

ხიდის წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კოჭების გამოცდა

ვ.პეტცი, ა.ყუბანეიშვილი, ა.იურიანი

მოყვანილია ხიდის წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის 27,0 მ-ის სიგრძის კოჭების გამოცდის შედეგები. კოჭების საექსპლუატაციო ვარგისიანობა ფასდება მეორე ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით, კერძოდ მათი ჩაღუნების შეპირისპირებით თეორიულ მნიშვნელობებთან. ყველა კოჭებმა დააკმაყოფილეს საპროექტო მნიშვნელობები. მოყვანილია გამოცდილ კოჭებში ძალების გადანაწილების ეპიურა. დადგენილია, რომ საექსპლუატაციო დატვირთვამდე კოჭის გაჭიმულ ზონაში ბეტონი წინასწარ დაძაბვისაგან თანდათანობით თავისუფლდება და მუშაობაში არ ღებულობს მონაწილეობას. გარე ძალა მთლიანად და გაწონასწორებულია წინასწარ დაძაბული არმატურით.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კოჭების მუშაობის შეფასება დაიყვანება მათი გამოცდის შედეგად მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემების შეპირისპირებით სამი ზღვრული მდგომარეობის ნორმატიულ მოთხოვნებთან.

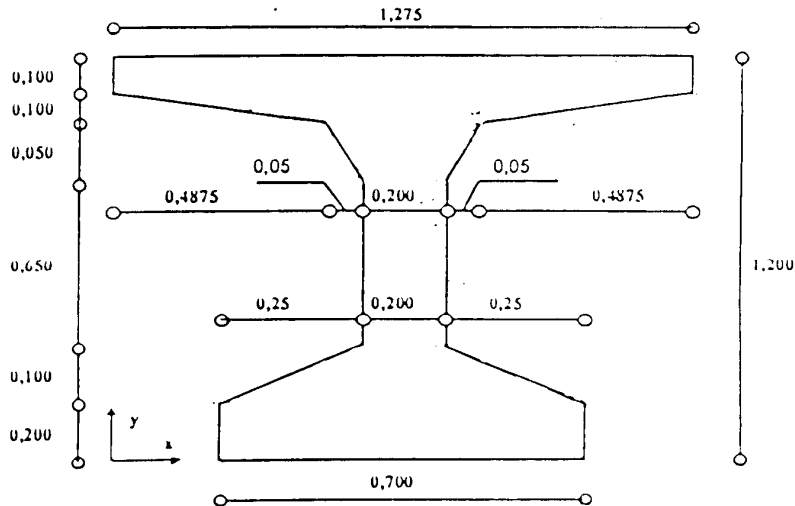
კონსტრუქცია არ შეიძლება ჩაითვალოს საექსპლუატაციოდ ვარგისად და გამოცდის გამძლე თუ მრღვევი ძალა ან დეფორმაცია (ჩაღუნვა) და ბზარის გახსნის სიგანე გადააჭარბებს ნორმებითა და ტექნიკური პირობებით გათვალისწინებულ შესაბამის მნიშვნელობებს. ასე, მაგალითად, ზღვრული ჩაღუნვები რკინაბეტონის კოჭებში არ უნდა აღემატებოდეს მილის $1/500 \pm 1/600$ სიდიდეს, ხოლო ბზარის გახსნის სიგანე 0,1 მმ-ს ელემენტებისათვის, რომლებიც მუშაობენ ცენტრალურ გაჭიმვაზე ანდა არაცენტრალურ გაჭიმვაზე, როდესაც მთლიანი კვეთი გაჭიმულია; 0,2 მმ-ლუნვად, არაცენტრალურად შეკუმშულ ანდა გაჭიმულ ელემენტებისათვის და 0,3 მმ-ს ყველა სხვა ელემენტებისათვის.

კონსტრუქციის შეფასება წარმოებს პირველი ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით სიმტკიცეზე, მეორე – სიხისტეზე (გადაადგილებები, დეფორმაციები) და მესამე – ბზარმედევობაზე.

საცდელი კონსტრუქციის დანგრევამდე მიყვანა ყველაზე უფრო საიმედო გამოცდაა, რომლის შედეგების მიხედვით შეიძლება მსჯელობა კონსტრუქციის მდგომარეობაზე დატვირთვის ყველა ეტაპზე და საბოლოოდ განისაზღვრება სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტი. მაგრამ ეს გამოცდა, გარდა რიგი ტექნიკური სირთულეებისა, ეკონომიური თვალსაზრისითაც ძვირად ღირებულია, რადგანაც გამოცდილი კონსტრუქცია მისი შემდგომი ექსპლუატაციისათვის უვარგისი ხდება.

ამიტომ ძირითადად კონსტრუქციების შეფასება წარმოებს მეორე ზღვრული მდგომარეობების მიხედვით, კერძოდ სიხისტეზე.

გამოცდას ექვემდებარებოდა ავტოგაზის ხიდის წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კოჭები. კოჭის სიგრძით $l=27,0$ მ, ტესტური განიკვეთით (ნახ.1). გაჭიმულ ზონაში მოთავსებულია 20 შვიდმავთულიანი ბაგირი განიკვეთის საერთო ფართობით $139,0$ მმ², სიმტკიცით $R=1905$ და დენადობის ზღვრით $R_{\sigma}=1625$ ნ/მმ². კოჭების წინასწარი დაძაბვის შესაქმნელად ბაგირი დაჭიმულია $195,4$ კნ ძალით, რომელიც ბაგირში ქმნის 1406 ნ/მმ² ძაბვას.



ნახ. 1. კოჭის განიკვეთის მახასიათებლები

კოჭების მონაცემები და მისი გამოცდის შედეგები მოცემულია ცხრილში.

კოჭის №	ხნოვანება გამოცდის დღეს	ბეტონის სიმტკიცე, მგპა		მაქსიმალური ჩალუნვები, სმ		
		ბაგირის ჩაჭრის დროს	28 დღის ხნოვანება	ძალის მოდების მომენტში	30 წთ დაყოვნების შემდეგ	განტვირთვის შემდეგ
1	32	48,5	69,2	3,50	3,56	0,19
2	89	41,9	57,2	1,97	2,10	0,13
3	119	43,3	54,7	3,16	3,33	0,22
4	157	39,7	64,0	2,30	2,36	0,20

კოჭების სიხისტის შეფასება წარმოებს გაზომილი f_c და ნორმებით გამოთვლილი $f_{cm}=0,049$ ჩალუნვების შედარებით. f_c - ჩალუნვაა, რომელიც კონსტრუქციამ განიცადა საკონტროლო დატვირთვის მოდებისას, ხოლო f_{cm} - თეორიულად გამოთვლილი და საკონტროლოდ მიღებულ ჩალუნვა საკონტროლოდ მიღებულ ხანმოკლედ მოქმედ დატვირთვის ($2P=479$ კნ) დროს.

გამოცდის სქემას წარმოადგენს ორ საყრდენზე მდებარე კოჭს ძალით $l=26,7$ მ დატვირთვულს ძალის მესამედზე მოდებული ორი შეყურსული ძალით (ფოტო).

ჩალუნვების სიდიდე იზომებოდა მაქსიმუმის ტიპის ჩალუნმზომებით დანაყოფის ფასით 0,01 მმ. კონსტრუქციის სიხისტე ფიქსირდებოდა მილის შუა ნაწილის ჩალუნვისა და საყრდენების ჯდენის მიხედვით. კონსტრუქციის ნამდვილი ჩალუნვები განისაზღვრებოდა როგორც ძალის შუაში გაზომილ ჩალუნვებსა და საყრდენების ჯდენის ნახევარ ჯამის სხვაობა.

კოჭის გამოცდის წინ წარმოებდა მისი ვიზუალური დათვალიერება ბზარებისა და სხვა დეფექტების დასაფიქსირებლად. როგორც ამ დათვალიერებამ აჩვენა, კოჭზე არავითარი დეფექტები არ შეიმჩნეოდა.



ფოტო. კოჭის გამოცდის საერთო ხედი

დატვირთვის მოდება წარმოებდა ეტაპობრივად. I ეტაპად მიჩნეული იქნა დატვირთვის სქემის შემქმნელი მოწყობილობის წონა, რომელიც შეადგენდა 40 კნ-ს. II ეტაპის დატვირთვა 184 კნ-ია, III ეტაპის - 280კნ, IV ეტაპის - 280 კნ და V ეტაპის საკონტროლო - 496კნ.

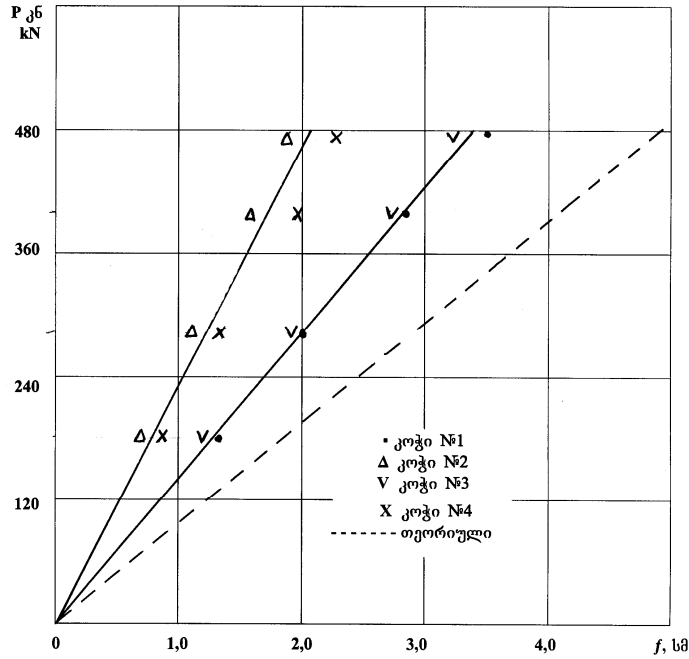
საკონტროლო დატვირთვის მიღწევისას წარმოებდა 30 წთ-ის განმავლობაში მისი დაყოვნება. ამ პერიოდში ხდებოდა კოჭის ზედაპირის გულდასმით დათვალიერება ძალოვანი ბზარების გაჩენის დასაფიქსირებლად. ეს პროცესი წარმოებდა შვეიცარული Proceq ფირმის 8-ჯერ გამაღიდებელი ლინზის მეშვეობით, რომლის დანაყოფის ფასი შეადგენს 0,01 მმ. დათვალიერების შემდეგ ბზარების წარმოშობა არ შეიმჩნეოდა.

დაყოვნების შემდეგ მოხდა კოჭების განტვირთვა და დაფიქსირებული იქნა ნარჩი დეფორმაციები.

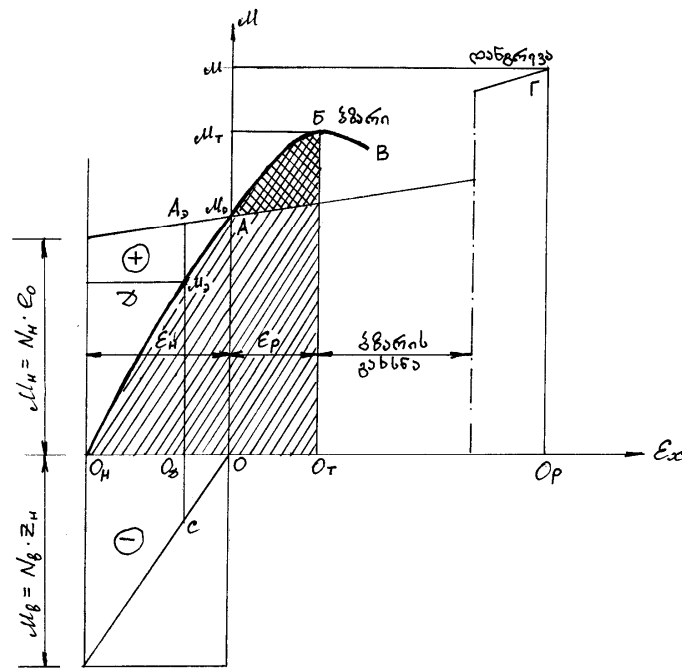
ნახ. 2-ზე მოყვანილია კოჭების დატვირთვისა P და ჩალუნვის f დამოკიდებულების გრაფიკი. როგორც გრაფიკიდან ჩანს, ეს დამოკიდებულება სწორხაზობრივია და მაქსიმალურმა სიდიდემ f_{max} საკონტროლო ძალის მოდებისას მიაღწია. ამ დატვირთვის 30 წთ-ით დაყოვნებისას ჩალუნვა უმნიშვნელოდ გაიზარდა (ცხრილი). ყოველივე ეს მიუთითებს იმაზე, რომ კოჭი მუშაობდა დრეკად სტადიაში და ბზარების წარმოქმნას ადგილი არ ჰქონდა.

დავადგინოთ გამოცდილ კოჭებში ძალების გადანაწილების ეპიურა, რომელიც ემყარება პროფ. ვ.ვ.მიხალკოვის მიერ ცენტრალურად გაჭიმულ წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ელემენტებისათვის დამუშავებულ მეთოდისას. ეს სურათი წარმოდგენილია O_{IIABB} მრუდის სახით (ნახ. 3).

საწყის მომენტში, როდესაც ელემენტზე ჯერ კიდევ არ მოქმედებს გარე ძალები, მისი მასალები (ბეტონი და არმატურა) უკვე იმყოფება დაძაბულ მდგომარეობაში, რომელიც გამოწვეულია კონსტრუქციის წინასწარ დაძაბვის ზემოქმედებით. ეს ზემოქმედება გაწონასწორებულია და შენარჩუნებული საწყისი დეფორმირებული მდგომარეობა ბეტონში მკუმშავი M_B და არმატურაში გამჭიმავ M_s ძალებით, ანუ ამ დროს $M_B = M_s$.



ნახ. 2. ჩაღუნებისა და დატვირთვის დამოკიდებულების გრაფიკი



ნახ. 3. ძალების გადანაწილება წინასწარ დაძაბულ რკინაბეტონის ელემენტში

კონსტრუქციის საწყის მდგომარეობად მიზანშეწონილია ჩაითვალოს ისეთი დაძაბული მდგომარეობა, როდესაც ბეტონის კონსტრუქციის განაპირა ქვედა ბოჭკოში წინასწარი დაძაბვის ძაბვები ამოწურულია ექსპლუატაციური დატვირთვისაგან. ეს მდგომარეობა გრაფიკზე ხასიათდება O_M ხაზით, რომელზეც დაიბნება კოორდინატთა ვერტიკალური ღეძი.

$O_H O$ სფეროში ყოველი საფეხურის მთლიანი დატვირთვა საექსპლუატაციო დატვირთვამდე მთლიანად გაწონასწორებულია კოჭის არმატურის მიერ. ნებისმიერ D წერტილში,

რომელიც იწვევს O_H O_D დეფორმაციას, გარე ძალა M_3 -ს აწონასწორებს არმატურაში წარმოშობილი ძალვა შემცირებულს ბეტონში ჯერ კიდევ დარჩენილი წინასწარი დაძაბვით წარმოქმნილი ძალვით

$$M_3 = (O_D D + DA_3) - O_D C$$

იმის გამო, რომ ბეტონის მკუმშავი ძალვა და შესაბამისი არმატურაში გაჭიმული ძალვა ერთმანეთის ტოლია, გვექმნება:

$$DA_3 = O_D C$$

და, შესაბამისად

$$M_3 = O_D D,$$

ანუ რა სიდიდისაც არ უნდა იყოს მიღებული ძალა კოჭის ბეტონის წინასწარ დაძაბვისაგან თანდათანობით განთავისუფლებისას, გარე ძალვას მთლიანად ითვისებს წინასწარი დაძაბული არმატურით. ამ შემთხვევაში ყოველთვის იარსებებს ბეტონის კუმშვის ძალვა და კოჭის არმატურის წინასწარი დაძაბვის ნაწილი, რომელიც გრაფიკზე ნაჩვენებია (+) და (-). განვიხილავთ რა ამ ძალებს, როგორც შინაგან ურთიერთ გამაწონასწორებულს და რომლებიც არ არის დაკავშირებული გარე ძალასთან, ვადგენთ, რომ ეს ძალა დეფორმაციის $O_H O$ დიაპაზონში პირდაპირ გაწონასწორდება კოჭის გაჭიმული არმატურით. მაგრამ ამ წონასწორობის ცვლილება, ანდა, სხვანაირად რომ ვთქვათ, გარე დატვირთვის ათვისება O_H წერტილის დეფორმაციიდან A წერტილამდე, მნიშვნელოვნად განსხვავდება $E_a = (1,8 \div 2,2) \times 10^5$ მგპა დრეკადობის მოდული ფოლადისათვის დაწესებულ კანონისაგან. გრაფიკზე $O_H A$ ხაზი მკვეთრად დახრილი ϵ_H დეფორმაციისათვის, ვიდრე მდოვრე დახრილი $A_H \Gamma$ ხაზი ϵ_a დეფორმაციისათვის.

$O_H A$ სწორი ხაზის დახრის კუთხის ტანგენსი იწოდება დატვირთვის ათვისების მოდულად, ან პირობით მოდულად, რომელიც გეომეტრიულად გამოითვლება გრაფიკიდან და მიღებულია, რომ $E_{პირ} = 22E_a$ [1], ე.ი ლითონი წინასწარ დაძაბულ არმატურის დროს საექსპლუატაციო დატვირთვას მოქმედების უბანზე ითვისებს ისეთ სიდიდის დატვირთვებს, რომელიც შეესაბამებოდა გაკეთილშობილებულ ლითონის დრეკადობას $E_a = E_{პირ}$, ანუ თუ ლითონი მუშაობს ათობით შემცირებულ დრეკადობით.

$O_H O$ დეფორმაციის შემდეგ, ე.ი M_0 -ის ზევით, ძალების ათვისებაში მონაწილეობს როგორც არმატურა, ასევე ბეტონი. ამ შემთხვევაში არმატურის მიერ დატვირთვის ათვისება წარმოებს $D \Gamma$ ხაზით, ხოლო ბეტონის $A B B$ ძრუდის მიხედვით, ანუ იმავე კანონზომიერებით, როგორც ჩვეულებრივ რკინაბეტონის დროს.

გამოსაცდელი კოჭების წინასწარ დაძაბული ძალა შეადგენს $N_0 = 20 \cdot 195,4 = 3908$ კნ. მიახლოებითი არმატურაში წინასწარი დაძაბვის პირველადი დანაკარგები მივიღოთ წინასწარ დაძაბვის 15%, ე.ი $N_{02} = 0,85 \times 3908 = 3322$ კნ.

ძაბვა ბეტონში დაძაბულ არმატურას სიმძიმის ცენტრის ღონეზე იქნება

$$\sigma_a = \frac{N_{02}}{A_a} + \frac{N_{02} \cdot e_p^2}{S_{XB}} = \frac{3222}{0,53375} + \frac{3322 \cdot 0,563^2}{0,101675} = 16580 \text{ კნ/მ}^2 \approx 16,6 \text{ მგპა.}$$

თუ $R=60$ მგპა სიმტკიცის ბეტონისათვის დრეკადობის მოდულს მივიღებთ ნორმებით გათვალისწინებულ სიდიდეს $E_B=39000$, მაშინ წინასწარი დაძაბვისაგან გამოწვეული მკუმშავი დეფორმაცია კოჭის განაპირა შრეში იქნება:

$$\sigma_{O_H} = \epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{16,92}{39000} = 43,4 \cdot 10^{-5}.$$

კოჭის განაპირა შრეში კი მკუმშავი ძაბვა იქნება

$$\sigma_g = 16918 = 16,92 \text{ მგპა.}$$

გამოცდის დროს მაქსიმალური დატვირთვისაგან ($2P=479\text{კნ}$) გამოწვეული მლუნავი მომენტი შეადგენს $M_{\text{დ}}=2155,5 \text{ კნ/მ}$. ამ ძალვას შეესაბამება ძაბვა

$$\sigma_g = \frac{M}{W} = \frac{2155,5}{0,15576} = 13839 \text{ კნ/მ}^2 \approx 13,84 \text{ მგპა.}$$

ვინაიდან გარე დატვირთვისაგან გამოწვეული ძაბვა (13,84 მგპა) ნაკლებია წინასწარი დაძაბვისაგან გამოწვეულ მკუმშავ ძაბვაზე (16,6 მგპა), ამიტომ კოჭის განაპირა შრეში ჯერ კიდევ მოქმედებს წინასწარი დაძაბვისაგან გამოწვეული მკუმშავი ძაბვა. ყოველივე ეს გვაძლევს შესაძლებლობას დავასკვნათ, რომ გამოცდის შედეგად მიყენებული დატვირთვის ქვეშ კოჭები მუშაობდა დრეკად სტადიაში გაჭიმულ ზონაში ყოველგვარი ბზარების გარეშე. ამაზე მიუთითებს ასევე დატვირთვისა და გადაადგილების დეფორმაციის სწორხაზობრივი დამოკიდებულება.

ლიტერატურა

1. Михайлов В.В. Предварительно напряженные железобетонные конструкции. М:Стройиздат. 1963.

არჩილ ყუბანგიშვილი ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი
E-mail: SPTC.Centre@gmail.com