

РОБОТА ТРУБОБЕТОННИХ (ТБ) ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КВАДРАТНОГО ПЕРЕРІЗУ: ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Наведено конструкції зразків, методику проведення випробування і результати експерименту при роботі трубобетонних згинальних елементів; описано характер розвитку деформацій.

Ключові слова: трубобетонні елементи, згин, деформації.

Вступ. Ефективність будівельних конструкцій зумовлюється витратами матеріалів, необхідних для виробництва, витратами праці, вартістю. Протягом останніх років у нашій країні проводяться активні наукові роботи з дослідження трубобетонних конструкцій. На сьогодні вивчено особливості роботи трубобетонних елементів циліндричного перетину залежно від їх геометричних характеристик, фізико-механічних властивостей бетону осердя й матеріалу оболонки, напружено-деформованого стану, способу прикладання навантаження та його тривалості, а також трубобетонні елементи квадратного перерізу, які працюють на стиск, але відсутні дослідження елементів, що працюють на згин.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Упровадження ефективних коняструкцій у будівництво, до яких належить трубобетон, потребує більш детального вивчення особливостей їх роботи. Результати дослідження, описані в цій статті, можуть бути використані при проектуванні конструкцій, у яких трубобетонні елементи працюють на згин. Таким чином, завдання з вивчення трубобетону при його роботі на згин є актуальним.

Відомі дослідження трубобетонних елементів круглого перерізу [1, 2, 3, 8]. Експериментальними дослідженнями деформацій трубобетонних елементів квадратного перерізу під керівництвом Л.І. Стороженка займалися Г.В. Головка [5, 6], В.В. Васюта [6] та Л.М. Стовба [4]. Наукові роботи Е.Д. Чихладзе присвячені вивченню трубобетонних елементів прямокутного перерізу [7].

Мета полягає в дослідженні роботи трубобетонних згинальних елементів квадратного перерізу залежно від фізико-механічних характеристик випробувальних матеріалів, схем навантаження та характеру втрати їх несучої здатності.

Основний матеріал і результати. Для виконання поставлених завдань було складено методику проведення експерименту та визначено кількість і якість дослідних зразків. При складанні програми досліджень було поставлено завдання використати найбільш розповсюджені в будівництві класи бетону за міцністю і, якщо можливо, охопити при виготовленні зразків максимальну кількість перерізів сталевих гнутих квадратних труб, що на сьогодні випускаються для потреб будівництва. Паралельно, з умов порівнювання, ставилося завдання випробувати конструктивні елементи з порожніх труб такого ж поперечного перерізу, що й були прийняті для виготовлення основних дослідних зразків.

Експериментальні дослідження проводилися на зразках, характеристики яких наведені в таблиці 1. У кожній серії випробовувалися по 2 (у балках) та по 3 (в кубах і призмах) зразків-близнюків. Усі зразки випробовувалися після 28 діб витримання, необхідного для набрання міцності бетоном, у пресі ПММ-250.

При випробуванні на згин навантаження зразків здійснювалося за допомогою траверси з відстанню між силами 500 мм. При відстані між траверсами 500 мм ставилася задача дослідити особливості деформування згинальних зразків у зоні чистого згину між діючими силами. Ступені завантаження складали в основному 0,1 від руйнівної сили на початку випробування і 0,05 – при досягненні граничного стану за несучою здатністю. Значну увагу приділено вимірюванню поздовжніх деформацій у зоні чистого згину й у приопорній зоні дослідних зразків за допомогою електротензорезисторів. Про загальну схему розташування електротензорезисторів можна судити з рисунку 1.

Таблиця 1 – Характеристика дослідних зразків

Марка	Розмір Поперечно-го перерізу b , мм	Товщина стінки труби t , мм	Міцність бетону R_b , МПа	Несуча здатність, кНм		Коефіцієнти		
				M_1	M_2	n	ψ_1	ψ_2
ТЗ-1-1	100	3	-	12,4	15,2	1,22	-	-
ТЗ-2-1	160	4	-	31,2	38,6	1,24	-	-
ТЗ-3-1	180	6	-	56,2	67,9	1,21	-	-
ТБЗ-11-1	100	3	10	16,4	22,5	1,37	1,32	1,48
ТБЗ-21-1	160	4	10	43,4	56,6	1,30	1,39	1,47
ТБЗ-31-1	180	6	10	76,4	108,0	1,41	1,36	1,59
ТБЗ-12-1	100	3	20	17,2	25,4	1,48	1,44	1,84
ТБЗ-22-1	160	4	20	44,3	63,0	1,42	1,42	1,77
ТБЗ-32-1	180	6	20	82,0	110,0	1,34	1,46	1,71
ТБЗ-13-1	100	3	30	18,3	28,1	1,54	1,48	1,84
ТБЗ-23-1	160	4	30	47,7	68,2	1,43	1,53	1,77
ТБЗ-33-1	180	6	30	86,5	116,1	1,34	1,34	1,71

Відомо, що труобетону притаманні якості як сталевих, так і залізобетонних конструкцій, тому при проведенні експериментальних досліджень фіксувалися два параметри, які характеризували втрату несучої здатності згинальних елементів:

1. M_1 – діючий на згинальний елемент момент при досягненні поздовжніх деформацій у розтягненій зоні, що відповідає межі плинності труби.

2. M_2 – максимальний згинальний момент, який здатний сприйняти зразок.

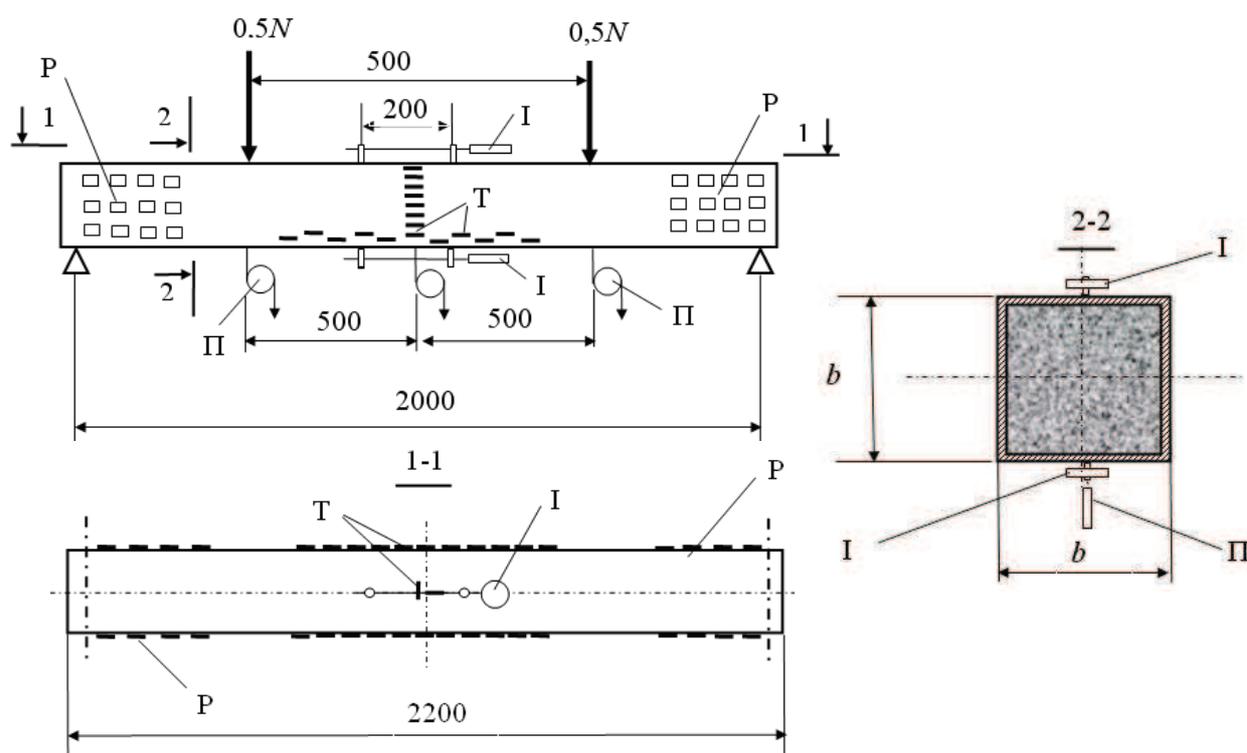


Рисунок 1 – Загальний вигляд згинальних елементів і схема розташування вимірювальних приладів: I – індикатори годинникового типу; П – прогиноміри; Р – розетки електротензорезисторів; Т – електротензорезистори

Значення моментів M_1 і M_2 , що визначають несучу здатність згинальних труобетонних елементів квадратного перерізу, наведені в таблиці 1 (при відстані між діючими зусиллями 500 мм).

У таблиці 1 наведені значення несучої здатності трубобетонних елементів, ядра яких виконані з бетону різної міцності ($f_{cd} = 7,8; 19,6; 26,4$ МПа).

Якою мірою підвищується несуча здатність труб після їх заповнення бетоном, можна судити за значеннями коефіцієнтів:

$$\psi_1 = \frac{M_1}{M_1^T}, \quad \psi_2 = \frac{M_2}{M_2^T}, \quad n = \frac{M_2}{M_1}, \quad (1)$$

де M_1 і M_2 – несуча здатність згинальних трубобетонних елементів;
 M_1^T та M_2^T – несуча здатність відповідних згинальних порожніх труб.

Значення коефіцієнтів ψ_1 і ψ_2 наведені в таблиці 1. Коефіцієнт ψ_1 змінюється в межах 1,32 – 1,54. Коефіцієнт ψ_2 має дещо більшу величину і змінюється в межах 1,48 – 1,84. Таким чином, у результаті заповнення бетоном несуча здатність згинальних труб квадратного перерізу підвищується на 30 – 50%. Значення коефіцієнтів ψ_1 і ψ_2 залежать як від міцності бетону ядра, так і від геометричних розмірів поперечного перетину. Як уже було зазначено, міцність бетону мало впливає на несучу здатність згинальних трубобетонних елементів. Несуча здатність випробуваних елементів залежно від міцності бетону змінювалася в межах 10 – 15%.

Характер руйнування конструкції від навантаження дозволяє зробити висновок про її ефективність. Випробувані згинальні трубобетонні елементи квадратного перерізу не вдалося зруйнувати в повному розумінні цього терміна. Після досягнення значення згинального моменту M_2 балка продовжувала згинатися при деякому зменшенні діючого згинального моменту, прогини значно збільшувалися (до 60 мм і більше), при цьому на дослідному зразку не відмічалися якісь інші ознаки руйнування.

В елементах з порожніх труб при досягненні моментом значення M_2 спостерігалася втрата місцевої стійкості стінки зразка в місцях дії максимального згинального моменту. У всіх випадках втрата місцевої стійкості спостерігалася при напруженнях, що на 20% перевищували межу плинності сталі. Важливим фактором, який підтверджує високу надійність випробуваних згинальних елементів, є різниця між значеннями моментів M_1 і M_2 .

Якою мірою розміри поперечного перетину й міцність бетону впливають на значення згинальних моментів M_1 і M_2 , видно з рисунка 2. Залежно від геометричних розмірів поперечного перетину несуча здатність змінюється в значних межах.

Деформації, що вимірювалися за допомогою розеток електротензорезисторів, значно різнилися залежно від їх розміщення в приопорній зоні балок. Поздовжні, поперечні й під ухилом деформації, як це й очікувалося, були найменшими в місці розташування верхньої, розміщеної найближче до опори, розетки.

На початку завантаження, приблизно до досягнення значеннями згинальних моментів M_1 , прогини зростали прямолінійно, а при більших значеннях – графіки їх залежностей викривлювалися (рис. 3). Значення прогинів значною мірою залежали від величини поперечного перерізу і меншою мірою від міцності бетону, яким були заповнені труби. Прогини збільшувалися до величини 60 – 80 мм при незначному зростанні згинальних моментів.

Поздовжні деформації як у стиснутій, так і в розтягнутій зоні згинальних елементів зростають прямо пропорційно відстані від нейтральної осі (рис. 4). Це твердження є справедливим до досягнення зусиллями значення M_1 та свідчить про те, що гіпотеза плоских перерізів для такого випадку є справедливою. Нейтральна вісь зі зростанням навантаження практично не зміщується. У всіх випадках, як це і має бути, вона розташована вище осі симетрії. Поздовжні деформації в розтягнутій зоні більші, ніж у стиснутій, що свідчить про вплив бетону осердя.

Висновки. Результати експериментальних досліджень згинальних трубобетонних елементів квадратного перерізу дозволяють зробити висновки про те, що згинальні трубобетонні елементи квадратного поперечного перерізу при роботі під навантаженням суміщають у собі якості як сталевих, так і залізобетонних конструкцій. Тому при їх дослідженні необхідно фіксувати як досягнення в оболонці розтягнутої зони значення деформацій, що відповідають межі плинності M_1 , так і повну втрату несучої здатності M_2 .

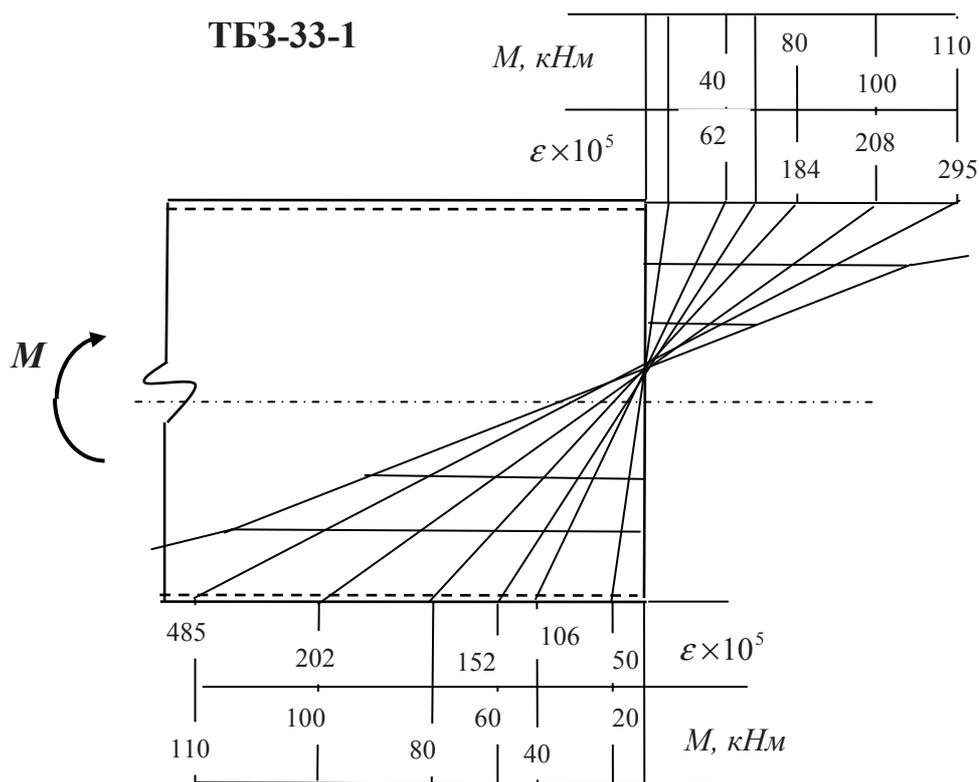


Рисунок 4 – Залежність поздовжніх деформацій від величини згинального моменту по висоті перетину 180x180 мм

Згинальні трубобетонні елементи квадратного перерізу працюють ефективніше, ніж трубобетонні елементи з круглим поперечним перерізом.

Література

1. Стороженко Л.И. Трубобетонные конструкции / Л.И. Стороженко. – К.: Будівельник, 1978. – 82 с.
2. Стороженко Л.И. Расчет трубобетонных конструкций / Л.И. Стороженко, П.И. Плахотный, А.Я. Черный. – К.: Будівельник, 1991. – 120 с.
3. Стороженко Л.И. Изгибаемые трубобетонные конструкции / Л.И. Стороженко, В.И. Ефименко, П.И. Плахотный. – К.: Будівельник, 1993. – 104 с.
4. Стороженко Л.И. Экспериментальні дослідження деформацій згинальних трубобетонних елементів по нормальним перерізам / Л.И. Стороженко, В.Ф. Пенц, Л.М. Стовба // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2009. – Вип. 18. – С. 340 – 347.
5. Головка Г.В. Напружено-деформований стан центрально стиснутих елементів із сталевих труб квадратного перерізу, заповнених бетоном: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г.В. Головка. – Полтава, 1996. – 24 с.
6. Експериментальне дослідження несучої здатності стиснутих трубобетонних елементів квадратного перерізу / Л.И. Стороженко, В.В. Васюта, Г.В. Головка, О.В. Семко // Матеріали II міжнародного симпозіуму «Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій». – Львів, 1996. – С. 269 – 271.
7. Чихладзе Э.Д. Несущая способность сталебетонных конструкций в условиях статического и динамического нагружения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук Э.Д. Чихладзе. – Москва, 1989. – 34 с.
8. Kawaguchi J. Ultimate Strength of Steel-Concrete Composite Sections under Biaxial Bending / J. Kawaguchi, S. Morino, M. Ueda // Conference report. International Conference "Composite Construction – Conventional and Innovative", Innsbruck, Austria, September 16-18, 1997. – P. 936 – 937.

В.Ф. Пенц, к.т.н., доцент

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

РАБОТА ТРУБОБЕТОННЫХ (ТБ) ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КВАДРАТНОГО СЕЧЕНИЯ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Приведены конструкции образцов, методика проведения испытания и результаты эксперимента при работе трубобетонных изгибаемых элементов; описан характер развития деформаций.

Ключевые слова: *трубобетонные элементы, изгиб, деформации.*

V. F. Pents, Ph. D., Associate Prof.

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

OPERATION OF SQUARE SECTION CONCRETE FILLED STEEL TUBE (CFST) BENDING ELEMENTS: EXPERIMENTAL STUDY

The samples design, the method of testing and the results of the experiment at CFST bent elements work are presented; the deformation nature is described.

Keywords: *concrete filled steel tube (CFST) elements, bending, deformation.*

Надійшла до редакції 22.09.2014

© В.Ф. Пенц