

## Chương 1: **GIỚI THIỆU CHUNG VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ**

### 1.1 NỘI DUNG MÔN HỌC

#### 1.1.1 Mục tiêu

Mục đích của môn học này là phát triển một kiến thức chuyên sâu về công trình BTCT chủ yếu dựa trên các phương pháp phát triển mới và áp dụng gần đây ở các nước tiên tiến Âu Mỹ (tiêu chuẩn Mỹ **ACI 318**, tiêu chuẩn châu Âu **Eurocode 8**). Mục tiêu chính sẽ là các hiểu biết về chế độ làm việc, phân tích và thiết kế các thành phần, kết cấu, và hệ thống thường dùng trong công trình xây dựng. ả goài ra, phân tích động đất và phương pháp thiết kế chống động đất cũng được giới thiệu ở mức độ khái quát trong môn học này.

#### 1.1.2 Các chủ đề thuyết trình

Cơ sở giáo trình này là các bài giảng cho học viên cao học - *CIE 525 Reinforced Concrete Structures* - của **Prof. Andrew Whittaker** (Buffalo University, ả Y, USA, 2001). ả nội dung chương 12 giới thiệu chương trình CAST tính giàn ảo - *Computer Aided Strut and Tie* - của **Prof. Daniel A. Kuchma** (University of Illinois at Urbana Champaign, IL, USA). ả nội dung **chương 13-15** tham khảo bài giảng - *CE 243A Behavior and Design of RC Elements* - của **Prof. John Wallace** (California University, CA, USA).

Các chủ đề trình bày bao gồm:

- Các phương pháp thiết kế
- Vật liệu bê tông cốt thép
- Phân tích mômen-độ cong
- Phân tích đường chảy dẻo (*yieldline analysis*) của tấm sàn
- Phương pháp dải (*strip-method*) trong phân tích tấm sàn
- Mô hình “giàn ảo” (*strut and tie*) trong thiết kế BTCT
- Chế độ làm việc của BTCT chịu tải gây uốn, tải dọc trục, và tải gây cắt
- Phân tích và thiết kế công trình chống động đất

#### 1.1.3 Tài liệu tham khảo

Học viên cao học cần tìm tiêu chuẩn Mỹ **ACI 318 Building Code, 2005** hay **2008**

Một số tài liệu tham khảo hữu ích khác bao gồm:

- [1] MacGregor, J. G., 1997, *Reinforced Concrete Mechanics and Design*, 3<sup>rd</sup> Ed., Prentice Hall.
- [2] Schaeffer, T. C., 1999, *Design of Two-Way Slabs*, SP 183, American Concrete Institute, Michigan.
- [3] Tjhin, T. ả . and Kuchma, D. A., 2004, *Computer Aided Strut-and-Tie*, version 0.9.11, University of Illinois at Urbana Champaign, Illinois.
- [4] Priestley, M. J. ả . and Paulay, T., 1992, *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley.

- [5] Booth, E. and Key, D., 2006, *Earthquake Design Practice for Buildings*, 2<sup>nd</sup> Ed., Thomas Telford Ltd.
- [6] ICBO, 2000, *International Building Code*, International Conference of Building Officials, Whittier, CA.
- [7] FEMA, 2000, *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, FEMA 356, Washington, DC.
- [8] Bộ Xây Dựng, 2006, *Thiết Kế Công Trình Chịu Động Đất*, TCXD và 375-2006, Bộ Xây Dựng, Hà Nội.

#### 1.1.4 Thời gian giảng dạy (45 tiết)

| Bài giảng (số tiết)             | Tiêu đề   |
|---------------------------------|---|
| Chương 1<br>(3 tiết - tuần 1)   | Giới thiệu chung và các phương pháp thiết kế                            |
| Chương 2<br>(1 tiết - tuần 2)   | Vật liệu bê tông cốt thép   |
| Chương 3<br>(2 tiết - tuần 2)   | Bê tông cốt thép bị ép ngang ( <i>confined</i> )                        |
| Chương 4<br>(3 tiết - tuần 3)   | Phân tích mômen-độ cong   |
| Chương 5<br>(3 tiết - tuần 4)   | Phân tích và thiết kế hệ thống tấm sàn                                  |
| Chương 6<br>(3 tiết - tuần 5)   | Phân tích đường chảy dẻo của tấm sàn                                    |
| Chương 7<br>(4 tiết- tuần 6-7)  | Phương pháp dải trong phân tích tấm sàn                                 |
| Chương 8<br>(4 tiết- tuần 7-8)  | Mô hình “giàn ảo”: khái niệm và mô hình                                 |
| Chương 9<br>(4 tiết - tuần 8-9) | Mô hình “giàn ảo”: nút - thanh chống - thanh giằng                      |
| Chương 10<br>(3 tiết - tuần 10) | Chế độ làm việc của kết cấu BTCT chịu lực uốn và lực dọc trục           |
| Chương 11<br>(1 tiết - tuần 11) | Chế độ làm việc của kết cấu BTCT chịu lực gây cắt                       |
| Chương 12<br>(3 tiết - tuần 12) | Tính toán giàn ảo bằng chương trình CAST (Computer Aided Strut-and-Tie) |
| Chương 13<br>(4 tiết - tuần 13) | Khái quát về phân tích và thiết kế công trình chống động đất            |
| Chương 14<br>(4 tiết - tuần 14) | Phân tích và thiết kế khung BTCT chống động đất                         |
| Chương 15<br>(4 tiết - tuần 15) | Phân tích và thiết kế vách cứng BTCT chống động đất                     |

## 1.2 THIẾT KẾ CÁC HỆ THỐNG KHUNG KẾT CẤU CHỊU LỰC

### 1.2.1 Các vấn đề cần nghiên cứu và hạn chế trong thiết kế

Quá trình thiết kế kết cấu bao gồm các vấn đề cần nghiên cứu sau:

#### 1) Công năng và hình dáng công trình

- Truy tìm thông qua các phương án thiết kế kiến trúc và thiết kế kết cấu
  - nhu cầu bao hàm cả không gian tổng thể và nội dung bên trong
  - cung cấp độ an toàn cao cho người thụ hưởng
  - Sự làm việc thuận tiện trong không gian kèm theo của phương án
- Sự mong muốn của chủ đầu tư
  - công trình có thể phát triển mở rộng hơn nữa, ...
- ả hu cầu uyển chuyển trong thiết kế qui hoạch và dễ sửa sang cải tạo khi cho thuê mướn
  - có thể gây áp lực trong việc lựa chọn phương án hệ kết cấu chịu lực: khung chịu mô men (*moment frame*), vách cứng, hay khung hệ giằng (*braced frame*)

#### 2) Hiệu quả kinh tế, và giá thành xây dựng

- Các kỳ vọng của chủ đầu tư: ví dụ đơn giá suất đầu tư so với các dự án khác, khả năng hoàn vốn...
- Dùng bê tông nhẹ nhằm làm giảm tối đa tải trọng lên móng trong công trình nhà cao tầng

#### 3) Độ bền vững

- Sự làm việc dài hạn, bảo quản công trình...
  - Dùng bê tông nặng cho công trình bảo vệ
  - Dùng bê tông thường (không dùng bê tông nhẹ) cho các kết cấu chịu lực bên ngoài
- Áp dụng các lớp phủ có khả năng thích nghi với vết nứt do bê tông bị co ngót hay dùng các lớp phủ thêm để tăng thêm độ bền vững của công trình
- Làm việc trong môi trường ăn mòn
  - Sơn phủ epoxy lên các thanh thép
  - Dùng các hệ thống chống ăn mòn kiểu ca tốt (*cathodic protection systems*)

#### 4) Tổng thể kết cấu

- Bảo đảm độ an toàn công cộng
- Thoả mãn các qui phạm, tiêu chuẩn xây dựng quốc gia tối thiểu, gồm ASCE-7, ACI 318, International Building Code
- Thiết kế bảo đảm chịu tải bình thường (*expected loads*) và ứng xử dẻo (*ductile response*) trong các trường hợp vượt tải (do tải trọng lực, động đất, nổ, ...)
- Thiết kế chịu mỏi (*fatigue*) trong một số trường hợp (như trong thiết kế cầu)
- Độ cứng tổng thể đủ lớn để kiểm soát độ võng ngắn hạn và dài hạn trong giới hạn cho phép và để cực tiểu dao động công trình

ả hững **giới hạn điển hình** gì gây áp lực lên kỹ sư thiết kế kết cấu ?

1) Ân ngân quỹ xây dựng hạn chế từ chủ đầu tư

- Chi phí xây dựng hệ khung kết cấu thường thấp hơn 25 % tổng chi phí của dự án

2) Phí dịch vụ kỹ thuật kết cấu

- Có thể thấp bằng 1 % tổng chi phí của dự án
- Ít được khuyến khích để cách tân nếu lợi nhuận của người thiết kế bị mập mờ

3) Chủ đầu tư và/hoặc kiến trúc sư thiếu kiến thức

- sẽ gây trở ngại trong các thảo luận về các vấn đề mà qui phạm đã qui định về ứng xử của kết cấu và phương pháp thiết kế để cải thiện chế độ làm việc của kết cấu

4) Kỹ sư thiết kế kết cấu thiếu kiến thức

- ả hiểu kỹ sư thực hành được đào tạo trước khi ra đời các phương pháp **thiết kế dựa trên chuyên vị** (*displacement-based design*) và **thiết kế dựa trên hiệu suất** (*performance-based design*) và phần lớn tin cậy vào các phương pháp tuyến tính của phân tích kết cấu được trình bày trong các tiêu chuẩn thực hành (ví dụ, 2000 IBC và UBC)
- Ít kỹ sư kết cấu là chuyên gia dùng các phương pháp mới để phân tích và đánh giá kết cấu, ví dụ trình bày trong FEMA 273 (Hướng dẫn-*Guidelines*) và FEMA 274 (Bình luận-*Commentary*) và FEMA 356 (Tiêu chuẩn sơ bộ-*Pre-Standard*)

### 1.2.2 Qui trình thiết kế (5 bước)

Thiết kế kết cấu (bao gồm phân tích, thiết kế, thiết kế chi tiết, và đánh giá kết cấu) là một quá trình nhiều bước tương tác lẫn nhau, mà thiết kế phải tuân theo tất cả các qui tắc bắt buộc (bao gồm tư vấn về kiến trúc, tư vấn về quản lý xây dựng, tư vấn về cơ-điện-nước **M/E/P**). Các bước chủ yếu của qui trình thiết kế thông thường cho công trình nhà như sau:

- 1) Xác định các giới hạn của dự án, bao gồm vốn, hình dạng nhà và kiểu kiến trúc, các giới hạn chức năng (gồm bước cột, vật liệu xây dựng, giới hạn về dịch vụ [**độ võng**], giới hạn dao động, độ an toàn, nhu cầu vận chuyển đứng, các nhu cầu **M/E/P**)
- 2) Xác định các mục tiêu về sự làm việc của kết cấu, mà quan trọng nhất thường là thoả các yêu cầu qui định trong các qui phạm xây dựng tương ứng. Các mục tiêu làm việc phức tạp có thể được định rõ trước.
- 3) Tính toán tải trọng đứng và ngang sơ bộ. Đề xuất các kích thước và cốt thép **tính thử** (*trial sizes*) cho các thành phần kết cấu chịu tải trọng đứng và ngang sơ bộ. Lập thiết kế sơ bộ (*Schematic Design*) và khái toán công trình (*cost estimate*).
- 4) Phân tích, đánh giá, và thiết kế lại một cách chi tiết hơn các kích thước và cốt thép đã dùng thử trước trong **Bước 3**. Chính xác hoá các tải trọng đứng và ngang. Tiếp tục phân tích kết cấu chịu tải trọng đứng và ngang, đánh giá khả năng chịu lực các thành phần kết cấu và tính toán lại tiết diện BTCT (*re-proportioning*). Lập thiết kế khai triển (*Design-Development, DD*) và lập lại dự toán công trình.
- 5) Thiết kế cuối cùng bao gồm phân tích kết cấu chi tiết (theo kiểu kỹ lưỡng hơn giai đoạn DD), tính toán tiết diện BTCT lần cuối và thiết kế chi tiết các thành phần kết cấu. Lập tài liệu thi công (*Construction Documents, CD*).



Quy trình thiết kế 5-bước của Construction Administration (CA, USA) bảo đảm rằng nhà thầu tuân theo các bản vẽ kết cấu và cung cấp một chứng cứ kiểm soát chất lượng công trình của nhà thầu xây dựng.

Ba giai đoạn trong thiết kế kết cấu công trình nhà được gọi tên là:

- Thiết Kế Sơ Bộ (SD): gồm bước 1 đến bước 3 ; chiếm 15% nội dung thiết kế tổng
- Thiết Kế Khai Triển (DD): gồm bước 4 ; chiếm 25 - 35% nội dung thiết kế tổng
- Tài Liệu Thi Công (CD): gồm bước 5; chiếm phần còn lại nội dung thiết kế tổng

Trong một thiết kế thông thường, phân tích kết cấu là một **Mô Hình Đàn Hồi Tuyến Tính** (*Linearly Elastic Model*) của khung nhà. Việc kiểm tra thành phần kết cấu là theo **Phương Pháp Ứng Suất Cho Phép** (*Allowable Stress Method*), và **Phương Pháp Độ Bền** (*Strength Method*) mà cũng được biết với tên gọi khác là **Phương Pháp LRFD** (*Load and Resistance Factor Design*). Hai phương pháp này và các phương pháp khác được mô tả dưới đây.

### 1.2.3 Các thủ tục đánh giá thành phần kết cấu

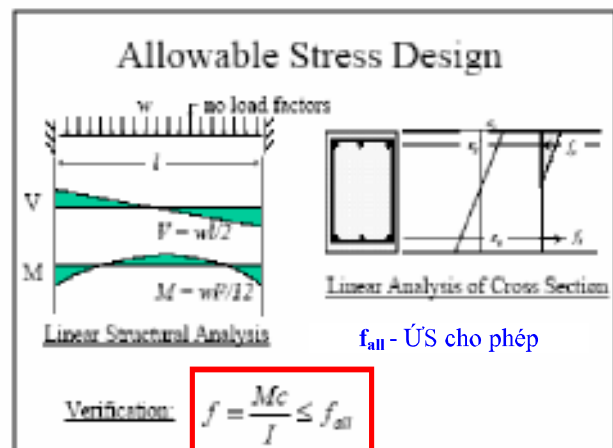
#### 1.2.3.1 Giới thiệu

Dưới đây là một giới thiệu khái quát về các thủ tục (*procedure*) được dùng để tính toán các tiết diện BTCT cho tải trọng đứng và ngang. Cần các thông tin thêm, tham khảo Chương 2 của MacGregor [1].

#### 1.2.3.2 Thiết Kế Ứng Suất Cho Phép (*Allowable Stress Design - ASD*)

Thiết Kế ASD, mà cũng được biết là *Working Stress Design*, đã được dùng trong phân tích kỹ thuật kết cấu cách đây hơn 150 năm. Các phương pháp tính toán về tải trọng max đều áp dụng LTĐHTT (*linearly elastic model*) hay SBVL để tính ứng suất của các kết cấu thép hay ứng suất trong bê tông và cốt thép của kết cấu BTCT. Ứng suất trong cấu kiện yêu cầu phải nhỏ hơn ứng suất cho phép:  $f \leq f_{all}$  mà được thiết lập sẵn cho từng loại vật liệu tùy thuộc vào kiểu tác dụng lực khác nhau (dọc trục, uốn, cắt, xoắn). Ví dụ,  $f_{all} = 0.6f_y$  cho các kết cấu thép.

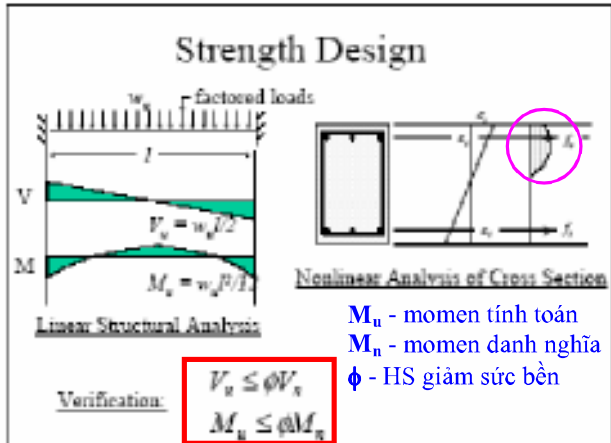
Xem hình vẽ sơ họa phương pháp Thiết Kế ASD ở bên phải (cung cấp bởi J. P. Moehle)



Phương pháp ASD có một số khiếm khuyết đáng kể. Trước hết, độ tin cậy của thiết kế (hay hệ số an toàn) là không biết. Thứ hai, không xét đến sự thay đổi, không cố định của tải trọng, mà cụ thể là, làm thế nào tính chính xác tĩnh tải và hoạt tải. Thứ ba, ứng suất trong các thành phần kết cấu cung cấp thông tin rất ít về khả năng chịu tải của cấu kiện hay toàn bộ kết cấu. Trong thiết kế BTCT hiện nay, Ứng Suất Cho Phép hiếm khi được dùng; ngoại trừ tính độ võng dưới tác dụng của tải tiêu chuẩn (*service loads*). Chúng ta sẽ không dùng phương pháp ASD để tính toán tiết diện BTCT trong giáo trình này (*CIE 525*).

### 1.2.3.3 Thiết Kế Sức Bền (Strength Design - SD hay Load and Resistance Factor Design - LRFD)

Phương pháp Thiết Kế Sức Bền (SD hay LRFD) thường dùng trong thiết kế kết cấu BTCT và cũng được dùng trong thiết kế kết cấu thép (mặc dầu ASD tồn tại trong nhiều phần thiết kế thép ở Mỹ). Ở Vả, tương đương với tính toán BTCT theo TTGH 1. Tải tiêu chuẩn được nhân với hệ số tải trọng để chuyển thành tải tính toán (ultimate load), ở đây các hệ số tải trọng xác định dựa trên phương pháp thống kê của các điều kiện đo lường và như vậy phản ánh các thay đổi tăng/giảm hợp lý của tải trọng tác dụng (ví dụ, các giá trị max) từ giá trị tải trọng trung bình tính toán. Sau đó, áp dụng LTĐHTT cho tải tính toán để tính nội lực các thành phần kết cấu, ví dụ tính  $V_u$ ,  $M_u$ . Sức chịu tải của các thành phần (ví dụ, chịu nén, uốn, cắt), ví dụ  $V_n$ ,  $M_n$ , được tính toán với giả thuyết rằng tiết diện kết cấu làm việc không đàn hồi (inelastic behavior).



Xem hình vẽ sơ họa phương pháp SD ở bên trên (cung cấp bởi J.P. Moehle). Chú ý việc sử dụng khối ứng suất không đàn hồi, (non-linear stress block), trong hình vẽ mặc dầu hình dạng khối ÚS sẽ được đơn giản hoá để thuận tiện tính sức chịu tải của tiết diện BTCT.

Phương pháp SD là hợp lý hơn phương pháp ASD. Độ tin cậy của tải trọng được xét đến trong phương pháp SD bằng việc sử dụng các hệ số tải trọng và các tổ hợp tải, xem trích dẫn từ tiêu chuẩn ACI 318-02 ở hình bên phải. Các hệ quả phá hoại cũng được xét đến trực tiếp hơn thông qua sử dụng các hệ số giảm sức bền (capacity reduction factor,  $\phi < 1$ ), qui cho các kiểu phá hoại không mong muốn (ví dụ,  $\phi = 0,9$  cho uốn,  $\phi = 0,75$  cho cắt). Tuy nhiên chú ý rằng khi phân tích hệ kết cấu giả thiết ứng xử đàn hồi tuyến tính nhưng khả năng chịu lực cấu kiện lại tính theo cường độ (cross section analysis), mà hàm ý một lượng ứng xử không đàn hồi trong tiết diện cấu kiện. <Sự phân phối lại mômen trong dầm là một ví dụ.>

## 9.2 — Required strength

9.2.1 — Required strength  $U$  shall be at least equal to the effects of factored loads in Eq. (9-1) through (9-7). The effect of one or more loads not acting simultaneously shall be investigated.

$$U = 1.4(D + F) \quad (9-1)$$

$$U = 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) \quad (9-2)$$

$$+ 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$$

$$U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.8W) \quad (9-3)$$

$$U = 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \quad (9-4)$$

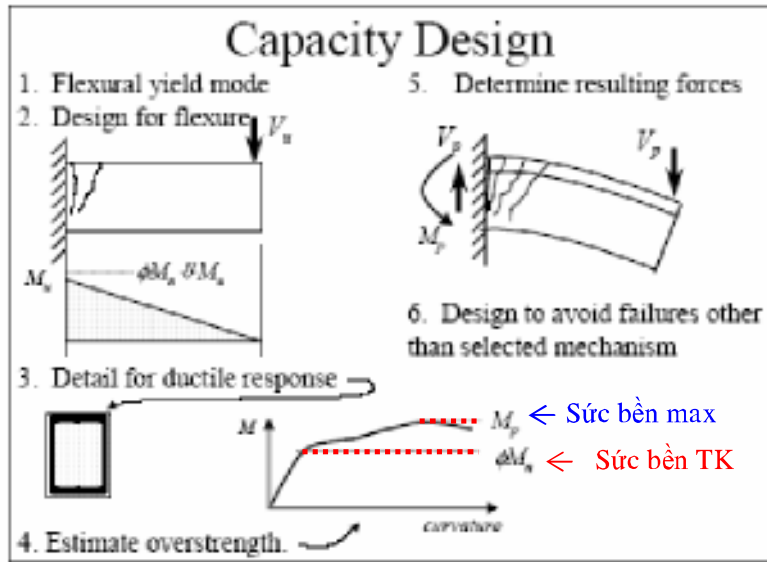
$$U = 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S \quad (9-5)$$

$$U = 0.9D + 1.6W + 1.6H \quad (9-6)$$

$$U = 0.9D + 1.0E + 1.6H \quad (9-7)$$

### 1.2.3.4 Thiết Kế Khả Năng (Capacity Design)

Thiết Kế Khả năng được dùng để ngăn cản các cơ cấu phá hủy không mong muốn, ví dụ dầm bị phá hủy do cắt (kiểu phá hủy dòn) xảy ra trước khi phá hủy do uốn (kiểu phá hủy dẻo), hay cột khung bị phá hủy do uốn xảy ra trước khi dầm khung phá hủy do uốn. Thiết Kế Khả năng được phát triển bởi nhiều chuyên gia kỹ thuật ở New Zealand từ thập niên 1970 nhưng phương pháp này được đề xuất đầu tiên bởi Blume, Newmark, Corning, và Sozen vào cuối thập niên 1950 (tham khảo *Design of Multistory Reinforced Concrete Buildings for Earthquake Motions*, xuất bản năm 1961).



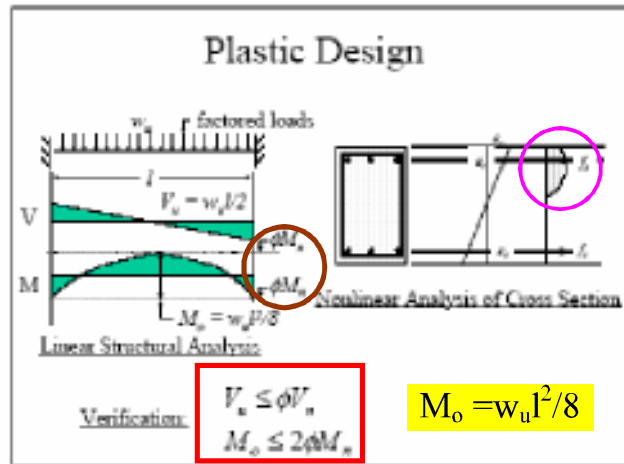
Hình vẽ sơ họa ở bên trên (cung cấp bởi J.P. Moehle) mô tả thông tin tóm lược về phương pháp này. Ví dụ là thiết kế công xôn BTCT không bị phá hủy do cắt. Các bước thiết kế theo phương pháp CD như sau:

- 1) Chọn cơ cấu phá hủy mong muốn, mà thường là phá hủy do uốn trong công trình BTCT. <Tại sao?>
- 2) Cân đối kích thước dầm theo cơ cấu phá hủy đề nghị theo phương pháp SD hay LRFD và bố trí thép dầm cho ứng xử dẻo.
- 3) Xác định sức bền max của tiết diện dầm bởi phân tích xét đến kích thước thực và chi tiết cốt thép đã chọn, mà có thể lớn hơn độ bền cần thiết để chịu được tải trọng tính toán-factored loads. (Điều này sẽ được cụ thể hoá ở Chương 3). Ở hình trên, sức bền max là  $M_p$  căn bản lớn hơn sức bền thiết kế theo phương pháp SD là  $M_u = \phi M_n$
- 4) Xác định tải trọng áp dụng  $V_p$  - applied load gây ra sức bền max  $M_p$  và thiết kế các phần còn lại của kết cấu (i.e., thiết kế chống cắt công xôn BTCT) để sức bền chống cắt danh nghĩa  $V_n$  vượt quá các nội lực tương thích với tải trọng áp dụng tính lại này.

### 1.2.3.5 Thiết kế dẻo (Plastic Design)

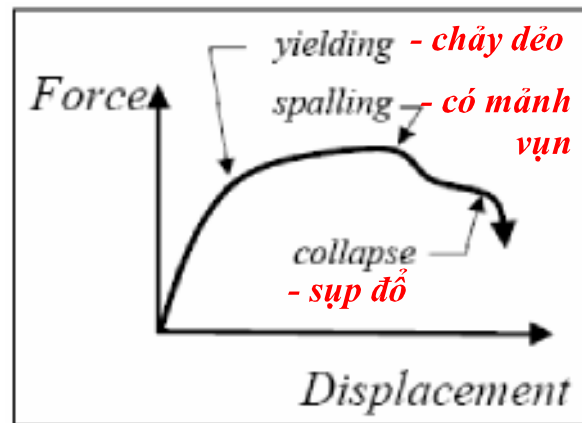
Thiết Kế Dẻo đơn thuần là Thiết Kế Sức Bền sử dụng phân tích chảy dẻo chứ không dùng phân tích ĐHTT.

Trong **Chương 6** của giáo trình này, Thiết Kế Dẻo sẽ được xem xét chi tiết với **phương pháp đường chảy dẻo (yield-line analysis)** của hệ sàn BTCT. ả nguyên tắc của phân tích chảy dẻo là một cơ cấu phá hủy sẽ được đề xuất và các khớp dẻo được thiết kế chi tiết cho đáp ứng không đàn hồi. Xem hình vẽ sơ họa bên phải (cung cấp bởi J.P. Moehle), **sức bền kết cấu  $\phi M_n$**  được tính bằng **phương pháp SD**, sau đó dùng **phương pháp CD** để ngăn ngừa các kiểu phá hoại không mong muốn.



### 1.2.3.6 Các phát triển gần đây trong kiểm định kết cấu xây dựng

Thập niên 1990 xuất hiện sự đổi mới đáng kể trong kỹ thuật thực hành chống động đất. Các **phương pháp thiết kế lực -Force based procedure-** mà hầu như chiếm vị trí độc tôn gần 70 năm nay bắt đầu nhường chỗ cho các **phương pháp thiết kế chuyển vị -Displacement based procedure-** của công trình đến khi chảy dẻo sụp đổ (*collapseyielding*) được phát triển dựa trên nguyên lý đề xuất bởi Sozen, Moehle, và các tác giả khác



trong hai thập niên 1970-1980. Các tiêu chuẩn thiết kế chống động đất đã thừa nhận từ lâu rằng công trình nhà và cầu sẽ trải qua biến dạng không đàn hồi đáng kể. ả hồ kiến thức hiểu biết này rằng **sự hư hỏng công trình liên quan trực tiếp đến biến dạng chứ không phải lực** (xem hình vẽ sơ họa bên trên của J. P. Moehle), các kỹ sư chuyên ngành kết cấu ngày nay có khuynh hướng phân tích, thiết kế, và đánh giá sự làm việc của BTCT dựa trên các tính toán chuyển vị. Thực ra **thiết kế dựa trên chuyển vị (Displacement-based design - DBD) không thể sử dụng** như là một công cụ thiết kế **độc lập**. Đúng hơn là phải cung cấp trước một **độ bền tối thiểu** ứng với các điều kiện tải trọng bình thường (*service load*). Tuy nhiên, DBD đã được chấp nhận rộng rãi từ 5 năm trước đây và phương pháp này bây giờ là cơ sở của các tài liệu hướng dẫn kỹ thuật FEMA 273 và 274 nhằm cải tạo các kết cấu công trình chống động đất - *seismic rehabilitation*.

## 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. <sup>2</sup> | 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                |

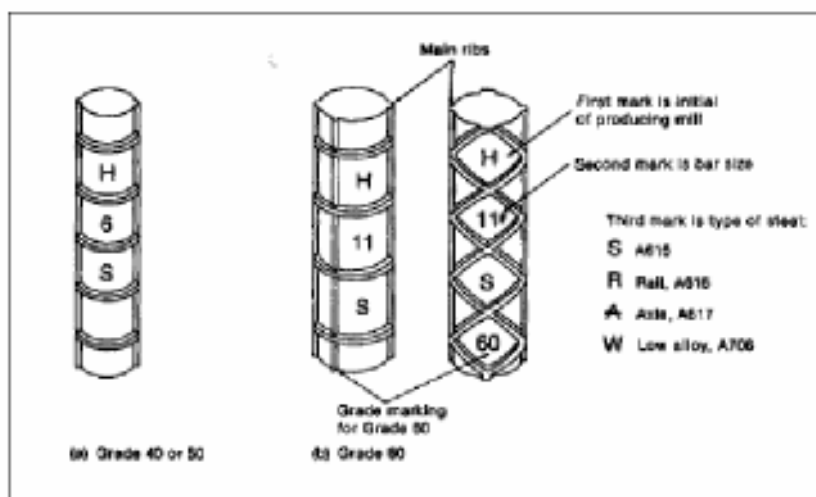
#### ASTM STANDARD REINFORCING BARS

| Bar size, no.* | Nominal diameter, mm | Nominal area, mm <sup>2</sup> | 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 hỏa, 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:  $f_u \approx 1,5 f_y$

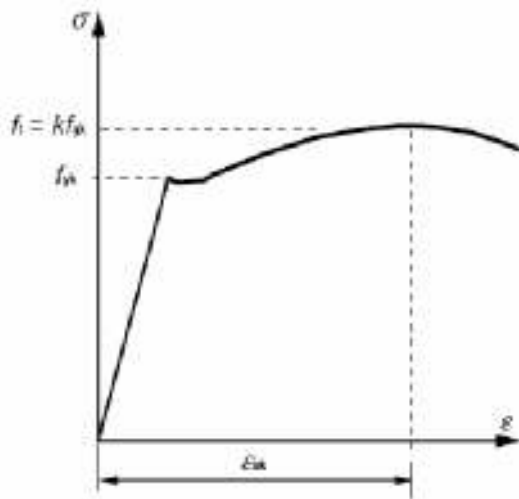
### 2.1.3 Tiêu chuẩn ASTM A706: (Standard Specification for Low-Alloy-Steel Deformed Bars for Concrete Reinforcement)

- 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  $f_u \geq 1,25 f_y$

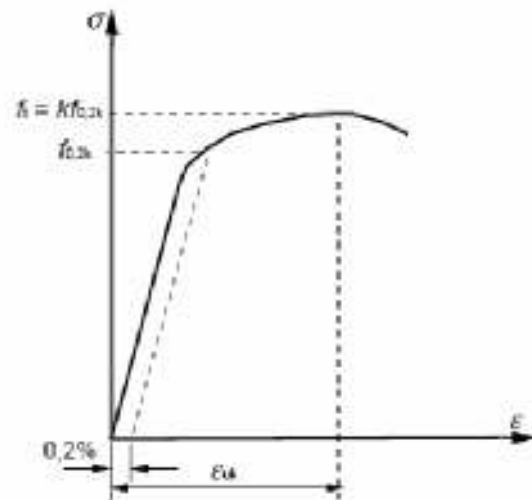


**TABLE 3-2 Summary of Mechanical Properties of Reinforcing Bars from ASTM A 615 and ASTM A 706**

|   | 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

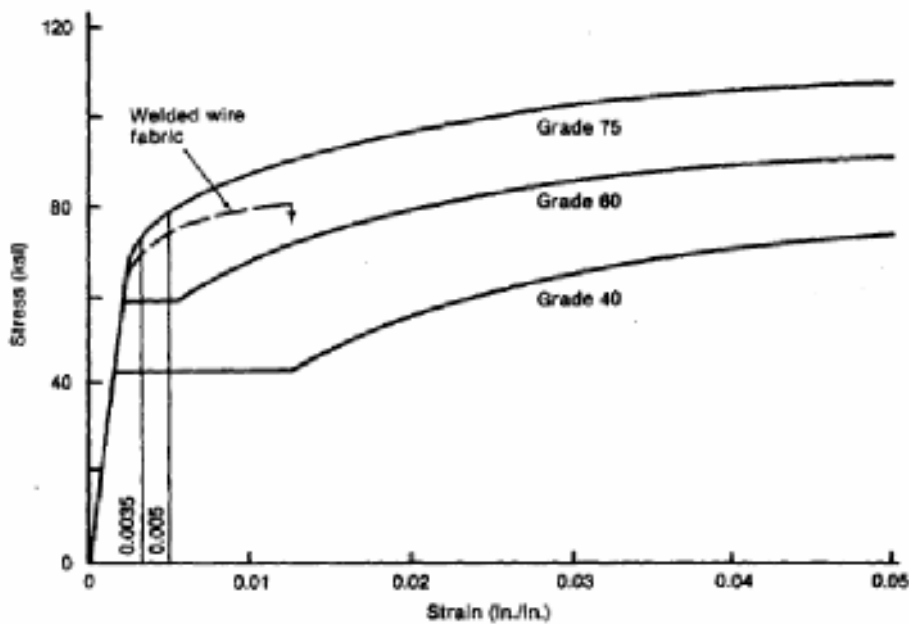


b) Cold worked steel

## 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

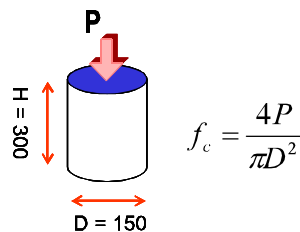
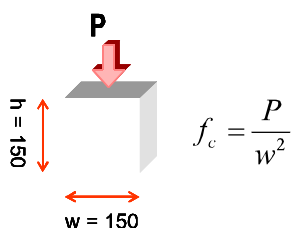
Bê tông là hỗn hợp của xi măng, nước, cốt liệu đá, cát và các phụ gia. Có 3 loại bê tông:

- **Bê tông thường (Normalweight concrete -   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   WC; tham khảo chi tiết ở ACI 318 hay MacGregor [1]
  - Mô đun đàn hồi thấp hơn   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

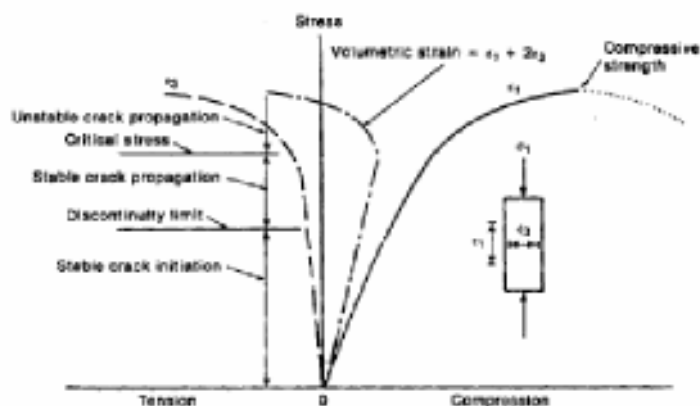
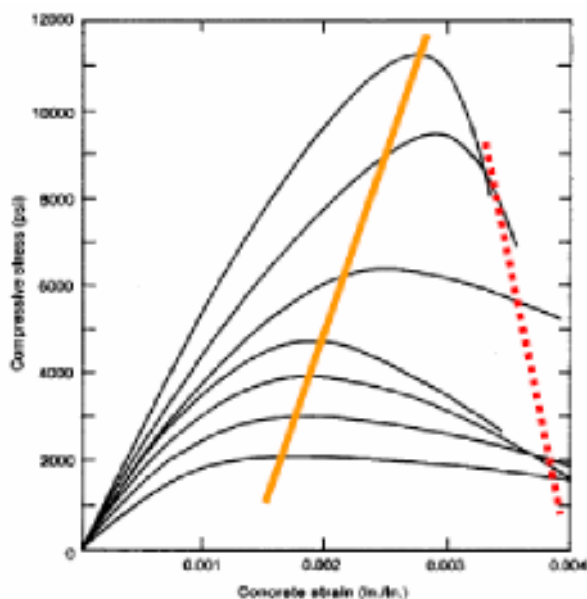
### CÔNG THỨC QUI ĐỔI CƯỜNG ĐỘ BÊ TÔNG

(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<br>$\alpha = R_{150} / R_{\text{mẫu}}$ | Ghi chú   |
|--------------------|--------------------------|---|---|
| Lập phương         | 100 x 100 x 100          | 0.91  |   |
|                    | <b>150 x 150 x 150</b>   | <b>1.00</b>   | <b>TCVN 3118-93</b>   |
|                    | 200 x 200 x 200          | 1.05  |   |
|                    | 300 x 300 x 300          | 1.10  |   |
| Hình trụ           | D = 100 , H = 200        | 1.16  |   |
|                    | <b>D = 150 , H = 300</b> | <b>1.20</b>   | <b>ACI 318-05 <math>\Rightarrow f'_c = R_{150} / 1.2</math></b> |
|                    | D = 200 , H = 400        | 1.24  |   |



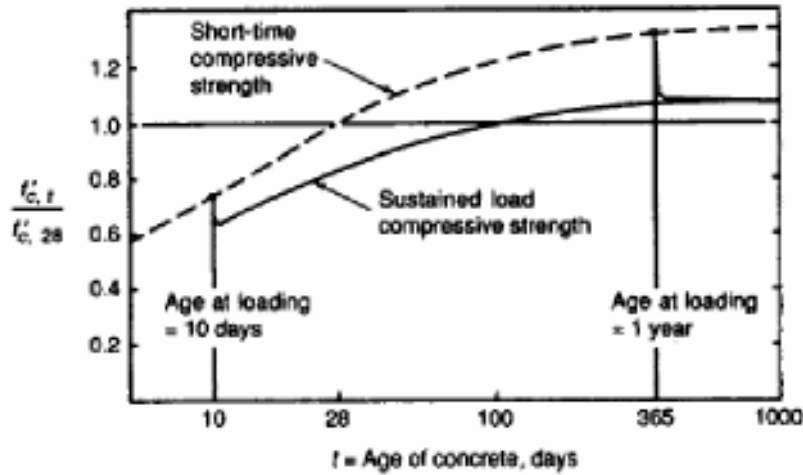
Đường cong ứng suất-biến dạng điển hình cho mẫu bê tông hình trụ chịu nén được trình bày dưới đây. Chú ý xu hướng gia tăng **độ cứng**, gia tăng **cường độ nén**, và xu hướng suy giảm khả năng **biến dạng** của bê tông.



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  $\frac{a}{X}$** , 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**
- ả hà cung cấp hay 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).

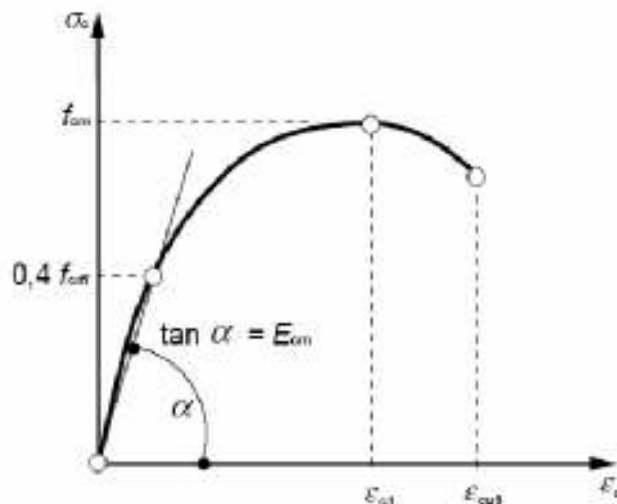
- Cơ chế phá hủy của bê tông ả WC tự do (*unconfined*) nói chung gây ra do hiện tượng nứt tại mặt tiếp giáp giữa vữa xi măng và cốt liệu lớn, và sau cùng do hiện tượng nứt trong mạch vữa giữa các cốt liệu
  - dưới tác động của tải theo chu kỳ, quá trình phá hủy phát triển làm cho cường độ bê tông ngày 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  $\rightarrow$  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:

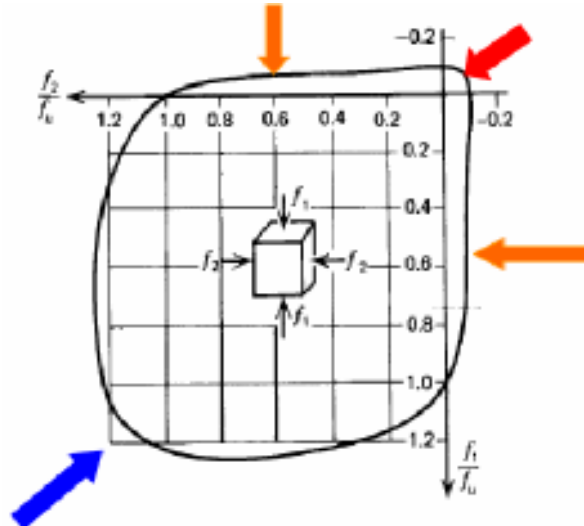
$$E_c = 57000 (f'_c)^{1/2} \quad (\text{đơn vị psi}) \quad (2-1a)$$

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



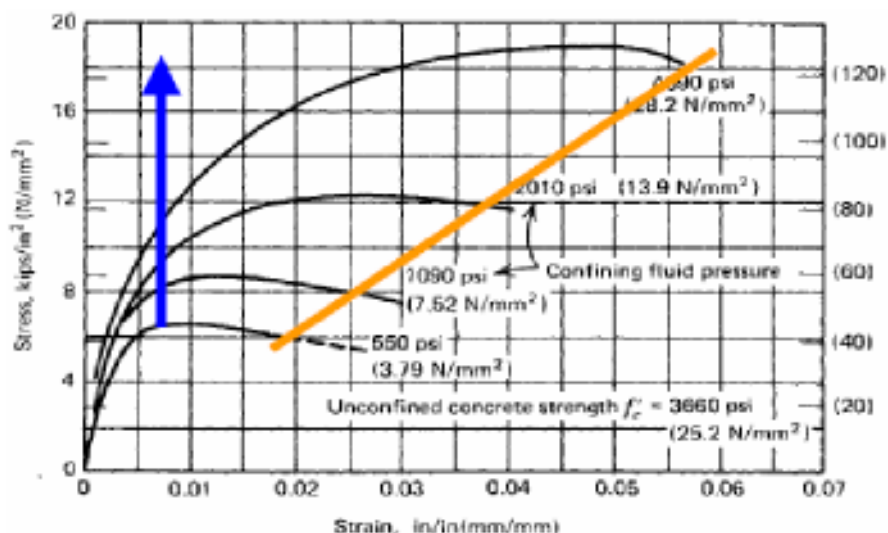
Bây giờ hãy xem xét các mặt khác trong ứng xử cơ học của bê tông: đáp ứng khi gia tải 2 phương, đáp ứng khi gia tải 3 phương, bao gồm nén thủy tĩnh.

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  $\sigma_3$  không đổi (*confining*) trong lúc đó ứng suất dọc trục  $\sigma_1$  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** ( $\sigma_1$ ), **cường độ nén một phương** ( $f'_c$ ), và **ứng suất nén ngang** ( $\sigma_3$ ):

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

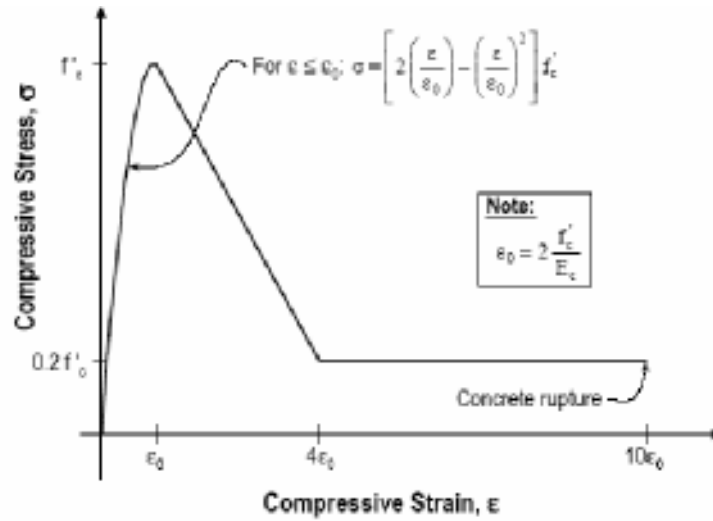
**Khả năng biến dạng** là vấn đề rất quan trọng trong kỹ thuật chống động đất và chống năng lượng nổ. Trong công trình nhà BTCT được thiết kế chống đỡ các tác động này, các thành phần kết cấu như cột, dầm, và nút dầm-cột được thiết kế chi tiết với các **cốt đai thép giằng kín** (*ties, spirals*). Khi 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 am California bị phá hoại nghiêm trọng do động đất năm 1979.



## PHỤ LỤC 1 (dùng trong SAP, ETABS, SAFE)

a)- Đường cong ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) của bê tông thông thường:



- For strains greater than  $\epsilon_0$  each segment of the stress-strain diagram is linear. For strains less than  $\epsilon_0$  the variation of the stress-strain diagram is parabolic.

- The value of  $\epsilon_0$  is given by Equation 12-1.

$$\epsilon_0 = 2 \frac{f'_c}{E_c} \quad \text{Eqn. 12-1}$$

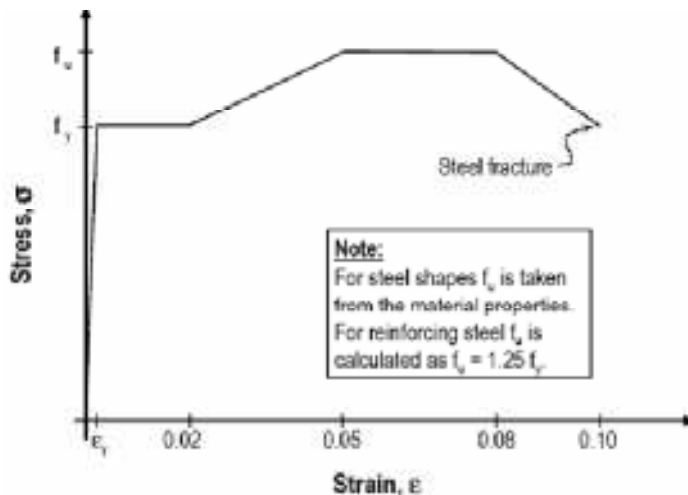
- For strains less than  $\epsilon_0$  the concrete stress is given by Equation 12-2.

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

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  $\sigma$  for the following discrete values of  $\epsilon$ : 0, 0.2 $\epsilon_0$ , 0.4 $\epsilon_0$ , 0.6 $\epsilon_0$ , 0.8 $\epsilon_0$ , 0.9 $\epsilon_0$  and  $\epsilon_0$ .

- Concrete rupture occurs at a strain equal to 10 $\epsilon_0$ .
- When there is tensile strain the stress is zero.

b)- Đường cong ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) 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,  $\epsilon_y$ , is calculated given by Equation 12-3.

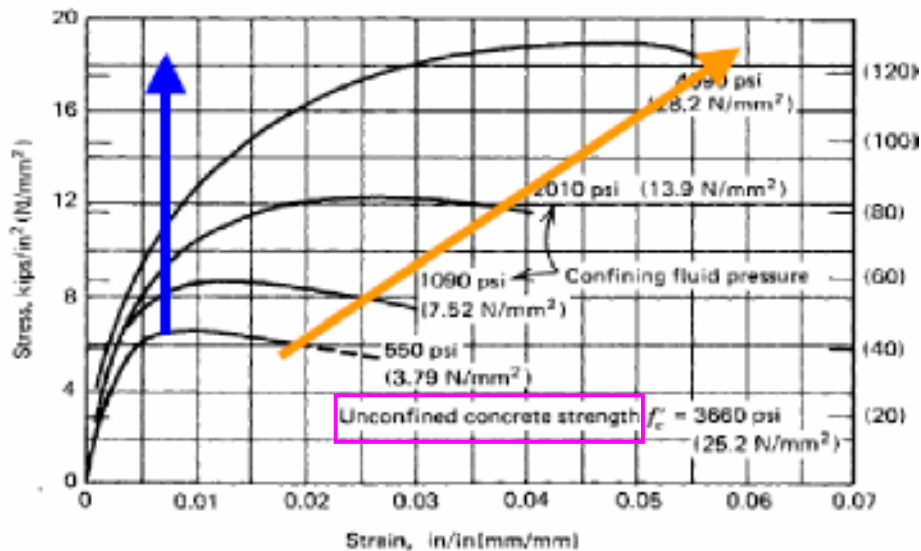
$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad \text{Eqn. 12-3}$$

- Steel fracture occurs at a strain equal to 0.10.

### Chương 3: **BÊ TÔNG BỊ ÉP NGANG** (*confined*)

#### 3.1 THÍ NGHIỆM NÉN 3 TRỤC BÊ TÔNG

Cường độ và độ bền của bê tông trong **thí nghiệm nén 3 trục** đã được trình bày ở phần cuối của **Chương 2**. Hình vẽ dưới đây dựa trên số liệu T1 thực hiện năm 1928 tại Đại học Illinois (University of Illinois at Urbana-Champaign, UIUC). Hình này biểu diễn các đường quan hệ  $\sigma-\epsilon$  của **mẫu BT hình trụ chịu áp lực ngang không đổi (bị ép ngang)** trong lúc **ứng suất dọc trục** vẫn tăng đến khi mẫu bị phá hủy.



Các nhà nghiên cứu UIUC sử dụng số liệu T1 này để thiết lập mối quan hệ giữa **ứng suất dọc trục khi phá hủy** ( $\sigma_1$ ), và **cường độ nén của bê tông** ( $f'_c$ ), và **áp suất nén ngang** ( $\sigma_3$ ):

$$\sigma_1 = f'_c + 4,1\sigma_3 \quad (3-1)$$

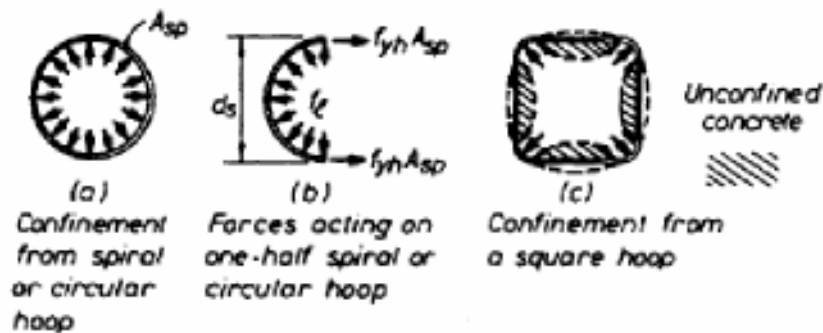
Ở chương này, chúng ta mở rộng khảo sát trên để nghiên cứu **chế độ làm việc của bê tông bị ép ngang** và các **quan hệ  $\sigma-\epsilon$**  mà được lập dành riêng cho **bê tông bị ép ngang**.

#### 3.2 BÊ TÔNG BỊ ÉP NGANG

Ị hư đã bàn luận trong lớp trước đây, **biến dạng nén cực hạn** (*ultimate compression strain*) của bê tông **tự do nở ngang** (*unconfined*) là không đủ để cho phép một thành phần KC đạt đến độ dẻo (*ductility*) cần thiết mà lớp bê tông bảo vệ không bị nứt vỡ (*spalling*).

- **biến dạng nén cực hạn** của bê tông **tự do nở ngang** là bao nhiêu ? 0.001 ; 0.003 ; 0.005 ; 0.010 ; 0.05 ? **Ans: 0.003**
- Tại sao **biến dạng nén cực hạn** là quan trọng ?

Áp suất nén ngang được thực hiện ra sao trong các mặt cắt BTCT điển hình? Xem Paulay and Priestley mô tả ở hình dưới :



Thép đai xoắn hay tròn được đặt bao quanh vùng chịu kéo xuất hiện khi bê tông giãn nở dưới tải trọng nén, do hình dạng của nó mà tạo thành một đường tải trọng liên tục bao quanh chu vi của bê tông chịu nén (hình a.). Áp suất nén ngang hiệu quả lớn nhất của bê tông (*maximum effective lateral pressure*),  $f_l$ , xuất hiện khi thép đai xoắn đạt cường độ chảy dẻo (*yield strength*),  $f_{yh}$ . Từ hình b. ở trên, cân bằng lực đòi hỏi:

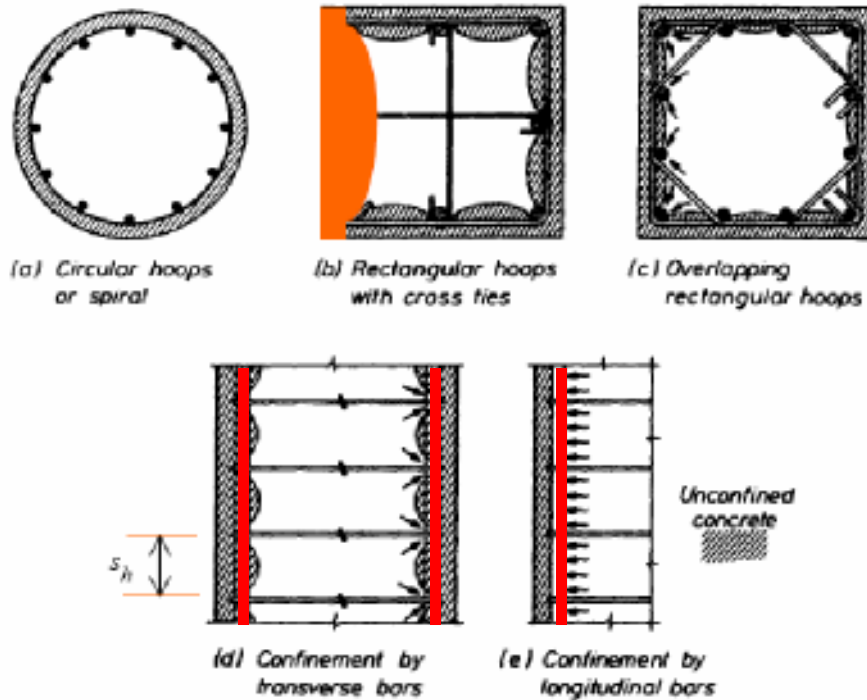
$$f_l = \frac{2f_{yh}A_{sp}}{d_s s_h} \quad (3-2)$$

Với  $d_s$  là đường kính thép đai,  $A_{sp}$  là diện tích thép đai,  $s_h$  là bước thép đai xoắn hay tròn.

Hình c. ở trên cho thấy thép đai hình vuông không hiệu quả bằng thép đai hình tròn; thép đai hình vuông chỉ hiệu quả ở vùng lân cận góc đai.

Điều này giải thích tại sao?

- Áp suất nở ngang của bê tông áp vào thép đai có xu hướng đẩy các cạnh thép đai ra phía ngoài
  - thép đai hình vuông không đủ cứng bằng thép đai hình tròn : biến dạng uốn trong thép đai hình vuông so với biến dạng dọc trục trong thép đai hình tròn.
- Sự ép ngang (*confinement*) do thép đai hình vuông có thể được cải thiện một cách căn bản khi sử dụng đai giằng (*cross-tie*) hay đai chéo (*diagonal tie*) được cấu tạo bằng ngang trong tiết diện tới hạn (*critical cross section*).



Trong hình vẽ bên trên đây, Paulay and Priestley trình bày với các mức độ ép ngang khác nhau do thép dọc và thép ngang trong các mặt cắt cột BTCT. **Bê tông tự do nở ngang (unconfined)** được đánh dấu **dạng gạch chéo**. Chú ý rằng trong cột tròn ở **hình a**, tại vị trí thép ngang (thép đai) toàn bộ bê tông phía trong là bị ép ngang. Ở **hình b** và **hình c**, mức độ ép ngang của cột vuông có đai giằng là ít hơn so với cột tròn. Ở hình vẽ, các vòm bê tông giữa các điểm neo cột (**giao điểm của thép dọc và thép đai**): vòm càng thấp, bê tông bị ép ngang càng nhiều. Chú ý rằng **nếu đai giằng bị loại bỏ khỏi cột, mức độ ép ngang sẽ bị giảm** như được minh họa ở 1/4 cột trong **hình b (màu cam)**. Sự ép ngang bê tông được cải thiện rõ ràng nếu bước đai  $s_h$  đặt gần nhau hơn (xem **hình d**) và nếu thép dọc được giằng buộc tại mỗi lớp thép ngang (xem **hình e**).

### 3.3 MÔ HÌNH QUAN HỆ ( $\sigma-\epsilon$ ) CỦA BÊ TÔNG BỊ ÉP NGANG

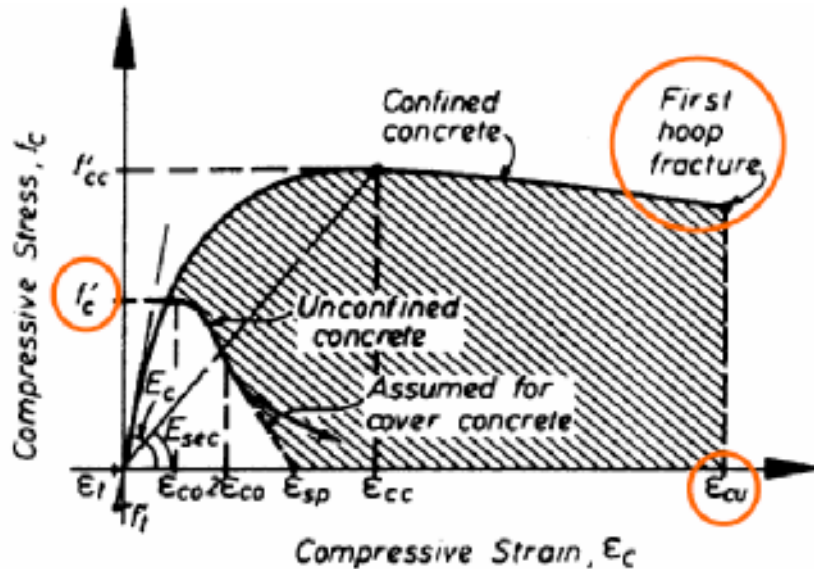
Ả hiệu nghiên cứu đã thực hiện nhằm thiết lập quan hệ ( $\sigma-\epsilon$ ) của **bê tông bị ép ngang**. Một số mô hình tiên tiến cho các loại bê tông được liệt kê dưới đây:

- **Bê tông thông thường**
  - Scott et al., J. ACI, January 1982
  - Sheikh et al., J. Structural Division, ASCE, December 1982
  - **Mander et al.**, J. Structural Division, ASCE, August 1988
- **Bê tông nhẹ**
  - Manrique et al., UCB/EERC Report 79/05, May 1979
  - Shah et al., J. Structural Division, ASCE, July 1983
- **Bê tông cường độ cao**
  - Yung et al., J. Structural Division, ASCE, February 1988
  - Martinez et al., J. ACI, September 1984
  - Bing et al., Proceedings, Pacific Conference on Earthquake Engineering, 10 November 1991

Trong giáo trình này, chúng ta tập trung vào mô hình **Mander** về quan hệ  $(\sigma-\epsilon)$  của **bê tông thông thường bị ép ngang**.

### 3.4 MÔ HÌNH MANDER VỀ QUAN HỆ $(\sigma-\epsilon)$ CỦA BÊ TÔNG BỊ ÉP NGANG

Trước hết xem xét mô hình  $(\sigma-\epsilon)$  **khái quát** dưới đây của bê tông tự do nở ngang và bê tông bị ép ngang trong thí nghiệm nén (theo *Mander et al.*; *Paulay and Priestley*; *Priestley, Seible, and Calvi*).



Diện tích gạch chéo của quan hệ  $(\sigma-\epsilon)$  đặc trưng cho **năng lượng cộng thêm** mà có thể được tiêu tán trong một **tiết diện bị ép ngang**. ả hư được trình bày ở phần sau đây, tỷ số giữa **biến dạng max bê tông bị ép ngang** và **biến dạng max bê tông không ép ngang** khoảng  $\epsilon_{cu}/\epsilon_{sp} = 4-15$ , mà chỉ thị ưu thế quan trọng của bê tông bị ép ngang trong vùng kết cấu BTCT đòi hỏi cần tiêu tán năng lượng trong tương lai.

Mô hình **Mander** có thể áp dụng cho tất cả các dạng tiết diện và cho tất cả mức độ ép ngang. Quan hệ ứng suất-biến dạng  $(f_c-\epsilon_c)$  của **bê tông bị ép ngang** được xác định bằng hệ phương trình (3-3) sau đây :

$$f_c = \frac{f'_{cc} x^r}{r - 1 + x^r} \quad (3-3a)$$

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \quad r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (3-3b) \quad (3-3c)$$

$$f'_{cc} = f'_c \left( 2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 f'_1}{f'_c}} - \frac{2 f'_1}{f'_c} - 1.254 \right) \quad (3-3d)$$

$$\epsilon_{cc} = \epsilon_{co} \left[ 1 + 5 \left( \frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right] \quad (3-3e)$$

$$\epsilon_{co} = 2 \frac{f'_c}{E_c} \quad (3-3f)$$

(ACI 318: thông thường  $\epsilon_{co} \approx 0,002$ )

$$E_c = 60000 \sqrt{f'_c} \text{ (psi)} = 5000 \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} \quad (3-3g)$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (3-3h)$$



Trong hệ phương trình trên, **cường độ bê tông bị ép ngang** (*peak concrete stress*),  $f'_{cc}$ , là hàm số của **áp suất nén ngang hiệu quả** (*effective lateral confining pressure*),  $f'_1$ .

Với  $f'_1 = 0$ , phương trình (3-3b) dẫn đến  $f'_{cc} = f'_c$  mà phù hợp với trường hợp **bê tông tự do nở ngang** (không thép đai).

Áp suất nén ngang hiệu quả  $f'_1$ , tính theo **áp suất nén ngang trung bình**  $f_1$  của tiết diện tròn:

$$f'_1 = K_e f_1 = K_e \left( \frac{2 f_{yh} A_{sp}}{d_s s_h} \right) \quad (3-4)$$

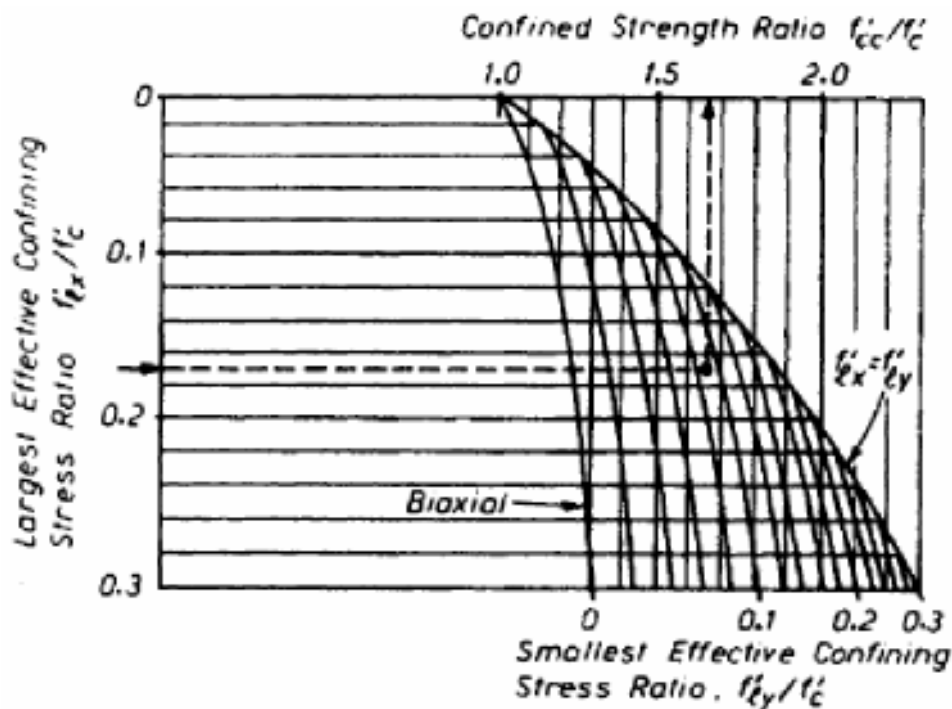
với  $K_e$  là **hệ số hiệu quả nén ngang** (*confinement effectiveness coefficient*), mà liên quan trực tiếp đến diện tích lõi nén ngang hiệu quả so với diện tích lõi danh nghĩa được bao vây bởi tâm chu vi các thép đai. Giá trị điển hình của hệ số này là:

- $K_e = 0.95$  cho m/c cột tròn
- $K_e = 0.75$  cho m/c cột chữ nhật
- $K_e = 0.6$  cho m/c tường chữ nhật

Đối với **m/c chữ nhật** do **tỷ số thép ngang** theo hai phương chính **x** và **y** nhìn chung khác nhau ( $\rho_x \neq \rho_y$ ), các **ứng suất nén ngang** cũng được tính toán khác nhau:

$$f'_{1x} = K_e \rho_x f_{yh} \quad (3-5a); \quad f'_{1y} = K_e \rho_y f_{yh} \quad (3-5b)$$

Trong trường hợp  $f'_{1x} \neq f'_{1y}$ , **hệ số cường độ nén ngang K** (*confined strength ratio*) của bê tông bị ép ngang ( $K = f'_{cc}/f'_c$ ) có thể nội suy từ hình vẽ dưới đây do Mander cung cấp, trong đó lưu ý  $f'_{1x} > f'_{1y}$



Biến dạng nén cực hạn (*ultimate compressive strain*),  $\epsilon_{cu}$ , có thể tính theo đề nghị của Mander như sau:

$$\epsilon_{cu} = 0,004 + \frac{1,4\rho_s f_{yh} \epsilon_{sm}}{f'_{cc}} \quad (3-6)$$

với  $\rho_s = \rho_x + \rho_y$  (tỷ số thể tích của thép ngang) và  $\epsilon_{sm}$  là biến dạng thép tại vị trí có ứng suất kéo maximum (giới hạn bền – TS). Thép thanh Grade 40 có  $\epsilon_{sm} \approx 0.15$ ; thép thanh Grade 60 có  $\epsilon_{sm} \approx 0.10$ . Một dạng khác của phương trình trên là:

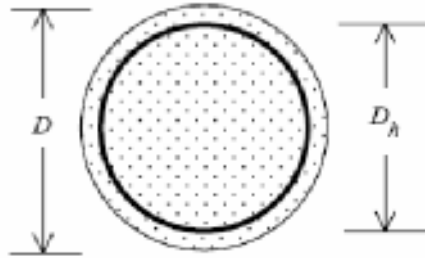
$$\epsilon_{cu} = 0,004 + \frac{0,14\rho_s f_{yh}}{f'_c} \leq 0,020 \quad (3-7)$$

với biến dạng giới hạn thép là  $\epsilon_{sm} \approx 0.10$  and  $f'_{cc}$  qui định lấy bằng  $f'_c$ . Giá trị giới hạn 0.02 qui định là xác đáng.

### 3.5 TÍNH TOÁN CÁC TỶ SỐ THÉP NGANG

Để tính áp lực nén ngang hiệu quả  $f_1$ , phải xác định trước các tỷ số  $\rho_x$  và  $\rho_y$  cho tiết diện chữ nhật, và tỷ số  $\rho_s$  cho tiết diện tròn.

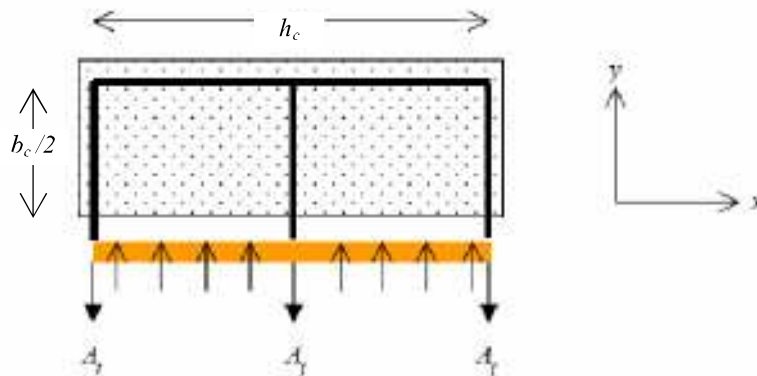
- Trước hết xét **tiết diện tròn** bên dưới.  $D_h$  là **đường kính của vòng thép xoắn** hay đai tròn;  $A_{sp}$  là **diện tích m/c ngang thép đai**. Giả sử rằng **bước thép đai** là  $s_h$



Tỷ số thể tích thép đai là :

$$\rho_s = \frac{\pi D_h A_{sp}}{s_h \pi D_h^2 / 4} = \frac{4 A_{sp}}{s_h D_h} \quad (3-8)$$

- Bây giờ xét **tiết diện chữ nhật** bên dưới, thép đai gồm **một đai vòng theo chu vi** và **một đai giằng** ở giữa tiết diện như hình vẽ. Giả sử rằng **diện tích mỗi thép đai** là  $A_t$  và **bước thép đai** là  $s_t$ .



**Tổng diện tích thép đai** băng qua tiết diện cắt ngang là  $A_{sh} = nA_t$ , với  $n$  là số thép đai (= 3 theo phương khảo sát). **Tỷ số thể tích thép đai**  $\rho_y$  theo **phương y** là :

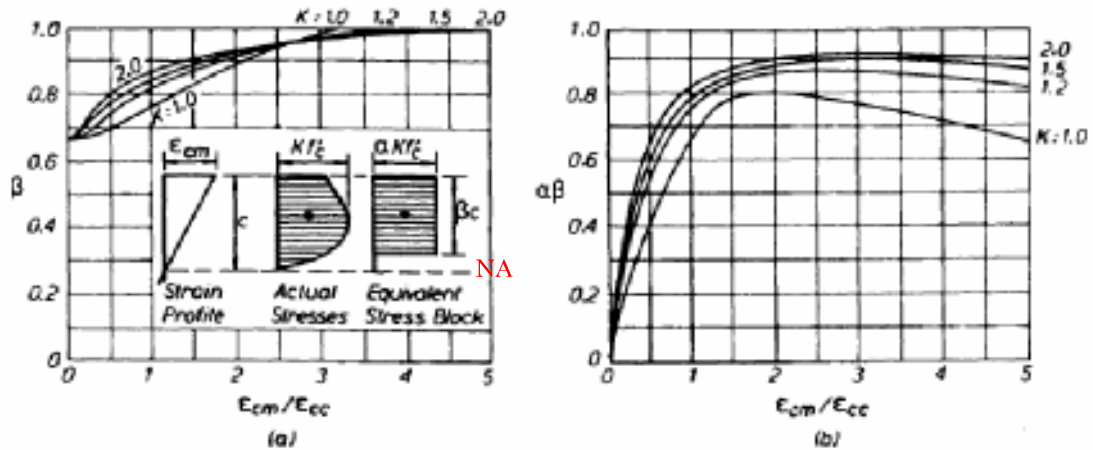
$$\rho_y = \frac{A_{sh}}{h_c s_t} = \frac{3A_t}{h_c s_t} \quad (3-9a)$$

Tương tự, **tỷ số thể tích thép đai**  $\rho_x$  theo **phương x** là :

$$\rho_x = \frac{A_{sh}}{b_c s_t} = \frac{2A_t}{b_c s_t} \quad (3-9b)$$

### 3.6 THÔNG SỐ KHỐI ỨNG SUẤT NÉN CỦA BÊ TÔNG BỊ ÉP NGANG

Các thông số khối ứng suất chữ nhật tương đương được dùng trong thiết kế bê tông tự do nở ngang có thể mở rộng dùng cho bê tông bị ép ngang. Paulay và Priestley trình bày trong hình vẽ dưới đây các **thông số khối ứng suất chữ nhật** (*stress block parameters*) cho tiết diện **bê tông bị ép ngang bởi thép đai kín**.



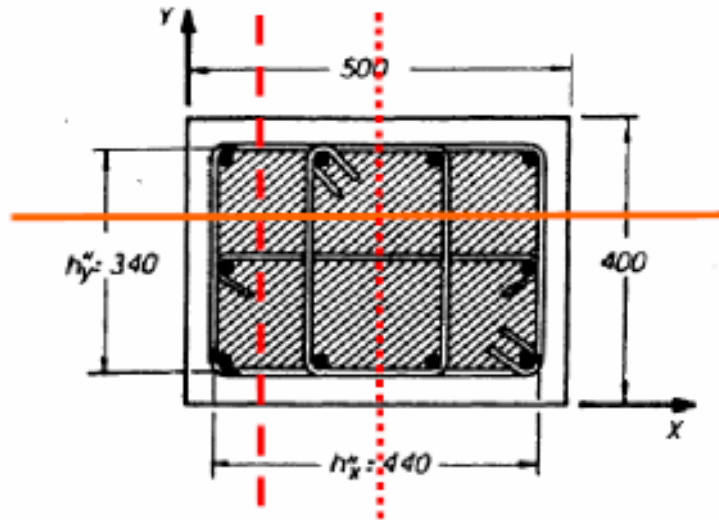
Ứng suất trung bình lấy bằng  $\alpha f_c$  cho bê tông tự do nở ngang được thay thế bằng  $\alpha f_{cc}$  hay  $\alpha K f_c$ , với  $K = f_{cc}/f_c$ . Với một giá trị chọn trước của **biến dạng nén tại đỉnh** (*peak compression strain*)  $\epsilon_{cm}$ , được thể hiện ở dạng tỷ số  $\epsilon_{cm}/\epsilon_{cc}$ , một giá trị  $\beta$  được xác định từ **hình (a)**; và một giá trị  $\alpha$  cũng được suy ra từ **hình (b)** ở trên.

Đối với các tiết diện phức tạp, các phần mềm tính toán như **BIAX** hay **UCFyber**, chia tiết diện thành nhiều lớp để tính toán. Tương ứng với các giá trị cho trước của **trục trung hoà** ( $\bar{A}$ ) và **độ cong** ( $\phi$ ), các **biến dạng** ( $\epsilon_i$ ) được tính tại tâm mỗi lớp, và các **ứng suất tương ứng** ( $\sigma_i$ ) sẽ được tính trực tiếp từ quan hệ ( $\sigma-\epsilon$ ) đã lập trình sẵn. Các **nội lực** ( $F_i$ ) trong mỗi lớp tương ứng với các ứng suất  $\sigma_i$  sẽ được xác định bằng tích phân trên toàn bộ chiều cao tiết diện và từ đó tính được **mômen tính toán** trên tiết diện đó (xem **phần 4.4**, trong **chương 4** sẽ trình bày sau).

### 3.7 VÍ DỤ THIẾT KẾ

Xét tiết diện cột bên dưới bị nén ngang bởi thép đai số #5 gồm **đai 2 vòng** và **một đai giăng** ( $A_t = 0,31 \text{ in}^2$ ,  $s_t = 4 \text{ in}$ ). Giả sử thép **Grade 60** có  $f_y = 60 \text{ ksi}$  và cường độ bê tông  $f'_c = 4 \text{ ksi}$ .

**Tính:** a) cường độ lõi bê tông bị ép ngang, b) biến dạng nén cực hạn, c) các thông số thiết kế của khối ứng suất tương đương.



Theo **phương Y** có 4 thanh thép #5 bị cắt ngang bởi **đường thẳng màu cam**. Tỷ số thép ngang  $\rho_y$  bằng :

$$\rho_y = \frac{4A_t}{s_t h'_x} = \frac{4(0,31)}{4(440 / 25,4)} = 0,0179$$

Vậy theo **phương X** có **bao nhiêu thanh thép** bị cắt ngang bởi **đường thẳng màu đỏ**? đường cắt màu đỏ có **vi trí ở đâu**? Chúng ta có **3 khả năng**:

- Đường chấm dài: cắt qua **3 thanh**
- Đường chấm ngắn: cắt qua **5 thanh**
- Lấy trung bình trọng số: **1/3** ở giữa có **5 thanh** và **2/3** ở ngoài có **3 thanh**

Vậy giải pháp chọn tốt nhất là gì?

- Để an toàn **chọn 3 thanh đai**

$$\rho_x = \frac{3A_t}{s_t h'_y} = \frac{3(0,31)}{4(340 / 25,4)} = 0,0174$$

Bây giờ, giả thiết hệ số hiệu quả  $K_e = 0,75$  cho tiết diện chữ nhật, ta có:

$$f'_{lx} = K_e \rho_x f_{yh} = 0,75 \times 0,0174 \times 60 = 0,783 \text{ ksi}$$

$$f'_{ly} = K_e \rho_y f_{yh} = 0,75 \times 0,0179 \times 60 = 0,806 \text{ ksi}$$

Sử dụng **hình vẽ ở trang 6**, với các thông số sau:

$$\frac{f'_{lx}}{f'_c} = \frac{0,783}{4} = 0,196 \quad \frac{f'_{ly}}{f'_c} = \frac{0,806}{4} = 0,201$$

Suy ra được hệ số **cường độ hiệu quả K** là :

$$K = \frac{f'_{cc}}{f'_c} = 1,98$$

Do đó **cường độ lõi bê tông bị ép ngang** là:

$$f'_{cc} = Kf'_c = 1,98 \times 4 = 7,92 \text{ksi}$$

**Biến dạng nén cực hạn** của bê tông bị ép ngang là hàm số của **tỷ số thể tích thép ngang** (với  $\rho_s = \rho_x + \rho_y = 0,0174 + 0,0179 = 0,0353$ ), được xác định bằng:

$$\epsilon_{cu} = 0,004 + \frac{1,4\rho_s f_{yh} \epsilon_{sm}}{f'_{cc}}$$

$$\epsilon_{cu} = 0,004 + \frac{1,4 \times 0,0353 \times 60 \times 0,1}{7,92} = 0,041$$

Để thiết lập các thông số thiết kế ( $\alpha, \beta$ ) cho **khối ứng suất tương đương**, biến dạng  $\epsilon_{cc}$  phải được tính toán:

$$\epsilon_{cc} = 0,002 \left[ 1 + 5 \left( \frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right] = 0,002 \left[ 1 + 5 \left( \frac{7,92}{4} - 1 \right) \right] = 0,012$$

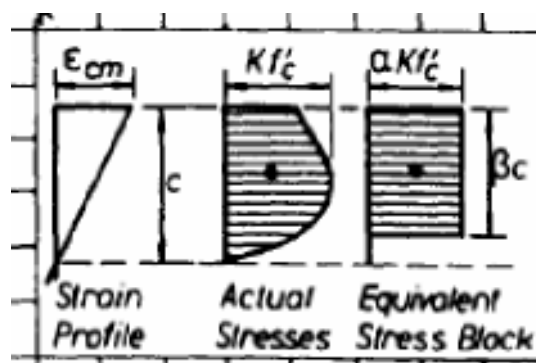
và  $\epsilon_{cu} / \epsilon_{cc} = 0,041 / 0,012 = 3,42$

Sử dụng hình vẽ ở phần 3.6, ta có:

$$\beta = 0,98 \quad \text{và} \quad \alpha\beta = 0,9 \quad \Rightarrow \quad \alpha = 0,92$$

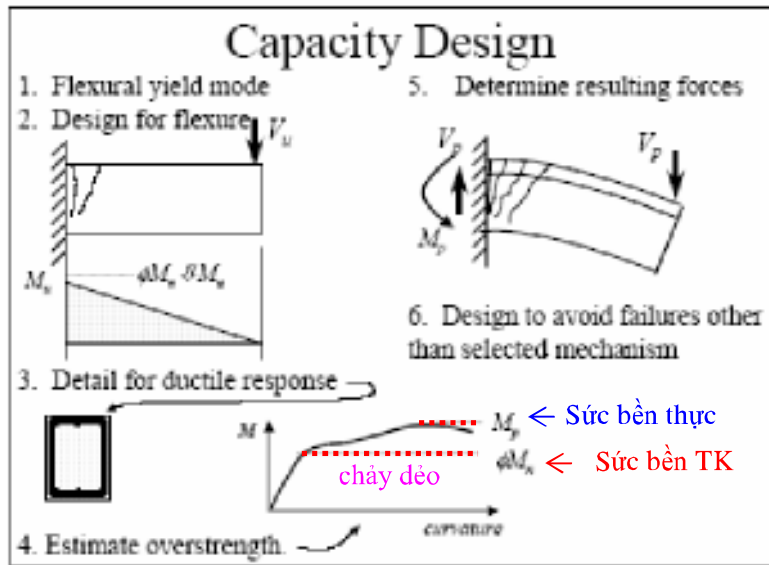
Ấu hư vậy **cường độ trung bình** dùng cho **khối ứng suất chữ nhật tương đương** dưới đây là:

$$\alpha K f'_c = 0,92 \times 1,98 \times 4 = 7,29 \text{ksi}$$





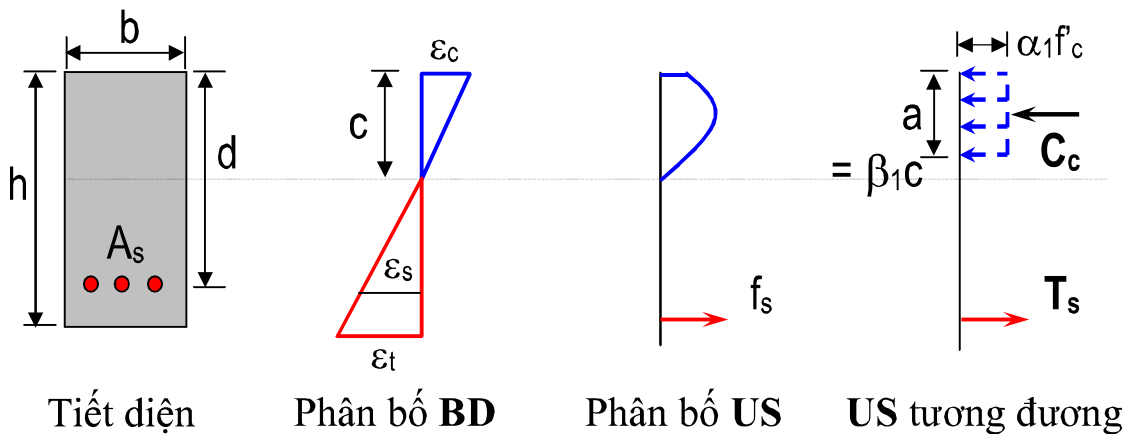
## PHỤ LỤC 1



Ảnh hưởng ép ngang do thép dai cải thiện khả năng chịu uốn, đặc biệt tăng độ dẻo dai (ductility) của tiết diện so với tính toán LRFD bình thường (chày dẻo):

$$[M_u] = \phi M_p > [M_y] = \phi M_n$$

$$[\phi_u] \gg [\phi_y]$$



Khả năng chịu lực của tiết diện BTCT chịu uốn không ép ngang:

$$M_n = T_s \left[ d - \frac{a}{2} \right]$$

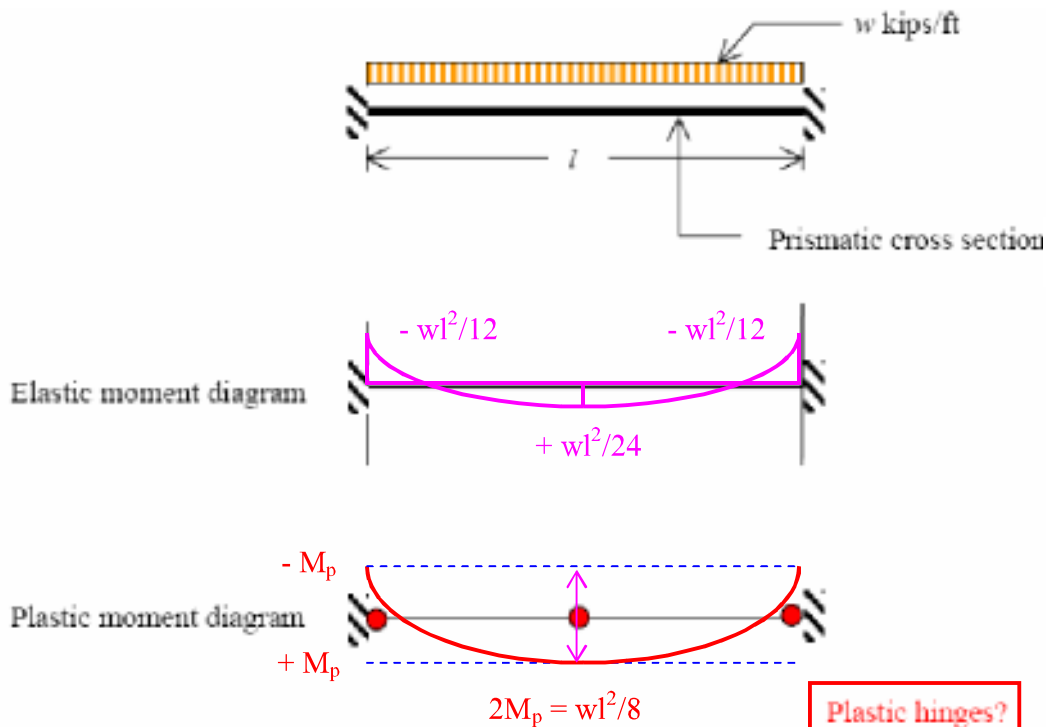
## Chương 4: **QUAN HỆ MÔMEN - ĐỘ CONG**

### 4.1 SỰ PHÂN PHỐI LẠI MÔMEN TRONG HỆ BTCT

#### 4.1.1 Hệ chịu tải trọng đứng

**Phần 8.4** của tiêu chuẩn **ACI 318** cho phép phân phối lại mômen (tăng hay giảm **mômen âm**) trong các cấu kiện BTCT chịu uốn liên tục. Phân phối lại mômen phụ thuộc vào **độ dẻo** (*ductility*) trong các vùng khớp dẻo (*plastic hinge*). ả hững vùng khớp dẻo phát triển tại các vị trí  $M_{max}$  và làm thay đổi biểu đồ **mômen uốn đàn hồi**. Và kết quả **phân tích dẻo** thường thấy là **mômen âm giảm** và **mômen dương tăng** trong vùng khớp dẻo so với kết quả phân tích đàn hồi. Vì các tổ hợp tải trọng nguy hiểm để xác định các mômen âm và các mômen dương là khác nhau, nên mỗi tiết diện BTCT có một khả năng dự trữ mà không sử dụng hết cho bất kỳ một trường hợp tải nào. Các khớp dẻo cho phép sử dụng toàn bộ khả năng chịu lực của nhiều vị trí tiết diện hơn của kết cấu chịu uốn, so với kết quả phân tích đàn hồi.

- Kết quả phân tích **đàn hồi tuyến tính** của một cấu kiện **phi tuyến** :



Với tiết diện hình lăng trụ có **mômen kháng uốn  $M_n$** , **tải trọng tác dụng lớn nhất  $w$**  được xác định bằng:

- Phân tích đàn hồi:  $M_n = \frac{w^e l^2}{12} \Rightarrow w_{max}^e = \frac{12M_n}{l^2}$
- Phân tích chảy dẻo:  $M_n = \frac{w^p l^2}{16} \Rightarrow w_{max}^p = \frac{16M_n}{l^2} = 1,33w_{max}^e$

Ấu hury vậy, việc sử dụng kết quả **phân tích chảy dẻo** cho giá trị **tải trọng cho phép cao hơn** khi so với kết quả **phân tích đàn hồi**.

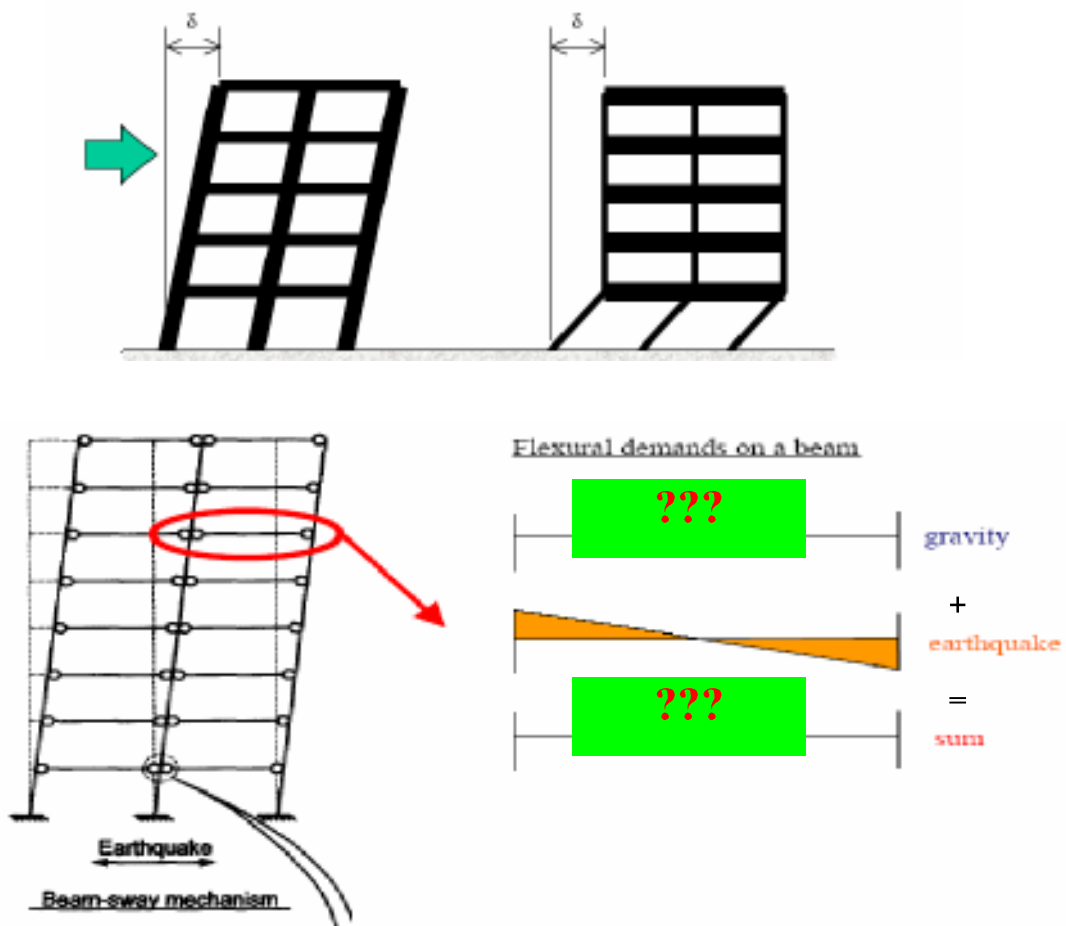
**Khả năng chảy dẻo** có thể được hình thành như thế nào?

- **độ dẻo (ductility)** đủ lớn trong miền tạo khớp dẻo.
  - độ dẻo là đại lượng đo khả năng **biến dạng không đàn hồi** vượt quá **biến dạng dẻo**
  - sử dụng phương pháp **phân tích mômen-độ cong (moment-curvature analysis)** để xác định các giới hạn biến dạng.
  - mức độ **bê tông bị ép ngang** sẽ ảnh hưởng lên giới hạn biến dạng.
    - **biến dạng max** của bê tông  $\epsilon_{c,max}$

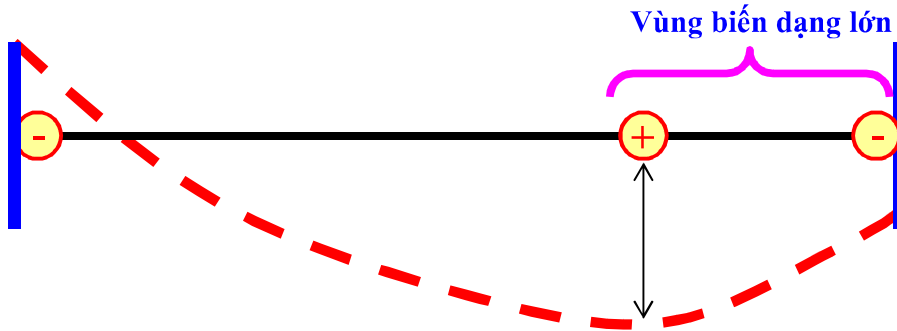
#### 4.1.2 Hệ chịu tải trọng ngang

**Sự phân phối lại lực ngang** làm tăng cường khả năng đáp ứng của hệ khung chịu tải trọng động đất và tải trọng nô do các thành phần cấu kiện đạt đến cường độ lớn nhất tại các mức độ biến dạng khác nhau. Xét **cơ cấu beam-sway** bên dưới (**hình a: cột cứng-dầm yếu**) mà là cơ cấu ưu tiên trong thiết kế động đất.

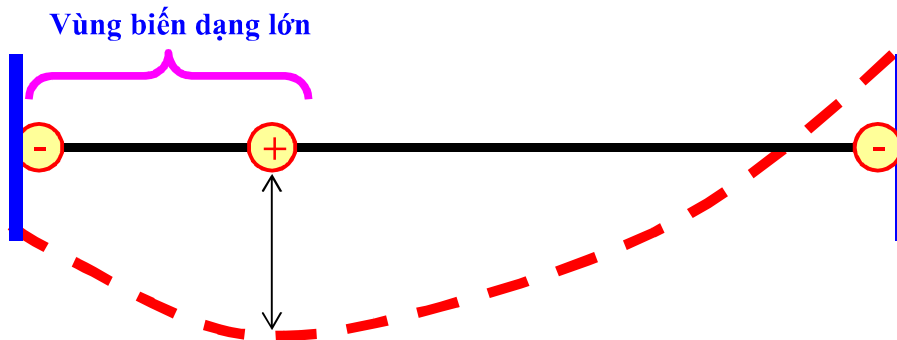
- tại sao **beam-sway** theo **hình a** là cơ cấu ưu tiên? (**nhiều khớp dẻo nhất** → Ph. án **tối ưu**).
- ảnh hưởng của mômen do tải trọng đứng trên đáp ứng của cấu kiện?



- **Cơ cấu right-hand sway:** với 2 khớp dẻo ở hai đầu dầm (-) và một khớp dẻo (+) tại vị trí có mômen  $M_{max}$ .



- **Cơ cấu left-hand sway:** với 2 khớp dẻo ở hai đầu dầm (-) và một khớp dẻo (+) tại vị trí có mômen  $M_{max}$ .



Vậy, **khả năng biến dạng đầy đủ** phải được cấp cho mọi khớp dẻo được tạo thành như trong hình vẽ trên.

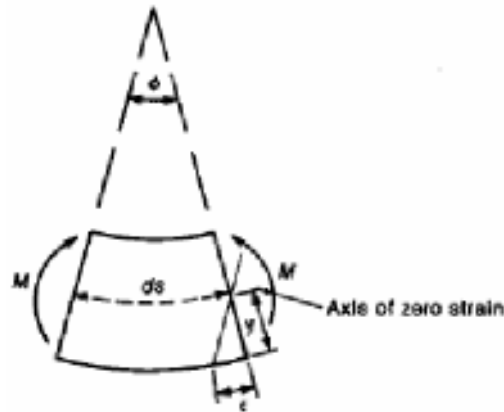
- biến dạng không đàn hồi lớn trong bê tông
- độ dẻo lớn đạt được bằng cách dùng các chi tiết cấu tạo thích hợp, bao gồm cả biện pháp thép đai ép ngang.

## 4.2 PHÂN TÍCH MÔMEN-ĐỘ CONG CỦA TIẾT DIỆN TỰ DO NỖ NGANG

### 4.2.1 Các giả thuyết cơ bản

Phân tích này trình diễn dạng đơn giản nhất của **phân tích mômen-độ cong** ( $M-\phi$ ). Một số giả thuyết đơn giản trong **lý thuyết uốn** được thiết lập để tính toán quan hệ ( $M-\phi$ ) như sau:

1. Các tiết diện vuông góc với trục uốn vẫn phẳng trước khi uốn và sau khi uốn.



Ảnh hưởng quan hệ giữa **độ cong**  $\phi$  và **biến dạng**  $\varepsilon$ : 
$$\phi = \frac{\varepsilon}{y}$$

với  $y$  là khoảng cách từ mép ngoài đến trục trung hoà.

2. Tại cùng một cao độ của tiết diện cấu kiện, biến dạng thép bằng biến dạng bê tông ( $\varepsilon_s = \varepsilon_c$ ).
3. Các ứng suất trong thép ( $\sigma_s$ ) và bê tông ( $\sigma_c$ ) có thể xác định từ các quan hệ ( $\sigma-\varepsilon$ ) đặc trưng của vật liệu.

Các phương pháp tính toán trình bày sau đây áp dụng cho hai kiểu tiết diện tự do nở ngang: (1) bản BTCT chỉ có thép chịu kéo, (2) dầm BTCT chỉ có thép chịu kéo (**phần 1**) và có thêm thép chịu nén (**phần 2**).

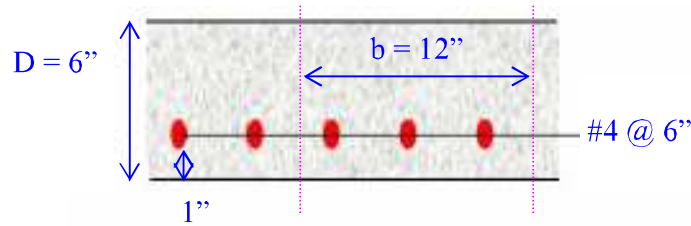
### 4.2.2 Phân tích mômen-độ cong của bản BTCT

Trong tính toán bằng tay, mômen tại 3 mức **độ cong** (curvature) được xác định:

- độ cong khi bê tông xuất hiện nứt  $\phi_{cr}$  (tại mômen gây nứt  $M_{cr}$ )
- độ cong khi bê tông biến dạng chảy dẻo  $\phi_y$  (tại mômen chảy dẻo  $M_y$ )
- độ cong khi bê tông biến dạng cực hạn  $\phi_u$  (tại mômen cực hạn  $M_u$ )

Mặt cắt ngang **bản BTCT** được trình bày dưới đây. Mục tiêu là thiết lập **đường quan hệ** ( $M-\phi$ ) cho tiết diện bản. Xét một khoảng **chiều rộng bản**  $b = 12 \text{ in}$  để tính toán, Thép loại **Grade 60** và cường độ bê tông  $f_c = 4 \text{ ksi}$ . Giả thiết lớp bê tông bảo vệ là  $1 \text{ in}$ .

Ba bước tính toán phải thực hiện tại các giai đoạn: **a)** bắt đầu nứt, **b)** chảy dẻo, **c)** tới hạn.



**a) Bắt đầu nứt (cracking)**

Bỏ qua sự tham gia cốt thép (bỏ qua chuyển đổi tiết diện tương đương),

$$I_g = \frac{bD^3}{12} = \frac{12 \times 6^3}{12} = 216 \text{ in}^3$$

Mô đun đàn hồi của bê tông:  $E_c = 57000 \sqrt{4000} \text{ ksi} = 3604 \text{ ksi}$

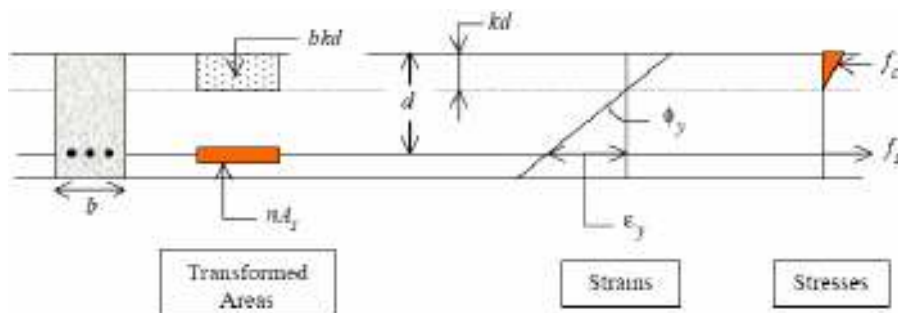
$$\text{Tính môment gây nứt, } M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} = \frac{7,5 \sqrt{4000}}{1000} \times \frac{216}{3} = 34,2 \text{ kip-in}$$

$$\text{Tính độ cong khi bắt đầu nứt, } \phi_{cr} = \frac{M_{cr}}{E_c I_g} = \frac{34,2}{3604 \times 216} = 4,4E-5 \text{ in}^{-1}$$

ảnh hưởng toạ độ bắt đầu nứt ( $\phi_{cr}, M_{cr}$ ) trên đường quan hệ ( $\phi$ -M) là (4,4E-5 ; 34,2)

**b) Chảy dẻo (yield)**

Để tính toán, sử dụng mômen quán tính chuyển đổi do nứt (cracked transformed moment of inertia). Biến dạng tối hạn trong thép chịu kéo là biến dạng chảy dẻo  $\epsilon_y$ .



Sự phân bố ứng suất trong bê tông được giả thiết như ở hình trên. Chiều cao vùng bê tông chịu nén đến trục trung hoà là  $kd$ . Biến dạng trong thép chịu kéo là  $\epsilon_y$ . Đối với tiết diện BTCT cốt đơn ta có công thức,

$$k = \sqrt{2\rho n + (\rho n)^2} - \rho n$$

với  $n$  là tỷ số mô đun ( $n = E_s/E_c$ ) và  $\rho = A_s/bd$ . Đối với tiết diện trên ta có,

$$d = D - 1 - 0,5 \times (4/8) = 6 - 1 - 0,25 = 4,75 \text{ in}$$

$$\rho = \frac{2 \times (0,2 \text{ in}^2)}{12 \times 4,75} = 0,0070 ; n = \frac{29000}{3604} = 8,04$$

$\Rightarrow k = 0,28$  (giá trị này hợp lý không?) Ans:  $k < 0,3$  không bị phá hoại dòn

Tính mômen  $M_y$  quanh trọng tâm khối bê tông chịu nén, mà vị trí của nó cách mép trên của tiết diện một khoảng bằng  $kd/3$ , ta có:

$$M_y = \sum A_s f_s (jd) = A_s f_s (d - kd/3)$$

$$M_y = (0,4 \text{ in}^2) \times 60 \times (4,75 - 0,28 \times 4,75/3) = 103,4 \text{ kip-in}$$

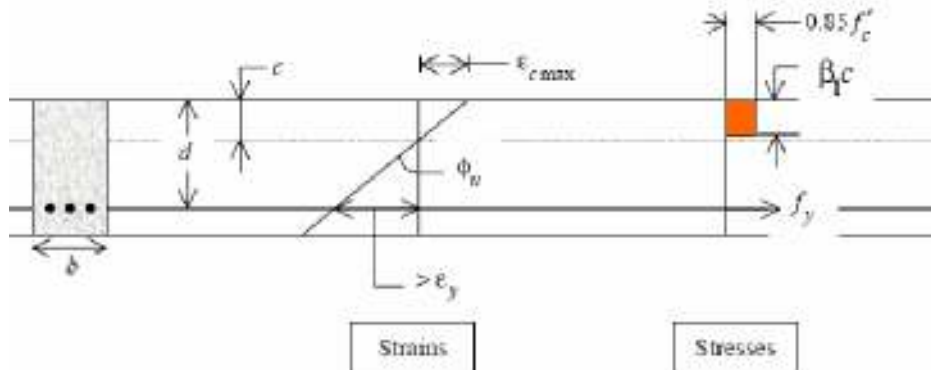
Độ cong tương ứng:

$$\phi_y = \frac{\epsilon_y}{d - kd} = \frac{0,0021}{4,75 - 0,28 \times 4,75} = 6,1 \text{E-}4 \text{ in}^{-1}$$

ả hư vậy tọa độ điểm chảy dẻo ( $\phi_y, M_y$ ) trên đường quan hệ ( $\phi$ - $M$ ) là (6,1E-4 ; 103,4)

### c) Tới hạn (ultimate)

Hình dưới cung cấp thông tin cần thiết để tìm mômen tới hạn ( $M_u$ ) và độ cong tới hạn ( $\phi_u$ ).



Giả thiết khối ứng suất bê tông chịu nén dạng chữ nhật kiểu Whitney-type ( $\beta_1 = 0,85$ ),

chiều cao đến trục trung hoà là:  $c = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b \beta_1} = \frac{0,4 \times 60}{0,85 \times 4 \times 12 \times 0,85} = 0,69 \text{ in}$

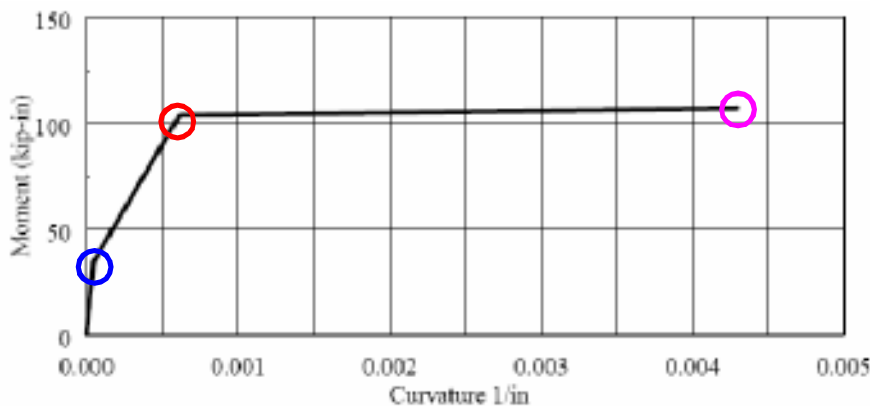
Mômen tới hạn  $M_u$  tính bằng:

$$M_u = A_s f_y (d - 0,5 \beta_1 c) = 0,4 \times 60 \times (4,75 - 0,5 \times 0,85 \times 0,69) = 106,9 \text{ kip-in}$$

Độ cong tới hạn  $\phi_u$  là:  $\phi_u = \frac{\epsilon_{cmax}}{c} = \frac{0,003}{0,69} = 4,3 \text{E-}3 \text{ in}^{-1}$

ả hư vậy tọa độ điểm tới hạn ( $\phi_u, M_u$ ) là (4,3E-3 ; 106,9).

Chú ý chỉ có khác biệt nhỏ giữa mômen  $M_y$  (104 kip-in) và mômen  $M_u$  (107 kip-in).

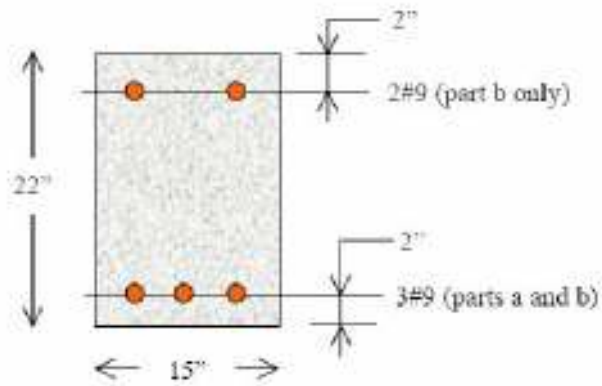




### 4.2.3 Phân tích mômen-độ cong của dầm BTCT

Phân tích mẫu dầm BTCT dưới đây có phương pháp tương tự như ví dụ bản BTCT trình bày ở trên. Hai trường hợp sẽ được nghiên cứu : (a) chỉ có thép chịu kéo, (b) có thép chịu kéo và chịu nén. Các dữ liệu chính trình bày trong bảng dưới đây.

|         |                        |
|---------|------------------------|
| $f'_c$  | 4 ksi                  |
| $f_y$   | 60 ksi                 |
| $f_r$   | 0.474 ksi              |
| $I_g$   | 13,210 in <sup>4</sup> |
| $E_c$   | 3604 ksi               |
| $\rho$  | 0.0099                 |
| $\rho'$ | 0.0066                 |



#### 1. Phần 1: Không có thép chịu nén (không có 2#9)

##### a) Bắt đầu nứt

$$M_{cr} = \frac{I_g}{y_t} f_r = \frac{13310}{11} (0,474) = 573 \text{ kip-in}$$

$$\phi_{cr} = \frac{M_{cr}}{E_c I_g} = \frac{573}{3604 \times 13310} = 1,19E-5 \text{ in}^{-1}$$

##### b) Chảy dẻo

$$n = 8,04; \rho = 0,0099$$

$$k = \sqrt{2\rho n + (\rho n)^2} - \rho n = 0,327$$

$$M_y = A_s f_y \left( d - \frac{kd}{3} \right) = 3,0 \times 60 \times \left( 20 - \frac{0,327 \times 20}{3} \right) = 3207 \text{ kip-in}$$

$$\phi_y = \frac{\epsilon_y}{d - kd} = \frac{0,0021}{20 - 0,327 \times 20} = 1,56E-4 \text{ in}^{-1}$$

##### c) Tối hạn

$$c = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b \beta_1} = \frac{3,0 \times 60}{0,85 \times 4 \times 15 \times 0,85} = 4,15 \text{ in}$$

$$M_u = A_s f_y \left( d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) = 3,0 \times 60 \left( 20 - \frac{0,85 \times 4,15}{2} \right) = 3282 \text{ kip-in}$$

$$\phi_u = \frac{\varepsilon_{c \max}}{c} = \frac{0,003}{4,15} = 7,2E-4 \text{ in}^{-1} \Rightarrow \mu_\phi = \phi_u / \phi_y = 4,6$$

**2. Phần 2:** Có thép chịu nén (có 2#9)

**a) Bắt đầu nứt** (như trên)

$$M_{cr} = \frac{I_g}{y_t} f_r = \frac{13310}{11} (0,474) = 573 \text{ kip-in}$$

$$\phi_{cr} = \frac{M_{cr}}{E_c I_g} = \frac{573}{3604 \times 13310} = 1,19E-5 \text{ in}^{-1}$$

**b) Chảy dẻo**

$$n = 8,04; \rho = 0,0099; \rho' = 0,0066; d = 20''; d' = 2''$$

$$k = \sqrt{2(\rho + \frac{d'}{d}\rho')n + (\rho + \rho')^2 n^2} - (\rho + \rho')n = 0,301$$

Phương trình tổng quát của mômen  $M_y$  là :

$$M_y = A_s f_y (d - \frac{kd}{3}) + A'_s f'_s (d' - \frac{kd}{3})$$

với ứng suất thép chịu nén là hàm số của khoảng cách  $k$ . á ếu ứng suất thép chịu kéo là  $f_y$ , thì biến dạng thép chịu nén có thể xác định bằng qui tắc tam giác như sau:

$$f'_s = \frac{kd - d'}{d - kd} f_y = 17,3 \text{ ksi}$$

$$M_y = 3,0 \times 60 (20 - \frac{0,301 \times 20}{3}) + 2,0 \times 17,3 (2 - \frac{0,301 \times 20}{3}) = 3238 \text{ kip-in}$$

$$\phi_y = \frac{\varepsilon_y}{d - kd} = \frac{0,0021}{20 - 0,301 \times 20} = 1,50E-4 \text{ in}^{-1}$$

**c) Tối hạn**

Tính toán ( $\phi_u, M_u$ ) đòi hỏi một số bước tính lặp để tìm vị trí trục trung hoà. Trong tính tay, ban đầu giả thiết biến dạng thép chịu nén  $\varepsilon'_s$  vượt quá biến dạng chảy  $\varepsilon_y$ , giả thiết này cũng sẽ được hậu kiểm.

$$c = \frac{A_s f_y - A'_s f'_s}{0,85 f'_c b \beta_1} = \frac{3,0 \times 60 - 2,0 \times 60}{0,85 \times 4 \times 15 \times 0,85} = 1,38 \text{ in}$$

$$M_u = (0,85 f'_c \beta_1 c b) (d - \frac{\beta_1 c}{2}) + A'_s f'_s (d - d') = 3321 \text{ kip-in}$$

$$\phi_u = \frac{\varepsilon_{c \max}}{c} = \frac{0,003}{1,38} = 2,20E-3 \text{ in}^{-1}$$

**Kiểm tra lại giả thiết ban đầu** cho biến dạng trong thép chịu nén,

$$\varepsilon'_s = \varepsilon_{c \max} \left( \frac{c - d'}{c} \right) = 0,0015 = 0,71 \varepsilon_y < \varepsilon_y \quad (\varepsilon_y = 0,0021)$$

Ấu hư vậy **giả thiết ban đầu là không đúng** và đòi hỏi bước tính lặp khác. Sau một số lần tính lặp ta có:

$$c = 2.90''$$

$$\varepsilon'_s = \varepsilon_{c \max} \left( \frac{c - d'}{c} \right) = 0,003 \left( \frac{2,9 - 2,0}{2,9} \right) = 0,00093$$

$$f'_s = E_c \varepsilon'_s = 29000 \times 0,00093 = 27 \text{ ksi}$$

$$M_u = (0,85 f'_c \beta_1 c b) \left( d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + A'_s f'_s (d - d') = 3331 \text{ kip-in}$$

$$\phi_u = \frac{\varepsilon_{c \max}}{c} = \frac{0,003}{2,9} = 1,0E-3 \text{ in}^{-1} \Rightarrow \mu_\phi = \phi_u / \phi_y = 6,7$$

Bây giờ khảo sát bảng dưới đây cho **BTCT tự do nở ngang** (không có cốt thép đai).

| BTCT<br>không đai | Thép chịu nén |         |               |
|-------------------|---------------|---------|---------------|
|                   | Không         | Có      |               |
| $M_y$             | 3207          | 3238    | ← ít thay đổi |
| $\phi_y$          | 1,56E-4       | 1,50E-4 | ← không đổi   |
| $M_u$             | 3282          | 3331    | ← ít thay đổi |
| $\phi_u$          | 0,72E-3       | 1,0E-3  | ← tăng 40%    |
| $\mu_\phi$        | 4,6           | 6,7     | ← tăng 40%    |

### 4.3 PHÂN TÍCH MÔMEN-ĐỘ CONG CỦA TIẾT DIỆN BỊ ÉP NGANG

#### 4.3.1 Tính toán các đáp ứng

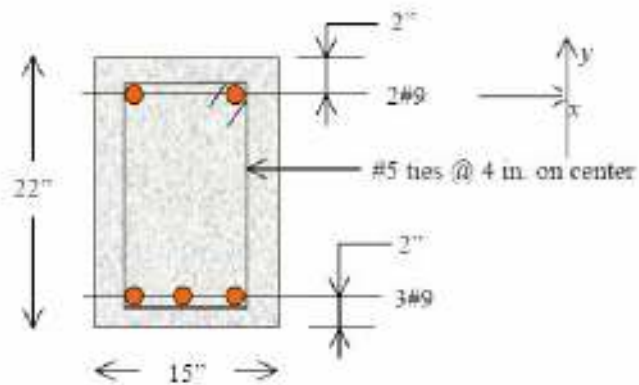
Trong tính toán bằng tay, mômen tại 3 mức **độ cong** (curvature) cũng được xác định tương tự như các **tiết diện tự do nở ngang**:

- độ cong khi bê tông xuất hiện nứt  $\phi_{cr}$  (tại mômen gây nứt  $M_{cr}$ )
- độ cong khi bê tông biến dạng chày dẹt  $\phi_y$  (tại mômen chày dẹt  $M_y$ )
- độ cong khi bê tông biến dạng cực hạn  $\phi_u$  (tại mômen cực hạn  $M_u$ )

Các phương pháp tính toán trình bày sau đây áp dụng cho **tiết diện dầm BTCT bị ép ngang** (có bố trí **thép đai**) với cấu tạo như hình vẽ dưới đây. Thép đai vòng #5, bước đai  $s_h = 4''$ .

Bước tính thứ nhất là xác định các đặc trưng của **bê tông bị ép ngang**. Trong ví dụ này, mômen uốn quanh trục **x-x** gây ra ứng suất nén ở phần đỉnh của mặt cắt dầm BTCT (phía thép #9). Trục **x** và **y** như hình vẽ.

|         |                        |
|---------|------------------------|
| $f'_c$  | 4 ksi                  |
| $f_y$   | 60 ksi                 |
| $f_r$   | 0.474 ksi              |
| $I_g$   | 13,210 in <sup>4</sup> |
| $E_c$   | 3604 ksi               |
| $\rho$  | 0.0099                 |
| $\rho'$ | 0.0066                 |



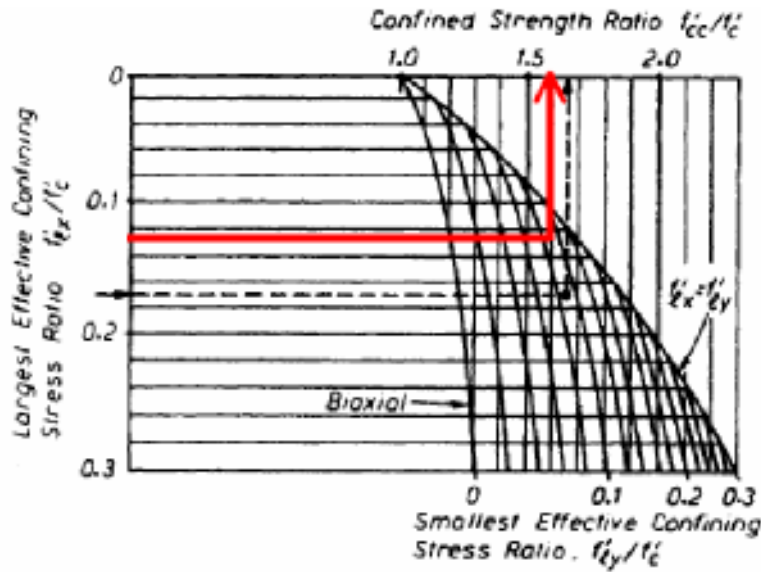
Với tiết diện như trên, sử dụng các công thức trong **Chương 3** ta có:

$$\left. \begin{aligned} h_x^* &\approx 13.2 \text{ in} \\ h_y^* &= 20.2 \text{ in} \\ \rho_y &= \frac{2 \times 0.3}{4 \times 13.2} = 0.0114 \\ \rho_x &= \frac{2 \times 0.3}{4 \times 20.2} = 0.0074 \end{aligned} \right\} \leftarrow \rho_y = \frac{2A_h}{s_h h_x}; \rho_x = \frac{2A_h}{s_h h_y}$$

Do tiết diện chữ nhật, **giả sử** hệ số hiệu quả  $K_e = 0,75$ , ta có:

$$\frac{f'_{lx}}{f'_c} = K_e \rho_x \frac{f_{yh}}{f'_c} = 0,75 \times 0,0074 \times \frac{60}{4} = 0,083$$

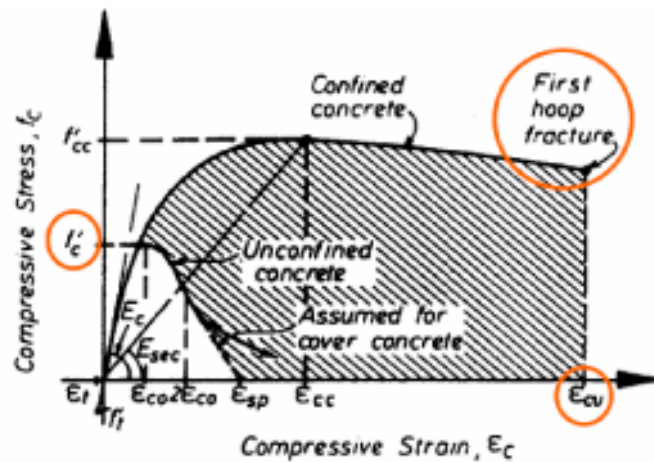
$$\frac{f'_{ly}}{f'_c} = K_e \rho_y \frac{f_{yh}}{f'_c} = 0,75 \times 0,0114 \times \frac{60}{4} = 0,128$$



Sử dụng biểu đồ trên, chú ý rằng cường độ ép ngang hiệu quả lớn nhất của ví dụ này là  $f'_{ly}$ , suy ra ta có  $K = f'_{cc}/f'_c = 1,6$  và cường độ lõi bê tông bị ép ngang do đó bằng :

$$f'_{cc} = K f'_c = 1,6 \times 4 = 6,4 \text{ ksi}$$

Sử dụng mô hình Mander với các ký hiệu như trong hình dưới đây:



Ta có các thông số cần thiết khác để thiết lập đường quan hệ ( $f_c - \epsilon_c$ ) của tiết diện bê tông bị ép ngang là:

$$f_{yh} = f_y = 60 \text{ ksi}; \quad \epsilon_{sm} = 0,1 \text{ (thép Grade 60)}$$

$$\epsilon_{cu} = 0,004 + \frac{1,4(\rho_x + \rho_y) f_{yh} \epsilon_{sm}}{f'_{cc}} = 0,028$$

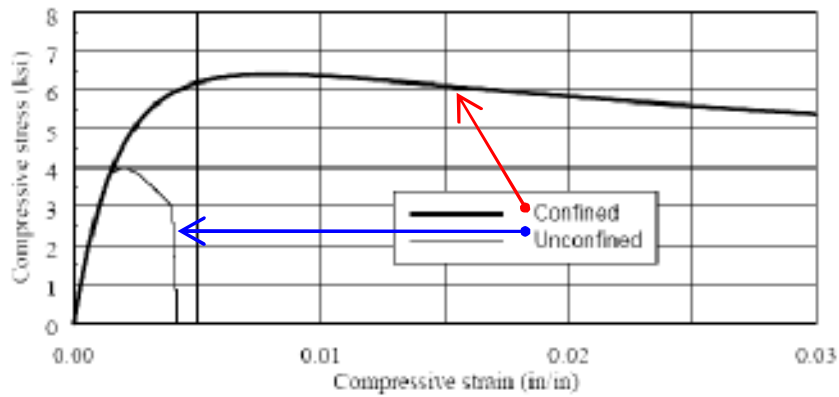
$$\varepsilon_{cc} = 0,002[1 + 5(\frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1)] = 0,008$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}} = 800 \text{ ksi}; \quad E_c = 3604 \text{ ksi}$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} = 1,28; \quad x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} = 125\varepsilon_c$$

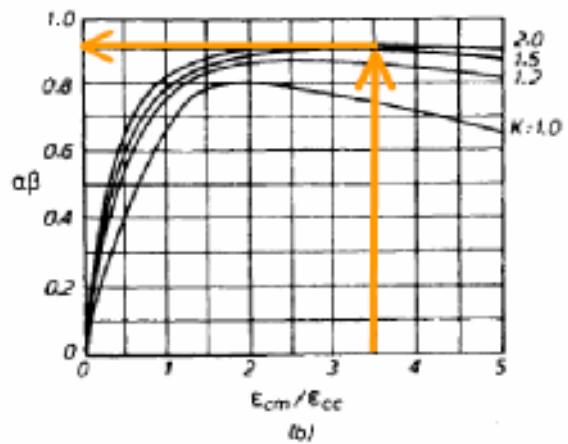
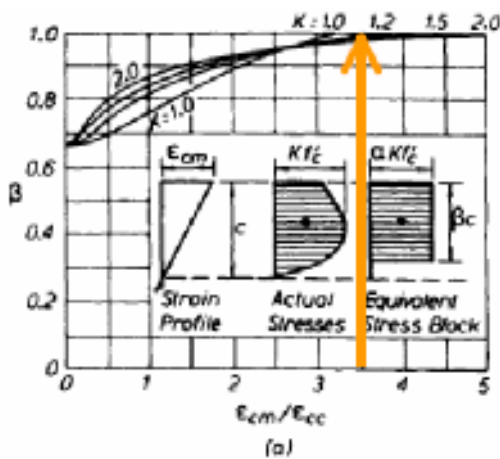
$$f_c = \frac{f'_{cc} x r}{r - 1 + x^r} = \frac{1024 \varepsilon_c}{0,28 + (125 \varepsilon_c)^{1,28}}$$

Đường quan hệ  $\sigma-\varepsilon$  của các trường hợp bê tông bị ép ngang và bê tông tự do nở ngang của ví dụ này được biểu diễn như sau:



Để tính mômen tới hạn  $M_u$  và độ cong tới hạn  $\phi_u$  cho tiết diện này, các thông số khối ứng suất bê tông chịu nén cần phải được xác định. Các số liệu đã biết gồm:

$$K = f'_{cc} / f'_c = 1,6; \quad \text{chọn } \varepsilon_{c_{max}} = \varepsilon_{cu} = 0,028; \quad \varepsilon_{cc} = 0,008; \quad \frac{\varepsilon_{c_{max}}}{\varepsilon_{cc}} = 3,5$$



Từ các biểu đồ trên ta có:  $\beta = 1$ ,  $\alpha\beta = 0.9$ ,  $\alpha = 0.9$ . Lúc này chúng ta có đủ các thông số cần thiết để thực hiện sự phân tích mômen-độ cong.

a) **Bắt đầu nứt** (như trên)

$$M_{cr} = \frac{I_g}{y_t} f_r = \frac{13310}{11} (0,474) = 573 \text{ kip-in}$$

$$\phi_{cr} = \frac{M_{cr}}{E_c I_g} = \frac{573}{3604 \times 13310} = 1,19E-5 \text{ in}^{-1}$$

b) **Chảy dẻo** (như trên)

$$n = 8,04; \rho = 0,0099; \rho' = 0,0066; d = 20''; d' = 2''$$

$$k = \sqrt{2(\rho + \frac{d'}{d}\rho')n + (\rho + \rho')^2 n^2} - (\rho + \rho')n = 0,301$$

$$f'_s = \frac{kd - d'}{d - kd} f_y = 17,3 \text{ ksi}$$

$$M_y = A_s f_y (d - \frac{kd}{3}) + A'_s f'_s (d' - \frac{kd}{3}) = 3238 \text{ kip-in}$$

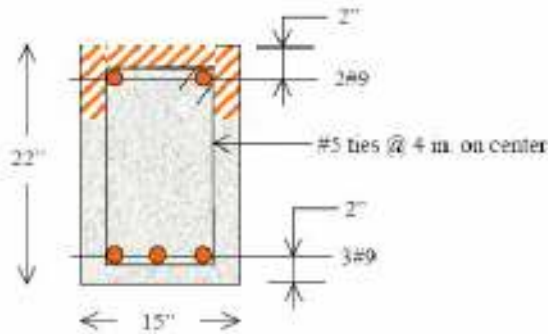
$$\phi_y = \frac{\epsilon_y}{d - kd} = \frac{0,0021}{20 - 0,301 \times 20} = 1,50E-4 \text{ in}^{-1}$$

c) **Tới hạn**

Trong tính toán bên dưới, bỏ qua ảnh hưởng cốt thép chịu nén.

➤ Tác động của quyết định này sẽ bàn luận sau.

Do nén ngang, bê tông sẽ có biến dạng max vượt xa biến dạng nứt vỡ (*spalling*) mà được giả thiết là  $\epsilon_{sp} = 0,004$ . Do đó, ở giai đoạn tính toán tới hạn cần giả thiết rằng lớp bê tông bảo vệ đã bị nứt vỡ (xem vùng chéo màu cam ở hình dưới).



$$b = 15 - 2(2 - 9/16 - 5/8) = 13,2 \text{ in}$$

$$d = 22 - 2 - (2 - 9/16 - 5/8) = 19,1 \text{ in}$$

$$\alpha = 0.9; \quad \beta_1 = 1,0$$

$$c = \frac{A_s f_y}{\alpha f'_c \beta_1} = \frac{3,0 \times 60}{0,9 \times 6,4 \times 13,2 \times 1} = 2,36 \text{ in}$$



$$M_u = (\alpha f_{cc}' \beta_1 c b) (d - \frac{\beta_1 c}{2}) = 3215 \text{ kip-in}$$

$$\phi_u = \frac{\epsilon_{cm}}{c} = \frac{0,0028}{2,36} = 1,19E-2 \text{ in}^{-1}$$

$$\mu_\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y} = 79,3$$

Bây giờ khảo sát bảng so sánh thông số dưới đây cho BTCT **tự do nở ngang** và BTCT **bị ép ngang** (không/có cốt thép đai).

| BTCT<br>cốt đơn | Thép đai |         |               |
|-----------------|----------|---------|---------------|
|                 | Không    | Có      |               |
| $M_y$           | 3207     | 3207    | ← không đổi   |
| $\phi_y$        | 1,56E-4  | 1,56E-4 | ← không đổi   |
| $M_u$           | 3282     | 3215    | ← ít thay đổi |
| $\phi_u$        | 0,72E-3  | 1,19E-2 | ← tăng 17 lần |
| $\mu_\phi$      | 4,6      | 79,3    | ← tăng 17 lần |

a)- Xét tác động **loại bỏ thép chịu nén** ảnh hưởng kết quả tính toán như thế nào?

➤ Sẽ ảnh hưởng **vị trí trục trung hoà c** khi xét đến thép chịu nén? ⇒ **c ↓**

○ Chú ý công thức:  $c = \frac{A_s f_y - A_s' f_s}{\alpha f_{cc}' b \beta_1}$

➤ á êu **biến dạng max của bê tông  $\epsilon_{cu} = \text{const}$** , và **c** thay đổi (**giảm**) do có xét đến **thép chịu nén**, **độ cong tới hạn  $\phi_u$**  bị ảnh hưởng như thế nào? ⇒  **$\phi_u \uparrow$**

b)- Xét việc **loại bỏ sự tái bền về biến dạng (strain hardening)** của thép sẽ ảnh hưởng đến kết quả tính toán như thế nào?

➤ Ảnh hưởng trên **cường độ  $M_u$**  và **độ cong  $\phi_u$**  ra sao?  $f_y \uparrow \Rightarrow M_u \uparrow$  và  $\phi_u \downarrow$

Tóm lại, **độ cong tới hạn  $\phi_u$  (ultimate curvature)** và **độ dẻo tới hạn  $\mu_\phi = \phi_u/\phi_y$  (curvature ductility)** của tiết diện thay đổi như thế nào? Xét bảng dưới đây:

|  | Tăng $\phi_u, \mu_\phi$ ? |      |
|--|---------------------------|------|
| Tăng thép chịu kéo $\rho = A_s/bd$       | giảm                      |      |
| Tăng thép chịu nén $\rho' = A_s'/bd$     |                           | tăng |
| Tăng cường độ thép $f_y$                 | giảm                      |      |
| Tăng cường độ bê tông $f'_c$             |                           | tăng |
| Tăng thép đai $\rho'' = \rho_x + \rho_y$ |                           | tăng |
| Tăng lực nén dọc $\hat{a}$               | giảm                      |      |

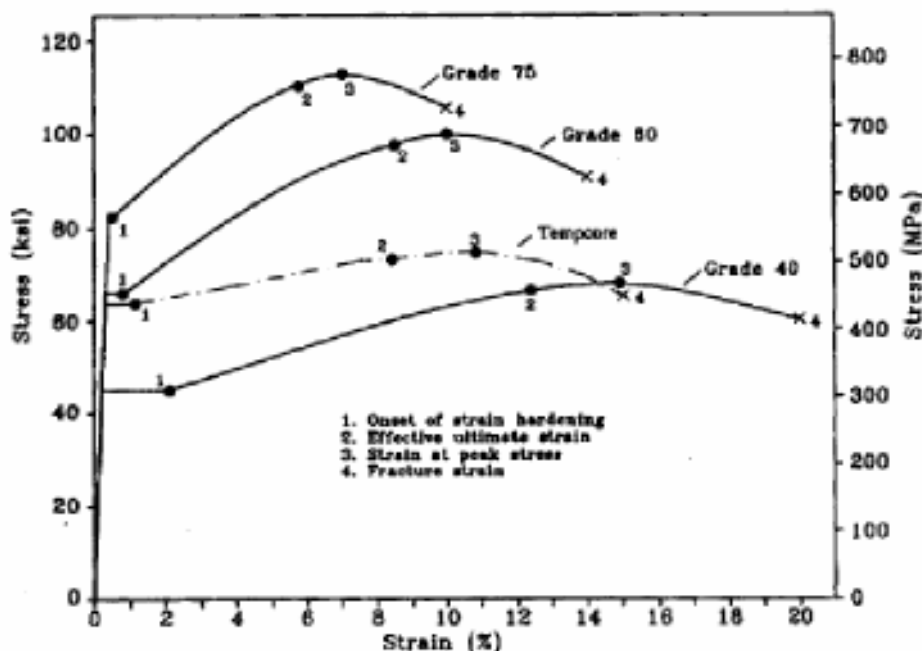
#### 4.4 PHÂN TÍCH MÔMEN-ĐỘ CONG CỦA TIẾT DIỆN PHỨC TẠP

ả hiệu **phân tích mômen-độ cong** được thực hiện trong các văn phòng thiết kế sử dụng các phần mềm lập trình tính toán. Một số phần mềm tiêu biểu là:

- **BIAX**: phát triển bởi Wallace tại UC Berkeley vào đầu thập niên 1990.
- **UCFyber**: phát triển bởi Chadwell tại UC Berkeley vào cuối thập niên 1990, tham khảo tại Zevent website: <http://www.zevent.com/framep.html>
- **SEQMC**: phát triển bởi SEQAD vào cuối thập niên 1990, tham khảo tại SC Solutions website: <http://www.best.com/~solvers/seqmc.pdf>

Các chương trình tính toán đều vận hành tuân thủ một tiêu chuẩn thiết kế nào đó với nhiều đặc tính và cách sử dụng rất khác nhau. Phần dưới đây là **trình bày đơn giản** cách thiết lập các **quan hệ mômen-độ cong** cho các **tiết diện bất kỳ**. Một số là kết quả nghiên cứu của Priestley, Seible, và Calvi.

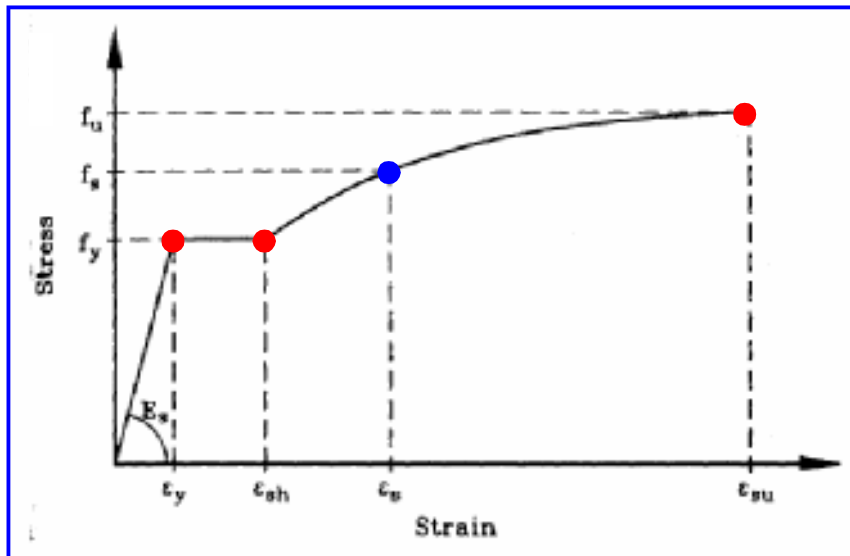
Trong phần này, giả thiết **quan hệ ( $\sigma$ - $\epsilon$ )** của bê tông đã được **xác lập trước** (cho trước).



Ở đây trong **phân tích mômen-độ cong** giả thiết rằng quan hệ ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) của thép là **đàn hồi dẻo lý tưởng** (*elastic perfectly plastic*). Giả thiết đơn giản để tính toán như vậy cơ bản là bảo thủ. Mà hình minh họa trên, Priestley, Seible, và Calvi, thể hiện các đường cong ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) khác nhau khi kéo thép:

- cường độ chảy dẻo **đanh nghĩa** so với cường độ chảy dẻo **thực đo**.
- vùng biến dạng chảy dẻo (**điểm 1**) và biến dạng cực hạn (**điểm 4**) cho các loại thép.
- các giá trị  $\epsilon_{sm}$  khác nhau cho các loại thép (**điểm 3**).

Xét quan hệ  $\sigma$ - $\epsilon$  dưới đây chịu tải đơn của thép tròn Grade 60 (Priestley, Seible, và Calvi).



Đối với loại thép này, cường độ chảy dẻo mong đợi-expected yield strength ( $f_{ye}$ ) sẽ lớn hơn cường độ chảy dẻo danh nghĩa-nominal yield strength ( $f_y$ ) khoảng 1,1-1,3 lần. Biến dạng  $\epsilon_{sh} = 0,008$  và biến dạng cực hạn  $\epsilon_{su} = 0,12$ .

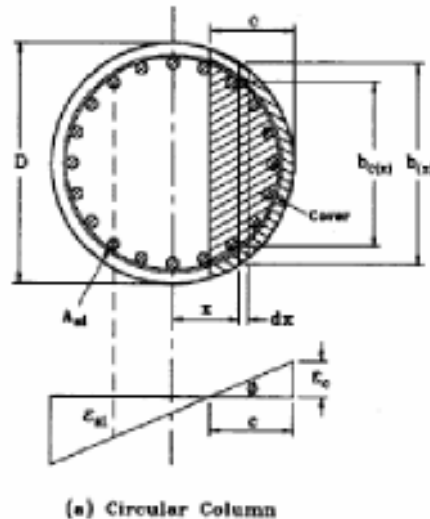
Trong miền biến dạng tái bền - strain-hardening region ( $\epsilon_{sh} \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{su}$ ), ứng suất thép có thể tính bằng:

$$f_s = f_{ye} \left[ 1,5 - 0,5 \left( \frac{0,12 - \epsilon_s}{0,112} \right)^2 \right] \quad (4-1)$$

Trong phân tích với trường hợp biến dạng bê tông lớn hơn 0,003-0,004, người tính toán phải phân biệt giữa vùng bị ép ngang (confined) và vùng tự do nở ngang (unconfined) của cấu kiện BTCT:

- bê tông nằm trong thép đai xem như bị ép ngang
- bê tông nằm ngoài thép đai xem như tự do nở ngang

Phần còn lại của bài giảng sử dụng các thuật ngữ (nomenclature) của Priestley, Seible, và Calvi như trình bày trong hình dưới đây:



Phân tích mômen-độ cong là một phương pháp **tính lặp** bao gồm xét đến **lập cân bằng lực dọc** và **cân bằng mômen** trên tiết diện tính toán và lựa chọn các giá trị của **biến dạng nén ở mép ngoài cùng, extreme fiber strain in compression ( $\epsilon_c$ )**.

Xét **tiết diện tròn** ở trên, ả ghiệm cho **tiết diện chữ nhật** thì tính tương tự nhưng đơn giản hơn.

Từ **cân bằng lực dọc** trên tiết diện ta có:

$$P = \int_{0,5D-c}^{0,5D} [b_{c(x)}f_c(\epsilon_x) + (b_{(x)} - b_{c(x)})f_{cu}(\epsilon_x)]dx + \sum_{i=1}^n A_{si}f_s(\epsilon_{xi}) \quad (4-2)$$

với:  $\epsilon_x = \frac{\epsilon_c}{c}(x - 0,5D + c)$

Từ **cân bằng lực mômen** trên tiết diện ta có:

$$M = \int_{0,5D-c}^{0,5D} [b_{c(x)}f_c(\epsilon_x) + (b_{(x)} - b_{c(x)})f_{cu}(\epsilon_x)]xdx + \sum_{i=1}^n A_{si}f_s(\epsilon_{xi})x_i \quad (4-3)$$

trong đó:  $\phi = \frac{\epsilon_c}{c}$

Trong các phương trình trên,  $f_c(\epsilon)$ ,  $f_{cu}(\epsilon)$ , và  $f_s(\epsilon)$  lần lượt là **ứng suất** trong bê tông **bị ép ngang**, **tự do nở ngang**, và **thép dọc**, và chúng là các hàm số của **biến dạng**;  $A_{si}$  là **diện tích thép dọc tại khoảng cách  $x_i$**  tính đến trục đối xứng. Các đại lượng khác xem chi tiết ở hình bên trên.

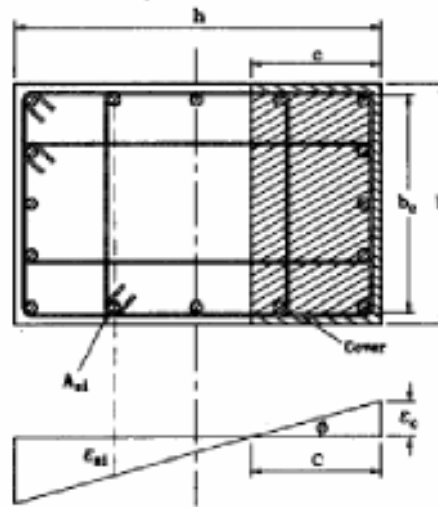
Chú ý nếu tiết diện là **hình chữ nhật**, các phương trình trên đây được đơn giản hoá như sau:

$$P = \int_{0,5D-c}^{0,5D} [b_c f_c(\epsilon_x) + (b - b_c) f_{cu}(\epsilon_x)] dx + \sum_{i=1}^n A_{si} f_s(\epsilon_{xi})$$

(4-4)

$$M = \int_{0,5D-c}^{0,5D} [b_c f_c(\epsilon_x) + (b - b_c) f_{cu}(\epsilon_x)] x dx + \sum_{i=1}^n A_{si} f_s(\epsilon_{xi}) x_i$$

(4-5)



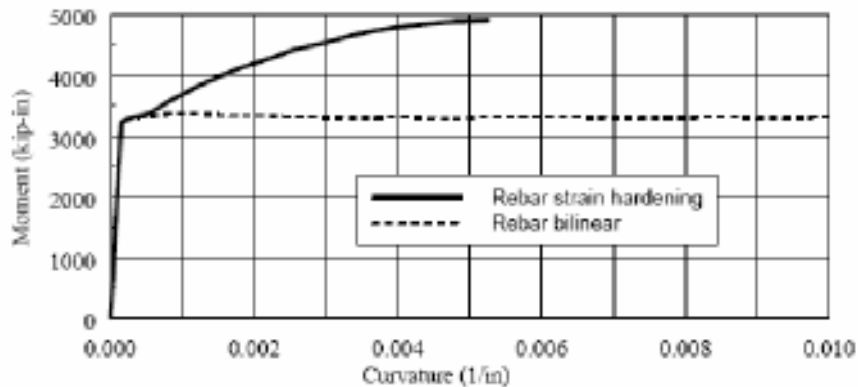
(b) Rectangular Column

Các bước giải tóm tắt như sau :

1. Chọn một giá trị biến dạng mép ngoài cùng  $\epsilon_c$  và lực dọc trục  $P$ .
2. Tính chiều cao vùng bê tông nén  $c$  bằng phương pháp thử dần và kiểm tra sai số tương ứng với lực cho trước  $P$  và biến dạng cho trước  $\epsilon_c$  (sử dụng (4-2) hay (4-4)).
3. Tính mômen  $M$  và độ cong  $\phi$  bằng cách dùng các phương trình ở trên (sử dụng (4-3) hay (4-5)).
4. Chọn một giá trị mới của biến dạng  $\epsilon_c$  (cho đến khi bằng biến dạng nén tới hạn của bê tông  $\epsilon_{cmax}$ ), sau đó lặp lại các bước tính 2 và 3.
5. Chọn một giá trị mới của lực dọc trục  $P$ .

#### 4.5 PHÂN TÍCH TIẾT DIỆN VỚI PHẦN MỀM UCFYBER

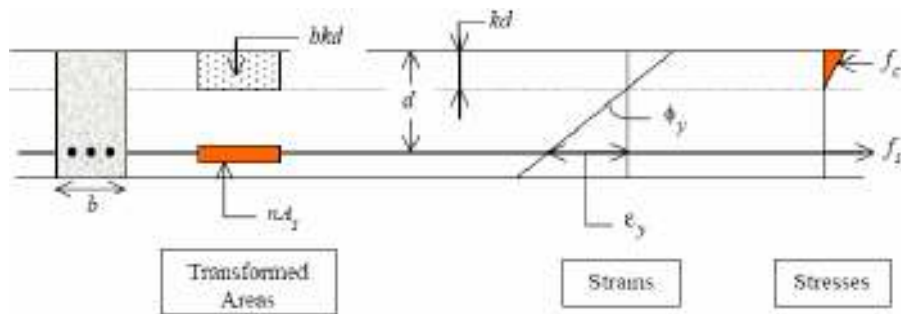
Phân tích mômen-độ cong dùng phần mềm tính toán UCFyber được tóm lược như sau:



Chú ý rằng ảnh hưởng của biên dạng thép tái bền có được xét đến trong chương trình tính toán UCFyber, khi đó so với mô hình thép đàn hồi dẻo lý tưởng (*bilinear model*), nhận thấy:

- có một lượng tăng đáng kể về cường độ tới hạn  $M_u$  (cần phải xem xét đến trong thiết kế khả năng phá hoại, *capacity design procedure*, tham khảo phần 1.2.3.4 của chương 1)
- có một lượng giảm đáng kể về độ cong tới hạn  $\phi_u$

## PHỤ LỤC 1



**Chứng minh:**  $k = \sqrt{2\rho n + (\rho n)^2} - \rho n$

với  $k = c/d$  ;  $n = E_s/E_c$       và       $\rho = A_s/bd$ ;

từ PTCB lực:

$$F_c = F_s \Leftrightarrow 0,5 bkd \sigma_{c,max} = A_s \sigma_s \tag{P1-1}$$

$$\Rightarrow 0,5 bkd (E_c \varepsilon_{c,max}) = A_s (E_s \varepsilon_s) \tag{P1-2}$$

từ sơ đồ biến dạng:

$$\frac{\varepsilon_{c,max}}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d - kd} \Leftrightarrow \varepsilon_{c,max} = \frac{k}{1 - k} \varepsilon_s \tag{P1-3}$$

Thế (P1-3) vào (P1-2) ta có:

$$0,5 bkd (E_c \frac{k}{1 - k} \varepsilon_s) = A_s (E_s \varepsilon_s) \Rightarrow 0,5 bdk^2 = \frac{E_s}{E_c} A_s (1 - k) \tag{P1-4}$$

Vì:  $n = E_s/E_c$  ;  $\rho = A_s/bd$  nên ta có :

$$0,5k^2 = n\rho(1 - k) \quad \rightarrow \quad \span style="border: 1px solid red; padding: 2px;"> $k = \sqrt{2\rho n + (\rho n)^2} - \rho n$  \tag{P1-5}$$



## PHỤ LỤC 2

**Chứng minh:**

$$k = \sqrt{2(\rho + k'\rho')n + (\rho + \rho')^2 n^2} - (\rho + \rho')n$$

với  $k = c/d$  ;  $k' = d'/d$  ;  $n = E_s/E_c$  và  $\rho = A_s/bd$ ;  $\rho' = A'_s/bd$

tương tự cách tính của **Phụ lục 1**, từ PTCB lực:

$$F_c + F'_s = F_s \Leftrightarrow 0,5bkd \sigma_{c,max} = A_s \sigma_s - A'_s \sigma'_s \quad (P2-1)$$

$$\Rightarrow 0,5bkd (E_c \varepsilon_{c,max}) = A_s (E_s \varepsilon_s) - A'_s (E_s \varepsilon'_s) \quad (P2-2)$$

từ sơ đồ biến dạng:

$$\frac{\varepsilon_{c,max}}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d - kd} \Leftrightarrow \varepsilon_{c,max} = \frac{k}{1 - k} \varepsilon_s \quad (P2-3a)$$

$$\frac{\varepsilon'_s}{kd - d'} = \frac{\varepsilon_s}{d - kd} \Leftrightarrow \varepsilon'_s = \frac{k - k'}{1 - k} \varepsilon_s \quad (P2-3b)$$

Thế (P2-3) vào (P2-2) ta có:

$$0,5bkd \left( E_c \frac{k}{1 - k} \varepsilon_s \right) = A_s (E_s \varepsilon_s) - A'_s \left( E_s \frac{k - k'}{1 - k} \varepsilon_s \right) \quad (P2-4)$$

$$\Rightarrow 0,5bdk^2 = \frac{E_s}{E_c} A_s (1 - k) - \frac{E_s}{E_c} A'_s (k - k') \quad (P2-5)$$

Vì:  $n = E_s/E_c$  ;  $\rho = A_s/bd$  ;  $\rho' = A'_s/bd$  nên ta có :

$$0,5k^2 = n\rho(1 - k) - n\rho'(k - k') \quad (P2-6)$$

$$\rightarrow k = \sqrt{2(\rho + k'\rho')n + (\rho + \rho')^2 n^2} - (\rho + \rho')n \quad (P2-7)$$

## Chương 5: **PHÂN TÍCH & THIẾT KẾ HỆ THỐNG SÀN BTCT**

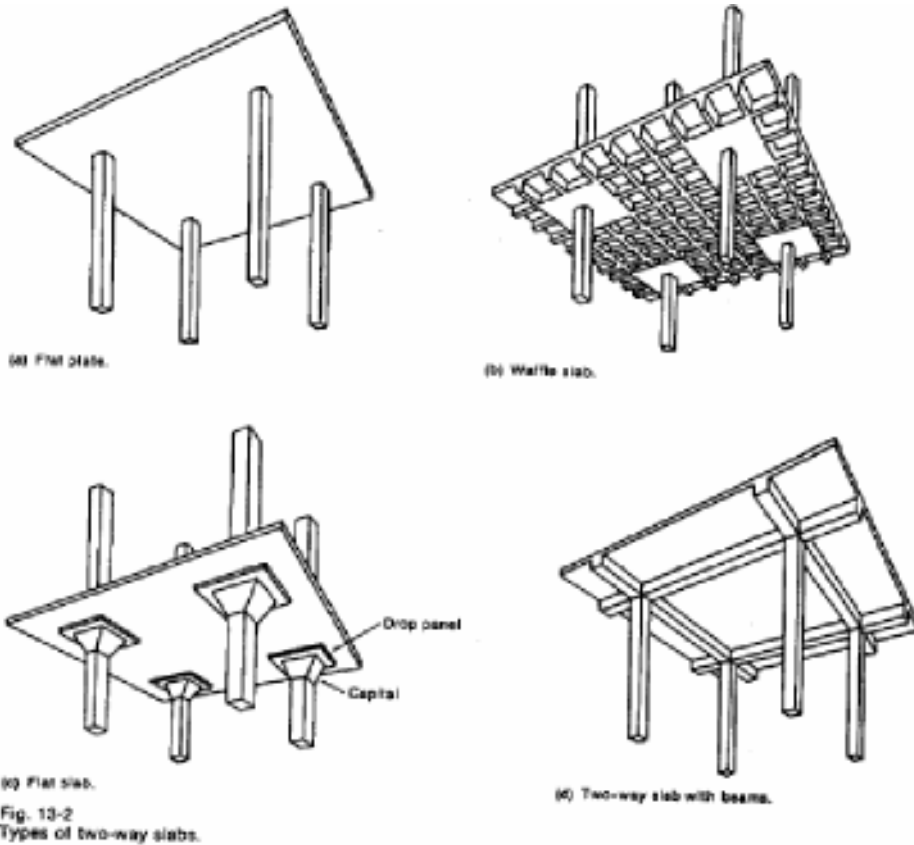
### **5.1 HỆ THỐNG SÀN BTCT**

#### **5.1.1 Phân loại hệ sàn BTCT chịu tải trọng đứng**

Có một số hệ sàn BTCT 2 phương chịu tải trọng đứng mô tả dưới đây:

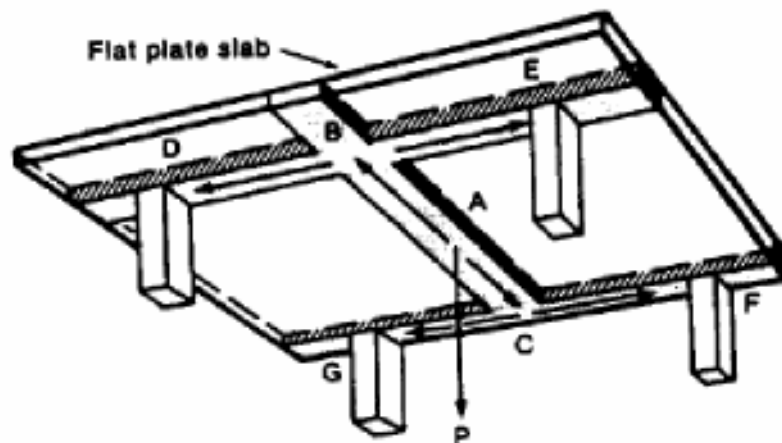
- **Hệ sàn phẳng** - *flat plate floor system*
  - chiều dài nhịp = 15-20''
  - chịu tải trọng nhẹ (ví dụ tải trọng căn hộ chung cư)
  - giá thành rẻ vì chi phí ván khuôn thấp
- **Hệ sàn nầm** - *flat slab floor system*
  - chiều dài nhịp = 20-30''
  - chịu tải trọng lớn hơn sàn phẳng (ví dụ tải trọng văn phòng làm việc)
  - sử dụng các tấm pa-nen (*drop panel*) để giảm ứng suất cắt (trực tiếp và do mômen gây ra) tại đầu cột
- **Hệ sàn ô lưới** - *grid (waffle) slab floor system*
  - chiều dài nhịp = 20-35''
  - chịu tải trọng lớn (ví dụ tải trọng nhà công nghiệp)
  - độ cứng lớn dẫn đến chuyển vị nhỏ
  - giá thành đắt tiền vì chi phí ván khuôn cao
- **Sàn 2-phương có dầm** (khung thông thường)
- **Sàn 2-phương có dầm nông** (*band beam*)
  - Kích thước **dầm nông** rộng và cạn nhằm hạn chế tối đa chiều cao dầm và cho phép dễ dàng qua lại

Sơ đồ 4 dạng đầu tiên của hệ sàn BTCT được MacGregor trình bày dưới đây:



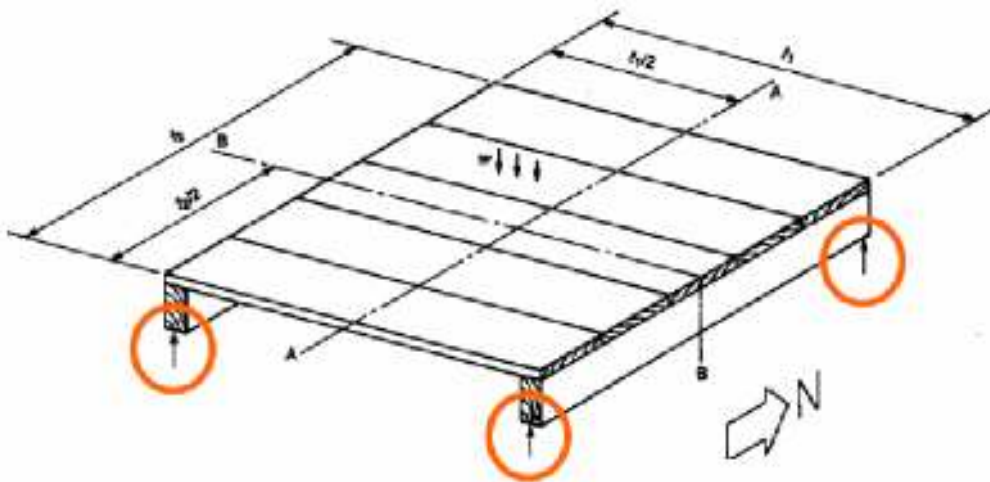
Để thiết kế sàn và hệ sàn BTCT, người kỹ sư phải:

- Xác định được **đường truyền tải trọng** (*load path*) từ sàn đến cột và tường – xem hình dưới
- Thỏa mãn **cân bằng lực** – xem hình dưới



### 5.1.2 Cân bằng lực trong hệ sàn 2 phương

Trước hết xét **hệ sàn mỏng có dầm** (*plank-and-beam floor system*) như hình vẽ dưới đây (theo MacGregor). Chiều dài **nhịp sàn** mỏng giữa hai dầm là  $l_1$  và chiều dài **nhịp dầm** từ gối-đến-gối là  $l_2$



Giả sử rằng **tải trọng đứng** tác dụng lên sàn là  $w$  (kips/ft<sup>2</sup>). Trên mặt cắt **A-A** của hình vẽ, **mômen uốn đơn vị** (m) bằng:

$$m = \frac{wl_1^2}{8} \text{ kip-ft/ft width}$$

**Mômen uốn tổng cộng**  $M$  trên toàn chiều rộng bản sàn (băng ngang mặt cắt **A-A**) là

$$M = \frac{(wl_2)l_1^2}{8} \text{ kip-ft}$$

Tải trọng đứng  $w$  được truyền xuống dầm thông qua các gối đỡ của bản sàn. Mỗi dầm chịu một tải trọng phân bố đều bằng

$$\frac{wl_1}{2} \text{ kips/ft}$$

Mômen ( $M_{b*}$ ) tác dụng tại giữa nhịp mỗi dầm (tại mặt cắt **B-B**) là:

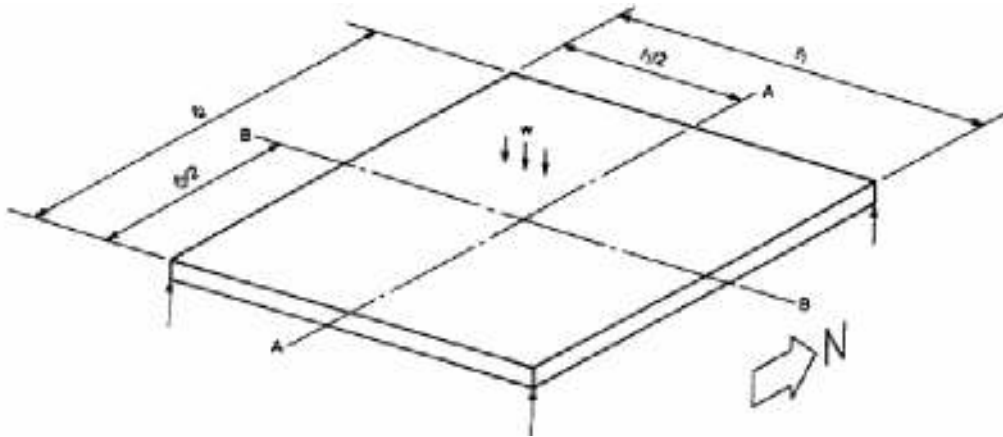
$$M_{b1} = M_{b2} = \frac{\left(\frac{wl_1}{2}\right)l_2^2}{8} \text{ kip-ft}$$

Và tổng mômen tác dụng trong cả hai dầm là

$$M = \frac{wl_1l_2^2}{8} \text{ kip-ft}$$

Như vậy trong ví dụ này, **tải trọng**  $w$  truyền theo hướng **đông-tây** bởi **bản sàn** và gây ra mômen tương đương là  $wl^2/8$ , và truyền theo hướng **bắc-nam** bởi **các dầm** và cũng gây ra mômen tương đương là  $wl^2/8$ .

Bây giờ xem xét **hệ sàn phẳng 2-phương** dưới đây. Sự truyền tải trọng tương tự như trong hệ **sàn mỏng có dầm** ở trên. Một lần nữa, tải trọng truyền hướng **đông-tây** và rồi hướng **bắc-nam**, nhưng lần này chỉ có **bản sàn chịu tải một mình**.



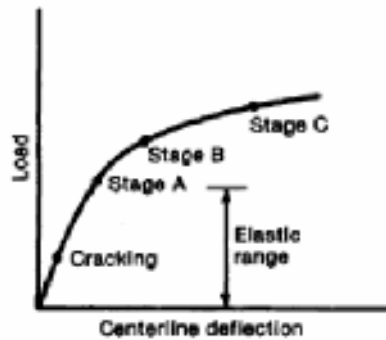
Mômen tổng tính toán dọc theo mặt cắt A-A và B-B là:

$$M_{A-A} = \frac{(wl_2)l_1^2}{8} \quad (5-1); \quad M_{B-B} = \frac{(wl_1)l_2^2}{8} \quad (5-2)$$

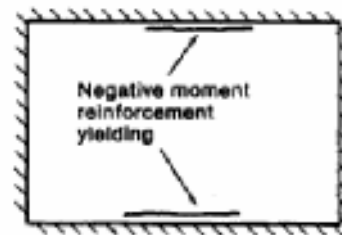
Hai phương trình này phải được duy trì bất chấp loại hệ khung đỡ sàn, hay nói một cách đơn giản, chúng là các điều kiện cân bằng.

### 5.1.3 Ứng xử của hệ sàn 2-phương bị phá hoại uốn

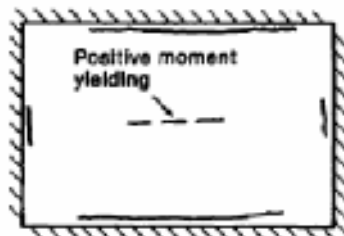
Trước khi trình bày các phương pháp phân tích và thiết kế hệ sàn 2-phương, cần phải nghiên cứu ứng xử của một hệ sàn 2-phương bị ngàm cả bốn cạnh đơn giản như hình bên dưới (theo MacGregor).



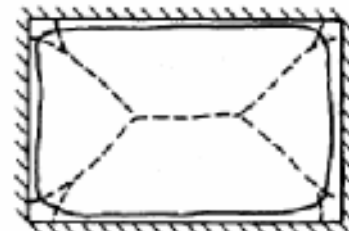
(a) Load-deflection diagram.



(b) Initial yielding—Stage A.



(c) Onset of positive moment yielding—Stage B.



(d) Yield line mechanism—Stage C.

MacGregor nhận định có 4 giai đoạn ứng xử của một bản sàn BTCT chịu tải trọng đến khi phá hoại như trích dẫn dưới đây. Giả sử rằng cốt thép lớp trên và lớp dưới bản sàn phân bố theo các hướng đều bằng nhau.

➤ Trước khi nứt (giai đoạn 1)

- Tấm sàn làm việc như bản đàn hồi; đối với tải ngắn hạn, độ võng và ứng suất tính theo phương pháp phân tích đàn hồi
  - Nứt do co ngót trong sàn bị ngăn cản như hình vẽ ?

➤ Sau khi nứt và trước khi thép chảy dẻo (giai đoạn 2)

- Trạng thái thông thường trong sàn nhà khi chịu tải dịch vụ (*service loads*).
- Bản không duy trì độ cứng không đổi lâu hơn được nữa ; tính đẳng hướng không duy trì lâu hơn được nữa vì các kiểu nứt khác nhau trong 2 phương ; các vùng bị nứt có độ cứng như thế nào (cao hơn/thấp hơn) ?
- Lý thuyết đàn hồi là phương pháp hợp lý để tiên đoán mômen trong giai đoạn này.

➤ Thép chảy dẻo (giai đoạn 3)

- Chảy dẻo ban đầu hình thành trong vùng có mômen âm lớn (xem hình **b.** ở trên, giai đoạn **A**)
  - Sự phân phối mômen trong một nhịp dầm có hai đầu cố định như thế nào?

➤ Các khớp dẻo (*plastic hinges*) hình thành khi biến dạng vượt quá biến dạng chảy dẻo (do tăng tải trọng) và phân phối lại mômen, rốt cuộc gây ra các mômen dương chảy dẻo tại vùng trung tâm sàn và các mômen âm chảy dẻo tại các gối tựa vuông góc (xem hình **c.** ở trên, giai đoạn **B**)

➤ Cơ cấu đường chảy dẻo - *yield line mechanism* (giai đoạn 4)

- Khi tăng tải thêm nữa, các vùng chảy dẻo (nứt hay đường chảy dẻo) phát triển chia bản sàn thành một loạt các tấm đàn hồi hình thang hay tam giác như trình bày ở hình **d.** bên trên (giai đoạn **C**); các tải trọng tương ứng với giai đoạn này có thể tính toán bằng phân tích đường chảy dẻo - *yield line analysis* (sẽ được trình bày trong chương này và chương sau).

Mục đích của trình bày trên gồm 2 phần :

- ❖ Phân tích đàn hồi của tấm sàn BTCT có thể là không chính xác đối với các tải trọng lớn hơn tải dịch vụ (và đối với các tấm sàn bị nứt đáng kể do co ngót, ...)
- ❖ Sự phân bố lại đáng kể của tải trọng xảy ra trong hệ sàn sau khi cốt thép bắt đầu chảy dẻo.
  - Cần đủ độ dẻo (*ductility*) để cung cấp sự phân bố lại của tải trọng (*load redistribution*).

### 5.1.4 Sự phân phối mômen trong bản sàn 2-phương

Mục đích của trình bày dưới đây là minh họa mối quan hệ giữa độ cong và mômen trong bản sàn. Xuất phát từ các phương trình cân bằng lực trong bản, mà sẽ được phân tích ở các chương sau, và cho hệ số Poisson bằng 0. Các mômen theo phương x và y, và mômen xoắn, được tính bởi công thức (5-3) sau:

$$m_x = -\frac{Et^3}{12} \left( \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \right) \leftarrow \text{mômen tỷ lệ tuyến tính với độ cong}$$

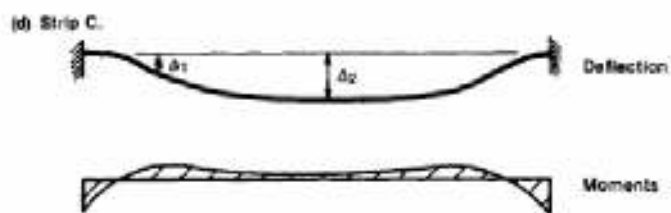
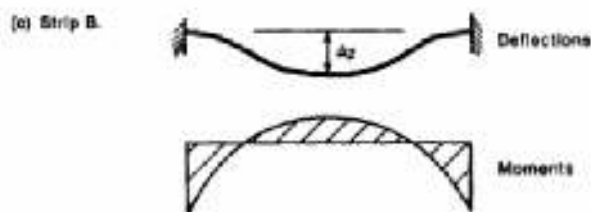
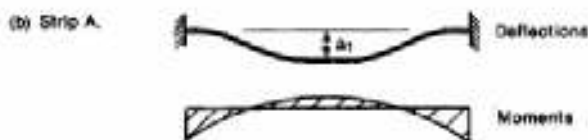
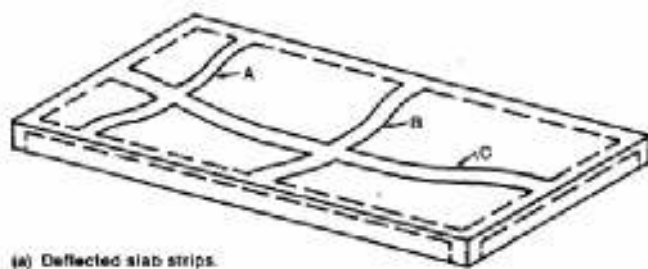
$$m_y = -\frac{Et^3}{12} \left( \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \right) \quad (5-3b)$$

$$m_{xy} = -\frac{Et^3}{12} \left( \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \right) \quad (5-3c)$$

ở đây trục z là trục thẳng đứng. Mômen xoắn  $m_{xy}$  sẽ được bàn luận trong các chương sau.

Bằng cách quan sát dạng võng (*deflected shape*) của sàn, sự phân phối mômen trong sàn có thể ước đoán một cách định tính. Xem xét lần nữa một tấm sàn 2-phương được ngâm cả 4 cạnh. Các dạng võng của 3 dải sàn (*slab strip*) A, B, và C được trình bày ở hình dưới (theo MacGregor).





Xét các dải **A** và **B**. Độ võng lớn nhất trên hai dải xảy ra trong dải **B** và do đó các độ cong trong dải **B** có giá trị lớn hơn so với các độ cong trong dải **A**.

➤ Mômen trong dải **B** do đó lớn hơn trong dải **A**

Độ cong lớn nhất trong dải **C** ở đâu? Gần gót tựa? Vùng trung tâm dải **C** như thế nào?

➤ chuyển vị trên trục  $z$  xấp xỉ hằng số; có nghĩa là gì?

## 5.2 PHÂN TÍCH HỆ SÀN BTCT

Có 2 nhóm chính trong phân tích hệ sàn:

- Các phương pháp đàn hồi - *Elastic methods*
  - Phương pháp thiết kế trực tiếp - *Direct Design Method (ACI §13.6)*
  - Phương pháp khung tương đương - *Equivalent Frame Method (ACI §13.7)*
- Phân tích giới hạn - *Limit analysis*
  - Phương pháp cận trên - *Upper bound method* (ví dụ Phân tích đường chảy dẻo)
  - Phương pháp cận dưới - *Lower bound method* (ví dụ Phương pháp dải)

Thông tin chi tiết về Phương pháp thiết kế trực tiếp (DDM) và Phương pháp khung tương đương (EFM) được trình bày trong tiêu chuẩn ACI và các tài liệu thiết kế BTCT khác.

- DDM và EFM được sử dụng rộng rãi trên thế giới trong thiết kế hệ sàn chịu tải trọng đứng.
- Không trình bày thêm trong giáo trình này (CIE 525).

Trong giáo trình này, sự trình bày về phân tích và thiết kế hệ sàn BTCT chịu tải trọng đứng chỉ tập trung vào hai phương pháp phân tích giới hạn.

## 5.3 PHÂN TÍCH ĐƯỜNG CHẢY ĐÈO CỦA SÀN PHẪNG

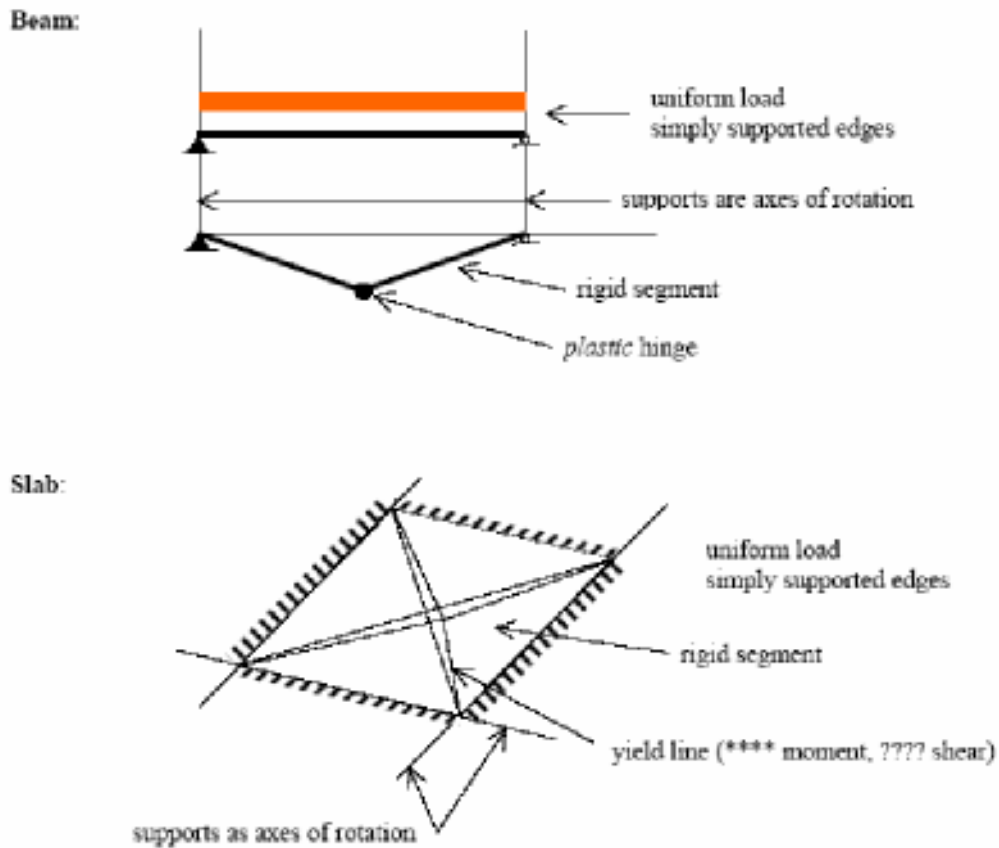
### 5.3.1 Giới thiệu chung

Phân tích đường chảy dẻo (*Yield-line analysis, YLA*) dùng lý thuyết dẻo cứng (*rigid-plastic*) để xác định tải trọng phá hoại tương ứng với sức kháng mômen dẻo cho trước.

- Có thể áp dụng cho cấu kiện bản, dầm, khung.
- Độc lập với chủng loại vật liệu kết cấu: BTCT, thép, VL khác ...
- Không cho biết các thông tin về độ võng
- Chỉ hữu ích cho phân tích ứng xử giai đoạn tới hạn hay sau khi chảy dẻo (*post-yielding*).
  - Không cho biết thông tin về đáp ứng đối với tải trọng dịch vụ (*service-load*)
- Thường dùng để đánh giá các công trình đã xây dựng
- Là phương pháp động học ước đoán cận trên (*upper bound*) của tải trọng phá hoại
  - An toàn hay không an toàn ?

Johansen đã phát triển lý thuyết đường chảy dẻo hiện đại vào cuối thập niên 1950 và đầu thập niên 1960. ả hiệu thông tin về phương pháp phân tích đường chảy dẻo có thể tham khảo chi tiết hơn trong các tài liệu của (a) Park and Gamble, và (b) MacGregor.

Giả thiết về ứng xử dẻo cứng có thể mô tả như sau:



Có 3 qui luật cơ bản để xác định kiểu đường chảy dẻo trong bản:

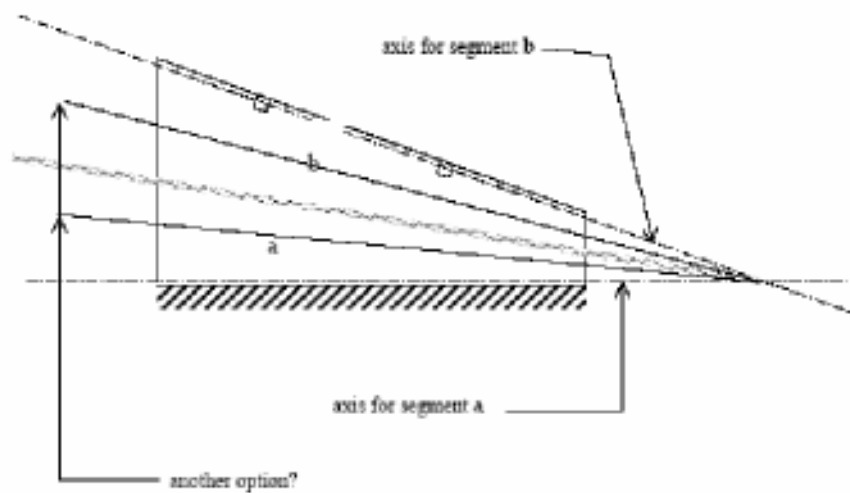
1. Đường chảy dẻo phải là các đường thẳng tạo thành các trục chuyển động xoay của các phân mảnh cứng (phẳng).
2. Các cạnh gối đỡ sàn phải làm việc như các trục xoay. Nếu một cạnh gối đỡ sàn bị ngàm, một đường chảy dẻo được hình thành dọc theo cạnh gối đỡ. Trục xoay sẽ đi qua đầu cột đỡ sàn.
3. Để các biến dạng được tương thích, một đường chảy dẻo phải đi ngang giao điểm của hai trục xoay của các phân mảnh kề nhau.

### 5.3.2 Kiểu đường chảy dẻo

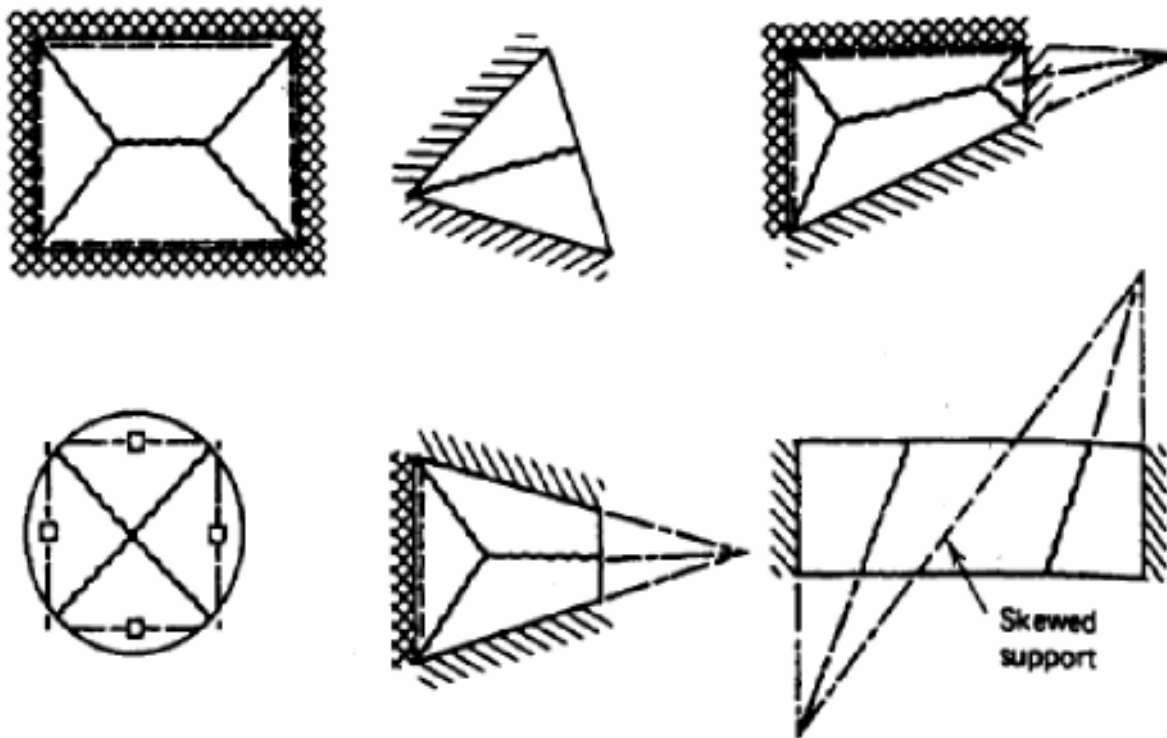
Các ký hiệu qui ước cho các điều kiện biên, trục xoay, đường chảy dẻo mà được sử dụng trong giáo trình được mô tả dưới đây (chú ý mômen dương cho mặt dưới bản):



**Qui luật 3** ở trên đã đề cập đến các đường chảy dẻo đi ngang giao điểm của hai trục xoay của các phân mảnh lân cận như được mô tả dưới đây:



Park và Gamble mô tả một số **kiểu đường chảy dẻo** của tấm sàn chịu **tải trọng phân bố đều** trong các hình vẽ bên dưới :



### 5.3.3 Cường độ chống uốn của sàn trong phân tích đường chảy dẻo

Đối với một **đường chảy dẻo** phát triển **vuông góc** với cốt thép sàn, **mômen kháng uốn** của một đơn vị chiều rộng sàn bằng:

$$m_u = A_s f_y \left( d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) = A_s f_y \left( d - 0,59 A_s \frac{f_y}{f_c'} \right) \quad (5-4)$$

với  $A_s$  là **diện tích thép chịu kéo** của một đơn vị chiều rộng sàn.

Trong thiết kế ACI 318, **vế phải** của phương trình trên được **nhân thêm hệ số  $\phi$**  để tính toán **cường độ tin cậy** (*dependable strength*). ả hư được trình bày trước đây, có thể **loại bỏ ảnh hưởng của thép chịu nén** trong tính toán cường độ chống uốn, vì các tấm BTCT là “**gia cường thấp**” (*under-reinforced*), thép chịu nén ít làm thay đổi cường độ chống uốn tới hạn của tiết diện.

Phương trình trên là **tiêu chuẩn dẻo** cho một **đường chảy dẻo vuông góc** với cốt thép sàn. ả hư vậy trường hợp **đường chảy dẻo nghiêng góc** (không vuông góc) với trục cốt thép sàn thì **cường độ chống uốn** hay **mômen kháng uốn** sẽ như thế nào ?

## PHỤ LỤC

Chứng minh:

$$m_u = A_s f_y \left( d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) = A_s f_y \left( d - 0,59 A_s \frac{f_y}{b f_c'} \right)$$

Trường hợp bản:

$$m_u = A_s f_y \left( d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) = A_s f_y \left( d - 0,59 A_s \frac{f_y}{f_c'} \right)$$

với **b** là đơn vị chiều rộng bản (**b = 1**)

From force equilibrium:

$$C = T$$

or,  $0.85 f_c' b a = A_s f_y$

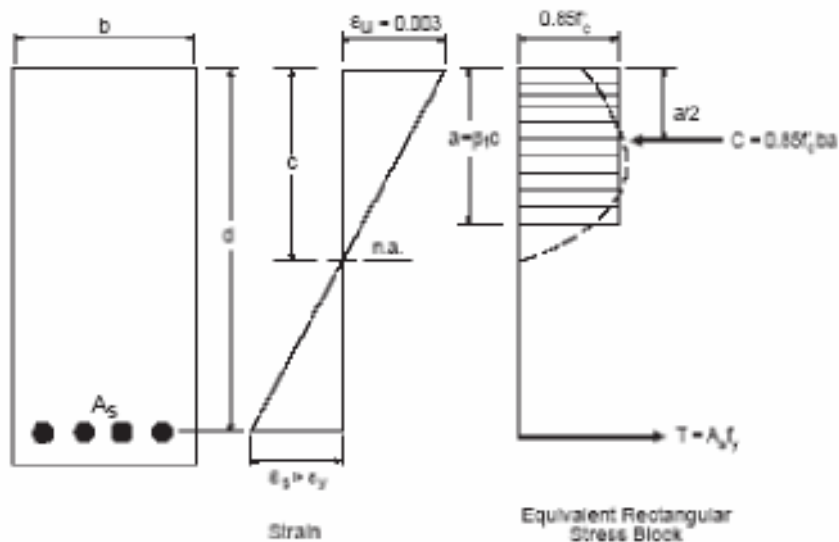
so that  $a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b}$

From moment equilibrium:

$$M_u = (C \text{ or } T) \left( d - \frac{a}{2} \right) = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

Substituting a from force equilibrium,

$$M_u = A_s f_y \left( d - 0.59 \frac{A_s f_y}{f_c' b} \right)$$



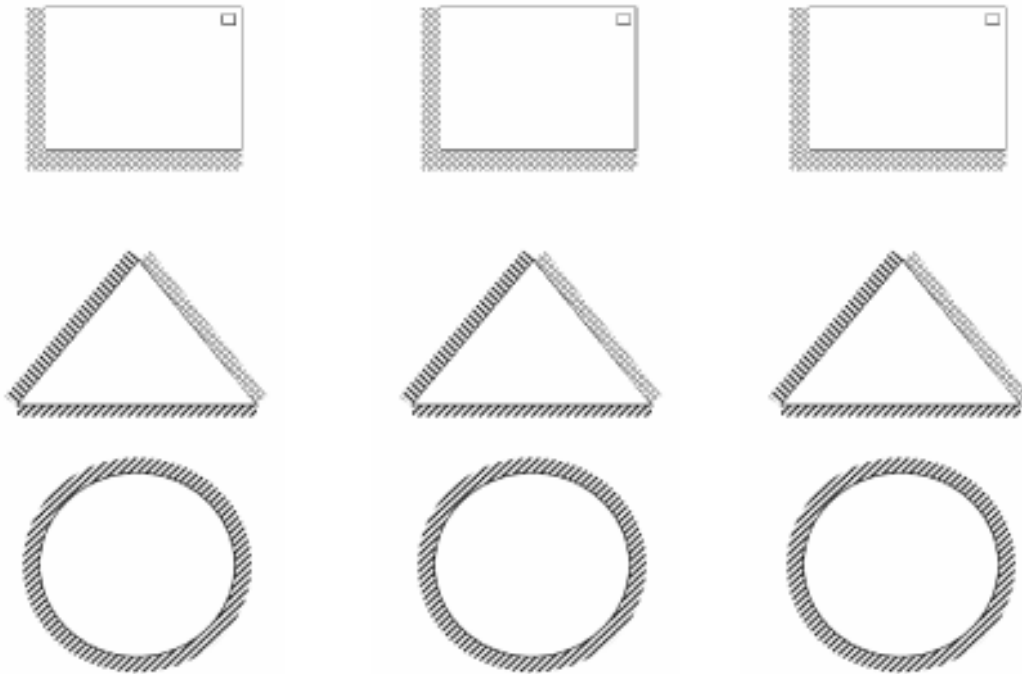
**Bài tập 1:**

Hãy thiết lập các **kiểu đường chày dèo hợp lý** cho các tấm chịu tải phân bố đều.

**Kiểu 1**

**Kiểu 2**

**Kiểu 3**



Liên kết gối tựa

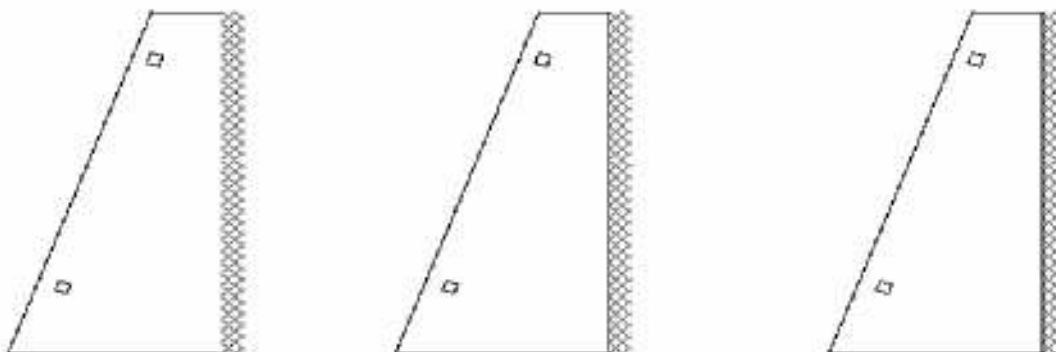
**Bài tập 2:**

Hãy thiết lập các **kiểu đường chày dèo hợp lý** cho tấm hình thang chịu tải phân bố đều.

**Kiểu 1**

**Kiểu 2**

**Kiểu 3**

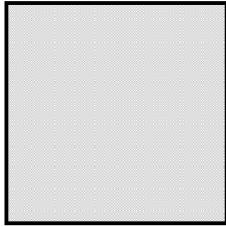


Liên kết ngàm

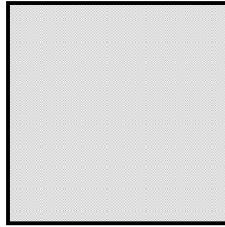
**Bài tập 3:**

Hãy thiết lập các **kiểu đường chày dẻo hợp lý** cho tấm chịu tải phân bố đều.

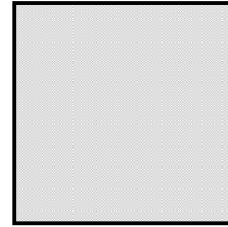
**Kiểu 1**



**Kiểu 2**



**Kiểu 3**

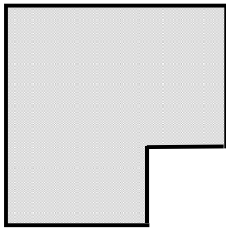


Liên kết gối tựa

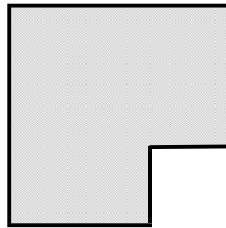
**Bài tập 4:**

Hãy thiết lập các **kiểu đường chày dẻo hợp lý** cho tấm chịu tải phân bố đều.

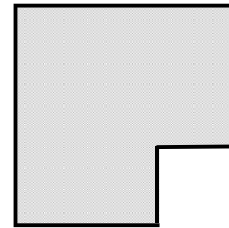
**Kiểu 1**



**Kiểu 2**



**Kiểu 3**



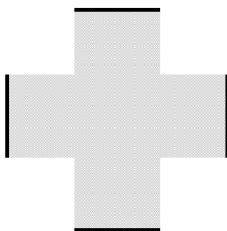
Liên kết ngàm

Liên kết gối tựa

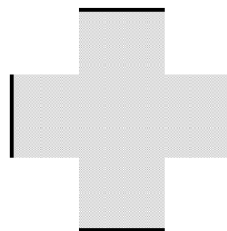
**Bài tập 5:**

Hãy thiết lập các **kiểu đường chày dẻo hợp lý** cho tấm chịu tải phân bố đều.

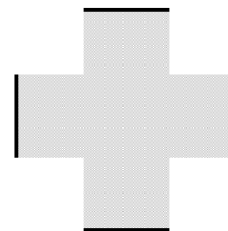
**Kiểu 1**



**Kiểu 2**



**Kiểu 3**



Liên kết ngàm



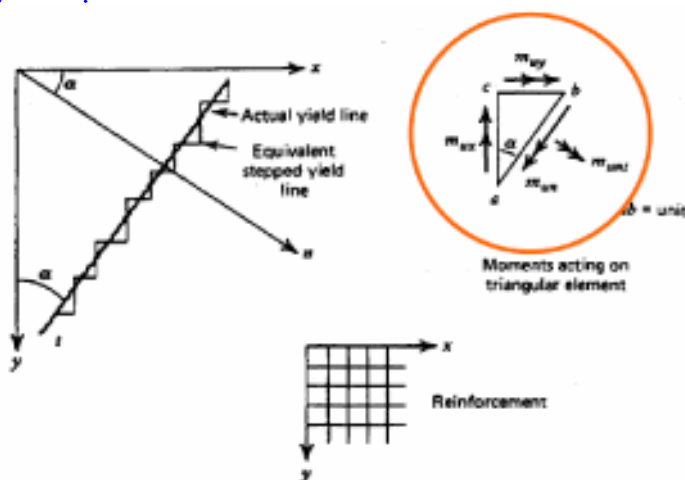
## Chương 6: PHÂN TÍCH & THIẾT KẾ HỆ SÀN: PHÂN TÍCH ĐƯỜNG CHẢY DÈO

### 6.1 PHÂN TÍCH ĐƯỜNG CHẢY DÈO

#### 6.1.1 Cường độ chống uốn của sàn tại các đường chảy dẻo nghiêng góc so với trục cốt thép

Tại phần cuối chương vừa học (chương 5), một phương trình đã được thiết lập để tính cường độ chống uốn của sàn với đường chảy dẻo vuông góc. Sự phát triển được mở rộng sau đây là cho trường hợp mà đường chảy dẻo nghiêng góc so với trục cốt thép, cụ thể là tính mômen tới hạn trên đơn vị chiều rộng dọc theo một đường chảy dẻo nghiêng góc khác  $90^\circ$  so với trục  $x$  và  $y$ .

Theo Park và Gamble, hình vẽ dưới đây thể hiện một đường chảy dẻo nghiêng góc  $\alpha$  so với lưới thép trực giao nhau. Trong trường hợp này, mômen xoắn và uốn cùng sẽ tồn tại trên đường chảy dẻo như được thể hiện trong vòng tròn bên dưới. Trong vòng tròn đó, chiều dài  $ab$  bằng đơn vị.



Tiêu chuẩn chảy dẻo Yohansen cung cấp một phương pháp để tính:

- Mômen uốn tới hạn trên một đơn vị chiều rộng,  $m_{un}$
- Mômen xoắn trên một đơn vị chiều rộng,  $m_{unt}$

Tiêu chuẩn trên căn cứ vào một loạt giả thiết sau:

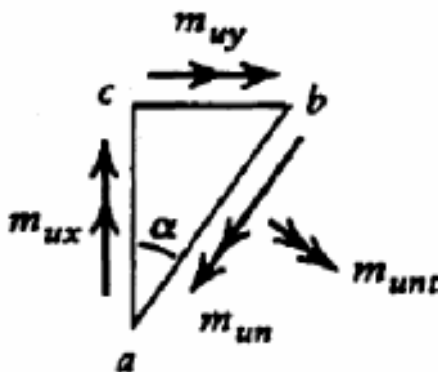
- Đường chảy dẻo thực có thể được thay thế bằng một đường bậc thang gồm nhiều bậc nhỏ theo các phương  $x$  và  $y$  như được biểu diễn ở hình trên.
- Các mômen xoắn theo các phương  $x$  và  $y$  bằng 0 (các mômen trên các mặt này là các mômen chính).
- Cường độ chống uốn của tiết diện không bị tác động bởi sự xoắn vặn thép bằng qua đường chảy dẻo (nứt) hay bởi các điều kiện ứng suất 2-phương trong vùng bê tông chịu nén.
- Ứng suất trong thanh chịu kéo trong cả hai hướng cắt ngang đường chảy dẻo (nứt) là ứng suất chảy dẻo  $f_y$ .

- Các cánh tay đòn nội lực của cường độ chống uốn tới hạn theo các phương  $x$  và  $y$  không bị tác động khi uốn xảy ra theo một phương tổng quát.

Thí nghiệm trên bản đã cho thấy rằng tiêu chuẩn dẻo Johansen mặc dầu đơn giản nhưng chính xác.

Một lần nữa xét bản dạng bậc thang trong hình trên. Thép đặt vuông góc theo các phương  $x$ ,  $y$  và đường chảy dẻo nghiêng một góc  $\alpha$  so với trục  $y$ . Cường độ chống uốn trên mỗi đơn vị chiều rộng theo phương  $x$  là  $m_{ux}$ , theo phương  $y$  là  $m_{uy}$

Bây giờ xét phần vòng tròn ở hình trên, mà được minh hoạ lại như sau:



Lấy mômen quanh cạnh  $ab$  của phần tử trên, ta có:

$$m_{un}(ab) = m_{ux}(ac) \cos \alpha + m_{uy}(ab) \sin \alpha$$

$$\text{và: } m_{un} = m_{ux} \cos^2 \alpha + m_{uy} \sin^2 \alpha \quad (6-1)$$

Tương tự, lấy mômen quanh trục vuông góc  $ab$  mà chính là mômen xoắn trên một đơn vị chiều rộng, ta có:

$$m_{unt}(ab) = m_{ux}(ac) \sin \alpha - m_{uy}(ab) \cos \alpha$$

$$\text{và: } m_{unt} = (m_{ux} - m_{uy}) \sin \alpha \cos \alpha \quad (6-2)$$

Bây giờ xét hai trường hợp:

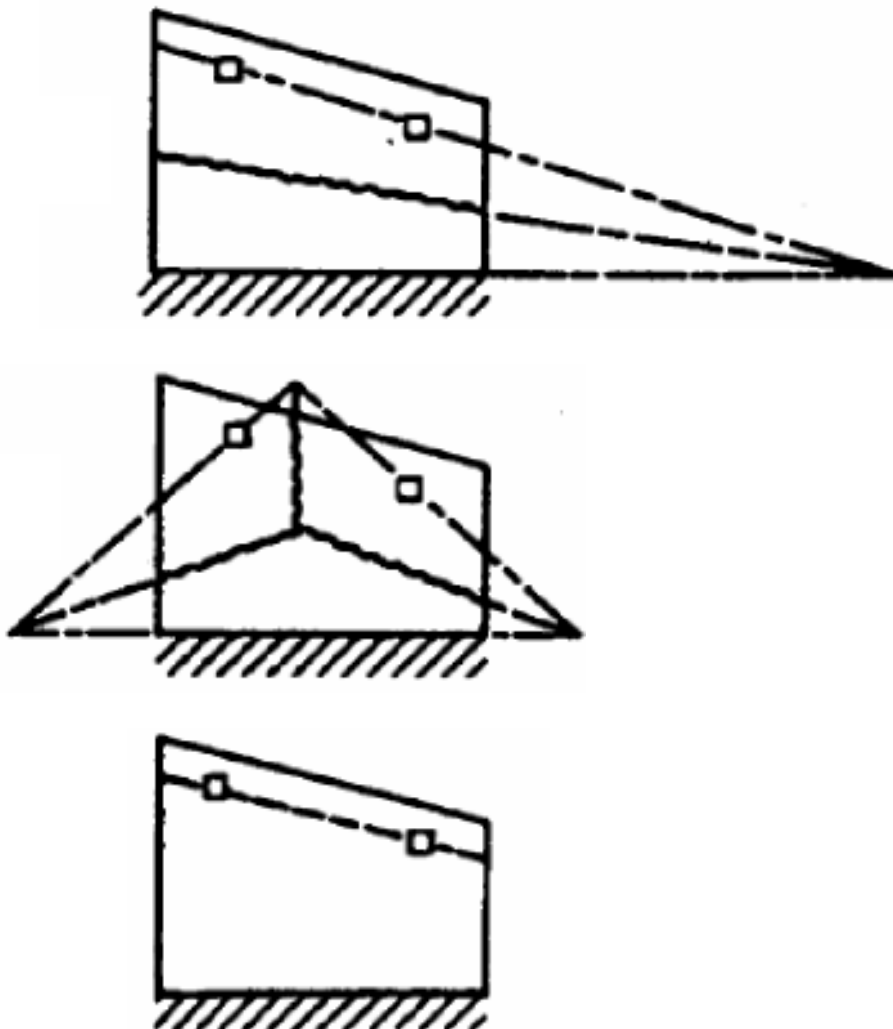
- ả ếu  $m_{ux} = m_{uy} \Rightarrow m_{un} = m_{ux}$  và  $m_{unt} = 0$ 
  - Mômen chống uốn tới hạn trên đơn vị chiều rộng giống nhau trong tất cả các hướng
  - Mômen xoắn tại đường chảy dẻo bằng 0
  - Một bản như vậy được gọi là gia cường đẳng hướng (isotropically reinforced).
- ả ếu  $m_{ux} \neq m_{uy}$ 
  - Mômen chống uốn tới hạn trên đơn vị chiều rộng phụ thuộc vào hướng chảy dẻo
  - Mômen xoắn tại đường chảy dẻo khác 0
  - Một bản như vậy được gọi là gia cường trục hướng (orthotropically reinforced).

### 6.1.2 Phân tích đường chảy dẻo dùng nguyên lý công ảo

Bước đầu tiên trong phân tích đường chảy dẻo là đề xuất kiểu đường chảy dẻo tuân theo các qui luật đã nêu ở chương 5, cụ thể là :

1. Đường chảy dẻo phải là các đường thẳng tạo thành các trục chuyển động xoay của các phân mảnh cứng (phẳng).
2. Các cạnh gối đỡ sàn phải làm việc như các trục xoay. Nếu một cạnh gối đỡ sàn bị ngàm, một đường chảy dẻo được hình thành dọc theo cạnh gối đỡ. Trục xoay sẽ đi qua đầu cột đỡ sàn.
3. Để các biến dạng được tương thích, một đường chảy dẻo phải đi ngang giao điểm của hai trục xoay của các phân mảnh kề nhau.

Kiểu đường chảy dẻo đề nghị sẽ thường có một số kích thước chưa biết mà dùng để định vị trí các đường chảy dẻo, và nói chung có một tập hợp các kiểu đường chảy dẻo cho một bản sàn, như ví dụ minh họa bên dưới.



Tất cả các **kiểu đường chảy dẻo khả dĩ** cần nên được nhận diện. **Tại sao ?**

- **Kiểu chính xác** là một trong số đó mà cho giá trị **tải trọng tới hạn nhỏ nhất**
- ả ếu **kiểu chính xác không tìm thấy**, **tải trọng tới hạn** tính toán được sẽ **không an toàn**

**Tải trọng tới hạn** có thể được xác định từ các **kiểu đường chảy dẻo** bằng cách sử dụng:

- Các phương trình cân bằng
- ả nguyên lý công ảo (*virtual work*)
  - ả ối chung để sử dụng hơn và được chấp nhận trong giáo trình này

**ả nguyên lý công ảo** là gì ? Xét một vật thể rắn ở trạng thái cân bằng dưới tác động của hệ lực như hình vẽ dưới đây :



ả ếu vật thể rắn này có một chuyển vị nhỏ bất kỳ, **tổng công (năng lượng)** gây ra bởi các lực sẽ bằng 0. **Vì rằng tổng các lực bằng 0.**

**ả nguyên lý công ảo** do đó có thể phát biểu như sau:

*Nếu cho một vật rắn, đang ở trạng thái cân bằng dưới tác dụng của một hệ lực, một chuyển vị ảo, thì tổng công ảo gây ra bởi hệ lực sẽ bằng 0.*

ả nguyên lý này là cơ sở cho các bàn luận sau.

Để phân tích một hệ sàn bằng phương pháp công ảo, một **kiểu đường chảy dẻo** được đề xuất cho sàn ứng với tải trọng tới hạn.

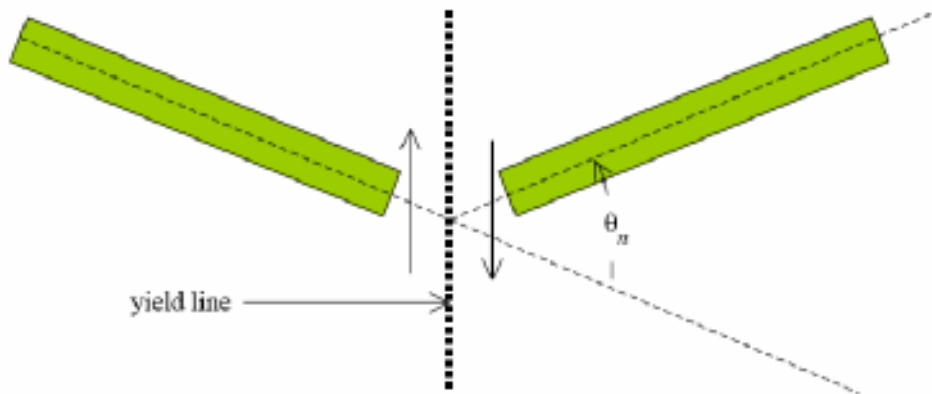
- Các **phân mảnh** của **kiểu đường chảy dẻo** có thể xem như là các **vật rắn** do biến dạng sàn và độ võng thay đổi chỉ xảy ra tại các **đường chảy dẻo**.
- Các **phân mảnh** của sàn ở trạng thái cân bằng dưới tác dụng của **ngoại lực** và các **mômen uốn, xoắn**, và **lực cắt** dọc theo các **đường chảy dẻo**.
- Một điểm trong sàn được gán cho một **chuyển vị nhỏ  $\delta$**  theo hướng của lực tác dụng.
  - **chuyển vị** tại tất cả các điểm trong sàn  **$\delta(x,y)$**  và **chuyển động xoay** của các mảnh sàn quanh các **đường chảy dẻo** có thể xác định được theo  **$\delta$**  và theo các kích thước của các phân mảnh sàn.
- **Công** sinh ra do **(a) ngoại lực**, và do **(b) nội lực** tác dụng dọc theo các **đường chảy dẻo**.

Trước hết xét một sàn chịu tải phân bố đều  **$w_u$** . **Công do ngoại lực** bằng:

$$\iint w_u \delta(x,y) dx dy = \sum W_{ui} \Delta_i \quad (6-3)$$

với  $W_{ui}$  là **lực tổng cộng trên một mảnh** của kiểu đường chảy dẻo,  $\Delta_i$  là **chuyển vị hướng xuống của trọng tâm phân mảnh**, và  $\Sigma$  là tổng cộng cho tất cả các phân mảnh.

- **Phản lực** tại các gối đỡ không tham gia sinh công. **Tại sao?**
- Công do các nội lực tác động tại các đường chảy dẻo chỉ gây ra bởi các **mômen uốn**. **Tại sao?**
  - Công do **lực cắt** và **mômen xoắn** bằng 0 khi tính tổng cộng trên toàn bộ tấm sàn.
  - Các tác động trên mỗi mặt của đường chảy dẻo là bằng nhau nhưng đối dấu như mô tả ở hình dưới, mà không có sự chuyển động tương đối giữa hai mặt của đường chảy dẻo tương ứng với các **lực cắt** và các **mômen xoắn**.



Công do **mômen kháng uốn tới hạn** trên một đơn vị chiều dài  $m_{un}$  tại một đường chảy dẻo có chiều dài  $l_0$  nơi mà góc xoay tương đối giữa các mảnh là  $\theta_n$  (xem hình vẽ trên) bằng  $-m_{un}\theta_n l_0$ . **Tại sao công có dấu âm?**

- Các mômen uốn sẽ tác dụng theo chiều ngược với hướng xoay trong bản nếu chuyển vị ảo là theo hướng của tải trọng tác dụng.

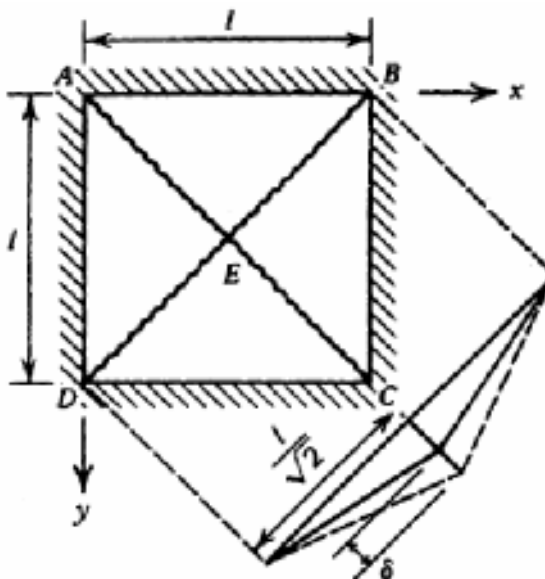
Công tổng cộng do các mômen kháng uốn tới hạn do đó bằng  $-\Sigma m_{un} l_0 \theta_n$ , khi tính tổng cộng trên tất cả các đường chảy dẻo. **Phương trình công ảo** có thể được viết như sau:

$$\sum W_{ui} \Delta_i - \sum m_{un} \theta_n l_0 = 0 \text{ hay } \sum W_{ui} \Delta_i = \sum m_{un} \theta_n l_0 \quad (6-4)$$

$\nearrow$ 
 $\nearrow$

*công ngoại*
*công nội*

Các thông tin trên có thể được dùng để tìm **tải trọng phân bố đều tới hạn** ( $w_u$ ) của **bản vuông tựa đơn giản trên 4 cạnh** có chiều dài cạnh là  $L$ . Giả thiết cốt thép bản là **đẳng hướng** với  $m_u$  là **mômen dương kháng uốn tới hạn** tính trên đơn vị chiều rộng trong cả 2 hướng ( $x$  và  $y$ ). Sơ đồ bản, theo Park và Gamble, được mô tả như sau:



Một **kiểu đường chảy dẻo mặc nhiên** được mô tả ở hình trên. Các chuyển vị của 4 phân mảnh có thể dễ dàng được tính theo chuyển vị  $\delta$  của điểm E. **Công** (*work*) thực hiện bởi **ngoại lực**  $w_u$  bằng :

$$\sum W_{ui} \Delta_i = 4 \left( \frac{w_u L^2}{4} \times \frac{\delta}{3} \right) = w_u L^2 \frac{\delta}{3}$$

Ảnh hưởng vẽ trong hình trên là một mặt cắt dọc theo đường **DB**. Từ mặt cắt này, có thể thấy rằng **chuyển động xoay** của mỗi phân mảnh là **như nhau** cho tất cả 4 phân mảnh, cụ thể là :

$$\theta_n = 2 \left( \frac{\delta}{L/\sqrt{2}} \right) = 2\sqrt{2} \frac{\delta}{L}$$

**Tổng công do nội lực** bằng  $\sum m_{un} l_0 \theta_n$  và vì  $m_{un} = m_u$  , **tổng công do nội lực** của bài toán là :

$$\sum m_{un} l_0 \theta_n = m_u (2\sqrt{2} \frac{\delta}{L}) (4 \frac{L}{\sqrt{2}}) = 8m_u \delta$$

**Tải trọng tới hạn**  $w_u$  được tính bằng cách đặt **công nội** (*internal work*) bằng **công ngoại** (*external work*), cụ thể như sau :

$$w_u = \frac{24m_u}{L^2}$$

**Ảnh hưởng của góc bản sàn** có thể làm kiểu chảy dẻo phức tạp hơn tại các **vùng góc** (*corner region*) của sàn, và có thể làm cho **tải trọng tới hạn** giảm một ít so với giá trị trên.

### 6.1.3 Các thành phần của công do nội lực

Cốt thép trong ví dụ trên là **đẳng hướng** (giống nhau theo cả 2-hướng sần). ả ối chung, trường hợp này không tổng quát và thường là khác nhau:  $m_{ux} \neq m_{uy}$

Vì hầu hết các sần dạng chữ nhật có thép đặt song song với các hướng  $x$  và  $y$ , và do các **mômen kháng uốn tới hạn** tính trên đơn vị chiều rộng trong các phương này thường đã biết, nên dễ tính toán **các thành phần** theo các hướng  $x$  và  $y$  của **công nội** gây ra bởi các mômen tới hạn  $\sum m_{un} l_0 \theta_n$ . Cho một **đường chảy dẻo nghiêng góc  $\alpha$**  so với trục  $y$ , các phân mảnh sần có **góc xoay tương đối  $\theta_n$**  quanh đường chảy dẻo, **công nội** có thể tính bằng:

$$\begin{aligned} \sum m_{un} \theta_n l_0 &= \sum (m_{ux} \cos^2 \alpha + m_{uy} \sin^2 \alpha) \theta_n l_0 \\ &= \sum m_{ux} \theta_n \cos \alpha y_0 + \sum m_{uy} \theta_n \sin \alpha x_0 \\ &= \sum m_{ux} \theta_y y_0 + \sum m_{uy} \theta_x x_0 \end{aligned} \quad (6-5)$$

với  $\theta_x, \theta_y$  là **các thành phần** của  $\theta_n$  quanh trục  $x, y$ .

và  $x_0, y_0$  là **các thành phần hình chiếu** của các **đường chảy dẻo** theo phương  $x, y$ .

Để minh họa, một lần nữa xét **ví dụ mẫu sần vuông cạnh dài  $l$** , cốt thép **đẳng hướng**, đã nêu ở trên. **Một góc** của ví dụ này được mô tả ở bên dưới (theo MacGregor).

Biên **AF** là phân nửa cạnh **AD** và biên **AG** là phân nửa cạnh **AB**, như vậy 1/4 bản được mô tả ở hình bên. Một **xấp xỉ bậc thang** cho một trong 4 đường chảy dẻo cũng được vẽ. Chuyển vị diềm **E** tại tâm bản là  $\delta$ . Tấm **ADE** chỉ xoay quanh **trục  $y$**  ( $\theta_x = 0$ ) và **công nội** cho tấm này là:

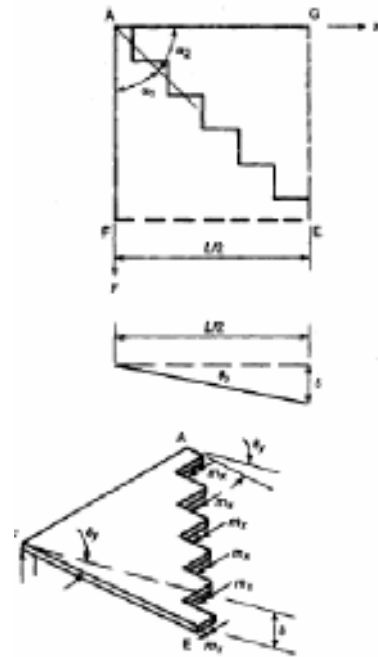
$$\begin{aligned} &= m_x L_y \theta_y + m_y L_x \theta_x \\ &= m_x (L) (2\theta/L) + 0 = 2m_x \delta \end{aligned}$$

Tương tự, tấm **ABE** chỉ xoay quanh **trục  $x$**  ( $\theta_y = 0$ ) và do vậy **công nội** cho tấm này là :

$$\begin{aligned} &= m_x L_y \theta_y + m_y L_x \theta_x \\ &= 0 + m_y (L) (2\theta/L) = 2m_y \delta \end{aligned}$$

Do đó, **công nội tổng công** bằng tổng các công gây bởi 4 phân mảnh bản, cụ thể là:

$$\sum m_{un} \theta_n l_0 = 2(2m_x \delta + 2m_y \delta) = 8m_u \delta$$

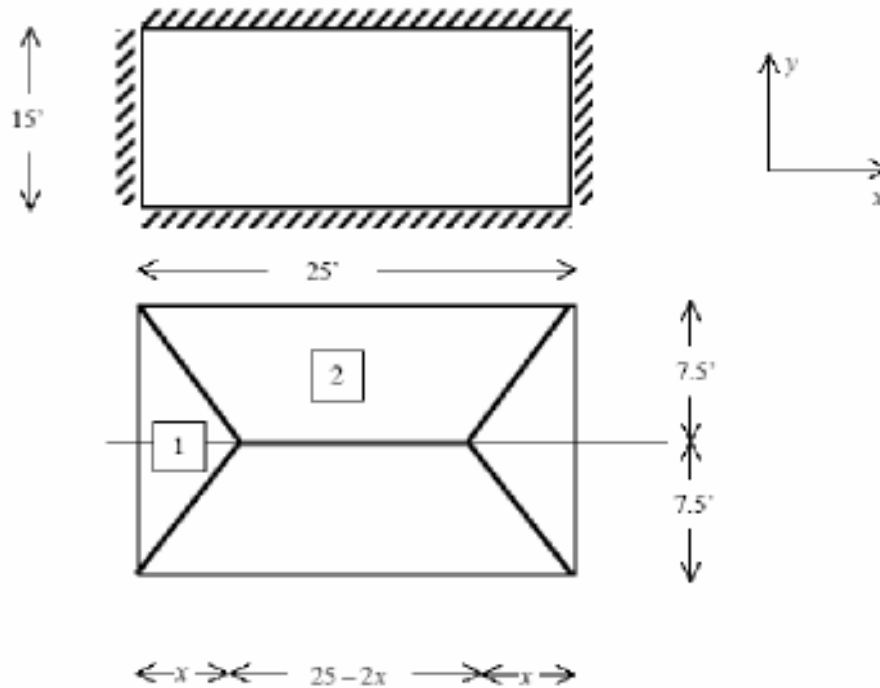


### 6.1.4 Các ví dụ phân tích đường chảy dẻo

#### Ví dụ 1

Để minh họa ứng dụng của phân tích đường chảy dẻo, xét **bản chữ nhật tựa đơn giản trên 4 cạnh** có kích thước như mô tả dưới đây. Cốt thép bản là **trục hướng**. Yêu cầu tính **tải trọng phân bố đều lớn nhất** ( $w_u$ ). Biết các **mômen kháng uốn đơn vị** theo phương x là  $m_{ux} = 10 \text{ kip-ft/ft}$ ; theo phương y là  $m_{uy} = 15 \text{ kip-ft/ft}$ .

Kiểu **đường chảy dẻo** (tạo **mômen dương**) được đề xuất cho độ võng giữa nhịp bằng đơn vị ( $\delta = 1$ ). Hai loại phân mảnh ①, ② cũng được nhận dạng trong hình dưới.



**Công nội** tính bằng: (với  $\delta = 1$ )

$$= (m_{ux})(15)\left(\frac{1}{x}\right) \times 2 + (m_{uy})(25)\left(\frac{1}{7.5}\right) \times 2 = \frac{300}{x} + 100$$

$\uparrow$   $\uparrow$   $\uparrow$   
 $y_0$   $\theta_y$  2 panels

**Công ngoại** tính bằng: (với  $\delta = 1$ )

$$= w_u \left( [15']\left(\frac{1}{2}\right)x\left(\frac{1}{3}\right) \times 2 + [7.5']\left(\frac{1}{2}\right)x\left(\frac{1}{3}\right) \times 4 + [25 - 2x](15')\left(\frac{1}{2}\right) \right)$$

$$= w_u (5x + 5x + 187.5 - 15x)$$

$$= w_u (187.5 - 5x)$$

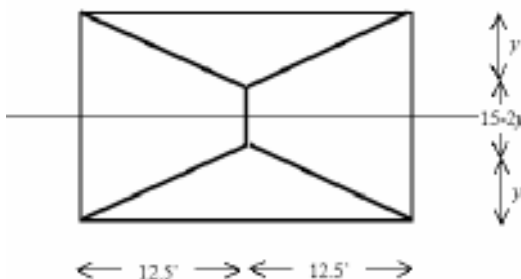


Do đó: 
$$w_u = \frac{\left(\frac{300}{x} + 100\right)}{187,5 - 5x}$$

Làm sao tính được  $w_u$ ? Bằng cách gán  $dw_u/dx = 0$  và giải tìm nghiệm, hay bằng cách thử lặp và kiểm tra sai số. Phương pháp thử hai được áp dụng ở đây với kết quả tính như sau:

| x (feet)  | $w_u$ (ksf)  |
|-----------|--------------|
| 6'        | 0,952        |
| 7'        | 0,937        |
| <b>8'</b> | <b>0,932</b> |
| 9'        | 0,936        |

Lúc này bài toán đã giải quyết xong với  $w_u = 0.932$  ksf? Không hẳn là vậy do các cơ cấu khác có thể chi phối sự phá hoại. Xét cơ cấu đối chứng khác như sau:



Công nội tính bằng:

$$= 2(m_{ux})(15)\left(\frac{\delta}{12,5}\right) + 2(m_{uy})(25)\left(\frac{\delta}{y}\right) = \left(24 + \frac{750}{y}\right)\delta$$

Công ngoại tính bằng:

$$= w_u \left[ 4y \left( \frac{12,5}{2} \right) \left( \frac{\delta}{3} \right) + 2(15 - 2y)(12,5) \left( \frac{\delta}{2} \right) + 2y \left( \frac{25}{2} \right) \left( \frac{\delta}{3} \right) \right]$$

$$= w_u (187,5 - 8,33y)\delta$$

Do đó: 
$$w_u = \frac{\left(24 + \frac{750}{y}\right)}{187,5 - 8,33y}$$

Giải bằng thử lặp và kiểm tra sai số,

| y (feet)    | $w_u$ (ksf)  |
|-------------|--------------|
| 5'          | 1,193        |
| 6'          | 1,082        |
| 7'          | 1,016        |
| <b>7,5'</b> | <b>0,992</b> |

Vậy tải trọng phá hoại là bao nhiêu?  $\Rightarrow w_u = 0,932$  ksi !!!

ở ngoài ra, **hoạt tải dịch vụ** (*service live load*) tác dụng trên bản **tối đa** bằng bao nhiêu? giả sử bản dày 10" và không có tĩnh tải.

$$w_{LL} = \frac{932 - 1,4 \times (150 \times \frac{10}{12})}{1,7} = 445 \text{ psf}$$

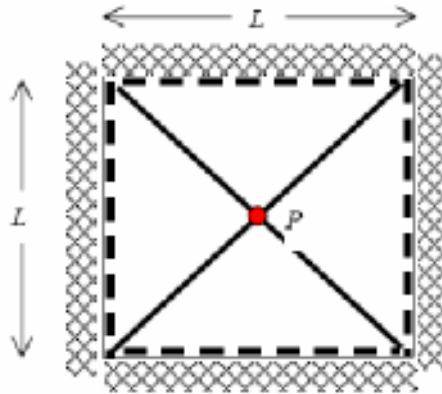
**Ví dụ 2**

Xét **bản vuông ngàm 4 cạnh** bên dưới, có **chiều dài cạnh L**, và **mômen kháng uốn tới hạn**:

$m_{ux} = m_{uy} = m_u$  cho uốn dương (mặt dưới bản)

$m'_{ux} = m'_{uy} = m'_u$  cho uốn âm (mặt trên bản)

Tính **tải trọng tập trung lớn nhất P** tác dụng tại tâm bản. Biết chuyển vị tại tâm bản là  $\delta$ .



Công nội tính bằng:

$$= 4 \left( \frac{\delta}{L/2} \right) (L)(m_u + m'_u) = 8(m_u + m'_u)\delta$$

# of panels

$x_0, y_0$

$\theta$

Công ngoại là  $Pd$  và do đó **tải trọng tập trung lớn nhất P** cho bởi công thức sau:

$$P = 8(m_u + m'_u)\delta$$

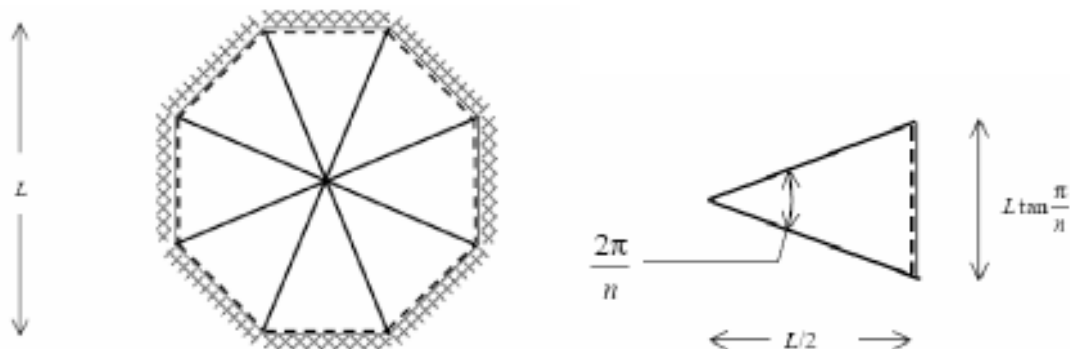
**Ví dụ 3**

Xét **bản dạng đa giác n-cạnh** ở hình dưới, ngàm theo chu vi, có chiều dài phù bì  $L$ , các mômen kháng uốn đơn vị bằng:

$m_{ux} = m_{uy} = m_u$  cho uốn dương (mặt dưới bản)

$m'_{ux} = m'_{uy} = m'_u$  cho uốn âm (mặt trên bản)

Tính **tải trọng tập trung lớn nhất P** tác dụng tại tâm bản. Biết chuyển vị tại tâm bản là  $\delta$ .



Bây giờ xét **một phân mảnh** của đa giác n-cạnh:

Cho phân mảnh đơn ở hình trên, **công nội** bằng :

$$= \left(\frac{\delta}{L/2}\right)(m_u + m'_u) \left(L \tan \frac{\pi}{n}\right)$$

và **công ngoại** bằng :

$$= \frac{P}{n} \delta$$

Do đó **tải trọng tới hạn P** là:

$$P = 2n(m_u + m'_u) \tan \frac{\pi}{n}$$

+ Với  $n = 4$  :

$$P = (2 \times 4)(m_u + m'_u) \tan \frac{\pi}{4}$$

$$P = 8(m_u + m'_u) : (\text{tương tự kết quả ở ví dụ 2})$$

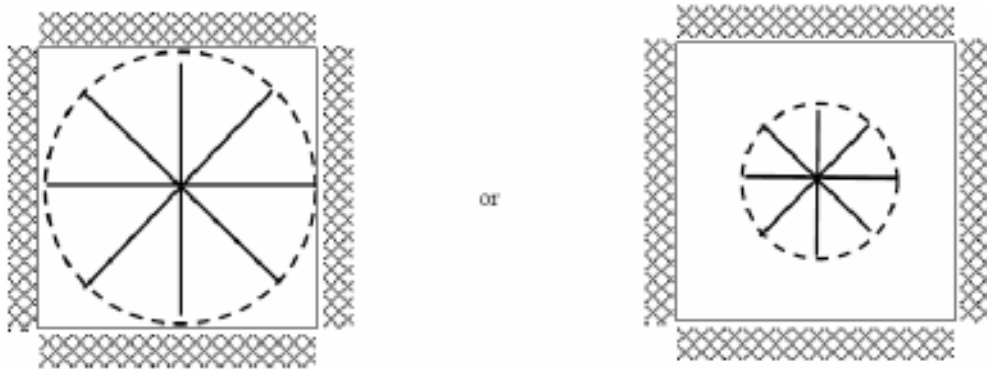
+ Với  $n = \infty$  (bán hình tròn) :

$$P = 2n(m_u + m'_u) \left(\frac{\pi}{n} + \frac{\left[\frac{\pi}{n}\right]^3}{3} + \frac{2\left[\frac{\pi}{n}\right]^5}{15} + \dots\right)$$

$$P \approx 2\pi(m_u + m'_u)$$

Ảnh hưởng của kết quả của **ví dụ 3** có ý nghĩa liên quan gì đến kết quả của **ví dụ 2** ?  $n \uparrow \Rightarrow P_u \downarrow$

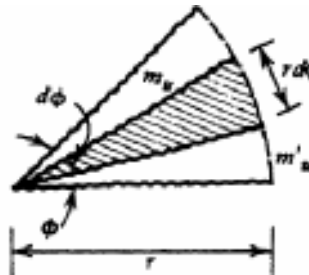
- ảnh hưởng của bán bị **tải tập trung chiếm ưu thế**, bán sẽ luôn bị phá hủy **kiểu tròn** (*circular pattern*) như các hình bên dưới.
- Cả hai nghiệm của **VD2** và **VD3** bằng nhau do nghiệm là độc lập với chiều dài **L**.
- Trường hợp các tải trọng **lệch tâm** (*off-center*) như thế nào ? **ảnh hưởng tương tự** như hình dưới **bên phải**:



### 6.1.5 Kiểu hình quạt tròn

Kiểu hình quạt tròn bao gồm toàn bộ hay một phần **nón phá hoại** (*failure cone*) và có khả năng xảy ra ở bất kỳ nơi đâu có **tải trọng tập trung** hay **phản lực gối**.

Xét bản đẳng hướng với **mômen kháng uốn âm** và **dương tới hạn** lần lượt là  $m_u$  và  $m'_u$ . Xem **quạt tròn** trình bày dưới đây (theo Park và Gamble) như là một phần của **kiểu đường chảy dẻo**.



Xét **công nội** gây ra bởi các mômen tới hạn của **phân mảnh gạch chéo**, nếu tâm quạt được gán một **chuyên vị hướng xuống** là  $\delta$  và phân mảnh có trục xoay là **đường chảy dẻo mômen âm** (*đường gạch ngang*).

**Góc xoay** của phân mảnh là  $\theta_n = \frac{\delta}{r}$

và **công nội** gây ra bởi mômen tới hạn là:

$$m_{un}\theta_n l_0 = (m_u + m'_u) \left(\frac{\delta}{r}\right) (rd\phi)$$

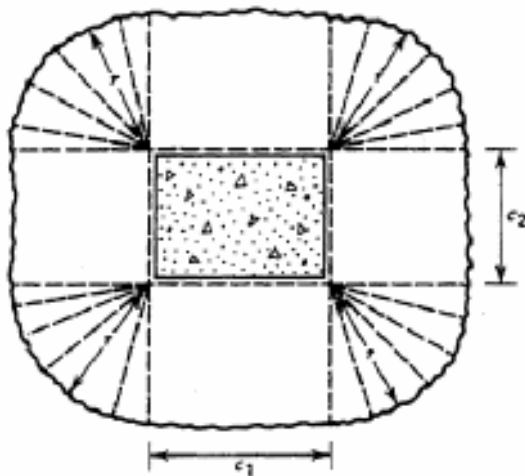
đối với **toàn bộ nón**, nếu  $\phi$  là góc ở tâm nón, ta có:

$$m_{un}\theta_n l_0 = \int_0^\phi (m_u + m'_u) \left(\frac{\delta}{r}\right) (rd\phi) = (m_u + m'_u) \delta \phi$$

So sánh kết quả này với kết quả **ví dụ 3** trước đây cho **bản đa giác** với số cạnh  $n = \infty$  (bản hình tròn). **Công nội** từ phương trình trên viết lại là:

$$(m_u + m'_u) \delta (2\pi) : \text{tương tự như công thức ở ví dụ 3.}$$

Một trường hợp mà các **hình quạt** cần được xem xét đến trong **phân tích đường chảy dẻo** được mô tả ở hình dưới: **sàn phẳng chịu tải phân bố đều với kiểu phá hoại bao quanh một cột chữ nhật**. Ví dụ này do Park và Gamble nghiên cứu.

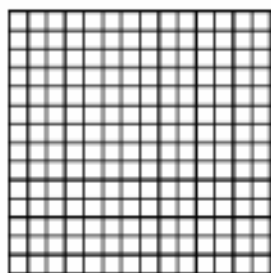


## 6.2 THIẾT KẾ SÀN THEO PHƯƠNG PHÁP ĐƯỜNG CHẢY DỀO

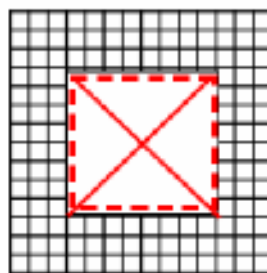
Các bước chính trong thiết kế thép sàn ứng dụng phương pháp **đường chảy dẻo** gồm :

1. Giới hạn **tỷ lệ thép dọc** trong khoảng  $\rho = 0,4 \rightarrow 0,5\rho_{bal}$  để sàn có độ dẻo (*ductility*) cao.
2. Dùng **sơ đồ bố trí thép** tương tự như phân bố mômen đàn hồi, nghĩa là:

- $M^- = 1,5 \rightarrow 2,0M^+$  ( $[f_y], [f'_c] = \text{MPa}$ )  $\rightarrow \rho_b = \frac{0,85\beta_1 f'_c}{f_y} \left( \frac{87,000}{87,000 + f_y} \right)$  (B-1)
- Bố trí thép tại các **góc cạnh** (*corner*)
- **Cắt cốt thép** là được phép nhưng phải chắc rằng không tạo thành một **cơ cấu đường chảy dẻo mới**, ví dụ:



Lưới thép mặt dưới



Lưới thép mặt dưới

3. **Kiểm tra điều kiện dịch vụ** (*check serviceability*) : kiểm tra nứt và độ võng
  - Dùng tiêu chuẩn về **chiều dày tối thiểu**
  - Kiểm tra nếu có sẵn các **lời giải đàn hồi**.
4. Dùng **nguyên lý cộng tác dụng** (*superposition*) đối với **tổ hợp tải trọng** (lực phân bố  $w_u$  và các lực **P**), nghĩa là, thiết kế độc lập cho mỗi trường hợp tải trọng, sau đó phối hợp lại.

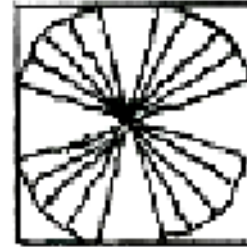
## TẠI SAO CẦN BỐ TRÍ THÉP TẠI CÁC GÓC (CORNER) ?



$$m = wL^2/24$$

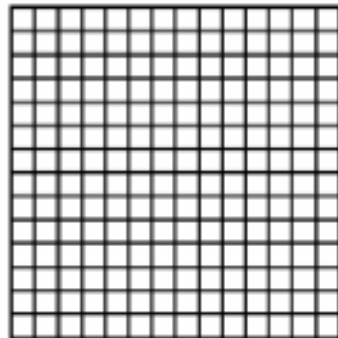


$$m = wL^2/22$$

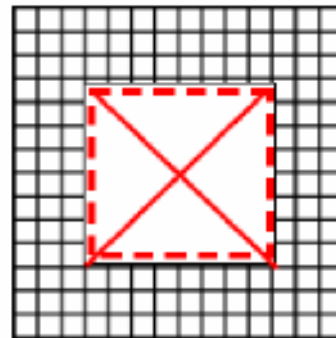


$$m = wL^2/21.7$$

-Corner effects in yield line theory.



Bottom rebar

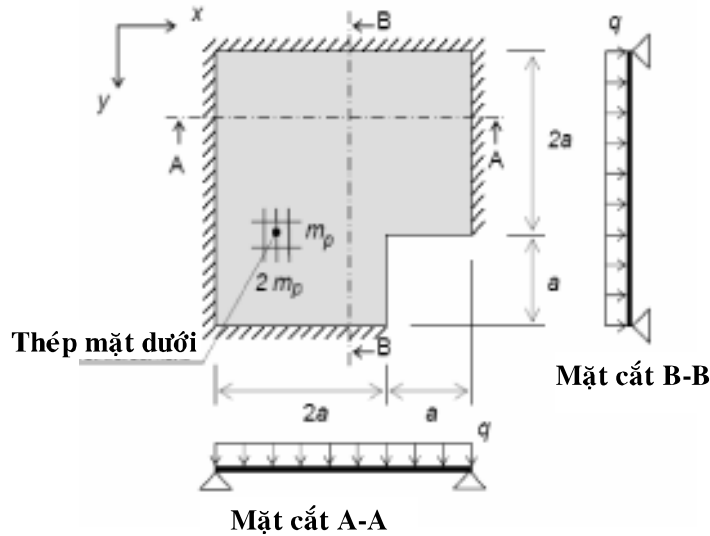


Top rebar

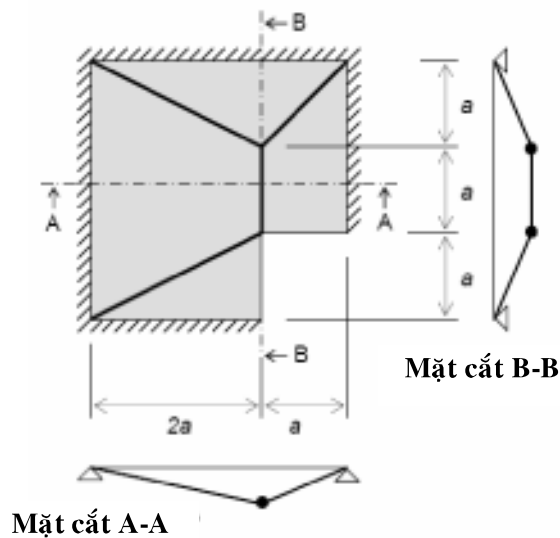
### **Bài tập 1: (SV nộp)**

Một bản BTCT tựa đơn trên 4 cạnh ngoại trừ khu vực có lỗ vuông tại góc, kích thước bản như [hình 1](#) dưới đây. Tải trọng  $q$  [kN/m<sup>2</sup>] phân bố đều trên bản. Thép dọc mặt đáy theo phương  $y$  có mômen chảy dẻo là  $2m_p$  [kN m/m]; thép dọc mặt đáy theo phương  $x$  có mômen chảy dẻo là  $m_p$  [kN m/m]; giả sử mặt trên không có cốt thép.

- a)- Hãy thiết lập [2 kiểu đường chảy dẻo hợp lý](#) cho bản chịu tải trọng  $q$
- b)- Giả sử có kiểu đường chảy dẻo của bản như [hình 2](#). Cho biết  $a = 2$  m ;  $m_p = 6$  kN m/m. Xác định tải trọng chảy dẻo phân bố đều  $q$



[Hình 1:](#) Kích thước bản BTCT



[Hình 2:](#) Kiểu đường chảy dẻo cho câu hỏi b