

A K_{IC} feszültségintenzitási paraméter kísérleti meghatározása új típusú beton próbatesteken, 2. rész

FEHÉRVÁRI SÁNDOR • DE Műszaki Kar Építőmérnöki Tanszék • Fehervari.Sandor@t-online.hu

GÁLOS MIKLÓS • BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék • mgalos@freemail.hu

SALEM G. NEHME • BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék • sgnehme@yahoo.com

Beérkezett: 2009.09.22. • Received: 22.09.2009. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2010.7>

Determination of K_{IC} stress intensity factor on new shape concrete specimens (Part II)

Under load, the number of fissures in concrete or reinforced concrete increases, and such cracks will be the starting points of failure. In order to understand failure of such structures, the analysis of the stress state of crack tips is necessary, which is the subject matter of fracture mechanics. Due to material inhomogeneity and different modular coordination, the fracture analysis of concrete is more complex than the original tests devised for metals. While methods and specimens have been developed for tension failure (type I), the mode of examining shear failure (type II) has not yet been unequivocally established. This paper and its sequels focus on the analysis and test procedures of a new, compact specimen for examining the K_{IC} strength intensity factor.

Előszó

Az előző lapszámban megjelent, a törésmechanika elméleti hátterét bemutató összefoglalás, valamint a kísérleti program és a próbatestek ismertetése után a cikksorozat második, egyben befolyező részében a K_{IC} feszültségintenzitási tényező számításához szükséges geometriai függvény meghatározásával, valamint a kísérleti eredmények kiértékelésével foglalkozunk.

5. Feszültségintenzitási tényező meghatározása

A feszültségintenzitási tényező meghatározásának alakképlete a Griffith [1] által javasolt (2) összefüggésből levezetett (3) egyenlet alapján határozható meg [8].

$$K_{IC} = \sigma \sqrt{\pi c} f\left(\frac{c}{M}\right) \quad i = I, II, III \quad (2)$$

ahol

K_{IC} – feszültségintenzitási tényező kritikus értéke

σ – a repedéscsúcs környezetében szilárdságtani alapokon számítható feszültség

c – bemetszés mélysége

M – próbatest magassága (geometriai méret a repedésterjedés irányában)

$f\left(\frac{c}{M}\right)$ – geometriai függvény

illetve,

$$K_{IC} = \sigma \sqrt{c} f\left(\frac{c}{M}\right) \quad (3)$$

ahol

K_{IC} – feszültségintenzitási tényező kritikus értéke

σ – a repedéscsúcs környezetében szilárdságtani alapokon számítható feszültség

c – bemetszés mélysége

M – próbatest magassága

$f\left(\frac{c}{M}\right)$ – geometriai függvény

A próbatest és a bemetszés méreteinek viszonyát leíró, ún. geometriai függvényt közelítő polinom alakjában (4) szokás kifejezni [8].

Dr. FEHÉRVÁRI Sándor

(1981) okl. építőmérnök (BME 2006), okl. szerkezetépítő betontechnológus szakmérnök (BME 2009), PhD (BME 2009). Adjunktus, Debreceni Egyetem Műszaki Kar Építőmérnöki Tanszékén, a BKV DBR Projekt Igazgatóság projekt menedzsere. Fő érdeklődési területe az alagútútevek természete, leírása és a szerkezetre gyakorolt hatása, speciális mély- és alagútépítés módszerek, szerkezeti- és háttérinjektálás, alagút és mélyépítési szerkezetek építéstechnológiai és utólagos javítási kérdései. Tagja a Magyar Alagútépítő Egyesületnek, a **fib** Magyar Tagozatának, a Közlekedéstudományi Egyesületnek, a Szilkkáipari Tudományos Egyesületnek és az Építéstudományi Egyesületnek.

Dr. GÁLOS Miklós

(1938) okl. építőmérnök (ÉKME 1961), acélszerkezeti szakmérnök (BME 1967), műszaki doktor (BME 1971), műszaki tudományok kandidátusa (MTA 1992), PhD (BME 1997), habilitált doktor (BME 1998). 1961-63 Győri Vagon és Gépgyár szerkesztő mérnök, 1963-78 részlettervező, irányító tervező. szakosztályvezető a VEGYTERV és OLAJTERV építési főosztályain. 1978-tól nyugdíjba vonulásáig a BME Építőmérnöki Karán tudományos főmunkatárs, egyetemi docens, egyetemi tanár. 1992-től a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén ny. egyetemi tanárként vesz részt a tanszék oktatási, kutatási munkájában. Fő érdeklődési területe a közetek közzetfizikai, közzetmechanikai tulajdonságainak elméleti és kísérleti vizsgálatokkal történő meghatározása, az építési köanyagok minősítése. Magyarországon elsőként foglalkozott a közetek törésmechanikájával, új vizsgálati módszerek bevezetésével. A Szilkkáipari Tudományos Egyesület Kő- és Kavics Szakosztályának elnöke. A Magyarhoni Földtani Társulat és a **fib** Magyar Tagozat tagja.

Dr. Salem Georges NEHME

(1963) okl. építőmérnök (BME 1992), vasbetonépítési szakmérnök (BME 1996), PhD (BME 2005). Egyetemi docens, a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék laborrészteljesítője. Fő érdeklődési területei: Nagyszilárdságú betonokbetonok és habarcsok kutatása. Az öntömörödő betonok tartóssági kérdései és összefüggése a porozítással. Betontechnológia különleges betonok területén, pl. az öntömörödő betonok tömegbetonként való alkalmazása és a felmerülő problémák (hőmérséklet-eloszlás okozta repedések) megszüntetése. Tömegbetonok minőségellenőrzése, látszóbetonok, nehéz adalékanyagokból betonok készítése, a nehézbetonok vizsgálatai, másodlagos (építési -, bontási) építőanyagok újrahasznosítása, vasbeton szerkezetek megerősítése szénlammellával, vasbetonszerkezetek tartóssága. Acélszál-erősítésű vasbeton lemezek átszuródási teherbírásiának növelése acélszálakkal. A **fib** Magyar Tagozat és a Szilkkáipari Tudományos Egyesület tagja.

$$f\left(\frac{c}{M}\right) = C_1 + C_2 \left(\frac{c}{M}\right) + C_3 \left(\frac{c}{M}\right)^2 + \dots \quad (4)$$

ahol

c – bemetszés mélysége

M – próbatest magassága

C_i – kísérleti állandó

Kísérletsorozatban alkalmazott próbatestek esetén

Bemetszett, hajlított hasábra Bojtár és társai [23] által kidolgozott összefüggéseket a (5–6) egyenlet tartalmazza.

$$K_{IC} = \frac{3FL}{2sM^2} \sqrt{\pi c} f\left(\frac{c}{M}\right) \quad (5)$$

$$f\left(\frac{c}{M}\right) = \frac{1,99 - \left(\frac{c}{M}\right) \left(1 - \frac{c}{M}\right) \left(2,15 - 3,93 \left(\frac{c}{M}\right) + 2,70 \left(\frac{c}{M}\right)^2\right)}{\left(1 + 2 \left(\frac{c}{M}\right)\right) \left(1 - \left(\frac{c}{M}\right)\right)^{\frac{3}{2}}} \quad (6)$$

ahol

- F – repedés-terjedéshez szükséges erő
- L – feszítáv
- s – próbatest szélesség
- M – próbatest magassága
- c – bemetszés mélysége
- $f\left(\frac{c}{M}\right)$ – geometriai függvény

Bemetszett, hajlított félbevágott henger esetén alkalmazott összefüggéseket a (7–8) egyenlet tartalmazza [23].

$$K_{IC} = \frac{FL}{R^3} \sqrt{4\pi c} f\left(\frac{c}{R}\right) \quad (7)$$

$$f\left(\frac{c}{R}\right) = 1,52 - 2,20\left(\frac{c}{R}\right) + 7,71\left(\frac{c}{R}\right)^2 - 13,55\left(\frac{c}{R}\right)^3 + 14,25\left(\frac{c}{R}\right)^4 \quad (8)$$

ahol

- F – repedés-terjedéshez szükséges erő
- L – feszítáv
- s – próbatest szélesség
- R – próbatest sugara (magassága)
- c – bemetszés mélysége
- $f\left(\frac{c}{R}\right)$ – geometriai függvény

A félig-félig bevágott próbatestekhez még nem állapítottak meg K_{IC} kiszámításhoz szükséges geometriai paramétereket. Ezért a (9) egyenlet felhasználásával, és Gálos [21] összefüggésének segítségével (10) javasoltunk a próbatestre ható nyomófeszültségek alapján (11), görbe-illesztéssel a geometriai függvényt a kísérleti adatokból (12 és 13), ahol a K_{IC} értékeként a próbatest alakra vonatkozó (5) ill. (7) egyenlet alapján számított eredményt vettük alapul.

$$K_{IC} = \sigma \sqrt{\pi r} f\left(\frac{s}{W}\right) \quad (\text{Griffith, [1] alapján}) \quad (9)$$

$$K_{IC} = 1,15 K_{IC} \quad (\text{Gálos, [21]}) \quad (10)$$

illetve,

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (11)$$

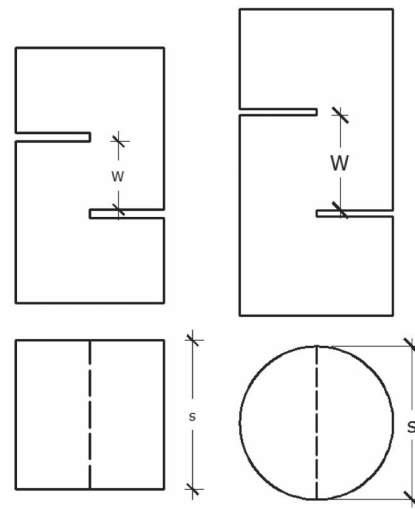
innen,

$$f\left(\frac{s}{W}\right) = \frac{1,15 K_{IC}}{F \sqrt{\pi r}} \quad (12)$$

$$f\left(\frac{s}{W}\right) = C_1 + C_2 \left(\frac{s}{W}\right) + C_3 \left(\frac{s}{W}\right)^2 \quad (13)$$

ahol

- σ – nyomófeszültség
- F – repedés-terjedéshez szükséges erő
- A – erő irányára merőleges keresztmetszeti terület
- r – bemetszés végponti sugara ($\frac{3,7}{2}$ mm)
- W – nyírt szakasz mérete a repedésterjedés irányában (24. ábra szerint)
- s – elnyíródo szakasz mérete a repedésterjedés irányára merőlegesen, próbatest szélessége (24. ábra szerint)
- C_i – kísérleti állandó
- $f\left(\frac{s}{W}\right)$ – geometriai függvény



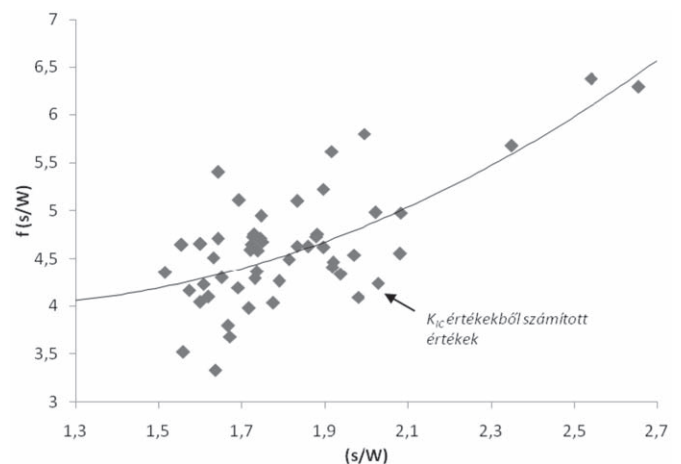
24. ábra K_{IC} meghatározásához használt képletben szereplő méretek értelmezése
Fig 24. Measurements used for determining the formula of K_{IC}

6. Eredmények értékelése

A meghatározott megszilárdult beton szilárdsági és K_{IC} tényezőre vonatkozó elemzésének bemutatása meghaladja jelen cikk terjedelmi korlátait.

A keresett K_{IC} feszültségintenzitási tényező kritikus értékének meghatározásához minden esetben a megegyező próbatest-alakon meghatározott K_{IC} értékeket vettük alapul (hasáb-hasáb, 60 mm átm. henger-60 mm átm. henger stb.)

A (12) egyenlet alapján számított $f\left(\frac{s}{W}\right)$ értékek geometriai paraméterektől, $\left(\frac{s}{W}\right)$, való függését a 25. ábra tartalmazza.



25. ábra Geometriai adatok (s/W) és a közelítő geometriai $f(s/W)$ függvény összefüggése

Fig 25. Coherence of the geometrical data (s/W) and the approximate geometrical function $f(s/W)$

A (13) egyenlet szerinti kvadratikus közelítéssel meghatároztuk a legjobban illeszkedő közelítő függvényt. A közelítés Pearson-féle szorzatmomentum korrelációs együtthatójának négyzete, $R^2 = 0,464$ értékre adódott. Az alkalmazott K_{IC} feszültségintenzitási tényezőt meghatározó összefüggéseket a (14–15) egyenletben adjuk meg.

$$K_{IC} = \sigma \sqrt{\pi r} f\left(\frac{s}{W}\right) \quad (14)$$

$$f\left(\frac{s}{W}\right) = 5,085 - 0,20288\left(\frac{s}{W}\right) + 0,9558\left(\frac{s}{W}\right)^2 \quad (15)$$

ahol

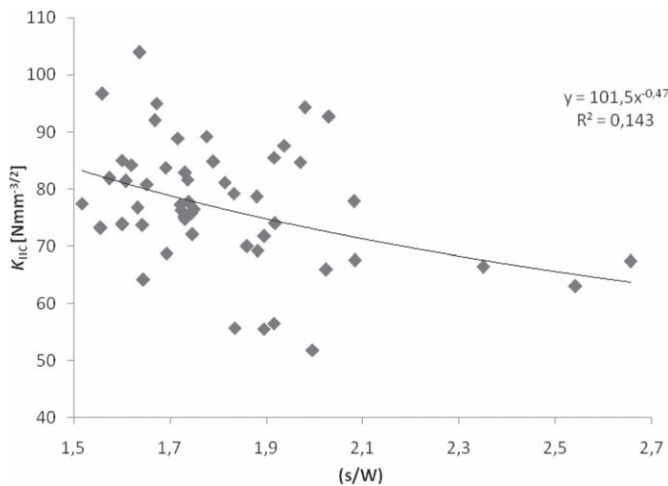
σ – nyomófeszültség

r – bemetszés végponti sugara ($\frac{3,7}{2}$ mm)

W – elnyíródo szakasz mérete a repedésterjedés irányában

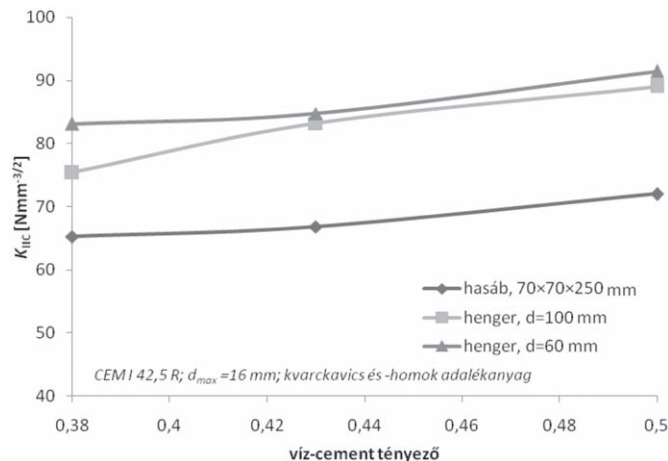
s – elnyíródo szakasz mérete a repedésterjedés irányára merőlegesen

Az ilyen módon kiszámított K_{IIC} feszültségintenzitási tényező geometriai paraméterektől való függését a 26. ábra foglalja össze. A feszültségintenzitási paraméter értéke a geometriai paraméter, $\left(\frac{s}{W}\right)$, növekedtével csökken.



26. ábra Számított K_{IIC} feszültségintenzitási tényező és a geometriai paraméter (s/W) közötti összefüggés

Fig 26. Coherence of the calculated K_{IIC} stress intensity factor and the geometrical parameter (s/W)



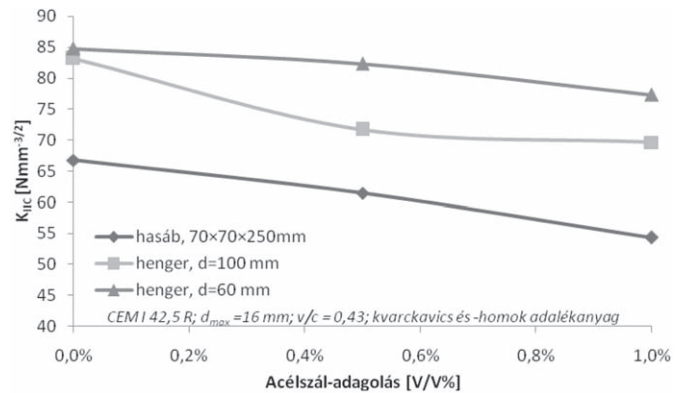
27. ábra A víz-cement tényező hatása a K_{IIC} feszültségintenzitási tényezőre

Fig 27. Effect of the water/cement ration on the K_{IIC} stress intensity factor

A K_{IIC} értékek betontechnológiai paraméterektől való függésének elemzésének első lépéseként a K1–K3 receptúráknál a változó víz-cement tényezőt a vízadagolás állandó szinten tartása mellett adagolt többlet cementadagolással állítottuk be. Így a víz-cement tényező csökkenésével nőtt a beton péptartalma

($v/c = 0,5$ esetén 286 l/m^3 -ről $v/c = 0,38$ -nál 317 l/m^3 -re nőtt). A péptartalom növekedése miatt a nyíró- és hasító ill. hajlító-húzószilárdsági eredményekben kismértékű csökkenés tapasztalható a víz-cement tényező csökkenésével. Hasonló korrelációt mutatnak pépmennyiség csökkenése és a K_{IIC} tényező értékei is. A 27. ábrán láthatóak szerint alakuló tényezők legnagyobb különbsége mintegy 10%.

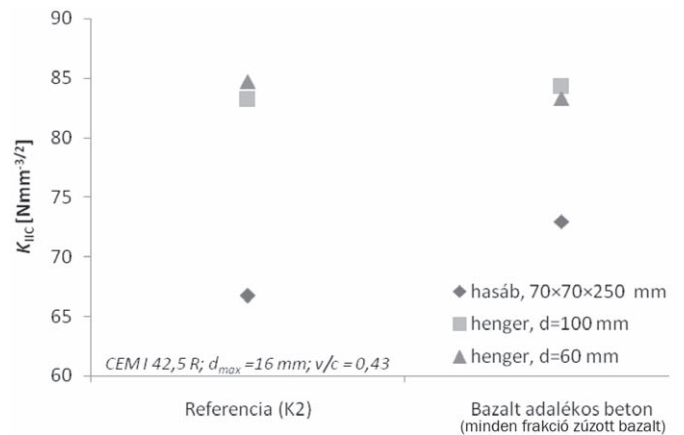
A víz-cement tényező hatása után elemeztük az acélszaladagolás hatását. A száladagolás hatására növekvő légtartalom (tömörítési hiány) miatt az összes szilárdsági vizsgálatnál megfigyeltekhez hasonlóan a száladagolás növekedésével párhuzamosan csökkenő K_{IIC} értékeket mértünk (28. ábra). A csökkenés mértéke a próbatest alakjától függően mintegy 10–20%.



28. ábra Acélszaladagolás hatása a K_{IIC} feszültségintenzitási tényezőre

Fig 28. Effect of the dosage of steel fibre on the K_{IIC} stress intensity factor

Végül a bazalt adagolás hatására a K_{IIC} tényező értéke hengeren vizsgált próbatestek esetén, hibahatáron belüli, $\pm 1\%$ -os differenciát eredményezett, míg hasábon vizsgálva mintegy 10%-os emelkedést tapasztaltunk. Az eredményeket a 29. ábrán foglaltuk össze.

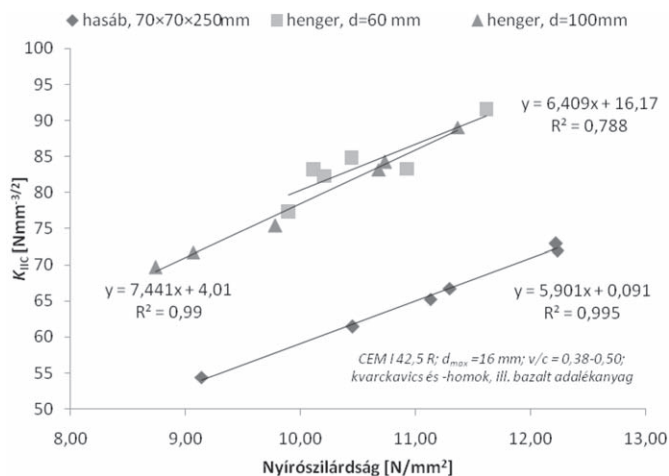


29. ábra Bazalt adagolásának hatása a K_{IIC} feszültségintenzitási tényezőre

Fig 29. Effect of the dosage of basalt on the K_{IIC} stress intensity factor

A feszültségintenzitási tényező meghatározása mellett vizsgáltuk a paraméterek függését a szilárdsági paraméterektől. A K_{IIC} értékét természetesen a nyírószilárdsági paraméterekkel érdemes összevetni. A próbatesteken számított nyírószilárdság és a K_{IIC} feszültségintenzitási tényező összefüggése rendkívül szoros (30. ábra), holott utóbbi számításánál az elnyíródaskor a teljes keresztmetszetben számítható normálfeszültséget

vettük alapul (12. egyenlet). A vizsgált tartományra érvényes összefüggés alapján, a kedvező korreláció miatt, lehetőség van a nyírószilárdságok alapján a K_{IC} értékére történő becslésre.



30. ábra Nyírószilárdság és K_{IC} feszültségintenzitási tényező összefüggése
Fig 30. Coherence of the Shear strength and the K_{IC} stress intensity factor

7. Összefoglalás

Cikkünkben a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékének laboratóriumában elvégzett kísérletsorozat eredményeit ismertettük, amelyben vizsgáltuk egy újszerű, „kis méretű” beton próbatípus törésmechanikai vizsgálatok céljára való alkalmazhatóságát. További vizsgálataink során elemeztük különböző összetételű betonokon a betontechnológiai paraméterek változásának hatását is a feszültségintenzitási paraméterekre, valamint a szilárdsági és feszültségintenzitási paraméterek összefüggését.

A törésmechanika az anyagban található véges sok repedés környezetében kialakuló feszültségi anomáliák kutatásával foglalkozik. A múlt század elején analitikusan, majd a század közepétől numerikusan is alátámasztott elméletek szerint egy repedés repedéscsúcának környezetében a „hagyományos” szilárdságtani elméleteknél lényegesen nagyobb, Griffith [1] korszak-alkotó, iniciáló elmélete szerint akár végtelen nagyságú, feszültségkoncentrációk jönnek létre.

A feszültség-koncentrációk meghatározására és a számítások egységesítésére Irwin [11] bevezette a feszültségintenzitási tényező (K) fogalmát, melyet húzási (I-es típusú) nyírási (II-es típusú), illetve csavarási (III-as típusú) esetekre definiált. A feszültségintenzitási tényező kritikus értékénél (K_{IC} , K_{IIC} , K_{IIIC}) következik be a repedés terjedése.

Irodalmi közlések szerint a repedés terjedéséhez szükséges feszültségintenzitási meghatározásra előbb fémekhez, majd más (pl. beton és kő) anyagokhoz is speciális próbatesteket dolgoztak ki. Minden vizsgálat típushoz speciális, terhelési és peremfeltételeket leíró geometriai függvény tartozik.

A kísérletsorozatban új típusú próbatesteket és hat eltérő beton-összetétel alkalmaztunk. Vizsgáltuk a víz-cement tényező hatását (állandó vízmennyiség mellett növelt cement-adagolással), majd két acélszal-adagolási mennyiség (0,5 és 1,0 V/V%) befolyásoló hatását elemeztük. Végül megállapítottuk, hogy milyen hatással van a vizsgált paraméterekre, ha a teljes

adalékanyagot azonos szemeloszlású, de zúzott bazalt anyagú adalékanyaggal helyettesítjük.

A paraméterek meghatározásához bemetszett hasábokat ($70 \times 70 \times 120$ mm; $70 \times 70 \times 250$ mm), hengereket (1:2 d/h arányú, bemetszett henger a K_{IC} értékhez), bemetszett hosszában félbevágott hengereket ($d = 60$ mm ill. 100 mm) készítettünk.

Az új, általunk először alkalmazott próbatesteknél, publikált forrás hiányában, magunk állapítottuk meg a geometriai közelítő függvényt. Összefüggésben az irodalmi adatok alapján számított, más próbatest-típusokhoz és más tönkremeneteli módhoz tartozó értékekkel.

A kapott eredmények alapján közelítő összefüggést adtunk meg az új típusú próbatest geometriai függvényére.

A K_{IC} feszültségintenzitási tényező vizsgálatok megállapítottuk, hogy a vizsgált tartományon belül sokkal inkább a frissbeton péptartalmának, mint a beton víz-cement tényezőjének van jelentős hatása. Hasonlóképpen az acélszaladagolás hatására a betonban maradó többlet tömörítési hiány is rontja a feszültségintenzitási tényező kritikus értékeit.

Összefüggést mutattunk ki a K_{IC} feszültségintenzitási tényező és a próbatesteken mérhető nyírószilárdság között. A magas megbízhatóságú lineáris összefüggés segítségével a feszültségintenzitási tényező előre becsülhetővé vált.

Az alkalmazott vizsgálati módszerek segítségével, a törésmechanika modern eszköztárával sikerült az új próbatípus alkalmazhatóságát kísérleti eredményekkel alátámasztani és a betontechnológiai paraméterek, szilárdsági és feszültségintenzitási eredmények között összefüggést kimutatni.

8. Köszönetnyilvánítás

A cikk szerzői köszönetet mondanak Diriczi Dávidnak és Eipl Andrásnak laboratóriumi vizsgálatok elvégzésében nyújtott segítségért. Megköszönjük a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék laboratóriuma, valamint a HaNSa Kft., illetve a MetroConsult Kft. segítségét és támogatását.

Felhasznált irodalom

- [1] Griffith, A. A.: *The phenomena of rupture and flow in solids Philosophical Transaction*, Royal Society of London, Ser. A. Vol. 221, pp 163-198, 1920
- [2] Kolozsov, G. V.: *Über die Anwendungen der komplexen Funktionentheorie auf das ebene Problem der mathematischen Elastizitätstheorie*, disszertáció, Jurevi Egyetem, 1909
- [3] Inglis, C. E.: *Stresses in Plate Due to the Presence of Cracks and Sharp Corners*, Transactions of Institute of Naval Architects, Vol. 55, pp 219-241, 1913
- [4] Muskhelishvili: *Some basic problems of mathematical theory of elasticity*, P. Nordhoff, London, 1953
- [5] Westergaard, H. M.: *Bearing Pressure and Cracks*, Journal of Applied Mechanics, Vol. 6, pp 49-53, 1939
- [6] Sih, G. C. és Rice, J. R.: *Plane Problems of Cracks in Dissimilar Materials*, Journal of Applied Mechanics, 32, pp 418-423, 1965
- [7] Sneddon, I. N.: *Crack problems in the classical theory of elasticity*, John Wiley & Sons, Hoboken NJ, 1969
- [8] Blumenauer, H. – Push, G.: *Műszaki törésmechanika*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987
- [9] Ujhelyi, J.: *Betonismeretek*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2005
- [10] Jaeger, J. C. – Cook, N. G. W.: *Fundamental of rock mechanism*, 2nd ed., Chapman&Hall, London, 1978
- [11] Irwin, G. R.: *Analysis of Stresses and Strains near the End of a Crack Traversing a Plate*, Journal of Applied Mechanics, Vol. 24, 1957, pp 109-114, 1957

- [12] Gálos, M. – Kürti, I. – Vásárhelyi, B.: *Közetek törésének értékelése hagyományos és törésmechanikai módszerekkel*, Kőolaj és földgáz, Vol. 27/2, 1994. február, pp 44-46; 51-57, 1994
- [13] ASTM E 399-81: *Standard Test Method for Linear-Elastic Plane-Strain Fracture Toughness K_{Ic} of Metallic Materials*; American Society for Testing and Materials; 1981
- [14] Xu, S. – Zhang, X.: *Determination of fracture parameters for crack propagation in concrete using an energy approach*, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 75/2008, pp 4292-4308, 2008
- [15] Kumar, S. – Barai, S. V.: *Determining double-K fracture parameters of concrete for compact tension and wedge splitting test using weight function*, Engineering Fracture Mechanics, nyomtatás alatt, kézirat elfogadva: 2008. dec. 26.; 14 oldal; 2009
- [16] Ouchterlony, F.: *Fracture toughness testing of rock with core based specimens*, Rossmanith, H. P. (eds.): Fracture and damage of concrete and rock, Pergamon Press, Oxford, pp 355-365; 1990
- [17] Williams J. G. – Birch M. W.: *ASTM STP 601* American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp 125–137; 1976
- [18] Vutukuri, V. S. – Lama, R. D. – Saluja, G. S.: *Handbook on mechanical properties of rocks Volume I*; Trans. Tech. Publications, Clausthal; 1974
- [19] Barragán, B. – Gettu, R. – Agulló, L. – Zerbino, R.: *Shear Failure of Steel Fiber-Reinforced Concrete Based on Push-Off Tests*, ACI Materials Journal, Vol. 103, No. 4, pp 251-257; 2006
- [20] Gálos, M. – Kövesdi, B.: *Közetek nyírószilárdságának meghatározása beemetszett próbatesteken*, Török, Á. – Vásárhelyi, B. (eds.): *Mérnökgeológia Közetmechanika 2006*, Műegyetemi Kiadó, pp 53-58; 2006
- [21] Gálos, M.: *Közetek szilárdsági és alakváltozási tulajdonságai a mérnökgeológiai közetmodell rendszerében*, MTA kandidátusi értekezés; 1990
- [22] Gálos, M.: *Mechanical tests to determine rock strength characteristics*, Stiller, H. (eds.): „High Pressure Investigations in Geosciences”, Akademie-Verlag, Berlin, pp 149-153; 1989
- [23] Bojtár, I. – Gálos, M. – Rechterisz, Á.: *Determination of fracture mechanical properties on rocks boring core material*, Acta Technica Acad. Sci. Hung., Vol. 107/3 4, pp 163-174; 1995
- [24] Gálos, M.: *Törésmechanikai jellemzők meghatározása közetek fúrási maganyagán*; előadás, VII. Törésmechanikai Szeminárium, Miskolc, CD-Rom melléklet; 2000
- [25] Erdélyi, A. – Gálos, M.: *Acélszál erősítésű beton szívósságának értékelése törésmechanikai módszerekkel*, OTKA T16683, 1997. július

Ref.: <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2010.7>

Fehérvári S. – Gálos M. – Nehme, S. G.: *A K_{Ic} feszültségintenzitási paraméter kísérleti meghatározása új típusú beton próbatesteken*. Építőanyag, 61. évf. 2. szám (2010), 34–38. p.