

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG**



LÊ VĂN DUY

**TÍNH TOÁN DÀM THÉP TIẾT DIỆN DẠNG CHỮ I
CHỊU XOẢN THEO TIÊU CHUẨN AISC**

LUẬN VĂN THẠC SĨ

Ngành kỹ thuật xây dựng Công trình dân dụng và Công nghiệp

Hà Nội - 2013

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG**



LÊ VĂN DUY

**TÍNH TOÁN DẦM THÉP TIẾT DIỆN DẠNG CHỮ I
CHỊU XOẮN THEO TIÊU CHUẨN AISC**

LUẬN VĂN THẠC SĨ

**Ngành kỹ thuật xây dựng Công trình dân dụng và Công nghiệp
Mã số : 60.58.02.08**

Cán bộ hướng dẫn : PGS.TS. Nguyễn Tiến Chương

Hà Nội - 2013

LỜI CAM ĐOAN

Tên tôi là : **LÊ VĂN DUY**

Sinh ngày : 04 – 02 –1986

Quê quán : Hải Trung – Hải Hậu – Nam Định

Nơi công tác : Công ty cổ phần đầu tư và tư vấn INCOMEX-ICC.

Tôi xin cam đoan Luận văn tốt nghiệp cao học ngành kỹ thuật xây dựng công trình dân dụng và công nghiệp với đề tài : “ **Tính toán dầm thép tiết diện dạng chữ I chịu xoắn theo Tiêu chuẩn AISC** ” là luận văn do cá nhân tôi thực hiện. Các kết quả tính toán, các mô hình tuân thủ theo tiêu chuẩn Xây Dựng hiện hành. Kết quả tính toán này không sao chép bất kì tài liệu nào khác.

Hà Nội, ngày 22 tháng 12 năm 2013.

Tác giả luận văn

Lê Văn Duy

LỜI CẢM ƠN.

Trong quá trình học tập, nghiên cứu và thực hiện Luận văn Thạc sỹ, tôi đã nhận được sự giúp đỡ, tạo điều kiện nhiệt tình và quý báu của nhiều cá nhân và tập thể.

Trước tiên, tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới thầy giáo PGS.TS. Nguyễn Tiến Chương đã tận tình hướng dẫn trong suốt thời gian nghiên cứu hoàn thành luận văn này.

Tôi xin chân thành cảm ơn các thầy cô giáo trong Khoa đào tạo Sau đại học đã tận tình giảng dạy, hướng dẫn, truyền đạt kiến thức trong suốt quá trình học tập và thực hiện luận văn.

Tôi cũng xin chân thành cảm ơn bạn bè, đồng nghiệp thuộc lớp cao học XDHN1109-1 đã giúp tôi tìm kiếm tài liệu, tìm kiếm nguồn tham khảo để hoàn thành luận văn này.

Mặc dù tôi đã rất cố gắng hoàn thiện luận văn bằng tất cả sự nhiệt tình và năng lực của mình, tuy nhiên không thể tránh khỏi những thiếu sót hoặc có những phần nghiên cứu chưa sâu. Rất mong nhận được sự chỉ bảo và thông cảm của các Thầy cô.

Tôi xin trân trọng cảm ơn !

Hà Nội, ngày 22 tháng 12 năm 2013

Tác giả luận văn

Lê Văn Duy

MỤC LỤC.

MỞ ĐẦU.....	1
1. Lý do chọn đề tài	1
2. Mục tiêu nghiên cứu của đề tài	1
3. Phạm vi nội dung nghiên cứu	2
4. Cơ sở khoa học và thực tiễn của luận văn	2
CHƯƠNG I. ĐẠI CƯƠNG VỀ CẤU KIỆN CHỊU XOẮN.....	3
1.1. Tổng quan về cấu kiện chịu xoắn.....	3
1.1.1. Lịch sử phát triển phân tích xoắn	3
1.1.2. Các thuật ngữ và kí hiệu	4
1.1.3. Các loại xoắn	5
1.1.4. Các bài toán xoắn	7
1.1.5. Lý thuyết đàn hồi của xoắn	8
1.2. Dầm mặt cắt ngang dạng chữ I.....	17
1.2.1. Thép hình cán nóng.....	17
1.2.2. Dầm tổ hợp.....	18
1.3. Nhiệm vụ của luận văn.....	18
CHƯƠNG II. TÍNH TOÁN DẦM THÉP TIẾT DIỆN NGANG DẠNG CHỮ I THEO TIÊU CHUẨN AISC.....	19
2.1. Ứng suất do xoắn	19
2.1.1. Đặc trưng hình học của mặt cắt ngang dạng chữ I.....	19
2.1.2. Ứng suất tiếp do xoắn thuần túy.....	20
2.1.3. Ứng suất do xoắn kiểm chế.....	20
2.2. Ứng suất đàn hồi chịu uốn và kéo/nén.....	21
2.3. Tổ hợp ứng suất xoắn với các ứng suất khác.....	22
2.4. Quy phạm áp dụng.....	22
2.4.1. Phương pháp thiết kế theo hệ số tải trọng và hệ số độ bền (LRFD)	22
2.4.2. Phương pháp thiết kế theo ứng suất cho phép (ASD).....	24

2.5. Quy trình thiết kế cấu kiện thép chịu xoắn theo AISC	25
2.5.1. Xác định các đặc trưng hình học của mặt cắt	25
2.5.2. Phân tích ngoại lực tác dụng lên thanh.....	26
2.5.3. Chia thanh thành mỏng thành từng đoạn theo tải trọng tác dụng lên thanh.....	26
2.5.4. Xác định góc xoắn và các vi phân của góc xoắn.....	26
2.5.5. Vẽ các biểu đồ nội lực.....	26
2.5.6. Kiểm tra điều kiện bền.....	26
2.6. Bài toán thực tế	27
2.7. Bài toán lập trình	28
2.8. Ví dụ tính toán	29
2.8.1. Tính toán các đặc trưng hình học.....	30
2.8.2. Tính toán ứng suất do uốn	31
2.8.3. Tính toán ứng suất do xoắn	32
2.8.4. Kiểm tra điều kiện bền.....	37
2.8.5. Tính toán góc xoắn lớn nhất :.....	38
CHƯƠNG III. LẬP CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN CẤU KIỆN THÉP CHỊU XOẮN THEO AISC	39
3.1. Giới thiệu ngôn ngữ lập trình Visual Basic	39
3.2. Sơ đồ khối của chương trình	41
3.3. Kiểm tra tính đúng đắn của chương trình	46
3.4. Nhận xét kết quả tính toán	46
KẾT LUẬN	47
TÀI LIỆU THAM KHẢO	48

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng I-1 Giá trị k_1 và k_2 cho phương trình (1.10) và (1.11).....	10
Bảng II-1 Tổ hợp ứng suất pháp.....	36
Bảng II-2 Tổ hợp ứng suất tiếp.	37
Bảng III-1 Bảng so sánh kết quả tính toán giữa hai phương pháp.	46

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

Hình I-1 Đặc trưng xoắn uốn của mặt cắt.	5
Hình I-2 Một số trường hợp xoắn cân bằng	6
Hình I-3 Dầm chính có xu hướng chịu xoắn.	7
Hình I-4 Tâm uốn.	8
Hình I-5 Góc xoắn	8
Hình I-6 Xoắn của thanh có mặt cắt ngang không đối.	9
Hình I-7 Mặt cắt ngang dạng chữ I	11
Hình I-8 Tọa độ quạt	11
Hình I-9 Xoắn St Venant thanh thành mỏng hở.	13
Hình I-10 Xét phân tố dz.	15
Hình I-11 Các trường hợp xoắn kiểm chế xảy ra của thanh thành mỏng	16
Hình I-12 Xoắn kiểm chế thanh thành mỏng.	16
Hình II-1 Kích thước tính toán mômen tĩnh của cánh.	19
Hình II-2 Chiều và phân bố của ứng suất tiếp của tiết diện chữ I.	21
Hình II-3 Ứng suất pháp xoắn-uốn.	21
Hình II-4 Quy trình phân tích cấu kiện thép có sự tham gia của xoắn.	27
Hình II-5 Bài toán thực tế.	27
Hình II-6 Cấu tạo liên kết ngàm với tấm gia cường.	28
Hình II-7 Sơ đồ tính dầm chịu xoắn.	28
Hình II-8 Trường hợp 7 Thanh chịu mômen xoắn phân bố đều với hai đầu ngàm.	28
Hình II-9 Tiết diện thép chữ I tính toán.	29
Hình II-10 Sơ đồ tính toán dầm chịu xoắn.	30
Hình II-11 Vị trí các điểm trên mặt cắt ngang.	36
Hình III-1 Sơ đồ khối tính toán ứng suất và góc xoắn tại vị trí z.	41
Hình III-2 Sơ đồ khối nhập số liệu.	42
Hình III-3 Sơ đồ khối tính nội lực.	43
Hình III-4 Sơ đồ khối tính góc xoắn và các vị phân của góc xoắn	44

Hình III-5 Sơ đồ khối tính toán ứng suất và góc xoắn lớn nhất và vị trí tương ứng.

..... 45

MỞ ĐẦU.

1. Lý do chọn đề tài

Kết cấu thép là một lĩnh vực nghiên cứu khó, tính toán cấu kiện chịu xoắn cũng vậy. Tính toán ứng suất trong một phần tử kết cấu chịu xoắn là vấn đề không mới. Về lý thuyết, hình dạng của mặt cắt ngang chịu xoắn hiệu quả nhất là mặt cắt ngang tròn rỗng. Mặt cắt ngang kín chịu xoắn tốt hơn mặt cắt ngang hở có cùng diện tích. Tuy nhiên sự cần thiết của quy trình tính toán sẽ trở nên không có nhiều ý nghĩa với các ví dụ không phải điển hình.

Do có nhiều ưu điểm nên kết cấu thanh thành mỏng được áp dụng rộng rãi trong xây dựng công trình thép. Dầm thép chữ I là cấu kiện được sử dụng phổ biến bởi hiệu quả chịu uốn quanh trục khỏe (trục có mômen quán tính lớn) của nó. Trong nhiều trường hợp dầm chịu tải trọng lệch tâm gây ra hiện tượng xoắn. Giống như tất cả các tiết diện hở, khả năng chống xoắn của dầm thép chữ I là rất kém. Ngoài ra ảnh hưởng tương tác giữa xoắn kết hợp với uốn, kéo hoặc nén, cắt làm giảm đáng kể khả năng làm việc của dầm.

Nhiều phương pháp thiết kế đã được phát triển nhưng chưa có phương pháp nào được đề cập trong tiêu chuẩn thiết kế thép của Việt Nam. Cần có thêm các nghiên cứu về bài toán xoắn, đồng thời xây dựng chương trình tính toán cấu kiện chịu xoắn. Các công trình thép được thiết kế theo tiêu chuẩn của nhiều nước : Việt Nam, Nga, Mỹ, Châu Âu...., theo sự cho phép của Nhà nước. Trong các tiêu chuẩn trên thì tiêu chuẩn của Mỹ AISC và tiêu chuẩn của Châu Âu Eurocode 3 đang được áp dụng nhiều nhất.

Vi vậy tôi đã chọn đề tài **“Tính toán dầm thép tiết diện dạng chữ I chịu xoắn theo tiêu chuẩn AISC”**

2. Mục tiêu nghiên cứu của đề tài

- Nghiên cứu đại cương về cấu kiện chịu xoắn trong kết cấu công trình.
- Các phương pháp và công thức tính toán cấu kiện chịu xoắn trong tiêu chuẩn.

Vận dụng các công thức và phương pháp của tiêu chuẩn AISC tính toán cấu kiện chịu xoắn.

- Xây dựng chương trình tính cấu kiện chịu xoắn theo tiêu chuẩn AISC.

3. Phạm vi nội dung nghiên cứu

Phân tích trong giới hạn đàn hồi để xác định ứng suất lớn nhất trong bài toán xoắn tổ hợp với uốn, cắt, kéo hoặc nén.

Giả thiết mặt cắt ngang của thanh không thay đổi. Nội lực được tính toán cho trạng thái chưa biến dạng của hệ kết cấu.

4. Cơ sở khoa học và thực tiễn của luận văn

Nghiên cứu trong luận văn dựa trên cơ sở tiêu chuẩn AISC biên soạn và xuất bản tháng 9 năm 2005 và một số tài liệu tham khảo liên quan.

Ngoài ra luận văn còn áp dụng những kiến thức về sức bền vật liệu, cơ học kết cấu và ngôn ngữ lập trình Visual Basic (VB) để xây dựng chương trình tính toán cấu kiện chịu xoắn theo AISC.

CHƯƠNG I. ĐẠI CƯƠNG VỀ CẤU KIỆN CHỊU XOẮN.

1.1. Tổng quan về cấu kiện chịu xoắn

1.1.1. Lịch sử phát triển phân tích xoắn

- Năm 1853 kĩ sư người Pháp Adhemar Jean Barre de Saint-Venant giới thiệu lý thuyết xoắn cổ điển tại Viện Khoa Học Pháp làm cơ sở cho lý thuyết ngày nay. St Venant chỉ ra rằng khi thanh không tròn chịu xoắn, tiết diện ngang trước phẳng sau sẽ không còn phẳng khi chịu xoắn. Mặt phẳng tiết diện ngang ban đầu sẽ trở nên vênh. Ảnh hưởng của vênh phải được kể đến khi thanh chịu xoắn thuần túy.
- Năm 1899 A.Michell và L.Prandtl giới thiệu kết quả nghiên cứu ổn định xoắn - uốn.
- Năm 1903 L.Prandtl đã khám phá ra sự tương đồng giữa bài toán xoắn và bài toán màng.
- Năm 1905 một bài toán tổng quát của xoắn hỗn hợp đã được giải lần đầu tiên bởi S.Timoshenko. Sau khi L.Prandtl giải quyết bài toán ổn định ngang của mặt cắt ngang hình chữ nhật, S.Timoshenko đã giải quyết bài toán tương tự với mặt cắt ngang hình chữ I.
- Năm 1909 C.Von Bach đã báo cáo kết quả thí nghiệm trên dầm mặt cắt ngang hình chữ [làm sáng tỏ sự phân phối biến dạng không phẳng (từ thiết bị đo tổng biến dạng uốn và vênh). Hơn 10 năm sau cho đến khi R.Maillart và A.Eggenschwyler mới đưa ra được lời giải chính xác cho bài toán mâu thuẫn với giả thuyết Bernoulli-Navier.
- Năm 1917 Foppl đã đóng góp công thức tính toán mômen quán tính xoắn của mặt cắt ngang cán nguội.
- Năm 1929 H.Wagner đã bắt đầu phát triển một lý thuyết cơ sở cho ổn định xoắn- uốn.
- Năm 1937 H.Wagner và R.Kappus đã xây dựng xong lý thuyết chung cho bài toán xoắn – uốn thanh thành mỏng mặt cắt ngang hở.

- V.Z Vlasov(1906-1958) đã phát triển lý thuyết cơ sở của uốn và xoắn đồng thời thanh thành mỏng. Ông là người đã xây dựng hoàn chỉnh lý thuyết về độ bền, ổn định và dao động của thanh thành mỏng mặt cắt ngang hở.

- Năm 1944 Von Karman và Christensen đã phát triển lý thuyết xoắn cho thanh mặt cắt ngang kín (lý thuyết gần đúng).

- Năm 1954 Bencoter đã phát triển một lý thuyết chính xác hơn cho thanh mặt cắt ngang kín.

- Năm 1977, Khan đã giới thiệu phương pháp phân phối bimômen để tính toán kết cấu thành mỏng chịu xoắn.

Còn nhiều đóng góp khác nhưng trên đây là những đóng góp nổi bật nhất.

1.1.2. Các thuật ngữ và kí hiệu

- **Mômen gây xoắn** là thuật ngữ thường dùng để chỉ ngoại lực liên quan đến sự xoắn chỉ việc tác dụng mômen xoắn lên cấu kiện. Mômen gây xoắn bằng tích của lực và khoảng cách đến trục bởi vậy nó không thể đo đạc trực tiếp . Kí hiệu là T

- **Mômen xoắn** là mômen nội lực tác dụng quanh trục dọc của cấu kiện thường gồm hai thành phần : Mômen xoắn St Venant và mômen xoắn-uốn lần lượt kí hiệu là T_t và T_w .

- **Mômen xoắn-uốn** là mômen uốn tác động lên cánh chống lại sự vênh. Kí hiệu là T_w

- **Góc xoắn** kí hiệu là θ . Đạo hàm bậc nhất, bậc hai, bậc ba của góc xoắn lần lượt là θ' , θ'' , θ''' .

- **Mômen quán tính xoắn** của mặt cắt ngang là đặc trưng hình học của mặt cắt ngang liên quan giữa mômen xoắn St Venant và góc xoắn θ . Kí hiệu là J .

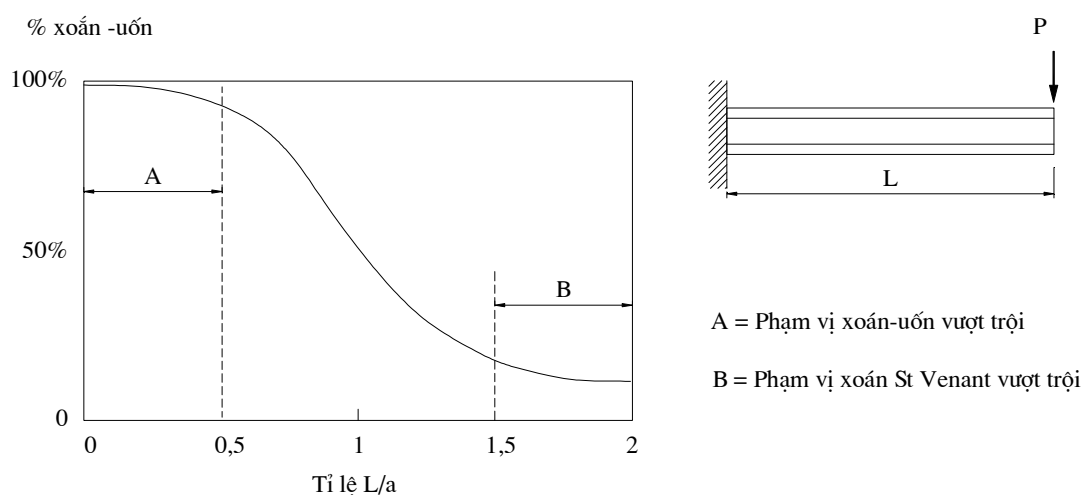
- **Mômen quán tính quật** là đặc trưng hình học của mặt cắt ngang liên quan giữa mômen xoắn-uốn và góc xoắn θ . Thứ nguyên của nó là [chiều dài]⁶. Kí hiệu là C_w

- **Môđun đàn hồi** của thép kí hiệu là E . Đối với kết cấu thép $E = 210000\text{N/mm}^2$.

- **Môđun trượt** kí hiệu là G là tỉ lệ của ứng suất tiếp/biến dạng cắt. G được tính theo công thức $G = E / 2(1 + \nu)$ trong đó E là môđun đàn hồi và ν là hệ số Poát-xông. Đối với kết cấu thép $E/G = 2.6$ và $G \approx 81000 N / mm^2$

- **Đặc trưng xoắn –uốn của mặt cắt** kí hiệu là $\lambda = \frac{1}{a} = \sqrt{\frac{GJ}{EC_w}}$. Trong đó GJ là

độ cứng chống xoắn St Venant và EC_w là *độ cứng chống xoắn-uốn*. Thứ nguyên của đặc trưng xoắn –uốn là $1/[\text{chiều dài}]$. Đơn vị thường dùng là $1/mm$. Nó thể hiện tốc độ tắt mômen xoắn-uốn từ vị trí kiểm chế vênh. Thông thường mômen xoắn –uốn là rất nhỏ so với tổng mômen xoắn tính từ khoảng cách $3a$ so với vị trí kiểm chế vênh.



Hình I-1 Đặc trưng xoắn uốn của mặt cắt.

- σ_a = Ứng suất pháp do lực dọc sinh ra.
- σ_b = Ứng suất pháp do mômen uốn gây ra.
- σ_{ws} = Ứng suất pháp tại điểm s do mômen xoắn-uốn gây ra
- τ_b = Ứng suất tiếp do cắt hoặc uốn gây ra.
- τ_t = Ứng suất tiếp tại biên phần tử do xoắn thuần túy gây ra.
- τ_{ws} = Ứng suất tiếp tại điểm s do xoắn-uốn gây ra.

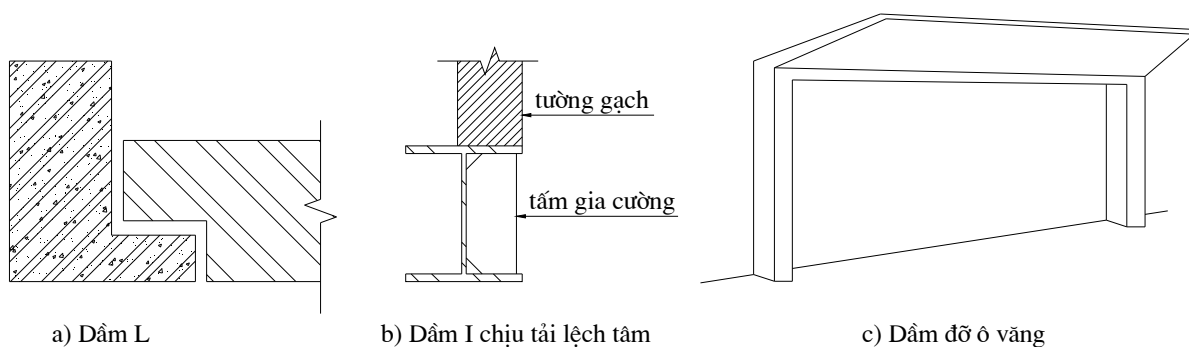
1.1.3. Các loại xoắn

Xoắn trong cầu kiện có thể được chia thành hai loại dựa trên sự cần thiết phân tích và thiết kế xoắn : xoắn cân bằng và xoắn tương thích.

a) Xoắn cân bằng

Xoắn cân bằng hay còn gọi là xoắn sơ cấp, xoắn tĩnh định được sinh ra khi chịu tải trọng lệch tâm. Ví dụ :

- (1) Dầm đỡ ban công hoặc đỡ sàn lắp ghép, hoặc dầm chữ L
- (2) Dầm cong chịu hoạt tải lệch tâm.
- (3) Cột điện chịu tải trọng kéo của dây lệch nhau



Hình I-2 Một số trường hợp xoắn cân bằng

Thông thường những cấu kiện này là hệ tĩnh định cho nên không có sự tham gia của các cấu kiện khác chống lại xoắn. Cấu kiện phân tích dễ dàng bằng điều kiện cân bằng lực. Nhiệm vụ của bài toán xoắn chỉ là xác định điều kiện cân bằng.

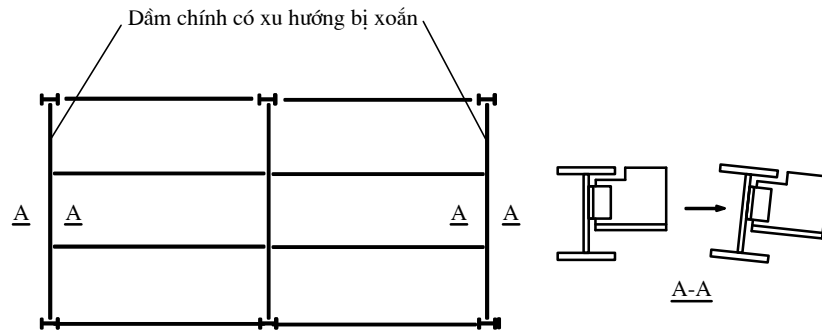
Cấu kiện bắt buộc phải được thiết kế chịu xoắn vì mômen xoắn không thể giảm đi bằng cách phân phối lại mômen.

b) Xoắn tương thích

Xoắn tương thích còn được gọi là xoắn thứ cấp hay xoắn siêu tĩnh được sinh ra để duy trì tính tương thích các biến dạng giữa các cấu kiện gập nhau tại các mối liên kết.

Xoắn tương thích sinh ra trong hệ siêu tĩnh nên không thể xác định được bằng các điều kiện cân bằng lực. Nhiệm vụ của bài toán xoắn tương thích là phải xác định cả điều kiện cân bằng và điều kiện tương thích .

Ví dụ : Xoắn tương thích sinh ra trong trường hợp một dầm chính đỡ dầm phụ.



Hình I-3 Dầm chính có xu hướng chịu xoắn.

Bài toán xoắn có thể xác định khi ta chỉ kể đến điều kiện cân bằng mà bỏ qua điều kiện biến dạng của dầm chính và dầm phụ (tức là điều kiện tương thích). Khi đó dầm chính không cần thiết phải phân tích và thiết kế xoắn, dầm phụ được thiết kế như dầm đơn giản gối lên dầm chính. Điều đó có nghĩa là chúng ta không kể đến bất kỳ mômen liên kết nào giữa dầm chính và dầm phụ.

Mặc dù công nghệ hiện nay việc giải hệ siêu tĩnh cũng hoàn toàn đơn giản như giải hệ tĩnh định bằng các phần mềm phần tử hữu hạn như Ansys, Abaqus, SAP 2000. Các kỹ sư thiết kế vẫn bỏ qua xoắn tương thích khi ứng suất do xoắn là nhỏ.

1.1.4. Các bài toán xoắn

Một vài trường hợp xoắn thường gặp :

- (a) Xoắn của dầm dưới tải trọng không đi qua tâm xoắn.
- (b) Xoắn của trục.
- (c) Ổn định xoắn-uốn của cột chịu nén.
- (d) Sự oằn bên do xoắn của dầm chịu uốn.

Hai dạng chính kể đến xoắn trong thiết kế :

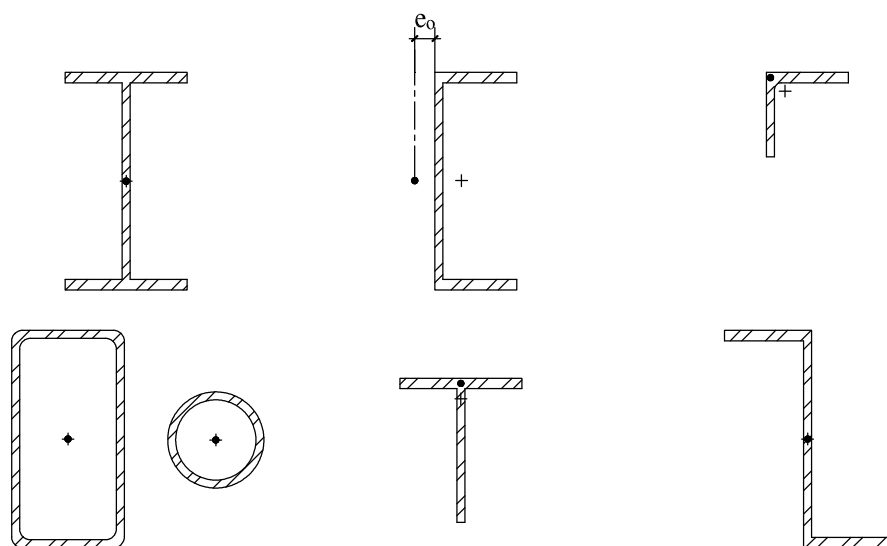
- (1) Ứng xử xoắn là chủ đạo hoặc mômen xoắn kết hợp với uốn hoặc kéo/nén. (Trường hợp (a) và (b) kể trên).
- (2) Cấu kiện mà trong đó hiện tượng xoắn là hệ quả không mong muốn gây ra biến dạng quá mức hoặc phá hoại sớm. (Trường hợp (c) và (d) ở trên).

1.1.5. Lý thuyết đàn hồi của xoắn

Xét trong giới hạn đàn hồi cho nên có thể sử dụng nguyên lý cộng tác dụng khi chịu nhiều tác động khác nhau.

a) Tâm uốn

Tâm uốn của mặt cắt là điểm mà hợp lực các ứng suất tiếp do uốn ở trên mặt cắt đi qua. Ngoại lực tác dụng đi qua tâm uốn chỉ gây ra uốn mà không xoắn. Nếu một mặt cắt ngang có trục đối xứng thì tâm cắt luôn nằm trên trục đó. Còn đối với mặt cắt ngang có hai trục đối xứng thì tâm cắt là giao điểm của hai trục trên (cũng là trọng tâm luôn).



a) hình có hai trục đối xứng b) hình có một trục đối xứng c) hình không đối xứng
trọng tâm trùng với tâm uốn

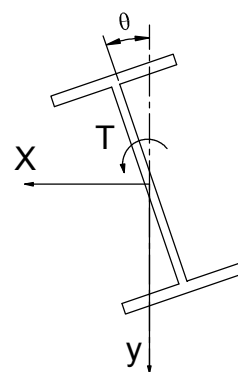
+ trọng tâm • tâm uốn

Hình I-4 Tâm uốn.

b) Xoắn St Venant của tiết diện đồng nhất

Các giả thiết về biến dạng thanh :

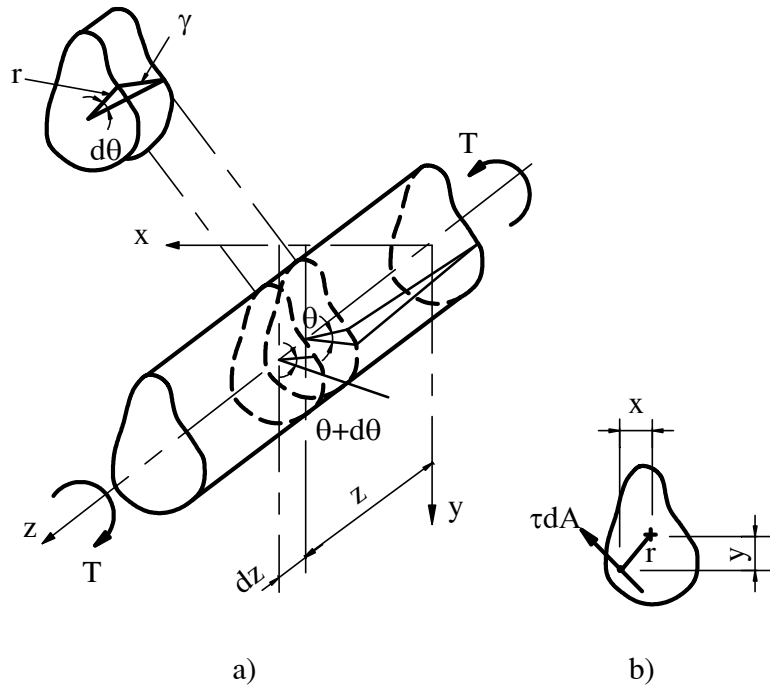
- Thanh không có biến dạng dọc trục.
- Mặt cắt ngang thanh vẫn phẳng, chỉ thực hiện chuyển động quay xung quanh trục z một góc θ , gọi là góc xoắn của tiết diện.
- Bỏ qua ứng suất pháp trên các mặt cắt song song với trục.



Hình I-5 Góc xoắn

Bất kì điểm nào dọc theo chiều dài của thanh chịu xoắn, mặt cắt ngang ngang tại đó đều xoay một góc θ như Hình I-5

Một thanh gọi là bị xoắn thuần túy khi trên mặt cắt ngang của nó chỉ có một thành phần nội lực là mômen xoắn T_s .



Hình I-6 Xoắn của thanh có mặt cắt ngang không đổi.

Xét một thanh đặc mặt cắt ngang không thay đổi chịu mômen xoắn T như Hình I-6. Không có hiện tượng vênh ngoài mặt phẳng của tiết diện ngang, hoặc nếu có thì bỏ qua ảnh hưởng của sự vênh do góc xoắn θ . Góc xoắn tương đối giữa hai mặt cắt ngang tại vị trí z và $z+dz$ gây ra biến dạng. Chuyển vị tại điểm đã cho tỷ lệ với khoảng cách r từ tâm uốn.

Biến dạng góc γ hay là biến dạng cắt tại bất kì vị trí r so với tâm uốn được tính theo công thức : $\gamma dz = r d\theta$ (1.1)

$$\text{Suy ra : } \gamma = r \frac{d\theta}{dz} = r\theta' \quad (1.2)$$

$$\text{Theo định luật Hooke cho biến dạng trượt đơn vị } \tau : \tau = \gamma G \quad (1.3)$$

$$\text{Theo hình b của Hình I-6 : } dT = r\tau dA = r\gamma G dA = r^2 \frac{d\theta}{dz} G dA \quad (1.4)$$

$$\text{Lấy tích phân ta có : } T = \int_A r^2 \frac{d\theta}{dz} G dA \quad (1.5)$$

Bởi vì $\frac{d\theta}{dz}$ và G là hằng số tại bất kì mặt cắt nào. Nên từ (1.5) có :

$$T = \frac{d\theta}{dz} G \int_A r^2 dA = GJ \frac{d\theta}{dz} \quad (1.6)$$

Trong đó $J = \int_A r^2 dA$ là mômen quán tính xoắn của mặt cắt ngang.

$$\text{Từ (1.1) và (1.2) suy ra : } \tau = \gamma G = r \frac{d\theta}{dz} G \quad (1.7)$$

$$\text{Từ (1.6) ta có : } \frac{d\theta}{dz} = \frac{T}{GJ} \quad (1.8)$$

$$\text{Từ (1.7) và (1.8) có : } \tau = \frac{Tr}{J} \quad (1.9)$$

Như vậy ứng suất tiếp xoắn St Venant tỉ lệ thuận với bán kính r .

Đối với mặt cắt ngang hình chữ nhật : Phân tích áp dụng cho hình chữ nhật trở lên phức tạp hơn bởi vì ứng suất tiếp ảnh hưởng bởi sự vênh, tuy nhiên góc xoắn về cơ bản là không ảnh hưởng.

Ứng suất tiếp lớn nhất xảy ra tại trung điểm của cạnh dài và song song với nó. Độ lớn của ứng suất tiếp là hàm của tỉ lệ b/t (chiều dài/bề rộng).

$$\tau_{\max} = \frac{k_1 T}{bt^2} \quad (1.10)$$

$$\text{Và mômen quán tính xoắn của mặt cắt ngang : } J = k_2 bt^3 \quad (1.11)$$

Trong đó giá trị k_1, k_2 được nội suy theo bảng Bảng I-1

Bảng I-1 Giá trị k_1 và k_2 cho phương trình (1.10) và (1.11)

b/t	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	∞
k_1	4,81	4,57	4,33	4,07	3,88	3,75	3,55	3,44	3,00
k_2	0,141	0,166	0,196	0,229	0,249	0,263	0,281	0,291	0,333

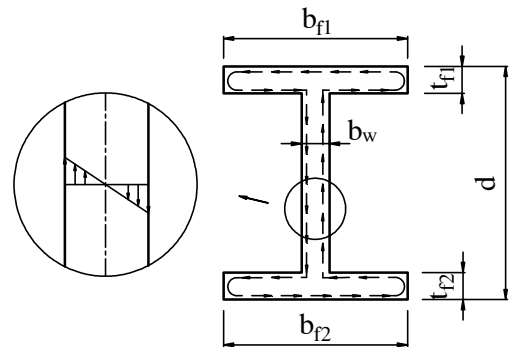
Đối với mặt cắt ngang dạng chữ I :

Ta có thể coi mặt cắt gồm ba hình chữ nhật mỏng (vì $b \gg t$). Khi đó, ứng suất tiếp hướng theo chu tuyến mặt cắt, còn theo phương bề dày thì giả thiết gần đúng phân bố bậc nhất.

Như vậy trên đường trung gian ứng suất tiếp : $\tau = 0$

$$(1.12)$$

Khi $b \gg t$ thì hệ số k_2 tiến dần đến $0,333 (\approx \frac{1}{3})$.



Hình I-7 Mặt cắt ngang dạng chữ I

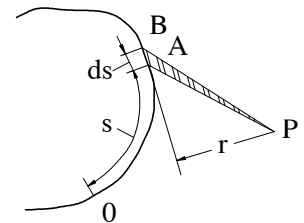
Mômen quán tính xoắn của mặt cắt ngang chữ I : $J \approx \sum \frac{1}{3} bt^3$ (1.13)

Trong đó b là kích thước cạnh dài còn t là kích thước cạnh ngắn của phần tử chữ nhật.

c) Đặc trưng quạt của mặt cắt ngang của thanh thành mỏng

Tọa độ quạt :

Giả sử cho đường trung gian như trên Hình I-8. Chọn một điểm 0 trên đường đó làm gốc tọa độ và một điểm P bất kì trên mặt phẳng ngang đó làm cực. Gọi s là tọa độ của một điểm A nào đó trên đường trung gian. Xét phân tử AB với chiều dài ds .



Hình I-8 Tọa độ quạt

Hai lần diện tích tam giác công PAB có trị số là :

$$d\omega = rds \quad (1.14)$$

r = khoảng cách từ điểm P đến đường tiếp tuyến qua A

$$\text{Tích phân } \omega = \int_s^s d\omega = \int_0^s rds \quad (1.15)$$

được gọi là tọa độ quạt của A.

Những đặc trưng hình quạt.

Khi thiết lập những công thức tính ứng suất và chuyển vị của thanh thành mỏng mặt cắt hở, ta cũng có những đặc trưng hình học tính với tọa độ quạt.

Mômen tĩnh quạt :

$$S_{\omega} = \int_F \omega dF \quad (1.16)$$

Mômen tĩnh quạt – đường :

$$J_{\omega x} = \int_F \omega y dF \quad (1.17)$$

$$J_{\omega y} = \int_F \omega x dF \quad (1.18)$$

Mômen quán tính quạt :

$$J_{\omega} = \int_F \omega^2 dF \quad (1.19)$$

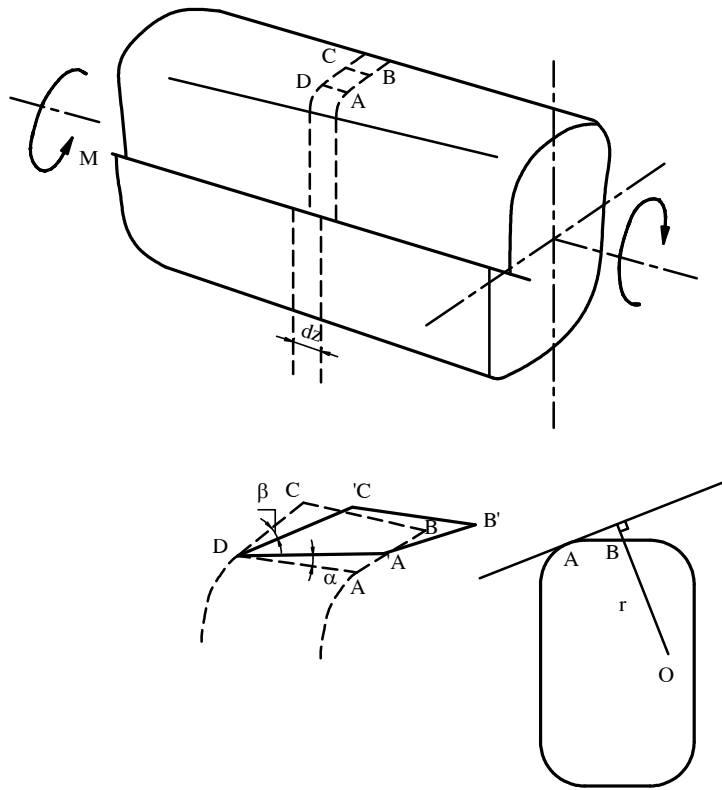
Trong đó F là diện tích của mặt cắt ngang

ω là tọa độ quạt của điểm đối với cực P đã chọn.

d) Độ vênh của mặt cắt ngang khi chịu xoắn

Lý thuyết xoắn của mặt cắt ngang chữ I thuộc lý thuyết xoắn thanh thành mỏng mặt cắt hở.

Xét thanh thành mỏng hở như Hình I-9 chịu xoắn thuần túy :



Hình I-9 Xoắn St Venant thanh thành mỏng hờ.

Giả sử khi bị xoắn mặt cắt ngang của thanh xoay quanh một điểm O nào đó mà được gọi là tâm xoắn.

Khảo sát phân tử ABCD như Hình I-9 . Sau biến dạng A đến A', B đến B', C đến C'. DA và DA' tạo thành một góc α , DC và DC' tạo thành một góc β . Góc trượt γ sẽ là tổng của $\alpha + \beta$. Ta đi tính các góc đó :

$$\text{Theo hình vẽ ta có : } \alpha = \frac{AA'}{dz} \quad (1.20)$$

$$\text{Chuyển vị } AA' = rd\theta \quad (1.21)$$

r bằng khoảng cách từ tâm xoắn O đến tiếp tuyến đi qua A

$d\theta$ bằng góc xoắn tương đối giữa hai mặt cắt đi qua CD và AB

$$\text{Kết hợp (1.20) và (1.21) : } \alpha = \frac{rd\theta}{dz} = r\theta' \quad (1.22)$$

Gọi w là chuyển vị của các điểm trên mặt cắt theo phương của trục z .Ta có :

$$\beta = \frac{dw}{ds} \quad (1.23)$$

$$\text{Góc trượt } \gamma = r\theta' + \frac{dw}{ds} = \frac{\tau}{G} \quad (1.24)$$

Từ (1.12) trên đường trung gian có $\tau = 0$ nên (1.24) suy ra :

$$dw = -r\theta' ds \quad (1.25)$$

$$\text{Thay (1.14) vào (1.25) ta có : } dw = -\theta' d\omega \quad (1.26)$$

Trong đó $d\omega$ là vi phân tọa độ quạt của chu tuyến mặt cắt ngang.

$$\text{Lấy tích phân ta có : } w = -\theta' \int_s d\omega = -\theta' \omega + f(z) \quad (1.27)$$

Trong đó $f(z)$ là hàm của z được đưa vào khi tích phân theo s .

Từ đó ta thấy độ vênh của mặt cắt ngang phụ thuộc θ' . Ngược lại nếu độ vênh bị hạn chế thì θ cũng thay đổi theo.

Sự thay đổi góc xoắn θ theo z gây ra hệ ứng suất pháp và tiếp.

$$\text{Biến dạng theo phương } z : \varepsilon_z = \frac{dw}{dz} = -\frac{d^2\theta}{dz^2} \omega + f'(z) \quad (1.28)$$

$$\text{Ứng suất pháp tương ứng : } \sigma_z = -E \left(\omega \frac{d^2\theta}{dz^2} + f'(z) \right) \quad (1.29)$$

Khi thanh bị xoắn kiểm chế, nội lực trên mặt cắt chỉ có mômen xoắn M_z . Lực dọc trục bằng không.

$$N_z = \int_F \sigma_\omega dF = 0 \quad (1.30)$$

Thay (1.29) vào (1.30) ta được :

$$\int_F \sigma_\omega dF = \int_F \left\{ -E \left[\omega \frac{d^2\theta}{dz^2} + f'(z) \right] \right\} dF = 0 \quad (1.31)$$

$$\text{Suy ra : } f'(z) = \frac{\frac{d^2\theta}{dz^2} \int_F \omega dF}{\int_F dF} \quad (1.32)$$

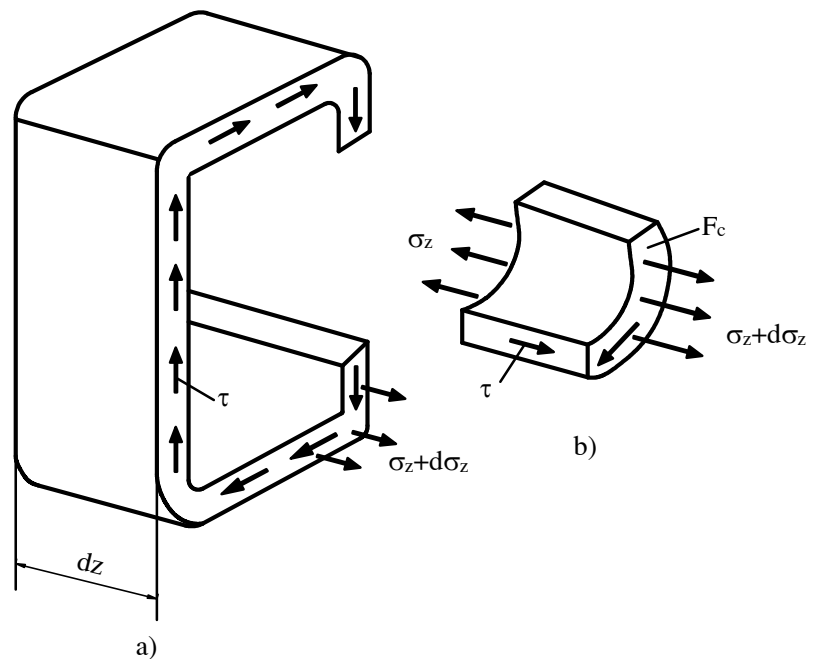
Nếu ta chọn gốc tọa độ quạt là điểm không thì $\int \omega dF = 0$ dẫn đến $f'(z) = 0$

$$\text{Công thức (1.29) viết gọn hơn : } \sigma_\omega = -E\theta'' \omega \quad (1.33)$$

Xét một phân tử tách ra từ đoạn thanh dz (Hình I-10b) ta thấy trị số ứng suất pháp trên hai mặt cắt là khác nhau suy ra tồn tại ứng suất tiếp τ . Chiều lên phương z ta thấy:

$$\tau\delta = -\int_{F_c} \frac{d\sigma_z}{dz} dF \quad (1.34)$$

Trong đó $F_c =$ phần diện tích của mặt cắt ngang của phần tử đang xét.



Hình I-10 Xét phân tử dz .

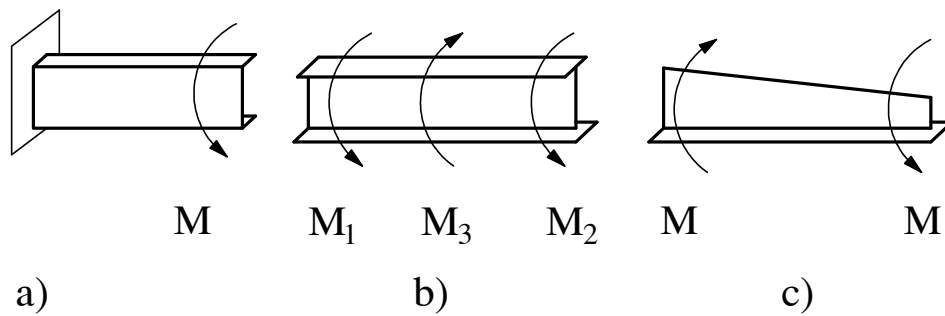
Thay (1.29) vào (1.34) ta có $\tau\delta = E \frac{d^3\theta}{dz^3} \int_{F_c} \omega dF$ (1.35)

e) Xoắn kiểm chế.

Trong số những người đã xây dựng lý thuyết thanh thành mỏng, V.Z Vlasov (1906-1958) đã xây dựng hoàn chỉnh lý thuyết về độ bền, ổn định và dao động của thanh thành mỏng mặt cắt hở.

Ta hiểu xoắn kiểm chế là khi có những liên kết hạn chế độ vênh của mặt cắt ngang. Sự xoắn kiểm chế của thanh thành mỏng mặt cắt hở có thể xảy ra trong các trường hợp sau:

- Thanh bị ngàm một hay hai đầu
- Trên thanh có đặt nhiều ngẫu lực xoắn.
- Mặt cắt ngang của thanh thay đổi.



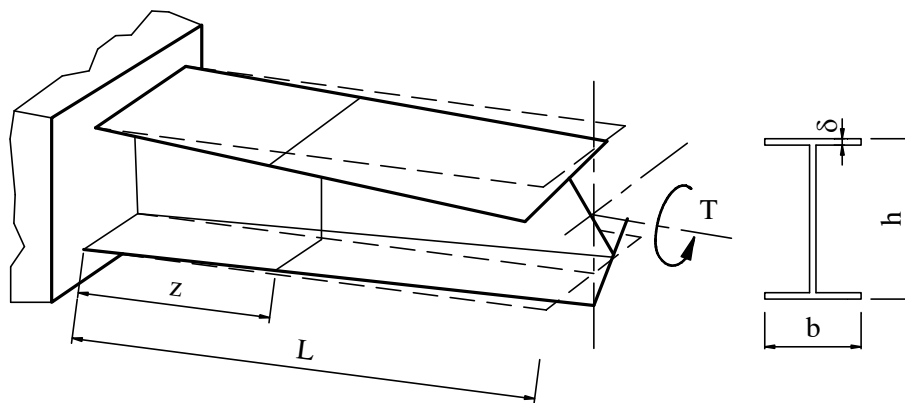
Hình I-11 Các trường hợp xoắn kiểm chế xảy ra của thanh thành mỏng

Xét một thanh chịu ngàm một đầu, một đầu tự do chịu xoắn thuần túy như Hình I-12. Mặt cắt tại đầu ngàm có chuyển vị w bằng 0. Ở đây không có độ vênh của mặt cắt ngang. Càng xa đầu ngàm sự xoắn càng tự do, độ vênh của mặt cắt ngang càng lớn, vì trên mặt cắt ngang của thanh không có thành phần lực dọc và mômen uốn do ngoại lực cho nên thành phần ứng suất pháp do xoắn σ_z phải tạo nên một hệ nội lực tự cân bằng :

$$\int_F \sigma_z y dF = 0; \int_F \sigma_z x dF = 0; \int_F \sigma_s dF = 0$$

$$\text{Thay (1.29) vào ta thu được : } \int_F \omega y dF = 0; \int_F \omega x dF = 0; \int_F \omega dF = 0$$

Tọa độ ω được tính với tâm xoắn. Hai biểu thức đầu cho biết tâm xoắn trùng với cực chính.



Hình I-12 Xoắn kiểm chế thanh thành mỏng.

Ứng suất tiếp tạo nên mômen xoắn gồm hai thành phần :

$$T = T_t + T_w \tag{1.36}$$

T_t do ứng suất tiếp vòng gây nên được xác định theo biểu thức :

$$T_t = GJ\theta' \quad (1.37)$$

T_w do ứng suất tiếp luồng τ_2 gây nên

$$T_w = \int_S \tau \delta r ds = \int_F \tau \delta d\omega \quad (1.38)$$

Thay (1.35) vào (1.38) ta có :

$$T_w = E \frac{d^3\theta}{dz^3} \int_F \left(\int_{F_c} \omega dF \right) d\omega$$

$$T_w = E \frac{d^3\theta}{dz^3} \left[\omega \int \omega dF \Big|_{s_1}^{s_2} - \int \omega^2 dF \right]$$

Lại có : $\omega \int \omega dF \Big|_{s_1}^{s_2} = 0$

$$\text{Do đó : } T_w = -EC_w \frac{d^3\theta}{dz^3} = -EC_w \theta''' \quad (1.39)$$

Trong đó $C_w = J_\omega$ là mômen quán tính quạt của mặt cắt.

$$\text{Thay (1.37) và (1.39) vào (1.36) thu được : } T = GJ\theta' - EC_w \theta''' \quad (1.40)$$

$$\text{Công thức (1.40) có thể được viết lại như sau : } \frac{\theta'}{a^2} - \theta''' = \frac{T}{EC_w} \quad (1.41)$$

Trong đó T là một hàm đối với z được xem là đã biết :

Nghiệm tổng quát của (1.41) có dạng :

$$\theta = C_1 + C_2 \frac{z}{l} + C_3 \sinh\left(\frac{z}{a}\right) + C_4 \cosh\left(\frac{z}{a}\right) + \bar{\theta} \quad (1.42)$$

Trong đó ($\bar{\theta}$) là một nghiệm riêng của (1.42) được xác định theo sơ đồ chất tải lên thanh.

Trong đó C_1, C_2, C_3, C_4 là các hằng số của phép lấy vi phân được xác định từ 4 điều kiện biên của thanh.

1.2. Dầm mặt cắt ngang dạng chữ I

1.2.1. Thép hình cán nóng

Có 4 loại thép mặt cắt ngang dạng chữ I được kể đến trong tiêu chuẩn AISC:

- Thép W : Cánh rộng được sử dụng rộng rãi có mặt trong và mặt ngoài của cánh gần như là song song.
- Thép S : còn gọi là dầm I tiêu chuẩn, có độ dốc mặt trong xấp xỉ 16,66%
- Thép M : không nằm trong loại thép của tiêu chuẩn ASTM. Dạng M có độ dốc mặt trong cánh và các đặc trưng hình học khác so với thép W, thép S, thép HP.
- Thép HP thường được dùng làm cọc, gần tương tự thép W, ngoại trừ bề dày bụng và cánh là bằng nhau, chiều cao bằng bề rộng cánh .

1.2.2. Dầm tổ hợp

Dầm tổ hợp được sử dụng khi yêu cầu chịu lực vượt quá khả năng của dầm thép cán lớn nhất. Dầm tổ hợp được tạo nên bởi ba bản thép liên kết nhau tạo nên mặt cắt ngang chữ I.

Khi lựa chọn kích thước cho các bản cánh và bụng, phải dùng những kích thước thực có của thép dẹt hoặc thép tấm.

1.3. Nhiệm vụ của luận văn

Trong hầu hết các kết cấu khung thép dầm là cấu kiện chịu uốn không xoắn, tuy nhiên trong một vài tình huống phát sinh tác động của xoắn phải được xem xét cẩn thận. Thông thường xoắn xảy ra do yêu cầu của thực tế xây dựng dẫn đến tải trọng tác dụng lệch tâm.

Luận văn này cung cấp tổng quan về bài toán xoắn đối với mặt cắt ngang dạng chữ I chịu xoắn cân bằng. Phân biệt xoắn St Venant và xoắn kiềm chế. Giải thích sự tương tác giữa hai dạng xoắn và một số thông số của mặt cắt ngang, tải trọng và chiều dài của cấu kiện. Đưa ra việc sử dụng phương pháp đơn giản bằng các biểu thức và đường cong thiết kế mà tránh đi vào các đánh giá chi tiết.

Cấu kiện chịu xoắn trong hầu hết trường hợp là chịu cả uốn. Luận văn đưa ra lời giải cho bài toán này theo tiêu chuẩn AISC biên soạn và xuất bản năm 2003 [4].

CHƯƠNG II. TÍNH TOÁN DÀM THÉP TIẾT DIỆN NGANG DẠNG CHỮ I THEO TIÊU CHUẨN AISC.

2.1. Ứng suất do xoắn

Hình dáng của mặt cắt ngang hở thường có xu hướng bị vênh khi chịu tải trọng xoắn. Nếu sự vênh này không bị kiểm chế thì chỉ có ứng suất xoắn thuần túy sinh ra. Tuy nhiên trường hợp có hạn chế sự vênh (xoắn kiểm chế) ngoài ứng suất tiếp ra còn thêm ứng suất pháp xoắn-uốn và ứng suất tiếp xoắn – uốn. Cả ba ứng suất này đều liên quan đến đạo hàm của góc xoắn θ' . Như vậy khi đạo hàm θ' được xác định dọc theo chiều dài của cầu kiện thì ứng suất tương ứng cũng được tính toán.

2.1.1. Đặc trưng hình học của mặt cắt ngang dạng chữ I

a) Mômen quán tính xoắn của mặt cắt ngang

$$J \approx \sum \left(\frac{bt^3}{3} \right) \quad (2.1)$$

Trong đó b = chiều dài của mặt cắt ngang phần tử.

t = chiều dày của mặt cắt ngang phần tử.

b) Đặc trưng hình học mặt cắt ngang chữ I

$$\text{Mômen quán tính quật } C_w = \frac{I_y h^2}{4} \quad (2.2)$$

$$a = \frac{h}{2} \sqrt{\frac{EI_y}{GJ}} = \sqrt{\frac{EC_w}{GJ}} \quad (2.3)$$

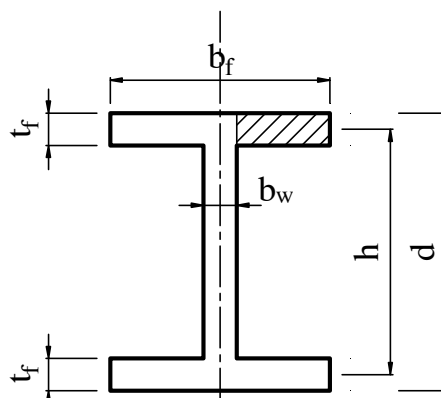
$$W_{n0} = \frac{hb_f}{4} \quad (2.4)$$

$$\text{Mômen tĩnh quật : } S_w = \frac{W_{n0} b_f t_f}{4} = \frac{hb_f^2 t_f}{16} \quad (2.5)$$

$$\text{Mômen tĩnh của cánh : } Q_f = \frac{ht_f (b_f - t_w)}{4} \quad (2.6)$$

$$\text{Mômen tĩnh của bụng : } Q_w = \frac{hb_f t_f}{2} + \frac{(h - t_f)^2 t_w}{8} \quad (2.7)$$

$$\text{Trong đó } h = d - t_f \quad (2.8)$$



**Hình II-1 Kích thước tính toán
mômen tĩnh của cánh.**

2.1.2. Ứng suất tiếp do xoắn thuần túy

Ứng suất tiếp tỉ lệ thuận với θ' . Đối với mặt cắt ngang hở ứng suất tiếp được cho bởi công thức sau : $\tau = Gt\theta'$ (2.9)

Trong đó t là chiều dày cánh t_f hoặc chiều dày bụng t_w

Thay (1.37) vào (2.9) ta có $\tau = \frac{T_t t}{J}$ (2.10)

hoặc $\tau = \frac{T_t}{W_t}$ (2.11)

Trong đó $W_t = \frac{J}{t}$ có tên gọi là mômen chống xoắn tương tự như mômen kháng uốn trong bài toán uốn, khác nhau là công thức trên cho ứng suất tiếp thay vì ứng suất pháp.

Ứng suất tiếp lớn nhất được tính toán : $\tau_{max} = \frac{T_t t}{J}$ ngoại trừ ứng suất xảy ra tại các góc.

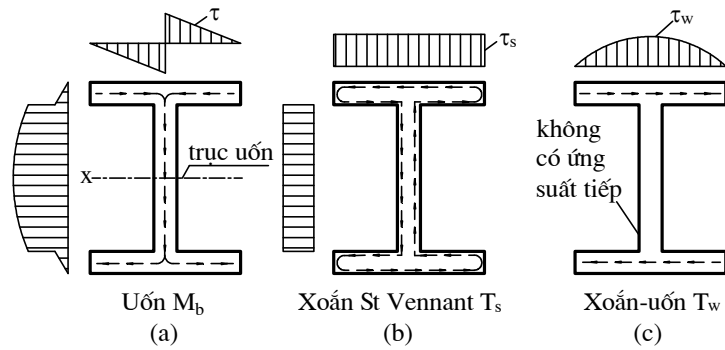
2.1.3. Ứng suất do xoắn kiểm chế

a) Ứng suất tiếp xoắn –uốn

Khi một cấu kiện được phép vênh tự do, ứng suất tiếp xoắn-uốn không hiện diện. Khi sự vênh bị kiểm chế, sẽ sinh ra ứng suất tiếp trong mặt phẳng của mặt cắt ngang, là hằng số suốt chiều dày mặt cắt ngang của phần tử nhưng thay đổi độ lớn dọc theo chiều dài phần tử. Chúng tác động theo hướng song song với biên của phần tử.

Độ lớn của ứng suất tiếp xoắn-uốn xác định theo công thức : $\tau_{ws} = -E \frac{S_\omega^c \theta'''}{t}$ (2.12)

Trong đó : $S_\omega^c =$ Mômen tĩnh quạt.



Hình II-2 Chiều và phân bố của ứng suất tiếp của tiết diện chữ I.

b) Ứng suất pháp xoắn –uốn

Khi một cấu kiện cho phép vênh tự do, ứng suất pháp này cũng không hiện diện. Khi sự vênh bị kiềm chế, có ứng suất pháp xoắn-uốn. Chúng tác động vuông góc với mặt cắt ngang và không đổi trên chiều dày của phần tử nhưng thay đổi độ lớn dọc theo chiều dài của phần tử. Độ lớn của ứng suất pháp được xác định theo công thức : $\sigma_w = -E\omega\theta''$

(2.13)

Trong đó : ω = tọa độ quạt

2.2. Ứng suất đàn hồi chịu uốn và kéo/nén

Ngoài ứng suất xoắn ra, ứng suất cắt và uốn (σ_b và τ_b) trong mặt phẳng uốn cũng xuất hiện trong cấu kiện. Những ứng suất này được xác định theo công thức :

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \quad (2.14)$$

$$\tau_b = \frac{VS_x}{I_x t} \quad (2.15)$$

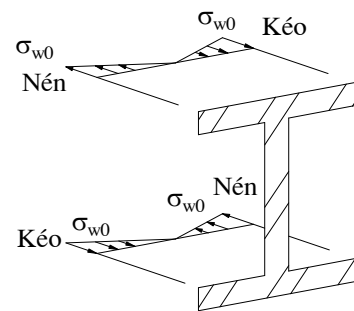
$$\text{Ứng suất } \sigma_a \text{ sinh ra do lực dọc P : } \sigma_a = \frac{P}{A} \quad (2.16)$$

Trong đó W_x = Mômen chống uốn của mặt cắt(đối xứng qua trục x)

S_x = Mômen tĩnh.

M=Mômen uốn

V=Lực cắt.



$$\sigma_{ws} = E \cdot W_{ns} \theta''$$

Hình II-3 Ứng suất pháp xoắn-uốn

2.3. Tổ hợp ứng suất xoắn với các ứng suất khác

Để xác định tổng ứng suất, ứng suất xoắn được cộng đại số với các ứng suất khác sử dụng nguyên lý cộng tác dụng.

$$\text{Ứng suất pháp tổng} : f_n = \sigma_a \pm \sigma_{bx} \pm \sigma_{by} \pm \sigma_w \quad (2.17)$$

Dấu (+) ứng với ứng suất kéo, dấu (-) ứng với ứng suất nén. Sau khi tính được các thành phần nội lực, ta có thể vẽ được ứng suất ứng với các thành phần nội lực. Dựa vào các biểu đồ ứng suất đó, ta tính được ứng suất ở từng điểm trên mặt cắt đó.

$$\text{Và ứng suất tiếp tổng} : f_v = \tau_{bx} \pm \tau_{by} \pm \tau_t \pm \tau_w \quad (2.18)$$

2.4. Quy phạm áp dụng

Tiêu chuẩn AISC có hai phương pháp thiết kế : phương pháp ứng suất cho phép và phương pháp hệ số tải trọng và hệ số độ bền. Người kỹ sư có thể tùy chọn một trong hai phương pháp để thiết kế.

2.4.1. Phương pháp thiết kế theo hệ số tải trọng và hệ số độ bền (LRFD)

Quy phạm AISC/LRFD dựa theo khả năng chịu lực và mômen. Lực và mômen tính toán so sánh với khả năng chịu lực và mômen của hệ.

Trong các phương trình sau chỉ số dưới u để chỉ tải trọng đã nhân hệ số.

Trong LRFD, cường độ thiết kế phải bằng hoặc vượt quá cường độ yêu cầu.

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.19)$$

Trong (2.19) R_u là cường độ yêu cầu xác định theo phân tích tổ hợp tải trọng của LRFD.

R_n là cường độ danh nghĩa theo quy phạm LRFD.

ϕ là hệ số độ bền được cho theo quy phạm LRFD.

ϕR_n = cường độ thiết kế.

$$\text{Đối với trạng thái giới hạn chảy của ứng suất pháp} : f_{un} \leq \phi F_y \quad (2.20)$$

$$\text{Đối với trạng thái giới hạn chảy của ứng suất tiếp} : f_{uv} \leq \phi \cdot 0,6 F_y \quad (2.21)$$

$$\text{Đối với trạng thái giới hạn của ổn định} : f_{un} \leq \phi_c F_{cr} \quad (2.22)$$

$$\text{hoặc } f_{uv} \leq \phi_c F_{cr} \quad (2.23)$$

Trong đó F_y = Cường độ chảy dẻo

F_{cr} = Ứng suất mất ổn định cực hạn chịu nén

$$\phi = 0,9; \phi_c = 0,85.$$

Khi chưa biết rõ trong cấu kiện chịu tải trọng tổ hợp, trạng thái nào trong các trạng thái giới hạn chảy, mất ổn định quan trọng hơn thì việc phân định như trên là quá đơn giản. Do đó phương trình tương tác (2.24) có thể có ích khi kể đến tổ hợp khác nhau của ứng suất pháp cho trạng thái giới hạn chảy, ổn định.

$$\frac{\sigma_a}{0,85F_{cr}} \pm \frac{\sigma_{bx}}{\phi_b F_{cr}} \pm \frac{\sigma_{by}}{0,9F_y} \pm \frac{\sigma_w}{0,9F_y} \leq 1 \quad (2.24)$$

Nếu hiệu ứng bậc hai xảy ra nhưng vẫn chưa được kể đến trong tính toán ứng suất pháp thì phương trình (2.25) phải được sử dụng :

$$\frac{\sigma_a}{0,85F_{cr}} \pm \frac{\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{P_u}{P_{ex}}\right) \phi_b F_{cr}} \pm \frac{\sigma_{by}}{\left(1 - \frac{P_u}{P_{ey}}\right) 0,9F_y} \pm \frac{\sigma_w}{\left(1 - \frac{P_u}{P_{ey}}\right) 0,9F_y} \leq 1 \quad (2.25)$$

Trong các phương trình trên :

F_{cr} = Ứng suất nén tới hạn của cấu kiện mất ổn định chịu uốn hoặc chịu xoắn-uốn theo quy phạm LRFD chương E.

P_u = Lực dọc đã kể đến hệ số của cấu kiện.

P_e = Tải trọng mất ổn định Euler.

Tổ hợp tải trọng dùng trong quy phạm LRFD :

- 1,4D
- 1,2D + 1,6L + 0,5L_r
- 1,2D + 1,6L_r + 0,5L
- 1,2D + 1,6W + 0,5L
- 1,2D ± 1,0E + 0,5L
- 0,9D ± (1,6W hoặc 1,0W)

Trong đó D = Tĩnh tải

L = Hoạt tải

L_r = Hoạt tải mái.

W = tải trọng gió

E = Tác động động đất.

2.4.2. Phương pháp thiết kế theo ứng suất cho phép (ASD)

Tiêu chuẩn ASD dựa trên kết quả ứng suất. Ứng suất tính toán được đem so sánh với ứng suất cho phép của cấu kiện.

$$R_a \leq \frac{R_n}{\Omega} \quad (2.26)$$

R_a là cường độ yêu cầu xác định theo phân tích tổ hợp tải trọng của ASD.

R_n là cường độ danh nghĩa theo quy phạm ASD.

Ω là hệ số an toàn được cho theo quy phạm ASD.

$\Omega = 1,67$ đối với trạng thái giới hạn chảy.

$\Omega = 2$ đối với trạng thái giới hạn ổn định.

Tổ hợp dùng cho phương pháp ASD :

- D
- 1D+1L
- 1D+1L_r
- D+0,75L+ 0,75L_r
- $D \pm (W \text{ hoặc } 0,7E)$
- $D \pm 0,75(W \text{ hoặc } 0,7E) + 0,75L + 0,75L_r$
- $0,6D \pm (W \text{ hoặc } 0,7E)$

Đối với trạng thái giới hạn chảy của ứng suất pháp :

$$f_n \leq \frac{R_n}{1,67} = \frac{F_y}{1,67} \rightarrow f_n \leq 0,6F_y \quad (2.27)$$

$$\text{Đối với trạng thái giới hạn chảy của ứng suất tiếp : } f_v \leq 0,4F_y \quad (2.28)$$

$$\text{Đối với trạng thái giới hạn ổn định : } f_n \leq F_a \quad (2.29)$$

$$\text{hoặc } f_n \leq F_{bx} \quad (2.30)$$

$$\text{hoặc } f_v \leq F_v \quad (2.31)$$

Trong các phương trình trên :

F_y = Cường độ chảy của thép

F_a = Ứng suất ổn định cho phép chịu nén (Quy phạm ASD chương E)

F_{bx} = Ứng suất chịu uốn cho phép (Quy phạm ASD chương F)

F_v = Ứng suất ổn định cho phép chịu cắt (Quy phạm ASD mục F4)

Khi chưa biết rõ trong cấu kiện chịu tải trọng tổ hợp, trạng thái nào trong các trạng thái giới hạn chảy, mất ổn định quan trọng hơn thì việc phân định như trên là quá đơn giản. Do đó phương trình tương tác (2.32) có thể có ích khi kể đến tổ hợp khác nhau của ứng suất pháp cho trạng thái giới hạn chảy, ổn định.

$$\frac{\sigma_a}{F_a} \pm \frac{\sigma_{bx}}{F_{bx}} \pm \frac{\sigma_{by}}{0,6F_y} \pm \frac{\sigma_w}{0,6F_y} \leq 1 \quad (2.32)$$

Nếu hiệu ứng bậc hai xảy ra nhưng vẫn chưa được kể đến trong tính toán ứng suất pháp thì phương trình (2.33) phải được sử dụng :

$$\frac{\sigma_a}{F_a} \pm \frac{\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right) F_{bx}} \pm \frac{\sigma_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}}\right) F_y} \pm \frac{\sigma_w}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}}\right) 0,6F_y} \leq 1 \quad (2.33)$$

Trong phương trình trên :

f_a = Ứng suất do lực dọc trong cấu kiện

F'_e = Ứng suất đàn hồi (ứng suất Euler) chia cho hệ số an toàn FS (quy phạm ASD mục H1)

Ứng suất tiếp sinh ra do tổ hợp xoắn và uốn có thể kiểm tra theo trạng thái giới hạn trong phương trình (2.28)

Cũng như quy phạm LRFD, trạng thái giới hạn ổn định của ứng suất tiếp do xoắn vẫn chưa được chỉ định.

2.5. Quy trình thiết kế cấu kiện thép chịu xoắn theo AISC

2.5.1. Xác định các đặc trưng hình học của mặt cắt

- Vị trí trọng tâm của mặt cắt
- Vị trí hệ trục quán tính chính trung tâm.
- Tính giá trị mômen quán tính chính trung tâm I_x , I_y .
- Tính giá trị mômen quán tính chống xoắn J , mômen quán tính quạt C_w
- Vị trí tâm xoắn.

2.5.2. Phân tích ngoại lực tác dụng lên thanh

- Lực cắt V .
- Mômen uốn M_x, M_y .
- Mômen xoắn St Venant T_t , mômen xoắn-uốn T_w
- Lực dọc P .

2.5.3. Chia thanh thành mỏng thành từng đoạn theo tải trọng tác dụng lên thanh

2.5.4. Xác định góc xoắn và các vi phân của góc xoắn

2.5.5. Vẽ các biểu đồ nội lực

- Lực dọc P
- Mômen uốn M_x, M_y .
- Mômen xoắn St Venant T_t , mômen xoắn-uốn T_w .
- Lực cắt.

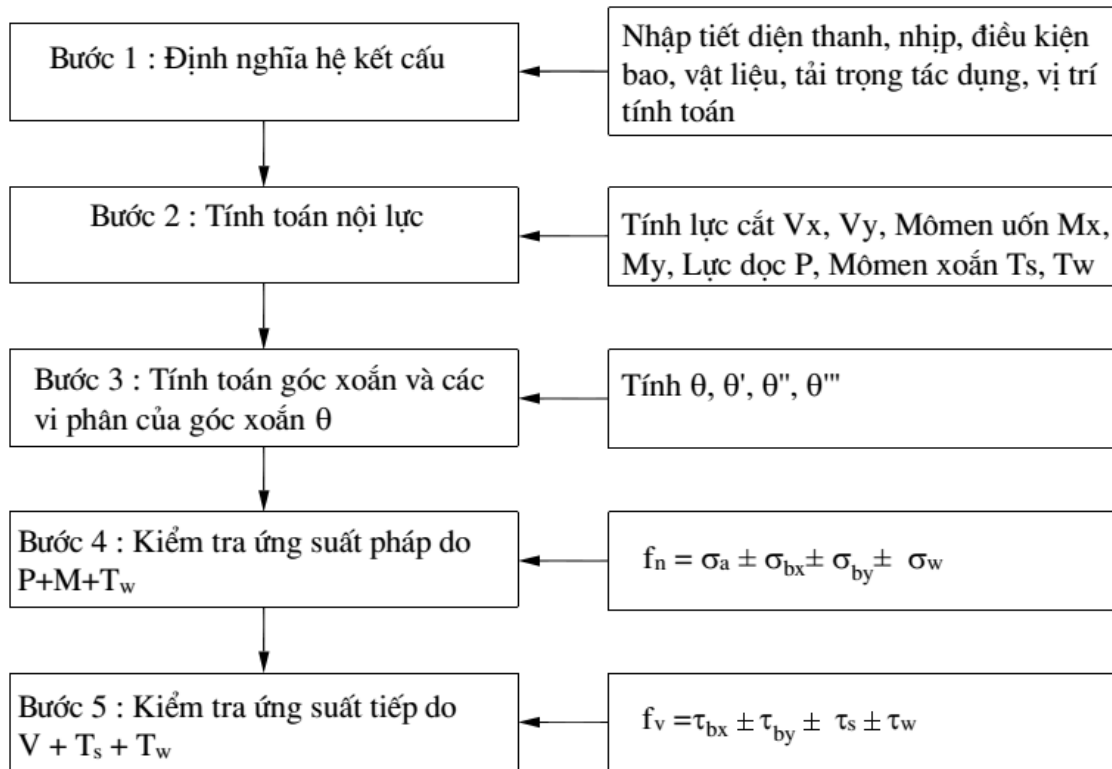
2.5.6. Kiểm tra điều kiện bền

Chọn mặt cắt nguy hiểm hoặc nghi ngờ nguy hiểm.

- Xác định trị số, chiều của nội lực đó trên mặt cắt nguy hiểm
- Vẽ biểu đồ nội lực nguy hiểm do từng nội lực gây ra.
- Căn cứ vào biểu đồ phân bố ứng suất chọn điểm nguy hiểm và tiến hành kiểm tra điều kiện bền.

a) Kiểm tra ứng suất pháp tổ hợp uốn, lực dọc và xoắn

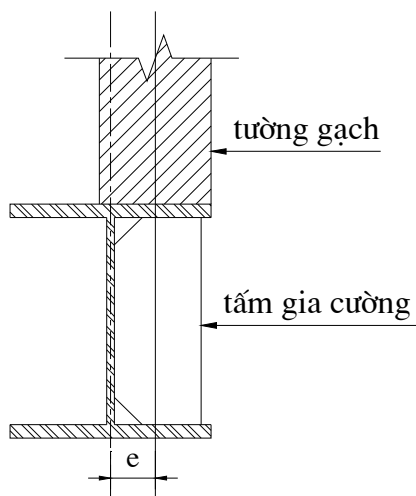
b) Kiểm tra ứng suất tiếp tổ hợp chịu cắt và xoắn



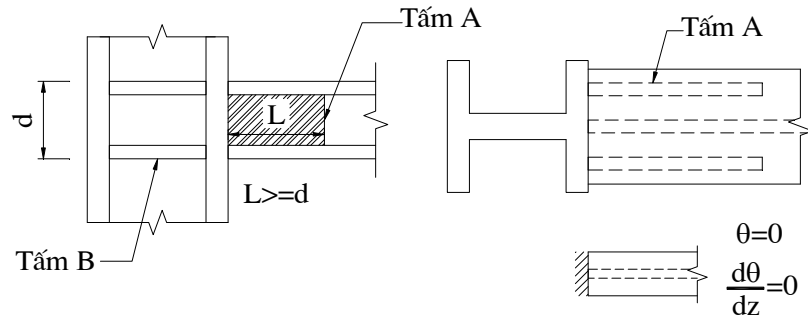
Hình II-4 Quy trình phân tích cấu kiện thép có sự tham gia của xoắn.

2.6. Bài toán thực tế

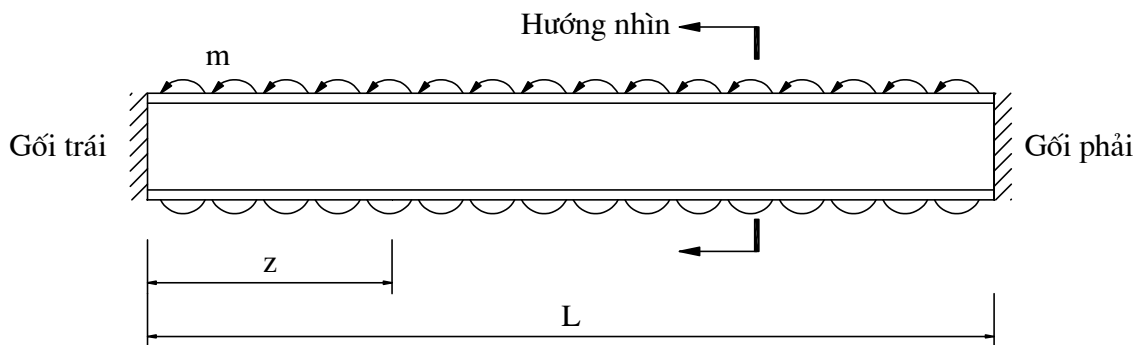
Dầm một nhịp, ngàm hai đầu, chịu tải trọng thẳng đứng w_u do tường đặt lệch tâm. Tính toán ứng suất và góc xoắn tại vị trí z . Tìm vị trí tại đó ứng suất và góc xoắn lớn nhất. Kiểm tra khả năng chịu lực của dầm.



Hình II-5 Bài toán thực tế.



Hình II-6 Cấu tạo liên kết ngầm với tấm gia cường.



Trong đó : L = chiều dài của dầm (m)

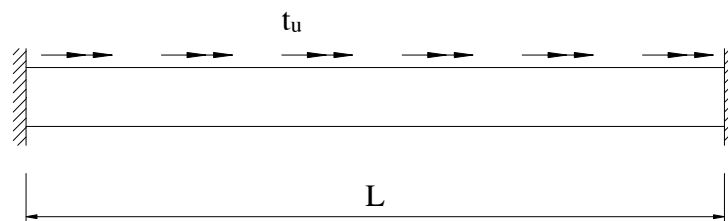
z = vị trí xác định ứng suất và góc xoắn của mặt cắt ngang (m)

m = Mômen xoắn đồng bộ

Hình II-7 Sơ đồ tính dầm chịu xoắn.

2.7. Bài toán lập trình

Những bài toán đặt ra đã trở lên dễ dàng với máy tính cá nhân thay vì dùng biểu đồ. Các bài toán với các phương trình có sẵn phù hợp với bài toán lập trình. Có 12 trường hợp tải trọng và điều kiện biên được cho trong chỉ dẫn thiết kế. Trong luận văn này chọn trường hợp 7 để làm cơ sở lập trình. Các trường hợp còn lại tương tự.



Hình II-8 Trường hợp 7 Thanh chịu mômen xoắn phân bố đều với hai đầu ngàm.

Yêu cầu của bài toán là cần tính được $\theta, \theta', \theta'', \theta'''$ để tính các ứng suất sinh ra trong bài toán xoắn :

$$\text{Ứng suất tiếp do xoắn thuần túy : } \tau_t = Gt\theta' \quad (2.34)$$

$$\text{Ứng suất pháp xoắn-uốn : } \sigma_w = -E\omega\theta'' \quad (2.35)$$

$$\text{Ứng suất tiếp xoắn-uốn : } \tau_w = -\frac{ES_{\omega}^c}{t}\theta''' \quad (2.36)$$

Trong đó G = môđun trượt

E =Môđun đàn hồi của thép

Các công thức tính toán $\theta, \theta', \theta'', \theta'''$:

$$c_1 = \frac{tl}{2GJ} \quad (2.37);$$

$$c_2 = \frac{1 + \cosh \frac{l}{a}}{\sinh \frac{L}{a}} \quad (2.38)$$

$$\text{Góc xoắn : } \theta = c_1 a \left[c_2 \left(\cosh \frac{z}{a} - 1 \right) + \frac{z}{a} \left(1 - \frac{z}{l} \right) - \sinh \frac{z}{a} \right] \quad (2.39)$$

$$\text{Đạo hàm bậc nhất của góc xoắn : } \theta' = c_1 \left[c_2 \sinh \frac{z}{a} + 1 - \frac{2z}{l} - \cosh \frac{z}{a} \right] \quad (2.40)$$

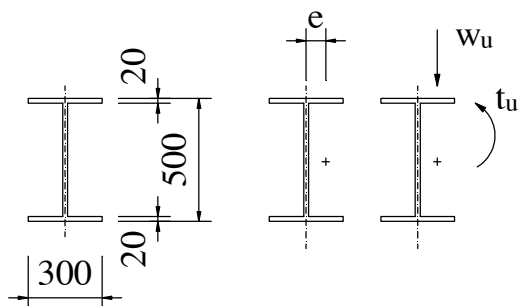
$$\text{Đạo hàm bậc hai của góc xoắn : } \theta'' = \frac{c_1}{a} \left(c_2 \cosh \frac{z}{a} - \frac{2a}{l} - \sinh \frac{z}{a} \right) \quad (2.41)$$

$$\text{Đạo hàm bậc ba của góc xoắn : } \theta''' = \frac{c_1}{a^2} \left(c_2 \sinh \frac{z}{a} - \cosh \frac{z}{a} \right) \quad (2.42)$$

Trong đó : L =chiều dài của dầm.

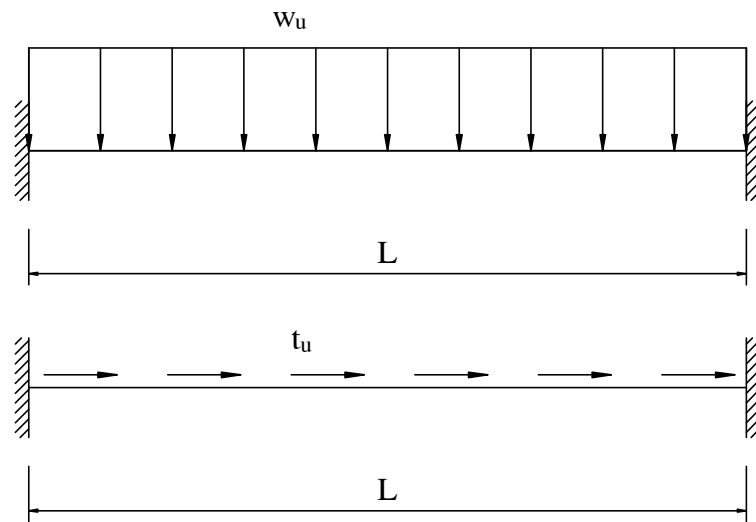
2.8. Ví dụ tính toán

Cho dầm thép tiết diện chữ I vật liệu CT42. Dầm dài $L = 12$ m như hình vẽ dưới đây :



Hình II-9 Tiết diện thép chữ I tính toán.

Dầm chịu tải trọng phân bố đều thẳng đứng $w_u = 10\text{kN/m}$ cách trọng tâm của dầm $e = 0.1\text{m}$.



Hình II-10 Sơ đồ tính toán dầm chịu xoắn.

Tính toán các loại ứng suất và góc xoắn của tiết diện tại vị trí z bất kì để kiểm tra kết quả chương trình tính. Tìm vị trí ứng suất lớn nhất và góc xoắn lớn nhất.

Bài giải :

Theo trường hợp 7 phụ lục B trong hướng dẫn thiết kế cấu kiện thép chịu xoắn ta nhận thấy giá trị cực đại của ứng suất và góc xoắn xảy ra tại những vị trí có z/l bằng 0; 0,2; 0,5 và 1. Do đó ứng suất tại gối ($z/l=0$ và $z/l=1$), tại $z/l=0,2$ và z tại giữa nhịp ($z/l=0,5$) sẽ được tính đến. Ngoài ra chọn $z = 4\text{m}$ để kiểm tra kết quả tính toán

Chiều dày cánh trên $t_{f1} = 2\text{cm}$

Bề rộng cánh $b_f = 30\text{cm}$

Chiều dày cánh dưới $t_{f2} = 2\text{cm}$

Chiều cao $d = 50\text{cm}$

Chiều dày bụng $t_w = 2\text{cm}$

Chiều cao tính toán : $h = d - t_f = 50 - 2 = 48\text{cm}$

2.8.1. Tính toán các đặc trưng hình học

Mômen quán tính quanh trục X :

$$I_{xx} = \frac{b_f t_{f1}^3}{12} + \frac{b_f t_{f2}^3}{12} + \frac{t_w (d - t_{f1} - t_{f2})^3}{12} + b_f t_{f1} \left(\frac{d}{2} - \frac{t_{f1}}{2} \right)^2 + b_f t_{f2} \left(\frac{d}{2} - \frac{t_{f2}}{2} \right)^2$$

$$I_{xx} = \frac{30.2^3}{12} + \frac{30.2^3}{12} + \frac{2.(50-2-2)^3}{12} + 30.2 \cdot \left(\frac{50}{2} - \frac{2}{2} \right)^2 + 30.2 \cdot \left(\frac{50}{2} - \frac{2}{2} \right)^2$$

$$I_{xx} = 50823 \text{ cm}^4$$

$$\text{Mômen kháng uốn : } W_x = \frac{I_{xx}}{d/2} = \frac{2I_{xx}}{d} = \frac{2.50823}{50} = 2032,9 \text{ cm}^3$$

Mômen quán tính quanh trục y :

$$I_{yy} = \frac{b_f^3 t_{f1}}{12} + \frac{b_f^3 t_{f2}}{12} + \frac{t_w^3 (d - t_{f1} - t_{f2})}{12} = \frac{30^3 \cdot 2}{12} + \frac{30^3 \cdot 2}{12} + \frac{2^3 (50 - 2 - 2)}{12} = 9031 \text{ cm}^4$$

Mômen quán tính xoắn của mặt cắt ngang :

$$J \approx \sum \frac{bt^3}{3} = \frac{1}{3} (b_f t_{f1}^3 + b_f t_{f2}^3 + (d - t_{f1} - t_{f2}) t_w^3) = \frac{1}{3} (30.2^3 + 30.2^3 + (50 - 2 - 2).2^3) = 283 \text{ cm}^4$$

Mômen tĩnh của mặt cắt ngang tính cho cánh

$$Q_f = \frac{h t_f (b_f - t_w)}{4} = \frac{48.2.(30-2)}{4} = 672 \text{ cm}^3$$

Mômen tĩnh của mặt cắt ngang tính cho bụng :

$$Q_w = \frac{h b_f t_f}{2} + \frac{(h - t_f)^2 t_w}{8} = \frac{48.30.2}{2} + \frac{(48-2)^2 \cdot 2}{8} = 1969 \text{ cm}^3$$

2.8.2. Tính toán ứng suất do uốn

Tại góì :

$$\text{Mômen uốn : } M_u = \frac{w_u l^2}{12} = \frac{10.12^2}{12} = 120 \text{ kNm}$$

$$\text{Lực cắt : } V_u = \frac{w_u l}{2} = \frac{10.12}{2} = 60 \text{ kN}$$

$$\text{Ứng suất pháp : } \sigma_b = \frac{M_u}{W_x} = \frac{120.100}{2032,9} = 5,9 \text{ kN/cm}^2 \text{ (Kéo ở trên, nén ở dưới)}$$

$$\text{Ứng suất tiếp trên bụng : } \tau_{bw} = \frac{V_u Q_w}{I_x t_w} = \frac{60.1969}{50823.2} = 1,162 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Ứng suất tiếp trên cánh : } \tau_{bf} = \frac{V_u Q_f}{I_x t_f} = \frac{60.672}{50823.2} = 0,397 \text{ kN/cm}^2$$

Tại giữa nhịp:

$$\text{Mômen chịu uốn : } M_u = \frac{w_u l^2}{24} = \frac{10.12^2}{24} = 60 \text{ kNm}$$

$$\text{Ứng suất pháp : } \sigma_b = \frac{M_u}{W_x} = \frac{60.100}{2032,9} = 2,95 \text{ kN/cm}^2 \text{ (Nén ở trên, kéo ở dưới)}$$

$$\text{Từ } V_u = 0 \Rightarrow \tau_{bw} = \tau_{bf} = 0$$

Tại vị trí $z=0,2l=0,2.12=2,4\text{m}$:

$$V_u = w_u \left(\frac{l}{2} - 0,2l \right) = 10 \left(\frac{12}{2} - 0,2.12 \right) = 36 \text{ kN}$$

$$\text{Ứng suất tiếp trên bụng : } \tau_{bw} = \frac{V_u Q_w}{I_x t_w} = \frac{36.1969}{50823.2} = 0,697 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Ứng suất tiếp trên cánh : } \tau_{bf} = \frac{V_u Q_f}{I_x t_f} = \frac{36.672}{50823.2} = 0,238 \text{ kN/cm}^2$$

Bởi vì M_u tại gối là lớn nhất cho nên giá trị ứng suất pháp tại $z/l=0,2$ chúng ta bỏ qua không tính đến.

Tại vị trí $z=4\text{m}$:

$$V_u = w_u \left(\frac{l}{2} - z \right) = 10 \left(\frac{12}{2} - 4 \right) = 20 \text{ kN}$$

$$\text{Ứng suất tiếp trên bụng : } \tau_{bw} = \frac{V_u Q_w}{I_x t_w} = \frac{20.1969}{50823.2} = 0,387 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Ứng suất tiếp trên cánh : } \tau_{bf} = \frac{V_u Q_f}{I_x t_f} = \frac{20.672}{50823.2} = 0,132 \text{ kN/cm}^2$$

Bởi vì M_u tại gối là lớn nhất cho nên giá trị ứng suất pháp tại z chúng ta bỏ qua không tính đến.

2.8.3. Tính toán ứng suất do xoắn

$$\text{Mômen xoắn phân bố đều : } t_u = w_u e = 10.0,1 = 1 \text{ kNm/m}$$

Thông số vật liệu :

$$\text{Môđun đàn hồi của thép : } E = 2,1.10^5 \text{ N/mm}^2 = 2,1.10^4 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Môđun trượt của thép : } G = 0,81.10^5 \text{ N/mm}^2 = 8100 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Hệ số } a = \frac{h}{2} \sqrt{\frac{EI_y}{GJ}} = \frac{48}{2} \sqrt{\frac{2,1.10^4.9031}{8100.283}} = 218,3 \text{ cm}$$

$$\text{Tỉ số } \frac{l}{a} = \frac{1200}{218,3} = 5,49$$

Tại góì ($z/l=0$):

$$\theta \frac{GJ}{t_u} \frac{2}{al} = 0 \Rightarrow \theta = 0$$

$$\theta'' \frac{GJ}{t_u} \frac{2a}{l} = 0,64 \quad \theta'' = 0,64 \frac{t_u l}{2GJa}$$

$$\theta' \frac{GJ}{t_u} \frac{2}{l} = 0 \Rightarrow \theta' = 0$$

$$\theta''' \frac{GJ}{t_u} \frac{2a^2}{l} = -1 \quad \theta''' = -1 \frac{t_u l}{2GJa^2}$$

Tại giữa nhịp ($z/l=0,5$):

$$\theta \frac{GJ}{t_u} \frac{2}{al} = 0,5 \Rightarrow \theta = 0,5 \frac{a}{2} \frac{t_u}{GJ}$$

$$\theta'' \frac{GJ}{t_u} \frac{2a}{l} = -0,24 \quad \theta'' = -0,24 \frac{t_u l}{2GJa}$$

$$\theta' \frac{GJ}{t_u} \frac{2}{l} = 0 \Rightarrow \theta' = 0$$

$$\theta''' \frac{GJ}{t_u} \frac{2a^2}{l} = 0 \quad \theta''' = 0$$

Tại vị trí $z=0,2l=0,2.12=2,4m$:

$$\theta \frac{GJ}{t_u} \frac{2}{al} = 0,22 \Rightarrow \theta = 0,22 \frac{t_u al}{2GJ}$$

$$\theta'' \frac{GJ}{t_u} \frac{2a}{l} = -0,017 \quad \theta'' = -0,017 \frac{t_u l}{2GJa}$$

$$\theta' \frac{GJ}{t_u} \frac{2}{l} = 0,28 \Rightarrow \theta' = 0,28 \frac{t_u l}{2GJ}$$

$$\theta''' \frac{GJ}{t_u} \frac{2a^2}{l} = -0,32 \quad \theta''' = -0,32 \frac{t_u l}{2GJa^2}$$

Tại vị trí $z=4m$:

$$\theta \frac{GJ}{t_u} \frac{2}{al} = 0,4 \Rightarrow \theta = 0,4 \frac{t_u al}{2GJ}$$

$$\theta'' \frac{GJ}{t_u} \frac{2a}{l} = -0,18 \quad \theta'' = -0,18 \frac{t_u l}{2GJa}$$

$$\theta' \frac{GJ}{t_u} \frac{2}{l} = 0,2 \Rightarrow \theta' = 0,2 \frac{t_u l}{2GJ}$$

$$\theta''' \frac{GJ}{t_u} \frac{2a^2}{l} = -0,14 \quad \theta''' = -0,14 \frac{t_u l}{2GJa^2}$$

Trong các phương trình trên : $\frac{t_u l}{GJ} = \frac{1.12.100}{8100.283} = 5,23.10^{-4} \text{ rad / cm}$

a) Ứng suất tiếp do xoắn thuần túy gây ra :

$$\tau_t = Gt\theta'$$

Tại gôi và giữa nhịp có $\theta' = 0$ nên $\tau_t = 0$.

Tại $z/l = 0,2$:

Ứng suất tiếp trên bụng = ứng suất tiếp trên cánh vì chiều dày bằng nhau :

$$\tau_t = 8100.2.0,28 \frac{5,23.10^{-4}}{2} = 1,187 \text{ kN / cm}^2$$

Tại $z = 4m$:

$$\tau_t = 8100.2.0,2 \frac{5,23.10^{-4}}{2} = 0,847 \text{ kN / cm}^2$$

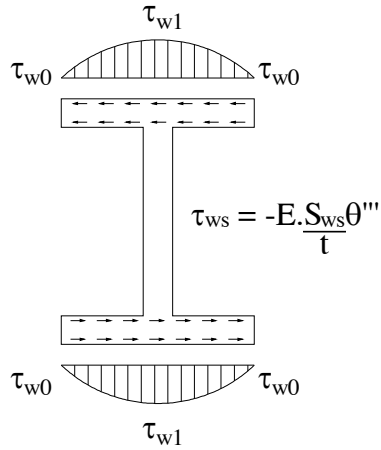
b) Ứng suất tiếp xoắn-uốn tại điểm s :

theo công thức : $\tau_{ws} = \frac{-ES_{ws}\theta'''}{t}$

Tham khảo phụ lục A cho vị trí của các điểm tới hạn s.

Tại giữa nhịp : $\theta''' = 0 \Rightarrow \tau_w = 0$

Tại gôi : $\tau_{w1} = -E \frac{S_{w1}}{t} \theta'''$



$$S_{w1} = \frac{hb_f^2 t_f}{16}$$

$$S_{w1} = \frac{hb_f^2 t_f}{16} = \frac{48 \cdot 30^2 \cdot 2}{16} = 5400 \text{ cm}^4$$

$$\tau_{w1} = -E \frac{S_{w1}}{t} \theta''' = -21000 \frac{5400}{2} \left(-1 \cdot \frac{5,23 \cdot 10^{-4}}{2.218,3^2} \right) = 0,311 \text{ kN / cm}^2$$

Tại $z=0,2l=2,4\text{m}$:

$$\tau_{w1} = -E \frac{S_{w1}}{t} \theta''' = -21000 \frac{5400}{2} \left(-0,32 \cdot \frac{5,23 \cdot 10^{-4}}{2.218,3^2} \right) = 0,1 \text{ kN / cm}^2$$

Tại $z=4\text{m}$:

$$\tau_{w1} = -E \frac{S_{w1}}{t} \theta''' = -21000 \frac{5400}{2} \left(-0,14 \cdot \frac{5,23 \cdot 10^{-4}}{2.218,3^2} \right) = 0,0436 \text{ kN / cm}^2$$

c) Ứng suất pháp xoắn-uốn tại điểm s :

Tại góì :

$$\sigma_{w0} = EW_{n0} \theta''$$

$$W_{n0} = \frac{hb_f}{4}$$

$$W_{n0} = \frac{hb_f}{4} = \frac{48 \cdot 30}{4} = 360 \text{ cm}^2$$

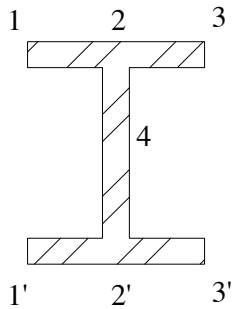
$$\sigma_{w0} = EW_{n0} \theta'' = 21000 \cdot 360 \cdot 0,64 \frac{5,23 \cdot 10^{-4}}{2.218,3} = 5,797 \text{ kN / cm}^2$$

Tại giữa nhịp: $\sigma_{w0} = EW_{n0} \theta'' = 21000 \cdot 360 \cdot \left(-0,24 \frac{5,23 \cdot 10^{-4}}{2.218,3} \right) = -2,174 \text{ kN / cm}^2$

$$\text{Tại } z=0,2l=2,4m: \theta'' = -0,017 \Rightarrow \sigma_{w0} = 21000.360 \left(-0,017 \cdot \frac{5,23 \cdot 10^{-4}}{2.218,3} \right) = 0,154$$

$$\text{Tại } z=4m: \sigma_{w0} = EW_{n0} \theta'' = 21000.360 \cdot \left(-0,18 \frac{5,23 \cdot 10^{-4}}{2.218,3} \right) = -1,63 \text{ kN/cm}^2$$

d) Tổ hợp ứng suất do uốn và xoắn :



Hình II-11 Vị trí các điểm trên mặt cắt ngang.

Tổ hợp ứng suất pháp :

Bảng II-1 Tổ hợp ứng suất pháp.

Vị trí	Điểm	σ_w	σ_b	f_u
Gối	1	-5,797	5,9	0,103
	2	0	5,9	5,9
	3	5,797	5,9	11,697
	4	0	5,9	5,9
Nhịp	1	2,174	-2,95	-0,776
	2	0	-2,95	-2,95
	3	-2,174	-2,95	-5,124
	4	0	-2,95	-2,95
Lớn nhất				11,697

Khi xét đến biến dạng xoắn-uốn, ứng suất pháp lớn nhất của thanh đã tăng :

$$\frac{11,697 - 5,9}{5,9} = 98,3\%$$

Tổ hợp ứng suất tiếp :

Bảng II-2 Tổ hợp ứng suất tiếp.

Vị trí	Điểm	τ_t	τ_w	τ_b	f_v
Gối	1	0	0	0	0
	2	0	0,311 ←	0,397 ←	0,708 ←
	3	0	0	0	0
	4	0	0	1,162 ↓	0
Nhịp	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0
	3	0	0	0	0
	4	0	0	0	0
Z = 0,2L	1	1,187 ⇔	0	0	1,187 ⇔
	2	1,187 ⇔	0,1 ←	0,238 ←	1,425 ←
	3	1,187 ⇔	0	0	1,187 ⇔
	4	1,187 ↑↓	0	0,697 ↓	1,884 ↓
Lớn nhất					1,184 ↓

Khi xét đến biến dạng xoắn-uốn, ứng suất tiếp lớn nhất của thanh đã tăng :

$$\frac{1,884 - 0,697}{0,697} = 170\%$$

Do đó ta có thể thấy ứng suất pháp lớn nhất xảy ra tại gối tựa tại điểm 3 trên cánh và ứng suất tiếp lớn nhất xảy ra tại $z/l = 0,2$ tại điểm 4 trên bụng

2.8.4. Kiểm tra điều kiện bền

a) Kiểm tra ứng suất pháp

Theo tiêu chuẩn LRFD : $f_n \leq \phi_T F_u = 0,9 F_u$

Kiểm tra ứng suất pháp : $F_u = f_y$

Vật liệu CT42 : $F_u = f_y = 245 \text{ N} / \text{mm}^2 = 24,5 \text{ kN} / \text{cm}^2$

$f_n = 11,697 \text{ kN} / \text{cm}^2 \leq \phi_T F_u = 0,9 \cdot 24,5 = 22,05 \text{ kN} / \text{cm}^2$

Vậy thanh đủ khả năng chịu lực.

b) Kiểm tra ứng suất tiếp

$$f_v \leq \phi_T F_u = 0,9 F_u$$

Kiểm tra ứng suất tiếp: $F_u = 0,6 f_y$

Vật liệu CT42 : $F_u = 0,6 f_y = 0,6.245 \text{ N} / \text{mm}^2 = 14,7 \text{ kN} / \text{cm}^2$

$$f_v = 2,349 \text{ kN} / \text{cm}^2 \leq \phi_T F_u = 0,9.14,7 = 13,23 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

Vậy thanh đủ khả năng chịu lực.

2.8.5. Tính toán góc xoắn lớn nhất :

Góc xoắn lớn nhất xảy ra tại giữa dầm.

Góc xoắn lớn nhất :

$$\theta \left(\frac{GJ}{t_u} \frac{2}{al} \right) = 0,5 \Rightarrow \theta = 0,5 \frac{t_u la}{2GJ} = 0,5 \frac{5,23 \cdot 10^{-4} \cdot 218,3}{2} = 0,0285 \text{ rad}$$

CHƯƠNG III. LẬP CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN CẤU KIẾN THÉP CHỊU XOẢN THEO AISC

3.1. Giới thiệu ngôn ngữ lập trình Visual Basic

Visual Basic là một ngôn ngữ lập trình hướng sự kiện thể hệ thứ ba và môi trường phát triển tích hợp (IDE) của Microsoft cho mô hình lập trình COM phát hành lần đầu tiên vào năm 1991. Microsoft dự định xây dựng Visual Basic dễ dàng tìm hiểu và sử dụng. Visual Basic đã được bắt nguồn từ BASIC và cho phép phát triển ứng dụng nhanh (RAD) với giao diện người dùng đồ họa (GUI) ứng dụng, truy cập vào cơ sở dữ liệu sử dụng truy cập dữ liệu đối tượng (DAO), dữ liệu từ xa đối tượng, hoặc ActiveX Data Objects, và tạo ra các điều khiển ActiveX và đối tượng.

Một lập trình viên có thể tạo ra một ứng dụng bằng cách sử dụng các thành phần được cung cấp bởi các chương trình Visual Basic. Các chương trình viết bằng Visual Basic cũng có thể sử dụng Windows API, nhưng làm như vậy đòi hỏi phải khai báo chức năng bên ngoài. Mặc dù chương trình đã nhận được sự chỉ trích cho những lỗi nhận thức của nó, phiên bản 3 của Visual Basic là một thành công thương mại nhanh chóng và nhiều công ty cung cấp bên thứ ba kiểm soát giúp mở rộng chức năng của nó.

Phiên bản cuối cùng là phiên bản 6 trong năm 1998. Hỗ trợ mở rộng của Microsoft đã kết thúc tháng 3 năm 2008 và kế nhiệm là Visual Basic. (Bây giờ được gọi đơn giản như Visual Basic).

Mặc dù Visual Basic 6.0 không còn chính thức có mặt nhưng vẫn còn một số lượng khá lớn các nhà phát triển, những người vẫn thích Visual Basic 6.0 trên NET.

Visual Basic for Applications (VBA) là ngôn ngữ lập trình con của ngôn ngữ Visual Basic phát triển trong môi trường Office bởi tập đoàn Microsoft. Các phần mềm Excel, Word, Access, Power Point, ... và cả phần mềm AutoCAD đều có thể sử dụng VBA. Cho đến nay, ngôn ngữ VBA đã có những bước phát triển vượt bậc với một số khả năng không thua kém nhiều so với Visual Basic 6.0 (VB).

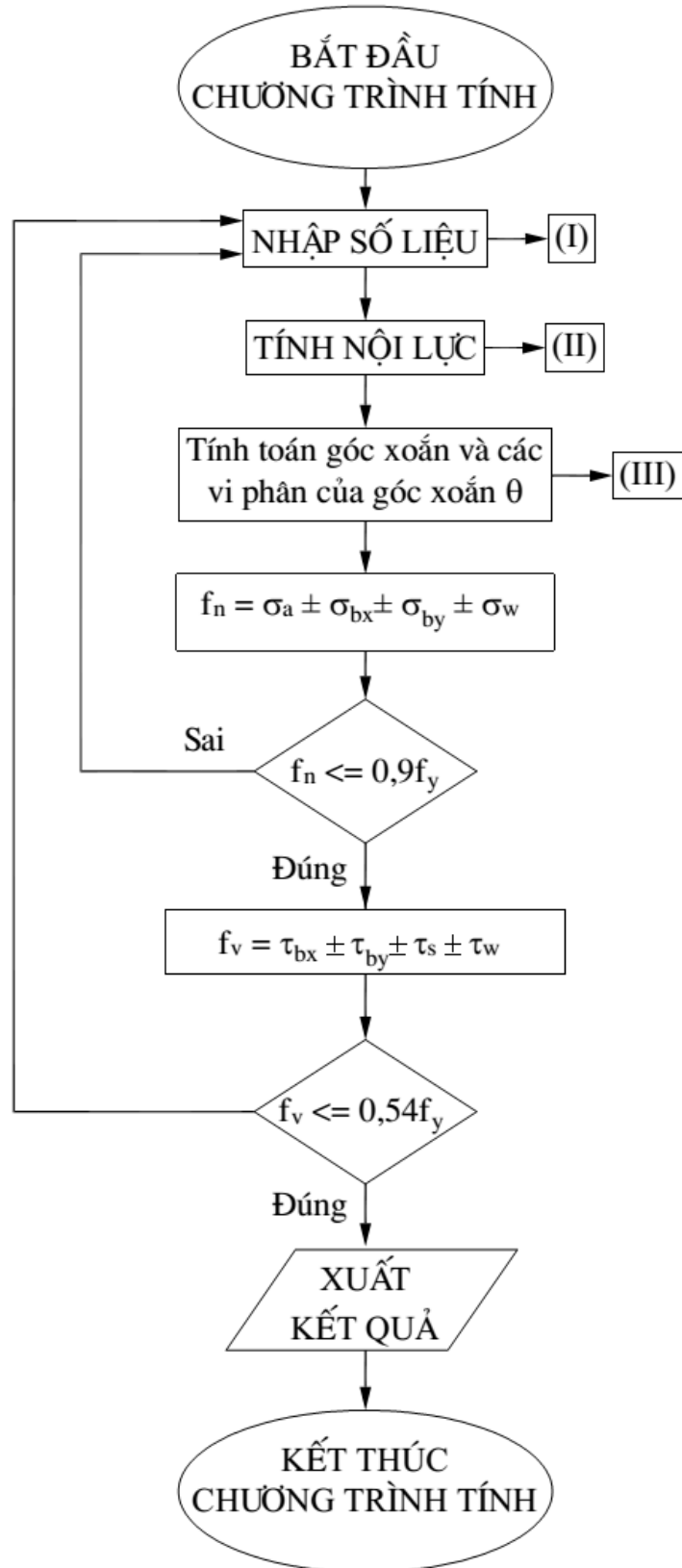
Macro (còn gọi là thủ tục hay chương trình con) là một thành phần của ngôn ngữ VBA, được tạo ra để Excel thực hiện các yêu cầu theo các câu lệnh chứa trong nó

hoàn thành nhiệm vụ. Các câu lệnh trong macro được xây dựng từ các ký tự gõ phím gọi là keyword để tự động thực hiện các công việc mang tính lặp đi lặp lại hoặc tăng tốc độ cho việc nhập và xử lý số liệu.

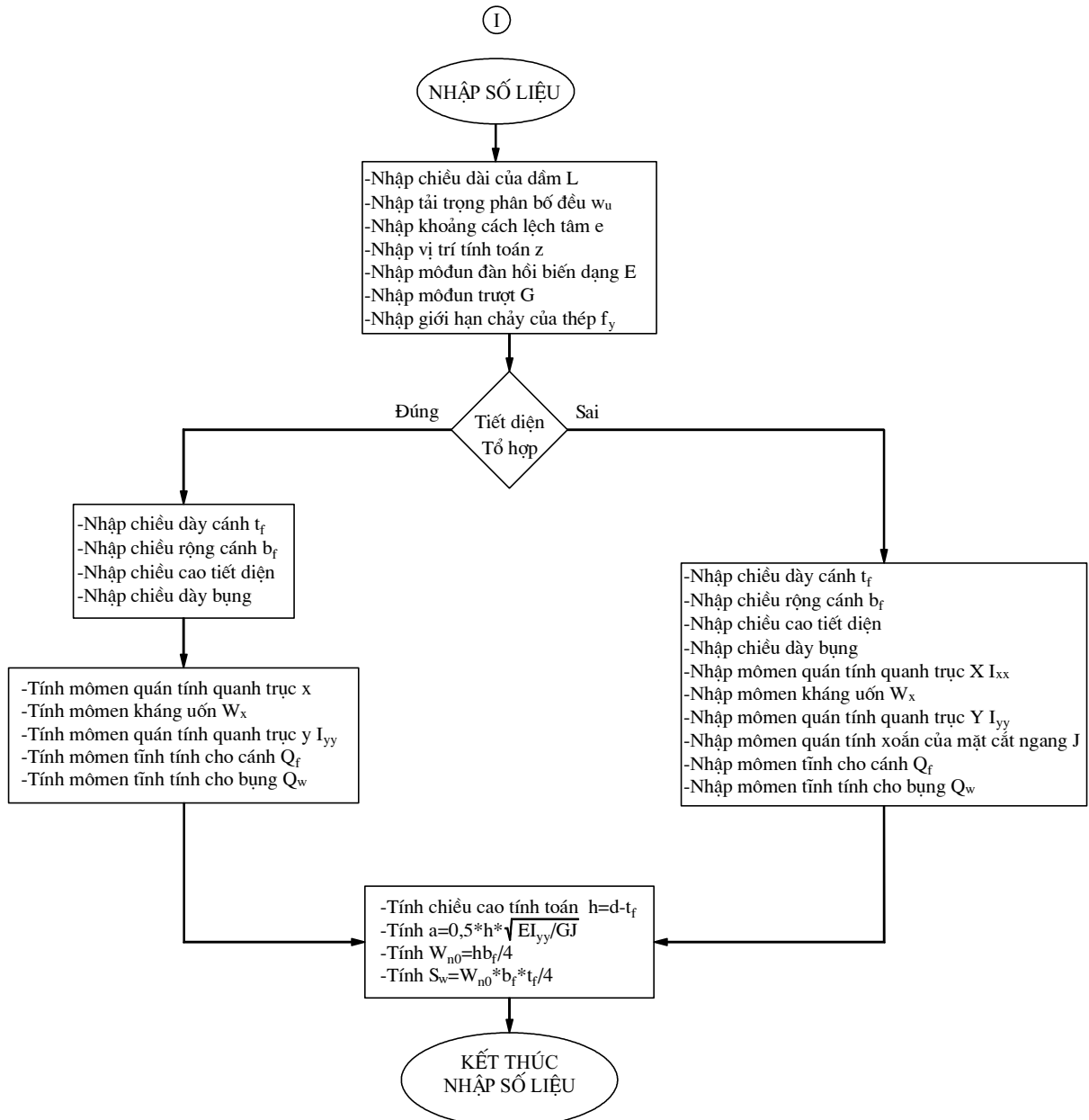
VBA giúp chúng ta thực hiện các công việc trong Excel nhanh chóng hơn nhiều lần so với tính toán thủ công, có thể giải được những bài toán phức tạp trong kỹ thuật. các công việc trong Excel có sử dụng đến VBA thì tốc độ xử lý dữ liệu và độ chính xác tuyệt đối, sản phẩm ứng dụng mang tính chuyên nghiệp. VBA có hai ứng dụng chính là thủ tục (Sub – chương trình con) và hàm người sử dụng (Function).

Là ngôn ngữ lập trình ứng dụng trong Office nên VBA tận dụng được phần nền là bảng tính trong Excel. Bởi vậy, chúng ta không cần phải thiết kế hay phải lập giao diện từ ban đầu như các phần mềm chuyên về lập trình. Mặt khác VBA có sẵn trong Excel nên khi cài đặt Excel xong là VBA tự động được cài đặt theo.

3.2. Sơ đồ khối của chương trình

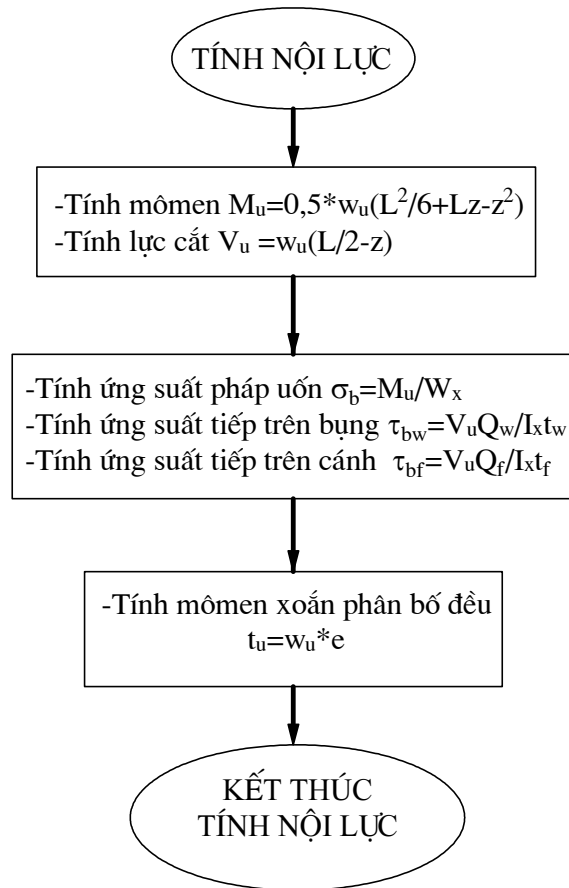


Hình III-1 Sơ đồ khối tính toán ứng suất và góc xoắn tại vị trí z.



Hình III-2 Sơ đồ khối nhập số liệu.

②



Hình III-3 Sơ đồ khối tính nội lực.

III

Tính góc xoắn và các vi
phân của góc xoắn

$$\text{Góc xoắn } \theta = c_1 a \left[c_2 \left(\cosh \frac{z}{a} - 1 \right) + \frac{z}{a} \left(1 - \frac{z}{l} \right) - \sinh \frac{z}{a} \right]$$

$$\text{Đạo hàm bậc nhất } \theta' = c_1 \left[c_2 \sinh \frac{z}{a} + 1 - \frac{2z}{l} - \cosh \frac{z}{a} \right]$$

$$\text{Đạo hàm bậc hai } \theta'' = \frac{c_1}{a} \left(c_2 \cosh \frac{z}{a} - \frac{2a}{l} - \sinh \frac{z}{a} \right)$$

$$\text{Đạo hàm bậc ba } \theta''' = \frac{c_1}{a^2} \left(c_2 \sinh \frac{z}{a} - \cosh \frac{z}{a} \right)$$

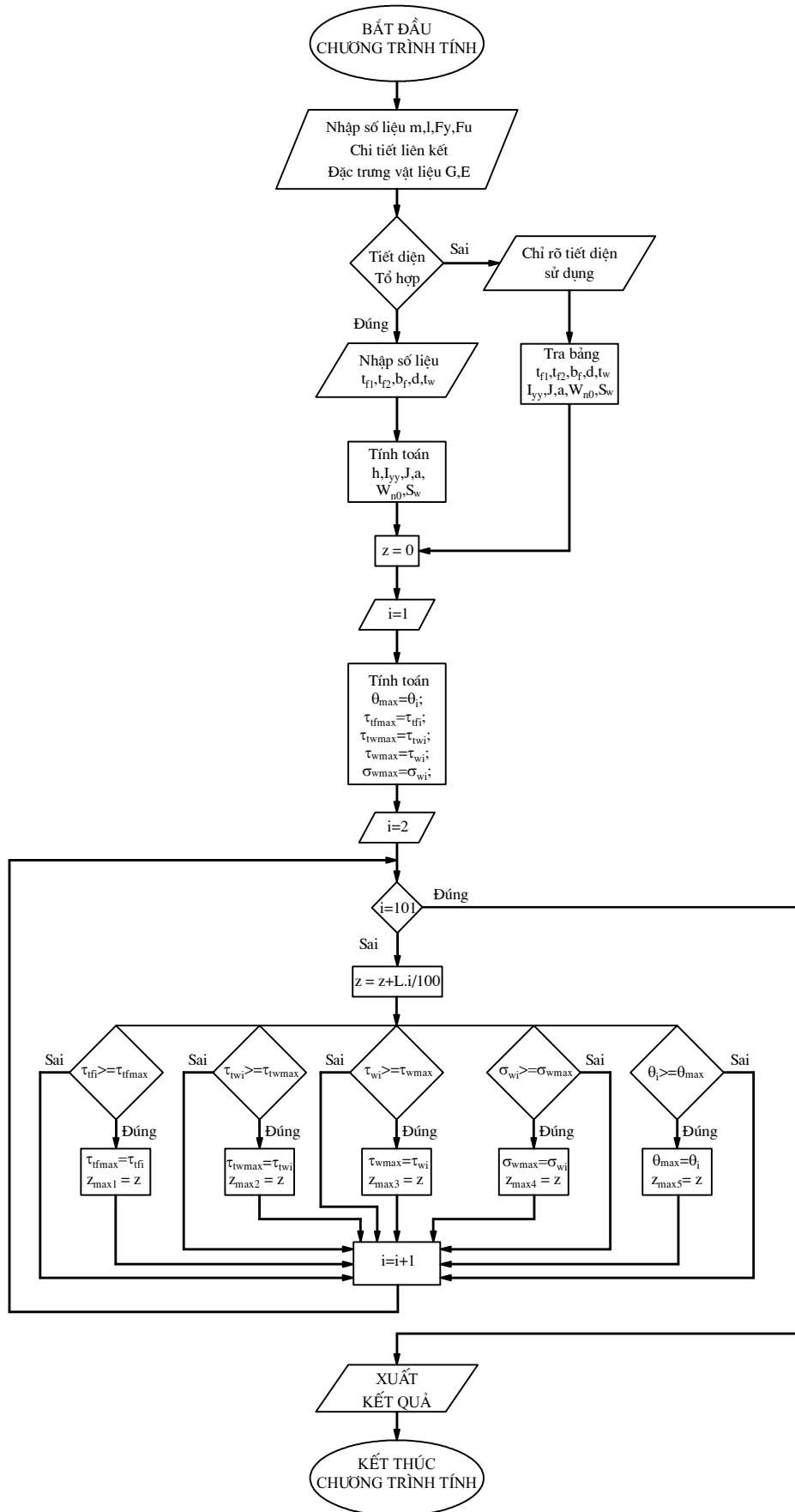
$$\text{ứng suất tiếp do xoắn thuần túy } \tau_t = Gt\theta'$$

$$\text{ứng suất tiếp do xoắn-uốn } \tau_{ws} = \frac{-ES_{ws}\theta'''}{t}$$

$$\text{ứng suất pháp do xoắn-uốn } \sigma_{w0} = EW_{n0}\theta''$$

Kết thúc tính góc xoắn và các
vi phân của góc xoắn

Hình III-4 Sơ đồ khối tính góc xoắn và các vi phân của góc xoắn



Hình III-5 Sơ đồ khối tính toán ứng suất và góc xoắn lớn nhất và vị trí tương ứng.

3.3. Kiểm tra tính đúng đắn của chương trình

Kiểm tra so sánh kết quả của chương trình với kết quả tính thủ công theo phương pháp thiết kế ASD.

So sánh kết quả tính toán giữa hai phương pháp tính toán :

Bảng III-1 Bảng so sánh kết quả tính toán giữa hai phương pháp.

Vị trí	Điểm	Tính thủ công			Chương trình tính			Sai số (%)		
		τ_t	τ_w	σ_w	τ_t	τ_w	σ_w	τ_t	τ_w	σ_w
Gói	Cánh	0	0,311	5,797	0	0,311	5,843	0	0	0,8
	Bụng	0	0	0	0	-	-	-	-	-
Nhịp	Cánh	0	0	0	0	0	2,134	-	-	-
	Bụng	0	0	0	0	-	-	-	-	-
Z=0,2L	Cánh	1,187	0,1	0,154	1,179	0,1	0,154	0,7	0	0
	Bụng	1,187	0	0	1,179	0	0	0,7	-	-
Z=4	Cánh	0,847	0,0436	1,63	0,842	0,042	1,609	0,6	0,4	1,3
	Bụng	0,847	0	0	0,842	-	-	-	-	-

3.4. Nhận xét kết quả tính toán

- Qua ví dụ trên ta thấy kết quả sai lệch giữa bài toán tính tay và chương trình tính là sai khác không đáng kể.

- Việc áp dụng chương trình tính toán cấu kiện thép chịu xoắn trên sẽ mang lại nhiều ứng dụng trong việc kiểm tra thiết kế cũng như trong tính toán thiết kế cấu kiện thép chịu xoắn.

KẾT LUẬN

Kết luận

Xoắn trong kết cấu là một vấn đề cần phải được quan tâm trong thiết kế các cấu kiện mà ảnh hưởng của xoắn là chủ đạo như dầm biên, dầm đỡ ban công, dầm đỡ sàn lắp ghép....

Luận văn đã trình bày trình tự tính toán cấu kiện chịu xoắn theo tiêu chuẩn Mỹ AISC 360-05. Trình tự tính toán mang tính chất ứng dụng và giúp người thiết kế áp dụng trong thực tế.

Chương trình tính toán dầm chữ I chịu xoắn đồng bộ là bài toán gặp khá phổ biến trong thực tế. Chương trình tính với giao diện đơn giản, dễ sử dụng và chính xác cao, có thể phát triển và phổ biến rộng rãi.

Kiến nghị

Ngày nay, với nhiều ưu điểm công trình thép ngày càng phát triển ở Việt Nam. Ảnh hưởng của xoắn lên cấu kiện thép là không thể tránh khỏi và không thể bỏ qua trong tính toán. Cho nên tôi kiến nghị cần sớm đưa bài toán phân tích xoắn vào tiêu chuẩn hoặc chưa có điều kiện thì cần một chỉ dẫn tính toán để thuận lợi cho các kỹ sư thiết kế.

Hướng phát triển đề tài

- Xây dựng thêm các môđun tính toán cho 11 trường hợp còn lại theo Design Guide 9.
- Hoàn thiện hơn nữa về giao diện và đồ hoạ để chương trình có thể trở nên gần gũi, mang tính trực quan và trở nên thông dụng hơn đối với người sử dụng.
- Đóng gói chương trình thành một phần mềm độc lập đảm bảo tính ổn định, dễ dàng lưu trữ và chia sẻ.
- Xây dựng biểu đồ tương tác giữa xoắn và uốn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Vũ Đình Lai, Nguyễn Xuân Lựu, Bùi Đình Nghi (2011), *Sức bền vật liệu tập 2*, Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội .
2. Phan Tự Hướng (2009), *Lập trình VBA trong Excel*, Nhà xuất bản Thống Kê, Hà Nội.
3. Đoàn Đình Kiến (2009), *Thiết kế kết cấu thép (Theo Quy Phạm Hoa Kỳ AISC/ASD)* , Nhà xuất bản Xây Dựng, Hà Nội.

Tiếng Anh

4. American Institute of Steel Construction (2005), *AISC 360-05 : Specification for Structural Steel Buildings*.
5. American Institute of Steel Construction (2003), *Steel Design Guide Series 9 : Torsional Analysis of Structural Steel Member*.
6. Charles G.Salmon, John E.Johnson (2008), *Steel Structures Design and Behaviour Fourth Edition*, ISBN : 0-673-99786-3.
7. American Institute of Steel Construction (2005), *Steel Construction Manual 13th Edition*, ISBN : 1-56424-055-X.

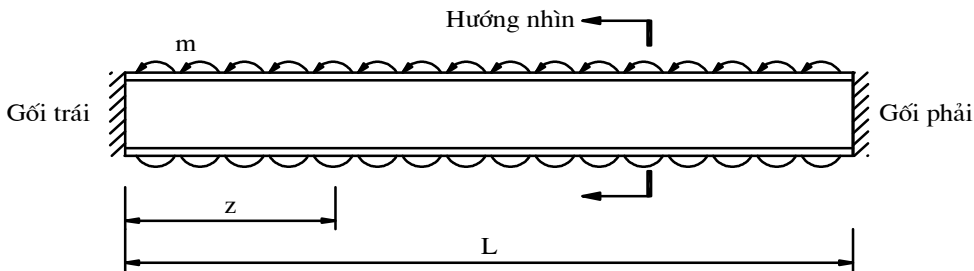
PHỤ LỤC

PHÂN TÍCH CẤU KIỆN THÉP CHỊU XOẮN

Bảng tính dùng tính toán ứng suất xoắn của dầm chịu xoắn đồng bộ
Dầm có kích thước hình học, qui ước về dấu và các thông số khác theo hình dưới

Nhập giá trị vào ô màu vàng sau đó click Tính

Chọn dầm cán nguội theo danh sách hoặc chọn **Tổ hợp** và khai báo thông số của dầm



Trong đó : L = chiều dài của dầm (m)

z = vị trí xác định ứng suất và góc xoắn của mặt cắt ngang (m)

m = Mômen xoắn đồng bộ

Chọn tiết diện dầm =====>

Tổ hợp

Nếu dầm tổ hợp thì nhập đặc trưng hình học :

Chiều dày cánh trên	2.0	cm.
Chiều rộng cánh trên	30.0	cm.
Chiều dày cánh dưới	2.0	cm.
Chiều cao tiết diện	50.0	cm.
Chiều dày bụng	2.0	cm.
Mômen kháng uốn quanh trục Y ly	9031	cm ⁴
Mômen quán tính xoắn của mặt cắt ngang J	283	cm ⁴
Chiều dài của dầm	12.0	m
Khoảng cách lệch tâm e	0.1	m
Môđun trượt (G)	81000.0	N/mm ²
Môđun đàn hồi biến dạng (E)	210000.0	N/mm ²
Giới hạn chảy của thép f_y	245.0	N/mm ²
Tải trọng phân bố phân bố đều w_u	10.0	kN/m
Vị trí tính toán tính từ gối trái(m)	4.0	m

TÍNH

Giá trị tại điểm z	Kết quả :
1-Mômen uốn (M_u)	40 kNm
2-Lực cắt (V_u)	20 kN
3-Mômen xoắn St Venant (T_s)	118.94 kNm
4-Mômen xoắn-uốn (T_w)	81.06 kNm
5-Mômen xoắn tổng (T)	200
6-Ứng suất pháp do uốn (σ_b)	0.012 kN/cm ²
7-Ứng suất tiếp trên bụng (τ_{bw})	0.231 kN/cm ²
8-Ứng suất tiếp trên cánh (τ_{bf})	0.079 kN/cm ²
9 - Cánh trên - Ứng suất tiếp (F- τ_t)	0.842 kN/cm ²
10 - Bụng - Ứng suất tiếp (W- τ_t)	0.842 kN/cm ²
11 - Cánh trên - Ứng suất tiếp xoắn-uốn(τ_w)	0.042 kN/cm ²

12 - Cánh trên - Ứng suất pháp xoắn-uốn (σ_w)	-1.609 kN/cm²
13 - Góc xoắn, (Θ)	0.02285 rad
14-Tổ hợp ứng suất pháp f_n	-1.597 kN/cm²
15-Tổ hợp ứng suất tiếp trên bụng	1.072 kN/cm²
16- Tổ hợp ứng suất tiếp trên cánh	0.121 kN/cm²

Kết luận : Thỏa mãn

Giá trị lớn nhất trên dầm			
MAX ($F-\tau_t$)=	1.181 kN/cm²	cách gối trái =	2.28 m
MAX ($W-\tau_t$)=	1.181 kN/cm²	cách gối trái =	2.28 m
MAX (τ_w)=	0.311 kN/cm²	cách gối trái =	0.00 m
MAX (σ_w)=	5.843 kN/cm²	cách gối trái =	0.00 m
MAX (Θ), rad.=	0.02828	cách gối trái =	6.00 m