



EFFECT OF NANO SILICA ON THE DEVELOPMENT OF SOME MECHANICAL PROPERTIES AT EARLY AGE OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE

Chien Thai Khac

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 19/01/2022

Revised: 01/03/2022

Accepted: 17/03/2022

Published online: 15/04/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.3.3>

* *Corresponding author*

Email: khacchien.thai@utc.edu.vn; Tel: +84969417119

Abstract. Nano silica is used in concrete to improve the mechanical properties and durability of normal concrete as well as high performance concrete. The paper presents the results of experimental research on the effect of nano silica on the evolution of compressive strength, splitting tensile strength and modulus of elasticity at the age of 1, 3 and 7 days of high-performance concrete with specific compressive strength is 70 MPa. The selected nano silica content is 1.2%; 2.0% and 2.8% to replace cement in the control mix. The effect of nano silica at the early age of concrete was evaluated through two criteria: The first one is the early age mechanical property value of the nano-containing samples compared with the non-nano-containing sample, and the second factor is the early age mechanical property value compared with the 28-day age value. Research results show that nano silica significantly improves the first criterion but insignificantly improves the second criterion. The most obvious improvement corresponding to nano silica content was 2% compared with the control sample at 1 day and 3 days of splitting tensile strength, of compressive strength and of elastic modulus.

Keywords: High performance concrete; nano silica; mechanical properties, early age.



ẢNH HƯỞNG CỦA NANO SILIC ĐẾN DIỄN BIẾN MỘT SỐ TÍNH CHẤT CƠ HỌC Ở TUỔI SỚM CỦA BÊ TÔNG TÍNH NĂNG CAO

Thái Khắc Chiến

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 19/01/2022

Ngày nhận bài sửa: 01/03/2022

Ngày chấp nhận đăng: 17/03/2022

Ngày xuất bản Online: 15/04/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.3.3>

* Tác giả liên hệ

Email: khacchien.thai@utc.edu.vn; Tel: +84969417119

Tóm tắt. Nano silic được sử dụng trong bê tông nhằm cải thiện đặc trưng cơ lý và độ bền của bê tông thường cũng như bê tông tính năng cao. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của nano silic đến diễn biến cường độ chịu nén, cường độ chịu ép chẻ và mô đun đàn tại tuổi 1, 3 và 7 ngày tuổi của bê tông tính năng cao có cường độ nén đặc trưng là 70MPa. Hàm lượng nano silic được lựa chọn là 1,2%; 2,0% và 2,8% nhằm thay thế xi măng trong cấp phối đối chứng. Tác dụng của nano silic ở tuổi sớm của nano silic được đánh giá thông qua hai tiêu chí: một là giá trị đặc tính cơ học ở tuổi sớm của mẫu có chứa nano so với mẫu không chứa nano và hai là giá trị đặc tính cơ học ở tuổi sớm so với giá trị ở tuổi 28 ngày. Kết quả nghiên cứu cho thấy nano silic cải thiện đáng kể tiêu chí thứ nhất nhưng cải thiện không đáng kể tiêu chí thứ hai. Mức độ cải thiện rõ nhất ứng với hàm lượng nano silic là 2% so với mẫu đối chứng tại 1 ngày và 3 ngày của của cường độ ép chẻ, cường độ nén và mô đun đàn hồi.

Từ khóa: Bê tông tính năng cao; nano silic; tính chất cơ học, tuổi sớm.

© 2022 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các loại bê tông tính năng cao ngày càng sử dụng phổ biến trên thế giới nói chung và tại Việt Nam nói riêng. Việc đưa vào sử dụng các loại bê tông có độ bền cao nhằm mục tiêu kéo dài tuổi thọ cho công trình nhằm mục tiêu phát triển bền vững. Nano silic là vật liệu mới có kích thước nano mét có tác dụng chèn vào các lỗ rỗng vi cấu trúc làm tăng độ đặc, tăng khả năng chống thấm ngoài ra nó cùng với muôi silic còn có tác dụng kích thích và tạo ra quá trình pouzzolan hóa bằng cách phản ứng với $\text{Ca}(\text{OH})_2$ để tạo ra CSH làm tăng cường độ và độ

bền cho bê tông [1,2]. Nano silic có kích thước rất nhỏ, tỷ diện tích bề mặt lớn nên khi nhào trộn sẽ hấp thụ và làm giảm lượng nước tự do vì thế nó không chỉ làm thay đổi đặc tính của bê tông khi đông cứng mà còn làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông tươi [3]. Nghiên cứu này nhằm xác định diễn biến cường độ chịu nén, cường độ chịu ép chẻ và mô đun đàn hồi ở 1, 3, 7 ngày và so sánh với giá trị tại thời điểm 28 ngày để xem tốc độ phát triển của chúng. Các giá trị phần trăm tại tuổi sớm so với giá trị tại 28 ngày tuổi sẽ cho biết hiệu quả tăng tốc độ phát triển của nano silic theo thời gian. Các giá trị đo của các mẫu chứa nano silic sẽ được dùng để so sánh với kết quả đo của các mẫu đối chứng không chứa nano silic để tìm hiểu ảnh hưởng của các hàm lượng nano silic khác nhau. Bê tông tính năng cao sử dụng hàm lượng chất kết dính lớn nên phải sử dụng phụ gia siêu dẻo giảm nước cao cấp để cải thiện tính công tác mà phụ gia này lại có thể kéo dài thời gian đông kết và ảnh hưởng đến sự phát triển cường độ sớm nên trong nghiên cứu này đã cố định hàm lượng phụ gia siêu dẻo của tất cả các mẫu thí nghiệm. Các thí nghiệm được tiến hành tại Phòng thí nghiệm Vật liệu xây dựng trường Đại học Giao thông vận tải.

2. THÍ NGHIỆM

2.1. Vật liệu

a. *Xi măng*. Xi măng Poóc lăng Bút Sơn PC40, có các chỉ tiêu kỹ thuật thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 2682:2009 [4]. Cường độ nén của các loại xi măng này được xác định theo tiêu chuẩn của TCVN 6016:2011 [5]. Giá trị thí nghiệm thực tế đạt cường độ nén 46,2 MPa.

b. *Phụ gia khoáng*. Muội silic (silica fume SF) sử dụng trong đề tài là Sikacrete PP1 của hãng Sika có thành phần là đioxit silic, kích thước hạt < 0,1 μ m và khối lượng riêng là 2,2 g/cm³. Muội silic được sử dụng trong các mẫu thí nghiệm với hàm lượng cố định là 8% khối lượng xi măng. Nano silic được điều chế trong nước có nguồn gốc từ tro trấu có màu trắng rất mịn, hàm lượng SiO₂ trên 99%; pH~7; độ ẩm nhỏ hơn 0,5%, kích thước hạt 5nm-80nm [6].

c. *Phụ gia hóa học*. Phụ gia hóa học được sử dụng là loại phụ gia siêu dẻo thương hiệu Sika Viscocrete 3000-20M có gốc Polycarboxylate cải tiến có khả năng giảm nước cao, khối lượng riêng 1,06 g/cm³.

d. *Cốt liệu*. Cốt liệu thô được sử dụng trong thí nghiệm là loại đá bazan từ mỏ Sunway Hòa Bình có đường kính lớn nhất đạt 9,5mm. Cát sử dụng là loại cát tự nhiên Sông Đà, kích thước hạt lớn với mô đun Mk=2,8. Cốt liệu được rửa sạch, phơi khô trước khi đổ bê tông và có cấp phối thỏa mãn ASTM C33 [7].

2.2. Hỗn hợp thí nghiệm

Nhóm nghiên cứu sử dụng phương pháp tính toán thành phần bê tông cường độ cao theo ACI 211-4R-08 [8] kết hợp với điều chỉnh bằng thực nghiệm. Sau khi tính toán sơ bộ thành phần thì lượng nước và phụ gia siêu dẻo được điều chỉnh sao cho độ sụt của mẫu đối chứng (0% nano silic) là 12±2cm. Thành phần cấp phối bê tông được cho trong Bảng 1. Các cấp phối có sử dụng nano silic được giữ nguyên phụ gia siêu dẻo, hàm lượng nano silic được dùng với tỷ lệ 1,2%; 2,0%; 2,8% thay thế cho xi măng.

Vì hàm lượng nano silic rất thấp và nó có kích thước nhỏ nên khi trộn sẽ khó khăn để phân tán đều trong bê tông và tránh nano bị vón tụ thì cần sử dụng máy trộn cường bức có vận tốc cao (tối thiểu 45 – 50 vòng/phút) và thời gian trộn lớn hơn so với bê tông truyền thống. Trong nghiên cứu này tác giả đã thử nghiệm và lựa chọn quy trình trộn như sau: Đầu tiên trộn đá, cát, muội silic trộn khô trong 3 phút sau đó dùng máy khuấy tốc độ cao phân tán nano silic

vào 60% lượng nước và đổ vào trộn trong 2 phút, tiếp tục hòa 40% nước còn lại với phụ gia siêu dẻo và đổ vào trộn tiếp 3 phút, nghỉ 1 phút rồi trộn tiếp 2 phút. Sau khi trộn xong các cấp phối được đo độ sụt rồi đem đúc mẫu. Kết quả thí nghiệm đo độ sụt được cho trong Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần cấp phối bê tông.

Cấp phối	X (kg)	SF (kg)	Nano (kg)	Nước (kg)	Cát (kg)	Đá (kg)	SD (kg)	Độ sụt (cm)
ONS	567	49,3	0	160	585	1047	7,40	12,6
1,2NS	560	49,3	6,8	160	583	1047	7,40	9,3
2,0NS	556	49,3	11,3	160	581	1047	7,40	8,4
2,8NS	551	49,3	15,9	160	580	1047	7,40	7,8

Các mẫu thí nghiệm nén và mô đun đàn hồi được thí nghiệm trên mẫu trụ tròn 150x300mm theo tiêu chuẩn ASTM C39 [9] và ASTM C469 [10]. Các mẫu thử được tháo khuôn sau 24h và được bảo dưỡng ở điều kiện nhiệt độ 23°C, độ ẩm tương đối >95% cho đến ngày thí nghiệm. Mẫu sau khi trộn xong được tiến hành đo độ sụt. Trước khi thí nghiệm nén 30 phút các mẫu được lau khô bề mặt và đem capping bề mặt bằng thạch cao để tạo phẳng. Các kết quả đo cường độ nén, cường độ ép chẻ và mô đun đàn hồi được trình bày ở mục 3.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tính công tác

Độ sụt của các cấp phối giảm dần khi tăng hàm lượng nano silic. Độ sụt giảm từ 12,6 cm xuống còn 7,8cm tương ứng với mức giảm 38,1% khi hàm lượng nano sử dụng từ 0% đến 3%. Điều này được giải thích bởi kích thước hạt của nano silic bé hơn hạt xi măng nên khi thay thế xi măng thì tổng diện tích bề mặt tăng, lượng nước tự do bị hấp thụ trên bề mặt các hạt nano nhiều hơn làm giảm lượng nước bôi trơn bề mặt các hạt rắn nên làm tăng nội ma sát giữa các hạt và từ đó làm giảm tính công tác của bê tông. Các tác giả khác khi sử dụng nano silic trong bê tông cũng thu được kết quả tương tự, độ sụt của bê tông có sử dụng nano silic đều giảm so với mẫu đối chứng như trong các bài báo [11-13].

3.2. Cường độ nén

Cường độ chịu nén được xác định tại 1, 3, 7, 28 ngày tuổi. Kết quả thí nghiệm cường độ nén trung bình tại các ngày tuổi khác nhau của các mẫu bê tông được cho trong Bảng 2. Cường độ chịu nén của các mẫu tăng dần theo thời gian, mức tăng mạnh nhất tại 1 ngày và 3 ngày cho cả mẫu có và không có nano silic. Cấp phối đối chứng mặc dù không chứa nano silic nhưng do cũng chứa 8% muối silic kết hợp với hàm lượng xi măng cao và tỷ lệ N/CKD thấp nên tỷ số cường độ nén trung bình ở tuổi sớm so với cường độ nén trung bình tại tuổi 28 R_i^{TB}/R_{28}^{TB} cao dẫn tới sự chênh lệch của nó với cấp phối có nano là thấp. Cụ thể tỷ số R_i^{TB}/R_{28}^{TB} tại tuổi 1 ngày không có sự khác biệt nhiều giữa các mẫu đối chứng (17,54%) và trung bình các mẫu có nano silic (18,06%) ứng với mức chênh 0,52%. Tại tuổi 3 ngày thì tỷ lệ này tăng lên là 65,47% và 68,41% tương ứng với mức chênh khoảng 3%. Sự khác biệt lại giảm xuống tại 7 ngày tuổi ứng với mức chênh 1,9%. Có thể nói rằng với hàm lượng 1,2% -

2,8% nano silic không làm tăng nhiều tỷ số cường độ ở tuổi sớm với cường độ tuổi 28 của bê tông tính năng cao.

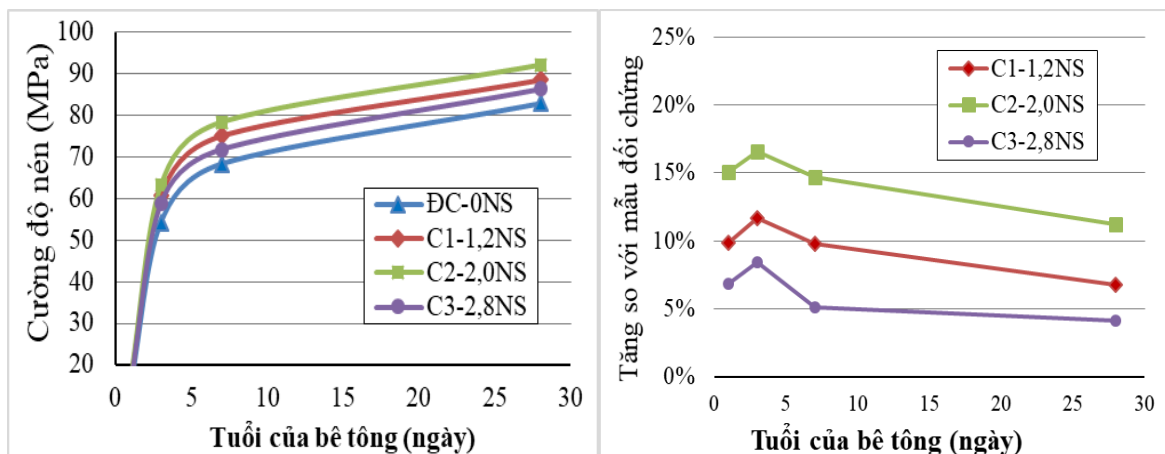
Bảng 2. Cường độ chịu nén trung bình tại các ngày tuổi.

Cấp phối	R_{n1}^{TB} (MPa)	R_{n1}^{TB}/R_{n28}^{TB} (%)	R_{n3}^{TB} (MPa)	R_3^{TB}/R_{n28}^{TB} (%)	R_{n7}^{TB} (MPa)	R_{n7}^{TB}/R_{n28}^{TB} (%)	R_{n28}^{TB} (MPa)	$R_{n28}^{TB}/R_{n28}^{TB}$ (%)
ĐC-0NS	14,54	17,54%	54,29	65,47%	68,39	82,48%	82,92	100%
C1-1,2NS	15,98	18,05%	60,63	68,47%	75,09	84,80%	88,55	100%
C2-2,0NS	16,74	18,15%	63,27	68,61%	78,45	85,06%	92,22	100%
C3-2,8NS	15,54	17,99%	58,85	68,14%	71,87	83,21%	86,38	100%
R_n^{TB} C1-C3	16,08	18,06%	60,92	68,41%	75,14	84,36%	89,05	100%

Vai trò nổi bật của nano chỉ thấy khi ta so sánh giá trị cường độ nén ở cùng ngày tuổi của các mẫu có chứa nano silic và các mẫu đối chứng. Trong Bảng 3 thì giá trị ΔR_{ni}^{TB} là chênh lệch cường độ tính theo % giữa cường độ nén của các mẫu có chứa nano silic và mẫu đối chứng ở cùng ngày tuổi thí nghiệm. ΔR_{ni}^{TB} C1-C3 giá trị trung bình của các mẫu có sử dụng nano ở tuổi (i) ngày. Sự khác biệt lớn nhất ứng với hàm lượng nano silic là 2 % tại thời điểm 3 ngày là 16,54% tiếp theo là tại 1 ngày và 7 ngày với mức tăng lần lượt là 15,08% và 14,7%. Ở tuổi 28 thì mức tăng nhỏ nhất ứng với cả ba hàm lượng nano silic. Ảnh hưởng của hàm lượng nano 1,2% cao hơn so với hàm lượng nano là 2,8%. Giá trị cải thiện lớn nhất ứng với hàm lượng 1,2% và 2,0% tại thời điểm 3 ngày lần lượt là 11,7% và 8,4%. Mức ảnh hưởng trung bình của cả ba hàm lượng nano silic tại thời điểm 3 ngày lớn nhất và đạt giá trị là 12,2% còn tại thời điểm 28 ngày là nhỏ nhất và giá trị là 7,39%. Kết quả được biểu diễn như trên Hình 1 và Hình 2. Gopinath và cộng sự [14] cũng có kết quả tương tự khi kết luận nano silic làm tăng cường độ ở tuổi sớm của bê tông. Tuy nhiên tác giả Justin và cộng sự [15] đưa ra kết quả thí nghiệm vi mô SEM cho thấy hàm lượng nano silic tăng làm tăng sự hình thành CSH nhưng kết cường độ nén cũng tăng nhưng không tăng tỷ lệ với sự hình thành CSH trong giai đoạn thủy hóa xi măng.

Bảng 3. Mức tăng cường độ nén so với mẫu đối chứng tại các ngày tuổi.

Cấp phối	ΔR_{ni}^{TB} , %			
	1 ngày	3 ngày	7 ngày	28 ngày
C1-1,2NS	9,9%	11,7%	9,8%	6,8%
C2-2,0NS	15,08%	16,54%	14,7%	11,2%
C3-2,8NS	6,8%	8,4%	5,1%	4,2%
ΔR_{ni}^{TB} C1-C3	10,59%	12,20%	9,86%	7,39%



Hình 1. Cường độ nén theo thời gian.

Hình 2. Mức tăng cường độ nén theo thời gian.

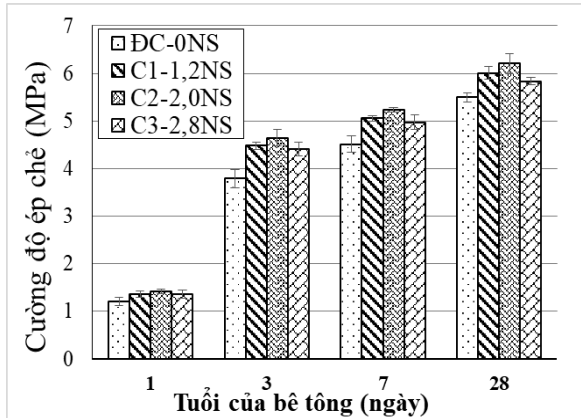
3.3. Cường độ ép chẻ

Bảng 4. Cường độ chịu ép chẻ trung bình tại các ngày tuổi.

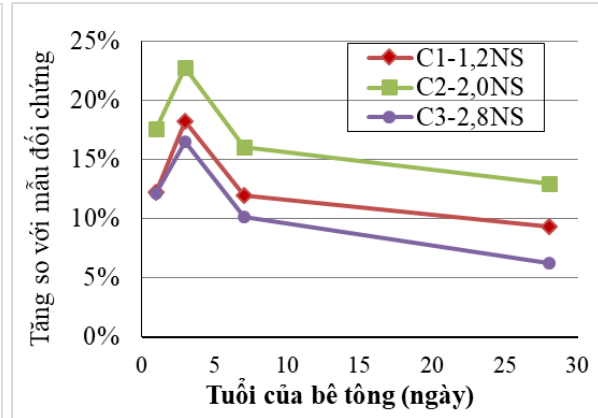
Cấp phối	R_{ec1}^{TB}	$R_{ec1}^{TB}/R_{ec28}^{TB}$	R_{ec3}^{TB}	$R_{ec3}^{TB}/R_{ec28}^{TB}$	R_{ec7}^{TB}	$R_{ec7}^{TB}/R_{ec28}^{TB}$	R_{ec28}^{TB}	$R_{ec28}^{TB}/R_{ec28}^{TB}$
	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)
ĐC-0NS	1,21	22,0%	3,79	68,9%	4,52	82,1%	5,50	100%
C1-1,2NS	1,36	22,6%	4,48	74,5%	5,06	84,1%	6,01	100%
C2-2,0NS	1,42	22,9%	4,65	74,9%	5,24	84,4%	6,21	100%
C3-2,8NS	1,36	23,2%	4,41	75,6%	4,97	85,2%	5,84	100%
$R_{ec}^{TB} C1-C3$	1,38	22,9%	4,51	75,0%	5,09	84,6%	6,02	100%

Bảng 5. Mức tăng cường độ ép chẻ so với mẫu đối chứng tại các ngày tuổi.

Cấp phối	$\square R_{eci}^{TB}/R_{eci}^{TB-ĐC}, \%$			
	1 ngày	3 ngày	7 ngày	28 ngày
C1-1,2NS	12,22%	18,24%	11,99%	9,3%
C2-2,0NS	17,58%	22,76%	16,02%	12,93%
C3-2,8NS	12,12%	16,52%	10,14%	6,20%
$\square R_{ec}^{TB} C1-C3$	13,97%	19,17%	12,72%	9,48%



Hình 3. Cường độ ép chẻ theo thời gian.



Hình 4. Mức tăng cường độ ép chẻ theo thời gian.

Các mẫu thí nghiệm ép chẻ có kích thước trụ tròn $d_{xh} = 100 \times 200 \text{mm}$ cũng được thí nghiệm tại 1, 3, 7, 28 ngày theo tiêu chuẩn ASTM C496 [16]. Kết quả cường độ ép chẻ được trình bày trong Bảng 4 và biểu diễn trên Hình 3. Tỷ số giá trị ép chẻ tại tuổi sớm so với giá trị tại 28 ngày tăng nhanh hơn so với tỷ số của cường độ nén tại thời điểm 1 ngày và 3 ngày. Mức tăng tương ứng của cường độ nén của cấp phối đối chứng tại 1 ngày và 3 ngày là 17,5%; 65,4%, xem trong Bảng 2 còn của cường độ ép chẻ là 22,0; 68,9%. Tại thời điểm 7 ngày thì hai giá trị này xấp xỉ nhau là 82,4% và 82,1% như trong Bảng 4. Quy luật này cũng tương tự như đối với các cấp phối có dùng nano silic. Sự khác biệt giữa cấp phối đối chứng với cấp phối có sử dụng nano silic trung bình cũng nhỏ, giá trị khác biệt lớn nhất tại thời điểm 3 ngày là 4,1%. Có thể nói tỷ lệ cường độ ép chẻ tại tuổi sớm so với cường độ ép chẻ tại tuổi 28 ngày không khác biệt nhiều khi có sử dụng nano silic. Ta thấy cơ chế làm tăng cường độ ép chẻ cũng giống như cơ chế làm tăng cường độ nén. Bảng 5 và Hình 4 so sánh cường độ ép chẻ của mẫu chứa nano và mẫu không chứa nano tại cùng tuổi ta thấy mức tăng cao nhất ứng với hàm lượng nano 2% sau 1, 3, 7 ngày lần lượt là 17,58%; 22,76%; 16,02%. Giá trị trung bình $\square R_{ec}^{TB}$ C1-C3 của các cấp phối chứa nano silic sau 1, 3, 7 ngày là 13,97%; 19,17%; 12,72%, giá trị này giảm tại tuổi 28 ứng với mức tăng trung bình là 9,48%. Sự cải thiện cường độ ép chẻ có thể giải thích là phản ứng thủy hóa của xi măng tạo ra Ca(OH)_2 hình thành chủ yếu trên bề mặt của hạt cốt liệu, dưới tác dụng của nano silic và muối silic sẽ chuyển thành CSH và làm tăng cường độ dính bám ở vùng bề mặt giữa vữa xi măng và cốt liệu [17].

3.4. Mô đun đàn hồi

Kết quả trong Bảng 6 và Hình 5 cho thấy mô đun đàn hồi theo thời gian của tất cả các mẫu đối chứng biến động trong khoảng từ 17GPa – 43GPa, còn của các mẫu có nano silic từ 18GPa – 46GPa. Tỷ lệ giữa giá trị mô đun đàn hồi ở tuổi từ 1 – 7 ngày so với giá trị ở tuổi 28 ngày khoảng 40% - 92%. Tương tự như kết quả cường độ chịu nén, không thấy khác biệt nhiều giữa các mẫu có chứa nano silic và các mẫu đối chứng nếu so sánh giá trị ở tuổi sớm và giá trị sau 28 ngày. Mức tăng mô đun đàn hồi của các mẫu chứa nano silic so với mẫu đối chứng được cho trong Bảng 7. Mức tăng lớn nhất của các mẫu chứa nano ứng với hàm lượng nano silic là 2,0%, giá trị tương ứng tại 1, 3, 7 và 28 ngày lần lượt là 10,7%; 12,2%; 9,6% và 6,3%. Cơ chế làm tăng mô đun đàn hồi là do nano silic chèn vào lỗ rỗng vi mô để làm tăng độ đặc cấu trúc, tăng cường độ chịu nén, góp phần làm tăng tốc độ và hiệu quả của phản ứng thủy hóa từ đó làm tăng mô đun đàn hồi tuy nhiên hiệu quả thấp khi hàm lượng nano silic nhỏ hơn 3% [18]. Nano silic thêm vào còn ảnh hưởng đến quá trình thủy hóa xi măng. Nó đẩy nhanh sự hình thành gel CSH và chèn vào cấu trúc rỗng của đá xi măng ở tuổi sớm. Theo tác

giả, do thành phần bê tông có cả muối silic và nano silic nên nhưng do nano silic có kích thước nhỏ hơn nên nó sẽ tham gia phản ứng trước với $\text{Ca}(\text{OH})_2$ đóng vai trò là “mầm” giúp cho sự phát triển nhanh hơn các sợi gel CSH. Nano silic và muối silic đều góp phần làm tăng độ đặc cấu trúc, tăng mô đun đàn hồi của bê tông từ đó làm tăng độ bền của loại bê tông này.

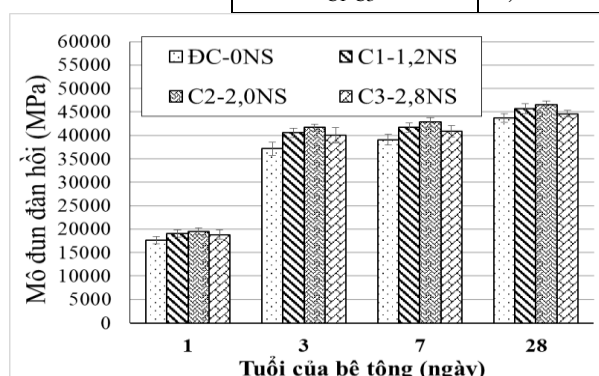
Khi so sánh tỷ lệ các trị ở tuổi sớm của cường độ nén, cường độ ép chẻ và mô đun đàn hồi với giá trị ở tuổi 28 của các mẫu trong Bảng 2, Bảng 4 và Bảng 6 ta thấy tốc độ phát triển tại tuổi sớm tại 1; 3 ngày của mô đun đàn hồi là nhanh nhất, tiếp theo là cường độ chịu ép chẻ và cuối cùng là cường độ nén. Tại 7 ngày mô đun đàn hồi vẫn tăng nhanh nhất còn cường độ nén và cường độ ép chẻ tăng tương tự nhau. Quy luật này đúng cho cả mẫu mẫu chứa nano silic và mẫu đối chứng và được ví dụ cho mẫu chứa 2% nano silic như trên Hình 6.

Bảng 6. Mô đun đàn hồi trung bình tại các ngày tuổi.

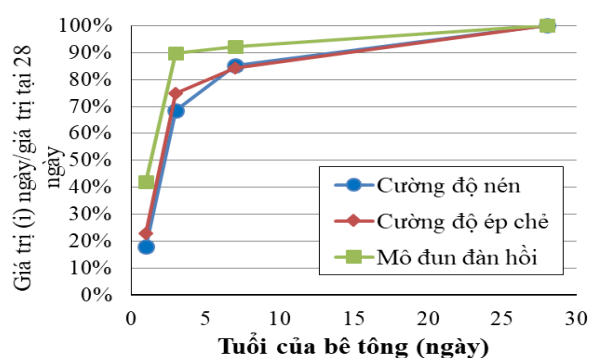
Cấp phối	E_1^{TB} (MPa)	E_1^{TB}/E_{28}^{TB} (%)	E_3^{TB} (MPa)	E_3^{TB}/E_{28}^{TB} (%)	E_7^{TB} (MPa)	E_7^{TB}/E_{28}^{TB} (%)	E_{28}^{TB} (MPa)	E_{28}^{TB}/E_{28}^{TB} (%)
ĐC-0NS	17648	40,3%	37166	84,9%	39084	89,3%	43753	100%
C1-1,2NS	19037	41,7%	40555	88,8%	41703	91,3%	45665	100%
C2-2,0NS	19529	42,0%	41691	89,6%	42841	92,1%	46505	100%
C3-2,8NS	18837	42,2%	40047	89,8%	40939	91,8%	44607	100%
E^{TB}_{C1-C3}	19135	42,0%	40764	89,4%	41828	91,7%	45592	100%

Bảng 7. Mức tăng mô đun đàn hồi so với mẫu đối chứng tại các ngày tuổi.

Cấp phối	$\square E_i^{TB}/E_1^{TB-ĐC}, \%$			
	1 ngày	3 ngày	7 ngày	28 ngày
C1-1,2NS	7,9%	9,1%	6,7%	4,4%
C2-2,0NS	10,7%	12,2%	9,6%	6,3%
C3-2,8NS	6,7%	7,8%	4,7%	2,0%
E^{TB}_{C1-C3}	8,4%	9,7%	7,0%	4,2%



Hình 5. Mô đun đàn hồi theo thời gian.



Hình 6. Tốc độ phát triển đặc tính cơ học của mẫu bê tông với hàm lượng nano silic 2%.

4. KẾT LUẬN

Nano silic cải thiện lớn nhất giá trị cường độ nén, cường độ ép chẻ và mô đun đàn hồi của bê tông tại tuổi 3 ngày, mức độ cải thiện tiếp theo là tại 1 ngày và 7 ngày. Tại tuổi 28 ngày thì mức cải thiện đặc tính cơ học là nhỏ nhất. Mức độ cải thiện tốt nhất là cường độ ép chẻ rồi đến cường độ nén và cuối cùng là mô đun đàn hồi lần lượt là 22,8%; 16,5%; 12,2%. Hàm lượng nano silic 2% cho kết quả cải thiện đặc tính cơ học tốt hơn tại 1,2% và 2,8%. Tỷ số giữa cường độ nén, cường độ ép chẻ và mô đun đàn hồi ở tuổi sớm với giá trị ở tuổi muộn của bê tông chất lượng cao sử dụng nano silic thu được có kết quả cao hơn nhiều so với bê tông thường nhưng không khác biệt nhiều so với bê tông chất lượng cao không sử dụng nano. Tốc độ phát triển mô đun đàn hồi là nhanh nhất sau đó đến cường độ ép chẻ rồi cuối cùng là cường độ nén khi so sánh các giá trị ở tuổi sớm với giá trị sau 28 ngày, kết quả này cũng được tìm thấy đối với cả mẫu sử dụng nano silic và mẫu đối chứng. Giá trị cường độ ép chẻ cao tại tuổi sớm cho thấy khả năng chống nứt của bê tông có sử dụng phụ gia nano silic là rất tốt và có ý nghĩa thực tế nếu đưa vào sử dụng loại bê tông này.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường đại học Giao thông vận tải trong đề tài mã số **T2021-XD-003**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ch. Zhuang, Y. Chen, The effect of nano-SiO₂ on concrete properties: A review Nanotechnology Reviews, 8 (2019) 562–572. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2019-0050>
- [2]. B. Birgisson et al., Nanotechnology in Concrete Materials, Transportation Research Circular E-C170, 2012.
- [3]. L. Senff et al, Effect of nano-silica on rheology and fresh properties of cement pastes and mortars, Construction and Building Materials, 23 (2009) 2487–2491.
- [4]. TCVN 2682:2009, Xi măng Poóc lăng - Yêu cầu kỹ thuật, 2009.
- [5]. TCVN 6016:2011, Xi măng - Phương pháp thử - Xác định cường độ, 2011.
- [6]. Đặng Thị Thanh Lê và các cộng sự, Nghiên cứu ảnh hưởng của vật liệu nano SiO₂ điều chế từ tro trấu đến khả năng chống thấm ion clo của bê tông xi măng nhiều tro bay, Tạp chí Hóa học, 55 (2017) 298-302.
- [7]. ASTM C33/C33M-18, Standard Specification for Concrete Aggregates, American Society for Testing and Materials, 2018.
- [8]. ACI 211.4R-08, Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials, American Concrete Institute, 2008.
- [9]. ASTM C39/C39M-21, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, American Society for Testing and Materials, 2021.
- [10]. ASTM C469-02, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, American Society for Testing and Materials, 2002.
- [11]. M. Berra et al., Effects of nanosilica addition on workability and compressive strength of Portland cement pastes, Construction and Building Materials, 35 (2012) 666-675. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.132>
- [12]. E.S. Raouf et al., Nano-Silica and its Role on Performance of Cement Concrete-A Review of Experimental Investigation, Civil and Environmental Research, 6 (2014) 36-47.

- [13].M. Lotfi et al., Characteristics of cement mortar containing nano-silica particles, Iranian Journal of Chemical Engineering, 8 (2009) 23-44.
- [14].S. Gopinath et al., Effect of nano silica on mechanical properties and durability of normal strength concrete, Archives Civil Eng, 58 (2012) 433-444. <https://doi.org/10.2478/v.10169-012-0023-y>
- [15].M. Justin et al., Effect of nano silica on the compressive strength of harden cement paste at different stages of hydration, American Journal of Engineering and Applied Sciences, 2016, <https://doi.org/10.3844/ajeassp.2016.166.177>
- [16].ASTM C496/C496M-11, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, American Society for Testing and Materials, 2011.
- [17].M. Elsayed et al., Impact of nanosized silica on the physico-mechanical properties and corrosion protection of concrete, Bulletin of Science, 30 (2019) 55-66.
- [18].B.B. Mukharjee, S.V. Barai, Influence of Incorporation of Colloidal Nano-Silica on Behaviour of Concrete, Iran J Sci Technol Trans Civ Eng, 44 (2020) 657– 668. <https://doi.org/10.1007/s40996-020-00382-0>