

ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ ТА РУЙНУВАННЯ В ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНКАХ ПРИ НАВАНТАЖЕНІ

Стельмашук І. П. (Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Розглядається тріщиноутворення та руйнування довгих та середніх залізобетонних циліндричних оболонок (ЗЦО) під дією рівномірно розподілених та полосових навантажень, при різних контурних умовах, геометричних параметрах, та армуванні конструкцій.

Виконано аналіз експериментальних даних по залізобетонним циліндричним оболонкам, які були виготовлені та випробувані різними авторами [1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10]. Було розглянуто тріщиноутворення в цих оболонках, та їх руйнування. Визначено кривизни і співвідношення навантаження тріщиноутворення до навантаження руйнування.

Для довгих оболонок, які мали шарнірне закріплення по бортовим балкам, моделі №1-5, таблиці №1, утворення тріщин в основному починалося в середині перерізу. Ці повздовжні тріщини при збільшенні навантаження продовжували зростати та у кінцевому випадку, після розкриття, ставали причиною руйнації конструкцій.

В моделі №7 тріщиноутворення починалося з появи тріщин в бортових елементах середини перерізу, поступово виходячи в тіло оболонки. Зі збільшенням навантажень почали з'являтися тріщини в кутах моделі, кут яких до основної ортогональної арматури дорівнювався приблизно 45° . Руйнація відбулася на відстані чверті довжини, в наслідок зростання однієї з перших поперекових тріщин, по балочній схемі.

В елементах №8 та №9, обпертих на чотири опори, тріщиноутворення почалося, як і в моделі №7 з появи тріщин в середині перерізу. При збільшенні навантажень, в надпорній частині, з'явилися навкісні тріщини, розвиток яких відбувався навкісно в верх вздовж утворюючої. Та далі назустріч таким ж тріщинам, які з'явилися з іншого боку конструкції. Руйнація відбулася по просторовій схемі розламу.

В конструкціях обпертих на чотири опори, з більш жорсткими торцевими діафрагмами, моделі №10-13. Тріщини з'явилися, лише в середині прольоту, в бортових елементах. Навкісні тріщини з'явилися лише при руйнуючих навантаженнях. Руйнування відбулося по балочній схемі.

Таблиця №1

Номер моделі	Номер джерела	Розміри в плані				7	8	Розміри бортових елементів		Навантаження тріщинування в кн.		Навантаження руйнування в кн		g _r /g _p	
		Довжина l, см.	Ширина b, см	Товщина t, см	Стріла підняття f, в см			Висота h, в см	Ширина d, в см	Плита оболонки	Бортовий елемент	Плита обол.	Бортовий ел.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Монолітні моделі															
1	(2)	335	132	1,0	23,9	2,53	174,2	10	2,0	12,5	8,0	49,0	49,0	0,255	0,163
2	(2)	335	132	1,0	23,9	2,53	174,2	10	2,0	14,0	9,5	59,0	59,0	0,237	0,161
3	(2)	335	132	1,0	23,9	2,53	174,2	10	2,0	13,4	5,4	40,4	40,4	0,332	0,134
4	(2)	335	132	1,0	23,9	2,53	174,2	10	2,0	16,0	9,5	43,5	43,5	0,368	0,218
5	(2)	335	132	1,0	23,9	2,53	174,2	10	2,0	13,5		31,9		0,423	
6	(2)	335	194	1,0	23,9	1,73	180,1	10	2,0	13,5	10,5	63,5	63,5	0,213	0,165
7	(5)	598	295	2,2	44,0	2,03	146,6	31,5	8,0	3,0	2,0	11,41		0,263	
8	(10)	2400	274	2,2	94,0	8,0	237	26,0	12,0	1,5		7,81		0,192	
9	(10)	2400	274	2,2	94,0	8,0	237	26,0	12,0	2,79		8,12		0,344	
10	(10)	2400	274	2,2	94,0	8,0	237	26,0	12,0	2,79		8,65		0,323	

Продовження таблиці 1

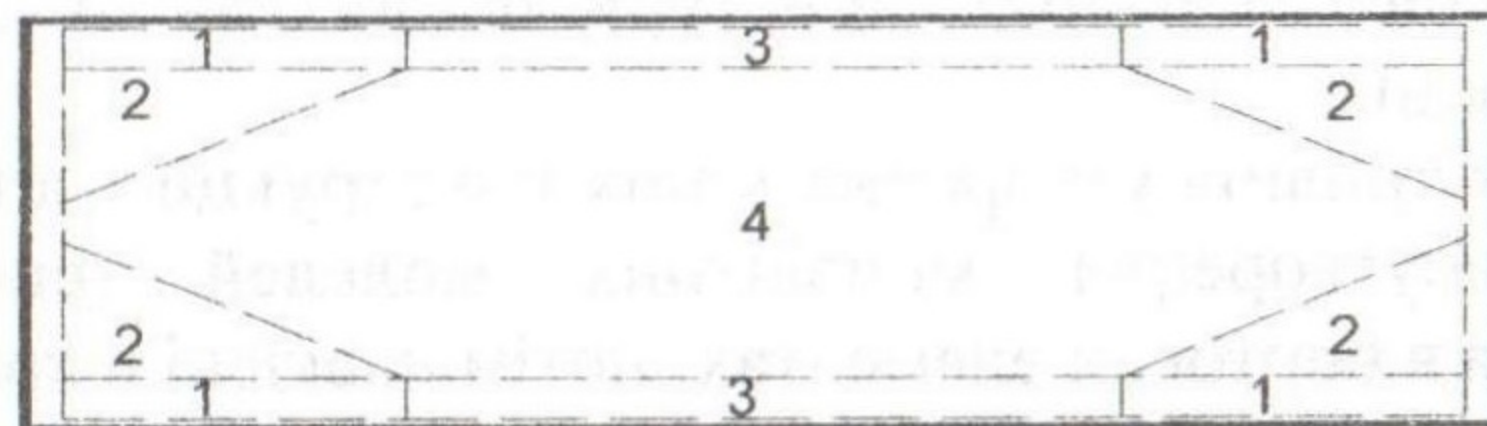
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
11	(10)	2400	274	2,2	94,0	8,0	237	26,0	12,0	3,21		8,28		0,388	
12	(10)	2400	274	2,4	94,0	8,0	237	26,0	12,0	3,32		8,26		0,402	
13	(10)	2400	274	2,4	94,0	8,0	237	26,0	12,0	3,32		8,86		0,375	
14	(9)	585	295	2,1	43,9	1,98	153,5	32,0	8,0	3,5	2,1	10,2	6,1	0,343	0,344
15	(9)	435	295	2,3	43,9	1,47	140,1	24,0	6,5	2,8	1,3	11,2	5,0	0,25	0,26
Збірні оболонки															
1	(6)	450	180	1,0	30,0	2,5		15	2,0	6,0	6,5	7,4	7,4	0,811	0,878
2	(4)	2400	1200	3(4)	190	2,0	45,56- 34,92	80	14	3,96	-	8,0	8,0	0,495	-
3	(4)	2400	1200	4(5)	190	2,0	34,92- 27,94	80	14	6,7	6,0	20,6	20,6	0,325	0,291
4	(4)	2400	1200	4(5)	190	2,0	34,92- 27,94	80	14	8,0	6,0	17,8	8,9	0,449	0,674
5	(8)	590	200	12,5		2,95				8,28	9,28	24,06	24,06	0,344	0,386

Примітка: 1) Товщина елемента в дужках, показана для крайніх панелей,
2) Конструкція відзначена зіркою, працює під дією смугових навантажень.

Для середньої оболонки по довжині, модель №14, яка була обперта в кутах на одну жорстко закріплену, та три рухомих опори, та мала жорсткі торцеві діафрагми у вигляді арок, тріщиноутворення почалося з перших поперекових тріщин в бортових елементах по середині прольоту. При збільшені навантажень тріщини з'являлися по усій довжині бортових балок з розвитком в плиту оболонки, а потім в кутах плити з'явилися навкісні тріщини. Далі відбулася поява тріщини в середині прольоту торцевої арки, її деформацією, а також відбулася поява повздовжніх тріщин, які простяглися через усю конструкцію. Після розкриття цих тріщин, відбулася руйнація з випученням моделі вверх вздовж центральної утворюючої.

Модель №15, яка мала аналогічне з моделлю №14 обпирання, тріщиноутворення відбувалося за тією ж схемою. Лише при великих навантаженнях, із-за неякісного бетонування, в одному з кутів, відбулося руйнування з'єднання плити з торцевою аркою, що стало причиною руйнування всієї конструкції.

Для розглянутих монолітних моделей та конструкцій, характерне армування за схемою показаною на мал. 1. За, якою можна означити чотири основні зони армування: Перша зона, складається з суми армування діагональними сітками, ортогональними, біля зон, бортових балок, та основних ортогональних сіток розташованих по усій плиті. Друга зона рахується з площі дії діагональної арматури в сумі з основними ортогональними сітками, без врахування дії додаткових ортогональних сіток. Третя зона, характеризується наявністю основних та додаткових, при опорних ортогональних сіток. Четверта зона, це зона дії лише основних ортогональних сіток.

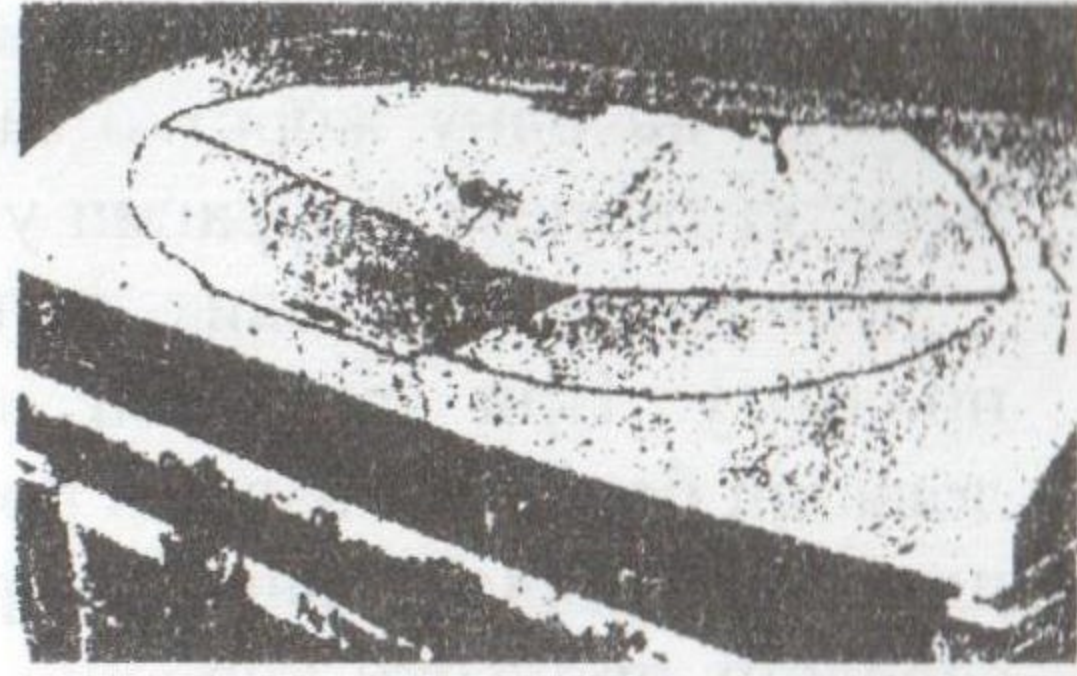


М а л . 1 .

В моделі №6, руйнування відбулося крихким, у наслідок провалу центральної зони плити, Мал. 2.

Для цих зон визначино армування і наведено в таблиці 2. Провівши порівняння цих величин зі схемами руйнування конструкцій відмічаємо, що ці оболонки часто руйнується по межі навкісної арматури, у випадку досить міцної ортогональної сітки [5], та не достатньої додаткової сітки коло опор. У цьому випадку конструкція ламається не крихко, по балочній схемі, елемент № 7. Для оболонок, які руйнуються від

появи повздовжніх пластичних шарнірів в плиті оболонки [2], характерне не достатньо міцне армування при опорних зон, як ортогональне, так й навкісне. У випадку коли плита оболонки не достатньо армована, відбувається деформування центральної зони оболонки, при цьому руйнування може бути крихким, елемент №6.



Мал. 2.

Випадок такого руйнування показаний на Мал.2. [4].

Розглянувши ці експерименти ми відмічаємо, що зі зменшенням значень l/b (довжини до ширини), відбулася деяка зміна схем руйнування, від балочної (поперекової) схеми до (повздовжньої), утворення повздовжніх шарнірів, або руйнування середньої частини плити, елемент №6. Зі співвідношень значень при, яких з'являються перші тріщини до значень при, яких зафіксоване руйнування конструкції, маємо, що зі збільшенням відношення l/b , дещо зменшується відношення g_t/g_p (навантаження тріщиноутворення до навантаження руйнування). Ця залежність не дозволяє у повній мірі визначити за якою саме схемою відбудеться руйнування, та підтверджується не у всіх моделях. Ці відмінності залежать від особливостей армування моделей, які пояснюються вище.

Також розглянуті збірні оболонки, які мали обпирання аналогічне моделям №14 та №15 виконаних монолітними. Армувалися наступним чином. Крайні плити мали окрім ортогональної сітки, ще й додаткову діагональну сіткою, а інші лише ортогональну сіткою. Борти елементів теж армувалися стержнями арматури, що діє для додаткового посилення конструкції.

Початок тріщиноутворення в цих конструкціях аналогічний початку тріщиноутворення монолітних моделей (спочатку тріщини з'являються в бортових елементах, потім навкісні в крайніх плитах). Як і в монолітних конструкціях в кутових зонах (плитах), був розташований додатковий шар навкісної арматури, що не дозволяло моделям руйнуватися в кутах, хоча й з'явилася велика кількість навкісних тріщин в цих зонах, але вони не мали великої довжини, та ширини розкриття. та не призвели до руйнування. Руйнування, починалося з другої плити, де є лише ортогональне армування, та з'явилися більш великі та небезпечні тріщини, але при збільшенні навантажень в збірних оболонках руйнування частіш за все відбувалося в поперечних ребрах між першою та другою плитами.

Таблиця №2

№ моделі	Ортогональне армування				Діагональна армування		Відсоток армування в елементах оболонки							
	По довжині		По ширині		Крок стержні в мм	Діагональна армування в мм	Зона №1		Зона №2		Зона №3		Зона №4	
	Крок стержня в мм	Діагональна армування в мм	Крок стержня в мм	Діагональна армування в мм			μ _x	μ _y	μ _x	μ _y	μ _x	μ _y	μ _x	μ _y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	10-20	1,03	10-20	1,03	28	1,21	0,14	0,14	0,14	0,14	0,12	0,12	0,12	0,12
2	10-20	1,0	10-20	1,0	28	1,21	0,14	0,14	0,14	0,14	0,12	0,12	0,12	0,12
3	10-20	0,5	10-20	0,5	34	1,21	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03
4	20-40	1,0	20-40	1,0	28	1,21	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06
5	10-20	1,0	10-20	1,0	28	1,21	0,14	0,14	0,14	0,14	0,12	0,12	0,12	0,12
6	10-20	1,0	10-20	1,0	28	1,21	0,14	0,14	0,14	0,14	0,12	0,12	0,12	0,12
7	50-100	2,0	50-75	4,0	50-70	3,0	0,94	0,84	0,67	0,65	0,55	0,57	0,28	0,38
8	200-50	4,0-1,0	50	4,0-1,0	50	1,0	1,32	0,47	1,28	0,43	0,18	0,18	0,14	0,14
9	200-100	4,0-1,0	50-100	4,0-1,0	50	1,0	1,25	0,40	1,21	0,36	0,11	0,11	0,07	0,07
10	200-100	1,0	50-100	1,0	50	1,0	1,25	0,40	1,21	0,36	0,11	0,11	0,07	0,07
11	200-100	1,0	50-100	1,0	50	1,0	1,25	0,40	1,21	0,36	0,11	0,11	0,07	0,07
12	200-100	1,0	50-100	1,0	50	1,0	0,09	0,09	1,14	0,35	1,11	0,32	0,06	0,06
13	200-100	1,0	50-100	1,0	50	1,0	0,09	0,09	1,14	0,35	1,11	0,32	0,06	0,06
14	250	4,0	50	2,0							0,48	0,60	0,24	0,30
15	250	4,0	50	2,0							0,48	0,60	0,24	0,30

Примітка: 1) В монолітних моделях №1-6 діють дві основні ортогональні сітки. Одна нижче, а інша вище діагональної армування, та не мають додаткового ортогонального армування зон з'єднання плити та бортового елемента. В елементах №7-13 додаткова ортогональна сітка розташована між основними сітками. В елементах №14 та №15 діє одна основна ортогональна сітка, та одна додаткова біля бортових елементів. 2) Перше значення в стовпчиках з двома цифрами відповідає кроку додаткового ортогонального армування, друге, відповідає кроку основного ортогонального армування, для діагональної армування елементу №7 крок росте від кута конструкції до середини елемента. В моделях №8 та №9, відповідно діаметр стержнів.

Висновки:

1. Тріщиноутворення в монолітних ЗЦО починалося від 19 відсотків до 43 відсотків від руйнуючих навантажень, в збірних оболонках, від 32 до 81 відсотків.
2. При ідентичних умовах (геометрія, обпирання, навантаження) найбільший вплив на тріщиноутворення і руйнування, здійснює співвідношення армування різних зон оболонок.

Література

- 1) Милейковский И. Е. «Расчет железобетонных цилиндрических сводов оболочек». Стройиздат, М.: 1963. – 135с.
- 2) А. Рил, В. Беранек, А. Боума «Испытание моделей покрытий оболочек, изготовленных из армированного раствора. Труды II Международного конгресса по тонкостенным оболочкам покрытия в Осло». Госстройиздат 1960. Стр. 278 – 295.
- 3) Руководство по проектированию железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий. //НИИЖБ// – М.; Стройиздат, 1979. – 421 с.
- 4) В. Н. Байков, Э. Хампе, Э. Рауэ Проектирование железобетонных тонкостенных пространственных конструкций. – М.; Стройиздат, 1990. – 232 с.
- 5) Б. С. Васильков «Расчет оболочек покрытий и перекрытий с учетом трещинообразования и форм разрушения». //Расчет цилиндрических оболочек, разрушение которых происходит по балочной схеме. Под. ред. И. Е. Милейковского// М., Стройиздат, 1959 с 59 – 141.
- 6) А. А. Самойлов «Испытание моделей железобетонных цилиндрических длинных оболочек». Расчет цилиндрических оболочек, разрушение которых происходит по балочной схеме. Под. Ред. И. Е. Милейковского// М., Стройиздат, 1959 с 59 – 141.
- 7) Х. Х. Лауль, Ю. А. Тярно. «Влияние условий опирания бортовых элементов на виды разрушения квазицилиндрических оболочек» Строительные конструкции и строительная физика. Сб. XII. Труды Таллиннского политехнического института. Вып. 333.: Талин 1972. Стр. 35 – 56.
- 8) Испытание железобетонных коротких цилиндрических оболочек покрытий промышленных зданий на моделях/НИИСК/, Киев: 1968. – 39 с.
- 9) Милейковский И. Е. «Расчет железобетонных цилиндрических сводов оболочек». Стройиздат, М.: 1963. – 135с.
- 10) Нетреба М. П. «Разработка и исследования комплексных армоцементных цилиндрических длинных оболочек для сборных покрытий». Диссертация. Одесса; 1972г.