

Primljen / Received: 10.2.2013.

Ispravljen / Corrected: 23.5.2013.

Prihvaćen / Accepted: 29.5.2013.

Dostupno online / Available online: 10.7.2013.

Analiza spiralne armature u injektiranim cjevastim spojevima

Autori:



Seyed Jamal Aldin Hosseini, dipl.ing.građ.
Tehnološko sveučilište u Maleziji
Građevinski fakultet
hosseini_s_jamal@yahoo.com



Prof.dr.sc. **Ahmad Baharuddin Abd. Rahman**
Tehnološko sveučilište u Maleziji
Građevinski fakultet
baharfka@gmail.com

Pregledni rad

Seyed Jamal Aldin Hosseini, Ahmad Baharuddin Abd. Rahman

Analiza spiralne armature u injektiranim cjevastim spojevima

Vlačni otpor injektiranog cjevastog spoja ovisi o interakciji spoja između armaturnih šipaka, cjevastog naglavka i injekcijske smjese. U radu su prikazani rezultati dobiveni ispitivanjem 21 uzorka injektiranih spojeva koji su opterećeni rastućim osnim opterećenjem sve do sloma. Svaki cjevasti spoj sastojao se od čelične cijevi, spiralne armature s vertikalnim šipkama i cementne injekcijske smjese. Analiziran je utjecaj koraka spiralne armature od 15, 25 i 35 mm na odnos naprezanja prijanjanja i proklizavanja. Najbolji rezultati injektiranih cjevastih spojeva postignuti su kod koraka spiralne armature od 15 mm te četiri vertikalne šipke koje djeluju kao posmični klinovi.

Ključne riječi:

injektirani cjevasti spoj, spiralna armatura, naprezanje prijanjanja, proklizavanje

Subject review

Seyed Jamal Aldin Hosseini, Ahmad Baharuddin Abd. Rahman

Analysis of spiral reinforcement in grouted pipe splice connectors

Tensile resistance of a grouted splice connector depends on the interaction between reinforcement bars, sleeve and grout. Results for 21 grouted splice connectors which were tested until failure under an increasing axial load are presented in the paper. Each splice connector consisted of a steel pipe, steel spiral with vertical bars, and cement grout. The effects of spiral pitch distance of 15, 25 and 35 mm on the bond stress to slip relationship were evaluated. The best performance of grouted pipe splice connectors was obtained at the spiral pitch distance of 15mm, combined with the use of four vertical bars as shear keys.

Key words:

grouted pipe splice, spiral reinforcement, bond stress, slip

Übersichtsarbeit

Seyed Jamal Aldin Hosseini, Ahmad Baharuddin Abd. Rahman

Analyse von Spiralarmierungen in injizierten Rohrverbindungen

Die Zugfestigkeit injizierter Verknüpfungen hängt von der Interaktion der Verbindung zwischen den Bewehrungsstäben, der Rohrhülse und dem Injektionsmittel ab. In dieser Arbeit sind Ergebnisse von Versuchen an 21 Proben eingespritzter Rohrverbindungen, die zunehmender axialer Belastung bis zum Versagen ausgesetzt sind, dargestellt. Jede Verbindung war aus einem Stahlrohr, einer Spiralarmierung mit vertikalen Stabelementen und Injektionsmittel aus Zement zusammengesetzt. Der Einfluss des Spiralschrittes von 15, 25 i 35 mm auf das Verhältnis von Haftspannungen und Abrutschen ist untersucht worden. Die besten Resultate sind für injizierte Rohrverbindungen mit einem Spiralschritt von 15 mm und vier vertikalen Stabelementen, die als Abscherbolzen dienen, erzielt worden.

Schlüsselwörter:

eingespritzte Rohrverbindung, Spiralarmierungen, Haftspannungen, Abrutschen

1. Uvod

Montažne betonske konstrukcije odlikuju se brojnim prednostima u odnosu na betonske konstrukcije izgrađene na licu mjesta i to naročito zato što doprinose smanjenju vremena građenja te time dovode i do smanjenja ukupne cijene građevine. Jedna od značajnijih teškoća pri upotrebi montažnih elemenata odnosi se na kvalitetu spojeva [1]. Osnovna funkcija spoja je prenošenje sila između montažnih elemenata te postizanje čvrstoće i duktilnosti. Sustav spajanja elemenata montažne betonske konstrukcije može se projektirati tako da je ona po konstrukcijskoj učinkovitosti jednaka monolitnoj betonskoj konstrukciji [2]. U tom je smislu Američki institut za beton (ACI) objavio dokument [3] "Imitacija detalja konstrukcija betoniranih na licu mjesta kod montažne gradnje". Međutim, zbog autorskih prava, većina tehničkih detalja o montažnim spojevima izumi su privatnih osoba i teško su dostupni iako u dokumentu ima nekih naznaka o upotrebi mehaničkih spojeva u svrhu spajanja montažnih elemenata. Izuzetak su izvještaji o ocjeni osnovne pogodnosti koje su u novije vrijeme objavili Tokyo Steel Corp [4], Jansson [5] i Coogler i dr. [6].

Kod injektiranog cjevastog spoja, interakcija između injekcijske smjese i ojačanja bitno ovisi o ostvarenom prijanjanju. Može se zapravo reći da mehanizam prijenosa naprezanja pod raznim vrstama opterećenja ovisi o kvaliteti prijanjanja [7]. Stoga povećanje kvalitete prijanjanja uvijek predstavlja kritičan aspekt konstrukcijskog ponašanja, naravno uz vrstu ojačanja koje se primjenjuje.

Značajno poboljšanje u segmentu povezivanja, koje je zapravo dovelo do smanjenja dužine sidrenja, pripisuje se ključnom faktoru poznatom pod nazivom učvršćenje [8, 9, 10, 11]. U nedostatku dobro definiranih standarda, za analizu utjecaja učvršćenja služe brojne metode kao što je primjena poprečnog učvršćenja oko zone sidrene šipke [12], primjena spiralne armature [13, 14], aluminijskih cijevi [15, 16], cilindričnih cijevi [8, 17, 18], kvadratnih šupljih profila [19] i polimera ojačanih vlaknima (FRP) [1]. Očito je da se svi ovi tipovi ojačanja razlikuju po svojim geometrijskim i mehaničkim svojstvima, što dovodi do bitnih razlika u ponašanju spoja.

2. Važnost eksperimentalnog ispitivanja

Na krutost i stabilnost montažnih konstrukcija bitno utječu naprezanje prijanjanja i proklizavanje u spojevima. U ovom se radu ocjenjuje ponašanje i primjena čeličnih cjevastih spojeva sa spiralnim ojačanjem za razne korake spiralne armature. Karakteristike i svojstva spiralne armature mogu se primijeniti u industrijskom sustavu građenja (engl. Industrial Building System - IBS) radi optimaliziranja mehaničkog cjevastog spoja te jamstva veće kvalitete izvođenja, a ujedno su i alternativa tradicionalnom preklopu armature.

2.1. Program eksperimentalnog ispitivanja

2.1.1. Projektiranje ispitnog uzorka

Spojevi odabrani za laboratorijsko ispitivanje analizirani su radi dokazivanja idejnog rješenja spajanja montažnih betonskih elemenata primjenom komponente spiralnog ojačanja. U okviru rada ispitan je 21 injektirani cjevasti spoj pri vlačnom opterećenju. Pri izradi navedenih spojeva korištene su prikladne i lako dostupne komponente. Svaki spoj se sastojao od cijevi od mekog čelika, dužine 160 mm i debljine 4 mm, dviju rebrastih armaturnih šipki Y16, materijala za ispunu Sika Grout \hat{a} -215 te od spiralne glatke armaturne šipke R6 koja je zavarena na dodatnu uzdužnu rebrastu armaturu 4Y10 (vidi sliku 1).

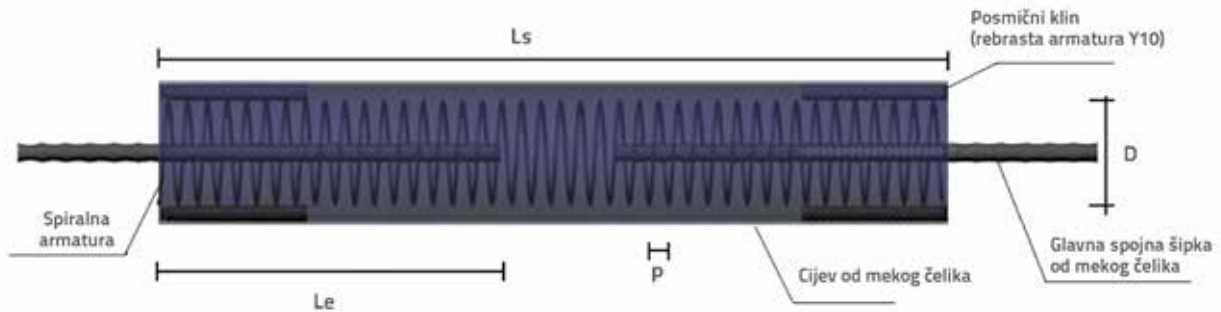
Spiralna armatura, koja je zavarena za rebrastu armaturu 4Y10 treba se projektirati na odgovarajući način da bi se osiguralo mehaničko povezivanje između injekcijske smjese i cjevastog spoja, tj. da bi se spriječilo procurivanje smjese. Spiralne komponente cjevastog spoja (spiralna armatura i vertikalne šipke) učvršćene su injekcijskom smjesom koja povezuje sučeljene krajeve spojnih armaturnih šipaka, čime je dodatno učvršćen čitav spoj. Osim toga, ti elementi povećavaju prionljivost jer se čvrsto vezuju s armaturom te i sami preuzimaju dio vlačnog opterećenja radi osiguranja kontinuiranog djelovanja armaturnih šipki. Stoga možemo reći da na prihvatljivost cjevastog spoja utječu: svojstvo vezivanja injekcijske smjese i karakteristike spiralne armature s posmičnim klinovima. Ovakvu vrstu spoja nazivamo nastavnim spojem ili nastavnim cjevastim spojem. Prva serija nastavnog cjevastog spoja sastojala se od kontrolnih uzoraka S1, S2 i S3. Konfiguracija tih uzoraka prikazana je na slici 2. Detalji o ostalim serijama, isto kao i svi potrebni parametri, prikazani su na slici 3. i u tablici 1. Konfiguracija i parametri promjera i koraka spiralne armature prikazani su za serije spiralnog spoja od 2 do 7 na slici 3. i u tablici 1. Svi uzorci iz ispitivanih serija bili su iste dužine, $L_s = 160$ mm, a duljina sidrenja spojne šipke (L_e) bila je 75 mm.



Slika 1. Injektirani cjevasti spoj



Slika 2. Konfiguracija kontrolnih uzoraka S1, S2 i S3



Slika 3. Detalji svih uzoraka s prikazom glavnih spojnih šipaka, cijevi od mekog čelika, spiralne armature i posmičnih klinova

Tablica 1. Karakteristike svih ispitnih uzoraka

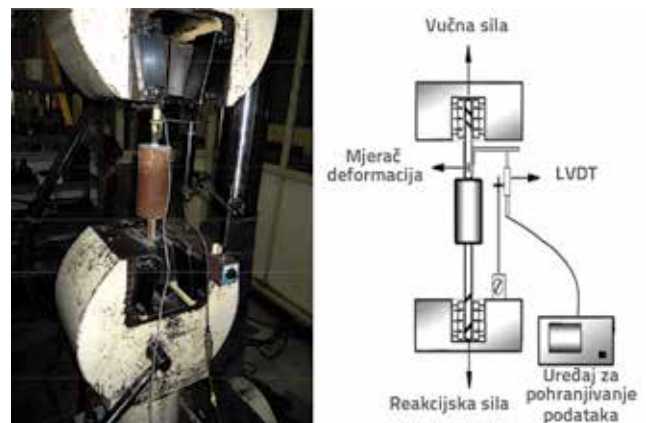
Serije	Oznaka uzorka	Promjer spirale "D" [mm]	Korak spirale "P" [mm]	Broj posmičnih klinova	Dužina posmičnih klinova [mm]
Serija 1 (kontrolni uzorak)	S 1	-	-	-	-
	S 2	-	-	4	50
	S 3	35	15	4	50
Serija 2 (D35)	P15 D35	35	15	4	50
	P25 D35	35	25	4	50
	P35 D35	35	35	4	50
Serija 3 (D45)	P15 D45	45	15	4	50
	P25 D45	45	25	4	50
	P35 D45	45	35	4	50
Serija 4 (D55)	P15 D55	55	15	4	50
	P25 D55	55	25	4	50
	P35 D55	55	35	4	50
Serija 5 (D65)	P15 D65	65	15	4	50
	P25 D65	65	25	4	50
	P35 D65	65	35	4	50
Serija 6 (D75)	P15 D75	75	15	4	50
	P25 D75	75	25	4	50
	P35 D75	75	35	4	50
Serija 7 (D85)	P15 D85	85	15	4	50
	P25 D85	85	25	4	50
	P35 D85	85	35	4	50

2.1.2. Pokus izravnog čupanja

Injektirani cjevasti nastavci (21 nastavak) ispitani su na čupanje pomoću hidrauličkog ispitnog stroja tipa Dartec.

Način opterećivanja je posebno prilagođen da bi se odredio utjecaj koraka spiralne armature na čvrstoću prianjanja i proklizavanje uzoraka.

Hidraulički aktuator za izravni vlačni pokus prikazan te shema ispitivanja prikazani su na slici 4. Uzorci su instalirani vertikalno, te su prihvaćeni na oba kraja preko glavne spojne šipke. Na sve su uzorke postavljeni elektrootporni tenzometri (EOT) i linearno promjenljivi diferencijalni transformator (LVDT) da bi se odredilo ponašanje uzoraka pod vlačnim opterećenjem (slika 4). Računalni sustav za automatsko prikupljanje podataka primijenjen je za praćenje opterećenja i proklizavanja na svaka 2 kN opterećenja.



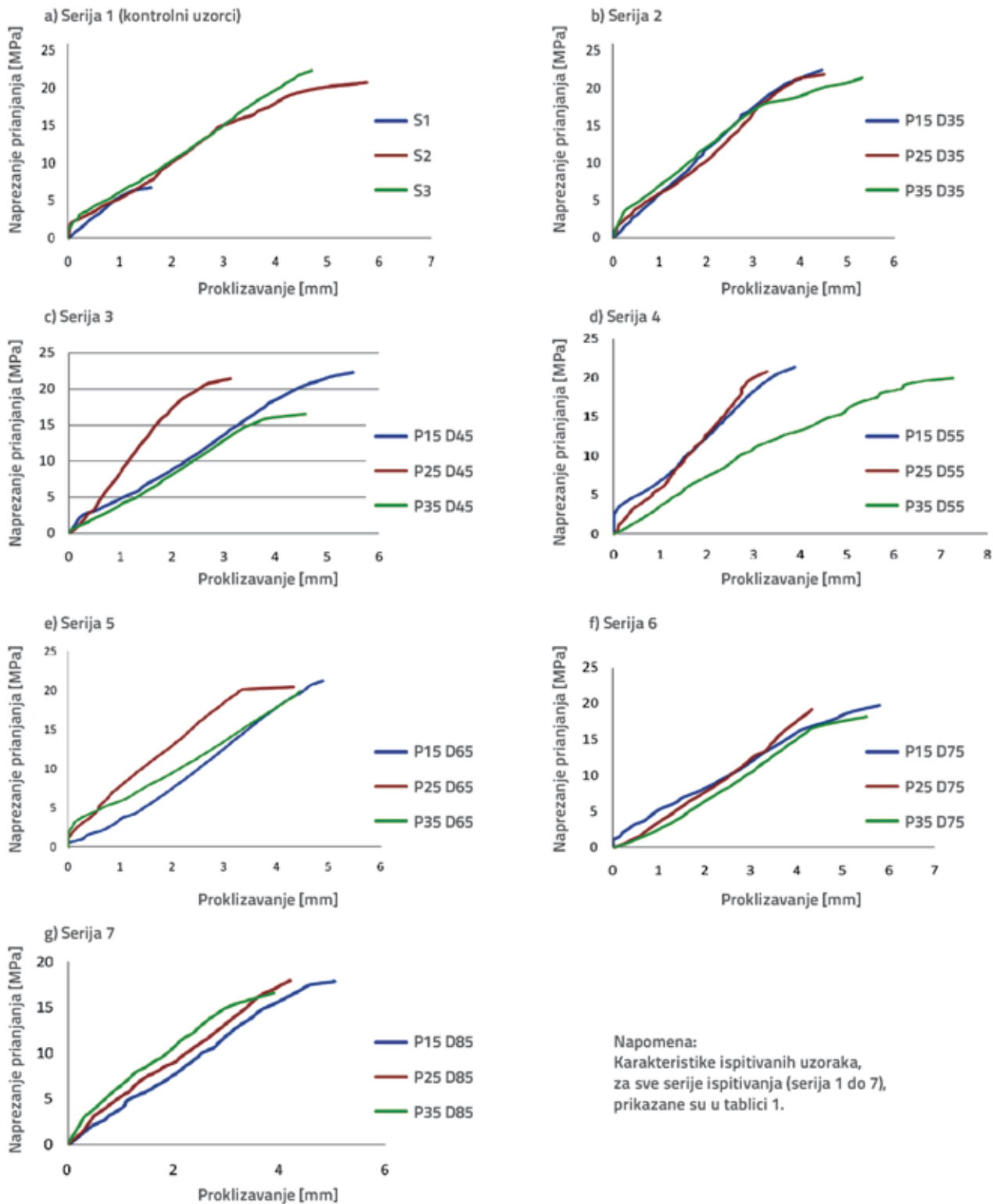
Slika 4. Postavljanje LVDT-a i elektrootpornog tenzometra

3. Rezultati ispitivanja

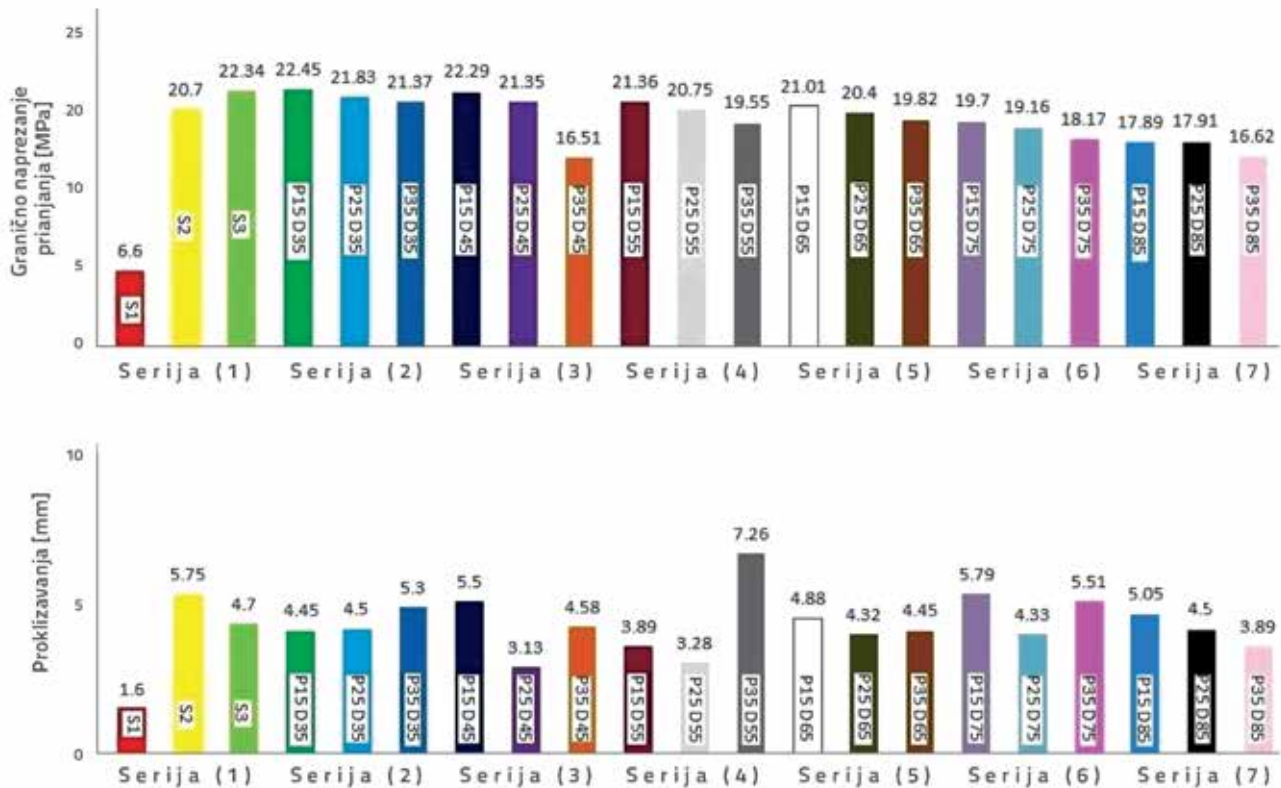
Svi su uzorci raspoređeni u sedam serija D35, D45, D55, D65, D75 i D85, pri čemu promjer spiralne armature za te serije iznosi 35 mm, 45 mm, 55 mm, 65 mm, 75 mm i 85 mm. U svakoj su grupi primijenjena tri različita koraka spiralne armature: 15 mm, 25 mm i 35 mm. Glavni cilj ovog istraživanja sastojao se u istraživanju utjecaja koraka spiralne armature na odnos između naprezanja prianjanja i priklizavanja kod ovakvih cjevastih spojeva. Ponašanje predloženih cjevastih spojeva sažeto je prikazano na slikama od 5 do 7 gdje su navedeni i podaci kao što su granične vlačne nosivosti, odgovarajući pomaci i načini sloma uzoraka. Kao ispuna, za sve je uzorke iz serija od 1 do 7 upotrijebljena injekcijska smjesa tlačne čvrstoće od 60 MPa. Kod uzorka S1 do sloma je došlo zbog proklizavanja čitave injekcijske smjese iz čelične cijevi. Takav je slom nastupio jer

kontrolni uzorak S1 nije imao mehanizam kojim bi se osigurala čvrsta veza između smjese i čelične cijevi te je poslužio kao pokazatelj djelovanja posmičnih klinova u obliku četiri vertikalne šipke. Kod svih ostalih uzoraka smjesa je bila u kontaktu s čeličnom cijevi, što pokazuje da su posmični klinovi uspješno

prenosili silu čupanja/izvlačenja s čelične šipke na čeličnu cijev. Dakle, kod svih ostalih uzoraka slom je nastupio zbog izvlačenja armaturnih šipaka iz smjese. To se moglo i očekivati jer je dužina sidrenja kod svih uzoraka iznosila 75 mm, što je pogodno za određivanje naprezanja priranja između armaturnih šipki



Slika 5. Odnos između naprezanja priranja i proklizavanja spoja za sve ispitivane serije uzoraka



Slika 6. Prikaz rezultata ispitivanja svih uzoraka: a) granično naprezanje prijanjanja; b) proklizavanje spoja

i okolnog materijala. Ovdje treba napomenuti da je upotreba injekcijske smjese kao veznog materijala bila od prioritetne važnosti zbog slijedećeg (prema [20]):

- smjesa se odlikuje visokom tlačnom čvrstoćom i može povećati naprezanje prijanjanja između smjese i rebraste armature
- postupak miješanja mora biti precizan zbog zahtjeva da je udio vode stalan
- smjesa je lako obradiva i može se koristiti u raznim stanjima žitkosti što olakšava injektiranje
- injekcijska se smjesa odlikuje visokom čvrstoćom i lako se sabija.

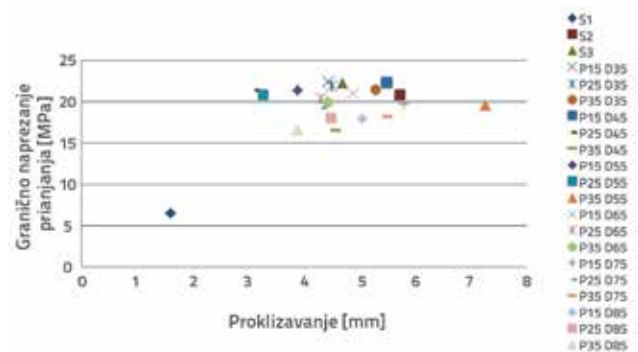
Ako se pretpostavi da je naprezanje prijanjanja duž sidrene dužine u betonu ravnomjerno raspoređeno, tada se prosječno naprezanje prijanjanja može definirati kao posmična sila duž sidrene dužine po jedinici površine rebraste armature. Prosječno naprezanje uslijed prijanjanja "τ" u bilo kojoj fazi opterećenja odgovara opterećenju povlačenja nanesenom na rebrastu armaturu "N" podijeljeno s nominalnom površinom dužine sidrenja "L_e" rebraste armature. U slučaju rebraste armature promjera φ_e, to se može iskazati pomoću izraza (1):

$$\tau = \frac{N}{P \cdot \phi_e \cdot L_e} \quad (1)$$

gdje je:

- τ - prosječno naprezanje prijanjanja [MPa]
- N - naneseo opterećenje čupanja [kN]
- φ_e - promjer rebraste armature [mm]
- L_e - duljina sidrenja spojne šipke [mm].

Prisutnost spiralnog ojačanja bitno utječe na vezna svojstva injektiranih spojeva. Za isti promjer spiralne armature "S", uzorci P15 D35, P15 D45, P15 D55, P15 D65, P15 D75 i P15 S85 imali su najvišu čvrstoću prijanjanja u svakoj seriji s korakom spiralne armature od 15 mm.



Slika 7. Odnos između graničnog naprezanja prijanjanja i proklizavanja

4. Ponašanje injektiranog spoja

Pripremljena su tri uzorka da bi poslužili kao kontrolni uzorci za ocjenjivanje ponašanja injektiranih cjevastih spojeva. Rezultati su služili kao referentna vrijednost za mjerenje ponašanja ispitnih uzoraka cjevastog spoja. Pri nanošenju vlačnog opterećenja na prvi kontrolni uzorak S1, uočava se prijenos naprezanja duž armaturne šipke i kroz smjesu pomoću mehanizma kemijskog spajanja i čvrstog mehaničkog povezivanja rebra armature i injekcijske smjese. Zatim se naprezanje iz smjese prenosi na čeličnu cijev. I konačno, kad nanese naprezanje postane veće od otpornosti prijanjanja, uočava se tendencija pomicanja smjese zajedno s armaturnom šipkom u smjeru sile povlačenja. Na taj način gornji i donji dio smjese ima tendenciju pomicanja i proklizavanja u suprotnim smjerovima. Postoje dva razloga zbog kojih ovaj tip mehaničkog povezivanja ne može izdržati vlačno naprezanje pa dolazi do iskliznuća iz cijevi te posljedično do gubitka funkcije cjevastog spoja (vidi sliku 8):



Slika 8. Način sloma uzorka S1



Slika 9. Način sloma uzorka S2

- a) Budući da je cjevasta ovojnica glatka te s obzirom na to da u ovoj vrsti spoja nema zavarenih klinova, veza između unutarnje površine i smjese postiže se samo kemijskim povezivanjem, pa je trenje između njih malo.
- b) Budući da je smjesa otpornija na tlačna, a slabija na vlačna opterećenja, ona se dijeli na dvije komponente zajedno s usidrenom armaturnom šipkom.

U slučaju kontrolnog uzorka S2, u čeličnu cijev su dodane četiri rebraste šipke Y10 kao posmični klinovi da bi se tako poboljšao mehanizam povezivanja, pojačala veza između smjese i cjevaste ovojnice te spriječio izlazak smjese. Uzorak S2 izdržao je silu do 78.19 kN uz pomak od 5,75 mm. Uočava se tendencija pomaka smjese duž armature u smjeru djelovanja sile povlačenja. Međutim proklizavanje smjese sprečavaju četiri rebraste armaturne šipke Y10 zbog mehaničkog povezivanja između rebra i smjese. Tako je na četiri rebraste armaturne šipke tipa Y10 nanese vlačno naprezanje. Stoga vlačni otpor uzorka S2 ovisi o otporu armaturnih šipki Y16, otpornosti na smicanje klinova koji su doveli do mehaničkog povezivanja između smjese i armaturnih šipaka Y16, te otpornosti na smicanje klinova koji su doveli do mehaničkog povezivanja između smjese i rebra rebrastih armaturnih šipaka Y10. Krajnje naprezanje uslijed prijanjanja kod ovog uzorka iznosi 20.7 MPa, što je tri puta više od vrijednosti zabilježene kod uzorka S1 gdje naprezanje uslijed prijanjanja iznosi 6,68 MPa. To znači da četiri posmična klina bitno utječu na ponašanje čitavog spoja te mijenjaju način sloma uslijed proklizavanja šipke (vidi sliku 9).

Kod trećeg kontrolnog uzorka S3 čvrstoća povezivanja vrlo je slična onoj koja je zabilježena kod uzorka S2. Čvrstoća povezivanja ovog uzorka iznosi 22.34 MPa, što je blizu vrijednosti od 20.7 MPa zabilježene kod uzorka 2 kao krajnje



Slika 10. Način sloma uzorka S3

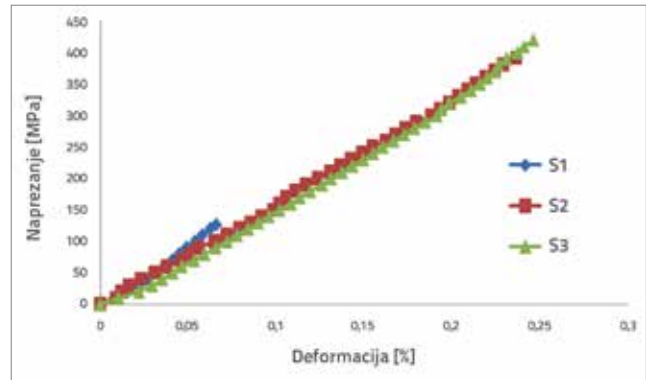
naprezanje spoja. To pokazuje da spiralna armatura ne utječe bitno na ponašanje cjevastog spoja u smislu najvećeg naprezanja, ali i to da je spiralna armatura donekle učinkovita u kontroliranju pojave pukotina u spoju, u ograničavanju pomaka, isto kao i u sprečavanju popuštanja spoja. Rezultati međutim pokazuju da je proklizavanje smanjeno sa 5.75 mm kod drugog uzorka na 4.70 mm kod trećeg uzorka koji ima spiralno učvršćenje. Stoga se može reći da spiralna armatura može kontrolirati pomake i spriječiti naglo popuštanje spoja. Način sloma uzorka S3 prikazan je na slici 10.

Kao što možemo vidjeti na slikama od 5 do 7, mehanizam sloma spoja ima duktilne karakteristike, a do sloma najčešće dolazi izvlačenjem šipaka. Kada se na oba kraja spoja nanese vlačna sila, spojne šipke pokazuju tendenciju proklizavanja u skladu s povlačenjem i to suprotno jedne od drugih. Mehaničko povezivanje spiralne armature i smjese doprinosi povećanju veze prianjanja između armature i smjese. Šipke pružaju otpor sili koja ih tjera da iskliznu iz spoja, pa tako i ostaju u svom položaju. Postupno naneseno tlačno naprezanje povećavano je do pojave radijalnih pukotina na oba kraja uzorka. S dodatnim povećanjem opterećenja dolazi do pucanja klinova između oslonaca, tj. do smicanja. Kada je sila izvlačenja postala veća od kapaciteta prianjanja, spojne šipke izlaze iz cjevastog spoja. Tipičan način sloma serije 2 prikazan je na slici 11.



Slika 11. Proklizavanje spojne šipke slijeva nadesno: P15 D35, P25 D35 i P35 D35

S druge strane, podaci zabilježeni na elektrootpornim tenzometrima (EOT), instaliranim na spojnoj šipki koja izlazi iz injektiranog spoja, dokazuju da su uzorci dostigli točku sloma dok je šipka još bila u elastičnom području (vidi sliku 12). To znači da ti cjevasti spojevi ne iskorištavaju puni kapacitet armaturnih šipaka. Osim toga, dužina sidrenja nije bila dostatna za postizanje odgovarajuće veze između rebraste armature i ispunje, pa je tako do proklizavanja došlo prije nego što je dostignuto granično naprezanje. Dijagram za ostale serije upućuje na istu situaciju, tj. vidi se da armatura ostaje u elastičnom području.



Slika 12. Usporedba naprezanja i deformacija kod uzoraka serije 1

5. Analiza rezultata

Razloge zbog kojih smanjenje koraka spiralne armature dovodi do povećanja učinka učvršćenja po obodu cijevi mogu objasniti dva čimbenika:

- sposobnost injekcijske smjese da se odupre sili razdvajanja povezuje se s optimalnom količinom smjese koja obavija nastavne spojne šipke.
- Kako vlačna sila djeluje na oba kraja uzorka, to bi djelovanje postupno moglo dovesti do radijalnog naprezanja. Učvršćenje spiralne armature koje je paralelno s radijalnim naprezanjem učinkovitije je u smislu sprečavanja radijalnih pukotina. Daljnjim povećavanjem opterećenja dolazi do drobljenja injekcijske smjese zbog djelovanja posmične sile. Smanjenjem koraka spiralne armature dobiva se veća poprečna površina spiralne armature koja se odupire radijalnom naprezanju. Dakle, pri smanjenju koraka spiralne armature povećava se granično naprezanje uslijed prianjanja.

Kao što možemo vidjeti na slici 13, popuštanje veze koje dovodi do pucanja i pojave pukotina u smjesi kontrolira se spiralnim učvršćenjem.



Slika 13. Tlačno polje i postupak kontrole pojave pukotina

Kao što je već navedeno, ovaj se mehanizam može iskazati teoretskim postupkom na osnovi britanske norme 8110, dio 1,

točka 3.12.8.4 [21]. Projektirano naprezanje usidrenog spoja ne smije biti veće od projektirane granične vrijednosti sidrenja koja se dobiva pomoću sljedećeg izraza:

$$f_{bu} = \beta \sqrt{f_{cu}} \quad (2)$$

gdje je:

β - koeficijent ovisan o vrsti šipke (dobiven iz tablice 3.26 BS 8110).

f_{cu} - tlačna čvrstoća ispune

Prema tablici 3.26 iz [21] određeno je da vrijednost β iznosi 0,5 jer se treba izraziti za rebrastu armaturu tipa 2 u vlaku i za injekcijsku smjesu klase 60 MPa (60 N/mm²). Prema gornjoj formuli, minimalna dužina sidrenja može se izračunati unošenjem vrijednosti sidrenja iz jednadžbe (2) u (1) pa tako dobivamo:

$$(L_d)_{\min} = \frac{N}{P \cdot \phi_e \cdot f_{bu}} \quad (3)$$

Ako se promotri na primjer uzorak P15 D35. Da bi se spriječilo popuštanje pri opterećenju od 84,63 kN, minimalna dužina sidrenja treba iznositi:

$$(L_d)_{\min} = \frac{84.63 \cdot 10^3}{P \cdot 16 \cdot (0.5 \cdot \sqrt{60})} = 435 \text{ mm}$$

Prema britanskoj normi [21], lokalna naprezanja uslijed prijanjanja mogu se zanemariti u slučaju ove minimalne dužine sidrenja. Međutim, dužina sidrenja od 435 mm nije praktična kod montažnih betonskih sustava, pa se zbog toga koristi mehanički nastavni spoj u kombinaciji sa spiralnim učvršćenjem.

Valja pritom napomenuti da su sve vrijednosti naprezanja dobivene u ovim eksperimentalnim ispitivanjima varirale u rasponu od 16,51 N/mm² do 22,45 N/mm², što je više od projektirane krajnje vrijednosti naprezanja koja je iznosila 3,9 N/mm², a bazira se na jednadžbi (2). Može se zaključiti da je takvo stanje rezultat učinka ojačanja postignutog primjenom čelične cijevi, spiralne armature i četiri posmična klina.

6. Modeliranje konstitutivnog odnosa između prijanjanja i proklizavanja

Eligehausen i ostali [22] predlažu dobro poznati analitički odnos između veze prijanjanja i proklizavanja koji se primjenjuje na rebrastu armaturu. Prvi segment odnosi se na dio u kojem rebra ulaze u mortnu matricu, tj. na lokalno popuštanje i pojavu mikropukotina. Horizontalni zakrivljeni dio odnosi se samo na učvršćeni beton kod kojeg dolazi do većeg popuštanja i posmičnog loma betona između rebra. Dio koji se spušta odnosi se na smanjenje otpornosti zbog pojave pukotina. Model BPE (Bertero-Popov-Eligehausen

model) (vidi sliku 14) prikazuje uzlazni segment odnosa veze prijanjanja i proklizavanja ($S \leq S_1$) kako slijedi:

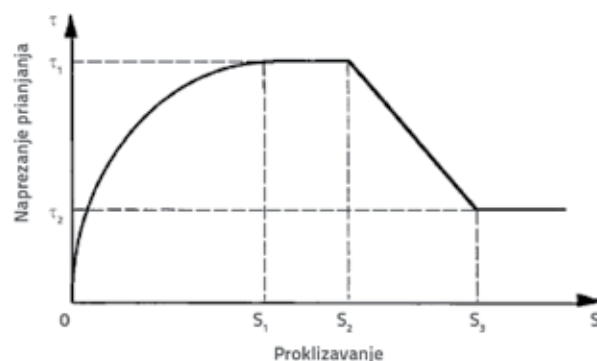
$$\frac{\tau}{\tau_1} = \left(\frac{S}{S_1} \right)^\alpha \quad (4)$$

gdje je:

τ_1 - maksimalno naprezanje prijanjanja,

S_1 - odgovarajuće proklizavanje (pa stoga $\tau_1 = \tau_m$ i $S_1 = S_m$),

α - parametar poravnjanja krivulje za slučaj čeličnih šipaka, koji iznosi 0.40.



Slika 14. Model BPE

U ovom radu je model BPE prilagođen za predviđanje odnosa između naprezanja prijanjanja i proklizavanja za injektirani cijevni spoj sa spiralnim ojačanjem. To se odnosi na primjenu jednadžbe (5) i modificiranog faktora poravnjanja krivulje, α , iz jednadžbe (6). Na bazi predložene vrijednosti α i podataka dobivenih u okviru ovih eksperimentalnih ispitivanja izrađen je model BPE za nastavni spoj (slika 15). Svaka krivulja iskazana na slici 15 prikazuje uzlaznu krivulju naprezanja i proklizavanja gdje je proklizavanje $S < S_2$. Kao što možemo vidjeti iz slike 15 i predložene jednadžbe, α uspješno poravnava krivulje veza prijanjanja-proklizavanje ispitanih nastavnih spojeva u skladu s prvim segmentom modela BPE. Pomoću jednadžbi (5) i (6) možemo predvidjeti naprezanje prijanjanja " τ ", i proklizavanje " S ", za razne korake spiralne armature " P ", i promjere spiralne armature " D " promatranog spiralnog ojačanja:

$$\frac{\tau}{\tau_m} = \left(\frac{S}{S_m} \right)^\alpha \quad (5)$$

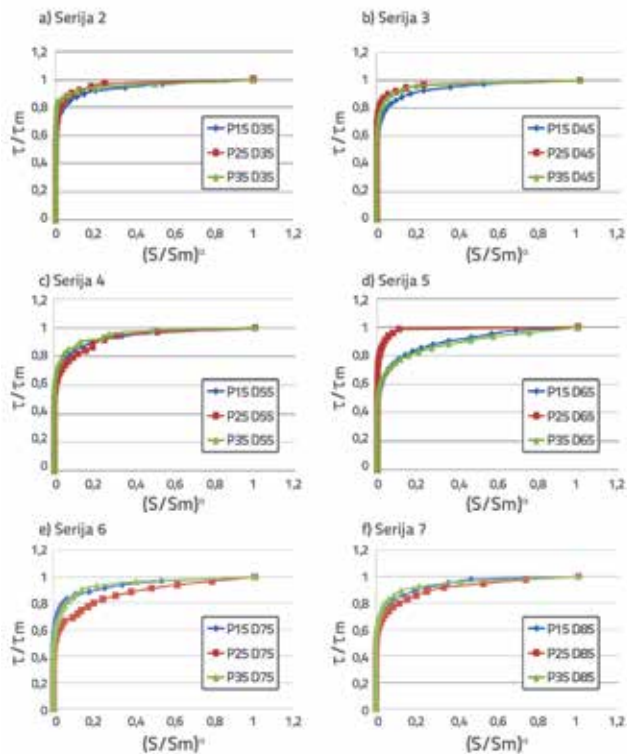
gdje je:

$$\alpha = \frac{P}{D^{0.35}} + c \quad (6)$$

pri čemu veličina " c " ovisi od koraka spiralne armature:

$c = 1$ za korak spiralne armature od 15 mm,

$c = 0$ za ostale korake spiralne armature.



Slika 15. Modelirano ponašanje injektiranog cjevastog spoja pod vlačnim opterećenjem

7. Zaključak

U radu su analizirani utjecaji spiralnog ojačanja na odnos između naprezanja prijanjanja i proklizavanja. Na temelju prikazanih eksperimentalnih i analitičkih rezultata mogu se izvesti sljedeći zaključci :

- Granično naprezanje uslijed prijanjanja povećano je za otprilike tri puta jer su primijenjeni posmični klinovi. To dokazuje o velikoj važnosti posmičnih klinova u poboljšanju ovakvog cjevastog spoja. Osim toga, ako se posmičnim klinovima dodaju i spiralne armature, to omogućuje kontroliranje pomaka i raspona proklizavanja. Dakle, djelotvornost spojnih sredstava svakako se povećava ako se u obzir uzme interakcija između proklizavanja i granično naprezanja prijanjanja.
- Smanjenjem koraka spiralne armature povećava se granična vrijednost naprezanja uslijed prijanjanja. Manji korak spiralne armature omogućuje bolje učvršćenje i bolju otpornost na pojavu pukotina, i to zbog povećanja naprezanja prijanjanja.
- Primjenom cjevastog spoja s korakom spiralne armature od 25 mm postiže se granično naprezanje prijanjanja s nižom amplitudom proklizavanja. To znači da korak spiralne armature od 25 mm ima ključnu ulogu u kontroliranju veličine proklizavanja.

LITERATURA

- [1] Tibbetts, A.J., Oliva, M.G, Bank, L.C.: Durable fiber reinforced polymer bar splice connections for precast concrete structures, Composites & Ploycon 2009. Tampa, FL USA: American composites manufacturers association. January 15-17, 2009.
- [2] ACI Committee 550R.: Design Recommendations for Precast Concrete Structures. Reported by ACI-ASCE Committee 550, 1996.
- [3] ACI Committee 550.: Emulating Cast-in-Place Detailing in Precast Concrete Structures, ACI 550.1R-01, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2001.
- [4] Tokyo Steel Corp.: Tokyo Steel Corp. BCJ-C1659, 1994.
- [5] Jansson, P.O.: Evaluation of grout-filled mechanical splices for precast concrete, Construction and Technology Division Report 07 TI-2094, 2008.
- [6] Coogler, K.L., Harries, K.A., Gallick, M.: Experimental study of offset mechanical lap splice behavior, Journal of ACI Structure, 2008, 105(4):478-87.
- [7] Pecce, M., Manfredi, G., Realfonzo, R., Cosenza E.: Experimental and Analytical Evaluation of Bond Properties. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 13, No. 4, July/August, 2001.
- [8] Einea, A., Yamane, T., Tadros, M.K.: Grout-Filled Pipe Splices for Precast Concrete Construction. PCI Journal, Precast/Prestressed Concrete Institute, Vol. 40, No. 1, 1995.
- [9] Untrauer, R.E., Henry, R.L.: Influence of normal pressure on bond strength, ACI J 1965, 65(5):577-85.
- [10] Robins, P.J., Standish, I.G.: The influence of lateral pressure upon anchorage bond. Magazine of Concrete Research, 1984, Volume 36, Issue 129, p.p. 195-202.
- [11] Moosavi, M., Jafari, A., Khosravi, A.: Bond of cement grouted reinforcing bars under constant radial pressure, Cement Concrete Composites, 2005, 27(11):103-9.
- [12] Soroushian, P., Choi, K.B., Park, G.H., et al.: Bond of deformed bars to concrete: effects of confinement and strength of concrete, ACI Material, 1991, 227-32.
- [13] Lim, C.T.: the effect of pitch distance of steel spiral reinforcement to the performance of grouted sleeve connector under direct tensile load, Undergraduate, Universiti Teknologi Malaysia, 2010.
- [14] Lee, G.S.: Parametric studies of sleeve connector using steel pipe with spiral steel for precast concrete connection, Bsc. Universiti Teknologi Malaysia, 2009.
- [15] Loo, G.K.: Parametric study of grout-filled splice sleeve integrated with flexible aluminium tube for precast concrete connection, BSc. Universiti Teknologi Malaysia, 2009.

- [16] Ling, J.H., Abd. Rahman, A.B., Abd. Hamid, Z.: Performance of corrugated aluminium sleeve connector under direct tensile load, 2nd engineering conference on sustainable engineering (ENCON 08). Kuching, Sarawak, Malaysia: University Malaysia Sarawak (UNIMAS), 2008.
- [17] Loh, H.Y.: Development of grouted splice sleeve and its performance under axial tension, Msc. Universiti Teknologi Malaysia, 2008.
- [18] Ling, J.H., Abd. Rahman, A.B., Abd. Hamad, Z., et al.: Structural performance of splice connector for precast concrete structures, Joint conference 7th Asia Pacific Structural Engineering & Construction Conference & 2nd European Asian Civil Engineering Forum. Pulau Langkawi, Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia (UTM), Universitas Pelita Harapan (UPH), 2009.
- [19] Ling, J.H., Abd. Rahman, A.B., Ibrahim, I.S., et al.: Tensile performance of ribbed hollow section splice sleeve connector under direct tensile load. 2nd construction industry research achievement international conference, Kuala Lumpur, Malaysia: Construction research institute of Malaysia (CREAM), Construction industry development board (CIDB), 2009.
- [20] Ling, J.H., Abd Rahman, A.B., Mirasa, A.K., et al.: Performance of CS-sleeve under direct tensile load: Part II – Structural performance, Malaysian Journal of Civil Engineering, 2008.
- [21] British Standard Institution. Structural Use of Concrete BS8110: Part 1: 1997: London, Clause 3.12.8.4
- [22] Elgehausen, R., Popov, E.P., Bertero, V.V.: Local bond stress-slip relationships of deformed bars under generalized excitations, Report No. 83r23, EERC, University of California, Berkeley, 1983.