

TÍNH TOÁN VÀ THỬ NGHIỆM KẾT CẤU CHỐNG ĐỠ TẠM CÓ THANH NGANG SỬ DỤNG KHOÁ GIÁO GÓC VUÔNG CALCULATION AND TESTING OF FALSEWORK SYSTEM WITH TRANSOMS USING RIGHT-ANGLE CUOPLERS

Đặng Trọng Vinh¹, Đỗ Trần Hùng², Vũ Hồng Hà³, Ngô Đức Trung⁴

^{1, 2, 3, 4}Viện Khoa học công nghệ xây dựng

Email: dang.vinh.56nuce@gmail.com, 0962742686

DOI: <https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses2-34>

TÓM TẮT: Việc thay thế liên kết giữa thanh ngang và thanh đứng của kết cấu chống đỡ tạm từ khớp thành bán ngàm nhằm tăng khả năng chịu tải và độ ổn định của kết cấu khi sử dụng khoá giáo góc vuông để liên kết. Bài báo này tác giả trình bày phương pháp thực nghiệm xác định độ cứng uốn của khoá giáo góc vuông, tính toán và thử tải kết cấu chống đỡ tạm theo hệ tiêu chuẩn Châu Âu.

TỪ KHÓA: kết cấu chống đỡ tạm; khoá giáo góc vuông.

ABSTRACT: Replacing the connection between the transoms and standards of falsework from pinned to semi fixed joints to increase the load-bearing capacity and stability of the structure when using right-angle couplers for connection. This paper presents the experimental method to determine the bending stiffness of right-angle couplers, calculate and test the falsework according to the European standard system.

KEYWORDS: falsework, right angle coupler.

1. GIỚI THIỆU

Khoá giáo được sử dụng để liên kết ống thép rời trong giàn giáo và kết cấu chống đỡ tạm. Trên thị trường Việt Nam chủ yếu có 2 loại khoá giáo là khoá giáo góc vuông và khoá giáo xoay tuân theo tiêu chuẩn BS 1139 [1]. Những yêu cầu đối với khoá giáo theo BS 1139 tương đồng với EN 74 [2] nên nhóm tác giả sử dụng EN 74 để thử nghiệm và đánh giá. Những tiêu chuẩn về thiết kế và thử nghiệm theo EN đang được Bộ Xây dựng biên soạn thành tiêu chuẩn Việt Nam theo Đề án 198 hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn quy chuẩn kỹ thuật xây dựng. Thông số kiểm soát chất lượng đối với khoá giáo xoay là lực trượt, còn đối với khoá giáo góc vuông là lực trượt và độ cứng uốn. Việc thử nghiệm để xác định độ cứng uốn cho khoá giáo góc vuông là phép thử mới được thực hiện tại Viện KHCN Xây dựng. Ngoài ra, sau khi xác định được độ cứng uốn trên, việc tính toán kết cấu chống đỡ tạm có sử dụng khoá giáo góc vuông cũng là vấn đề cần được nghiên cứu để sử dụng lợi thế của liên kết bằng loại khoá giáo này.

Kết cấu chống đỡ tạm trên thị trường Việt Nam hiện nay chủ yếu là giáo nêm và giáo ringlock. Liên kết giữa thanh ngang và thanh đứng của hệ

giáo này là liên kết khớp. Để tăng khả năng chịu tải và độ ổn định của kết cấu chống đỡ tạm thì sử dụng khoá giáo góc vuông để liên kết.

Bài báo trình bày về thí nghiệm xác định độ cứng uốn cho khoá giáo góc vuông và đưa thông số này vào mô hình tính toán lý thuyết. Tải trọng thí công theo EN 1991-1-6 [3], tính toán kết cấu chống đỡ tạm theo EN 12812 [4], tính toán kết cấu thép theo EN 1993-1-1 [5], thử tải theo EN 12811-3 [6].

2. XÁC ĐỊNH ĐỘ CỨNG UỐN KHOÁ GIÁO GÓC VUÔNG

2.1 Các yêu cầu về thử nghiệm

Với mỗi loại khoá giáo góc vuông sử dụng để liên kết ống thép, tiến hành thử nghiệm trên 10 mẫu để xác định độ cứng uốn. Để thử nghiệm, bu lông của khoá giáo được siết chặt đến mô men siết 50 Nm.

Các thông số quy đối với khoá giáo góc vuông theo EN 74-1 như sau:

- Mô men bền uốn giới hạn: $2.M_B = 1,6 \text{ kNm}$
- Độ cứng uốn $C_{\phi 1}$ tại mô men uốn $0,48 \text{ kNm}$ là 15 kNm/rad .

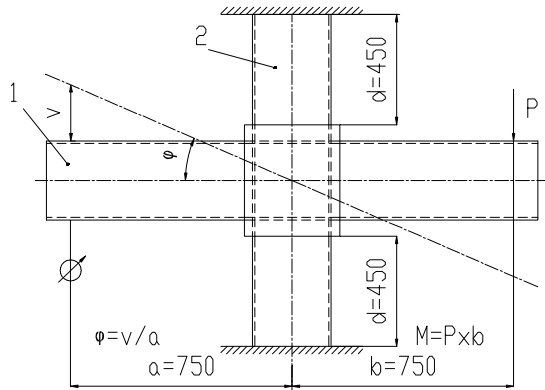
- Độ cứng uốn $C_{\varphi 2}$ tại mô men uốn 0,8 kNm là 6 kNm/rad.



Hình 1: Khoá giáo góc vuông

2.2 Độ cứng và mô men giới hạn

Độ cứng uốn $C_{\varphi 1}$, $C_{\varphi 2}$ và mô men uốn M_B của thanh ngang được xác định theo sơ đồ thử nghiệm sau:



CHÚ DẪN: 1,2 ống chuẩn

Hình 2: Sơ đồ thử nghiệm mô men uốn và độ cứng khoá giáo góc vuông



Hình 3: Hình ảnh thử nghiệm khoá giáo góc vuông

Như trên Hình 2, ống thép đứng đường kính 48 mm dày 2,0 mm dài 1000 mm, ống thép ngang tiết

diện như trên đặt 1 điểm gia tải P cách trục ống đứng 750 mm và điểm đối xứng đặt thiết bị đo chuyển vị để xác định sự thay đổi góc φ . Với những yêu cầu về thử nghiệm như trên, nhóm tác giả đã sử dụng những trang thiết bị hiện có của Viện KHCN Xây dựng để thực hiện thành công phép thử này.

Sau khi có kết quả thử nghiệm đối với 10 mẫu khoá giáo góc vuông cùng loại, việc xác định độ cứng uốn $C_{\varphi 1}$, $C_{\varphi 2}$ và mô men uốn M_B theo EN 74-1.

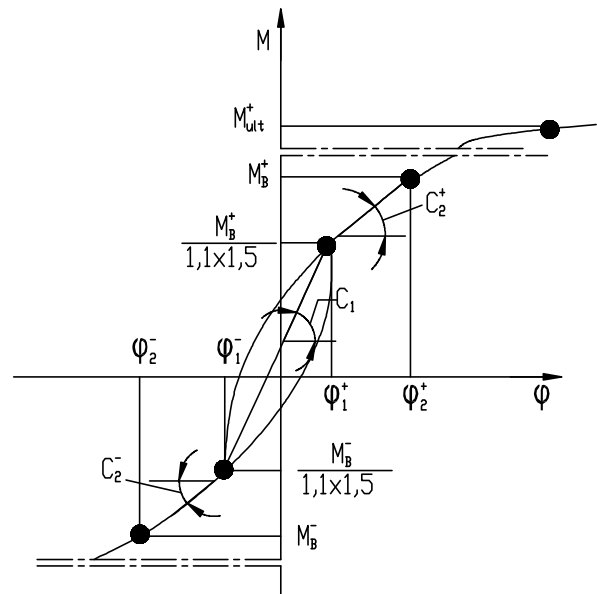
Bảng 1. Tổng hợp kết quả thử nghiệm

Cấp tải	M_B (kNm)	V (mm)	φ (rad)
P_1 (0,64 kN)	0,48	6,89	0,0092
P_{-1} (-0,64 kN)	-0,48	-6,71	-0,0089
P_2 (1,06 kN)	0,80	32,84	0,0437
P_{-2} (-1,06 kN)	-0,80	-31,86	-0,0424

Từ kết quả thử nghiệm trên 10 mẫu, do hệ số biến động của độ cứng nhỏ hơn 10%, giá trị đặc trưng của độ cứng uốn có thể lấy giá trị trung bình của 10 mẫu (theo EN 12811-3), kết quả như sau:

$$c_{\varphi 1} = \frac{2 \times \frac{M_B}{1,1 \times 1,5}}{\varphi_1^+ - \varphi_1^-} = \frac{0,97}{\varphi_1^+ - \varphi_1^-} = 53,59 \text{ (kNm/rad)} \quad (1)$$

$$c_{\varphi 2} = \frac{M_B - \frac{M_B}{1,1 \times 1,5}}{\varphi_2^+ - \varphi_1^+} = \frac{0,315}{\varphi_2^+ - \varphi_1^+} = 9,13 \text{ (kNm/rad)} \quad (2)$$



Hình 4: Biểu đồ quan hệ mô men uốn - góc xoay của khoá giáo góc vuông

Như vậy, với các khoá giáo góc vuông đã thử nghiệm, mô men uốn và độ cứng uốn trên ống thép đảm bảo lớn hơn giá trị quy định trong EN 74-1.

3. KẾT CẤU CHỐNG ĐỔ TẠM SỬ DỤNG ỚNG THÉP RỜI VÀ KHOÁ GIÁO



Hình 5: Khoá giáo liên kết ống thép rời trên công trình



Hình 6: Kết cấu chống đỡ tạm sử dụng khoá giáo góc vuông liên kết ống thép rời

Trên một số công trình xây dựng ở Việt Nam hiện nay, đơn vị thi công đã sử dụng ống thép rời kết hợp với khoá giáo làm giàn giáo hoàn thiện mặt ngoài và kết cấu chống đỡ tạm. Ưu điểm khi sử dụng loại kết cấu này là khả năng thích nghi với nhiều điều kiện địa hình trên công trình khi mà giáo định hình không đáp ứng được.

Giàn giáo hoàn thiện sử dụng ống thép rời với khoá giáo xoay cho phép thi công lắp dựng nhanh nhưng chỉ chịu được tải trọng nhỏ (Hình 5).

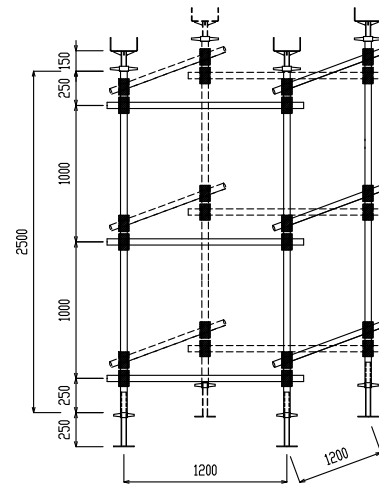
Khi mà tải trọng thiết bị lớn đặt trên giàn giáo hoàn thiện hoặc kết cấu chống đỡ tạm cần có biện pháp tăng cứng như bổ sung giằng chéo hoặc sử dụng khoá giáo góc vuông.

Sơ với giáo nêm và giáo ringlock đã phổ biến trên thị trường, kết cấu chống đỡ tạm sử dụng khoá giáo góc vuông liên kết ống thép rời sẽ có độ ổn định lớn hơn nhưng thời gian lắp dựng lâu hơn khi cùng loại vật liệu và tiết diện ống.

4. TÍNH TOÁN KẾT CẤU CHỐNG ĐỔ TẠM SỬ DỤNG ỚNG THÉP RỜI VÀ KHOÁ GIÁO GÓC VUÔNG

4.1 Sơ đồ chịu lực

Sơ đồ hệ kết cấu chống đỡ tạm cao 2,8 m với kích thước khoang giáo 1,2 x 1,2 m. Thanh đứng dài 2,5 m liên kết với kích chân dài 0,25 m và kích đầu dài 0,15 m. Thanh ngang liên kết với thanh đứng bằng khoá giáo góc vuông.



Hình 7. Sơ đồ hệ kết cấu chống đỡ tạm

Như miêu tả trên Hình 7, bài báo trình bày phương pháp tính toán kết cấu chống đỡ tạm theo EN.

4.2. Tính toán theo các tiêu chuẩn EN hiện hành

Hệ kết cấu chống đỡ tạm sử dụng khoá giáo góc vuông liên kết ống thép rời dùng trong biện pháp thi công sàn bê tông cốt thép dày 300 mm như trên Hình 6, vật liệu sử dụng là thép loại Q345B có giới hạn chảy 345 MPa, $E = 210000$ MPa, $G = 81000$ MPa.

Tải trọng tác dụng lên kết cấu chống đỡ tạm theo EN 1991-1-6 bao gồm:

- Trọng lượng bản thân kết cấu chống đỡ tạm;

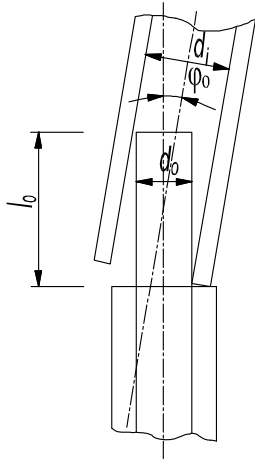
- Bê tông sàn: $0,3 \times 25 \times 1,5 = 11,25$ (kN/m²);
- Trọng ván khuôn: $0,0975 \times 1,5 = 0,15$ (kN/m²);
- Hoạt tải do đầm (tính bằng 10% trọng lượng bê tông: $0,03 \times 25 \times 1,5 = 1,13$ (kN/m²);
- Hoạt tải do người thi công: $1 \times 1,5 = 1,5$ (kN/m²);

Tổng tải trọng đứng tác dụng lên kết cấu chống đỡ tạm: $(2,4 \times 2,4) \times 14,03 = 80,8$ (kN).

Áp lực gió tác dụng lên kết cấu chống đỡ tạm theo EN 12812, $q_i = 0,2$ (kN/m²).

Tải trọng ngang tác dụng lên đỉnh kết cấu chống đỡ tạm, chiều cao lấy bằng 0,4m, chiều dài toàn bộ hệ giằng (quy định trong EN 12811-1): $1,5 \times 0,4 \times 2,4 \times 0,2 = 0,29$ (kN).

Mô hình tính toán kết cấu chống đỡ tạm là các phần tử thanh, trong đó thanh đứng bằng ống thép đường kính 48 mm dày 2 mm, các thanh giằng ngang bằng ống thép đường kính 48 mm dày 2 mm liên kết với độ cứng uốn $C_{\varphi 2} = 6$ kNm/rad ở 2 đầu; tải trọng đứng chia đều cho 4 thanh đứng tại đỉnh, tải trọng ngang là tải trọng gió. Ngoài ra phải kể đến sự không hoàn chỉnh do góc lệch tại liên kết giữa thanh đứng với kích đầu và kích chân, xem Hình 8.



Hình 8. Độ lệch ban đầu tại nút

Hệ kết cấu chống đỡ tạm nghiêng 1 góc φ với $\tan \varphi = 0,04$.

$$\tan \varphi_0 = 1,25(d_i - d_0)/l_0 \quad (3)$$

Trong đó:

d_i : đường kính trong của thanh đứng: 42 mm;

d_0 : đường kính ngoài của ống nối: 38 mm;

l_0 : chiều dài nối chồng: 100 mm;

φ_0 : góc nghiêng giữa thanh đứng với kích đầu và kích chân, tính bằng radian.

Trong trường hợp có nhiều cây chống cạnh nhau thì góc nghiêng được tính như sau:

$$\tan \varphi = \sqrt{0,5 + \frac{1}{n_v}} \times \tan \varphi_0 \quad (4)$$

Trong đó: n_v - số lượng thanh giằng đứng trong hệ.

Với chuồng giằng đơn $n_v = 4$ thanh, $\tan \varphi = 0,04$.

Sau khi phân tích tính toán bằng phần mềm SAP 2000, nội lực lớn nhất tại thanh đứng phía trên: $N_{Ed} = 20,2$ kN, $M_{Ed} = 0,4$ kNm.



Hình 9. Mô hình tính hệ kết cấu chống đỡ tạm

Với nội lực trên, kiểm tra khả năng chịu lực kết cấu chống đỡ tạm theo EN 1993-1-1.

Ống thép đường kính 48 mm dày 2 mm có các đặc trưng hình học tiết diện: $I_x = 76553$ mm⁴, $W_{el,x} = 3189$ mm³, $W_{pl,x} = 4234$ mm³, $A = 289$ mm², $I_T = 153106$ mm⁴.

Theo EN 12811-1 [7], $\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,1$ khi tính toán khả năng chịu lực thiết kế.

Khả năng chịu nén thiết kế:

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} \quad (5)$$

Lực dọc tới hạn khi oằn trong giai đoạn đàn hồi:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} \quad (6)$$

Khả năng chịu nén thiết kế khi oằn $N_{b,Rd} = 72,5$ kN

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi Af_y}{\gamma_{M1}} \quad (7)$$

Khả năng chịu uốn thiết kế khi oằn:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (8)$$

Để tính $M_{b,Rd}$ cần xác định M_{cr}

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \left(\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_T}{\pi^2 EI_z} \right)^{0.5} \quad (9)$$

Suy ra $M_{b,Rd} = 1,328 \text{ kNm}$.

Kiểm tra tổng thể thanh đứng theo công thức:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1 \quad (10)$$

Với nội lực trên, ta có $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = 0,58$

Như vậy, kết cấu chống đỡ tạm như trên đảm bảo khả năng chịu lực khi thi công kết cấu sàn bê tông cốt thép dày 300 mm theo hệ tiêu chuẩn EN.

Tăng dần tải trọng để tìm ra khả năng chịu lực cực hạn cho kết cấu chống đỡ tạm trên khi điều kiện trong công thức (10) bằng 1, khi đó khả năng chịu nén đặc trưng của kết cấu chống đỡ tạm trên là 144 kN. Khi đó, nội lực lớn nhất tại thanh đứng phía trên: $N_{Ed} = 36 \text{ kN}$, $M_{Ed} = 0,64 \text{ kNm}$.

4.3. Thử tải để kiểm chứng sau khi tính toán

Việc chuẩn bị sản xuất hệ thống giàn giáo mới, và sau đó giới thiệu nó ra thị trường cần được tiến hành các thử nghiệm để kiểm chứng. Để đảm bảo an toàn tại nơi làm việc trong các công trình xây dựng kết cấu chống đỡ tạm phải tuân thủ các tiêu chí đánh giá về mặt an toàn. Các nhà sản xuất giàn giáo nhận thức được tầm quan trọng của sự an toàn cho người sử dụng và đáp ứng các yêu cầu về khả năng chịu tải phù. Vì vậy, một trong những giai đoạn chuẩn bị của một hệ kết cấu chống đỡ tạm mới được giới thiệu ra thị trường là thực hiện các thử nghiệm trong phòng thí nghiệm, với các tính toán lý thuyết cho phép xác định các thông số khả năng chịu lực của kết cấu chống đỡ tạm.

Tài liệu cơ bản về thử nghiệm của kết cấu chống đỡ tạm là tiêu chuẩn EN 12811-3. Tiêu chuẩn này xác định loại thử nghiệm nào sẽ được tiến hành, trong đó phạm vi tải trọng được xác định bằng thử nghiệm cũng như cách tính toán lý thuyết, kết quả cho giá trị của lực tác dụng tối đa lên điểm giữa của một hệ kết cấu chống đỡ tạm.

Việc thí nghiệm thử tải kết cấu chống đỡ tạm với kích thước thực nhằm chứng minh các giả thiết thiết kế đã sử dụng khi phân tích mô hình.

Sơ đồ kết cấu chống đỡ tạm trên được lắp dựng tại phòng thí nghiệm thuộc Viện KHCN Xây dựng, gia tải bằng kích thủy lực, lực nén tăng dần đến khi phá hoại. Tải trọng phá huỷ khi thử tải của kết cấu chống đỡ tạm trên là 160 kN.

Việc chứng minh các giả thiết thiết kế đã sử dụng khi phân tích mô hình: thanh ngang liên kết với thanh đứng có độ cứng uốn $C_{\phi 2} = 6 \text{ kNm/rad}$ ở 2 đầu và góc nghiêng tại liên kết thanh đứng; so sánh với kết quả thí nghiệm thử tải kết cấu chống đỡ tạm có kích thước thực theo EN 12811-3. Tải trọng phá huỷ khi thử tải của kết cấu chống đỡ tạm trên là 160 kN. Hệ số vượt tải khi tính toán theo các tiêu chuẩn EN là: 1,11. Như vậy, việc khai báo độ cứng uốn của khớp giáo góc vuông trong mô hình tính toán là phù hợp.



Hình 9. Thử tải giáo chống sử dụng khớp giáo góc vuông liên kết ống thép rời

Một trường hợp tính toán và thử nghiệm khác để đối chứng: sơ đồ kết cấu chống đỡ tạm như trên nhưng thay khớp giáo góc vuông bằng liên kết nêm.

Mô hình tính toán trong trường hợp này là thanh đứng có góc nghiêng tại các liên kết (nối với kích chân và kích đầu), thanh ngang liên kết với thanh đứng là khớp. Tổng tải trọng đứng tác dụng lên hệ kết cấu này là 80 kN, tải trọng ngang 0,29 kN.

Sau khi phân tích tính toán bằng phần mềm SAP 2000, nội lực lớn nhất tại thanh đứng phía trên: $N_{Ed} = 20,1 \text{ kN}$, $M_{Ed} = 0,95 \text{ kNm}$.

Với nội lực trên, ta có $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = 0,993$

Như vậy, kết cấu chống đỡ tạm cao 2,8 m với thanh đứng bằng ống thép đường kính 48 mm dày 2 mm, thanh ngang liên kết khớp với thanh đứng có khả năng chịu lực đứng thiết kế là 80 kN.

Đối chiếu với kết quả thí nghiệm hệ kết cấu chống đỡ tạm như đã tính toán với thanh ngang liên kết với thanh đứng dạng nêm, tải trọng đứng khi phá huỷ là 90 kN [8].



Hình 10. Thử tải giáo nêm có cùng kích thước

Từ những kết quả tính toán và thí nghiệm trên có thể đưa ra các nhận xét:

- Kết cấu chống đỡ tạm sử dụng ống thép và khoá giáo góc vuông cho khả năng chịu lực đứng lớn hơn đáng kể so với kết cấu giáo nêm cùng loại.
- Việc lắp đặt khoá giáo góc vuông liên kết với ống thép mất nhiều thời gian hơn và đòi hỏi chính xác khoảng cách giữa các khoá giáo.
- Với kích thước khoang giáo $1,2 \times 1,2$ m có thể khai báo độ cứng uốn $C_{\varphi 2} = 6$ kNm/rad ở 2 đầu thanh ngang liên kết với thanh đứng cần dựa vào kết quả thí nghiệm nút khoá giáo góc vuông theo EN 74-1.

5. KẾT LUẬN

Kết cấu chống đỡ tạm sử dụng ống thép rời và khoá giáo góc vuông sẽ có độ ổn định lớn hơn nhưng thời gian lắp dựng lâu hơn so với kết cấu giáo nêm khi cùng loại vật liệu và tiết diện ống.

Với những yêu cầu về thử nghiệm khoá giáo góc vuông theo EN 74-1 để xác định độ cứng uốn trên ống thép, nhóm tác giả đã sử dụng những trang thiết bị hiện có của Viện KHCN Xây dựng để thực hiện thành công phép thử này.

Những tiêu chuẩn thử nghiệm và tính toán kết cấu chống đỡ tạm theo EN đang được Bộ Xây dựng biên soạn thành tiêu chuẩn Việt Nam, bài báo này cũng là cách minh chứng việc áp dụng những tiêu chuẩn trên là phù hợp với tình hình Việt Nam bây giờ.

Kiến nghị: khi những tiêu chuẩn thử nghiệm về các bộ phận và cấu hình kết cấu chống đỡ tạm được ban hành ở Việt Nam, cần đầu tư các thiết bị thử nghiệm chuyên sâu phù hợp với tiêu chuẩn thử.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] British standard BS 1139-2: Metal scaffolding – Part 2: Couplers.
- [2] European standard EN 74-1: Couplers, spigot pins and baseplates for use in falsework and scaffolds - Part 1: Couplers for tubes - Requirements and test procedures.
- [3] European standard EN 1991-1-6: Eurocode 1 – Actions on Structures Part 1-6: General actions – Actions during execution.
- [4] European standard EN 12812: Falsework - Performance requirements and general design.
- [5] European standard EN 1993-1-1: Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings.
- [6] European standard EN 12811-3: Temporary works equipment – load testing.
- [7] European standard EN 12811-1: Temporary works equipment - Part 1: Scaffolds - Performance requirements and general design.
- [8] Viện Chuyên ngành Kết cấu CTXD (2020). Phiếu kết quả thử nghiệm 4/11/2020.