

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

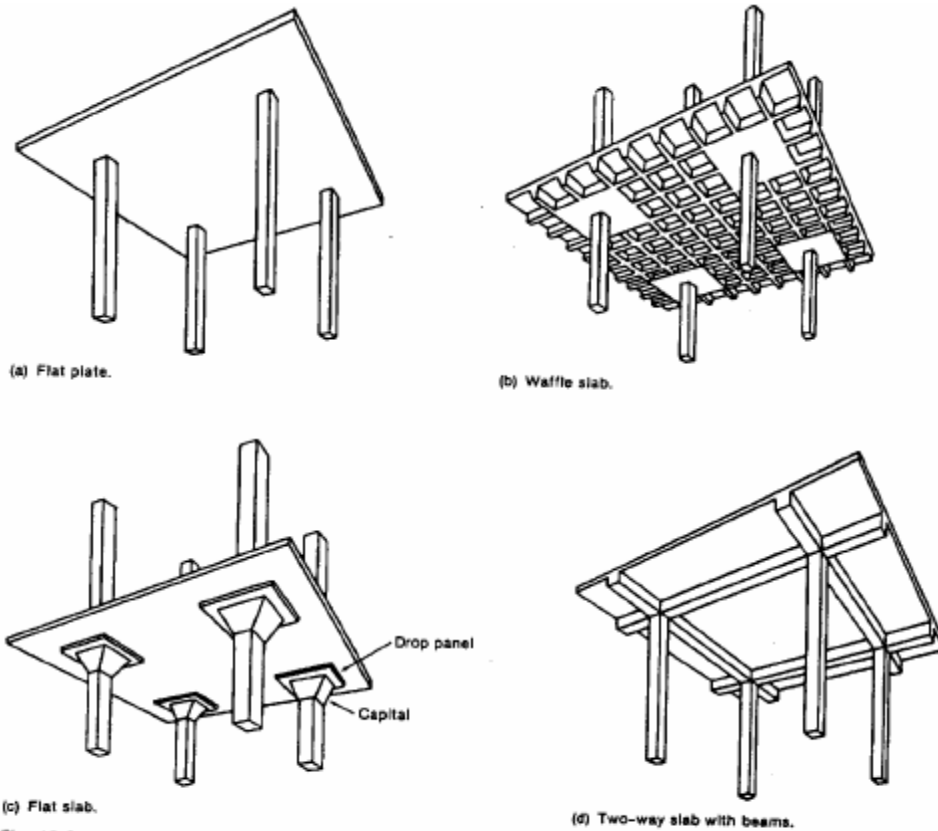
### **5.1 HỆ THỐNG SÀN BTCT**

#### **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:

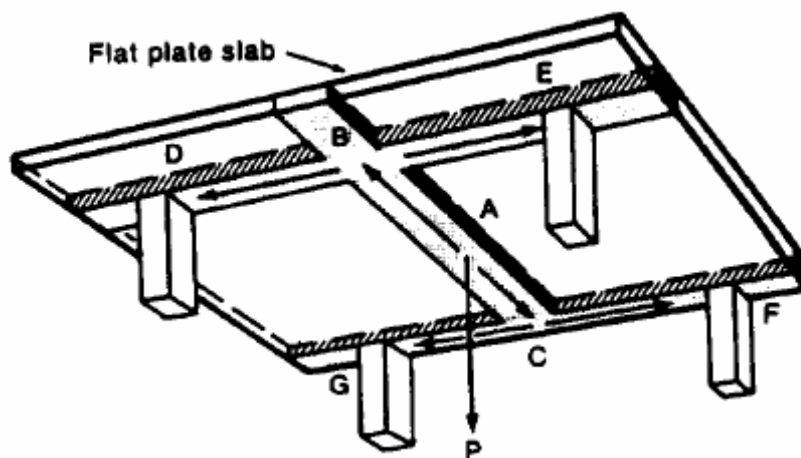
- **Hệ sàn phẳng** - *flat plate floor system*
  - chiều dài nhịp = 15-20”
  - chịu tải trọng nhẹ (ví dụ tải trọng căn hộ chung cư)
  - giá thành rẻ vì chi phí ván khuôn thấp
- **Hệ sàn nấm** - *flat slab floor system*
  - chiều dài nhịp = 20-30”
  - chịu tải trọng lớn hơn sàn phẳng (ví dụ tải trọng 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 đặc 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:



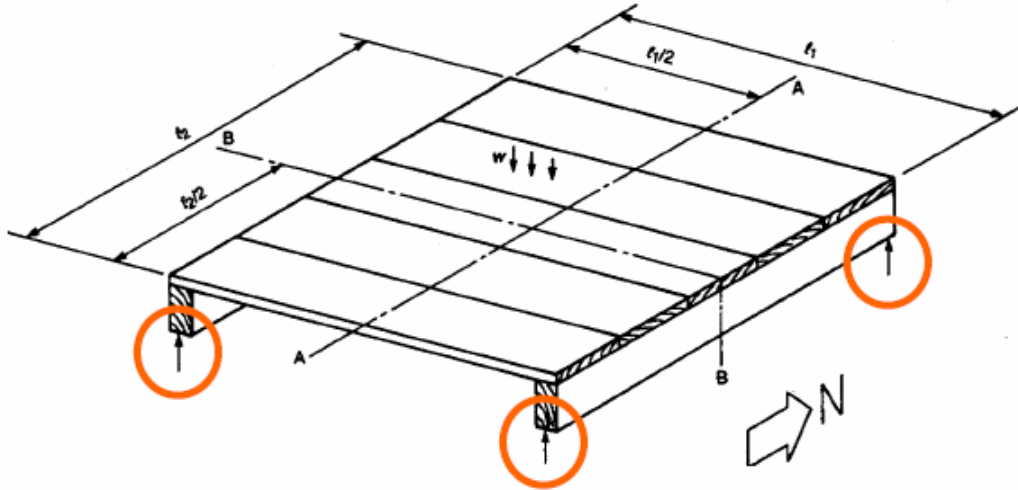
Để thiết kế sàn và hệ sàn BTCT, người kỹ sư phải:

- Xác định được **đường truyền tải trọng** (*load path*) từ sàn đến cột và tường – xem hình dưới
- Thoả 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:

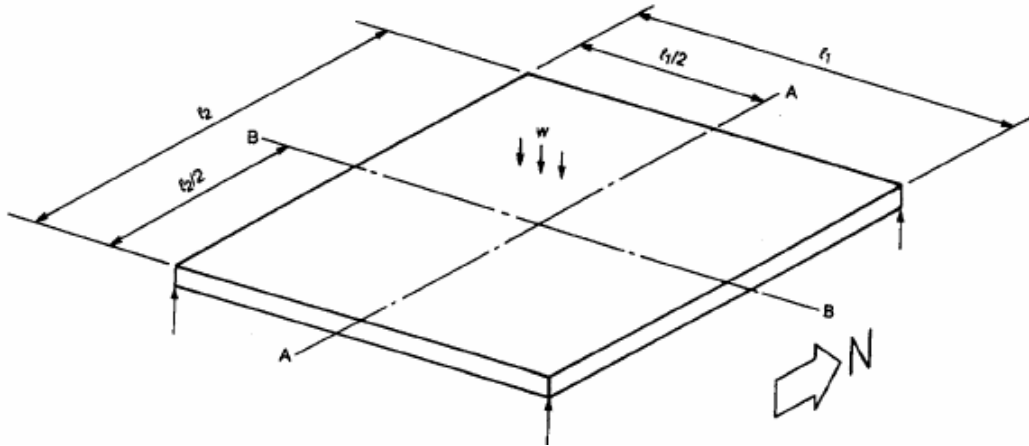
$$M_{b1} = M_{b2} = \frac{(\frac{wl_1}{2})l_2^2}{8} \text{ kip-ft}$$

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**.



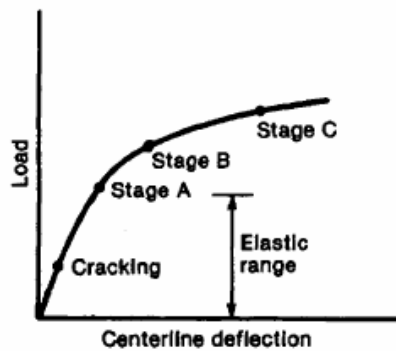
Mômen tổng tính toán dọc theo mặt cắt **A-A** và **B-B** là:

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

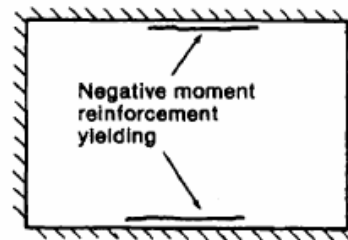
Hai phương trình này phải được duy trì bất chấp loại **hệ khung đỡ sàn**, hay nói một cách đơn giản, chúng là các **điều kiện cân bằng**.

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

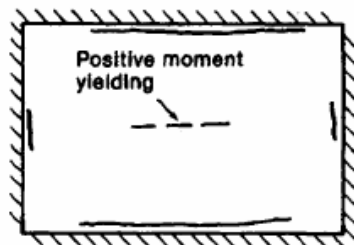
Trước khi trình bày các phương pháp phân tích và thiết kế **hệ sàn 2-phương**, cần phải nghiên cứu ứng xử của một hệ **sàn 2-phương bị ngàm cả bốn cạnh** đơn giản như hình bên dưới (theo MacGregor).



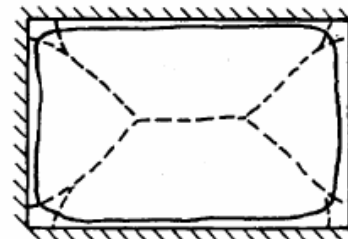
(a) Load-deflection diagram.



(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:

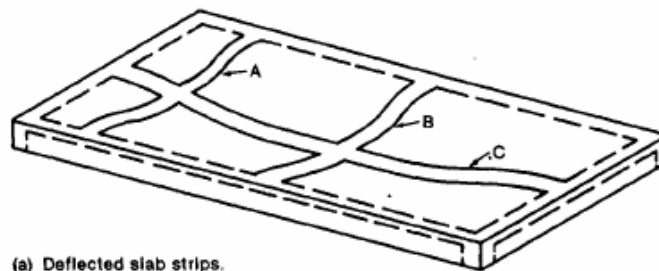
$$m_x = -\frac{Et^3}{12} \left( \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \right) \leftarrow \boxed{\text{mômen tỷ lệ tuyến tính với độ cong}}$$

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

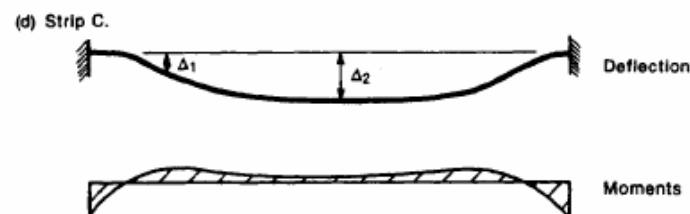
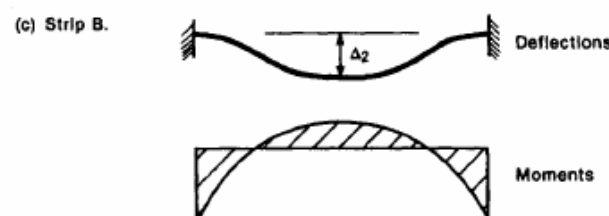
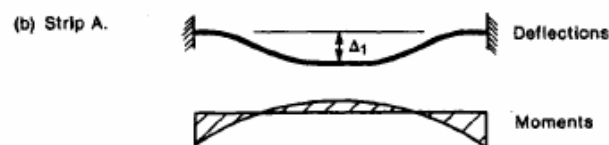
$$m_{xy} = -\frac{Et^3}{12} \left( \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \right) \quad (5-3c)$$

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 ngàm cả 4 cạnh. Các dạng võng của 3 dải sàn (*slab strip*) A, B, và C được trình bày ở hình dưới (theo MacGregor).



(a) Deflected slab strips.



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 DÈO 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.

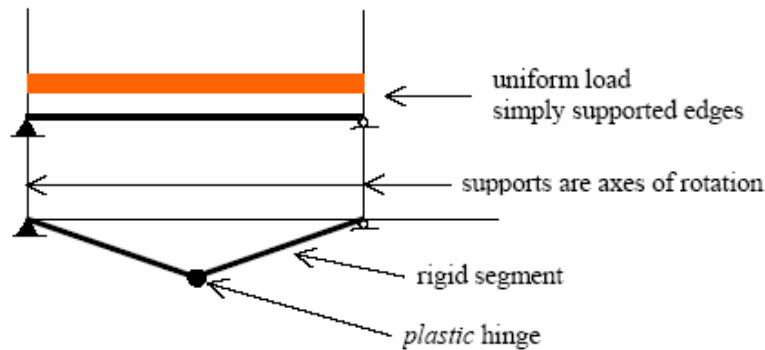
- Có thể áp dụng cho cấu kiện **bản**, dầm, khung.
- Độc lập với chủng loại vật liệu kết cấu: **BTCT**, thép, VL khác ...
- Không cho biết các thông tin về độ võng
- Chỉ hữu ích cho phân tích ứng xử giai đoạn **tới hạn** hay **sau khi chảy dẻo** (*post-yielding*).
  - Không cho biết thông tin về đáp 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.

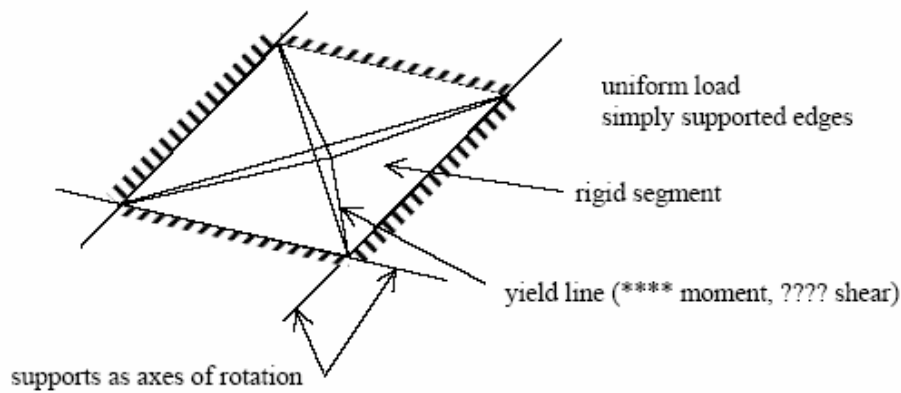
Giả thiết về ứng xử **dẻo cứng** có thể mô tả như sau:



Beam:



Slab:

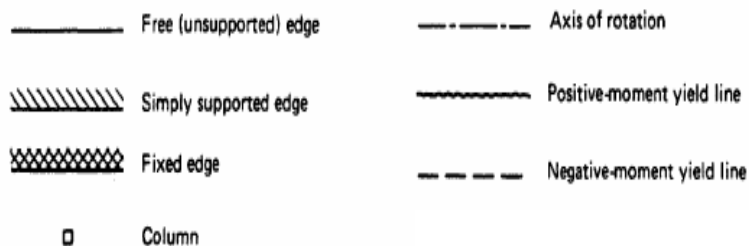


Có 3 qui luật cơ bản để xác định kiểu đường chảy dẻo trong bản:

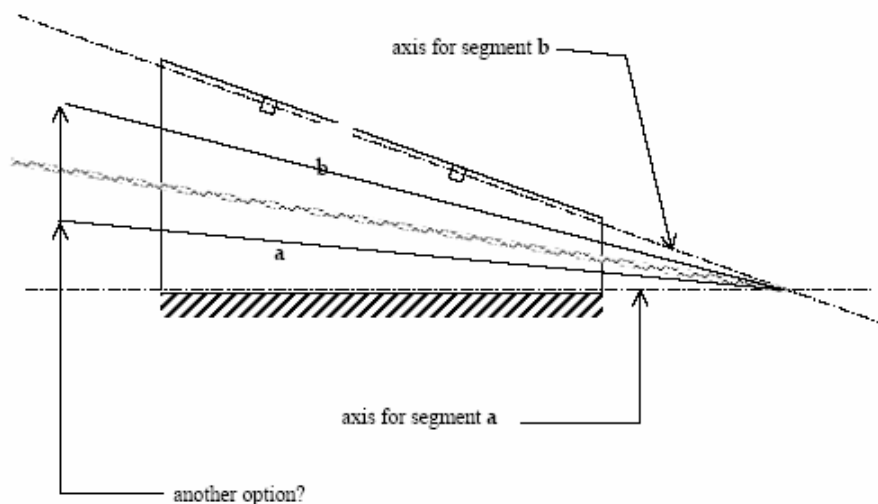
1. Đường chảy dẻo phải là các đường thẳng tạo thành các trục chuyển động xoay của các phân mảnh cứng (phẳng).
2. Các cạnh gối đỡ sàn phải làm việc như các trục xoay. Nếu một cạnh gối đỡ sàn bị ngàm, một đường chảy dẻo được hình thành dọc theo cạnh gối đỡ. Trục xoay sẽ đi qua đầu cột đỡ sàn.
3. Để các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

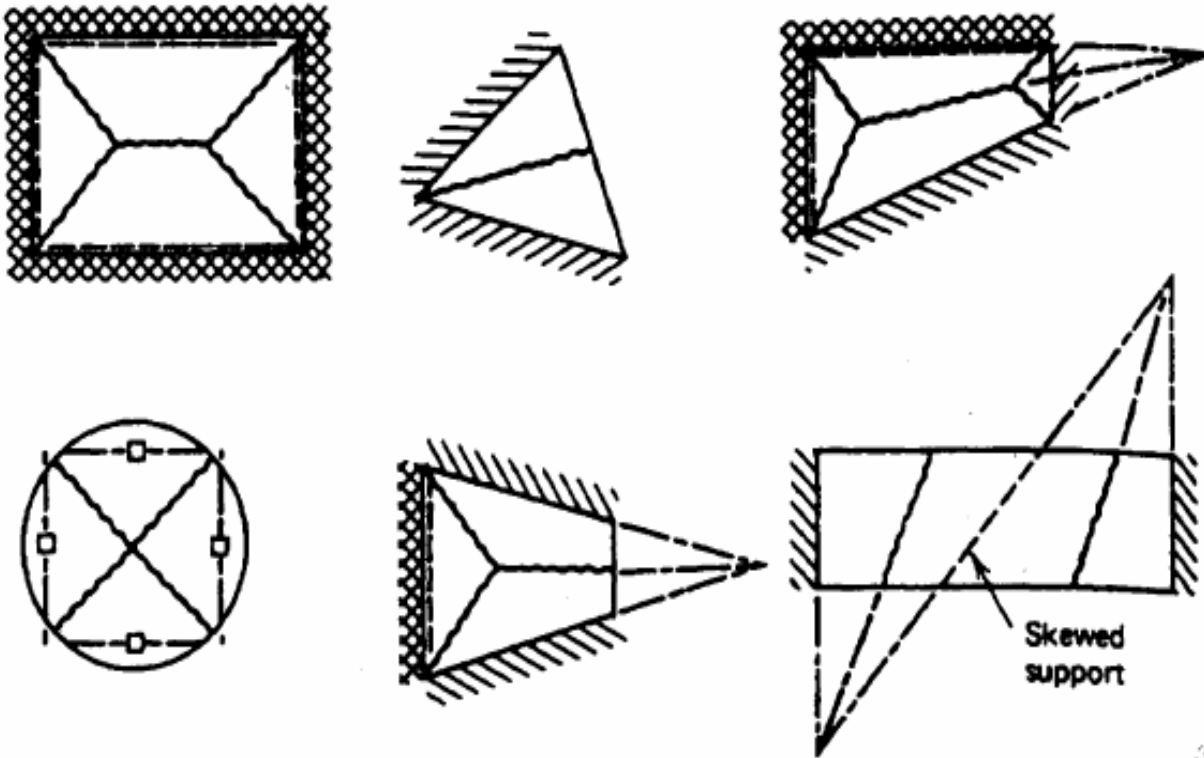
Các ký hiệu qui ước cho các điều kiện biên, trục xoay, đường chảy dẻo mà được sử dụng trong giáo trình được mô tả dưới đây (chú ý mômen dương cho mặt dưới bản):



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 chày dẽo** 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 chày dẽo

Đối với một **đường chày dẽo** 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*). ảnh hưởng 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 dẽo** cho một **đường chày dẽo vuông góc** với cốt thép sàn. ảnh hưởng trường hợp **đường chày dẽo nghiêng góc** (không vuông góc) với trục cốt thép sàn thì **cường độ chống uốn** hay **mômen kháng uốn** sẽ như thế nào ?

**PHU 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,  $0.85 f'_c b a = A_s f_y$

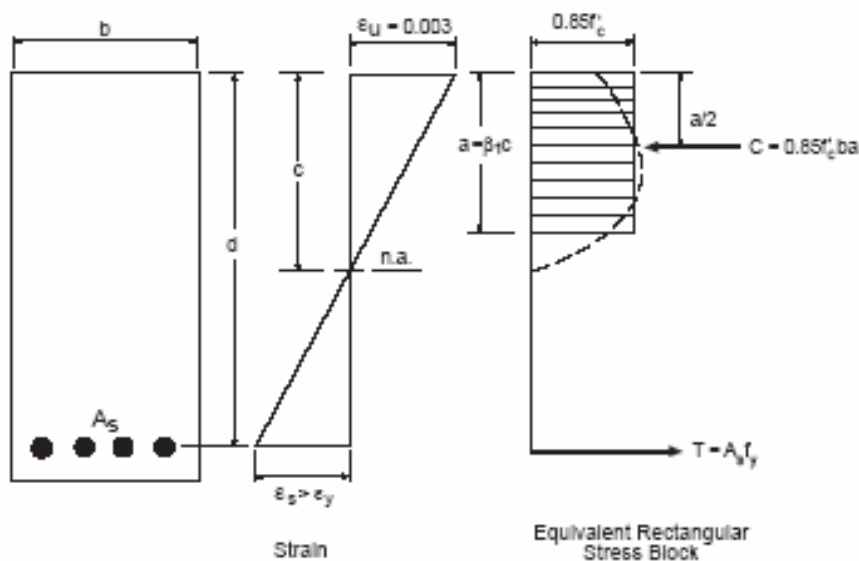
so that  $a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$

From moment equilibrium:

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

Substituting a from force equilibrium,

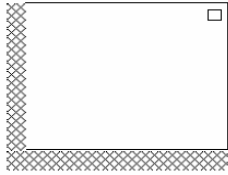
$$M_n = A_s f_y \left( d - 0.59 \frac{A_s f_y}{f'_c b} \right)$$



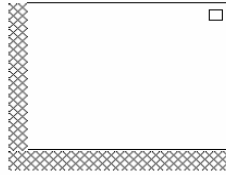
**Bài tập 1:**

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

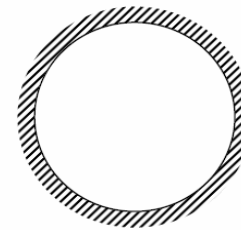
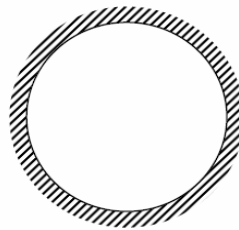
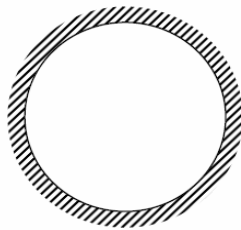
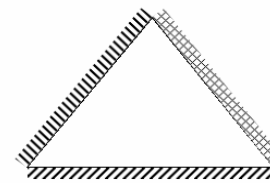
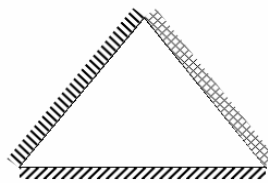
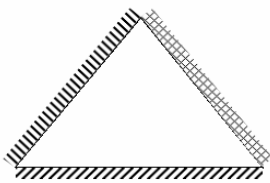
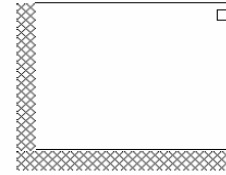
**Kiểu 1**



**Kiểu 2**



**Kiểu 3**

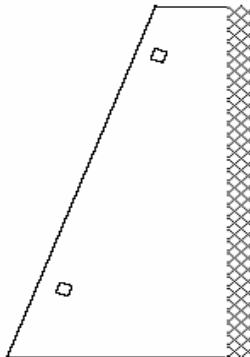


Liên kết gối tựa

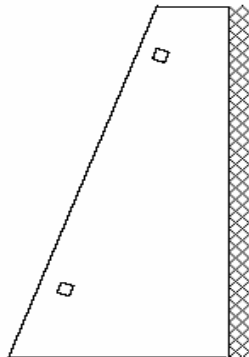
**Bài tập 2:**

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

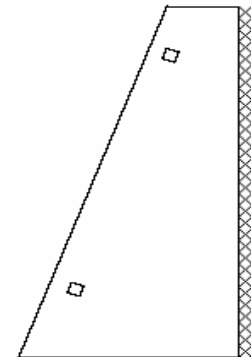
**Kiểu 1**



**Kiểu 2**



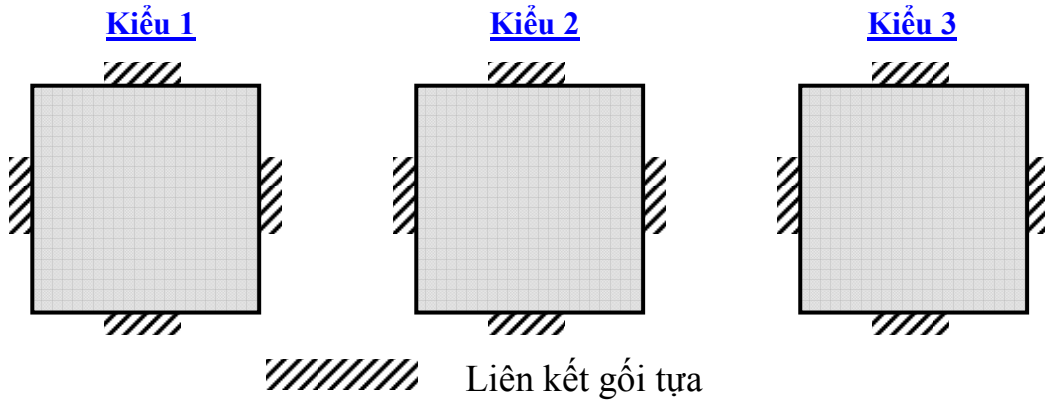
**Kiểu 3**



Liên kết ngàm

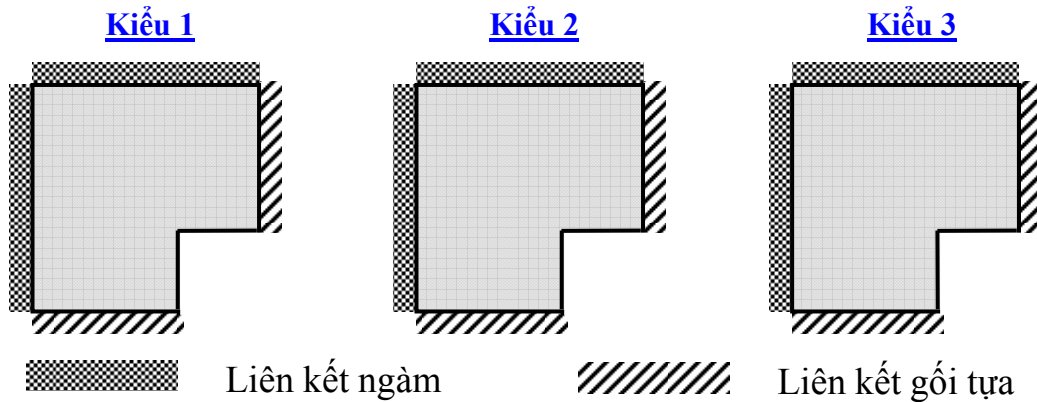
**Bài tập 3:**

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



**Bài tập 4:**

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



**Bài tập 5:**

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

