УДК 624.012.35:620.173

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦІЙ АРОЧНИХ СИСТЕМ ПОКРИТТЯ З ВИСОКОМІЦНОГО ШВИДКОТВЕРДНУЧОГО БЕТОНУ В ЗАХИСНИХ СПОРУДАХ ОБОРОННОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Б. Караван, аспірант

ORCID ID: 0000-0002-0499-7544

Національний університет водного господарства та природокористування<https://doi.org/10.31734/architecture2021.22.062>

Караван Б. Дослідження фізико-механічних характеристик конструкцій арочних систем покриття з високоміцного швидкотверднучого бетону в захисних спорудах оборонного призначення

Вивчено та проаналізовано результати найбільш відомих експериментально-теоретичних досліджень, висвітлених у відкритих літературних джерелах.

Розроблено теоретичні та експериментальні дослідження роботи двохарнірних залізобетонних арок.

Проведено статичний аналіз збіжності експериментальних і теоретичних даних під час випробування бетонних зразків кубів та призм на стиск і розтяг.

Установлено характеристичні та розрахункові значення опору стиску та розтягу високоміцних швидко-тверднучих бетонів та їх деформативні характеристики.

Підібрані основні геометричні розміри та прораховане армування для майбутніх дослідних зразків арочних конструкцій згідно з чинними нормами розрахунків бетонних конструкцій, які будуть виготовлятися із високоміцних швидкотверднучих бетонів, ґрунтуючись на попередньо прийнятому одиничному навантаженні.

Виготовлено і випробувано зразки бетонних кубів і призм на стиск, а також бетонних призм на розтяг у спеціалізованій лабораторії задля встановлення основних фізико-механічних характеристик високоміцних бетонів.

Побудовано діаграми механічного стану для дослідних бетонів.

Визначено об'єм експериментальних досліджень у майбутньому. Також підготовлені всі матеріали та креслення, які ґрунтуються на розрахунках за чинними нормами України, задля можливості невдовзі розпочати виготовлення дослідних зразків арочних конструкцій покриття, які будуть, своєю чергою, випробовуватись на дію статичного та динамічного навантаження.

Власноруч вдосконалена (модернізована) установка, яка дозволяє випробовувати дослідні зразки арочних конструкцій на динамічне навантаження.

Ключові слова: високоміцний швидкотверднучий бетон, діаграми, арочні конструкції покриття, напружено-деформований стан.

Karavan B. Investigation of physical and mechanical characteristics of the structures of arch systems of coating made of high-strength fast-setting concrete in the protecting construction of defense

The results of the most famous experimental-theoretical researches described in open literature sources are studied and analyzed.

Theoretical and experimental researches of the work of two-hinged reinforced concrete arches are developed.

A static analysis of the convergence of experimental and theoretical data in the testing of concrete samples of cubes and prisms for compression and tension is performed.

The characteristic and calculated values of compressive and tensile strength of high-strength fast-setting concretes and their deformable characteristics are established.

The main geometric dimensions and calculated reinforcement for future prototypes of arched structures according to the current norms of calculations of concrete structures, which will be made of high-strength fast-setting concrete based on the previously accepted unit load, are selected.

Samples of concrete cubes and compression prisms, as well as tensile concrete prisms were manufactured and tested in a specialized laboratory to establish the basic physical and mechanical characteristics of high-strength concrete.

Mechanical state diagrams for experimental concretes are constructed.

The scope of future experimental research has been determined. Also, all materials and drawings have been prepared basing on the calculations according to the current norms of Ukraine in order to be able in the near future to start making prototypes of arched pavement structures, which will in turn be tested for static and dynamic loads.

The installation that allows testing prototypes of arched structures for dynamic loading is personally improved (upgraded) by the author of the article.

Key words: high-strength fast-setting concrete, diagrams, arched structures of the coating, stress-strain state.

Постановка проблеми. З 2014 року в Україні зросла потреба у відновленні наявних і зведенні нових споруд оборонного призначення. Фортифікаційні споруди призначаються для ведення вогню (вежі, каземати, окопи, майданчики для вогневих засобів), захисту особового складу і військової техніки від звичайних засобів і впливу зброї масового ураження (щілини, перекритті ділянки траншей, бліндажі, притулки, укриття),

для здійснення прихованого маневру (потерни, траншеї, ходи сполучення).

В умовах військового стану виникає потреба в максимально швидких темпах зведення оборонних споруд. Цього можна досягти введенням у технологічний процес високоміцних, швидко тверднучих бетонів, які дають змогу істотно посилити темпи будівництва і, відповідно, скоротити терміни зведення будівель і споруд (рис. 1, 2).

Рис. 1. Повздовжній розріз фортифікаційної споруди.

Рис. 2. Поперечний розріз фортифікаційної споруди

Фундаменти та стіни захисної споруди передбачено влаштувати збірними залізобетонними. Насамперед це обумовлено скороченими термінами будівництва. Покриття пропонується аarchного типу. Залізобетонні арки широко використовуються в будівництві. Особливе місце в цьому процесі посідають двошарнірні залізобетонні арки з затяжками, оскільки в них найбільш раціонально працюють їх складові матеріали – бетон і арматура. Такі арки застосовують у конструкціях

покриття промислових і громадських будівель, мостових конструкціях, просторових покриттях споруд (діафрагми оболонки тощо).

Залізобетонні арки виготовляють переважно збірними. Вони бувають дво- або тришарнірними та безшарнірними. Горизонтальний розпір сприймається затяжкою, але може передаватись і на інші конструкції (рами, стіни, фундаменти тощо). Найпоширеніші – двошарнірні арки із затяжкою (рис. 3).

Рис. 3. Типи розрахункових схем арок в умовах статички та епюри згинаючих моментів:
а) безшарнірна арка; б) двошарнірна арка; в) тришарнірна арка.

Статично невизначені двошарнірні арки мають суттєві переваги порівняно з тришарнірними: менші витрати матеріалів; спрощене армування перерізів; підвищена жорсткість, більш простий монтаж (немає потреби влаштовувати ключовий шарнір). Порівняно з безшарнірними арками у двошарнірних простіша конструкція опорних вузлів, виникають менші додаткові внутрішні зусилля в перерізах за зміщення опор, натомість в арках із затяжкою вони взагалі не виникають. У таких арках регулюванням зусилля в затяжці можна зменшити максимальні значення згинальних моментів у поперечних перерізах за певних навантажень і розмірів конструкції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Залізобетонні арки з важкого бетону на дію статичних навантажень досліджували такі науковці: Є. М. Бабич, В. Г. Щелкунов, В. І. Колчунов, О. А. Ветрова, Р. Ш. Дистанов, Д. Я. Кислюк [1-6].

Вплив і напружено-деформований стан залізобетонних арок із швидкотверднучих важких високоміцних бетонів на дію динамічних навантажень різного рівня науковці не вивчали.

Фізико-механічні характеристики важких бетонів класів вище за C50/60 в чинних нормах проєктування України не наведені.

Постановка завдання. Метою дослідження було встановити характеристичні та розрахункові значення опору стиску та розтягу високоміцних швидкотверднучих бетонів та їхні деформативні характеристики, а також особливості роботи двошарнірних залізобетонних арок із високоміцних швидкотверднучих бетонів за статичних і динамічних навантажень.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- побудувати діаграми механічного стану для дослідних бетонів (за формулами, наведеними в нормативних документах);
- установити (в подальшому) особливості роботи двошарнірних арок із високоміцного бетону при статичних і динамічних навантаженнях.

Виклад основного матеріалу. Оскільки дослідні зразки аровних конструкцій перебувають на стадії виготовлення, попередньо було підготов-

лено і випробувано декілька серій зразків бетонних кубів і призм із високоміцного бетону, з якого надалі виготовлятимуть зразки арочних конструкцій.

Випробування бетонних зразків (кубів, призм) проводили у спеціалізованій лабораторії Національного університету водного господарства та природокористування. Для виготовлення бетонних зразків використовували високоміцний швидкотверднучий бетон. Механічні характеристики бетону (кубова, призмova міцність) визначали за стандартними методиками. Випробування бетонних кубів і призм на стиск проводили на

гідравлічному пресі марки ПГ-250 з ціною поділки 2,5 кН (рис. 4, 5).

Навантаження кубів здійснювалось безперервно, з постійною швидкістю до руйнування.

Навантаження призм здійснювалось ступенями. Рівень навантаження приймали в межах 8–10 % від очікуваного руйнівного зусилля. На кожному ступені навантаження робили витримки протягом 5–15 хв для стабілізації деформацій у бетоні і зняття відліків. Перед основними випробуваннями бетонних кубів їх центрували по фізичній осі на плиті преса, а призм – по геометричній осі.

Рис. 4. Загальний вигляд установки УММ-50 (для випробування бетонних призм на розтяг).

Рис. 5. Загальний вигляд установки ПГ-250 (для випробування бетонних кубів і призм на стиск).

Рис. 6. Схеми випробування і розміри дослідних бетонних зразків:

а) дослідний зразок – куби на стиск; б) дослідний зразок – куби на стиск; в) дослідний зразок – призми на розтяг; з) дослідний зразок – призми на стиск.

1) дослідний зразок – куб на стиск; 2) дослідний зразок – призма на розтяг;

3) дослідний зразок – призма на стиск; 4) нижня та верхня траверси гідравлічної установки ПГ-250;

5) кріплення індикаторів у вигляді сталеві рами; б) індикатори годинникового типу 1МІГ та 2МІГ на базі 400 мм; 7) закладні анкерні деталі; 8) сталеве вушко, яке вгвинчується в закладну анкерну деталь із подальшою

можливістю випробування призми на розтяг.

На кожному ступені навантаження призм повздовжні деформації бетону вимірювали за допомогою індикаторів годинникового типу 1МІГ та 2МІГ з ціною поділки, відповідно, 0,001 та 0,002 мм.

Випробування бетонних призм на розтяг проводили у розривній машині марки УММ-50 (рис. 6–8). Відхили розмірів і форми зразків від номінальних, неплоскостність їх опорних поверхонь, а також неперпендикулярність опорних і бічних поверхонь зразків, не перевищували установлених значень [7]. Деформації бетону на розтяг вимірювали за допомогою індикаторів годинникового типу 1 МІГ та 2 МІГ.

Під час випробування бетонних кубиків і призм на стиск у віці 1 доба були отримані такі результати: бетон класу С80 $f_{cm, cube} = 41,7$ МПа ($f_{cm, prism} = 37,78$ МПа).

У віці 7 діб були випробувані тільки бетонні кубики, які продемонстрували суттєве збільшення міцності бетону. Цей приріст у середньому становив 38 %, а відповідна міцність була така: бетон класу С80 $f_{cm, cube} = 66,6$ МПа.

Середнє значення міцності контрольного бетону за одноразового навантаження у віці 1 доби за результатами трьох зразків призм-близнюків становило: бетон класу С80 $f_{cm} = 3,0$ МПа.

У випробуванні призм на розтяг у віці 28 діб зберігалась тенденція до збільшення призмової міцності аналогічно, як і для випробування призм на стиск. Міцність призм бетону класу С80 збільшилась на 17 % ($f_{cm} = 3,6$ МПа). Отож, за 1 добу призми в середньому набували 0,8 від проектної міцності бетону.

Рис. 7. Діаграми деформування бетону класу C80: а) 1 доба; б) 28 діб.

Рис. 8. Діаграми деформування та січний модуль деформацій високоміцних швидкотверднучих бетонів у віці 1 доба для бетону класу C80.

Висновки. Виготовлено і випробувано зразки бетонних кубів і призм на стиск, а також бетонних призм на розтяг у спеціалізованій лабораторії задля встановлення основних фізико-механічних характеристик високоміцних бетонів. Також побудовано діаграми механічного стану для дослідних бетонів. Випробування бетонних призм засвідчило, що вже у віці 1 доби бетон у середньому набув 0,65 проектної міцності за випробування призм на стиск та 0,8 – за випробування призм на розтяг. Це дасть змогу використовувати ці бетони для зведення як будівель і споруд цивільного призначення, так і оборонних споруд із пришвидшеними темпами будівництва. Планується недовзі продовжити вивчення фізико-механічних характеристик високоміцних швидкотверднучих

бетонів і з їх допомогою виготовити і дослідити роботу арочних конструкцій покриття на дію статичного і динамічного навантаження.

Бібліографічний список

1. Sobczak-Piastka J., Babich Y., Karavan V., Filipchuk S., Nalepa O. Research of deform-ative properties of concrete taking into account the descend-ing branch of deformation, WMCAUS 2020, IOP Publishing, IOP Conf. Series: materials Science and Engineering 960 (2020) 032057.
2. Babich Y., Karavan V., Filipchuk S., Sobczak-Piastka J. General requirements for materials of fortification protective structures, AIP Conference Proceedings 2077, 020004, 2019. URL: <https://orcid.org/0000-0002-8261-692X>.

3. Babich Y., Karavan V., Filipchuk S., Sobczak-Piastka J. Research of basic mechanical and deformative properties of high-strength fast-hardening concretes, AIP Conference Proceedings 2077, 020003, 2019. URL: <https://orcid.org/0000-0002-8261-692X>.
4. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.
5. ДСТУ Б В.2.7-43-96. Бетони важкі. Технічні умови.
6. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування.
7. ДСТУ Б В.2.7-217:2009. Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона.

Стаття надійшла 30.07.2021