Krzysztof GROMYSZ

SIŁY W ZBROJENIU PIONOWYM W DWUPOZIOMOWYM POŁĄCZENIU ZBROJENIA NA ZAKŁAD. CZĘŚĆ I –WYNIKI BADAŃ

Streszczenie. W referacie przedstawiono sposób badania oraz wyniki uzyskane po przebadaniu sześciu dwupoziomowych połączeń zbrojenia na zakład.

Badane zagadnienie jest istotne zarówno z poznawczego, jak i utylitarnego punktu widzenia. Dwupoziomowe połączenia zbrojenia na zakład występują między innymi w połączeniach poprzecznych zespolonych stropów deskowych pracujących dwukierunkowo oraz praktycznie we wszystkich łączonych na zakład siatkach zbrojeniowych.

FORCE IN VERTICAL REINFORCEMENT IN TWO-LAYER LAP SPLICES. PART ONE – TEST RESULTS

Summary. The paper presents tests performed on a two layer lap splices. Presented problem is important because of theoretical and practical point of view. Two layer lap splices appear in combined slab flours loaded with two way bending moment as well as in all lapped reinforcing fabric.

1. Zagadnienie badawcze

W dwupoziomowych połączeniach zbrojenia na zakład, w odróżnieniu od połączeń tradycyjnych, łączone pręty zbrojeniowe nie znajdują się w jednym poziomie, lecz są oddalone od siebie w pionie. Tego typu połączenie występuje na przykład w dwukierunkowo pracujących zespolonych stropach deskowych oraz praktycznie we wszystkich łączonych na zakład siatkach zbrojeniowych. Przeprowadzone w Katedrze Konstrukcji Budowlanych badania zespolonych stropów deskowych typu 2k wskazują na bardzo istotną rolę zbrojenia pionowego w tego typu połączeniach. W [1] wykazano, że jego obecność wpływa na wzrost nośności połączenia. Wzrost ten oszacowano na 76 %.

2. Badania doświadczalne

Badania zasadnicze przeprowadzono na monolitycznych elementach belkowych o przekroju (b×h) 200×174 mm i długości 2.0 m obciążonych zewnętrznym momentem zginającym. Łączonym na zakład zbrojeniem, górnym i dolnym, były pręty ze stali 34GS, a zbrojenie pionowe stanowiły śruby M12 (rys. 1).



Rys.1. Element badawczy, mierzone wielkości Fig.1. Tested element, measured values

Zestawienie elementów badawczych, różniących się zmienną pionową odległością między łączonymi na zakład prętami – parametr a - zamieszczono w tablicy 1. W trakcie badań mierzono między innymi: siłę w zbrojeniu pionowym (N_{st}), siłę w górnym łączonym na zakład zbrojeniu (N_g), oraz rozwartość rysy (poziome zarysowanie) wydzielającej się po długości górnego łączonego na zakład zbrojenia (c_{cr,H}). Element badawczy oraz oprzyrządowanie pomiarowe stosowane w elementach przedstawiono na rys. 1. Pomiar siły w zbrojeniu pionowym wykonywano za pomocą specjalnie do tego celu skonstruowanych siłomierzy. Przez siłomierze (por. rys. 1) przeprowadzono śruby stanowiące zbrojenie pionowe. Siły występujące w zbrojeniu pionowym były przekazywane na dolną i górną powierzchnię elementu za pomocą podkładek osadzonych na podlewce z zaprawy gipsowej. Celem wyeliminowania ewentualnych nieszczelności podlewki oraz zachowania we wszystkich elementach tych samych warunków badania w każdym pręcie pionowym wywołano wstępnie sprężenie wynoszące 0.5 kN. Pomiar siły w górnym łączonym na zakład zbrojeniu w środku rozpiętości elementu wykonywano pośrednio, przez pomiar odkształceń pręta. Odkształcenia mierzono za pomocą dwóch przeciwlegle naklejonych na powierzchni pręta tensometrów elektrooporowych o długości bazy 0.6 mm. W miejscu pomiaru odkształceń pręty zbrojeniowe były sprowadzone przez toczenie do średnicy 14 mm 60.01 mm. Wartość odkształceń pręta występującą w jego osi otrzymywano jako średnią arytmetyczną z dwóch tensometrów. Moduł sprężystości stali łączonego na zakład zbrojenia wyznaczono w trakcie badań uzupełniających.

Tablica 1

l.p.	Rodzaj elementu	ozna- czenie	h [cm]	a (cm)	ø [mm]	Øst [mm]	2xlb [em]	dg(d) [cm]
1 2 3 4 5 6		F0 zg ps F2 zg ps F3 zg ps F4 zg ps F5 zg ps F6 zg ps	17.4 17.4 17.4 17.4 17.4 17.4	-# 23456	16 16 16 16 16	12 12 12 12 12 12 12	48 48 48 48 48 48 48	14.4 10.8 9.8 8.8 7.8 6.8

Zestawienie elementów badawczych

Schemat stanowiska badawczego w trakcie montażu przedstawiono na rys. 2. W stanowisku tym zewnętrzny moment zginający przekazywany był, za pomocą stalowych ramion, bezpośrednio na badany element. Taki sposób przekazywania obciążenia pozwolił na: znaczne zmniejszenie gabarytów elementów badawczych oraz wyeliminowanie sił tnących na długości elementu. Oprócz oczywistych oszczędności materiałowych uniknięto konieczności umieszczania kłopotliwego zbrojenia na ścinanie na długości elementów. Szczegółowo sposób przekazywania zewnętrznego momentu zginającego na element oraz metodykę prowadzenia badań opisano w [2].



Rys.2. Stanowisko badawcze Fig.2. The test stand

3. Wyniki badań uzupełniających

Badania uzupełniające objęły beton oraz stal. Dla każdego elementu wyznaczano wytrzymałość betonu na ściskanie na 6 próbkach sześciennych o boku 150 mm ($f_{c,cube}$) oraz na 6 walcach ϕ 150×300 mm ($f_{c,cyl}$). Wytrzymałość betonu na rozciąganie była określana przez rozłupywanie 6 walców ϕ 160×160 mm ($f_{ct,\phi}$) oraz przez bezpośrednie zrywanie 6 elementów o przekroju 100×100 mm ($f_{ct,}$). Wyniki badań uzupełniających betonu przedstawiono w tablicy 2.

Siła uplastyczniająca środkowy przekrój górnego łączonego na zakład zbrojenia, sprowadzony przez toczenie do 14 mm, wynosiła $N_y = 66.7$ kN, a moduł sprężystości stali 206.2 GPa.

Tablica 2

l.p.	Rodzaj elementu	ozna czenie		f _{c,cube} [MPa]	Vr	f _{c,cyl} [MPa]	Vr	f ci.s [MPa]	Vf	f ct,o [MPa]	Vr	
123456		F0 F2 F3 F4 F5 F6	29 29 29 29 29 29 29	ps ps ps ps ps ps	36.86 36.62 40.62 36.58 36.26 35.93	2.19 2.29 1.68 1.88 2.22 2.91	22.60 12.58 22.11 15.98 20.42 16.52	2.40 2.27 2.79 1.56 3.65 1.35	2.56 2.59 3.03 2.21 2.23 2.26	0.40 0.33 0.53 0.32 0.51 0.21	2.25 1.64 1.82 1.70 1.56 1.62	0.35 0.10 0.13 0.05 0.17 0.68

Wyniki badań wytrzymałości betonu

4. Wyniki badań zasadniczych

Badania elementów prowadzono do całkowitej utraty nośności przez połączenie. We wszystkich elementach od pewnego poziomu obciążenia rozwijała się pionowa rysa biegnąca przez środek połączenia, a następnie, począwszy od obciążenia oznaczonego M_{crH}, poziome zarysowanie na wysokości górnego łączonego na zakład zbrojenia. W chwili zniszczenia, w przypadku elementów, w których a/3 cm, zarysowanie poziome obejmowało całą długość zakładu. Przykład zniszczenia elementu przez poziome zarysowanie przedstawiono na rys. 3. W pozostałych przypadkach (a<3 cm) zniszczenie elementów następowało przez rozerwanie otuliny w rejonie narożnika. Na rys. 4 przedstawiono zbiorczo obserwowane sposoby utraty nośności przez połączenia w zależności od zmiennego parametru (a).



Rys.3. Zniszczenie przez poziome zarysowanie Fig.3. Failure caused by horizontal crack

Na rys. 5 przedstawiono zbiorczo dla elementów, w których a>0 cm, przebieg rozwartości poziomego zarysowania wydzielającego się na wysokości górnego łączonego na zakład zbrojenia w środku rozpiętości elementu, w funkcji sumarycznej siły w łączonym na zakład zbrojeniu. Na rys. 6 zamieszczono, dla elementów w których a/3 cm, uśredniony, z lewej i prawej strony połączenia, rozkład rozwartości rysy wydzielającej się na wysokości górnego łączonego na zakład zbrojenia. Prezentowane na rys. 6 rozkłady zostały zapisane przez aparaturę pomiarową w ostatnim cyklu obciążenia, kiedy elementy przenosiły jeszcze zwiększające się obciążenie. Rysunek 7 przedstawia zbiorczo dla wszystkich elementów wartości siły w zbrojeniu pionowym w funkcji momentu zginającego.



Rys.4. Obrazy zniszczenia w zależności od pionowej odległości między łączonymi na zakład prętami Fig.4. Failure mode depends on vertical distance between spliced bars



Rys.5. Zarysowanie poziome w środku rozpiętości elementu w funkcji siły w łączonym na zakład zbrojeniu Fig.5. Horizontal crack width in the middle of element as a function of force in upper spliced reinforcement







Rys.7. Siła w zbrojeniu pionowym w funkcji momentu zginającego (M) Fig.7. Force in vertical reinforcement as a function of bending moment (M) Z przedstawionych powyżej wykresów można wyciągnąć następujące spostrzeżenia:

- rozwartość poziomego zarysowania wydzielającego się po długości łączonego na zakład górnego zbrojenia jest zależna od siły występującej w tym zbrojeniu,
- rozwartość poziomego zarysowania w przypadku połączeń niszczących się przez poziome rozerwanie (elementy F3 zg ps ÷ F6 zg ps) ma charakterystyczny dzwonowy rozkład, o maksymalnej wartości w chwili zniszczenia wynoszącej około 0.8 mm,
- utrata nośności połączenia w przypadku elementów niszczących się przez poziome zarysowanie następuje przy sumarycznej wartości siły w zbrojeniu poziomym wynoszącej około 150 kN,
- wartość siły w zbrojeniu pionowym w dwupoziomowym połączeniu zbrojenia na zakład narasta wraz ze wzrostem obciążającego połączenie momentu zginającego. Przyrost siły w zbrojeniu pionowym zależy od pionowej odległości między łączonymi na zakład prętami i jest większy dla połączeń charakteryzujących się większą wartością parametru (a),
- przyrost siły w zbrojeniu pionowym, ponad wartość wstępnego napięcia, następuje w chwili pojawienia się poziomego zarysowania na wysokości górnego łączonego na zakład zbrojenia.

W tablicy 3 zestawiono charakterystyczne wartości momentów zginających obciążających połączenie: moment wywołujący poziome zarysowanie – $M_{cr,H}$, moment wywołujący uplastycznienie sprowadzonego do średnicy 14 mm przekroju środka łączonego na zakład górnego zbrojenia - M_y oraz pomierzoną rzeczywistą nośność połączeń – M_{02} . Obok charakterystycznych wartości momentów zginających, w tablicy 3 zamieszczono również wartości sił w zbrojeniu pionowym, w górnym łączonym na zakład zbrojeniu (N_g) oraz rozwartości rysy poziomej w środku połączenia ($c_{cr,H}$), odpowiadające odpowiednim wartościom momentów obciążających.

Na rys. 8, po lewej stronie wykresu, zamieszczono uśredniony otrzymany z elementów F3 zg ps 4 F6 zg ps rozkład rozwartości poziomego zarysowania po długości górnego łączonego na zakład zbrojenia w chwili utraty nośności. Z prawej strony tego wykresu przedstawiono krzywą wykładniczą dobrze aproksymującą otrzymany rozkład zarysowań.

Tablica 3



l.p.	Rodzaj elementu	ozna- czenie		M _{erti}	M y [kNm]	M ₀₂ [kNm]	Ng,crH [IEN]	Ng.y (&N)	Ng,02 (<i>I</i> cN)	acrH,y [mm]	JcrH,02 [mm]	
123456		F0 F2 F3 F4 F5 F6	zg zg zg zg zg zg	ps ps ps ps ps ps	4.65 3.55 2.32 2.56 2.81	12.61 10.03 8.58 7.53 5.83	13.22 13.78 11.35 9.78 8.82 7.75	35.90 29.78 29.47 45.80 78.66	132.2 131.0 130.8 130.0 133.3	105.9 144.9 146.3 147.9 150.5 165.1	0.37 0.32 0.55 0.55 0.55	0.45 0.70 0.86 0.88 0.88



Rys.8. Lewa strona wykresu: rozkład rozwartości poziomego zarysowania jako średnia z elementów F3 zg ps +F6 zg ps. Prawa strona wykresu: krzywa opisująca rozkład zarysowania

Fig.8. Left graph side: horizontal crack distribution as a middle of elements F3 zg ps + F6 zg ps. Right side of the graph: function that represents crack width distribution

5. Wnioski

Zaprezentowane wyniki badań pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

 Wartość siły w zbrojeniu pionowym w dwupoziomowym połączeniu zbrojenia na zakład zależy od momentu obciążającego połączenie oraz od pionowej odległości między łączonymi na zakład prętami. Większą wartość siły w zbrojeniu pionowym obserwowano przy większej odległości między łączonymi na zakład prętami.

- Siła w zbrojeniu pionowym narasta ponad wartość wstępnego sprężenia od momentu wystąpienia w łączonym na zakład górnym zbrojeniu siły powodującej zarysowanie otuliny betonowej na wysokości górnego łączonego na zakład zbrojenia.
- Charakterystyczny rozkład szerokości poziomego zarysowania występującego na wysokości górnego łączonego na zakład zbrojenia można dobrze opisać krzywą wykładniczą.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Maria Kamińska

LITERATURA

- Gromysz K.: Badania połączeń poprzecznych w zespolonych stropach deskowych, XLII Konferencja Naukowa, Krynica 1997, tom IV, ss. 79-86.
- Gromysz K.: Method of lap splices investigation in case of bending concrete elements, Concrete constructions. Theory and experimental studies. Polish Academy of Science in Wrocław. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1999, ss. 51-58.

Abstract

The paper presents tests results performed on a two-layer lap splices. In case of this splices bars aren't in one layer as in typical connections, but there is vertical distance between spliced bars. Force in vertical reinforcement in this kind of splices depend on bending moment loading splice and on vertical distance between spliced bars. In case of elements with larger distance between spliced bars the force in vertical reinforcement was larger. Force in vertical reinforcement started to increase after horizontal crack appeared on the level of upper spliced bar. Crack gaping distribution along upper spliced bar can be described with exponential function.