



IŠILGINIO ARMAVIMO POVEIKIS GELŽBETONINĖS PLOKŠTĖS PRASPAUDŽIAMAJAI LAIKOMAJAI GALIAI

Dainius Šakinis, Povilas Vainiūnas

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva
El. paštas gelz@st.vgtu.lt

Įteikta 2009 05 04; priimta 2009 06 12

Santrauka. Šiame darbe pateikti gel betonini plokščių su skirtingu išilginio armavimo intensyvumu —, veikiančių sutelktajai apkrovai, eksperimentini tyrim rezultatai. Tiesiogiai matuota gel betonini plokščių ardomoji praspaudiamoji jėga. Išmatuotos plokščių gniu domosios zonos radialinės ir tangentinės krypties deformacijos, pateiktos šios deformacij kreivės. Nustatyta, kad praspaudimo k ggio paviršius, nepriklausomai nuo išilginio armavimo intensyvumo —, sudaro su plokščių apatiniu (gniu domu) paviršiumi ~35° kampą. Palizavus radialines ir tangentines deformacij kreives, si loma faktin kritin pj v priimti ~0,5l atstumu nuo kolonos paviršiaus. Išilginio armavimo intensyvumo — takos faktorius, išreikštas kaišio efekto atstojam ja skersine jega V_{d1} , sudaro 40–50 % ardomosios jegos.

Reikšminiai žodžiai: gel betonini plokščių praspaudimo stipris, kritinis pj vis, kritinis perimetras, išilginio armavimo intensyvumas —, kaišio efektas.

1. Įvadas

•vairi šali projektavimo normose (Eurocode2, STR 2.05.05, BS 8110, EN 1045-1, ACI 318, SNIP 2.03.01–84*) gel betonini plokščių praspaudimo stiprio skai iavimo metodikose realizuotas pusiau empirinis kritinio pj vio metodas, ta iau d l skirting skai iuojam j parametr : betono ribini šlyties tempi praspaud iant aproksimacijos laipsnine funkcijaⁿ, išilginio armavimo intensyvumo vertinimo, kritinio pj vio atstumo nuo kolonos paviršiaus, kritinio perimetro geometrijos skai iavimo rezultatai skiriasi.

Ribini šlyties tempi aproksimacijai Eurocode2, STR 2.05.05, BS 8110, EN 1045-1, ACI 318 skai iavimo metodikose naudojamas betono gniu domasis stipris f_c , norm SNIP 2.03.01-84* skai iavimo metodikoje – betono tempiamasis stipris Normose Eurocode2, STR 2.05.05, BS 8110, EN 1045-1 išilginio armavimo intensyvumas vertinamas aproksimuojant ribinius šlyties tempus, o šis parametras norm ACI 318 ir SNIP 2.03.01-84* skai iavimo metodikose nevertinamas. Pagal Eurocode2 kritinio pj vio atstumą nuo kolonos paviršiaus yra 1/2 normose STR 2.05.05,

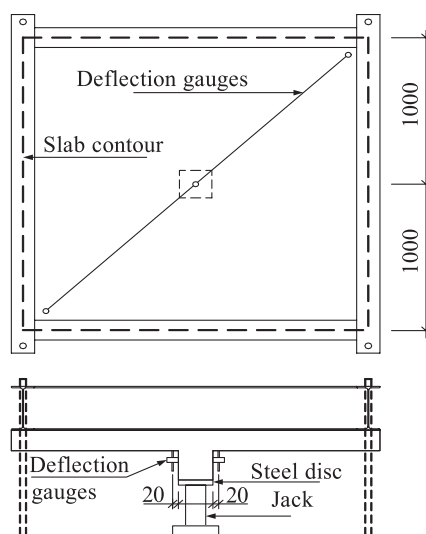
BS 8110, EN 1045-1 – 1/5, o normose ACI 318, SNIP 2.03.01-84* – 0,45 (1 pav.). Esant skirtingam kritinio pj vio atstumui nuo kolonos paviršiaus skiriasi ir praspaudimo k ggio kampas, atitinkamai 26,6°, 33,7° ir 45°.

Vainiūnas *et al.* (2002, 2004), Šakinis *et al.* (2004) palygino projektavimo normas ir kitas skai iavimo metodikas, atliko skaitinius eksperimentus. Autoriai nustatė, kad plokščių praspaudimo stipriui didiausi tak , be betono šlyties tempi kritiniame pj vyje, turi išilginio armavimo intensyvumas —. Daroma išvada, kad išilginio armavimo intensyvumė did jimas keičia praspaudimo k ggio kamp , o kartu ir kritinio pj vio atstum nuo kolonos paviršiaus. Did jant kritinio pj vio atstumui nuo kolonos paviršiaus, did ja kritinio perimetro ilgis, kartu did ja gel betonini s plokšt s praspaud iamoji laikomoji galia.

Zabulionis *et al.* (2006) atliko plokščių ir kolonos jungties be skersinio armavimo projektavimo norm skai iavim metodik statistin analiz . Nustatė, kad tiksliausiai plokšt s praspaudimo stipr aprašo Eurocode2 skai iavimo metodika, taip pat ACI 318 skai

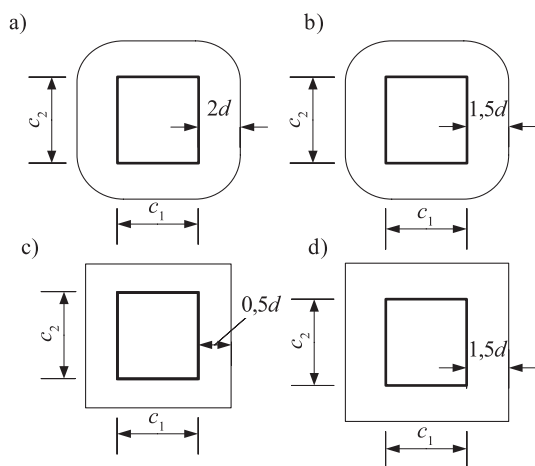
avimo metodika, nevertindama išilginio armavimo intensyvumo —, ne neša didelės paklaidos apskaičiuojant plokštės praspaudimo stiprą. Kadangi projektavimo normos skiria avimo metodikoje skiriasi kritinio pjūvio atstumas nuo kolonos paviršiaus, kritinio perimetro geometrija (1 pav.) ir ribiniai šlyties tempi, veikiančiai kritiniame pjūvyje, aproksimacija, galima teigti, kad kritinio pjūvio atstumas nuo kolonos paviršiaus yra sutartinis dydis, o ribiniai šlyties tempi, veikiančiantys kritiniame plokštės pjūvyje, kalibruojami pagal eksperimentinius tyrimų rezultatus.

Išilginio armavimo intensyvumui taktai gelžbetoninės plokštės praspaudžiamajai laikomajai galiai ištyrinti, kritinio pjūvio atstumui nuo kolonos paviršiaus nustatyti atliktas eksperimentas. Eksperimento rezultatai skelbiami šiame darbe.



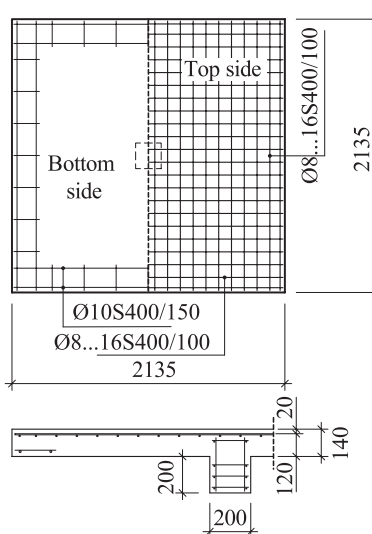
2 pav. Bandyto stendas

Fig. 2. Test stand



1 pav. Kritinis perimetras esant tarpinei kolonai:
a – Eurocode2; b – EN 1045-1, STR 2.05.05;
c – ACI 318, SIP 2.03.01-84*; d – BS 8110

Fig. 1. Critical perimeter with an interior column:
a – Eurocode2; b – EN 1045-1, STR 2.05.05;
c – ACI 318, SIP 2.03.01-84*; d – BS 8110



3 pav. Plokštės armavimas

Fig. 3. Slab reinforcement

2. Eksperimentas

Pagamintos ir išbandytos penkios serijos bandinių iš viso dešimt plokščių. Plokštės visuose konturuose montuotos plieninės traversos (2 pav.). Apkrova iki plokštės suirimo praspaudžiant buvo didinama pakopomis kas 10 kN.

Bandinių matmenys – 2135×2135×140 mm, kolonos galvenos matmenys – 200×200×200 mm (3 pav.). Išilginio armavimo intensyvumas – 0,449–1,90 %, armatūros strypų skersmuo – 8–16 mm, armatūra su išreikštais tankumo tempiais, stiprumo klasė S400 pagal STR 2.05.05, strypų išdėstymo intervalas – 100 mm (3 pav.). Visose plokštėse išilginis armatūros apsauginis betono sluoksnis –

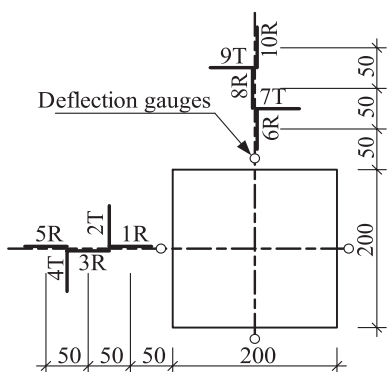
20 mm. Betono kubelinis gniu domasis stipris $f_{c,tube} = 33,4–46,6$ MPa. Betono kubelinis gniu domasis stipris nustatytas bandant etaloninius kubelius 150×150×150 mm, imties dydis – 8 vnt. Plokščių geometriniai ir mechaniniai parametrai pateikti 1 lentelėje.

Eksperimento metu išmatuota plokščių ardymo vieta praspaudimo įgaubimo zonos radialinės ir tangentinės krypties deformacijos (4 pav.), kolonos galvenos poslinkiai. Radialinės krypties deformacijai matavimui jutikliu parinkta raide R , tangentinės krypties deformacijai matavimui jutikliu parinkta raide T . Jutiklių matavimo pagrindas – 50 mm. Matuojamam vertinimui rodmenys ksuoti apkrovimo pakopos pradėje.

1 lentelė. Geometriniai, mechaniniai plokščių parametrai

Table 1. Geometrical, mechanical parameters of the slabs

Serija	Plokštė			Armatūra		Betonas	Ardomoji jėga
	Nr.	h , mm	d , mm	\varnothing , mm	—, %	f_{cm} , MPa	V_{exp} kN
1	PP-04.1	140	112	8	0,449	44,4	325,1
	PP-04.2	140	112	8	0,449	44,4	331,8
2	PP-07.1	140	110	10	0,718	39,2	295,1
	PP-07.2	140	110	10	0,718	39,2	372,7
3	PP-10.1	140	108	12	1,000	46,6	374,0
	PP-10.2	140	108	12	1,000	46,6	402,9
4	PP-15.1	140	106	14	1,500	34,0	374,4
	PP-15.2	140	106	14	1,500	34,0	401,8
5	PP-20.1	140	104	16	1,900	33,4	446,4
	PP-20.2	140	104	16	1,900	33,4	436,0



4 pav. Gniu domosios zonos matavimo ranga

Fig. 4. Measuring equipment of the compression zone

3. Rezultatai

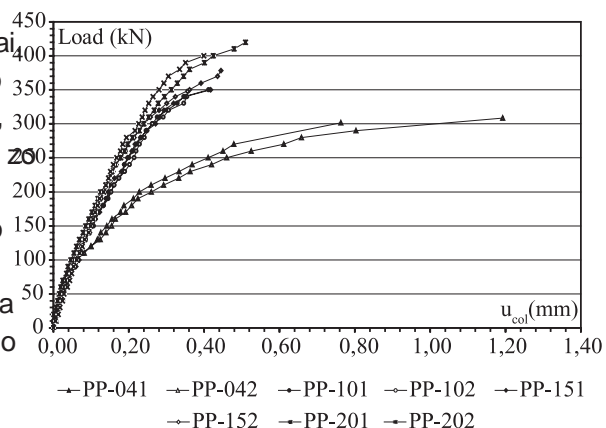
Plokštės viršutinis paviršius ima pleišti ties atraminėmis kolonoms. Šalia kolonos galvenos susiformuoja pirmi plyšiai tangentine kryptimi – tangentiniai plyšiai, šiek tiek vėliau pradeda formuotis plyšiai radialine kryptimi – radialiniai plyšiai, kurie per palyginti trumpą laiką plokštės atraminius kraštus (pav.). Plokštė pleišta radialine kryptimi, kol suvokiamai apkrova tampa artima ardomoji praspaudimo jėga, atstumu (1,5–2) nuo kolonos paviršiaus formuojasi tangentiniai plyšiai, kurie susijungia vienam plyšimui ir suirimo metu suformuoja viršutinį praspaudimo kugio paviršių. Visos plokštės, išskyrus plokštę PP-04, suvokiamai artima ardomoji praspaudimo kugio paviršius, gniu domosios zonos betonas nesutrūskintai nuo radialinių deformacijų, tangentinės krypties deformacijos vystosi proporcingai apkrovos prieaugiui iki pat plokštės suirimo.

Plokštėse PP-04, kai apkrova artima ardomoji praspaudimo jėgai, kolonos zonoje atsiveria didelio pločio tangentiniai plyšiai, didėja kolonos galvenos poslinkio prieaugis (pav.). Tai rodo, kad išilginėje armatūroje pasiekiami takumo tempiai, ypač išilginėje armatūroje pasiekiami reikšiami plastinės deformacijos.



5 pav. Plokštės PP-20.1 viršutinio paviršiaus plyšiai ir praspaudimo kugis

Fig. 5. Cracks on the top surface of the slab PP-20.1 and the punching cone



6 pav. Kolonos galvenos poslinkiai

Fig. 6. Displacements of the head of the column

Vis plokščių gniu-domosios zonos išoriniame sluoksnyje radialiniai ir tangentiniai krypiai deformacijų matuojamos vertės iki apkrovos 0,5, kinta tiesiškai, proporcingai apkrovos prieaugiui. Didinant apkrovą, vyksta staigus radialinių deformacijų kreivių išsilenkimas. Tai rodo, kad ties atrama kėlon plokštės tryje atsirado striasių plyšys. Jo atsiradimas ir vystymasis didinant apkrovą sukelia gniu-domų betoninių deformacijų persiskirstymą (7–11 pav.). Radialinių krypties deformacijos po striuotu plyšių nustoja didėti, jų prieaugio vidurkis artimas nuliui, o radialiniai deformacijos prieaugis virš striuoto plyšio viršinsis ir toliau didėja proporcingai apkrovos prieaugiui. Plokštėse PP-04 ir PP-07 striasių plyšys pirmiausia atsiranda zonoje 5R ir 8R, kai apkrovos $V = (0,45–0,55) V_u$, zonos 1R ir 6R striuoto plyšio viršinsis ir toliau didėja proporcingai apkrovos prieaugiui.

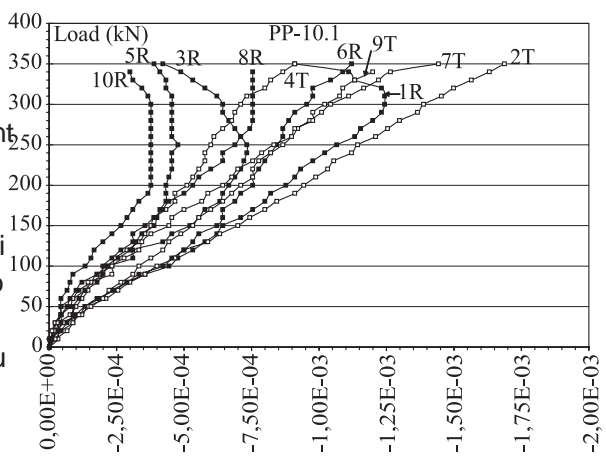
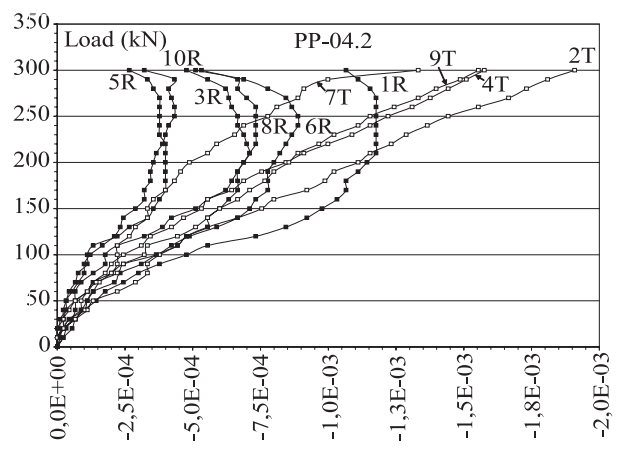
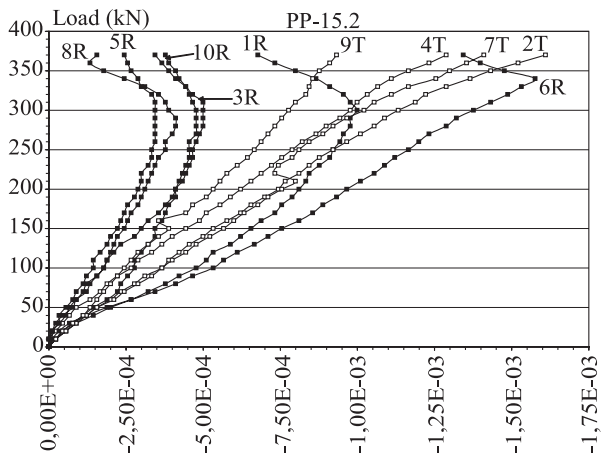


Fig. 9. Radial and tangential deformation curves in the bottom layer of the compression zone of the slab PP-10.1



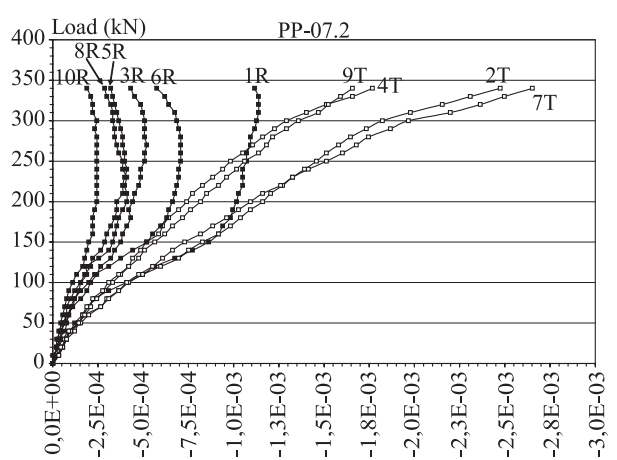
7 pav. Radialiniai ir tangentiniai deformacijų kreivės apatiniame gniu-domame sluoksnyje, plokštė PP-04.2

Fig. 7. Radial and tangential deformation curves in the bottom layer of the compression zone of the slab PP-04.2



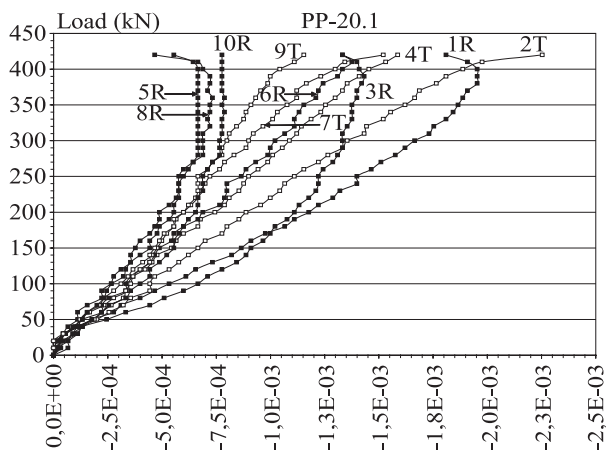
10 pav. Radialiniai ir tangentiniai deformacijų kreivės apatiniame gniu-domame sluoksnyje, plokštė PP-15.2

Fig. 10. Radial and tangential deformation curves in the bottom layer of the compression zone of the slab PP-15.2



8 pav. Radialiniai ir tangentiniai deformacijų kreivės apatiniame gniu-domame sluoksnyje, plokštė PP-07.2

Fig. 8. Radial and tangential deformation curves in the bottom layer of the compression zone of the slab PP-07.2



11 pav. Radialiniai ir tangentiniai deformacijų kreivės apatiniame gniu-domame sluoksnyje, plokštė PP-20.1

Fig. 11. Radial and tangential deformation curves in the bottom layer of the compression zone of the slab PP-20.1

pasiekia, kai apkrova $\bar{v} = (0,50-0,65)v_u$. Plokšt se PP-10, PP-15 ir PP-20 stri asis plyšys zonos 5R ir 8R 10R susiformuoja esant apkrovai $\bar{v} = (0,65-0,75)v_u$, zonos 1R ir 6R esant apkrovai $\bar{v} = (0,90-0,93)v_u$. Kai apkrova artima ardomajai praspaudimo įgij radia lini deformacij kreiv s atsilenkia, matuojam ver i prieaugis kei ia enkl . Plokšt se PP-04 ir PP-07 kreit empi b viui (12 pav.). Remiantis prielaida, kad v s atsilenkia, kai apkrova $\bar{v} = 0,90v_u$, plokšt se PP-10, PP-15 ir PP-20, kai apkrova $\bar{v} = (0,90-0,95)v_u$.

Taip radialin s krypties deformacij kreiv s at silenkia pasireiškus tempimo efektui d l sušlyjam osin j ga u rašoma tokia lygtimi: gniu domosios zonos ties atrama kolon .

Gniu domosios zonos radialin s ir tangentin s kryp ties deformacijos plokštei yrant nepasiekia betono ribini gniu dom j deformacij , kurios projektavimo normose siekia 3,50 ~. Zonoje 1R ir 6R radialin s krypties defor macij vidurkis – 1,6 ~, tangentin s krypties deforma cij vidurkis – 1,8 ~. Galima daryti išvad , kad plokšt suyra viršijus ribinius šlyties tempius zonoje 1R ir 6R normaliniame pj vyje atstumu ~0,5 nuo kolonos pavir šiaus. Šis normalinis pj vis atstumu 0,5 nuo kolonos pa viršiaus ir bus kritinis pj vis, o perimetras atstumu 0,5 nuo kolonos paviršiaus – kritinis perimetras.

Vis plokš i praspaudimo k gio paviršius suda r su plokšt s apatiniu paviršiumi artim ~35° kamp (5 pav.).

4. Rezultatų analizė

Ribinis b vis gel betonin je plokšt je praspaud iant gali b ti sivaizduojamas taip: atsirad s stri asis-ply šys, kai tempiai jo virš n je, didinant apkrov , pasie kia kritines vertes, nuolat vystosi kai tempiai betone virš stri ojo plyšio virš n s pasiekia kritinius dyd ius, stri asis plyšys vystosi staigiai koncentruotos apkro vos prid jimo kryptimi – plokšt s gniu doma zona nukerpama.

Atlaikom j skersin j g galima u rašyti tokia lygtimi:

$$V_u = V_c + V_a + V_d,$$

ia: V_c – gniu domosios zonos betono atstojamoji skersin j ga; V_a – sukibimo j g efekto atstojamoji skersi n j ga; V_d – kaiš io efekto atstojamoji skersin j ga.

Remiantis eodorakopoulos *et al.* (2002), suki bimo j g efektas aktyvizuojasi tik po to, kai susidaro stri asis plyšys, o kai apkrova artima suirimo apkr o vai, d l stri ojo plyšio plo io padid jimo šis efektas iš nyksta. Ŗkiu atveju lygt (1) galima perrašyti taip:

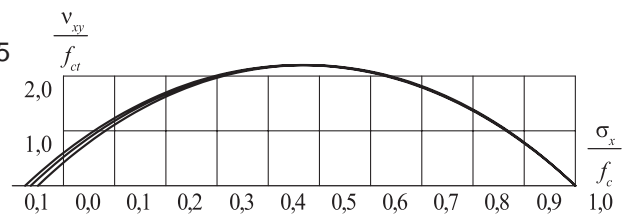
$$V_u = V_c + V_d.$$

Kadangi gniu domosios zonos išorinio paviršiaus radialin s krypties deformacijos 2–3 kartus ma esn s u ribines betono gniu dymo deformacijas, tai gniu domosios zonos betono skersin s j gos atstojam j ga lima rasti pasinaudojus Zales *et al.* (1973) darbuose pateiktu betono stiprumo kriterijumi esant dviašiam šlyties tempiai, atstumu 0,5 nuo kolonos paviršiaus gniu dymo zonos aukštyje pasiskirst pagal parabol s kreiv , gniu domosios zonos betono atstojamoji sker

silenkia pasireiškus tempimo efektui d l sušlyjam osin j ga u rašoma tokia lygtimi:

$$V_c = \int_0^x v_{xy} u dx = \frac{2}{3} v_{xy} u x = \frac{2}{3} 2,2 f_{ct} u x, \tag{3}$$

ia: v_{xy} – kritiniai šlyties tempiai gniu domosios zonos x aukštyje; $f_{ct} = 0,273 \sqrt{f_{c,cube}^2}$ – betono tempiamasis stipris; u – kvadratinio kritinio perimetro ilgis 0,5 atstumu nuo kolonos paviršiaus.



12 pav. Stiprumo kriterijus esant dviašiam tempim b viui

Fig. 12. Strength criterion under biaxial stress state

Gniu domosios zonos aukšt nagrin jamame kritiniame pj vyje atstumu 0,5 nuo kolonos pavir šiaus galima rasti pasinaudojus idealiai tamprus len kiamo k no deformacij suderinamumo ir atstojam j j g pusiausvyros lygtimis. Gniu domosios zonos išraiška pateikia Broms (1990a, 1990b, 2000).

$$x = npd \left(\sqrt{1 + \frac{2}{np}} - 1 \right), \tag{4}$$

$$n = \frac{E_s}{E_{c10}}, \tag{5}$$

$$E_{c0} = 21500 \left(\frac{f_c}{10} \right)^{1/3}, \tag{6}$$

$$E_{c10} = \left(1 - 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_c}{150} \right)^4 \right) \cdot E_{c0}, \tag{7}$$

ia: E_{c0} – betono pradinis tamprumo modulis; E_{c10} – ardamosios skersin s j gos, betono gniu domosios zo betono kirstinis deformacij modulis, kai betono de nos atstojamoji skersin j g α_c atitinkamai sudaro 50–formacijos 1,0 ~; E_s – armat ros tamprumo modulis; 60 % ardamosios skersin s j g α_s ir V_c did ja did - $f_c = 0,8 f_{c,cube}$ – betono cilindrinis gniu domasis stipris. jant išilginiam armavimo intensyvumui —

Išilgin s armat ros kaiš io efekto atstojam j skersin j g V_d u rašome pagal eodorakopoulos t al. (2000, 2002):

$$V_d = u_d l_c f_{ct}, \tag{8}$$

$$l_c = \frac{4,12}{0,26} \Phi^{2/3} \frac{1}{f_{c,cube}^{1/3}}, \tag{9}$$

$$u_d = 4(1,5d + c + 1,5d), \tag{10}$$

ia: l_c – kritinis ilgis; M – armat ros stryp skersmuo, u_d – kvadratinio perimetro ilgis $1,5$ atstumu nuo k α lonos paviršiaus; c – kolonos matmuo.

Kadangi praspaudimo k gio kampas yra ~35°, tai išilgin s armat ros kaiš io efekto atstojamajai skersinei j gai V_d skai iuoti kvadratinio perimetro u_d atstumas nuo kolonos bus atstumu $1,5$ skai iavimo rezultatai pateikti 2 lentel je.

5. Išvados

Remiantis eksperimentiniais tyrimo duomenimis gel betonin s plokšt s praspaud iamoji laikomoji galia- di d ja did jant išilginiam armavimo intensyvumui —.

Gel betonin s plokšt s praspaud iamasis suiri mas, kai išilginio armavimo intensyvumas $\leq 0,5$ %, vyksta išilginei armat rai pasiekus takumo tempius.

Išilginio armavimo intensyvumas — išreikštas kaiš io efekto atstojam ja skersine j g α , sudaro 40–50 %

Remiantis eksperimentiniais tyrimo duomenimis, nekintamo liaunio plokšt s su skirtingu išilginiu arma vimo intensyvumu — ir skirtingu betono gniu domuo ju stipriu kritinis pj vis yra ~0,5 atstumu nuo kole nos paviršiaus, praspaudimo k gio paviršius sudaro su plokšt s apatiniu (gniu domuoju) paviršiumi ~35° kamp .

Gniu domosios zonos ribin s radialin s ir tangen tin s krypties deformacijos did ja did jant išilginiam armavimo intensyvumui (7–11 pav.). Gniu domosios zonos radialin s ir tangentin s krypties deformacijos plokštei yrant nepasiekia betono ribini gniu dom j deformacij .

Literatūra

ACI Committee 318: Building Code Requirements for Reinforced Concrete. 1999. Detroit. American Concrete institute.
 Broms, C. E. 1990 Punching of Flat Plates A Question of Concrete Properties in Biaxial Compression Size Effect, *ACI Structural Journal* 87(3): 292-304.
 Broms, C. E. 1990 Shear Reinforcement for De...ection Dueltity of Flat Plates, *ACI Structural Journal* 87(6): 696-705.
 Broms, C. E. 2000. Elimination of Flat Plate Punching Failure Mode, *ACI Structural Journal* 97(1): 94-101.
 BS 8110: Structural Use of Concrete, Part 1: Code of Practice for Design and Construction. 1985. British Standards Institution. London.
 E DIN 1045-1: Concrete and Reinforced Concrete Design Code (Tragwerke aus Beton und Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion), 1999.
 Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings. 2004. 36 B-1050 Brussels.

2 lentelė. Teorini ir eksperimentini duomen palyginimas
Table 2. Comparison of theoretical and experimental data

Plokšt s Nr.	V_c , kN	V_d , kN	V_u , kN	V_{exp} , kN	V_u/V_{exp}	V_c/V_{exp}	V_d/V_{exp}
PP-04.1	155,0	129,9	284,9	325,1	0,876	0,477	0,400
PP-04.2	155,0	129,9	284,9	331,8	0,859	0,467	0,392
PP-07.1	176,0	143,0	319,1	295,1	1,081	0,596	0,485
PP-07.2	176,0	143,0	319,1	372,7	0,856	0,472	0,384
PP-10.1	211,2	169,1	380,4	374,0	1,017	0,565	0,452
PP-10.2	211,2	169,1	380,4	402,9	0,944	0,524	0,420
PP-15.1	211,9	166,8	378,8	374,4	1,012	0,566	0,446
PP-15.2	211,9	166,8	378,8	401,8	0,943	0,528	0,415
PP-20.1	223,8	179,2	403,0	446,4	0,903	0,501	0,401
PP-20.2	223,8	179,2	403,0	436,0	0,924	0,513	0,411

- eodorakopoulos D. D.; Swamy R. N. 2002. Ultimate punching shear strength analysis of slab-column connections, *Cement & Concrete Composites* 24: 509–521. doi:10.1016/S0958-9465(01)00067-7
- eodorakopoulos, D. D.; Swamy, R. N. 2000. An engineering model to predict the punching shear strength of slabs, in *Proceedings of the International Workshop on Punching Shear*, Stockholm, 91–98.
- STR 2.05.05: *Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas*, 2005.
- Šalna R.; Marjukaitis, G.; Vaininas, P. 2004. Estimation of factors influencing the punching shear strength of floor slabs *Journal of Civil Engineering and Management* 10(Supplement 2): 137–142.
- Vaininas, P.; Popov, V.; Armolajev A. 2002. Punching shear behavior analysis of RC flat floor slab-to-column connection, *Journal of Civil Engineering and Management* 8(2): 77–82.
- Vaininas, P.; Popov, V.; Armolajev A. 2004. Non-linear 3D modelling of RC slab punching shear failure, *Journal of Civil Engineering and Management* 10(4): 311–316.
- Zabulionis, D.; Šakinis, D.; Vaininas, P. 2006. Statistical analysis of design codes calculation methods for punching shear resistance in column-to-slab connections, *Journal of Civil Engineering and Management* 12(3): 205–213.
- Zalesov A.; Iljin, O. F. 1973. Load carrying capacity of reinforced concrete elements under shear force, *Concrete and Reinforced Concrete* 6: 19–20 (in Russian).
- СНИП 2.03.01-84*. [SNIP 2.03.01-84*] *Бетонные и железобетонные конструкции*, 1989.

INFLUENCE OF LONGITUDINAL REINFORCEMENT ON THE PUNCHING SHEAR RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE SLABS

D. Šakinis, P. Vainiūnas

Abstract. This work presents the results of experimental tests on reinforced concrete slabs with different longitudinal-reinforcement ratio — under concentrated load. Five series of specimen were made and tested, a total of ten slabs. The dimensions of the specimens were 2135×2135×140 mm (Fig. 3). Longitudinal reinforcement ratio was 0.49–1.90 %, the diameter of reinforcing bars was 8–16 mm, reinforcement bore yield stresses, spacing between bars was 100 mm. The protective concrete layer of the longitudinal reinforcement in all slabs was 20 mm. The cubic compressive strength of concrete was 33.4–46.6 MPa. In the course of the experiment the measurements of the collapsing punching force, the radial and tangential deformations of the compression zone were made, the curves of their expansion were given, displacements of the column head were measured on the surface of the punching cone, irrespective of the longitudinal reinforcement ratio —, the angle with the bottom (compression zone) surface of the slab. Deformations of radial and tangential directions in the compression zone during the course of cracking of the slab do not reach the ultimate compressive strains of concrete (3,50 ‰), the mean value of deformations in the radial direction is 1,6 ‰, the mean value of deformations in the tangential direction is 1,8 ‰, which allows to make a conclusion that the slab is punched-through under transverse collapsing force. The strength criterion of biaxial stress state proposed by Zalesov *et al.* (1973) and the expression of the resultant transverse force of the dowel action of the longitudinal reinforcement ratio as proposed by eodorakopoulos *et al.* (2002), were used to get the expression of the collapsing transverse force F_u , which is given in equation (2). The factor of the influence of longitudinal reinforcement ratio expressed through the resultant transverse force of the dowel action makes 40–50 % of the collapsing force, increases with increasing of the longitudinal reinforcement ratio —. The resultant transverse force of the compression zone of concrete in the critical section makes 50–60 % of the collapsing force, increases with increasing of the longitudinal reinforcement ratio —.

Keywords: punching shear resistance of reinforced concrete slabs, critical section, critical perimeter, longitudinal reinforcement ratio —, dowel action.

Dainius ŠAKINIS. MSc (CE), PhD student from 2003 at the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures at Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania. Research interests: mechanics of reinforced concrete, design of buildings.

Povilas VAINIŪNAS. Doctor, Professor. Dean of Civil Engineering Faculty at Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania. PhD (1970) from Kaunas Polytechnic Institute (presently Kaunas Technological University). Chairman of national group of International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE). Former vice president (1992-95) and board member (since 1995) of Association of European Civil Engineering Faculties (AESCEF). Chairman of scientific committee of biennial intern. conference „Modern building materials, structures and techniques“ held at Lithuania. Author and co-author of over 70 research papers. Research interests: mechanics of reinforced concrete, theory of durability and reliability, design of buildings, development of territory planning and building code system of Lithuania and real estate assessment.