

Kỹ yếu hội nghị quốc tế

1. **Dien Ngoc Vo-Le**, Chinh Ho-Huu, Long Nguyen-Minh, (2020). “Assessment of design guidelines for Fiber-Reinforced Polymer shear contribution of prestressed concrete beams strengthened by Fiber-reinforced polymer sheets”. *CIGOS 2019, Innovation for Sustainable Infrastructure*, Proceeding of the 5th International Conference on Geotechnics, Civil Engineering Works and Structure – Springer/ 54 591-596.

Kỹ yếu hội nghị trong nước

1. **Võ Lê Ngọc Điền**, Trương Thị Phương Quỳnh, Hồ Hữu Chinh, Nguyễn Minh Long, (2017). “Tương tác giữa cường độ bê tông và tấm gia cường kháng cắt CFRP trong dầm bê tông tiết diện chữ T ứng suất trước”. *Hội Thảo Khoa học Công nghệ Xây Dựng Tiên Tiến Hướng Đến Phát Triển Bền Vững (ATCESD 2016)*, 95-101.

Đề tài nghiên cứu khoa học

1. Đề tài cấp cơ sở, Trường Đại học Tiền Giang, (2019). “Ảnh hưởng neo đến ứng xử cắt dầm bê tông ứng suất trước được gia cường tấm CFRP”. Mã số: 127/ QĐ-ĐHTG 25/3/2019. Chủ nhiệm.
2. Đề tài cấp Quốc Gia, Chương trình Khoa học và Công nghệ phục vụ phát triển bền vững vùng Tây Nam Bộ, (2018). “Nghiên cứu ứng dụng các giải pháp kỹ thuật để sửa chữa và gia cường bằng lưới sợi basalt (BFRP) và các-bon (CFRP) nhằm tăng cường hiệu quả sử dụng và tuổi thọ cho các công trình cầu ở ĐBSCL”. Mã số:KHCN-TNB.ĐT/14-19/C26. Thành viên chính.
3. Đề tài cấp Quốc gia, Quỹ phát triển khoa học và công nghệ Quốc Gia, (2018). “Ảnh hưởng của một số yếu tố chính đến sức kháng cắt của dầm bê tông tiết diện chữ T ứng suất trước gia cường bằng lưới sợi polymer”. Mã số: 107.99-2015.30. Thành viên chính.
4. Đề tài cấp cơ sở, Trường Đại học Bách Khoa TP HCM, (2016). “Phân tích hiệu quả gia cường kháng cắt dầm bê tông tiết diện chữ T ứng suất trước sử dụng sợi polymer” Mã số: T911-KTXD-2016-07. Đồng chủ nhiệm.

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

VÕ LÊ NGỌC ĐIỀN

ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ YẾU TỐ CHÍNH ĐẾN ỨNG XỬ CẮT CỦA DẦM BÊ TÔNG CĂNG SAU DÙNG CÁP KHÔNG BẮM DÍNH GIA CƯỜNG TẤM CFRP/GFRP

Ngành: Kỹ Thuật Xây Dựng Công Trình Dân Dụng và Công Nghiệp
Mã số ngành: 62580208

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH - NĂM 2022

Người hướng dẫn 1: PGS. TS. Nguyễn Minh Long

Người hướng dẫn 2: TS. Hồ Hữu Chinh

Phản biện độc lập 1:

Phản biện độc lập 2:

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án họp tại

.....
.....
vào lúc giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM
- Thư viện Đại học Quốc gia Tp.HCM
- Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp.HCM

Tạp chí quốc tế

1. **Vo-Le, D.**, Tran, D.T, Phạm, M.T, Ho-Huu, C., Nguyen-Minh, L. (2022). “Re-evaluation of shear contribution of CFRP and GFRP sheets in concrete beams post-tensioned with unbonded tendons”. *Engineering Structures*, 259, 114-173. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114173> (Corresponding author: Nguyen-Minh Long). SCI, Q1.
2. Nguyen-Minh, L., **Vo-Le, D.**, Tran-Thanh, D., Pham T.M., Ho-Huu C, Rovňák M. (2018). “Shear capacity of unbonded post-tensioned concrete T-beams strengthened with CFRP and GFRP U-wraps.” *Composite Structures*, 184:1011–29. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.10.072> (Corresponding author: Nguyen-Minh Long). SCI, Q1.
3. **Vo-Le, D. N.**, Nguyen-Minh, L., (2022). “Assessment of design guidelines to evaluate the FRP shear contribution of strengthened prestressed concrete beams”. *International Journal of Engineering Technology and Scientific Innovation*, Vol 07(02), 28-42. <https://doi.org/10.51193/IJETS.I.2021.7201>.

Tạp chí trong nước

1. **Võ Lê Ngọc Điền**, Nguyễn Minh Long, (2020). “Ảnh hưởng neo đến ứng xử cắt dầm bê tông ứng suất trước căng sau được gia cường tấm CFRP”. *Tạp chí Xây Dựng Việt Nam - Bộ Xây dựng/ 7-2020*, 158-163.
2. **Võ Lê Ngọc Điền**, Lương Nguyễn, Trần Phi Hồ, Trần Thanh Dương, Nguyễn Minh Long, (2018). “So sánh hiệu quả gia cường kháng cắt của tấm CFRP và GFRP trong dầm bê tông cường độ cao ứng suất trước căng sau”. *Tạp chí Xây Dựng Việt Nam - Bộ Xây dựng/ 4-2018*, 87-92.
3. **Võ Lê Ngọc Điền**, Lương Nguyễn, Hồ Hữu Chinh, Nguyễn Minh Long, (2018). “Ảnh hưởng tỷ số nhịp cắt và chiều cao làm việc (a/de) đến ứng xử cắt dầm bê tông ứng suất trước gia cường tấm CFRP”. *Tạp chí Xây Dựng Việt Nam - Bộ Xây dựng/ 2-2018*, 32-36.
4. Đặng Đăng Tùng, **Võ Lê Ngọc Điền**, Nguyễn Minh Long, (2016). “Ảnh hưởng của cường độ bê tông đến hiệu năng gia cường kháng cắt của tấm CFRP trong dầm bê tông tiết diện chữ T ứng suất trước”. *Tạp chí Giao Thông vận tải/ 12-2016*, 41-46

ĐẶT VẤN ĐỀ

Ứng xử cắt của kết cấu gia cường bằng vật liệu FRP tuy đã được nghiên cứu nhiều trên cấu kiện bê tông cốt thép (BTCT) [5]-[16] và cả bê tông ứng suất trước (BTUST) sử dụng cáp bám dính (BPC) [17]-[21] nhưng để hiểu được nó và các cơ chế đi kèm một cách toàn diện và đúng đắn thực sự là một vấn đề rất phức tạp và vẫn chưa được giải quyết một cách trọn vẹn [13], [15], [22]. Sự thiếu hụt kiến thức trong vấn đề này càng trở nên rõ nét đối với cấu kiện hay kết cấu BTUST sử dụng cáp không bám dính (UPC) khi mà số lượng các nghiên cứu trên đối tượng này rất ít và chưa có nghiên cứu nào ở Việt Nam cho đến hiện tại [22].

Đối với dầm UPC, ảnh hưởng của các yếu tố như cường độ bê tông, tỷ số nhíp cắt trên chiều cao làm việc của tiết diện dầm (a/d_e), chiều dày tấm FRP, kiểu gia cường (liên tục hay rời rạc) đến hiệu quả làm việc của tấm FRP, quỹ đạo cáp, đặc biệt là trường hợp sử dụng tấm GFRP, vẫn còn là câu hỏi chưa có lời đáp. Tuy nhiên cho đến nay, mức độ hiểu biết về ảnh hưởng của yếu tố này đến ứng xử của dầm UPC gia cường kháng cắt bằng vật liệu FRP vẫn còn rất hạn chế.

Dạng gia cường FRP kháng cắt phổ biến hiện nay là cấu hình gia cường dạng U Kiểu phá hoại bong tách tấm thường phổ biến nhất với dạng gia cường U này [7], [8], [10]; khi đó, dầm bị phá hoại đột ngột và hạn chế mức đóng góp của tấm vào khả năng kháng cắt của cấu kiện vì tấm chưa phát huy được tối đa khả năng làm việc của nó. Nhiều nghiên cứu trên dầm BTCT [27], [28], [29] chỉ ra rằng việc sử dụng hệ neo giúp hạn chế kiểu phá hoại này hoặc trì hoãn tối đa quá trình bong tách sớm của tấm nhằm giúp tăng hơn nữa sự đóng góp của tấm FRP vào khả năng kháng cắt cũng như giúp cải thiện độ dẻo cho dầm khi mà việc gia cường bằng cách bó toàn bộ tiết diện dầm không thực sự khả thi bởi sự khó khăn khi thi công. Tuy nhiên, các nghiên cứu về vấn đề này trên dầm BTUST vẫn còn rất hạn chế và đặc biệt vẫn chưa có một nghiên cứu nào trên cấu kiện UPC. Hiệu quả thực sự của hệ neo cho tấm FRP gia cường kháng cắt dạng U trên dầm UPC vẫn còn chưa có lời đáp.

Luận án nghiên cứu và phân tích ứng xử cắt của dầm UPC được gia cường kháng cắt bằng tấm CFRP/GFRP dạng U. Trong đó, tập trung đánh giá và làm rõ ảnh hưởng của một số yếu tố chính và phân tích ảnh hưởng tương tác giữa các yếu tố này đến hiệu quả gia cường của tấm gia cường CFRP/GFRP đối với dầm UPC tiết diện chữ T. Ngoài ra, luận án cũng xây dựng một mô hình và đề xuất công thức mới để dự đoán khả năng kháng cắt của dầm UPC gia cường tấm CFRP/GFRP có xét đến đầy đủ các cơ chế kháng cắt và sự tương tác giữa các cơ chế này. Kiểm chứng công thức đề xuất mở rộng cho cả dầm UPC và BPC gia cường tấm CFRP/GFRP.

CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN, MỤC TIÊU, Ý NGHĨA VÀ NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

1.1 Tổng quan nghiên cứu

1.1.1 Các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng kháng cắt của dầm BTUST gia cường tấm FRP

Tổng quan nghiên cứu cho thấy phần lớn các nghiên cứu về ứng xử và khả năng kháng cắt của tấm FRP gia cường trên kết cấu BTCT phụ thuộc vào một số yếu tố chính như sau: kiểu phá hoại dầm, cường độ bê tông, hàm lượng cốt thép ngang và dọc, thông số vật liệu FRP (loại tấm FRP, kiểu dán và phương dán tấm FRP, hàm lượng tấm FRP...), tỷ lệ hình học, tỷ số nhíp cắt trên chiều cao dầm a/d_e , phương pháp neo. Tuy nhiên nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố này đến ứng xử và hiệu quả gia cường kháng cắt tấm FRP trên dầm BTUST còn nhiều hạn chế. Sau đây là tóm lược một số kết quả nghiên cứu liên quan đến các yếu tố chính ảnh hưởng đến hiệu quả gia cường kháng cắt tấm FRP trên dầm BTUST.

➤ Ảnh hưởng cường độ bê tông

Cường độ bám dính của tấm FRP tỷ lệ thuận với cường độ chịu nén của bê tông [59] cho nên hiệu quả gia cường tấm FRP gia tăng tỷ lệ thuận với cường độ bê tông trên dầm BTUST [22]. Các tiêu chuẩn và chỉ dẫn hiện hành [30], [32], [33],

- [99.] A. M. Sayed, X. Wang and Z.Wu, "Finite element modeling of the shear capacity of RC beams strengthened with FRP sheets by considering different failure modes," Construction and Building Materials, vol 59, pp. 169–179, 2014. Doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.02.044
- [100.] ACI Committee 440, "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures," in American Concrete Institute (ACI 440.2R-08). Farmington Hills, Michigan, 2008.
- [101.] R. Kalfat and R. Al-Mahaidi, (2014). "Experimental investigation into the size effect of bidirectional fiber patch anchors in strengthening of concrete structures," Composite Structures, vol 112, pp.134–145, 2014. Doi:10.1016/j.compstruct.2014.02
- [102.] R. Kalfat and R. Al-Mahaidi, "Finite element investigation into the size effect of bidirectional fibre patch anchors used to enhance the performance of FRP-to-concrete joints," Composite Structures, vol 121, pp. 27–36, 2015. Doi:10.1016/j.compstruct.2014.09.016
- [103.] R. Kalfat and R. Al-Mahaidi, "Improvement of FRP-to-concrete bond performance using bidirectional fiber patch anchors combined with FRP spike anchors," Composite Structures, vol 155, pp. 89–98, 2016. doi:10.1016/j.compstruct.2016.08.010
- [104.] Tiêu Chuẩn Việt Nam, TCVN 4453:1995, "Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép toàn khối – Quy phạm thi công và nghiệm thu", Viện Tiêu chuẩn chất lượng Việt Nam, 1993.
- [105.] Tiêu Chuẩn Việt Nam, TCVN 1651-1:2008, "Thép cốt bê tông." Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam, 2008.
- [106.] ASTM International, "ASTM A416 - Standard Specification for Steel Strand, Uncoated Seven-Wire for Prestressed." American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA, 2016.
- [107.] ASTM International, "ASTM D3039/D3039M-17 - Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials." American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA, 2017.
- [108.] M.J. Chajes, Jr.W. W Finch, T.F. Januszka, and Jr. T.A. Thomson, "Bond and force transfer of composite material plates bonded to concrete." ACI Structural Journal, vol 93(2), pp.209-217, 1996.
- [109.] Z.G. Guo, S.Y. Cao, W.M. Sun and X.Y. Lin, "Experimental study on bond stress-slip behaviour between FRP sheets and concrete". In FRP in construction, proceedings of the international symposium on bond behaviour of FRP in structures, December 2005, pp. 77-84.
- [110.] J. Dai, T. Ueda and Y. Sato, "Development of the nonlinear bond stress-slip model of fiber reinforced plastics sheet-concrete interfaces with a simple method." Journal of Composites for Construction, vol 9(1), pp.52-62, 2005.
- [111.] P. Phan-Vu, D.T. Tran, T.M. Pham, T.D. Dang, C. Ngo-Huu, and L. Nguyen-Minh, "Distinguished bond behaviour of CFRP sheets in unbonded post-tensioned reinforced concrete beams versus single-lap shear tests," Engineering Structures, vol 234, pp. 111794, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111794>.
- [112.] A. Tam, A. and F. N. Pannell, "The ultimate moment of resistance of unbonded partially prestressed reinforced concrete beams." Magazine of Concrete Research, vol 28(97), pp.203-208, 1976.
- [113.] E. Hognestad, "Study of combined bending and axial load in reinforced concrete members." University of Illinois at Urbana Champaign, College of Engineering, Engineering Experiment Station; 1951.
- [114.] M. Rupf, M.F. Ruiz, and A. Muttoni, "Post-tensioned girders with low amounts of shear reinforcement: Shear strength and influence of flanges. Engineering Structures, vol 56, pp.357-371, 2013.
- [115.] M. Herbrand and M. Classen, "Shear tests on continuous prestressed concrete beams with external prestressing." Structural Concrete, vol 16(3), pp.428-437, 2015.
- [116.] J. N. Qi, J.Q. Wang, Z.J. Ma and T. Tong, "Shear behavior of externally prestressed concrete beams with draped tendons." ACI Structural Journal, vol 113(4), pp.677-688, 2016.

- [82.] Fib Model Code 2010, “fib Model Code for Concrete Structures 2010.” CH-1015 Lausanne, Switzerland, 2013.
- [83.] Australian Standard – AS 3600, “Concrete Structures,” Standards Australia Committee, 2018.
- [84.] ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete”. American Concrete Institute, Farmington Hills, 2014.
- [85.] T. C. Triantafillou, “Strengthening of structures with advanced FRPs,” *Progress in Structural Engineering and Materials*, vol 1 (2), pp. 126–134, 1998. Doi: <https://doi.org/10.1002/pse.2260010204>
- [86.] A. Khalifa, W. J. Gold, A. Nanni, A. Aziz, “Contribution of externally bonded FRP to shear capacity of flexural members,” *Journal of Composites for Construction*, vol 2 (4), pp. 195-203, 1998.
- [87.] T. C. Triantafillou and C. P. Antonopoulos, “Design of concrete flexural members strengthened in shear with FRP”. *Journal of Composites for Construction*, vol 4(4), pp. 198–205, 2000. Doi:10.1061/(asce)1090-0268(2000)4:4(198)
- [88.] A. Khalifa and A. Nanni, “Improving shear capacity of existing RC T-section beams using CFRP composites,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 22 (2), pp. 165-174, 2000.
- [89.] J. F. Chen and J. G. Teng, “Anchorage Strength Models for FRP and Steel Plates Bonded to Concrete”, *Journal of Structural Engineering*, vol 127 (7), pp. 784–791, 2001. Doi:10.1061/(asce)0733-9445(2001)127:7(784)
- [90.] J. F. Chen and J. G. Teng, “Shear capacity of FRP-strengthened RC beams: FRP debonding”. *Construction and Building Materials*, vol 17(1), pp. 27–41, 2003. Doi:10.1016/s0950-0618(02)00091-
- [91.] A. Mofidi and O. Chaallal, “Shear strengthening of RC beams with externally bonded FRP composites: effect of strip-width-to-strip-spacing ratio”, *Journal of Composites for Construction*, vol 15(5), pp. 732–742, 2011. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000219](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000219)
- [92.] A. Mofidi and O. Chaallal, “Tests and design provisions for reinforced-concrete beams strengthened in shear using FRP sheets and strips,” *International Journal of Concrete Structures and Materials*, vol 8 (2), pp.117–128, 2014. Doi:10.1007/s40069-013-0060-1
- [93.] A. M. Sayed, X. Wang, and Z. Wu, “Modeling of shear capacity of RC beams strengthened with FRP sheets based on FE simulation,” *Journal of Composites for Construction*, vol 17 (5), pp. 687–701, 2013. Doi: 10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000382
- [94.] R. Al-Rousan, “Analytical model to predict the shear capacity of reinforced concrete beams externally strengthened with CFRP composites conditions,” *International Scholarly and Scientific Research & Innovation, World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol 11 (8), pp. 1026-1030, 2017.
- [95.] W. Li, C. Hu, Z. Pan, W. Peng, Y. Yang, and F. Xing, “A proposed strengthening model considering interaction of concrete-stirrup-FRP system for RC beams shear-strengthened with EB-FRP sheets”. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol 37(10), pp. 685–700, 2018. Doi:10.1177/0731684418760204
- [96.] N. K. Alotaibi, W. A. Shekarchi, W. M. Ghannoum and J. O. Jirsa, “Shear design of reinforced concrete beams strengthened in shear with anchored carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) Strip,” *ACI Structural Journal*, vol 17, No 2, pp. 185-198, 2020.
- [97.] A. Carolin and B. Täljsten, B, “Experimental Study of Strengthening for Increased Shear Bearing Capacity,” *Journal of Composites for Construction*, vol 9(6), pp. 488–496, 2005. doi:10.1061/(asce)1090-0268(2005)9:6(488)
- [98.] G. Sas, B. Täljsten, J. Barros, J. Lima, and A. Carolin, “Are available models reliable for predicting the FRP contribution to the shear resistance of RC beams?”, *Journal of Composites for Construction*, vol 13(6), pp. 514–534, 2009. Doi:10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000045

[40]-[44] khi tính toán khả năng kháng cắt tấm FRP đều có kể đến ảnh hưởng cường độ bê tông.

➤ *Ảnh hưởng cốt thép dọc*

Cốt thép dọc ảnh hưởng đến độ cứng của tiết diện, mức độ tham gia của ứng xử uốn và cắt trong dầm BTCT và BTUST gia cường tấm FRP. Tuy nhiên, nghiên cứu [51] cho thấy sự tăng hàm lượng cốt dọc chỉ ảnh hưởng nhỏ đến sự gia tăng kháng cắt thành phần của bê tông, và khả năng kháng cắt của dầm BTCT gia cường tấm CFRP. Tuy nhiên, ảnh hưởng của yếu tố này trong nghiên cứu trên dầm BTUST vẫn chưa được đề cập.

➤ *Ảnh hưởng cốt cốt thép đai*

Các nghiên cứu ảnh hưởng cốt đai đến hiệu quả gia cường kháng cắt tấm FRP chủ yếu mới thực hiện trên dầm BTCT với nhiều ý kiến đầy ý nghĩa. [6], [7], [52], [55]-[57] cho rằng tấm FRP ảnh hưởng đến ứng suất trong cốt thép đai cũng như làm giảm biến dạng cốt đai; biến dạng dọc trục tấm CFRP/GFRP tỷ lệ nghịch với hàm lượng cốt thép đai. Bên cạnh đó, nghiên cứu của [6], [7] và [60] cho thấy sự tương tác làm việc giữa tấm FRP và cốt đai rất quan trọng. Các tiêu chuẩn và chỉ dẫn kỹ thuật [30], [32], [33], [40]-[44] đều có kể đến sự tham gia kháng cắt của thành phần cốt đai nhưng chưa kể đến ảnh hưởng tương tác giữa tấm FRP và cốt đai.

➤ *Ảnh hưởng cáp ứng suất trước*

Cáp trong dầm BTUST giúp giảm ứng suất kéo xiên và làm chậm sự phát triển vết nứt xiên trong nhịp cắt và tăng khả năng kháng vết nứt xiên. Các nghiên cứu hiệu quả gia cường kháng cắt tấm FRP trên dầm BTUST chủ yếu sử dụng cáp bắm dính với quỹ đạo thẳng [18]-[21], cáp không bắm dính còn rất ít [50]. Nghiên cứu [21] cho thấy mức độ ứng lực trong cáp phát huy hiệu quả gia cường tấm CFRP. Tuy nhiên, cho đến nay, vẫn chưa có nghiên cứu nào về ảnh hưởng của yếu tố quỹ đạo cáp đến ứng xử của dầm UPC gia cường kháng cắt bằng tấm FRP.

➤ *Ảnh hưởng của thông số vật liệu FRP*

Hiện nay, các nghiên cứu đa phần tập trung trên cấu kiện BTCT gia cường tấm sợi cacbon (CFRP) chủ yếu, còn nghiên cứu về tấm sợi thủy tinh (GFRP) còn rất nhiều hạn chế và đặc biệt nghiên cứu tấm sợi Aramid (AFRP) [51] và Basalt (BFRP) [52], [53] rất khan hiếm. Nghiên cứu cho dầm BTUST gia cường tấm FRP chủ yếu loại tấm CFRP. Nghiên cứu [21] cho thấy tăng hàm lượng gia cường tấm CFRP giúp tăng khả năng kháng cắt dầm và giảm bề rộng vết nứt cắt phá hoại của dầm BTUST.

Nghiên cứu thực nghiệm gần đây [5], [49], [65] cho thấy bề rộng và khoảng cách của các dải FRP gia cường trên dầm BTCT ảnh hưởng đáng kể vào cường độ bám dính tấm FRP và sự tham gia kháng cắt tấm FRP. Chính vì vậy, một số tác giả [5], [46] [49] và các tiêu chuẩn, chỉ dẫn kỹ thuật [30], [32], [33], [40]-[44] đã giới hạn bề rộng và khoảng cách hữu hiệu giữa các dải gia cường FRP.

➤ *Ảnh hưởng tỷ số nhíp cắt trên chiều cao làm việc dầm a/d_e*

Ảnh hưởng của tỷ số a/d_e rất lớn đến khả năng kháng cắt của dầm BTCT lẫn BTUST bởi vì tỷ số này là một chỉ số quan trọng biểu thị mức độ tham gia của ứng xử uốn và cắt trong dầm. Nghiên cứu của [20] có khảo sát sự thay đổi tỷ số a/d_e trên dầm BPC gia cường tấm FRP nhưng không thấy các tác giả trình bày về ảnh hưởng của yếu tố này đến hiệu quả gia cường kháng cắt dầm BTUST như thế nào. Cho đến thời điểm hiện tại, các tiêu chuẩn và chỉ dẫn kỹ thuật [30], [32], [33], [40]-[44] đều không thấy đề cập ảnh hưởng của tỷ số này

➤ *Ảnh hưởng phương pháp neo*

Các nghiên cứu hệ neo chủ yếu tập trung trên dầm BTCT còn trên dầm BTUST vẫn còn rất hạn chế và đặc biệt nghiên cứu trên cấu kiện UPC rất ít [50]. Mỗi hệ neo đều có những hạn chế riêng của nó và phụ thuộc vào tham số khảo sát nghiên cứu. Trong khi đó, [50] cho thấy hệ neo HS làm tăng khả năng kháng cắt dầm UPC gia cường tấm CFRP. Nghiên cứu [9] cho thấy hiệu quả sử dụng hệ neo kim sợi FRP trong gia cường kháng cắt dầm BPC tăng 50%.

- [65.] A.M. A. Hafez, "Shear behaviour of RC beams strengthened externally with bonded CFRP-U strips," Journal of Engineering Sciences, Assiut University, vol 35 (2), pp. 361-379, 2007.
- [66.] W. Li and C. K.J. Leung, "Shear span-depth ratio effect on behavior of RC beam shear strengthened with full-wrapping FRP strip," Journal of Composites for Construction, vol 20 (6), pp.1-14, 2016. Doi: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000627.
- [67.] W. Li and C. K.J. Leung, "Effect of shear span-depth ratio on mechanical performance of RC beams strengthened in shear with U-wrapping FRP strips," Composite Structures, vol 177, pp. 141-157, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.06.059>
- [68.] R. Z Al-Rousan and M. A. Issa, "The effect of beam depth on the shear behavior of reinforced concrete beams externally strengthened with carbon fiber-reinforced polymer composites," Advances in Structural Engineering, vol 19 (11), pp. 1769-1779, 2016. Doi: 10.1177/1369433216649386
- [69.] N. I. Shbeeb, et al., "Impact of bonded carbon fibre composite on the shear strength of reinforced concrete beams," Structures and Building, proceeding of the Institution of Civil Engineers, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1680/jstbu.16.00145>.
- [70.] R. Hutchinson, D. Donald, A. Abdelrahman, and S. Kizkalla, "Shear strengthening of prestressed concrete bridge girders using bonded CFRP sheets". ECCM-8, 2, pp.43-50, 1998.
- [71.] S. W. Bae, and A. Belarbi, " Behavior of various anchorage systems used for shear strengthening of concrete structures with externally bonded FRP sheets" Journal of Bridge Engineering, vol 18 (9), pp. 837-847, 2013.
- [72.] S. Orton, J.O. Jirsa and O. Bayrak, "Design considerations of carbon fiber anchors." Journal of Composites for Construction, vol 12 (6), pp. 608-616, 2008.
- [73.] S. J. Kim, and S. T. Smith, "Pullout strength models for FRP anchors in uncracked concrete." Journal of Composites for Construction, vol 14 (4), pp. 406-414, 2010.
- [74.] Y. Kim, W. M. Ghannoum and J. O. Jirsa, "Shear behavior of full-scale reinforced concrete T-beams strengthened with CFRP strips and anchors," Construction and Building Materials, vol 94, pp. 1-9, 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.005>
- [75.] L. Koutas and T.C. Triantafillou, "Use of anchors in shear strengthening of reinforced concrete T-beams with FRP," Journal of Composites for Construction, vol 17, pp. 101-107, 2013. Doi: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000316
- [76.] S. Ozden, et al., "Shear strengthening of reinforced concrete T-beams with fully or partially bonded fibre-reinforced polymer composites" Structural Concrete, Technical paper pp. 11, 2014. Doi: 10.1002/suco.201300031
- [77.] E. del Rey Castillo, D. Dizhur, M. Griffith, and J. Ingham, "Strengthening RC structures using FRP spike anchors in combination with EBR systems." Composite Structures, vol 209, pp. 668-685, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.10.093>
- [78.] ACI-ASCE Committee 445, "Recent approaches to shear design of structural concrete," in American Concrete Institute (ACI 445.R-99). Farmington Hills, Michigan, 1999.
- [79.] G. M. Chen, J.G. Teng, and J.F. Chen, "Process of debonding in RC beams shear-strengthened with FRP U-strips or side strips," International Journal of Solids and Structures, vol 49(10), pp. 1266-1282, 2012 Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2012.02.007>.
- [80.] European Standard - EN1990, "Eurocode 0, Basic of Structural design", European Committee for Standardisation, 2002.
- [81.] European Standard - EN 1992-1-1, "Eurocode 2: Design of Concrete Structures: Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings," British Standards Institution, 2004.

- [49.] A. Mofidi, O. Chaallal, "Shear Strengthening of RC Beams with EB FRP: Influencing Factors and Conceptual Debonding Model," *Journal of Composites for Construction*, vol 15 pp. 62-74, 2011. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000153](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000153)
- [50.] R. Kalfat, et al., "Post-tensioned concrete beams strengthened in shear using fiber-reinforced polymer laminates and patch anchors," *Journal of Composites for Construction*, vol 24(2), pp. 04019065-1-17, 2020. Doi: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000989.
- [51.] B. H. Osman, et al., "Effect of reinforcement ratios on shear behavior of concrete beams strengthened with CFRP sheets," *Housing and Building National Research Center Journal*, in press, pp. 1-8, 2016, Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hbrj.2016.04.002>.
- [52.] A. Godat, P. Labossiere, K. W. Neale, "Numerical investigation of the parameters influencing the behaviour of FRP shear-strengthened beams," *Construction and Building Materials*, vol 32, pp. 90-98, 2012. Doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.11.110
- [53.] A. Boussselham, O. Chaallal, "Effect of transverse steel and shear span on the performance of RC beams strengthened in shear with CFRP," *Composites Part B: Engineering*, vol 37, pp. 37-46, 2006. Doi: 10.1016/j.compositesb.2005.05.012.
- [54.] T. Horiguchi and N. Saeki, "Effect of Test Methods and Quality of Concrete on Bond Strength of CFRP Sheet", *Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures. Proceedings of the Third Symposium, Japan, 1997*, vol 1, pp.265 – 270.
- [55.] G. M. Chen, J.G. Teng, and J.F. Chen, "Interaction between steel stirrups and shear-strengthening frp strips in RC beams," *Journal of Composites for Construction*, vol 14 (5), pp. 498-509, 2010. Doi: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000120.
- [56.] A. Khalifa and A. Nanni, "Rehabilitation of rectangular simply supported RC beams with shear deficiencies using CFRP composites," *Construction and Building Materials*, vol. 16 (3), pp.135-146, 2002.
- [57.] W. Teo, K. L. Hing, and M. S. Liew, "Interaction between Internal Shear Reinforcement and External FRP Systems of RC Beams: Experimental Study," *The Open Civil Engineering Journal*, vol 11, pp. 143-152, 2017. DOI: 10.2174/1874149501711010143
- [58.] A Boussselham and O. Challa, "Mechanisms of Shear Resistance of Concrete Beams Strengthened in Shear with Externally Bonded FRP," *Journal of Composites for Construction*, vol 12 (5), pp. 499-512, 2008. Doi: 10.1061/(ASCE)1090-0268(2008)12:5(499)
- [59.] A. Mofidi and O. Chaallal, "Effect of Steel Stirrups on Shear Resistance Gain Due to Externally Bonded Fiber-Reinforced Polymer Strips and Sheets," *ACI Structural Journal*, MS No 2012-104.R2, pp. 1-9, 2012.
- [60.] G. Monti and M. A. Liotta, "Tests and design equations for FRP-strengthening in shear," *Construction and Building Materials*, vol 21, pp. 799-809, 2007.
- [61.] B. B. Adhikary, H. Mutsuyoshi, "Behavior of concrete beams strengthened in shear with carbon-fiber sheets," *Journal of Composites for Construction*, vol 8, pp. 258-64, 2004. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0268\(2004\)8:3\(258\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0268(2004)8:3(258)).
- [62.] H. Surwase, G. N. Narule and S. B. Walke, "Behavior of RC T- beam strengthen using basalt fiber reinforced polymer (FRP) sheet," *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol 6 (6), pp. 3525-3529, 2019.
- [63.] A. M. Sayed, "Experimental study of large-scale RC beams shear-strengthened with basalt FRP sheets," *Civil Engineering Journal*, vol 6 (4), pp. 769-784, 2020.
- [64.] V. Colotti, "Effectiveness factors for bond strength in FRP shear-strengthened RC beams," *Materials and Structures*, vol 49, pp. 5031-5049, 2016.

1.1.2 Mô hình và các công thức xác định khả năng kháng cắt của dầm BTCT và BTUST gia cường bằng vật liệu FRP

Phương pháp phổ biến để tính khả năng kháng cắt của dầm BTCT lẫn dầm BTUST gia cường tấm FRP là dựa trên nguyên lý cộng tác dụng các thành phần tham gia kháng cắt gồm của bê tông V_c , cốt đai V_{sw} , lực căng trong cáp V_p , và tấm FRP V_f , và hầu hết bỏ qua sự tương tác giữa chúng để đơn giản hóa quá trình tính toán. Trong đó, việc tính toán khả năng kháng cắt của các thành phần bê tông V_c , cốt đai V_{sw} , và lực căng trong cáp V_p , chủ yếu tính toán trên cơ sở các tiêu chuẩn hiện hành. Đặc biệt, việc tính toán sự tham gia kháng cắt của thành phần tấm FRP V_f hiện có rất nhiều mô hình dự đoán cho dầm BTCT theo phương pháp thực nghiệm, bán thực nghiệm và phương pháp giải tích [85]-[90], [7], [8], [91]-[93], [61], [56], [94]-[96]. Tuy nhiên, mô hình dự đoán khả năng kháng cắt cho dầm BTUST gia cường bằng vật liệu FRP lại rất ít [50]. Thực tế, mô hình cộng tác dụng như trên không mô tả được tường minh các cơ chế kháng cắt của dầm BTUST và sự tương tác giữa các cơ chế này. Tuy nhiên, do tính đơn giản và mức độ chính xác vừa đủ của nó trong việc dự đoán khả năng kháng cắt của dầm nên nó vẫn được sử dụng để xây dựng các công thức tính toán trong các tiêu chuẩn và hướng dẫn thiết kế hiện hành [30], [32], [33], [40]-[44].

1.2 Nội dung và ý nghĩa nghiên cứu

1.2.1 Nội dung nghiên cứu

Nội dung nghiên cứu chính của luận án như sau:

- (1) Khảo sát thực nghiệm trên 40 mẫu dầm UPC tiết diện chữ T đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố chính như cường độ bê tông, quỹ đạo căng cáp, tỷ số nhíp cắt trên chiều cao làm việc của dầm a/d_e , thông số vật liệu FRP (hàm lượng và loại tấm gia cường (GFRP và CFRP), sơ đồ gia cường (dạng dải U rời rạc và liên tục)), hệ neo và phân tích ảnh hưởng tương tác giữa các yếu tố này đến hiệu quả gia cường của tấm CFRP/GFRP đối với dầm UPC.
- (2) Kiểm chứng và đánh giá lại các công thức tính khả năng kháng cắt của tấm FRP trong một số tiêu chuẩn hiện có. Từ đó nhận xét và đánh giá mức độ

chính xác của từng tiêu chuẩn theo sự tương tác các tham số như cường độ bê tông, tỷ số nhíp cốt trên chiều cao làm việc dầm (a/de), cấp ứng suất, tương tác cốt đai vào thông số đặc trưng tấm FRP.

- (3) Xây dựng công thức tính khả năng kháng cắt của dầm BTUST tiết diện chữ T được gia cường tấm CFRP/GFRP dạng U có kể đến đầy đủ các cơ chế kháng cắt và ảnh hưởng của hệ neo và quỹ đạo cáp.

1.2.2 Ý nghĩa nghiên cứu

1.2.2.1. Ý nghĩa khoa học

- Phương diện thực nghiệm: nghiên cứu này được kỳ vọng có thể làm sáng tỏ được một cách rõ ràng và có hệ thống về hiệu quả gia cường kháng cắt của tấm CFRP/GFRP cho dầm UPC.
- Phương diện lý thuyết: việc đề xuất công thức tính mới, miêu tả gần hơn bản chất vật lý ứng xử cắt của dầm BTUST gia cường bằng vật liệu FRP. Công thức đề xuất lồng ghép được trong nó mô hình làm việc của vật liệu, các điều kiện về cân bằng và sự tương thích về biến dạng, xét được đầy đủ hơn các cơ chế kháng cắt cũng như sự tương tác giữa chúng và giúp cho việc tính toán hoặc thiết kế được tường minh và tin cậy hơn

1.2.2.2 Ý nghĩa thực tiễn

- Các kết quả của Luận án là nguồn dữ liệu tham khảo có giá trị cho những nhà nghiên cứu và cộng đồng kỹ sư xây dựng làm việc trong lĩnh vực gia cường kết cấu công trình ở Việt Nam.
- Giải pháp neo kim mũi dùi được đề xuất trong luận án này có chế tạo đơn giản và chi phí thấp so với các giải pháp neo khác (chẳng hạn như neo cơ học) nhưng có thể phát huy tốt hiệu quả làm việc, làm chậm và ngăn cản quá trình bong tách sớm tấm gia cường CFRP/GFRP, và từ đó làm tăng mạnh hiệu quả gia cường và khả năng chịu lực của kết cấu.

- [32.] Concrete Society Committee, “Design Guidance for Strengthening Concrete Structures using Fibre Composite Materials”. Technical Report No. 55 (TR 55), 3rd edition, Camberley, Surrey, 2012.
- [33.] Advisory committee on Technical recommendations for construction, “Guide for the design and construction of externally bonded frp systems for strengthening existing structures - materials, RC and PC structures, masonry structures,” in National Research Council (CNR-DT 200 R1/2013). Rome, 2013.
- [34.] R.Z. Al-Rousan and M. A. Issa, “ The effect of beam depth on the shear behavior of reinforced concrete beams externally strengthened with carbon fiber-reinforced polymer composites,” Advances in Structural Engineering, vol 19(11), pp. 1769-1779, 2016. Doi: 10.1177/1369433216649386
- [35.] R. Wolf and H. J. Miessler, “HLV-Spannglieder in der Praxis,” Erfahrungen Mit Glasfaserverbundstaben Beton, vol 2, pp. 47-51, 1989.
- [36.] U. Meier, “Bridge repair with high performance composite materials,” Materials Technology, vol 4, pp. 125-128, 1987.
- [37.] M. N. Fardis and H. Khalili, “Concrete Encased in Fiberglass Reinforced Plastic,” ACI Journal Proceedings, vol 78 (6), Nov.-Dec., pp. 440-446, 1981.
- [38.] H. Katsumata, Y. Kobatake and T. Takeda, T, “A study on the strengthening with carbon fiber for earthquake-resistant capacity of existing concrete columns,” Proceedings from the Workshop on Repair and Retrofit of Existing Structures, U.S.-Japan Panel on Wind and Seismic Effects, U.S.-Japan Cooperative Program in Natural Resources, Tsukuba, Japan, pp. 1816-1823, 1987.
- [39.] Nanni, A., “Concrete repair with externally bonded FRP reinforcement,” Concrete International, vol 17, No. 6, June, pp. 22-26, 1995.
- [40.] Japan Society of Civil Engineers (JSCE), “Recommendations for Upgrading of Concrete Structures with Use of Continuous Fiber Sheet,” Concrete Engineering, Series 41, 2001.
- [41.] Fib 14, Task Group 9.3, “Externally bonded FRP reinforcement for RC structures” Technical report on the design and use of externally bonded fibre reinforced polymer reinforcement (FRP EBR) for reinforced concrete structures, Fib Bulletin 14. 2001.
- [42.] Fib 90, Task group 5.1. “Externally applied FRP reinforcement for concrete structures,” FIB Bulletin 90, Lausanne, Switzerland, 2019.
- [43.] ISIS, “FRP rehabilitation of reinforced concrete structures”. ISIS Design Manual 4, The Canadian Network of Centres of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures (ISIS). Winnipeg, Manitoba, Canada, 2008.
- [44.] HB305, “Design handbook for RC structures retrofitted with FRP and metal plates: beams and slabs,” Handbook –HB 305, Standard Australia, Australia, 2008.
- [45.] E. Gudonis, et al., “FRP reinforcement for concrete structures: state of the art review of application and design,” Engineering Structures and Technologies, vol 5(4), pp. 147-158, 2013. Doi: 10.3846/2029882X.2014.889274.
- [46.] J. F. Chen, and J. G. Teng, “Shear capacity of fiber-reinforced polymer-strengthened reinforced concrete beams: Fiber reinforced polymer rupture,” Journal of Structures Engineering, vol 129 pp. 615–625, 2003. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2003\)129:5\(615\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2003)129:5(615))
- [47.] J. C. Lopez-Gonzalez, J. F. Gómez and E. Gonzalez-Valle, “Effect of adhesive thickness and concrete strength on FRP-concrete bonds,” Journal of Composites for Construction, vol 16 (6), pp.705–711, 2012. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000303](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000303)
- [48.] J. G. Teng and J. F. Chen, “Mechanics of debonding in FRP-plated RC beams,” Proceedings of the Institution of Civil Engineers -Structures and building, vol 162(5), pp. 335-345, 2009. Doi: 10.1680/stbu.2009.162.5.335

- [17.] C. E. Reed and R. J. Peterman, "Evaluation of Prestressed Concrete Girders Strengthened with Carbon Fiber Reinforced Polymer Sheets," *Journal of Bridge Engineering*, vol 9(2), pp. 185-192, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0702\(2004\)9:2\(185\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2004)9:2(185)).
- [18.] M. I. Ary and T. H. K. Kang, "Shear-strengthening of reinforced & prestressed concrete beams using FRP: Part I — Review of previous research," *International Journal of Concrete Structures and Materials*, vol 6(1), pp. 41-47, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40069-012-0004-1>
- [19.] T. H. K. Kang, and M.I. Ary, "Shear-strengthening of reinforced & prestressed concrete beams using FRP: Part II — Experimental investigation," *International Journal of Concrete Structures and Materials*, vol 6(1), pp. 49-57, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40069-012-0005-0>
- [20.] M. A. Murphy, Belarbi and S.-W. Bae, "Behavior of prestressed concrete I-girders strengthened in shear with externally bonded fiber-reinforced-polymer sheets," *PCI Journal*, vol 57(3), pp. 63-82, 2012. Doi: <https://doi.org/10.15554/pci.06012012.63.82>.
- [21.] T. T. D. Nguyen, K. Matsumoto, Y. Sato, M. Yamada, and J. Niwa, "Shear-resisting mechanisms of pre-tensioned PC beams without shear reinforcement strengthened by CFRP sheets," *Journal of JSCE*, vol 4(1), pp. 59-71, 2016. Doi: https://doi.org/10.2208/journalofjsce.4.1_59
- [22.] L. Nguyen-Minh, D. Vo-Le, D. Tran-Thanh, T.M. Pham, C. Ho-Huu, and M. Rovňák, "Shear capacity of unbonded post-tensioned concrete T-beams strengthened with CFRP and GFRP U-wraps". *Composite Structures*, vol 184, pp. 1011-1029, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.10.072>.
- [23.] A. E. Naaman, "Prestressed concrete analysis and design," *Fundamentals*, second edition, Michigan, USA: Techno Press 3000, 2004.
- [24.] Q. P. T. Truong, P. Phan-Vu, D. Tran-Thanh, T.D. Dang, and L. Nguyen-Minh. "Flexural behavior of unbonded post-tensioned concrete T-beams externally bonded with CFRP sheets under static loading," *International Conference on Advances in Computational Mechanics 2017 (ACOME 2017)*. Lecture Notes in Mechanical Engineering, Springer, 2018. Doi: https://doi.org/10.1007/978-981-10-7149-2_19
- [25.] P. Phan-Vu, D.T. Tran, C. Ngo-Huu, T.D. Dang, and L. Nguyen-Minh, "Flexural behaviour of unbonded post-tensioned concrete t-beams strengthened with cfrp sheets under repeated loading," in *7th International Conference on Protection of Structures against Hazards (PSH2018)*. Hanoi, Vietnam: CI-Premier Pte Ltd, Singapore 238841, 2018.
- [26.] Le, T.D., T.M. Pham, H. Hao, and C. Yuan, "Performance of precast segmental concrete beams posttensioned with carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) tendons," *Composite Structures*, vol 208, pp. 56-69, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.10.015>
- [27.] S.W. Bae and A. Belarbi, "Behavior of various anchorage systems used for shear strengthening of concrete structures with externally bonded FRP sheets," *Journal of Bridge Engineering*, vol 18(9), pp 837-847, 2013. Doi: [10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0000420](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000420)
- [28.] Y. Kim, W.M. Ghannoum, and J.O. Jirsa, "Shear behavior of full-scale reinforced concrete T-beams strengthened with CFRP strips and anchors," *Construction and Building Materials*, vol 94, pp. 1-9, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.005>.
- [29.] C. del Rey, E. D. Dizhur, M. Griffith, and J. Ingham, "Strengthening RC structures using FRP spike anchors in combination with EBR systems," *Composite Structures*, vol 209, pp. 668-685, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.10.093>.
- [30.] ACI Committee 440, "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures," in *American Concrete Institute (ACI 440.2R-17)*. Farmington Hills, Michigan, 2017.
- [31.] A. Belarbi, et al., "Design of FRP systems for Strengthening concrete girders in shear". National Cooperative Highway Research Program, report 678 (NCHRP 678), Transportation research board, Washington D.C, 2011.

1.3 Đối tượng, phạm vi nghiên cứu và cấu trúc của luận án

1.3.1 Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu: dầm UPC đơn giản tiết diện chữ T được thiết kế theo ACI 318 [84]. Vật liệu gia cường là tấm CFRP/GFRP loại đơn hướng do hãng Tyfo sản xuất. Cấp sử dụng loại không bám dính, 7 sợi, có đường kính danh định 15.2mm.
- Phạm vi nghiên cứu: giới hạn trên 40 dầm UPC tiết diện chữ T gia cường tấm CFRP/GFRP có kích thước tiết diện được thiết kế theo tỷ lệ mô hình 1/2 so với thực tế với các thông số thay đổi gồm cường độ bê tông, tỷ số nhíp cắt trên chiều cao dầm (a/d_e), loại tấm (CFRP/GFRP), hàm lượng và sơ đồ gia cường, hệ neo (hệ neo bằng cách dán tấm CFRP/GFRP dọc - AN1 và hệ neo kim mũi dùi CFRP/GFRP kết hợp - AN2) và quỹ đạo cấp (cấp thẳng và cấp cong).
- Phương pháp nghiên cứu gồm phương pháp thực nghiệm, phương pháp thống kê và phương pháp giải tích.

1.3.2 Cấu trúc và tổ chức của luận án

Đặt vấn đề

Chương 1: Tổng quan, mục tiêu, ý nghĩa và nội dung nghiên cứu

Chương 2: Nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của các yếu tố chính đến ứng xử cắt của dầm bê tông ứng suất căng sau dùi cấp không bám dính gia cường tấm CFRP/GFRP

Chương 3: Kiểm chứng các công thức dự đoán khả năng kháng cắt hiện có cho dầm bê tông ứng suất căng sau dùi cấp không bám dính gia cường tấm CFRP/GFRP

Chương 4: Đề xuất công thức mới dự đoán khả năng kháng cắt cho dầm bê tông ứng suất căng sau dùi cấp không bám dính gia cường tấm CFRP/GFRP.

Kết luận

Tài liệu tham khảo

CHƯƠNG 2 NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC YẾU TỐ CHÍNH ĐẾN ỨNG XỬ CẮT CỦA DẦM BÊ TÔNG ỨNG SUẤT CĂNG SAU DÙNG CÁP KHÔNG BẮM DÍNH GIA CƯỜNG TÂM CFRP/GFRP

2.1 Chương trình thực nghiệm

2.1.1 Vật liệu

Các vật liệu dùng trong chương trình thực nghiệm được thí nghiệm xác định cường độ theo các tiêu chuẩn hiện hành và được tóm tắt kết quả như Bảng 2.1

Bảng 2.1 Thông số kỹ thuật của các vật liệu thí nghiệm

Vật liệu	Chủng loại	Cường độ chịu nén	Giới hạn kéo chảy	Giới hạn kéo cực hạn
		$f_{c,cube}$ (MPa)	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Bê tông	Nhóm A	38.3		
	Nhóm B	55.5		
	Nhóm C	73.4		
Thép	$\phi 25$		344	600
	$\phi 12$		337	587
	$\phi 6$		342	463
Cáp *	$\phi 15.2$		1670	1860
Tâm FRP	CFRP			982
	GFRP			527
Keo	epoxy			72.4

2.1.2 Dầm thí nghiệm

40 mẫu dầm thí nghiệm có cùng kích thước tiết diện hình học (mô phỏng tỷ lệ $\frac{1}{2}$ kích thước dầm thực tế nhằm phù hợp điều kiện thí nghiệm trong phòng), chiều cao dầm $h = 500$ mm, bề rộng cánh $b_f = 300$ mm, bề rộng sườn $b_w = 120$ mm, chiều dày cánh $h_f = 80$ mm, chiều dài dầm $L = 3500$ mm (**Hình 2.3**). Các dầm được chia làm ba nhóm A, B, và C có cường độ bê tông tương ứng lần lượt là 38.3, 55.5 và 73.4 MPa. Dầm được căng sau bởi hai cáp loại 7 sợi, đường kính 15.2 mm, không bám dính. Lực căng ban đầu trong mỗi cáp, $F_{pi} = 182$ kN, tương đương với ứng suất nén hữu hiệu trong bê tông $f_{pc} = 4.6$ MPa. Các dầm được thiết kế theo ACI 318 [84] theo kiểu U, không nứt. Quỹ đạo căng cáp gồm hai dạng thẳng và cong (**Hình 2.4**). Thớ chịu kéo của dầm được bố trí hai thanh cốt thép

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1.] C.E. Bakis et al., "Fiber-reinforced polymer composites for construction-state-of-the-art review," *Journal of Composites for Construction*, vol. 6, no. 2, pp. 73–87, 2002. Doi: 10.1061/(ASCE)1090-0268(2002)6:2(73).
- [2.] A. Siddika, M.A.A Mamun, R. Alyousef and Y.H.M. Amran, "Strengthening of reinforced concrete beams by using fiber-reinforced polymer composites: A review," *Journal of Building Engineering*, vol 25, pp. 100798, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100798>.
- [3.] Y. J. Kim, "State of the practice of FRP composites in highway bridges," *Engineering Structures*, vol 179, pp. 1-8, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.10.067>
- [4.] D. T. Tran, P. Phan-Vu, T.M. Pham, T.D. Dang, and L. Nguyen-Minh, "Repeated and Post-Repeated Flexural Behavior of Unbonded Post-Tensioned Concrete T-Beams Strengthened with CFRP Sheets," *Journal of Composites for Construction*, vol 24 (2): p. 04019064, 2020. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000996](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000996).
- [5.] A. Khalifa and A. Nanni, "Improving shear capacity of existing RC T-section beams using CFRP composites," *Cement and Concrete Composites*, vol 22 (2), pp.165-174, 2000.
- [6.] C. Deniaud and J.J. R. Cheng, "Shear behavior of reinforced concrete T-beams with externally bonded fiber-reinforced polymer sheets," *ACI Structural Journal*, vol 98(3), pp.386-394, 2003.
- [7.] C. Pellegrino and C. Modena, "Fiber-reinforced polymer shear strengthening of reinforced concrete beams: Experimental study and analytical modeling," *ACI Structural Journal*, vol 103(5), pp.720-728, 2006.
- [8.] G. Monti and M. A. Liotta, "Tests and design equations for FRP strengthening in shear," *Construction and Building Materials*, vol 21, pp. 799-809, 2007.
- [9.] Y. Kim, et al., "Shear strengthening of reinforced and prestressed concrete beams using carbon fiber reinforced polymer (CFRP) sheets and anchors," Technical Rep. No. FHWA/TX-12/0-6306-1, Center for Transportation Research, University of Texas at Austin, Austin, Texas, 2012.
- [10.] G. M. Chen, J. G. Teng, and J. F. Chen, "Process of debonding in RC beams shear-strengthened with FRP U-strips or side strips," *International Journal of Solids and Structures*, vol 49(10), pp.1266-1282, 2012.
- [11.] C. Pellegrino and M. Vasic, "Assessment of design procedures for the use of externally bonded FRP composites in shear strengthening of reinforced concrete beams," *Composites: Part B*, vol 45, pp. 727-741, 2013.
- [12.] G. M. Chen, J. G. Teng, and J. F. Chen, "Shear strength model for FRP-strengthened RC beams with adverse FRP-steel interaction," *Journal of Composites for Construction*, Vol 17 (1), pp. 50-66, 2013.
- [13.] L. Nguyen-Minh and M. Rovňák, "Size effect in uncracked and pre-cracked reinforced concrete beams shear-strengthened with composite jackets," *Composites Part B*, vol 78, pp.361-376, 2015.
- [14.] W. Li and C. K. Leung, "Shear span–depth ratio effect on behavior of RC beam shear strengthened with full-wrapping FRP strip," *Journal of Composites for Construction*, vol 20 (3), pp.1-14, 2015.
- [15.] W. Li and C. K. Leung, "Effect of shear span-depth ratio on mechanical performance of RC beams strengthened in shear with U-wrapping FRP strips," *Composite Structures* (in press), 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.06.059>
- [16.] E. Oller, M. Pujol and A. Marí, "Contribution of externally bonded FRP shear reinforcement to the shear strength of RC beams," *Composites Part B*, (in press), 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.11.065>.

2. Mức độ chính xác của các công thức xác định khả năng kháng cắt của dầm BTUST gia cường tấm CFRP/GFRP

- Phương pháp truyền thống xác định sự đóng góp kháng cắt của thành phần tấm FRP bằng hiệu giá trị khả năng kháng cắt dầm gia cường tấm FRP với dầm đối chứng chưa thật sự hợp lý. Phương pháp xác định sự đóng góp cắt của thành phần tấm FRP được tính từ dữ liệu biến dạng của tấm FRP cắt ngang qua vết nứt cắt chủ đạo phản ánh phù hợp hơn ứng xử thực tế của tấm FRP và nên được sử dụng.
- Các tiêu chuẩn hiện hành dự đoán khả năng kháng cắt của dầm BTUST gia cường tấm FRP đều thấp hơn rất nhiều so với thực nghiệm. Trong số các tiêu chuẩn được đánh giá, tiêu chuẩn JSCE (2012) cho kết quả tốt nhất, tuy nhiên, tính ổn định của kết quả tính lại rất thấp.

3. Công thức đề xuất

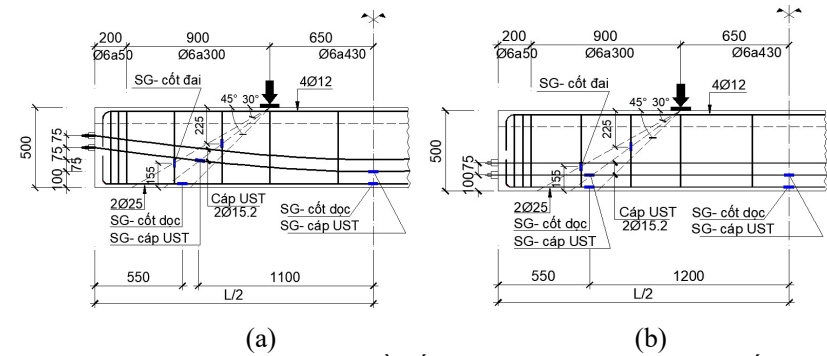
- Công thức đề xuất ở dạng lý thuyết cho kết quả với độ tin cậy và an toàn, thể hiện qua giá trị trung bình (Mean) và hệ số biến thiên (COV) của tỷ số khả năng kháng cắt của dầm theo công thức đề xuất và thực nghiệm lần lượt là 0.98 và 0.13. Ở dạng thiết kế, công thức đề xuất cho kết quả an toàn và ổn định với Mean và COV của tỷ số khả năng kháng cắt của dầm theo công thức đề xuất và thực nghiệm lần lượt là 0.74 và 0.13. So với các công thức từ ACI 440.2R-17 và CNRDT 200R1-13, công thức đề xuất cho kết quả gần với thực nghiệm hơn và có độ ổn định tốt hơn. Công thức có thể dùng để thiết kế kháng cắt cho dầm UPC và BPC cho cả trường hợp dầm gia cường và không gia cường tấm FRP.

Kiến nghị hướng nghiên cứu tiếp theo

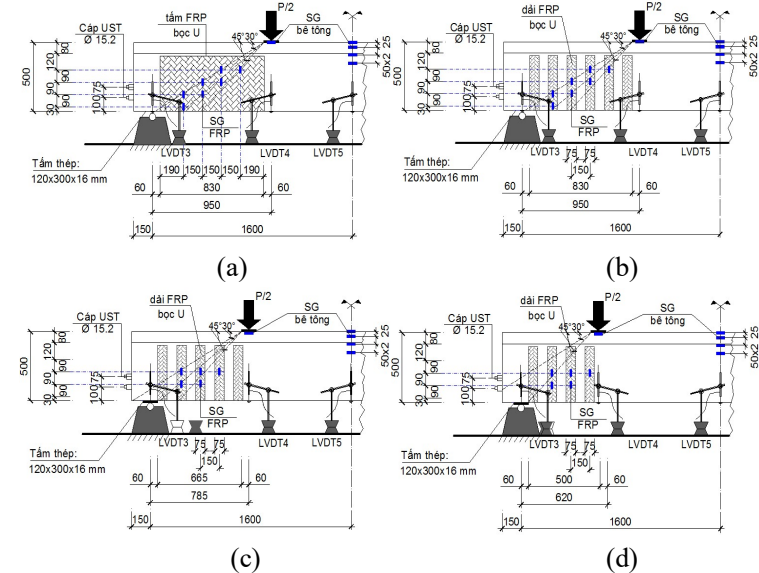
Từ những tồn tại chưa được giải quyết trong luận án, một số hướng nghiên cứu tiếp nối có thể được kiến nghị như sau:

- (1) Nghiên cứu về ứng xử cắt của dầm liên tục BPC và UPC gia cường tấm CFRP/GFRP.
- (2) Nghiên cứu tối ưu về cấu hình gia cường kháng cắt của tấm CFRP/GFRP cho dầm UPC.
- (3) Nghiên cứu các đặc trưng kháng cắt của dầm UPC gia cường tấm CFRP/GFRP chịu tải trọng va đập.

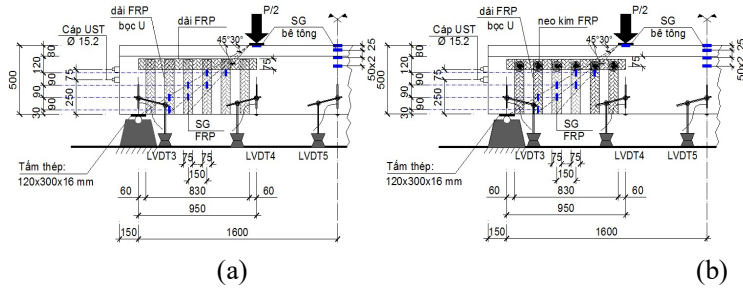
có đường kính 25 mm, hàm lượng $\rho_s = 1.79\%$ và thép chịu nén được bố trí bốn thanh cầu tạo đường kính 12mm. Cốt đai dùng thép đường kính 6 mm với bước cốt đai 300 mm, hàm lượng $\rho_{sw} = 0.16\%$. Các dầm được gia cường kháng cắt bằng hai loại tấm CFRP hoặc GFRP dạng U liên tục và dải rời rạc (**Hình 2.5**) với hàm lượng tấm CFRP/GFRP thay đổi từ 0.83% đến 2.17%.



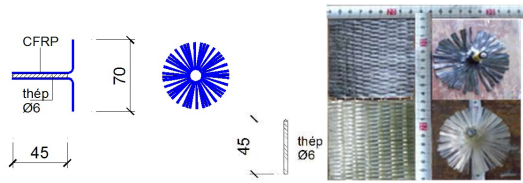
Hình 2.4 Kích thước hình học, sơ đồ bố trí cáp, thép thanh và cảm biến đo biến dạng cáp và thép thanh của dầm thí nghiệm (đơn vị: mm): (a) quỹ đạo cáp cong (b) quỹ đạo cáp thẳng



Hình 2.5 Sơ đồ dầm gia cường tấm CFRP/GFRP dạng bọc U và cảm biến đo biến dạng tấm CFRP/GFRP của dầm thí nghiệm (đơn vị: mm): (a) dạng liên tục, $a/d_e = 2.3$; (b) dạng rời rạc, $a/d_e = 2.3$; (c) dạng rời rạc, $a/d_e = 1.9$; (d) dạng rời rạc, $a/d_e = 1.5$.



Hình 2.6 Sơ đồ dầm gia cường tấm CFRP/GFRP dạng bọc U và cảm biến đo biến dạng tấm CFRP/GFRP của dầm thí nghiệm (đơn vị: mm): (a) neo AN1; (b) neo AN2



Hình 2.7 Chi tiết cấu tạo kim neo mũi dùi CFRP/GFRP

Nghiên cứu này sử dụng hệ neo dán dải dọc bằng tấm CFRP/GFRP trên đỉnh các dải gia cường kháng cắt tấm CFRP/GFRP tương tự như kiểu neo-HS truyền thống với bề rộng tấm CFRP/GFRP là 75 mm gọi là hệ neo AN1 (Hình 2.6a). Hệ neo thứ hai được dùng gồm kim mũi dùi kết hợp với hệ neo AN1; đây được xem là hệ neo mới chưa được đề cập trong các nghiên cứu trước đây và được ký hiệu là AN2 (Hình 2.7).

2.1.3 Sơ đồ thử tải và bố trí thiết bị thí nghiệm

Tất cả các dầm được thí nghiệm theo sơ đồ dầm đơn giản chịu uốn bốn điểm (Hình 2.4, 2.5 và 2.6) với nhịp thử tải của dầm (L_0) là 3200 mm. Vị trí từ điểm đặt lực được thiết kế thay đổi tương ứng với tỷ số nhịp cắt trên chiều cao làm việc của tiết diện, $a/d = 1.5, 1.9, \text{ và } 2.3$. Biến dạng của các thông số cần đo được

- Hiệu quả gia cường kháng cắt của tấm CFRP/GFRP cho dầm UPC chỉ tối đa 27%, thấp đáng kể so với mức 75% của dầm BTCT từ các nghiên cứu trước đây.
- Mức độ tham gia kháng cắt của thành phần tấm CFRP trong dầm lớn hơn nhiều so với của tấm GFRP (trung bình 68% đối với dầm cấp cong và 46% đối với dầm cấp thẳng). Mặc dù, biến dạng trung bình của tấm CFRP nhỏ hơn so với tấm GFRP (trung bình 23%).
- Tấm CFRP/GFRP làm tăng đáng kể khả năng biến dạng và hấp thụ năng lượng của dầm lần lượt trung bình 27% và 62%; tuy nhiên, không có sự chênh lệch đáng kể giữa hiệu quả gia cường của tấm CFRP và tấm GFRP về sự gia tăng khả năng biến dạng và khả năng hấp thụ năng lượng dầm. Loại tấm gia cường (CFRP và GFRP), kiểu gia cường (liên tục hay rời rạc) và hàm lượng tấm gia cường ảnh hưởng không đáng kể đến biến dạng sau cùng của cáp và cốt thép dọc.

(d) Yếu tố hệ neo

- Hệ neo dạng dải dọc (AN1) và dạng dải dọc kết hợp với mũi dùi (AN2) đóng vai trò quan trọng trong việc làm chậm và ngăn cản sự bong tách tấm GFRP/GFRP dạng dải giúp gia tăng đáng kể khả năng kháng cắt của tấm FRP trong dầm, trung bình lên tới 59% (hệ neo AN1) và 118% (hệ neo AN2).
- Hệ neo AN2 có xu hướng làm việc hiệu quả hơn so với hệ neo AN1 thể hiện qua mức đóng góp kháng cắt của tấm (lớn hơn trung bình 40% cho dầm cấp thẳng và 61% cho dầm cấp cong) và khả năng hấp thụ năng lượng (lớn hơn 14%). Mức hiệu quả này gần như tương đồng với kiểu gia cường U liên tục trong khi diện tích gia cường của cấu hình U liên tục lớn hơn đến 84% so với của cấu hình dạng dải U rời rạc.

(e) Yếu tố tỷ số nhịp cắt trên chiều cao làm việc của tiết diện dầm a/d_e

- Sự giảm tỉ số a/d_e (từ 2.3 về 1.5) làm tăng đáng kể góc của vết nứt xiên (trung bình 17%), khả năng kháng nứt xiên của dầm (trung bình 43%) và cải thiện mạnh hiệu quả gia cường kháng cắt của tấm CFRP (2.1 lần) cũng như sự gia tăng về khả năng kháng cắt của dầm (3.1 lần).
- Sự giảm của tỷ số a/d_e (từ 2.3 về 1.5) dẫn đến sự giảm mạnh về khả năng biến dạng và hấp thụ năng lượng của dầm, đặc biệt với dầm có cường độ bê tông cao; đồng thời, nó cũng làm giảm biến dạng lớn nhất trong tấm gia cường (xấp xỉ 33%).

từ ACI 440.2R-17 và CNRDT 200R1-13, công thức đề xuất cho kết quả gần với thực nghiệm hơn và có độ ổn định tốt hơn. Công thức có thể dùng để thiết kế kháng cắt cho dầm BTUST cho cả trường hợp dầm gia cường và không gia cường tấm FRP.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

1. Ảnh hưởng các yếu tố chính đến ứng xử cắt của dầm BTUST sử dụng cáp không bám dính gia cường tấm CFRP/GFRP

(a) Yếu tố cường độ bê tông

- Cường độ bê tông tăng (từ 38.3 lên 73.4 MPa) làm tăng đáng kể hiệu quả gia cường kháng cắt của tấm CFRP/GFRP, đặc biệt ở dầm có quỹ đạo cáp thẳng (lên đến 35%).
- Việc tăng cường độ bê tông (từ 38.3 lên 73.4 MPa) làm tăng độ cứng của dầm và giúp dầm kiểm soát tốt hơn chuyển vị của nó ở giai đoạn sử dụng; làm tăng đáng kể khả năng biến dạng (chuyển vị tổng) của dầm (lên tới 34%) và cải thiện mạnh khả năng hấp thụ năng lượng của dầm (lên đến 102%).
- Cường độ bê tông ảnh hưởng rất rõ đến sự gia tăng biến dạng trung bình của tấm CFRP/GFRP dọc theo vết nứt xiên chính, đặc biệt ở dầm có quỹ đạo cáp thẳng (lên đến 40%) và làm gia tăng biến dạng của cốt đai. Tuy nhiên, sự ảnh hưởng này ở các dầm cáp cong lại ít rõ nét hơn.

(b) Yếu tố quỹ đạo cáp

- Quỹ đạo cáp cong làm giảm biến dạng trong tấm CFRP/GFRP (trung bình 26%) và mức độ tham gia kháng cắt của tấm FRP (trung bình 40%) so với dầm cáp thẳng, mặc dù khả năng kháng cắt của dầm cáp cong lớn hơn so với của dầm cáp thẳng (trung bình 10%).
- Quỹ đạo cáp cong giúp dầm ứng xử mềm dẻo hơn, chuyển đổi dạng phá hoại của dầm từ cắt thuần túy sang cắt – uốn, và làm tăng mạnh khả năng biến dạng (trung bình 2.3 lần) và hấp thụ năng lượng (trung bình 3.0 lần) của dầm cáp cong so với của dầm cáp thẳng.

(c) Nhóm yếu tố liên quan đến thông số vật liệu CFRP/GFRP (loại tấm, số lớp hay hàm lượng và cấu hình gia cường)

xác định thông qua SGs phân bố dọc theo phương cần đo cầu kiện Các dầm được gia tải bằng kích thủy lực 1000 kN theo phương pháp kiểm soát lực. Độ lớn của từng cấp tải xấp xỉ từ 30 đến 50 kN, tốc độ gia tải vào khoảng 15 kN/phút (Hình 2.10).

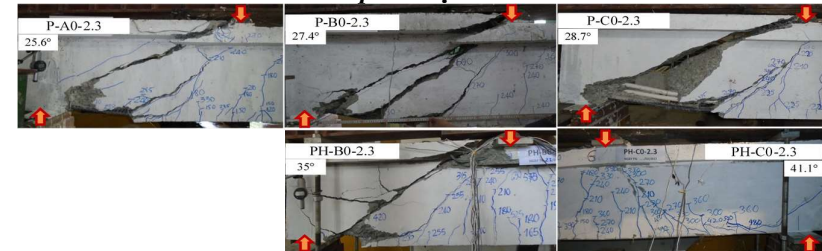


Hình 2.10 Dầm thí nghiệm điển hình trong thực tế

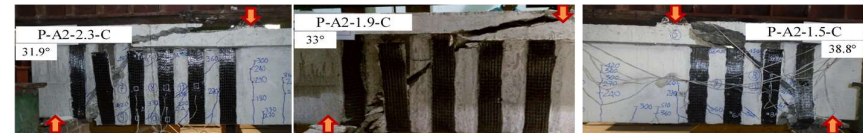
2.2 Kết quả và thảo luận các thông số ảnh hưởng đến khả năng kháng cắt của các dầm thí nghiệm

Kết quả thí nghiệm được trình bày trong Bảng 2.8

2.2.1 Hình thái vết nứt và kiểu phá hoại



Hình 2.10 Kiểu phá hoại của dầm không gia cường



Hình 2.11: Kiểu phá hoại của dầm cáp thẳng gia cường CFRP/GFRP nhóm A



Hình 2.12 Kiểu phá hoại của dầm cáp thẳng gia cường CFRP/GFRP nhóm B

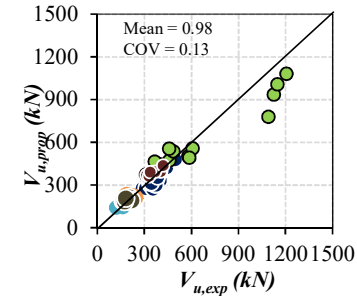
Bảng 2.8 Tổng hợp kết quả thí nghiệm các dầm thực nghiệm

Nhóm	Mẫu dầm	$P_{cr,sh}$	$P_{u,exp}$	$V_{fu,exp}$	δ_u	E_b	$\epsilon_{cu,pld}$	$\epsilon_{cu,mid}$	ϵ_{tu}	$\epsilon_{tu,ave}$	ϵ_{su}	$\epsilon_{su,mid}$	$\epsilon_{pu,mid}$	Góc phá hoại	Kiểu phá hoại
		kN	kN	kN	mm	kN.mm	%	%	%	%	%	%	%	°	
A	P-A0-2.3	180	510	-	12.05	3313	3.1	0.98	-	-	15.53	2.21	7.58	25.6	SD
	P-A1-2.3-G	210	540	15.0	12.75	3871	2.98	1.35	5.97	2.41	9.36	2.31	7.66	26.3	SD+D
	P-A1-2.3-C	210	551	20.5	13.02	4096	3.04	1.12	5.37	1.75	8.19	2.25	7.64	28.4	SD+D
	P-A1-2.3-G-Cont	225	583	49.0	13.91	4678	3.18	1.1	4.66	2.05	10.47	2.49	7.78	32.3	SD+D
	P-A1-2.3-C-Cont	-	608	36.5	15.18	5507	3.27	1.11	2.29	1.37	9.87	2.45	7.70	33.0	SD+D
	P-A2-2.3-C	240	573	31.5	13.78	4606	3.11	1.2	2.73	1.30	9.46	2.50	7.61	31.9	SD+D
	P-A2-1.9-C	255	666	78.0	13.25	4804	3.21	1.13	2.62	1.36	9.56	2.58	7.69	33.0	SD+D
P-A2-1.5-C	360	735	112.5	12.15	4917	3.37	1.06	2.07	1.48	11.77	2.63	7.75	38.8	SD+D	
P-A2-1.5-C	240	705	-	32.3	16059	3.80	1.64	-	-	27.97	4.28	10.36	35.0	SC	
B	PH-B1-2.3-G-Cont	270	767	31.0	42.9	25983	3.67	1.99	6.15	1.71	4.99	5.82	13.90	42.7	S+F
	PH-B1-2.3-C-Cont	N/A	798	46.5	44.6	27518	3.73	2.25	4.66	1.25	15.96	6.24	13.87	38.2	SC+D
	PH-B1-2.3-G-AN1	240	730	12.5	40.3	23218	3.36	1.87	7.09	2.28	22.31	5.03	11.69	38.6	SC+D
	PH-B1-2.3-G-AN2	240	747	21.0	42.1	25020	3.53	1.97	6.26	2.97	20.04	5.49	12.31	43.2	SC+D
	PH-B1-2.3-C-AN1	240	757	26.0	40.8	23693	3.63	1.86	6.40	1.99	20.57	4.47	10.82	40.3	SC+D
	PH-B1-2.3-C-AN2	255	775	35.0	43.2	25986	3.82	2.14	6.10	2.32	14.76	6.15	13.68	37.4	S+F
	P-B0-2.3	210	579	-	13.28	4442	3.23	0.97	-	-	16.72	2.36	7.59	27.4	SD
	P-B1-2.3-G	225	615	18.0	14.15	5208	2.96	1.30	7.05	2.30	10.43	2.54	7.69	31.5	SD+D
	P-B1-2.3-C	240	630	25.5	14.87	6009	2.97	1.10	6.70	1.81	9.97	2.42	7.72	32.6	SD+D
	P-B1-2.3-G-Cont	255	669	57.0	15.97	8129	3.16	1.09	5.04	2.59	10.64	2.78	7.89	35.1	SD+D
	P-B1-2.3-C-Cont	-	693	45.0	17.34	6572	3.18	1.29	2.62	1.84	11.48	2.86	7.82	36.1	SD+D
	P-B1-2.3-C-AN1	240	669	45.0	16.9	7364	3.18	1.30	4.52	2.42	14.98	2.81	7.83	32.9	SD+D
	P-B1-2.3-C-AN2	250	687	54.0	17.3	7828	3.16	1.56	4.66	3.19	12.81	2.88	7.89	34.7	SD+D
	P-B2-2.3-C	285	655	38.0	15.85	6753	3.07	1.10	3.01	1.64	10.05	2.59	7.69	35.7	SD+D
C	PH-C0-2.3	240	745	-	34.6	19211	2.97	1.70	-	-	19.25	4.59	11.75	41.1	SC
	PH-C1-2.3-G-Cont	300	812	33.5	46.1	29237	3.98	2.20	6.58	2.09	4.07	5.98	14.82	44.0	S+F
	PH-C1-2.3-C-Cont	N/A	844	49.5	49.8	32756	3.96	2.35	3.19	1.60	3.93	6.31	13.01	43.6	S+F
	PH-C1-2.3-G-AN1	240	775	15.0	43.7	26774	3.99	1.98	7.40	3.00	14.06	4.67	12.21	40.4	S+F
	PH-C1-2.3-G-AN2	270	798	26.5	45.7	28337	4.02	2.08	7.34	3.56	12.25	5.06	12.41	43.6	S+F
	PH-C1-2.3-C-AN1	270	797	26.0	43.5	26858	4.03	1.87	6.10	2.34	14.98	4.67	12.21	40.2	S+F
	PH-C1-2.3-C-AN2	300	831	43.0	48.4	31093	3.79	2.30	3.76	2.57	12.79	5.04	12.62	43.4	S+F
	P-C0-2.3	210	661	-	15.05	5828	3.42	0.94	-	-	17.82	2.72	7.67	28.7	SD
	P-C1-2.3-G	270	706	22.5	16.54	7310	2.90	1.19	8.55	2.38	13.46	2.96	7.77	33.2	SD+D
	P-C1-2.3-C	255	735	37.0	17.58	8543	2.85	1.06	7.21	2.10	12.83	2.90	7.82	34.2	SD+D
	P-C1-2.3-G-Cont	270	798	68.5	22.57	12368	3.01	1.05	5.52	3.17	14.14	3.30	7.95	36.5	SD+D
	P-C1-2.3-C-Cont	-	836	87.5	25.60	15483	3.13	1.26	3.64	2.56	12.80	3.39	7.88	37.7	SD+D
	P-C1-2.3-C-AN1	270	765	52.0	21.4	11344	3.46	1.47	5.08	2.55	14.07	3.37	7.86	35.4	SC+D
	P-C1-2.3-C-AN2	300	827	83.0	24.4	15711	3.42	1.67	4.99	3.23	12.89	3.42	7.89	39.4	S+F
P-C2-2.3-C	315	784	61.5	22.15	11566	2.88	0.99	4.47	1.72	12.57	2.71	7.81	35.8	SD+D	
P-C2-1.9-C	405	881	110.0	17.90	10167	3.17	0.93	3.19	1.62	13.76	2.77	7.85	37.1	SD+D	
P-C2-1.9-C	450	990	164.5	15.75	9684	3.29	0.90	2.99	1.85	14.23	2.83	7.93	40.3	SD+D	



Hình 2.13 Kiểu phá hoại của dầm cáp thẳng gia cường CFRP/GFRP nhóm C

đính và 9 dầm sử dụng cáp bám dính) và 29 dầm không gia cường. Công thức đề xuất cho kết quả với độ tin cậy và an toàn thể hiện qua giá trị trung bình (Mean) và hệ số biến thiên (COV) của tỉ số khả năng kháng cắt của dầm theo công thức đề xuất và thực nghiệm lần lượt là 0.98 và 0.13.

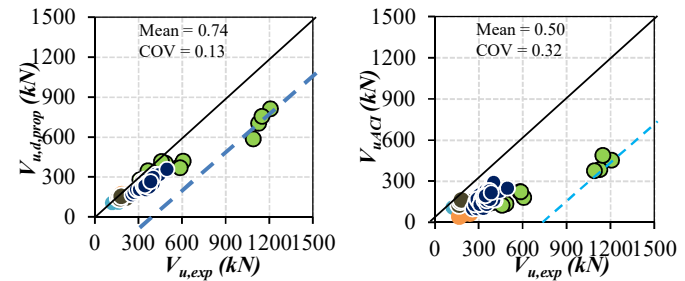


Hình 4.2 So sánh khả năng kháng cắt của dầm BTUST tính theo công thức đề xuất và thực nghiệm: (a) dầm không gia cường và gia cường tấm CFRP/GFRP.

4.3 So sánh độ chính xác công thức thiết kế đề xuất và các tiêu chuẩn khác

Sử dụng qui trình xây dựng hệ số an toàn dùng cho thiết kế theo EN 1990 [80] và hệ số an toàn chất lượng của bê tông của một kết cấu thực tế theo EN 1992-1-1 [81] Công thức đề xuất thiết kế được đề nghị như sau:

$$V_{u,d,prop} = 0.75 \frac{0.058}{\sqrt[4]{d_e / 1000}} \Omega \left(\frac{d_e}{a} \right)^{0.56} (f_c')^{0.33} (\rho_s)^{0.2} (1 + 0.2 f_{pc}) [4.5(v_s + v_f) + 35] [1 + 0.1 v_p] b_w d_e \quad (5.25)$$



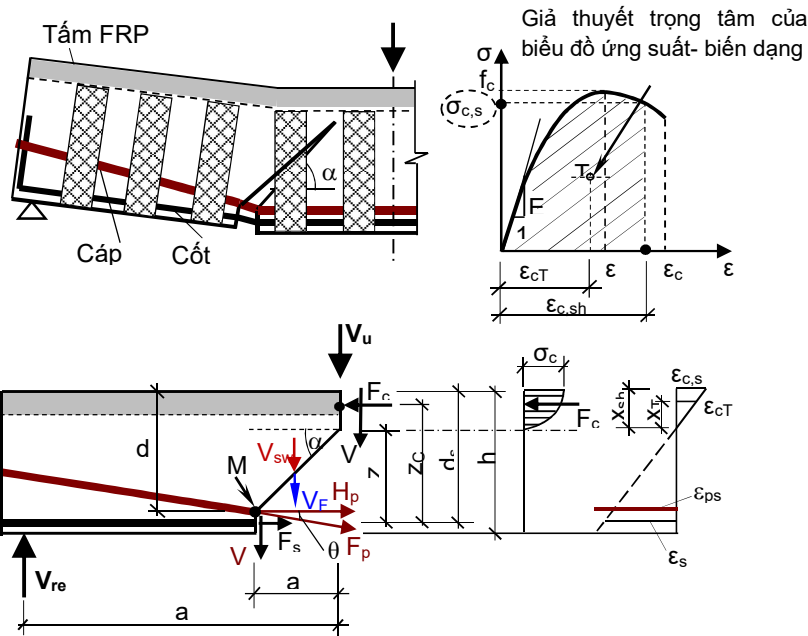
Hình 4.4 So sánh khả năng kháng cắt của dầm BTUST theo công thức thiết kế đề xuất và tiêu chuẩn ACI 4402R-17 với kết quả thực nghiệm.

Công thức đề xuất cho kết quả an toàn và ổn định thể hiện qua giá trị trung bình (Mean) và hệ số biến thiên (COV) của tỉ số khả năng kháng cắt của dầm theo công thức đề xuất và thực nghiệm lần lượt là 0.74 và 0.13. So với các công thức

CHƯƠNG 4 ĐỀ XUẤT CÔNG THỨC DỰ ĐOÁN KHẢ NĂNG KHÁNG CẮT CHO DÀM BÊ TÔNG ỨNG SUẤT CĂNG SAU DÙNG CÁP KHÔNG BÁM DÍNH GIA CƯỜNG TẤM CFRP/GFRP

4.1 Đề xuất công thức

Công thức đề xuất được xây dựng trên mô hình giải tích (Hình 4.1) dựa trên các điều kiện cân bằng lực, điều kiện về tương thích biến dạng và tuân theo các quan hệ ứng suất–biến dạng của thành phần cơ học vật liệu trong dầm.



Hình 4.1 Mô hình phân tích sự tham gia kháng cắt các thành phần trong dầm BT UST gia cường tấm FRP

Công thức như sau:

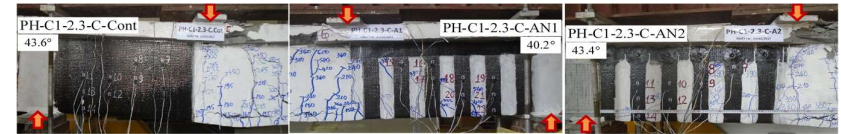
$$V_{re} = \frac{0.085}{\sqrt[4]{d_e/1000}} \Omega \left(\frac{d_e}{a}\right)^{0.56} (f'_c)^{0.33} (\rho_s)^{0.2} (1+0.2f_{pc}) [4.5(v_s+v_F)+35] (1+0.1v_p) b_v d_e$$

4.2 Kiểm chứng mức độ chính xác của công thức đề xuất

Công thức đề xuất được kiểm chứng trên 64 dầm gồm 31 dầm từ nghiên cứu này và 33 dầm từ các nghiên cứu đã có [19], [20], [21], [114], [115], [116]. Trong số này, có 35 dầm gia cường tấm CFRP/GFRP (26 dầm sử dụng cáp không bám



Hình 2.14 Kiểu phá hoại dầm cáp cong gia cường tấm CFRP/GFRP nhóm B



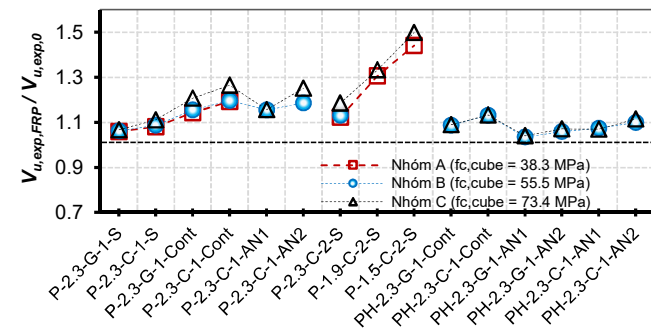
Hình 2.15 Kiểu phá hoại dầm cáp cong gia cường tấm CFRP/GFRP nhóm C

Quý đạo cáp cong giúp dầm có tốc độ phá hoại chậm hơn, ít giòn hơn và bề rộng của vết nứt xiên nhỏ hơn so với các dầm có quý đạo cáp thẳng. Sự giảm tỉ số a/d_e (từ 2.3 về 1.5) làm tăng đáng kể góc của vết nứt xiên trung bình 17%.

2.2.3 Ảnh hưởng cường độ bê tông

a. Đến khả năng kháng nứt và kháng cắt

Cường độ bê tông tăng (từ 38.3 lên 73.4 MPa) có xu hướng làm gia tăng góc của vết nứt xiên dầm gia cường trung bình 11% so với dầm không gia cường. Đồng thời làm tăng đáng kể hiệu quả gia cường kháng cắt của tấm CFRP/GFRP, từ 11 đến 35% dầm có quý đạo cáp thẳng và 6% cho dầm có quý đạo cáp cong.



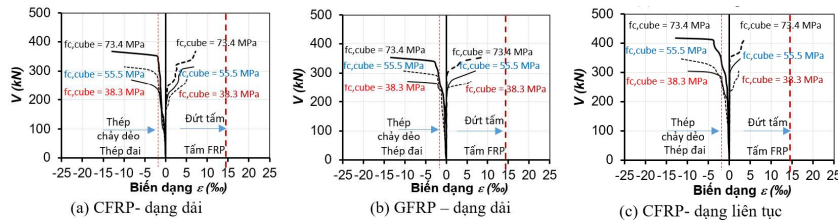
Hình 2.18 Hiệu năng kháng cắt của các dầm thí nghiệm gia cường tấm CFRP/GFRP so với dầm không gia cường

b. Đến biến dạng và năng lượng hấp thụ dầm:

Cường độ bê tông tăng (từ 55.5 lên 73.4 MPa) giúp đảm bảo độ cứng lớn hơn tương ứng sự giảm biến dạng (chuyển vị) của dầm gia cường tấm CFRP/GFRP so với dầm không gia cường trung bình là 8% cho dầm có quỹ đạo cấp thẳng và 37% cho dầm có quỹ đạo cấp cong. Đồng thời việc gia tăng cường độ bê tông còn cải thiện mạnh khả năng hấp thụ năng lượng của dầm (lên đến 102%).

c. Đến biến dạng của tấm CFRP/GFRP và cốt đai

Ảnh hưởng của cường độ bê tông đến biến dạng của cốt đai và tấm FRP được thể hiện như Hình 2.22 và 2.23; ứng xử của cốt đai và tấm gia cường đã có sự tương tác với nhau.



Hình 2.22 Quan hệ lực với biến dạng tấm CFRP/GFRP và cốt đai của các dầm có quỹ đạo cấp thẳng

Sự gia tăng cường độ bê tông ảnh hưởng rất rõ đến sự gia tăng biến dạng trung bình của tấm CFRP/GFRP dọc theo vết nứt xiên chính, đặc biệt ở dầm quỹ đạo cấp thẳng (lên đến 40%); đồng thời nó cũng làm gia tăng biến dạng của cốt đai.

d. Đến biến dạng của cáp, cốt thép dọc và bê tông

Cường độ bê tông ảnh hưởng phức tạp đến biến dạng cáp của các dầm UPC có quỹ đạo cấp cong. Tuy nhiên, cường độ bê tông không ảnh hưởng đến biến dạng cáp cho trường hợp dầm có quỹ đạo cấp thẳng.

2.2.4 Ảnh hưởng của quỹ đạo cấp cáp

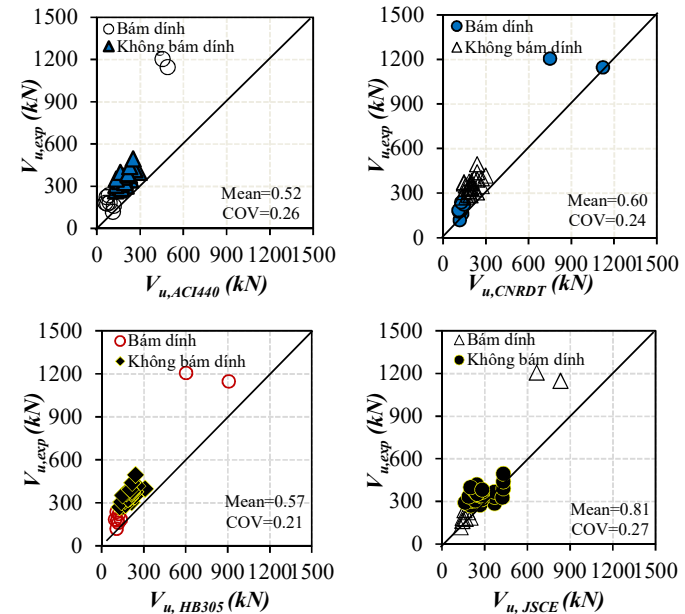
a. Đến khả năng kháng nứt và kháng cắt

Quỹ đạo cấp cong làm tăng đáng kể khả năng kháng nứt xiên (trung bình 14%), kháng cắt (trung bình 19%), So với của dầm đối chứng, tấm CFRP/GFRP chỉ làm tăng nhẹ khả năng kháng cắt của dầm cấp cong (từ 4 đến 13%) nhưng làm tăng đáng kể khả năng kháng cắt của dầm cấp thẳng (từ 9 đến 26%). Tuy nhiên, mức tham gia đóng góp kháng cắt của thành phần tấm CFRP/GFRP của dầm cấp cong nhỏ hơn so với dầm cấp thẳng (từ 32% và 48%) (Hình 2.33).

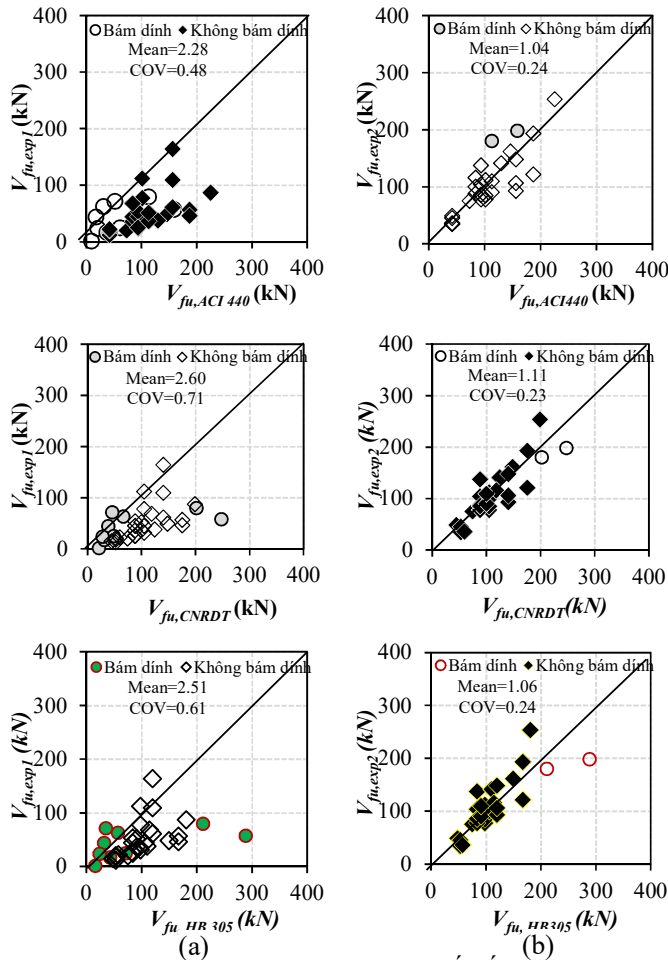
DT 200 R1 dự đoán sự đóng góp khả năng kháng cắt của dải FRP gia cường cho dầm BTUST theo Phương pháp 2 gần sát với kết quả thực nghiệm với tính ổn định tốt.

3.2 Khả năng kháng cắt của dầm bê tông ứng suất trước được gia cường tấm FRP

Các tiêu chuẩn hiện hành dự đoán khả năng kháng cắt của dầm BTUST gia cường tấm FRP đều thấp hơn rất nhiều so với thực nghiệm. Trong số các tiêu chuẩn được đánh giá, tiêu chuẩn JSCE cho kết quả gần với thực nghiệm nhất, tuy nhiên, tính ổn định của kết quả tính lại rất thấp.



Hình 3.2 Khả năng kháng cắt của dầm BTUST gia cường tấm FRP theo thực nghiệm và dự đoán theo các tiêu chuẩn.



Hình 3.1 So sánh khả năng đóng góp kháng cắt tấm FRP gia cường dầm BTUST giữa tiêu chuẩn và thực nghiệm

Kết quả cho thấy phương pháp xác định sự đóng góp cắt của thành phần tấm FRP từ dữ liệu biến dạng của tấm FRP cắt ngang qua vết nứt cắt chủ đạo (Phương pháp 2) đo được rất phù hợp và nên được sử dụng hơn so với phương pháp 1. Phương pháp 1 xác định sự đóng góp cắt của thành phần tấm FRP bằng hiệu giá trị khả năng kháng cắt dầm gia cường tấm FRP với dầm đối chứng được trình bày trong **Bảng 3.2** và **Hình 3.1** (a). Các tiêu chuẩn HB305, ACI 440-2R, CNR-

b. *Đến biến dạng và năng lượng hấp thụ dầm*

Quy đạo cáp cong làm tăng đáng kể biến dạng và hấp thụ năng lượng của dầm hiệu quả hơn so với dầm cáp thẳng. Thực tế này có thể là do sự chuyển đổi dạng phá hoại của dầm từ phá hoại cắt sang cắt – uốn nhờ vào khả năng chống cắt hiệu quả của nhánh cong của cáp.

c. *Đến biến dạng của tấm CFRP/ GFRP và cốt đai*

Biến dạng tấm CFRP/GFRP trung bình theo vết nứt cắt chủ đạo trong dầm cáp cong nhỏ hơn trung bình khoảng 26% so với trong dầm cáp thẳng. Trong khi đó, biến dạng cốt đai của các dầm quy đạo cáp cong gia cường CFRP lớn hơn dầm quy đạo cáp thẳng trung bình 30%.

d. *Đến biến dạng của cáp, cốt thép dọc và bê tông*

Biến dạng lớn nhất của cốt đai, cáp, cốt dọc và của bê tông tại vị trí giữa nhịp và vị trí đặt tải của dầm cáp cong gia cường CFRP lớn hơn các dầm có quy đạo cáp thẳng. Cáp trong các dầm quy đạo cáp cong đều đã chảy dẻo; tuy nhiên, cáp trong các dầm quy đạo cáp thẳng đều chưa bị chảy dẻo

2.2.5 *Ảnh hưởng của thông số tấm gia cường (loại tấm CFRP/GFRP, chiều dày và sơ đồ gia cường)*

a. *Đến khả năng kháng nứt và kháng cắt*

Tấm gia cường CFRP/ GFRP làm tăng khả năng kháng cắt của dầm UPC trong nghiên cứu này tối đa đến 27%. Kiểu gia cường tấm CFRP/GFRP dạng U liên tục cải thiện khả năng kháng cắt và sự tham gia đóng góp kháng cắt của tấm gia cường CFRP/GFRP. Sự tham gia kháng cắt của thành phần tấm CFRP trong dầm lớn hơn nhiều so với tấm GFRP (trung bình 68% đối với dầm cáp cong và 46% đối với dầm cáp thẳng). Việc tăng hàm lượng tấm gia cường CFRP bằng cách tăng gấp đôi số lớp gia cường không cải thiện được đáng kể hiệu quả gia cường kháng cắt của tấm (trung bình 5%) do tấm bị bong tách sớm

b. *Đến biến dạng và năng lượng hấp thụ dầm*

Gia cường tấm CFRP/GFRP dạng U liên tục gia tăng khả năng biến dạng và hấp thụ năng lượng của dầm tốt hơn so với kiểu dán dạng U dài rời rạc (23% và 45% ở dầm cáp thẳng). Tuy nhiên, hệ neo AN2 giúp cho khả năng biến dạng và hấp thụ năng lượng của dầm gia cường dạng dài gần như tương đồng với dầm gia cường dạng liên tục.

c. Đến biến dạng của tấm CFRP/ GFRP và cốt đai

Biến dạng trung bình dọc theo vết nứt xiên chủ đạo của tấm gia cường CFRP nhỏ hơn đáng kể so với của tấm GFRP trung bình 24% cho dầm cáp thẳng và 22% cho dầm cáp cong. Ngoài ra, biến dạng trung bình của tấm CFRP/GFRP ở cấu hình gia cường dạng liên tục nhỏ hơn so với cấu hình dạng dải rời rạc trung bình 81%. Khi tăng hàm lượng tấm CFRP bằng cách tăng gấp đôi lớp dán tấm ở dầm cáp thẳng, biến dạng trung bình của tấm CFRP giảm trung bình 18%.

d. Đến biến dạng của cáp, cốt thép dọc và bê tông

Loại tấm gia cường (CFRP và GFRP) và kiểu gia cường (liên tục, rời rạc), hàm lượng tấm gia cường ảnh hưởng không đáng kể đến biến dạng sau cùng của cáp và cốt thép dọc, bê tông.

2.2.6 Ảnh hưởng của hệ neo

a. Đến khả năng kháng nứt và kháng cắt

Hệ neo dạng dải dọc kết hợp với mũi dùi (AN2) là hệ neo cải tiến mới của Luận án. Hệ neo AN2 khi dùng cho cấu hình gia cường kháng cắt dạng dải U rời rạc cho thấy tính hiệu quả nổi trội trong việc gia tăng khả năng kháng cắt (đến 118%), Hệ neo AN2 tham gia kháng cắt của tấm CFRP/GFRP lớn hơn so với hệ neo AN1 trung bình 40% cho dầm cáp thẳng và 61% cho dầm cáp cong.

b. Đến biến dạng và năng lượng hấp thụ dầm

Hệ neo AN2 hiệu quả hơn, giúp cho khả năng biến dạng và hấp thụ năng lượng của dầm gia cường dạng dải gần như tương đồng với của dầm gia cường dạng liên tục.

c. Đến biến dạng của tấm CFRP/ GFRP và cốt đai

Hệ neo AN2 gia tăng biến dạng trung bình của tấm gia cường CFRP/GFRP kiểu U rời rạc dọc theo vết nứt xiên chủ đạo so với của biến dạng tấm kiểu U rời rạc không neo (trung bình 56%) và của tấm dạng U liên tục (trung bình 46%). Hệ neo AN2 còn góp phần phát huy hiệu quả vai trò tham gia kháng cắt của thành phần cốt đai trong dầm gia cường tấm CFRP/GFRP dạng dải U rời rạc nhiều hơn cấu hình gia cường dạng U liên tục và U rời rạc không neo.

d. Đến biến dạng của cáp, cốt thép dọc và bê tông

Hệ neo AN2 gần như không có ảnh hưởng rõ ràng đến biến dạng cáp cũng như sự tham gia kháng cắt thành phần của cáp trong dầm cáp thẳng nhưng có ảnh hưởng nhẹ đến dầm cáp cong.

2.2.7 Ảnh hưởng của tỷ số nhíp cắt trên chiều cao làm việc của tiết diện dầm a/d_e

a. Đến khả năng kháng nứt và kháng cắt

Tỷ số a/d_e giảm (từ 2.3 về 1.5) tỷ lệ nghịch với gia tăng đáng kể khả năng kháng cắt dầm gia cường CFRP và kháng cắt của tấm CFRP trung bình 32%. Bên cạnh đó, hiệu năng gia cường kháng cắt tấm CFRP trên dầm cáp thẳng tăng 3.1 lần.

b. Đến biến dạng và năng lượng hấp thụ dầm

Khả năng biến dạng và hấp thụ năng lượng của dầm giảm mạnh khi tỷ số a/d_e giảm từ 2.3 về 1.5, đặc biệt, sự suy giảm rõ nét hơn với dầm có cường độ bê tông cao.

c. Đến biến dạng của tấm CFRP/ GFRP và cốt đai

Biến dạng lớn nhất của tấm CFRP có sự suy giảm đáng kể theo sự giảm của tỷ số a/d_e từ 2.3 xuống 1.5 lần lượt 24% đối với nhóm A và 33% đối với nhóm C; biến dạng cốt đai tăng 24% đối với nhóm A và 13% đối với nhóm C.

d. Đến biến dạng của cáp, cốt thép dọc và bê tông

Tỷ số a/d_e giảm từ 2.3 xuống 1.5 ảnh hưởng không đáng kể đến biến dạng lớn nhất của cáp và cốt thép dọc (tăng trung bình nhỏ hơn 5%); nó làm gia tăng biến dạng nén của bê tông của dầm tại vị trí đặt lực từ 7% đến 11%

CHƯƠNG 3 KIỂM CHỨNG CÁC CÔNG THỨC DỰ ĐOÁN KHẢ NĂNG KHÁNG CẮT HIỆN CÓ CHO DẦM BÊ TÔNG ỨNG SUẤT CĂNG SAU DÙNG CÁP KHÔNG BÁM ĐÍNH GIA CƯỜNG TẤM CFRP/GFRP

3.1 Khả năng kháng cắt của tấm gia cường FRP cho trường hợp dầm bê tông ứng suất trước

Đánh giá mức độ chính xác của công thức dự đoán khả năng kháng cắt của tấm CFRP/GFRP trong các tiêu chuẩn hiện hành trên dầm BTUST được thực hiện trên số lượng 35 dầm (09 dầm BPC và 26 dầm UPC) từ các nghiên cứu đã có [19], [20], [21] và luận án với các thông số kỹ thuật đa dạng.