ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2004
Seria: BUDOWNICTWO z. 102 Nr kol. 1644

Paweł PIOTRKOWSKI*
Politechnika Gdańska

WSPORNIKI BELEK OBCIĄŻONE SIŁĄ UKOŚNĄ

Streszczenie. Artykuł dotyczy badań eksperymentalnych wsporników belek w skali naturalnej, obciążonych siłą ukośną. Przedstawiono specjalnie zaprojektowane stanowisko badawcze do tego rodzaju obciążenia, umożliwiające uzyskiwanie dowolnego stosunku siły poziomej do pionowej. Efekt tego typu obciążenia na nośność i morfologię rys został przedstawiony na 4 wspornikach belek zbrojonych ortogonalnie.

THE DAPPED - BEAM ENDS SUBJECT TO INCLINED LOAD

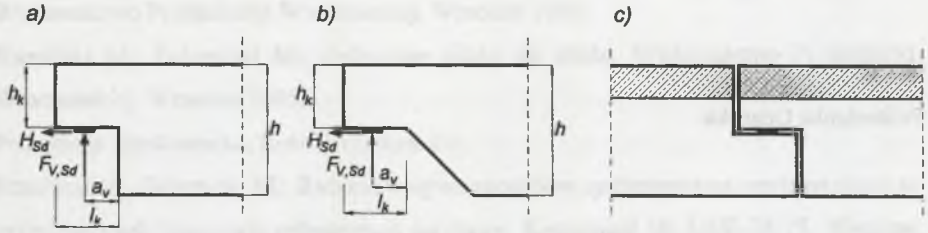
Summary. Dapped – beam ends subject to inclined load are presented in this paper. The research is conducted on full-scale specimens. A special arrangement for the test of these elements has to be made. The influence of the inclined load on the load carrying capacity and crack morphology is presented on the basis of tested four dapped – beam ends with vertical reinforcement.

1. Wstęp

Żelbetowe wsporniki belek są to obszary stref przypodporowych belek, w których następuje skokowa zmiana wysokości konstrukcyjnej (rys. 1). W literaturze takie elementy nazywa się również *belkami podciętymi na podporze* bądź też noszą nazwę *belki zawieszone*. (W publikacjach anglosaskich wsporniki te najczęściej nazywa się *dapped-beam end*.)

Podcięcie belek wykonuje się z różnych powodów. Często chodzi o ograniczenie wysokości konstrukcyjnej prefabrykowanych elementów belkowych w strefie przypodporowej, które w sposób bezpośredni opierają się na innych elementach konstrukcyjnych, takich jak podciągi czy też stopy fundamentowe, ma to miejsce w przypadku belek podwalinowych.

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Krystyna Nagrodzka-Godycka



Rys. 1. Charakterystyka geometryczna wsporników belek: a) wspornik z podcięciem prostokątnym, b) wspornik z podcięciem ukosowanym, c) wsporniki belek jako przegub gerberowski

Fig. 1. The view of dapped-beams geometry: a) dapped beam with orthogonal dap, b) dapped beam with oblique dap, c) dapped beams as joint

Inny cel wykorzystania wsporników belek to wykonstruowanie przegubu gerberowskiego w układach ramowych lub też belkowych (rys. 1c). Wsporniki takie mają wówczas ograniczoną wysokość równą w przybliżeniu połowie wysokości belek w złączu.

2. Opis problemu

Żelbetowe wsporniki belek należą do grupy krótkich wsporników, stanowiących odpowiedzialny element konstrukcyjny znajdujący się w strefie dużego wytężenia lokalnego. Są to tzw. obszary zakłóceń „D", które występują wszędzie tam, gdzie na elementy konstrukcji działają duże siły skupione bądź też zachodzą skokowe zmiany przekroju. We wspornikach belek mamy do czynienia z obu tymi czynnikami. Na różnice stanu wytężenia i morfologii rys wsporników belek w stosunku do wsporników słupów i wynikającą z tego specyfikę projektowania zwracali wcześniej uwagę m.in. Cook-Mitchel [1], Godycki [2], Mann [4], Steinle [6], Windisch [7] i Zakrzewski [8]. Zgodnie stwierdzono, że jest to bardzo wytężony element konstrukcyjny, stosunkowo wcześnie ulegający zarysowaniu, toteż wszelkiego rodzaju niedociągnięcia np. w zakresie kształtowania zbrojenia mogą spowodować przedwczesne wyczerpanie nośności, powodując często katastrofalne skutki.

Gros obciążeń przypadających na krótki wspornik to obciążenie pionowe, które przekazywane jest przez podkładkę. Ponieważ całkowite wyeliminowanie tarcia podkładki podporowej jest praktycznie niemożliwe, należy uwzględnić dodatkowo siłę poziomą, która może być wynikiem działania skurczu, temperatury bądź też sił wywołanych działaniem

wiatru. Większość norm zaleca, aby wielkość uwzględnianej w projektowaniu siły poziomej nie była mniejsza od 20% obciążenia pionowego działającego na podkładkę wspornika.

Wpływ równoczesnego przyłożenia siły pionowej i poziomej na krótki wspornik belki nie jest w sposób wystarczający rozpoznany w literaturze zarówno krajowej, jak i zagranicznej i tylko niektóre normy projektowania konstrukcji betonowych problem ten regulują przepisami. Dzieje się to prawdopodobnie dlatego, że stosunkowo nieliczne badania eksperymentalne uwzględniały tylko działanie siły pionowej. W kraju badania wsporników belek z siłą pionową były prowadzone przez Zakrzewskiego [8] i Nagrodzką-Godycką [3, 5]. Z badań zagranicznych najbardziej znane są badania przeprowadzone przez Steinle'a [6].

3. Program badań

Celem badań wsporników belek obciążonych ukośnie działającą siłą jest poznanie morfologii rys, wytężenia betonu i stali oraz mechanizmu zniszczenia. Program badań obejmuje badania 24. wsporników dwunastu belek w skali naturalnej. Badania obecnie prowadzone w Regionalnym Laboratorium Budownictwa Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Gdańskiej są finansowane w ramach grantu KBN.

3.1. Parametry zmienne

W celu poznania wpływu jednoczesnego działania siły poziomej i pionowej na wspornik w stosunku do elementów obciążonych tylko siłą pionową, połowa ciał próbnych będzie obciążona siłą pionową i poziomą, pozostałe jako tzw. świadki – tylko siłą pionową. Wielkość siły poziomej stanowi ½ obciążenia pionowego. Przyjęto tak duże nachylenie siły ukośnej, aby niekorzystny efekt siły poziomej był odpowiednio wyeksponowany ponad minimalny, przewidziany w normie (H/F_V = 0,2). W dalszych badaniach parametr ten zostanie uzmienniony.

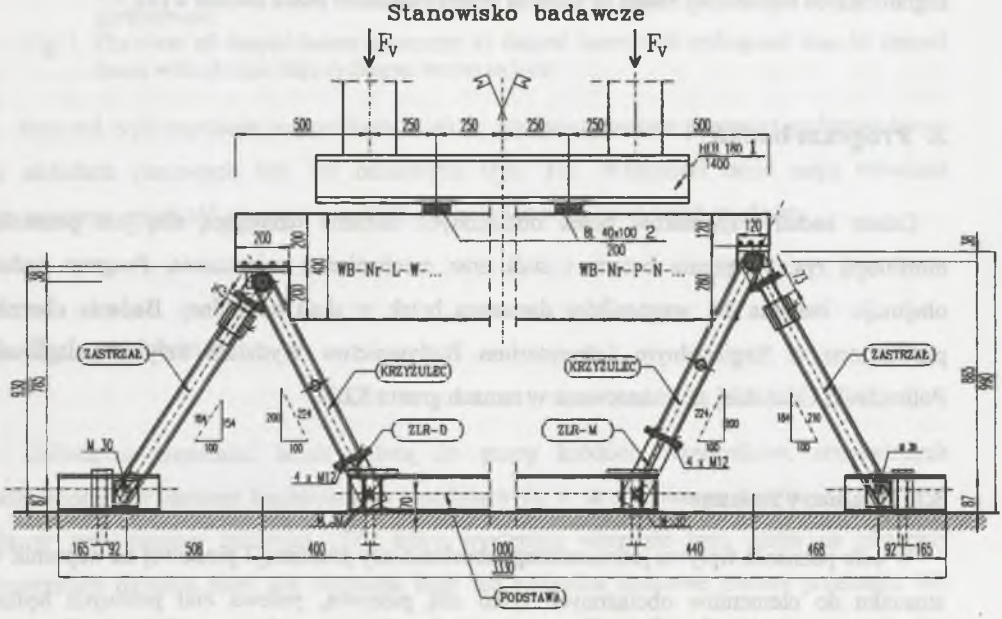
Pozostałe parametry zmienne to:

- smukłość ścinania (wielkość podcięcia),
- rodzaj zbrojenia wsporników (zbrojenie ortogonalne bądź prętami odgiętymi),
- długość zakotwienia zbrojenia głównego wsporników (w przypadku zbrojenia ortogonalnego),
- stopień zbrojenia głównego wsporników.

Badane elementy zaprojektowano z betonu o średniej wytrzymałości f_{cm} = 30 MPa i stali zbrojeniowej w większości znaku 18G2-b.

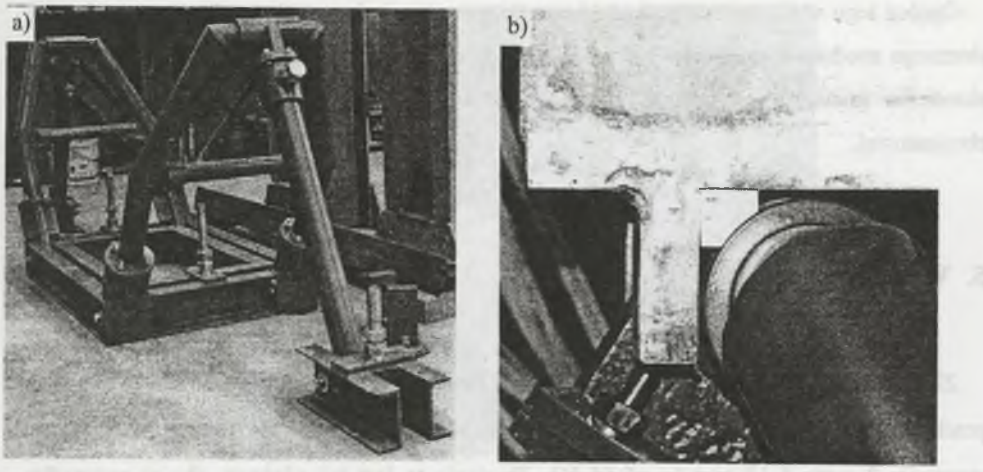
3.2. Stanowisko badawcze

Wywołanie jednocześnie siły poziomej i pionowej na wsporniki belek wymagało przygotowania specjalnego stanowiska badawczego. Na rysunku 2 przedstawiono szkic konstrukcyjny stanowiska łącznie z belką obciążoną dwiema siłami.



Rys. 2. Widok ogólny stanowiska badawczego dla wsporników belek
Fig. 2. Dapped beam end tests outline

Krzyżulce oprzyrządowania badawczego w podstawie na płycie wielkich sił są połączone za pomocą sworzni mających możliwość obrotu, a w swojej górnej części zapierają się na blasze oporowej za pomocą dodatkowego elementu, który ma przenieść wypadkową bezpośrednio na wspornik belki. Zdjęcie wykonanego stanowiska przedstawiono na rys. 3a, natomiast szczegół podparcia – rys. 3b.



Rys. 3. Widok stanowiska: a) widok ogólny, b) szczegół podparcia belki w przypadku obciążenia wspornika siłą pionową i poziomą
Fig. 3. View of the test stand: a) general view, b) detail of the support of the dapped beam subject to vertical and horizontal load

Wartości sił pionowych przekazywanych na wsporniki belek określane są z dużą dokładnością z odczytów siłomierzy elektrooporowych z aparatury pomiarowej siłowników firmy INSTRON, natomiast wielkości sił poziomych wynikają z odpowiednich kątów nachylenia podpór zaprojektowanego stanowiska (rys. 3). W celu dodatkowej kontroli wielkości siły przekazywanej na wspornik naklejono elektrooporowe tensometry na stalowe rury krzyżulców stanowiska, co pozwala określić siłę z dokładnością do 2 kN.

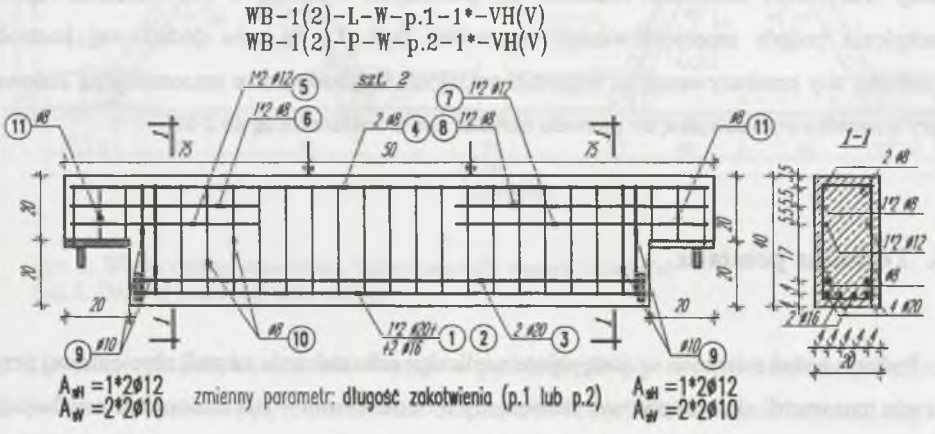
4. Technika pomiaru

Podczas badań mierzone są następujące wielkości: odkształcenia na stali zbrojeniowej przy użyciu tensometrii elektrooporowej (tensometry o bazie 20 mm – 108 tensometrów na belce); odkształcenia na powierzchni betonowej przy wykorzystaniu tensometrii mechanicznej (ekstensometr o bazie 100 mm z odczytem cyfrowym – 34 bazy na belce); przemieszczenia belki. Pomiary dokonywane są dla każdego poziomu obciążenia. Wielkość przykładanego bezpośrednio na belkę obciążenia kontrolowana jest za pomocą siłomierzy elektrooporowych. W trakcie badań rejestrowany jest także obraz zarysowania, a rozwarcie rys mierzone jest za pomocą mikroskopu o 40-krotnym powiększeniu.

Oprócz tego wykonywane są badania towarzyszące w celu wyznaczenia wytrzymałości i siecznego modułu sprężystości betonu dla każdej belki (próbki walcowe Ø15/30 cm) oraz określenia granicy plastyczności i zależności σ-ε dla każdej stosowanej średnicy stali zbrojeniowej.

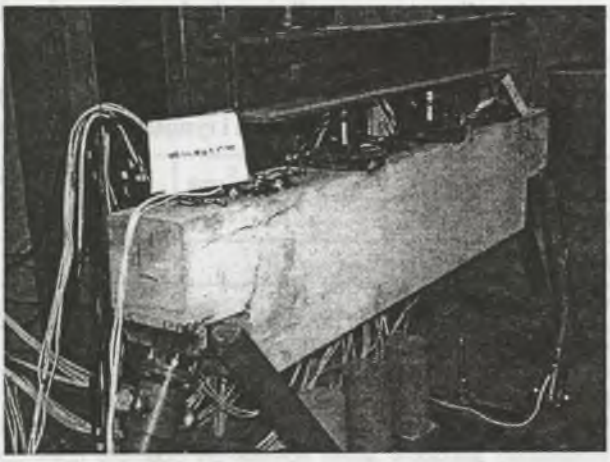
5. Wyniki badań

Zbadane 4 wsporniki belek miały identyczny przekrój poprzeczny $h_k \times b = 20 \times 20$ cm, a przekrój poprzeczny belki wynosił $h \times b = 40 \times 20$ cm. Zbrojenie główne wsporników stanowiły 2 pręty ϕ 12 mm (ρ =0,65 %). Zbrojenie to jest tak ułożone, aby w przypadku wsporników, których stopień zbrojenia będzie dwukrotnie większy, środek ciężkości tego zbrojenia, usytuowanego w dwóch poziomach, był na tej samej wysokości. Zbrojenie rozciągane belki stanowiły 4 pręty ϕ 20 mm i 2 pręty ϕ 16 mm, natomiast zbrojenie strefy ściskanej - 2 pręty ϕ 8 mm. Przy podcięciu belek dano zbrojenie ortogonalne w postaci 2 strzemion dwuciętych ϕ 10 mm. Widok zbrojenia belek przedstawiono na rys. 4.



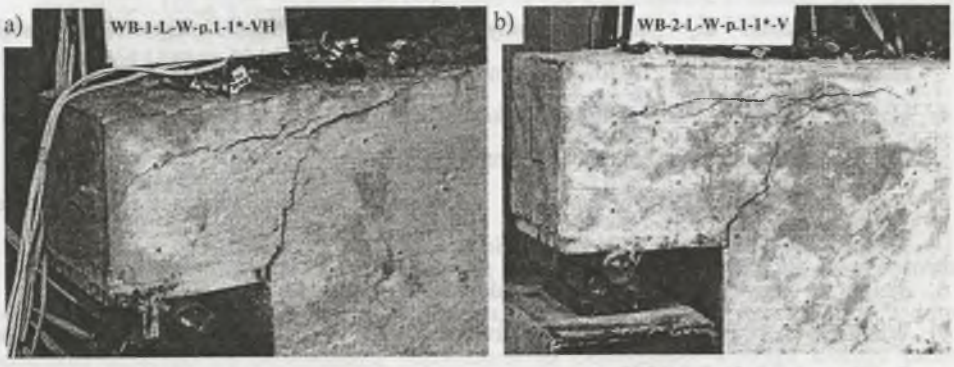
Rys. 4. Widok zbrojenia belek WB-1 i WB-2
Fig. 4. The reinforcing cage of the WB-1 and WB-2 beams

W badanych elementach zróżnicowana była długość zakotwienia zbrojenia głównego wspornika: krótsza (z symbolem p.1) dla 2 wsporników (z oznaczeniem „L") i dłuższa (p.2) dla pozostałych 2 elementów oznaczonych jako (P).



Rys. 5. Widok belki WB-1 obciążonej siłą ukośną na stanowisku badawczym
Fig. 5. The view of WB-1 beam subject to inclined load during the test

Jedna belka dwuwspornikowaWB-1 poddana była obciążeniu siłą pionową i poziomą – rys. 6a, a druga WB-2 obciążona była tylko siłą pionową – rys. 6b.



Rys. 6. Wsporniki po zniszczeniu: a) WB-1-L-W-p.1-1*-VH, b) WB-2-L-W-p.1-1* -V
Fig. 6. R-C dapped-beam after the failure: a) WB-1-L-W-p.1-1*-VH, b) WB-2-L-W-p.1-1* -V

Siły rysujące i niszczące zbadanych elementów zestawiono w tablicy 1. Pierwsza rysa pojawiała się w narożu wklęsłym przy mniejszym obciążeniu w przypadku jednoczesnego działania sił pionowej i poziomej. Jak można było oczekiwać, wyniki badań wykazały, że obciążenie wsporników siłą ukośną zmniejsza odpowiednio ich nośność. Również długość kotwienia miała wpływ na wielkość siły niszczącej i rozwarcie rys. Dalsze badania wykażą, jakiego zmniejszenia zdolności nośnej wsporników można oczekiwać, a analiza wytężenia z

uwzględnieniem morfologii rys umożliwi zbudowanie odpowiedniego modelu obliczeniowego.

Tablica 1

Zestawienie sił niszczących i rysujących [kN]

Lp.	Wspornik	Siła rysująca F_{crack}	Siła niszcząca F_{Vu}
1	WB-1-L-W-p.1-1*-VH	10	65
2	WB-1-P-W-p.2-1*-VH	10	70
3	WB-2-L-W-p.1-1* -V	15	90
4	WB-2-P-W-p.2-1* -V	20	90

LITERATURA

1. Cook W.D., Mitchell D.: Studies of Disturbed Regions near Discontinuities in Reinforced Concrete Members. „ACI Structural Journal", March–April 1988.
2. Godycki–Ćwirko T.: Wsporniki przegubowych połączeń żelbetowych rygli ram i belek. „Inżynieria i Budownictwo", nr 1/1973.
3. Godycki-Ćwirko T., Nagrodzka-Godycka K.: O badaniach wsporników belek żelbetowych, Inżynieria i Budownictwo nr 12, 2002, s. 693-697.
4. Mann W.: Über die Ausbildung von Balkenauflagern und Auflagerkonsolen aus Stahlbeton. „Beton und Stahlbetonbau" nr 1/1975.
5. Nagrodzka-Godycka K.: Wsporniki żelbetowe. Badania, teoria, projektowanie. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2001.
6. Steinle A.: Zum Tragverhalten ausgeklinkter Trägerenden. Betontag 1975.
7. Windisch A.: Das Model der charakteristischen Bruchquerschnitte. „Beton und Stahlbetonbau", Heft 9/1988.
8. Zakrzewski S.: Nośność i rysoodporność strefy przypodporowej belek żelbetowych o przekroju zmiennym skokowo. „Inżynieria i Budownictwo" nr 7/1973.

Recenzent: Dr hab. inż. Artem Czkwianianc, prof. Pol. Łódzkiej