BUDOWNICTWO
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
CIVIL ENGINEERING
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
4-B/2010
ZESZYT 19
ROK 107
ISSUE 19
YEAR 107

MIROSŁAW BORYCZKO*

WPŁYW ŚREDNICY ŁĄCZNIKÓW WIOTKICH NA POŚLIZG W PŁASZCZYŹNIE ZESPOLENIA ELEMENTÓW STALOWO-BETONOWYCH

EFFECT OF DIAMETER OF FLEXIBLE CONNECTORS ON SLIDE IN THE PLANE OF THE CONNECTING IN STEEL-CONCRETE COMPOSITE ELEMENTS

Streszczenie

W artykule przedstawiono sposób aproksymacji wyników poślizgu otrzymanych z badań na elementach badawczych stalowo-betonowych zespolonych łącznikami wiotkimi wykonanymi ze sworzni ϕ10, przyjętych jako bazowe, na elementy zespolone łącznikami o innej średnicy w zakresie średnic od ϕ10 do ϕ16.

Słowa kluczowe: *poslizg, łączniki wiotkie, elementy zespolone*

Abstract

The paper presents the results of approximation of a slip obtained from research studies on the elements of steel and concrete composite slide with connections made from rods ϕ10, adopted as a base, the elements of the complex connections with diameters ranging from 10 to 16.

Keywords: *slip*, *flexible connectors*, *composite elements*

* Mgr inż. Mirosław Boryczko, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Oznaczenia

a – wymiar boku elementu badawczego
a, b – współczynniki doświadczalne
a_{10}, b_{10} – współczynniki doświadczalne krzywej bazowej
n – liczba zastosowanych łączników
n_g – liczba łączników w grupie
e – ługość na której występuje grupa łączników (rozstaw grup łączników)
k – podatność zespolenia
L – długość dźwigara
K – podatność (sztywność) łączników
P – siła działająca na łącznik
P_{max} – nośność łącznika
N – liczba łączników na odcinku zespolenia
N_f – liczba łączników potrzebnych do zespolenia pełnego
S – poślizg w płaszczyźnie zespolenia

1. Wstęp

Precyzyjną definicję stalowo-betonowego elementu zespolonego podaje norma PN-B-03300 [12]. Według tej normy stalowo-betonowe elementy zespolone to elementy konstrukcyjne, których części składowe w postaci betonu i kształtowników stalowych zespolono w celu ograniczenia podłużnego poślizgu między betonem i stalą oraz uniemożliwienia oddzielenia jednej części składowej od drugiej. Natomiast zespolenie jest to połączenie betonowej i stalowej części elementu zespolonego za pomocą elementów stalowych o dostatecznej nośności i sztywności, aby w obliczeniach obie części składowe mogły być traktowane jako jeden element konstrukcyjny.

Główne elementy konstrukcyjne wykonywane jako zespolone to słupy, belki, płyty i ramy. Połączenia betonu i stali dokonuje się za pomocą różnego rodzaju łączników. Łączniki te dzielą się na trzy zasadnicze grupy: sztywne (opórki, łączniki blokowe), wiotkie (sworznie, pętle, spirale i haki z prętów zbrojeniowych, śruby wysokiej wytrzymałości, kołki wstrzeliwane), listwowe (listwy perforowane z otworami pełnymi okrągłymi, listwy wycięte w kształcie puzzli, ciągły teownik). Łączniki do zespolenia płyty betonowej z belką stalową szerzej scharakteryzowano w [1].

Rodzaj zastosowanych łączników ma wpływ na sztywność połączenia belki i płyty, a tym samym na rozkład sił wewnętrznych w obu elementach przekroju zespolonego. Największą sztywność połączenia zapewniają, jak powszechnie wiadomo, łączniki sztywne. W zakresie nośności wykorzystywanej przy pracach projektowych łączniki sztywne uznaje się za nieodkształcalne, co pozwala dla celów inżynierskich uznać, że zachowana jest zasada płaskich przekrojów dla całego elementu zespolonego (płyta, belka, łącznik). Inaczej rzecz się ma w przypadku łączników wiotkich. Większa odkształcalność tych łączników powoduje, iż płyta może się w nieznaczny sposób przesunąć względem belki stalowej. Wzajemne przemieszczenia płyty względem belki są miarą podatności zespolenia.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

W wyniku podatności zespolenia powstaje nieciągłość odkształceń w płaszczyźnie zespolenia, co powoduje brak zachowania zasady płaskich przekrojów w odniesieniu do całego przekroju zespolonego.

W artykule podano propozycję określenia poślizgu w elementach zespolonych typu stal-beton dla łączników wiotkich w zależności od średnicy zastosowanych sworzni z przedziału ϕ10–16 mm. Wykorzystano przy tym wyniki badań doświadczalnych K. Furtaka [3], za zgodą autora.

2. Podatność zespolenia

Połączenie betonu i stali, przy pomocy każdego rodzaju łączników, nie jest nigdy idealnie sztywne, tzn. zawsze wykazuje różne odkształcenia stali i betonu. W takim przypadku mówimy o podatności zespolenia k [kN/mm/mb], która jest bardzo ściśle powiązana z podatnością pojedynczego łącznika K [kN/mm]. Przy równomiernym rozmieszczeniu łączników podatność zespolenia jest definiowana wzorem:

$$k = \frac{n \cdot K}{L} \tag{1}$$

gdzie

n – liczba zastosowanych łączników,

L – długość dźwigara.

Jeżeli łączniki są pogrupowane, wówczas nie można wyznaczyć podatności zespolenia dla całej belki. W takim przypadku określa się podatność zespolenia dla każdej grupy łączników osobno. Stąd podatność zespolenia może być różna na długości belki. Podatność zespolenia w przypadku grup łączników określa się ze wzoru

$$k = \frac{n_g \cdot K}{e} \tag{2}$$

gdzie:

n_g – liczba łączników w grupie,

e – długość, na której występuje grupa łączników (rozstaw grup łączników).

Podatność zespolenia może występować na całej długości belki lub na jej części. O podatności zespolenia można mówić, gdy liczba łączników na rozpatrywanej długości belki jest mniejsza od liczby łączników potrzebnych do pełnego zespolenia. W takim przypadku mamy do czynienia z zespoleniem częściowym (niepełnym). Norma [12] definiuje częściowe zespolenie jako zespolenie, przy którym wzrost nośności połączenia wpływa na zwiększenie nośności elementu. Ten rodzaj zespolenia można zaobserwować na przykład w przekroju podporowym belek o równomiernym rozkładzie łączników na długości belki. Wówczas, dopiero w pewnej odległości od podpory jest wystarczająca ilość łączników, aby wystąpiło zespolenie pełne (aby wzrost ilości łączników nie wpływał na zwiększenie nośności elementu zginanego). Oczywiście zespolenie pełne można osiągnąć również poprzez zastosowanie dodatkowej liczby łączników w strefie podporowej. Przegrupowanie łączników ze środka belki do przekrojów podporowych spowo-

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

duje, iż na podporze wystąpi zespolenie pełne, a w części środkowej – zespolenie częściowe. Niemniej jednak w świetle zapisów zawartych w normie [12] zespolenie częściowe można stosować w przypadku, gdy wszystkie przekroje poprzeczne są klasy 1 lub klasy 2, a obciążenie obliczeniowe w stanie granicznym nośności jest mniejsze od obciążenia, które element mógłby przenieść przy pełnym zespoleniu. Wskazuje to na wagę analizowanego w artykule zagadnienia poślizgu.

3. Zależność między siłą i poślizgiem

Zależność $P = P(S)$, między siłą rozwarstwiającą P powodującą poślizg S a tym poślizgiem, jest nieliniowa w całym zakresie działania siły P. Silna nieliniowość relacji $P = P(S)$ obserwowana jest przy obciążeniu przekraczającym 50–80% siły niszczącej, co potwierdzają badania przedstawione między innymi w [3, 4]. Zależność P–S można opisać funkcją ekspotencjalną zwłaszcza w tych elementach, w których zniszczenie następowało wskutek przekroczenia nośności zespolenia. Dość często [6, 7, 10, 8, 9,11] tę zależność opisuje się wzorem:

$$P = P_{\max}(1 - e^{-\beta \cdot S})^{\alpha}, \tag{3}$$

gdzie α i β są współczynnikami doświadczalnymi.

Za R.P. Johnsonem i N. Molenstrą [8] można przyjąć następujące dwa zestawy współczynników $\alpha = 0{,}558$ i $\beta = 1{,}0$ mm^{-1} lub $\alpha = 0{,}989$ i $\beta = 1{,}535$ mm^{-1}, S. Bullo i R. Di Marco [11] przyjęli dla betonu zwykłego $\alpha = 0{,}7$ i $\beta = 1{,}15$ mm^{-1}, a dla betonu wysokowartościowego $\alpha = 0{,}5$ i $\beta = 1{,}10$ mm^{-1}.

W swoich rozważaniach z zależności odwrotnej korzysta K. Furtak w [3]. Relacja $S = S(P)$ przyjmuje postać:

$$S = a(e^{bp} - 1) \tag{4}$$

gdzie:

$$p = \frac{P}{P_{\max}} \tag{5}$$

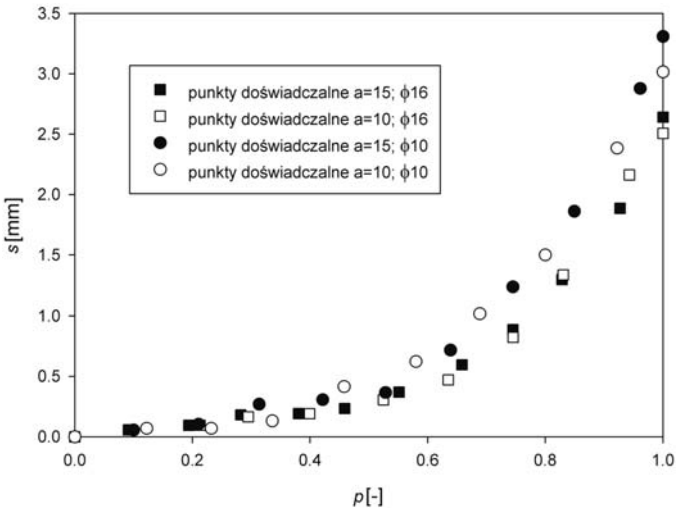
a, b – współczynniki doświadczalne, które można przyjąć za [3]: $a = 0{,}07$ i $b = 3{,}75$.

Związek ten wydaje się być wygodniejszy do stosowania, gdyż najczęściej znana jest siła działająca w płaszczyźnie zespolenia P i nośność zespolenia $P_{\max}$ a niewiadomą – poślizg. Współczynniki a i b są wyznaczone na podstawie badań własnych i są jednakowe dla elementów badawczych wykonanych z łącznikami o różnych średnicach. Wolą autora jest rozszerzenie stosowalności zależności $S = S(P)$ (4) w przypadku, gdy istnieje potrzeba określenia poślizgu dla zespolenia łącznikami wiotkimi – o średnicy sworzni, dla których nie ma przeprowadzonych badań.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

4. Dobór parametrów *a* i *b* dla funkcji *S* = *S*(*P*)

Procedurę badawczą oraz elementy badawcze opisano w [3]. Badania przeprowadzono na 18 elementach, z tego na 12 elementach o boku a = 15 cm i na 6 o boku a = 10 cm. Do zespolenia zastosowano łączniki ϕ10/75 mm oraz ϕ16/75 mm. Wyniki badań pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Poślizg „s" w funkcji wytężenia „p". Zestawienie wyników badań doświadczalnych elementów zespolonych na podstawie[3]
Fig. 1. Slip „s" in function of effort „p". Summary of results of experimental studies of composite elements on the basis of [3]

Na podstawie rys. 1 można zauważyć wyraźny wpływ średnicy sworznia na relację $S = S(P)$. Przyjmując jako bazowy łącznik wiotki wykonany w postaci sworznia o średnicy ϕ10/75 mm, można wyznaczyć nowe parametry a i b dla równania (4). Wynik dopasowania krzywej do punktów doświadczalnych otrzymanych dla sworzni o średnicy ϕ10/75 mm pokazano na rys. 2. Tak otrzymaną krzywą oznaczono na rysunku jako „krzywą teoretyczną bazową".

W wyniku przeprowadzonej regresji nieliniowej poszukiwane parametry dla krzywej bazowej wynoszą a_{10} = 0,085, b_{10} = 3,657 przy wykorzystaniu do zespolenia sworzni ϕ10/75 mm. Przyjmując jako bazowe sworznie ϕ10/75 mm, można określić zależność pomiędzy parametrami a i b dla łączników o średnicach w przedziale ϕ10–ϕ16 w odniesieniu do parametrów a_{10} i b_{10} określonych dla łączników bazowych (ϕ10). Zależność ta jest skorelowana ze średnicą sworznia zgodnie z zależnościami:

$$a_\varphi = w(\varphi) \cdot a_{10} \qquad b_\varphi = w(\varphi)^c \cdot b_{10} \tag{6}$$

oraz

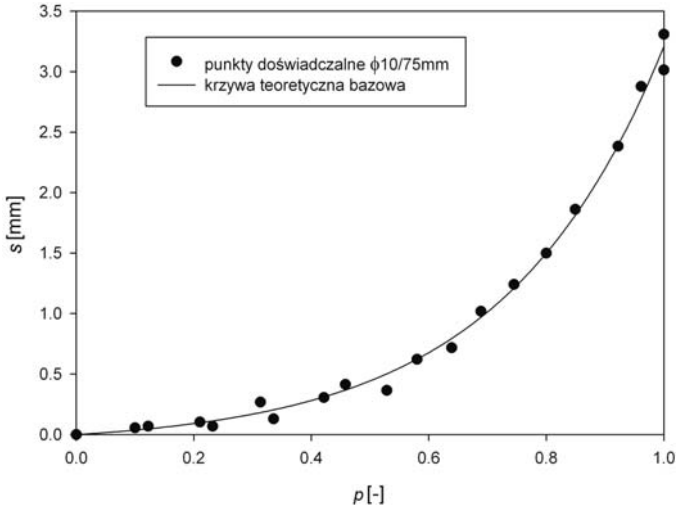
$$w(\varphi) = \frac{\varphi^{2/3}}{12} \tag{7}$$

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

gdzie:

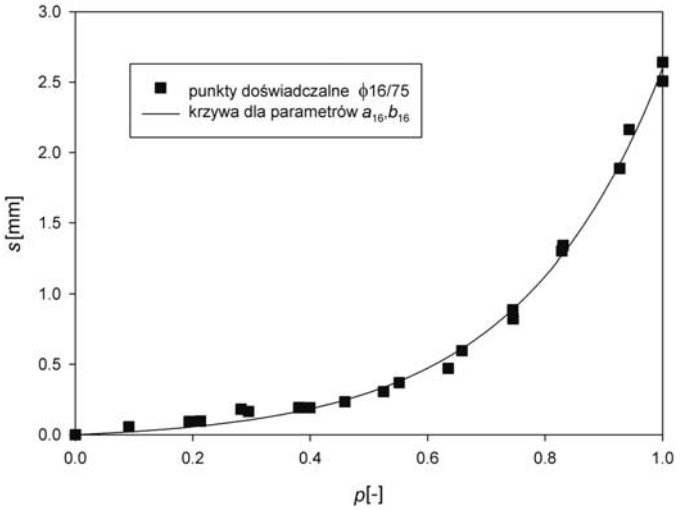
a_{10}, b_{10} – współczynniki doświadczalne krzywej bazowej określone na elementach zespolonych łącznikami ϕ10; wynoszą a_{10} = 0,085, b_{10} = 3,657.

Parametr c można przyjmować równy –0,17.



Rys. 2. Dopasowanie krzywej bazowej do wyników badań poślizgu dla elementów z łącznikami ϕ10/75 mm

Fig. 2. Fitting basic curve to test results of slip for elements with connectors ϕ10/75 mm



Rys. 3. Krzywa teoretyczna i wyniki badań poślizgu dla elementów z łącznikami ϕ16/75 mm

Fig. 3. The theoretical curve and test results of slip for elements with connectors ϕ16/75 mm

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Na rys. 3 przedstawiono punkty doświadczalne otrzymane w wyniku badania elementów o boku a = 15 cm i 10 cm z łącznikami ϕ16/75 mm wraz z krzywą sporządzoną na podstawie krzywej bazowej zmodyfikowanej funkcją $w(\phi)$ i parametrem $c = -0{,}17$.

5. Wnioski

W artykule przedstawiono sposób obliczania poślizgu w elementach zespolonych typu stal-beton z łącznikami wiotkimi wykonanymi w formie sworzni o średnicy ϕ10–16 mm. Jako podstawę do szacowania poślizgu przyjęto łączniki o średnicy ϕ10 mm.

Dopasowanie zaproponowanego rozwiązania wynika stąd, iż wartości współczynników dla krzywej bazowej ($a_{10} = 0{,}085$, $b_{10} = 3{,}657$) oraz funkcji $w(\phi)$ i parametru $c = -0{,}17$ wyznaczono na podstawie aproksymacji wyników badań doświadczalnych. Podane rozwiązanie można stosować dla średnic ϕ10–16 mm. Ekstrapolacja poza podany przedział nie powinna być stosowana ze względu na jakościowo inną charakterystykę relacji sztywności giętnej sworznia oraz podatności ośrodka betonowego.

Literatura

[1] Kozłowski A., Pisarek Z., *Łączniki do zespolenia płyty betonowej z belką stalową*; Konstrukcje Zespolone, t. VIII, Zielona Góra 2008.

[2] Marić Z., Markulak D., Varevac D., *Najstarszy w świecie większy most o konstrukcji zespolonej*, Konferencja Naukowo-Techniczna „Zespolone Konstrukcje Mostowe", Wydawnictwo konferencyjne, Politechnika Krakowska, maj 2009.

[3] Furtak K., *Ocena poślizgu w płaszczyźnie zespolenia elementów typu stal-beton z łącznikami wiotkimi w świetle badań doświadczalnych*, Czasopismo Techniczne, z. 14-B/2004.

[4] Jarek B., Radoń M., *Poślizg w zginanych belkach zespolonych typu stal-beton w świetle badań doświadczalnych*, Konferencja Naukowo-Techniczna „Zespolone Konstrukcje Mostowe", Wydawnictwo konferencyjne, Politechnika Krakowska, maj 2009.

[5] Furtak K., *Mosty Zespolone*, PWN, Warszawa–Kraków 1999.

[6] Aribert J.M., Abdel Aziz K., *Calcul des poutres mixtes jusqu á l'état ultime avec un effect de soulévement a l'interface acier-béton*, Construction Métallique, 4/1985.

[7] Bullo S., Di Marco R., *Effects High – Performance Concrete on Stud Shear Connector Behaviour*, Proceedings of Nordie Steel Construction Conference, Malmö 1995.

[8] Johnson R.P., Molenstra N., *Partial Shear Connection in Composite Beams for Buildings*, Proceedings of Instn. Civil Engineering, Part 2, Vol. 91, December 1991.

[9] Nakajima A., Abe H., *Experimental Study on Behaviour of Horizontal Shear of Composite Girder*, Proceedings of 4th ASCCS International Conference on Steel--Concrete Composite Structures, Košice 1994.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

[10] Cosenza E., Mazzolani S., *Simplified Methods to Evaluate Deflections in Composite Steel-Concrete Beams with Partial Shear Connections*, Proceedings of 4th ASCCS International Conference on Steel-Concrete Composite Structures, Košice, June 1994.

[11] Bullo S., Di Marco R., *The Load – Bearing Capacity Of Steal-HPC Composite Beams*, Conference Report: Composite Construction – Conventional and Innovative, Innsbruck, September 1997.

[12] PN-B-03300:2006 *Konstrukcje zespolone stalowo-betonowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.*

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ