

УДК 624.016

ВПЛИВ СПОСОБУ ПЕРЕДАЧІ НАВАНТАЖЕННЯ НА РОБОТУ КОРОТКИХ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАПОВНЕНИХ ВИСОКОМІЦНИМ БЕТОНОМ

Д-р тех.наук Л.І. Стороженко, д.т.н., доц., Д.А. Єрмоленко, аспір. О.В. Демченко

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПЕРЕДАЧИ НАГРУЗКИ НА РАБОТУ КОРОТКИХ ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАПОЛНЕННЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫМ БЕТОНОМ

Д-р техн. наук Л.И. Стороженко, доц. Д.А. Ермоленко, аспирант О.В. Демченко

INFLUENCE OF THE LOAD TRANSFERENCE METHOD ON SHORT TUBE CONCRETE ELEMENTS FILLED WITH HIGH-STRENGTH CONCRETE

Dr. sc. sciences L.I. Storozhenko, docent D.A. Yermolenko, graduate student O.V. Demchenko

У статті наведено результати експериментальних досліджень коротких центрально-стиснутих конструктивних елементів із сталевих труб заповнених високоміцними бетонами залежно від передачі навантаження. Визначено несучу здатність, відносні деформації і встановлено характер руйнування залежно від способу завантаження та міцності бетонного осердя. Наведено характеристики застосованих матеріалів, зокрема розроблених складів високоміцних бетонів.

Ключові слова: труобетон, високоміцний бетон, несуча здатність

В статье приведены результаты экспериментальных исследований коротких центрально-сжатых конструктивных элементов из стальных труб заполненных высокопрочными бетонами в зависимости от метода передачи нагрузки. Определено несущую способность, относительные деформации и установлен характер разрушения в зависимости от способа загрузки и прочности бетонного ядра. Приведены характеристики применяемых материалов, в частности разработанных составов высокопрочных бетонов.

Ключевые слова: труобетон, высокопрочный бетон, несущая способность.

This article deals with advantages and disadvantages of use of concrete filled with steel tube structures with cores of high-strength concrete. Characteristics of used materials are shown, including the physical and mechanical properties of high-strength concrete compositions designed with using the local materials. Results of experiments of short centrally compressed structural elements of steel tubes filled with high-strength concrete and according to the load transference onto complex cross-section and concrete core are presented. It has been determined the capacity relatively the deformations and it has been found the fracture character according to the way of loading and concrete core strength. The method of transference of the load results in efficiency of tube concrete element from the high strong. Load transfer method impacts the efficient of high-strength concrete filled steel tubes structure element. Carrying capacity of test samples N1 increased by 8 – 20% when load is transferred to concrete compared to complex cross-section. Longitudinal deformation decreases during the load transfer onto concrete core compared to complex cross-section load transfer.

Keywords: Concrete filled steel tube, high-strength concrete, sustaining capacity.

Вступ. Сучасне будівництво елементів, що володіють високою несучою характеризується збільшенням висотності здатністю, надійністю і довговічністю при споруд, зростанням технологічних малих поперечних перерізах. В останні роки навантажень, що вимагають застосування на великих будівництвах Західної Європи, стрижневих вертикальних несучих США, Китаю, Японії все частіше

зустрічаються трубобетонні конструкції [1,2]. Проста технологія виготовлення, економія корисної площі приміщень за рахунок меншого в порівнянні з іншими залізобетонними елементами поперечного перерізу робить конструкції зі сталевих труб, заповнених бетоном, привабливішими. Крім того, крихкий високоміцний бетон в трубчатій обоймі набуває властивостей "пластичного тіла", що дозволяє отримати надійну конструкцію [3,4].

Постановка проблеми. Більш широкому поширенню трубобетонних конструкцій в нашій країні перешкоджає ряд причин. Серед них слід відзначити відсутність вітчизняних норм проектування трубобетонних конструкцій. У трубобетонних конструкцій є деякі конструктивні недоліки, основний з них - виникнення розтягуючих напружень на поверхні контакту сталеві труби і бетонного ядра в пружній стадії роботи трубобетонного елемента внаслідок різниці коефіцієнтів Пуассона сталі і бетону ($\nu_s \approx 0,3$, $\nu_b \approx 0,2$) [5].

Аналіз останніх досліджень. Проведені всебічні експериментальні дослідження трубобетонних елементів. Як свідчать результати цих досліджень ефективними є трубобетонні несучі конструкції із заповненням бетоном відносно малої міцності. Застосовуються ці конструкції в основному в промислових будівлях. Дослідники відзначають визначальний вплив на міцність трубобетонних елементів масштабного фактора, коефіцієнта армування, міцності сталі і бетону [3,6]. Однак застосування бетонів класів за міцності на стиск більше С 50-60 майже не досліджувалося. В трубобетонних елементах застосовувалися, в основному, бетони класів за міцністю на стиск С 12/15- С 40/50. Крім того, підвищити ефективність роботи елементів на осьовий стиск можна за рахунок зміни структури бетонного ядра і його композиційної основи, які істотно впливатимуть на деформативні властивості [7].

Поставлені завдання традиційними методами та матеріалами не вирішити, ставляться питання створення ефективних матеріалів і конструкцій високої надійності і мінімальної ваги. Для вирішення цих проблем необхідно впровадження нових технологій і високоміцних матеріалів.

Відсутність загально визнаних інженерних методик розрахунку несучої здатності трубобетонних конструкцій з урахуванням ефекту обойми, недолік експериментальних даних про роботу високоміцних бетонів зумовлює актуальність досліджень з оцінки несучої здатності трубобетону із застосуванням високоміцних бетонів.

Основною метою експериментальних досліджень трубобетонних елементів при короткочасному впливі статичного навантаження було вивчення впливу міцності бетонного заповнення, способу передачі навантаження на несучу здатність і напружено-деформований стан трубобетонних елементів.

Виклад основного матеріалу
Прийнята програма експериментальних досліджень передбачала випробування на стиск серій коротких трубобетонних елементів: серія ТБ - навантаження передається на комплексне переріз; серія БВТ навантаження передається на бетонний ядро.

Зразки серій ТБ-1-1 та БВТ-1-6 заповнені складом бетону 1, серій ТБ-1-2 та БВТ-1-7 заповнені складом 2, серій ТБ-1-3 та БВТ-1-8 заповнені складом бетону 3, серій ТБ-1-4 та БВТ-1-9 заповнені складом бетону 4, серій ТБ-1-5 та БВТ-1-10 заповнені складом бетону 5. Висота дослідних зразків становила 640 мм ($l = 4D$). Оболонка виконана з сталевих електрозварних прямошовних труб $D = 159$ з товщиною стінки 3,5 мм. Механічні характеристики матеріалу труби-оболонки $\sigma_u = 259$ МПа, $\sigma_y = 343$ МПа. Несуча здатність труби 480 кН. Для виконання поставленої задачі з метою пошуку оптимальних складів високоміцного бетону досліджувалося ряд складів (табл. 1) різною міцністю [9].

Під час завантаження фіксувалось два характерні для трубобетону зусилля [6,8]: зусилля N_1 – навантаження яке відповідає межі текучості матеріалу оболонки; зусилля N_2 – максимальне зусилля. При досягненні величини руйнівного зусилля N_2 всі дослідні зразки мали перевищення несучої здатності трубобетонного елемента над сумарною.

На несучу здатність найбільший вплив робить міцність бетонного ядра при заповненні ядра бетоном складу 5 несуча здатність зразків збільшилась в середньому на 50 % порівняно з заповненням складом 1.

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

А при досягненні зусилля N_1 спосіб передачі навантаження виявився суттєвим фактором, що впливає на ефективність конструктивного трубобетонного елемента із високоміцним бетоном. Встановлено що при

передачі на вантаження на бетонне ядро збільшується несуча здатність N_1 для зразків заповнених бетоном складу 1 на 8% при використанні бетону складу 5 до 20%.

Таблиця 1

Характеристики складів бетонів

Номер складу бетону	Міцність за кубами σ_{sub} , МПа	Міцність за циліндрами σ_{cil} , МПа	Призмova міцність σ_c , МПа	Модуль пружності $E_0 \times 10^5$, МПа	Коефіцієнт Пуассона ν_0	Гранична деформація $\varepsilon_c \times 10^{-5}$
1	36,4	36,9	32,5	0,265	0,21	148
2	63,5	63,0	54,3	0,323	0,18	191
3	71,9	75,4	65,0	0,367	0,19	221
4	77,6	81,5	70,3	0,393	0,19	218
5	86,9	93,4	80,5	0,401	0,19	196

Характер руйнування експериментальних зразків серій ТБ та БВТ з ядром із високоміцного бетону у випадку передачі навантаження на комплексний переріз та на бетонне ядро був практично однаковим. Руйнування зразків ТБ-1 та БВТ-1 із складами бетону 2, 3, 4, 5 відбувалося шляхом плавного рівномірного зрізу бетонного осердя по внутрішній поверхні оболонки, при досягненні максимального

зусилля N_2 зразків, що характеризувалася утворенням і розвитком зрізів при зростанні навантаження під кутом 20-35°. Зразок ТБ-1-1 з складом бетону 1 зруйнувався внаслідок утворення поперечної гофри, а також розширення зразка у середньому перерізі. Зразки серії БВТ-1-6 з складом бетону 1 навантаження передавалося на бетонне ядро руйнувався внаслідок поперечного розширення в середині перерізу і на момент досягнення граничного стану не мав гофр.



Рис. 1. Характер руйнування зразків

При невеликих навантаженнях $0,6 N_1$ труба деформується пружно, а в бетоні починають розвиватися пластичні деформації. Зі зростанням навантаження в бетоні починають з'являтися мікротріщини, збільшується боковий тиск між бетоном та оболонкою, що призводить до зростання поперечних деформацій, які фіксувались

електротензисторами, наклеєними на трубу та індикаторами.

При подальшому збільшенні навантаження до $0,9 N_1$ поздовжні напруження в трубі досягають межі плинності. Спочатку це явище має локальний характер – на поверхні труби лакове покриття втрачало «глянець». При цьому у бетонному ядрі

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

продовжується утворення тріщин в площинах, паралельних площині дії зусилля.

При навантаженнях близьких до $0,8 N_2$ в місці прикладання навантаження спостерігається початок утворення зрізу бетонного осердя за площиною, яка під кутом перетинає поздовжню вісь та зростання об'єму, що свідчить про збільшення поперечних деформацій, які становили приблизно $(100 \div 200) \times 10^{-5}$. В такому стані труботонний елемент ще здатний сприймати зростаюче навантаження, хоча при цьому спостерігаються значні поздовжні деформації. В момент руйнування поздовжні деформації експериментальних зразків складали $(10 \div 15) \%$, що значно перевищує деформації допустимі при експлуатації конструкції.

В процесі випробування експериментальних зразків фіксувалися

поздовжні та поперечні деформації, за цими даними були побудовані залежності $N - \varepsilon$. На початку завантаження залежність $N - \varepsilon$ (рис. 2) близька до лінійної, потім графіки приймають криволінійний характер, що пояснюється особливостями деформування сталі та бетону. Поперечні деформації при невеликих навантаженнях розвиваються незначним чином, а з наближенням до граничного стану сильно зростають. Це свідчить про зростання напружень в поперечному напрямку. Тобто об'єм зразка під кінець збільшувався, перевищуючи первинний. Початок збільшення об'єму зразка приблизно співпадає з початком плинності труби в поздовжньому напрямку.

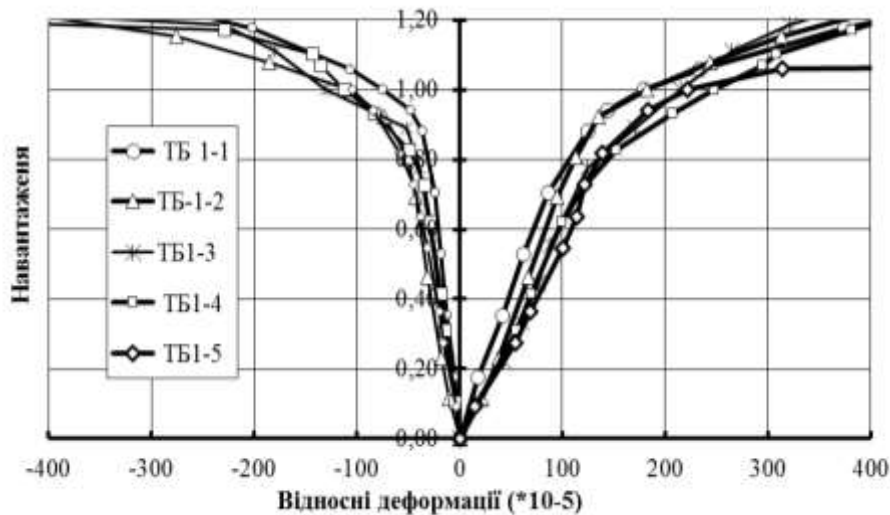


Рис. 2. Залежність поздовжніх і поперечних деформацій трубобетонних елементів від відносного навантаження N , що передається на комплексний переріз

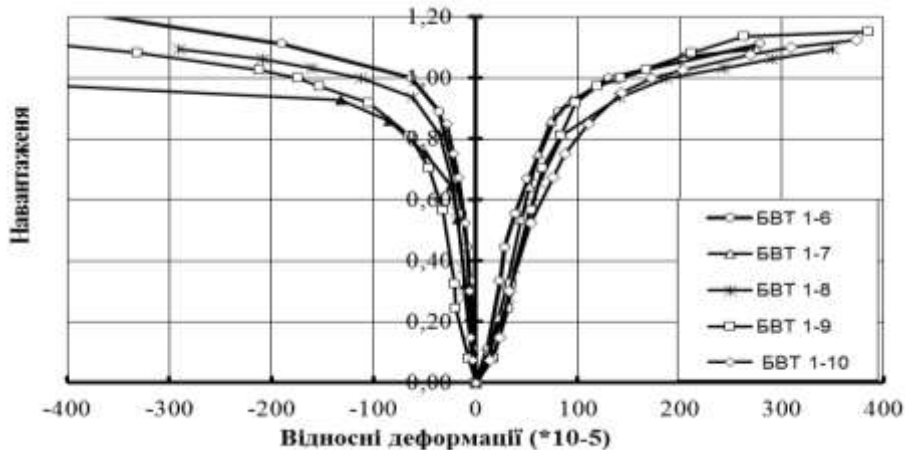


Рис. 3. Залежність поздовжніх і поперечних деформацій трубобетонних елементів від навантаження N , що передається на бетон

На рис. 3 зображена залежність поздовжніх і поперечних відносних деформацій експериментальних центрально стиснутих зразків серії БВТ-1, в яких навантаження передавалася на бетонне ядро. Слід зазначити що деформативність досліджених зразків залежить від способу передачі навантаження та міцності бетону. Так при навантаженні на бетонне ядро спостерігалася зменшення поздовжніх деформацій в порівнянні з навантаженням на комплексний переріз. Розвиток поздовжніх деформацій має прямолінійний характер від початку завантаження до величини $(0,8 \div 0,9) N_1$. А потім спостерігається порушення пропорційності в сторону збільшення деформацій. При передачі навантаження на бетон у порівнянні з передачею на комплексне переріз також збільшується несуча здатність труббетонних зразків N_1 від 8 до 20 %.

Висновки. Використання в труббетонних конструкціях високоміцних бетонів, дозволяє поліпшити його експлуатаційні характеристики і суттєво підвищити несучу здатність конструктивного елемента в цілому не збільшуючи поперечного перерізу. На несучу здатність найбільший вплив робить міцність бетонного ядра. За результатами експериментів можна констатувати, що при досягненні зусилля N_1 спосіб передачі навантаження виявився суттєвим фактором, що впливає на ефективність конструктивного труббетонного елемента з високоміцним бетоном. При передачі навантаження на бетон у порівнянні з передачею на комплексне переріз збільшується несуча здатність труббетонних зразків N_1 від 8 до 20 % та при навантаженні на бетонне ядро спостерігалася зменшення поздовжніх деформацій в порівнянні з навантаженням на комплексний переріз.

Список використаних джерел

1. Кебенко В.Н. Опыт строительства сталебетонных конструкций в Германии [Текст] / В.Н.Кебенко //Збірник наукових статей "Проблеми теорії та практики залізобетону". – Полтава: ПДТУ ім. Ю.Кондратюка, 1997. – С. 206-209.
2. Mechanical Properties of High Strength Concrete Filled Steel Tubular Columns [Текст]/ Ке Feng Tan, Lai Bao Liu// Advanced Materials Research Vols. 472-475 (2012) – pp. 1119-1125.
3. Стороженко Л.І., Трубетон [Текст]: Монографія/ Л.І. Стороженко, Д.А. Єрмоленко, О.І. Лапенко. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. –306 с
4. Кикин А.И. Конструкции из стальных труб заполненных бетоном [Текст]/ А.И. Кикин, Р.С.Санжаровский, В.А. Труль. – Москва: Стройиздат, 1974. – 145 с.
- 5.Стороженко Л.І. Загальні відомості про труббетон [Текст] / Сталезалізобетон: Збірник наукових праць. За редакцією д.т.н., проф. Стороженка Л.І. / Л.І. Стороженко // Полт. НТУ імені Ю. Кондратюка, 2006. – С. 11-15.
- 6.Стороженко Л. Сумісна робота компонентів в труббетонному конструктивному елементі [Текст] / Л.І.Стороженко, Д.А.Єрмоленко // "Вісник національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва. Вип.№662 - Львів, 2010. – С.350-354.
7. Кришан А.Л. Сталетруббетонные колонны с предварительно обжатым ядром / Кришан А.Л., Гареев М.Ш., Сагадатов А.И // Бетон и железобетон, 2004, №6. – С.11-14.
8. Стороженко Л.І. Несуча здатність коротких сталевих труб заповнених високоміцним бетоном [Текст] / Л.І. Стороженко, Д.А. Єрмоленко, О.В.Демченко // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вып.№69. – Дн-вск., 2013. – С. 492-496.
9. Стороженко Л.І. Експериментальні дослідження високоміцних бетонів для ядер труббетонних елементів [Текст] / Л.І. Стороженко, Д.А.Єрмоленко, О.В. Демченко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. – Вип. 27 – Рівне, 2013. – С. 222-228.
10. Берг О.Я. Высокопрочный бетон [Текст] / Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писанко Г.Н. – М.: Стройиздат, 1971. – 208 с.

Стороженко Леонід Іванович доктор технічних наук, професор, кафедри конструкцій з металу, дерева і пластмас Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

Єрмоленко Дмитро Адольфович доктор технічних наук, доцент кафедри конструкцій з металу, дерева і пластмас Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

Демченко Оксана Володимирівна аспірант кафедри конструкцій з металу, дерева і пластмас Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

Storozhenko Leonid, doctor of technical science, professor, department of structures from metal, wood and plastics, Poltava national technical Yuri Kondratyuk university.

Yermolenko Dmitry, doctor of technical science, associate professor, department of structures from metal, wood and plastics, Poltava national technical Yuri Kondratyuk university.

Demchenko Oksana, postgraduate of department of structures from metal, wood and plastics, Poltava national technical Yuri Kondratyuk university.