

Рис 2 Пример № 9 (грунт – глина). Эпюры растягивающих осевых сил (а) и общих перемещений георешетки (в) ARMATEX® G 110/30. Эпюры растягивающих осевых сил (б) и общих перемещений георешетки (г) ARMATEX® G 800/100.

Выводы

1. Расхождение значений коэффициентов устойчивости рассчитанных для данных примеров по уравнениям регрессии и программой PLAXIS колеблется в пределах от 3,2 % до 49,8 %.

2. При вариации прочностных характеристик армирующих материалов возможно добиться повышение коэффициента устойчивости в заданной расчетной схеме, а так же определить оптимальное значение прочностных характеристик геоматериалов при проектировании рассматриваемого вида фундамента.

3. Для ряда примеров нет возможности произвести методом Phi-c reduction численную оценку устойчивости фундамента при возникновении глубокого сдвига. Так в некоторых случаях при армировании основания геоматериалами имеющими низкий предел прочности на разрыв обрушение происходит вместе с фундаментом (рис. 1 а) и соответственно рассчитываемый методом Phi-c reduction коэффициент безопасности является коэффициентом устойчивости фундамента при возможности глубокого сдвига. Для ряда примеров (табл. 1) при армировании основания геоматериалами с более высоким пределом прочности обрушение происходит перед фундаментом и соответственно определяется коэффициент устойчивости склона (без учёта глубокого сдвига фундамента (рис. 1 б)).

4. Для определения более достоверного коэффициента устойчивости в уравнениях регрессии, необходим учёт не только прочностных характеристик по контакту между грунтом и арматурой, а ещё и прочностных характеристик самих геоматериалов (т.е. прочности на разрыв, относительное удлинение), что может служить направлением дальнейшего совершенствования методики определения коэффициента устойчивости фундамента в случае глубокого сдвига.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по механике и динамике грунтов / В.Б. Швец, Л.К. Гинзбург, В.М. Гольдштейн и др. / Под. ред. В.Б. Швеца. – Киев: Будівельник. – 1987. – 232 с.
2. Оценка устойчивости основания сооружения при возможности глубокого сдвига методом планирования эксперимента / В.Б. Швец, О.А. Рубан, В.В. Ковалёв // Сб. «Дороги і мости», вып.7, в 2-х т., Т.2. - К.: ДерждорНДІ. 2007. С. 263-273.
3. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1965. – 340 с.
4. Босов А.А. Методические указания к курсу «Теория надёжности и планирование эксперимента». Часть II. – Днепропетровск ДИИТ, 1983. – 47 с.
5. Терещенко М.В., Харченко Є.М., Ковшов В.М. та ін. Моделювання технологічних процесів у середовищі Microsoft Excel: Навч. посібник. – Дніпропетровськ: Пороги, 2005. – 266 с.
6. Brinkgreve, R.B.J. PLAXIS Professional Version 8 / Delft University of Technology & PLAXIS b.v, Netherlands, 2002
7. Brinkgreve, R.B.J. and Bakker, H.L. (1991). Non-linear finite element analysis of safety factors. Proc. 7th Int. Conf on Comp. Methods and Advances in Geomechanics, Cairns, Australia, 1117-1122.

УДК 542.34

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРІЩИНУВАТОСТІ БЕТОНУ В КОНСТРУКЦІЯХ УЛЬТРАЗВУКОВИМ ІМПУЛЬСНИМ МЕТОДОМ

Л.М. Шутенко, Я.О. Серіков, М.С. Золотов, С.Я. Серіков
Харківська національна академія міського господарства, м. Харків

Визначення надійності та подовження життєвого циклу експлуатованих будівель та споруд є важливою проблемою, що стосується, як України, так і зарубіжних країн. В цій проблемі встановлення ступеню тріщинуватості бетону в конструкціях та дослідження процесу утворення й розвитку тріщин є важливою задачею, тому що дозволяє визначати надійність та прогнозувати подовженість життєвого циклу як конструкцій, так і експлуатованих споруд в цілому. Актуальність рішення цього завдання обумовлена й економічно, так

при цьому можливе більш надійне визначення строків і обсягів ремонтних робіт для забезпечення максимального використання існуючих об'єктів.

При вивченні та визначенні шляхів вирішення такого завдання необхідно враховувати, що процес експлуатації залізобетонних конструкцій, як правило супроводжується впливом статичних, динамічних навантажень і кліматичних змін. Вплив перерахованих факторів активізує процес утворення тріщин в бетоні, тобто призводить до послідовної відносної зміни (погіршення) його фізико-механічних і структурних характеристик.

Фізичні основи, розвиток та практика використання неруйнівних методів контролю якості, структури будівельних матеріалів приводять до логічного висновку про можливість рішення такого завдання на їхній основі [1, 2]. Причому, аналіз потенційних можливостей неруйнівних методів, що використовують параметри пружних хвиль для оцінки таких характеристик бетону, дозволяє зробити висновок про реальну перспективність у цьому плані застосування ультразвукового імпульсного методу [1]. При вирішенні поставленої задачі досить висока чутливість ультразвукового імпульсного методу до відносних змін фізико-механічних характеристик матеріалів була використана для контролю процесу утворення тріщин у залізобетонних конструкційних елементах.

В основу методики, що розроблена для дослідження процесу утворення тріщин, лежить принцип контролю міцності бетонних і залізобетонних виробів під навантаженням [1]. Сутність цього методу складається в дослідженні міцності бетону, його несучої здатності за допомогою виміру швидкості поширення ультразвукових коливань (V) у досліджуваних виробах при навмисному впливі зовнішнього нормованого навантаження (P_i). Величина такого навантаження повинна складати $P = 20...60\%$ від максимального (P_{max}), сприйманого матеріалом. Фізика процесу полягає в тому, що під впливом зовнішньої прикладеної сили (P_i) у бетоні з'являються необоротні дефекти структури, які змінюють величину швидкості поширення пружних хвиль (V). Це відбувається через збільшення їхнього шляху проходження від випромінюючого до прийомного перетворювача при огинанні цих дефектів. Залежність величин P_i і V_i , що взаємозалежні з фізико-механічними характеристиками бетону, представляється можливим формалізувати в загальному вигляді наступним виразом:

$$\begin{aligned} \Delta V_j &= V_1 - V_2 = F(E_{qi1}; E_{qi2}; G_{qi1}; G_{qi2}; S_{qi1}; S_{qi2}); \\ E_{qi1}, G_{qi1}, \rho_{i1}, \eta_{i1}, S_{qi1}, V_1 &\in \Psi_{i1}/P_1; \\ E_{qi2}, G_{qi2}, \rho_{i2}, \eta_{i2}, S_{qi2}, V_2 &\in \Psi_{i2}/P_2; \end{aligned}$$

де ΔV_j – зміна швидкості поширення ультразвукових коливань, що виникає з появою мікротріщин у бетоні; V_1 – швидкість поширення ультразвукових коливань у бетоні при навантаженні P_1 ; V_2 – швидкість поширення ультразвукових коливань у бетоні при навантаженні P_2 . $E_{qi} \in E_q$; $G_{qi} \in G_q$; $\rho_i \in \rho$; $\eta_i \in \eta$ – диференціальні часткові показники відповідно динамічних модулів пружності першого й другого роду, структурної характеристики

дефектів виробу, щільності бетону; Ψ_i – диференціальний показник сукупності фізико-механічних властивостей бетону у виробі, що впливають на величину V_i .

Суть цього методу полягає в тому, що швидкість поширення ультразвукових коливань вимірюють у ненавантаженому виробі (V_0) і при двох значеннях навантаження (P_1) і (P_2). При цьому одержують швидкості поширення ультразвукових коливань – відповідно (V_1) і (V_2). Причому, важливим є дотримання такої умови: напрямок поширення пружних хвиль при визначенні швидкості (V_1) і (V_2) повинен бути перпендикулярний дії зовнішнього навантаження (P_i). За значеннями відносних змін параметра (V_i), з використанням спеціалізованих графіків, знаходять допоміжні коефіцієнти й розраховують значення максимального навантаження (P_{max}), що може приймати виріб.

Достоїнством цього методу є можливість дослідження фізико-механічних властивостей бетону без проведення попередніх експериментів для формування кореляційних залежностей "швидкість поширення ультразвукових коливань - міцність бетону".

У розглядуваному використанні фізичних основ методу контролю міцності бетону при навантаженні контроль процесу утворення тріщин у бетоні залізобетонних конструкцій базується на використанні інформації про структурні властивості бетону, що змінюються внаслідок природних динамічних і статичних впливів. Такий контроль дозволяє розпізнавати зони розташування тріщин або інших порушень структури у конструкційних залізобетонних елементах.

Виходячи з викладеного слідує, що методика ультразвукових випробувань побудована на аналізі взаємозв'язків у системі «статичне або динамічне навантаження - структура бетону - параметри ультразвукового інформаційного сигналу». Математична модель, що описує взаємозв'язки в такій системі, побудована на рішенні нелінійного завдання поширення пружних хвиль.

Методика проведення контролю заснована на вимірі комплексу характеристик інформаційного сигналу при проходженні пружних хвиль через бетон конструкції. При вимірах використовується імпульсна активна локація.

Основи ультразвукового імпульсного методу й натурні фізичні експерименти показують, що для оцінки процесу утворення тріщин у бетоні залізобетонних конструкцій найбільш інформативними є наступні характеристики: спектр, швидкість поширення пружної хвилі й амплітуда інформаційного сигналу [3, 4, 5].

Експерименти, що були проведені для діагностики конструкційних залізобетонних елементів з дефектами й без дефектів, дозволили виявити адекватні зміни в спектральних характеристиках сигналів. Причому, було зафіксоване збільшення інтенсивності спектральних складових в області низьких частот. Виявлено також, що зміни в спектрах змушених пружних коливань зростають як з ростом потужності статичного зовнішнього впливу,

так і при різних рівнях тріщинуватості бетону при постійній погужності зовнішнього впливу.

Аналіз одержаних результатів показав, що для підвищення вірогідності визначення місця розташування тріщин необхідні наступні дослідження: подальше накопичення банку даних статистичної інформації; а також проведення подальших досліджень з порівняння дефектного й бездефектного станів структури бетону конструкцій. Результати експериментів показали також, що найбільш інформативним параметром є характеристики спектра, зміна яких підсилюється в міру росту деформуючих напруг, що є першоосовною еволюції дефектної структури. Це пов'язано з тим, еволюція процесу тріщиноутворення в бетоні конструкцій проявляється, якщо процес росту й концентрації напруг розглядати, як поведення динамічної системи, що має ієрархічні рівні, кожний з яких реалізується у формуванні певного виду зв'язаних дефектів, керованих зовнішніми впливами на конструкцію. Рівновага такої системи при зміні параметрів зовнішнього впливу (динамічних або статичних), може стати нестійким або бути порушеним. У цьому випадку процес її еволюції представляється можливим розглядати, як дискретну послідовність ієрархічних фазових переходів від цілісної, бездефектної структури бетону до послідовних стадій розвитку й збільшення кількості тріщин різного рівня ієрархії. Завершення такого процесу виражається заключною стадією руйнування при $P_i = P_{\text{разр}}$.

Виходячи з цього слідує, що зароджуючись на рівні формування надмолекулярних руйнувань, що проявляється в утворенні мікротріщин, необоротний процес еволюції дефектів у бетоні якісно розвивається, як послідовність фізичних дискретних станів. Переходи між цими станами відбуваються у формі каскаду східчастих нестійких станів системи «статичне або динамічне навантаження – структура бетону», що формуються при певних значеннях зовнішнього навантаження й пластичної деформації бетону, які відповідають моментам стрибкоподібного росту дефектів. У такому разі кожний наступний стан структури бетону конструкції залежить від попереднього.

Іншими словами, дефекти ієрархічного рівня « w » зароджуються з дефектів більш низького рівня « $\alpha - w$ », де w – умовно позначений стан структури бетону без тріщин. В результаті спостерігається дискретне збільшення кількості центрів розсіювання й поглинання енергії пружної хвилі. Структуру бетону в цьому разі представляється можливим розглядати відносно характеристик пружної хвилі, як зміну деякого нелінійного акустичного параметра. Причому, якщо величина нелінійного акустичного параметра не перевищує декількох умовних одиниць, то швидкість поширення пружної хвилі, загасання й спектральні характеристики не піддаються істотним змінам.

Коли ж концентрація дефектів досягає достатньо високих значень, що залежить, в основному, від вихідних фізико-механічних характеристик бетону, то проявляється ефекти їхнього колективного поведення, що відбиваються на відповідних характеристиках інформаційного сигналу.

З ростом ступеня пружної деформації зароджується кожний наступний структурний рівень дефектного середовища, параметри якого взаємозалежні з попереднім. При збільшенні рівня пластичної деформації такий еволюційний процес формування дефектної структури бетону представляється, як рух по вузлах ієрархічного дерева, у якому переходи до чергового рівня дефектності середовища пов'язані з більш низькими рівнями деформації.

Експериментальні дослідження були організовані у такий спосіб. При обстеженні конструкційного залізобетонного елемента була виявлена ділянка, на якому розташовані три тріщини, що виходять з однієї вершини. В цьому місці розташовувались випромінюючий та прийомний п'єзоелектричні перетворювачі. При дослідженнях використовувався тінювий метод активної ультразвукової локації. Для оцінки результатів застосовувався метод порівняння послідовних вимірів.

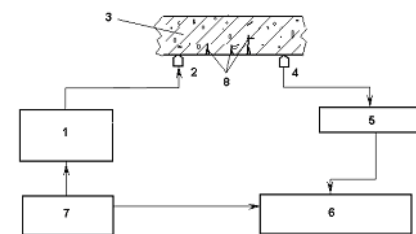


Рис. 1 - Функціональна схема контрольно-вимірювальної системи для дослідження процесу утворення тріщин в бетоні

Функціональна схема контрольно-вимірювальної системи, що використовувалася в експерименті, представлена на рис. 1. Від генератора зондувальних імпульсів 1 електричні імпульси подаються на випромінюючий п'єзоелектричний перетворювач 2. За його допомогою ультразвукові пружні коливання вводяться в бетон досліджуваного конструкційного елемента 3. Ультразвуковий інформаційний сигнал надходить на прийомний п'єзоелектричний перетворювач 4, підсилюється підсилювачем 5 і подається на блок обробки інформації 6. У блоці обробки інформації вимірюються швидкість поширення пружної хвилі, коефіцієнт загасання й фіксуються його спектральні характеристики. Синхронізація роботи вимірювального пристрою здійснюється блоком автоматики 7. Поз. 8 на рис. 1 позначені мікротріщини в бетоні досліджуваного конструкційного елемента.

Для контролю за зміною параметрів тріщин проводилось порівняння спектральних характеристик інформаційних сигналів, зафіксованих через часові відрізки в міру збільшення статичного навантаження.

Таким чином, натурні енергетичних та спектральних характеристик інформаційних сигналів при збільшенні тріщинуватості бетону конструкції під впливом статичних і динамічних навантажень підтверджують можливість контролю процесу тріщиноутворення

ультразвуковым импульсным методом за допомогою дискретних вимірів, розподілених у часі. Внаслідок цього реалізується можливість прогнозування надійності й визначення часу проведення ремонтних робіт.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Шутенко Л. М., Серіков Я. О., Золотов М. С. Дослідження будівельних матеріалів і конструктивних елементів будинків і споруд ультразвуковими методами. К.: Техніка, 2006 - 210 с.
2. Serikov J.A., Serikov S.J. Increase of accuracy of measurement of durability of heterogeneous composite materials by the ultrasonic pulse method on the basis of modeling. / 5th World Congress on Ultrasonics. Paris, France, 7-10 September 2003.
3. Серіков Я.О., Шутенко Л.М., Серіков С.Я. Систематизація задач дослідження якості бетону конструкційних елементів експлуатованих будинків і споруд ультразвуковим імпульсним методом та оперативне визначення його потенційних можливостей при натурних обстеженнях. 4-та міжнародна н-т. конф. "Ресурсоекономні матеріали, конструкції та споруди". Сб. наук. праць. Вип. 9. - Рівне, 2003. С. 456 – 462.
4. Серіков Я. О. Застосування пружних хвиль для контролю структури бетонних закладочних масивів. // Строительство, материаловедение, машиностроение // Сб. научн. трудов. Вып. 24 – ПГАСиА, Днепропетровск: 2003. С. 161 - 166.
5. Сериков Я.А. Исследование железобетонных элементов ультразвуковым импульсным методом на этапе реконструкции. Научно-техн. Сб. «Строительные конструкции», К.:, 2003. С – 251 – 257.

УДК 666.972.5

ГЕНЕЗИС СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ ЦЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ

Л.В. Щербина, к.т.н., доцент

Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье

На сегодняшний день одной из важнейших задач в области эксплуатации изделий и конструкций из бетона и железобетона является повышение их надежности и долговечности. Одним из путей решения данной задачи является обеспечение проектных показателей прочностных характеристик, обеспечение требований по трещиностойкости, а так же обеспечение неизменяемости линейных размеров изделий и конструкций на всех этапах эксплуатации, независимо от атмосферных воздействий. Поэтому решение вопросов стабильности свойств бетонов является достаточно актуальной задачей.

Анализ известных трудов О.Е. Шейкина, Ю.М. Баженова, О.Я. Берга, Т.К. Пауэрса и др. позволяет говорить о том, что одним из основных

факторов, позволяющим регулировать прочностные характеристики искусственного камня, и в особенности деформационные свойства цементных матриц и бетонов, является фактор направленного регулирования процессов формирования микроструктуры искусственного камня на стадии коагуляционно-кристаллизационных процессов, обеспечивающих направленный синтез и скорость кристаллизации, а также морфологию гидратных фаз, объем порового пространства, размер пор и степень их равномерности в объеме искусственного камня.

Управление свойствами цементного камня может реализоваться в направлении и за счет: регулирования фазового состава продуктов гидратации, изменения соотношения кристаллической и гелевидной фаз, корректирования поровой структуры. При этом морфология, пористость, плотность и химический состав это взаимосвязанные факторы, которые определяют параметры материала по структуре и свойствам.

В свою очередь строение и взаимосвязь элементов микроструктуры цементного камня, размер и характер пор, соотношение между фазовыми составляющими зависят от состава продуктов гидратации, которые определяются химико-минералогическим составом исходных вяжущих веществ и количеством воды затворения, при условии соблюдения оптимальной технологии приготовления и укладки бетонной смеси, времени и режима твердения.

Эти подходы позволяют обеспечить формирование цементов и бетонов с высокими и заданными эксплуатационными характеристиками. Однако для шлакощелочных систем эти положения не нашли реализации в достаточной мере, что является сдерживающим фактором более широкого их внедрения в производство. Особенно это имеет место в недостаточной и противоречивой информации об изменении прочности на растяжение при изгибе и деформационных характеристик шлакощелочного искусственного камня во времени в зависимости от влагопеременных нагрузок, что не позволяет в достаточной мере прогнозировать атмосферостойкость шлакощелочных бетонов.

Появление собственных напряжений в твердеющем цементном камне может быть следствием: кристаллизационного давления растущих из жидкой фазы кристаллов, распада и перекристаллизации метастабильных (неустойчивых) твердых фаз, действия осмотических сил.

Собственные напряжения в твердеющем цементном камне возникают на определенном этапе твердения цемента, когда сформировалась жесткая коагуляционно-кристаллизационная структура, препятствующая перемещению гидратирующихся цементных зерен под действием кристаллизационного давления, осмотических сил и других причин.

Экспериментальные данные показывают, что собственные напряжения, вызванные кристаллизационным давлением растущих кристаллов на препятствие в большей степени понижают прочность цементного камня при растяжении, чем при сжатии.

Собственные напряжения в цементном камне, вызванные как кристаллизационным давлением растущих из жидкой фазы кристаллов, так и действием осмотических сил, могут сохраняться только в условиях продолжающейся гидратации цемента. С течением времени собственные