

PRESTRESSED CONCRETE DESIGN MANUAL

HƯỚNG DẪN THIẾT KẾ BÊ TÔNG ỨNG SUẤT TRƯỚC



Được biên dịch bởi KetcauSoft -

Phát triển phần mềm thiết kế Kết cấu Việt Nam

LỜI MỞ ĐẦU

Tài liệu này được biên soạn bởi VSL. Sở dĩ tôi thực hiện biên dịch tài liệu này bởi vì đây là một tài liệu thực sự đơn giản, ngắn gọn, nhưng chứa đựng rất nhiều thông tin về thiết kế kết cấu ứng suất trước.

Trong tài liệu có đề cập đến các phần mềm thường chuyên dụng để thiết kế như STATIK hay FACUS, tuy nhiên chúng ta cũng có thể sử dụng SAFE để thực hiện tính toán.

Được biên soạn trên cơ sở tính toán theo tiêu chuẩn ACI, do đó một số khái niệm nhắc đến trong tài liệu có thể tương đối lạ so với kỹ sư Việt Nam, ví dụ nội lực đã nhân hệ số (factored), độ bền danh nghĩa (nominal strength), hệ số giảm độ bền (ϕ), v.v... Song điều quan trọng nằm ở nguyên lý tính toán và thiết kế bê tông ứng suất trước được trình bày tương đối rõ ràng.

Tôi và bạn sẽ khó có thể trở thành *chuyên gia* về ứng suất trước khi đọc xong tài liệu này. Tuy nhiên những kiến thức trong đó thực sự rất thú vị, đó là suy nghĩ của tôi khi lần đầu tiên tiếp cận và cũng là điều thôi thúc tôi thực hiện biên dịch.

Do hạn chế về ngôn ngữ, một số thuật ngữ trong vài viết được dịch có thể chưa chính xác, mong các bạn thông cảm.

Hy vọng đây sẽ là một tài liệu hữu ích cho bạn.

Hà Nội, ngày 18 tháng 04 năm 2014

Người biên soạn

Hồ Việt Hùng

CONTENTS - MỤC LỤC

1. BASIC CONCEPTS	5
1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN	5
1.1. The Principle of Design in Civil Engineering	5
1.1. Nguyên lý thiết kế Kết cấu	5
1.2. Objectives of Design	5
1.2. Mục tiêu thiết kế	5
1.3. Design Approaches	5
1.3. Phương pháp thiết kế	5
1.4. Concepts of Prestressing	5
1.4. Khái niệm về ứng suất trước	5
1.5. Prestressing load	6
1.5. Lực căng trước	6
2. STAGES OF DESIGN	8
2. CÁC BƯỚC THIẾT KẾ	8
2.1. Determining the Load	8
2.1. Xác định tải trọng	8
2.2. Determining the Preliminary Dimension.	8
2.2. Xác định kích thước sơ bộ	8
2.3. Selection of material	8
2.3. Lựa chọn vật liệu	8
2.4. Checking the Pre-defined Parameter	8
2.4. Kiểm tra các kích thước sơ bộ	8
2.5. Checking the Capacity of Section for Ultimate Load	8
2.5. Kiểm tra khả năng chịu lực của tiết diện dưới tác dụng của tải trọng tới hạn	8
2.6. Calculating the Shear Capacity, Deflection, Camber	9
2.6. Tính toán khả năng chịu lực cắt, độ võng, độ vồng	9
2.7. Review and Redesign	9
2.7. Kiểm tra và thiết kế lại	9
3. WORKING STRESS	10
3. ỨNG SUẤT CHO PHÉP	10
4. CABLE LAYOUT	11
4. QUỸ ĐẠO CÁP	11
5. ULTIMATE CAPACITY	12
5. TRẠNG THÁI TỚI HẠN	12
6. LOSS OF PRESTRESS	13
6. TỒN HAO ỨNG SUẤT	13
7. PRACTICAL GUIDE	14
7. HƯỚNG DẪN THỰC HÀNH	14
7.1. Section Properties	14
7.1. Đặc trưng tiết diện	14
7.1.1. Dimensions of beam	14

7.1.1. Kích thước của dầm.....	14
7.1.2. Dimensions of slab	15
7.2.2. Kích thước sàn	15
7.2. Material Properties.....	15
7.2. Đặc trưng vật liệu	15
7.3. Loading	15
7.3. Tải trọng	15
7.4. Prestress Force and Layout.....	16
7.4. Lực căng trước và quỹ đạo cáp.....	16
7.5. Balanced Loading	17
7.5. Tải trọng cân bằng	17
7.6. Serviceability limit state.....	18
7.6. Giới hạn về điều kiện sử dụng.....	18
7.6.1. Allowable stresses limits of concrete	18
7.6.1. Ứng suất cho phép của bê tông	18
7.6.2. Checking the stress	18
7.6.2. Kiểm tra về ứng suất.....	18
7.7. Location of Section to be Checked	19
7.7. Các tiết diện cần kiểm tra.....	19
7.8. Deflection.....	19
7.8. Độ võng.....	19
7.9. Ultimate Limit State.....	20
7.9. Trạng thái giới hạn.....	20
7.9.1. Checking the ultimate flexural strength.....	20
7.9.1. Kiểm tra độ bền uốn	20
7.9.2. Secondary moment	20
7.9.2. Mô men thứ cấp.....	20
7.10. Shear	21
7.10. Lực cắt.....	21
7.10.1. Flexural shear	21
7.10.1. Uốn cắt.....	21
7.10.2. Punching shear	21
7.10.2. Chọc thủng.....	21
7.11. Example of Service and Ultimate Check.....	21
7.11. Ví dụ tính toán	21
7.11.1. Geometric data	21
7.11.1. Thông số hình học	21
7.11.2. Tendon layout.....	21
7.11.2. Quỹ đạo cáp	21
7.11.3. Internal force (from computer result)	22
7.11.3. Nội lực (phân tích bằng phần mềm)	22
7.11.4. Pre-determining of prestress force.....	22
7.11.4. Tính toán sơ bộ lực căng trước.....	22
7.11.5. Secondary moment	22

7.11.5. Mô men thứ cấp.....	22
7.11.6. Stress check.....	22
7.11.6. Kiểm tra về ứng suất.....	22
7.11.7. Ultimate strength check	23
7.11.7. Kiểm tra về trạng thái tới hạn.....	23
7.11.8. Shear design	24
7.11.8. Thiết kế chịu cắt	24
7.12. Example of punching Shear Check.....	25
7.12. Ví dụ kiểm tra chọc thủng	25

1. BASIC CONCEPTS

1.1. The Principle of Design in Civil Engineering

Design is the process of selecting/ creating structural layout, shape and size of member, material of structure, method of construction.

Analysis is the process of investigation/ review of given condition. Activity: to calculate the response of the structure due to the applied loading.

1.2. Objectives of Design

A structure must fulfill the design objectives:

- Feasibility:
available materials, technologies, human resources
- Safety:
Strength, code limitations
- Serviceability
Aspect of camber, deflection, corrosion, fire resistance
- Economy
Optimal price, compared to alternative
- Functionality
Purpose of structure
- Aesthetics

1.3. Design Approaches

Main criteria in prestressed concrete design

Stresses of section under transfer and service load must not exceed the allowable stresses.

Ultimate capacity of section must be sufficient to resist factored load.

To fulfill the two main criteria, two design approaches are used:

- USD Ultimate Strength Design
- WSD Working Stress Design

1.4. Concepts of Prestressing

Prestressed concrete, also reinforced concrete, essentially is a composite material. It consists of concrete and steel.

1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN

1.1. Nguyên lý thiết kế Kết cấu

Thiết kế là quá trình lựa chọn mặt bằng kết cấu, kích thước của cấu kiện, vật liệu, công nghệ xây dựng.

Phân tích là quá trình kiểm tra các điều kiện. Nội dung: tính toán phản ứng của kết cấu khi chịu tác dụng của tải trọng.

1.2. Mục tiêu thiết kế

Kết cấu phải thỏa mãn các mục tiêu thiết kế:

- Khả thi:
vật liệu, công nghệ, nhân lực
- An toàn:
bền vững, thỏa mãn các yêu cầu của tiêu chuẩn
- Điều kiện sử dụng
Độ võng, độ võng, chống ăn mòn, chịu lửa
- Tính kinh tế
Tối ưu về giá thành,
- Chức năng
Mục đích của kết cấu
- Tính thẩm mỹ

1.3. Phương pháp thiết kế

Điều kiện chính trong thiết kế bê tông ứng suất trước

Ứng suất của tiết diện dưới tải trọng tại thời điểm buông neo và khi sử dụng không vượt quá ứng suất cho phép

Đảm bảo điều kiện bền tại trạng thái giới hạn

Để thỏa mãn hai điều kiện trên, hai phương pháp thiết kế được sử dụng là:

- USD Thiết kế theo trạng thái tới hạn
- WSD Thiết kế theo ứng suất cho phép

1.4. Khái niệm về ứng suất trước

Bê tông ứng suất trước, và cả bê tông cốt thép, cơ bản là một loại vật liệu hỗn hợp, bao gồm bê tông và cốt thép.

The concrete component carries the compressive force.

The steel component carries the tensile force.

The prestressing force is applied to balance the external load.

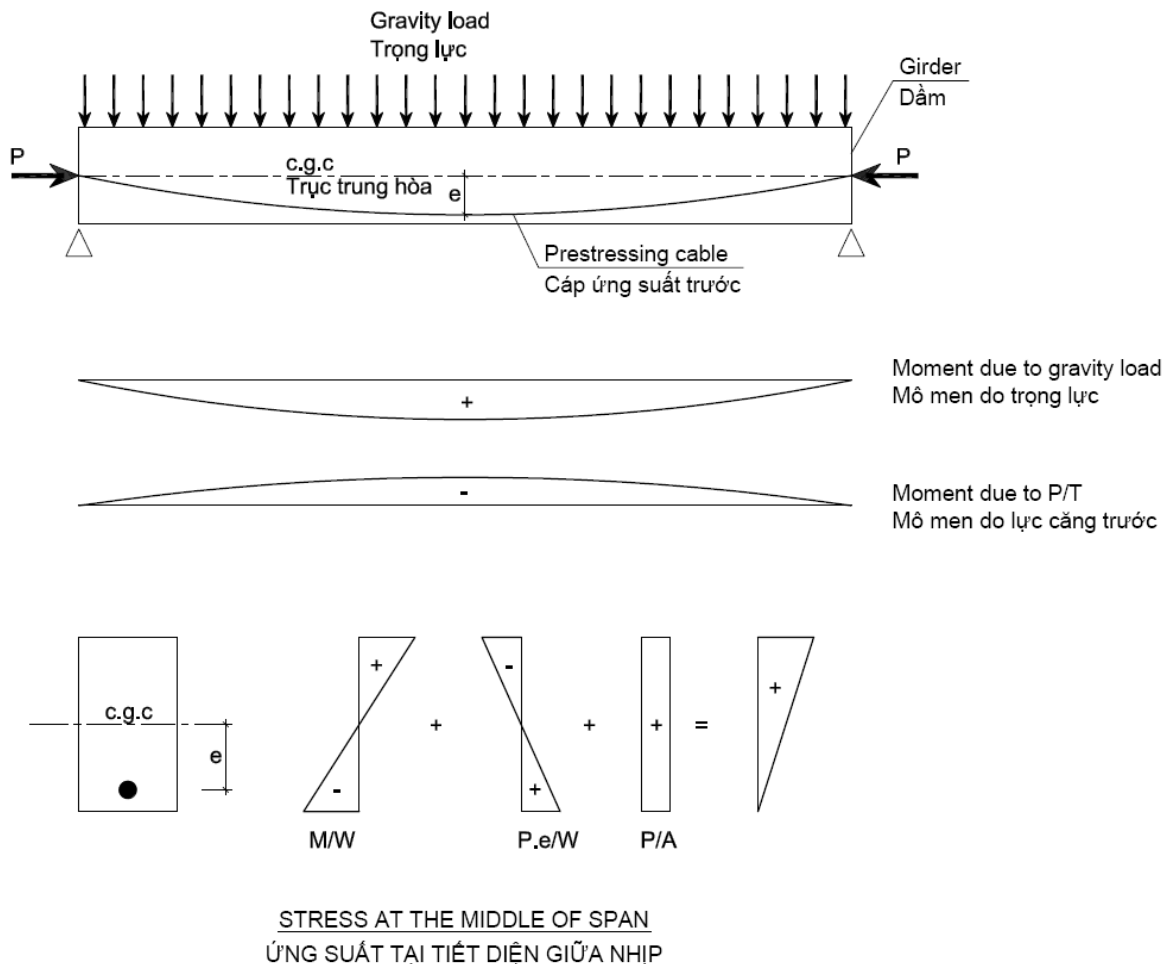
Response of a member under the external loads is illustrated below:

Phần bê tông chịu lực nén.

Phần cốt thép chịu lực kéo.

Lực căng trước được tạo ra để cân bằng với ngoại lực.

Phản ứng của kết cấu dưới tác dụng của ngoại lực được thể hiện trong sơ đồ dưới đây:



Prestressing force is considered as external load that acts against gravity load. Stress diagram shows that compressive axial stress $[+]$ that is produced by prestressing could reduce the tensile stress $[-]$ that is caused by gravity load. Therefore, the section can be crack-free designed.

1.5. Prestressing load

Load balancing method

This method is suit for analysis of building (continuous beam, slab, frame).

First step is selecting a prestressing force and tendon profile which creates an equivalent load opposite to external load.

Lực căng trước được sử dụng như một ngoại lực có tác dụng ngược lại so với trọng lực. Sơ đồ ứng suất cho thấy ứng suất nén $[+]$ được sinh ra bởi lực ứng suất trước có thể giảm ứng suất kéo $[-]$ được sinh ra bởi trọng lực. Do đó, tiết diện có thể được thiết kế để không thể xuất hiện vết nứt.

1.5. Lực căng trước

Phương pháp cân bằng tải trọng

Đây là phương pháp phù hợp để phân tích kết cấu công trình (dầm liên tục, bản sàn, khung)

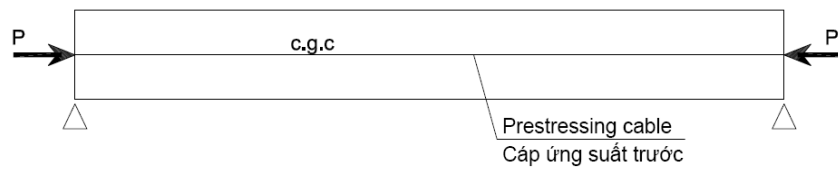
Bước đầu tiên là chọn lực căng trước và hình dạng của tuyến cáp để tạo ra một tải trọng tương đương tác dụng ngược lại với ngoại lực.

Type of cable layouts and the related equivalent loads are:

Straight tendon (for slab on ground)

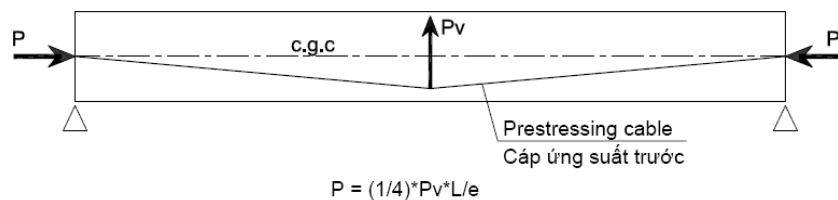
Các kiểu bố trí cáp và tải trọng tương đương tương ứng là:

Cáp thẳng (sử dụng cho sàn ở dưới nền đất)



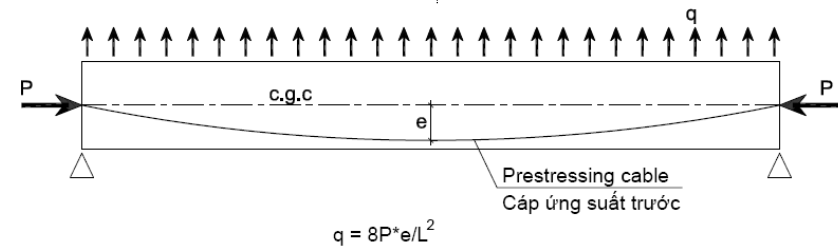
Harp tendon (for transfer beam)

Cáp gấp khúc (sử dụng cho dầm chuyển)



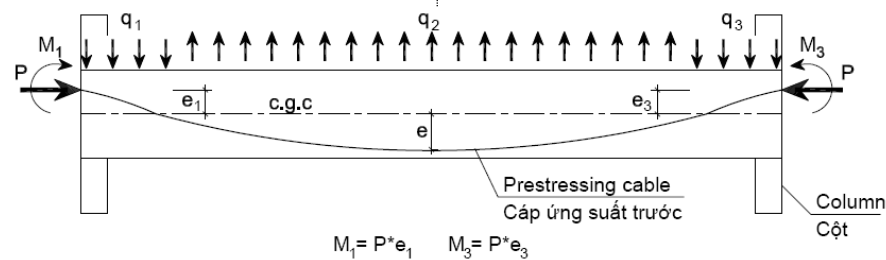
Parabolic tendon (for simply supported member)

Cáp parabol (sử dụng cho dầm đơn giản)



Reversed parabolic (for continuous and fix supported member)

Cáp parabol phức (sử dụng cho dầm liên lục hoặc liên kết ngàm)



2. STAGES OF DESIGN

2.1. Determining the Load

The function of structure is known. Check the loads that are possible to be applied at the beginning of construction up to service time and ultimate condition. Generally, loads that are considered in prestressed concrete are:

- Dead load
- Live load
- Prestress load

Prestress load depends on the prestressing system used, geometry of cables and method of work.

The structure must be checked for the load combination related to stages of loading. Certain loading stages are:

- Pouring of concrete
- Stressing of tendon
- Service
- Ultimate (factored)

2.2. Determining the Preliminary Dimension.

The depth of beam, $h = L/20$ to $L/30$

The thickness of slab, $t = L/35$ to $L/55$

2.3. Selection of material

Select the concrete grade, prestressing type, rebar grade

2.4. Checking the Pre-defined Parameter

Check (do analysis) the stress of section due to transfer load and service load. The allowable stress shouldn't be exceeded.

If the dimension of member is OK at this stage, it can be used (for information only) as a preliminary design.

2.5. Checking the Capacity of Section for Ultimate Load

Prestressing steel and rebar will be functioned to carry the tension force due to ultimate load since at this stage, the tensioned fiber of section is cracked.

2. CÁC BƯỚC THIẾT KẾ

2.1. Xác định tải trọng

Với công năng đã biết, liệt kê những tải trọng có thể có từ khi bắt đầu xây dựng cho tới khi đưa vào sử dụng và trạng thái tới hạn.

Nói chung, các loại tải trọng cần xem xét đối với bê tông ứng lực trước là:

- Tĩnh tải
- Hoạt tải
- Tải trọng ứng lực trước

Tải trọng ứng lực trước phụ thuộc vào hệ thống ứng lực trước, hình dạng cáp và phương pháp thi công.

Kết cấu phải được kiểm tra với các tổ hợp tải trọng tương ứng với giai đoạn gia tải. Có các giai đoạn gia tải được liệt kê dưới đây:

- Đổ bê tông
- Căng cáp
- Giai đoạn sử dụng
- Trạng thái tới hạn (được nhân hệ số)

2.2. Xác định kích thước sơ bộ

Chiều cao của dầm, $h = L/20$ đến $L/30$

Chiều dày của sàn, $t = L/35$ đến $L/55$

2.3. Lựa chọn vật liệu

Lựa chọn cấp độ bền bê tông, loại ứng suất trước, nhóm cốt thép

2.4. Kiểm tra các kích thước sơ bộ

Kiểm tra (phân tích) ứng suất của tiết diện dưới tác dụng của tải trọng tại thời điểm căng cáp và tải trọng sử dụng. Ứng suất không được vượt qua các giá trị cho phép.

Nếu kích thước cấu kiện đã chọn thỏa mãn các điều kiện, có thể sử dụng để tiến hành thiết kế sơ bộ.

2.5. Kiểm tra khả năng chịu lực của tiết diện dưới tác dụng của tải trọng tới hạn

Thép ứng suất trước và cốt thép được sử dụng để chịu lực kéo dưới tác dụng của tải trọng tới hạn, do trong giai đoạn này thớ kéo của tiết diện đã bị nứt.

Conditions must be fulfilled:

$$M_{kap} \geq M_u$$

M_{kap} = flexural capacity of section = ϕM_n

M_n = nominal moment strength

ϕ = strength reduce factor

M_u = factored moment at section

2.6. Calculating the Shear Capacity, Deflection, Camber

Checking the capacity of section for shear force and assign the stirrups to increase the capacity or as minimum (code limitation). Deflection should not exceed the allowable magnitude.

2.7. Review and Redesign

Review is needed to check the performance if there are some change in architectural aspect, function, load, actual site condition, and method of work. If the original design is not satisfied for actual condition, redesign must be performed.

Điều kiện cần được thỏa mãn:

$$M_{kap} \geq M_u$$

M_{kap} = khả năng chịu uốn của tiết diện = ϕM_n

M_n = độ bền chịu uốn danh nghĩa

ϕ = hệ số giảm độ bền

M_u = mô men đã nhân hệ số

2.6. Tính toán khả năng chịu lực cắt, độ võng, độ võng

Kiểm tra khả năng chịu cắt của tiết diện và sử dụng cốt đai để tăng khả năng chịu cắt cũng như đảm bảo hàm lượng tối thiểu (theo tiêu chuẩn). Độ võng không được vượt quá giá trị cho phép.

2.7. Kiểm tra và thiết kế lại

Việc kiểm tra cần được thực hiện khi có sự thay đổi về kiến trúc, chức năng, tải trọng, điều kiện thực tế, và phương pháp thi công. Nếu thiết kế ban đầu không đảm bảo điều kiện thực tế, cần tiến hành thiết kế lại.

3. WORKING STRESS

Allowable stressed limits for prestressed concrete

At transfer of prestress force:

$$\begin{aligned} \text{Compression:} & 0.6f_{ci}' \\ \text{Tension:} & -0.25\sqrt{f_{ci}'} \end{aligned}$$

At service condition:

$$\begin{aligned} \text{Compression:} & 0.45f_c' \\ \text{Tension:} & -0.5\sqrt{f_c'} \end{aligned}$$

NOTE: f_{ci}' and f_c' are in MPa

The stressed due to gravity load and prestress load shall not exceed the allowable limits as mentioned above. So,

at transfer of prestress force:

top fiber:

$$\sigma = P_i/A + M_i/W_t - P_i.e/W_t \leq \sigma_{ci}^a \text{ and } \geq \sigma_{ti}^a$$

bottom fiber:

$$\sigma = P_i/A - M_i/W_t + P_i.e/W_t \leq \sigma_{ci}^a \text{ and } \geq \sigma_{ti}^a$$

at service condition:

top fiber:

$$\sigma = P/A + M/W_t - P.e/W_t \leq \sigma_c^a \text{ and } \geq \sigma_t^a$$

bottom fiber:

$$\sigma = P/A - M/W_t + P.e/W_t \leq \sigma_c^a \text{ and } \geq \sigma_t^a$$

σ_{ci}^a , σ_{ti}^a , σ_c^a , σ_t^a = allowable stressed for revevant condition

W_t , W_b = modulus of section for top or bottom fiber respectively

P_i , P = axial force due to prestress at transfer and service respectively

M_i , M = moments at transfer and service respectively

3. ỨNG SUẤT CHO PHÉP

Giới hạn về ứng suất đối với bê tông ứng suất trước

Tại thời điểm căng cáp

$$\begin{aligned} \text{Nén:} & 0.6f_{ci}' \\ \text{Kéo:} & -0.25\sqrt{f_{ci}'} \end{aligned}$$

Trong giai đoạn sử dụng

$$\begin{aligned} \text{Nén:} & 0.45f_c' \\ \text{Kéo:} & -0.5\sqrt{f_c'} \end{aligned}$$

CHÚ Ý: Đơn vị của f_{ci}' và f_c' là MPa

Ứng suất dưới tác dụng của trọng lực và của ứng suất trước không được vượt quá các giới hạn trên. do đó,

tại thời điểm căng cáp

đối với thớ trên

$$\sigma = P_i/A + M_i/W_t - P_i.e/W_t \leq \sigma_{ci}^a \text{ và } \geq \sigma_{ti}^a$$

đối với thớ dưới

$$\sigma = P_i/A - M_i/W_t + P_i.e/W_t \leq \sigma_{ci}^a \text{ và } \geq \sigma_{ti}^a$$

trong giai đoạn sử dụng

đối với thớ trên:

$$\sigma = P/A + M/W_t - P.e/W_t \leq \sigma_c^a \text{ và } \geq \sigma_t^a$$

đối với thớ dưới:

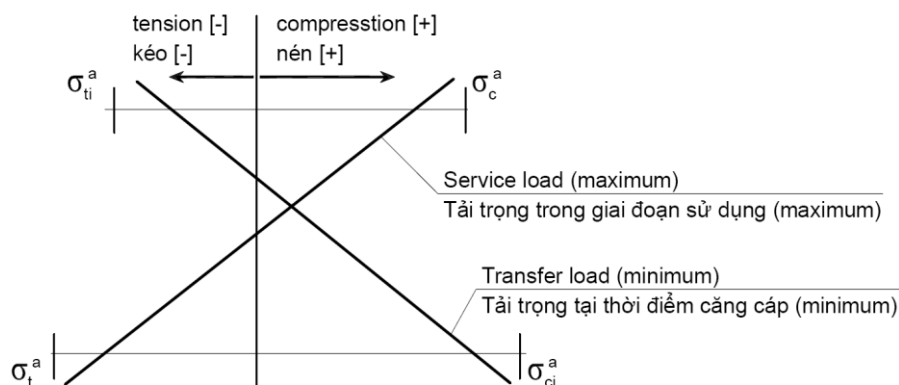
$$\sigma = P/A - M/W_t + P.e/W_t \leq \sigma_c^a \text{ và } \geq \sigma_t^a$$

σ_{ci}^a , σ_{ti}^a , σ_c^a , σ_t^a = lần lượt là các giá trị ứng suất cho phép

W_t , W_b = lần lượt là mô đun kháng uốn của thớ trên và thớ dưới

P_i , P = lần lượt là lực dọc dưới tác dụng của ứng suất trước tại thời điểm căng cáp và khi sử dụng

M_i , M = lần lượt là mô men tại thời điểm căng cáp và trong giai đoạn sử dụng

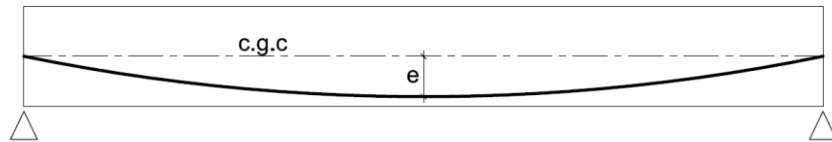


Stresses at the middle of span (single beam)

Ứng suất trên tiết diện giữa nhịp (dầm đơn giản)

4. CABLE LAYOUT

4. QUỸ ĐẠO CÁP



The aspects to be considered in determination of eccentricity:

- Concrete cover
- Anchor position
- Allowable stresses
- Feasibility of application

HINTS:

Tendon layout is similar to the shape of moment diagram.

Cable should be positioned at tensioned zone. At zero moment zones (at cantilever free end, at simply support beam ends), cable/ anchor is put at c.g.c in order that there is no moment due to prestress.

Các vấn đề cần được kể đến khi xác định quỹ đạo cáp:

- Lớp bê tông bảo vệ
- Vị trí neo
- Ứng suất cho phép
- Tính khả thi

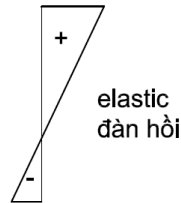
GỢI Ý:

Quỹ đạo cáp đồng dạng với hình dạng của biểu đồ mô men.

Cáp cần được đặt trong vùng kéo. Tại những vùng có mô men bằng 0 (đầu tự do của công xôn, hai đầu dầm đơn giản), cáp hoặc neo được đặt ở trục trung hòa để đảm bảo không có mô men phát sinh bởi lực căng trước.

5. ULTIMATE CAPACITY

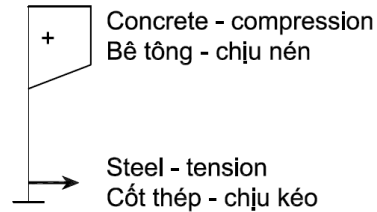
At ultimate condition (factored load), tensioned fiber in girder is cracked and tension stress carried by prestressing steel (and rebar). Stress diagram is illustrated below



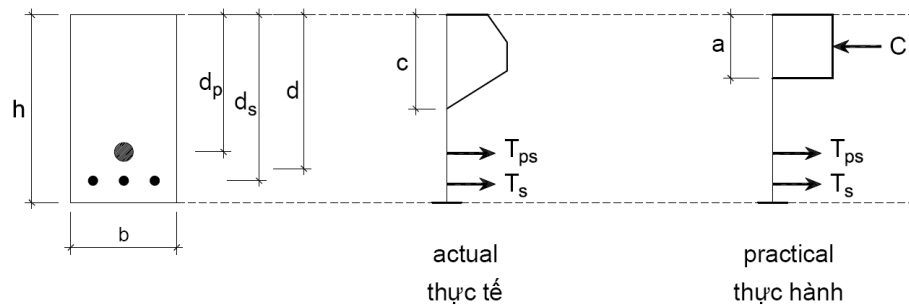
Uncracked (service)
Chưa bị nứt (giai đoạn sử dụng)

5. TRẠNG THÁI TỐI HẠN

Tại trạng thái tối hạn (tải trọng được nhân hệ số), thớ kéo trong dầm bị nứt và ứng suất kéo được truyền sang thép ứng suất trước (và cốt thép). Biểu đồ ứng suất được thể hiện như hình dưới



Cracked (ultimate)
Đã bị nứt (trạng thái tối hạn)



Forces act at the section:

$$C = 0.85f'_c \cdot b \cdot a$$

$$T_{ps} = A_{ps} \cdot f_{ps}$$

$$T_s = A_s \cdot f_y$$

Moment equilibrium produces the moment strength:

$$M_n = 0.85f'_c \cdot b \cdot a(d-a/2)$$

$$d = (A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d_p + A_s \cdot f_y \cdot d_s) / (A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y)$$

Capacity moment is nominal moment multiplied by reduction factor.

$$M_{kp} = \phi M_n$$

for concrete $\phi = 0.67$ (BS code)

Lực tác dụng lên tiết diện:

$$C = 0.85f'_c \cdot b \cdot a$$

$$T_{ps} = A_{ps} \cdot f_{ps}$$

$$T_s = A_s \cdot f_y$$

Độ bền chịu uốn (danh nghĩa):

$$M_n = 0.85f'_c \cdot b \cdot a(d-a/2)$$

$$d = (A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d_p + A_s \cdot f_y \cdot d_s) / (A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y)$$

Khả năng chịu uốn bằng độ bền chịu uốn danh nghĩa nhân với hệ số giảm độ bền.

$$M_{kp} = \phi M_n$$

đối với bê tông $\phi = 0.67$ (tiêu chuẩn BS)

6. LOSS OF PRESTRESS

Force in prestress tendon, as an active component, decreases with time.

Prestress losses could be divided into two stages namely:

Short term losses due to

1. friction at anchor and jack
2. friction between strand and duct
3. draw-in of wedges
4. elastic shortening of concrete

Long term losses due to

1. shrinkage
2. creep
3. relaxation of cable

6. TỖN HAO ỨNG SUẤT

Lực trong cáp ứng suất trước bị suy giảm theo thời gian.

Sự tổn hao ứng suất có thể chia thành hai giai đoạn như sau:

Các tổn hao ngắn hạn dưới tác dụng của

1. Ma sát tại neo và nêm
2. Ma sát giữa cáp và ống dẫn cáp
3. Tuột nêm
4. Co ngắn đàn hồi của bê tông

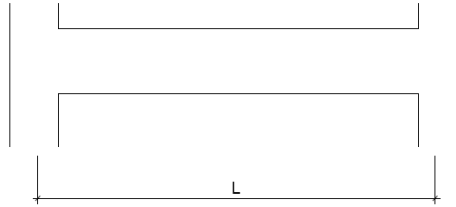
Các tổn hao dài hạn dưới tác dụng của

1. Co ngót
2. Từ biến
3. Sự dãn của cáp

7. PRACTICAL GUIDE

7.1. Section Properties

7.1.1. Dimensions of beam



L = length of span

h = depth of beam

$$= L/25 \quad (\text{first trial})$$

b = width of beam

$$= (2/3)*h \quad (\text{first trial})$$

t = thickness of slab

b' = effective top-width of beam

$$= b + 12t \quad \text{for interior beam}$$

$$= b + 6t \quad \text{for edge beam}$$

Example

Given: $L = 18\text{m}$, $t = 0.12\text{m}$ (could be proposed by engineer)

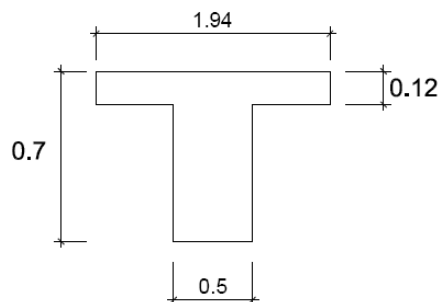
Determine:

$$h = 18/25 = 0.72\text{m} \Rightarrow \text{say } h = 0.70\text{m}$$

$$b = (2/3)*0.70 = 0.46\text{m} \Rightarrow \text{say } b = 0.50\text{m}$$

$$b' = 0.50 + 12*0.12 = 1.94\text{m}$$

conclusion

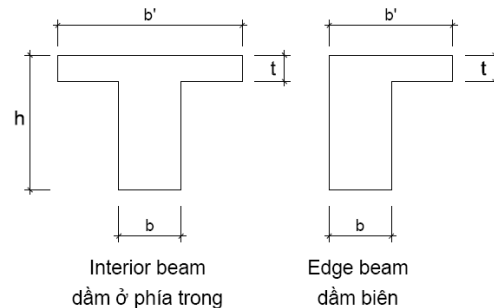


This section properties to be used as first trial in computer input, stress check, ultimate capacity check and deflection check.

7. HƯỚNG DẪN THỰC HÀNH

7.1. Đặc trưng tiết diện

7.1.1. Kích thước của dầm



L = chiều dài nhịp

h = chiều cao dầm

$$= L/25 \quad (\text{sơ bộ})$$

b = chiều rộng dầm

$$= (2/3)*h \quad (\text{sơ bộ})$$

t = chiều dày sàn

b' = chiều rộng cánh hiệu quả của dầm

$$= b + 12t \quad \text{đối với dầm ở giữa}$$

$$= b + 6t \quad \text{đối với dầm biên}$$

Ví dụ

Giả thiết: $L = 18\text{m}$, $t = 0.12\text{m}$ (cần được đề xuất bởi kỹ sư)

Xác định:

$$h = 18/25 = 0.72\text{m} \Rightarrow \text{chọn } h = 0.70\text{m}$$

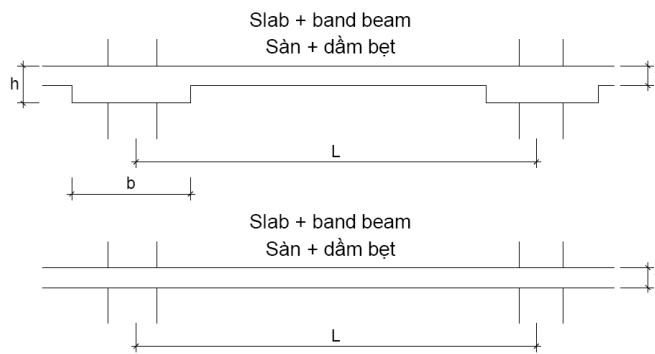
$$b = (2/3)*0.70 = 0.46\text{m} \Rightarrow \text{chọn } b = 0.50\text{m}$$

$$b' = 0.50 + 12*0.12 = 1.94\text{m}$$

kết luận

Các đặc trưng tiết diện trên được sử dụng để tính toán sơ bộ, kiểm tra về ứng suất, về trạng thái tới hạn, và về độ võng.

7.1.2. Dimensions of slab



L = length of span

t = thickness of slab

= $L/45$ for slab width band beam (*first trial*)

= $L/40$ for flat slab (*first trial*)

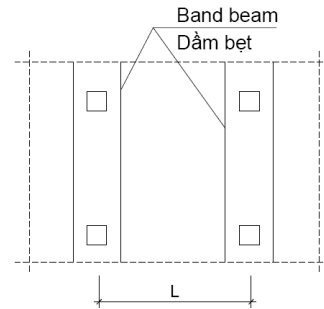
h = depth of band beam

= $2.2 \cdot t$ (*first trial*)

b = width of band beam

= $L/4.5$ (*first trial*)

7.2.2. Kích thước sàn



L = chiều dài nhịp

t = chiều dày sàn

= $L/45$ đối với sàn có dầm bê tông (*sơ bộ*)

= $L/40$ đối với sàn phẳng (*sơ bộ*)

h = chiều cao dầm bê tông

= $2.2 \cdot t$ (*sơ bộ*)

b = chiều rộng dầm bê tông

= $L/4.5$ (*sơ bộ*)

Example

Given: $L = 8\text{m}$

Choose: slab with band beam

Determine:

$t = 8/45 = 0.177\text{m} \Rightarrow$ say $t = 0.18\text{m}$

$h = 2.2 \cdot 0.18/45 = 0.396\text{m} \Rightarrow$ say $h = 0.4\text{m}$

$b = 8/4.5 = 1.77\text{m} \Rightarrow$ say $b = 1.8\text{m}$

Ví dụ

Giả thiết: $L = 8\text{m}$

Trường hợp: sàn có dầm bê tông

Tính toán:

$t = 8/45 = 0.177\text{m} \Rightarrow$ chọn $t = 0.18\text{m}$

$h = 2.2 \cdot 0.18/45 = 0.396\text{m} \Rightarrow$ chọn $h = 0.4\text{m}$

$b = 8/4.5 = 1.77\text{m} \Rightarrow$ chọn $b = 1.8\text{m}$

7.2. Material Properties

At first trial, use

normal concrete grade: $f_c' = 30\text{MPa}$ (or given by client)

Rebar: longitudinal rebar $f_y = 460\text{MPa}$

stirrups $f_y = 250\text{MPa}$

Strand: low relaxation strand $\phi 0.5\text{in}$ (12.7mm) grade 270, ASTM A416

Calculate elastic modulus of concrete:

$E_c = 4700\sqrt{f_c'}$ (f_c' in MPa)

7.2. Đặc trưng vật liệu

Trong tính toán sơ bộ, sử dụng

Cấp độ bền của bê tông: $f_c' = 30\text{MPa}$ (hoặc theo quyết định của chủ đầu tư)

Cốt thép: cốt thép dọc $f_y = 460\text{MPa}$

cốt thép đai $f_y = 250\text{MPa}$

Cáp: cáp có độ giãn bé $\phi 0.5\text{in}$ (12.7mm) nhóm 270, ASTM A416

Tính toán mô đun đàn hồi của bê tông:

$E_c = 4700\sqrt{f_c'}$ (đơn vị của f_c' là MPa)

Example

Given: $f_c' = 30\text{MPa}$

Calculate: $E_c = 4700\sqrt{30} = 25742\text{MPa}$

Use this value in computer input

Ví dụ

Giả thiết: $f_c' = 30\text{MPa}$

Tính toán: $E_c = 4700\sqrt{30} = 25742\text{MPa}$

Sử dụng giá trị này để nhập vào phần mềm

7.3. Loading

Determine the density of concrete, γ : Use $\gamma = 25\text{kN/m}^3$

7.3. Tải trọng

Trọng lượng riêng của bê tông: $\gamma = 25\text{kN/m}^3$

Determine superimposed dead load (SDL) and live load (LL) for:

office:	SDL = 1.5 kN/m ² LL = 2.5 kN/m ²
apartment:	SDL = 2.0 kN/m ² LL = 2.0 kN/m ²
shopping mall:	SDL = 1.5 kN/m ² LL = 4.0 kN/m ²
theatre:	SDL = 2.0 kN/m ² LL = 4.0 kN/m ²

or refer to data given by client

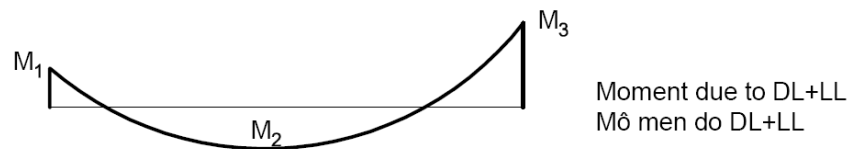
7.4. Prestress Force and Layout

Tính tải bổ sung (SDL) và hoạt tải (LL) cho các loại công năng có giá trị như sau:

văn phòng:	SDL = 1.5 kN/m ² LL = 2.5 kN/m ²
căn hộ:	SDL = 2.0 kN/m ² LL = 2.0 kN/m ²
khu thương mại:	SDL = 1.5 kN/m ² LL = 4.0 kN/m ²
nhà hát, triển lãm:	SDL = 2.0 kN/m ² LL = 4.0 kN/m ²

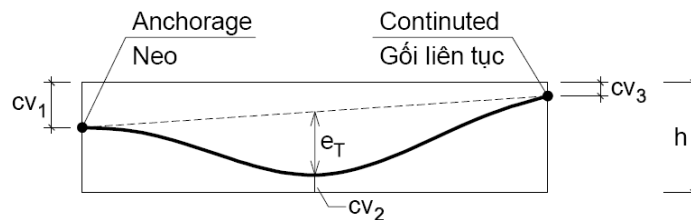
hoặc theo số liệu được cung cấp bởi chủ đầu tư

7.4. Lực căng trước và quỹ đạo cáp



Choose suitable tendon layout according to the shape of moment diagram.

Chọn quỹ đạo cáp theo hình dạng của biểu đồ mô men



At first trial, prestress force is determined approximately from moment due to gravity load.

$$M_{PT}' = P \cdot e_T$$

$$M_{PT}' = 0.6 \cdot (M_{DL} + M_{LL})$$

Determine cv_1 , cv_2 , cv_3 , then e_T is obtained

$$cv_1 = 0.200 \text{ m for round duct (used for beam)} \\ = 0.075 \text{ m for flat duct (used for slab)}$$

$$cv_2 = 0.100 \text{ m for round duct} \\ = 0.040 \text{ m for flat duct}$$

$$cv_3 = cv_2$$

$$e_T = (h - cv_1 + h - cv_3) / 2 - cv_2$$

$$M_{PT}' = 0.6 \{ (|M_1| + |M_3|) / 2 + |M_2| \}$$

then

$$P = M_{PT}' / e_T$$

$$P = \text{effective prestress force (after all losses)} \\ = 0.75 P_{JF} \text{ (total losses } \pm 25\% P_{JF} \text{)}$$

$$P_{JF} = \text{jacking force}$$

$$\leq 0.8 \text{ UTS (UTS = ultimate tensile strength of strand)}$$

Trong bước tính sơ bộ, lực căng trước được chọn dựa theo mô men gây ra bởi trọng lực.

$$M_{PT}' = P \cdot e_T$$

$$M_{PT}' = 0.6 \cdot (M_{DL} + M_{LL})$$

Xác định cv_1 , cv_2 , cv_3 , và e_T

$$cv_1 = 0.200 \text{ m đối với dầm} \\ = 0.075 \text{ m đối với sàn}$$

$$cv_2 = 0.100 \text{ m đối với dầm} \\ = 0.040 \text{ m đối với sàn}$$

$$cv_3 = cv_2$$

$$e_T = (h - cv_1 + h - cv_3) / 2 - cv_2$$

$$M_{PT}' = 0.6 \{ (|M_1| + |M_3|) / 2 + |M_2| \}$$

do đó

$$P = M_{PT}' / e_T$$

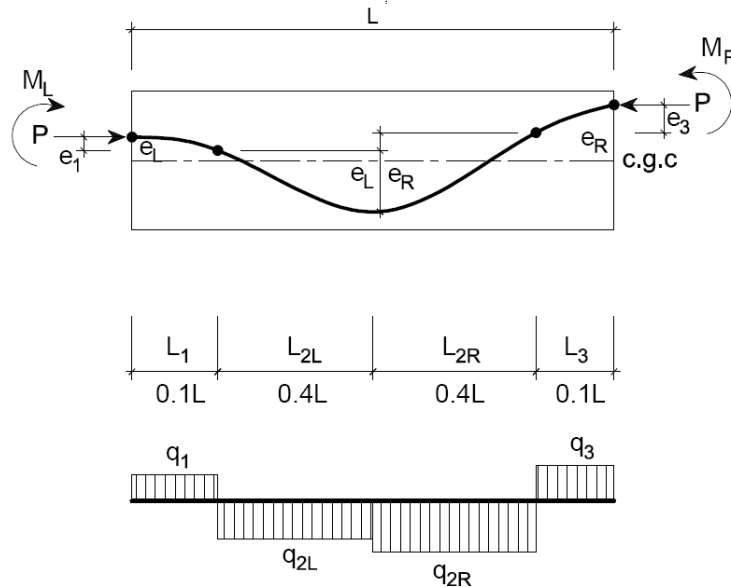
$$P = \text{lực căng trước hữu hiệu (sau khi mất mát)} \\ = 0.75 P_{JF} \text{ (tổng mất mát } \pm 25\% P_{JF} \text{)}$$

$$P_{JF} = \text{lực căng cáp (tại nêm)}$$

$$\leq 0.8 \text{ UTS (UTS = độ bền kéo của cáp)}$$

7.5. Balanced Loading

Based on P/T force and layout already determined, calculate P/T balanced load. Balanced load is equivalent load of prestress that to be applied as external load in calculation of internal force due to prestress.



e_1 = distance between left highest point and left inflection point

e_{2L} = distance between left inflection point and lowest point of tendon

e_{2R} = distance between right inflection point and lowest point of tendon

e_3 = distance between right highest point and right inflection point

e_L = distance between left highest point and center of gravity of concrete

e_R = distance between right highest point and center of gravity of concrete

$$q_1 = 8P \cdot e_1 / (2L_1)^2 \quad (\text{downward})$$

$$q_{2L} = 8P \cdot e_{2L} / (2L_{2L})^2 \quad (\text{upward})$$

$$q_{2R} = 8P \cdot e_{2R} / (2L_{2R})^2 \quad (\text{upward})$$

$$q_3 = 8P \cdot e_3 / (2L_3)^2 \quad (\text{downward})$$

$$M_L = P \cdot e_L$$

$$M_R = P \cdot e_R$$

Calculation of P/T balanced load and it's internal forces can be performed by STATIK (for beam) and CEDRUS (for slab)

7.5. Tải trọng cân bằng

Dựa trên giá trị lực căng trước và quỹ đạo cáp, tính toán giá trị của tải trọng cân bằng. Tải trọng cân bằng là tải trọng tương đương do lực căng trước, được xét đến như ngoại lực khi tính toán.

e_1 = độ chênh cao giữa điểm cao nhất bên trái và điểm uốn bên trái

e_{2L} = độ chênh cao giữa điểm uốn bên trái và điểm thấp nhất của cáp

e_{2R} = độ chênh cao giữa điểm uốn bên phải và điểm thấp nhất của cáp

e_3 = độ chênh cao giữa điểm cao nhất bên phải và điểm uốn bên phải

e_L = độ chênh cao giữa điểm cao nhất bên trái và trục trọng tâm của tiết diện bê tông

e_R = độ chênh cao giữa điểm cao nhất bên phải và trục trọng tâm của tiết diện bê tông

$$q_1 = 8P \cdot e_1 / (2L_1)^2 \quad (\text{hướng xuống})$$

$$q_{2L} = 8P \cdot e_{2L} / (2L_{2L})^2 \quad (\text{hướng lên})$$

$$q_{2R} = 8P \cdot e_{2R} / (2L_{2R})^2 \quad (\text{hướng lên})$$

$$q_3 = 8P \cdot e_3 / (2L_3)^2 \quad (\text{hướng xuống})$$

$$M_L = P \cdot e_L$$

$$M_R = P \cdot e_R$$

Tính toán tải trọng cân bằng và nội lực sinh ra do tải trọng này có thể thực hiện bởi STATIK (cho dầm) và CEDRUS (cho sàn)

7.6. Serviceability limit state

7.6.1. Allowable stresses limits of concrete

At transfer:

$$\begin{aligned} \text{compressive stress, } \sigma_{ci}^a &= 0.6 \cdot f_{ci}' \\ \text{tensile stress, } \sigma_{ti}^a &= -\sqrt{f_{ci}'}/4 \end{aligned}$$

At service:

$$\begin{aligned} \text{compressive stress, } \sigma_{ci} &= 0.45 \cdot f_c' \\ \text{tensile stress, } \sigma_t^a &= -\sqrt{f_c'}/2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{ci}' &= \text{concrete strength at transfer} \\ &= 0.8 \cdot f_c' \text{ but not less than 25MPa} \end{aligned}$$

7.6. Giới hạn về điều kiện sử dụng

7.6.1. Ứng suất cho phép của bê tông

Tại thời điểm căng cáp:

$$\begin{aligned} \text{ứng suất nén, } \sigma_{ci}^a &= 0.6 \cdot f_{ci}' \\ \text{ứng suất kéo, } \sigma_{ti}^a &= -\sqrt{f_{ci}'}/4 \end{aligned}$$

Tại thời điểm sử dụng:

$$\begin{aligned} \text{ứng suất nén, } \sigma_{ci} &= 0.45 \cdot f_c' \\ \text{ứng suất kéo, } \sigma_t^a &= -\sqrt{f_c'}/2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{ci}' &= \text{cường độ bê tông lúc căng cáp} \\ &= 0.8 \cdot f_c' \text{ nhưng không bé hơn 25MPa} \end{aligned}$$

Example

Given: $f_c' = 30\text{MPa}$

Calculate:

$$\begin{aligned} f_{ci}' &= 0.8 \cdot 30 = 24 \text{ MPa} < 25 \text{ MPa, then use } f_{ci}' = 25 \text{ MPa (minimum requirement for stressing)} \\ \sigma_{ci}^a &= 0.6 \cdot 25 = 15 \text{ MPa} \\ \sigma_{ti}^a &= -\sqrt{25}/4 = -1.25 \text{ MPa} \\ \sigma_c^a &= 0.45 \cdot 30 = 13.50 \text{ MPa} \\ \sigma_t^a &= -\sqrt{30}/2 = -2.74 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Ví dụ

Giả thiết: $f_c' = 30\text{MPa}$

Tính toán:

$$\begin{aligned} f_{ci}' &= 0.8 \cdot 30 = 24 \text{ MPa} < 25 \text{ MPa, do đó } f_{ci}' = 25 \text{ MPa (giá trị ứng suất yêu cầu tối thiểu)} \\ \sigma_{ci}^a &= 0.6 \cdot 25 = 15 \text{ MPa} \\ \sigma_{ti}^a &= -\sqrt{25}/4 = -1.25 \text{ MPa} \\ \sigma_c^a &= 0.45 \cdot 30 = 13.50 \text{ MPa} \\ \sigma_t^a &= -\sqrt{30}/2 = -2.74 \text{ MPa} \end{aligned}$$

7.6.2. Checking the stress

The stresses of section should fulfill the allowable stresses.

At transfer:

$$\begin{aligned} \sigma_{ti}^a &\leq \sigma_{topi} \leq \sigma_{ci}^a \\ \sigma_{ti}^a &\leq \sigma_{boti} \leq \sigma_{ci}^a \end{aligned}$$

At service:

$$\begin{aligned} \sigma_t^a &\leq \sigma_{top} \leq \sigma_c^a \\ \sigma_t^a &\leq \sigma_{bot} \leq \sigma_c^a \end{aligned}$$

7.6.2. Kiểm tra về ứng suất

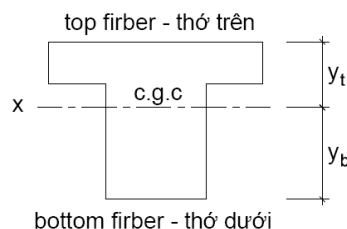
Ứng suất trong tiết diện phải thỏa mãn các điều kiện về ứng suất cho phép.

Tại thời điểm căng cáp:

$$\begin{aligned} \sigma_{ti}^a &\leq \sigma_{topi} \leq \sigma_{ci}^a \\ \sigma_{ti}^a &\leq \sigma_{boti} \leq \sigma_{ci}^a \end{aligned}$$

Trong thời gian sử dụng:

$$\begin{aligned} \sigma_t^a &\leq \sigma_{top} \leq \sigma_c^a \\ \sigma_t^a &\leq \sigma_{bot} \leq \sigma_c^a \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \sigma_{topi} &= \text{stress at top fiber at transfer} \\ \sigma_{boti} &= \text{stress at bottom fiber at transfer} \\ \sigma_{top} &= \text{stress at top fiber at service} \\ \sigma_{bot} &= \text{stress at bottom fiber at service} \\ \sigma_{topi} &= P_i/A + (M_{PTi} + M_{SW})/W_t \\ \sigma_{boti} &= P_i/A - (M_{PTi} + M_{SW})/W_b \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{topi} &= \text{ứng suất tại thớ trên lúc căng cáp} \\ \sigma_{boti} &= \text{ứng suất tại thớ dưới lúc căng cáp} \\ \sigma_{top} &= \text{ứng suất tại thớ trên khi sử dụng} \\ \sigma_{bot} &= \text{ứng suất tại thớ dưới khi sử dụng} \\ \sigma_{topi} &= P_i/A + (M_{PTi} + M_{SW})/W_t \\ \sigma_{boti} &= P_i/A - (M_{PTi} + M_{SW})/W_b \end{aligned}$$

$$\sigma_{top} = P/A + (M_{PT} + M_{SW+DL})/W_t$$

$$\sigma_{bot} = P/A - (M_{PT} + M_{SW+DL})/W_b$$

P_i = initial prestress force (after short term losses)
 $= 1.15 \cdot P$ (P - after long term losses)

A = area of section

M_{PTi} = moment due to P/T balanced load at transfer = $1.15 \cdot M_{PT}$

M_{PT} = moment due to P/T balanced load at service

M_{SW} = moment due to self weight of structure at transfer

M_{DL+LL} = moment due to dead load and live load

$$W_t = I_x/y_t$$

$$W_b = I_x/y_b$$

$$\sigma_{top} = P/A + (M_{PT} + M_{SW+DL})/W_t$$

$$\sigma_{bot} = P/A - (M_{PT} + M_{SW+DL})/W_b$$

P_i = lực căng trước ban đầu (tổn hao ngắn hạn)
 $= 1.15 \cdot P$ (P - sau tổn hao dài hạn)

A = diện tích tiết diện

M_{PTi} = mô men do tải trọng cân bằng tại thời điểm căng cáp = $1.15 \cdot M_{PT}$

M_{PT} = mô men do tải trọng cân bằng trong giai đoạn sử dụng

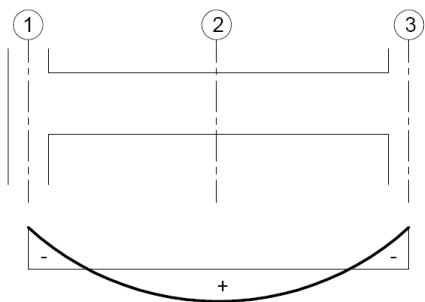
M_{SW} = mô men do tải trọng bản thân tại thời điểm căng cáp

M_{DL+LL} = mô men do tĩnh tải và hoạt tải

$$W_t = I_x/y_t$$

$$W_b = I_x/y_b$$

7.7. Location of Section to be Checked



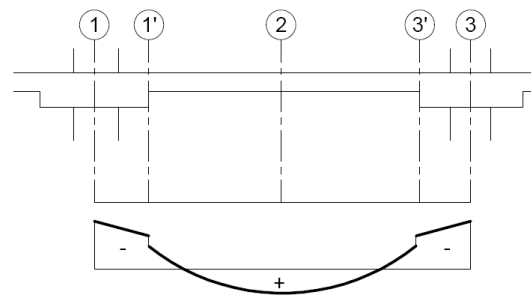
Beam: Section at position 1, 2, 3 must be checked for serviceability limit state and ultimate limit state

Slab with band beam: Section at position 1, 1', 2, 3', 3 must be checked for serviceability limit state and ultimate limit state

At 1 and 3 use depth of band beam

At 1', 2, 3' use depth of slab

7.7. Các tiết diện cần kiểm tra



Dầm: các tiết diện 1, 2, 3 cần được kiểm tra theo trạng thái sử dụng và trạng thái tới hạn

Sàn có dầm beton: các tiết diện 1, 1', 2, 3', 3 cần được kiểm tra theo trạng thái sử dụng và trạng thái giới hạn

Tại 1 và 3 sử dụng chiều cao của dầm beton

Tại 1', 2, 3' sử dụng chiều dày của sàn

7.8. Deflection

Allowable deflection limit

$$\Delta_a = L/360 \text{ due to live load only}$$

Deflection at any location should fulfill the condition:

$$\Delta \leq \Delta_a$$

Δ can be calculated by structural computer software

7.8. Độ võng

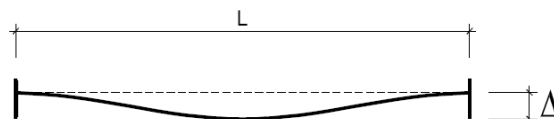
Độ võng giới hạn

$$\Delta_a = L/360 \text{ do tác dụng của hoạt tải}$$

Độ võng tại vị trí bất kỳ phải thỏa mãn điều kiện:

$$\Delta \leq \Delta_a$$

Δ được xác định bởi phần mềm phân tích kết cấu



7.9. Ultimate Limit State

7.9.1. Checking the ultimate flexural strength

The flexural strength must fulfill the condition:

$$\phi M_n \geq M_u \quad \text{or ultimate strength factor: } \phi M_n / M_u \geq 1.0$$

M_n = nominal moment strength

ϕ = strength reduction factor

M_u = factored moment at section

$$= 1.4 * M_{DL} + 1.6 * M_{LL} + 1.0 * M_{sec}$$

M_{DL} = moment due to dead load

M_{LL} = moment due to live load

M_{sec} = secondary moment due to prestress

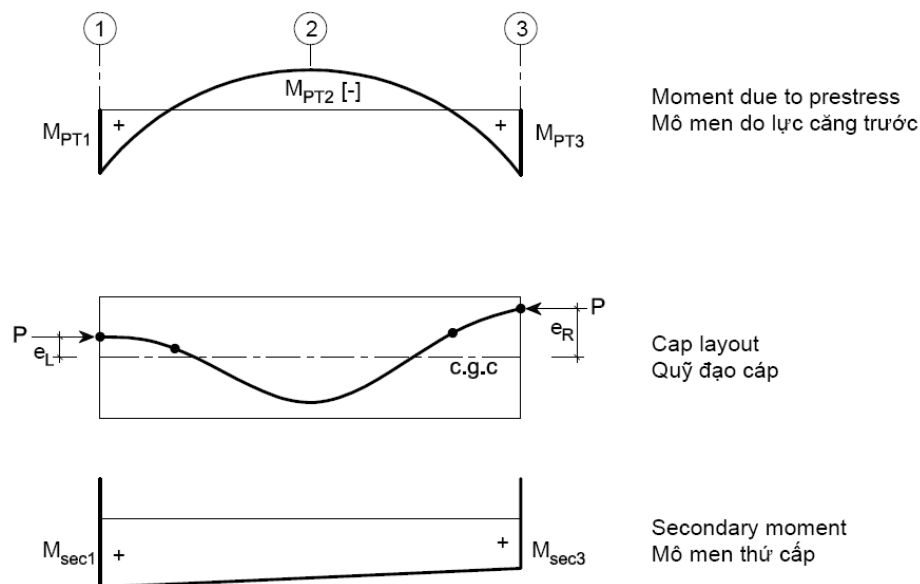
NOTE: M_{sec} can be calculated by STATIK

Ult. Strength factor can be obtained by FAGUS

For slab, secondary moment calculation not to be performed since it's difficult. Therefore, for slab, $M_u = 1.4 M_{DL} + 1.6 M_{LL}$ and prestressing is considered as reinforcement in nominal strength calculation.

7.9.2. Secondary moment

Secondary moment is produced by prestress load because of restrain at support.



Secondary moment at 1, 2, 3 are calculated as follows:

$$M_{sec1} = M_{PT1} - P * e_L$$

$$M_{sec3} = M_{PT3} - P * e_R$$

$$M_{sec2} = (M_{sec1} + M_{sec3}) / 2 \quad (\text{interpolated})$$

7.9. Trạng thái giới hạn

7.9.1. Kiểm tra độ bền uốn

Độ bền chịu uốn phải thỏa mãn điều kiện:

$$\phi M_n \geq M_u \quad \text{hoặc tỉ số bền } \phi M_n / M_u \geq 1.0$$

M_n = độ bền uốn danh nghĩa

ϕ = hệ số giảm độ bền

M_u = mô men đã nhân hệ số

$$= 1.4 * M_{DL} + 1.6 * M_{LL} + 1.0 * M_{sec}$$

M_{DL} = mô men do tĩnh tải

M_{LL} = mô men do hoạt tải

M_{sec} = mô men thứ cấp do lực căng trước

GHI CHÚ: M_{sec} có thể được xác định bởi STATIK

Tỉ số bền có thể được xác định bằng FAGUS

Đối với sàn, mô men thứ cấp rất khó xác định. Do đó, đối với sàn, $M_u = 1.4 M_{DL} + 1.6 M_{LL}$ và tác dụng của ứng suất trước sẽ được tính toán như cốt thép khi xác định độ bền danh nghĩa.

7.9.2. Mô men thứ cấp

Mô men thứ cấp phát sinh do lực căng trước tác dụng tại các đầu neo.

Mô men thứ cấp tại các điểm 1, 2, 3 được xác định như sau:

$$M_{sec1} = M_{PT1} - P * e_L$$

$$M_{sec3} = M_{PT3} - P * e_R$$

$$M_{sec2} = (M_{sec1} + M_{sec3}) / 2 \quad (\text{nội suy})$$

7.10. Shear

Section must be checked and design for possible shear forces namely flexural shear, torsion and punching shear.

7.10.1. Flexural shear

The computer software (e.g. FAGUS) can be used to calculate shear strength and the reinforcement. If the calculation to be performed manually, choose suitable code (e.g. British Standard, ACI etc.)

See ACI 318M-89 section 11.4

7.10.2. Punching shear

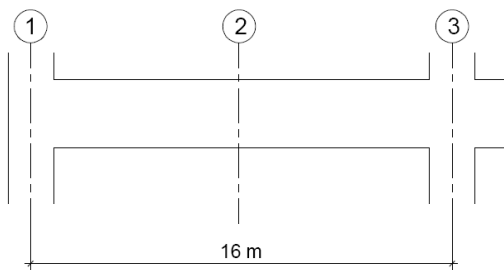
For flat slab, punching shear must be checked.

At present condition, punching shear should be checked manually by referring to available code (ACI, BS, etc.)

See ACI 318M-89 section 11.12

7.11. Example of Service and Ultimate Check

7.11.1. Geometric data



7.10. Lực cắt

Tiết diện phải được kiểm tra và thiết kế cho các trường hợp lực cắt: uốn cắt, xoắn, và chọc thủng.

7.10.1. Uốn cắt

Phần mềm phân tích kết cấu (ví dụ FAGUS) sẽ tính toán độ bền cắt và cốt thép chịu cắt. Nếu tính toán bằng tay có thể sử dụng các tiêu chuẩn như BS hoặc ACI.

Xem ACI 318M-89 mục 11.4

7.10.2. Chọc thủng

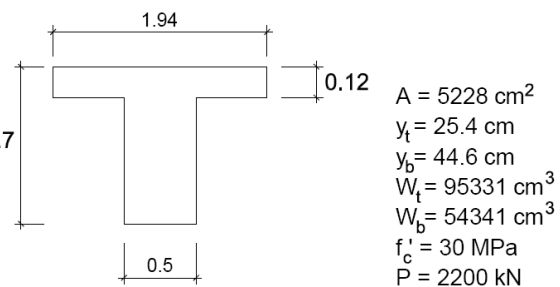
Sàn phẳng cần được kiểm tra chọc thủng.

Tại thời điểm hiện tại, điều kiện chọc thủng có thể kiểm tra bằng tay theo các tiêu chuẩn như BS hoặc ACI.

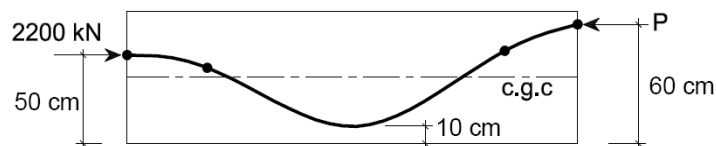
Xem ACI 318M-89 mục 11.12

7.11. Ví dụ tính toán

7.11.1. Thông số hình học

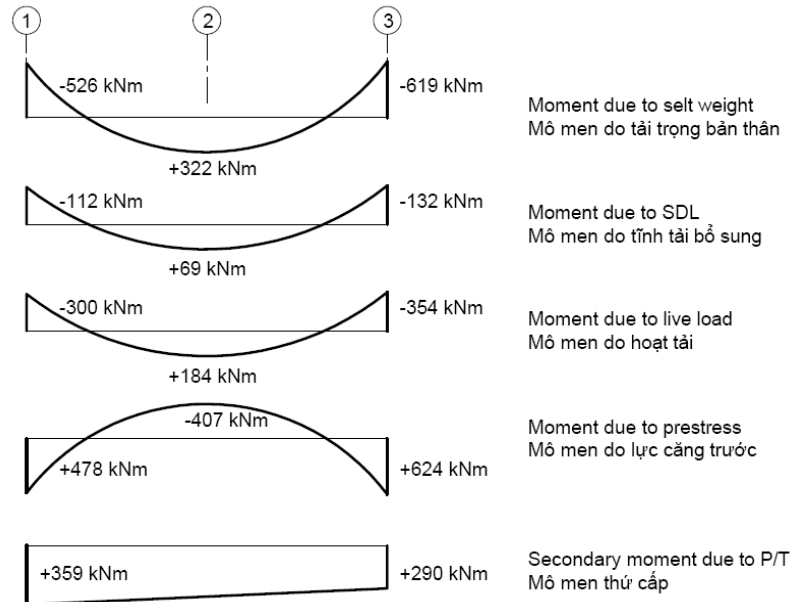


7.11.2. Tendon layout



7.11.2. Quỹ đạo cáp

7.11.3. Internal force (from computer result)



7.11.4. Pre-determining of prestress force

Total moment due to DL + LL:

$$|M_1| = |-526 - 112 - 300| = 938 \text{ kNm}$$

$$|M_2| = |+322 + 69 + 184| = 575 \text{ kNm}$$

$$|M_3| = |-619 - 132 - 354| = 1150 \text{ kNm}$$

Approximated prestress requirement (60% of DL+LL)

$$M_{PT} = 0.6 * \{(938 + 1150)/2 + 575\} = 971.4 \text{ kNm}$$

$$= P * \{(0.5 + 0.6)/2 - 0.1\} = 0.45 * P$$

$$\text{then } P = 971.4 / 0.45 = 2159 \text{ kN}$$

say $P = 2200 \text{ kN}$ to be covered by $2 * 11$ strands (100kN each)

7.11.5. Secondary moment

Secondary moment are extracted from static calculation result:

$$M_{sec1} = 478 - 2200 * (0.50 - 0.446) = 359 \text{ kNm}$$

$$M_{sec3} = 624 - 2200 * (0.6 - 0.446) = 285 \text{ kNm}$$

$$M_{sec2} = (359.2 + 285.2)/2 = 322 \text{ kNm}$$

Secondary moments can be obtained by STATIK by choosing “restraints” for prestress load case in “calculate” menu.

7.11.6. Stress check

The allowable stresses limits:

$$\sigma_{ci}^a = 0.6 * 25 = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ti}^a = -\sqrt{25/4} = -1.25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^a = 0.45 * 30 = 13.50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t^a = -\sqrt{30/2} = -2.74 \text{ MPa}$$

Stresses at extreme locations:

7.11.3. Nội lực (phân tích bằng phần mềm)

Moment due to self weight
Mô men do tải trọng bản thân

Moment due to SDL
Mô men do tĩnh tải bổ sung

Moment due to live load
Mô men do hoạt tải

Moment due to prestress
Mô men do lực căng trước

Secondary moment due to P/T
Mô men thứ cấp

7.11.4. Tính toán sơ bộ lực căng trước

Tổng mô men do DL + LL

$$|M_1| = |-526 - 112 - 300| = 938 \text{ kNm}$$

$$|M_2| = |+322 + 69 + 184| = 575 \text{ kNm}$$

$$|M_3| = |-619 - 132 - 354| = 1150 \text{ kNm}$$

Tính gần đúng lực căng trước (60% của DL+LL)

$$M_{PT} = 0.6 * \{(938 + 1150)/2 + 575\} = 971.4 \text{ kNm}$$

$$= P * \{(0.5 + 0.6)/2 - 0.1\} = 0.45 * P$$

$$\text{do đó } P = 971.4 / 0.45 = 2159 \text{ kN}$$

chọn $P = 2200 \text{ kN}$, sử dụng $2 * 11$ cáp (100kN mỗi cáp)

7.11.5. Mô men thứ cấp

Mô men thứ cấp được xác định bằng các kết quả tính toán trên:

$$M_{sec1} = 478 - 2200 * (0.50 - 0.446) = 359 \text{ kNm}$$

$$M_{sec3} = 624 - 2200 * (0.6 - 0.446) = 285 \text{ kNm}$$

$$M_{sec2} = (359.2 + 285.2)/2 = 322 \text{ kNm}$$

Mô men thứ cấp có thể xác định bằng phần mềm STATIK.

7.11.6. Kiểm tra về ứng suất

Ứng suất cho phép:

$$\sigma_{ci}^a = 0.6 * 25 = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ti}^a = -\sqrt{25/4} = -1.25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^a = 0.45 * 30 = 13.50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t^a = -\sqrt{30/2} = -2.74 \text{ MPa}$$

Kiểm tra tại các vị trí nguy hiểm:

Location (1):

Vị trí (1):

$$\sigma_{topi} = (2200*1.15)/0.5228 + (478*1.15 - 526)/0.095331 = 5087 \text{ kN/m}^2 = 5.09 \text{ MPa}$$

 CHECK: $-1.25 < 5.09 < 15.00 \Rightarrow \text{OK}$

$$\sigma_{boti} = (2200*1.15)/0.5228 - (478*1.15 - 526)/0.054341 = 4403 \text{ kN/m}^2 = 4.40 \text{ MPa}$$

 CHECK: $-1.25 < 4.40 < 15.00 \Rightarrow \text{OK}$

$$\sigma_{top} = 2200/0.5228 + (478 - 526 - 112 - 300)/0.095331 = -617 \text{ kN/m}^2 = -0.62 \text{ MPa}$$

 CHECK: $-2.74 < -0.62 < 13.50 \Rightarrow \text{OK}$

$$\sigma_{bot} = 2200/0.5228 - (478 - 526 - 112 - 300)/0.054341 = 12673 \text{ kN/m}^2 = 12.67 \text{ MPa}$$

 CHECK: $-2.74 < 12.67 < 13.50 \Rightarrow \text{OK}$

Location (2):

Vị trí (2):

$$\sigma_{topi} = (2200*1.15)/0.5228 + (-407*1.15 + 322)/0.095331 = 3307 \text{ kN/m}^2 = 3.31 \text{ MPa}$$

 CHECK: $-1.25 < 3.31 < 15.00 \Rightarrow \text{OK}$

$$\sigma_{boti} = (2200*1.15)/0.5228 - (-407*1.15 + 322)/0.054341 = 7526 \text{ kN/m}^2 = 7.53 \text{ MPa}$$

 CHECK: $-1.25 < 7.53 < 15.00 \Rightarrow \text{OK}$

$$\sigma_{top} = 2200/0.5228 + (-407 + 322 + 69 + 184)/0.095331 = 5970 \text{ kN/m}^2 = 5.97 \text{ MPa}$$

 CHECK: $-2.74 < 5.97 < 13.50 \Rightarrow \text{OK}$

$$\sigma_{bot} = 2200/0.5228 - (-407 + 322 + 69 + 184)/0.054341 = 1116 \text{ kN/m}^2 = 1.12 \text{ MPa}$$

 CHECK: $-2.74 < 1.12 < 13.50 \Rightarrow \text{OK}$

Location (3):

Vị trí (3):

$$\sigma_{topi} = (2200*1.15)/0.5228 + (624*1.15 - 619)/0.095331 = 5873 \text{ kN/m}^2 = 5.87 \text{ MPa}$$

 CHECK: $-1.25 < 5.87 < 15.00 \Rightarrow \text{OK}$

$$\sigma_{boti} = (2200*1.15)/0.5228 - (624*1.15 - 619)/0.054341 = 3024 \text{ kN/m}^2 = 3.02 \text{ MPa}$$

 CHECK: $-1.25 < 3.02 < 15.00 \Rightarrow \text{OK}$

$$\sigma_{top} = 2200/0.5228 + (624 - 619 - 132 - 354)/0.095331 = -837 \text{ kN/m}^2 = -0.84 \text{ MPa}$$

 CHECK: $-2.74 < -0.84 < 13.50 \Rightarrow \text{OK}$

$$\sigma_{bot} = 2200/0.5228 - (624 - 619 - 132 - 354)/0.054341 = 13060 \text{ kN/m}^2 = 13.06 \text{ MPa}$$

 CHECK: $-2.74 < 13.06 < 13.50 \Rightarrow \text{OK}$

The stresses calculation can be performed by STATIK. Moment due to P/T balanced load have to be assigned by choosing “Both part” for prestresses load case in “calculate” menu.

Please be careful with the sign convention for stress in STATIK, which is the opposite of the sign convention in this example.

In STATIK, the sign “-” indicates compressive stress and “+” indicates tensile stress.

Việc kiểm tra ứng suất có thể được thực hiện bằng phần mềm STATIK.

7.11.7. Ultimate strength check

7.11.7. Kiểm tra về trạng thái tối hạn

Factored internal moment in extreme loactions:

Mô men đã nhân với hệ số tại các vị trí nguy hiểm:

$$1. M_{u1} = 1.4*(-526 - 112) + 1.6*(-300) + 1.0*359 = -1014 \text{ kNm}$$

$$2. M_{u2} = 1.4*(322 + 69) + 1.6*184 + 1.0*322 = 1163 \text{ kNm}$$

$$3. M_{u3} = 1.4*(-619 - 132) + 1.6*(-354) + 1.0*285 = -1333 \text{ kNm}$$

The factored moments to be used as input for ultimate

Việc kiểm tra có thể thực hiện trong phần mềm tính

check by computer software (e.g. FAGUS). The moments to be input with axial load at the same time. The axial load come from prestress load, P. Be careful with the sign for axial force in FAGUS, which is the opposite of the sign convention in this example. In FAGUS, the sign “-“ means compression, therefore, $N = -2000$ to be input in FAGUS. For moments, the sign which is used at this example is also valid for FAGUS.

Ultimate check result (by FAGUS):

Ultimate strength factor at extreme locations:

1. ult. Strength factor = $1.023 > 1 \Rightarrow \text{OK}$
2. ult. Strength factor = $1.343 > 1 \Rightarrow \text{OK}$
3. ult. Strength factor = $1.001 > 1 \Rightarrow \text{OK}$

7.11.8. Shear design

Factored shear force at extreme locations are:

1. $V_{u1} = 1.4 \cdot (218+46) + 1.6 \cdot 125 = 570 \text{ kN}$
3. $V_{u3} = 1.4 \cdot (-229-49) + 1.6 \cdot (-131) = -599 \text{ kN}$

These shear force to be input with related moments and axial force.

The shear force at location 2 is not significant in this case.

Required stirrup area that are read from FAGUS result at extreme locations:

1. $A_{v1} = 55.55 \text{ cm}^2/\text{m}$
Choose rebar $\phi 12 \Rightarrow \text{area} = 1.13 \text{ cm}^2/\text{leg}$
 $\Rightarrow$ use 4 legs $\phi 12$ @ 80mm spacing
3. $A_{v3} = 52.86 \text{ cm}^2/\text{m}$
Choose rebar $\phi 12 \Rightarrow \text{area} = 1.13 \text{ cm}^2/\text{leg}$
 $\Rightarrow$ use 4 legs $\phi 12$ @ 80mm spacing

At field of span use $(1/2) \cdot (\text{used area at support})$, hence, at field: 4 legs $\phi 12$ spread along 8m @ 160mm spacing shall be used.

toán kết cấu (ví dụ FAGUS).

Kết quả kiểm tra được thực hiện bởi FAGUS:

Tỉ số bền tại các vị trí nguy hiểm:

1. tỉ số bền = $1.023 > 1 \Rightarrow \text{OK}$
2. tỉ số bền = $1.343 > 1 \Rightarrow \text{OK}$
3. tỉ số bền = $1.001 > 1 \Rightarrow \text{OK}$

7.11.8. Thiết kế chịu cắt

Lực cắt đã nhân hệ số tại các vị trí nguy hiểm:

Kiểm tra khả năng chịu cắt cần xét đến ảnh hưởng của mô men và lực dọc.

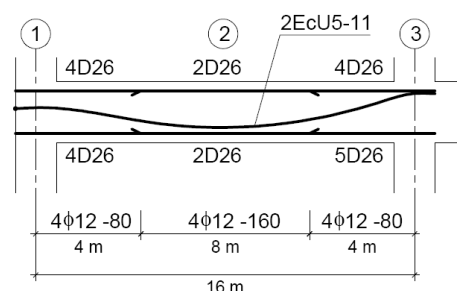
Lực cắt tại vị trí 2 không cần kiểm tra do giá trị không đáng kể

Cốt đai được tính toán bằng FAGUS, tại các vị trí nguy hiểm:

1. $A_{v1} = 55.55 \text{ cm}^2/\text{m}$
Chọn đai $\phi 12 \Rightarrow \text{diện tích} = 1.13 \text{ cm}^2/\text{leg}$
 $\Rightarrow$ sử dụng 4 nhánh $\phi 12$ @ 80mm
3. $A_{v3} = 52.86 \text{ cm}^2/\text{m}$
Chọn đai $\phi 12 \Rightarrow \text{diện tích} = 1.13 \text{ cm}^2/\text{leg}$
 $\Rightarrow$ sử dụng 4 nhánh $\phi 12$ @ 80mm

Tại vùng giữa nhịp, sử dụng đai có hàm lượng = 50% tại các đầu gối, sử dụng 4 nhánh $\phi 12$ @ 80mm

Design conclusion:



NOTE: Stirrups not sketched for clarity

Kết luận:

Code: BS5400
 $f_c' = 30 \text{ MPa}$
 Long. rebar: $f_y = 460 \text{ MPa}$ (cốt dọc)
 Stirrup: $f_y = 250 \text{ MPa}$ (cốt đai)
 Strand: $2 \times 1 \frac{1}{2} \phi 0.5"$, 1860 MPa (cáp)

GHI CHÚ: cốt đai không được thể hiện trong hình này

7.12. Example of punching Shear Check

Punching Shear Check to BS 8110-1985

Input Data

$h = 400 \text{ mm}$
 $a = 800 \text{ mm}$
 $b = 800 \text{ mm}$
 $d = 360 \text{ mm}$
 $b_v = 1800 \text{ mm}$
 $f_{cu} = 35 \text{ MPa}$
 $A_s = 26782 \text{ mm}^2$
 $V_u = 1157 \text{ kN}$
 $M_u = 600 \text{ kNm}$
 $N = 4000 \text{ kN}$
 $\gamma_m = 1.25$

NOTE

f_{cu} = cube concrete strength ($= 1.2f_c'$)
 A_s = equivalent steel area to $f_y = 460 \text{ MPa}$
 V_u = factored column reaction or concentrated load
 A_c = Loaded area or column size ($= a*b$)
 b_v = width for considered steel area

Stress check at column face

Condition: $v_{max} < 0.8\sqrt{f_{cu}}$ or 5 MPa

Equation: $v_{max} = V_u/(u_o*d)$

$$u_o = 2b + 2a$$

Calculation: $0.8\sqrt{f_{cu}} = 4.73 \text{ MPa}$

$$u_o = 3200 \text{ mm}$$

$$v_{max} = 1.00 \text{ MPa}$$

Conclusion: $V_{max} = 1.00 < 4.73$ and 5
shear capacity OK

Stress check at first shear perimeter

Condition: $v < v_c'$

Equation: $v_c' = v_c + 0.6N/A_c * V_u * h/M_u$

where $V_u \cdot h/M_u \text{ not} > 1$

$$v_c = [0.79 * (100A_s/(b_v * d))^{1/3} * (400/d)^{1/4} * (f_{cu}/25)^{1/3}] / \gamma_m$$

where $100A_s/(b_v * d) \text{ not} > 3$, $400/d \text{ not} < 1$, $f_{cu} \text{ not} > 40$

$$v = V_u/(u * d)$$

$$u = 2 * (a + 2 * 1.5d) + 2 * (b + 2 * 1.5d)$$

Calculation: $100A_s/(b_v * d) = 4.13$

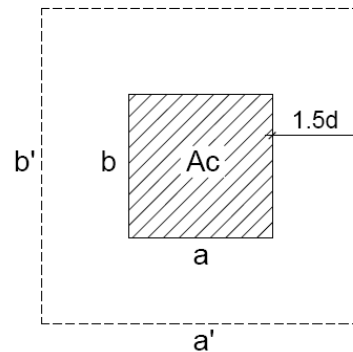
$$400/d = 1.11$$

$$V_u * h/M_u = 0.77$$

7.12. Ví dụ kiểm tra chọc thủng

Kiểm tra chọc thủng theo BS 8110-1985

Số liệu đầu vào



GHI CHÚ

f_{cu} = cường độ mẫu lập phương ($= 1.2f_c'$)

A_s = diện tích thép quy đổi theo $f_y = 460 \text{ MPa}$

V_u = phản lực chân cột hoặc lực tập trung, đã nhân hệ số

A_c = diện chịu tải hoặc diện tích cột ($= a*b$)

b_v = chiều rộng bố trí cốt thép

Kiểm tra về ứng suất tại mép cột

Điều kiện: $v_{max} < 0.8\sqrt{f_{cu}}$ hoặc 5 MPa

Công thức: $v_{max} = V_u/(u_o * d)$

$$u_o = 2b + 2a$$

Tính toán: $0.8\sqrt{f_{cu}} = 4.73 \text{ MPa}$

$$u_o = 3200 \text{ mm}$$

$$v_{max} = 1.00 \text{ MPa}$$

Kết luận: $V_{max} = 1.00 < 4.73$ và 5

Đảm bảo khả năng chịu cắt

Kiểm tra về ứng suất tại chu vi đầu tiên

Điều kiện: $v < v_c'$

Công thức: $v_c' = v_c + 0.6N/A_c * V_u * h/M_u$

trong đó $V_u \cdot h/M_u \leq 1$

$$v_c = [0.79 * (100A_s/(b_v * d))^{1/3} * (400/d)^{1/4} * (f_{cu}/25)^{1/3}] / \gamma_m$$

trong đó $100A_s/(b_v * d) \leq 3$, $400/d \geq 1$, $f_{cu} \leq 40$

$$v = V_u/(u * d)$$

$$u = 2 * (a + 2 * 1.5d) + 2 * (b + 2 * 1.5d)$$

Tính toán: $100A_s/(b_v * d) = 4.13$

$$400/d = 1.11$$

$$V_u * h/M_u = 0.77$$

$u = 7520 \text{ mm}$
 $v = 0.43 \text{ MPa}$
 $v_c = 1.05 \text{ MPa}$
 $v_c' = 3.62 \text{ Mpa}$
 Conclusion: $v = 0.43 < v_c' = 3.62$
shear capacity OK

$u = 7520 \text{ mm}$
 $v = 0.43 \text{ MPa}$
 $v_c = 1.05 \text{ MPa}$
 $v_c' = 3.62 \text{ Mpa}$
 Kết luận: $v = 0.43 < v_c' = 3.62$
Đảm bảo khả năng chịu cắt