

Chương 2: **VẬT LIỆU BÊ TÔNG CỐT THÉP**

2.1 CỐT THÉP THEO TIÊU CHUẨN MỸ

2.1.1 Kích thước và mức thép

- Thép tròn theo tiêu chuẩn Mỹ có kích thước qui ước theo đơn vị **inch** và **mm** như sau:

ASTM STANDARD REINFORCING BARS

Bar size, no.	Nominal diameter, in.	Nominal area, in. ²	Nominal weight, lb/ft
3	0.375	0.11	0.376
4	0.500	0.20	0.668
5	0.625	0.31	1.043
6	0.750	0.44	1.502
7	0.875	0.60	2.044
8	1.000	0.79	2.670
9	1.128	1.00	3.400
10	1.270	1.27	4.303
11	1.410	1.56	5.313
14	1.693	2.25	7.650
18	2.257	4.00	13.600

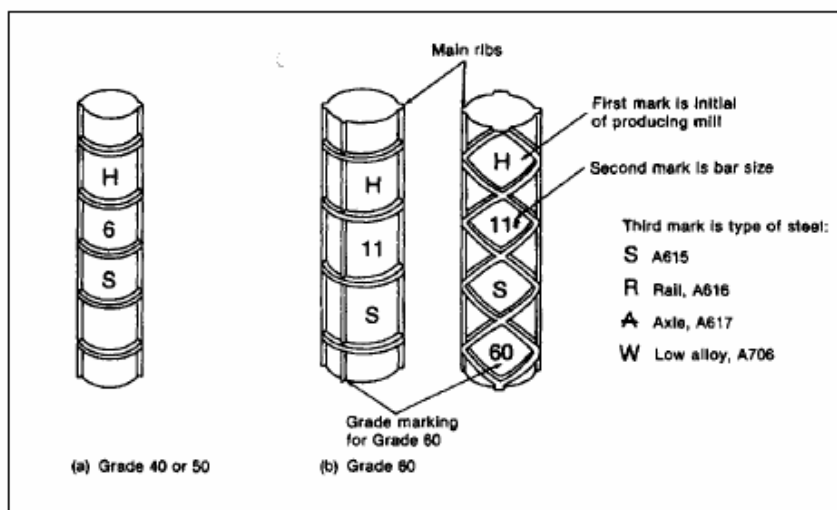
ASTM STANDARD REINFORCING BARS

Bar size, no.*	Nominal diameter, mm	Nominal area, mm ²	Nominal mass, kg/m
10	9.5	71	0.560
13	12.7	129	0.994
16	15.9	199	1.552
19	19.1	284	2.235
22	22.2	387	3.042
25	25.4	510	3.973
29	28.7	645	5.060
32	32.3	819	6.404
36	35.8	1006	7.907
43	43.0	1452	11.38
57	57.3	2581	20.24

*Bar designation numbers approximate the number or millimeters of the nominal diameter of the bar.

- Thanh #18 (φ57) thường dùng trong công trình cầu, ít sử dụng trong công trình dân dụng.

- Thép tròn có tiết diện tròn có gai giúp tăng cường liên kết neo thép trong bê tông. Gồm có 4 loại mác thép (grade):
 - **Grade 40** ($f_y = 40 \text{ ksi} = 2800 \text{ kG/cm}^2$): số #3 đến số #6
 - **Grade 50-60** ($f_y = 3500-4200 \text{ kG/cm}^2$): số #3 đến số #18
 - **Grade 75** ($f_y = 5250 \text{ kG/cm}^2$): số #6 đến số #18
- Loại thép mác **Grade 60** (*xấp xỉ thép CIII của VN*) là loại thép phổ biến nhất. Mác thép tương ứng với **giới hạn chảy danh nghĩa** (nominal yield strength - f_y).
- Kích thước và mác thép được đóng dấu trên thanh thép để tiện nhận dạng, như xem hình vẽ dưới đây (sách tham khảo của MacGregor [1]):



- Thép được sản xuất tương ứng với các tiêu chuẩn kỹ thuật ASTM (Mỹ). Thép sản xuất theo ASTM A616 và A617 dùng cho công trình đường ray và trục tàu hoả, thuộc loại thép chuyên dụng. Hai loại sử dụng rộng rãi nhất tuân theo ASTM A615 và ASTM A706 sẽ được mô tả chi tiết dưới đây.

2.1.2 Tiêu chuẩn ASTM A615: (Standard Specification for Deformed and Plain Billet Steel Bars for Concrete Reinforcement)

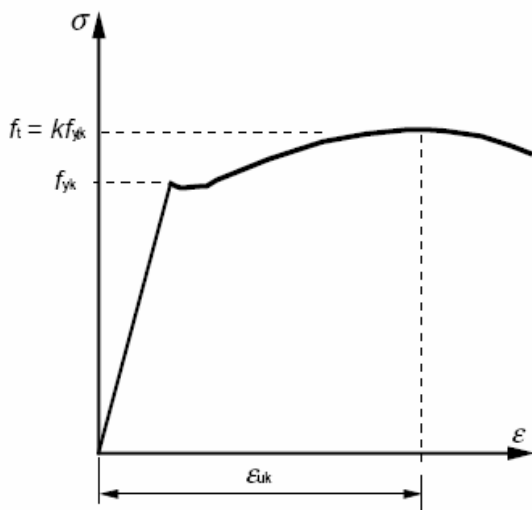
- Sử dụng phổ biến nhất ở dạng thanh thép có mác **Grade 40-60**
- Có thể ứng dụng trong các công trình chịu tải đặc biệt động đất
- Giới hạn bền xấp xỉ bằng 1,5 lần giới hạn chảy: $f_u \approx 1,5 f_y$

2.1.3 Tiêu chuẩn ASTM A706: (Standard Specification for Low-Alloy-Steel Deformed Bars for Concrete Reinforcement)

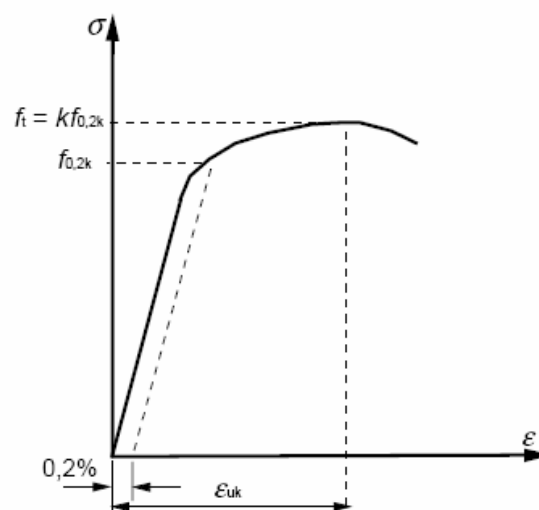
- Chỉ có một loại mác thép **Grade 60**
- Loại này ứng dụng trong các công trình hàn, uốn thép và yêu cầu tính dẻo dai của thép
- Chiều dài khi kéo đứt lớn hơn thép theo ASTM A615
- Giới hạn chảy $f_y < 78 \text{ ksi} = 5450 \text{ kG/cm}^2$ và giới hạn bền $f_u \geq 1,25 f_y$

TABLE 3-2 Summary of Mechanical Properties of Reinforcing Bars from ASTM A 615 and ASTM A 706

	A 615			A 706
	Grade 40	Grade 60	Grade 75	Grade 60
Minimum tensile strength, psi	70,000	90,000	100,000	80,000
Minimum yield strength, psi	40,000	60,000	75,000	60,000
Maximum yield strength, psi	—	—	—	78,000
Minimum elongation in 8 in. gauge length, %				
No. 3	11	9	—	14
No. 4 and 5	12	9	—	14
No. 6	12	9	7	14
No. 7 and 8	—	8	7	12
No. 9, 10, and 11	—	7	6	10
No. 14 and 18	—	7	6	10



a) Hot rolled steel

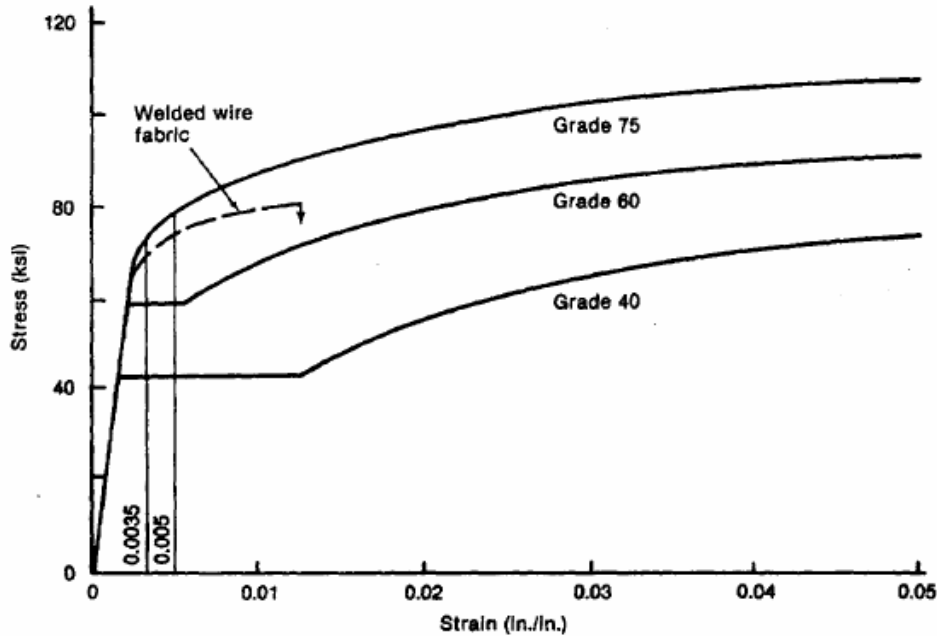


b) Cold worked steel

2.1.4 Quan hệ ứng suất-biến dạng

Đường biểu diễn quan hệ ứng suất-biến dạng cho các loại mác thép khác nhau được MacGregor trình bày theo hình vẽ dưới đây, trong đó:

- Mác thép **Grade 60** ít dẻo hơn mác thép **Grade 40**
- Mác thép **Grade 40** có thêm chảy dẻo dài hơn **mác Grade 60**; đối với thép cường độ cao, ví dụ mác thép **Grade 75**, thêm chảy dẻo là ngắn hoặc không tồn tại
- Mô đun đàn hồi lấy bằng $E = 29E3 \text{ ksi} = 2 \times 10^6 \text{ kG/cm}^2$ cho mọi loại thép



Hiện tượng mỏi tần số cao (**high-cycle fatigue**) là một bài toán thiết kế của vật liệu thép trong một số công trình như bản mặt cầu giao thông:

- Hai biên độ ứng suất, $f_{max} < f_y$ và $f_{min} < f_y$, áp đặt trong thí nghiệm mỏi của thép phải có ít nhất một giá trị là ứng suất kéo: $f_{max} > 0$
- Tham khảo thêm từ Corley, J. Struct., ASCE, June 1978 và MacGregor [1]

2.2 BÊ TÔNG THEO TIÊU CHUẨN MỸ

Bê tông là hỗn hợp của xi măng, nước, cốt liệu đá, cát và các phụ gia. Có 3 loại bê tông:

➤ Bê tông thường (*Normalweight concrete - ả WC*)

- Trọng lượng riêng xấp xỉ $150 \text{ lb/ft}^3 = 2400 \text{ kg/m}^3$
- Cốt liệu lớn có cường độ cao (ví dụ đá thạch anh)
- Bê tông bị phá hoại do nứt mạch vữa xi măng mà hầu như không xảy ra hiện tượng phá hủy qua cốt liệu lớn
- Đây là loại bê tông sử dụng phổ biến

➤ Bê tông nhẹ (*Lightweight concrete - LWC*)

- Trọng lượng riêng xấp xỉ $90\text{-}120 \text{ lb/ft}^3 = 1400\text{-}1900 \text{ kg/m}^3$
- Cốt liệu lớn có trọng lượng nhẹ như đá bọt (pumice) hay đá nhân tạo sản xuất từ đá phiến sét (shale) hay đá phiến (slate) bằng cách gia công nhiệt
- Thường dùng trong hệ thống sàn để giảm tải trọng truyền xuống đáy móng,...
- Đặc tính cơ học khác với ả WC; tham khảo chi tiết ở ACI 318 hay MacGregor [1]
- Mô đun đàn hồi thấp hơn ả WC

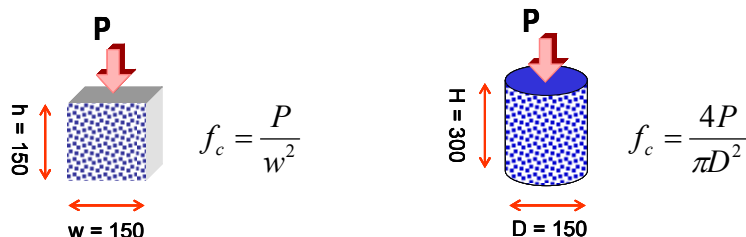
➤ Bê tông nặng (*Heavyweight concrete - HWC*)

- Trọng lượng riêng xấp xỉ $200\text{-}300 \text{ lb/ft}^3 = 3200\text{-}4800 \text{ kg/m}^3$
- Thường dùng cho công trình chắn phóng xạ hoặc chứa chất phóng xạ
- Cốt liệu lớn thông dụng được thay thế hoặc trộn bổ sung các viên sắt, thép

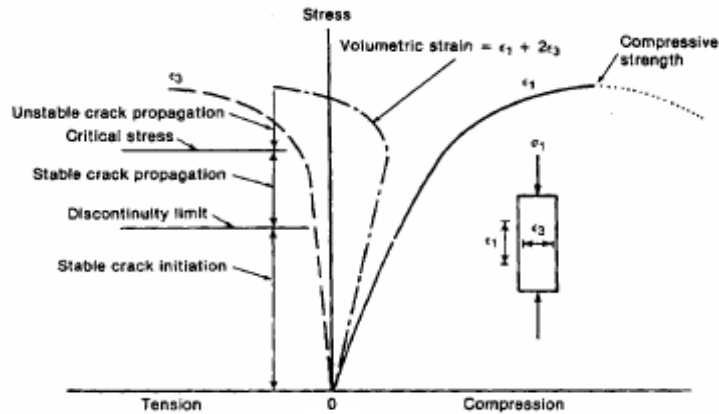
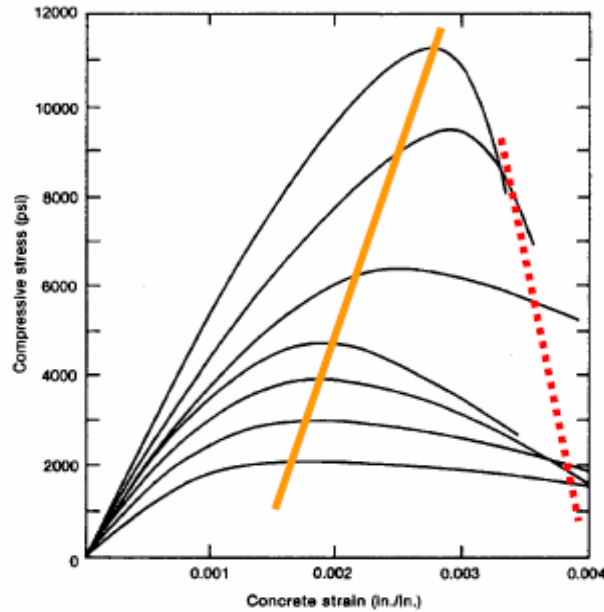
CÔNG THỨC QUI ĐỔI CƯỜNG ĐỘ BÊ TÔNG

(mác bê tông Việt nam $R = R_{150}$ lấy theo mẫu nén tiêu chuẩn $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$)

Chủng loại mẫu nén	Kích thước mẫu (mm)	Hệ số tính đổi $\alpha = R_{150} / R_{\text{mẫu}}$	Ghi chú
Lập phương	100 x 100 x 100	0.91	TCVN 3118-93
	150 x 150 x 150	1.00	
	200 x 200 x 200	1.05	
	300 x 300 x 300	1.10	
Hình trụ	D = 100 , H = 200	1.16	ACI 318-05 $\Rightarrow f'_c = R_{150} / 1.2$
	D = 150 , H = 300	1.20	
	D = 200 , H = 400	1.24	



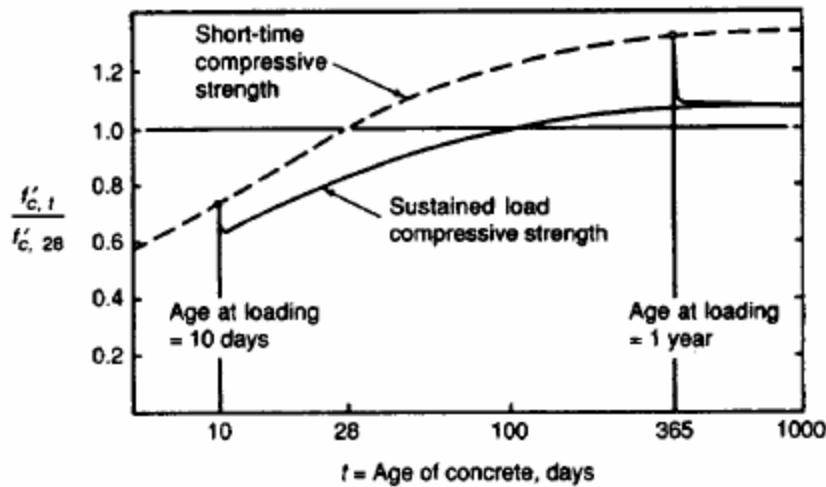
Đường cong ứng suất-biến dạng điển hình cho mẫu bê tông hình trụ chịu nén được trình bày dưới đây. Chú ý xu hướng gia tăng **độ cứng**, gia tăng **cường độ nén**, và xu hướng suy giảm khả năng **biến dạng** của bê tông.



Bê tông thường được mô tả bằng **cường độ nén danh nghĩa** (nominal compressive strength, f'_c)

- Cường độ nén một phương thiết lập từ **thí nghiệm nén mẫu hình trụ tiêu chuẩn** sau 28 ngày dưỡng hộ: thường dùng để kiểm tra cường độ bê tông trong kiểm soát chất lượng sản phẩm hay giám định
- Cường độ bê tông bị ảnh hưởng bởi **tỷ lệ á/X**, loại xi măng, **thành phần cốt liệu**, phụ gia, điều kiện dưỡng hộ, **tốc độ gia tải** ($v \uparrow \Rightarrow f'_c \uparrow$), **tuổi thí nghiệm**
- ảnh hưởng của nhà sản xuất cố gắng phát triển các thiết kế cấp phối bê tông để **cường độ nén trung bình mục tiêu** (*target mean compressive strength*) **cao hơn**, và đôi khi cao hơn đáng kể so với giá trị lý thuyết để tránh các giá trị cường độ thấp và khả năng bê tông bị loại bỏ (sau khi đổ bê tông tại công trình).

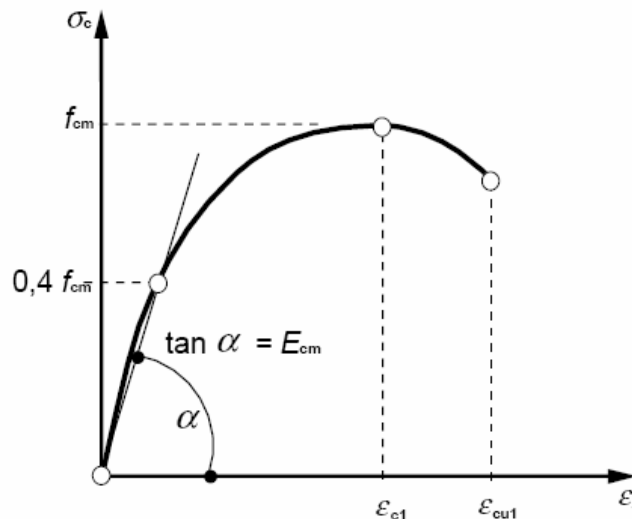
- Cơ chế phá hủy của bê tông ả WC tự do (*unconfined*) nói chung gây ra do hiện tượng nứt tại mặt tiếp giáp giữa vữa xi măng và cốt liệu lớn, và sau cùng do hiện tượng nứt trong mạch vữa giữa các cốt liệu
 - dưới tác động của tải theo chu kỳ, quá trình phá hủy phát triển làm cho cường độ bê tông ngày càng suy giảm tương ứng với sự gia tăng số chu kỳ lặp tải
 - dưới tác động của tải duy trì (sustained loading), hiện tượng từ biến gây ra sự phân phối lại ứng suất nội và sự phá hoại xảy ra từ từ; dưới tác động của tải nén duy trì, cường độ bê tông chỉ xấp xỉ $0,75 \rightarrow 0,85 f'_c$; xem hình vẽ bên dưới của MacGregor:



Mô đun đàn hồi của bê tông phụ thuộc vào loại cốt liệu lớn được dùng. Ví dụ, mô đun đàn hồi của bê tông thường (ả WC) bằng 1,5 → 5 lần mô đun đàn hồi của vữa. Với bê tông thường có trọng lượng riêng $145 \text{ lb/ft}^3 = 2300 \text{ kg/m}^3$, công thức ACI cho biết:

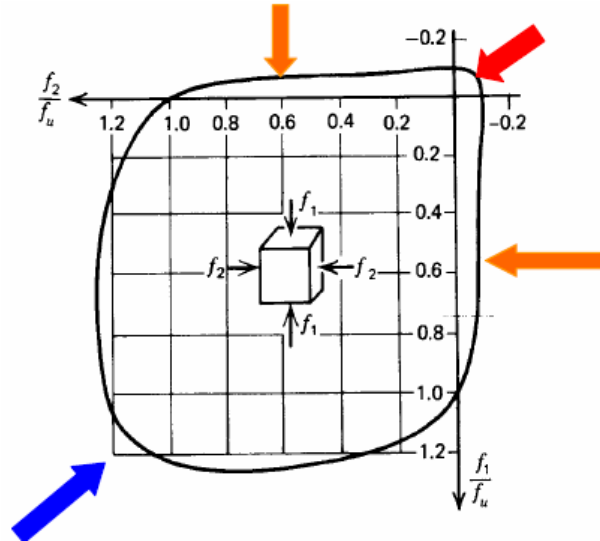
$$E_c = 57000 (f'_c)^{1/2} \quad (\text{đơn vị psi}) \quad (2-1a)$$

$$E_c = 4700 (f'_c)^{1/2} \quad (\text{đơn vị MPa}) \quad (2-1b)$$



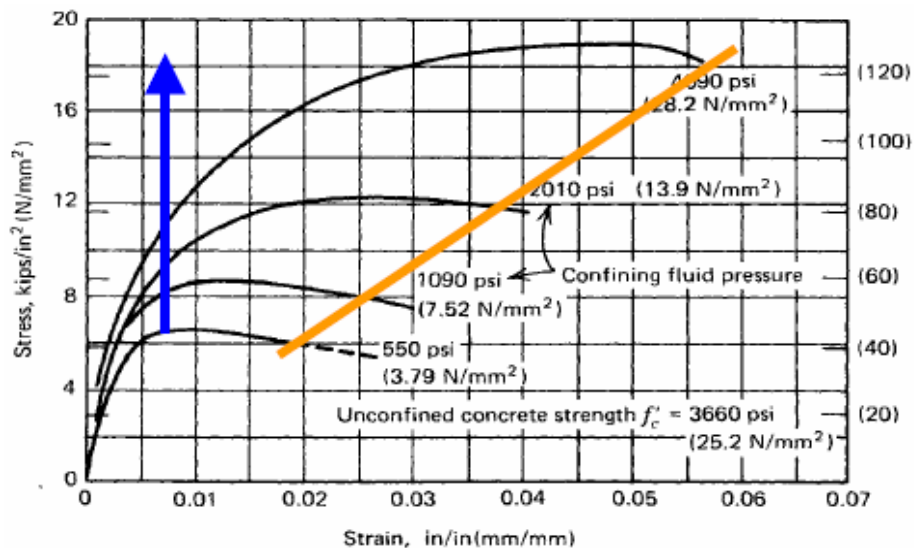
Bây giờ hãy xem xét các mặt khác trong ứng xử cơ học của bê tông: đáp ứng khi gia tải 2 phương, đáp ứng khi gia tải 3 phương, bao gồm nén thủy tĩnh.

Xét ứng xử của mẫu bê tông lập phương trong thí nghiệm gia tải **2 phương** được trình bày dưới đây. Các mũi tên chỉ thị kiểu gia tải nén. Cường độ nén trong hình vẽ được qui chuẩn (*normalized*) theo cường độ nén một phương, f_u



- Với trường hợp **kéo 2 phương**, cường độ gần bằng cường độ kéo một phương.
- Với trường hợp **nén 2 phương**, các ứng suất f_1 và f_2 có thể vượt quá 120 % cường độ nén một phương
- Với trường hợp **nén-kéo 2 phương**, bê tông bị phá hủy tại các ứng suất thấp hơn giá trị cường độ khi chỉ nén hay kéo một phương.

Cường độ và tính dẻo (*ductility*) của bê tông dưới tải trọng **nén 3 phương** vượt quá cường độ nén một phương $f'_c = 3,66 \text{ ksi}$, như trong hình vẽ dưới đây. Hình này trình bày các đường cong ứng suất-biến dạng của mẫu bê tông hình trụ chịu các áp lực nén ngang σ_3 không đổi (*confining*) trong lúc đó ứng suất dọc trục σ_1 tăng dần đến khi bị phá hoại.



Các số liệu thí nghiệm vào năm 1928 của Đại học Illinois tại Urbana, được sử dụng để thiết lập quan hệ sau đây giữa **ứng suất phá hoại dọc trục** (σ_1), **cường độ nén một phương** (f'_c), và **ứng suất nén ngang** (σ_3):

$$\sigma_1 = f'_c + 4,1 \sigma_3 \quad (2-2)$$

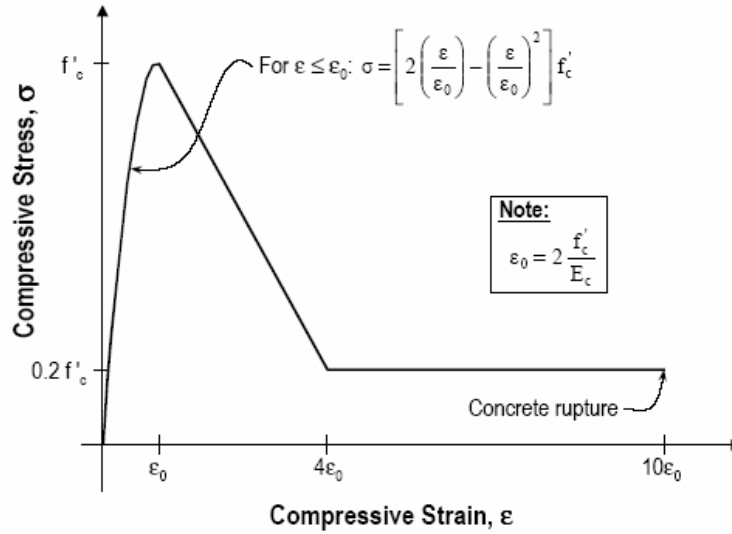
Khả năng biến dạng là vấn đề rất quan trọng trong kỹ thuật chống động đất và chống năng lượng nổ. Trong công trình nhà BTCT được thiết kế chống đỡ các tác động này, các thành phần kết cấu như cột, dầm, và nút dầm-cột được thiết kế chi tiết với các **cốt đai thép giằng kín** (*ties, spirals*). Khi một thành phần kết cấu bê tông chịu tải trọng nén lớn, toàn bộ hay một phần bề rộng của kết cấu bê tông bị gia tăng do ảnh hưởng Poisson và làm xuất hiện các vết nứt li ti (*microcracking*), trong các **cốt đai thép giằng** hình thành các ứng suất kéo, và do đó tạo nên một **ứng suất nén bù trong vùng bê tông bị ép ngang**. Trạng thái ứng suất nén **ba phương** hình thành trong vùng **bê tông bị ép ngang** gây ra do **cốt đai thép giằng** làm tăng **cường độ** và **tính dẻo** của kết cấu BTCT. Các mô hình cho **bê tông bị ép ngang** như trên sẽ được trình bày chi tiết trong **Chương 3** tiếp theo của giáo trình này.

Hậu quả khi chịu **biến dạng lớn không đàn hồi** của các thành phần kết cấu **BTCT không ép ngang** (*unconfined*) xảy ra như thế nào? Xem các hình chụp dưới đây thuộc toà nhà Imperial County Services ở ả m California bị phá hoại nghiêm trọng do động đất năm 1979.



PHU LUC 1 (dùng trong SAP, ETABS, SAFE)

a)- Đường cong (σ-ε) của bê tông thông thường:



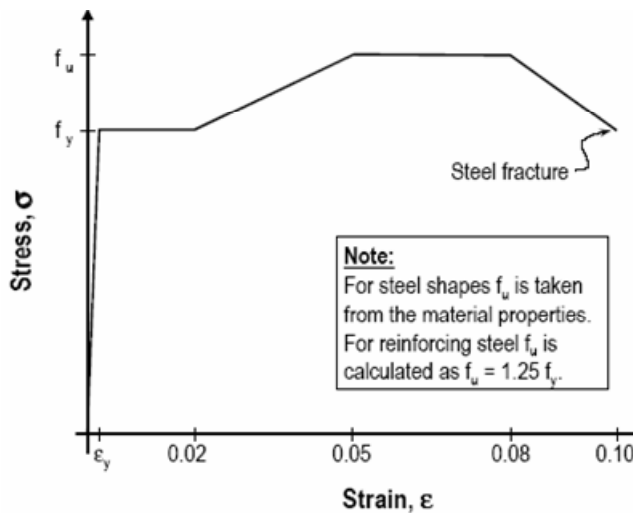
- For strains greater than ϵ_0 each segment of the stress-strain diagram is linear. For strains less than ϵ_0 the variation of the stress-strain diagram is parabolic.
 - The value of ϵ_0 is given by Equation 12-1.
- $$\epsilon_0 = 2 \frac{f'_c}{E_c} \quad \text{Eqn. 12-1}$$
- For strains less than ϵ_0 the concrete stress is given by Equation 12-2.

$$\sigma = \left[2 \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} \right) - \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} \right)^2 \right] f'_c \quad \text{Eqn. 12-2}$$

Internally in the program the curve where $\epsilon \leq \epsilon_0$ is idealized as a series of straight line segments by using Equation 12-2 to calculate σ for the following discrete values of ϵ : 0, 0.2 ϵ_0 , 0.4 ϵ_0 , 0.6 ϵ_0 , 0.8 ϵ_0 , 0.9 ϵ_0 and ϵ_0 .

- Concrete rupture occurs at a strain equal to 10 ϵ_0 .
- When there is tensile strain the stress is zero.

b)- Đường cong (σ-ε) của cốt thép thông thường:



- The diagram applies to both steel shapes and steel reinforcing.
- The diagram applies for both tension and compression.
- The stress f_u is determined from the associated material property for steel shapes. For reinforcing steel f_u is calculated as $f_u = 1.25 f_y$.
- The yield strain, ϵ_y , is calculated given by Equation 12-3.

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad \text{Eqn. 12-3}$$

- Steel fracture occurs at a strain equal to 0.10.