

CHƯƠNG 2

TÍNH TOÁN SÀN PHẪNG BÊ TÔNG ỨNG LỰC TRƯỚC BẰNG PHƯƠNG PHÁP CÂN BẰNG TẢI TRỌNG.

	Tr
2.1 Phân tích trạng thái ứng suất cho cấu kiện chịu uốn	33
2.1.1 Các giả thiết cơ bản	33
2.1.2 Ứng suất trong bê tông do ứng lực trước	34
2.1.3 Ứng suất tổng cộng trong bê tông do ứng lực trước và do tải trọng dài hạn.	35
2.1.4 Ứng suất trong thép ứng lực trước.	35
2.2 Thiết kế sàn bê tông ứng lực trước	37
2.2.1 Giới thiệu chung sàn bê tông ứng lực trước	37
✱ 2.2.2 Thiết kế cấu kiện bê tông ứng lực trước chịu uốn tiết diện chữ nhật bằng phương pháp cân bằng tải trọng	37
2.2.3 Quan điểm thiết kế các dạng sàn bê tông ứng lực trước	42
2.2.4 Thiết kế sàn phẳng bê tông ứng lực trước căng sau bằng phương pháp cân bằng tải trọng	47
2.3 Kết luận chương 2	61

CHƯƠNG 3

VÍ DỤ TÍNH TOÁN

3.1 Ví dụ tính toán	62
3.2 Lập bảng so sánh	79
3.3 Kết luận chương 3	81
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	82
TÀI LIỆU THAM KHẢO	83
MỘT SỐ HÌNH ẢNH THI CÔNG SÀN BÊ TÔNG ỨNG LỰC TRƯỚC	84

KÝ HIỆU

A : Diện tích mặt cắt ngang tổng cộng.

A_c : Diện tích mặt cắt ngang của bê tông.

A_{ps} : Diện tích thép ứng lực trước.

A'_s, A_s : Diện tích thép thường. chịu nén, kéo.

ULT : ứng lực trước.

E_s : Mô đun đàn hồi của thép.

E_c : Mô đun đàn hồi của bê tông.

e : Độ lệch tâm của thép ULT.

F : Lực ULT hiệu quả trong cáp.

f_c : ứng suất đơn vị của bê tông.

f'_c : Cường độ chịu nén của bê tông mẫu lăng trụ ở 28 ngày tuổi.

f'_{ci} : Cường độ chịu nén chuyển đổi của bê tông.

f_{ps}, P_e : ứng suất hiệu quả, lực căng hiệu quả của thép ULT.

I : Mô men quán tính của mặt cắt ngang.

σ : ứng suất trong bê tông.

W_D : Tĩnh tải.

W_L : Hoạt tải.

W_W : Tải trọng tiêu chuẩn.

W_b : Tải trọng cân bằng.

f_{pu} : cường độ chịu kéo / của thép ULT

f_{py} : giới hạn chảy

E_{ps} : Mô đun đàn hồi

f_y, f'_y : cấp độ chịu kéo, nén của thép thường.

nghiệm thu kết cấu bê tông ứng lực trước. Trong xây dựng dân dụng do gặp nhiều khó khăn trong thiết kế, thi công kết cấu bê tông ứng lực trước nên nhiều công trình lớn chỉ dùng giải pháp truyền thống là bê tông cốt thép thông thường đặc biệt đối với sàn phẳng nên không đem lại hiệu quả cao về thẩm mỹ và kinh tế. Sàn phẳng bê tông ứng lực trước được nghiên cứu để thiết kế cho những ô sàn khẩu độ lớn dùng nhiều trong nhà cao tầng và các công trình văn hoá thể thao hiện đại như nhà hát lớn, các khu hội chợ triển lãm, siêu thị, bảo tàng, sân vận động.

Xuất phát từ những nhu cầu đó, mục tiêu của luận văn là nghiên cứu về lý thuyết tính toán và quy trình thiết kế sàn phẳng bê tông ứng lực trước bằng phương pháp cân bằng tải trọng, đưa ra một số kiến nghị về việc chọn tải trọng cân bằng hợp lý trong quá trình thiết kế.

Nội dung của luận văn được chia làm 3 chương :

+ Phần mở đầu.

+ Chương 1 : Tổng quan về bê tông ứng lực trước.

+ Chương 2 : Tính toán sàn phẳng bê tông ứng lực trước bằng phương pháp cân bằng tải trọng.

+ Chương 3 : Ví dụ tính toán.

Kết luận và kiến nghị.

Tác giả luận văn xin được bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc và chân thành nhất đến thầy hướng dẫn chính PGS.TS Phan Quang Minh, người đã tận tình hướng dẫn để tác giả hoàn thành luận văn này. Tác giả cũng xin chân thành cảm ơn Khoa đào tạo sau đại học, Bộ môn Công trình bê tông cốt thép trường Đại học Xây dựng cùng gia đình và bạn bè đã giúp đỡ, đóng góp nhiều ý kiến cho tác giả trong quá trình hoàn thành luận văn.

Với thời gian nghiên cứu và năng lực có hạn nên luận văn không thể tránh khỏi sai sót, tác giả mong muốn nhận được sự chỉ bảo, góp ý của thầy cô và đồng nghiệp để luận văn được hoàn thiện hơn.

Đà Nẵng tháng 11 năm 2003

Ks Nguyễn Hoàng Thu Thủy

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ BÊ TÔNG ỨNG LỰC TRƯỚC

1.1 Bản chất của bê tông ứng lực trước

Bê tông là vật liệu có cường độ chịu kéo rất nhỏ so với cường độ chịu nén của nó. Cốt thép là vật liệu có cường độ chịu kéo rất cao. Do đó, để tăng khả năng chịu kéo cho bê tông người ta đã sử dụng hỗn hợp BTCT, trong đó kết hợp khả năng chịu kéo của cốt thép và khả năng chịu nén của bê tông. Tuy vậy, bê tông cốt thép chỉ là sự kết hợp đơn thuần giữa bê tông và cốt thép để chúng cùng làm việc một cách bị động. Bê tông ứng lực trước là sự kết hợp chủ động, tích cực giữa bê tông cường độ cao và cốt thép cường độ cao.

Phương pháp ứng lực trước bê tông được thực hiện bằng cách đặt vào kết cấu một lực nén trước 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 sẽ gây ra ứng suất nén trước trong bê tông. Ứng suất nén trước sẽ triệt tiêu hay làm giảm ứng suất kéo do tải trọng sử dụng gây ra. Do vậy, khả năng chịu kéo của bê tông sẽ được nâng cao và giảm độ võng cho kết cấu nên hạn chế sự phát triển vết nứt.

Ủy ban về bê tông ứng lực trước thuộc Viện nghiên cứu bê tông Mỹ đã đưa ra định nghĩa như sau: "Bê tông ứng lực trước là loại bê tông mà trong đó ứng suất bên trong với giá trị và sự phân bố phù hợp được đưa vào nên ứng suất do ngoại lực gây ra sẽ được điều chỉnh đến một mức độ mong muốn. Với cấu kiện bê tông ứng lực trước, ứng lực trước được tạo bởi việc kéo trước cốt thép cường độ cao".

1.2 Những ưu điểm và ứng dụng của bê tông ứng lực trước

Bê tông ULT có những ưu điểm lớn so với các dạng kết cấu xây dựng khác như bê tông cốt thép và thép như sau :

- Cấu kiện bê tông ULT có khả năng chịu uốn cao hơn dưới tác dụng của tải trọng làm việc so với cấu kiện BTCT có cùng kích thước chiều dày. Do có độ cứng lớn hơn nên có độ võng và biến dạng nhỏ hơn.

- Việc sử dụng bê tông và thép cường độ cao trong cấu kiện bê tông ULT cho phép cấu kiện có thể mảnh và nhẹ hơn so với cấu kiện BTCT. Do sự giảm tĩnh tải sẽ giảm bớt tải trọng trọng thiết kế và chi phí cho móng.

- Sử dụng bê tông ULT có thể tiết kiệm được khoảng 15-30% khối lượng bê tông và 60-80% khối lượng cốt thép so với cấu kiện BTCT nhưng lại phải tăng chi phí cho bê tông cường độ cao, thép cường độ cao, neo và các thiết bị khác. Do vậy, đối với cấu kiện nhịp lớn thì sử dụng bê tông ULT nói chung kinh tế hơn so với cấu kiện BTCT và thép.

- Cấu kiện bê tông ULT có khả năng chịu lực cắt cao hơn, do hiệu quả của ứng suất trước nén mà giảm ứng suất kéo chính. Việc sử dụng cáp uốn cong, đặc biệt với cấu kiện nhịp lớn sẽ làm giảm lực cắt ở tiết diện gối tựa.

- Đặc điểm của bê tông ULT là bê tông cường độ cao và khả năng chịu nứt cao do đó tăng độ bền của kết cấu dưới các điều kiện môi trường kết hợp và có khả năng chống thấm tốt hơn. Vì vậy, bê tông ULT sử dụng rộng rãi cho các kết cấu đòi hỏi khả năng chống thấm cao như ống dẫn có áp, bể chứa chất lỏng và chất khí...

- Ưu điểm của bê tông ULT là tương đối tốt hơn so với các vật liệu khác nên có thể sử dụng cho các kết cấu chịu tải trọng động như cầu đường sắt hay móng máy.

- Bê tông ULT có khả năng chịu lửa và chịu ăn mòn tốt.

- Do có tính linh hoạt và dễ thích nghi nên bê tông ULT có thể sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như xây dựng nhà dân dụng, xi lô lớn, bể chứa lớn, cầu vượt giao thông, cầu nhịp lớn, tháp cao, cọc, cừ..

1.3 Lịch sử hình thành và phát triển bê tông ứng lực trước trên thế giới.

Phương pháp ứng lực trước để tăng khả năng chịu lực của kết cấu được phát hiện ra khi những người làm rượu thấy rằng nếu dùng dây bện hoặc đai kim loại quấn chặt quanh các thùng rượu bằng gỗ thì có thể tạo ra những thùng đựng rượu lớn. Khi siết chặt đai quanh thùng đựng rượu làm bằng các mảnh gỗ, người ta đã tạo ra lực nén trước cho các mảnh gỗ, vì vậy cho phép thành thùng rượu có khả năng chịu được áp suất kéo do chất lỏng đựng bên trong gây ra.

Việc ứng dụng phương pháp ứng lực trước để tăng khả năng chịu lực của kết cấu bê tông bắt đầu từ thập niên 80 của thế kỷ 19. Năm 1886, kỹ sư P. H Jackson ở Mỹ đã nhận được bằng sáng chế về việc dùng cốt thép căng trước để đúc bê tông vòm. Năm 1888 C.E.W. Doehring người Đức cũng đã nhận được bằng sáng chế về việc tạo ứng lực trước cho thép trong khi thi công bê tông sàn.

Dựa vào vị trí cáp ULT	Phương pháp căng trong	Sợi cáp nằm trong cấu kiện BTULT	-Sử dụng phổ biến cho các cấu kiện BTULT
	Phương pháp căng ngoài	Sợi cáp nằm ngoài cấu kiện BTULT	-Thường dùng khi cải tạo sửa chữa tăng khả năng chịu lực của kết cấu
Dựa vào mức độ căng thép ULT	ULT toàn phần	-Bê tông được ULT sao cho không xuất hiện ứng suất kéo khi chịu tải trọng sử dụng	-Chỉ cần dùng cốt thép thường đặt cấu tạo
	ULT một phần	-Sau khi ULT, dưới tác dụng tải trọng sử dụng trong cấu kiện vẫn có ứng suất kéo.	-Phải đưa cốt thép thường để chịu ứng suất kéo xuất hiện khi chịu tải sử dụng.
Dựa vào đặc điểm thi công	Bê tông ULT đúc sẵn	-Cấu kiện BTULT sản xuất hàng loạt ở nhà máy, sau đó đưa ra công trường lắp ghép	-Thi công nhanh, công nghiệp hoá, dễ kiểm soát chất lượng, hiệu quả kinh tế cao. Tiện lợi khi thi công công trình chung cư có nhiều cấu kiện giống nhau. -Chỉ sử dụng cho các cấu kiện vừa và nhỏ
	Bê tông ULT đổ tại chỗ	- Cấu kiện BTULT được thi công tại công trường	-Thích hợp với các cấu kiện có kích thước lớn, đa dạng. -Chi phí nhiều cho dàn giáo cốt pha

1.6 Vật liệu sử dụng cho bê tông ULT

1.6.1 Bê tông.

Bê tông ULT yêu cầu bê tông có cường độ chịu nén cao vào độ tuổi sớm hợp lý với cường độ chịu kéo cao hơn so với bê tông thường, sự co ngót nhỏ, đặc tính từ biến nhỏ và giá trị môđun đàn hồi cao. Những đặc tính như là độ bền, tính không thấm nước và khả năng chịu mài mòn, đều chịu ảnh hưởng bởi cường độ của bê tông.

Theo tiêu chuẩn ACI, cường độ chịu nén cho mẫu trụ ở 28 ngày tuổi cho bê tông ULT yêu cầu từ 28-55 MPa. Kinh nghiệm cho thấy rằng, sử dụng bê tông có cường độ từ 28-34 MPa nói chung là kinh tế nhất. Với cường độ bê tông từ 28-41 MPa có thể đạt được dễ dàng không có yêu cầu cao về công nghệ.

Ứng suất kéo nén cho phép trong bê tông ở giai đoạn truyền và đặt tải làm việc được định nghĩa bởi cường độ chịu nén tương ứng của bê tông ở mỗi giai đoạn. Những điều khoản trong tiêu chuẩn của Mỹ đề xuất ứng suất cho phép lớn nhất cho theo bảng 1.1.

Bảng 1.2 Đề xuất ứng suất cho phép theo tiêu chuẩn Mỹ ACI :318-1999

	Ứng suất nén	$0,60 f_{ci}'$ (cường độ chịu nén chuyển đổi)
Giai đoạn truyền	Ứng suất kéo	(a) tại đầu mút của cấu kiện gối đơn giản: $0,5\sqrt{f_{ci}'}$ (b) Tại những vị trí khác: $0,25\sqrt{f_{ci}'}$
	Ứng suất nén	$0,45 f_c'$ (tải trọng thường xuyên) $0,6 f_c'$ (tổng tải trọng)
Giai đoạn tải trọng làm việc	Ứng suất nén	Tiết diện không nứt: $0,5\sqrt{f_c'}$ Tiết diện nứt: $\sqrt{f_c'}$
	Ứng suất kéo	

Đặc tính ứng suất - biến dạng của bê tông về sự nén là không tuyến tính, nhưng với tải trọng không đạt tới 30% cường độ chịu nén thì sự làm việc biến dạng do tải trọng có thể cho là tuyến tính. Đặc tính biến dạng của bê tông dưới tác dụng của tải trọng ngắn hạn và duy trì là cần thiết để xác định cường độ chịu uốn của dầm và để ước lượng môđun đàn hồi của bê tông, được yêu cầu để tính toán biến dạng của cấu kiện ULT.

Môđun đàn hồi ngắn hạn được quy định trong hầu hết các tiêu chuẩn, phù hợp với môđun cắt xác định từ mối quan hệ ứng suất - biến dạng thực nghiệm thu được từ các mẫu tiêu chuẩn dưới tác dụng của tải trọng bằng 1/3 cường độ chịu nén lặp phương của bê tông. Môđun đàn hồi của bê tông tăng lên cùng với cường độ của bê tông nhưng với một tỷ lệ giảm đi.

Đây là công thức theo kinh nghiệm đã được viện nghiên cứu bê tông Hoa Kỳ (ACI 318-1999) đề xuất trong tiêu chuẩn quốc gia để tính toán môđun đàn hồi của bê tông: $E_c = 5050\sqrt{f'_c}$ (N/mm²).

1.6.2 Thép cường độ cao.

Thép cường độ cao sử dụng cho cấu kiện bê tông ULT nói chung bao gồm dạng sợi, thanh hay cáp. Cường độ chịu nén cao hơn do tăng thành phần Các-bon trong thép so với thép cán.

1.6.2.1 Yêu cầu về cường độ và đặc tính của các loại thép cường độ cao.

Cường độ giới hạn của thép cường độ cao có thể dễ dàng xác định bằng thí nghiệm. Cường độ chịu kéo tới hạn của sợi thép cán nguội thay đổi theo đường kính của nó. Cường độ chịu kéo giảm khi đường kính của sợi thép tăng. Giới hạn đàn hồi và điểm chảy của nó lại không dễ có thể xác định chính xác được. Do đó người ta đề xuất điểm chảy của thép cường độ cao là giá trị 0,2% biến dạng dư và 1% biến dạng.

a) *Sợi thép cường độ cao:*

Sợi thép sử dụng cho bê tông ứng lực trước 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. Đặc tính của sợi thép theo ASTM A-421 được quy định trong bảng 1.4.

Bảng 1.3. Đặc tính của sợi thép giảm ứng suất không có vỏ bọc (ASTM A-421)

Đường kính (mm)	Cường độ chịu kéo nhỏ nhất (MPa)		Ứng suất nhỏ nhất tại 1% dãn dài (N/mm ²)	
	Dạng BA	Dạng WA	Dạng BA	Dạng WA
4,88	-	1725	-	1380
4,98	1655	1725	1325	1380
6,35	1655	1655	1325	1325
7,01	-	1622	-	1295

Ghi chú: - Dạng BA sử dụng cho neo bó cáp; dạng WA sử dụng cho neo hình nêm.

b) Cáp cường độ cao:

Cáp sử dụng cho bê tông ULT tuân theo tiêu chuẩn ASTM A-416 với hai loại cáp 7 sợi cường độ giới hạn nhỏ nhất cho sẵn là 1724 MPa và 1862 MPa. Tiêu chuẩn này được sử dụng cho cả cấu kiện căng trước và căng sau, dính kết hay không dính kết. Đặc tính của cáp 7 sợi theo ASTM A-416 được quy định trong Bảng 1.4

Bảng 1.4 Đặc trưng của cáp 7 sợi không có vỏ bọc (ASTM A-416)

Đường kính (mm)	Sức bền phá hoại (kN)	Diện tích của cáp (mm ²)	Tải trọng nhỏ nhất tại dãn dài 1% (kN)
Cường độ 1720 MPa			
6,35	40,0	23,22	34,0
7,94	64,5	37,42	54,7
9,53	89,0	51,61	75,6
11,11	120,1	69,68	102,3
12,70	160,1	92,90	136,2
15,24	240,2	139,35	204,2
Cường độ 1860 MPa			
9,53	102,3	54,84	87,0
11,11	137,9	74,19	117,2
12,70	183,7	98,71	156,1
15,24	260,7	140,00	221,5

c. Thép thanh cường độ cao.

Thép thanh sử dụng cho bê tông ứng lực trước tuân theo tiêu chuẩn ASTM A-322 và A-29. Những thanh như vậy có 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 dãn dài nhỏ nhất tại lúc phá hoại ở vị trí chiều dài bằng 20 lần đường kính là 7%, với độ giảm nhỏ nhất của tiết diện tại lúc phá hoại 25%.

1.6.2.2 Ứng suất cho phép trong thép.

Ứng suất kéo trong thép tại thời điểm căng sau neo và sau khi cho phép tất cả những tổn hao có thể nói chung được thể hiện như là phần nhỏ của cường độ chịu nén tới hạn hay ứng suất phá hoại. Gợi ý của tiêu chuẩn của nhiều quốc gia thay đổi sát giới hạn với sự quan tâm tới ứng suất cho phép trong cấu kiện ULT ở những thời điểm khác nhau.

Bảng 1.5. Ứng suất cho phép trong thép cường độ cao theo tiêu chuẩn ACI:318-1989

Tại thời điểm căng ban đầu	ULT ban đầu do lực kích thép ULT không đạt tới 94% giới hạn chảy nhưng không lớn hơn 85% cường độ chịu kéo của thép ULT. <i>Yêu: cđ. chịu kéo</i> <i>Yêu: giới hạn chảy</i> của thép ULT
Ngay sau khi truyền ULT	Với căng trước, ứng suất không đạt tới 82% của giới hạn chảy nhưng không lớn hơn 74% cường độ chịu kéo. Với căng sau, tại neo và ngay sau khi neo, ứng suất không nên đạt tới 70% cường độ chịu kéo của thép ULT.

1.7 Các hệ thống tạo ứng lực trước.

Thiết bị sử dụng cho căng thép, được chia thành các dạng sau:

1. Cơ khí: Thiết bị cơ khí nói chung được sử dụng bao gồm trọng lượng có hay không có bộ truyền lực đòn bẩy, bộ truyền lực số kết hợp với bộ ròng rọc có hoặc không có bánh răng và máy cuốn sợi. Những thiết bị này được sử dụng chủ yếu cho thành phẩm bê tông ULT sản xuất ở nhà máy với quy mô lớn

2. Thủy lực: Kích thủy lực là một thiết bị đơn giản nhất để sinh ra lực ULT lớn, được sử dụng rộng rãi như là một thiết bị căng. Các kích thủy lực thông dụng có lực căng khoảng từ 5-100 T. Các kích thủy lực lớn cho lực căng trong khoảng từ 200- 600 T.

Ngoài ra còn có phương pháp điện, hoá. Điều quan trọng nhất là trong suốt quá trình ULT, lực tác dụng cần được đo một cách chính xác.

1.8 Các giai đoạn chịu tải của bê tông ULT.

Trong tính toán thiết kế, cần phải nghiên cứu về các giai đoạn chịu tải mà cấu kiện bê tông ULT phải chịu. Với kết cấu đổ tại chỗ, bê tông ULT được thiết kế ít nhất cho hai giai đoạn: giai đoạn ban đầu trong khi ULT và giai đoạn cuối cùng dưới tác dụng của tải trọng ngoài. Với kết cấu đúc sẵn, một giai đoạn thứ ba là vận chuyển và sử dụng phải được nghiên cứu.

1.8.1 Giai đoạn ban đầu

Cấu kiện chịu ULT nhưng không chịu bất kỳ tải trọng ngoài tác dụng. Giai đoạn này có thể được chia thành các giai đoạn nhỏ, và có thể một trong số những giai đoạn nhỏ này là không quan trọng và bỏ qua trong tính toán.

a) Giai đoạn ban đầu

Giai đoạn trước khi bê tông được ULT, nó quá yếu để chịu tải trọng, vì vậy cần phải ngăn cản sự biến dạng của gổĩ đỡ của nó, muốn vậy hệ thống cốt pha phải chắc chắn. Lúc này, có thể xảy ra sự co ngót của bê tông. Nếu muốn làm giảm tối thiểu hay loại trừ vết nứt trong bê tông ULT, phải bảo dưỡng cẩn thận trước khi truyền ULT. Cần tránh làm khô hay thay đổi nhiệt độ một cách đột ngột. Những vết nứt có thể mất đi hay không khi tác dụng ULT tùy thuộc vào nhiều yếu tố. Vết nứt do co ngót sẽ làm mất khả năng chịu ứng suất kéo của bê tông.

b) Giai đoạn trong khi ULT

Trong giai đoạn này thép ULT chịu ứng suất lớn. Ứng suất trong thép ở giai đoạn này là $0,80f_{pu}$ hay $0,94f_{py}$. Với bê tông, việc truyền ULT tác động mạnh mẽ đến khả năng chịu cắt tại vùng neo. Vì bê tông chưa đủ tuổi trong khi ULT đã đạt tới giá trị lớn nhất tại giai đoạn này, sự phá hoại bê tông ở vùng neo có thể xảy ra nếu bê tông chất lượng kém hay bị rỗ, vì vậy phải gia cường bê tông vùng neo. ULT không đối xứng hay tập trung sẽ có thể gây ra sự vượt ứng suất cho phép trong bê tông. Do vậy, trình tự ULT các thép ULT cần phải được nghiên cứu trước một cách hợp lý.

c) Giai đoạn tại lúc truyền ULT

Giai đoạn truyền ULT, với cấu kiện căng trước, truyền ULT được hoàn thành trong một quá trình ngắn. Đối với cấu kiện căng sau, truyền ULT thường từ từ và ULT trong thép được truyền cho bê tông một cách lần lượt. Trong cả hai trường hợp đều không có tải trọng ngoài tác dụng lên kết cấu ngoại trừ tải trọng bản thân. Sau

khi truyền, bê tông chịu lực ULT lớn nên ở trạng thái làm việc nguy hiểm, đây là yếu tố quan trọng khi thiết kế cấu kiện bê tông ULT. Nếu trong quá trình thiết kế không lưu ý thì sẽ có thể đưa đến sự phá hoại của cấu kiện.

1.8.2 Giai đoạn trung gian

Đây là giai đoạn vận chuyển và lắp dựng, chỉ xảy ra cho cấu kiện đúc sẵn. Điều đặc biệt quan trọng là chắc chắn rằng cấu kiện được chống đỡ đầy đủ trong suốt thời gian. Không chỉ trong khi lắp dựng cấu kiện mà khi tác động thêm tải trọng (ví dụ như các lớp sàn hay mái) cần phải chú ý tới điều kiện chống đỡ và tải trọng.

1.8.3 Giai đoạn cuối cùng

Đây là giai đoạn tải trọng thực sự tác động lên kết cấu. Cũng như các dạng kết cấu khác, cần phải quan tâm đến các tổ hợp khác nhau của tải trọng động trên các phần khác nhau của kết cấu với tải trọng ngang như gió và động đất hay ảnh hưởng của nhiệt độ. Với kết cấu bê tông ULT, đặc biệt cho những dạng không thông dụng, cần thiết phải nghiên cứu vết nứt và tải trọng giới hạn của nó, sự làm việc của nó dưới tải trọng dài hạn thực tế thêm vào tải trọng làm việc.

a) Tải trọng dài hạn

Độ võng hay độ võng của cấu kiện ULT dưới tải trọng dài hạn thực tế (thường chỉ có tải trọng tĩnh) thường được điều chỉnh bằng các yếu tố trong thiết kế vì ảnh hưởng của từ biến cuối cùng sẽ làm tăng độ lớn của nó. Do đó, người ta thường giới hạn độ võng hay độ võng dưới tải trọng dài hạn.

III.5 11.7.01/03
PBM

b) Tải trọng làm việc

Thiết kế cho tải trọng làm việc là một bước kiểm tra ứng suất và biến dạng quá mức. Không cần thiết phải đưa ra một đảm bảo về sự làm việc quá tải. Do vậy, người ta thường thiết kế dựa trên tính toán tải trọng làm việc và sau đó kiểm tra cường độ.

c) Tải trọng nứt

Nứt trong cấu kiện bê tông ULT báo hiệu sự thay đổi đột ngột về lực dính kết và ứng suất cắt. Đôi khi, nó còn là thước đo của cường độ phá hoại. Với kết cấu chịu ảnh hưởng của ăn mòn, thép ULT không dính kết thì vết nứt càng không được phép và với kết cấu mà vết nứt có thể đưa đến một độ võng quá mức thì sự nghiên cứu về tải trọng nứt là rất quan trọng.

d) Tải trọng giới hạn

Kết cấu dựa trên ứng suất làm việc không thể có một giới hạn thích hợp cho sự quá tải. Vì yêu cầu kết cấu có một khả năng chịu tải trọng tính toán nhỏ nhất xác định nên cần thiết xác định cường độ giới hạn. Nói chung, cường độ giới hạn của một kết cấu được định nghĩa bởi tải trọng lớn nhất mà kết cấu có thể chịu trước khi phá hoại. Cường độ giới hạn được tính toán một cách dễ dàng và được chấp nhận như là một tiêu chuẩn thiết kế với bê tông ULT.

1.9 Tổn hao ứng suất trước

Sau khi tạo ULT trong cấu kiện, lực ULT trong bê tông không giữ nguyên giá trị ban đầu mà chịu một sự giảm đi từ từ theo thời gian từ giai đoạn truyền cho đến giai đoạn chịu tải do nhiều nguyên nhân gọi là sự tổn hao ứng suất.

1.9.1 Bản chất của sự tổn hao ứng suất

Khi thiết kế, cần thiết phải tính toán sự tổn hao ứng suất một cách hợp lý. Phân tích và thiết kế tổng thể của cấu kiện bê tông ULT liên quan đến việc xem xét lực hiệu quả của thép ULT tại mỗi giai đoạn chịu tải, cùng với đặc trưng vật liệu thích hợp cho từng giai đoạn làm việc của kết cấu. Dưới đây là những giai đoạn chung nhất để kiểm tra ứng suất và sự làm việc của cấu kiện bê tông ULT:

1. Giai đoạn ngay sau khi truyền lực ULT cho tiết diện bê tông, ứng suất được tính toán như là một thước đo của sự làm việc của cấu kiện. Phải kiểm tra để đảm bảo cường độ bê tông tại 28 ngày tuổi f_c chịu được lực lớn nhất do thép ULT tác động vào bê tông. Tiêu chuẩn ACI định rõ cường độ bê tông tại giai đoạn ban đầu là f_{ci} và hạn chế ứng suất cho phép trong bê tông.

2. Giai đoạn có tải trọng làm việc, sau khi tất cả tổn hao ứng suất đã xảy ra và mức độ ULT hiệu quả dài hạn đã đạt đến, ứng suất được kiểm tra lại như là thước đo của sự làm việc và đôi khi là cường độ. Khi cấu kiện chịu tải trọng làm việc và tĩnh tải, Ứng suất hiệu quả trong thép là f_{se} sau khi đã trừ đi các tổn hao. Cường độ bê tông được cho là đạt tới f'_c vào thời điểm này.

Khi thiết kế, phải quan tâm tới ảnh hưởng đến lượng tổn hao ứng suất do vật liệu thực tế và những yếu tố khác như thời gian, điều kiện bảo dưỡng, kích thước và kích cỡ của cấu kiện. Để tính toán chính xác tổn hao ứng suất trong cấu kiện bê tông ULT là một vấn đề phức tạp bởi vì tỷ lệ của tổn hao ứng suất trước do nhiều yếu tố. Ví dụ như sự chùng ứng suất của thép ULT, liên tục được thay thế bởi sự thay đổi

ứng suất do các yếu tố khác, như từ biến của bê tông. Tỷ lệ từ biến đến phiến nó được thay đổi bởi sự thay đổi ứng suất của thép ULT. Vì vậy rất khó khăn để phân biệt lượng tổn hao ứng suất do mỗi yếu tố dưới các điều kiện khác nhau của môi trường, tải trọng và các yếu tố không xác định khác. Đồng thời sự tác động của co ngót, từ biến và sự chùng ứng suất, điều kiện vật lý như là sự thay đổi đặc tính thực tế của bê tông có thể thay đổi tổng tổn hao. Một sự sai sót trong tính toán tổn hao có thể ảnh hưởng điều kiện làm việc như độ võng, độ võng và nứt. Nó không có ảnh hưởng đến cường độ giới hạn của một cấu kiện uốn trừ khi thép ULT là không dính kết và ứng suất cuối cùng sau khi tổn hao là nhỏ hơn $0,5f_{pu}$.

1.6 Các dạng tổn hao ứng suất cơ bản phải kể đến trong tính toán thiết kế :

<i>Đối với hệ căng trước</i>	<i>Đối với hệ căng sau</i>
- Biến dạng đàn hồi của bê tông	- Biến dạng đàn hồi của bê tông (sẽ không có tổn hao ứng suất nếu tất cả các sợi thép được căng đồng thời)
- Sự chùng ứng suất trong thép	- Sự chùng ứng suất trong thép
- Sự co ngót của bê tông	- Sự co ngót của bê tông
- Từ biến của bê tông	- Từ biến của bê tông
	- Do ma sát
	- Do sự trượt neo

1.9.2 Các loại tổn hao ứng suất.

a) Tổn hao ứng suất do co ngót đàn hồi của bê tông.

Sau khi tạo ULT, cấu kiện bị co ngót do lực ULT truyền cho bê tông làm cho thép ULT co ngót theo, gây ra sự tổn hao ứng suất trong thép. Xem xét sự co ngót dọc trục của bê tông gây ra bởi ULT, chúng ta có co ngót đơn vị:

$$\delta = \frac{f_c}{E_c} = \frac{F_a}{A_r E_c} \quad (1-1)$$

F_a : là tổng ULT ngay sau khi truyền, nghĩa là sau khi sự co ngót xảy ra.

A_r, E_c : là diện tích tiết diện và mô đun đàn hồi của bê tông.

Tổn hao ứng suất trong thép là:

$$ES = \Delta f_s = E_s \delta = \frac{E_s F_o}{A_c E_c} = \frac{n F_o}{A_c} \quad (1-2)$$

E_s : là mô đun đàn hồi của thép.

Với giá trị của ULT ban đầu F_i thường là được biết, một giải pháp lý thuyết có thể thu được từ lý thuyết đàn hồi. Sử dụng phương pháp tiết diện quy đổi, với $A_i = A_c + nA_s$, chúng ta có:

$$\delta = \frac{F_i}{A_c E_c + A_s E_s} \quad (1-3)$$

$$ES = \Delta f_s = E_s \delta = \frac{E_s F_i}{A_c E_c + A_s E_s} = \frac{n F_i}{A_c + n A_s} \quad (1-4)$$

Ứng suất trong thép tại lúc truyền là ứng suất bê tông tại vị trí của cốt thép nhân với $n = E_s/E_c$.

Khi cấu kiện chịu uốn do tải trọng và mômen do sự lệch tâm của ULT trong cấu kiện, ta có:

$$f_c = \frac{F}{A} \pm \frac{Fey}{I} \pm \frac{My}{I} \quad (1-5)$$

Đặc tính của toàn bộ tiết diện bê tông có thể được sử dụng ở đây để thu được ứng suất trong bê tông tại vị trí của thép cho dầm. Chỉ với tải trọng bản thân, w_G tác động, chúng ta sẽ xác định được mômen M_G trên tiết diện mà chúng ta muốn tìm tổn hao. Vì chúng ta muốn tìm tổn ứng suất tại vị trí của thép, lấy $y = e$ ta có:

$$f_{cr} = \frac{F}{A} + \frac{Fe^2}{I} - \frac{M_G e}{I} \quad (1-6)$$

Trong đó: f_{cr} là ứng suất của bê tông tại vị trí thép do lực ULT F.

Cả ACI-ASCE và PCI đề xuất sử dụng đặc tính tiết diện nguyên. Lực ULT F được ước tính giá trị lực sau khi truyền. Lực ban đầu (F_i) có thể biết được cho ứng suất của cáp giữa các bệ neo, nhưng tổn hao đàn hồi (ES) sẽ giảm ngay tại lúc truyền khi cắt cáp. Trong hầu hết các trường hợp, cho rằng tổn hao giảm 10% cho dầm căng trước nơi mà truyền tất cả các cáp cùng một lúc. Vì vậy, có thể thu được công thức tính ứng suất trong bê tông do $F_o = 0,9F_i$ (cấu kiện căng sau) là:

$$f_{cr} = \frac{F_o}{A} + \frac{F_o e^2}{I} - \frac{M_G e}{I} \quad (1-7)$$

Trong đó:

f_{cr} : ứng suất trong bê tông tại vị trí đường c.g.s do lực ULT F_0 mà hiệu quả ngay sau khi ULT đã được áp dụng cho bê tông.

Sự co ngắn đàn hồi cho thép có thể được viết trong công thức chung hơn như sau:

$$ES = \Delta f_s = n f_{cr} = \frac{E_s f_{cr}}{E_{ci}} \quad (1-8)$$

Trong đó:

n : tỷ lệ môđun tại lúc truyền, E_s/E_{ci}

f_{cr} : ứng suất trong bê tông

Với cấu kiện căng sau, vấn đề sẽ khác hơn. Nếu chỉ có một thép ULT trong cấu kiện căng sau, bê tông co ngắn như thép ULT đó được kích ngược lại với bê tông. Vì lực trong cáp được đo sau khi co ngắn đàn hồi của bê tông đã xảy ra, không có tổn hao trong ULT do sự co ngắn đó cần được tính toán. Nếu có nhiều hơn một thép ULT và những thép ULT đó được căng lần lượt thì ULT được áp dụng từ từ cho bê tông, sự co ngắn của bê tông tăng lên khi mỗi cáp được căng chặt ngược lại với nó, và tổn hao ứng suất do co ngắn đàn hồi khác trong thép ULT. Thép ULT được căng ban đầu sẽ chịu lượng lớn nhất tổn hao do co ngắn của bê tông bởi áp dụng sau đó của ULT từ tất cả các thép ULT khác. Thép ULT được căng sau cùng sẽ không chịu bất kỳ một tổn hao nào do co ngắn đàn hồi của bê tông, vì tất cả co ngắn đó sẽ xảy ra khi ULT trong thép ULT cuối cùng được đo. Tính toán của những tổn hao như vậy có thể được thực hiện hoàn toàn phức tạp. Nhưng với mục đích thực tế, nó đủ chính xác để xác định tổn hao cho cáp ban đầu và sử dụng một nửa giá trị đó cho tổn hao trung bình của tất cả các cáp.

Phương pháp tính toán ở trên cho rằng thép ULT được căng lần lượt và mỗi thép đó chịu ứng suất tới giá trị tương tự như chỉ ra bởi áp kế hay lực kế. Hoàn toàn có thể kích thép ULT tới ULT ban đầu khác, đưa vào tính toán lượng tương ứng của tổn hao, cho nên tất cả thép ULT sẽ kết thúc với ULT tương tự sau khi suy ra tổn hao của nó. Một quy trình như vậy, mặc dù mong muốn theo lý thuyết, là hiếm khi được thực hiện vì sự phức tạp của nó. Khi có nhiều cáp và co ngắn đàn hồi của bê tông là đáng kể, đôi khi mong muốn để phân chia thành 3-4 nhóm; mỗi nhóm sẽ được đưa ra một lượng khác nhau của sự căng quá mức theo trình tự đó trong sự kích liên tiếp.

Trong thực tế, cả hai phương pháp sau đây được sử dụng:

1. Căng tất cả các thép ULT tới ULT ban đầu tiêu chuẩn và cho phép tổn hao trung bình trong thiết kế.

2. Căng tất cả các thép ULT tới giá trị trên ULT ban đầu tiêu chuẩn bởi độ lớn của tổn hao trung bình. Và khi thiết kế, tổn hao do co ngót đàn hồi của bê tông lại không cần quan tâm. Nếu như tổn hao do nguyên nhân này là không đáng kể, phương pháp thứ nhất được tuân theo. Nếu thép có thể chịu sự căng quá mức và nếu một ULT hiệu quả cao là mong muốn, quy trình thứ hai có thể chấp nhận.

Đề xuất ACI-ASCE cho tổn hao đàn hồi tính toán cho sự liên tục của ảnh hưởng ứng suất trên tổn hao đàn hồi, bởi sự thay đổi như sau:

$$ES = K_{cs} E_s \frac{f_{cr}}{E_c} \quad (1-9)$$

Trong đó: $K_{cs} = 1$ cho cấu kiện căng trước.

$K_{cs} = 0,5$ cho cấu kiện căng sau khi thép ULT là theo trình tự liên tục căng tương tự

b) Tổn hao ứng suất do co ngót của bê tông

Bê tông trong cấu kiện ULT bị co ngót đưa đến sự co ngót của sợi thép căng vì vậy góp phần gây ra sự tổn hao ứng suất. Sự co ngót của bê tông chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố như từ biến và tính toán cho tổn hao này sẽ phản ánh những yếu tố đó mà quan trọng nhất là tỷ lệ khối lượng / bề mặt, độ ẩm tương đối và thời gian từ khi kết thúc bảo dưỡng ẩm tới khi tác dụng ULT. Nguyên nhân chủ yếu của sự co ngót khô là sự mất đi không ngừng của nước từ bê tông. Tỷ lệ của sự co ngót là cao hơn ở bề mặt cấu kiện. Sự co ngót khác nhau giữa bên trong và bề mặt của cấu kiện lớn có thể đưa đến sự nứt bề mặt. Vì vậy, sự bảo dưỡng thích hợp là cần thiết để ngăn sự nứt do co ngót ở cấu kiện bê tông ULT.

Vì co ngót là phụ thuộc vào thời gian, 80% sự co ngót sẽ xảy ra trong năm đầu tiên. Cùng với từ biến, có một sự thay đổi lớn hơn hay nhỏ hơn so với giá trị biến dạng co ngót trung bình lấy bằng $550 \cdot 10^{-6}$. Yếu tố sửa đổi cho tỷ lệ khối lượng / bề mặt (V/S) và độ ẩm tương đối (RH) được đưa ra dưới đây:

$$\varepsilon_{sh} = 550 \cdot 10^{-6} \left(1 - 0,06 \frac{V}{S} \right) (1,5 - 0,015 RH) = 8,2 \cdot 10^{-6} \left(1 - 0,06 \frac{V}{S} \right) (100 - RH) \quad (1-10)$$

Tổn hao ứng suất do co ngót là sản phẩm của co ngót hiệu quả (ε_{sh}) và môđun đàn hồi của thép U.T. Một yếu tố khác duy nhất trong công thức tính tổn hao do co

ngót là hệ số K_{sh} mà nó phản ánh thực tế rằng cấu kiện căng sau được lợi từ co ngót xảy ra trước căng sau. Với dầm căng sau có thể có một sự giảm đáng kể về co ngót. Tổn hao ứng suất do co ngót có thể tính theo công thức sau:

$$SH = 8,2 \cdot 10^{-6} K_{sh} E_s \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) (100 - RH) \quad (1-11)$$

Bảng 1.7 Giá trị của K_{sh} cho cấu kiện căng sau

Thời gian sau khi kết thúc bảo dưỡng ẩm đến lúc áp dụng ULT								
Ngày	1	3	5	7	10	20	30	60
K_{sh}	0,92	0,85	0,80	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

c) Tổn hao do sự chùng ứng suất trong thép

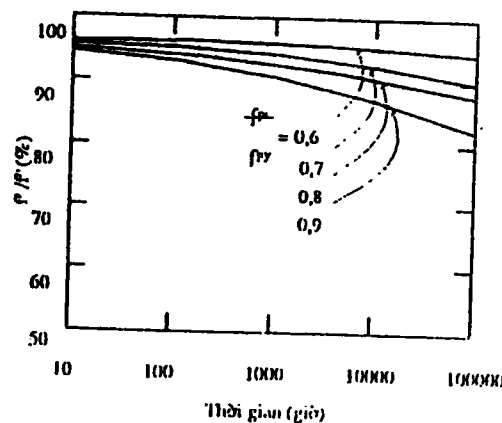
Người ta thí nghiệm tạo ULT cho thép với độ dãn dài không đổi duy trì qua một thời gian, thấy rằng lực ULT sẽ giảm từ từ đó là hiện tượng chùng ứng suất trong thép. Lượng giảm ULT phụ thuộc vào cả khoảng thời gian và tỷ lệ f_{pi}/f_{py} . Tổn hao của lực ULT được gọi là chùng ứng suất và được thể hiện như sau

$$\frac{f_p}{f_{pi}} = 1 - \frac{\log t}{10} \left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \quad (1-12)$$

Với khoảng thời gian giữa thời điểm t_1 trong khi căng trước và thời gian sau đó t khi ước tính lực còn lại, có thể viết công thức sau:

$$\frac{f_p}{f_{pi}} = 1 - \left(\frac{\log t - \log t_1}{10} \right) \left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \quad (1-13)$$

Trong đó: $\log t$ dựa trên cơ sở là 10 và f_{pi}/f_{py} đạt tới 0,55.



Hình 2-15. Đường cong chùng ứng suất của thép cho sợi thép giảm ứng suất và cáp Tiêu chuẩn ACI giới hạn lực ULT ban đầu (ngay sau khi neo) là $f_{pi} = 0,7f_{py}$.

Từ hình 1-1 rõ ràng rằng mức độ ứng suất dài hạn cao hơn sẽ đưa đến tổn hao do chùng ứng suất cao hơn. Trên thực tế dầm ULT có mức độ thay đổi biến dạng trong thép ULT là không đổi do từ biến phụ thuộc thời gian xảy ra vì vậy phải thay đổi cách tính toán tổn hao do chùng ứng suất (RE) để phản ánh điều đó. Theo ACI-ASCE thực hiện tính toán xấp xỉ với công thức sau:

$$RE = [K_{re} - J(SH + CR + ES)]C \quad (1-14)$$

Trong đó: K_{re} , J, và C được lấy giá trị từ bảng 1.8 và 1.9

Bảng 1.8 Giá trị của C

f_{pi}/f_{pu}	Cáp hay sợi giảm ứng suất	Thanh giảm ứng suất hay cáp hay sợi phục hồi chậm
0,80	-	1,28
0,79	-	1,22
0,78	-	1,16
0,77	-	1,11
0,76	-	1,05
0,75	1,45	1,00
0,74	1,36	0,95
0,73	1,27	0,90
0,72	1,18	0,85
0,71	1,09	0,80
0,70	1,00	0,75
0,69	0,94	0,70
0,68	0,89	0,66
0,67	0,83	0,61
0,66	0,78	0,57
0,65	0,73	0,53
0,64	0,68	0,49
0,63	0,63	0,45
0,62	0,58	0,41
0,61	0,53	0,37
0,60	0,49	0,33

Dạng của thép ULT	K_{re} (MPa)	J
Cáp hay sợi giảm ứng suất cường độ 1860 MPa	138	0,15
Cáp hay sợi giảm ứng suất cường độ 1720 MPa	128	0,14
Sợi giảm ứng suất cường độ 1655 MPa hay 1620 MPa	121	0,13
Cáp phục hồi chậm cường độ 1860 MPa	35	0,04
Sợi phục hồi chậm cường độ 1720 MPa	32	0,037
Sợi phục hồi chậm cường độ 1655 MPa hay 1620 MPa	30	0,035
Thanh giảm ứng suất cường độ 1000 MPa hay 1100 MPa	41	0,05

d) Tổn hao do từ biến của bê tông.

Trong cấu kiện bê tông, khi tải trọng dài hạn không tăng mà biến dạng tăng theo thời gian gọi là hiện tượng từ biến. Từ biến của bê tông xảy ra trong thời gian dài dưới tác dụng của tải trọng làm việc dài hạn sẽ gây tổn hao ứng suất trong cấu kiện bê tông ULT.

Đối với bê tông ULT có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến tổn hao ứng suất do từ biến như tỷ lệ khối lượng/bề mặt, độ tuổi của bê tông khi truyền ULT, độ ẩm tương đối và dạng của bê tông (nhẹ hay trung bình). Theo ACI-ASCE, từ biến được coi là xảy ra với tĩnh tải thường xuyên tác dụng thêm vào cấu kiện sau khi đã ULT. Tổn hao ứng suất do từ biến được tính toán cho cấu kiện bê tông thường ULT thép dính kết theo công thức sau :

$$CR = K_{cr} \frac{l_s}{E_c} (f_{cr} - f_{cd}) \quad (1-15)$$

Trong đó:

$K_{cr} = 2,0$ cho cấu kiện căng trước

$K_{cr} = 1,6$ cho cấu kiện căng sau

f_{cu} : là ứng suất trong bê tông tại vị trí của thép ngay sau khi truyền

f_{cds} = ứng suất trong bê tông tại c.g.s của thép ULT do tất cả tĩnh tải chồng lên được tác dụng cho cấu kiện sau khi được ULT.

E_s : Môđun đàn hồi của thép ULT

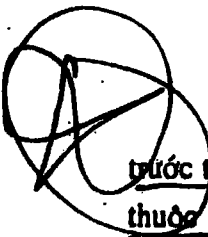
E_c : Môđun đàn hồi của bê tông ở 28 ngày tuổi, tương ứng với f_c

Đối với cấu kiện bê tông có thép ULT không dính kết, ứng suất nén trung bình được sử dụng để tính toán tổn hao do co ngán đàn hồi và từ biến của bê tông. Tổn hao trong thép ULT không dính kết được liên quan đến biến dạng trung bình cấu kiện hơn là biến dạng tại một điểm mômen lớn nhất. Vì vậy tổn hao ứng suất do từ biến được tính toán cho cấu kiện ULT thép không dính kết từ công thức sau:

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} f_{cpa} \quad (1-16)$$

f_{cpa} : ứng suất nén trung bình trong bê tông dọc theo chiều dài cấu kiện tại vị trí đường c.g.s của thép ULT.

e) Tổn hao ứng suất do ma sát



Đối với cấu kiện bê tông ULT căng sau, thép ULT được đặt trong ống đặt trước trong bê tông. Ống có thể là thẳng hoặc theo dạng cong của sợi thép ULT phụ thuộc vào yêu cầu thiết kế. Do đó để căng sợi thép dạng cong, sự tổn hao ứng suất xảy ra trong cấu kiện căng sau do ma sát giữa thép ULT và bê tông xung quanh ống.

Tổn hao ứng suất do ma sát gồm các dạng sau:

- Sự tổn hao do ảnh hưởng uốn cong, phụ thuộc vào hình dạng thép ULT hay sự đặt thẳng hàng mà nói chung theo dạng cong dọc theo chiều dài của cấu kiện.

- Sự tổn hao ứng suất do ảnh hưởng rung phụ thuộc vào độ lệch cục bộ trong sự sắp thẳng hàng của cáp. Ảnh hưởng rung hay sóng là kết quả của sự không thẳng hàng ngẫu nhiên hay không tránh khỏi, khi ống hay vỏ không thể đặt một cách hoàn hảo theo dạng định trước trong suốt chiều dài cấu kiện.

Sự tổn hao ứng suất do ma sát có thể được giảm bởi một vài phương pháp như:

- Căng quá mức thép ULT thêm một giá trị tương đương với tổn hao do ma sát lớn nhất.

- Kích sợi cáp ULT từ hai đầu của dầm, nói chung được chấp nhận khi thép ULT là dài và khi góc uốn là lớn.

Độ lớn của lực ULT F_{xx} tại một khoảng cách x tính từ đầu căng theo hàm số mũ

$$F_{xx} = F_0 e^{-(\mu\alpha + kx)} \quad (1-17)$$

F_0 : Lực ULT tại đầu kích

μ : Hệ số ma sát giữa cáp và ống

α : Góc qua đó tiếp tuyến với dạng cáp đối chiều qua hai điểm quan tâm

K : Hệ số ma sát do ảnh hưởng sóng

$e = 2,7183$

Hệ số ma sát có thể được giảm đáng kể do sự sử dụng nhiều loại bôi trơn như dầu nhờn đặc biệt, hỗn hợp than chì và paraffin.

Bảng sau là hệ số ma sát cho thép ULT căng sau theo tiêu chuẩn ACI dựa trên nghiên cứu thực nghiệm.

Bảng 1.10 Hệ số ma sát cho thép ULT căng sau (Theo ACI)

Dạng của thép ULT	μ	K
Thép ULT trong vỏ kim loại dẻo :		
Sợi thép	0,15 — 0,25	0,0033- 0,0049
Cáp 7 sợi	0,15 — 0,25	0,0016- 0,0066
Thanh cường độ cao	0,08 — 0,30	0,0003- 0,0020
Thép ULT trong ống kim loại cứng:		
Cáp 7 sợi	0,15 — 0,25	0,0007
Thép ULT được bôi trơn		
sợi thép và cáp 7 sợi	0,05 — 0,15	0,0033- 0,0066
Thép ULT phủ lớp mastic		
Sợi thép và cáp 7 sợi	0,05 — 0,15	0,001- 0,0066

Hệ số K có thể giảm đến 0 khi khe hở giữa cáp và ống là đủ lớn để loại trừ ảnh hưởng sóng.

f) *Tổn hao ứng suất do sự dịch chuyển neo*

Đối với cấu kiện bê tông ULT căng sau, khi bê tông đạt cường độ nhất định, cáp được căng và kích được thả để truyền ULT cho bê tông, khi đó nêm ma sát được sử dụng để kẹp chặt sợi thép trượt một đoạn nhỏ trước khi sợi thép được giữ vững chắc giữa các nêm.

Đoạn nêm dịch chuyển phụ thuộc vào dạng nêm và ứng suất trong sợi. Trong hệ thống mà thép ULT được móc xung quanh bề neo bê tông, sự tổn hao ứng suất có thể xảy ra do sợi được bắt vào neo. Khi tấm neo được sử dụng, có thể cần thiết cho phép độ lún nhỏ của tấm vào trong đầu mút của cấu kiện bê tông. Sự tổn hao trong suốt quá trình neo xảy ra cùng với sự kẹp chặt của nêm.

Tổn hao ứng suất do sự dịch chuyển neo được tính toán như sau:

$$\text{Sự dịch chuyển của neo } \Delta = \left(\frac{L}{AE_s} \right) \quad (1-18)$$

$$\text{Tổn hao ứng suất do sự dịch chuyển neo} = \left(\frac{P}{A} \right) = \frac{E_s \Delta}{L} \quad (1-19)$$

Với: Δ : Sự dịch chuyển của neo, mm

L : Độ dài của cáp, mm

A : Diện tích tiết diện ngang của cáp, mm²

E_s : Môđun đàn hồi của thép, N/mm²

F : Lực ULT trong cáp, N

Với hệ thống căng trước dây chuyển trong cấu kiện đúc sẵn, sự dịch chuyển của neo nói chung là ngắn so với chiều dài của sợi thép được căng vì vậy nói chung tổn hao ứng suất do dịch chuyển neo được bỏ qua. Trong khi ULT cấu kiện ngắn, tổn hao ứng suất do dịch chuyển neo chiếm phần chủ yếu của tổn hao tổng cộng.

g) *Các đề xuất chung cho tổng tổn hao ứng suất.*

Năm 1958 ACI-ASCE 423 đã đề xuất các ước tính tổng quát cho tổn hao ứng suất trong thiết kế cấu kiện bê tông ULT. Theo đó, tổng tổn hao ứng suất gồm tổn

hao do cơ ngấn đàn hồi, do từ biến, do co ngót và do chùng ứng suất (không bao gồm tổn hao do ma sát và trượt neo) trong bê tông thường là 240MPa đối với dầm căng trước và 170MPa đối với dầm căng sau. Cho đến năm 1975 các giá trị trên được thay thế bởi hai đề xuất tổng quát theo tiêu chuẩn ASSHTO cho cấu kiện bê tông ULT điển hình và theo PTI cho cấu kiện bê tông ULT căng sau thể hiện ở bảng sau:

Bảng 1.11 Tổn hao tổng quát theo ASSHTO

Dạng của thép ứng lực trước	Tổng tổn hao ứng suất	
	$f_c = 28 \text{ MPa}$	$f_c = 35 \text{ MPa}$
Cáp căng trước		310MPa
Cáp hay sợi thép căng sau (chưa kể tổn hao do ma sát)	220MPa	230MPa
Thanh thép	150MPa	160MPa

Bảng 1.12 Tổn hao ứng suất gần đúng cho cấu kiện bê tông ULT căng sau theo tiêu chuẩn PTI

Dạng của thép ứng lực trước căng sau	Tổng tổn hao ứng suất	
	Sàn	Dầm
Cáp hay sợi thép căng sau	210MPa	240MPa (sợi) 270MPa (cáp)
Thanh thép	140MPa	170MPa

Những đề xuất tổn hao tổng quát trên chỉ áp dụng cho các trường hợp không cần tính toán chính xác. Khi thiết kế yêu cầu ước tính tổn hao ứng suất chính xác hơn thì độ lớn tổn hao ứng suất có thể được thể hiện bằng một trong bốn cách sau:

1 - Độ lớn tổn hao ứng suất có thể được thể hiện bằng biến dạng đơn vị. Điều này là thuận lợi nhất cho tổn hao ứng suất do từ biến, co ngót và co ngấn đàn hồi của bê tông được thể hiện như là biến dạng.

2 - Độ lớn tổn hao ứng suất có thể được thể hiện bằng biến dạng tổng cộng. Điều này thuận lợi cho tổn hao do neo.