

SUPLEIŠĖJUSIŲ GELŽBETONINIŲ SIJŲ-SIENUČIŲ ĮTEMPIŲ SKAIČIAVIMAS

Edvinas Averlingis, Kazys Šlezevičius, Jonas Roličius

Šiaulių universitetas

El. p.: averlingis@gmail.com, ansपो@tf.su.lt, joro@tf.su.lt

Įvadas

Pramoniniai ir civiliniai pastatai sudaro sudėtingas erdvinės ir plokštumines konstrukcijų sistemas. Vienos iš šių konstrukcijų yra sijos-sienutės.

Jos naudojamos ir kaip atitvarinės, ir kaip laikinės konstrukcijos. Sijos-sienutės plačiai naudojamos įrengiant bunkerius, galerijas, nuleidžiamuosius šulinius, rezervuarus. Daugiaaukščiuose pastatuose jos gali būti naudojamos perdangoms atremti. Jei sijos-sienutės įrengtos horizontaliai, jos gali būti naudojamos kaip vėjo ryšiai.

Supleišėjusių sijų-sienučių skaičiavimo metodika dar nėra išsamiai išnagrinėta.

Darbo tikslas – eksperimentiniais ir teoriniais gelžbetoninių sijų-sienučių tyrimais nustatyti supleišėjimo ir ardomasias apkrovas. Pasinaudojus tyrimų duomenimis, pasiūlyti teorines-eksperimentines priklausomybes minėtoms apkrovoms nustatyti.

Tyrimų metodika ir rezultatai

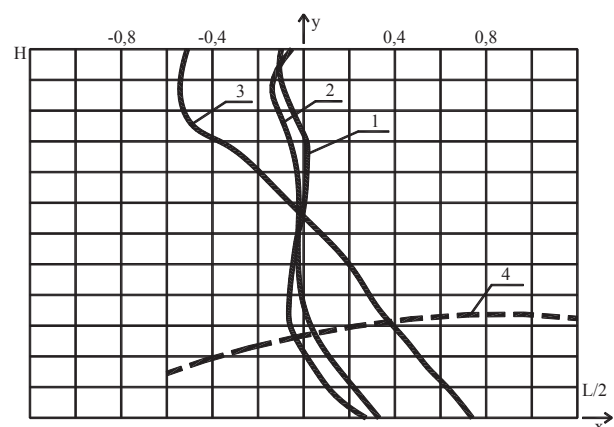
Gelžbetoninės sijos-sienutės įtempis skaičiuojamas remiantis tamprumo teorijos metodais. Tempimo jėgą apatinėje sienutės dalyje turi atsverti armatūra. Įtempiai nustatyti baigtinių skirtumų arba tinklelio metodu [1, 2, 3]. Įtempių funkcijų reikšmės ant plokštelės kontūro pagal lenkimo momentų ir skersinių jėgų reikšmes yra statiškai išsprendžiamos rėmui. Kiekvienam vidiniam tinklelio taškui užrašoma biharmoninė lygtis baigtinių skirtumų santykiais. Lygčių užrašoma tiek, kiek yra vidinių tinklelio taškų. Išsprendus lygtis, nustatomi įtempiai.

Nagrinėjamos sijos-sienutės apkrautos sutelktomis vienetinėmis jėgomis trečdaliuose angos, o jų aukštis kinta nuo 0,3 iki 1,5 angos ilgio. Veikiant horizontaliems įtempiams, sienučių neutralinė ašis yra žemiau jų sunkio centro (žr. 1 pav.). Didėjant sienutės aukščiui, neutralinės ašies padėtis žemėja. Maksimalūs tangentiniai įtempiai pasislenka žemyn, palyginus juos su įtempiais, gautais pagal medžiagų atsparumo dėsnius. Didesnę reikšmę turi vertikalūs normaliniai įtempiai, kurie didėja, didėjant sienutės aukščiui.

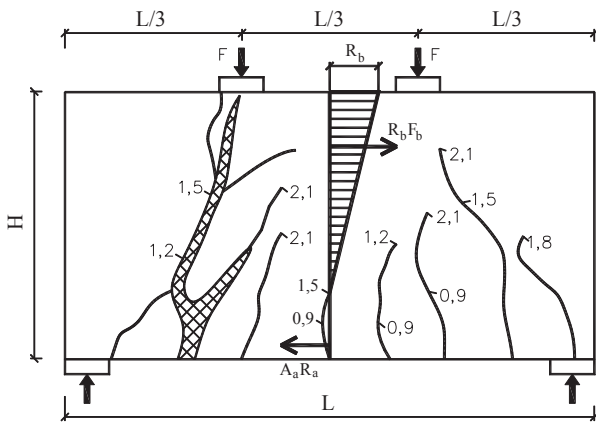
Atsiradus pirmiesiems plyšiams, pasikeičia sijos-sienelės įtempiai. Šiuos įtempius galima apskaičiuoti taikant baigtinių elementų metodą. Sienutės skaičiuojamoji schema yra tokia:

1. Horizontalūs normaliniai įtempiai betone virš plyšio pasiskirsto pagal trikampį. Ties plyšio pabaiga yra trikampio viršūnės pradžia. Trikampio sienutės viršuje statinis, kurio aukštis yra vienetinis, – tai skaičiuojamasis betono stipris.
2. Tempinama armatūra vaizduojama kaip sutelkta jėga arba jėga, tolygiai išdėstyta per akutės aukštį. Įtempiai armatūroje padidinami tiek kartų, kiek skiriasi armatūros ir betono stipriai.
3. Lenkimo momentas pjūvyje yra lygus išorinių jėgų momentui.

Skaičiavimo modelis leidžia įvertinti plyšio aukščio didėjimą, plyšio padėties pasikeitimą horizontalia kryptimi. Galima pradėti skaičiuoti, kai sienutėje yra keli vertikalūs plyšiai. Plyšių aukščio ir vietos pasikeitimas leidžia nustatyti nepalankiausių įtempių išsidėstymo padėtį iki įstrižų plyšių atsiradimo (žr. 2 pav.).



1 pav. Normaliniai vienetiniai horizontalūs įtempiai, kai $H/L = 1,5$ (1), $H/L = 1,0$ (2), $H/L = 0,5$ (3), ir tempiamos bei gniuždomos zonos riba, kai $H/L = 1,0$ (4).
Santykinais visų sienučių aukštis lygus 1



2 pav. Eksperimentinis plyšio vaizdas ir sienutės skaičiuojamoji schema, kai $H/L = 0,5$ (padidinę skaičius šimtą kartų, gausime apkrovą kN)

Išbandytos 26-ios sijos-sienutės, suskirstytos į keturias grupes. Pirmos ir dalies antros grupės bandinių armavimo procentas – nuo 0,8 iki 2,33 proc. (dažniausiai naudojamas 0,5 proc.). Toks armavimas naudojamas tam, kad sienutės suirtų įstrižame pjūvyje. Trečios ir ketvirtos grupės bandiniai – su išankstiniu armatūros įtempimu.

Gelžbetoninėse sijose-sienutėse, apkrautose sutelktomis jėgomis trečdalyje angos, pirmieji vertikalūs plyšiai atsiveria tempimo zonos viduriniame trečdalyje. Po jų atsiveria įstriži plyšiai, kurie plėtojasi intensyviau už vertikalius plyšius, o suirimas dažniausiai įvyksta įstrižame pjūvyje (žr. 2 pav.).

Atlikti skaičiavimai rodo, kad teorinės plyšių atsivėrimo apkrovos įstrižuose pjūviuose, nustatytos pagal tampraus kūno svarbiausius įtempimus, yra didesnės negu gautos eksperimentiniais tyrimais.

Dauguma bandytų sijų-sienutė suyra įstrižame pjūvyje. Skaičiavimai rodo, kad jų laikomoji galia įstrižame pjūvyje didėja nuo dHf_{ct} iki $2dHf_{ct}$ (H – sienutės aukštis, d – sienutės storis, f_{ct} – betono stipris tempiant).

1 lentelė. *Sijų-sienutėjų maksimalūs vienetiniai svarbiausieji tamprios stadijos įtempiai*

β	0,3	0,5	0,75	1,0	1,5
σ_1/F	0,366	0,324	0,302	0,256	0,246
σ_2/F	-0,551	-0,214	-0,084	-0,041	-0,032
y/H	5/15	5/15	7/14	7/12	3/4

Naudojant eksperimentinius duomenis ir esant santykiui $\beta < 1$, maksimalūs svarbiausieji tamprios stadijos tempimo įtempiai σ_2 mažėja. Todėl vietoj jų yra naudojami eksperimentiniai-teoriniai įtempiai σ_2^o . Vidutinių eksperimentinių plyšių atsivėrimo įtempimų σ_2^o priklausomybė nuo sijų-sienutėjų aukščio ir pločio

Pagal gautus eksperimentinius duomenis ir atlikus kitų autorių tyrimų analizę galima teigti, kad plyšių atsivėrimo ir suirimo priežastis įstrižame pjūvyje yra svarbiausieji tempimo įtempiai. Iki plyšių atsivėrimo tuos įtempius galima nustatyti kaip tampriam kūnui, naudojant tinklelio metodą. Iš eksperimentinių duomenų matyti, kad sienutės suirimas įstrižame pjūvyje vyksta juostoje, kuri susidaro tarp apkrovos ir atramos aikštelių (žr. 2 pav.). Toje įstrižoje juostoje nustatome svarbiausius įtempius. Kiekvienam sijos-sienutės aukščio H ir pločio L santykiui β nustatyti maksimalūs svarbiausieji tempimo įtempiai. Šių įtempimų priklausomybė nuo santykio β pateikta 1 lentelėje. Didinant santykį β nuo 0,3 iki 1,5, maksimalūs svarbiausieji tempimo įtempiai σ_2 mažėja. Padidėjus santykiui β daugiau nei 1, svarbiausieji tempimo įtempiai tampa beveik pastovūs ir mažai priklauso nuo šio santykio. Skersinę jėgą V_{cre} , sukeliančią plyšių atsivėrimą įstrižame pjūvyje, galima rasti iš tampraus kūno skaičiavimų. Tai apkrova, kai maksimalūs tempimo įtempiai σ_2 kritiniuose taškuose pasiekia betono stiprį tempiant f_{ct} .

Skersinę jėgą V_{cre} , sukeliančią plyšių atsivėrimą, apskaičiuojame taikydami formulę:

$$V_{cre} = \frac{2 \cdot f_{ct} \cdot A}{\sigma_2} \tag{1}$$

čia A – apkrovimo aikštelės plotas;

σ_2 – maksimalūs svarbiausieji vienetiniai įtempimai įstrižame pjūvyje, apskaičiuoti veikiant vienetinėms jėgoms ($F = 1$).

Iš skaičiavimų matyti, kad teorinės plyšių atsivėrimo reikšmės, palyginus su eksperimentinėmis, gaunamos didesnės. Daugiausia šios reikšmės skiriasi tų sijų-sienutėjų, kurių matmenų santykis $\beta \geq 0,5$. Maksimalūs vienetiniai svarbiausieji tempimo įtempiai įstrižame sijų-sienutėjų pjūvyje kartu su kitais duomenimis pateikti 1 lentelėje.

santykio β pateikiama 2 lentelėje.

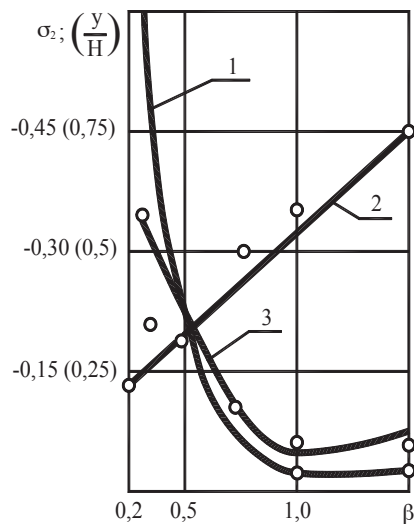
Taikydami mažiausių kvadratų metodą gavome lygtį eksperimentiniams-teoriniams įtempiams σ_2^o nustatyti:

$$\sigma_2^o = -0,32 \times \beta^2 + 0,79 \times \beta - 0,53. \tag{2}$$

2 lentelė. *Sijų-sienūčių patikslinti vienetiniai svarbiausieji tempimo įtempiai*

β	0,3	0,5	0,75	1,0	1,5
σ_2^0/F	-0,322	-0,202	-0,118	-0,081	-0,074

Iš skaičiavimų matyti, kad teorinės plyšių atsiradimo reikšmės, palyginus su eksperimentinėmis, gaunamos didesnės. Daugiausia skiriasi sijų-sienūčių, kurių matmenų santykis $\beta \geq 0,5$, reikšmės (žr. 2 pav.).



3 pav. Sijų-sienūčių didžiausi svarbiausieji tempimo įtempiai ir jų padėties įstrižame pjūvyje priklausomybė nuo santykio $\beta = H/L$.

1 – kreivė, sudaryta pagal tampriojo kūno skaičiavimus tinklelio metodu; 2 – tiesė, vaizduojanti maksimalių tempimo įtempimų σ_2 vietą, priklausomai nuo santykio β ; 3 – įtempimai, nustatyti pagal patikslintą lygtį (2)

Nustačius eksperimentinius-teorinius įtempius σ_2^0 , galima apskaičiuoti plyšių atsivėrimo apkrovas įstrižame pjūvyje pagal tokią formulę:

$$V_{crc} = \frac{2 \cdot f_{ct} \cdot A}{\sigma_2^0}, \quad (2)$$

čia σ_2^0 – maksimalūs svarbiausieji vienetiniai eksperimentiniai-teoriniai įtempiai įstrižame pjūvyje.

Gelžbetoninių sijų-sienūčių supleišėjimo apkrovos, apskaičiuotos pagal 2 lygtį, pateiktos 3 lentelėje. Skaičiavimo rezultatai gerai sutampa su eksperimentiniais sijų-sienūčių su iš anksto įtempta armatūra duomenimis (skirtumas iki 10 proc.). Kitų sijų-sienūčių apskaičiuotos supleišėjimo apkrovos nuo eksperimentinių skiriasi iki 31 proc. Pripažįstant sijas-sienutes kaip tamprų kūną, supleišėjimo apkrovos nuo eksperimentinių skiriasi kelis kartus.

3 lentelė. Sijų-sienelių eksperimentinio tyrimo rezultatai

Nr.	Bandinio šifras	Matmenys H × L × d (cm)	Eksperimentinė apkrova kN			suirimo	pagal G. Genievą [4]	Apskaičiuota apkrova kN pagal siūlomą metodiką				Suirimo pobūdis
			pleišėjimo	pleišėjimo įstrižame pjūvyje	suirimo			Q _{erc}	Q ⁰ _{erc}	Q ^{0,l} _{erc}	Q _u	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	SS-I-1	30 × 100 × 8	72	120	244	64,6	78,1	125		271	Nuo Q	
2	SS-I-2	50 × 100 × 8	150	180	380	107,6	201	203		453	Nuo Q	
3	SS-I-3	80 × 100 × 8	150	250	425	110,1	328	248		432	Nuo Q ir vietinio gniuždymo	
4	SS-I-4	100 × 100 × 8	200	320	360	137,6	671	322		-	Nuo vietinio gniuždymo	
5	SS-II-1	20 × 100 × 10	90	112	290	53,8	44,2	-		-	Suio gniuždoma zona	
6	SS-II-2	20 × 100 × 10	100	115	300	53,8	44,2	-		-	Suio gniuždoma zona	
7	SS-II-3	30 × 100 × 12	192	208	530	95,8	117,2	189		351		
8	SS-II-4	30 × 100 × 12	196	212	560	95,8	117,2	189		351		
9	SS-II-7	50 × 100 × 12	310	360	740	161,4	302	304		455	Nuo Q ir vietinio gniuždymo	
10	SS-II-8	50 × 100 × 12	320	400	780	161,4	302	304		455	Nuo Q ir vietinio gniuždymo	
11	SS-II-5	80 × 100 × 8	300	320	392	152,3	453	343		657	Nuo Q ir vietinio gniuždymo	
12	SS-II-6	100 × 100 × 8	400	480	480	190,4	929	447		-	Nuo Q ir vietinio gniuždymo	
13	SS-III-2	30 × 100 × 8	130	172	234	55	66,6	107	166	219	Nuo Q	
14	SS-III-3	30 × 100 × 8	130	176	235	55	66,6	107	166	219	Nuo Q	
15	SS-III-4	50 × 100 × 8	300	312	480	91,6	171	173	295	373	Nuo Q	
16	SS-III-5	50 × 100 × 8	310	322	485	91,6	171	173	295	373	Nuo Q	
17	SS-III-6	75 × 100 × 8	550	561	848	137,4	436	309	519	685	Nuo Q	
18	SS-III-7	100 × 100 × 8	800	800	1110	183,2	894	430	748	1413	Nuo Q ir vietinio gniuždymo	
19	SS-III-8	112,5 × 79 × 8	980	900	1010	206	1145	462	813	-	Nuo Q ir vietinio gniuždymo	
20	SS-IV-2	30 × 100 × 6	82	120	142	39,1	48,6	76	117,5	148	Nuo Q	
21	SS-IV-2A	30 × 100 × 6	83	120	176	39,1	48,6	76	117,5	148	Nuo Q	
22	SS-IV-3	50 × 100 × 6	150	200	250	66,9	125	126	189,7	237	Nuo Q	
23	SS-IV-3A	50 × 100 × 6	180	200	300	66,9	125	126	189,7	237	Nuo Q	
24	SS-IV-4	75 × 100 × 6	300	300	386	100,3	318	226	334	454	Nuo vietinio gniuždymo	
25	SS-IV-5	100 × 100 × 6	500	480	658	133,8	654	314	476	768	Nuo vietinio gniuždymo	
26	SS-IV-6	112,5 × 79 × 6	500	500	658	151,9	836	340	511	-	Nuo vietinio gniuždymo	

čia Q_{erc} – pleišėjimo apkrova pasvirusiame pjūvyje;

Q_{erc}⁰ – patikslinta pleišėjimo apkrova pasvirusiame pjūvyje;

Q_{erc}^{0,l} – pleišėjimo apkrova pasvirusiame pjūvyje, įvertinus išankstinius įtempimus;

Q_u – ardanti apkrova įstrižame pjūvyje.

Sijų-sienučių armatūra visoje sienutės plokštumoje paskirstyta dispersiniu armavimu. Esant tokiam armavimui, plyšiai vystosi palaiapsniui, todėl konstrukciją galima eksploatuoti su plyšiais. Šiuo atveju betonas perduoda apkrovą netoli esančiai armatūrai. Atsivėrus plyšiams, sijos-sienutės, turinčios armatūros tinklą, nesuyra ir dar atlaiko papildomą apkrovą. Suirimas dažniausiai vyksta įstrižame pjūvyje per anksčiau atsivėrusius plyšius.

$$\begin{cases} \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{\sigma_2^0}{\sigma_1^0} = k \\ \sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2 - \left[(f_c - f_{ct}) + \frac{\mu_x + \mu_y}{2} \cdot \sigma_y \right] \cdot (\sigma_1 + \sigma_2) - 3 \cdot \frac{\mu_x - \mu_y}{2} \cdot \sigma_y \cdot (\sigma_1 - \sigma_2) \cdot \cos 2\beta + (\mu_x^2 - \mu_x \cdot \mu_y + \mu_y^2) \cdot \sigma_y^2 + (f_c - f_{ct}) \cdot (\mu_x + \mu_y) \cdot \sigma_y - f_c \cdot f_{ct} = 0, \end{cases} \quad (3)$$

čia σ_1^0, σ_2^0 – eksperimentiniai-teoriniai svarbiausieji įtempiai;

μ_x, μ_y – atitinkami armavimo koeficientai;

β – kampas tarp įtempimo σ_1 ir x ašies;

f_c, f_{ct} – betono stipris gniuždant ir tempiant.

Iš (3) lygties apskaičiavę įtempius σ_1^l , ardančią apkrovą įstrižame pjūvyje nustatome pagal tokią formulę:

$$V_u = \frac{2 \cdot f_{ct} \cdot A}{\sigma_2^l} \quad (4)$$

Gelžbetoninių sijų-sienučių ardančios apkrovos, apskaičiuotos pagal 4 lygtį, pateiktos 3 lentelėje. Šios apkrovos geriau sutampa tik lyginant sijas-sienutes su iš anksto įtempta armatūra (skirtumas iki 30 proc.). Skaičiuojant yra įvertinami sijų-sienučių matmenys, armatūros tinklas, betono stipris tempiant ir gniuždant.

Išvados

1. Skaičiuojant gelžbetonines sijas-sienutes baigtinių skirtumų metodu galima nustatyti zonas, kuriose atsiranda pirmieji vertikalūs plyšiai.
2. Pateikiamas supleišėjusių sijų-sienučių skaičiavimo modelis, leidžiantis nustatyti įtempimų persiskirstymą iki įstrižų plyšių atsiradimo.
3. Eksperimentiniais tyrimais nustatyta, kad gelžbetoninių sijų-sienučių pirmieji vertikalūs plyšiai

Nustatydami ardančią skersinę jėgą įstrižame pjūvyje, pasinaudojame G. Genijevo [2, 4, 5] betono plastiškumo sąlyga. Sakykim, svarbiausiųjų įtempimų santykis ir kryptis prieš suirimą išlieka tokie patys, kaip ir prieš supleišėjimą.

Betono plastiškumo ir svarbiausiųjų įtempimų santykis išreiškiamas taip:

atsiveria tempiamos zonos sienutės viduriniame trečdalyje. Toliau didinant apkrovą atsiveria ir įstriži plyšiai, kurie intensyviai vystosi.

4. Nustatyta, kad teorinės supleišėjimo įstrižame pjūvyje apkrovos yra didesnės už eksperimentines. Neatitikimams pašalinti siūloma teorinė-eksperimentinė lygtis, patikslinanti maksimalius svarbiausius vienetinius tempimo įtempimus.

Literatūra

1. STR 2.05.05:2005. *Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas*.
2. Žiliukas A., 2006, *Stiprumo ir irimo kriterijai*. Kaunas: Technologija.
3. Šlezevičius K., Roličius J., Mikuckis F., 2002, Glemžiamų elementų skaičiavimas pagal stiprumo teorijas. *Mokslo darbai*. LŽŪU, Lietuvos vandens ūkio institutas. Nr. 19 (41). P. 81–86.
4. Vasiliauskas L., Šlezevičius K., Roličius J., 2014, Gelžbetoninių ir betoninių sienučių skaičiavimas glemžimui. *Jaunųjų mokslininkų darbai*. Nr. 2 (42). P. 157–161.
5. Варвак П. М., Варвак Л. П., 1987, *Метод сеток в задачах расчета строительных конструкций*. Москва: Стройиздат.
6. Гениев Г. А., 1974, *Теория пластичности бетона и железобетона*. ЦНИИСК. Москва: Стройиздат.
7. Холмянский М. М., 2000, *Влияние структурного масштабного эффекта на механическое сопротивление бетона при симметричном смятии*. *Бетон и железобетон*. № 3. С. 5–8.

Summary

CALCULATION INITIAL CRAKED REINFORCED CONCRETE HIGHBEAMS

E. Averlingis, K. Šleževičius, J. Roličius

Calculation of various reinforced concrete highbeams at elastic stage using the method of final differences was carried out. Estimated zones of initial cracks were compared to cracks in experimental highbeams. Assumptions for calculating alligator highbeams are presented in this article. This method is to be applied at the initial stage of cracking before appearance of diagonal cracks. Using this method one is able to estimate the development of cracks, their location and investigate another particular crack. Calculation points out redistribution of the most unwanted tensioning. Assumptions can be made more precise by comparing the results of calculation with the experimental data.

Reinforced concrete beams are affected by concentrated force in one third of openings and they rest on extreme points. First vertical cracks appear in the middle of the tensile zone. Increasing load causes appearance of diagonal cracks. Their development is more intensive than that of vertical cracks. Rupture is more likely to appear in a diagonal cross-section.

Calculation shows that theoretical loads are higher than experimental data. It is particularly obvious in cases when the relation between the height of the beam and the opening is higher than 0,5. Calculation of theoretical loads is based on maximum tensile stress of an elastic body in a diagonal cross-section. Stresses are calculated using the method of a net. To avoid discrepancy an experimental theoretical equation is suggested, which allows us to make the maximum of main stresses more precise. Another equation is suggested in order to calculate the collapsing shear force in diagonal cross-sections. This equation takes into account bar reinforcing in cases of cross reinforce dimensions of a cross-section.

Keywords: highbeams, concrete, stresses, cracks.

Santrauka

SUPLEIŠĖJUSIŲ GELŽBETONINIŲ SIJŲ-SIENUČIŲ ĮTEMPIŲ SKAIČIAVIMAS

E. Averlingis, K. Šleževičius, J. Roličius

Straipsnyje nagrinėjamas įtempimų būvis gelžbetoninėse sijose-sienutėse. Sijos-sienutės plačiai naudojamos įrengiant bunkerius, galerijas, nuleidžiamus šulinius, rezervuarus. Sienučių aukščio ir angos santykis keitėsi nuo 0,3 iki 1,5. Sienučių apkrautos sutelktomis jėgomis, išskirstytomis nedidelėmis aikštelėmis trečdalyje angos. Sijų-sienučių įtempimų būvis nustatomas naudojantis tamprumo teorijos metodais. Praktinę reikšmę turi tiek tamprios stadijos, tiek stadijos su pirmaisiais plyšiais sienučių įtempimų nustatymas. Tai leidžia optimaliau išnaudoti medžiagų laikomąją galią ir pritaikyti praktikoje gautas priklausomybes. Tamprios stadijos įtempimai nustatyti baigtinių skirtumų metodu. Veikiant horizontaliems įtempiams, sienučių neutralinė ašis yra žemiau jų sunkio centro. Didėjant sienučių aukščiui, neutralinės ašies padėtis žemėja. Maksimalūs tangentiniai įtempiai pasislenka žemyn, palyginus juos su įtempiais, gautais pagal medžiagų atsparumo dėsnius. Gautas pradinių plyšių galimos atsiradimų zonos. Pateikiamos prielaidos atlikti supleišėjusių sijų-sienučių skaičiavimus.

Prasminiai žodžiai: sijos-sienutės, gelžbetonis, įtempimai, plyšiai, įtempimų persiskirstymas.

Įteikta 2017-04-07

Priimta 2017-06-07