

Mô hình giàn ảo cho dầm bê tông cốt FRP

Strut-and-tie model for FRP-reinforced concrete beams

> PGS.TS TRẦN CAO THANH NGỌC^{1,2}

¹Khoa KT và QLXD, Trường ĐH Quốc tế - ĐH Quốc gia TP.HCM

²Đại học Quốc gia TP.HCM

TÓM TẮT

Phương pháp giàn ảo có kể đến đóng góp của bê tông được đề xuất trong bài báo này để dự đoán khả năng kháng cắt của dầm bê tông cốt FRP. Mô hình kể đến đóng góp của cả cơ cấu chống giằng và cơ cấu thanh chống xiên. Đóng góp của bê tông trong khả năng kháng cắt được quy đổi thành diện tích cốt đai FRP tương đương. Mô hình đề xuất dựa trên công thức kháng cắt cho bê tông của El-sayed *et al.* [1] và cho cốt đai FRP của CSA S806 [2]. Mô hình được so sánh với kết quả thực nghiệm thu thập được cho dầm cốt FRP được thực hiện từ các nghiên cứu trước. Kết quả cũng được so sánh với các tiêu chuẩn hiện hành cho dầm bê tông cốt FRP như ACI 440.1R [3] và CSA S806 [2]. Kết quả cho thấy mô hình giàn ảo đề xuất cho kết quả khá chính xác với kết quả thí nghiệm.

Từ khóa: FRP; dầm; ứng xử cắt; mô hình giàn ảo.

ABSTRACT

A strut-and-tie model is presented in this paper to predict the shear strength of FRP-reinforced concrete beams. Both contributions from truss and direct strut mechanisms are considered in this paper. The concept of equivalent transverse FRP reinforcement is applied to integrate the concrete contribution into the proposed truss model. The proposed model is validated with the existing experimental results to examine the accuracy of the proposed model. The comparison has shown a good correlation between the experimental data and analytical results. The results from this research shows that the properly-treated truss analogy can be used to assess the shear strength of concrete beams reinforced with various types of FRP bars

Key words: FRP; beam; shear behaviour; truss.

1. MỞ ĐẦU

Vai trò của thanh FRP đã được các nhà nghiên cứu công nhận như là một loại vật liệu thay thế cho cốt thép truyền thống trong các kết cấu bê tông (Thomas và Ramadass [4], Elamary và Abd-ELwahab [5]). Cốt thanh FRP có ưu điểm rất lớn là cường độ chịu

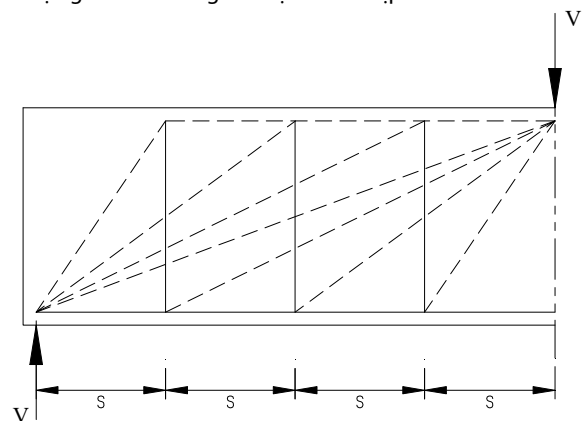
kéo cao hơn cốt thép truyền thống, trọng lượng rất nhẹ, không nhiễm từ và đặc biệt là không bị ăn mòn. Tuy nhiên ứng xử của thanh FRP rất khác với ứng xử của cốt thép truyền thống, đặc biệt là đường cong ứng suất biến dạng của 2 loại vật liệu này rất khác nhau. Sự khác biệt này dẫn đến sự khác biệt trong khả năng kháng cắt của hai loại kết cấu này. Như đã biết, phá hoại do cắt là loại phá hoại nguy hiểm, nó có thể dẫn đến những hậu quả nghiêm trọng. Do đó, cần một mô hình kháng cắt có độ tin cậy cao để tính khả năng kháng cắt của các cấu kiện dầm bê tông cốt FRP.

Dựa theo mô hình giàn ảo truyền thống của Bresler và MacGregor [6], Li và Tran [7] đã đề ra một mô hình tính khả năng kháng cắt của dầm bê tông cốt thép. Khả năng kháng cắt của bê tông được quy đổi tương đương với thép cốt đai. Mô hình này được so sánh với dầm bê tông cốt thép bị phá hoại do cắt với tỉ số nhịp chia cho chiều cao hữu hiệu từ 2 đến 3. Khả năng kháng cắt của dầm tính từ mô hình cho kết quả khá tương đồng với thí nghiệm. Dựa theo mô hình này của Li và Tran [7], mô hình giàn ảo cho dầm bê tông cốt FRP sẽ được đề xuất trong bài báo này để tính khả năng kháng cắt của loại dầm này.

2. MÔ HÌNH GIÀN ẢO

2.1. Thiết lập mô hình

Hình 1 thể hiện mô hình giàn ảo cho dầm bê tông cốt FRP với tỉ số nhịp chia cho chiều cao hữu hiệu từ 2 đến 3. Thanh nén là đường nét đứt, còn thanh kéo được thể hiện thông qua đường nét liền. Tương tự như mô hình của Li và Tran [7], chiều cao của mô hình được giả sử là không đổi dọc theo nhịp của dầm.

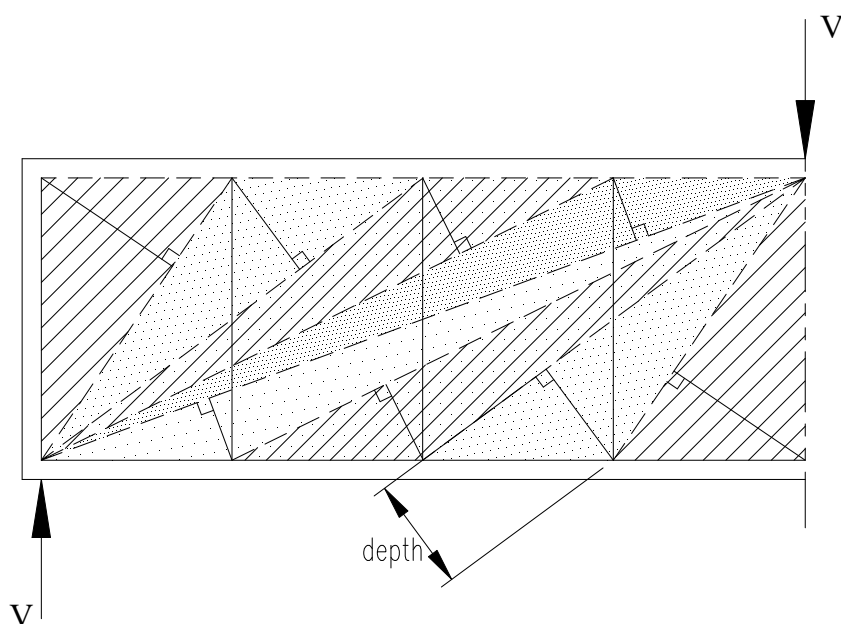


Hình 1. Mô hình giàn ảo xét đến cơ cấu chống giằng và cơ cấu thanh chống xiên.

Đối với dầm có nhịp chia cho chiều cao hữu hiệu từ 2 đến 3, cả hai cơ cấu chống giằng và cơ cấu thanh chống xiên cần phải được xét đến khi tính khả năng kháng cắt của dầm. Như thể hiện ở hình 1, cơ cấu thanh chống xiên được mô phỏng bởi một thanh chịu nén từ điểm đặt lực đến gối thông qua khả năng chịu nén của bê tông.

Bảng 1. Dữ liệu các dầm bê tông cốt FRP

ID	Dầm				Cốt dọc			Cốt đai			
	f'_c MPa	b mm	d mm	a/d	A_f mm ²	E_f GPa	f_{Fu} MPa	A_{fv} mm ²	s mm	E_{fw} GPa	f_{Fwu} MPa
Maruyama & Zhao [9]											
FF1-20	36.2	150	250	2.5	206	94	1308	36	200	94	1308
FF1-10	38.3	150	250	2.5	206	94	1308	36	100	94	1308
FF2-20	35.0	150	250	2.5	396	94	1308	36	200	94	1308
FF2-10	33.1	150	250	2.5	412	94	1308	36	100	94	1308
FF3-10	31.3	150	250	2.5	522	94	1308	36	100	94	1308
FF4-10	30.5	150	250	2.5	792	94	1308	36	100	94	1308
FF4-13	30.5	150	250	2.5	792	94	1308	36	130	94	1308
FF4-16	31.3	150	250	2.5	792	94	1308	36	160	94	1308
FF4-20	34.9	150	250	2.5	792	94	1308	36	200	94	1308



Hình 2. Chiều cao hữu hiệu của thanh nén xiên

Cơ cấu chống giằng truyền lực cắt thông qua thanh chống xiên, cốt đai FRP, thanh chịu nén và kéo nằm ngang ở phía trên và dưới của mô hình. Mô hình giàn ảo như hình 1 là mô hình siêu tĩnh. Để giải được mô hình trên, các tính chất của từng thanh trong mô hình cần được xác định.

2.2. Tính chất của các thanh kéo nén trong mô hình giàn ảo

2.2.1. Thanh kéo và nén nằm ngang

Vị trí của thanh kéo và nén nằm ngang được giả sử lần lượt tại tâm của cốt FRP nằm ngang và tâm của phần bê tông chịu nén khi phân tích dầm chịu uốn. Khả năng chịu kéo của thanh kéo nằm ngang được tính bằng $A_{fv}f_{fv}$. Khả năng chịu kéo của bê tông được bỏ qua trong tính toán này. Đối với thanh chịu nén, khả năng chịu lực là $0.85f'_c b \beta_1 c$ như đề xuất của tiêu chuẩn ACI 440.1R [3]. Do khả năng chịu nén của thanh FRP thấp, nên đóng góp của thanh FRP trong khả năng chịu nén của thanh nén nằm ngang được bỏ qua. Chiều cao hữu hiệu của thanh nén nằm ngang được tính bằng $\beta_1 c$ [3].

2.2.2. Thanh nén xiên

Miền ứng suất nén trong dầm bê tông cốt FRP được mô hình thông qua các thanh chịu nén xiên như Hình 1. Chiều cao hữu hiệu của các thanh nén xiên này được tính dựa vào hình học như trong

Hình 2. Tại phá hoại, có khá nhiều vết nứt xiên được hình thành trong dầm, do đó để xét đến ảnh hưởng của các vết nứt xiên này, hệ số giảm cường độ chịu nén của bê tông 0.4 được áp dụng trong mô hình của Li và Tran [7]. Trong nghiên cứu này, hệ số được đề xuất bởi tiêu chuẩn thiết kế EC2 [8] được áp dụng:

$$v_1 = 0.6(1 - f'_c/250) \quad (1)$$

2.2.3. Thanh kéo đứng

Vị trí của các thanh chịu kéo đứng được xác định tương tự như mô hình của Li và Tran [7] như Hình 1. Cả khả năng chịu kéo của thanh cốt đai FRP và bê tông được kể đến trong mô hình. Khả năng chịu kéo của thanh FRP cốt đai được tính bằng $A_{fv}f_{fv}$. Trong đó f_{fv} được tính theo tiêu chuẩn CSA S806 [2].

Khả năng kháng cắt của bê tông theo đề xuất của El-Sayed et al. [1] được sử dụng để tính trong mô hình giàn ảo này:

$$V_c = 0.037 \left(\frac{\rho_f E_f \sqrt{f'_c}}{\beta_1} \right)^{1/3} b_w d \leq \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w d \quad (2)$$

Trong đó β_1 được tính như sau:

$$0.85 \geq \beta_1 = 0.85 - 0.007(f'_c - 28) \geq 0.65 \quad (3)$$

Khả năng kháng cắt này được quy đổi thành diện tích cốt đai tương đương và được đưa vào khả năng chịu kéo của thanh kéo đứng trong mô hình.

Bảng 2. So sánh kết quả thí nghiệm

ID	Khả năng kháng cắt				Tỉ số		
	V_{exp} kN	V_{Pro} kN	V_{CSA} kN	V_{ACI} kN	$\frac{V_{exp}}{V_{Pro}}$	$\frac{V_{exp}}{V_{CSA}}$	$\frac{V_{exp}}{V_{ACI}}$
Maruyama & Zhao [9]							
FF1-20	59	57	41	33	1.04	1.44	1.79
FF1-10	84	84.3	54	50	1.00	1.56	1.68
FF2-20	72.8	68.1	52	38	1.07	1.40	1.92
FF2-10	89	101.7	64	55	0.88	1.39	1.62
FF3-10	95	111	70	56	0.86	1.36	1.70
FF4-10	119.5	130.9	81	60	0.91	1.48	1.99
FF4-13	86	117.1	74	53	0.73	1.16	1.62
FF4-16	75	109.8	69	48	0.68	1.09	1.56
FF4-20	82.5	105.7	66	45	0.78	1.25	1.83
Trung bình					0.88	1.35	1.75
Độ lệch chuẩn					0.14	0.15	0.15

3. SO SÁNH VỚI KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Dữ liệu thí nghiệm

Dữ liệu thí nghiệm được báo cáo trong nghiên cứu Maruyama và Zhao [9] liên quan đến các mẫu dầm bê tông cốt FRP bị phá hoại do cắt được tập hợp để kiểm chứng độ chính xác của mô hình giàn ảo đề xuất ở phần trước của bài báo. Như thảo luận ở phần trước, mô hình đề xuất xét đến cả hai cơ cấu truyền lực, do đó chỉ các mẫu dầm có tỉ số nhịp chia cho chiều cao hữu hiệu từ 2 đến 3 được thu thập để kiểm chứng tính chính xác của mô hình. Bảng 1 thể hiện các thông số của các mẫu thí nghiệm thu thập được từ các nghiên cứu của Maruyama và Zhao [9].

Thảo luận kết quả mô phỏng

Như thể hiện ở Bảng 2 và Hình 3, tỉ số trung bình của thí nghiệm chia cho mô hình và độ lệch chuẩn lần lượt là 0.88 và 0.14. Kết quả cho thấy độ tin cậy của mô hình giàn ảo đề xuất trong bài báo này. So với các mô hình từ các tiêu chuẩn thiết kế như ACI 440.1R [3] and CSA S806 [2], mô hình đề xuất cho độ chính xác cao hơn cho cả tỉ số trung bình và độ lệch chuẩn.

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày mô hình giàn ảo để đánh giá khả năng kháng cắt cho dầm bê tông cốt FRP có tỉ số nhịp chia cho chiều cao hữu hiệu từ 2 đến 3. Mô hình kể đến đóng góp của cả cơ cấu chống giằng và cơ cấu thanh chống xiên. Đóng góp của bê tông trong khả năng kháng cắt được quy đổi thành diện tích cốt đai FRP tương đương. Mô hình đề xuất dựa trên công thức kháng cắt cho bê tông của El-sayed *et al.* [1] và cho cốt đai FRP của CSA S806 [2]. Mô hình được so sánh với kết quả thực nghiệm thu thập được cho dầm cốt FRP được thực hiện từ các nghiên cứu trước. Kết quả cũng được so sánh với các tiêu chuẩn hiện hành cho dầm bê tông cốt FRP như ACI 440.1R [3] and CSA S806 [2]. Kết quả cho thấy mô hình giàn ảo đề xuất cho kết quả khá chính xác với kết quả thí nghiệm.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia TP.HCM trong khuôn khổ Đề tài mã số B2021-28-04.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. El-Sayed, A., El-Salakawy, E., and Benmokrane, B. (2005) "Shear strength of concrete beams reinforced with FRP bars: design method", *ACI Structural Journal*, SP230-54, 2005, 955-973.
- [2]. CSA S806-12 (2012) "Design and Construction of Buildings Components with Fiber-Reinforced Polymers.", Canadian Standards Association (CSA), Toronto.
- [3]. ACI 440.1R-06 (2006) "Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars.", American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.
- [4]. Thomas, J., and Ramadass, S. (2015) "Design for shear strength of concrete beams longitudinally reinforced with GFRP bars" *Structural Engineering and Mechanics*, 53(1), 41-55. <https://doi.org/10.12989/sem.2014.53.1.041>.
- [5]. Elamary, A. S. and Abd-ELwahab, R. K. (2016) "Numerical simulation of concrete beams reinforced with composite GFRP-Steel bars under three points bending" *Structural Engineering and Mechanics*, 57(5), 937-949. <https://doi.org/10.12989/sem.2016.57.5.937>.
- [6]. Bresler, B., and MacGregor, J. G. (1967) "Review of Concrete Beams Failing in Shear," *ACI Journal, Proceedings*, 93(1), 343-372.
- [7]. Li, B., and Tran, C.T.N. (2008) "Reinforced Concrete Beam Analysis Supplementing. Concrete Contribution in Truss Models" *Engineering Structures*, 30(11), 3285-3294. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.05.002>.
- [8]. BS EN 1992-1-1:2004 (2004) "Eurocode 2: Design of Concrete Structures, Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings".
- [9]. Maruyama, K., and Zhao, W. J. (1996) "Size effect in shear behavior of FRP reinforced concrete beams." 2nd Int. Conf. on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, M. El-Badry, ed., ACMB, 227-234.