

PGS. Phan Quang Minh (HUCE)

**THIẾT KẾ SÀN
BÊ TÔNG ÚNG LỰC TRƯỚC**

Hà nội 2007

Chương I

KẾT CẤU BÊ TÔNG ỨNG SUẤT TRƯỚC

I.1 Khái niệm chung về bê tông ứng suất trước:

Bê tông ứng lực trước (BT ULT) là bê tông, trong đó thông qua lực nén trước để tạo ra và phân bố một lượng ứng suất bên trong phù hợp nhằm cân bằng với một lượng mong muốn ứng suất do tải trọng ngoài gây ra. Với các cấu kiện BT ULT, ứng suất thường được tạo ra bằng cách kéo thép cường độ cao.

Bê tông thường có cường độ chịu kéo rất nhỏ so với cường độ chịu nén. Đó là nhân tố dẫn đến việc xuất hiện một loại vật liệu hỗn hợp là “bê tông cốt thép” (BTCT).

Việc xuất hiện sớm của các vết nứt trong BTCT do biến dạng không tương thích giữa thép và bê tông là điểm khởi đầu cho việc xuất hiện một loại vật liệu mới là “bê tông ứng suất trước”. Việc tạo ra một ứng suất nén cố định cho một vật liệu chịu nén tốt nhưng chịu kéo kém như bê tông sẽ làm tăng đáng kể khả năng chịu kéo vì ứng suất kéo xảy ra sau khi ứng suất nén đã bị vô hiệu. Sự khác nhau cơ bản giữa BTCT và bê tông ULT là ở chỗ trong khi BTCT chỉ là sự kết hợp đơn thuần giữa bê tông và cốt thép để chúng cùng làm việc một cách bị động thì bê tông ULT là sự kết hợp một cách tích cực, có chủ ý giữa bê tông cường độ cao và cốt thép cường độ cao. Trong cấu kiện bê tông ULT, người ta đặt vào một lực nén trước tạo bởi việc kéo cốt thép, nhờ tính đàn hồi, cốt thép có xu hướng co lại và sẽ tạo nên lực nén trước, lực nén trước này gây nên ứng suất nén trước trong bê tông và sẽ triệt tiêu hay làm giảm ứng suất kéo do tải trọng sử dụng gây ra, do vậy làm tăng khả năng chịu kéo của bê tông và làm hạn chế sự phát triển của vết nứt. Sự kết hợp rất hiệu quả đó đã tận dụng được các tính chất đặc thù của hai loại vật liệu, đó là trong khi thép có tính đàn hồi và cường độ chịu kéo cao thì bê tông là vật liệu dòn và có cường độ chịu kéo rất nhỏ so với cường độ chịu nén của nó. Như vậy ứng lực trước chính là việc tạo ra cho kết cấu một cách có chủ ý các ứng suất tạm thời nhằm tăng cường sự làm việc của vật liệu trong các điều kiện sử dụng khác nhau. Chính vì vậy

bê tông ULT đã trở thành một sự kết hợp lý tưởng giữa hai loại vật liệu hiện đại có cường độ cao.

So với BTCT thường, BTCT ứng suất trước có các ưu điểm cơ bản sau:

- Cần thiết và có thể dùng được thép cường độ cao.

Ứng suất trong thép thông thường giảm từ 100 đến 240Mpa , như vậy, để phân ứng suất bị mất đi chỉ là một phần nhỏ của ứng suất ban đầu thì ứng suất ban đầu của thép phải rất cao, vào khoảng 1200 đến 2000Mpa. Để đạt được điều này thì việc sử dụng thép cường độ cao là thích hợp nhất.

Cần phải sử dụng bê tông cường độ cao trong BTCT ULT vì loại vật liệu này có khả năng chịu kéo, chịu cắt, chịu uốn cao và sức chịu tải cao. Bê tông cường độ cao ít xảy ra vết nứt do co ngót, có mô đun đàn hồi cao hơn, biến dạng do từ biến ít hơn, do đó ứng suất trước trong thép sẽ bị mất ít hơn. Việc sử dụng bê tông cường độ cao sẽ làm giảm kích thước tiết diện ngang của cấu kiện. Việc giảm trọng lượng của cấu kiện, vượt nhịp lớn hơn sẽ làm tăng hiệu quả kinh tế và kỹ thuật.

- Có khả năng chống nứt cao hơn (do đó khả năng chống thấm tốt hơn). Dùng BTCT ULT, người ta có thể tạo ra các cấu kiện không xuất hiện các khe nứt trong vùng bê tông chịu kéo hoặc hạn chế sự phát triển bề rộng của khe nứt khi chịu tải trọng sử dụng.

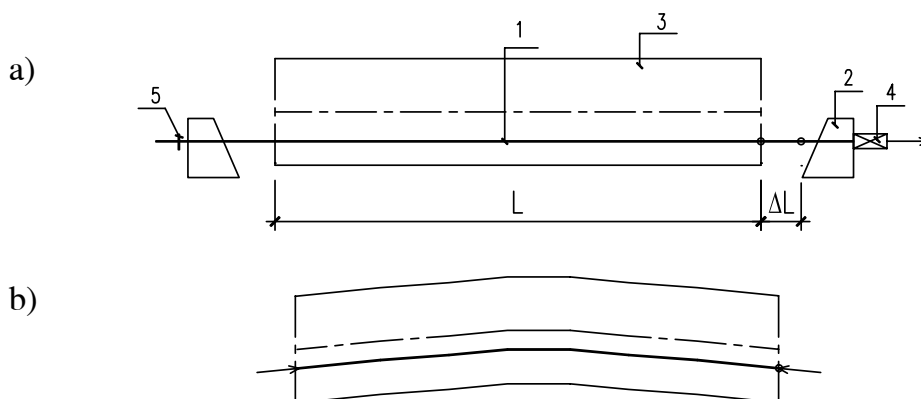
- Có độ cứng lớn hơn (do đó có độ võng và biến dạng bé hơn).

I.2 Các phương pháp gây ứng suất trước:

I.2.1 Phương pháp căng trước:

Phương pháp này thường sử dụng cho quy trình sản xuất các cấu kiện đúc sẵn. Cốt thép ULT được neo một đầu cố định vào bệ còn đầu kia được kéo ra với lực kéo N. Dưới tác dụng của lực N, cốt thép được kéo trong giới hạn đàn hồi và sẽ giãn dài ra một đoạn, tương ứng với các ứng suất xuất hiện trong cốt thép. Khi đó, đầu còn lại của cốt thép được cố định nốt vào bệ. Đổ bê tông, đợi cho bê tông đông cứng và đạt cường độ cần thiết thì buông cốt thép. Như một lò xo bị kéo căng, các cốt thép này có xu hướng co ngắn lại và thông qua lực dính giữa thép và bê tông, cấu kiện sẽ bị nén với giá trị bằng lực N đã dùng khi kéo cốt thép. Ưu điểm của phương pháp

căng trước là có thể phân bố lực nén đều đặn trong cấu kiện. Nhược điểm của phương pháp này là phải lắp đặt bộ tỳ phức tạp.



Hình I.1: Sơ đồ phương pháp căng trước

a- Trước khi buông cốt thép ULT; b- Sau khi buông cốt thép ULT

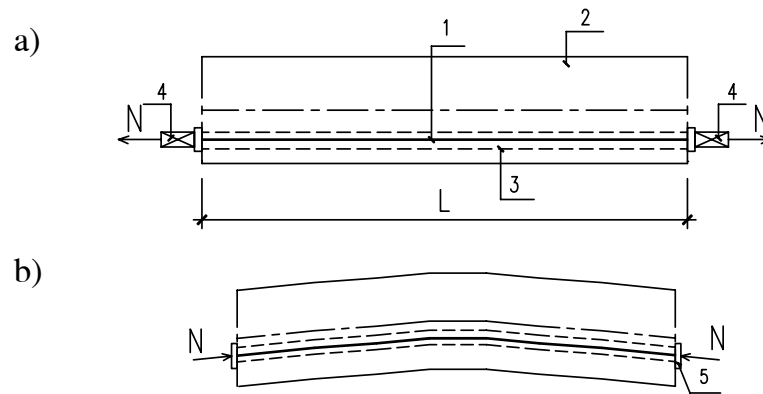
1- Cốt thép ULT; 2 - Bộ căng; 3 - Ván khuôn;

4 - Thiết bị kéo thép; 5 - Thiết bị cố định thép.

I.2.2 Phương pháp căng sau:

Phương pháp này thường sử dụng cho kết cấu bê tông đổ tại chỗ. Trước hết đặt thép ULT và cốt thép thông thường rồi đổ bê tông. Khi bê tông đạt đến cường độ nhất định thì tiến hành căng cốt thép với ứng suất quy định. Sau khi căng xong, cốt thép ULT được neo chặt vào đầu cấu kiện, thông qua các neo đó, cấu kiện sẽ bị nén bằng lực đã dùng khi kéo căng cốt thép. Trong phương pháp căng sau, kết cấu BTCT ULT được chia làm 2 loại: kết cấu bê tông ULT dùng cáp dính kết và kết cấu bê tông ULT dùng cáp không dính kết. Loại kết cấu bê tông ULT dùng cáp dính kết, khi thi công phải đặt sẵn ống gen để luồn cáp, sau khi kéo căng cốt thép, tiến hành bơm phụt vữa xi măng mác cao để chèn lấp khe hở giữa cáp thép và ống gen. Đầu cáp thép được neo chặt bằng nôm vào bê tông và trở thành các điểm tựa truyền lực nén vào bê tông.

Ưu điểm của phương pháp căng sau là không cần bộ tỳ riêng, có thể dễ dàng thi công kéo căng thép tại vị trí kết cấu tại công trình như thân xi lô, ống khói, dầm, sàn...



Hình I.2: Sơ đồ phương pháp căng sau

a - Trong quá trình căng; b- Sau khi căng

1- Cốt thép ULT; 2 - Cấu kiện BTCT; 3 - ống rãnh;

4 - Thiết bị kích; 5 - Neo.

I.2.3 Một số công nghệ khác tạo ứng suất trước:

Ngoài 2 phương pháp căng trước và căng sau, trong BTCT ứng suất trước còn sử dụng một số phương pháp sau:

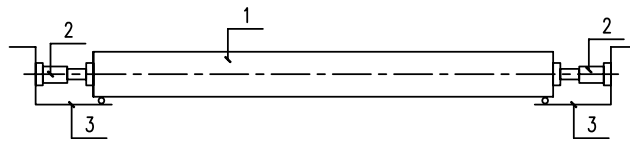
I.2.3.1 Sử dụng xi măng nở tạo ứng suất trước trong bê tông:

Theo phương pháp này, trong quá trình ninh kết và phát triển cường độ, xi măng nở làm tăng thể tích, các cốt thép trong bê tông sẽ ngăn cản sự dẫn nở của xi măng, kết quả là trong bê tông có một lực nén khoảng 600-700Mpa.

Người ta có thể sử dụng loại xi măng đặc biệt cho sự trương nở này. Song, thực tế cũng có thể biến xi măng Pooclang thông thường thành loại xi măng đặc biệt này bằng cách trộn thêm phụ gia aluminat và thạch cao. Loại xi măng trương nở tự tạo ứng suất trước này dùng để chế tạo các kết cấu như bể chứa, cầu tàu, cọc, dầm, panen mái che cho nhà công nghiệp. Phương pháp này còn gọi là phương pháp hoá học để tạo ULT.

I.2.3.2 Dùng kích ép ngoài để tạo ứng suất trước:

Khác với 2 phương pháp căng trước và căng sau, kích đặt ở 2 đầu kết cấu không dùng để kéo căng cốt thép ra mà dùng để ép chặt cấu kiện bê tông lại, cấp hoặc cốt thép được neo vào các gối tựa. Sau khi bỏ kích ra, tạo ra trường ULT luôn được duy trì trong kết cấu.



Hình I.3: Sơ đồ tạo ULT bằng kích ép ngoài
1 - Cấu kiện BTCT ULT; 2 - Kích; 3 - Bệ đỡ

I.3 Vật liệu sử dụng cho bê tông ứng suất trước:

I.3.1 Bê tông cường độ cao:

Bê tông ứng suất trước yêu cầu sử dụng bê tông đạt cường độ chịu nén cao trong thời gian ngắn với cường độ chịu kéo tương đối cao hơn so với bê tông thông thường, độ co ngót thấp, tính từ biến thấp nhất và giá trị mô đun đàn hồi lớn. Theo tiêu chuẩn Ấn Độ IS:1343-1980, cường độ chịu nén của khối lập phương tại 28 ngày tuổi là 40Mpa đối với cấu kiện căng trước và 30Mpa đối với cấu kiện căng sau. Theo tiêu chuẩn ACI318, bê tông đạt cường độ chịu nén tại 28 ngày tuổi từ 27.58 đến 68.95 Mpa.

I.3.1.1 Ứng suất cho phép trong bê tông theo tiêu chuẩn ACI 318-2002:

Ứng suất cho phép trong bê tông được quy định và khống chế tùy theo từng tiêu chuẩn. Theo tiêu chuẩn ACI 318-2002 được quy định như sau:

I.3.1.1.1 Ứng suất trong bê tông ngay sau khi truyền lực ứng suất trước (trước khi xảy ra tổn hao ứng suất) không được vượt quá các giá trị sau:

+ Ứng suất nén lớn nhất: $0.60f_{ci}'$.

+ Ứng suất kéo tại 2 đầu mút của cấu kiện có gối tựa đơn giản: $0.5\sqrt{f_{ci}'}$

+ Ứng suất kéo tại các vị trí khác: $0.25\sqrt{f_{ci}'}$

Nếu ứng suất kéo vượt quá các giá trị trên thì cần bố trí thêm thép chịu kéo (thép thường hoặc thép ứng suất trước) vào vùng chịu kéo để chịu tổng lực kéo trong bê tông được tính toán với giả thiết tiết diện không bị nứt.

I.3.1.1.2 Ứng suất ứng với tải trọng làm việc (sau khi đã xảy ra tổn hao ứng suất):

+ Ứng suất nén lớn nhất do tải trọng dài hạn: $0.45f_c'$.

- + Ứng suất nén lớn nhất do tổng tải trọng: $0.60f_c'$.
- + Ứng suất kéo lớn nhất với tiết diện không cho phép nứt: $0.5\sqrt{f_c'}$
- + Ứng suất kéo lớn nhất với tiết diện cho phép nứt: $\sqrt{f_c'}$

Ứng suất có thể vượt quá ứng suất cho phép nếu phân tích và kiểm tra chứng tỏ được kết cấu không bị hư hỏng.

I.3.1.2 Mô đun đàn hồi của bê tông:

Đặc trưng ứng suất - biến dạng của bê tông khi chịu nén không phải là tuyến tính nhưng với tải trọng không vượt quá 30% cường độ phá hoại thì có thể giả thiết biến dạng là tuyến tính. Cần xác định đặc tính biến dạng của bê tông dưới tác dụng của tải trọng ngắn hạn và tải trọng dài hạn để xác định cường độ chịu uốn và mô đun đàn hồi, từ đó tính toán độ võng của cấu kiện ứng suất trước. Mô đun đàn hồi của bê tông tăng lên cùng với cường độ chịu nén trung bình của bê tông nhưng với tốc độ chậm hơn. Theo tiêu chuẩn ACI 318-2002, mô đun đàn hồi của bê tông: $E_c=4730\sqrt{f_c'}$ (Mpa).

I.3.2 Thép cường độ cao:

Thép ứng suất trước có thể là sợi, cáp hoặc thanh thép hợp kim.

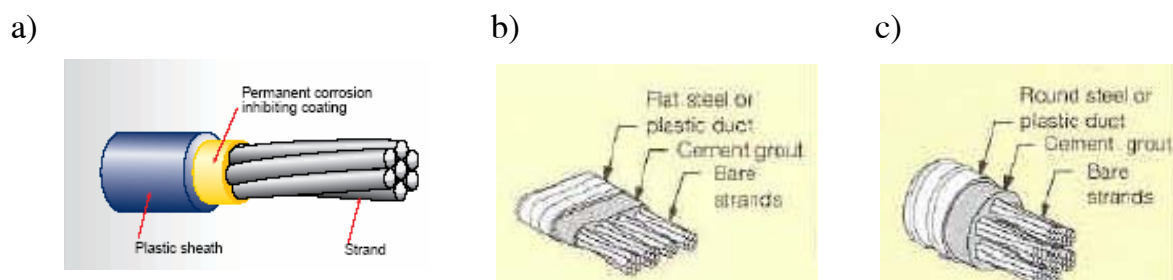
- Thép sợi sử dụng cho bê tông ULT nói chung tuân theo tiêu chuẩn ASTM A-421. Sợi thép được quấn thành cuộn và được cất và lắp ở nhà máy hay tại hiện trường. Trước khi thi công, sợi thép cần được vệ sinh bề mặt để tăng lực dính kết với bê tông.
- Cáp ứng suất trước phổ biến nhất là loại cáp 7 sợi, có cường độ chịu kéo tới hạn f_{pu} là 1720Mpa và 1860Mpa, kết dính hoặc không kết dính.

Hiện nay, ngoài loại cáp đơn 7 sợi còn có loại cáp bao gồm nhiều cáp đơn kết hợp với nhau. Loại cáp này có ưu điểm là mỏng, nhẹ và dẻo.

- Thép thanh sử dụng cho bê tông ULT tuân theo tiêu chuẩn ASTM A-322 và A-29, với yêu cầu có ứng suất phá hoại đạt tới 90% cường độ giới hạn. Mặc dù cường độ giới hạn thực tế thường đạt tới 1100 MPa, nhưng giá trị tiêu chuẩn nhỏ nhất thường lấy là 1000 MPa. Hầu hết các tiêu chuẩn thường đưa ra giới hạn chảy nhỏ

nhất là 896 MPa mặc dù giá trị thực tế còn cao hơn. Độ giãn dài nhỏ nhất tại lúc phá hoại ở vị trí chiều dài bằng 20 lần đường kính là 4%, với độ giảm nhỏ nhất của tiết diện tại lúc phá hoại là 25%.

Thép cường độ cao được sản xuất từ hợp kim bao gồm mangan, silic, cacbon,...bằng phương pháp cán nguội hoặc bằng phương pháp cán nóng và được tôi, làm cho cứng.



Hình I.4: Các loại cáp ứng suất trước

a-Cáp 7 sợi(cáp đơn) b-Cáp dẹt c-Cáp nhiều sợi

Ứng suất kéo cho phép trong thép theo ACI:

+ Ứng suất lớn nhất do căng thép (trước khi truyền ứng suất) không được vượt quá số nhỏ hơn của: $0.80f_{pu}$ và $0.94f_{py}$

+ Ứng suất kéo lớn nhất ngay sau khi truyền lực ứng suất trước không được vượt quá số nhỏ hơn của: $0.74f_{pu}$ và $0.82f_{py}$

+ Ứng suất lớn nhất trong thép căng sau tại vùng neo ngay sau khi neo thép: $0.70f_{pu}$

Bảng I.1 Một số đặc tính của cáp ứng suất trước

Loại cáp		13mm		15mm	
		EN318 hoặc	ASTM A416	EN318 hoặc	ASTM A416
		BS 5896 super	Grade 270	BS 5896 super	Grade 270
Đường kính danh định	mm	12.9	12.7	15.7	15.2
Diện tích danh định	mm ²	100	98.7	150	140
Khối lượng danh định	kg/m	0.785	0.775	1.18	1.1
Cường độ chịu cắt	Mpa	1580	1670	1500	1670
Cường độ chịu kéo	Mpa	1860	1860	1770	1860
Tải trọng phá hoại nhỏ nhất	kN	186	183.7	265	260.7
Mô đun đàn hồi	GPa	195			
Độ giãn dài	%	lớn nhất		2.5	

I.3.3 Các vật liệu khác:

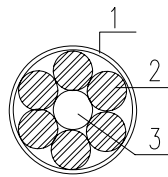
Ngoài 2 vật liệu chính là bê tông cường độ cao và thép cường độ cao còn có một số vật liệu khác:

I.2.3.1 Ống gen:

Đối với bê tông ULT căng sau dính kết thì cần đặt sẵn ống gen trong bê tông. Có 2 loại ống gen thường dùng:

- Loại bằng tôn mỏng 0.2 - 0.3mm có pha chì để làm giảm ma sát cuộn mép và cuộn theo kiểu xoắn ruột gà.
- Ống gen bằng các loại ống kim loại, ống tròn trơn có bề dày 2 - 4mm.

Yêu cầu ống gen là phải chống thấm tốt để giữ cho nước xi măng không thấm vào ống trong quá trình đổ bê tông và bảo vệ cáp, ống phải bền không bị hư hỏng biến dạng trong quá trình thi công. Tuy nhiên, ống lại phải mềm để đặt cong theo thiết kế và ma sát giữa ống gen với cáp không được quá lớn.



Hình I.5: Cấu tạo ống gen

1-ống gen; 2- bó cáp; 3- lõi phụt vữa

I.2.3.2 Vữa phụt:

Sau khi căng cáp và neo, cần lấp đầy kẽ hở trong ống gen bằng vữa xi măng. Vữa được phụt vào ống gen dưới áp lực khoảng 6atm. Cường độ của vữa sau 7 ngày ít nhất phải đạt 2000Mpa.

I.4 Thiết bị sử dụng tạo ứng suất trước:

I.4.1 Phương pháp căng trước:

Hệ thống tạo ULT bao gồm hai khối neo đặt cách nhau một khoảng cách nào đó, thép ULT được căng giữa hai khối neo này trước khi đổ bê tông, lực căng được tạo bởi các kích thủy lực hoặc kích vít lớn.

I.4.1 Phương pháp căng sau:

Các thiết bị cần thiết đối với phương pháp căng sau bao gồm:

- Bơm và kích tạo ULT
- Neo
- Máy luôn cáp
- Thiết bị cắt cáp
- Hỗn hợp vữa và bơm vữa

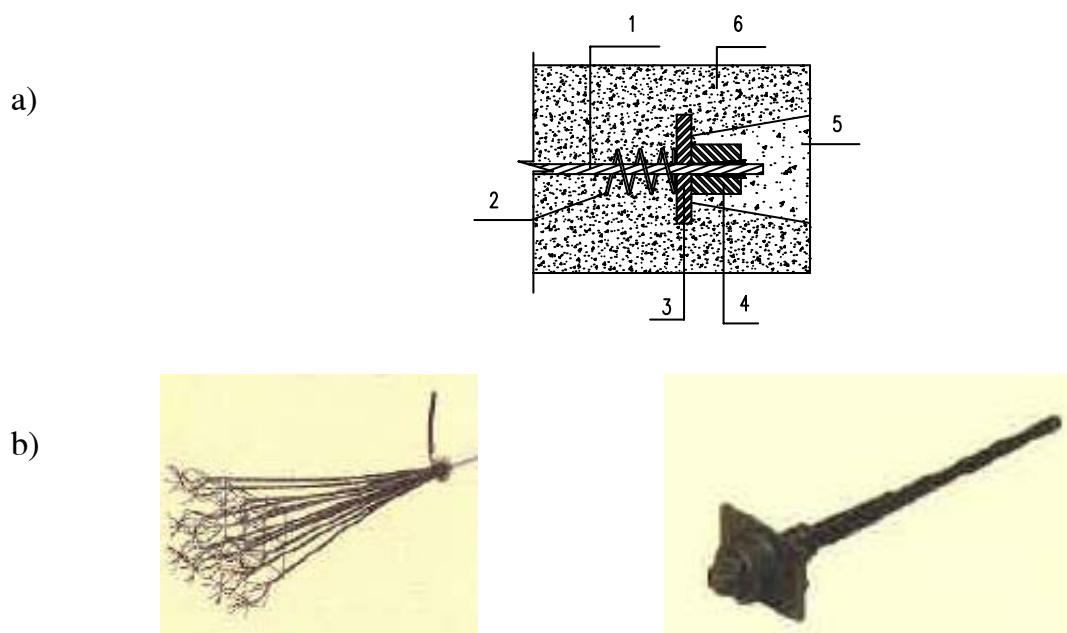
Máy luôn cáp và thiết bị để bơm vữa chỉ cần thiết đối với cấu kiện bê tông ULT sử dụng cáp dính kết. Cáp có thể được luôn vào ống dẫn trước khi đặt ống dẫn vào vị trí hoặc sau khi đặt ống dẫn vào vị trí. Nếu cáp ngắn thì không cần sử dụng máy luôn cáp.

Neo được thiết kế để cố định cáp ở cả hai đầu cáp. Đối với cáp không dài lắm (dưới 30m), có thể bố trí một đầu neo cố định và một đầu neo công tác. Khi cáp quá dài thì bố trí neo công tác tạo ULT ở cả hai đầu để tránh tổn hao ứng suất do ma sát. Cấu tạo neo đơn giản, cáp cần phải dài quá đầu neo một đoạn và sẽ được cắt ngắn sau khi truyền lực ứng suất. Hiện nay neo công tác được sử dụng phổ biến nhất là hệ neo Freyssinet dùng nêm hình côn để kẹp chặt sợi cáp. Neo bao gồm bản đệm bằng thép có lỗ để cáp luôn qua, nêm hình côn và lò xo để tránh ứng suất cục bộ trong bê tông vùng neo. Nêm hình côn sẽ tự động dịch chuyển về phía bản đệm để khoá cáp và có tác dụng như một bộ phận truyền ứng suất tự động. Neo được chế tạo để thuận lợi cho việc đo độ dài của cáp và gia tải ULT.

Có 4 dạng thiết bị căng thép

- Căng bằng thiết bị cơ khí: thiết bị này thường bao gồm các khối nặng có hoặc không có bộ truyền lực đòn bẩy, bộ truyền lực bánh răng kết hợp với khối ròng rọc có hoặc không có bánh răng và máy cuốn sợi. Thiết bị này được sử dụng chủ yếu để sản xuất các thành phẩm bê tông ULT trong nhà máy với quy mô lớn.
- Căng bằng thiết bị thủy lực: đây là thiết bị đơn giản nhất để tạo ra lực ULT lớn, được sử dụng rộng rãi. Các kích thủy lực thông dụng có lực căng từ 5-100 tấn. Các kích thủy lực lớn có lực căng từ 200-600 tấn. Khi sử dụng kích thủy lực, quan trọng nhất là phải đo chính xác lực căng trong suốt quá trình căng.

- Căng bằng nguyên lý điện học: phương pháp này tạo lực ULT bằng cách nung nóng cáp bằng dòng điện, cáp được neo trước khi đổ bê tông. Thép được nung nóng ở nhiệt độ 300-400⁰C trong vòng 3-5 phút. Thép sẽ giãn dài ra khoảng 0.4-0.5%. Sau khi nguội, thép sẽ co ngắn lại nhưng bị neo cản trở. Thời gian thép nguội khoảng 12-15 phút. Phương pháp này có thể tạo ra ứng suất căng ban đầu từ 500-600 Mpa.
- Căng bằng phương pháp hoá học: sử dụng xi măng trương nở để tạo ULT, độ giãn nở được điều chỉnh bằng phương pháp bảo dưỡng.



Hình I.6: Cấu tạo neo

a- Neo công tác; b- Neo cố định

1-Cáp ; 2- đai xoắn; 3- bản thép đệm; 4- neo;

5- vữa xi măng bịt lỗ neo; 6- cấu kiện bê tông.

I.5 Tổn hao ứng suất:

Ứng suất ban đầu trong bê tông sẽ giảm theo thời gian từ khi truyền ứng suất do nhiều nguyên nhân. Hiện tượng này được gọi là “tổn hao ứng suất”. Việc xác định chính xác độ lớn của tổn hao ứng suất rất cần thiết khi thiết kế. Có nhiều nguyên nhân gây tổn hao ứng suất. Có loại hao ứng suất xảy ra ngay sau khi truyền ứng suất, có loại hao ứng suất xảy ra theo thời gian.

Bảng I.2 là một số loại hao ứng suất trong bê tông ULT sử dụng phương pháp căng trước và căng sau.

Bảng I.2 Các loại hao ứng suất

STT	Căng trước	STT	Căng sau
1	Do biến dạng đàn hồi của bê tông	1	Nếu các sợi cáp được căng đồng thời thì không xảy ra hao ứng suất do biến dạng đàn hồi. Nếu các sợi cáp được căng lần lượt thì sẽ xảy ra hao ứng suất do biến dạng đàn hồi của bê tông
2	Do chùng ứng suất trong thép	2	Do chùng ứng suất trong thép
3	Do co ngót của bê tông	3	Do co ngót của bê tông
4	Do từ biến của bê tông	4	Do từ biến của bê tông
		5	Do ma sát
		6	Do biến dạng neo

Tổn hao ứng suất tổng cộng cho phép trong thiết kế:

Khi thiết kế các cấu kiện bê tông ULT, người ta thường giả thiết tổng tổn hao ứng suất bằng một tỷ lệ phần trăm của ứng suất ban đầu. Vì hao ứng suất phụ thuộc vào nhiều yếu tố như tính chất của bê tông và thép, phương pháp bảo dưỡng, độ lớn của ứng suất trước và phương pháp ULT nên rất khó xác định chính xác tổng tổn hao ứng suất. Có thể đưa ra một tỷ lệ điển hình của tổng tổn hao ứng suất trong điều kiện làm việc bình thường như sau:

Bảng I.7 Tỷ lệ hao ứng suất

Loại hao ứng suất	Tỷ lệ hao ứng suất (%)	
	Căng trước	Căng sau
Co ngót đàn hồi và uốn của bê tông	4	1
Từ biến của bê tông	6	5
Co ngót của bê tông	7	6
Chùng ứng suất của thép	8	8
Tổng cộng	25	20

Chương II

CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN SÀN BÊ TÔNG ỨNG LỰC TRƯỚC

II.1 Các quan niệm phân tích kết cấu bê tông ứng lực trước:

Hiện nay, việc phân tích cấu kiện bê tông ULT dựa trên ba quan niệm cơ bản sau:

II.1.1 Quan niệm thứ nhất:

Quan niệm này coi bê tông ULT như vật liệu đàn hồi, tính toán theo ứng suất cho phép.

Bê tông là vật liệu chịu nén tốt, chịu kéo kém. Nếu không phải chịu ứng suất kéo do đã được nén trước thông qua việc kéo trước cốt thép, trong bê tông sẽ không bị xuất hiện vết nứt, như vậy có thể xem như bê tông ULT là vật liệu đàn hồi. Với quan niệm này, khi bê tông đặt vào trạng thái chịu lực thì ứng suất kéo gây ra do tải trọng ngoài sẽ bị triệt tiêu bởi ứng suất nén trước, nhờ vậy sẽ hạn chế được bề rộng vết nứt và khi vết nứt chưa xuất hiện thì có thể sử dụng các phương pháp của lý thuyết đàn hồi để tính toán.

II.1.2 Quan niệm thứ hai:

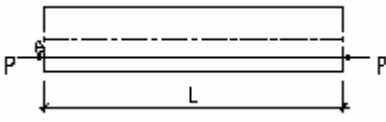
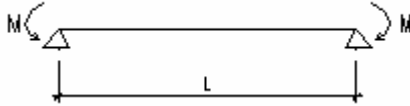
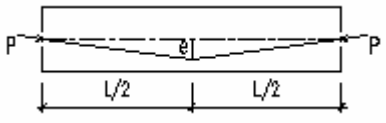
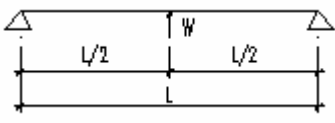
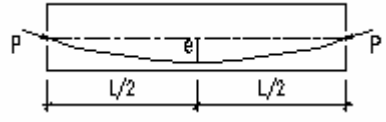
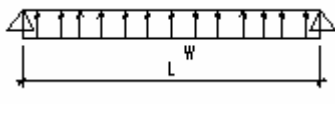
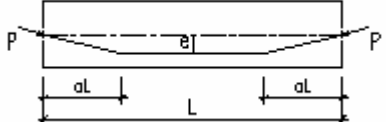
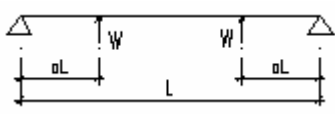
Quan niệm này coi bê tông ULT làm việc như BTCT thường với sự kết hợp giữa bê tông và thép cường độ cao, bê tông chịu nén và thép chịu kéo và gây ra một cặp ngẫu lực kháng lại mô men do tải trọng ngoài gây ra. Nếu sử dụng thép cường độ cao đơn thuần như thép thường thì khi bê tông xuất hiện vết nứt, thép vẫn chưa đạt đến cường độ. Nếu thép được kéo trước và neo vào bê tông thì sẽ có được sự biến dạng và ứng suất phù hợp với cả hai loại vật liệu.

II.1.3 Quan niệm thứ ba:

Quan niệm này coi ULT như một thành phần cân bằng với một phần tải trọng tác dụng lên cấu kiện trong quá trình sử dụng, tính toán theo phương pháp cân bằng tải trọng. Đây là phương pháp khá đơn giản và dễ sử dụng để tính toán, phân tích cấu kiện BT ULT. Cáp ULT được thay thế bằng các lực tương đương tác dụng vào bê tông. Cáp tạo ra một tải trọng ngược lên, nếu chọn hình dạng cáp và lực ULT phù

hợp sẽ cân bằng được các tải trọng tác dụng lên sàn, do đó độ võng của sàn tại mọi điểm đều bằng 0.

II.1.3.1 Các hình dạng cáp và tải trọng cân bằng:

Hình dạng cáp	Tải trọng cân bằng	Sơ đồ tải cân bằng	Độ võng
	$M=Pe$		$\frac{ML^2}{8EI}$
	$W = \frac{4Pe}{L}$		$\frac{WL^3}{48EI}$
	$w = \frac{8Pe}{L^2}$		$\frac{5wL^4}{384EI}$
	$W = \frac{Pe}{aL}$		$\frac{a(3-4a^2)WL^3}{24EI}$

II.1.3.2 Quy trình tính toán theo quan niệm thứ 3:

- 1- Tính toán sơ bộ tiết diện cột và chiều dày sàn, loại vật liệu sử dụng. Kiểm tra chọc thủng sàn do lực cắt.
- 2- Xác định tải trọng cân bằng (chủ yếu phụ thuộc điều kiện kinh tế). Thông thường, tải trọng cân bằng thường lấy vào khoảng 0.8 - 1 lần trọng lượng bản thân sàn.
- 3- Xác định hình dạng cáp, tính toán lực ULT yêu cầu.
- 4- Phân tích sàn với các tải trọng: hoạt tải, tĩnh tải, tải ULT (sau khi đã kể đến các hao ứng suất).
- 5- Tính toán ứng suất, kiểm tra các giai đoạn làm việc của sàn, kiểm tra độ võng và khả năng chịu lực.

6- Tùy thuộc vào kết quả của bước 5, có thể điều chỉnh chiều dày sàn và lực ULT. Có thể bổ sung cốt thép thường để hạn chế vết nứt và tăng khả năng chịu cắt, lượng thép này thường bố trí qua đầu cột hoặc nhịp biên.

II.1.4 Nhận xét:

Việc thiết kế sàn bê tông ULT đều có thể sử dụng các quan niệm phân tích ở trên. Mỗi phương pháp đều có các ưu nhược điểm riêng. Vì vậy, vấn đề đặt ra đối với người thiết kế là lựa chọn quan niệm nào để đơn giản hoá việc phân tích và tính toán, phù hợp với công cụ thiết kế hiện có.

Kết cấu BTCT nói chung và kết cấu bê tông ULT nói riêng được tính toán theo hai trạng thái giới hạn:

- Trạng thái giới hạn thứ nhất: về khả năng chịu lực.
- Trạng thái giới hạn thứ hai: về điều kiện sử dụng bình thường (điều kiện về biến dạng võng và nứt)

Khi tính toán kết cấu bê tông ULT, tùy theo từng quan niệm tính toán có thể xuất phát từ trạng thái giới hạn thứ nhất hoặc thứ hai rồi kiểm tra kết cấu với trạng thái còn lại.

Quan niệm thứ nhất và thứ ba dễ dàng đánh giá sự là việc của cấu kiện trong giai đoạn sử dụng nhưng không tính toán được trực tiếp khả năng chịu lực. Với quan niệm thứ hai thì việc kiểm tra trạng thái giới hạn thứ 2 phức tạp hơn.

Phương pháp cân bằng tải trọng cho phép người thiết kế dự đoán được dễ dàng độ võng của cấu kiện ngay từ khi chọn tải trọng cân bằng, nhất là đối với hệ kết cấu siêu tĩnh.

Ứng với các giai đoạn làm việc của sàn có các trường hợp kiểm tra như sau:

- Kiểm tra lúc buông neo:

Lúc buông neo, sàn chịu tác dụng của các lực: lực ULT, trọng lượng bản thân sàn.

- Kiểm tra trong giai đoạn sử dụng:

Với các tải trọng: lực ULT, tĩnh tải tiêu chuẩn và hoạt tải tiêu chuẩn.

- Kiểm tra khả năng chịu lực của sàn:

Khả năng chịu tải của sàn bao gồm khả năng chịu cắt và chịu uốn. Lúc này, cấu kiện làm việc cấu kiện chịu uốn BTCT thường. Tải trọng tính toán bao gồm tĩnh tải tính toán và hoạt tải tính toán.

- Kiểm tra độ võng, nứt:

Độ võng của sàn bao gồm độ võng tức thời do hoạt tải và độ võng tổng cộng do tải trọng thường xuyên. Do lực ULT sẽ gây ra độ võng trong cấu kiện nên một phần độ võng do tải trọng bản thân của sàn được kháng lại bởi độ võng do lực ULT. Độ võng từ biến do tải trọng dài hạn được tính gần đúng bằng cách lấy độ võng do tải trọng dài hạn nhân với hệ số từ biến.

II.2 Các phương pháp tính toán nội lực trong sàn phẳng:

Để phân tích sàn, tính toán nội lực, ứng suất trong sàn có thể sử dụng nhiều cách khác nhau. Dưới đây giới thiệu 3 phương pháp thông dụng hiện nay.

II.2.1 Phương pháp phân phối trực tiếp:

Trong tính toán bản sàn theo phương pháp phân phối trực tiếp, mômen uốn M_0 của từng ô bản được phân phối cho các miền mômen âm và mômen dương dựa trên bảng tra các hệ số được lập sẵn. Phương pháp phân phối trực tiếp mang tính ứng dụng cao, dễ sử dụng và đơn giản. Tuy nhiên phạm vi sử dụng hơi bị hạn chế.

Phương pháp phân phối trực tiếp theo tiêu chuẩn ACI:

Để đảm bảo khả năng chịu uốn của sàn ở trạng thái giới hạn đủ để chịu được mô men âm và mô men dương do tải trọng bất lợi nhất gây ra, tiêu chuẩn ACI đưa ra các điều kiện sau:

- Phải có ít nhất 3 nhịp liên tục theo mỗi phương.
- Các nhịp phải đều nhau. Theo từng phương, các nhịp kề nhau không được chênh nhau quá 1/3 chiều dài nhịp lớn hơn.
- Tất cả các tải trọng đều là tải trọng đứng, hoạt tải phải là tải trọng phân bố đều và nhỏ hơn 2 lần tĩnh tải.
- Các ô sàn phải là hình chữ nhật, tỷ lệ nhịp dài và nhịp ngắn không được vượt quá 2.

- Cột không được lệch vị trí quá 10% khoảng cách giữa các đường tim cột của các cột kế tiếp nhau theo mỗi phương.

Quy trình tính toán theo phương pháp phân phối trực tiếp:

II.2.1.1 Xác định mô men tổng cộng:

Mô men tổng cộng do tải trọng tính toán M_0 :

$$M_0 = \frac{w_u l_2 l_n^2}{8} \quad (\text{II.1})$$

Trong đó: w_u : tải trọng phân bố

l_2 : bề rộng dầm - bản.

l_n : chiều dài thông thủy của nhịp, được tính là khoảng cách giữa 2 mặt trong của gối tựa (cột, mũ cột, hoặc vách) nhưng không được nhỏ hơn $0.65l_1$ (l_1 là khoảng cách tâm 2 gối tựa).

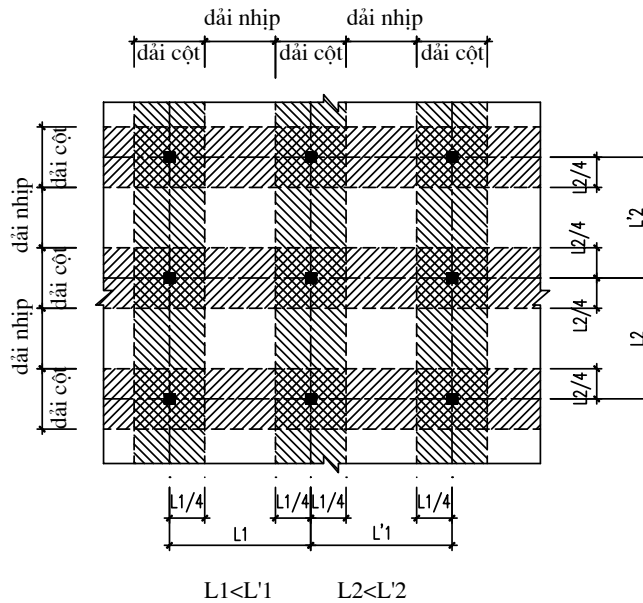
II.2.1.2 Phân phối mô men cho các ô bản:

Đối với các nhịp trong, mô men M_0 được phân phối 65% cho mô men âm và 35% cho mô men dương. Giá trị này xấp xỉ như dầm ngàm 2 đầu chịu tải trọng phân bố dựa trên giả thiết góc xoay của các điểm liên kết phía trong là không đáng kể. Tiết diện tối hạn đối với mô men âm là tiết diện tại vị trí mặt gối tựa (cột, tường, mũ cột) của bản sàn. Với cột tròn, tiết diện tối hạn đối với mô men âm nằm tại vị trí cạnh hình vuông tương đương.

Đối với các cột biên, lực chỉ tác dụng lên cột ở một phía nên sẽ gây ra mô men không cân bằng. Góc xoay sẽ làm giảm mô men âm và tăng mô men dương ở giữa nhịp và ở gối trong đầu tiên. Độ lớn góc xoay của cột biên phụ thuộc vào độ cứng của cột tương đương. Nếu độ cứng của cột lớn so với độ cứng của dầm - bản, cột sẽ ngăn cản góc xoay của biên ngoài của sàn và đóng vai trò như một liên kết ngàm, tỷ lệ phân phối mô men M_0 sẽ tương tự như các nhịp trong (65% tại gối và 35% tại nhịp). Ngược lại, nếu độ cứng của cột không đủ lớn, cột đóng vai trò như một gối cố định. Lúc này, mô men tại gối ngoài sẽ bằng 0, mô men giữa nhịp là $0.63M_0$, mô men tại gối trong đầu tiên bằng $0.75M_0$. Nếu sàn không có dầm biên, tỷ lệ phân phối lần lượt cho các tiết diện trên sẽ là $0.26M_0$, $0.50M_0$, $0.70M_0$. Nếu sàn có dầm biên: $0.30M_0$, $0.50M_0$, $0.70M_0$.

II.2.1.3 Phân phối mô men cho các dải nhịp và dải cột:

Sau khi phân phối mô men cho các ô bản, cần phân phối mô men cho các dải nhịp và dải cột của ô bản.



Hình II.1. Sơ đồ dải cột và dải nhịp

Sự phân phối mô men âm và mô men dương cho các dải cột phụ thuộc vào tỷ số l_2/l_1 và $\alpha l_2/l_1$, với sàn không dầm $\alpha=0$. Sau khi phân phối mô men cho dải cột, lượng mô men còn lại sẽ phân phối cho dải nhịp.

- Đối với mô men dương, 60% sẽ phân phối cho dải cột.
- Đối với mô men âm:

Đối với nhịp giữa, 75% mô men âm phân phối cho dải cột.

Đối với nhịp biên, sự phân phối mô men phụ thuộc l_2/l_1 , $\alpha l_2/l_1$, độ cứng chống xoắn của dầm biên β_t .

$$\beta_t = \frac{E_{cb} C}{2E_{cs} I_s} \quad (\text{II.2})$$

Trong đó: E_{cb} và E_{cs} : mô đun đàn hồi của bê tông dầm và bê tông sàn

I_s : mô men quán tính của dầm bản

C : hằng số liên quan đến độ cứng chống xoắn của dầm biên

$$C = \sum (1 - 0.63 \frac{x}{y}) \frac{x^3 y}{3} \quad (\text{II.3})$$

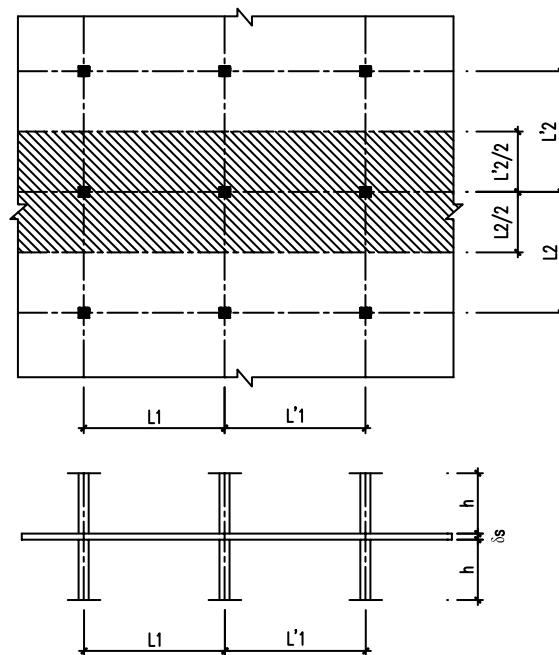
với x là cạnh ngắn, y là cạnh dài của tiết diện chữ nhật thành phần trong tiết diện ngang chịu xoắn trong phạm vi chiều cao tiết diện cột.

Nếu β_t rất nhỏ, gần bằng 0, 100% mô men âm sẽ phân phối cho dải cột. Nếu $\beta_t \geq 2.5$ thì 75% mô men âm sẽ phân bố cho dải cột.

II.2.2 Phương pháp khung tương đương:

Vì lực cắt và mô men uốn trong sàn là do tải trọng thẳng đứng tác dụng lên từng sàn nên có thể phân tích độc lập từng sàn. Phương pháp khung tương đương được dùng để xác định nội lực cho sàn, số nhịp bất kỳ, nhịp có thể là đều hoặc không đều nhau. Theo phương pháp này, tương tựng cắt toàn bộ sàn dọc theo đường tim của sàn, tạo thành khung theo cả 2 phương, gọi là khung tương đương.

Khung tương đương có phần tử cột bao gồm 2 cột ở tầng trên và tầng dưới kế tiếp nhau của sàn và phần tử dầm có chiều rộng tính từ tâm 2 nhịp kế tiếp nhau, chiều cao bằng chiều dày sàn. Cột được giả thiết là ngàm 2 đầu.



Hình II.2. Sơ đồ khung tương đương

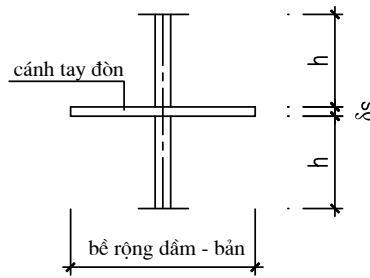
II.2.2.1 Mô men quán tính của dầm - bản:

Mô men quán tính của dầm - bản thay đổi dọc theo trục dầm - bản do ảnh hưởng của kích thước các bộ phận kết cấu cột, mũ cột và bản mũ cột (nếu có).

Độ cứng của bản sàn tại vị trí cột hoặc trong phạm vi mũ cột có thể xem như cứng tuyệt đối, tại gần vị trí với mũ cột hoặc cột, độ cứng của dầm - bản nhỏ hơn. Từ tim cột đến mặt cột hoặc mép mũ cột, mô men quán tính của dầm - bản lấy bằng mô men quán tính tại mặt cột hoặc tại mặt mũ cột chia cho $(1 - c_2/l_2)^2$, trong đó c_2 là kích thước của cột hoặc mũ cột, l_2 là kích thước nhịp theo phương đang xét.

II.2.2.2 Cột tương đương:

Trong khung tương đương, đối với sàn không dầm, toàn bộ phần mô men trong sàn giữa các cạnh cột và dầm - bản sẽ truyền thông qua lực xoắn. Để mô tả phản ứng của kết cấu đối với sự truyền mô men giữa sàn và cột do uốn và xoắn, giả thiết rằng cột có cánh tay đòn về 2 phía của cột. Cánh tay đòn này sẽ truyền mô men từ sàn vào cột thông qua xoắn. Cột phía trên và cột phía dưới sàn cùng với cánh tay đòn này được coi như một cấu kiện, được gọi là cột tương đương.



Hình II.3. Cột tương đương

Độ cứng của cột tương đương được tính như sau:

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{\sum K_c} + \frac{1}{K_t} \quad (\text{II.4})$$

Trong đó: K_{ec} : độ cứng của cột tương đương

$\sum K_c$: tổng độ cứng của cột phía trên và phía dưới sàn

Độ cứng của cột: $K_c = k_c EI / l_c$

Với cột có tiết diện không đổi: $k_c = 4$

l_c : chiều dài của cột được tính từ tâm sàn tầng dưới đến tâm sàn tầng trên.

K_t : độ cứng chống xoắn của cánh tay đòn

$$K_t = \sum \frac{9E_{cs}C}{l_2(1-c_2/l_2)^3} \quad (II.5)$$

E_{cs} : mô đun đàn hồi của bê tông sàn

c_2 : bề rộng cột

l_2 : bề rộng của dầm - bản

C: mô men chống xoắn của cánh tay đòn.

Với tiết diện hình chữ nhật:

$$C = \sum (1 - 0.63 \frac{x}{y}) \frac{x^3 y}{3} \quad (II.6)$$

với x là cạnh ngắn, y là cạnh dài của tiết diện chữ nhật thành phần trong tiết diện ngang chịu xoắn trong phạm vi chiều cao tiết diện cột.

Nếu có dầm theo phương vuông góc với phương tính toán chạy qua cột thì K_t nên tăng lên I_{sb}/I_s với I_s là mô men quán tính của bản không kể đến thân dầm, I_{sb} là mô men quán tính đồng thời của bản và dầm.

Lúc đó, công thức (II.4) trở thành:

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{\sum K_c} + \frac{1}{K_t(I_{sb}/I_s)} \quad (II.7)$$

II.2.2.3 Tính toán mô men trong khung tương đương:

Có thể sử dụng máy tính với các chương trình tính toán theo phương pháp phần tử hữu hạn để xác định mô men trong khung tương đương.

II.2.3 Phương pháp phần tử hữu hạn:

Hiện nay, với sự phát triển của công nghệ thông tin và các phần mềm tính toán theo phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH), việc tính toán ngày càng trở nên thuận tiện và chính xác. Phương pháp PTHH là một công cụ có hiệu lực để giải các bài toán từ đơn giản đến phức tạp trong nhiều lĩnh vực. Thực chất của phương pháp này là chia vật thể biến dạng thành nhiều phần tử có kích thước hữu hạn gọi là phần tử hữu hạn. Các phần tử này được liên kết với nhau bằng các điểm gọi là nút. Các phần tử này vẫn là các phần tử liên tục trong phạm vi của nó, nhưng do có hình dạng đơn giản nên cho phép nghiên cứu dễ dàng hơn dựa trên cơ sở của một số quy luật về sự phân bố chuyển vị và nội lực. Kết cấu liên tục được chia thành một số hữu hạn

các miền hoặc các kết cấu con có kích thước càng nhỏ càng tốt nhưng phải hữu hạn. Các miền hoặc các kết cấu con được gọi là các PTHH, chúng có thể có dạng hình học và kích thước khác nhau, tính chất vật liệu được giả thiết không thay đổi trong mỗi phần tử nhưng có thể thay đổi từ phần tử này sang phần tử khác.

Kích thước hình học và số lượng các phần tử không những phụ thuộc vào hình dáng hình học và tính chất chịu lực của kết cấu (bài toán phẳng hay bài toán không gian, hệ thanh hay hệ tấm vỏ...) mà còn phụ thuộc vào yêu cầu về mức độ chính xác của bài toán đặt ra. Lưới PTHH càng mau, nghĩa là số lượng phần tử càng nhiều hay kích thước của phần tử càng nhỏ thì mức độ chính xác của kết quả tính toán càng tăng, tỷ lệ thuận với số phương trình phải giải.

Các đặc trưng của các PTHH được phối hợp với nhau để đưa đến một lời giải tổng thể cho toàn hệ. Phương trình cân bằng của toàn hệ kết cấu được suy ra bằng cách phối hợp các phương trình cân bằng của các PTHH riêng rẽ sao cho vẫn đảm bảo được tính liên tục của toàn bộ kết cấu. Cuối cùng, căn cứ vào điều kiện biên, giải hệ phương trình cân bằng tổng thể để xác định giá trị của các thành phần chuyển vị. Các thành phần này được dùng để tính ứng suất và biến dạng.

II.3 Thiết kế sàn bê tông ứng suất trước với lưới cột đều đặn:

Các phương pháp thiết kế: phân phối trực tiếp, khung tương đương và PTHH đều có thể sử dụng trong thiết kế sàn bê tông ULT và đều dựa trên quan niệm bê tông ULT là vật liệu đàn hồi. Phương pháp phân phối trực tiếp có phạm vi áp dụng hẹp hơn 2 phương pháp còn lại và khó khăn trong việc tính toán bản sàn theo trạng thái giới hạn thứ 2 (kiểm tra võng và nứt). Phương pháp khung tương đương có phạm vi áp dụng rộng rãi hơn, có thể xác định được tải trọng ở các giai đoạn làm việc và cho phép người thiết kế đánh giá được độ võng của sàn một cách trực quan thông qua việc áp dụng các chương trình máy tính.

Hiện nay, phương pháp phổ biến và hiệu quả để thiết kế sàn bê tông ULT là phương pháp cân bằng tải trọng, sử dụng khung tương đương để phân phối mô men do lực ULT và do các tải trọng tác dụng lên sàn.

Quy trình thiết kế:

1- Sơ bộ chọn chiều dày sàn.

Bảng II.1 Độ dày tối thiểu của sàn bê tông ULT

Tải trọng	Tỷ lệ nhịp/chiều dày sàn
Nhẹ	40 - 48
Trung bình	34 - 42
Nặng	28 - 36

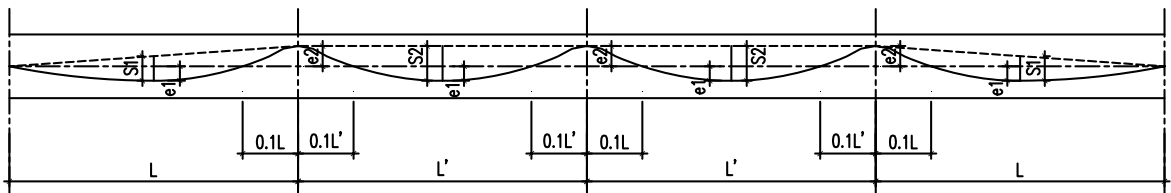
Trong tỷ lệ nhịp/chiều dày sàn thì nhịp là nhịp dài của ô sàn.

2- Xác định tải trọng cân bằng w .

3- Chọn hình dạng cáp và tính toán lực ULT yêu cầu.

Hình dạng cáp càng gần với biểu đồ mô men do tải trọng ngoài gây ra càng tốt.

- Đối với sàn liên tục chịu tải phân bố đều, cáp có thể bố trí như sau:

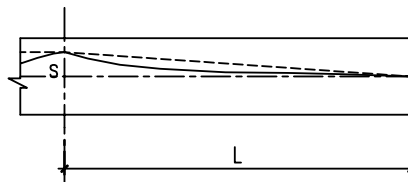


Hình II.4. Sơ đồ cáp đối với sàn liên tục

Lực ULT yêu cầu:
$$P_{yc} = \frac{wL^2}{8s} \quad (\text{II.8})$$

Độ võng s trong công thức trên có thể là s_1 hoặc s_2 .

- Đối với bản công xôn:



Hình II.5. Sơ đồ cáp đối với bản công xôn

Lực ULT yêu cầu:
$$P_{yc} = \frac{wL^2}{2s} \quad (\text{II.9})$$

4- Tính toán các hao ULT:

$$\text{Chọn ứng suất căng ban đầu: } f_{pi} \leq 0.8f_{pu} \quad (\text{II.10})$$

Tính các hao ULT:

- Hao do ma sát.
- Hao do biến dạng neo.
- Hao do các nguyên nhân khác: do co ngót của bê tông, do từ biến của bê tông, do sự chùng ứng suất trong thép...

Sau khi tính toán các hao ULT Δf , tính được ULT hiệu quả:

$$f_{se} = f_{pi} - \sum \Delta f \quad (\text{II.11})$$

5- Tính số lượng cáp và bố trí cáp.

$$\text{Lực ULT của một cáp: } P_{1cap} = f_{se} \times A_1 \quad (\text{II.12})$$

Lực căng yêu cầu cho dầm - bản rộng l:

$$P = P_{yc} \times l \quad (\text{II.13})$$

Số lượng cáp cần thiết:

$$n = \frac{P}{P_{1cap}} \quad (\text{II.14})$$

Cáp ULT qua cột hoặc xung quanh mép cột góp phần lớn hơn vào khả năng chịu tải so với thép ULT ở xa cột. Vì vậy nên bố trí khoảng 65-75% cáp cho dải cột, còn lại bố trí cho dải giữa.

6- Kiểm tra các giai đoạn làm việc của sàn, khả năng chịu lực, võng, nứt:

Sử dụng khung tương đương để tính toán, kiểm tra sàn.

- Kiểm tra các giai đoạn làm việc của sàn:

Sàn được kiểm tra lúc buông neo và trong giai đoạn sử dụng. Trong các giai đoạn làm việc của sàn, ứng suất trong bê tông không được vượt quá giá trị cho phép trong phần I.3.1.1.

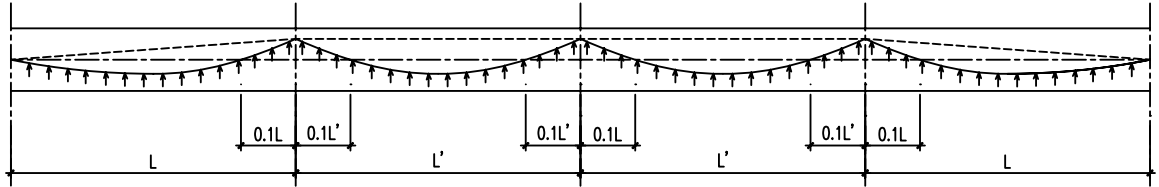
$$\text{Ứng suất trong bê tông: } f = -\frac{P}{A} \pm \frac{M}{W} \quad (\text{II.15})$$

Trong đó: M: mô men do các trường hợp tải ứng với từng giai đoạn làm việc của sàn gây ra.

W: mô men kháng uốn của dầm - bản.

Lực ULT P sẽ gây ra tải trọng cân bằng:

$$w = \frac{8sP}{L^2} \tag{II.16}$$



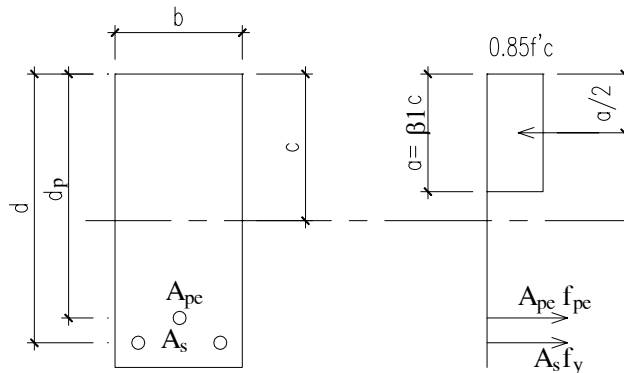
Hình II.6. Tải trọng cân bằng

- Kiểm tra khả năng chịu lực của sàn:

+ Khả năng chịu uốn:

Coi vật liệu làm việc trong giai đoạn đàn hồi, mô men do tải trọng tính toán gây ra không được vượt quá mô men giới hạn.

$$M_f \leq M_u \tag{II.17}$$



Hình II.7. Khả năng chịu uốn của tiết diện chữ nhật

γ_p : hệ số phụ thuộc vào loại cấp ULT, có các giá trị

$$=0.55 \text{ nếu } (f_{py}/f_{pu}) \geq 0.80$$

$$=0.40 \text{ nếu } (f_{py}/f_{pu}) \geq 0.85$$

$$=0.28 \text{ nếu } (f_{py}/f_{pu}) \geq 0.90$$

β_1 : hệ số phụ thuộc vào cường độ chịu nén của bê tông:

$$\beta_1 = 0.85 - (f'_c - 30)0.008$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}, \quad \rho' = \frac{A'_s}{bd}, \quad \rho_p = \frac{A_{ps}}{bd_p}$$

$$\omega = \frac{\rho f_y}{f_c}, \quad \omega' = \frac{\rho' f_y}{f_c}, \quad \omega_p = \frac{\rho_p f_{pe}}{f_c}$$

Đối với cáp dính kết:

$$f_{pe} = f_{pu} \left[1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left\{ \rho_p \left(\frac{f_{pu}}{f_c} \right) + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right\} \right] \geq 0.50 f_{pu} \quad (\text{II.18})$$

Nếu kể đến thép chịu nén ($\omega' > 0$) thì $\frac{\gamma_p}{\beta_1} \left\{ \rho_p \left(\frac{f_{pu}}{f_c} \right) + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right\} \geq 0.17$ và $d' < 0.15 d_p$.

Hàm lượng thép phải thỏa mãn các điều kiện sau:

$$\omega_p \leq 0.36 \beta_1$$

$$\omega_p + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \leq 0.36 \beta_1$$

Nếu tiết diện thỏa mãn điều kiện trên thì cường độ chịu uốn giới hạn được xác định như sau:

- Tiết diện chỉ có thép chịu kéo (cáp dính kết):

$$M_u = 0.9 [A_{pe} f_{pe} (d_p - \frac{a}{2}) + A_s f_y (d - \frac{a}{2})] \quad (\text{II.19})$$

$$\text{với } a = \frac{A_{pe} f_{pe} + A_p f_y}{0.85 f_c b}$$

- Tiết diện hình chữ nhật có thép chịu nén:

$$\text{Nếu } \frac{A_{pe} f_{pe} + A_p f_y - A'_s f_y}{bd} \geq 0.85 \beta_1 f_c \left(\frac{d'}{d} \right) \left(\frac{600}{600 - f_y} \right)$$

$$\text{thì } M_u = 0.9 [A_{pe} f_{pe} (d_p - \frac{a}{2}) + A_s f_y (d - \frac{a}{2}) + A'_s f_y (\frac{a}{2} - d')] \quad (\text{II.20})$$

$$\text{với } a = \frac{A_{pe} f_{pe} + A_p f_y - A'_s f_y}{0.85 f_c b}$$

$$\text{Nếu } \frac{A_{pe} f_{pe} + A_p f_y - A'_s f_y}{bd} < 0.85 \beta_1 f_c \left(\frac{d'}{d} \right) \left(\frac{600}{600 - f_y} \right), \text{ ứng suất trong thép chịu}$$

nén nhỏ hơn f_y , có thể bỏ qua hiệu quả của thép chịu nén và có thể xác định mô men nứt theo (II.19).

Đối với cáp không dính kết:

Nếu tỷ lệ (nhịp/chiều cao tiết diện) ≤ 35 , ứng suất phá hoại trong cáp:

$$f_{pe} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{100\rho_p} \quad (\text{II.21})$$

nhưng không được lớn hơn f_{py} và $(f_{se}+400)$

Nếu tỷ lệ (nhịp/chiều cao tiết diện) > 35 , ứng suất phá hoại trong cáp:

$$f_{pe} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{300\rho_p} \quad (\text{II.22})$$

nhưng không được lớn hơn f_{py} và $(f_{se}+200)$

Nếu hàm lượng thép vượt quá $0.36\beta_1$, mô men giới hạn:

$$M_u = 0.9f'_c b d_p^2 (0.36\beta_1 - 0.08\beta_1^2) \quad (\text{II.23})$$

+ Khả năng chịu cắt:

• Điều kiện chịu cắt:

$$v_c = \frac{V}{A_c} \pm \frac{\alpha M c}{J_c} \leq \phi v_u \quad (\text{II.24})$$

Trong đó: V:lực cắt

A_c : diện tích tiết diện giới hạn bao quanh cột.

J_c : mô men quán tính của tiết diện giới hạn bao quanh cột

M: tổng mô men truyền vào cột

α : hệ số truyền mô men do ứng suất cắt

$$\alpha = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{(c_1 + d)/(c_2 + d)}} \quad (\text{II.25})$$

c: khoảng cách từ trục trung hoà của tiết diện giới hạn đến điểm tính ứng suất.

$\phi=0.75$: hệ số an toàn.

v_u : ứng suất cắt tối hạn.

$$v_u = \beta_p \sqrt{f'_c} + 0.3f_{pc} + \frac{V_p}{b_0 d} \quad (\text{II.26})$$

$$\beta_p = \min \begin{cases} 0.29 \\ 0.265\alpha_s d / b_0 + 0.4 \end{cases}$$

α_s : 40 đối với cột giữa
 30 đối với cột biên
 20 đối với cột góc

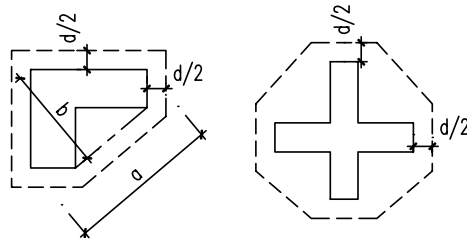
b_0 : chu vi của tiết diện giới hạn

f_{pc} : ứng suất nén do lực ULT hiệu quả gây ra ở tâm tiết diện

V_p : thành phần thẳng đứng của ULT hiệu quả.

- Đặc trưng của tiết diện chịu cắt:

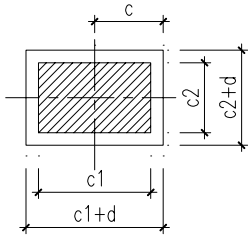
Tiết diện chịu cắt được tính là phần tiết diện mở rộng ra một khoảng $d/2$ tính từ mép cột.



Hình II.8. Sơ đồ xác định tiết diện giới hạn

Xét cột tiết diện hình chữ nhật:

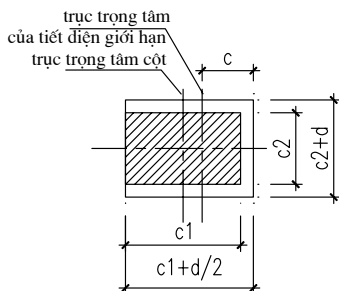
- Cột giữa:



$$A_c = 2d(c_1 + c_2 + 2d) \tag{II.27}$$

$$J_c = \frac{d(c_1 + d)^3}{6} + \frac{(c_1 + d)d^3}{6} + \frac{d(c_2 + d)(c_1 + d)^2}{2} \tag{II.28}$$

- Cột biên:

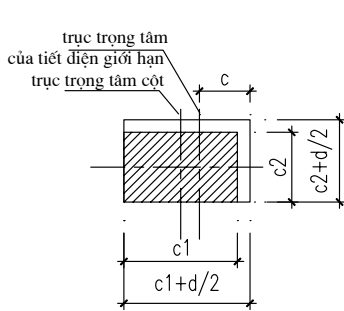


$$c = \frac{(c_1 + \frac{d}{2})^2}{2(c_1 + \frac{d}{2}) + (c_2 + d)} \tag{II.29}$$

$$A_c = 2d(c_1 + \frac{d}{2}) + (c_2 + d)d \tag{II.30}$$

$$J_c = \frac{d(c_1 + \frac{d}{2})^3}{6} + \frac{(c_1 + \frac{d}{2})d^3}{6} + 2d(c_1 + \frac{d}{2}) \left(\frac{c_1 + \frac{d}{2}}{2} - c \right)^2 + (c_2 + d)dc^2 \quad (\text{II.31})$$

▪ **Cột góc:**



$$c = \frac{(c_1 + \frac{d}{2})^2}{2(c_1 + \frac{d}{2}) + (c_2 + \frac{d}{2})} \quad (\text{II.32})$$

$$A_c = d(c_1 + \frac{d}{2}) + d(c_2 + d) \quad (\text{II.33})$$

$$J_c = \frac{d(c_1 + \frac{d}{2})^3}{12} + \frac{(c_1 + \frac{d}{2})d^3}{12} + d(c_1 + \frac{d}{2}) \left(\frac{c_1 + \frac{d}{2}}{2} - c \right)^2 + (c_2 + \frac{d}{2})dc^2 \quad (\text{II.34})$$

- **Kiểm tra độ võng:**

Độ võng được xác định từ khung tương đương và bỏ qua ảnh hưởng của góc xoay vì khá nhỏ. Đối với sàn làm việc theo 2 phương, độ võng tại giữa ô sàn sẽ là tổng độ võng theo từng phương.

Δ_{e1} : độ võng do tổng tải trọng theo phương l_1 .

Δ_{e2} : độ võng do tổng tải trọng theo phương l_2 .

$\Delta_e = \Delta_{e1} + \Delta_{e2}$: tổng độ võng do tổng tải trọng.

Δ_{dh1} : độ võng do phần tĩnh tải không được cân bằng bởi lực ULT theo phương l_1 .

Δ_{dh2} : độ võng do phần tĩnh tải không được cân bằng bởi lực ULT hoạt tải theo phương l_2 .

$\Delta_{dh} = \Delta_{dh1} + \Delta_{dh2}$: tổng độ võng do phần tĩnh tải không được cân bằng bởi lực ULT.

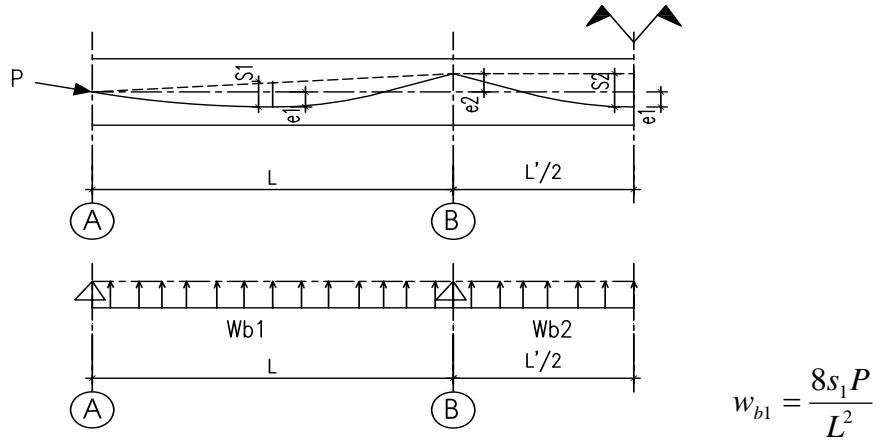
Độ võng tổng cộng: $\Delta = \Delta_e + F\Delta_{dh}$ (II.35)

F: hệ số độ võng dài hạn

II.4 Mô hình cáp trong phương pháp cân bằng tải trọng:

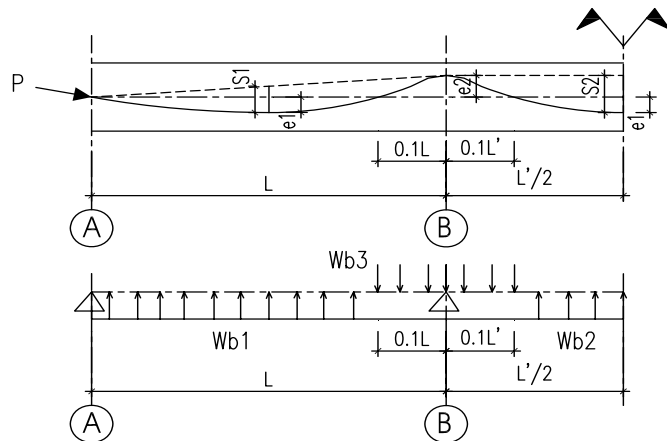
Như đã trình bày ở II.1.3.1, tải trọng cân bằng thụ thuộc vào quỹ đạo bố trí cáp.

Với trường hợp cân bằng tải trọng cho dầm liên tục, tải trọng cân bằng được trình bày ở hình II.9.



Hình II.9. Mô hình cáp và tải trọng cân bằng trong tính toán

Tuy nhiên, trong thực tế, cáp không thể bố trí tại gối B như mô hình tính toán trên hình II.9 mà phải như hình II.10. Do đó, tải trọng cân bằng có sự sai số giữa mô hình tính toán và mô hình thực tế.



$$w_{b1} = \frac{8s_1P}{L^2}$$

$$w_{b3} = \frac{8e_2P}{(0.1L + 0.1L')^2}$$

$$w_{b2} = \frac{8s_2P}{L^2}$$

Hình II.10. Mô hình cáp trong thực tế

Phương pháp PTHH có thể dễ dàng mô hình được tải trọng cân bằng tương ứng theo quỹ đạo cáp.

II.5 Thiết kế sàn bê tông ứng suất trước với lưới cột ngẫu nhiên:

Đối với mặt bằng sàn có lưới cột ngẫu nhiên thì không thể áp dụng phương pháp phân phối trực tiếp và phương pháp khung tương đương. Trong trường hợp này, cần xét đến sự làm việc tổng thể của toàn bộ sàn và áp dụng phương pháp PTHH với sự hỗ trợ của các phần mềm thiết kế để tính toán.

Do việc mô hình hoá cáp trong phương pháp PTHH là rất khó khăn, nhất là việc tính toán, phân tích phải trải qua các giai đoạn làm việc khác nhau của kết cấu nên luận văn sử dụng phương pháp cân bằng tải trọng như đã trình bày trong II.4.

Các tải trọng cân bằng được quy về tải phân bố trên $1m^2$ của sàn. Sàn được chia thành các dải có bề rộng tùy thuộc vào quy định của người thiết kế. Tùy thuộc vào hình dạng cáp, lực ULT sẽ gây ra tải trọng cân bằng tác dụng lên sàn hướng xuống hoặc hướng lên, tải cân bằng có giá trị:

$$\text{Tại nhịp, lực hướng lên: } w = \frac{8 \times P \times s}{l^2 \times b_d} (kG/m^2) \quad (\text{II.36})$$

$$\text{Tại đầu cột, lực hướng xuống: } w = \frac{8 \times P \times e_2}{l^2 \times b_d} (kG/m^2) \quad (\text{II.37})$$

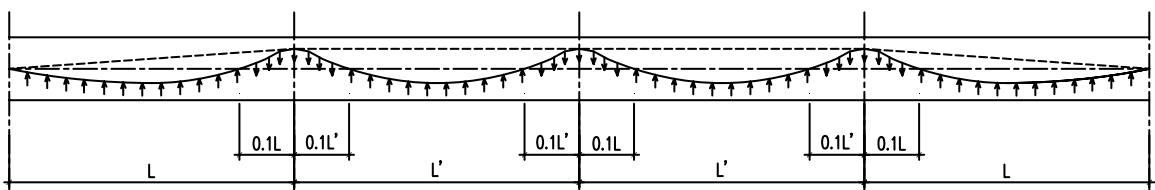
P: lực ULT

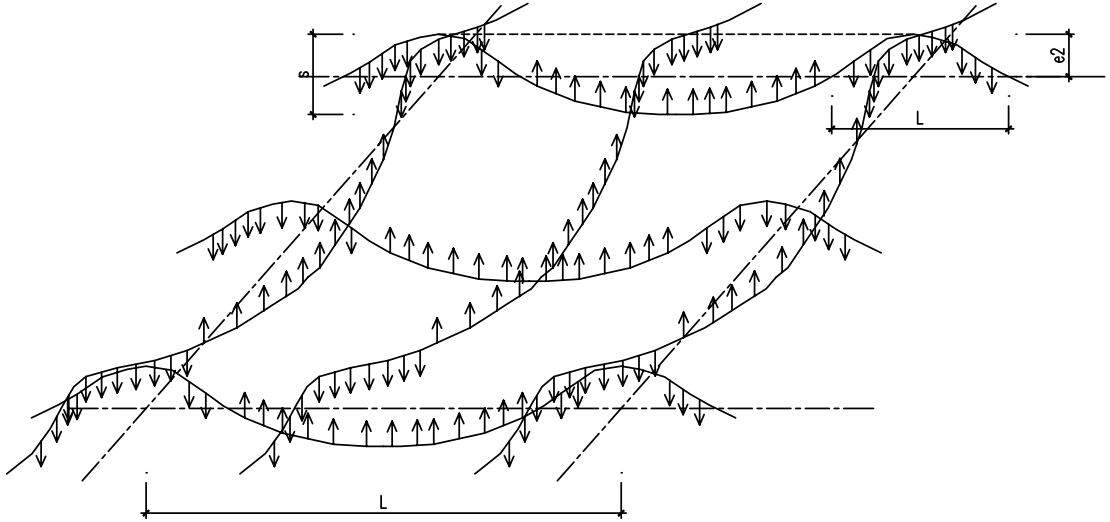
s: độ lệch tâm của cáp ở nhịp

e_2 : độ võng của cáp tại đầu cột

b_d : bề rộng dải

l: khoảng cách giữa 2 điểm uốn của cáp.





Hình II.12. Tải trọng cân bằng trong sàn do lực ULT gây ra

Quy trình thiết kế:

Quy trình thiết kế về cơ bản vẫn theo các bước của phương pháp cân bằng tải trọng và được bổ sung thêm một số bước để phù hợp với việc tính toán theo phương pháp PTHH.

- 1- Tính toán sơ bộ chiều dày sàn, loại vật liệu sử dụng, có thể tham khảo theo bảng II.1
- 2- Xác định tải trọng cân bằng. Tải trọng cân bằng thường chọn vào khoảng 0.8-1 lần trọng lượng bản thân sàn.
- 3- Tính toán các hao ứng suất.
- 4- Xác định hình dạng cáp, tính toán lực ULT yêu cầu, tính số lượng cáp cần thiết.

Coi tải trọng cân bằng là tải trọng hướng lên, phân bố trên $1m^2$ của sàn. Tải trọng này sẽ gây ra mô men M trong các dải sàn. Việc xác định các mô men này được thực hiện bằng cách sử dụng các phần mềm tính toán sàn. Căn cứ vào biểu đồ mô men để bố trí cáp. Với lưới cột ngẫu nhiên, việc bố trí cáp có thể phải tiến hành nhiều lần để tìm ra cách bố trí thích hợp.

$$\text{Lực ULT yêu cầu cho dải: } P_{yc} = \frac{M}{s} \quad (\text{II.38})$$

Khi có trốn cột trong lưới cột khá đều đặn, vẫn tồn tại các dải trên cột và dải giữa nhịp. M là mô men do tải cân bằng gây ra trên các dải sàn.

Số lượng cáp cần thiết:
$$n = \frac{P_{yc}}{P_{1cap}} \quad (II.39)$$

5- Vào sơ đồ tính toán với các tải trọng: hoạt tải, tĩnh tải, tải ULT (sau khi đã kể đến các hao ứng suất). Các tải trọng được quy về tải phân bố trên m^2 . Tải trọng cân bằng do lực ULT gây ra được tính theo công thức (II.36) và (II.37)

6- Phân tích sàn với các tải trọng (sử dụng phần mềm tính toán sàn).

7- Kiểm tra sàn ứng với các giai đoạn làm việc, kiểm tra khả năng chịu lực và độ võng. Sử dụng các công thức tính toán từ (II.15) đến (II.35)

- Tại các giai đoạn làm việc của sàn:

Ứng suất trong bê tông:

$$f = -\frac{P}{A} \pm \frac{M}{W}$$

Trong đó:

M : mô men do các trường hợp tải ứng với từng giai đoạn làm việc của sàn gây ra.

Mô men này được tính tại vị trí mép cột. Ứng với giai đoạn buông neo thì M là mô men do lực ULT sau khi hao ma sát và buông neo và trọng lượng bản thân sàn gây ra. Ứng với giai đoạn sử dụng thì M là mô men do lực ULT hiệu quả sau khi hao ứng suất và các tải trọng tĩnh tải, hoạt tải gây ra.

P : lực ULT ứng với từng giai đoạn làm việc của sàn.

- Kiểm tra khả năng chịu lực:

+ Khả năng chịu uốn:
$$M_f \leq M_u$$

M_f : mô men tại mép cột hoặc mô men tại giữa nhịp.

M_u : mô men giới hạn được tính theo các công thức từ (II.18) đến (II.23)

+ Khả năng chịu cắt:
$$v_c \leq \phi v_u$$

v_c : ứng suất cắt tại mép cột

v_u : ứng suất cắt tới hạn

v_c và v_u được tính toán theo các công thức từ (II.24) đến (II.34)

- Kiểm tra độ võng:

$$\Delta = \Delta_c + F\Delta_{dh}$$

Δ_c : độ võng tức thời do tổng tải trọng gây ra.

Δ_{dh} : độ võng tức thời do tải trọng dài hạn gây ra là độ võng do phân tích tải không được cân bằng bởi lực ULT gây ra.

F: hệ số độ võng dài hạn

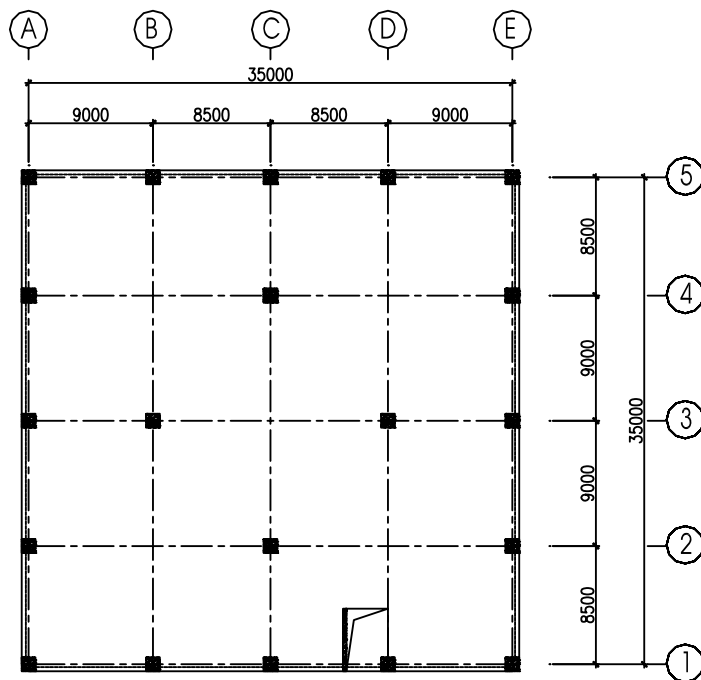
Với kết cấu BT ULT, lực nén trước ảnh hưởng đến cả nội lực tính toán, do vậy quy trình thiết kế thường phải thực hiện theo một quy trình lặp.

Chương III

THÍ DỤ TÍNH TOÁN

III.1. Thí dụ:

Sàn phẳng bê tông ULT căng sau với mặt bằng như trên hình III.1, thiết kế theo tiêu chuẩn ACI 318-2002.



Hình III.1: Mặt bằng sàn.

III.1.1 Tính theo phương pháp PTHH:

1. Vật liệu:

-Bê tông M350 $\rightarrow f'_c=22.75\text{MPa}$.

-Cáp ULT không kết dính loại T15, đường kính $d=15.24\text{mm}$, đặt trong ống nhựa $\phi 20$.

$$f_{pu}=1860\text{Mpa} \quad A_p=140\text{mm}^2 \quad E_{ps}=2.10^5 \text{ Mpa}.$$

-Thép thường AIII: $f_y=400\text{MPa}$

2 Tiết diện các cấu kiện:

Chiều dày sàn $\delta_s = 330\text{mm}$.

Kích thước cột $1.2 \times 1.2 \text{ (m)}$

Kích thước mũ cột 1.4x1.4x0.15 (m)

Kích thước dầm biên 30x70 (cm)

3 Tải trọng tác dụng lên sàn:

Các lớp sàn	Chiều dày (mm)	g (kG/m ³)	TT tiêu chuẩn (kG/m ²)
Gạch CERAMIC 300x300 loại 1	10	1800	18
Lớp vữa lót XM 50#	40	1800	72
Sàn BTCT	330	2500	825
Lớp vữa trát trần XM 50#	15	1800	27
Tổng tĩnh tải			942
Hoạt tải			200

Tải ULT cân bằng: $w=0.9TLBT \text{ sàn}=0.9 \times 825=743\text{kG/m}^2$.

4 Tính hao ứng suất:

Chọn ứng suất căng ban đầu:

$$f_{pi} \leq 0.8f_{pu} = 0.8 \times 1860 = 1488(\text{Mpa})$$

$$f_{pi} \leq 0.94f_{py} = 0.94 \times 1670 = 1570(\text{Mpa})$$

Lấy $f_{pi} = 0.75 \times f_{pu} = 0.75 \times 1860 = 1395(\text{MPa})$

-Hao US do ma sát: Ứng suất trung bình sau khi hao ma sát:

$$f_p = 1333.97(\text{MPa})$$

-Hao US do biến dạng neo:

Sau khi thả neo, cho phép neo biến dạng 6mm: $\Delta f = 34.35(\text{MPa})$

Ứng suất trung bình sau khi hao ma sát và biến dạng neo:

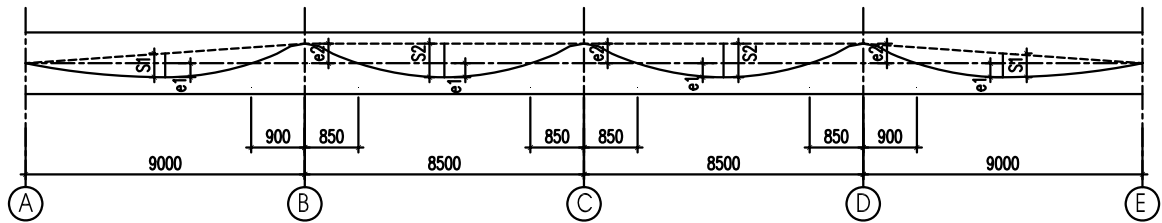
$$f_2 = f_p - \Delta f = 1333.97 - 34.35 = 1299.62(\text{MPa})$$

Hao ứng suất do các nguyên nhân khác lấy bằng : $18\%f_2=18\% \times 1299.62=234(\text{MPa})$

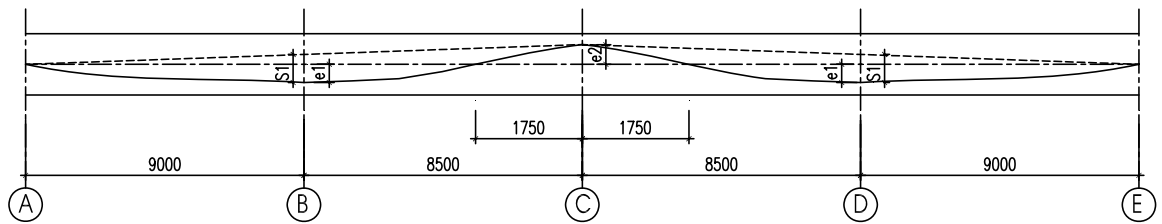
- Ứng suất hiệu quả: $f_{sc} = f_2 - 18\%f_2 = 1299.62 - 234 = 1065.62(\text{MPa})$

5 Hình dạng cáp:

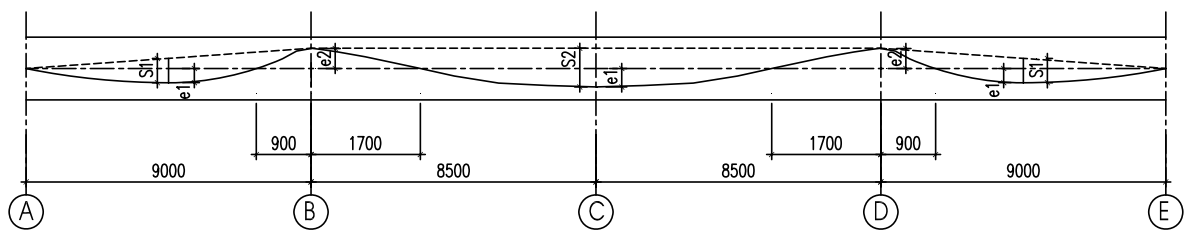
Căn cứ vào biểu đồ mô men do tải trọng cân bằng gây ra để bố trí cáp. Việc xác định mô men này được thực hiện bằng chương trình SAFE 8.08



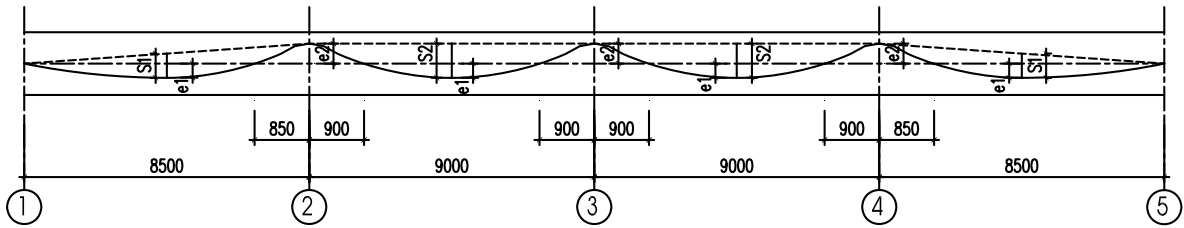
Hình III.2: Hình dạng cáp dải CSX1, CSX5



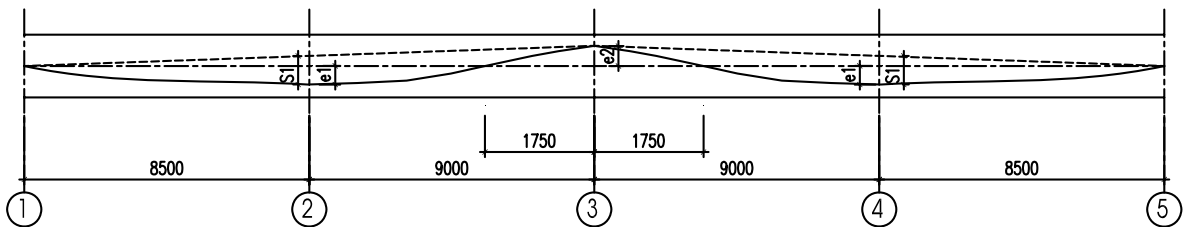
Hình III.3: Hình dạng cáp dải CSX2, CSX4, MSX1, MSX4, MSX2, MSX3



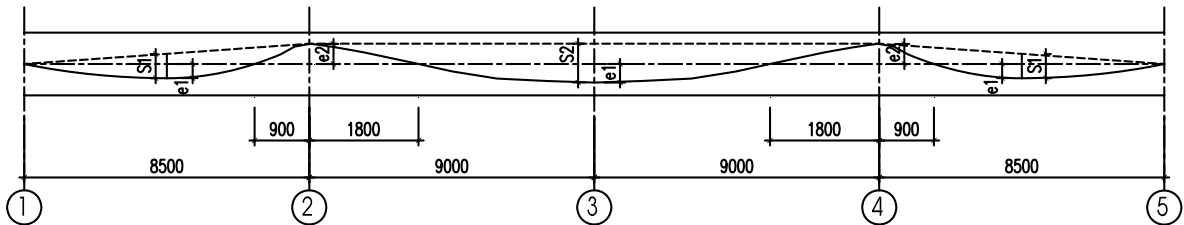
Hình III.4: Hình dạng cáp dải CSX3



Hình III.5: Hình dạng cáp dải CSY1, CSY5



Hình III.6: Hình dạng cáp dải CSY2, CSY4, MSY1, MSY4, MSY2, MSY3



Hình III.7: Hình dạng cáp dải CSY3

-Lớp bảo vệ: 30mm.

-Cáp uốn cách tâm cột 0.1L

Đối với nhịp 9m: $0.1 \times 9 = 0.9$ (m)

Đối với nhịp 8.5m: $0.1 \times 8.5 = 0.85$ (m)

Đối với nhịp 17.5m: $0.1 \times 17.5 = 1.75$ (m)

Đối với nhịp 17m: $0.1 \times 17 = 1.7$ (m)

-Cáp lệch tâm lớn nhất tại giữa nhịp.

Theo phương X:

-Độ lệch tâm của cáp tại nhịp: $e_1 = \frac{330}{2} - 30 - \frac{20}{2} - 20 = 105(mm)$

-Độ lệch tâm của cáp ở đầu cột: $e_2 = \frac{330}{2} - 30 - \frac{20}{2} = 125(mm)$

-Độ lệch tâm tương đương của cáp:

$$s_1 = 167.5(mm)$$

$$s_2 = 230(mm)$$

Theo phương Y:

-Độ lệch tâm của cáp tại nhịp: $e_1 = \frac{330}{2} - 30 - \frac{20}{2} = 125(mm)$

-Độ lệch tâm của cáp ở đầu cột: $e_2 = \frac{330}{2} - 30 - \frac{20}{2} - 20 = 105(mm)$

-Độ lệch tâm tương đương của cáp:

$$s_1 = 177.5(mm)$$

$$s_2 = 230(mm)$$

Lực ULT yêu cầu cho dải:

$$P_{yc} = \frac{M}{s}$$

M: Mô men do tải cân bằng gây ra

Lực ULT của 1 cáp:

$$P_{1cap} = f_{se} \times \frac{140}{1000} = 1065.62 \times \frac{140}{1000} = 149.2(kN)$$

Số lượng cáp cần thiết:

$$n = \frac{P_{yc}}{P_{1cap}}$$

Kết quả lập thành bảng.

Bảng III.1 Tính toán số lượng cáp cần thiết

Tên dải	Độ lệch tâm của cáp (mm)	M do tải cân bằng (kGm)	Bề rộng dải (m)	P_{yc} (kN)	$P_{1cáp}$ (kN)	Số cáp
CSX2 và CSX4	167.5	64956.25	4.375	3877.99	149.2	38
CSX3	167.5	55218.15	4.5	3296.61	149.2	42
CSX1 và CSX5	230	16207	2.125	704.65	149.2	5
MSX2 và MSX3	167.5	5636	4.5	336.48	149.2	3
MSX1 và MSX4	167.5	20505	4.25	1224.18	149.2	8
CSY1 và CSY5	177.5	13741	2.25	774.14	149.2	5
MSY1 và MSY4	177.5	23066	4.5	1299.49	149.2	8
CSY2 và CSY4	177.5	68688.5	4.375	3869.77	149.2	38
CSY3	177.5	33795.5	4.25	1903.97	149.2	42
MSY2 và MSY3	177.5	5325	4.25	300.00	149.2	3

6. Kiểm tra ứng suất trong sàn:

6.1. Lúc buông neo:

Lúc buông neo, sàn chịu tác dụng của các lực: lực ULT, trọng lượng bản thân sàn.

-Lực ULT:

$$P=nA_{cap}f_2$$

n Số cáp

$A_{cap}=140mm^2$ Diện tích 1 cáp

$f_2=1299.62MPa$ Ứng suất sau khi hao ma sát và buông neo

Tùy thuộc vào hình dạng cáp, lực ULT sẽ gây ra tải trọng cân bằng tác dụng lên sàn hướng xuống hoặc hướng lên, tải cân bằng có giá trị:

Tại nhịp, lực hướng lên: $w = \frac{8 \times P \times s}{l^2 \times b_d} (kG/m^2)$

Tại đầu cột, lực hướng xuống: $w = \frac{8 \times P \times e_2}{l^2 \times b_d} (kG/m^2)$

b_d : bề rộng dải

l: khoảng cách giữa 2 điểm uốn của cáp.

Giá trị của tải cân bằng được lập thành bảng.

Bảng III.2 Tải trọng cân bằng do lực ULT sau khi buông neo gậy ra

Tên dải	Số cáp	F (kN)	b _d (m)	Vị trí	l (m)	w (kG/m ²)
CSX2 và CSX4	38	6913.98	4.375	nhịp AC, CE	17.5	691.48
				trục C	3.5	12209.24
CSX3	42	7641.77	4.5	nhịp AB, DE	9	2809.32
				nhịp BD	17	1081.19
				trục B, D	2.6	24039.67
CSX1 và CSX5	5	909.73	2.125	nhịp AB, DE	9	708.23
				nhịp BC, CD	8.5	1090.27
				trục B, D	1.75	13270.87
				trục C	1.7	13723.23
MSX2 và MSX3	3	545.84	4.5	nhịp AC, CE	17.5	53.07
				trục C	3.5	937.11
MSX1 và MSX4	8	1455.57	4.25	nhịp AC, CE	17.5	149.86
				trục C	3.5	2645.97
CSY1 và CSY5	5	909.73	2.25	nhịp 12, 45	8.5	794.66
				nhịp 23, 34	9	918.47
				trục 2, 4	1.75	10295.43
				trục 3	1.8	9564.06
MSY1 và MSY4	8	1455.57	4.5	nhịp 13, 35	17.5	149.98
				trục 3	3.5	2068.04
CSY2 và CSY4	38	6913.98	4.375	nhịp 13, 35	17.5	949.49
				trục 3	3.5	9887.11
CSY3	42	7641.77	4.25	nhịp 12, 45	8.5	3533.91
				nhịp 24	18	1021.12
				trục 2, 4	2.65	20486.50
MSY2 và MSY3	3	545.84	4.25	nhịp 13,35	17.5	59.55
				trục 3	3.5	821.13

Ứng suất cho phép:

+ Ứng suất nén: $0.6f'_{ci}$

lúc buông neo, cường độ bê tông: $f'_{ci}=0.8f'_c=0.8 \times 22.75=18.2(\text{MPa})$

$\rightarrow 0.6f'_{ci}=0.6 \times 18.2=10.92 (\text{MPa})$

+ Ứng suất kéo: tại đầu cột: $0.5\sqrt{f'_{ci}} = 0.5 \times \sqrt{18.2} = 2.13(\text{MPa})$

tại nhịp: $0.25\sqrt{f'_{ci}} = 0.25 \times \sqrt{18.2} = 1.01(\text{MPa})$

Ứng suất trong bê tông:

$$f = -\frac{P}{A} \pm \frac{M}{W}$$

6.2. Trong giai đoạn sử dụng:

Trong giai đoạn sử dụng, sàn chịu tác dụng của các lực: lực ULT, tĩnh tải, hoạt tải.

-Lực ULT:

$$P = n A_{\text{cap}} f_{\text{sc}}$$

n Số cáp

$A_{\text{cap}} = 140 \text{ mm}^2$ Diện tích 1 cáp

$f_{\text{sc}} = 1065.62 \text{ MPa}$ Ứng suất hiệu quả sau khi hao ứng suất

Tùy thuộc vào hình dạng cáp, lực ULT sẽ gây ra tải trọng cân bằng tác dụng lên sàn hướng xuống hoặc hướng lên, tải cân bằng có giá trị:

Tại nhịp, lực hướng lên: $w = \frac{8 \times P \times s}{l^2 \times b_d} (\text{kG} / \text{m}^2)$

Tại đầu cột, lực hướng xuống: $w = \frac{8 \times P \times e_2}{l^2 \times b_d} (\text{kG} / \text{m}^2)$

b_d : bề rộng dải

l: khoảng cách giữa 2 điểm uốn của cáp.

Giá trị của tải cân bằng được lập thành bảng.

Ứng suất cho phép:

+ Ứng suất nén lớn nhất: $0.6f'_c = 0.6 \times 22.75 = 13.65 \text{ (Mpa)}$

+ Ứng suất kéo: tại đầu cột: $0.5\sqrt{f'_c} = 0.5 \times \sqrt{22.75} = 2.38 \text{ (MPa)}$

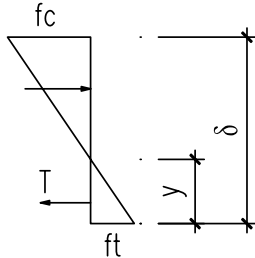
tại nhịp: $\sqrt{f'_c} = \sqrt{22.75} = 4.77 \text{ (MPa)}$

Bảng III.3 Tải trọng cân bằng do lực ULT gây ra

Tên dải	Số cáp	F (kN)	b_d (m)	Vị trí	l (m)	w (kG/m ²)
CSX2 và CSX4	38	5669.10	4.375	nhịp AC, CE	17.5	566.98
				trục C	3.5	10010.93
CSX3	42	6265.85	4.5	nhịp AB, DE	9	2303.49
				nhịp BD	17	886.52
				trục B, D	2.6	19711.27
CSX1 và CSX5	5	745.93	2.125	nhịp AB, DE	9	580.71
				nhịp BC, CD	8.5	893.97
				trục B, D	1.75	10881.42
				trục C	1.7	11252.32
MSX2 và MSX3	3	447.56	4.5	nhịp AC, CE	17.5	43.52
				trục C	3.5	768.38
MSX1 và MSX4	8	1193.49	4.25	nhịp AC, CE	17.5	122.87
				trục C	3.5	2169.55
CSY1 và CSY5	5	745.93	2.25	nhịp 12, 45	8.5	651.58
				nhịp 23, 34	9	753.10
				trục 2, 4	1.75	8441.71
				trục 3	1.8	7842.03
MSY1 và MSY4	8	1193.49	4.5	nhịp 13, 35	17.5	122.98
				trục 3	3.5	1695.68
CSY2 và CSY4	38	5669.10	4.375	nhịp 13, 35	17.5	778.53
				trục 3	3.5	8106.91
CSY3	42	6265.85	4.25	nhịp 12, 45	8.5	2897.62
				nhịp 24	18	837.27
				trục 2, 4	2.65	16797.85
MSY2 và MSY3	3	447.56	4.25	nhịp 13,35	17.5	48.83
				trục 3	3.5	673.29

6.3. Đặt cốt thép thường:

Với những vị trí có ứng suất vượt quá ứng suất cho phép cần đặt thêm thép thường:



f_c : ứng suất nén

f_t : ứng suất kéo

$\delta = \delta_s$: đối với tiết diện giữa nhịp.

$\delta = \delta_s + \delta_{mc}$: đối với tiết diện trên cột.

δ_{mc} : chiều dày mũ cột.

Lực kéo:
$$T = \frac{1}{2} \times f_t \times y$$

Diện tích thép yêu cầu:
$$A_s = \frac{T}{f_y / 2}$$

6.4. Kiểm tra khả năng chịu lực:

Tải trọng tác dụng: tĩnh tải và hoạt tải tính toán. Theo ACI 318 – 2002, hệ số vượt tải của tĩnh tải là 1.2, của hoạt tải là 1.6.

- Kiểm tra khả năng chịu uốn:

Đối với nhịp có tỷ lệ (nhịp/chiều cao tiết diện) ≤ 35 , ứng suất phá hoại trong cáp:

$$f_{pe} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{100\rho_p}$$

nhưng không được lớn hơn $f_{py} = 1670 \text{ MPa}$ và $(f_{sc} + 400) = 1065.62 + 400 = 1465.62 \text{ (MPa)}$

Đối với nhịp có tỷ lệ (nhịp/chiều cao tiết diện) > 35 , ứng suất phá hoại trong cáp:

$$f_{pe} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{300\rho_p}$$

nhưng không được lớn hơn $f_{py} = 1670 \text{ MPa}$ và $(f_{sc} + 200) = 1065.62 + 200 = 1265.62 \text{ (MPa)}$

$$\rho_p = \frac{A_{pe}}{b_d d_p}$$

Điều kiện chịu uốn:
$$M_f \leq M_u$$

M_f : mô men tại mép cột hoặc mô men tại giữa nhịp.

Mô men giới hạn:

$$M_u = 0.9[A_{pe}f_{pe}(d_p - \frac{a}{2}) + A_s f_y (d - \frac{a}{2})]$$

$$\text{với } a = \frac{A_{pe}f_{pe} + A_p f_y}{0.85f'_c b_d}$$

- Kiểm tra khả năng chịu cắt:

$$\text{Điều kiện chịu cắt: } v_c = \frac{V}{A_c} \pm \frac{\alpha M c}{J_c} \leq \phi v_u$$

Các đặc trưng của tiết diện chịu cắt được tính theo công thức từ (II.29) đến (II.36)

+ Cột góc:	$c=0.4467\text{m};$	$A_c=0.7896 \text{ m}^2;$	$J_c=0.1522 \text{ m}^4$
+ Cột biên:	$c=0.4316\text{m};$	$A_c=1.1648 \text{ m}^2;$	$J_c=0.2262 \text{ m}^4$
+ Cột giữa:	$c=0.74 \text{ m};$	$A_c=1.6576 \text{ m}^2;$	$J_c=0.6105 \text{ m}^4$
+ Cột giữa biên:	$c=0.74 \text{ m};$	$A_c=1.1648 \text{ m}^2;$	$J_c=0.4915 \text{ m}^4$

Kết quả được lập thành bảng (xem phụ lục).

6.5. Kiểm tra độ võng:

$$\text{Độ võng dài hạn: } \Delta = \Delta_c + F\Delta_{dh} \quad \text{với } F=2$$

$$\Delta = 4.5(\text{cm}) < [\Delta] \text{ Thoả mãn.}$$