

УДК 624.072.2

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.151.2015.68705>

ВПЛИВ ПУСТОТНИХ ВКЛЮЧЕНЬ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ ТА ГРАНИЧНИЙ СТАН СТАЛЕБЕТОННИХ ПЛИТ

К-т техн. наук О.В.Лобяк, здобувач Д.В.Головко

ВЛИЯНИЕ ПУСТОТНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ И ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СТАЛЕБЕТОННЫХ ПЛИТ

К-т техн. наук А.В.Лобяк, соискатель Д.В.Головко

THE INFLUENCE OF HOLLOW INTEGRATION ON STRAIN-STRESS AND MAXIMUM-PERMISSIBLE STATE OF STEEL-CONCRETE SLABS

Ph.D., associate Professor A. Lobiak, Ph.D., D. Golovko, external PhD student

Представлені результати експериментальних досліджень сталебетонних пустотних плит перекриття. З урахуванням попередніх розрахунків визначена раціональна геометрична форма і місце розташування пустотоутворювачів. Виконані фізико-механічні дослідження матеріалів, описана технологія виготовлення зразків. На підставі отриманих даних побудовані графіки залежностей деформацій від навантаження для бетону і сталі. Визначена залежність зміни прогинів від навантаження. Виявлені найбільш несприятливі зони розташування анкерних упорів. Підтверджено припущення про виключення з роботи конструкції секторів з вставками пустотоутворювачів.

Ключові слова: бетон, сталь, плити перекриття, сталебетон, анкерні упори, пустотоутворювач

Представлены результаты экспериментальных исследований сталебетонных пустотных плит перекрытия. С учетом предварительных расчетов определена рациональная геометрическая форма и месторасположение пустотообразователей. Выполнены физико-механические исследования материалов, описана технология изготовления образцов. На основании полученных

данных построены графики зависимостей деформаций от нагрузки для бетона и стали. Определена зависимость изменения прогибов от нагрузки. Выявлены наиболее неблагоприятные зоны расположения анкерных упоров. Подтверждено допущение о выключении из работы конструкции секторов с вставками пустотообразователей.

Ключевые слова: бетон, сталь, плиты перекрытия, сталебетон, анкерные упоры, пустотообразователь

The results of experimental research of steel-concrete hollow core slabs are demonstrated. Taking into account the preliminary calculations the rational geometric shape and the location of the block outs are estimated. The physical and mechanical testing of materials are accomplished, manufacturing techniques of the samples are described. On the grounds of the received data the load-strain diagram of concrete and steel are plotted. The change dependency of the load-deflection is estimated. The most unfavorable zones of the expanding dowel position are defined. The assumption about the cutoff of the construction of the blockout sectors is confirmed. The results obtained in the process of the experiment show that the proposed models of steel-concrete slabs with cavities retain the bearing capacity in comparison with their solid countertypes and in such case can reduce its own weight of the construction by 14-24%.

Keywords: concrete, steel, floor slabs, steel-concrete, anchor elements, blockout.

Вступ. Зниження вартості і підвищення ефективності плит із зовнішнім листовим армуванням може бути досягнуто шляхом використання сучасних методів чисельного аналізу та вдосконалення самої конструкції. Найбільший ефект від зовнішнього армування досягається в плитах перекриття що згинаються в двох напрямках. Плоский сталевий лист працює в умовах двовісного напруженого стану, завдяки чому в порівнянні з залізобетонними плитами підвищується жорсткість і несуча здатність сталебетонних аналогів при рівній витраті металу [1,2,3]. Один з напрямків підвищення ефективності сталебетонних перекриттів полягають в пошуку способів полегшення конструкції, що дозволяють без втрат в несучій здатності знижувати навантаження на несучі конструкції.

Постановка проблеми у загальному вигляді і її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Дана робота спрямована на вдосконалення сталебетонних плит шляхом експериментально-теоретичного пошуку можливостей зниження власної ваги конструкції за рахунок введення до її складу пустот. У цьому напрямку особливий інтерес заслуговує питання впливу пустотних включень на напружено-деформований та граничний стан сталебетонних плит.

Побудова експериментального дослідження визначається необхідністю вибору раціонального положення і форми пустотоутворювачів, оцінки несучої здатності, характеру деформування і руйнування, впливу способу анкерування. При цьому планування експерименту і розробка зразків ґрунтувалися на проведених заздалегідь численних дослідженнях і сформульованих припущеннях [4].

Основна частина. Для випробувань прийнято три серії зразків: СПМ, СПБ - сталебетонні пустотні з різною геометричною формою пустот та кроком анкерування; СП - сталебетоні суцільні, контрольні для кожного пустотного прообразу з аналогічним кроком анкерів. Усі розглянуті зразки являють собою еталони розрахункових моделей і за габаритними розмірами не мають схожості з плитами, рекомендованими для масового практичного застосування. Разом з тим передбачається, що після відповідної верифікації, основні висновки, отримані в процесі дослідження, можуть також поширяться на плити, рекомендовані для практичного використання.

Виготовлення та випробування експериментальних моделей виконано в лабораторії кафедри будівельної механіки та гідравліки УкрДАЗТ. Всі виготовлені зразки

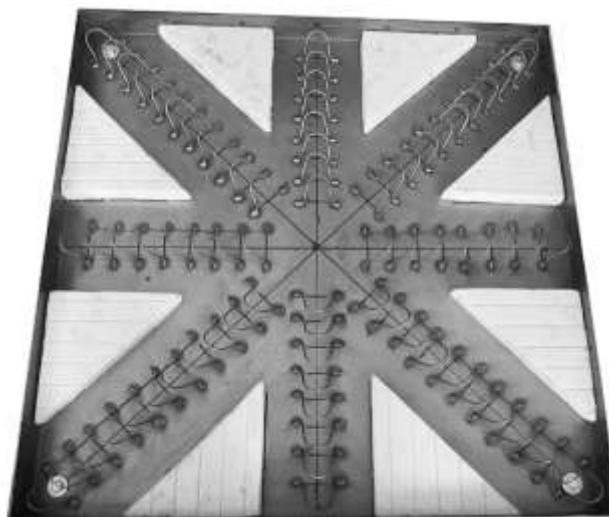
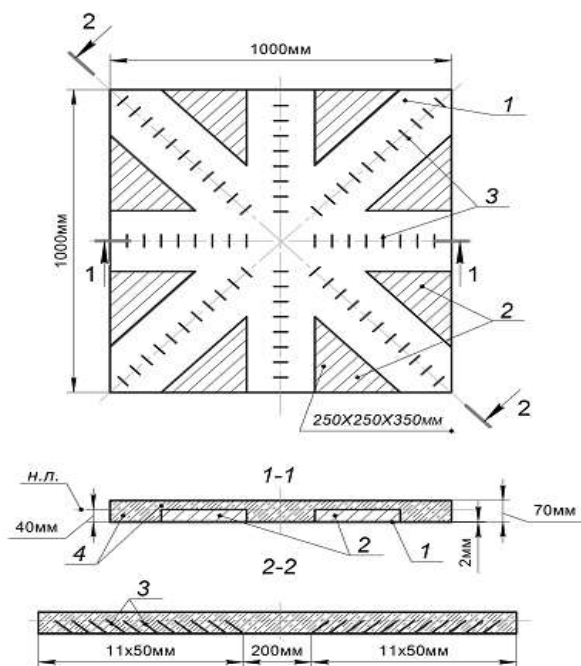
Будівельні матеріали, конструкції та споруди

квадратні в плані з довжиною сторони 1000 мм, висотою бетонного шару 70 мм, товщиною сталевго листа 2 мм (рис. 1).

Спільна робота сталевго листа і бетону забезпечується за рахунок петльових анкерів, встановлених з кроком 50 мм (СП50, СПМ50, СПБ50) і 100 мм (СП100, СПМ100, СПБ100). Матеріал анкера - дріт класу Вр-1 діаметром 4 мм. Розстановка анкерів - по діагоналях і

прямим, що проходить через середини протилежних сторін.

Форма пустотоутворювачів являє собою тригранну призму висотою 40 мм і розмірами в плані $250 \times 250 \times 350$ мм (СПМ50, СПМ100) або $300 \times 300 \times 420$ мм (СПБ50, СПБ100). Матеріал пустотоутворювачів - екструдований пінополістирол.



1 –металевий лист; 2 - пустотоутворювач; 3 - анкерні упори; 4 - бетон.

Рис. 1. Схема зразка та зовнішній вигляд до бетонування

Для виготовлення бетонної суміші використовували дрібнозернистий бетон з В / Ц = 0,5, портландцемент марки М500, пісок Полтавського піщаного кар'єру і щебінь з діаметром фракцій 5-25 мм. Твердіння бетону відбувалося в природних умовах до набору 100% марочної міцності. Для визначення міцності матеріалів попередньо проводились випробування контрольних бетонних і сталевих зразків. За усередненими значеннями кубкової міцності бетону $f_{ck.cube} = 36.7$ МПа прийнятий клас бетону С30 / 35. Також отримані границя текучості сталі $\sigma_t = 225$ МПа і тимчасовий опір на розтяг $\sigma_b = 290$ МПа.

При випробуванні плит деформації вимірювалися методом електротензометрії із застосуванням тензорезисторів з базою 10 мм на

сталевому листі (ДС) і базою 15 мм (ДБ) - на бетоні (рис. 2).

Показання датчиків реєстрували за допомогою багатоканальної вимірювальної системи ВНП-8. Прогини визначали за допомогою індикаторів годинникового типу. Обпирання плит виконано в кутах за схемою просторових шарнірів. Навантаження експериментальних зразків виконувалося ступенями по 5 кН з 20-ти хвилинною витримкою на кожній ступені, протягом якої знімалися показання по вимірювальним приладам.

В результаті випробування отримані дані про несучу здатність плит (табл.1), характер деформування і тріщиноутворення.

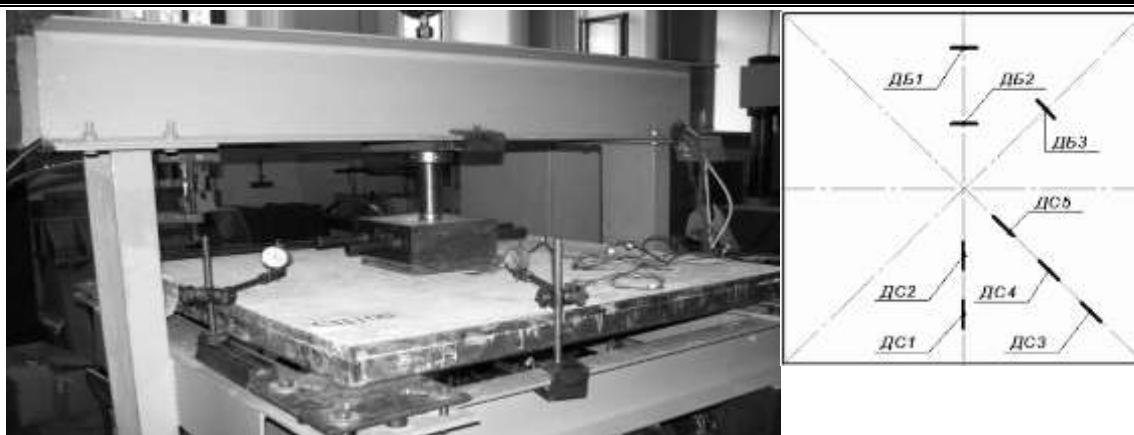


Рис.2 Експериментальна установка і схема розстановки датчиків.

Таблиця 1

Дані за результатами випробувань

Серія зразків	Несуча здатність, кН	Прогин при навантаженні 120 кН, мм	Деформація в бетоні при навантаженні 120 кН, $\epsilon_c \cdot 10^{-3}$		Деформація в металі при навантаженні 120 кН, $\epsilon_{au} \cdot 10^{-3}$	
			в центрі плити	по діагоналі	в центрі плити	по діагоналі
1	2	3	4	5	6	7
СП150	150	8.64	-1.67	-1.34	0.59	0.83
СП100	135	9.06	-2.01	-1.67	0.59	0.95
СПМ50	150	9.34	-1.78	-1.48	0.72	0.94
СПМ100	130	9.86	-2.25	-1.89	0.81	1.02
СПБ50	145	10.25	-2.52	-1.69	0.74	0.98
СПБ100	130	11.04	-2.79	-1.97	0.84	1.09

За результатами випробувань для зразків усіх серій отримані залежності зміни відносних деформацій у сталевому листі і на поверхні плити в бетоні від зовнішнього навантаження. Як приклад у статті наводяться результати для деформацій, отриманих при випробуванні плити серії СПМ50 (рис. 3, 4).

За отриманими результатами встановлено, що на початковій стадії навантаження переважно виникають пружні деформації. При навантаженні рівному 55-65% від руйнуючого в бетонній частині уздовж центральних осей спостерігається поява перших тріщин, в цей момент в сталевому листі розвиваються напруження в діапазоні 45-57% від границі текучості. Напруження в листі переважно виникають в напрямку діагоналей та становлять 84-115 МПа. В області анкерів (рис. 5) рівень напружень вище на 20-35% в

порівнянні з іншими точками, що лежать уздовж анкерних ліній. При досягненні навантажень більше 85-90% від руйнуючого, спостерігається інтенсивне розповсюдження тріщин, що призводить до повного руйнування бетонного слою при цьому в металевому листі досягається границя текучості.

Відмінність зразків з кроком анкерних упорів 100 мм виражається в характері тріщиноутворення та несучої здатності. Вже при рівні напружень 35-50% від несучої здатності зафіксовані перші тріщини в центральній частині плити, при навантаженні 70-80 кН – тріщини з'являються в місці кріплення і далі розвиваються за напрямом діагоналі.

Порівняльні залежності змін прогинів плит для зразків з кроком анкерів 50 мм зображені на рис. 6.

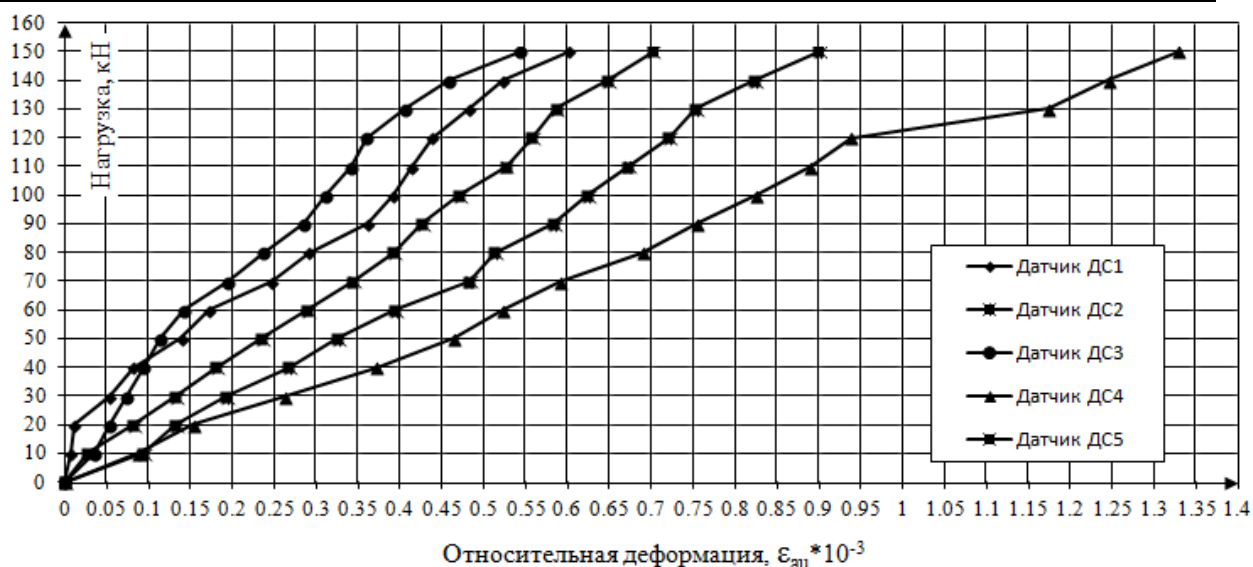


Рис. 3. Графік залежності $\epsilon(P)$ для металевго листа зразка СПМ50

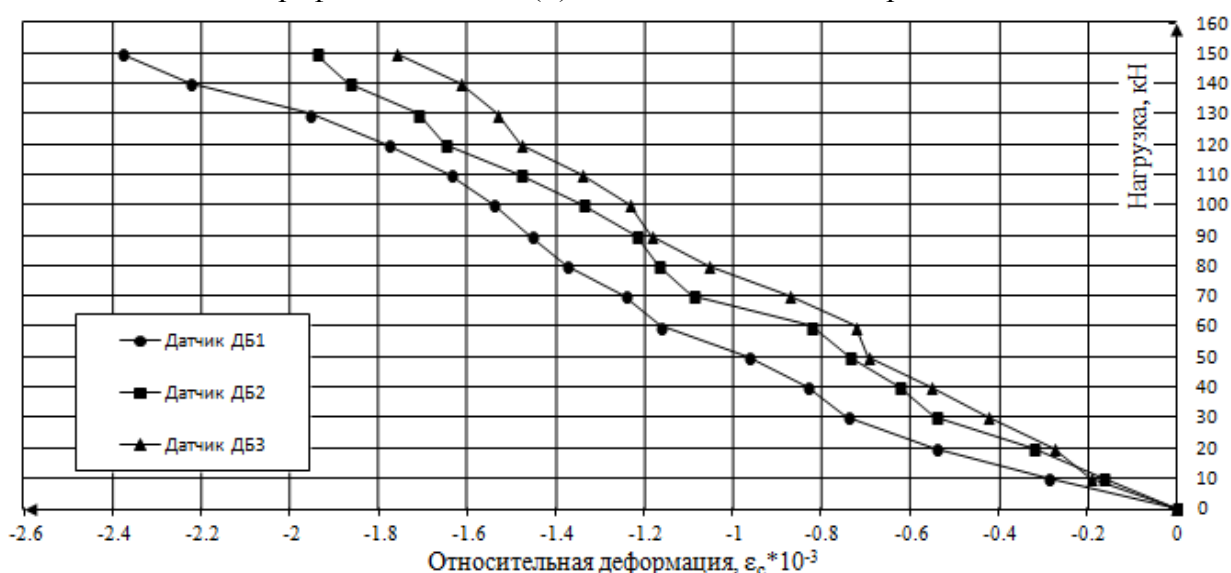


Рис. 4. Графік залежності $\epsilon(P)$ для бетону зразка СПМ50

Розвиток напружень в металевому листі відбувається аналогічно серіям з кроком 50 мм. При навантаженні 70-80 кН максимальне значення деформацій між анкерами спостерігається в зразку СПБ100 і становить 170-186 МПа. При рівні напружень 70-80% від руйнуючого в області деяких анкерних упорів виникають напруження межі текучості сталі (рис. 5). При досягненні навантажень на рівні 78-89% від несучої здатності, спостерігається значне розподілення тріщин в центральній

частині бетонного шару, що призводить до його руйнування.

Загальна картина тріщиноутворення в плиті у всіх зразках має однаковий характер. На поверхні плити утворення тріщин мало місце в області штампа і перпендикулярно до прямих, які проходять через середини протилежних сторін, а також поблизу вузлів обпирання. Утворення перших тріщин на видимій поверхні бетону виникало при навантаженнях на рівні 70% від руйнівного.

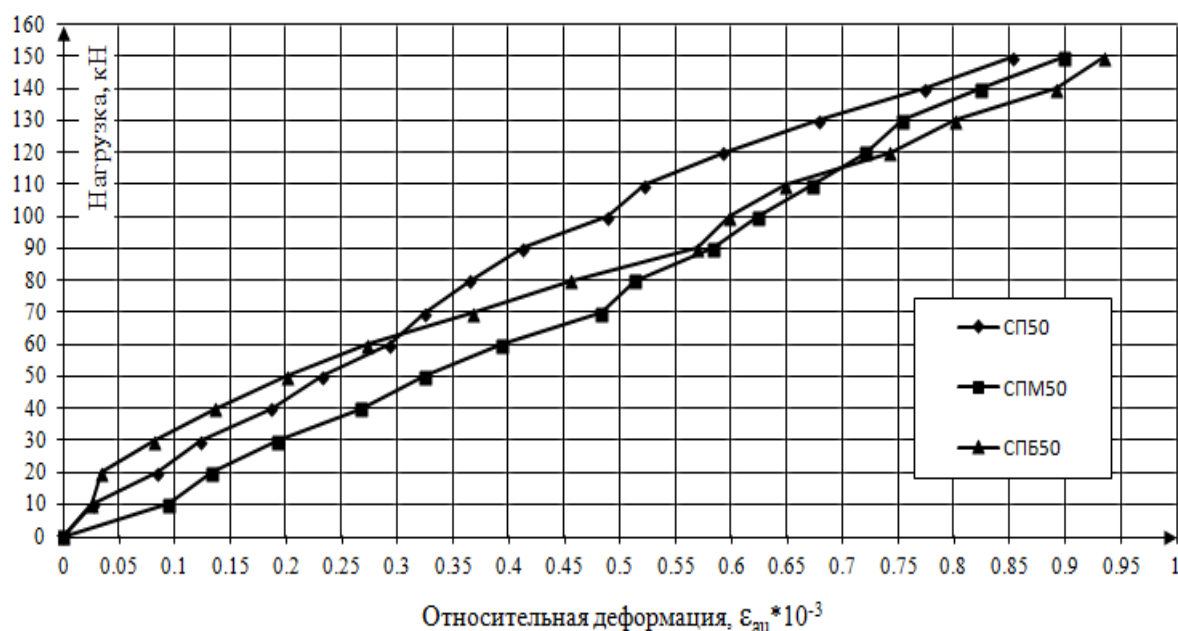


Рис. 5. Розподілення деформацій зразків з кроком анкерів 50мм (ДС2).

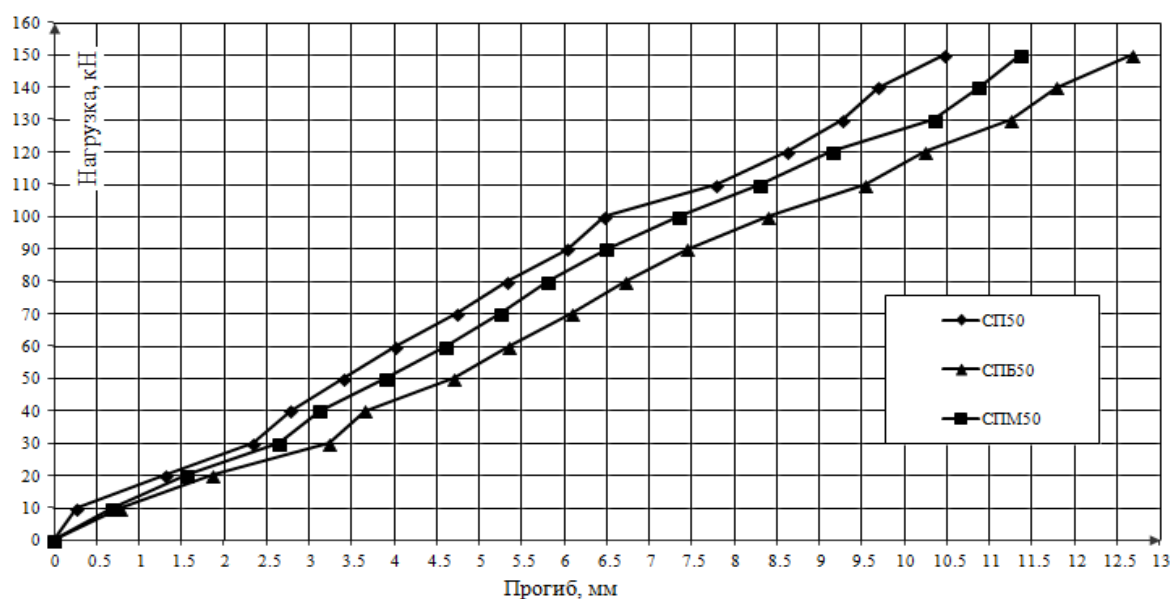


Рис. 6. Графіки залежності прогинів від навантаження зразків з кроком анкерів 50 мм

Після завершення випробувань виконувалося розкриття конструкцій, що дало можливість оцінити цілісність бетону в області пустотоутворювачів і характер тріщиноутворення в розтягнутій зоні. У всіх зразках зберігалось 100% працездатних анкерів, бетон в їх області без ознак руйнування або змінання. Останнє свідчить про спільну роботу елементів плити на всіх рівнях навантаження. Тріщиноутворення виражено в напрямку

діагоналей і прямих, що проходять через середини протилежних сторін.

В області пустотоутворювачів бетон не має ознак руйнування, що підтверджує припущення про відносно виключення відповідних секторів з роботи конструкції (рис. 7).

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Встановлено, що наявність прийнятих пустот не впливає на характер тріщиноутворення. В

стиснутої зоні вирішальними є тріщини, що виникають за прямими, що проходять через середини протилежних сторін плити. Напруження розтягу і відповідні їм тріщини переважно виникають на внутрішній поверхні бетону в напрямку діагоналей.

При зростанні числа анкерів в два рази жорсткість конструкції збільшується на 3-5%, а несуча здатність - на 11-15%. В області анкерів руйнувань бетону не відбувалося, також, як і відриву або зрізу самого анкера.

Отримані в процесі експерименту результати свідчать, що сталобетонні плити з пустотами зберігають несучу здатність у порівнянні зі своїми суцільними аналогами і при цьому дозволяють знизити власну вагу конструкції на 14-24%. Можливість такого ефекту досягнуто за рахунок чисельного прогнозування напружено-деформованого стану конструкції з визначенням розмірів пустот і місць їх розташування [4].



Рис. 7. Розкрита після випробувань пустота зразка СПБ50.

Список використаних джерел

1. Лобяк О.В. Експериментальне дослідження роботи сталобетонного мембранного покриття з квадратним планом // Зб.наук.праць. – Харків: ХарДАЗТ, 2001. - Вип.45., С.128-135.
2. Чихладзе Э.Д., Арсланханов А.Д. Напряженно-деформированное состояние сталобетонных плит // Строительная механика и расчет сооружений. - 1990.- №2. С22-26.
3. Стороженко Л.И. Железобетонные конструкции с внешним армированием. – К.: УМКВО, 1989. – 99с.
4. Лобяк А.В., Головкин Д.В. Моделирование работы сталобетонных пустотных плит перекрытия с учетом нелинейных свойств конструкции и материалов // Зб.наук.статей. Вип.11. – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – С.156-162.

Рецензент д-т техн. наук, професор Пругін А.А.

Лобяк Олексій Вікторович, к.т.н., доцент, кафедра Будівельна механіка та гідравліка, Українська державна академія залізничного транспорту, тел.730-10-70, e-mail Lobiak@ukr.net

Головкин Денис Валерійович, здобувач, кафедра Будівельна механіка та гідравліка, Українська державна академія залізничного транспорту, тел.730-10-70, e-mail denis1235@ukr.net

A. Lobiak, Ph.D., associate Professor, Department of Structural Mechanics and Hydraulics, Ukrainian State Academy of Railway Transport, tel.730-10-70, e-mail Lobiak@ukr.net

D. Golovko, Ph.D., external PhD student, Department of Structural Mechanics and Hydraulics, Ukrainian state academy of railway transport, tel.730-10-70, e-mail denis1235@ukr.net