

коефіцієнта варіації показника деформативності для кіробетону необхідно враховувати під час проектування конструкцій дорожніх одягів із заданою надійністю. Для порівняння у ВБН В.2.3-218-186 прийнято розрахункове значення короточасного модуля пружності за температури + 20 °С для щільного асфальтобетону на бітумі БНД 60/90 рівним 1800 МПа, що дуже близько до встановлених експериментальних значень.

Висновки: 1. Під час розрахунку конструкцій дорожнього одягу з використанням модифікованого кіробетону значення його короточасного модуля пружності необхідно приймати, як і для щільних асфальтобетонів-аналогів за вмістом бітуму і щебеню.

2. Під час розрахунку надійності дорожніх одягів необхідно враховувати значно вищий коефіцієнт варіації модуля пружності кіробетону.

1. Солодкий С.Й., Альзаб А.Х. Нормування показників модифікованого кіробетону // Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць “Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону”. – Вип. 59, Кн 1. – К.: НДІБК, 2003. – С. 374–381. 2. Лучко Й.Й., Коваль П.М., Дем’ян М.Л. Методи дослідження та випробування будівельних матеріалів і конструкцій / НАН України; Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка. – Львів: Каменяр, 2001. – 436 с.

УДК 691.32: 620.191.33

С.Й. Солодкий, Н.О. Васьків

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автомобільних шляхів

ВПЛИВ ВОДОЦЕМЕНТНОГО ВІДНОШЕННЯ НА ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ ВАЖКОГО БЕТОНУ

© Солодкий С.Й., Васьків Н.О., 2010

Наведено результати дослідження на засадах механіки руйнування залежності тріщиностійкості бетону від водоцементного відношення бетонної суміші

Ключові слова: важкий бетон, водоцементне відношення, тріщиностійкість, механіка руйнування, пористість.

The results of the study based on fracture mechanics based crack concrete vodotsementnoho ratio of concrete mixture.

Keywords: heavy concrete, vodotsementne attitude, crack resistance, fracture, porosity.

Вступ. Як відомо, процес руйнування бетону за силових і несилових впливів, що відбувається шляхом поширення тріщин, є стохастичним процесом і залежить від багатьох чинників. Сучасні технології в галузі технології бетону передбачають можливість цілеспрямованого впливу на синтез міцності і довговічності цементної матриці модифікацією цементів комплексними хімічними добавками, застосування низьких водоцементних відношень за рахунок використання добавок суперпластифікаторів тощо. Ці технологічні рішення вимагають експериментальної перевірки з позицій механіки руйнування бетону, завдання якої полягають у формулюванні найзагальніших критеріїв опору бетону поширенню тріщин протягом усього терміну експлуатації.

Аналіз останніх досліджень. Закономірності впливу водоцементного відношення, а також добавок-пластифікаторів на тріщиностійкість важкого бетону можна узагальнити [1]:

– із зменшенням водоцементного відношення тріщиностійкість бетону зростає;

– збільшення кількості пор, мікро- і макротріщин у структурі бетону призводить до падіння тріщиностійкості бетону, водночас показники міцності є менш чутливими до зміни кількості пор;

– модифікування структури бетону хімічними добавками поліфункціональної дії забезпечує підвищення його тріщиностійкості, насамперед за рахунок формування відповідної порової структури: зменшення капілярних пор, збільшення сферичних, замкнених, рівномірно розподілених пор, особливо гелевих.

Проте трактування ролі вищенаведених чинників у забезпеченні тріщиностійкості бетону дослідниками подекуди протилежне, що пов'язано, зокрема, із різноманітністю застосованих методик визначення параметрів тріщиностійкості та відсутністю єдиного критерію оцінювання тріщиностійкості, який відображав би фізичну сутність процесу руйнування бетону.

Мета роботи – встановлення на засадах механіки руйнування залежності тріщиностійкості бетону від водоцементного відношення бетонної суміші.

Матеріали і методи дослідження. Тріщиностійкість бетону визначали під час рівноважних механічних випробувань із контрольованим режимом руху тріщини за схемою триточкового згину із записом і комп'ютерною обробкою повної діаграми «навантаження – прогин» за згину з ініційованою тріщиною нормального відриву [2]. На основі отриманої в результаті випробувань повністю рівноважної діаграми деформування бетону розраховано комплекс силових та енергетичних характеристик тріщиностійкості відповідно до рекомендацій [3].

Склади бетонних сумішей запроєктовано за методом абсолютних об'ємів. Бетон тверднув у нормальних умовах до випробування у віці 90 діб.

Вплив водоцементного відношення на тріщиностійкість бетону досліджено на бетонах номінального складу 1:1,88:3,60 за витрати цементу 350 кг/м³. Водоцементне відношення змінювали в діапазоні 0,5–0,38 за збереження легковкладальності бетонної суміші на рівні P2 за рахунок застосування добавок-пластифікаторів різної природи та ефективності (табл. 1).

Таблиця 1

Значення В/Ц залежно від типу добавки-пластифікатора

№ з/п	Тип добавки	Назва добавки	Тип цементу	В/Ц
1	без добавки	–	ПЦ II-400 «Миколаївцемент»	0,50
2	лігносульфонати технічні	Addiment BV3	ПЦ II-400	0,47
3	нафталінформаль-дегіди	Релаксол-Супер	ПЦ II-400	0,45
4	поліакрилати	Релаксол ПК	ПЦ II-400	0,40
5	полікарбоксилати	SikaPlast	ПЦ II-400	0,38
6	полікарбоксилати	SikaVisko	ПЦ I-500 «Югцемент»	0,38

Результати дослідження. Повністю рівноважні діаграми деформування бетонів із різним значенням водоцементного відношення показано на рисунку, а розраховані на їхній основі силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості наведено у табл. 2.

Як свідчить аналіз даних табл. 2, енергетичні характеристики тріщиностійкості бетону істотно зростають за зменшення В/Ц до рівня 0,40. Досягнення В/Ц=0,38 призводить до стабілізації значень, а під час застосування ПЦ I-500 «Югцемент» – до падіння показників, особливо, на стадії локального деформування бетону (W_L). Це, очевидно, пов'язано з посиленням крихкого характеру руйнування бетону із збільшенням його міцності на стиск і кореспондується із конфігурацією ПРДД бетонів – для бетону складу №6 характерна найменша повнота діаграми у закритичній стадії деформування (поширення магістральної тріщини), найменший граничний прогин і максимальний кут нахилу спадної вітки діаграми до осі абсцис.

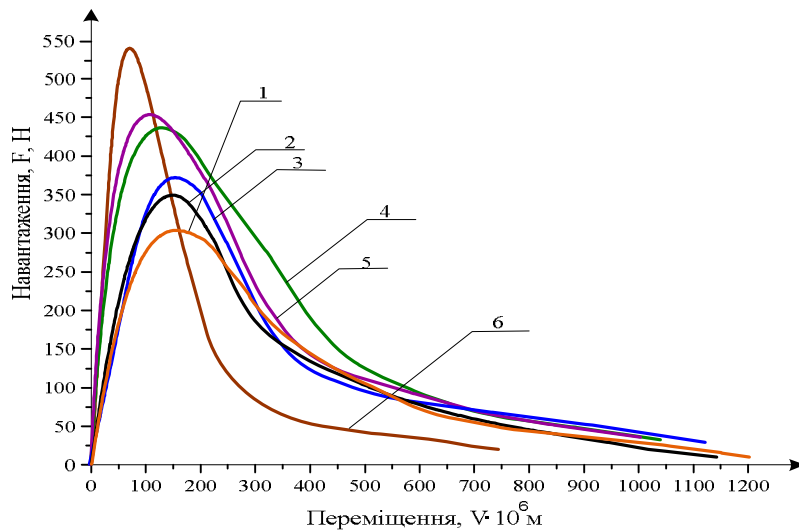


Рис. 1. Повністю рівноважні діаграми деформування бетонів із різним значенням водоцементного відношення: 1- 0,5; 2 – 0,47; 3 – 0,45; 4 – 0,40; 5 – 0,38

Показники в'язкості руйнування (критичні коефіцієнти інтенсивності напружень – K_i, K_c) також зростають із зменшенням В/Ц у бетонній суміші. За однакових значень водоцементного відношення (0,38) використання високоміцного цементу (склад №6) зумовлює істотне падіння показника в'язкості руйнування на стадії локального деформування. (K_c) порівняно із ПЦ П-400 (склад №5).

Результати визначення характеристик пористості бетону (табл. 3) свідчить про істотний вплив водоцементного відношення на його водопоглинання, параметри інтегральної та диференціальної пористості (показники середнього розміру пор – λ і однорідності пор за розмірами – α). Так, зменшення В/Ц бетонної суміші від 0,5 до 0,38 зумовлює зменшення значення умовно закритої пористості майже у 3 рази, збільшення відношення мікропористості до загальної пористості від – 25,11 до 64,40 %, а середнього розміру пор – у 4,5 раза.

Таблиця 2

Силкові та енергетичні характеристики тріщиностійкості бетонів

№ з/п	$W_m \cdot 10^2, \text{Н} \cdot \text{м}$	$W_e \cdot 10^2, \text{Н} \cdot \text{м}$	$W_L \cdot 10^2, \text{Н} \cdot \text{м}$	$W_{uc} \cdot 10^2, \text{Н} \cdot \text{м}$	$W_{ce} \cdot 10^2, \text{Н} \cdot \text{м}$
1	12.37	19.91	97.38	10.50	26.98
2	11.86	21,53	114.39	10.03	27.36
3	11.20	22.60	116.54	9.44	29.56
4	10.25	26.92	156.74	9.12	32.00
5	9.50	27.77	150.25	9.82	29.75
6	8.05	19.44	71.02	8.77	12.22

Продовження табл. 2

$G_i, \text{Дж/м}^2$	$G_F, \text{Дж/м}^2$	$G_{ce}, \text{Дж/м}^2$	$J_i, \text{Дж/м}^2$	$K_i, \text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$	$K_c, \text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$
53.70	195.5	44.97	71.30	0.51	0.46
55,60	226,5	45,60	72,32	0,62	0,55
56.33	231,9	49,27	72.07	0,65	0,61
61.95	306.1	53.33	77.15	0.79	0.74
62.12	296.7	49.58	78.48	0.82	0.72
48.68	150.7	20.37	60.43	0.82	0.55

Сумісний аналіз даних табл. 2 і 3 дає змогу зробити висновок про залежність тріщино-стійкості бетону від характеристик його порової структури.

Таблиця 3

Показники пористості бетону

№ з/п	Тип добавки	В/Ц	Густина, кг/м ³	Водопоглинання за об'ємом, %	Пористість за об'ємом, %			Показники середн. розміру пор, λ	Показник однорідності пор за розмірами, α
					загальна	умовно-закрита	мікро-		
1	–	0.50	2.06	7.39	17,92	3.40	1.10	8.92	0.50
2	лігно-сульфонати технічні	0.47	2.20	6.16	12,20	1.70	1.17	6.50	0.49
3	нафталін-нормальдегіди	0.45	2.39	5.80	10,25	1.50	1,29	3.05	0.60
4	поліакрилати	0.40	2.43	2.76	7,05	2.79	1,75	1.95	0.50
5	полікарбоксилати	0.38	2.44	2.52	6,10	1.47	1.55	1.85	0.55
6	полікарбоксилати	0.38	2.46	2.20	5,00	1.22	1.06	1.63	0.57

Пори водночас є концентраторами напружень у бетоні, що ініціюють розвиток тріщин, і пастками, які поглинають тріщини. Очевидно, на перевагу того чи іншого процесу впливає форма і розмір пор: замкнені сферичні пори і мікропори сприяють підвищенню тріщиностійкості бетону, капілярні відкриті пори і мікропори – падінню. Ці твердження дають змогу пояснити результати наших досліджень тріщиностійкості бетону.

Висновки. Зменшення водоцементного відношення у бетонній суміші завдяки застосуванню добавок пластифікаторів різної природи та ефективності дає змогу підвищити тріщиностійкість бетону.

Досягнення низьких водоцементних відношень супроводжується зростанням міцності бетону на стиск, що знижує ефективність його роботи на стадії поширення магістральної тріщини і проявляється у посиленні крихкого характеру руйнування бетону.

Тріщиностійкість бетону однозначно пов'язана з показниками його порової структури.

1. Солодкий С.Й. *Тріщиностійкість бетонів на модифікованих цементях: Монографія / С.Й. Солодкий. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. – 144 с.*
2. Солодкий С.Й. *Наукові засади підвищення тріщиностійкості дорожнього цементного бетону: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.23.05/ С.Й. Солодкий. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2009. – 30 с.*
3. ГОСТ 29167-91. *Бетонь. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – М.: Госстандарт, 1991. – 35 с.*