

THÍ NGHIỆM VÀ TÍNH TOÁN CÁC ĐẶC TRƯNG NỨT CỦA BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO

KS. NGUYỄN THANH VŨ, PSG. TS. BUI CÔNG THÀNH, TS. HỒ HỮU CHÍNH

Trường đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh

TS. TRẦN THẾ TRUYỀN

Trường Đại học Giao thông Vận tải

Tóm tắt: Bài báo giới thiệu về thí nghiệm và tính toán các đặc trưng nứt cơ bản của một số loại bê tông cường độ cao. Hệ số cường độ ứng suất giới hạn K_C , độ bền nứt giới hạn G_C , năng lượng nứt G_F và chiều dài đặc trưng của vùng phá huỷ bê tông (FPZ) l_{ch} của 2 loại bê tông có cường độ chịu nén từ 60 MPa đến 80 MPa được thống kê và tính toán từ thí nghiệm uốn trên 3 điểm các mẫu dầm có đường nứt môi. Kết luận về phương pháp thí nghiệm phù hợp với điều kiện Việt Nam và kiến nghị giải pháp để kết quả thí nghiệm đầy đủ và chính xác hơn.

Từ khóa: Hệ số cường độ ứng suất, năng lượng nứt, chiều dài đặc trưng, bê tông cường độ cao.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, việc ứng dụng các phương pháp phân tích mới trong đánh giá phá hoại các bộ phận kết cấu công trình là cấp thiết để nâng cao tính chính xác, độ tin cậy tính toán và tuổi thọ của chúng. Phương pháp sử dụng lý thuyết cơ học rạn nứt và phá huỷ bê tông để phân tích phá hoại các bộ phận kết cấu các công trình như dầm, vỏ hầm hay tường chắn bê tông do xuất hiện và lan truyền mất ổn định của các đường nứt là một hướng đi mới và đã khẳng định nhiều ưu điểm hơn so với các phương pháp phân tích phá hoại truyền thống. Khi áp dụng phương pháp này đòi hỏi phải tiến hành rất nhiều thí nghiệm để xác định các đặc trưng cơ học của bê tông làm cơ sở cho việc tính toán thiết kế và chuẩn đoán phá hoại, đặc biệt là các đặc trưng nứt cơ bản của vật liệu bê tông như hệ số cường độ ứng suất giới hạn (*critical stress intensity factor*) K_C , độ bền nứt giới hạn (*critical fracture toughness*) G_C hay năng lượng rạn nứt (*fracture energy*) G_F ...

Ở các nước phát triển, cơ sở dữ liệu về các đặc trưng nứt của các loại bê tông có cấp hạng khác nhau, thành phần cốt liệu khác nhau, ứng dụng khác nhau đã được nhiều tác giả nghiên cứu và công bố, kết quả này là cơ sở cho các nghiên cứu sâu hơn cũng như phục vụ thiết kế và chuẩn đoán phá hoại của các kết cấu công trình bằng bê tông.

Ở Việt Nam, các đặc trưng nứt của một số loại bê tông thường dùng trong xây dựng đã được xác định

[11], [12]; các loại bê tông sử dụng có cường độ nhỏ hơn 50 MPa. Bước đầu đã có một số ứng dụng trong tính toán thiết kế các công trình xây dựng.

Với việc bê tông cường độ cao ngày càng được sử dụng rộng rãi, yêu cầu về xác định các đặc trưng nứt và phá huỷ của bê tông cường độ cao bên cạnh các đặc trưng cơ lý cơ bản như cường độ chịu nén, chịu kéo khi uốn,... là rất cần thiết. Kết quả thí nghiệm có được sẽ là cơ sở cho các nghiên cứu về phá huỷ và lan truyền nứt của các bộ phận kết cấu công trình như dầm sàn (nhà), dầm cầu, vỏ hầm hay tường chắn sử dụng bê tông cường độ cao.

2. Phương pháp thực nghiệm xác định các đặc trưng nứt

Cho đến nay, để tiến hành thí nghiệm xác định các đặc trưng nứt của bê tông có nhiều phương pháp khác nhau, mỗi phương pháp sử dụng dạng mẫu thí nghiệm, quy trình thí nghiệm khác nhau và thường là phù hợp với một mô hình phân tích nứt tương ứng [7]. Qua phân tích cách xác định các đặc trưng nứt của bê tông theo các phương pháp thí nghiệm khác nhau chúng ta thấy tựu trung lại có các đặc trưng chủ yếu cần xác định đối với các loại bê tông sử dụng trong xây dựng cầu gồm:

- Hệ số cường độ ứng suất giới hạn K_C hoặc độ bền nứt giới hạn G_C có thể được xác định từ các thí nghiệm giống như đối với các vật liệu giòn của cơ học rạn nứt thuần túy hoặc theo phương pháp mô hình đường nứt có hiệu ECM (Effective Crack Model – Bushan Karihaloo) [8];

- Năng lượng nứt toàn phần G_F được xác định từ công phá huỷ W_F có được trực tiếp từ biểu đồ quan hệ tải trọng – biến dạng (P-v) [8];

- Năng lượng nứt không toàn phần G_F được xác định theo mô hình ảnh hưởng kích thước SEM (Size Effect Model – Bazant.Z) [1], [2], [3], [6], [7] có được từ giá trị tải trọng lớn nhất gây lan truyền nứt trong dầm P_{max} . Từ đây có thể suy ra G_F theo quan hệ giữa G_F và G_F [3].

Các mẫu thí nghiệm có thể là mẫu dầm có hoặc không đường nứt mỗi uốn trên 3 hay 4 điểm, mẫu dầm hẫng kép, mẫu dầm xoắn kép, mẫu kéo compact, mẫu dạng tấm, mẫu dạng khối [8]. Trong đó, mẫu dầm uốn trên 3 điểm có hoặc không đường nứt mỗi được đánh giá là đơn giản và hiệu quả nhất, đặc biệt phù hợp với các kết cấu chịu uốn như dầm hay bản (Bazant et al, 2003) [2]. Theo Shah (1991) [4], mẫu dầm uốn trên 3 điểm có đường nứt mỗi được lựa chọn như là mẫu chuẩn để thí nghiệm các đặc trưng nứt.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi cũng sử dụng mẫu dầm uốn trên 3 điểm có đường nứt mỗi làm mẫu chuẩn để thí nghiệm xác định các đặc trưng nứt của bê tông (hình 1). Với mẫu thí nghiệm chuẩn, việc tính toán các giá trị K_C , G_C được tính theo công thức sau:

$$K_C = 6YM_{\max} \frac{\sqrt{a}}{BW^2} \quad (1)$$

Trong đó:

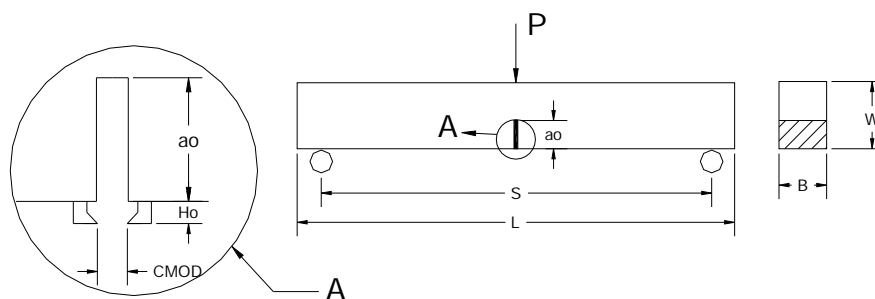
M_{\max} – mô men uốn lớn nhất;

Y – hàm hình học;

B – bề rộng mặt cắt;

W – chiều cao mặt cắt;

a – chiều dài đường nứt ban đầu.



Hình 1. Mẫu dầm có nứt mỗi

Luật hiệu ứng kích thước được sử dụng trên cơ sở phép hồi quy tuyến tính:

$$Y = AX + C \quad (4)$$

Với: $X_i = W_i$; $Y_i = (B_i W_i / P_i)^2$ (5)

$$B_0 \cdot f_t' = \frac{1}{\sqrt{c}}; d_0 = \frac{C}{A} \quad (6)$$

$$A = \frac{\sum_i (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_i (X_i - \bar{X})^2}; C = \bar{Y} - A\bar{X} \quad (7)$$

Các giá trị G_C có thể dễ dàng được suy ra từ K_C và mô đun đàn hồi E theo công thức sau:

$$K_C^2 = E \cdot G_C \quad (2)$$

Để kết quả tính toán chính xác hơn, cần thiết phải dùng các mô hình phi tuyến (NFM – Nonlinear Fracture Mechanics) để tính toán ứng xử nứt của bê tông. Khi đó phải xác định các tham số nứt của mô hình nứt phi tuyến; năng lượng nứt toàn phần G_F , năng lượng nứt không toàn phần G_f và chiều dài đặc trưng l_{ch} (chiều dài đặc trưng của vùng phát triển nứt Fracture Process Zone - FPZ) là những tham số cần phải xác định từ các thí nghiệm.

Chiều dài đặc trưng của vùng FPZ được xác định:

$$l_{ch} = l_p = \frac{E \cdot G_f}{f_t'^2} \quad (3)$$

Trong đó:

$l_{ch} (l_p)$ – chiều dài đặc trưng;

E – mô đun đàn hồi;

G_f – năng lượng nứt toàn phần;

f_t' – cường độ chịu kéo.

Năng lượng nứt không toàn phần G_f được xác định theo mô hình SEM của Bazant và từ thí nghiệm uốn các mẫu dầm có nứt mỗi trên 3 điểm (hình 1) có xét đến hiệu ứng kích thước. G_f được tính toán từ các giá trị tải trọng lớn nhất P_{\max} và độc lập với kích thước của mẫu thí nghiệm.

Trong đó:

W_i – kích thước đặc trưng của mẫu thí nghiệm (chiều cao mẫu dầm);

B_i – bề rộng mẫu thí nghiệm;

P_i – tải trọng phá hủy của từng mẫu;

\bar{X}, \bar{Y} – các giá trị trung bình của X_i và Y_i .

Năng lượng nứt không toàn phần G_f được tính theo công thức:

$$G_f = \frac{g(\alpha)}{EA} \quad (8)$$

Với hàm $g(\alpha)$ – hàm hình học của tỷ số $\alpha = \frac{\alpha_i}{w_i}$

(α_i – chiều dài đường nứt mỗi của các mẫu thí nghiệm):

$$g(\alpha) = \left(\frac{S_m}{w_m} \right)^2 \pi \alpha [1,5 f(\alpha)]^2 \quad (9)$$

Trong đó:

S_m, W_m – chiều dài nhịp, chiều cao trung bình của mẫu dầm

$f(\alpha)$ – hàm phụ thuộc vào các đặc trưng hình học các mẫu thí nghiệm:

+ Khi $S/W = 2,5$: $f_{2,5}(\alpha) = \frac{1 - 2,5\alpha + 4,4\alpha^2 - 3,98\alpha^3 + 1,33\alpha^4}{(1 - \alpha)^2}$ (10)

+ Khi $S/W = 4,0$: $f_4(\alpha) = \frac{1,99 - \alpha(1 - \alpha)(2,15 - 3,93\alpha + 2,7\alpha^2)}{\pi^{0,5}(1 + 2\alpha)(1 - \alpha)^2}$ (11)

Với các giá trị khác của $\frac{S_i}{w_i}$, $f_i(\alpha)$ được nội suy từ các giá trị $f_{2,5}(\alpha)$ và $f_4(\alpha)$.

Từ giá trị G_f , có thể suy ra bởi quan hệ: $G_f \approx 2,5G_f$; giá trị này được khẳng định bởi nhiều tác giả như Planas và Elices (1990) [5]; Bazant và đồng nghiệp (2002) [3].

3. Thí nghiệm và phân tích đánh giá kết quả thí nghiệm

Thí nghiệm về lan truyền nứt được thực hiện với các mẫu dầm từ D1 đến D4 trên máy uốn mẫu dầm của phòng thí nghiệm LAS-XD125, Trường ĐHXD Hà Nội. Cấp gia tải được chọn phụ thuộc vào kích thước dầm sao cho thu được số liệu cần thiết.

3.1. Chuẩn bị thí nghiệm

3.1.1. Bê tông thí nghiệm

Hai loại bê tông được lựa chọn theo cường độ chịu nén của mẫu nén hình trụ 15x30 cm là 60 MPa và 80 MPa. Các thí nghiệm nén mẫu trụ được thực hiện với cùng loại bê tông trong các thí nghiệm lan truyền nứt. Các đặc trưng chính của cốt liệu như tỷ lệ N/X, tỷ lệ thành phần cốt liệu, đường kính cốt liệu lớn nhất (D_{max}) không quá 20 mm. Bê tông được bảo dưỡng trong 28 ngày trong điều kiện nhiệt độ và độ ẩm tiêu chuẩn.

3.1.2. Mẫu thí nghiệm

Kích thước và số lượng các bộ mẫu thí nghiệm được lấy như bảng 1. Yêu cầu nước trong 24 giờ đầu tiên để bảo dưỡng. Đo lại kích thước mẫu trước khi chuẩn bị thí nghiệm. Tổng số mẫu dầm có vết nứt mỗi là: $2 \times 4 \times 3 = 24$ mẫu dầm (4 bộ dầm với 2 cấp bê tông 60 MPa và 80 MPa, mỗi bộ đúc 3 mẫu dầm).

Bảng 1. Bảng các kích thước cơ bản của các mẫu dầm thí nghiệm

Kích thước		B(mm)	W(mm)	S(mm)	L(mm)	a_0 (mm)
Loại dầm						
Dầm có tạo nứt mỗi (3 bộ dầm)	D1	50	50	150	165	10
	D2	50	100	300	330	20
	D3	50	200	600	660	40
	D4	50	400	1200	1320	80

3.1.3. Thiết bị thí nghiệm

Ván khuôn chuẩn bị đồng bộ cho các kích thước và hình dạng mẫu thí nghiệm khác nhau. Máy nén có khống chế được gia tăng tải trọng trong quá trình chất tải. Thiết bị đo biến dạng, độ võng, độ mở rộng đường nứt (LVDT - Linear Variable Displacement Transducer), thiết bị đo lực (Loadcell).

3.1.4. Bố trí thí nghiệm

Đo độ võng dầm: Sử dụng một thanh treo để treo cảm biến đo chuyển vị LVDT (Linear Variable Displacement Transducer) theo phương thẳng đứng, đầu của LVDT đặt lên tám nhôm phẳng dán cố định vuông góc với mẫu dầm. Đo độ mở rộng vết nứt (CMOD – Crack Mouth Open Displacement): đặt LVDT theo phương nằm ngang như hình 2. Để đo lực sử dụng LOADCELL 10 tấn. Tất cả các thiết bị được nối với máy TDS 530 để đo tự động.



Hình 2. Thiết bị thí nghiệm

3.15. Quy trình thí nghiệm

Thí nghiệm được tiến hành trên máy trong điều kiện khống chế biến dạng để đảm bảo lan truyền nứt là ổn định, Thời gian gia tải trong khoảng từ 1 đến 10 phút.

3.16. Kết quả cần đo

Các kết quả yêu cầu đo gồm: Tải trọng giới hạn phá huỷ P_{max} . Thời gian gia tải t (cho từng cấp tải). Quan hệ ứng suất biến dạng tải trọng - độ võng (ở mặt cắt giữa nhịp) (P-v). Quan hệ tải trọng - độ mở rộng đường nứt (P-CMOD).



Hình 3. Mẫu dầm thí nghiệm trước và sau khi phá huỷ

3.2. Phân tích và đánh giá kết quả thí nghiệm

Các giá trị tải trọng P_{max} làm lan truyền các đường nứt mỏi của các mẫu dầm bê tông cường độ cao được thống kê như ở bảng 3 được so sánh với kết quả thí nghiệm từ năm 2006 của tác giả Trần Thế Truyền với các cấp bê tông thường từ 20 MPa đến 50 MPa (bảng 2) [11].

Bảng 2. Các tải trọng P_{max} với các loại bê tông thường

Các cấp bê tông thí nghiệm	Tải trọng lan truyền nứt P_{max} (N) cho từng kích thước dầm				Ký hiệu
	D1	D2	D3	D4	
20 MPa	1652,30	2810,76	4227,13	7824,46	$P^o_i(20)$
25 MPa	2331,15	3073,67	5502,43	10412,33	$P^o_i(25)$
30 MPa	2495,96	3254,17	6246,03	10975,43	$P^o_i(30)$
35 MPa	2813,80	3556,32	6467,73	11885,80	$P^o_i(35)$
40 MPa	2819,69	3783,91	7166,21	12533,26	$P^o_i(40)$
50 MPa	3006,08	4107,64	7882,34	13259,20	$P^o_i(50)$

Bảng 3. Tải trọng P_{max} với các loại bê tông cường độ cao

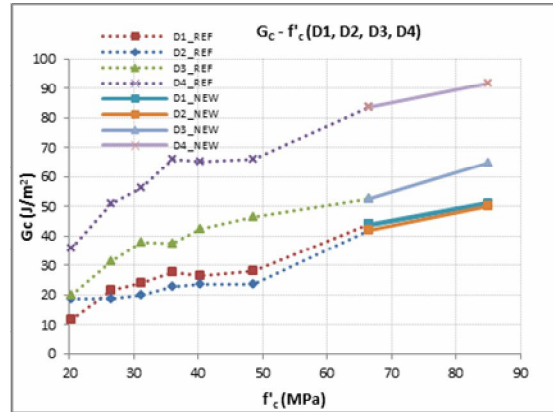
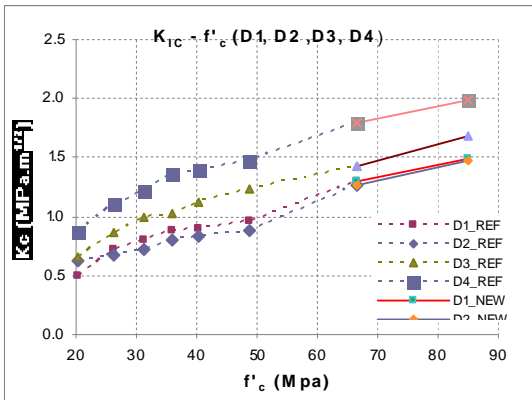
Các cấp bê tông thí nghiệm	Tải trọng lan truyền nứt P_{max} (N) cho từng kích thước dầm				Ký hiệu
	D1	D2	D3	D4	
60 MPa	4117	5683	9000	16050	$P^0_i(60)$
80 MPa	4717	6625	10633	17500	$P^0_i(80)$

Từ các kết quả thí nghiệm trên tính ra được giá trị các đặc trưng nứt của bê tông thí nghiệm gồm:

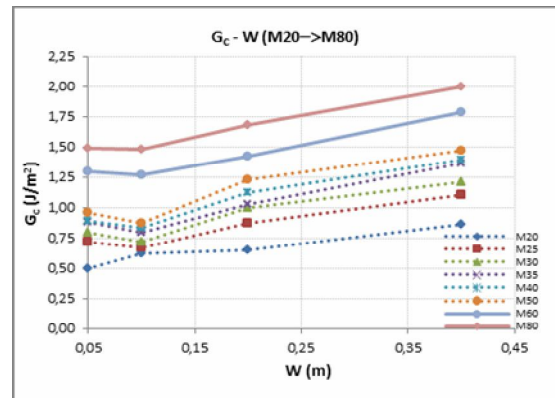
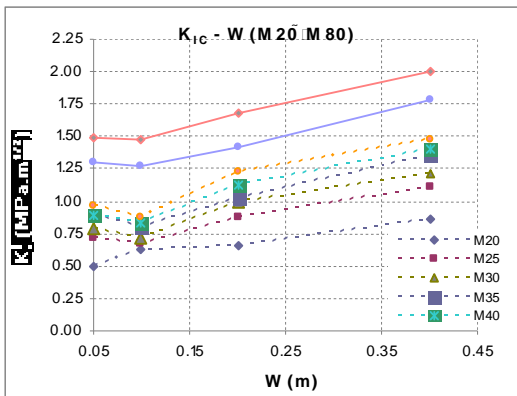
- Hệ số cường độ ứng suất giới hạn (K_C) và độ bền nứt giới hạn (G_C). Các kết quả này được biểu

diễn theo cường độ chịu nén f'_c , chiều cao dầm W của bê tông như hình 4, hình 5;

- Năng lượng nứt giới hạn G_F theo mô hình SEM của Bazant, và chiều dài đặc trưng (c_f tính theo Bazant và l_{ch} tính theo Hillerborg) của vùng phá huỷ (FPZ) như hình 6 [8].

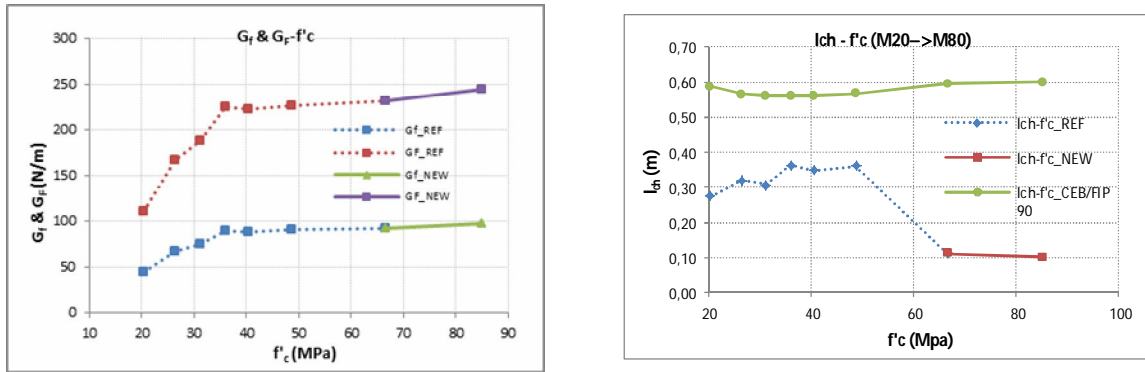


Hình 4. Biến đổi hệ số cường độ ứng suất K_C và độ bền nứt G_C theo f'_c



Hình 5. Biến đổi hệ số cường độ ứng suất K_C và độ bền nứt G_C theo kích thước dầm W

Dựa trên mối quan hệ $G_F \approx 2.5 G_I$ có thể xác định năng lượng nứt toàn phần của bê tông G_F từ năng lượng nứt không toàn phần G_I (xác định theo SEM); ngoài ra cũng ngoại suy được đường cong ứng xử mềm hóa (softening behavior) theo quan hệ trên.



Hình 6. Biến đổi các giá trị năng lượng nứt (G_f và G_F) và chiều dài đặc trưng nứt (l_{ch}) theo f'_c

Thí nghiệm để xác định được quan hệ tải trọng - độ võng (P-v) đầy đủ (có cả phần ứng xử mềm hoá của bê tông) để từ đó xác định năng lượng nứt toàn phần G_F theo phương pháp công phá hoại là tương đối khó vì để đo được quan hệ này thì điều kiện thí nghiệm đòi hỏi phải rất hiện đại và đầy đủ máy móc thiết bị cần thiết. Ở nước ngoài, việc đo đạc số liệu tương đối dễ dàng, quá trình gia tải với các máy điều khiển thủy lực tự động, với các kênh điều khiển đo lực kiểu loadcell hay kiểu đo áp lực, các giá trị chuyển vị, độ mở rộng vết nứt được đồng bộ hóa thu thập dữ liệu với các hệ thống ghi dữ liệu (Data Acquisition hoặc Data Logger). Với cơ sở vật chất và năng lực của các phòng thí nghiệm ở Việt Nam hiện nay, việc tiến hành đo quan hệ tải trọng - độ võng (P-v) hoặc tải trọng - độ mở rộng đường miệng đường nứt (CMOD) có thể thực hiện tương đối dễ dàng với các bộ cảm biến đo chuyển vị (LVDT), thiết bị đo lực (Loadcell); tuy nhiên, để xác định đường cong mềm hóa hay quan hệ sau P_{max} (Post peak) là không thể, vì chưa có đầy đủ các thiết bị điều khiển tự động, quá trình gia tải thủ công, chưa đồng bộ hóa dữ liệu với các thiết bị thu thập số liệu,... do đó quan hệ tải trọng - độ võng (P-v) đầy đủ (có cả ứng xử mềm hoá của bê tông) để từ đó xác định năng lượng nứt toàn phần G_F theo phương pháp công phá hoại theo thí nghiệm chưa thể thực hiện được.

Việc chọn mẫu thí nghiệm và quy trình thí nghiệm trên cơ sở các gợi ý của RILEM, của các tác giả như Bazant và đặc biệt là điều kiện thí nghiệm trong nước, các quy trình về bê tông và kết quả có trước. Kết quả thí nghiệm bê tông cường độ cao cho thấy sự gia tăng cường độ (f'_c) khoảng 160% so với bê tông thường, các hệ số cường độ ứng suất giới hạn K_C , độ

bền nứt giới hạn G_c tăng khoảng 30% đến 50%; tuy nhiên, năng lượng nứt G_f và G_F lại gia tăng rất ít, chỉ khoảng 8% đến 30%; đặc biệt chiều dài đặc trưng l_{ch} lại giảm đáng kể so với sự gia tăng cường độ (f'_c), điều này chứng tỏ rằng chỉ số giòn (tỷ lệ nghịch l_{ch}) của bê tông cường độ cao khá lớn làm giảm vùng phát triển nứt của bê tông.

So sánh với các kết quả nghiên cứu tương tự ở nước ngoài cho thấy: phạm vi biến đổi của các đặc trưng nứt của bê tông theo các cấp hạng bê tông hay theo kích thước các mẫu thí nghiệm là gần như nhau (Bazant, 1990; Karihaloo, 1995). Kết quả của Bazant (1990), G_f gia tăng khoảng 12% đến 25% khi cường độ (f'_c) khoảng 160%). Biến thiên của các giá trị thí nghiệm thu được có dạng như các nghiên cứu của tác giả trên.

4. Kết luận và kiến nghị

Một bộ dữ liệu về các đặc trưng nứt cơ bản như hệ số cường độ ứng suất giới hạn K_C , độ bền nứt giới hạn G_c và năng lượng nứt G_f của bê tông cường độ cao 60 MPa và 80 MPa đã được tính toán, đánh giá và có so sánh với các kết quả nghiên cứu của các tác giả khác trong nước và trên thế giới. Kết quả này hoàn toàn có thể là số liệu tham khảo cho những người quan tâm. Đây cũng mới chỉ cơ sở đầu tiên đặt nền móng cho của các nghiên cứu khác của các tác giả bài báo liên quan đến việc sử dụng lý thuyết rạn nứt và phá hủy bê tông trong tính toán thiết kế và chẩn đoán phá hoại của các công trình như dầm sàn khung BTCT, dầm cầu, vỏ hầm hay tường chắn. Cần thiết phải có các nghiên cứu sâu hơn để có thể áp dụng các kết quả nghiên cứu này trong thực tế tính toán thiết kế các công trình xây dựng bằng bê tông cường độ cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. BAZANT Z., DRAHOMIR N., Propose for standard test of modulus of rupture of concrete with its size dependence, *ACI material journal*, Jan-Feb 2001.
2. BAZANT.Z, QIANG YU and GOANGSEUPZI, Choice of standard fracture test for concrete and its statistical evaluation, *International Journal of Fracture*, 118, Dec 2002, pp. 303-337.
3. BAZANT.Z, Concrete fracture model: testing & practice, *Engineering Fracture Mechanics*, 69, January 2002, pp. 165-205.
4. SHAH.P.S, Size effect method for determining of fracture energy and process zone size of concrete, *Materials and Structures*, 23, Nov 1991, pp. 461-465.
5. PLANAS, J. AND ELICES, M., Toward a measure of G_F : An analysis of experimental results, *Fracture Toughness and Fracture Energy of Concrete*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1986, pp. 381-390.
6. BAZANT. Z.P and PLANAS.J., Fracture and size effect in concrete and other quasi-brittle materials. *CRC Press LLC, USA*, 224 pages, 1998.
7. BAZANT.Z.P and OH.H.B., Crack band theory for fracture of concrete, *Bordas-Dunod, Paris*, 23 pages, 1983.
8. BHUSHAN KARIHALOO,. fracture mechanics & structural concrete, *Longman Scientific & Technical, New York*, 330 pages, 1995.
9. TRAN THE TRUYEN, CHARLIER ROBERT, A method for predicting the permeability of damaged concrete, *Science Journal of Transportation*, N^o3, Hanoi-Chengdu-Moscou, 3/2011.
10. TRẦN THẾ TRUYỀN, Nghiên cứu ứng dụng các mô hình phá hủy dòn bê tông vào tính toán thiết kế các công trình giao thông, *Báo cáo đề tài KHCB, ĐHGTVT*, 2008.
11. TRẦN THẾ TRUYỀN, Nghiên cứu xây dựng bộ cơ sở dữ liệu về các đặc trưng nứt của các loại bê tông dùng trong xây dựng cầu, *Báo cáo đề tài KHCB, ĐHGTVT*, 2006.
12. TRẦN THẾ TRUYỀN, NGUYỄN ĐẮNG HƯNG, NGUYỄN NGỌC LONG, Mô hình hiệu ứng kích thước và ứng dụng trong xác định năng lượng nứt và mô đun phá hoại của một số loại bê tông thường dùng ở Việt Nam, *Tuyển tập hội nghị cơ học toàn quốc lần thứ 8, Hà Nội*, 12/2007.
13. TRẦN THẾ TRUYỀN, NGUYỄN XUÂN HUY,. Phá hủy, rạn nứt bê tông: cơ học và ứng dụng, *NXB Xây dựng, Hà Nội, Việt Nam*, 200 trang, 2011.

Ngày nhận bài: 28/4/2014.