УДК 666.97 + 539.3

М.Л.РЯБЧИКОВ, д-р техн. наук,
Т.О.ОБОЛЕНСЬКА, В.І.ЛАЗАРЕНКО, кандидати техн. наук
Українська інженерно-педагогічна академія, м.Харків

ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ВИМОГ ДО МІЦНОСТІ ПОКРИТТЯ В УМОВАХ ЗАМЕРЗАННЯ ВОДИ У ПОРАХ

Розглядається вплив порової структури цементних або інших матеріалів на їх міцність в умовах фазового переходу вода – лід. На основі розв'язання диференційних рівнянь теорії пружності в умовах моделювання порової структури системою сферичних порожнин одержано поле напружень, що дозволяє передбачати міцність матеріалу від параметрів його структури.

При здійсненні фазового переходу вода - лід питомий об'єм твердої фази збільшується на 9% відносно рідкої. Внаслідок цього у цементному камені або в іншому твердому покритті можуть виникати напруги, які в деяких випадках можуть призводити до руйнування матеріалів. У зв'язку з цим задача визначення напружень на границі розподілу вода - цемент є актуальною і цікавою з наукової і прикладної точок зору.

У роботі [1] показано, що цементний камінь – це капілярно-пористе тіло, простір якого заповнений рідиною, газом або парогазовою сумішшю. Методи визначення порової структури подібних матеріалів і оцінки впливу цієї структури на загальну міцність матеріалу запропоновано в роботі [2]. Проблеми міцності матеріалів при замерзанні і в умовах низьких температур розглядаються в [1]. Однак зв'язок порової структури з міцністю матеріалу при замерзанні води досі не розглядався.

У даній роботі ставиться завдання знайти вплив співвідношення параметрів порової структури на міцність цементних або інших покрить при замерзанні. При моделюванні порової структури цементного каменя будь-яку пору можна вважати комбінацією циліндрів і сфер, тому нижче розглядається напружений стан при заморожуванні води у таких порах.

Будемо вважати умовну форму пор в бетонних або інших сумішних покриттях сферичною з радіусом a. При замерзанні води у порах виконується її розширення, у вільному становищі об'єм води у порі збільшився б, радіус згаданої сфери збільшився б на величину $\beta \cdot a$, де β – коефіцієнт збільшення лінійних розмірів при замерзанні.

З метою отримання рівняння рівноваги розглянемо елемент сфери з розташованими на ньому зусиллями (рис.1).

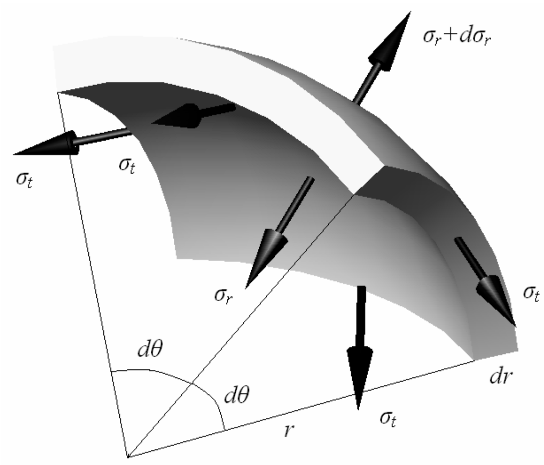

Рис.1

Рівняння рівноваги має вигляд

$$\frac{d\sigma_r}{dr}+2\frac{\sigma_r-\sigma_t}{r}=0\,.$$

З урахуванням умов деформування, а також фізичного закону маємо диференційне рівняння для визначення переміщень

$$\frac{d^2u}{dr^2}+(2+\mu)\frac{du}{rdr}-(2+\mu)\frac{u}{r^2}=0\,,$$

де μ – коефіцієнт Пуассона матеріалу.

Для сферичної порожнини у великому об'ємі матеріалу під дією постійного внутрішнього тиску розв'язання рівняння має вигляд

$$u_c=\frac{p}{Ek}\frac{1-\mu-2\mu^2}{1-\mu}\frac{a^2}{r^2}\,,$$

де k – модуль пружності матеріалу,

$$k=\frac{3+\mu}{2}+\sqrt{\frac{(3+\mu)^2}{4}+2+\mu}\,.$$

Для льодової кулі, що створилася у порі, розв'язання має вигляд

$$u_k=\frac{p}{E_1k_1}\frac{1-\mu_1-2\mu_1^2}{1+\mu_1}r\,,$$

де індекс „1" відноситься до механічних характеристик льоду.

Враховуючи умову сумісності деформацій сферичної порожнини і льодяної кулі у випадку замерзання, можна знайти взаємний тиск, що виникає на границі:

$$p = \frac{\alpha}{\frac{1-\mu-2\mu^2}{kE(1-\mu)} - \frac{1-\mu_1-2\mu_1^2}{k_1E_1(1+\mu_1)}},$$

де α – коефіцієнт розширення при замерзанні води.

Для єдиної пори в полярних координатах

$$\sigma_r = -\frac{pa^2}{r^2}, \quad \sigma_t = \frac{pa^2}{r^2}.$$

Розглянемо систему пор з середньою відстанню в декартовій системі координат, пов’язаних з центром однієї пори (рис.2).

Для точки з координатами , напруження від дії замерзаючого льоду в окремій порі можуть бути визначені як

$$\begin{cases} \bar{\sigma}_{xi} = \dfrac{x_i^2 - y_i^2}{x_i^2 + y_i^2} \\ \bar{\sigma}_{yi} = \dfrac{y_i^2 - x_i^2}{x_i^2 + y_i^2} \\ \bar{\tau}_{xy} = -\dfrac{x_i y_i}{x_i^2 + y_i^2} \end{cases},$$

де введені відносні величини для напружень

$$\sigma_x = \bar{\sigma}_x p\frac{a^2}{b^2}, \sigma_y = \bar{\sigma}_y p\frac{a^2}{b^2}, \tau = \bar{\tau} \cdot p\frac{a^2}{b^2}.$$

Для системи пор напруження у довільній точці визначаються сумою

$$\bar{\sigma}_x = \sum \bar{\sigma}_{xi}, \bar{\sigma}_y = \sum \bar{\sigma}_{yi}, \bar{\tau} = \sum \bar{\tau}_{xyi}.$$

Якщо знайдено поле напружень, неважко визначити за загальними правилами головні напруження і відповідно до теорії міцності еквівалентне напруження.

Розподілення еквівалентних напружень для випадку чотирьох пор показано на рис.3.

Поле еквівалентних напружень показано на рис.4.

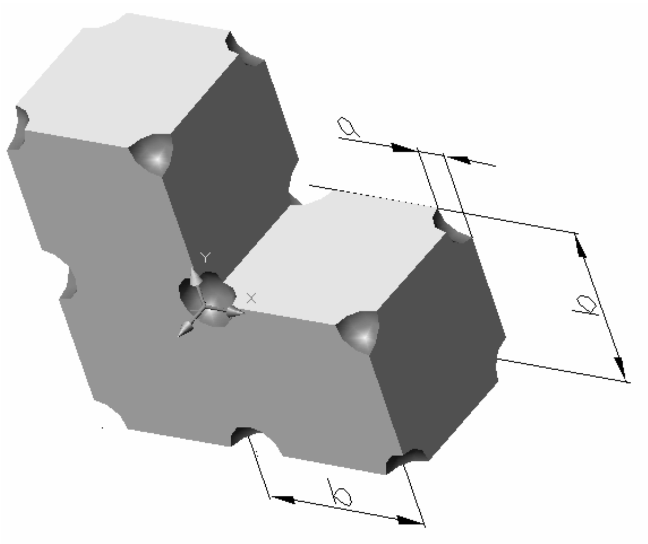

Рис.2

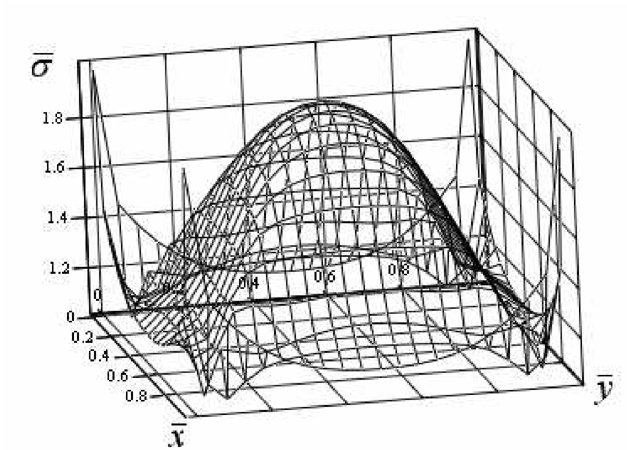

Рис.3

Умову відсутності руйнування можна записати у вигляді

$$\overline{\sigma}_e^{\max} p \frac{a^2}{b^2} \le \sigma_{adm}\,.$$

Враховуючи досліджені величини, умову можна переписати у вигляді

$$a = b\sqrt{\frac{\sigma_{adm}\left(\frac{1-\mu-2\mu^2}{kE(1-\mu)} - \frac{1-\mu_1-2\mu_1^2}{k_1E_1(1+\mu_1)}\right)}{1{,}8\cdot\alpha}}\,.$$

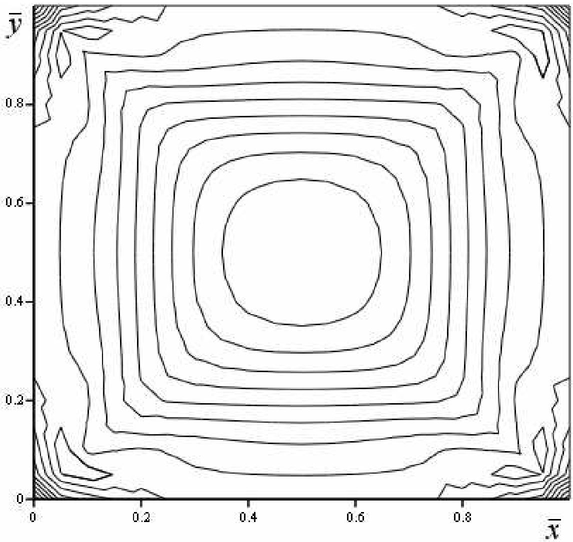

Рис.4

Таким чином, на базі математичного моделювання напружено-деформованого стану цементного каменю з системою пор визначені показники міцності при замерзанні води у порах. Визначено показники порової структури матеріалу, які дозволяють гарантувати міцність матеріалу при замерзанні. На нашу думку, ці показники, зокрема об'єм порожнин в порах, можна знайти методами термопорометрії.

1.Кравцов О.И., Старостин Е.Г., Степанов А.В. Влияние концентрации противоморозной добавки на поровую структуру бетона // Наука – производству. – 2003. – №8. – С.30-31.

2.Гордон С.С. Возможности расчета долговечности железобетонных и бетонных конструкций // Механизация строительства. – 2003. – №6. – С.15-22.

Получено 31.10.2005