

Marek SITNICKI*
Politechnika Łódzka

BADANIA STREFY PODPOROWEJ KONSTRUKCJI PŁYTOWO - SŁUPOWEJ ZBROJONEJ POPRZECZNIE TRZPIENIAMI

Streszczenie. W artykule przedstawiono opis badań złączy płyta-słup wzmocnionych zbrojeniem poprzecznym w postaci dwugłówkowych trzpieni. Zostały przedstawione badania 5 modeli wykonanych w skali naturalnej obciążanych osiowo wraz z analizą nośności.

EXPERIMENTAL STUDY OF SLAB-COLUMN STRUCTURE SUPPORT ZONE WITH STUD SHEAR REINFORCEMENT

Summary. The article describes the studies of slab-column connections reinforced with double-headed studs shear reinforcement. The studies of axially loaded five models in one-to-one full scale together with analysis of load capacity are presented.

1. Wstęp

Przy projektowaniu i realizowaniu obiektów w technologii żelbetowego szkieletu bezryglowego ("płyta - słup") podstawowym problemem jest przebicie w strefie podporowej.

W konstrukcjach płytowo - słupowych dąży się do stosowania możliwie małej grubości płyty oraz małych przekrojów słupów przy dużej rozpiętości przęseł stropu, wynika to z dążenia do uzyskania jak najlepszych walorów użytkowych obiektów - zmniejszenie przestrzeni zajmowanej przez konstrukcję. W strefie podporowej występują zawsze maksymalne momenty gnące i siły ścinające. Dokładna analiza zjawisk w tym obszarze konstrukcji płytowo - słupowej decyduje o bezpieczeństwie całego obiektu. Dla zapewnienia wymaganej nośności w okolicy słupów stosuje się, poza ortogonalnie rozmieszczonym zbrojeniem na zginanie, zbrojenie na przebicie.

* Opiekun naukowy: Prof. dr hab. inż. Artem Czkwianianc.

Tradycyjnie stosowane były dwa typy zbrojenia:

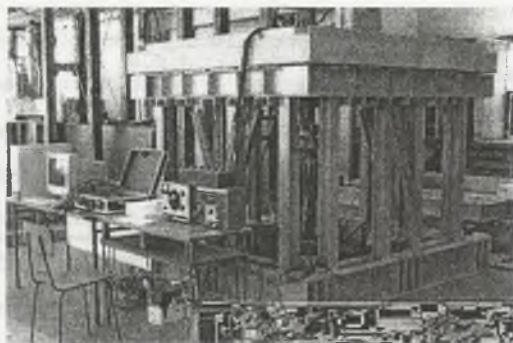
- zbrojenie wiotkie w postaci zamkniętych pionowych lub ukośnych strzemion, wkładek odgiętych, prefabrykowanych lub wiązanych szkieletów zbrojeniowych,
- zbrojenie sztywne w postaci wkładów z kształtowników walcowanych lub specjalnych głowic.

W latach 70 ubiegłego wieku rozpoczęto badania nad nowym typem zbrojenia strefy podporowej konstrukcji płytowo - słupowej. Zbrojenie to miało postać jednogłówkowych trzpieni spawanych do płaskowników. Prace nad nowym systemem zbrojenia prowadzili H.P.Andrã [1] oraz A.Ghali i W.Dilger [2]. Zbrojenie tego typu było pośrednią formą między zbrojeniem wiotkim a sztywnymi wkładami. Cechowało się prostotą montażu i stosunkowo oszczędnym zużyciem stali. Wersją uproszczoną opisanego wyżej rozwiązania są trzpienie dwugłówkowe ("double headed studs"), w których wyeliminowano płaskownik stalowy. Badania stref podporowych zbrojonych tego typu trzpieniami przedstawiono w pracach [3] i [4]. W badanych modelach zostały zastosowane trzpienie dwugłówkowe wyprodukowane przez firmę BAUMA SA.

2. Opis badań eksperymentalnych

W 2002 roku w Laboratorium Katedry Budownictwa Betonowego Politechniki Łódzkiej wykonano badania 5 modeli strefy podporowej konstrukcji płytowo - słupowej zbrojonej na przebiecie dwugłówkowymi trzpieniami. Badane były modele obciążane osiowo o symbolach: P-0, P-8.1, P-16.1, P-16.2, P-28.3. Pierwsza z liczb w oznaczeniu modeli odpowiada liczbie zastosowanych trzpieni, druga liczbie rzędów, w których rozmieszczono trzpienie.

Stanowisko badawcze zaprojektowane zostało specjalnie do przeprowadzenia badań modeli strefy podporowej wewnętrznej i skrajnej konstrukcji płytowo-słupowej. Stalowa konstrukcja stanowiska mocowana jest do płyty wielkich sił. Do obciążania modeli używano siłownika hydraulicznego ustawionego na płycie wielkich sił. Widok stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 1.



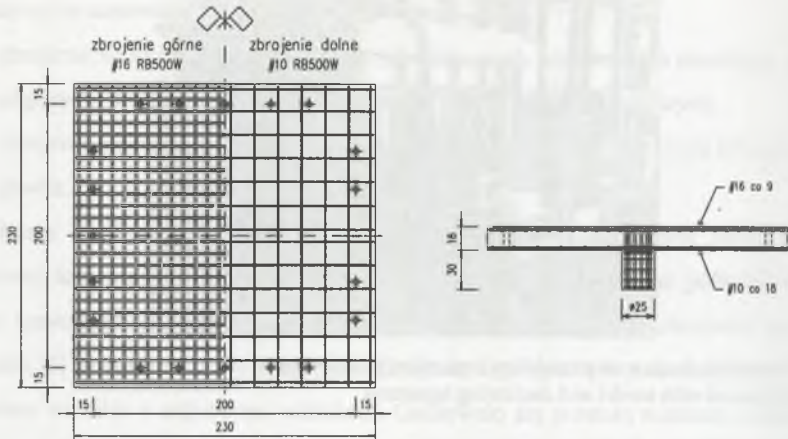
Rys. 1. Stanowisko badawcze z modelem i aparaturą pomiarową

Fig. 1. Test stand with model and measuring apparatus

Badane modele były kwadratowymi wycinkami żelbetowej płyty stropowej o boku 2,30 m i grubości 0,18 m z centralnie usytuowanym okrągłym słupem o średnicy 0,25 m. Zbrojenie górne stanowiła siatka zbrojeniowa z prętów #16 mm (stal RB500W) w rozstawie 90 mm. Zbrojenie dolne to siatka z prętów #10 mm (stal RB500W) w rozstawie 180 mm. Zbrojenie słupów stanowiło sześć prętów #16 (stal RB500W) połączonych sześcioramiennymi strzemiętami $\varnothing 6$ mm (stal St0S). Górna siatka zbrojeniowa była stabilizowana w formie za pomocą podpórek i spawana do prętów zbrojenia słupa. Otulina zbrojenia górnego wynosiła 15 mm, co dawało średni stopień zbrojenia płytowego $\rho = 1,50\%$. Otulina zbrojenia dolnego wynosiła 15 mm, co dawało średni stopień zbrojenia płytowego $\rho' = 0,28\%$. Układ zbrojenia płytowego w modelach pokazano na rysunku 2.

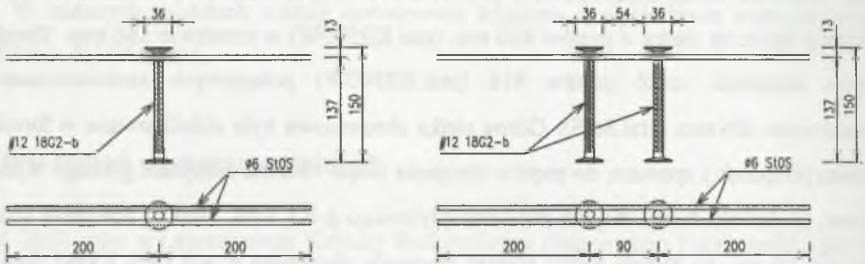
Modele były zbrojone poprzecznie na przebiegu trzpieniami dwugłówkowymi - "double headed studs" wykonanymi ze stali 18G2-b, z prętów #12 mm. Do trzpieni były spawane pręty montażowe $\varnothing 6$ mm ze stali St0S, służące do łączenia zbrojenia poprzecznego w zestawy i stabilizacji tego zbrojenia w trakcie betonowania. Pręty montażowe opierane były na dolnej warstwie prętów górnej siatki zbrojeniowej. Miejsce umocowania prętów montażowych do trzpienia było dobrane w taki sposób, aby górna powierzchnia główki trzpienia miała taką samą otulinę jak pręty zbrojenia płytowego. Pojedynczy trzpień oraz zestaw dwóch trzpieni wraz z prętami montażowymi pokazano na rysunku 3.

Program badań obejmował cztery schematy ułożenia zbrojenia poprzecznego, które pokazano na rysunku 4.



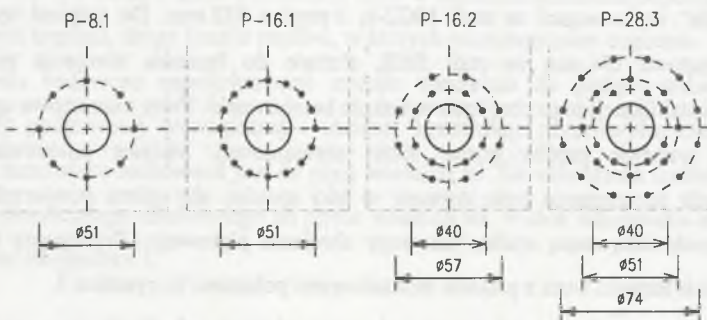
Rys. 2. Geometria i zbrojenie modeli

Fig. 2. Shape and reinforcement of models



Rys. 3. Trzpienie z prętami montażowymi

Fig. 3. Double headed studs with assembly bars



Rys. 4. Układy zbrojenia poprzecznego

Fig. 4. Schemes of shear reinforcement

Do wykonania modeli zastosowano beton zwykły na kruszywie kamiennym, towarowy dostarczany z wytwórni. Uzyskany w badaniach rozrzut wytrzymałości betonu był niezamierzony. Wytrzymałość kostkową i walcową betonu badano na grupach 6 próbek, wykonywanych podczas betonowania modeli. Wytrzymałość stali zbrojeniowej badano na grupie 6 próbek pobranych losowo z dostarczonej partii zbrojenia.

W tabeli 1 zestawiono średnie wartości cech wytrzymałościowych materiałów zastosowanych w modelach.

Tabela 1

| Model | Beton | | | Zbrojenie płytowe | | | | Trzpienie | |
|--------|--------------|----------|----------|-------------------|-------|-------|-------|-----------|----------|
| | $f_{c.cube}$ | f_{cm} | E_{cm} | #16 | | #10 | | f_{yw} | f_{tw} |
| | | | | f_y | f_t | f_y | f_t | | |
| | [MPa] | | | | | | | | |
| P-0 | 22,3 | 19,2 | 20925 | 547,7 | 633,3 | 558,7 | 623,1 | - | - |
| P-8.1 | 34,4 | 30,0 | 26258 | | | | | | |
| P-16.1 | 27,9 | 25,5 | 24012 | | | | | | |
| P-16.2 | 32,6 | 24,7 | 22762 | | | | | | |
| P-28.3 | 19,7 | 14,9 | - | | | | | 383,7 | 586,3 |

Modele obciążano osiowo, działając siłownikiem bezpośrednio na słupek. Obciążenie modeli realizowano etapowo ze wzrostem siły początkowo co 50 kN, a pod koniec badania co 25 kN. Po osiągnięciu siły 300 kN dokonywano odciążenia do poziomu 50 kN i następnie kontynuowano badanie aż do zniszczenia. W trakcie badań dokonywano następujących pomiarów:

- siły niszczącej,
- odkształcenia prętów górnej siatki zbrojenia głównego oraz trzpieni,
- odkształcenia betonu dolnej powierzchni płyty i pobocznic słupek w okolicy ich styku,
- przemieszczenia płyty za pomocą czujników indukcyjnych,
- rejestrowano układ i szerokość rozwarcia rys na górnej powierzchni płyty.

Wszystkie modele zniszczyły się przez przebicie. W przypadku modelu P-8.1 rysa niszcząca przecięła rozłożone wokół słupka zbrojenie poprzeczne. W pozostałych obciążanych osiowo modelach zniszczenie nastąpiło poza strefą zbrojenia poprzecznego. Zastosowane zbrojenie poprzeczne spowodowało odsunięcie strefy krytycznej od krawędzi słupka - nośność modelu została osiągnięta w wyniku przekroczenia naprężeń w betonie.

3. Analiza nośności modeli

W tabeli 2 zestawiono uzyskane w badaniach siły niszczące dla modeli oraz dokonano porównania ich z nośnością obliczoną według norm [5], [7], [8] i raportu ACI-ASCE [6]. Cytowane normy dotyczą stosowania zbrojenia poprzecznego „wiotkiego” (strzemiona, pręty odgięte), a raport zbrojenia trzpieniami.

Tabela 2

| Model | V_u^{exp} | V_u^{exp}/V_{cal} | | | |
|---|-------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| | | ACI 318-02 [5] | ACI 421.R-99 [6] | DIN 1045-1 [7] | prEN 1992-1-1 [8] |
| - | kN | - | | | |
| P-0 | 495 | 1,82 | - | 1,29 | 1,24 |
| nośność strefy przysiępowej zbrojonej poprzecznie | | | | | |
| P-8.1 | 750 | 1,49 | 1,28 | <u>1,27</u> | 1,10 |
| P-16.1 | 700 | 0,85 | 0,78 | 0,86 | 0,73 |
| P-16.2 | 700 | 0,99 | 0,89 | <u>1,41</u> | 0,60 |
| P-28.3 | 675 | 1,00 | 0,92 | <u>1,61</u> | 0,65 |
| nośność przekroju krytycznego zewnętrznego (poza obszarem zbrojenia poprzecznego) | | | | | |
| P-8.1 | 750 | <u>2,70</u> | | 1,21 | <u>1,29</u> |
| P-16.1 | 700 | <u>2,61</u> | | <u>1,18</u> | <u>1,24</u> |
| P-16.2 | 700 | <u>2,55</u> | | 1,16 | <u>1,23</u> |
| P-28.3 | 675 | <u>2,53</u> | | 1,42 | <u>1,42</u> |
| nośność maksymalna określona przez normy | | | | | |
| P-8.1 | 750 | 1,47 | 1,10 | 1,02 | 0,81 |
| P-16.1 | 700 | 1,49 | 1,12 | 1,01 | 0,87 |
| P-16.2 | 700 | 1,51 | 1,14 | 1,03 | 0,90 |
| P-28.3 | 675 | 1,88 | 1,41 | 1,39 | 1,37 |

W obliczeniach stosowano otrzymane w badaniach średnie wartości cech wytrzymałościowych betonu i stali. Wzory na określenie nośności według DIN 1045-1, operujące na obliczeniowych wartościach, zostały skorygowane tak, aby uzyskane wyniki były porównywalne z pozostałymi normami i zaleceniami.

Przepisy normowe i zalecenia, według których prowadzono obliczenia, wymagają analizy naprężeń w dwóch przekrojach krytycznych poza normą DIN, która potrzebuje odrębnej analizy każdego z obwodów, na których rozmieszczono zbrojenie poprzeczne. Ponadto przepisy określają maksymalny wzrost nośności w wyniku zastosowania zbrojenia na przebiecie.

Normy [5] i [7] dopuszczają wzrost nośności o 50% w stosunku do złącza bez zbrojenia na przebiecie. Według raportu [6] wzrost ten może wynosić 100%. Norma prEN uzależnia maksymalną nośność od wytrzymałości betonu.

W tabeli 2 przedstawiono porównanie wyników otrzymanych dla trzech opisanych wyżej warunków. Poprzez podkreślenie wyróżniono wartości, które decydują (według norm i zaleceń) o nośności analizowanych złączy.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że analizowane normy i zalecenia dają bezpieczne wyniki. Największe rezerwy nośności uzyskano dla przepisów amerykańskich, normy DIN i prEN dały podobne wyniki. W przypadku normy ACI 318-02 i zaleceń komitetów ACI-ASCE na uzyskane wyniki wpłynęło ograniczenie maksymalnych naprężeń w betonie poza strefą zbrojenia poprzecznego do wartości $2\sqrt{f'_c}$ (psi), gdzie f'_c jest wytrzymałością betonu określoną na walcach 150/300 mm. Podobnie dla normy prEN decydującym warunkiem okazało się sprawdzenie nośności przekroju znajdującego się poza strefą zbrojenia poprzecznego. W obliczeniach modeli P-8.1, P-16.2 i P-28.3, dokonanych według normy DIN, najmniejszą nośność uzyskano dla strefy zbrojonej poprzecznie, a w modelu P-16.1 dla strefy usytuowanej na zewnątrz obszaru zbrojonego poprzecznie.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania potwierdziły w pełni skuteczność zbrojenia na przebiecie stropów żelbetowych trzpieniami dwugłówkowymi firmy BAUMA SA. Pomimo że typ zastosowanego zbrojenia na przebiecie nie odpowiadał wymaganiom stawianym przez przepisy normowe oraz według zaleceń [6] minimalna liczba obwodów, na których należy rozmieścić trzpienie, powinna wynosić co najmniej dwa, otrzymane wyniki obliczeń wskazują na możliwość bezpiecznego stosowania analizowanych norm dla oszacowania nośności złączy płyta-słup zbrojonych na ścinanie trzpieniami.

LITERATURA

1. Andrä H.P.: Dübelleisten zur Verhinderung des Durchstanzens bei hochbelasteten Flachdecken. Die Bautechnik 56, 7/1979, s. 244-247.

2. Ghali A., Dilger W., Moktar A.S.: Stud Shear Reinforcement for Flat Concrete Plates. ACI Journal 82, 1985, p.676-684.
3. Regan, P. E.: Double Headed Studs as Shear Reinforcement - Tests of Slabs and Anchorages, University of Weslminster, London, Aug. 1996, (na podstawie poz.6).
4. Bericht über Versuche an punktgestützten Platten bewehrt mit DEHA Doppelkopfbolzen und mit Dübelleisten, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität - Stuttgart, Report No. AF 96/6 - 402/1, DEHA 1996, (na podstawie poz.6).
5. ACI 318-02: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI Manual of Concrete Practice 2002 t.3, p. 443.
6. ACI 421.1R-99: Shear Reinforcement for Slabs - Reported by Joint ACI-ASCE Committee 421, ACI Manual of Concrete Practice 2002 t.5, p.15.
7. DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Juli 2001, Beton Kalender 2002.
8. prEN 1992-1-1 (Draft for Stage 49): Eurocode 2: Design of Concrete Structures, Part 1: General Rules and Rules for buildings, (July 2002).

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Starosolski

Abstract

Results of tests described in this paper, include five one-to-one full scale models of slab-column connections, axially loaded. One model had no shear reinforcement, and the remaining four had various arrangements of double studs shear reinforcement. Tested reinforcement system exhibited working order. The capacities of tested models exceeded capacities calculated according to the codes [5], [7], [8] and rules given in report [6].