

Zbigniew PAJĄK

BADANIA ŻELBETOWYCH POŁĄCZEŃ KIELICHOWYCH

Streszczenie. Przedstawiono opis, wyniki i analizę badań 24 elementów żelbetowych połączeń kielichowych. Wyznaczono współczynniki podatności podłużnej i giętej badanych połączeń. Przedstawiono model obliczeniowy do określenia nośności żelbetowych połączeń kielichowych z uwzględnieniem sił tarcia na ściankach kielicha. Porównano wyniki badań i obliczeń wg proponowanego modelu.

TESTS OF THE R.C. SOCKET CONNECTIONS

Summary. The description, results and analysis of test results of 24 specimens with the R.C. socket connections are presented in the paper. The coefficients of longitudinal and flexural flexibility were defined. The analytical model to determine the load carrying ability of the R.C. socket connection is presented as well. The model takes into consideration friction forces on the walls of the socket. The result of experimental tests has been compared with the analytical model.

LES ESSAIS DES ASSEMBLAGES PAR EMBOÎTEMENT

Résumé. La description, les résultats et l'analyse d'essai de 24 éléments des assemblages par emboîtement sont présentés. On a déterminé les coefficients de déformabilité pour les assemblages examinés. Le modèle de calcul de capacité de charge des assemblages par emboîtement en béton armé, avec prise en considération des forces de frottement sur les parois est présenté. Les résultats des essais et ceux de calcul sont comparés.

1. WSTĘP

Żelbetowe połączenia typu kielichowego polegające na zabetonowaniu zbrojenia wypuszczanego z jednego z łączonych elementów w wykonanym kielichu drugiego elementu stosowane są w prefabrykowanych konstrukcjach szkieletowych. Są to połączenia typu słup-fundament, słup-słup, rygiel-słup. Kielichowe połączenia zastosowano także w opracowanym w Instytucie Konstrukcji Budowlanych Politechniki Śląskiej szkieletowym systemie SBD [1]. Przed wdrożeniem systemu SBD do praktyki budowlanej wykonano badania modelowe kielichowych połączeń słupów. W pracy przedstawiono opis, wyniki i analizę badań.

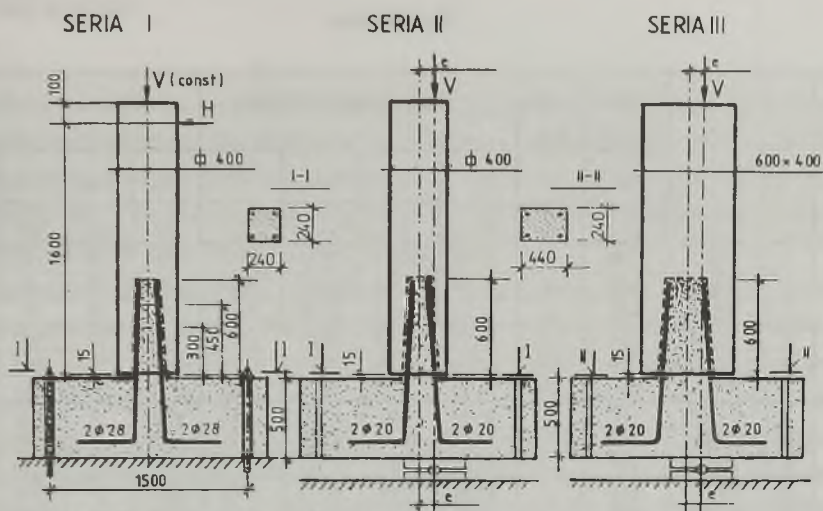
2. OPIS BADAŃ

Zbadano łącznie 24 modele w skali naturalnej, zgrupowane w 3 seriach (tabl. 1). Wszystkie modele składały się z odcinków wykonanych wcześniej prefabrykowanych słupów z kielichami, które następnie łączono ze sztywnymi podstawami, za pośrednictwem żelbetowych trzpieni. Konstrukcję modeli i schemat obciążeń zilustrowano na rys.1. Na rysunku 2 przedstawiono zbrojenie kielichów. Wszystkie modele badano aż do zniszczenia, stopniowo narastającymi siłami (V , H), działającymi w sposób statyczny.

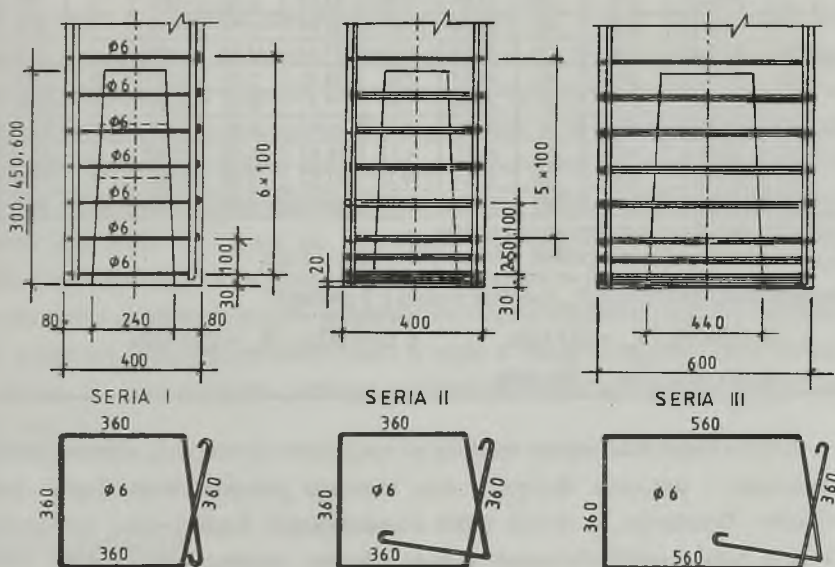
Seria I składała się z 6 modeli ze słupami o przekroju poprzeczym 400×400 mm i z kielichami o zmiennej głębokości 300, 450 i 600 mm. Zbrojenie trzpieni stanowiły każdorazowo po 4 pręty $\phi 28$ mm ze stali St0S. Trzy modele (ZSI-1, ZSI-2, ZSI-3) badano przy obciążeniu słupa jedynie poziomą siłą H na ramieniu 1,6 m względem podstawy. Pozostałe 3 modele (ZSI-4, ZSI-5, ZSI-6) obciążono jednocześnie siłą poziomą H na ramieniu 1,6 m i stałą co do wartości siłą pionową $V = 100$ kN. W serii I analizowano głównie wpływ głębokości kielicha na zachowanie się połączeń pod obciążeniem.

Seria II obejmowała 12 modeli ze słupami o przekroju poprzeczym 400×400 mm, z kielichami o głębokości 600 mm i trzpieniami zbrojonymi 4 prętami $\phi 20$ mm ze stali 18G2. Jeden z modeli (ZSII-7) miał na dnie kielicha wkładkę ze styropianu. Modele obciążano aż do zniszczenia osiowo lub mimośrodowo działającą siłą pionową V (rys. 1). Mimośrodowo e siły przebiegającej przyjmowano równe 0, 60, 120 mm względem osi słupów.

Serię III stanowiło 6 modeli ze słupami prostokątnymi o wymiarze przekroju poprzecznego 400×600 mm. Zbrojenie trzpieni stanowiły 4 pręty $\phi 20$ mm 18G2. Modele obciążano jak w serii II pionową siłą działającą na mimośrodkach 0, 60, 120 i 180 mm względem osi słupa, w kierunku jego dłuższego boku.



Rys. 1. Modele do badań
Fig. 1. The test specimens



Rys. 2. Zbrojenie kielichów stóp
Fig. 2. Reinforcing of the column sockets

Tablica 1

Wyniki badań

Se- ria	Lp	Model	Głęb. kielichia	Mimo śród	Wytrzymał. betonu na ściskanie				Siła rysująca		Siła niszcząca	
					słup		trzcien		V_{rys}	H_{rys}	V_{obs}	H_{obs}
			h_k	e	$R_{\square 15}$	ν	$R_{\square 15}$	ν				
			mm	mm	MPa	%	MPa	%				
I	1	ZSI-1	300	∞	22.56	12.44	29.33	9.57	0	9	0	13
	2	ZSI-2	450	∞	22.56	12.44	28.31	10.27	0	18	0	25
	3	ZSI-3	600	∞	22.56	12.44	20.98	9.61	0	30	0	30
	4	ZSI-4	300	376	22.56	12.44	29.07	13.55	100	22	100	23.5
	5	ZSI-5	450	672	22.56	12.44	29.91	9.38	100	38	100	42
	6	ZSI-6	600	800	22.56	12.44	15.20	3.52	100	40	100	50
II	7	ZSII-1	600	0	42.59	4.18	36.89	3.92	1600	0	2050	0
	8	ZSII-2	600	0	32.78	6.07	28.85	5.91	1900	0	2500	0
	9	ZSII-3	600	0	22.48	8.84	27.61	3.73	850	0	1790	0
	10	ZSII-4	600	0	22.48	8.48	28.93	4.79	1250	0	2400	0
	11	ZSII-5	600	0	22.48	8.48	27.82	5.46	1250	0	2200	0
	12	ZSII-6	600	0	32.26	7.16	32.70	4.15	1200	0	2850	0
	13	ZSII-7*	600	0	31.63	10.63	22.22	3.79	1090	0	1090	0
	14	ZSII-8	600	60	31.91	5.23	38.71	5.92	1200	0	1700	0
	15	ZSII-9	600	60	27.01	4.93	37.26	4.97	800	0	1380	0
	16	ZSII-10	600	120	35.47	3.36	34.67	2.92	600	0	900	0
	17	ZSII-11	600	120	29.74	5.87	21.62	6.70	600	0	1050	0
	18	ZSII-12	600	120	28.19	6.09	27.74	13.51	600	0	1000	0
III	19	ZSIII-1	600	0	22.29	7.66	34.09	5.07	1350	0	2400	0
	20	ZSIII-2	600	0	21.66	5.84	25.57	8.51	1100	0	2400	0
	21	ZSIII-3	600	0	21.79	7.19	28.46	5.95	1200	0	3200	0
	22	ZSIII-4	600	60	34.73	4.51	28.82	6.68	1500	0	3100	0
	23	ZSIII-5	600	120	27.14	4.25	23.53	3.18	1300	0	2100	0
	24	ZSIII-6	600	180	27.41	5.72	29.07	3.21	500	0	1600	0

* - model z wkładką ze styropianu na dnie kielicha

 $R_{\square 15}$ - wartość średnia z 6 próbek kostkowych o boku 15 cmGranica plastyczności stali R_{ae} (wartość średnia z 3 próbek): $\phi 6$ (StOS) - $R_{ae} = 253$ MPa, $\phi 28$ (18G2) - $R_{ae} = 320$ MPa $\phi 20$ (18G2) - $R_{ae} = 362$ MPa

Podczas badań dokonywano rejestracji sił rysujących i niszczących, obserwowano sposób zarysowania i niszczenia elementów oraz mierzono przemieszczenia słupów względem podstawy. Dodatkowo, w ramach badań uzupełniających, kontrolowano wytrzymałość na ściskanie betonu prefabrykowanych słupów i betonu wypełniającego kielichy. Parametry wytrzymałościowe stali zbrojeniowej uzyskano z próby zrywania odcinków prętów zbrojeniowych w maszynie wytrzymałościowej.

3. WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań zestawiono w tablicy 1 podając w niej parametry wytrzymałościowe betonu i stali oraz wartości sił rysujących i niszczących. Zniszczenie modeli serii I, obciążonych głównie momentem zginającym $M = Hh$, następowało poprzez rozrywanie ścianek kielichów słupów. W modelach serii I stwierdzono korzystny wpływ dodatkowej siły ściskającej oraz wzrostu głębokości kielicha na nośność oraz sztywność połączenia.

Zniszczenie modeli serii II i III obciążanych osiową lub mimośrodową siłą pionową miało zasadniczo gwałtowny charakter. Pierwsze zarysowania pojawiły się na ściankach kielicha w postaci pionowych rys, przy obciążeniach wynoszących około 0,7 wartości obciążenia niszczącego. W modelach obciążanych siłą mimośrodową widoczne były, oprócz rys pionowych, zarysowania ukośne na bocznych płaszczyznach równoległych do płaszczyzny momentu zginającego. Następnie obserwowano dalszy rozwój zarysowań na powierzchniach kielichów aż do zniszczenia, które obejmowało zarówno kielich, jak i słup wraz z żelbetowym trzpieniem wypełniającym kielich. Obrazy zarysowań modeli przedstawiono na rys.3.

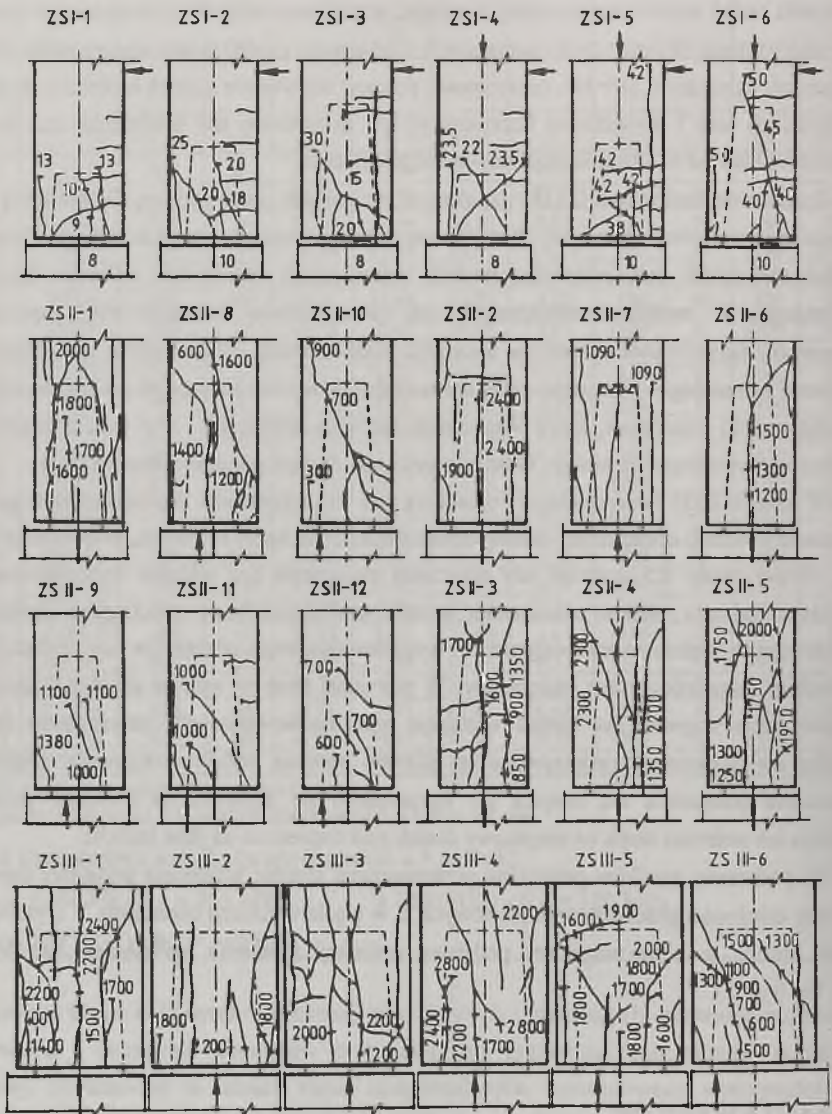
W modelu ZSII-7 z wkładką styropianową pod trzpieniem (siła V przekazywana głównie na ścianki kielicha) obciążonym osiowo zniszczenie miało nagły charakter, przy poziomie siły V_{obs} równej około 0,5 wartości siły niszczącej połączenia bez wkładki styropianowej. Na podstawie takiego obrazu zniszczenia można wnioskować, że mechanizm zniszczenia analizowanych kielichowych połączeń w wypadku osiowego obciążenia lub obciążenia na niewielkim mimośrodku jest następujący. W pierwszej fazie w wyniku silnego "klinowego" oddziaływania trzpienia na kielich następuje jego zarysowanie. Po zarysowaniu ścianek kielicha siły ściskające przekazywane są głównie poprzez podstawę trzpienia. Ostateczne zniszczenie połączenia ma miejsce po wyczerpaniu się nośności na ściskanie przekroju trzpienia lub nośności słupa na miejscowy docisk pod trzpieniem na dnie kielicha.

Na podstawie wyników pomiarów przemieszczeń słupów względem podstawy uzyskano wykresy zależności przemieszczeń pionowych Δ w węźle w funkcji obciążenia V (rys. 4) oraz kątów obrotu φ słupa względem podstawy w funkcji momentu zginającego $M = Vh$ lub $M = Ve$ (rys. 5).

4. ANALIZA WYNIKÓW

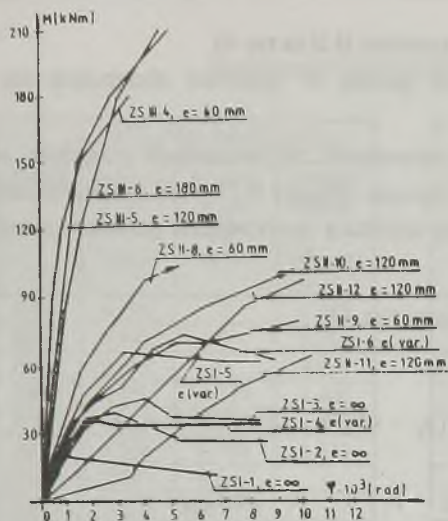
Na podstawie uzyskanych zależności $\Delta-V$ oraz $\varphi-M$ określono współczynniki podatności połączeń w zakresie obciążeń 0+0,5 obciążenia niszczącego V_{bad} . Określono współczynnik

podatności podłużnej (C_V) oraz współczynnik podatności giętej (C_M). Wartości uzyskanych podatności C_V i C_M zestawiono w tabelicy 2.

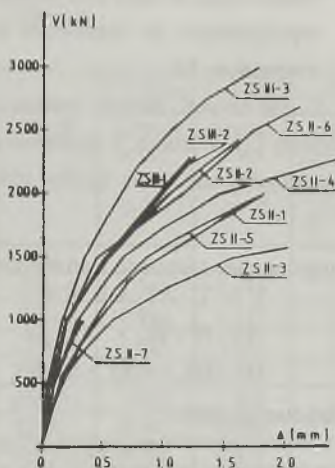


Rys. 3. Obrazy zarysowania modeli

Fig. 3. The crack patterns of the models



Rys. 4. Zależność Δ -V
Fig. 4. Δ -V relationship



Rys. 5. Zależność ϕ -M
Fig. 5. ϕ -M relationship

Tablica 2

Współczynniki podatności badanych modeli

Lp.	Model	C_V MN/m	C_M MNm/rad
1	ZSI-1	-	37.5
2	ZSI-2	-	33.5
3	ZSI-3	-	26.7
4	ZSI-4	-	45.0
5	ZSI-5	-	42.0
6	ZSI-6	-	26.7
7	ZSII-1	2083	-
8	ZSII-2	3750	-
9	ZSII-3	1800	-
10	ZSII-4	2927	-
11	ZSII-5	2200	-
12	ZSII-6	3500	-

Lp.	Model	C_V MN/m	C_M MNm/rad
13	ZSII-7	-	38.5
14	ZSII-8	-	25.5
15	ZSII-9	-	27.3
16	ZSII-10	-	18.0
17	ZSII-11	-	7.5
18	ZSII-12	-	10.9
19	ZSIII-1	3630	-
20	ZSIII-2	3640	-
21	ZSIII-3	4000	-
22	ZSIII-4	-	180
23	ZSIII-5	-	100
24	ZSIII-6	-	67

Obliczeniową nośność badanych połączeń określono z 3 warunków:

1. ściskania z uwzględnieniem mimośrod e w miejscu przewężenia w płaszczyźnie styku kielicha z podstawą (przekrój I-I na rys. 6),

2. miejscowego docisku pod trzpieniem (przekrój II-II na rys. 6),
3. wytrzymałości na rozerwanie ścianek kielicha w modelach obciążonych siłą V i momentem M .

W pierwszych dwóch warunkach zastosowano w obliczeniach procedury normy żelbetowej [2]. Warunek 3 sprawdzono przyjmując zalecany w [3, 4, 5] model obliczeniowy uwzględniający siły tarcia między ściankami kielicha a wypełniającym go betonem trzpienia (rys. 6).

Dla tego modelu rozpisano warunki równowagi (rys. 6):

$$\begin{aligned} V + T_1 - T - R &= 0 \\ H + N - N_1 - T_2 &= 0 \\ M - Hh_k + Rr + N_1 \beta h_k - N(h_k - \alpha h_k) - T_1 b - 0,5 bV &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

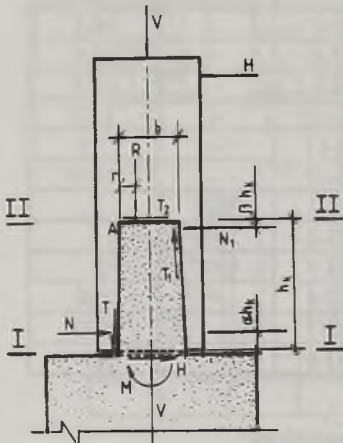
Dodatkowo przyjęto:

$$\begin{aligned} T &= N\mu, \quad T_1 = N_1\mu, \quad T_2 = 0, \quad R = 2rb\bar{R}_{\square 15}, \\ r &< 0,4b, \quad \alpha = 0,15, \quad \beta = 0,075 \end{aligned} \quad (2)$$

Wówczas siła N rozrywająca kielich wynosi:

$$N = \frac{M - H(0,925h_k + \mu b - \mu r) - V(0,5b - r)}{\mu b + 0,775h_k} \quad (3)$$

Z analizy niniejszych badań (serie I i II) wyznaczono wartość współczynnika tarcia $\mu = 1,0$ kalibrując wartość sił obliczeniowych po stronie bezpiecznej.



Rys. 6. Model obliczeniowy

Fig. 6. Calculated model

Porównanie wyników badań i obliczeń wg wymienionych wyżej warunków i metod, przy przyjęciu średnich wartości wytrzymałości betonu i stali badanych modeli, zestawiono w tabelicy 3.

W modelach serii I, obciążanych głównie momentem zginającym o obliczeniowej nośności, decyduje wytrzymałość kielicha. W modelach serii II i III, obciążonych osiowo siłą V lub siłą V na stosunkowo małym mimośrodku $e < 0,18$ m, o obliczeniowej nośności decydują zarówno wytrzymałość kielicha, jak i trzpienia oraz słupa (przekroje I-I i II-II wg rys. 6).

Tablica 3

Porównanie wyników badań i obliczeń

Lp	Model	V_{obs}/V_{cal} lub H_{obs}/H_{cal}		
		nośność w prz. I-I rys. 6	nośność w prz. II-II rys. 6	nośność kielicha wg modelu na rys. 6
1	ZSI-1	0.290	0	1.463
2	ZSI-2	0.561	0	1.104
3	ZSI-3	0.676	0	0.939
4	ZSI-4	0.470	0.190	1.406
5	ZSI-5	0.840	0.196	1.402
6	ZSI-6	1.000	0.198	1.310
7	ZSII-1	0.795	0.742	-
8	ZSII-2	1.181	1.177	-
9	ZSII-3	0.876	1.229	-
10	ZSII-4	1.132	1.647	-
11	ZSII-5	1.070	1.510	-
12	ZSII-6	1.219	1.363	-

Lp	Model	V_{obs}/V_{cal} lub H_{obs}/H_{cal}		
		nośność w prz. I-I rys. 6	nośność w prz. II-II rys. 6	nośność kielicha wg modelu na rys. 6
13	ZSII-7	-	-	-
14	ZSII-8	1.360	1.644	1.036
15	ZSII-9	0.884	1.577	1.094
16	ZSII-10	1.058	0.944	1.332
17	ZSII-11	2.240	1.313	1.555
18	ZSII-12	1.491	1.320	1.480
19	ZSIII-1	0.592	0.840	-
20	ZSIII-2	0.761	0.877	-
21	ZSIII-3	0.925	1.146	-
22	ZSIII-4	1.384	0.965	0.758
23	ZSIII-5	1.758	1.111	1.908
24	ZSIII-6	1.165	0.947	1.518

5. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono:

- korzystny wpływ zwiększenia głębokości kielicha na nośność,
- spadek nośności połączeń wraz ze wzrostem mimośrodowo pionowej siły V ,
- zbliżoną do liniowej zależność momentu zginającego M do kąta obrotu wężła ϕ do poziomu około 0,7 wartości obciążenia niszczącego,
- średnią wartość współczynnika podatności podłużnej od $C_V = 2710$ MN/m dla słupów o przekroju 400×400 mm do $C_V = 3760$ MN/m dla słupów 600×400 mm,
- średnią wartość współczynnika podatności giętej od $C_\phi = 28$ MNm/rad dla słupów 400×400 mm do $C_\phi = 115$ MNm/rad dla słupów 600×400 mm,
- obliczeniową nośność kielichowych połączeń sprawdzać należy z 3 warunków: wytrzymałości trzpienia na mimośrodowe ściskanie, wytrzymałości na docisk pod trzpieniem i wytrzymałości na rozerwanie ścianek kielicha.

LITERATURA

- [1] Starosolski W.: System SBD, geneza i kształtowanie rozwiązań konstrukcyjnych, Przegląd Budowlany, 1990, nr 10, s. 395÷399.
- [2] PN-84/B-03264 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [3] Osanai Y., Watanabe F., Okamoto S.: Stress transfer mechanism of socket base connection with precast concrete column. FIP Symposium'93, Kyoto, Japan, s. 1023 ÷1030.
- [4] Polonyi S.: Einige Gedanken über uissenschaftlihen stand der Baustatik. Bautechnik, z.1, 1981, s. 1÷6.
- [5] Willert O., Kessler E.: Fundamente für fusseinges - pannte Fertigteilstützen. Betonwerk + Fertigteile + Technik, Heft 3, 1983, s. 137÷142.

Recenzent: Dr hab. inż. Artem Czkwianianc

Wpłynęło do Redakcji 20.05.1995 r.

Abstract

The description, results and the analysis of test results of the R.C. socket connections are presented in the paper. An experimental program has been conducted on 24 specimens divided into 3 series (Table 1). Columns and sockets were made as prefabricated elements. Afterwards sockets were joined monolithically with the basis of columns which were made as in-situ concrete. The dimensions and the scheme of applied load are shown in Fig.1 and Fig.2. The axial or eccentric load was applied to specimens to failure. Cracking and ultimate loads (Table 1), displacements and the angles of rotation related to the base of the column (Fig. 3÷5) were measured during testing specimens. The pattern of cracks and failure were recorded as well. On the basis results the coefficient of longitudinal and flexural flexibility of tested connections were defined.

The load-carrying ability of connections was checked for the eccentric compressive strength, pressure and the failure of sockets walls. The load-carrying ability of sockets was calculated according to the model presented in Fig. 6. This model takes into consideration friction forces on the walls of the socket (Equation 1÷3).

The test results of measured and calculated forces are compared in Table 3. Some conclusions derived from experimental investigations and theoretical analyses are presented in chapter 5.