

ẢNH HƯỞNG CỦA TRO BAY ĐẾN KHẢ NĂNG NỨT CỦA BÊ TÔNG TRONG ĐIỀU KIỆN BỊ KIỂM HÃM

Nguyễn Văn Hương¹

Tóm tắt: *Bê tông nứt sớm là một trong những nguyên nhân chủ yếu dẫn đến giảm tính thẩm mỹ, giảm khả năng chịu lực và độ bền, tốn chi phí sửa chữa, giảm tuổi thọ và tiềm ẩn nguy cơ phá hoại công trình. Nứt sớm của bê tông là một hiện tượng phức tạp và phụ thuộc vào một số yếu tố như: thành phần bê tông, quá trình thi công, điều kiện môi trường, đặc điểm của kết cấu,... Bài báo nghiên cứu ứng xử của bê tông khi sự co ngót của nó bị kiểm hãm bằng thiết bị thí nghiệm ring-test và hiệu quả của tro bay (thay thế 15% và 25% xi măng bằng tro bay) đến khả năng chống nứt của bê tông. Kết quả nghiên cứu cho thấy việc sử dụng tro bay sẽ cải thiện được khả năng chống nứt sớm cho bê tông bị kiểm hãm.*

Từ khóa: Bê tông, tro bay, co ngót, nứt, kiểm hãm, ring-test.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông là loại vật liệu không đồng nhất được hình thành bởi sự tương tác của các thành phần bao gồm xi măng, cốt liệu, nước và phụ gia (nếu có),... sau khi xi măng đông kết và rắn chắc. Quá trình thủy hóa xảy ra ngay khi chất kết dính tương tác với nước, sản phẩm bê tông thu được không ổn định về mặt thể tích, sự thay đổi thể tích của bê tông diễn ra ngay khi quá trình thủy hóa của chất kết dính bắt đầu. Khuynh hướng thay đổi thể tích của bê tông thường biểu hiện dưới dạng co ngót, nếu co ngót bị kiểm hãm (do cốt liệu, cốt thép và do liên kết của kết cấu,...) thì sẽ phát sinh ra ứng suất kéo và có thể dẫn đến nứt. Hiện tượng nứt sớm của bê tông sẽ làm mất tính thẩm mỹ, giảm khả năng chịu lực và độ bền, tốn chi phí sửa chữa, giảm tuổi thọ và tiềm ẩn nguy cơ phá hoại công trình. Các vết nứt thường bắt đầu xảy ra trên bề mặt theo các phương bất kỳ (đối với bê tông không cốt thép) và sẽ phát triển sâu vào bên trong kết cấu bê tông.

Các loại co ngót có thể gây nứt cho bê tông gồm: co ngót dẻo (plastic shrinkage): sự giảm thể tích khi bê tông còn ở trạng thái dẻo, do mất nước ở bề mặt bê tông. Khi lượng mất nước trên bề mặt bê tông lớn hơn $0.5 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ thì nứt do

co ngót dẻo có thể xảy ra, khi lượng mất nước tăng lên lớn hơn $1.0 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ thì hiện tượng nứt do co ngót dẻo chắc chắn xảy ra (Uno 1998); co ngót tự sinh (autogenous shrinkage): là sự giảm thể tích biểu kiến (apparent volume) của hồ xi măng trong suốt quá trình hydrat (Tazawa 1999); co ngót khô (drying shrinkage): do sự mất nước từ trong bê tông thoát ra môi trường xung quanh. Nguyên nhân chính của co ngót khô là sự mất nước từ lỗ rỗng mao dẫn tồn tại bên trong thông qua bề mặt ra môi trường có độ ẩm tương đối thấp hơn. Nước tồn tại trong các lỗ rỗng mao dẫn được gọi là nước tự do (free water) và được giữ lại trong các lỗ rỗng bằng lực mao dẫn (capillary pores), lực mao dẫn này tỷ lệ nghịch với đường kính lỗ rỗng. Theo thời gian, ứng suất kéo cục bộ sinh ra bởi lực lỗ rỗng trong cấu trúc bê tông vượt quá cường độ chịu kéo thì nứt do co ngót khô sẽ hình thành (Aitcin et al. 1997). Do vậy, sự co ngót của bê tông xảy ra bắt đầu ngay khi nó còn ở trạng thái dẻo (fresh concrete), trong suốt quá trình đông kết và kéo dài sau đó, sự co ngót này phụ thuộc vào tính chất của bê tông (cấp phối, nhiệt độ của bê tông tươi, thi công và dưỡng hộ), hình dạng kết cấu và điều kiện môi trường (nhiệt độ, độ ẩm tương đối và vận tốc gió) (Yousefieh et al. 2017).

Việc sử dụng hợp lý tro bay để thay thế cho một phần xi măng sẽ mang lại hiệu quả như:

¹ Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Đà Nẵng

góp phần bảo vệ môi trường, cải thiện tính công tác của bê tông tươi, cải thiện cường độ, giảm độ rỗng, tăng độ bền,... (Thomas 2007). Ngoài ra, trong nghiên cứu của mình, Akkaya và các cộng sự đã chỉ ra rằng việc dùng tro bay trong hỗn hợp chất kết dính với xi măng sẽ góp phần giảm co ngót nội sinh và tăng co ngót khô, nhưng không thấy sự khác biệt trong co ngót tổng thể (Akkaya et al. 2007).

Cho đến nay, đã có một số phương pháp thí nghiệm đã được đề xuất để đánh giá khả năng nứt sớm của mẫu bê tông bị kiểm hãm co ngót, các phương pháp này khác nhau chủ yếu ở hình dạng mẫu và mức độ kiểm hãm (degree of restraint): kiểm hãm một trục (restrained uniaxial), kiểm hãm dạng tấm (restrained slab), kiểm hãm dạng dầm (restrained beam), kiểm hãm dạng vòng tròn (restrained ring) và kiểm hãm dạng elíp (restrained ellipse) (Dong et al. 2019). Tuy nhiên, do việc thực hiện thí nghiệm đơn giản cũng như có thể điều chỉnh được mức độ kiểm hãm nên thiết bị thí nghiệm ring-test được sử dụng rộng rãi để kiểm soát chất lượng và đánh giá khả năng nứt do co ngót bị kiểm hãm của các cấp phối bê tông. Hiện nay, phương pháp thí nghiệm ring-test đã trở thành tiêu chuẩn của Hội giao thông và xa lộ Mỹ ASSHTO (Association of State Highway and Transportation Officials - ASSHTO PP34-99) và tiêu chuẩn ASTM C1581 / C1581M - 18^a của

Hội thí nghiệm vật liệu Mỹ ASTM (American Society for Testing and Materials - ASTM C1581, 2018). Sự khác nhau trong phương pháp thí nghiệm ring-test của ASSHTO và ASTM là ở mức độ kiểm hãm co ngót (mức độ kiểm hãm được tính bằng tỷ số giữa độ cứng của vòng tròn thép bên trong và tổng độ cứng của vòng tròn thép bên trong và vòng bê tông). Mức độ kiểm hãm ring-test của ASTM là (70÷80)%, trong khi đó ring-test của ASSHTO là (50÷60)% (See et al. 2003). Do vậy, trong cùng điều kiện thí nghiệm như nhau cho cùng một cấp phối bê tông thì thí nghiệm theo ring-test của ASTM sẽ thực hiện nhanh hơn.

2. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

2.1. Vật liệu thí nghiệm

- Xi măng (XM): loại xi măng được dùng để thí nghiệm là xi măng Pooclăng Sông Gianh PC40 có khối lượng riêng 3.09 g/cm³ và cường độ nén 28 ngày là 52 N/mm². Loại xi măng dùng trong nghiên cứu phù hợp với TCVN 2682:2009 và ISO 9001-2008.

- Tro bay (FA): dùng loại tro bay nhiệt điện lấy trực tiếp chưa tuyển có độ ẩm 2.8%, có khối lượng riêng 2.08 g/cm³ và thành phần hóa học của loại tro bay này như ở Bảng 1. Các chỉ tiêu ở Bảng 1 cho thấy loại tro bay nghiên cứu phù hợp với tro bay hoạt tính loại F dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng theo TCVN 10302:2014.

Bảng 1. Thành phần hóa học của tro bay

Thành phần	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Cl ⁻	CaO _{td}	LOI
% theo khối lượng	56.3	22.62	5.91	0.49	0.15	0.19	0.007	0.0	2.94

- Phụ gia hóa học: nhằm phát triển cường độ sớm, nghiên cứu đã sử dụng loại phụ gia siêu hóa dẻo, giảm nước bậc cao loại Lotus-301M gốc polymer thể hệ 3 phù hợp với tiêu chuẩn ASTM C494 loại G.

- Cát và đá: dùng loại cát sông tự nhiên ở mỏ cát Túy Loan – Đà Nẵng, cát có mô đun hạt 2.65, khối lượng riêng 2.64 kg/dm³ và độ ẩm 3.6%; đá dùng để thí nghiệm là loại đá 1x2 lấy tại mỏ đá Hòa Nhơn – Đà Nẵng, chỉ lấy phần đá lọt qua sàng 12.5 mm (nhằm phù hợp với thí

thí nghiệm ring-test ASTM C1581, 2018), đá thí nghiệm có khối lượng riêng 2.66 kg/dm³, độ hút nước 0.32% và độ ẩm 0.3%.

- Nước dùng để trộn và bảo dưỡng bê tông thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo Tiêu chuẩn TCVN 4506:2012.

2.2. Cấp phối mẫu thí nghiệm

Cấp phối bê tông đối chứng (ký hiệu: Ref) được thiết kế thành phần sao cho cường độ ở 28 ngày đạt khoảng 60MPa và độ sụt của bê tông tươi ban đầu (17 ± 1) cm. Kết quả nghiên cứu

của Marceau (Marceau et al. 2002) và (Thomas 2007) cho thấy: lượng sử dụng tro bay cho bê tông thay đổi trong phạm vi rộng tùy thuộc vào tính chất của tro bay và loại bê tông. Theo tỷ lệ sử dụng tro bay (theo khối lượng) trong hỗn hợp chất kết dính được chia làm bốn mức: mức thấp khi tỷ lệ sử dụng tro bay nhỏ hơn 15%, mức trung bình là từ 15% đến 30%, mức cao từ 30% đến 50% và khi tỷ lệ lớn hơn 50% được xếp vào mức rất cao. Trong phạm vi bài báo này, tác giả

ngiên cứu ảnh hưởng của tro bay loại F ở mức thay thế trung bình đến khả năng nứt của bê tông ở tuổi sớm, nên chọn thí nghiệm trên hai cấp phối sử dụng tro bay để thay thế 15% và 25% xi măng (ký hiệu tương ứng là: FA15 và FA25), đối với hai cấp phối FA15 và FA25 vẫn giữ tỷ lệ N/CKD giống như cấp phối Ref và dùng phụ gia Lotus-301M để điều chỉnh đạt độ sụt (17 ± 1) cm. Thành phần vật liệu các cấp phối được thể hiện như ở Bảng 2.

Bảng 2. Cấp phối bê tông thí nghiệm

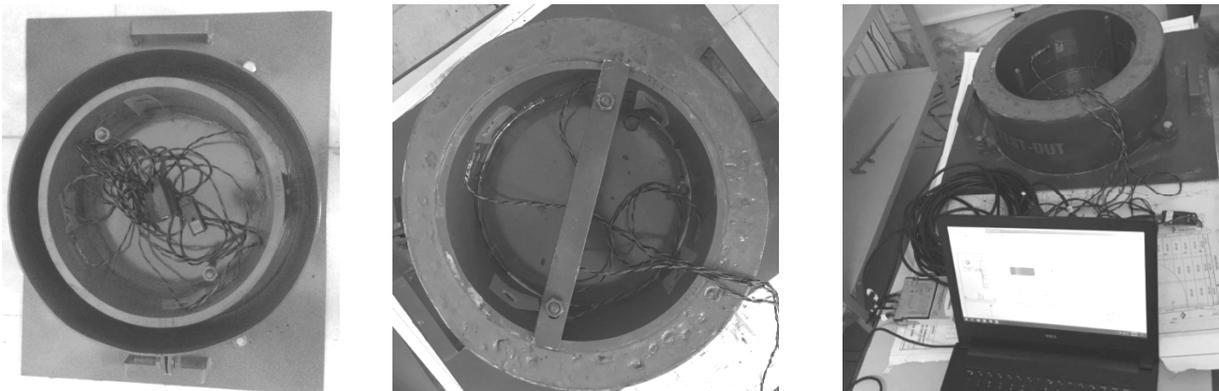
Cấp phối	Thành phần (kg)						
	Xi măng	Tro bay	Cát	Đá	Nước	Lotus-301M	N/CKD
Ref(0 % FA)	470	0	770	1065	162	5.17	0.34
FA15 (15% FA)	399.5	70.5	746	1065	162	4.70	0.34
FA25 (25% FA)	352.5	117.5	730	1065	162	4.23	0.34

2.3 Thiết bị và quy trình thí nghiệm

Thiết bị thí nghiệm ring-test tại phòng thí nghiệm Công trình thủy - Trường Đại học Bách khoa Đà Nẵng (Hình 1). Thiết bị này phù hợp với Tiêu chuẩn ASTM C1581- 2018, bộ thiết bị ring-test gồm: hai vành tròn đồng tâm bằng thép có chiều cao 152 mm (vòng trong có đường kính ngoài 330 mm, dày 12.5 mm, độ nhẵn mặt trong và mặt ngoài đạt $1.6 \mu\text{m}$, vòng tròn ngoài có đường kính trong 406 mm, chiều dày 3 mm); hai vành tròn thép được đặt trên tấm đáy thép phẳng dày 3 mm phủ sơn epoxy nhờ các chốt định vị; bốn cảm

biến (CB1, CB2, CB3 và CB4) loại SGT-2DD/350-SY11 OMEGA[®] được gắn vào mặt trong của vòng tròn thép trong ở vị trí giữa chiều cao cách đều nhau theo đường kính để ghi nhận biến dạng của vòng tròn thép bên trong (đo co ngót của vòng bê tông xung quanh) qua mô đun NI9237 và kết nối với máy tính thông qua cổng NI USB9162. Số liệu thí nghiệm được thu nhận một cách tự động và liên tục qua chương trình được lập trình trên nền ngôn ngữ LabVIEW.

Thí nghiệm được thực hiện trong phòng ở nhiệt độ (27 ± 2)⁰C, độ ẩm ($75 \div 80$)%.



Hình 1. Thiết bị thí nghiệm ring-test

Quy trình đổ bê tông vào giữa hai vòng thép để đo quá trình biến dạng và thời điểm nứt được thực

hiện theo ASTM C1581 - 2018: mỗi cấp phối thực hiện ba mẫu đo; việc đổ mẫu bê tông được thực

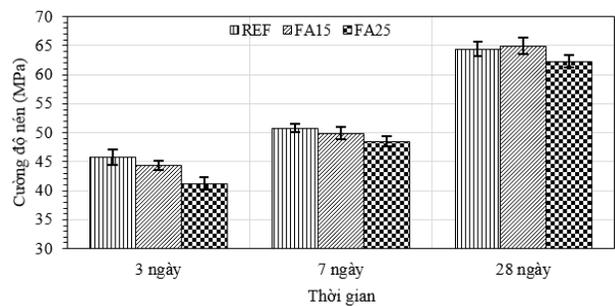
hiện trên bàn rung (phù hợp Tiêu chuẩn TCVN 3015:1993), mẫu được đổ thành hai lớp có chiều cao tương đương nhau, mỗi lớp đổ được đầm 75 lần xung quanh bằng thanh sắt tròn tron đường kính 10mm và tiến hành rung sau mỗi lớp đổ.

Quá trình đo biến dạng được thực hiện trong vòng 10 phút sau khi công việc đổ mẫu thực hiện xong, sau 24 giờ thì vòng tròn ngoài được tháo dỡ. Tần suất lấy kết quả biến dạng là 30 phút và đo đến khi nào vòng bê tông bị nứt thể hiện trên bề mặt mẫu và đi cùng sự giảm đột ngột giá trị biến dạng của vòng tròn thép mà cảm biến ghi nhận được (ASTM C1581, 2018).

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ NHẬN XÉT

Kết quả thí nghiệm cường độ nén của ba cấp phối nghiên cứu (Ref, FA15 và FA25) tại các thời điểm 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày được trình bày như ở Hình 2. Kết quả cho thấy: ở thời điểm 3 ngày thể hiện sự giảm cường độ khi thay một phần xi măng bằng tro bay (thay xi măng bằng 15%FA và 25%FA), kết quả này hợp lý và được giải thích là do lượng xi măng của cấp phối FA15 và FA25 giảm so với mẫu đối chứng Ref. Tuy nhiên sự suy giảm cường độ không lớn, cụ thể cường độ nén chỉ giảm 3.2% và 4.5% tương ứng đối với mẫu FA15 và FA25, điều này có thể giải thích là do phụ gia siêu hóa dẻo giảm nước

bậc cao Lotus-301M và tro bay góp phần phát triển cường độ sớm bù cho phần xi măng bị suy giảm. Theo thời gian, cường độ nén tiếp tục phát triển, ở thời điểm 28 ngày thì cường độ nén của FA15 đã vượt 0.8% so với Ref, điều này có được là do hiệu quả puzolaníc (pozzolanic effect) và hiệu quả lấp đầy (filler effect) của tro bay góp phần phát triển cường độ của bê tông. Tuy nhiên, cường độ nén của FA25 ở thời điểm 28 ngày vẫn còn thấp hơn 2.1% so với Ref, kết quả này là do hiệu quả puzolaníc và lấp đầy của tro bay trong phát triển cường độ không bù đắp đủ sự giảm cường độ do lượng xi măng giảm. Kết quả cường độ nén ở 28 ngày tương ứng của các cấp phối Ref, FA15 và FA25 tương ứng là 64.4 MPa, 64.96 MPa và 62.3 MPa.



Hình 2. Kết quả phát triển cường độ theo thời gian của mẫu đối chứng và mẫu chứa tro bay

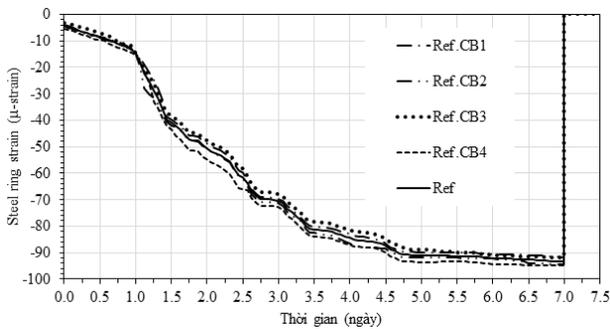


Hình 3. Vết nứt trên mẫu bê tông

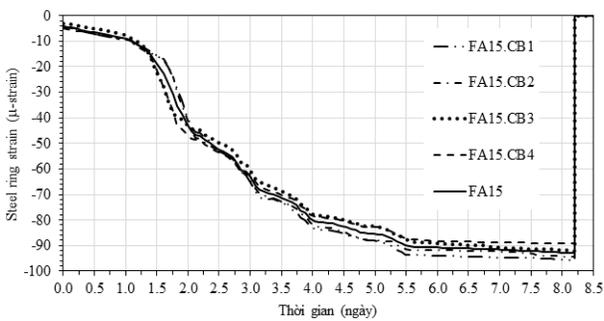
Biến dạng nén phát triển trong vòng tròn thép gây ra do co ngót của vòng bê tông bên ngoài sẽ được ghi nhận bằng bốn cảm biến (CB1 ÷ CB4). Kết quả thí nghiệm quá trình co ngót và thời điểm nứt bằng thiết bị ring-test cho ba cấp phối nghiên cứu Ref, FA15 và FA25 tương ứng được biểu thị như ở Hình 4a, 3b và 3c. Kết quả trên

các hình này gồm quá trình phát triển biến dạng tại bốn cảm biến (ví dụ ký hiệu cho cấp phối Ref là Ref.CB1, Ref.CB2, Ref.CB3 và Ref.CB4) và giá trị biến dạng trung bình của bốn cảm biến (ví dụ ký hiệu cho cấp phối Ref là Ref). Kết quả của cả ba cấp phối cho thấy biến dạng nén ghi nhận được ở các cảm biến càng

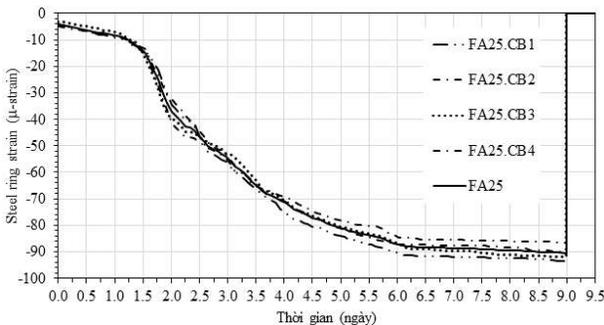
tăng và đến một thời điểm nào đó (tùy theo cấp phối) thì biến dạng được giải phóng hoàn toàn (giá trị biến dạng giảm đột ngột về trị số ≈ 0), đây được xác định là thời điểm nứt của bê tông theo ASTM C1581 - 2018. Kết quả này là do theo thời gian co ngót của bê tông càng tăng (trong điều kiện thí nghiệm này chủ yếu là co ngót hóa học và co ngót khô), co ngót của bê tông sẽ gây ra biến dạng nén lên vòng tròn thép, cũng chính vòng tròn thép đã ngăn cản (kiềm hãm) sự biến dạng nên đã sinh ra ứng suất kéo trong vòng bê tông và khi ứng suất này vượt quá cường độ chịu kéo cho phép của bê tông thì vết nứt sẽ xuất hiện (thể hiện như ở Hình 4).



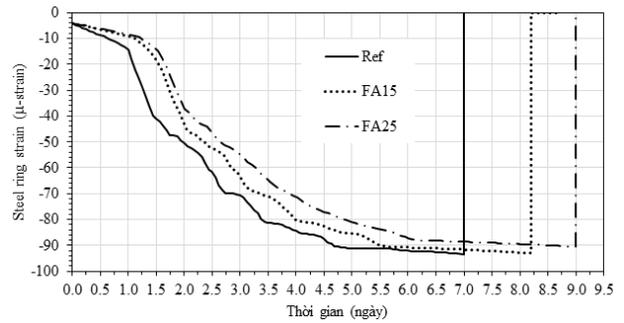
a. Kết quả phát triển biến dạng trên bốn cảm biến cho mẫu đối chứng (Ref)



b. Kết quả phát triển biến dạng trên bốn cảm biến cho mẫu chứa 15% tro bay (FA15)



c. Kết quả phát triển biến dạng trên bốn cảm biến cho mẫu chứa 25% tro bay (FA25)



d. So sánh triển biến dạng của mẫu đối chứng (Ref) và mẫu chứa tro bay (FA15 và FA25)

Hình 4. Kết quả phát triển biến dạng của mẫu bê tông Ref, FA15 và FA25

Kết quả ở Hình 4d cho thấy: khi thay thế 15% và 25% tro bay cho xi măng đã góp phần kéo dài thời điểm bắt đầu nứt hay cải thiện khả năng chống nứt của bê tông. Cụ thể, thời điểm nứt mẫu ghi nhận được của các cấp phối Ref, FA15 và FA25 tương ứng là 6.98 ngày, 8.19 ngày và 8.96 ngày. Về giá trị biến dạng nén tại thời điểm nứt giữa cấp phối FA15 và Ref gần như không có sự khác biệt (chỉ 0.4%), trong khi đó biến dạng nén của FA25 giảm 4.1% so với mẫu đối chứng Ref. Để giải thích cho kết quả này, có thể viện dẫn một số kết quả nghiên cứu đã công bố: theo See và cộng sự (See et al. 2003) thì các yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến khả năng nứt của bê tông trong điều kiện kiềm hãm gồm: tốc độ phát triển ứng suất kéo và cường độ chịu kéo, khả năng co ngót và mức độ giải phóng ứng suất kéo; còn theo Altoubat và cộng sự (Altoubat et al. 2016) thì tốc độ giải phóng ứng suất đóng một vài trò quan trọng trong xác định khả năng gây nứt của bê tông. Kết quả ở Hình 4 cho thấy: ở thời điểm 7 ngày (gần thời điểm nứt của các cấp phối nghiên cứu), cường độ nén của mẫu FA15 và FA25 thấp hơn so với Ref tương ứng chỉ 1.7% và 2.1%, do vậy mức độ kiềm hãm (degree of restraint) của nó cũng chỉ lớn hơn một ít so với mẫu Ref nên tốc độ phát triển ứng suất kéo trong vòng bê tông của mẫu FA25 và FA15 lớn hơn không đáng kể so với mẫu Ref. Trong khi đó, kết quả nghiên cứu của Altoubat và cộng sự (Altoubat et al. 2017) chỉ ra rằng việc thay thế một phần tro bay cho xi măng sẽ giảm co ngót tự

do (unstrained shrinkage) và tăng tính đàn hồi (tăng khả năng giải phóng ứng suất kéo) của bê tông, hiệu ứng tích cực này sẽ tăng lên nếu thời gian dưỡng ẩm cho mẫu được kéo dài. Điều này sẽ cải thiện khả năng chống nứt hay trì hoãn thời điểm nứt cho bê tông FA15 và FA25 so với Ref.

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả nghiên cứu thực nghiệm xem xét hiệu quả của tro bay đối với quá trình phát sinh ứng suất và khả năng nứt của bê tông trong điều kiện bị kiểm hãm bằng thiết bị ring-test phù hợp tiêu chuẩn ASTM C1581, kết hợp với kết quả thí nghiệm cường độ nén của bê tông ở tuổi 28 ngày có thể đưa ra một số kết luận như sau:

- Sự thay thế một phần xi măng bằng tro bay sẽ ảnh hưởng đến sự phát triển cường độ của bê tông, đặc biệt khi tỷ lệ thay thế càng lớn sẽ làm chậm phát triển cường độ ở giai đoạn đầu. Do vậy, việc dùng phụ gia siêu hóa dẻo giảm nước

bậc cao gốc polymer thế hệ 3 (Lotus-301M hoặc loại phụ gia khác tương đương) được xem là giải pháp để phát triển cường độ sớm cho bê tông. Ngoài ra, do hiệu quả giảm nước bậc cao của loại phụ gia này sẽ góp phần giảm co ngót khô, do vậy góp phần giảm khả năng gây nứt của bê tông;

- Thay thế một phần xi măng bằng tro bay (với cấp phối bê tông nghiên cứu) sẽ góp phần cải thiện khả năng chống nứt cho bê tông, cụ thể kéo dài thời điểm nứt của bê tông 17.3% và 28.4% tương ứng khi 15% và 25% xi măng bằng tro bay;

- Kết quả của nghiên cứu này phù hợp áp dụng cho các cấu kiện bê tông có mức độ kiểm hãm tương đương (mức độ kiểm hãm 70% ÷ 80%), trong trường hợp cấu kiện bê tông có mức độ kiểm hãm thấp hơn thì nên thí nghiệm trên thiết bị ring-test phù hợp với tiêu chuẩn AASHTO PP34.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- TCVN 10302:2014. *Phụ Gia Hoạt Tính Tro Bay Dùng Cho Bê Tông, Vữa Xây và Xi Măng*. Bộ Khoa học và Công nghệ.
- TCVN 3015:1993. *Hỗn Hợp Bê Tông Nặng và Bê Tông Nhẹ - Lấy Mẫu, Chế Tạo và Bảo Dưỡng Mẫu Thử*.
- TCVN 2682:2009. *Xi măng Poóc lăng - Yêu cầu kỹ thuật*. Bộ Khoa học và Công nghệ.
- Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, 2012. *TCVN 4506/: 2012 Nước Cho Bê Tông và Vữa - Yêu Cầu Kỹ Thuật*. Bộ Khoa học và Công nghệ.
- Aitcin, Pierre - Claude, Adam Neville, and Paul Acker, 1997. "Integrated View of Shrinkage Deformation." *Concrete International* 19(9):35–41.
- Akkaya, Yilmaz, Chengsheng Ouyang, and Surendra P. Shah, 2007. "Effect of Supplementary Cementitious Materials on Shrinkage and Crack Development in Concrete." *Cement and Concrete Composites* 29(2):117–23.
- Altoubat, Salah, Deena Badran, M.Talha Junaid, and Moussa Leblouba, 2016. "Restrained Shrinkage Behavior of Self-Compacting Concrete Containing Ground-Granulated Blast-Furnace Slag." *Construction and Building Materials* 129:98–105.
- Altoubat, Salah, M.Talha Junaid, Moussa Leblouba, and Deena Badran, 2017. "Effectiveness of Fly Ash on the Restrained Shrinkage Cracking Resistance of Self-Compacting Concrete." *Cement and Concrete Composites* 79:9–20.
- ASTM C494:2011. "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete." *Annual Book of ASTM Standards*.
- ASTM C1581:2018. "Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage". ASTM Inter. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.

- ASSHTO PP34-99. "Standard Practice for Estimating the Cracking Tendency of Concrete." AASTHO Designation: PP34-99.
- Dong, Wei, Wenyan Yuan, Xiangming Zhou, and Xiaoyu Zhao, 2019. "Influence of Specimen Geometries and Drying Conditions on Concrete Cracking in Restrained Elliptical Ring Tests." Construction and Building Materials 207:273–83.
- Marceau, M. L., J. Gajda, and M. G. VanGeem, 2002. "Use of Fly Ash in Concrete: Normal and High Volume Ranges." PCA R&D Serial (2604).
- See, Heather T., Emmanuel K. Attiogbe, and Matthew A. Miltenberger, 2003. "Shrinkage Cracking Characteristics of Concrete Using Ring Specimens." Materials Journal 100(3):239–45.
- Tazawa, Ei-ichi, 1999. Autogenous Shrinkage of Concrete. CRC Press.
- Thomas, M. D. A, 2007. *Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete*. Vol. 5420. Portland Cement Association Skokie, IL.
- Uno, Paul J, 1998. "Plastic Shrinkage Cracking and Evaporation Formulas." ACI Materials Journal 95:365–75.
- Yousefieh, Negin, Alireza Joshaghani, Erfan Hajibandeh, and Mohammad Shekarchi, 2017. "Influence of Fibers on Drying Shrinkage in Restrained Concrete." Construction and Building Materials 148:833–45.

Abstract:

INFLUENCE OF FLY ASH ON RESTRAINED CRACKING POTENTIAL OF CONCRETE

Premature cracking of concrete is a one of primary cause of loss of issues such as lossing of aesthetics, reducing in bearing capacity and durability, costing of repair, declining service life and increasing in potential risks. The premature cracking is a complex phenomenon and depended on a number of factors: concrete components, construction works, environmental conditions, structural properties and other factors. This paper will study the restrained shrinkage behavior with the ring test method and effectiveness of fly ash (replace cement by 15% and 25% fly ash) on cracking resistance of concrete. The results revealed that the addition of fly ash improves the premature cracking resistance in restrained concrete.

Keywords: concrete, fly ash, shrinkage, cracking, restraint, ring-test.

Ngày nhận bài: 25/3/2019

Ngày chấp nhận đăng: 15/5/2019