

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТРИШАРОВИХ ЗРАЗКІВ ДЛЯ РІЗНИХ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШАРІВ

Розглянуто застосування методу скінченно-елементного аналізу програмного забезпечення «ANSYS» для вирішення питань, пов'язаних зі структурною сумісністю матеріалів основи споруди – старого бетону і ремонтного матеріалу – нового бетону у разі різних співвідношень фізико-механічних властивостей шарів з метою теоретичного обґрунтування процесів зчеплення під час ремонту транспортних споруд.

Рассмотрено применение метода конечно-элементного анализа программного обеспечения «ANSYS» для решения вопросов, связанных со структурной совместимостью материалов основания сооружения – старого бетона и ремонтного материала – нового бетона при различных соотношениях физико-механических свойств слоев с целью теоретического обоснования процессов сцепления при ремонте транспортных сооружений.

The article considers application of the software ANSYS finite-element analysis method for solving the issues related with structural compatibility of materials put in the basis of a construction – old concrete and repair material – new concrete at various ratios of physico-mechanical properties with the purpose of theoretical substantiation of coupling processes in repair of transport constructions.

Вплив природних та антропогенних агресивних факторів спричиняє зниження довговічності і несучої здатності штучних транспортних споруд. З метою подовження терміну служби штучних транспортних споруд необхідно прийняття радикальних заходів щодо вибору ремонтних матеріалів, а також способів відновлення, ремонту і захисту пошкоджених конструкцій. При цьому основним критерієм якості здійснення ремонту є сумісність, надійність та довговічність зчеплення ремонтного бетону з бетоном старої кладки [1–3].

Для вирішення поставленої задачі треба використовувати комплексний підхід, з урахуванням властивостей матеріалу споруди – старого бетону, з метою оптимізації фізико-механічних

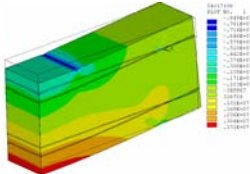
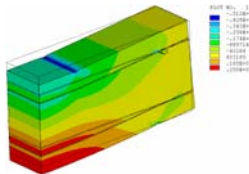
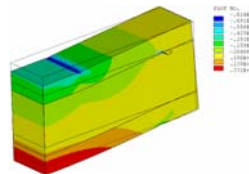
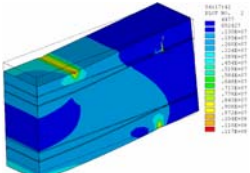
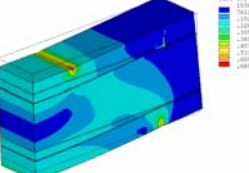
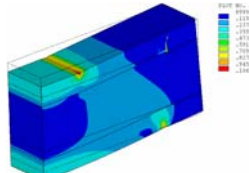
і адгезійних характеристик нового бетону для їх довговічної сумісної роботи. При цьому потрібно застосовувати сучасні ремонтні матеріали, вдосконалені технології ремонту для використання наукового підходу під час організації і в процесі виконання ремонтних робіт, можливість прогнозування довговічності ремонту, використовуючи способи математичного моделювання [2] складних конструкцій в експлуатаційних умовах.

На основі вищенаведеного виконаний порівняльний структурний аналіз напружено-деформованого стану тришарових зразків для різних співвідношень фізико-механічних властивостей шарів. У табл. 1 наведені результати аналізу.

Таблиця 1

Порівняльний структурний аналіз напружено-деформованого стану тришарових зразків

Показники	Однакові властивості матеріалів шарів	Різноманітні властивості матеріалу старого і нового бетонів	Різноманітні властивості матеріалу старого і нового бетонів
Новий бетон:			
E , ГПа	30,00	19,20	30,00
σ_p , МПа	3,68	2,50	3,68
$\sigma_{ст}$, МПа	35,00	15,00	35,00
Приконтактний шар:			
E , ГПа	19,20	19,20	30,00
σ_p , МПа	3,68	2,50	3,68
$\sigma_{ст}$, МПа	35	15,00	35,00

Показники	Однакові властивості матеріалів шарів	Різноманітні властивості матеріалу старого і нового бетонів	Різноманітні властивості матеріалу старого і нового бетонів
Старий бетон:			
E , ГПа	30	30,00	19,20
σ_p , МПа	3,68	3,68	2,50
$\sigma_{ст}$, МПа	35	35,00	15,00
Руйнівне навантаження, кгс	1164,8	890,06	1063,04
Максимальні напруги розтягу в подовжньому напрямку, МПа	3,72	2,50	3,72
Максимальне значення інтенсивності напруг, МПа	11,7	6,85	10,60
Поле нормальних напруг, Па			
Поле інтенсивності напруг зразка в цілому			

Тестування розробленої методики аналізу структурної сумісності матеріалів старого і нового бетонів проведена за результатами випробувань на відрив тришарових зразків і відповідного комп'ютерного аналізу граничного навантаження руйнування і характеру руйнування математичної моделі зразків.

Математична модель зразка для випробування на відрив розроблена в препроцесорі програми «ANSYS». Геометрична модель зразка передбачає введення спеціального контактної шару між матеріалами старого, нового бетону і металевий стержень, як показано на рис. 1, а. Генерована скінченно-елементна модель показана на рис. 1, б.

Навантаження задавалася у вигляді розподіленого тиску на верхній торець стержня (пуансона), як показано на рис. 2: $R_{зч} = S \cdot P = 785,4$ кг, S – площа прикладення розподіленого на ван-

таження, $S = 7,854 \cdot 10^{-5}$ м²; P – інтенсивність навантаження $P = 0,1 \cdot 10^{-9}$ Па.

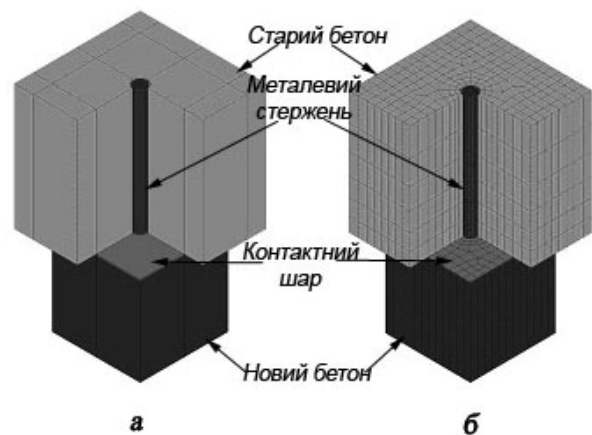


Рис. 1. Геометрична (а) та скінченно-елементна модель тришарового зразка (б)

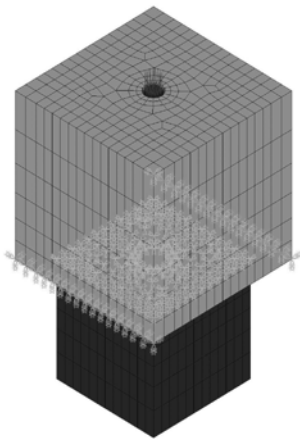


Рис. 2. Схема додання навантажень та граничні умови

Розглянемо випадки різних умов співвідношення фізико-механічних властивостей шарів складної моделі.

Умова рівності модулів пружності старого і нового бетонів. Фізико-механічні властивості старого бетону: $E_c = 3,12 \cdot 10^6$ Па ($4,52 \cdot 10^6$ psi) – модуль пружності старого бетону; $f_{CT}^c = 34,5 \cdot 10^6$ Па = 34,5 МПа (5002,9 psi) – межа міцності при стиску старого бетону; $f_p^c = 3,658$ МПа (530,48 psi) – межа міцності при розтягу старого бетону.

В табл. 2 наведено значення залежності деформацій старого бетону від напружень.

Таблиця 2

Залежність деформацій старого бетону від напружень

Показники	Од. вим	Етапи навантаження				
		1	2	3	4	5
σ	Psi	1501	–	–	–	5003
	MPa	10,4	22,1	29,9	33,6	34,5
$\varepsilon, 10^{-4}$	in./in.	3,32	8,03	12,7	17,4	22,1

Фізико-механічні властивості нового бетону: $E_H = 3,15 \cdot 10^6$ Па ($4,568 \cdot 10^6$ psi) – модуль пружності нового бетону; $f_{CT}^H = 34,5 \cdot 10^6$ Па = 34,5 МПа (5133,4 psi) – межа міцності при

стиску нового бетону; $f_p^H = 3,706$ МПа (537,36 psi) – межа міцності при розтягу нового бетону.

В табл. 3 наведено значення залежності деформацій нового бетону від напружень.

Таблиця 3

Залежність деформацій нового бетону від напружень

Показники	Од. вим	Етапи навантаження				
		1	2	3	4	5
σ	psi	1 540	–	–	–	5 133
	MPa	10,62	22,7	30,57	34,4	35,4
$\varepsilon, 10^{-4}$	in./in.	3,37	8,15	12,9	17,7	22,48

Експериментальні дані випробувань: $R_{3ч} = 4,8$ МПа; $P = 240$ кг; характер руйнування – змішаний.

Умова, коли модуль пружності старого бетону значно більше модуля пружності нового бетону. Фізико-механічні властивості старого бетону: $E_c = 3,15 \cdot 10^6$ Па ($4,568 \cdot 10^6$ psi); $f_{CT}^c = 35,4 \cdot 10^6$ МПа (5133,4 psi); $f_p' = 3,706$ МПа (537,36 psi).

Залежність деформацій старого бетону від напружень наведена в табл. 4.

Фізико-механічні властивості нового бетону: $E_H = 2,75 \cdot 10^6$ Па; $f_{CT}^H = 25,71$ МПа (3728,25 psi); $f_p^H = 3,16$ МПа (457,95 psi).

Експериментальні дані випробувань: $R_{3ч} = 4,8$ МПа; $P = 210$ кг; характер руйнування – по новому бетону.

Залежність деформацій старого бетону від напружень наведена в табл. 5.

Залежність деформацій «старого» бетону від напружень

Показники	Од. вим.	Етапи навантаження				
		1	2	3	4	5
σ	Psi	1540,0	–	–	–	5133,0
	MPa	10,6	22,7	30,6	34,4	35,4
$\varepsilon, 10^{-4}$	in./in.	3,4	8,2	12,9	17,7	22,5

Таблиця 5

Залежність деформацій нового бетону від напружень

Показники	Од. вим.	Етапи навантаження				
		1	2	3	4	5
σ	psi	1119	–	–	–	3728
	MPa	7,71	16,5	22,3	25	25,7
$\varepsilon, 10^{-4}$	in./in.	2,8	6,8	10,8	14,7	18,7

У результаті розрахунку за умов рівності модулів пружності старого і нового бетонів збіжність ітераційного процесу рішення задачі припинилася при 36,47 % від максимального навантаження. Розрахункові навантаження руйнування таким чином склали 268,7 кг. Зусилля руйнування, одержані в експерименті, склали 240 кг. Похибка визначення граничного навантаження (по відношенню до експериментально встановленого навантаження) склала 11 %.

У результаті розрахунку за умов, коли модуль пружності старого бетону значно більше модуля пружності нового бетону збіжність ітераційного процесу рішення задачі припинилася при 26,454 % від максимального навантаження. Розрахункові навантаження руйнування склали 207,8 кг. Зусилля руйнування, одержані в експерименті, склали 210 кг. Похибка визначення граничного навантаження (по відношенню до експериментально встановленого навантаження) склала 1,05 %.

Висновок

1. На підставі проведеного аналізу і можливостей регулювання різних умов властивостей контактуючих шарів старого і нового бетонів,

розглянутих вище, метод математичного моделювання скінченно-елементного аналізу може бути ефективно застосований для вирішення задач дослідження структурної сумісності матеріалів з різними фізико-механічними властивостями при значеннях похибки теоретичного та експериментального розходження у припустимих межах.

2. Для оптимізації властивостей ремонтного матеріалу для структурної сумісності необхідно, щоб модуль пружності нового бетону був менший або дорівнював модулю пружності старого бетону [1; 3].

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Morgan D. R. Compability of concrete repair materials and systems // Construction and Building Materials. – 1996. – Vol. 10. – No. 1. – P. 57–67.
2. Карпенко Н. И. Общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.
3. Пшінько О. М. Бетони з підвищеними адгезійними властивостями / О. М. Пшінько, О. В. Громова // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, – Д., – 2004. – Вип. 3. – 5 с.

Надійшла до редколегії 05.07.2006 р.