segítségével kapcsolta a C ikerszelvényeket az oszlophoz. A kapcsolat az 1. ábrán látható módon volt kialakítva. Hasonló kapcsolatokat végeelem módszerrel Bagheri Sabbagh et al. [8] vizsgált, amelyben a hidegen hajlított idomok helyett melegen hengerelt elemek szerepeltek. A második kapcsolat (HBBC kapcsolat típus) sajátossága, hogy az SHS zártszelvényhez való rögzítés hollo-bolt típusú csavarokkal történt, amely biztosítja a szerelési toleranciát, de ugyanakkor jelentősen csökkenti az oszlop keresztmetszetét, mivel a csőcsavarok nagyobb lyukméretet igényelnek mint a szokványos csavarok. Két 8 mm-es merevítőbordákkal ellátott 10 mm-es T-elem segítségével volt rögzítve az oszlophoz a C szelvények felső és alsó öve, mint ahogy 2. ábra is mutatja. Mindkét T-elem 4 db M20-as csőcsavarral volt rögzítve az oszlophoz, 4 x M20 csavarral a tartók övéhez és 1 x M20 csavarral a gerinchez. Hollo-bolt csőcsavarokkal kialakított csomópontok vizsgálatával Wang & Wang [9], Tao et al. [10], valamint Tizani et al. [11] kutatók is foglalkoztak.



1. ábra. DCBC kapcsolat típus

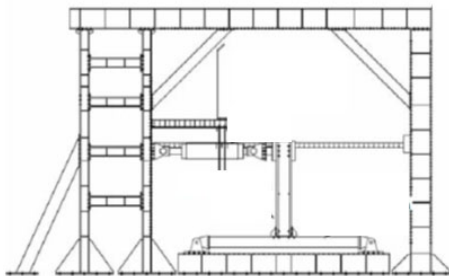


2. ábra. HBBC kapcsolat típus

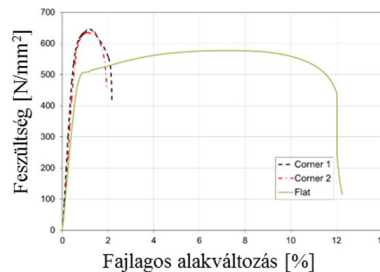
1.2. Kísérlet berendezés

A 3. ábrán bemutatott kísérleti beállítás vázlatos konfigurációját korábbi cikkünkben részletesen ismertettük [1]. Az oszlop mindkét végénél csuklós kapcsolat volt kialakítva, míg a konzolra egy hidraulikus préssel monoton és ciklikus vízszintes elmozdulás segítségével, a szerkezeti csomópont valós igénybevételeihez hasonló állapotot gerjesztünk. Az erő függőleges síkban való megtartása érdekében a terhelés szintjén oldalrögzítéseket alkalmaztunk.

A C-profil feszültség – fajlagos alakváltozás diagramja kupon tesztelés során lett meghatározva, figyelembe véve a sarki területeket (Corner 1 és Corner 2 a 4. ábrán) és a profil sima gerinc részét (Flat a 4. ábrán). A sarki hajlított részeknél észrevehető folyási feszültség növekedése az acél edződésével magyarázható.



3. ábra. Kísérleti berendezés vázlatos konfigurációja

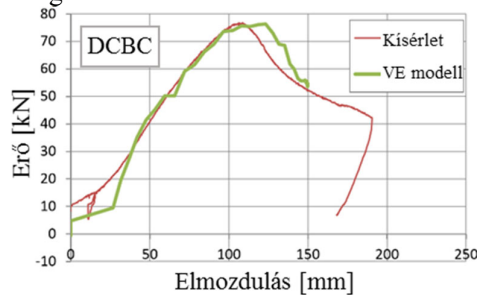


4. ábra. A C szelvények kísérleti feszültség – fajlagos alakváltozás diagramja

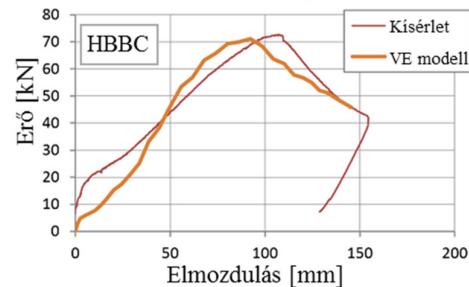
2. CSOMÓPONT VÉGESELEM MODELL KALIBRÁCIÓ ÉS VIZSGÁLAT

Az [1]-ben bemutatott laboratóriumi kísérleti csomópontok viselkedése kalibrált 3D modellek segítségével voltak szimulálva, az Abaqus végeelem szoftverrel [12].

Az analízis típus nemlineáris kvázi-statisztikus elmozdulás-alapú szimuláció volt, amelyben explicit dinamika volt alkalmazva. A modell számítási idejének csökkentése érdekében a tömeg skálázási opciót használtuk. Egyszerűsítésként a hidegen hajlított C profil anyag homogénnek volt tekintve a modellben (lásd 4 ábra Flat diagram). Mivel a tönkremeneteli mechanizmus csak a hidegen hajlított elemeknél alakult ki, az SHS oszlop, lemezek és csavarok rugalmas anyagmodellel voltak modellezve, képlékeny alakváltozás viselkedés nélkül. Az oszlop és a gerenda héjelemekből volt felépítve, míg a csatlakozólemezeket és a csavarokat szilárd 3D elemekből modelleztük. Az oszlop két vége csuklós kapcsolattal volt rögzítve, valamint a síkon kívüli kihajlások elkerülése érdekében a gerendát a terhelés alkalmazásának pontjában az elmozdulás síkjára merőlegesen rögzítettük. A konzolban lévő C profil szabad végén horizontális elmozdulást vittünk be a modellre, hasonlóan a kísérleti eljáráshoz [1].



5. ábra. A DCBC kapcsolat VEM-, valamint kísérleti erő-elmozdulás diagramja

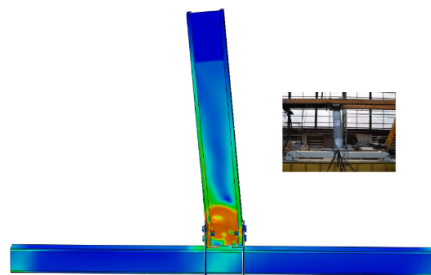


6. ábra. A HBBC kapcsolat VEM-, valamint kísérleti erő-elmozdulás diagramja

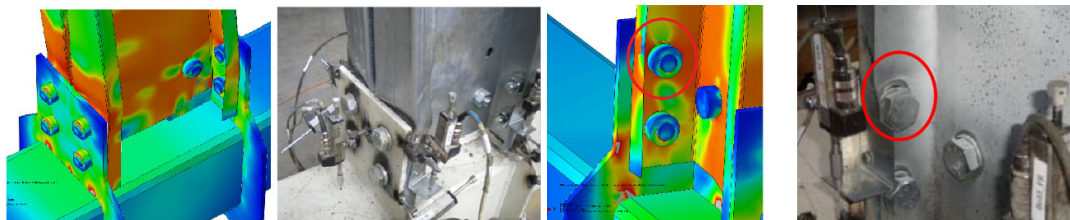
2.1. DCBC csomópont vizsgálat

Az 5. ábra bemutatja a kísérleti, valamint a VEM modell erő – elmozdulás diagramokat, amelyek nagy mértékben megegyeznek.

A kalibrált modellen hasonló a tönkremeneteli mechanizmus mint a kísérlet során észlelték [1], majdnem azonos terhelési szinteken és hasonló elmozdulásnál. Az alábbi ábrákon (7-9. ábra) láthatóak a hasonlóságok a virtuális modell elemzésében, valamint laboratóriumi vizsgálat során megfigyelt deformációk között.



7. ábra. Végző deformáció



8. ábra. A C szelvények képlékeny deformációja

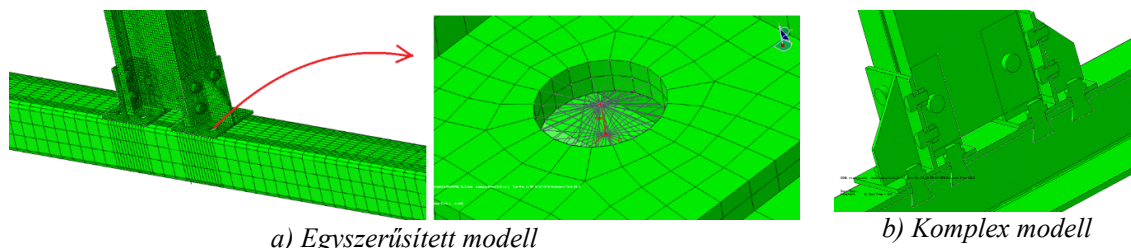
9. ábra. Csavarcsúszás és csavarlyuk nyúlás

2.1. HBBC csomópont vizsgálat

A kísérleti eredmények szimulálására, egy komplex és egy egyszerűsített modellezési módszert vizsgáltunk meg a hollo-bolt csavaros kapcsolaton. Az egyszerűsített hollo-bolt csavaros modellt két referenciapont meghatározásával hoztuk létre, amelyek egymáshoz és a csavarlyuk szélénél helyezkedett elemekhez kapcsolódtak, amint azt a 10. ábrán láthatjuk. Az SHS profil héj elemekből lett

kialakítva, valamint a csatlakozólemezt szilárd elemnek tekintettük. A csatlakozónak tengelyirányú nemlineáris viselkedés volt meghatározva, a Hollo-bolt csavar erő-elmozdulás diagramját felhasználva [13].

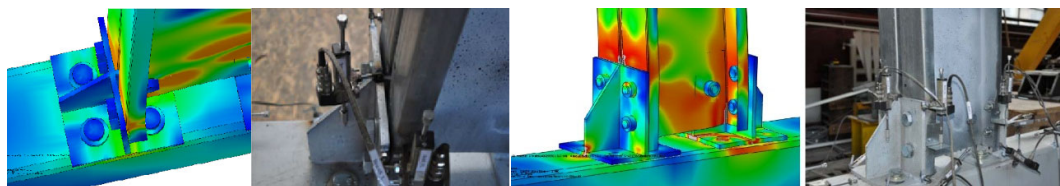
A kapcsolat komplex modelljében (lásd a 10-b. Ábrát) a hollo-bolt, valamint az SHS oszlop is 3D szilárd elemekből volt felépítve. A csavarok modellezésében figyelembe volt véve a csavar előfeszítése és a csavarlyuk toleranciája is. Az erő-elmozdulási viselkedésben nem észleltünk jelentős különbséget a komplex és az egyszerűsített modellek között, ezért az egyszerűsített modellezés mellett döntöttünk a rövidebb számítási idő miatt.



a) Egyszerűsített modell

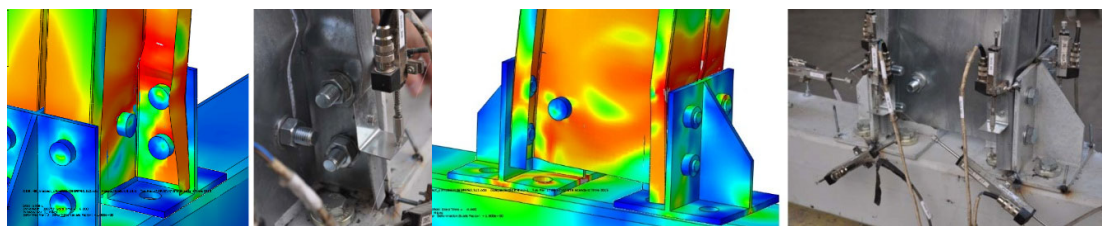
b) Komplex modell

10. ábra. A Hollo-Bolt kapcsolat modellezés típusok



11. ábra. A gerenda eltávolodása a csatlakozólemeztől

12. ábra. Végő deformáció



13. ábra. Az öv lokális deformációja

14. ábra. Az öv és a gerinc lokális képlékeny deformációja

Az erő-elmozdulás diagramok közötti különbségek alacsonyabb terhelési szinteken (lásd 6. ábra) a felületek közötti surlódás következtében keletkeznek, amelyet részlegesen sikerült modellezni. Az előző kapcsolat típusához hasonlóan a VEM modell és a kísérleti eredmények nagy mértékben megegyeznek. Ez látható az fenti ábrákon is (11-14. Ábra), amelyek a virtuális modell vizsgálata és a laboratóriumi kísérlet során mért deformációkat mutatják.

3. ÖSSZEZÉS/KÖVETKEZTETÉSEK

A cikk bemutatja a kísérletek és kalibrált VE modellek eredményeinek összehasonlítását. Az eredmények nagy mértékben megegyeztek. A nemlineáris analízis során megfigyelt tönkremeneteli mechanizmusok hasonlóak voltak a csatlakozások kísérleti vizsgálata alatt kialakult tönkremeneteli mechanizmusokhoz. A C profilok anyag tulajdonságai kupon tesztekkel voltak meghatározva, a geometriai tökéletlenségeket azonban a vizsgálat ezen szakaszában elhanyagoltuk, ami bizonyos mértékben magyarázat lehet a VEM és a kísérleti eredmények közötti különbségek között. A kutatás folytatható egy parametrikus modell kialakításával, amely meghatározza a kapcsolat nyomatókra való kapacitását, ezáltal könnyítve a megvizsgált típusú csomópontok tervezését. A szerkezeti ellenőrzéshez szükséges összes mechanikai jellemző meghatározható a komponens-módszer kifejlesztésével és alkalmazásával, valamint ennek egy paraméteranalízissel való társításával.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Nagy Zs.; Gilia L.; Neagu C. (2017). Experimental Investigation of Cold-Formed Joints for Multi-Storey Steel Framed Structures. *Proceedings of the Romanian Academy* 18(3), pp. 256-264.
- [2] Dubina D, Stratan A, Nagy Zs. (2007) Full – scale testing of cold-formed steel pitched-roof portal frames of back-to-back channel sections and bolted joints. *Proceedings of the Sixth International Conference on Steel and Aluminum Structures*, Oxford, UK, 931-939.
- [3] Lim JBP. (2001) Joint effects in cold-formed steel portal frames. University of Nottingham, Ph.D. Thesis.
- [4] Dundu M, Kemp AR. (2006) Strength requirements of single cold formed channels connected back-to-back. *J. of Constructional Steel Research*, Vol. 62, Issue 3: 250-261.
- [5] Kwon YB, Chung HS, Kim GD. (2006) Experiments of cold-formed steel connections and portal frames. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 132, No. 4: 600-607.
- [6] Ahamed Hazlan & Mahendran Mahen (2010) Bolted beam-column moment connections between cold-formed steel members. 21-st Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials (ACMSM 21), Victoria University, Melbourne.
- [7] Bučmys Ž.; Šaučiuvėnas G. (2013). The behavior of cold formed steel structure connections. *Engineering Structures and Technologies* 5(3), pp. 113–122.
- [8] Bagheri Sabbagh A.; Chan T. M.; Mottram J. T. (2013). Detailing of I-beam-to-CHS column joints with external diaphragm plates for seismic actions. *Journal of Constructional Steel Research* 88, pp. 21-33.
- [9] Wang Z.-Y.; Wang Q.-Y. (2016). Yield and ultimate strengths determination of a blind bolted endplate connection to square hollow section column. *Engineering Structures* 111(15), pp. 345–369.
- [10] Tao Z.; Hassan M. K.; Song T.Y.; Han L.H. (2017). Experimental study on blind bolted connections to concrete-filled stainless steel columns. *Journal of Constructional Steel Research* 128(1), pp. 825-838.
- [11] Tizani W.; Al-Mughairi A.; Owen J. S.; Pitrakos, T. (2013). Rotational stiffness of a blind-bolted connection to concrete-filled tubes using modified Hollo-bolt. *Journal of Constructional Steel Research* 80(2), pp. 317–331.
- [12] Abaqus/CEA User's Manual (2014), version 6.14, USA.
- [13] Lindapter Hollo Bolts on http://www.lindapter.com/Products/Cavity_Fixings/2