BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI
TỔNG CỤC ĐƯỜNG BỘ VIỆT NAM

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

Số: 1067 /QĐ-TCĐBVN

Hà Nội, ngày 13 tháng 5 năm 2016

QUYẾT ĐỊNH
Về việc công bố Tiêu chuẩn cơ sở

TỔNG CỤC TRƯỞNG TỔNG CỤC ĐƯỜNG BỘ VIỆT NAM

Căn cứ Luật Tiêu chuẩn và Quy chuẩn kỹ thuật ngày 29 tháng 6 năm 2006;

Căn cứ Nghị định số 127/2007/NĐ-CP ngày 01 tháng 8 năm 2007 của Chính phủ quy định chi tiết thi hành một số điều của Luật Tiêu chuẩn và Quy chuẩn kỹ thuật;

Căn cứ Thông tư số 21/2007/TT-BKHCN ngày 28 tháng 9 năm 2007 của Bộ Khoa học và Công nghệ hướng dẫn việc xây dựng và áp dụng tiêu chuẩn;

Căn cứ Quyết định số 60/2013/QĐ-TTg ngày 21 tháng 10 năm 2013 của Thủ tướng Chính phủ quy định chức năng, nhiệm vụ, quyền hạn và cơ cấu tổ chức của Tổng cục Đường bộ Việt Nam thuộc Bộ Giao thông vận tải;

Căn cứ Thông báo số 31/TB-BGTVT ngày 26 tháng 1 năm 2016 của Bộ Giao thông vận tải thông báo kết quả cuộc họp xem xét nội dung dự thảo Tiêu chuẩn "Gia cường cấu kiện cầu bê tông cốt thép bằng chất dẻo có cốt sợi – Tiêu chuẩn thiết kế";

Xét đề nghị của Vụ trưởng Vụ Khoa học công nghệ, Môi trường và Hợp tác quốc tế,

QUYẾT ĐỊNH:

Điều 1. Công bố Tiêu chuẩn cơ sở:

TCCS 15 : 2016/TCĐBVN	Sửa chữa, tăng cường cấu kiện cầu bê tông cốt thép bằng vật liệu FRP dính bám ngoài – Tiêu chuẩn thiết kế.

Điều 2. Quyết định này có hiệu lực thi hành kể từ ngày ký./.

Nơi nhận:
- Bộ GTVT;
- Các Phó Tổng cục trưởng;
- Các Vụ: QLBT ĐB; ATGT; KHĐT;
- Các Cục: QLĐB I, II, III, IV; QLXD ĐB; QLĐB CT;
- Các Ban QLDA 3, 4, 5, 8;
- Các Sở Giao thông vận tải;
- Lưu: VT; KHCN, MT và HTQT.

TỔNG CỤC TRƯỞNG

BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI ★ TỔNG CỤC ĐƯỜNG BỘ VIỆT NAM ★

Nguyễn Văn Huyện

TCCS TIÊU CHUẨN CƠ SỞ

TCCS 15:2016/TCĐBVN

Xuất bản lần 1

SỬA CHỮA, TĂNG CƯỜNG CẤU KIỆN CẦU BÊ TÔNG CỐT THÉP BẰNG VẬT LIỆU FRP BÁM DÍNH NGOÀI

TIÊU CHUẨN THIẾT KẾ

Specifications for Design of bonded FRP system for repair and strengthening of concrete bridge elements

TỔNG CỤC ĐƯỜNG BỘ VIỆT NAM
BẢN GỐC TCCS
KHÔNG SAO CHỤP ĐỂ PHÁT HÀNH

HÀ NỘI – 2016

Mục lục

Trang

Lời nói đầu 4

1 Phạm vi áp dụng 5

2 Tài liệu viện dẫn 5

3 Thuật ngữ và định nghĩa 6

4 Ký hiệu viết tắt 8

5 Quy định chung 12

5.1 Cơ sở thiết kế 12

5.2 Trạng thái giới hạn 12

5.3 Tải trọng và tổ hợp tải trọng 14

5.4 Khảo sát và đánh giá hiện trạng kết cấu được tăng cường 14

6 Vật liệu FRP và yêu cầu về vật liệu FRP sử dụng trong tăng cường cấu kiện bê tông 15

6.1 Phạm vi áp dụng 15

6.2 Yêu cầu đối với vật liệu 15

7 Thiết kế tăng cường cấu kiện chịu uốn 17

7.1 Yêu cầu chung 17

7.2 Giả thiết tính toán 17

7.3 Trạng thái giới hạn mỏi 18

7.4 Trạng thái giới hạn cường độ 19

8 Thiết kế tăng cường cấu kiện chịu cắt và xoắn 22

8.1 Yêu cầu chung 22

8.2 Cách bố trí và dán vật liệu 22

8.3 Tính toán khả năng chịu cắt 23

8.4 Tính toán khả năng chịu xoắn 26

9 Thiết kế tăng cường cấu kiện chịu nén và uốn đồng thời 27

9.1 Yêu cầu chung 27

9.2 Phương pháp tăng cường bằng vật liệu FRP 28

9.3 Cột chịu nén đúng tâm. 28

9.4 Cột chịu nén và uốn đồng thời. 30

9.5 Cấu kiện chịu kéo đúng tâm 30

Phụ lục A – Đặc tính cơ học vật liệu FRP. 32

Phụ lục B – Giải thích một số quy định trong nội dung tiêu chuẩn 34

Lời nói đầu

TCCS 15:2016/TCĐBVN do Tổng cục đường bộ Việt Nam biên soạn và công bố theo quyết định số 1067/QĐ-TCĐBVN ngày 13 tháng 5 năm 2016.

TCCS 15:2016/TCĐBVN được xây dựng dựa trên Hướng dẫn tiêu chuẩn kỹ thuật của AASHTO: Hướng dẫn tiêu chuẩn kỹ thuật – Thiết kế hệ thống FRP bám dính ngoài cho sửa chữa và tăng cường cấu kiện cầu bê tông cốt thép – Phiên bản lần đầu 2012 (Guide specification for Design of bonded FRP systems for repair and strengthening of concrete bridge elements – First edition 2012)

Sửa chữa, tăng cường cấu kiện cầu BTCT bằng vật liệu FRP bám dính ngoài – Tiêu chuẩn thiết kế

Specifications for Design of bonded FRP system for repair and strengthening of concrete bridge elements

TỔNG CỤC ĐƯỜNG BỘ VIỆT NAM
BẢN GỐC TCCS
KHÔNG SAO CHỤP ĐỂ PHÁT HÀNH

1 Phạm vi áp dụng

1.1 Tiêu chuẩn này hướng dẫn thiết kế sửa chữa, tăng cường cấu kiện hoặc kết cấu cầu BTCT hoặc BTCT DƯL bằng phương pháp dán ngoài lớp vật liệu tổng hợp cốt sợi (Firber Reinforced Polymer – FRP). Tiêu chuẩn này sử dụng phương pháp hệ số tải trọng và sức kháng (Load and Resistance Factor Design - LRFD), trong đó các hệ số tải trọng và sức kháng được nghiên cứu từ lý thuyết độ tin cậy của kết cấu dựa trên các mô hình xác suất/ thống kê của các loại tải trọng và sự làm việc của của kết cấu. Thiết kế động đất phải tuân theo các điều khoản tương ứng trong Tiêu chuẩn thiết kế cầu theo hệ số tải trọng và hệ số sức kháng AASHTO LRFD. Trừ những chỉ dẫn cụ thể trong tiêu chuẩn này, phải áp dụng các điều khoản trong AASHTO LRFD.

1.2 Các cấu kiện hoặc kết cấu BTCT hoặc BTCT DƯL được sửa chữa, tăng cường là các kết cấu cũ bị hư hỏng xuống cấp do tải trọng hoặc tác động của môi trường dẫn tới suy giảm năng lực chịu tải; các kết cấu mới có khuyết tật, lỗi trong quá trình thi công dẫn tới khả năng chịu tải thực tế không đảm bảo so với khả năng chịu lực thiết kết; các kết cấu mới được xây dựng nhưng do nhu cầu thay đổi công năng khai thác so với thiết kế ban đầu.

1.3 Tính toán thiết kế tăng cường dựa vào mô hình chịu lực của cấu kiện bao gồm cấu kiện chịu uốn, cắt (dầm, bản); cấu kiện chịu nén; cấu kiện chịu nén và uốn đồng thời (mố, trụ, cọc).

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau rất cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản được nêu. Đối với tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm các sửa đổi, bổ sung (nếu có).

AASHTO LRFD 6TH 2012 (AASHTO LRFD), *Bridge Design Specifications (Tiêu chuẩn thiết kế cầu).*

AASHTO LRFR 2012 (AASHTO LRFR), *Guide Manual for Condition Evaluation and Load and Resistance Factor Rating (LRFR) of Highway Bridges (Sổ tay hướng dẫn đánh giá tình trạng và khả năng chịu tải theo hệ số tải trọng và hệ số sức kháng).*

AASHTO MBE 2011 (MBE), *Manual for Bridge Evaluation 2nd Edition 2011 (Sổ tay đánh giá cầu).*

ASTM D3039/ D3039M-14, *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials* (*Tiêu chuẩn phương pháp thí nghiệm xác định các đặc trưng chịu kéo của vật liệu composite cốt sợi).*

ASTM D5229/ D5229M-14, *Standard Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials (Tiêu chuẩn phương pháp thí nghiệm xác định các đặc tính hấp thụ độ ẩm và hàm lượng độ ẩm bão hòa của vật liệu composite cốt sợi).*

ASTM D7136, *Standard Test Method for Measuring the Damage Resistance of a Fiber-Reinforced Polymer Matrix Composite to a Drop-Weight Impact Event (Tiêu chuẩn phương pháp thí nghiệm đo khả năng chống lại hư hỏng của vật liệu tổng hợp cốt sợi khi khịu tác động va chạm do rơi).*

ASTM D7290-06, *Standard Practice for Evaluating Material Property Characteristic Values for Polymeric Tổng hợps for Civil Engineering Structural Applications (Tiêu chuẩn thực hành đánh giá các đặc tính vật liệu tổng hợp gốc polime cho các ứng dụng kết cấu trong xây dựng dân dụng).*

ASTM E1640-13, *Standard Test Method for Assignment of the Glass Transition Temperature By Dynamic Mechanical Analysis (Tiêu chuẩn phương pháp thí nghiệm xác định nhiệt độ chuyển trạng thái (nhiệt độ gây suy giảm tính chất) bằng phân tích cơ khí/động lực học).*

ASTM G154-12a, *Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials (Tiêu chuẩn thực hành thao tác các dụng cụ tạo ánh sáng huỳnh quang để phơi nhiễm tia UV cho các vật liệu phi kim loại).*

3 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này sử dụng các thuật ngữ và định nghĩa nêu trong AASHTO LRFD. Ngoài ra, các định nghĩa sau được sử dụng để làm rõ nghĩa của các thuật ngữ liên quan trong việc tăng cường kết cấu bê tông bằng phương pháp dán ngoài vật liệu FRP mà các thuật ngữ này chưa phổ biến trong kỹ thuật kết cấu bê tông.

3.1 Composite

Composite là các vật liệu xây dựng (ví dụ, bê tông hay chất dẻo tăng cường cốt sợi) được làm từ ≥2 vật liệu thành phần riêng biệt tạo nên một vật liệu khác có các đặc tính mà các vật liệu thành phần không thể có khi tồn tại riêng rẽ; các vật liệu thành phần thông thường được phân biệt đặc tính thành tấm và vật liệu gia cường hoặc tấm và vật liệu cấp phối.

3.2 Vật liệu FRP

Vật liệu FRP là một loại vật liệu composite gồm vật liệu nền là chất dẻo tổng hợp đã đóng rắn và vật liệu cốt sợi tăng cường. Cốt sợi tăng cường phổ biến là sợi carbon, sợi thủy tinh và sợi Aramid. Trong vật liệu FRP, cốt sợi đóng vai trò chịu lực chính, vật liệu nền đóng vai trò định vị cốt sợi vì vậy vật liệu FRP chỉ có khả năng chịu lực theo hướng sợi.

3.3 Sợi thô (Fiber)

Sợi thô là vật liệu sợi tăng cường để chế tạo vật liệu FRP. Sợi thô được dệt thành tấm vải sợi đơn hướng hoặc đa hướng dùng để chế tạo các tấm vật liệu FRP.

3.4 Keo (Resin)

Keo là loại nhựa chịu nhiệt được sử dụng như chất nền và chất dính trong hỗn hợp vật liệu FRP. Đồng thời keo được dùng để dính vật liệu FRP vào cấu kiện được tăng cường.

3.5 Đóng rắn (Cure)

Đóng rắn là quá trình hình thành cường độ của vật liệu nền khi chế tạo vật liệu FRP (xẩy ra sau khi trộn các thành phần của keo).

3.6 Thời gian đóng rắn (Cure Time)

Thời gian đóng rắn là thời gian cần thiết để keo sau khi trộn hình thành đủ cường độ quy định.

3.7 Ứng dụng bám dính khống chế (Bonding Critical Application)

Ứng dụng bám dính khống chế là loại ứng dụng tăng cường bằng vật liệu FRP trong đó sự truyền lực giữa cấu kiện được tăng cường và vật liệu FRP được thực hiện thông qua sự truyền lực cắt giữa bề mặt tiếp xúc của hai vật liệu (bề mặt vật liệu tăng cường và bề mặt cấu kiện). Gia cường cấu kiện chịu cắt, cấu kiện chịu uốn thuộc nhóm ứng dụng này.

3.8 Ứng dụng tiếp xúc khống chế (Contact Critical Application)

Ứng dụng tiếp xúc khống chế là loại ứng dụng tăng cường bằng vật liệu FRP trong đó sự truyền lực giữa cấu kiện tăng cường và vật liệu FRP được thực hiện thông qua áp lực tiếp xúc bề mặt giữa hai vật liệu. Tăng cường cấu kiện chịu nén (vật liệu FRP được bó quanh cột chịu nén để hạn chế nở ngang của bê tông) thuộc nhóm ứng dụng này.

3.9 Gắn sát bề mặt (Near-Surface Mounted – NSM)

Gắn sát bề mặt là một dạng tăng cường bám dính ngoài bằng các thanh vật liệu FRP được gắn vào các rãnh cắt sát bề mặt cấu kiện bê tông.

3.10 Hàm lượng sợi (Fiber content)-

Hàm lượng sợi là hàm lượng sợi có trong một vật liêu FRP, thường được tính bằng phần trăm thể tích hay phần trăm trọng lượng so với vật liệu FRP.

3.11 Hàm lượng keo (Resin content) –

Hàm lượng keo là hàm lượng keo trong tấm vật liệu FRP, được tính theo tỷ lệ phần trăm của tổng khối lượng hoặc tổng thể tích.

3.12 Chiều dài dính bám cần thiết (Development length)

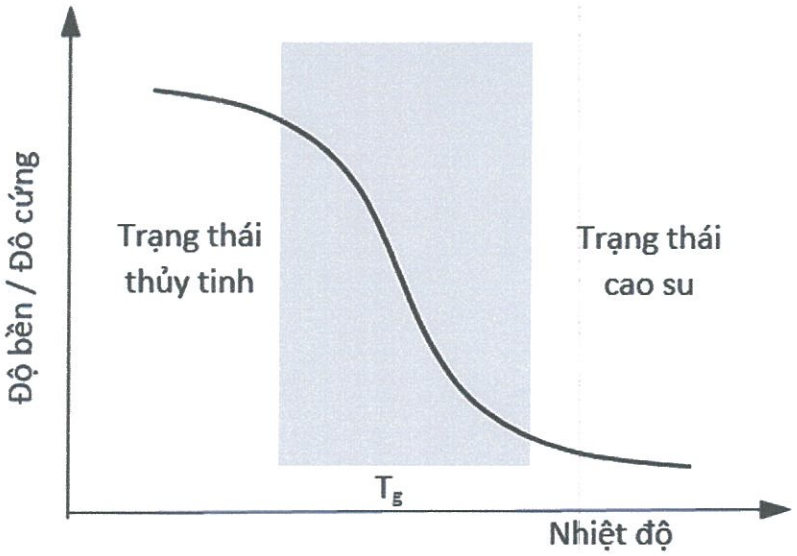
Chiều dài dính bám cần thiết là chiều dài cần thiết tính từ mép của tấm vật liệu FRP theo phương chịu lực để ứng suất trong vật liệu FRP phát triển đủ tới giá trị tính toán cần thiết.

3.13 Nhiệt độ làm thay đổi tính chất (Glass transition temperature)

Khi nhiệt độ tăng, keo đã ninh kết hoàn toàn ở trạng thái rắn như thủy tinh chuyển sang trạng thái cao su dẫn tới độ bền, độ cứng suy giảm nhanh. Nhiệt độ khi độ bền và độ cứng suy giảm nhanh gọi là nhiệt độ thay đổi tính chất (Xem Hình 1).

3.14 Bảng thông tin vật liệu (Material Data Sheet)

Bảng các thông tin của vật liệu do nhà sản xuất cung cấp.



Hình 1 - Ảnh hưởng của nhiệt độ tới đặc tính của vật liệu nền trong vật liệu FRP

4 Kí hiệu viết tắt

A_{frp} = diện tích có hiệu của vật liệu FRP trong tính toán ma sát trượt (mm^2)

A_g = tổng diện tích mặt cắt ngang cột chịu nén (mm^2)

A_s = diện tích cốt thép thường chịu kéo trong cấu kiện chịu uốn (mm^2)

$A_s^{'}$ = diện tích cốt thép thường chịu nén trong cấu kiện chịu uốn (mm^2)

A_{st} = tổng diện tích cốt thép thường bố trí dọc cấu kiện (mm^2)

A_{vf} = diện tích cốt thép yêu cầu để phát triển cường độ trong ứng dụng tính toán ma sát trượt (mm^2)

b = bề rộng mặt cắt hình chữ nhật (mm)

b_{frp} = bề rộng của vật liệu FRP (mm)

b_v = bề rộng sườn chịu cắt có hiệu (mm)

b_w = bề rộng sườn dầm (mm)

c = chiều cao vùng nén của bê tông trong cấu kiện chịu uốn (mm)

D_g = đường kính ngoài của cột tròn (mm)

d_{frp} = chiều cao có hiệu của vật liệu tăng cường cắt (mm)

d_s = khoảng cách từ thớ chịu nén lớn nhất tới trọng tâm của cốt thép thường chịu kéo (mm)

$d_s^{'}$ = khoảng cách từ thớ chịu nén lớn nhất tới trọng tâm của cốt thép thường chịu nén (mm)

d_v = chiều cao chịu cắt có hiệu (mm)

E_a = mô đun đàn hồi của keo dính (Mpa)

E_c = mô đun đàn hồi bê tông (MPa)

E_{frp} = mô đun đàn hồi chịu kéo của vật liệu FRP theo hướng chịu lực (MPa)

f_c = ứng suất trong bê tông tương ứng với biến dạng ε_c (MPa)

$f_c^{'}$ = cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi 28 ngày (MPa)

$f_{cc}^{'}$ = cường độ chịu nén của bê tông khi bị hạn chế nở ngang (MPa)

f_{frpu} = giá trị đặc tính về cường độ chịu kéo của vật liệu tăng cường FRP (MPa)

f_{lfrp} = áp lực giới hạn do hạn chế nở ngang của vật liệu FRP (MPa)

f_{peel} = ứng suất bóc ở vật liệu FRP tại mặt tiếp xúc với bê tông (MPa)

f_s = ứng suất trong cốt thép chịu kéo ở trạng thái tính toán sức kháng uốn danh định của mặt cắt (MPa)

$f_s^{'}$ = ứng suất trong cốt thép chịu nén ở trạng thái tính toán sức kháng uốn danh định của mặt cắt (MPa)

f_y = giới hạn chảy của cốt thép (thường) (MPa)

f_{yf} = giới hạn chảy của cốt thép (thường) trong tính toán ma sát trượt (MPa)

G_a = giá trị đặc tính của mô đun trượt của keo dính (MPa)

h = chiều cao của mặt cắt; tổng chiều dày hoặc chiều sâu của cấu kiện (mm)

I_T = mô men quán tính của mặt cắt tính đổi tương đương theo vật liệu FRP, bỏ qua ảnh hưởng của bê tông vùng chịu kéo (mm^4)

k_a = hệ số xét tới hiệu quả của hệ neo cụ thể

k_e = hệ số giảm cường độ do lệch tâm không mong muốn

k_2 = hệ số điều chỉnh vị trí hợp lực của ứng suất nén trong bê tông

L_d = Chiều dài dính bám cần thiết (mm)

Ln = Logarit tự nhiên

l_u = chiều dài tự do của cấu kiện chịu nén (khi tính toán ổn định) (mm)

M_r = sức kháng tính toán của mặt cắt ngang dầm BTCT tăng cường bằng vật liệu FRP bám dính ngoài (N.mm)

M_u = mô men tính toán tại vị trí cần gia cường (N.mm)

N_b = cường độ chịu kéo của 1 đơn vị bề rộng vật liệu FRP ở mức biến dạng kéo 0,005 (N/mm)

N_{fpr}^e = cường độ chịu kéo có hiệu của 1 đơn vị bề rộng vật liệu FRP (N/mm)

$N_{frp,w}$ = cường độ chịu kéo của 1 đơn vị bề rộng vật liệu FRP trong trường hợp bọc kín tiết diện (N/mm)

N_s = cường độ của 1 đơn vị bề rộng vật liệu FRP ở biến dạng kéo 0,004 (N/mm)

N_{ut} = giá trị đặc tính của cường độ chịu kéo trên một đơn vị chiều rộng của vật liệu FRP (N/mm)

P_r = sức kháng dọc trục tính toán (N)

r = bán kính bo tròn cạnh dầm (mm)

s_v = khoảng cách của các dải vật liệu FRP khi dán tăng cường chống cắt ở dầm (mm)

T_{frp} = lực kéo trong vật liệu FRP (N)

T_r = mô men kháng xoắn tính toán của cấu kiện bê tông tăng cường bằng vật liệu FRP bám dính ngoài (N.mm)

t_a = chiều dày lớp keo dán (mm)

t_{frp} = chiều dày lớp vật liệu FRP (mm)

V_c = sức kháng cắt danh định của bê tông (N)

V_{frp} = sức kháng cắt danh định của vật liệu FRP (N)

V_{ni} = sức kháng cắt danh định do ma sát trượt (N)

V_p = thành phần lực ứng suất trước có hiệu theo hướng của lực cắt tác dụng (N)

V_r = sức kháng tính toán của mặt cắt cấu kiện bê tông được tăng cường bằng vật liệu FRP bám dính ngoài (N)

V_s = sức kháng danh định của cốt thép đai (N)

V_u = lực cắt tính toán tại vị trí cần gia cường (N)

w_{frp} = tổng bề rộng vật liệu FRP (mm)

y = khoảng cách từ thớ bị nén lớn nhất đến đường trung hòa của mặt cắt tính đổi bỏ qua sự làm việc của bê tông ở thớ bị kéo (mm)

α = góc giữa phương chính vật liệu FRP và phương dọc trục của cấu kiện; góc giữa phương tăng cường ma sát trượt và mặt phẳng cắt (^{0})

α_1 = tỷ số giữa ứng suất trung bình của khối chịu nén hình chữ nhật với cường độ chịu nén của bê tông

β_2 = tham số xác định giá trị ứng suất trung bình trong vùng bê tông bị nén

ε_c = biến dạng trong bê tông (mm/mm)

ε_{frp} = biến dạng trong vật liệu FRP (mm/mm)

ε_{frp}^{ut} = giá trị biến dạng phá hoại kéo của vật liệu FRP (mm/mm)

ε_0 = biến dạng của bê tông tương ứng với giá trị ứng suất lớn nhất trên đường cong ứng suất – biến dạng của bê tông (mm/mm)

μ = hệ số ma sát

η = hệ số biến dạng giới hạn (nhỏ hơn 1)

γ_a = hệ số Poisson của keo dính

τ_a = ứng suất cắt giới hạn trong keo dán (MPa)

τ_{int} = cường độ ứng suất cắt truyền qua mặt tiếp xúc (MPa)

ϕ_{frp} = hệ số sức kháng vật liệu FRP

BTCT: Bê tông cốt thép

BTCT DƯL: Bê tông cốt thép dự ứng lực

5 Quy định chung

5.1 Cơ sở thiết kế

5.1.1 Việc tăng cường cấu kiện cầu bằng BTCT hoặc BTCT DƯL bằng vật liệu FRP bám dính ngoài cần phải được thiết kế để đạt được mục tiêu về tính dễ thi công, an toàn, năng lực khai thác với sự lưu tâm về các vấn đề như khả năng kiểm tra sau này, hiệu quả kinh tế, tính thẩm mỹ của kết cấu sau khi được tăng cường như được nêu trong mục 2.5 của AASHTO LRFD. Giải thích thêm về các yêu cầu trong phần này xem Phụ lục B1.

5.1.2 Cường độ chịu nén của bê tông chế tạo cấu kiện được tăng cường bằng vật liệu FRP bám dính ngoài không được nhỏ hơn 18 MPa và không được lớn hơn 55 MPa. Khi cường độ bê tông nhỏ hơn 18 MPa, việc tăng cường không đem lại hiệu quả; với bê tông có cường độ chịu nén lớn hơn 55 MPa, hiện nay chưa có các kết quả nghiên cứu về tăng cường bằng phương pháp bám dính ngoài.

5.1.3 Các giá trị cường độ và biến dạng phá hoại của vật liệu FRP dùng để thiết kế tăng cường cầu cần được xác định theo Tiêu chuẩn ASTM D7290.

5.1.4 Quy định trong Tiêu chuẩn này được áp dụng cho các cấu kiện cầu thỏa mãn yêu cầu sau trước khi tăng cường:

$$R_r \geq \eta_i\left[\left(DC+DW\right)+\left(LL+IM\right)\right] \quad (1)$$

R_r – là sức kháng tính toán của mặt cắt cấu kiện theo Phần 5 của AASHTO LRFD;

η_i – hệ số điều chỉnh tải trọng được xác đinh trong Điều 1.3.2 của AASHTO LRFD. Áp dụng trong Tiêu chuẩn này η_i =1,0;

DC – hiệu ứng do trọng lượng bản thân kết cấu và các bộ phận phi kết cấu;

DW – hiệu ứng do trọng lượng bản thân lớp phủ mặt cầu và các tiện ích công cộng;

LL – hiệu ứng do hoạt tải;

IM – hiệu ứng do xung kích của hoạt tải.

5.2 Trạng thái giới hạn

Các bộ phận kết cấu tăng cường cần phải thỏa mãn phương trình 1.3.2.1-1 AASHTO LRFD cho mỗi trạng thái giới hạn, trừ khi được quy định cụ thể.

Hệ số tải trọng γ_i trong phương trình 1.3.2.1-1 được nêu trong bảng 3.4.1-1 và 3.4.1-2 AASHTO LRFD. Hệ số sức kháng ϕ được nêu trong Mục 7, 8, và 9 của tiêu chuẩn này.

Giải thích thêm về các yêu cầu trong phần này xem Phụ lục B2.

5.2.1 Trạng thái giới hạn sử dụng

Các bộ phận kết cấu được tăng cường phải thỏa mãn phương trình 1.3.2.1-1 AASHTO LRFD cho các tổ hợp tải trọng như đã nêu trong mỗi trạng thái sử dụng dưới đây:

Trạng thái giới hạn sử dụng I – Tổ hợp tải trọng liên quan đến khai thác bình thường của cầu với vận tốc gió 25 m/s với tất cả tải trọng lấy theo giá trị danh định.

Trạng thái giới hạn sử dụng III – Tổ hợp tải trọng liên quan đến phân tích sự kéo trong kết cấu nhịp bằng bê tông dự ứng lực với mục đích khống chế nứt, và liên quan đến ứng suất kéo chính trong bản bụng của cầu dầm phân đoạn.

Trạng thái giới hạn sử dụng IV – Tổ hợp tải trọng chỉ liên quan đến sự kéo trong cột bê tông dự ứng lực với mục đích khống chế vết nứt.

5.2.2 Trạng thái giới hạn cường độ

Các bộ phận kết cấu được tăng cường phải thỏa mãn phương trình 1.3.2.1-1 AASHTO LRFD với các tổ hợp tải trọng dưới đây:

Trạng thái giới hạn cường độ I – Tổ hợp tải trọng cơ bản liên quan đến việc sử dụng cho xe tiêu chuẩn không xét đến gió.

Trạng thái giới hạn cường độ II – Tổ hợp tải trọng liên quan đến sự vận hành của cầu cho xe thiết kế riêng, có hoặc không xét đến gió.

Trạng thái giới hạn cường độ III – Tổ hợp tải trọng liên quan đến cầu chịu gió với tốc độ lớn hơn 25 m/s.

Trạng thái giới hạn cường độ IV – Tổ hợp tải trọng liên quan đến tỉ số chênh lệch rất lớn giữa tĩnh tải và hoạt tải.

Trạng thái giới hạn cường độ V – Tổ hợp tải trọng liên quan đến việc sử dụng xe tiêu chuẩn với gió có vận tốc 25 m/s.

5.2.3 Trạng thái giới hạn đặc biệt

Các bộ phận kết cấu được tăng cường phải thỏa mãn phương trình 1.3.2.1-1 AASHTO LRFD cho các tổ hợp tải trọng như đã nêu trong mỗi trạng thái giới hạn đặc biệt dưới đây:

Trạng thái giới hạn đặc biệt I – Tổ hợp tải trọng liên quan đến động đất.

Trạng thái giới hạn đặc biệt II – Tổ hợp tải trọng liên quan đến lực va của tầu thuyền, xe cộ, và một số hiện tượng thủy lực với hoạt tải đã chiết giảm khác hoặc với một phần của tải trọng xe va xô.

Việc xem xét trạng thái giới hạn đặc biệt có mục đích đảm bảo cho kết cấu cầu vẫn tồn tại sau các sự cố đặc biệt liên quan đến tải trọng đặc biệt như động đất, va xô, xe quá tải đặc biệt.

5.2.4 Trạng thái giới hạn mỏi

Các bộ phận kết cấu được tăng cường phải thỏa mãn phương trình 1.3.2.1-1 AASHTO LRFD với Tổ hợp tải trọng giới hạn mỏi I, tổ hợp tải trọng liên quan đến tải trọng gây mỏi trong suốt vòng đời của cầu.

Giới hạn mỏi đặt ra các hạn chế về biên độ ứng suất gây ra do một xe tải đơn xuất hiện với số chu kỳ ứng suất kỳ vọng. Cầu BTCT được thiết kế để có tuổi thọ vĩnh cửu dưới tác dụng của tải trọng mỏi.

Hệ số tải trọng cho tổ hợp tải trọng của Trạng thái giới hạn mỏi I áp dụng cho xe đơn chiếc có khoảng cách trục xác định trong Mục 3.6.1.4.1, AASHTO LRFD, đây là cấu hình xe gây ra biên độ ứng suất lớn nhất trong dòng tải trọng đặc trưng được khảo sát.

5.3 Tải trọng và tổ hợp tải trọng

5.3.1 Tải trọng

Tải trọng được nêu trong Mục 3.3.2 và được mô tả trong các Mục từ 3.6 tới 3.15 Tiêu chuẩn thiết kế cầu AASHTO LRFD sẽ được áp dụng để thiết kế tăng cường cho cầu bê tông cốt thép và cầu bê tông dự ứng lực bằng phương pháp dán ngoài tấm vật liệu FRP.

Tải trọng yêu cầu khi thiết kế và khi đánh giá kết cấu cầu BTCT tăng cường bằng vật liệu FRP được phân loại thành tải trọng lâu dài và tải trọng tức thời.

5.3.2 Tổ hợp tải trọng

Các yêu cầu về tổ hợp tải trọng được nêu trong Mục 3.4 của Tiêu chuẩn thiết kế cầu AASHTO LRFD.

5.4 Khảo sát và đánh giá hiện trạng kết cấu cầu cần tăng cường

Việc thiết kế tăng cường phải dựa trên kết quả khảo sát và đánh giá hiện trạng của kết cấu cần được tăng cường và các yêu cầu khác về điều chỉnh công năng khai thác của kết cấu.

Việc đánh giá khả năng chịu tải cầu phải sử dụng các tiêu chí đánh giá nêu trong AASHTO MBE 2011 (MBE), Manual for Bridge Evaluation.

5.4.1 Khảo sát hiện trạng

Khảo sát hiện trạng cầu để thu thập các thông tin cần thiết để kiểm toán và đánh giá năng lực chịu tải hiện tại của cầu. Việc khảo sát đánh giá hiện trạng cầu tuân theo Sổ tay đánh giá cầu (MBE). Trong trường hợp kết quả kiểm tra chưa đủ để xác định nguyên nhân gây hư hỏng và đánh giá năng lực chịu tải thì có thể tiến hành thử nghiệm đối với các bộ phận chịu lực chủ yếu.

5.4.2 Kiểm toán và đánh giá năng lực chịu tải

Kiểm toán và đánh giá năng lực chịu tải của cấu kiện cần được tăng cường theo quy định kiểm toán nêu trong Sổ tay Đánh giá cầu của AASHTO MBE. Các kích thước cấu kiện, đặc trưng cơ lý của vật liệu, mô hình làm việc của kết cấu lấy theo kết quả kiểm tra hoặc thử nghiệm cầu.

6 Yêu cầu về vật liệu

6.1 Phạm vi

Mục này định nghĩa các yêu cầu đối với các hệ thống vật liệu FPR bám dính ngoài sử dụng trong sửa chữa và tăng cường kết cấu cầu BTCT.

6.2 Các yêu cầu liên quan đến vật liệu

6.2.1 Điều kiện chấp thuận vật liệu

Nhà thầu thi công phải chứng minh được khả năng tuân theo các thủ tục để đảm bảo thi công vật liệu tổng hợp đạt chất lượng theo quy trình kiểm soát chất lượng do nhà sản suất đề xuất. Thủ tục quản lý chất lượng cần phải bao gồm, nhưng không giới hạn, các quy định về mua bán vật liệu thô, tiêu chuẩn chất lượng về vật liệu tổng hợp thành phẩm, thủ tục kiểm tra và kiểm soát trong quá trình thi công, phương pháp thử, quy định về lấy mẫu vật liệu, tiêu chí về chấp thuận và từ chối đạt chất lượng vật liệu, tiêu chuẩn về lưu trữ hồ sơ vật liệu.

6.2.2 Thông tin về vật liệu

Nhà thầu cần phải cung cấp các thông tin về sợi, vật liệu keo nền, vật liệu kết dính dự định để làm vật liệu tăng cường đủ để xác định các đặc trưng kỹ thuật của chúng. Các mô tả về vật liệu sợi phải bao gồm loại sợi, tỷ lệ phần trăm sợi trên mỗi hướng, và cách xử lý bề mặt sợi. Khi có yêu cầu của chủ nhiệm đồ án thiết kế, tên của vật liệu nền và vật liệu kết dính cần phải được xác định bằng tên thương mại cùng với tỷ lệ pha trộn của các thành phần.

6.2.3 Thí nghiệm vật liệu

Nhà thầu cần phải nộp kết quả thí nghiệm chứng tỏ các vật liệu thành phần và vật liệu FRP có các đặc trưng cơ lý đáp ứng các yêu cầu đề ra bởi Chủ nhiệm đồ án. Những thí nghiệm này phải tiến hành tại các phòng thí nghiệm hợp chuẩn Vilas hoặc Las-XD đáp ứng được yêu cầu thí nghiệm xác định đặc trưng cơ lý vật liệu FRP. Đối với mỗi loại kết quả thí nghiệm phải nêu rõ số nhóm mẫu, số mẫu trong mỗi nhóm, giá trị trung bình, giá trị lớn nhất, giá trị nhỏ nhất, hệ số phân tán. Số lượng mẫu thử tối thiểu để xác định mỗi đặc trưng cơ học là 10.

6.2.4 Các yêu cầu khác về vật liệu

Trong điều kiện ninh kết hình thành cường độ của vật liệu composite giống với điều kiện dự kiến, vật liệu composite cũng như vật liệu kết dính nếu được sử dụng phải tuân thủ các yêu cầu sau:

6.2.4.1 Nhiệt độ gây biến đổi tính chất

Giá trị đặc tính của nhiệt độ gây suy giảm tính chất vật liệu composite, xác định theo Tiêu chuẩn ASTM E1640, cần phải đạt giá trị mà lớn hơn nhiệt độ thiết kế tối đa $T_{MaxDesign}$ (được định nghĩa ở Mục 3.12.2.2 Trong Tiêu chuẩn thiết kế cầu AASHTO LRFD) là 5°C.

6.2.4.2 Biến dạng phá hoại

Giá trị đặc tính về biến dạng phá hoại khi chịu kéo theo hướng có tỷ lệ sợi cao nhất không nhỏ hơn 1% khi thí nghiệm keo được thực hiện theo Tiêu chuẩn ASTM D3039.

6.2.4.3 Hàm lượng độ ẩm cân bằng

Giá trị trung bình và hệ số biến thiên của độ ẩm cân bằng xác định theo Tiêu chuẩn ASTM D5229/ D5229M không lớn hơn 2% và 10% tương ứng. Số lượng mẫu tối thiểu để xác định các giá trị này là 10.

6.2.4.4 Yêu cầu thêm

Sau khi mẫu được duy trì ở các điều kiện nêu dưới đây, giá trị nhiệt độ gây suy giảm tính chất của vật liệu composite được xác định phù hợp với Tiêu chuẩn ASTM E1640 và giá trị đặc tính của biến dạng kéo, được xác định theo Tiêu chuẩn ASTM D3039, của vật liệu composite theo hướng chịu lực chính phải đạt được 85% các giá trị được thiết lập ở Mục 6.2.4.2.

A. Nước: Các mẫu phải được ngâm trong nước cất ở nhiệt độ 38 °C ± 2°C và thí nghiệm sau khi ngâm 1000 giờ, 3000 giờ và 10000 giờ.

B. Tia UV biến đổi và độ ẩm cao: các mẫu được giữ trong môi trường phơi nhiễm UV theo Tiêu chuẩn thực hành ASTM G154. Các mẫu này phải được thí nghiệm trong vòng 2 giờ sau khi kết thúc thời gian phơi nhiễm.

C. Alkali: các mẫu cần được ngâm trong dung môi bão hòa Hydroxit canci (pH ~ 11) ở nhiệt độ môi trường 23°C ± 2°C trong 1000 giờ, 3000 giờ, và 10000 giờ trước khi thí nghiệm. Độ kiềm pH cần phải được theo dõi và dung môi phải được duy trì như yêu cầu.

6.2.5 Khả năng chịu tác động

Khi khả năng chịu tác động cần xem xét, khả năng chịu tác động phải được xác định theo ASTM D7136.

6.2.6 Yêu cầu về chất kết dính

Khi vật liệu chất kết dính được sử dụng để tạo bám dính giữa vật liệu FRP với bề mặt bê tông, những yêu cầu sau phải được đáp ứng:

6.2.6.1 Nhiệt độ gây suy giảm tính chất của keo

Sau khi được bảo dưỡng trong điều kiện môi trường nêu ở Mục 6.2.4.4 A-C, nhiệt độ gây suy giảm tính chất của vật liệu kết dính, xác định theo Tiêu chuẩn ASTM E1640, cần phải đạt giá trị lớn hơn nhiệt độ thiết kế tối đa $T_{MaxDesign}$ (được định nghĩa ở Mục 3.12.2.2 Trong AASHTO LRFD) là 5°C.

6.2.6.2 Cường độ bám dính

Sau khi được bảo dưỡng trong điều kiện môi trường nêu ở Mục 6.2.4.4, cường độ bám dính, xác định theo phương pháp thử yêu cầu bởi chủ nhiệm đồ án, cần tối thiểu bằng giá trị lớn hơn giữa 1,38 MPa và $0{,}171\sqrt{f_c'}$, trong đó $f_c'(MPa)$ là cường độ chịu nén của bê tông.

7 Thiết kế tăng cường cấu kiện chịu uốn

7.1 Yêu cầu chung

Sức kháng tính toán của cấu kiện chịu uốn phải bằng hoặc lớn hơn nội lực tính toán do các tải trọng tính toán gây ra theo quy định trong tiêu chuẩn này.

Trừ trường hợp quy định cụ thể dưới đây, tất cả các quy định của AASHTO LRFD, Điều 5.7.3, đều được áp dụng.

7.2 Các giả thiết thiết kế

Việc tính toán cường độ cấu kiện bê tông tăng cường bằng vật liệu FRP bám dính ngoài được căn cứ trên những giả thiết sau:

- Sự phân bố biến dạng trên chiều cao của cấu kiện là tuyến tính và các điều kiện về trạng thái cân bằng lực và tương thích biến dạng được thỏa mãn.
- Tồn tại sự bám dính tuyệt đối giữa cốt thép, vật liệu FRP tăng cường và bê tông.
- Bỏ qua sự tham gia của ứng suất kéo trong bê tông tới khả năng chịu uốn của mặt cắt.
- Quan hệ ứng suất – biến dạng trong vật liệu FRP tăng cường là đàn hồi tuyến tính tới điểm phá hoại.
- Quan hệ ứng suất – biến dạng của cốt thép là đàn dẻo lý tưởng, với trạng thái đàn hồi lên tới giới hạn chảy và hoàn toàn ở trạng thái dẻo sau đó.
- Biến dạng nén lớn nhất trong bê tông bằng 0,003(mm/mm).
- Biến dạng kéo lớn nhất tại mặt phân tầng giữa FRP và bê tông bằng 0,005(mm/mm).

Khi biến dạng nén trong bê tông bằng 0,003 (mm/mm) dưới các điều kiện cân bằng lực, cho phép mô hình phân bố ứng suất trong miền bê tông chịu nén tương đương với một ứng suất phân bố đều 0,85 f_c' trên chiều cao $a = \beta_1 c$, trong đó c là cự ly từ thớ chịu nén ngoài cùng tới trục trung hòa của dầm và β_1 là hệ số quy đổi hình khối ứng suất được quy định tại Điều 5.7.2.2 của AASHTO LRFD.

Khi biến dạng nén trong bê tông nhỏ hơn 0,003 (mm/mm) dưới các điều kiện cân bằng lực, sự phân bố ứng suất nén trong bê tông sẽ có dạng hình parabol theo phương trình sau:

$$f_c = \frac{2(0{,}9 f_c')(\varepsilon_c / \varepsilon_o)}{1 + (\varepsilon_c / \varepsilon_o)^2} \qquad (2)$$

Trong đó: $\varepsilon_0 = 1,71\frac{f_c^{'}}{E_c}$

f_c : ứng suất của bê tông khi biến dạng là ε_c (MPa) ;

ε_c : biến dạng của bê tông (mm/mm)

$f_c^{'}$: cường độ nén quy định của bê tông ở tuổi 28 ngày (MPa);

ε_0 : biến dạng của bê tông ứng với ứng suất lớn nhất trên đường cong quan hệ ứng suất - biến dạng (mm/mm);

E_c : mô đun đàn hồi của bê tông được quy định tại Mục 5.4.2.4 của AASHTO LRFD (MPa).

Giải thích thêm về các yêu cầu trong phần này xem Phụ lục B3.

7.3 Trạng thái giới hạn mỏi

Dưới tác dụng của tổ hợp tải trọng gây mỏi được quy định tại Mục 3.4.1 của AASHTO LRFD, ε_c : biến dạng nén lớn nhất của bê tông, ε_s : biến dạng của thép tăng cường, ε_{frp} : biến dạng của vật liệu tăng cường FRP, phải thỏa mãn những yêu cầu sau:

$$\varepsilon_c \le 0,36\frac{f_c^{'}}{E_c} \quad (3)$$

$$\varepsilon_s \le 0,8\varepsilon_y \quad (4)$$

$$\varepsilon_{frp} \le \eta\varepsilon_{frp}^{u} \le 0,005 \quad (5)$$

Trong đó:

ε_{frp}^{u} = giá trị đặc trưng của biến dạng phá hoại khi chịu kéo của vật liệu tăng cường FRP khi thí nghiệm theo Tiêu chuẩn ASTM D3039 (mm/mm);

η = hệ số giới hạn biến dạng có giá trị nhỏ hơn 1.

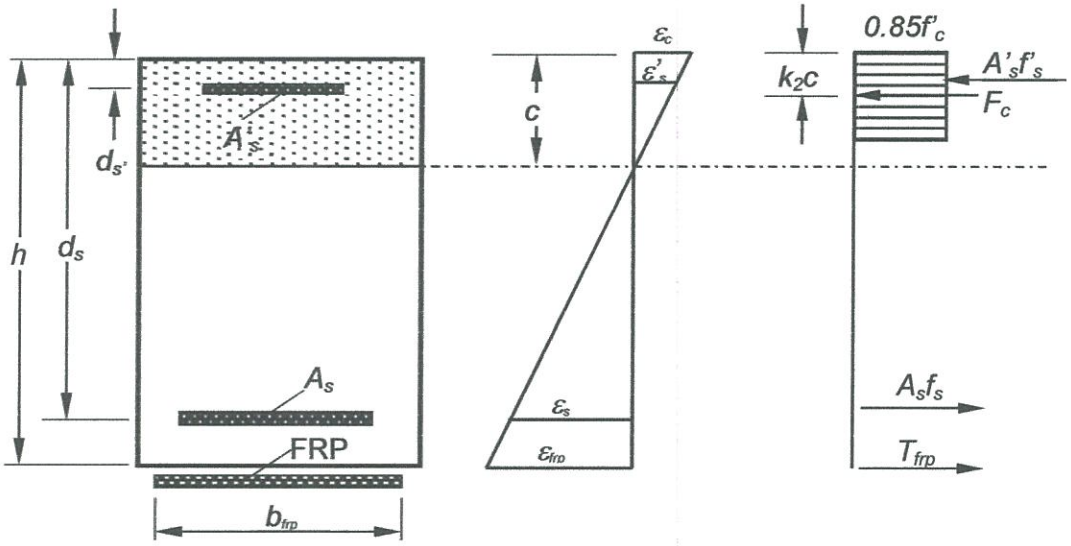
Chủ nhiệm đồ án quyết định giá trị η dựa trên dữ liệu thực nghiệm cho từng vật liệu cụ thể, và giá trị này sẽ được cung cấp trong văn bản hợp đồng. Trong trường hợp dữ liệu không như vậy, η = 0,55; 0,3;và 0,2 tương ứng cho vật liệu FRP tăng cường từ cacbon, aramit và sợi thủy tinh.

Giải thích thêm về các yêu cầu trong phần này xem Phụ lục B4.

7.4 Trạng thái giới hạn cường độ

7.4.1 Sức kháng uốn tính toán

7.4.1.1 Mặt cắt ngang hình chữ nhật



Hình 2 - Phân bố biến dạng và nội lực của mặt cắt ngang hình chữ nhật chịu uốn ở trạng thái giới hạn cường độ

Sức kháng uốn tính toán, M_r, của một mặt cắt bê tông cốt thép hình chữ nhật được tăng cường bằng vật liệu FRP bám dính ngoài ở thớ dầm chịu kéo sẽ được tính như sau:

$$M_r = \phi\left[A_s f_s\left(d_s - k_2 c\right) + A_s' f_s'\left(k_2 c - d_s'\right)\right] + \phi_{frp} T_{frp}\left(h - k_2 c\right) \qquad (6)$$

Trong đó:

$$T_{frp} = b_{frp} N_b$$

$$k_2 = 1 - \frac{2\left[\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_o}\right) - \arctan\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_o}\right)\right]}{\beta_2\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_o}\right)^2}$$

$$\beta_2 = \frac{Ln\left[1 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_o}\right)^2\right]}{\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_o}\right)}$$

ϕ = Hệ số sức kháng theo AASHTO LRFD, Điều 5.5.4.2;

A_s = diện tích cốt thép thường chịu kéo (mm^2);

A_s' = diện tích cốt thép chịu nén (mm^2);

f_s = ứng suất trong cốt thép chịu kéo khi tính toán sức kháng uốn danh định (MPa);

$f_s^{'}$ = ứng suất trong cốt thép chịu nén khi tính toán sức kháng uốn danh định (MPa);

c = chiều cao vùng bê tông bị nén (mm);

d_s = khoảng cách từ thớ chịu nén lớn nhất tới trọng tâm của cốt thép thường chịu kéo (mm);

$d_s^{'}$ = khoảng cách từ thớ chịu nén lớn nhất tới trọng tâm của cốt thép thường chịu nén (mm);

h = chiều cao mặt cắt (mm);

T_{frp} = lực kéo trong vật liệu FRP (N);

ϕ_{frp} = hệ số sức kháng lấy bằng 0,85;

k_2 = hệ số xác định vị trí của hợp lực nén trong bê tông;

b_{frp} = bề rộng của vật liệu tăng cường FRP (mm);

β_2 = tham số để định nghĩa giá trị ứng suất trung bình trên khối ứng suất nén;

N_b = cường độ của đơn vị chiều rộng vật liệu FRP, tương ứng với biến dạng dài 0,005 (mm/mm) khi thí nghiệm dựa trên Tiêu chuẩn ASTM D3039.

Giải thích thêm về các yêu cầu trong phần này xem Phụ lục B5.

7.4.1.2 Mặt cắt ngang chữ T

Với mặt cắt ngang chữ T chịu uốn, nếu trục trung hòa nằm trong phạm vi bản cánh thì sức kháng uốn tính toán M_r được tính theo chỉ dẫn ở mục 7.4.1.1. Nếu trục trung hòa nằm ở phạm vi bản bụng, thì sức kháng uốn tính toán được xác định bằng cách phân tích dựa vào các giả thiết nêu trong mục 7.2. Giải thích thêm về các yêu cầu trong phần này xem Phụ lục B6.

7.4.1.3 Các dạng mặt cắt ngang khác

Với các mặt cắt ngang khác mặt cắt chữ nhật hoặc mặt cắt chữ T, sức kháng uốn tính toán M_r được xác định bằng phân tích dựa trên các giả thiết nêu ở Mục 7.2.

7.4.1.4 Dầm dự ứng lực

Với mặt cắt bê tông dự ứng lực hình chữ nhật và mặt cắt dạng khác thiết kế chịu uốn quanh một trục thì sức kháng uốn tính toán xác định theo phân tích dựa trên các giả thiết nêu ở Mục 7.2.

7.4.2 Yêu cầu về tính dẻo

Biến dạng phát triển trong vật liệu composite FRP trong trạng thái giới hạn cường độ xác định bởi Phương trình 6 nên lớn hơn hoặc bằng 2,5 lần biến dạng trong vật liệu tăng cường FRP tại thời điểm cốt thép chịu kéo bị chảy. Sự dự phòng này đảm bảo cốt thép chịu kéo bị chảy trước thời điểm lớp vật

liệu tăng cường FRP bong hoặc tách lớp khỏi bê tông, do đó đảm bảo rằng kiểu phá hoại uốn dạng dẻo xảy ra.

7.4.3 Yêu cầu về cấu tạo

7.4.3.1 Chiều dài dính bám cần thiết

Chiều bám dính cần thiết L_d được chọn theo công thức sau:

$$L_d \geq \frac{T_{frp}}{\tau_{\text{int}} b_{frp}} \qquad (7)$$

Trong đó:

T_{FRP} = lực kéo (N) trong vật liệu FRP tương ứng với biến dạng dài là 0,005;

$\tau_{\text{int}} = 0{,}171\sqrt{f_c'}$ là sức kháng cắt bề mặt (MPa);

b_{frp} = bề rộng của tấm vật liệu FRP (mm).

Công thức (7) áp dụng cho trường hợp các tấm vật liệu FRP có cùng bề rộng, trong trường hợp các tấm vật liệu FRP không có cùng bề rộng thì chiều dài dính bám cần thiết được tính cho từng tấm riêng biệt.

7.4.3.2 Ứng suất bóc ở cuối tấm tăng cường

Ứng suất bóc tại phần cuối của lớp vật liệu tăng cường phải thỏa mãn yêu cầu :

$$f_{peel} \leq 0{,}171\sqrt{f_c'} \qquad (8)$$

Trong đó:

$$f_{peel} = \tau_{av}\left[\left(\frac{3E_a}{E_{frp}}\right)\frac{t_{frp}}{t_a}\right]^{0.25}$$

$$\tau_{av} = \left[V_u + \left(\frac{G_a}{E_{frp}t_{frp}t_a}\right)^{0.5} M_u\right]\frac{t_{frp}(h-y)}{I_T}$$

Và:

h = chiều dày hay chiều cao tổng thể của một bộ phận (mm).

y = khoảng cách từ mặt nén cực đại đến trục trung hòa của mặt cắt chuyển đổi, bỏ qua thành phần kéo của bê tông (mm).

I_T = momen quán tính của mặt cắt FRP quy đổi, bỏ qua phần bê tông chịu kéo (mm^4).

t_a = độ dày lớp kết dính (mm).

t_{frp} = độ dày của vật liệu tăng cường FRP (mm).

$E_a = 2G_a(1+\nu_a)$ mô đun đàn hồi của chất kết dính (MPa).

ν_a = hệ số poisson của chất kết dính, ν_a = 0,35.

τ_a = ứng suất cắt giới hạn của keo dán (MPa), được xác định theo ASTM D5656. Trường hợp không có số liệu thí nghiệm có thể lấy bằng 34,4 Mpa.

V_u = lực cắt tính toán tại mặt cắt dầm ở vị trí tương ứng với mép ngoài cùng của vật liệu FRP tăng cường (N).

M_u = momen tính toán tại mặt cắt dầm ở vị trí tương ứng với mép ngoài cùng của vật liệu FRP tăng cường (N.mm).

G_a = giá trị đặc tính mô đun trượt của keo dính (MPa)

8 Thiết kế tăng cường cấu kiện chịu cắt và xoắn

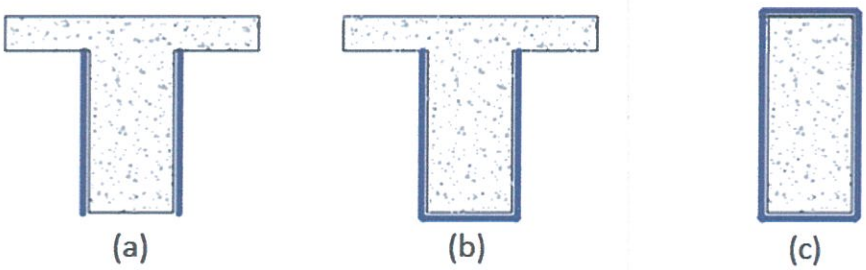
8.1 Yêu cầu chung

Sức kháng cắt và xoắn tính toán của các cấu kiện ở tất cả các mặt cắt phải lớn hơn hoặc bằng nội lực cắt và xoắn tính toán ở mặt cắt tương ứng do tải trọng nêu ở Mục 3.4 AASHTO LRFD. Ngoại trừ các trường hợp được nêu cụ thể ở đây, tất cả các yêu cầu khác trong AASHTO LRFD cần được áp dụng.

Các quy định về cường độ chịu cắt và chịu xoắn của cấu kiện BTCT tăng cường bằng vật liệu FRP bám dính ngoài được xây dựng trên các giả thiết là tất cả các yêu cầu về uốn và xoắn nêu trong AASHTO LRFD được áp dụng.

8.2 Cách bố trí và dán vật liệu

Các bộ phận của cầu bê tông cốt thép được tăng cường bằng phương pháp dán ngoài vật liệu FRP nên dùng một trong các cách sau: (a) dán 2 bên sườn, (b) dán chữ U, và (c) dán bọc kín như trong Hình 3.



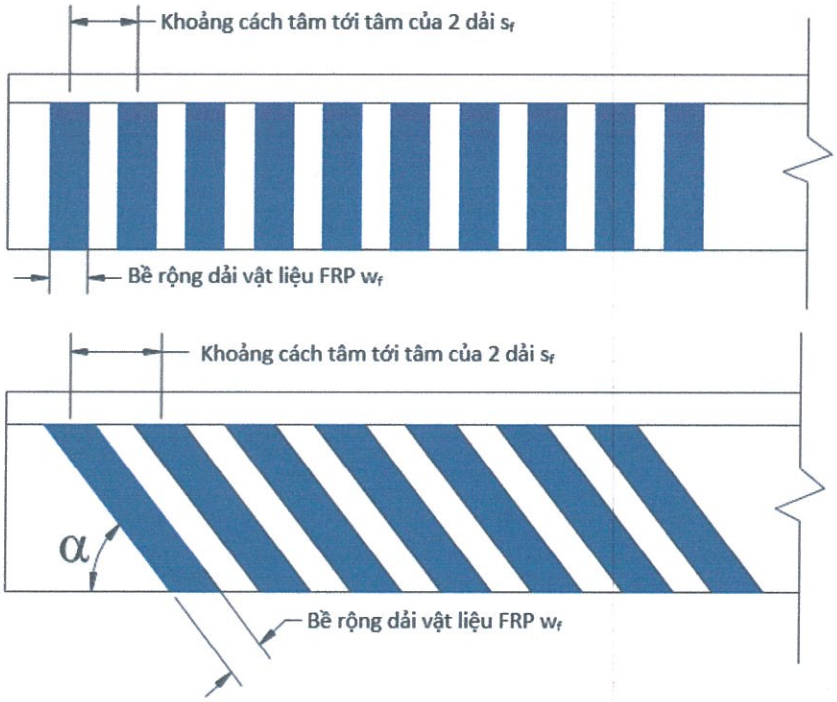
Hình 3 - Các cách dán tăng cường cắt nhìn trên mặt cắt ngang: (a) dán 2 bên sườn, (b) dán chữ U, (c) dán bọc kín.

Đối với các dầm có bề rộng bụng dầm không lớn so với chiều cao dầm thì nên dán tăng cường cắt dạng chữ U. Trường hợp chỉ dán ở 2 bên sườn thì ở phạm vi gần với mép tấm vật liệu FRP dán tăng

cường uốn ở đáy dầm cũng nên dán chữ U để làm neo chống bong bật tấm vật liệu tăng cường uốn. Dạng dán bọc kín áp dụng khi cần tăng cường chống cắt cho cột chịu uốn và nén đồng thời.

Trong tất cả các cách dán, vật liệu tăng cường FRP theo phương ngang phải được bố trí đối xứng hai bên của cấu kiện dưới dạng các dải rời rạc hoặc liên tục dọc theo phần cấu kiện được tăng cường. Phương chính của vật liệu FRP có thể được bố trí theo các góc khác nhau để thỏa mãn vùng được tăng cường như trong Hình 4.

Giải thích thêm về các yêu cầu trong phần này xem Phụ lục B7.



Hình 4 - Mô tả các ký hiệu về bề rộng và khoảng cách dải vật liệu FRP

8.3 Tính toán khả năng chịu cắt cấu kiện

Sức kháng cắt có hệ số V_r của tiết diện cấu kiện được tăng cường bằng vật liệu FRP bám dính ngoài phải lớn hơn hoặc bằng lực cắt tính toán V_u.

Giải thích thêm về các yêu cầu trong phần này xem Phụ lục B8.

8.3.1 Sức kháng cắt tính toán

Sức kháng cắt tính toán, V_r được xác định bởi công thức sau:

$$V_r = \phi\left[(V_c + V_s + V_p) + \phi_{frp} V_{frp}\right] \quad (9)$$

Trong đó:

ϕ = hệ số sức kháng xác định theo Mục 5.5.4.2 AASHTO LRFD;

V_c = là sức kháng cắt danh định (N) của bê tông nêu trong Mục 5.8.3.3 của AASHTO LRFD;

V_s = là sức kháng cắt danh định (N) của cốt thép chịu cắt trong Mục 5.8.3.3 AASHTO LRFD;

V_p = là lực căng có hiệu (N) trong cốt thép dự ứng lực theo phương của lực cắt tác dụng theo Mục 5.8.3.3 AASHTO LRFD;

ϕ_{frp} là hệ số sức kháng cắt của vật liệu FRP lấy bằng 0,85; và

V_{frp} = sức kháng cắt danh định (N) do vật liệu FRP bám dính ngoài tạo ra nêu trong Mục 8.3.2.

8.3.2 Sức kháng cắt của phần vật liệu FRP tăng cường

Sức kháng cắt danh định do vật liệu FRP đóng góp được tính theo một trong các công thức tương đương sau:

$$V_{frp} = \frac{A_{frp} f_{fe} d_f (\sin\alpha + \cos\alpha)}{s_f} \quad (10\text{-a})$$

$$V_{frp} = \frac{A_{frp} E_f \varepsilon_{fe} d_f (\sin\alpha + \cos\alpha)}{s_f} \quad (10\text{-b})$$

$$V_{frp} = \rho_f E_f \varepsilon_{fe} b_v d_f (\sin\alpha + \cos\alpha) \quad (10\text{-c})$$

Trong đó

$A_{frp} = 2 n_f t_f w_f$ diện tích mặt cắt vật liệu FPR (2 bên) (mm^2);

n_f = số lớp vật liệu tăng cường FRP cắt;

t_f = chiều dày của vật liệu tăng cường FRP cắt (mm);

w_f = bề rộng dải vật liệu FRP dán tăng cường cắt (mm);

f_{fe} = ứng suất có hiệu của vật liệu FRP (MPa);

d_f = chiều cao có hiệu của vật liệu FRP tính từ đỉnh của tấm sợi tới trọng tâm cốt thép dọc (mm);

s_f = khoảng cách giữa 2 dải vật liệu FRP liên tiếp (mm) như mô tả trong Hình 3;

α = góc nghiêng giữa hướng tấm sợi tăng cường FRP và phương dọc trục của cấu kiện như mô tả trong Hình 4;

E_f = mô đun đàn hồi của vật liệu FRP (MPa);

ε_{fe} = biến dạng có hiệu của vật liệu FRP (mm/mm);

ρ_f = hàm lượng vật liệu FRP; và

b_v = bề rộng sườn dầm (mm) lấy bằng bề rộng hẹp nhất của sườn dầm có hiệu d_f.

Hàm lượng vật liệu FRP ρ_f được tính theo:

- Đối với dán dải rời rạc:

$$\rho_f = \frac{2n_f t_f w_f}{b_v s_f} \quad (11\text{-a})$$

- Đối với dán tấm liên tục:

$$\rho_f = \frac{2n_f t_f}{b_v} \quad (11\text{-b})$$

Ứng suất có hiệu f_{fe} được tính từ biến dạng có hiệu của vật liệu theo công thức định luật Hook $f_{fe} = E_f \varepsilon_{fi}$.

Trong đó:

Biến dạng có hiệu phụ thuộc vào cách dán và dạng neo giữ tấm vật liệu FRP và được tính như sau:

- Đối với trường hợp neo hoàn toàn (dán U với neo) – dạng phá hoại đột ngột:

$$\varepsilon_{fe} = R_f \varepsilon_{fu} \quad (12\text{-a})$$

Trong đó:

$$R_f = 0,088 \le 1,097\left(\rho_f E_f\right)^{-0,67} \le 1$$

- Trường hợp không có neo (dán bên hoặc dán U không neo):

$$\varepsilon_{fe} = R_f \varepsilon_{fu} \le 0.004 \quad (12\text{-b})$$

Trong đó:

$$R_f = 0,066 \le 0,823\left(\rho_f E_f\right)^{-0,67} \le 1$$

Giải thích thêm về các yêu cầu trong phần này xem Phụ lục B9.

8.3.3 Các giới hạn

8.3.3.1 Tỷ số giữa chiều dài và chiều cao chịu cắt có hiệu

Các quy đinh ở mục 8.3 chỉ áp dụng cho các dầm có tỷ số giữa chiều dài và chiều cao chịu cắt có hiệu lớn hơn 2,5.

8.3.3.2 Lượng vật liệu chịu cắt tối đa

Lượng vật liệu FRP cần được xác định để sức kháng cắt danh định không vượt quá sức kháng cắt danh định tính bởi công thức sau (AASHTO LRFD 5.8.3.3-2):

$V_n = 0,25 f_c' b_v d_v + V_p$

Lưu ý rằng $V_n = V_c + V_s + V_{frp}$.

Quy định này để tránh xảy ra dạng phá hoại vỡ bụng dầm được tăng cường do thừa vật liệu tăng cường chịu cắt (cả vật liệu FRP và cốt đai).

8.3.3.3 Khoảng cách tối đa giữa các dải FRP tăng cường

Khoảng cách giữa hai dải vật liệu FRP tăng cường cắt liên tiếp không được vượt quá giá trị lớn nhất cho phép (S_{max}) (mm) phù hợp với quy định của AASHTO LRFD. S_{max} được xác định như sau:

Nếu $v_u < 0,125 f_c'$ thì $S_{\max} = 0,8 d_v \le 600mm$.

Nếu $v_u \ge 0,125 f_c'$ thì $S_{\max} = 0,4 d_v \le 300mm$.

Với ứng suất cắt trong bê tông v_u được xác định bằng công thức sau

$$v_u = \frac{|V_u - \phi V_p|}{\phi b_v d_v} \qquad (13)$$

Trong đó:

ϕ = hệ số kháng cắt xác định theo Mục 5.5.4.2 AASHTO LRFD;

b_v = bề rộng sườn dầm có hiệu (mm), đo theo phương song song với trục trung hòa;

d_v = chiều cao chịu cắt có hiệu (mm), lấy bằng khoảng cách giữa lợp lực vùng kéo và vùng nén gây ra do mô men uốn.

8.4 Tính toán khả năng chịu xoắn

Sức kháng xoắn tính toán T_r của cấu kiện bê tông tăng cường bằng vật liệu FRP bám dính ngoài bằng hoặc lớn hơn mô men xoắn tính toán T_u.

Tăng cường khả năng chịu xoắn có thể là cần thiết đối với các dầm và cột truyền thống, cũng như là dầm hộp và các cấu kiện có mặt cắt rỗng khác. Các nguyên lý khi tăng cường chống cắt cũng có giá trị khi tăng cường chống xoắn.

8.4.1 Sức kháng xoắn tính toán

Sức kháng xoắn tính toán T_r được xác định bởi công thức sau:

$$T_r = \phi T_n + \phi_{frp} T_{frp} \qquad (14)$$

Trong đó:

T_n = sức kháng xoắn danh định được đề cập ở Mục 5.8.3.6 AASHTO LRFD (N.mm);

T_{frp} = sức kháng cắt danh định cung cấp bởi vật liệu FRP tăng cường, tính toán theo chỉ dẫn ở Mục 8.4.2 (N.mm);

ϕ = 0,9;

ϕ_{frp} = 0,65.

8.4.2 Sức kháng xoắn danh định của vật liệu FRP

Để tăng cường cấu kiện chịu xoắn, vật liệu FRP phải được dán bọc kín bốn mặt của cấu kiện, như được định nghĩa ở Mục 8.2. Sức kháng xoắn danh định được tính toán như sau :

Cho trường hợp dán vật liệu FRP không liên tục :

$$T_{frp} = \frac{N^e_{frp} w_f \alpha_t x_1 y_1}{s_f} \qquad (15\text{-a})$$

Cho trường hợp dán vật liệu FRP liên tục :

$$T_{frp} = N^e_{frp} \alpha_t x_1 y_1 \qquad (15\text{-b})$$

Với α_t = 0,66 + 0,33 $(y_1 / x_1) \le 1,5$

x_1 là kích thước cạnh ngắn mặt cắt cấu kiện (mm);

y_1 là kích thước cạnh dài mặt cắt cấu kiện (mm);

w_f = bề rộng dải vật liệu FRP dán tăng cường cắt (mm);

N^e_{frp} = cường độ lực kéo có hiệu của một đơn vị bề rộng (N/mm) vật liệu FRP được xác định như sau

$$N^e_{frp} = N_s + \frac{1}{2}\left[N_{frp.w} - N_s\right] \qquad (16)$$

Trong đó $N_{frp.w}$ là cường độ chịu kéo (N/mm) của lớp vật liệu bó kín được định nghĩa là:

$N_{frp.w} = 0,5 N_{ut} \ge N_s$;

N_{ut} = cường độ lực kéo danh định của một đơn vị bề rộng vật liệu FRP (N/mm);

N_s = cường độ chịu kéo của của một đơn vị bề rộng vật liệu FRP (N/mm) ở biến dạng 0,004 (mm/mm).

9 Thiết kế tăng cường cấu kiện chịu nén và uốn đồng thời

9.1 Yêu cầu chung

Sức kháng tính toán của các cấu kiện chịu nén và uốn đồng thời phải lớn hơn hoặc bằng nội lực tính toán nêu ở Mục 6.9 AASHTO LRFD.

Ngoại trừ những trường hợp đặc biệt nêu ở dưới, tất cả các điều trong AASHTO LRFD được áp dụng.

9.2 Phương pháp tăng cường bằng vật liệu FRP

9.2.1 Yêu cầu chung

Cột phải được tăng cường bằng cách dán bọc kín nêu ở Mục 8.2

9.3 Cột chịu nén đúng tâm

9.3.1 Yêu cầu chung

Sức kháng nén tính toán, P_r, được xác định bởi công thức sau:

Đối với cấu kiện có cốt đai dạng xoắn

$$P_r = 0,85\phi\left[0,85f_{cc}^{'}\left(A_g - A_{st}\right) + f_y A_{st}\right] \quad (17)$$

Đối với cấu kiện có cốt đai thường

$$P_r = 0,80\phi\left[0,85f_{cc}^{'}\left(A_g - A_{st}\right) + f_y A_{st}\right] \quad (18)$$

Trong đó:

ϕ = hệ số sức kháng nêu trong Mục 5.5.4.2 AASHTO LRFD;

A_g = tổng diện tích mặt cắt cột chịu nén (mm^2);

A_{st} = tổng diện tích tiết diện cốt thép dọc (mm^2);

f_y = giới hạn chảy cốt thép (MPa);

$f_{cc}^{'}$ = cường độ chịu nén của bê tông khi bị hạn chế nở ngang (MPa) được xác định theo công thức trong Mục 9.3.2.2.

Giải thích thêm về các yêu cầu trong phần này xem Phụ lục B10.

9.3.2 Cột chiều cao thấp chịu nén

Cột bị nén cần phải được dán bọc kín suốt chiều dài.

Yêu cầu nêu ở đây áp dụng cho các cột ngắn mà không có hiệu ứng biến dạng thứ cấp (hiệu ứng P-δ) và giới hạn do mất ổn định có thể bỏ qua.

9.3.2.1 Giới hạn

Các quy định ở mục này cần áp dụng cho cột mặt cắt ngang tròn có tham số độ mảnh l_u/D nhỏ hơn 8 và cột mặt cắt ngang hình chữ nhật có tỷ số 2 cạnh h/b nhỏ hơn 1,5, bán kính vát cạnh tối thiểu là 25mm và tham số độ mảnh l_u/b không lớn hơn 9, trong đó:

l_u = chiều cao tính toán của cột (mm);

D = đường kính ngoài của cột mặt cắt tròn (mm);

b = cạnh ngắn mặt cắt ngang (cột mặt cắt ngang hình chữ nhật) (mm);

h = cạnh dài mặt cắt ngang (cột mặt cắt ngang hình chữ nhật) (mm).

Các giới hạn về độ mảnh của cột trong mục này là để đảm bảo cường độ chịu nén của cột không bị ảnh hưởng bởi khả năng mất ổn định.

9.3.2.2 Cột chịu nén bị hạn chế nở ngang

Cường độ chịu nén của bê tông bị hạn chế nở ngang $f_{cc}^{'}$ được xác định theo công thức sau:

$$f_{cc}^{'} = f_c^{'}\left(1+\frac{2f_1}{f_c}\right) \qquad (19)$$

Áp lực hạn chế nở ngang f_1 do vật liệu tăng cường FRP gây ra cho cột mặt cắt tròn được xác định như sau:

$$f_1 = \phi_{frp}\frac{2N_{frp}}{D} \le \frac{f_c^{'}}{2}\left(\frac{1}{k_e}-\phi_c\right) \qquad (20)$$

Trong đó

k_e = hệ số triết giảm cường độ do nén lệch tâm ngoài ý uốn, phụ thuộc vào loại cốt đai của cột

$k_e = 0,80$ đối với cột có cốt đai thường,

$k_e = 0,85$ đối với cột có cốt đai xoắn;

N_{frp} = Cường độ của 1 đơn vị bề rộng tấm FRP (N/mm) tương ứng với biến dạng bằng 0,004;

$\phi_c = 0,75$ là hệ số sức kháng cho vật liệu bê tông; và

$\phi_{frp} = 0,65$.

Áp lực hạn chế nở ngang do vật liệu FRP gây ra phải lớn hơn 4,14 Mpa.

Đối với cột mặt cắt hình chữ nhật, giá trị *D* trong công thức (20) được thay bằng kích thước cạnh ngắn *b* định nghĩa ở trên.

9.3.2 Cột có độ mảnh lớn

Cột có tham số độ mảnh không đáp ứng giới hạn nêu trong Mục 9.3.2.1 cần được xem là cột có độ mảnh lớn. Việc thiết kế tăng cường cột có độ mảnh lớn cần dựa vào lực và mô men từ các phân tích chính xác hơn (P-δ). Các phân tích này phải xem xét ảnh hưởng của lực, chuyển vị ngang, góc quay của nền móng, thời gian chất tải tới độ cứng của cấu kiện và tới sự phát triển của mô men, lực cắt và lực dọc trong cấu kiện.

9.4 Cột chịu nén và uốn đồng thời

9.4.1 Yêu cầu chung

Cấu kiện chịu nén và uốn đồng thời cần phải được thiết kế để cho mô men đạt giá trị tối đa đối với giá trị lực dọc đi kèm cho trước. Lực dọc tính toán ở một độ lệch tâm cho trước không được vượt quá giá trị P_r nêu trong mục 9.3.1. Mô men yêu cầu lớn nhất M_u phải được tăng lên cho phù hợp với ảnh hưởng của hiệu ứng độ mảnh. Thủ tục thiết kế cột tăng cường bằng vật liệu FRP cũng giống như đối với cột BTCT không được tăng cường. Tuy nhiên cường độ chịu nén của bê tông được thay thế bằng cường độ bê tông khi bị hạn chế nở ngang theo công thức nêu trong Mục 9.3.2.2.

9.4.2 Cơ sở thiết kế

Thiết kế cho cột chịu lực dọc và uốn đồng thời cần phải dựa vào tương thích của ứng suất và biến dạng. Biến dạng hữu hiệu tối đa của bê tông thớ nén bằng 0,003.

Vật liệu FRP bám dính ngoài dùng để tăng cường mô men tại các đầu cột gây ra bởi tải trọng ngang cần phải được kéo dài quá các đầu cột một khoảng cách bằng với kích thước lớn của mặt cắt cột hoặc một khoảng cách mà trên đó có mô men vượt quá 75% giá trị mô men yêu cầu, tùy theo khoảng cách nào lớn hơn.

Ứng suất kéo của vật liệu tăng cường FRP theo hướng dọc theo cột phải được xác định bằng các phương pháp phân tích hợp lý. Ứng suất kéo của vật liệu FRP theo hướng dọc trục cột không được nhỏ hơn 50% ứng suất theo phương chu vi.

9.4.3 Giới hạn áp dụng

Phần đóng góp vào khả năng chịu lực của cột của vật liệu tăng cường FRP không được xét đến nếu tỷ số lệch tâm lớn hơn tỷ số lệch tâm tương ứng tại điều kiện cân bằng biến dạng, tại đó, cốt thép chịu kéo đạt biến dạng chảy và bê tông đạt biến dạng cực hạn 0,003 (mm/mm) tại bất kỳ mặt cắt nào.

Các yêu cầu trong Mục 9.4 này được giới hạn đối với cột chịu lực dọc và chịu uốn đồng thời khi mà sự phá hoại là do bê tông bị nén vỡ hơn là dạng phá hỏng do cốt thép phía chịu kéo bị chảy dẻo. Nếu độ lệch tâm của tải trọng dọc trục lớn hơn 0,10h đối với cột có cốt thép đai xoắn và 0,05h đối với cột có cốt đai thường, việc tăng cường đòi hỏi phải bố trí vật liệu FRP bám dính ngoài theo hướng dọc trục cột (gia cường uốn - ứng dụng đòi hỏi bám dính) cùng với vật liệu FRP bố trí theo phương chu vi.

9.5 Cấu kiện chịu kéo đúng tâm

9.5.1 Các giới hạn

Cấu kiện chịu kéo dọc trục cần phải được tăng cường đối xứng theo các phương chính của mặt cắt ngang.

9.5.2 Yêu cầu chung

Sức kháng kéo tính toán dọc trục của mặt cắt P_r của cấu kiện chịu kéo đúng tâm được tăng cường bằng vật liệu FRP được tính theo công thức sau:

$$P_r = \phi f_y A_s + \phi_{frp} N_{frp} w_{frp} \quad (21)$$

Trong đó:

ϕ = hệ số sức kháng nêu trong Mục 5.5.4.2 AASHTO LRFD

$\phi_{frp} = 0,5$

N_{frp} = Cường độ chịu kéo (N/mm) của 1 đơn vị bề rộng tấm FRP theo hướng chịu lực tương ứng với biến dạng bằng 0,005

w_{frp} = tổng bề rộng của vật liệu FRP dọc theo chu vi mặt cắt (mm).

Đối với cấu kiện được bọc hoàn toàn bởi vật liệu FRP, sự mất sức kháng hoàn toàn của bê tông khi sự truyền lực trong cốt liệu bị mất (giai đoạn phá hoại cuối cùng) xảy ra khi biến dạng của vật liệu FRP còn nhỏ hơn nhiều so với biến dạng giới hạn của nó. Để hạn chế dạng phá hoại này, biến dạng thiết kế trong vật liệu FRP được giới hạn bằng 0,4%:

$$\varepsilon_{fe} = 0,004 \le 0,75\varepsilon_{fu} \quad (22)$$

Trong đó:

ε_{fe} = biến dạng có hiệu trong vật liệu FRP tăng cường khi bê tông bị phá hoại (mm/mm).

ε_{fu} = biến dạng phá hoại của vật liệu FRP (mm/mm).

Giải thích thêm về các yêu cầu trong phần này xem Phụ lục B11

Phụ lục A

(Tham khảo)

Đặc tính cơ học vật liệu FRP

Bảng A.1 – Đặc tính cơ học chịu kéo điển hình của sợi sử dụng trong các hệ thống FRP

Loại sợi	Mô đun đàn hồi E	Cường độ giới hạn	Biến dạng giới hạn
	GPa	MPa	%
Sợi Các bon			
Thông dụng	220 đến 240	2050 đến 3790	1,2
Cường độ cao	220 đến 240	3790 đến 4820	1,4
Cường độ rất cao	220 đến 240	4820 đến 6200	1,5
Mô đun cao	340 đến 520	1720 đến 3100	0,5
Mô đun rất cao	520 đến 690	1800 đến 2400	0,2
Sợi thủy tinh			
E-glass	69 đến 72	1860 đến 2680	4,5
S-glass	86 đến 90	3440 đến 4140	5,4
Aramid			
Thông dụng	69 đến 83	3440 đến 4140	2,5
Tính năng cao	110 đến 124	3440 đến 4140	1,6

Bảng A.2 – Đặc tính chịu kéo của thanh vật liệu composite FRP với hàm lượng sợi (theo thể tích) từ 50% đến 70%

Hệ thống FRP	Mô đun đàn hồi (GPa)	Cương độ giới hạn (MPa)	Biến dạng giới hạn tối thiểu, %
Các bon cường độ cao/Keo	115 đến 165	1240 đến 2760	1,2 đến 1,8
E-glass/Keo	27 đến 48	480 đến 1580	1,6 đến 3,0
Sợi aramid/Keo	55 đến 76	900 đến 1913	2,0 đến 3,0

Bảng A.3 – Đặc tính chịu kéo của tấm vật liệu composite FRP tiền chế theo hướng chịu lực chính với hàm lượng sợi (theo thể tích) từ 40% đến 60%

Loại vật liệu FRP	Mô đun đàn hồi (GPa)	Cương độ giới hạn (MPa)	Biến dạng giới hạn tối thiểu, %
Các bon cường độ cao/Keo Epoxy	100 đến 140	1020 đến 2080	1,0 đến 1,5
Sợi thủy tinh thường/Keo Epoxy	20 đến 40	520 đến 1400	1,5 đến 3,0
Sợi aramid cường độ cao/Keo Epoxy	48 đến 68	700 đến 1720	2,0 đến 3,0

Ghi chú:

- Các đặc tính chịu kéo vủa vật liệu FRP hướng chịu lực chính phụ thuộc vào hàm lượng sợi. Đối với thanh vật liệu FRP, hàm lượng sợi từ 50% đến 70%; với vật liệu tấm mỏng FRP tiền chế, hàm lượng sợi vào khoảng 40% đến 60%; với tấm vật liệu FRP thi công tẩm ướt thủ công tại hiện trường, hàm lượng sợi vào khoảng 25% đến 40%.
- Do hàm lượng sợi ảnh hưởng đến đặc tính chịu kéo của tấm vật liệu FRP nên các tấm mỏng tiền chế thường có đặc tính cơ học cao hơn tấm vật liệu FRP được chế tạo bằng cách tẩm ướt keo thủ công tại hiện trường.

Phụ lục B

(Tham khảo)

Giải thích một số quy định trong nội dung tiêu chuẩn

B1 Tiêu chí về sức kháng trong Tiêu chuẩn này được phát triển bằng cách phân tích độ tin cậy của kết cấu, phù phợp với triết lý thiết kế dựa trên độ tin cậy được sử dụng trong AASHTO LRFD. Phân tích độ tin cậy của kết cấu xét đến những yếu tố ngẫu nhiên về cường độ và độ cứng trong các vật liệu bê tông, thép, và vật liệu FRP để sử dụng mô hình thống kê hợp lý cho những thông số kĩ thuật trên. Các tiêu chí để kiểm tra độ an toàn và khả năng khai thác của các bộ phân kết cấu và cấu kiện đã được tăng cường bằng vật liệu FRP dựa trên chỉ số độ tin cậy mục tiêu β= 3.5 dưới tác dụng của tải trọng thiết kế. Đây cũng là chỉ số độ tin cậy mục tiêu được giả định trong AASHTO LRFD. Sức kháng và tải trọng tính toán sử dụng trong kiểm tra cường độ phù hợp với tập quán và thói quen phổ biến trong kỹ thuật sẽ tạo thuận lợi trong việc sử dụng chúng trong thực tế và hạn chế khả năng hiểu và vận dụng sai.

Tiêu chuẩn này áp dụng cho các cấu kiện hoặc các bộ phận kết cấu cầu có cường độ yêu cầu tối thiểu nêu trong Mục 5.1.4 trước khi tăng cường bằng vật liệu FRP dán ngoài. Nếu yêu cầu tối thiểu này không được chỉ ra bằng phân tích hoặc thử nghiệm thì ứng xử của kết cấu được tăng cường sẽ phụ thuộc hoàn toàn vào hiệu quả tăng cường của vật liệu FRP. Trong trường hợp phần vật liệu tăng cường bị hư hỏng hoặc kết cấu tình cờ bị quá tải, hư hỏng hoặc phá hoại có thể xẩy ra mà không có dấu hiệu cảnh báo trước. Giới hạn về cường độ trước khi tăng cường này có mục đích làm giảm thiểu khả năng xuất hiện các hư hỏng hoặc phá hoại như vậy.

B2 Tiêu chuẩn này áp dụng đối với Trạng thái giới hạn cường độ I, II; Trạng trái giới hạn sử dụng I, III, và IV; Trạng thái giới hạn đặc biệt I và II; và Trạng thái giới hạn mỏi như được định nghĩa trong Mục 3.4, Tiêu chuẩn Thiết kế cầu AASHTO LRFD.

B3 Cường độ chịu uốn của cấu kiện BTCT được tăng cường bằng vật liệu FRP được xây dựng dựa trên giải thiết mặt cắt phẳng cổ điển về biến dạng của dầm (giả thiết Bernulli-Navier), nghĩa là mặt cắt ngang vẫn phẳng và vuông góc với trục của dầm trong quá trình biến dạng. Ứng suất trên mặt cắt được xác định từ quan hệ trạng thái cho các vật liệu bê tông, cốt thép, vật liệu FRP. Cường độ chịu uốn của mặt cắt được xác định từ điều kiện cân bằng lực dọc và mô men trên mặt cắt.

B4 Công thức (3) đảm bảo biên độ ứng suất nằm trong phạm vi bằng $0,40f_c^{'}$, công thức (4) hạn chế biến dạng trong cốt thép bằng 0,8 biến dạng chảy, còn công thức (5) đặt ra giới hạn để không xẩy ra phá hoại do từ biến. Nói chung kết quả thiết kế thường bị khống chế ở trạng thái giới hạn sử dụng nên biết dạng trong vật liệu FRP thường đủ nhỏ để biến dạng do phá hoại từ biến khó có thể xẩy ra.

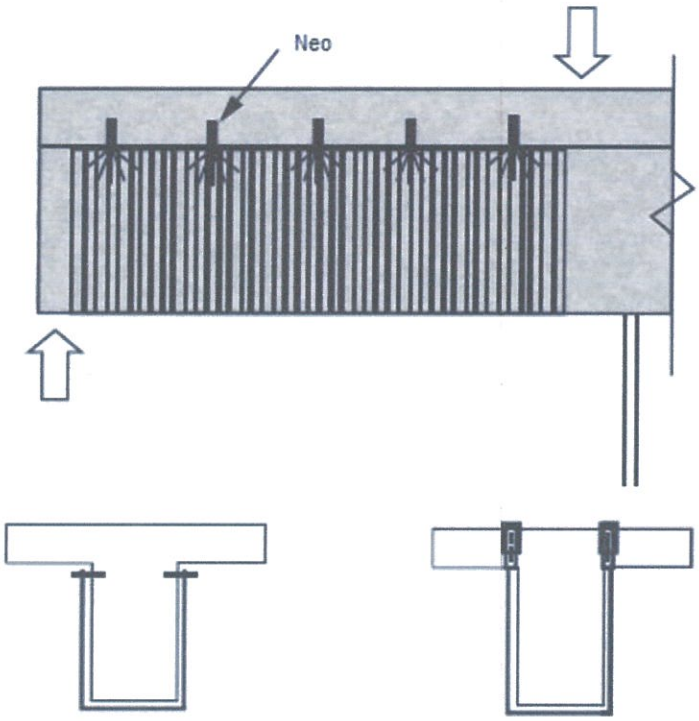
B5 Sức kháng uốn tính toán trong công thức (6) được viết theo dạng phù hợp với Mục 5.7.3.2 AASHTO LRFD, trong đó có sự bổ sung của sức kháng do vật liệu FRP. Cách viết này đảm bảo rằng

khi giảm lượng vật liệu FRP thì sức kháng của mặt cắt tiệm cận tới sức kháng của mặt cắt chưa được tăng cường.

B6 Phần lớn các trường hợp thực tế khi tăng cường dầm mặt cắt chữ T bằng vật liệu FRP dán ở vùng chịu kéo, trục trung hòa của mặt cắt rơi vào cánh dầm. Khi trục trung hòa nằm ở bụng dầm thì hợp lực vùng nén gồm 2 phần, phần hợp lực do ứng suất trên cánh dầm và phần hợp lực do ứng suất ở bụng dầm. Do giả thiết ứng suất nén trong bê tông phân bố theo dạng đường cong biểu diễn trong Phương trình (2), việc xác định hợp lực vùng nén đòi hỏi phải tích phân hàm quan hệ ứng suất-biến dạng biểu diễn trong Phương trình (2) trên toàn bộ diện tích vùng nén.

B7 Cách dán tăng cường chống cắt cho dầm và cột được tổng hợp như sau. Đối với dầm có thể dán 2 bên sườn dầm và dám bọc chữ U:

- Dán 2 bên sườn dầm (Hình 3-a) – Là cách dán kém hiệu quả nhất trong tăng cường cắt bằng vật liệu FRP bởi vì hiện tượng bong tách sớm do lực cắt. Đây là cách dán không nên sử dụng.
- Dán bọc chữ U (Hình 3-b) – Là cách dán phổ biến nhất trong tăng cường dầm. Điểm yếu của cách dán này cũng là khả năng bong tróc của lớp vật liệu FRP làm giảm tính hiệu quả tăng cường chống cắt. Mặc dù có nhược điểm này, cách dán này thường được lựa chọn vì đơn giản khi thi công.
- Dán bọc chữ U kết hợp với neo (Hình B1) – Mục đính của neo là để tăng hiệu quả của vật liệu FRP bằng cách neo sợi vào kết cấu ở vùng chịu nén. Thiết kế neo hợp lý có thể dẫn tới kết quả là ứng suất kéo trong sợi đạt tới giới hạn, cho phép toàn bộ lớp bọc gia cường ứng xử như khi dán bọc kính hoàn toàn.



Hình B1 – Dán bọc chữ U với neo

Đối với cột thì dán bọc kín hoàn toàn như trong Hình 2-c. Đây là cách dán hiệu quả nhất, cho phép biến dạng trong sợi đạt tới giá trị tối đa.

B8 Tăng cường cắt cấu kiện BTCT bằng vật liệu FRP bám dính ngoài có thể đạt hiệu quả cao nhất khi hướng chính vật liệu FRP trùng với phương chính ứng suất kéo. Đối với các dầm chịu tải trọng vuông góc với trục của dầm thì phương chính ứng suất kéo ở trong phạm vi có lực cắt lớn thường xiên góc khoảng 45° so với phương trục dầm. Tuy nhiên để thuận tiện trong việc thi công, hướng chính tấm sợi thường được bố trí theo phương vuông góc với trục dầm (dán vuông góc).

Các khảo sát lý thuyết và thực nghiệm cho thấy ứng xử của cấu kiện BTCT tăng cường cắt bằng vật liệu FRP có thể xẩy ra các dạng phá hoại sau:

1. Thép chảy dẻo sau đó vật liệu FRP bị bong ra
2. Thép chảy dẻo sau đó vật liệu FRP bị đứt
3. Vật liệu FRP bị bong tách ra trước khi thép bị chảy
4. Bê tông bị nén vỡ do ứng suất nén chính trong vùng có lực cắt lớn

Phụ thuộc vào hàm lượng cốt thép chịu cắt trong cấu kiện, hiện tượng bong lớp FRP có thể xẩy ra trước hoặc sau khi cốt thép chịu cắt bị chảy. Tuy nhiên với thiết kế hàm lượng cốt thép chịu cắt phù hợp thì dạng phá hoại thứ 3 ít xẩy ra.

Dạng phá hoại bê tông do nén có thể loại bỏ nếu sử dụng lượng vật liệu FRP tăng cường cắt vừa đủ. Khả năng vật liệu FRP bị đứt cũng khó xẩy ra vì biến dạng gây bong tách thường nhỏ hơn biến dạng phá hoại của vật liệu FRP.

B9 Đóng góp sức kháng cắt của vật liệu FRP đối với cấu kiện được gia cường được dựa trên giả thiết vết nứt ở vùng chịu kéo xiên góc 45°. Cường độ có hiệu của một đơn vị bề rộng của tấm vật liệu FRP có thể lấy bằng ứng suất trung bình trong vật liệu FRP dọc theo vết nứt do cắt. Giá trị ứng suất này ở mỗi vị trí dọc theo vết nứt do cắt phụ thuộc chủ yếu vào các bố trí dán cắt (dán sườn, dán bọc chữ U, dán bọc hoàn toàn).

Cần lưu ý rằng diện tích chịu kéo của tấm vật liệu FRP thi công dán ướt chủ yếu dựa vào diện tích thực của sợi trong khi đối với tấm tiền chế thì dựa vào tổng diện tích mặt cắt của tấm tiền chế.

B10 Trình tự thiết kế cột tăng cường bằng vật liệu FRP cũng giống như đối với cột BTCT không được tăng cường. Tuy nhiên cường độ chịu nén của bê tông được thay thế bằng cường độ bê tông khi bị hạn chế nở ngang theo công thức nêu trong Mục 9.3.2.2. Các hệ số 0,85 và 0,80 trong các Công thức 17 và Công thức 18 phản ánh ảnh hưởng của hiện tượng nén lệch tâm (bằng 0,05h và 0,10h tương ứng với cột có cốt đai xoắn và cốt đai thường).

Cột tròn bị hạn chế nở ngang có chễ chịu được biến dạng dọc trục giới hạn lớn hơn nhiều so với cột không bị hạn chế nở ngang. Sự tăng cường độ của cột do thép chuyển sang giai đoạn tái bền bị bỏ qua và không tính vào trong các Phương trình 17 và phương trình 18 để tăng độ an toàn.

B11 Vật liệu FRP có thể được sử dụng để cung cấp thêm cường độ cho các cấu kiện BTCT chịu kéo đúng tâm. Cường độ chịu kéo cung cấp bởi vật liệu FRP bị giới hạn bởi cường độ chịu kéo của vật liệu FRP và khả năng truyền ứng suất từ bê tông sang vật liệu FRP thông qua dính bám. Biến dạng có hiệu trong vật liệu FRP có thể xác định dựa vào các tiêu chí đã sử dụng khi tăng cường chống cắt.