

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA TỐC ĐỘ BIẾN DẠNG ĐẾN HỆ SỐ TĂNG ĐỘNG DIF CỦA BÊ TÔNG SỬ DỤNG TRONG XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH NGẦM

ĐẶNG VĂN KIÊN, VÕ TRỌNG HÙNG

Trường Đại học Mở-Địa chất

Email: dangvankien@khoaxaydung.edu.vn

Thí nghiệm động học dùng Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB) được sử dụng khá phổ biến trên thế giới tại các nước phát triển để nghiên cứu quy luật ứng xử của vật liệu dưới tác dụng của tải trọng động đặc trưng bởi sự thay đổi tốc độ biến dạng. Trong các thông số đánh giá ảnh hưởng của tốc độ biến dạng đến độ bền của kết cấu dưới tải trọng động, hệ số tăng động DIF (Dynamic Increase Factors) là có vai trò quan trọng sử dụng trong nghiên cứu. Bài báo trình bày những khái niệm cơ bản và một số kết quả nghiên cứu trên thế giới đạt được thông qua việc nghiên cứu giá trị hệ số tăng động DIF của bê tông.

Hệ số tăng động DIF là hệ số tăng động, được định nghĩa là tỷ số của cường độ động của mẫu đạt được bằng thí nghiệm động học SHPB và cường độ tĩnh của mẫu. Hệ số tăng động DIF thường được thể hiện bằng một hàm số của tốc độ biến dạng. Đối với bê tông, hệ số tăng động DIF có thể có giá trị lớn hơn 2 khi nén, và hơn 6 khi kéo. Việc hiểu đầy đủ và sử dụng hệ số tăng động DIF có nghĩa quan trọng trong việc thiết kế và phân tích các cấu trúc để đảm bảo an toàn cho kết cấu chịu tải trọng động (động đất, nổ mìn, chấn động,...).

Bài báo tổng hợp các dữ liệu đã được thực hiện để xác định các điểm còn tồn tại để mô tả các ảnh hưởng của tốc độ biến dạng đến cường độ chịu nén và cường độ kéo của bê tông. Các nghiên cứu thực nghiệm cung cấp các giá trị của hệ số tăng động DIF. Theo đó, hệ số tăng động DIF là một hàm hai chiều của tốc độ biến dạng trong biểu đồ log-log. Bài báo cũng đề cập mô hình xác định hệ số tăng động DIF được đề xuất bởi CEB châu Âu. Kết quả thí nghiệm trên ba tổ hợp mẫu bê tông cho phép rút ra ảnh hưởng của tốc độ biến dạng, giá trị độ bền tĩnh đến giá trị của hệ số tăng động DIF. Đồng thời, kết quả nghiên cứu cũng xây dựng được công thức

thực nghiệm xác định hệ số tăng động DIF thông qua tốc độ biến dạng mẫu thí nghiệm.

1. Tổng quan

1.1. Thí nghiệm động học SHPB cho mẫu bê tông

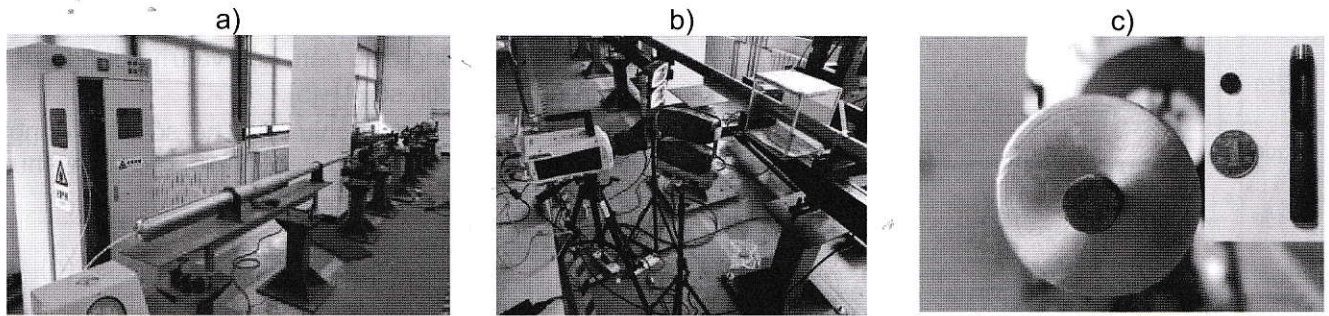
Hệ thống thí nghiệm động học SHPB và các thông số chính được thể hiện trong [1], [2]. Nghiên cứu được tiến hành trên mẫu bê tông hình trụ với hệ thống thí nghiệm như hình H.1. Mật độ của thanh các thanh thép trong hệ thống là 7810 kg/m^3 , mô đun đàn hồi là 240 GPa/s và tốc độ sóng đàn hồi là 5000 km/s . Chiều dài của thanh chuyển động, thanh tới, thanh truyền và thanh hấp thụ tương ứng là 30, 250, 200, 100 cm, mẫu đá được kẹp giữa thanh tới và thanh truyền. Đường kính của thanh chuyển động, thanh tới, thanh truyền đều là 50 mm. Cảm biến đo biến dạng được gắn tương ứng ở mức 121 và 102 mm từ phần mẫu thử được kẹp. Đồng thời với thí nghiệm nén động, quá trình phá hủy mẫu được chụp bằng camera tốc độ cao (hình H.1.b). Ngoài ra, máy ép sóng được chọn sử dụng trong thí nghiệm này là một tấm cao su dày 2 mm và đường kính 10 mm (hình H.1.c).

Các thông số cơ bản của ba tổ hợp mẫu bê tông (mỗi tổ 3 mẫu) đã được thu được từ việc tiến hành thí nghiệm tĩnh trước khi phá hủy do thí nghiệm động. Chọn ba mẫu điển hình trong mỗi nhóm như trong [2]. Nội dung các thí nghiệm gồm tiến hành đo đường kính, chiều cao, khối lượng, mật độ và tốc độ truyền sóng của mẫu. Kết quả thử nghiệm cụ thể được thể hiện trong Bảng 1, Bảng 2 và Bảng 3.

Hệ thống các thí nghiệm động học SHPB tiến hành tại các áp suất mở van khí nén thay đổi trong khoảng $0,0 \pm 1,0 \text{ MPa}$, dẫn đến các các tốc độ tăng tải khác nhau cho các thí nghiệm với ba tổ hợp mẫu trên. Trước khi bắt đầu thí nghiệm, nhóm nghiên cứu đã chọn phạm vi áp suất mở van thích

hợp cho từng tổ hợp mẫu bê tông. Áp suất mở van thường được chọn theo mức độ phá hủy của bê tông. Trong phạm vi thay đổi áp suất 0,0÷1,0 MPa, thử nghiệm nén tác động được thực hiện sau mỗi

bước thay đổi 0,05 MPa. Khi áp suất mở van là 0,15 MPa, mẫu bắt đầu có những vết nứt đầu tiên (hình H.2.a). Khi đạt 0,45 MPa, mẫu đã bị phá vỡ với các mảnh vỡ đồng đều (hình H.2.b).



H.1. Hệ thống thí nghiệm động học SHPB đã thực hiện cho các tổ hợp mẫu bê tông

Bảng 1. Các thông số vật lý cơ bản của tổ hợp mẫu 1 tương ứng mẫu M300

No	Đường kính, mm	Chiều cao, mm	Khối lượng, kg	Tốc độ truyền sóng, km/s	Dung trọng, kg/m ³
1	51,32	49,32	0,244	2,778	2399,47
2	50,9	48,9	0,233	2,857	2350,28
3	51,4	49,33	0,236	2,857	2313,12

Bảng 2. Các thông số vật lý cơ bản của tổ hợp mẫu 2 tương ứng mẫu M400

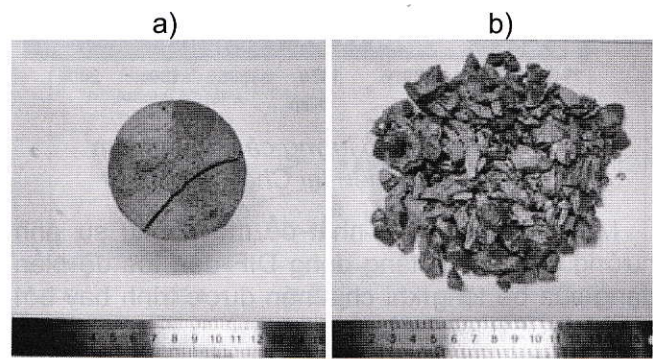
No	Đường kính, mm	Chiều cao, mm	Khối lượng, kg	Tốc độ truyền sóng, km/s	Dung trọng, kg/m ³
1	50,12	51,45	0,236	2,703	2332,13
2	50,94	51,17	0,239	2,778	2303,84
3	51,35	50,56	0,246	2,726	2364,87

Bảng 3. Các thông số vật lý cơ bản của tổ hợp mẫu 3 tương ứng mẫu M600

No	Đường kính, mm	Chiều cao, mm	Khối lượng, kg	Tốc độ truyền sóng, km/s	Dung trọng, kg/m ³
1	51,5	50,2	0,248	2,857	2373,86
2	51,2	49,6	0,243	2,856	2390,26
3	51,2	50,7	0,253	2,859	2425,71

1.2. Hệ số tăng động DIF trong thí nghiệm động học SHPB

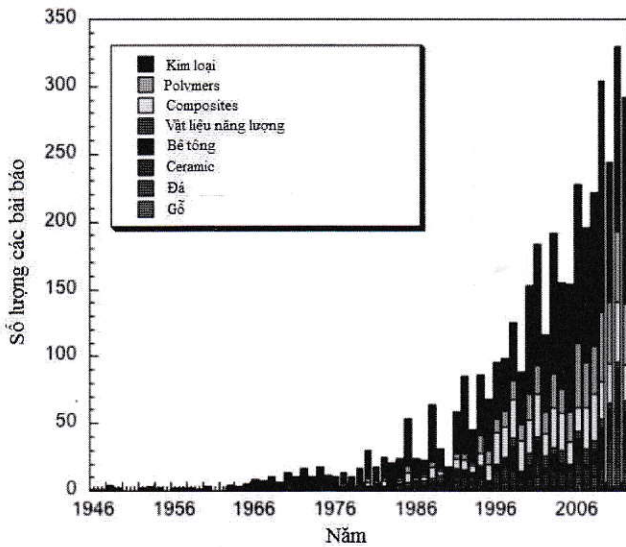
Hiện nay, thí nghiệm động học SHPB có lịch sử lâu dài và đã thực hiện nhiều trên thế giới cho rất nhiều các loại vật liệu khác nhau như kim loại, polyme, composit gia cường sợi thép, bê tông, ceramic, đá, gỗ với lịch sử phát triển từ năm 1946 và số lượng thực hiện theo các năm tại Châu Âu như hình H.3.



H.2. Sơ đồ phá hủy mẫu: a - Khi P=0,15 MPa; b - Khi P=0,45 MPa

Ngày nay, ứng xử động của bê tông và vật liệu có tính chất giống như bê tông phụ thuộc vào tốc độ biến dạng đã được kiểm chứng và kết luận (Grote và Park, 2001) [3]. Hệ số tăng động DIF là thông số được sử dụng trong thí nghiệm động học SHPB để mô tả sự gia tăng cường độ của bê tông khi tăng tốc độ biến dạng. Hệ số tăng động DIF được định nghĩa là tỷ lệ giữa cường độ động của mẫu bê tông và cường độ tĩnh. DIF càng lớn khi tốc độ tăng Mô hình dự báo sự gia tăng độ bền bê tông khi tăng tốc độ biến dạng được sử dụng phổ biến là mô hình của CEB Model Code (Comite Euro-International du Béton-Fédération Internationale de la Précontrainte, 1990) như công thức (1)÷(3) trong [4]. Ngoài ra, mối quan hệ giữa hệ số tăng động DIF và tốc độ biến dạng của bê tông trong thí nghiệm nén động được sử dụng trực tiếp qua một số mô hình khác như của DSWA. Trong số phân tích, quan hệ giữa hệ số tăng động DIF và tốc độ biến dạng của bê tông trong quan hệ cả nén và kéo được sử dụng là thông số đầu vào trong các chương trình được xây dựng bằng phần tử hữu hạn với thuật toán Lagrangian rõ ràng như DYNA3D, và trong phiên bản sửa đổi của mô hình

vật liệu bê tông phi tuyến trong mã phần tử hữu hạn ADINA hay Abaqus.



H.3. Thống kê số lượng các thí nghiệm được thực hiện tại Châu Âu [3]

Mô hình toàn diện nhất để mô phỏng sự ảnh hưởng của hệ số tăng động DIF đến tốc độ biến dạng của bê tông khi chịu nén được trình bày bởi mô hình CEB [4], [10]:

$$DIF = \frac{f_{cd}}{f_{cs}} = \left[\frac{\dot{\epsilon}}{\epsilon_s} \right]^{1,026 \cdot \alpha} \quad \text{cho } \dot{\epsilon} \leq 30 \text{ s}^{-1}. \quad (1)$$

$$DIF = \frac{f_{cd}}{f_{cs}} = \gamma \cdot \left[\frac{\dot{\epsilon}}{\epsilon_s} \right]^{1/3} \quad \text{cho } \dot{\epsilon} > 30 \text{ s}^{-1}. \quad (2)$$

$$\log(\gamma) = (6,156 \cdot \alpha - 2); \quad \alpha = 1 / (5 + 9 \cdot f_{cs} / f_{co}). \quad (3)$$

Trong đó: f_{cd} - Cường độ kháng nén động của bê tông ứng với tốc độ biến dạng $\dot{\epsilon}$; f_{cs} - Độ bền nén tĩnh của bê tông tại tốc độ biến dạng $\dot{\epsilon}$; $DIF = (f_{cd} / f_{cs})$ - Hệ số tăng động của độ bền nén động; $\dot{\epsilon}$ - Tốc độ biến dạng của mẫu thí nghiệm trong phạm vi 30×10^{-6} đến 300 s^{-1} ; $\epsilon_s = 3 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ - Tốc độ biến dạng tham chiếu (theo tiêu chuẩn thí nghiệm tĩnh); f_c - Cường độ kháng nén tĩnh của bê tông ứng với tốc độ biến dạng tham chiếu ϵ_s , và $f_{co} = 9,997 \text{ MPa}$ [4], [10].

Các công thức (1), (2) và (3) thể hiện ứng xử vật liệu khi chịu tải trọng động có đặc điểm:

➤ Trong một giá trị của $\log(DIF)$ tương ứng với một giá trị của $\log(\dot{\epsilon})$, mối quan hệ là tuyến tính với sự thay đổi độ dốc khoảng 30 s^{-1} ;

➤ Giá trị của hệ số tăng động DIF cao hơn khi với bê tông có cường độ thấp hơn;

➤ Tất cả các hệ số tăng động DIF có liên quan đến cường độ được đo ở tốc độ biến dạng gần như tĩnh;

➤ Mức độ tăng cường độ là khác nhau khi thí nghiệm nén và kéo.

Công thức tính hệ số tăng động DIF theo CEB Model Code cho bê tông khi nén thường được hầu hết các nhà khoa học chấp nhận sử dụng như là một tham chiếu tin cậy cho việc dự báo ứng xử thực tế cho bê tông chịu nén, kéo và ứng dụng trực tiếp trong phân tích số [1]-[5].

Đối với trường hợp chịu kéo, hệ số tăng động DIF cho bê tông khi chịu kéo được xác định như sau [4], [10]:

$$\frac{f_t}{f_{cs}} = \left[\frac{\dot{\epsilon}}{\epsilon_s} \right]^{1,016 \cdot \delta} \quad \text{cho } \dot{\epsilon} \leq 30 \text{ s}^{-1}; \quad (4)$$

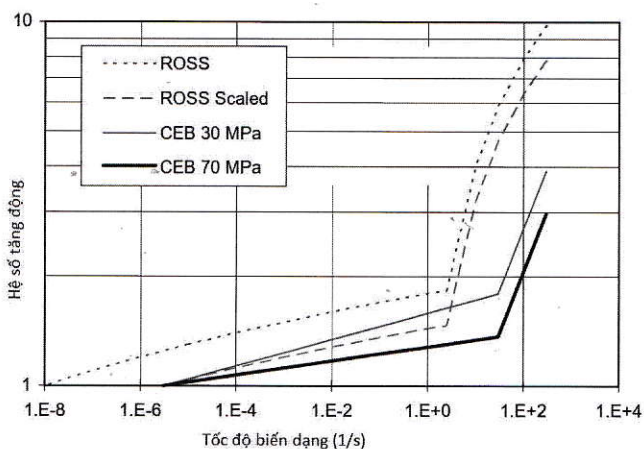
$$\frac{f_{cd}}{f_{cs}} = \gamma_s \cdot \left[\frac{\dot{\epsilon}}{\epsilon_s} \right]^{1/3} \quad \text{cho } \dot{\epsilon} > 30 \text{ s}^{-1}. \quad (5)$$

Trong đó: f_t - Cường độ kéo động của bê tông ứng với tốc độ biến dạng của mẫu $\dot{\epsilon}$; f_{ts} - Độ bền kéo tĩnh của bê tông; (f_t / f_{ts}) - Hệ số tăng động của độ bền kéo của mẫu; $\dot{\epsilon}$ - Tốc độ biến dạng trong phạm vi 30×10^{-6} đến 300 s^{-1} ; $\epsilon_s = 3 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ là tốc độ biến dạng tham chiếu (theo tiêu chuẩn thí nghiệm tĩnh); $\log \beta = (7,11 \cdot \delta - 2,33)$; $\delta = 1 / [10 + (6 \cdot f_{cs} / f_{co})]$; $f_{co} = 10 \text{ MPa} = 1450 \text{ psi}$.

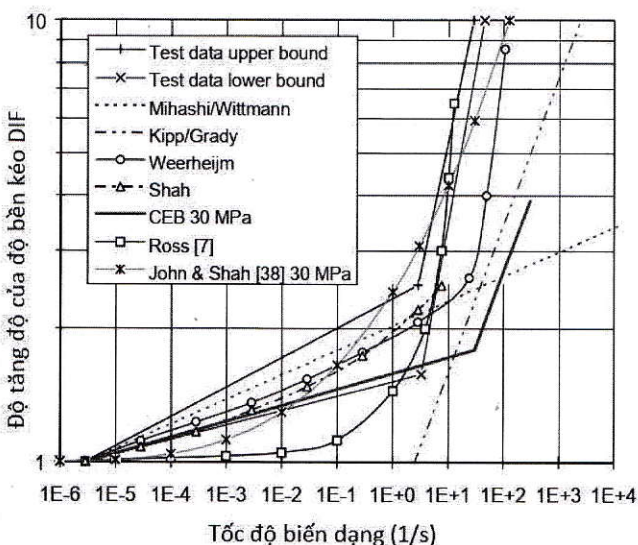
Các công thức trong mô hình CEB dựa trên công bố 1988 CEB số 187 [5]. Trong công bố số 187 về mô hình CEB 1988 dựa trên công trình của Reinhardt năm 1985 [5]. Trong công thức CEB song tuyến, sự thay đổi độ dốc trong biểu đồ của hệ số tăng động DIF so với đường cong tốc độ biến dạng nằm ở phía dưới giá trị tốc độ biến dạng 30 s^{-1} .

Điều này phù hợp với kết quả một số mô hình lý thuyết như Weerheijm, [6]-[9]. Giá trị được thể hiện trong hình H.3, trong đó công thức CEB có thể phù hợp với các mô hình lý thuyết của Kipp và Grady, Mihashi và Whittmann và Weerheijm. Tuy nhiên, con số tương tự cho thấy dữ liệu thực nghiệm ở tốc độ biến dạng cao rơi vào bên trái của các kết quả lý thuyết và chỉ ra sự thay đổi độ dốc trong mối quan hệ song tuyến gần với 1 s^{-1} .

Giá trị của hệ số tăng động DIF được thể hiện trong hình H.4 tương quan với tốc độ biến dạng có hai loại độ bền bê tông chịu nén, 30 và 70 MPa (4350 và 10150 psi). Trong biểu đồ log-log, đường cong đạt được là song tuyến. Giống như trong trường hợp nén, các đường cong này có sự gián đoạn về độ dốc trong biểu đồ, theo công thức CEB, xảy ra ở tốc độ biến dạng 30 s^{-1} (hình H.4). Biểu thức CEB phù hợp khi tốc độ biến dạng lên tới 300 s^{-1} , trong đó hệ số là 3,9 đối với bê tông 30 MPa (4350 psi).



H.4. So sánh giữa kết quả của Ross với mô hình CEB khi bê tông chịu nén

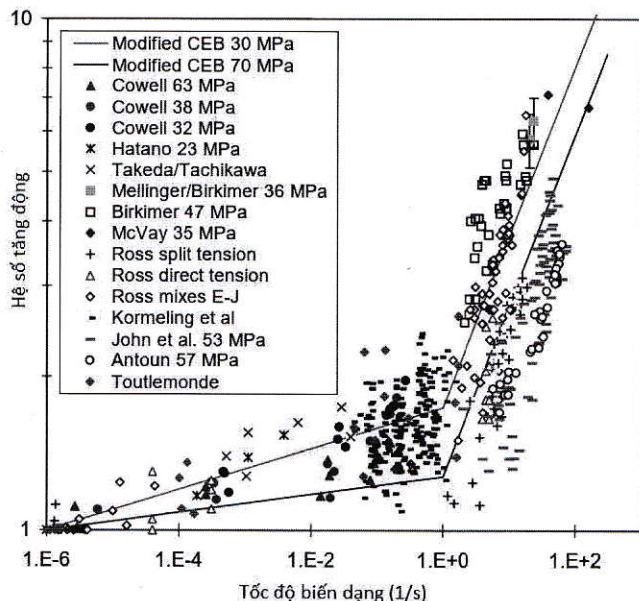


H.5. So sánh giá trị khác nhau giữa lý thuyết và thực nghiệm từ ứng suất kéo của mẫu

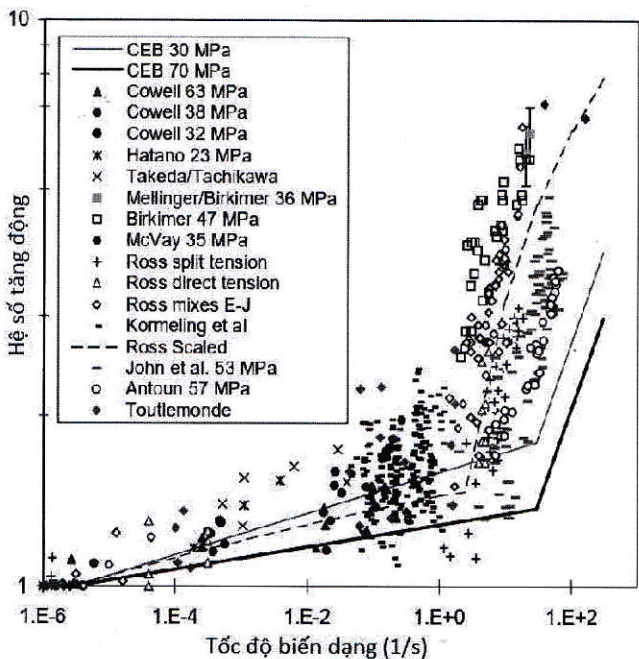
Ross và cộng sự đã thử nghiệm một số mẫu bê tông hình trụ bê tông thông qua thí nghiệm Split-Hopkinson (SHPB) chịu nén, thí nghiệm kéo (thử nghiệm Brazil) và nén trực tiếp [6]-[13]. Các đường kính mẫu vật thay đổi từ 19 đến 51 mm, chiều dài thay đổi từ 45 đến 51 mm. Đường kính mẫu trong thí nghiệm SHPB được chọn là 51 mm hoặc 76 mm. Trong thí nghiệm kéo, hầu hết các thử nghiệm được tiến hành trong phạm vi tốc độ biến dạng từ khoảng 10^{-7} s^{-1} đến 20 s^{-1} . Ross đã báo cáo các hệ số tăng động lên tới 6,47 tại tốc độ biến dạng $17,8 \text{ s}^{-1}$. Các giá trị của hệ số tăng động DIF này rất phù hợp với dữ liệu xác định hệ số tăng động DIF trước đó ở tốc độ biến dạng cao, tức là vượt quá 1 s^{-1} . Các điểm dữ liệu của Ross cũng được hiển thị trong hình H.6.

Mellinger và Birkimer [9] đã tiến hành thí nghiệm trên hai tổ hợp mẫu bê tông hình trụ có đường kính

10,25 inch và 2 inch, được chất tải với áp lực mở van để phá hủy. Đối với tổ hợp 3 mẫu thử nghiệm đầu tiên, độ bền kéo động nằm ở khoảng giữa 2500 và 3210 psi (17,2 đến 22,1 MPa), so với cường độ kéo tĩnh của 491 psi (3,4 MPa), thu được ở mức a tốc độ biến dạng bán tĩnh khoảng $0,57 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.



H.7. Điều chỉnh dữ liệu của mô hình CEB



H.6. So sánh dữ liệu thí nghiệm của Ross và CEB

Điều này thể hiện hệ số tăng động DIF trong khoảng từ 5.1 đến 6.5 (trung bình 5,8) với tốc độ biến dạng khoảng 20 s^{-1} . Đối với bộ 3 thử nghiệm thứ hai, độ bền kéo động nằm ở đâu đó giữa các

giá trị 2240 và 4000 psi (15,4 đến 27,6 MPa), tức là giá trị hệ số tăng động DIF thay đổi trong khoảng từ 4,5 đến 8,1 (trung bình 6,3) với tốc độ biến dạng khoảng 23 s^{-1} .

Hai điểm này được hiển thị trong hình H.6. Trong nghiên cứu của mình, Birkimer đã thực hiện thí nghiệm tác động trên các mẫu bê tông hình trụ với tỷ lệ biến dạng giữa 2 s^{-1} và 23 s^{-1} [17]. Các mẫu bê tông hình trụ có đường kính 2 inch và 35 inch chiều dài.

Độ bền tĩnh là 491 psi (như trong các thử nghiệm của Mellinger và Birkimer). Điều này tương ứng với giá trị của hệ số tăng động DIF thay đổi trong khoảng từ 2,5 đến 6. Đối với phạm vi tỷ lệ biến dạng này, hệ số tăng động DIF dự kiến sẽ là tỷ lệ với $(\dot{\epsilon})^{1/3}$ (một đường thẳng có độ dốc 1/3 trong biểu đồ log-log). Trong số 46 thí nghiệm, có 33 thí nghiệm cho kết quả tốt và được hiển thị trong hình H.6.

McVay [10] thể hiện kết quả ảnh hưởng từ vụ nổ đến tường bê tông gần đó. Các phá hủy vỏ bê tông đã thu được dưới dạng nứt trên bề mặt phía sau. Hai hệ số tốc độ tăng tải 7,1 và 6,7 đã được thể hiện, với tỷ lệ biến dạng tương ứng khoảng 38 s^{-1} và 157 s^{-1} và được thể hiện trên hình H.6.

John và cộng sự [11] đã thử nghiệm sáu bộ mẫu trong thí nghiệm chịu kéo Split Hopkinson. Mẫu thử có độ dày là 6,4 mm và 12,7 mm, và đường kính lần lượt là 12,7 mm; 25,4 mm và 50,8 mm đã được thử nghiệm. Tốc độ tăng tải dao động từ khoảng 5×10^{-7} đến 70 s^{-1} và các giá trị của hệ số tăng động DIF đo được đạt tới 4,8 (hình H.6). Antoun [12] cũng đã tiến hành các với mẫu thí nghiệm dạng tấm để xác định cường độ nén đập vỡ, cường độ kéo đơn trục, đối với bê tông, được giả thiết là tương tự như xác định độ bền kéo không xác định. Dữ liệu từ các thử nghiệm này nằm trong phạm vi phân tán của các thử nghiệm kéo tách trước đó, với giá trị của hệ số tăng động DIF vượt quá phạm vi 3 (hình H.6).

Một vấn đề quan trọng đã được thực hiện ở đây là tất cả các dữ liệu trên tốc độ biến dạng 1 s^{-1} , thu được từ các thiết bị và quy trình thí nghiệm khác nhau, cho thấy kết quả đạt được cùng một xu hướng. Dữ liệu từ Birkimer và cộng sự thu được trong [9] thu được bằng cách đo các xung biến dạng trên các mẫu bê tông dài bị tác động bởi các thanh đánh trong thí nghiệm SHPB bằng kim loại. McVay [10] và Antoun [12] đã đạt được các kết quả thí nghiệm bằng cách tính toán ngược ứng suất nén và ứng suất kéo từ các thí nghiệm phá hủy mẫu.

Dữ liệu được thu thập bởi Ross và các cộng sự [13] đạt được bằng cách sử dụng hai thanh đánh

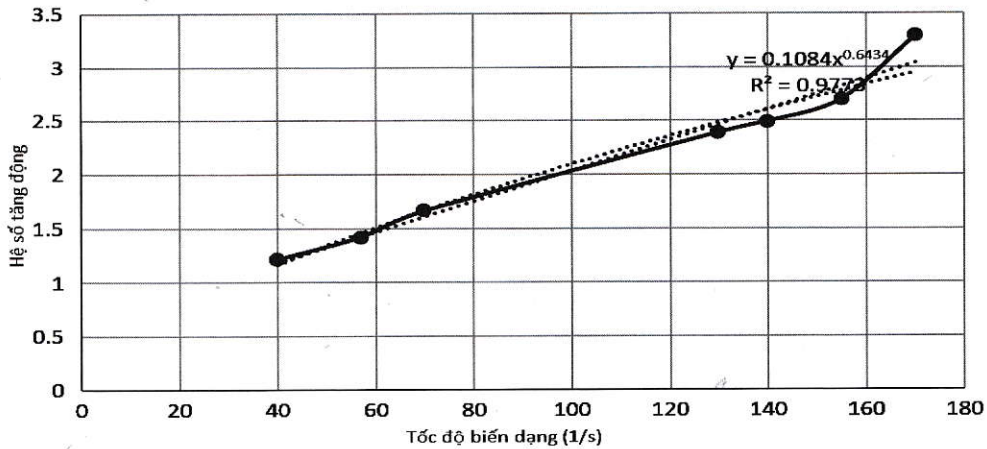
có đường kính khác nhau trong thí nghiệm Hopkinson, cùng với ba nhóm mẫu, sáu loại cấp phối và hai loại kích cỡ mẫu khác nhau, sáu kích cỡ khác nhau hỗn hợp bê tông và hai mẫu thử kéo khác nhau, kéo trực tiếp và kéo đứt (thí nghiệm của Brazil). Trong tất cả các trường hợp, cường độ kéo động cao khi so sánh với cường độ bê tông kéo bán tĩnh với tốc độ biến dạng trên 1 s^{-1} .

3. Kết quả thí nghiệm động học SHPB cho mẫu bê tông sử dụng san hô biển làm thành phần cấp phối

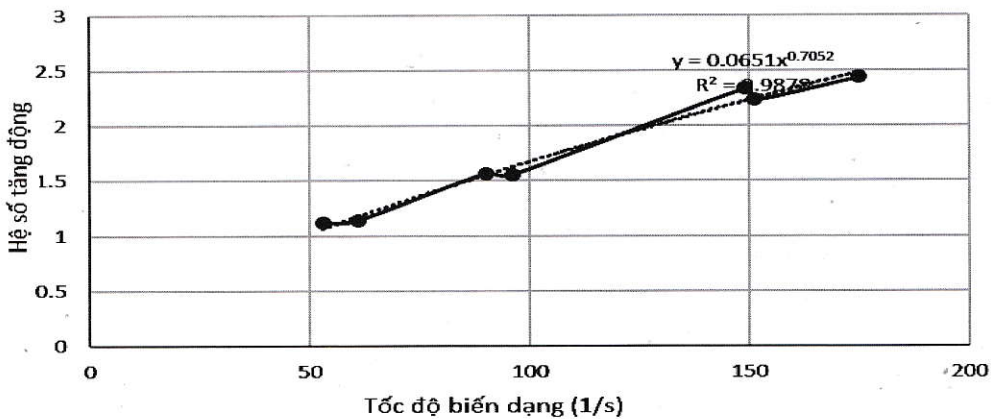
Do tốc độ biến dạng trong thí nghiệm động học SHPB cho 3 tổ hợp mẫu M3, M4, M6 đã thực hiện có tốc độ nhỏ nhất là 40 s^{-1} lớn hơn 30 s^{-1} nên ta dùng công thức số (2) của CEB Model Code (Comité Euro-International du Béton-Fédération Internationale de la Précontrainte, 1990). Trên cơ sở dữ liệu thí nghiệm ta tính được hệ số tăng động DIF cho ba tổ hợp mẫu như Bảng 4 dưới đây theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2012.

Bảng 4. Kết quả xác định giá trị hệ số tăng động DIF cho ba tổ hợp mẫu bê tông

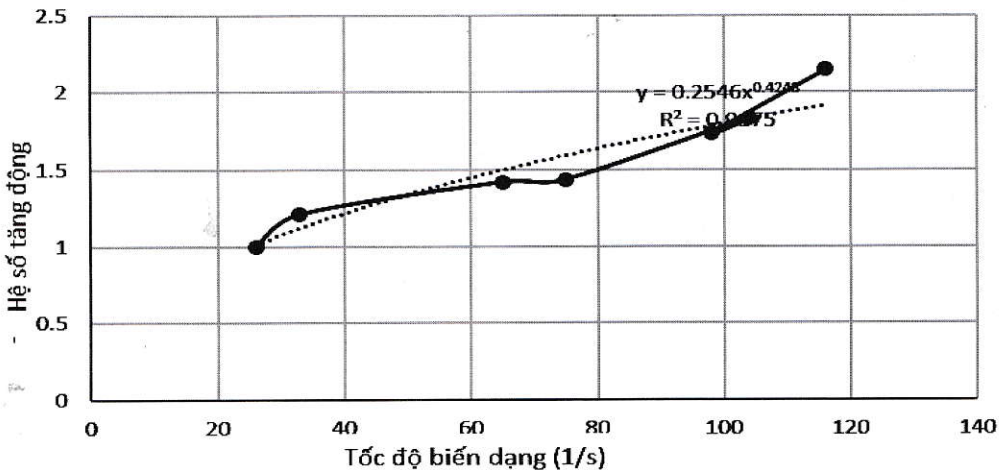
f_{cs} , MPa	Tốc độ biến dạng, s^{-1}	f_{cd} , MPa	DIF
Tổ hợp mẫu bê tông M1			
28,9	40	35	1,211073
28,9	57	41	1,418685
28,9	70	48	1,6609
28,9	130	69	2,387543
28,9	140	72	2,491349
28,9	155	78	2,698962
28,9	170	95	3,287197
Tổ hợp mẫu bê tông M2			
38,53	53	43	1,116013
38,53	61	44	1,141967
38,53	90	60,5	1,570205
38,53	96	60	1,557228
38,53	149	90	2,335842
38,53	151	86	2,232027
38,53	175	94	2,439657
Tổ hợp mẫu bê tông M3			
57,8	26	58	1,00346
57,8	33	70	1,211073
57,8	65	82	1,418685
57,8	75	83	1,435986
57,8	104	106	1,83391
57,8	98	100	1,730104
57,8	116	124	2,145329



H.8. Quan hệ giữa hệ số tăng động DIF và tốc độ biến dạng mẫu theo mô hình CEB cho mẫu M1



H.9. Quan hệ giữa hệ số tăng động DIF và tốc độ biến dạng mẫu theo mô hình CEB cho mẫu M2



H.10. Quan hệ giữa hệ số tăng động và tốc độ biến dạng mẫu theo mô hình CEB cho mẫu M3

Trên cơ sở các biểu đồ mối quan hệ giữa hệ số tăng động DIF cho cường độ nén và tốc độ biến dạng mẫu ($\dot{\epsilon}$), người ta tiến hành xây dựng công thức dự báo gần đúng giá trị của hệ số tăng động DIF cho các tổ hợp mẫu bê tông chịu nén trong thí nghiệm dùng SHPB như sau:

➤ Với tổ hợp mẫu M3:

DIF = $0,1084 \dot{\epsilon}^{0.6434}$ với $R^2 = 0,9773$; (6)

➤ Với tổ hợp mẫu M4:

DIF = $0,0651 \dot{\epsilon}^{0.7052}$ với $R^2 = 0,9878$; (7)

➤ Với tổ hợp mẫu M6:

DIF = $0,2546 \dot{\epsilon}^{0.4243}$ với $R^2 = 0,9175$. (8)

Kết quả nghiên cứu thí nghiệm cho thấy mẫu có độ bền càng lớn thì hệ số tăng động càng nhỏ, với

mẫu có độ bền tĩnh M300 giá trị của hệ số tăng động DIF tăng từ 1,0 đến trên 3,0; trong khi mẫu có độ bền tĩnh M400 giá trị này tăng từ 1,0 đến 2,5; trường hợp mẫu có độ bền tĩnh cao nhất M 60 thì giá trị của hệ số tăng động DIF chỉ đạt hơn 2,0.

4. Kết luận

Những kết quả nghiên cứu trên đây cho phép rút ra một số kết luận sau đây:

➤ Các kết quả thí nghiệm động học SHPB cho phép xác định được các thông số động của mẫu bê tông như độ bền nén, kéo động, mô đun đàn hồi động, đặc biệt là hệ số tăng động khi mẫu chịu nén hoặc kéo. Giá trị của các thông số này được sử dụng làm kết quả đầu vào của mô hình số hoặc các nghiên cứu tại phòng thí nghiệm trong điều kiện tương tự.

➤ Giá trị hệ số tăng động DIF thể hiện sự gia tăng của độ bền nén, kéo động của mẫu so với độ bền nén, kéo tĩnh và được sử dụng như một thông số chính của đầu vào mô hình số mô tả đầy đủ ứng xử của vật liệu dưới tác động của tải trọng động.

➤ Các phương pháp xác định hệ số tăng động DIF cho thấy, phương pháp mô hình của CEB có giá trị tin cậy, giá trị cũng được kiểm chứng với các mô hình, phương pháp xác định khác, qua đó cho thấy các giá trị tương đồng.

➤ Kết quả nghiên cứu thí nghiệm cho thấy mẫu có độ bền càng lớn thì hệ số tăng động DIF càng nhỏ, với mẫu có độ bền tĩnh M300 thì giá trị hệ số tăng động DIF tăng từ 1,0 đến trên 3,0; trong khi mẫu có độ bền tĩnh M400 giá trị này tăng từ 1,0 đến 2,5; trường hợp mẫu có độ bền tĩnh cao nhất M 600 thì giá trị của hệ số tăng động DIF chỉ đạt hơn 2,0.

➤ Từ kết quả thí nghiệm động học SHPB trên mẫu bê tông cũng xây dựng được công thức gần đúng xác định hệ số tăng động gần đúng theo tốc độ biến dạng với các nhóm mẫu có độ bền tĩnh M300, M400 và M600. Công thức thực nghiệm trên có hệ số tương quan lớn $R > 0,9$; có ý nghĩa rất lớn trong việc đưa vào mô hình số để mô phỏng sự làm việc của kết cấu bê tông dưới tác động của tải trọng động. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đặng Văn Kiên. Sử dụng thí nghiệm động Split Hopkinson pressure bar để xác định các thông số động của đá. Tuyển tập các công trình khoa học kỷ niệm 50 năm thành lập Bộ môn "Xây dựng Công trình ngầm và Mỏ" 1996-2016. NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ. Tr. 179-181.

2. Ngô Ngọc Thủy, Vũ Đình Lợi, Đặng Văn Kiên,

Võ Trọng Hùng. Xác định các thông số động của bê tông chế tạo từ san hô biển bằng thí nghiệm động split hopkinson pressure bar. Tạp chí Công nghiệp Mỏ. Số 2. 2020. Tr. 19-26.

3. Grote, D. L., Park, S. W., and Zhou, M. Dynamic behavior of concrete at high strain rates and pressures: I. experimental characterization. International Journal of Impact Engineering 25 [9], 869-886. 2001.

4. Comité Euro-International du Béton-Fédération Internationale de la Précontrainte. CEB-FIP Model Code 90 Redwood Books, Trowbridge, Wiltshire, Great Britain. 1990.

5. Comité Euro-International du Béton. Concrete Structures under Impact and Impulsive Loading. CEB Bulletin 187, Lausanne, Switzerland, August 1988.

6. Reinhardt, H.W. Strain Rate Effects on the tensile Strength of Concrete as Predicted by Thermo-dynamics and Fracture Mechanics Models. Cement Based Composites: Strain Rate Effects on Fracture, S. Mindess and S.P. Shah, editors, December 1985, pp. 1-13.

7. Weerheijm, J., Reinhardt, H.W. Modelling of Concrete Fracture under Dynamic Tensile Loading. Fracture of Concrete and Rock - Recent Developments (S.P. Shah, S.E. Swartz and B. Barr, editors), 1989, pp. 721-728.

8. L. Javier Malvar, John E. Crawford. Dynamic increase factors for concrete. Twenty-Eighth DDESB Seminar. Orlando, FL, August 98.

9. Mellinger, F.M., Birkimer, D.L. Measurement of Stress and Strain on Cylindrical Test Specimens of Rock and Concrete under Impact Loading. Technical Report 4-46, U.S. Army Corps of Engineers, Ohio River Division Laboratories, Cincinnati, Ohio, April 1966, 71 pp.

10. McVay, M.K. Spall Damage of Concrete Structures. Technical Report SL-88-22, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, June 1988.

11. John, R., Antoun, T., Rajendran, A.M. Effect of Strain Rate and Size on Tensile Strength of Concrete. Proceedings, 1991 APS Topical Conference on Shock Compression of Condensed Matter, Williamsburg, VA (Schmidt, S.C., Dick, R.D., Forbes, J.W., Tasker, D.G., editors), Elsevier Science Publishers, 1992, pp. 501-504.

12. Antoun, T.H. Constitutive/Failure Model for the Static and Dynamic Behaviors of Concrete Incorporating Effects of Damage and Anisotropy. Ph.D. Thesis, The University of Dayton, Dayton, Ohio, 1991, 230 pp.

13. Ross, C.A., Tedesco, J.W., Kuennen, S.T. Effects of Strain Rate on Concrete Strength. ACI

Materials Journal, Vol. 92, No. 1, January-February 1995, pp. 37-47.

các nhóm vật liệu bê tông có cường độ nén tĩnh M300, M400 và M600.

Ngày nhận bài: 26/11/2019

Ngày gửi phản biện: 28/12/2019

Ngày nhận phản biện: 26/05/2020

Ngày chấp nhận đăng bài: 10/06/2020

Từ khóa: thí nghiệm động; SHPB; hệ số tăng động bê tông; DIF; tốc độ biến dạng động, độ bền nén động, độ bền kéo động

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo: các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam

Tóm tắt: Hệ số tăng động (DIF), tức là tỷ lệ của động đối với cường độ tĩnh, thường được báo cáo là chức năng của tốc độ biến dạng. Kiến thức về DIF rất quan trọng tầm quan trọng trong việc thiết kế và phân tích các cấu trúc để đảm bảo an toàn cho chất nổ. Đường cong DIF cho bê tông thường dựa trên giới hạn dữ liệu. Dữ liệu này hỗ trợ hệ số tăng động (DIF) là một hàm song tuyến của tốc độ biến dạng trong biểu đồ log-log. Từ kết quả thí nghiệm động SHPB trên bê tông, nghiên cứu này cũng đã xây dựng một công thức gần đúng để xác định giá trị DIF gần đúng theo tốc độ biến dạng với

Study the influence of deformation rate to dynamic increase factor DIF of concrete used in underground construction

SUMMARY

The dynamic increase factor (DIF), i.e. the ratio of the dynamic to static strength, is normally reported as function of strain rate. Knowledge of the DIF is of significant importance in the design and analysis of structures for explosives safety. DIF curves for concrete are typically based on limited data. This data support the dynamic increase factor (DIF) being a bilinear function of the strain rate in a log-log plot. From the results of dynamic experiments SHPB on concrete, this study also formulated an approximate formula to determine the approximate DIF value according to the strain rate with the groups of static compressive strength M300, M400 and M600.

SỬ DỤNG BÊ TÔNG...

(Tiếp theo trang 42)

Ngày nhận phản biện: 29/04/2020

Ngày chấp nhận đăng bài: 10/06/2020

Từ khóa: Bê tông chất lượng siêu cao; bê tông tự đầm; cấp phối hợp lý; độ linh hoạt của bê tông

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo: các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam

Tóm tắt: Bê tông chất lượng siêu cao thường có cường độ chịu nén cao, hệ số thấm nhỏ, tính ổn định cao và có thể tự đầm khi thi công các cấu kiện bê tông cốt thép có mật độ cốt thép lớn, chống ăn mòn bê tông và cốt thép trong môi trường xâm thực như môi trường ven biển, hải đảo hay dưới ngầm có nước xâm thực. Bài báo đề cập đến ứng dụng và xác định thành phần của bê tông chất lượng siêu cao trong xây dựng. Phương pháp nghiên cứu được sử dụng là phương pháp lý thuyết kết hợp với thực nghiệm. Kết quả nghiên cứu đã đưa ra thành phần cấp phối của bê tông chất lượng siêu cao, tự đầm hợp lý có thể đáp ứng yêu cầu trong xây dựng.

Using ultra high performance concrete, self-compacting in construction

SUMMARY

Ultra High Performance Concrete often has high compressive strength, small permeability coefficient, high stability and can coMPact itself when constructing reinforced concrete structures with high reinforcement density, anti-corrosion concrete and Reinforcement in aggressive environments such as coastal, island or underground environments with erosionwater. In the paper have shown the application and determination of the composition of Ultra High Performance Concrete in construction. The research method used is a theoretical method combined with experiment. The results of the study have shown that the reasonable composition of Ultra High Performance concrete, Self-coMPacting meets the requirements in construction.