

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გიორგი ნოზაძე

რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში აღძრული
ძაღვების სტატისტიკური ანალიზი

დოქტორის აკადემიური ხარისხის

მოსაპოვებლად წარდგენილი

დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა: მშენებლობა 0406

თბილისი

2017 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, სამშენებლო ფაკულტეტის, სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის #102 დეპარტამენტში.

ხელმძღვანელი: პროფესორი მ. ჭანტურია

რეცენზენტები: პროფესორი ლ. ბალანჩივაძე

ტ.მ.კ. აკად. დოქტორი ნ. ერემაძე

დისერტაციის დაცვა შედგება 2017 წლის 24 თებერვალს 14⁰⁰ საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, I კორპუსი, მე-2 სართული, აუდიტორია 227, მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას 68.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ – ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატის - სტუ – ს ვებგვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,
პროფესორი

დ. ტაბატაძე

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა: ბეტონი და რკინაბეტონი ძირითად კონსტრუქციულ სამშენებლო მასალებს წარმოადგენენ სამშენებლო საქმეში. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების თეორიაში ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ამოცანას კონსტრუქციის ხანგრძლივი დეფორმაციის მოქმედების ქვეშ გაანგარიშება წარმოადგენს, თუმცა ამ სფეროში არასაკმარისად სანდოდ არის განსაზღვრული ბეტონის ცოცვადობის მახასიათებლის შესაძლო მნიშვნელობების გაზნვის საზღვრები და ამ ფაქტორის გავლენა რკინაბეტონის შედგენილი კვითის კონსტრუქციებში ძალვათა გადანაწილებაზე, ასევე მისი გავლენა ისეთი ტიპის კონსტრუქციულ ელემენტებზე, რომლებშიც ერთობლივად მუშაობენ ბეტონი და ფოლადი, ფოლადი და კომპოზიტი, სხვადასხვა მახასიათებლის მქონე (სხვადასხვა კლასის) ბეტონები და ა.შ.

კონსტრუქციების ცოცვადობის დეფორმაციის გათვალისწინებით გაანგარიშების ამოცანის ამოხსნა დაიყვანება დიფერენციალურ და ინტეგრირ-დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნაზე.

დამუშავებულია მიახლოებითი მეთოდები, რომლებიც საკმაოდ სრულად ითვალისწინებენ კონსტრუქციაში შიდა ძალების ცვლილების ხასიათის განსაკუთრებულებას, თუმცა დღემდე სათანადოდ არ არის დამუშავებული საანგარიშო მეთოდიკა, რომელიც ამ ტიპის კონსტრუქციებში გამოყენებული ბეტონის ცოცვადობის ექსპერიმენტული მონაცემების სტატისტიკურ დამუშავებაზეა დაფუძნებული. ეს მეთოდიკა კი იძლევა ბეტონის ცოცვადობის გავლენით ძალვათა ცვლილების შეფასების საშუალებას და ამ გზით ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების მასალის ხარჯისა და ხანმედეგობის რესურსების განსაზღვრას.

ამასთან დაკავშირებით გაკეთდა მცდელობა დამუშავებულიყო შედგენილი კვითის რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების საფუძვლიანი მეთოდიკა ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის ალბათური

ბუნების გათვალისწინებით, რაც ბეტონის ხანგრძლივი დეფორმაციების გათვალისწინებით კონსტრუქციის გაანგარიშების თეორიაში წარმოადგენს ერთ-ერთ აქტუალურ ამოცანას.

დისერტაციის მიზანს შეადგენს რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების გაანგარიშება ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის შემთხვევითი ხასიათის გათვალისწინებით, კვლევის მიზნიდან გამომდინარე დაისვა შემდეგი ამოცანები:

- განხილულ იქნას ძალები და ძაბვები, რომლებიც აღიძვრებიან რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში, როგორც შემთხვევითი არგუმენტის (ბეტონის ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის) ფუნქცია; განსაზღვრულ იქნას ძალებისთვის და ძაბვებისთვის შესაძლო გადახრათა საზღვრები და მათი გაანგარიშების კანონი - დადგინდეს ძაღვათა და ძაბვათა როგორი შესაძლო გადახრები შეესაბამებიან ბეტონის ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრებს.
- დამუშავებული მეთოდის საიმედოობა (გამართული მუშაობა) შემოწმდეს კონკრეტული რკინაბეტონის კონსტრუქციის გაანგარიშების საფუძველზე.
- ნაშრომში მოცემული თეორიული კვლევის დასასაბუთებლად ჩატარდა პრაქტიკული ექსპერიმენტი, რომლის დინამიკასაც დამუშავებულ თეორიასთან საკმაოდ ახლოს მდგომი შედეგი უნდა მოეცა.

მეცნიერული სიახლე:

- დამუშავებულ იქნა შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების ხანგრძლივ დეფორმაციებზე გაანგარიშების მეთოდიკა ბეტონის ცოცვადობის შესაძლო გადახრების სტატისტიკური გაფანტულობის გათვალისწინებით;
- დადგინდა ძაღვათა და ძაბვათა შესაძლო გადახრები, რომლებიც აღიძვრებიან შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში ბეტონის ცოცვადობის

დეფორმაციის განვითარების შედეგად, მისი ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრებთან შესაბამისობაში.

მიღებული შედეგების პრაქტიკული ღირებულება: სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევების საფუძველზე დამუშავდა რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდოლოგია, ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის ალბათური ბუნების გათვალისწინებით და განსაზღვრულ იქნა ცოცვადობის დეფორმაციის ზღვრული მახასიათებლის, როგორც შემთხვევითი სიდიდის გაანგარიშების შესაბამისი ძალვათა და ძაბვათა შესაძლო გადახრების საზღვრები.

ნაშრომის აპრობაცია და გამოქვეყნებული პუბლიკაციები: მასლების მიხედვით გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო სტატია:

1. გ. ნოზაძე, მ. ჭანტურია. სტატიკურად ცვლადი საანგარიშო სქემის კონსტრუქციების საიმედოობაზე გაანგარიშების საფუძველები. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", თბილისი, № 4 (23) 2011 (გვ. 39-42).

2. გ. ნოზაძე, მ. ჭანტურია. ლუნვაზე მომუშავე შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების ხანგრძლივ დეფორმაციებზე გაანგარიშება. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", თბილისი, № 4 (39) 2015 (გვ. 87-89).

3. გ. ნოზაძე. ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე შედგენილი კვეთის კოჭის ექსპერიმენტული კვლევა. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", თბილისი, № 3 (42) 2016 (გვ.136-139).

დისერტაციის ძირითადი შედეგები მოხსენებულ იქნა:

სტუდენტთა 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კომფერენციაზე (გვ. 21.) 2016 წელს (თეზისები გვ. 21). „შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების ხანგრძლივ დეფორმაციებზე გაანგარიშება“.

სამუშაოს მოცულობა და სტრუქტურა: სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, 3 თავის, დასკვნის და გამოყენებული ლიტერატურის 25 დასახელების და დანართებისაგან. ტექსტის საერთო მოცულობაა 110 გვერდია.

ნაშრომის შინაარსი

პირველი თავი ეხება ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის გათვალისწინებით რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების თეორიების ზოგად მიმოხილვას.

ცოცვადობის დეფორმაცია წარმოადგენს პლასტიკური დეფორმაციის ერთ-ერთ სახეს. ის დამოკიდებულია გარემოს ტენიანობაზე, ელემენტის ზომასა და ბეტონის სტრუქტურაზე. ცოცვადობაზე გავლენას ახდენს დატვირთვის მომენტში ბეტონის ასაკი და დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობა. ცოცვადობის დეფორმაცია ვითარდება დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას. ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კომბინირებულ კონსტრუქციებში, ასევე კონსტრუქციებში, რომლებიც მონტაჟის მომენტში მუშაობენ სხვა სტატიკური სქემით, ხოლო ექსპლოატაციის მომენტში – სხვა სტატიკური სქემით.

რკინაბეტონის სტატიკურად ურკვევ კონსტრუქციებში, განსაკუთრებით უნივერსალური ტექნოლოგიით აგებულ კონსტრუქციებში და შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში, მნიშვნელოვანია ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების შედეგად აღძრული ძალები დამაბევი. ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის მახასიათებელი სიდიდე წარმოადგენს ექსპერიმენტულად დადგენილ სიდიდეს, რომელსაც გააჩნია შესაძლო გადახრები. ამ გადახრების შესაძლო მნიშვნელობა შეიძლება იმდენად დიდი აღმოჩნდეს, რომ გამოიწვიოს კონსტრუქციის მდგრადობის დაკარგვა.

ბეტონის ცოცვადობის გათვალისწინებით რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდების დამუშავებაში, ცნობილ

მეცნიერთა ნაშრომების ანალიზმა განაპირობა სათანადო მეთოდის შექმნა, სადაც გათვალისწინებულია ცოცვადობის დეფორმაციის სავარაუდო ბუნება და კონსტრუქციაში ამ დეფორმაციებით წარმოქმნილი დამაბული მდგომარეობები. ქვემოთ განხილულია ამ სფეროს ძირითადი შრომები.

რკინაბეტონის სტატიკურად ურკვევი კონსტრუქციების გაანგარიშება ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციების გათვალისწინებით გაშუქებულია ი.დ. ლივშიცის მრავალრიცხოვან ნაშრომებში, რომლის მიხედვითაც ბეტონის ცოცვადობის გავლენა არსებითად საყურადღებოა ასაწყობ-მონოლითური კონსტრუქციებისთვის. მონოლითური ბეტონის დამაბული მდგომარეობა, მათში ბზარების გაჩენის ხასიათი, შეიძლება გამოვლინდეს მათში მოქმედი ხანგრძლივი ფაქტორების გათვალისწინებით. ამ ფაქტორების გაანგარიშება უნდა ეყრდნობოდეს კონსტრუქციების მუშაობის სხვადასხვა სტადიის განხილვას (დროებით საყრდენზე განივი ელემენტების განთავსება, განივ ჭრილების გაერთიანება და დროებითი საყრდენების მოშორება, მონოლითური ბეტონის ჩამოსხმა, მუდმივი დატვირთვის მეორე ნაწილის ჩამოსხმა და სხვა.) აქედან გამომდინარე, ავტორი გვთავაზობს მეთოდურად, რომელიც ეყრდნობა დაძველების მოდიფიცირებული თეორიის გამოყენებას.

ა.ბ. გოლიშევის მიერ დამუშავებულია ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის გათვალისწინებით სტატიკურად ურკვევი კონსტრუქციების გაანგარიშების სხვადასხვა მეთოდები.

წარმოდგენილი გადაწყვეტა მისაღები ფორმით საშუალებას იძლევა გათვალისწინებულ იქნეს ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციების ცვლილება ბეტონის დაძველების გავლენის გათვალისწინებით სტატიკურად ურკვევ რკინაბეტონის კონსტრუქციები. კონკრეტული მაგალითის სახით მოყვანილია გადახურვის კოჭები.

ი.ზ. აკტიუგანოვი თავის ნაშრომებში განსაზღვრავს ხანგრძლივ დეფორმაციებს სტატიკურად რკვევად რკინაბეტონის კონსტრუქციებში

თავისუფლად არმირებული ელემენტებით. ბეტონის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა დაკავშირებულია ვოლტერის მეორე რიგის ინტეგრალურ განტოლებებთან, ხოლო არმატურისა-ჰუკის კანონთან. ამოცანა ამოიხსნება საერთო სახით: განტოლების ცენტრში და მის მარჯვენა ნაწილში და იდება ერთადერთი შეზღუდვა - ისინი ეკუთვნის L_2 კლასს.

ვ.ა. ზედგენიძემ ჩაატარა ექსპერიმენტალური გამოკვლევები ღუნვადი რკინაბეტონის კოჭებზე, წინასწარდაძაბული არმატურებით, ხანგრძლივი დატვირთვის პირობებში.

სტატიკურად ურკვევ რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ამოცანაა. ა. ზევენის ნაშრომში ამოიხსნება ინტეგრალურ-ოპერატორული მიდგომით. ძალის მეთოდის ინტეგრალური განტოლების სისტემა დგება ზოგიერთი წრფივი სისტემის ალგებრული განტოლების შესაბამისად, რომლის კოეფიციენტები დამოკიდებული არიან პარამეტრებზე. დამტკიცებულია, რომ პრინციპული გადაწყვეტილება ცოცვადობის გათვალისწინებით შეიძლება მივიღოთ პარამეტრის მემკვიდრეობითი ოპერატორის მეშვეობით ალგებრულ განტოლებებში. განვითარებულია ვოლტერის ოპერატორის ფუნქციის აპროქსიმაციის მეთოდი, რომლებიც მოხერხებულია კომპიუტერების რეალიზაციისათვის. მეთოდის სიზუსტე ილუსტრირდება მაგალითით.

ა.ს. სააკიანს სტატიაში მოჰყავს ექსპერიმენტალურ-თეორიული გამოკვლევების შედეგები რკინაბეტონის მოდელების ცოცვადობაზე, მრავალსართულიან ნაგებობებში ჰორიზონტალური დატვირთვების დროს. ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის ექსპერიმენტული მრუდები საკმაოდ კარგად აპროქსიმირდებიან დრეკად-მცოცავი ტანის თეორიებით. დადგენილია, რომ ბეტონის ცოცვადობა დიდ გავლენას ახდენს დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე, ჩალუნვებზე, ბზარების ჩამოყალიბებაზე და გახსნაზე, ასევე შესაერთებელი ელემენტების დაბოლოებათა ურთიერთ განლაგებაზე.

ამავე თემებს მიუძღვნეს თავიანთი შრომები ცნობილმა ბულგარელმა მეცნიერებმა დ.ნ. პატროვმა და ვ.გ. ჩერნიგოროვმა.

მასლოვ-არუთინიანის დრეკად-მცოცავი სხეულის ხაზობრივი თეორიის საფუძველზე ამოცანა სტატიკურად რკვევად ხიდზე, რომელიც შეერთებულია ბეტონის ფილებით, დაყვანილია ვოლტერის მეორე რიგის ინტეგრალურ განტოლებამდე. ეს განტოლებები გადაწყვეტილია კვადრატულ განტოლებათა სისტემის ჩანაცვლებით. ასეთ ცვლილებებს საფუძვლად უდევს ინტეგრალური ოპერატორების ჩართვა კვადრატულ განტოლებებში.

ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის გათვალისწინებით სტატიკურად რკვევად შედგენილ კოჭებში ძალთა გადანაწილების ამოცანის გადასაწყვეტად გამოყვანილია ვოლტერის მეორე რიგის ინტეგრალური განტოლებები. მოწოდებულია მათი გადაწყვეტის რიცხვითი მეთოდები, რომელიც დიდი სიზუსტით გამოირჩევა. მეთოდის საიმედოობა გამოცდილია კონკრეტულ მაგალითზე.

გადმოცემულია ბეტონის ცოცვადობის თეორიები. ბეტონი წარმოადგენს დრეკად-პლასტიკურ-ბლანტ მასალას. ხანგრძლივი დატვირთვის შედეგად პლასტიკური დეფორმაციები განპირობებულია მისი ცოცვადობით, რომელიც არსებით გავლენას ახდენს მის სიმტკიცეზე და კონსტრუქციის და ნაგებობის მდგრადობაზე. ამ მოვლენის ფიზიკური არსის შესწავლას ეძღვნება ისეთი დიდი სპეციალისტების შრომები, როგორებიც არიან: ფრეისინე, ა.ე. შეიკინი, ი. იულიცკი, რ. ლორმანი, გ.დ. ვიშნევსკი, გ. რიუში, ს.ვ. ალექსანდროვსკი, კ.ს. კარაპეტიანი, ვ.გ. მიხაილოვი, ზ.ნ. წილოსანი, რ. დევისი, ვიტმანი, ა. ნევილიდასხვები. ამ შრომებში განიმარტებიან ცოცვადობის თვისებების კანონების ცალკეული მხარეები, მაგრამ ისინი მთლიანად ვერ ხსნიან ამ მოვლენის არსს. ბეტონის და რკინაბეტონის დამაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე ბეტონის ცოცვადობის გავლენის აღსაწერად გამოიყენება შემდეგი წრფივი თეორიები:

დრეკადი-მემკვიდრეობის თეორია (ბლანტ-დრეკადი სხეული თეორია), დაძველების თეორიის მოდიფიცირებული ვარიანტი (ბლანტი-დრეკადი ტანის გამარტივებული თეორია) და დაძველების მემკვიდრეობითობის თეორია (ბლანტი-დრეკადი ტანის თეორია).

დრეკადი-დრეკადობის თეორიას საფუძვლად უდევს შემდეგი ძირითადი წინაპირობები:

1. ბეტონი განიხილება როგორც ერთგვაროვანი იზოტრიპული მასალა;
2. მყისიერ დეფორმაციას და დამაბულობას შორის არსებობს პირდაპირი დამოკიდებულება;

3. ცოცვადობის დეფორმაციას და დამაბულობებს შორის არსებობს წრფივი დამოკიდებულება;

4. დასაშვებია, რომ ცოცვადი დეფორმაციისთვის მოქმედებს დამატების პრინციპი: ჯამური დეფორმაცია ცვლადი დატვირთვის დროს შეიძლება მოიძებნოს როგორც ცოცვადობის დეფორმაციების ჯამის სახით, რომელიც მიიღება დამაბულობის დამატებით.

ამ დროს თვლიან, რომ ცოცვადობის დეფორმაცია, რომელიც გამოწვეულია დამაბულობის დამატებით, დამოკიდებულია ამ უკანასკნელის სიდიდეზე და ხანგრძლივობაზე.

დრეკადი მემკვიდრეობითობის თეორიის ძირითადი განტოლება შეიძლება ასე ჩაიწეროს:

$$\varepsilon_t = \frac{\sigma(t)}{E} - \frac{1}{E} \int_0^1 K(t-\tau) \sigma(\tau) d\tau \quad (1.1)$$

სადაც t - დროის მომენტი, რომლისთვისაც განისაზღვრება დეფორმაცია;

τ - დატვირთვის მიღების დროის მომენტი;

$K(t-\tau)$ - თავისუფალი ფუნქციაა, რომელიც დამოკიდებულია ორი არგუმენტის τ და t - ს სხვაობაზე.

მემკვიდრეობის პრინციპი პირველად აღწერა ბოლცმანმა, ხოლო დრეკადი მემკვიდრეობითობის თეორია შექმნა და განავითარა ვოლტერმა.

დაძველების თეორიის თანახმად დამოკიდებულება დამაბულობებსა და დეფორმაციებს შორის, როცა $E=const$, შემდეგი ძირითადი ფორმულით გამოიხატება:

$$\varepsilon_n(t) = \frac{\sigma_0}{1+\varphi_1} + \int_0^1 \frac{\partial \sigma}{\partial \tau} \delta(t, \tau) d\tau \quad (1.3)$$

სადაც $\varphi = \frac{\varepsilon_n(t)}{\varepsilon_0}$ – ცოცვადობის მახასიათებელია, ხოლო $\varepsilon_n(t)$ – ცოცვადობის დეფორმაცია;

ε_0 – დრეკად-მომენტალური (მყისიერი) დეფორმაციის მნიშვნელობა დატვირთვის დაწყების მომენტისთვის

$$\delta(t, \tau) = \frac{1}{E} + \frac{1}{E}(\varphi_1 - \varphi_\tau) \quad (1.4)$$

დიშინგერის მიხედვით φ_1 – სიდიდისათვის მიიღება დროის ცვალებადობის ექსპერიმენტალური კანონი

$$\varphi_1 = \varphi_k(1 - e^{-\beta t}) \quad (1.5)$$

სადაც φ_k – ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებელია, ანუ სიდიდე $t \rightarrow \infty$ -ის დროის;

მემკვიდრეობითი დაძველების თეორიაში გათვალისწინებულია როგორც დაძველების მოვლენა, ასევე დრეკადი მემკვიდრეობაც. ეს თეორია წარმოადგინეს და დაამუშავეს გ.ნ. მასლოვმა, ნ.ხ. არუთინიანმა და ა.ა. გვოზდევმა და შემგომში განავითარეს ი.ე. პროკოპოვიჩმა, ს.ვ. ალექსანდროვსკიმ, პ.ი. ვისილიევმა, ნ.ი. პანარინმა, ვ.მ. ბონდარენკომ, ა.პ. კუდზისმა, ა.ა. ზევინმა, ა.ი. ფილიპოვმა და სხვა მეცნიერებმა.

დეფორმაციებს და დამაბულობებს შორის ძირითადი დამოკიდებულება ასე ჩაიწერება:

$$\varepsilon(t) = \sigma(\tau_1)\delta(t, \tau) + \int_{\tau_1}^1 \frac{\partial \sigma(\tau)}{\partial \tau} \delta(t, \tau) d\tau$$

ე.ნ. შერბაკოვის ნაშრომებში განხილულია ბეტონის ცოცვადობის ალბათური ბუნება. რკინაბეტონის კონსტრუქციების პროექტირებისათვის

და მშენებლობისათვის საჭიროა ბეტონის ხანგრძლივი დეფორმაციების მნიშვნელობათა ნორმირება მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტულ მონაცემთა სტატისტიკური დამუშავების შესაბამისად.

ი.ვ. პროკოპოვის, თ.ი. ბლოხისა და მ.ნ. ზასტავას შრომებში მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდით უფრო საიმედოდაა დასაბუთებული აუცილებელი საანგარიშო მახასიათებლები და მოცემულია მათგან სავარაუდო გადახრათა მაქსიმუმები.

ცოცვადობის დეფორმაციებთან ალბათური მიდგომები მოცემულია ასევე ზ. ბაზონტის, უ. ჯორდანის, რ. ვესტლუნდის, ე. ცინლერის, ლ.ნ. მაკარენკოსდან, მ. ბიტკოს, მ. ჭანტურიას და სხვათა შრომებში.

ე.ნ. შერბაკოვის შრომებში ასევე მოცემულია ბეტონის მექანიკური მახასიათებლების პროგნოზირების მეთოდები, მათ შორის მისი ცოცვადობის (მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტალური მონაცემების სტატისტიკური გადამუშავების საფუძველზე).

ნაგებობის მდგრადობის საკითხები ყოველთვის იყო მშენებლობის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პრობლემა. ახალი კონსტრუქციული ფორმების შექმნა, ახალი მასალების დანერგვა, გაანგარიშებისა და პროექტირების მეთოდების დახვეწა მუდამ მიმართულია ნაგებობის საექსპლოატაციო მახასიათებლის გაუმჯობესებისაკენ, მისი საიმედოობისა და ხანმედევობისა მაღლებისაკენ, ადამიანის უსაფრთხოების უზრუნველყოფისაკენ ნაგებობის ექსპლოატაციის ყველა სტადიაზე.

მეორე თავში გადმოცემულია შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდიკა და ამ მეთოდიკის საფუძველზე გაანგარიშებულია ხიდის სავალი ნაწილის სიხისტის კოჭი დაძველების თეორიის და დაძველების მოდიფიცირებული თეორიის საფუძველზე. ასევე გადმოცემულია ჩატარებული სტატისტიკური ექსპერიმენტის შედეგები.

შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ცოცვადობის დეფორმაციისგან აღძრული ძალები იმდენად მნიშვნელოვანია რკინაბეტონის კონსტრუქციების საინჟინრო გაანგარიშებებში, რომ შესაძლო

გადახრების საზღვრების დადგენა წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ამოცანას.

ჩემი მიზანია, ბეტონის დრეკადობის მოდულის, ცოცვადობის დეფორმაციის ზომის და ცოცვადობის მახასიათებლის განსაზღვრული შეაძლო გადახრებისთვის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში აღძრული შესაბამისი ძალების და ძაბვების შესაძლო გადახრის საზღვრები. ძალვათა და ძაბვათა სიდიდეები, როგორც შემთხვევითი სიდიდეებისგან ნაწარმოები სიდიდეები, წარმოადგენენ შემთხვევით სიდიდეებს. მაგალითისთვის წარმოდგენილია შედგენილი კვეთის კოჭი, რომელშიც ერთობლივად მუშაობენ სხვადასხვა კლასის ბეტონები. მნიშვნელოვანია ის, რომ კონსტრუქციის ელემენტები შედგენილი კვეთისაა.

ასეთ შემთხვევაში ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების შედეგად აღძრული მღუნავი მომენტი განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$M_{Mc} = M_{dr} (1 - e^{-\varphi_n})$$

სადაც M_{Mc} - მღუნავი მომენტი, რომელიც ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარდება. M_{dr} - მომენტის სიდიდეა, რომელიც აღძვრება დრეკად სტადიაში. φ_n - ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის ზღვრული მახასიათებელია, რომელიც წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს.

φ_n წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს, რომელსაც გააჩნია შესაძლო შემთხვევითი გადახრები, რომლებიც გაუსის განაწილების კანონს ემორჩილებიან. აქედან გამომდინარე, ყველა φ_n -ზე დამოკიდებული სიდიდე წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს.

შედგენილ კვეთებში ძაბვათა განსაზღვრისას ცოცვადობის გათვალისწინებით, უნდა გავიანგარიშოთ ეს სიდიდე ყველა მდგენელი ერთგვაროვანი ელემენტისათვის დროის ნებისმიერ მომენტში.

ნაშრომში განხილულია ძაბვათა უშუალო გამოთვლის მეთოდი ცოცვადობის დეფორმაციების განვითარების გათვალისწინებით. მოცემულია რკინაბეტონის კოჭი, რომელიც ერთობლივად მუშაობს ბეტონის ფილასთან.

ჩემი ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების მუშაობის კვლევა და ამის საფუძველზე საკუთარი წვლილის შეტანა მათი გაანგარიშების მეთოდებში.

მთელი რიგი ნაშრომების შესწავლის და განხილვის შემდეგ გამოიკვეთა ნაშრომი კვლევის მიმართულება, განმეხილა შედგენილი კვეთის კონსტრუქცია როგორც ერთი მთლიანი ტანი (რედუცირებული ფართი).

ბზარების გაჩენის გარეშე დრეკად სტადიაში მომუშავე ბეტონის კვეთებში ნორმალური ძაბვები განისაზღვრება შიდა ძაღვებზე დამოკიდებულებით:

$$\sigma = N/A \pm M_y/I \quad (1)$$

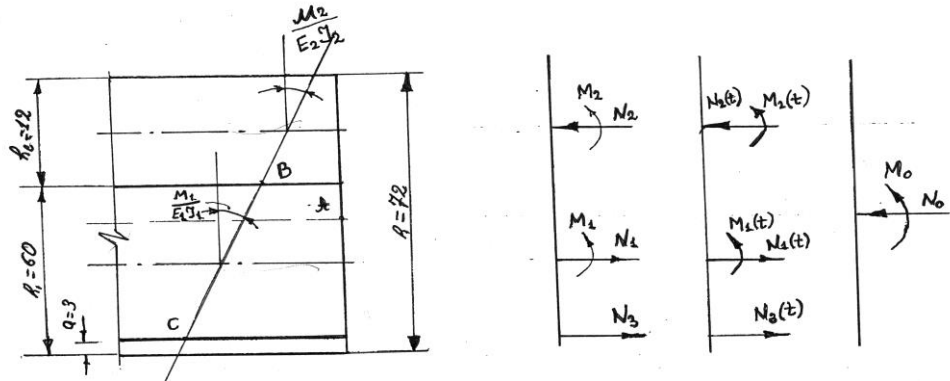
კვეთების გეომეტრიულ მახასიათებლებს იღებენ იმაზე დამოკიდებულებით, თუ როგორი კვეთი განიცდის N – ნორმალური ძალის და M_y - მღუნავი მომენტის ზემოქმედებას. თუ ნორმალური ძალა და მღუნავი მომენტი მოდებულია უარმატურო ბეტონის კვეთზე, მაშინ $A = A_{\square}$ და $I = I_{\square}$, სადაც A_{\square} და I_{\square} - ბეტონის განივკვეთის ფართობი და ინერციის მომენტია. თუ ამ კვეთში გვაქვს სხვადასხვა დრეკადობის მახასიათებლის მქონე ბეტონის კვეთები, გაერთიანებულნი ერთობლივი მუშაობისათვის, მაშინ $A = A_{\square}$ და $I = I_{\square}$, სადაც A_{\square} და I_{\square} - დაყვანილია (რედუცირებული) კვეთის ფართობი და ინერციის მომენტია.

შედგენილ კვეთებში ძაბვათა განსაზღვრისას, ცოცვადობის გათვალისწინებით, უნდა გავიანგარიშოთ ეს სიდიდე ყველა მდგენელი ერთგვაროვანი ელემენტისათვის დროის ნებისმიერ მომენტში.

ნაშრომში ჩვენგან ვიხილავთ ძაბვათა უშუალო გამოთვლის მეთოდს ცოცვადობის დეფორმაციების განვითარების გათვალისწინებით. მოცემული გვაქვს რკინაბეტონის კოჭი, რომელიც ერთობლივად მუშაობს რკინაბეტონის ფილასთან.

ამ დროს ყველა ერთგვაროვან ელემენტზე გარე ძაღვების ზემოქმედების შედეგად აღიმკვრებიან შემდეგი ძაღვები:

M_1 - მლუნავი მომენტი, რომელიც მოქმედებს კოჭის ბეტონის კვეთზე;
 $M_{1(t)}$ - მლუნავი მომენტი, რომელიც მოქმედებს კოჭის ბეტონის კვეთზე, ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების გათვალისწინებით;



ნახაზი 1. შედგენილი კვეთი

N_1 – ნორმალური ძალა, რომელიც მოდებულია კოჭის ბეტონის სიმბიმის ცენტრზე;

$N_{1(t)}$ – ნორმალური ძალა, რომელიც მოდებულია კოჭის ბეტონის სიმბიმის ცენტრზე, ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების გათვალისწინებით;

M_2 - მლუნავი მომენტი, რომელიც მოქმედებს ფილის ბეტონის კვეთზე;

$M_{2(t)}$ - მლუნავი მომენტი, რომელიც მოქმედებს ფილის ბეტონის კვეთზე, ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების გათვალისწინებით;

N_2 – ნორმალური ძალა, რომელიც მოდებულია ფილის ბეტონის სიმბიმის ცენტრზე;

$N_{2(t)}$ – ნორმალური ძალა, რომელიც მოდებულია ფილის ბეტონის სიმბიმის ცენტრზე, ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების გათვალისწინებით;

N_3 – ნორმალური ძალა, რომელიც მოდებულია არმატურის სიმბიმის ცენტრზე;

$N_3(t)$ – ნორმალური ძალა, რომელიც მოდებულია არმატურის სიმბიომის ცენტრზე, ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების გათვალისწინებით;

ამ შემთხვევისთვის ცოცვადობის მახასიათებელი: კოჭისთვის - $\varphi_1 = 2$, ფილისთვის - $\varphi_2 = 1$; ინერციის მომენტები: $I_1 = 216000 \text{ სმ}^4$ და

$$I_2 = 8640 \text{ სმ}^4;$$

ბეტონის განივკვეთის ფართობი: $A_1 = A_2 = 720 \text{ სმ}^2$. კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ცოცვადობის დეფორმაციების განვითარებას დაძველების თეორიაში, გამოითვლება ფორმულით:

$$k_x = \varphi_n / (1 - e^{\varphi_n}), k_1 = 2.313 \text{ და } k_2 = 1.582$$

წონასწორობის პირობები:

$$1. \sum X = 0N_1(t) + N_3(t) = N_2(t) \quad (1)$$

$$2. \sum M_A = 0M_1(t) + M_2(t) + N_2(t)(h_2/2|h_1 - h_{red}) + N_1(t)(h_{red} - N_3(t)(h_{red} - a)=0 \quad (2)$$

3. პირობა, რომ კოჭისა და ფილის მობრუნების კუთხეები ტოლია:

$$(M_1(t)/EI_1)k_1 = (M_2(t)EI_2)k_2 \quad (3)$$

4. B წერტილის პირობა:

$$(N_2(t)EA_2)k_2 - ((M_2(t)EI_2)h_2/2)k_2 = ((M_1(t)/EI_1)h_1/2)k_1 - (N_1(t)/EA_1)k_1 \quad (4)$$

5. C წერტილის პირობა:

$$N_3(t)E_sA_s = (N_1(t)/EA_1)k_1 + ((M_1(t)/EI_1)(h_1/2 - a)k_1 \quad (5)$$

საბოლოო გამოთვლები გვაძლევს:

$$M_1(t) = -374517,76 \text{ კგ.სმ. } (M_2(t)=-21722,03 \text{ კგ.სმ.}; N_1(t) = -1991,9 \text{ კგ.}$$

$$N_2(t) = -36569,8 \text{ კგ. } N_3(t) = -16652,9 \text{ კგ.}$$

$$\text{მახვეები: } \sigma_{max} = (M_o/I_{red})h_{red} \sigma_{min} = (M_o/I_{red})(72 - h_{red})$$

$$\sigma_{max} = 7,42 \text{ მპა } \sigma_{min} = -6,5 \text{ მპა}$$

ზემოთ მოცემულ ფორმულებში მონაწილეობს k_x კოეფიციენტი, რომელიც წარმოადგენს ცოცვადობის დეფორმაციის მახასიათებელის - φ_n -ის ფუნქციას. φ_n თვითონ წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს, რომელსაც

გააჩნია შესაძლო შემთხვევითი გადახრები, რომლებიც გაუსის განაწილების კანონს ემორჩილებიან. აქედან გამომდინარე, ყველა აქ მოყვანილი სიდიდე წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს, როგორც φ_n -ზე დამოკიდებულნი. მოცემულ ნაშრომში მოვიყვან მხოლოდ k_x კოეფიციენტის შესაძლო გადახრებს და დავადგენ მისი თეორიული განაწილების კანონს.

ამ სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე იგება ალბათური (თეორიული) განაწილების კანონი k_x - ის შესაძლო გადახრებისათვის, რომელსაც მოცემული შემთხვევისათვის აქვს ნორმალური განაწილების სახე:

$$f_{kx} = \left(\frac{0.23}{0.55\sqrt{2\pi}} \right) \exp\left(-\frac{(k_x - 2.36)^2}{2} \cdot 0.55^2\right)$$

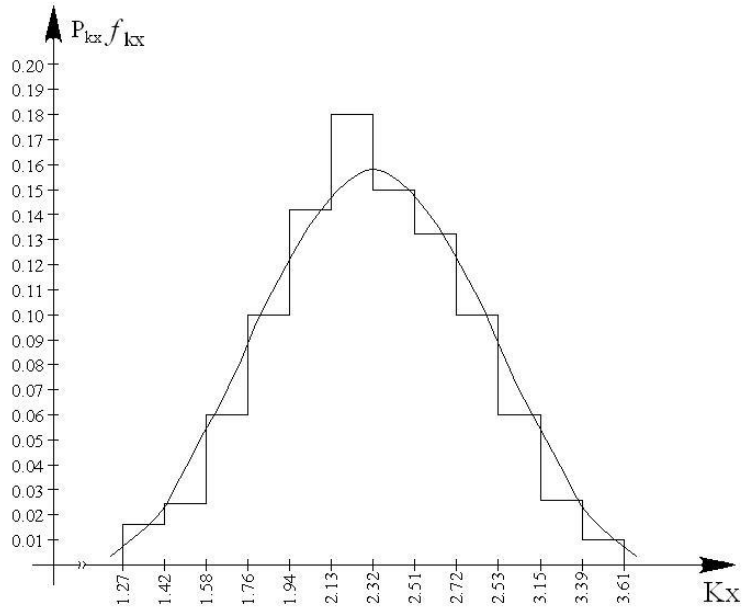
სადაც 0.23 ნორმალური განაწილების მრუდის (ნახ.2.ბ) სტატისტიკური რიგის ჰისტოგრამასთან (ნახ.2.ა) მიახლოების კოეფიციენტია. f_{kx} - ის მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილ 1-ში.

ცხრილი 1. k_x - ის შესაძლო გადახრათა ნორმალური განაწილების სიმკვრივები.

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| k_x | 1.27 | 1.42 | 1.58 | 1.76 | 1.94 | 2.13 | 2.32 | 2.51 | 2.72 | 2.93 | 3.15 | 3.39 | 3.61 |
| f_{kx} | 0.02 | 0.03 | 0.06 | 0.09 | 0.12 | 0.15 | 0.17 | 0.16 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.02 | 0.01 |

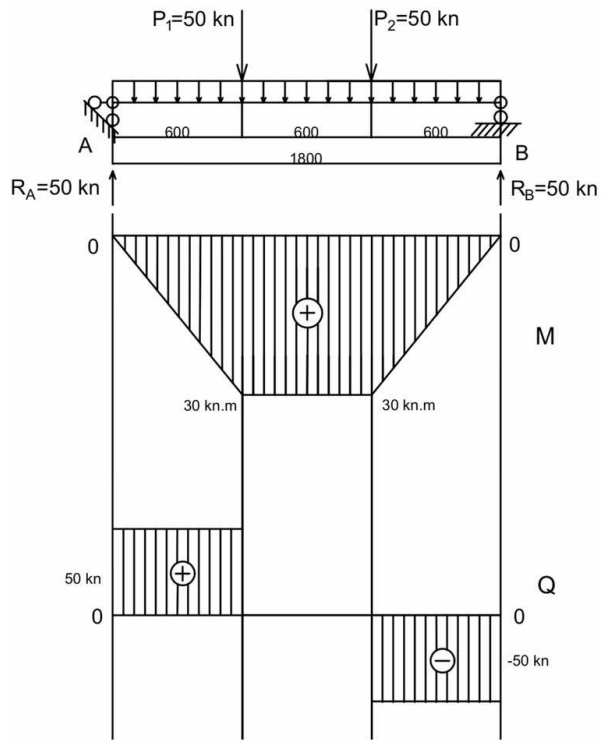
სტატისტიკური განაწილების რიგისთვის ნორმალური კანონის შესაბამისობა შემოწმდა კოლმოგოროვის შესაბამისობის კრიტერიუმით. $D=0.03$ განსხვავებულობის ზომას თეორიულ და სტატისტიკურ სიხშირებს შორის, როცა $\lambda = 0.9$, შესაბამისი ცხრილიდან შეესაბამება ჰიპოთეზის სამართლიანობის ალბათობა $P(0.9) - 0.4 > 0.1$, რადგან ეს ალბათობა საკმაოდ დიდია, ნორმალური განაწილების კანონის მისადაგება მოცემული სტატისტიკური რიგისთვის სამართლიანია.

ცხადია, k_x - ის შესაძლო გადახრები გამოიწვევს კვეთში აღძრულ ძაბვათა სიდიდეების ცვლილებას, რისი გამოკვლევაც მეტად მნიშვნელოვანია საბოლოოდ კონსტრუქციის საიმედო მუშაობისათვის.

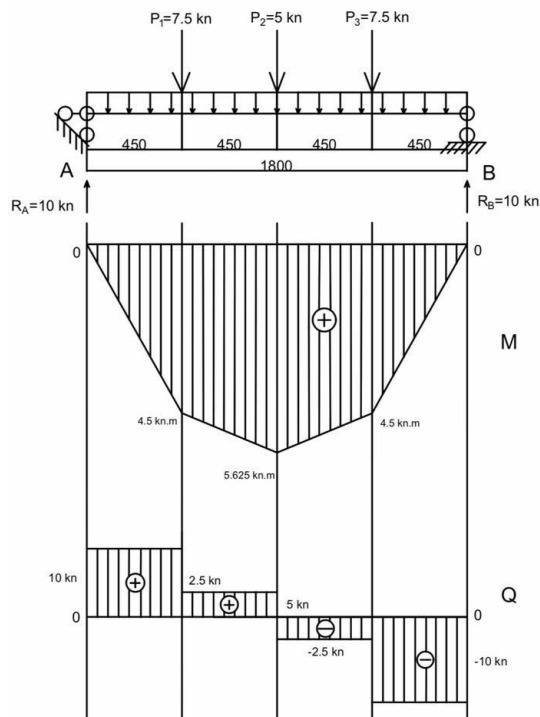


ნახაზი 2. k_x - ის ჰისტოგრამა და თეორიული განაწილების მრუდი

ნაშრომში ასევე გამოკვლეულია შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის კოჭში ცოცვდობის დეფორმაციის შედეგად განვითარებული მლუნავი მომენტის შესაძლო მნიშვნელობები. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების შედეგად აღძრული მლუნავი მომენტი წარმოადგენს შემთხვევითი არგუმენტის ფუნქციას, ამიტომ თვითონაც შემთხვევითი სიდიდეა თავისი შესაძლო შემთხვევითი გადახრებით. მნიშვნელოვანია ამ გადახრათა გაფანტულობის ზღვრების დადგენა, რადგან შესაძლოა ისინი იმდენად დიდი აღმოჩნდნენ, რომ კონსტრუქციის მდგრადობის დაკარგვაც კი გამოიწვიოს. დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად გაანგარიშებულ იქნა 2 მეტრის სიგრძის შედგენილი კვეთის კოჭი, რომელსაც ტესტური განივკვეთი აქვს; თარო, რომლის ზომებია 30X10X200 სმ, B20 კლასის ბეტონისგანა არის დამზადებული, ხოლო წიბო, ზომებით 10X20X200 სმ, - B15 კლასის ბეტონისგან დამზადდა. გაჭიმულ ზონა არმირებულია A-III კლასის 12 მმ დიამეტრის არმატურით. ნახ. 3-ზე და ნახ. 4-ზე მოცემულია შედგენილი კვეთის კოჭის საანგარიშო სქემა დატვირთვის სხვადასხვაგვარი მოდების პირობებში.



ნახ.3. საანგარიშო სქემა



ნახ. 4. საანგარიშო სქემა

სამშენებლო მექანიკის ფორმულების გამოყენებით გამოვიანგარიშე მღუნავი მომენტი და განვი ძალა, რომელთა მნიშვნელობებმა შეადგინა, პირველ შემთხვევაში $M_{\max} = 30 \text{ კნ.მ}$ $Q_{\max} = 50 \text{ კნ}$, ხოლო მეორე შემთხვევაში - $M_{\max} =$

5,625 კნ.მ $Q_{max}=10$ კნ. ფორმულაში, რომლითაც უნდა გამოვთვალოთ ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის შედეგად აღძრული მლუნავი მომენტი მნიშვნელობა დაძველების თეორიის საფუძველზე - $M_{Mc} = M_{dr} (1 - e^{-\varphi n})$ - ფიგურირებს ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებელი - φ_n , რომელიც წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს თავისი შემთხვევითი გადახრებით. ამიტომაც ეს სიდიდე (მლუნავი მომენტი) თვითონაც წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს. განსაზღვრულ იქნა ბეტონის ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრების შესაბამისი მნიშვნელობები მლუნავი მომენტისთვის. შევადგინე სტატისტიკური განაწილების რიგი (ცხრ.2) და დავადგინე თეორიული განაწილების ფუნქცია; გამოვთვალე ამ ფუნქციის მნიშვნელობები (ცხრ.3).

ცხრილი 2. მლუნავი მომენტის შესაძლო გადახრათა სტატისტიკური განაწილების რიგი

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------|--------------|-------------|------------|-------------|--------------|--------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| M_{n_2} | 2.25 2.98 | 2.98 3.50 | 3.50 4.0 | 4.0 4.5 | 4.5 4.67 | 4.67 4.87 | 4.87 5.03 | 5.03 5.175 | 5.175 5.2875 | 5.2875 5.345 | 5.345 5.407 | 5.407 5.456 |
| p_1^* | 0.01 | 0.03 | 0.06 | 0.1 | 0.13 | 0.17 | 0.17 | 0.13 | 0.1 | 0.06 | 0.03 | 0.01 |
| p_1 | 0.01 | 0.026 | 0.058 | 0.096 | 0.014 | 0.17 | 0.17 | 0.14 | 0.096 | 0.053 | 0.026 | 0.01 |

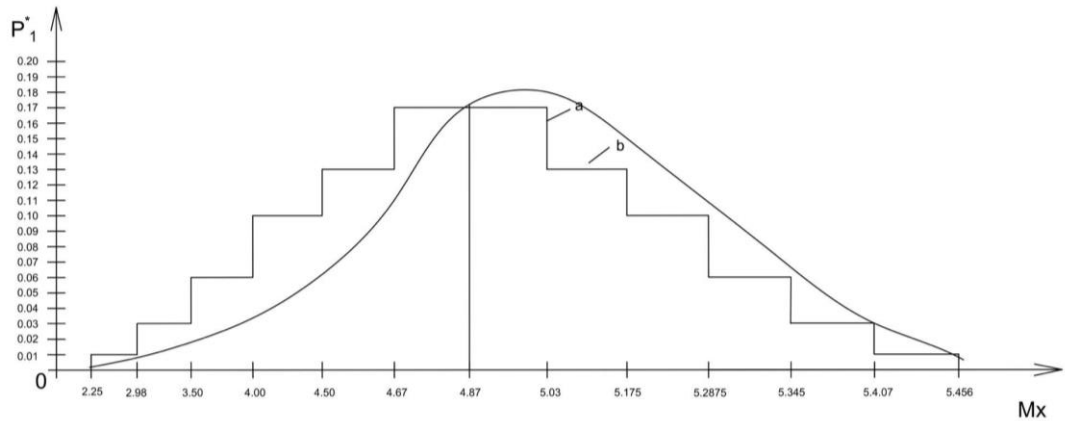
ცხრილი 3. მლუნავი მომენტის შესაძლო გადახრათა თეორიული განაწილების ფუნქციის მნიშვნელობები

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| M_{n_2} | 2.25 | 2.98 | 3.50 | 4.0 | 4.5 | 4.67 | 4.87 | 5.03 | 5.175 | 5.2875 | 5.345 | 5.407 | 5.456 |
| f_{M_2} | 0.002 | 0.008 | 0.018 | 0.04 | 0.062 | 0.11 | 0.172 | 0.180 | 0.150 | 0.120 | 0.100 | 0.030 | 0.28 |

მლუნავი მომენტის შესაძლო გადახრების თეორიული განაწილების ფუნქციას აქვს შემდეგი სახე:

$$f_{(Mx)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{0.7\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-m)^2}{2*0.7^2}}$$

სადაც 1 - თეორიული (ლოგისტიკური) განაწილების მრუდის სტატისტიკური განაწილების რიგის ჰისტოგრამასთან მიახლოების კოეფიციენტია (ნახ.5).



ნახ. 5. ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციისგან განვითარებული მღუნავი მომენტის შესაძლო მნიშვნელობათა განაწილების გრაფიკები; ა) ჰისტოგრამა, ბ) ლოგისტიკური განაწილების მრუდი

შესაბამისობის ჰიპოთეზის სამართლიანობა (ნახ.5), შევამოწმეთ კოლმოგოროვის შესაბამისობის კრიტერიუმით. მაქსიმალური განსხვავების მოდული თეორიულ მრუდს და სტატისტიკური განაწილების რიგის ჰისტოგრამას შორის $D = 0,03$. კოლმოგოროვის რიცხვი $\lambda = 0,03\sqrt{900} = 0,09$. λ -ს ასეთ მნიშვნელობას შესაბამისობის ცხრილებიდან შეესაბამება $P(0,9) = 0,38 > 0,1$; ამიტომ ეს ჰიპოთეზა სამართლიანია.

ზემოთ მოცემული კვლევებიდან შეიძლება შემდეგი დასკვნების გაკეთება:

ბეტონის ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის დიდ შესაძლო გადახრებს შეესაბამება შედგენილი კვების კოჭში ამ დეფორმაციების შედეგად განვითარებული მღუნავი მომენტის და ძაბვის შედარებით მცირე შესაძლო გადახრები;

შედგენილი კვების კონსტრუქციებში ცოცვადობის დეფორმაციის შედეგად განვითარებული ძაბვების შესაძლო გადახრების საზღვრები მერყეობს -45%-დან +50%-მდე, ხოლო ამ დეფორმაციებისგან განვითარებული ძაღვის (მღუნავი მომენტის) შესაძლო გადახრების საზღვრები მერყეობს -20%-დან +50%-მდე;

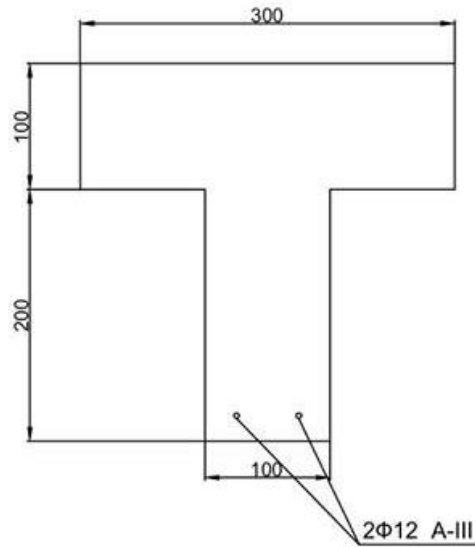
ცოცვალობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრების ვარიაციის კოეფიციენტი შედარებით დიდია - 26%, ვიდრე ამ დეფორმაციისგან აღძრული ძაბვის - 18%, ხოლო ძალვისა - 17%;

რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების საინჟინრო გაანგარიშებებში დასაშვებია გამოყენებულ იქნას ცოცვალობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრები -30%-დან +45%-მდე, რასაც შეესაბამება ძაბვის და ძალვის შესაძლო გადახრები -10%-დან +10%-მდე.

მესამე თავში გადმოცემულია რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კოჭის ექსპერიმენტული შედეგები. შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების გამოყენების არე სამშენებლო ინდუსტრიაში ძალზედ დიდია. მათ გაანგარიშებაში მეტად მნიშვნელოვანია დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას განვითარებული ცოცვალობის დეფორმაციები. თეორიულად გავიანგარიშე ამ სიდიდის მნიშვნელობა ყველა მდგენელი ერთგვაროვანი ელემენტისათვის დროის ნებისმიერ მომენტში და ექსპერიმენტით უნდა დამემტკიცებინა ამ გამოთვლების სამართლიანობა.

თეორიული გამოთვლების (თეორიული ექსპერიმენტის) გასამყარებლად, გადავწყვიტე პრაქტიკულად გამომეცადა ამ ტიპის კონსტრუქცია. ამისათვის საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო-სამეცნიერო ლაბორატორიაში დავამზადე შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის 2 მ. სიგრძის ტესტური განივკვეთის კოჭი (ნახ.6 და ნახ.7).

თარო, რომლის ზომებია 30X10X200 სმ, დამზადდა B20 კლასის ბეტონისგან, ხოლო წიბო, ზომებით 10X20X200 სმ, დამზადდა B15 კლასის ბეტონისგან. გაჭიმულ ზონაში სამუშაოდ გამოვიყენეთ A-III კლასის არმატურა დიამეტრით 12 მმ. ცოცვალობის მახასიათებელი B20 კლასის ბეტონისთვის $\varphi_1=3,1$, ხოლო B15 კლასის ბეტონისთვის $\varphi_2=2,8$. ინერციის მომენტები: $I_1=250000 \text{ სმ}^4$ და $I_2=6700 \text{ სმ}^4$; ბეტონის განივკვეთის ფართობი: $A_1=300 \text{ სმ}^2$; $A_2=200 \text{ სმ}^2$

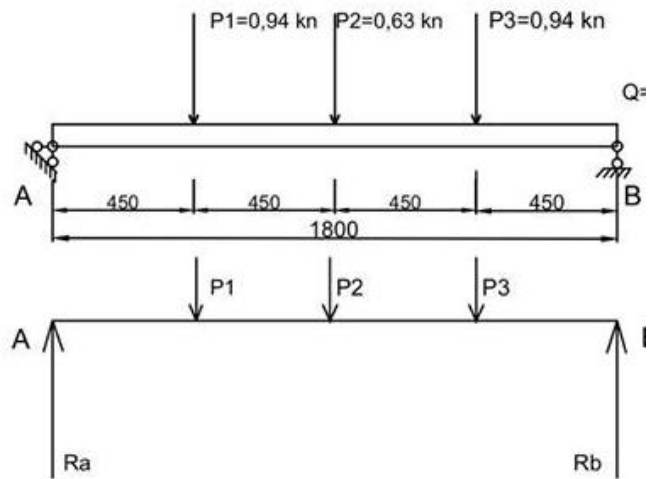


ნახ.6. შედგენილი კვების რკინაბეტონის კოჭი

თავდაპირველად გადაწყვეტილი იყო კოჭი დაგვერტვირთა თავისივე იდენტური კოჭით (ნახ.7). ასეთნაირად დატვირთული კოჭის საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ. 8-ზე. ექსპერიმენტი დავიწყე 2016 წლის მაისში. მთელი ზაფხულის განმავლობაში დატვირთულ კოჭზე დაკვირვებამ არანაირი შედეგი არ აჩვენა.



ნახ.7. დატვირთული კოჭი



ნახ.8. კოჭის საანგარიშო სქემა

გადავწყვიტე შემეცვალა დატვირთვის ფორმა და ექსპერიმენტის თავდაპირველი არსი, ანუ კოჭი უნდა გამეტეხა და დამედგინა კრიტიკული ძალის ზუსტი მნიშვნელობა, რათა შემდგომ ეტაპზე დაკვირვებისთვის იდენტური კოჭი დატვირთულიყო ხანგრძლივად კრიტიკული ძალის 20%-ის მნიშვნელობის დატვირთვით. წინასწარ გამოვიანგარიშე ამ ტიპის ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭი, გამოვთვალე კრიტიკული ძალის მნიშვნელობა, რომელსაც კოჭის რღვევა უნდა გამოეწვია. ამ ძალის მნიშვნელობამ 6,0 ტმ. შეადგინა.



ნახ. 9. დაუტვირთავიკოჭი

ექსპერიმენტის საბოლოო მიზანია, ხანგრძლივი დეფორმაციის განვითარების შედეგად აღძრული ძალების სიდიდის დადგენა, ჯდებათ თუ არა ისინი იმ საზღვრებში, რომელიც თეორიული სტატისტიკური ექსპერიმენტის შედეგად დავადგინე, ასევე მათი გავლენა კონსტრუქციის მზიდუნარიანობაზე. თეორიულად გამოთვლილი მაქვს ამ ტიპის კონსტრუქციაში აღძრული მღუნავი მომენტის და ძაბვების მნიშვნელობები დაძველების თეორიის საფუძველზე. ექსპერიმენტს უნდა ეჩვენებინა რომელი თეორიით გამოთვლილი მნიშვნელობა იყო რეალურთან უფრო ახლოს. ამას სჭირდებოდა დრო, და სწორედ ამიტომ დავამზადე იდენტური კოჭი, რომელიც დავტოვე დატვირთვის. ხუთ თვიანი დაკვირვების შედეგების დინამიკა საკმაოდ დამაკმაყოფილებელია.

ექსპერიმენტის პირველ ეტაპზე უნდა დადგენილიყო სწრაფად (მყისიერად) განვითარებული ძალები და დეფორმაციები. დატვირთვის რა მნიშვნელობისთვის ჩნდებიან პირველი ბზარები, რომლებიც ზედაპირზე ჯერ კიდევ არ ჩანან და რა დატვირთვის გაუძლებდა საბოლოოდ კოჭი, რამდენად დაემთხვევა ეს შედეგი თეორიულად გამოთვლილ მნიშვნელობას. თეორიულად გამოვთვალე დამუშავებული მეთოდიკით ზღვრული ძალის მნიშვნელობა, რომელმაც 6,0 ტმ (60კნ) შეადგინა. ექსპერიმენტის დროს, დატვირთვის 6,4 ტმ (64კნ) მნიშვნელობის დატვირთვის დროს კოჭში გაჩნდა პირველი ბზარები (ნახ.10), ანუ განსხვავება ექსპერიმენტულსა და თეორიულს შორის თითქმის 7%-ა, ხოლო 10 ტმ (100კნ) დატვირთვის მნიშვნელობისთვის (კრიტიკული ძალის მნიშვნელობა) კოჭის მთლიანობა დაირღვა ნახ. 11, 12, 13. ცხრილ 4-ში მოცემულია ამ ეტაპის ტენზომეტრის ანათვლები, ხოლო ნახ. 14-ზე შესაბამისი ძაბვა-დეფორმაციის გრაფიკები.



бсб.10



бсб.11



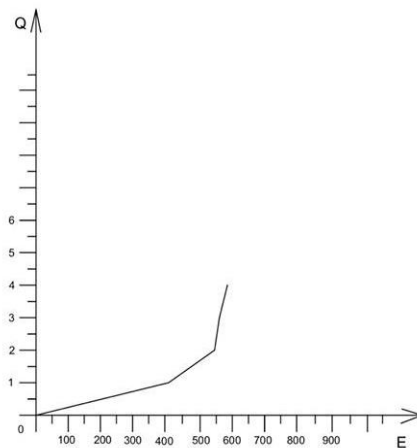
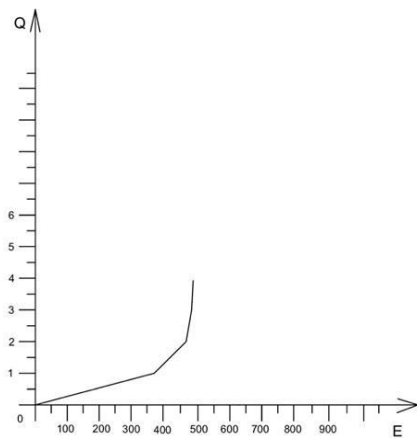
бсб. 12

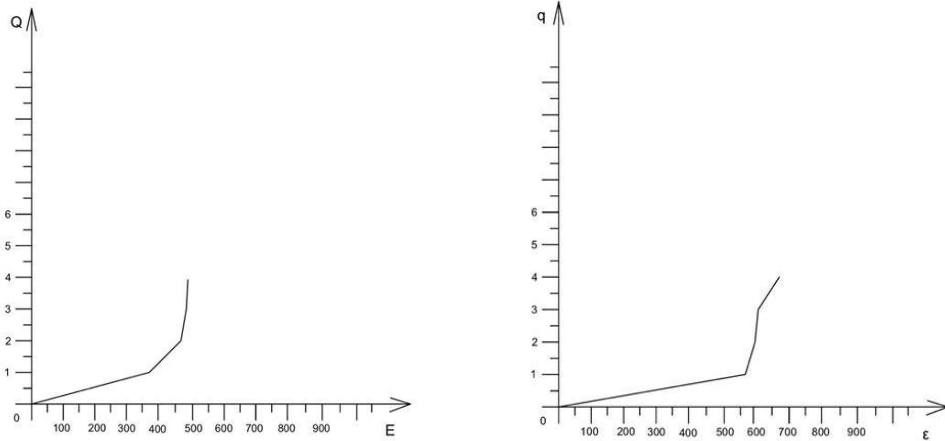


ნახ.13

ცხრილი 4. ტენზომეტრების ანათვლები

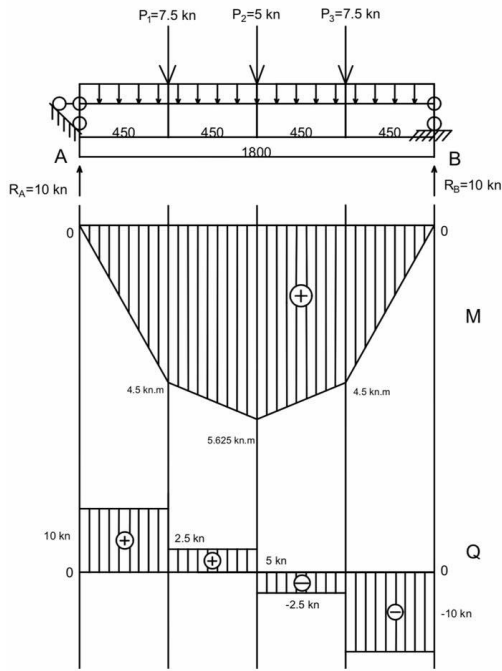
| | | ტენზომეტრების ანათვლები | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| # | დატ. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 1 | 0 ტ. | 890 | 801 | 789 | 688 | 410 | 406 | 412 | 420 | 415 | 416 | 402 | 875 | 401 | 405 | 825 | 410 | 402 |
| 2 | 1 ტ. | 929 | 870 | 817 | 700 | 425 | 471 | 555 | 575 | 485 | 520 | 495 | 880 | 417 | 420 | 851 | 425 | 435 |
| 3 | 2 ტ. | 942 | 932 | 772 | 840 | 542 | 473 | 570 | 605 | 495 | 600 | 600 | 910 | 450 | 435 | 870 | 500 | 470 |
| 4 | 3 ტ. | 950 | 990 | 780 | 710 | 543 | 490 | 570 | 609 | 500 | 720 | 630 | 940 | 465 | 460 | 875 | 553 | 471 |
| 5 | 4 ტ. | 910 | — | 785 | 715 | 550 | 495 | 575 | 680 | 505 | — | 632 | 995 | 468 | 465 | — | 550 | 475 |





ნახ. 14. ძაბვა-დეფორმაციის გრაფიკი

ამის შემდეგ დავუბრუნდი ექსპერიმენტის ძირითად მიზანს, რომელიც მდგომარეობდა შემდეგში: შედგენილი კვეთის ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭში ხანგრძლივი დეფორმაციებისგან, კერძოდ, ცოცვადობის დეფორმაციისგან განვითარებული ძალებების (მღუნავი მომენტის) კვლევა. ამისათვის კოჭზე, რომლის ზომებია - სიგრძით 2 მეტრი, თარო, რომლის ზომებია 30X10X200 სმ, დამზადდა B20 კლასის ბეტონისგან, ხოლო წიბო, ზომებით 10X20X200 სმ, დამზადდა B15 კლასის ბეტონისგან. გაჭიმულ ზონაში სამუშაოდ გამოვიყენეთ A-III კლასის არმატურა დიამეტრით 12 მმ, ანუ იდენტურია პირველი კოჭის (ნახ.16). კოჭი დაიტვირთა 2016 წლის ოქტომბერში. კოჭზე მოვდეთ კრიტიკული დატვირთვის 20%, 2,0 ტძ. საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ.15-ზე.



ნახ.15. კოჭის საანგარიშო სქემა

ექსპერიმენტის დაწყებიდან ხუთი თვის შემდეგ უკვე გამოიკვეთა ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების დინამიკა. მიღებული შედეგების თეორიული გაანგარიშების შედეგთან შედარებამ დამაკმაყოფილებელი შედეგი მოგვცა. ამ შედეგით და სხვა მეცნიერთა მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტების სტატისტიკურმა დამუშავებამ გვიჩვენა, რომ ძაბვები, რომლებიც რედუცირებული კვეთისთვის არის გამოთვლილი, საკმაოდ ახლოსაა ძაბვების უშუალო დათვლის მეთოდით მიღებულ სიდიდესთან.



ნახ.16. დატვირთული კოჭი

ძირითადი დასკვნები

1. შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში ცოცვადობის დეფორმაციის შედეგად განვითარებული ძაბვების შესაძლო გადახრების საზღვრები მერყეობს -45%-დან +50%-მდე, ხოლო ამ დეფორმაციებისგან განვითარებული ძაღვის (მღუნავი მომენტის) შესაძლო გადახრების საზღვრები მერყეობს -20%-დან +50%-მდე;

2. ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრების ვარიაციის კოეფიციენტი შედარებით დიდია - 26%, ვიდრე ამ დეფორმაციისგან აღძრული ძაბვის - 18%, ხოლო ძაღვისა - 17%;

3. ძაღვები, რომლებიც აღიძვრებიან რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების შედეგად, წარმოდგენილია როგორც ფუნქცია ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლისა, რომელიც წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს და მნიშვნელოვნად მოქმედებს რკინაბეტონის შენობა-ნაგებობების დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე. მიღებულია, რომ ბეტონის ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო მნიშვნელობები ემორჩილებიან ნორმალური განაწილების კანონს. ამასთან 0,95-იანი გარანტიით ამ სიდიდის გადახრები მერყეობს $\pm 45\%$ -ის ფარგლებში, ხოლო 0,84 გარანტიით - $\pm 25\%$ -ის ფარგლებში.

4. შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრებს $\pm 25\%$ -ის ფარგლებში, შეესაბამება მღუნავი მომენტის შესაძლო გადახრის მნიშვნელობა $\pm 5\%$ -ის ფარგლებში.

5. რკინაბეტონის შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების საინჟინრო გაანგარიშებებში დასაშვებია გამოყენებულ იქნას ცოცვადობის ზღვრული მახასიათებლის შესაძლო გადახრები -30%-დან +45%-მდე, რასაც შეესაბამება ძაბვის და ძაღვის შესაძლო გადახრები -10%-დან +10%-მდე.

6. შედგენილი კვეთის კონსტრუქციებში ხანგრძლივი დეფორმაციების შედეგად განვითარებული ძაბვების შესაძლო გადახრები

0,87 საიმედოობით ექვემდებარებიან ნორმალური (გაუსის) განაწილების კანონს.

7. შედგენილი კვეთის რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ცოცვადობის დეფორმაციისგან განვითარებული მღუნავი მომენტის შესაძლო გადახრების თეორიული განაწილების კანონი ახლოსა არის ლოგისტიკურ განაწილების კანონთან.

8. პრაქტიკულმა ექსპერიმენტმა დაწყებიდან ხუთი თვის შემდეგ უკვე აჩვენა, რომ ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების დინამიკა თეორიული გაანგარიშებით მიღებულ შედეგებთან დამაკმაყოფილებლად ახლოს არის. ამ შედეგმა და სხვა მეცნიერთა მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტების სტატისტიკურმა ანალიზმა აჩვენა, რომ ძაბვები და ძაღვები, რომლებიც რედუცირებული კვეთისთვისა არის გამოთვლილი, საკმაოდ ახლოსაა მათი უშუალო დათვლის მეთოდით მიღებულ სიდიდესთან.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში

1. გ. ნოზაძე, მ. ჭანტურია. სტატიკურად ცვლადი საანგარიშო სქემის კონსტრუქციების საიმედოობაზე გაანგარიშების საფუძვლები. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", თბილისი, № 4 (23) 2011 (გვ. 39-42).
2. გ. ნოზაძე, მ. ჭანტურია. ღუნვაზე მომუშავე შედგენილი კვეთის კონსტრუქციების ხანგრძლივ დეფორმაციებზე გაანგარიშება. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", თბილისი, № 4 (39) 2015 (გვ. 87-89).
3. გ. ნოზაძე. ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე შედგენილი კვეთის კოჭის ექსპერიმენტული კვლევა. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", თბილისი, № 3 (42) 2016 (გვ.136-139).

Abstract

STATISTICAL ANALYSIS OF STRESSES ARISEN IN COMPOSITE SECTION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Concrete and reinforced concrete represent the basic structural materials in the construction field. In the theory of analysis of reinforced concrete structures one of the important tasks represents the analysis of structure under the action of long-time deformation, but in this scope is not sufficiently reliable determined the possible scattering boundaries of the concrete creep characteristics values and impact of this factor on stress distribution in reinforced concrete composite section structures, as well as its impact on such types of structural elements, in that jointly are working concrete and steel, steel and composite, having different characteristics concretes (different classes), etc.

There are developed the approximate methods, in that are quite completely taken into account the singularity of internal stresses variation nature in structure, but so far has not been adequately developed the methodology of analysis that will be based on processing of creeping statistical experimental data of applied in this type of concrete structures. This methodology provides a possibility of assessment of stress variation due concrete creep influence and determination by this way of concrete and reinforced concrete structur materials consumption and resources of durability.

In this connection there was made an attempt to develop well-grounded methodology for analysis of composite section structures reinforced concrete structures taking into account the concrete creep deformation probabilistic nature that taking into account the long-time deformations of the concrete in the structure calculation theory represents one of the most urgent tasks.

Proceeding from the purposes of the study there were arisen the following tasks:

there were considered forces and stresses that are arisen in the reinforced concrete composite section structures as a random argument (concrete creep limit characteristic) function; will be specified for the forces and stresses possible deviation limits and their calculating the law – to determine what possible deviations of forces and stresses to concrete creep characteristics possible limit deviations.

For the justification of stated in this work the theoretical research there was conducted the practical experiment, the dynamics of which turned out quite close to the result of developed theory.

In the dissertation work there was developed analysis methodology for composite section structures taking into account the possible deviations of statistical dispersion of the concrete creep deformations; there are defined the possible deviations of forces and stresses those are arisen in the composite section structures due to development of concrete creep deformation, in accordance with its ultimate possible deviations.

On the basis of carried out in the dissertation work theoretical and experimental studies there is developed the methodoligg of reinforced concrete composite sections structures analysis taking into account the probability nature of concrete creep deformation and were determined the accordance of creep deformation ultimate characteristic, as a random variable calculating limits of accordingly forces and stresses possible deviations. It was defeined that in the composite section structures range of the possible deviations developed due creep deformation as a result of stresses varies from -45% up to + 50%, while the possible deviations range of developed due these deformation torque (bending moment) varies from -20% up to + 50%;;

The variation coefficient of creep characteristics possible limit deviations is relatively high - 26%, while at arisen due deformation stress - 18%, but for forces - 17%;

Stresses those are arisen in the reinforced concrete composite section structures as a result of the development of concrete creep deformation, are presented as a function of creep limit characteristic, which represents a random value and significantly affects on mode of deformation of reinforced concrete buildings. It is accepted that possible values of concrete creep characteristics limit obey the normal distribution law. At the same time with 0.95-percent guarantee this value deviations range vary in the range from $\pm 45\%$, and with the guarantee of 0,84 – in the range of $\pm 25\%$.

To the composite section reinforced concrete structures ultimate creep characteristics possible deviations within range of $\pm 25\%$ corresponds the bending moment possible deviation in the range of $\pm 5\%$.

In the engineering calculations reinforced concrete composite section structures there is possible the use of creep characteristics possible ultimate deviations from -30% up to $+ 45\%$, which corresponds to the stress and force possible deviations from -10% up to $+ 10\%$.

In the composite section structures possible deviations 0.87 with reliability the developed as a result of long-time deformations is subjected to normal (Gaussian) distribution law.

The law of theoretical distributor of possible deviations of bending moments arisen in the RC composite sections due to creep deformations is close to the law of logistic distribution

The practical experiment after five months from the start have shown that creep deformation development dynamics is satisfactory close to the obtained by theoretical calculations. This result and results obtained by other scientists shows that stresses and forces calculated for reduced section are rather close with obtained by direct readings method.