

# CHƯƠNG 6: MÔ HÌNH HÓA DIỄN BIẾN BỜ BIỂN

## Đặt vấn đề

1. Tại sao cần mô hình hóa?
2. Công cụ mô hình hóa
3. Mô hình vật lý
4. Mô hình toán diễn biến bờ biển
  - Tổng quan về mô hình
  - Hệ phương trình cơ bản
  - Điều kiện biên
  - Số liệu cho mô hình



1. Bờ biển thay đổi, đôi khi không theo mong muốn do tự nhiên & hoạt động kinh tế - xã hội.
2. Kỹ thuật bờ biển sử dụng các giải pháp công trình hoặc phi công trình để giải quyết các vấn đề có liên quan tới các biến đổi không mong muốn.
3. Phương pháp mô hình hóa được sử dụng như một công cụ để đưa ra các dự báo về sự phát triển của đường bờ theo thời gian. Hay nói 1 cách khác với 1 tổ hợp chọn lọc của tự nhiên sẽ có 1 loại đường bờ đặc trưng mà ta có thể mô hình hóa được cho hiện tại và tương lai.
4. Mô hình còn có thể đánh giá được hiệu quả và ảnh hưởng của công trình làm thay đổi bờ biển trong tương lai.
5. Các loại mô hình bao gồm (i) Mô hình vật lý và (ii) Mô hình toán

## Các vấn đề ở bờ biển (xói lở, ngập lụt, ô nhiễm..)



## Phương pháp kinh nghiệm

- Dựa vào kết quả các hoạt động thực tiễn để đề xuất những giải pháp hạn chế các ảnh hưởng xấu tới cửa sông và đới bờ.

### Hạn chế

- Thiếu tính hệ thống
- Không khả thi đối với hệ thống quá phức tạp hoặc xem xét vấn đề quá đơn giản
- Rủi ro cao/ quy hoạch và giải pháp bị chi phối bởi ý kiến chủ quan.

# Mô hình vật lý (tỉ lệ)

- Mô hình vật lý gồm hai dạng: lòng cứng (cố định) và lòng động.
- Mô hình lòng cứng mô phỏng các hiện tượng diễn ra ở bờ biển mà không xét tới sự biến đổi địa hình đáy trong quá trình mô phỏng, lòng dẫn được coi là cố định trong toàn bộ thời gian mô phỏng.

*(Nghiên cứu sóng, dòng chảy, phân nước các nhánh sông)*

- Mô hình lòng động mô phỏng các quá trình diễn biến bờ biển có xét tới tác dụng vận chuyển bùn cát ở ven bờ do tác động của sóng và dòng chảy, lòng dẫn của mô hình thay đổi trong quá trình mô phỏng.

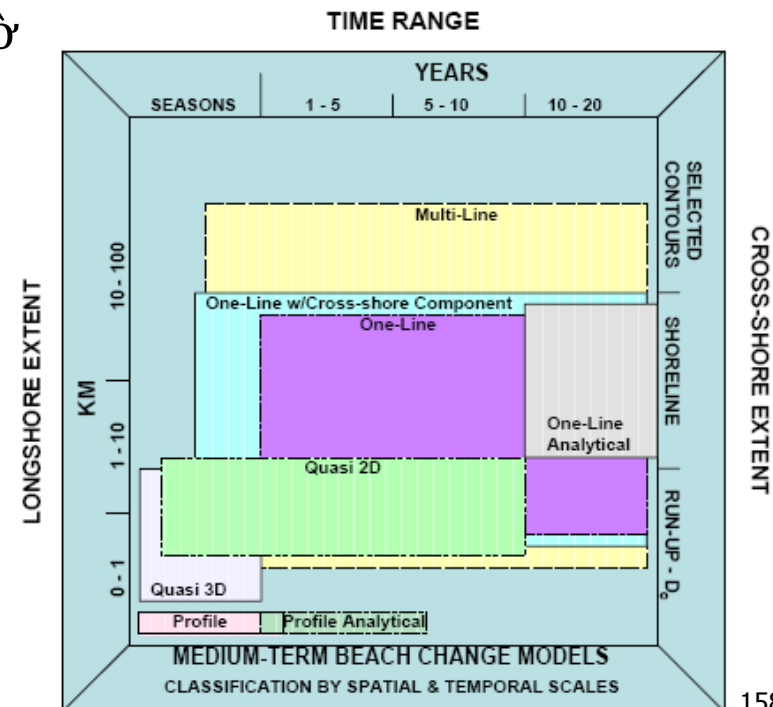
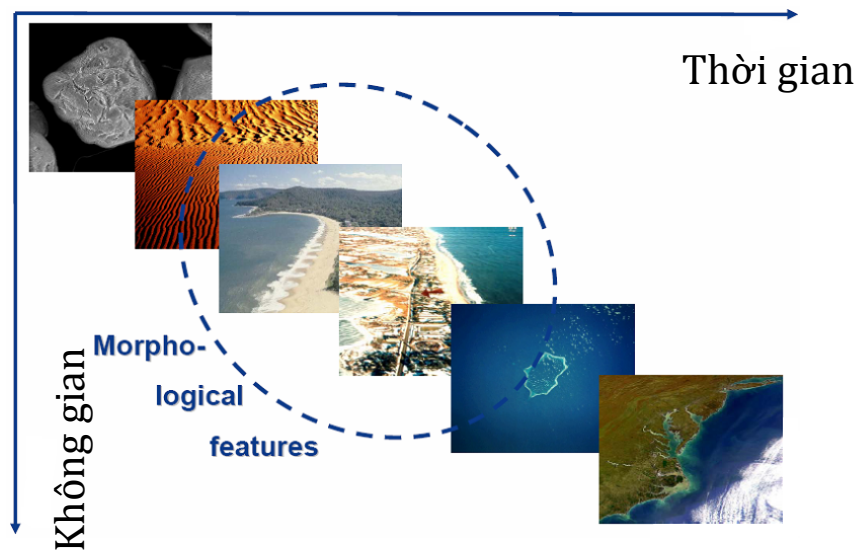
*(Biến đổi mặt cắt, đường bờ biển tại các thời điểm khác nhau)*

- Với đặc tính trên mỗi mô hình sẽ có phạm vi áp dụng và nghiên cứu riêng, tùy thuộc vào tính năng của mô hình.
- Không gian thực lớn (đôi khi là rất lớn) nên phải dùng tỉ lệ
- Trong phòng có bể sóng, máng sóng; ngoài trời có bãi thí nghiệm

- Nếu chế tạo mô hình bằng đúng với nguyên mẫu: Mô hình tỉ lệ 1:1.
- Trường hợp tổng quát, tỉ lệ về kích thước là  $1:L_r$ . Hệ số tỉ lệ  $L_r = L_p / L_m$  (nguyên hình / mô hình).
- Thực tế các thủy vực thường rộng và nông nên phải dùng hai loại tỉ lệ dài: ngang và đứng.  $\rightarrow$  mô hình biến dạng,  $L_r > h_r$ .
- Ví dụ cần nghiên cứu sóng truyền dọc MCN bãi biển có chiều dài  $L_p = 5000$  m; độ sâu nước tối đa  $h_p = 4$  m. Nếu lấy tỉ lệ 1:10 thì mô hình phải có  $L_m = 500$  m; và  $h_m = 0.4$  m. Tỉ lệ chiều đứng có thể đáp ứng được, nhưng tỉ lệ ngang thì không phù hợp do không gian phòng thí nghiệm quá bé. Khi đó ta có thể chọn tỉ lệ ngang 1:100 và tỉ lệ đứng 1:10 và mô hình gọi là biến dạng.
- Lưu ý hệ số tỉ lệ thời gian  $t_r = \sqrt{L_r}$ .  $\rightarrow$  ảnh hưởng đến chu kỳ sóng cần phát sinh trong máng/bể sóng.

# Tại sao cần sử dụng các mô hình toán?

- Khi bài toán có quá nhiều biến phụ thuộc lẫn nhau và chúng có thể mô phỏng bằng các PT toán học (các PT vi phân trong bài toán thủy động lực - hình thái).
- Khi giải được trong các trường hợp đơn giản → mô hình giải tích. Trường hợp khác phải sai phân hóa → mô hình số.
- Ứng dụng để:
  - Phát hiện các quy luật
  - Dự báo xu thế phát triển
  - Lập các dự án về cửa sông, biển và đới bờ
- Ràng buộc về quy mô hình thái



# Các loại mô hình toán

## A- MÔ HÌNH THỦY ĐỘNG LỰC HỌC

- Mô hình dòng chảy (1,2,3D)
- Mô hình sóng
- Mô hình triều v.v...

## B- MÔ HÌNH HÌNH THÁI

- Mô hình 1D, 2D, 3D → **Mô hình hình đường đơn (1D)**

## Phân loại theo mục đích

- Mô hình toán phục vụ thiết kế
- Mô hình toán nghiên cứu hình thái

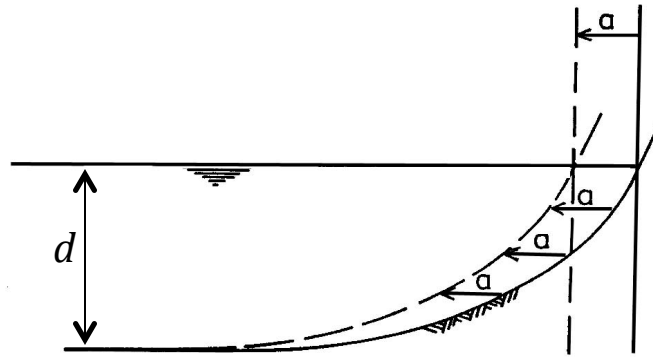
Nhằm Dự báo đặc trưng bờ biển (định lượng)

### **Mô hình đơn giản hay Phức tạp ?**

Việc lựa chọn mô hình cần căn cứ vào

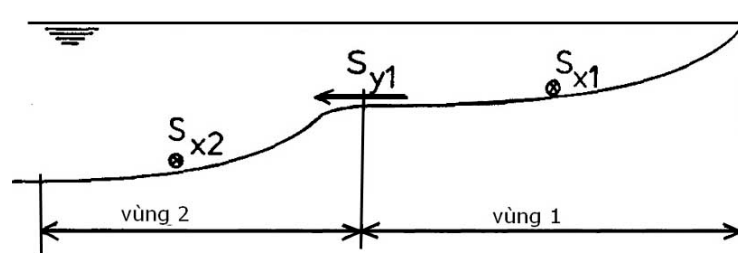
- + Yêu cầu của việc mô hình hoá (độ chi tiết, chính xác)
- + Tính năng của mô hình
- + Các yêu cầu khác (số liệu đầu vào, phần cứng, kỹ năng sử dụng mô hình...)

# Mô hình hoá MCN theo lý thuyết đường đơn

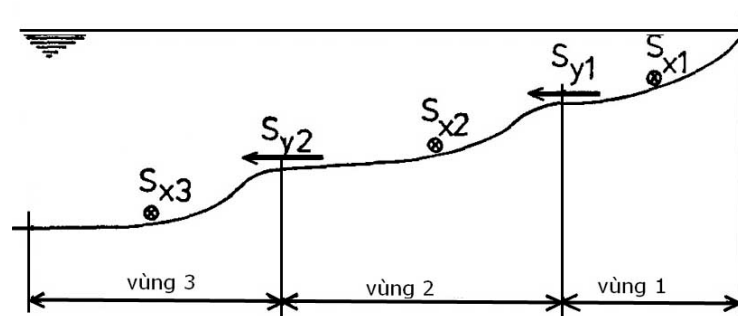


# Mô hình hoá theo lý thuyết đường phức

SƠ ĐỒ HOÁ MẶT CẮT NGANG GỒM 2 ĐƯỜNG BỜ



SƠ ĐỒ HOÁ MẶT CẮT NGANG GỒM 3 ĐƯỜNG BỜ





# Hệ phương trình cơ bản của lý thuyết đường đơn

(Pelnard-Considère, 1956)

## Phương trình liên tục bùn cát

$$S_x dt - (S_x + dS_x) dt = d dx dy$$

(Kí hiệu  $S_x$  thay cho  $Q_L$  trong hệ toạ độ hình vẽ)

$d$  : độ dày của lớp bên trên nơi xảy ra sự biến đổi

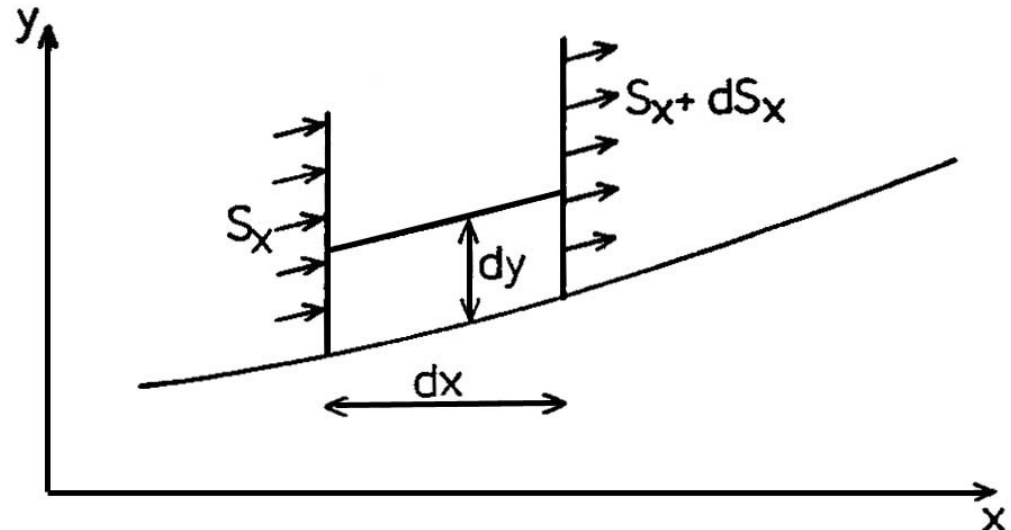
$S_x$  : lượng bùn cát vận chuyển dọc bờ biển tại vị trí  $x$

$S_x + dS_x$  : lượng bùn cát vận chuyển dọc bờ biển tại vị trí  $x + dx$

Cân bằng bùn cát vào, ra và lượng bùn cát lũy tích:

$$dS_x = \frac{\partial S_x}{\partial x} dx \quad dy = \frac{\partial y}{\partial t} dt$$

$$\frac{\partial S_x}{\partial x} + d \frac{\partial y}{\partial t} = 0$$



# Phương trình chuyển động

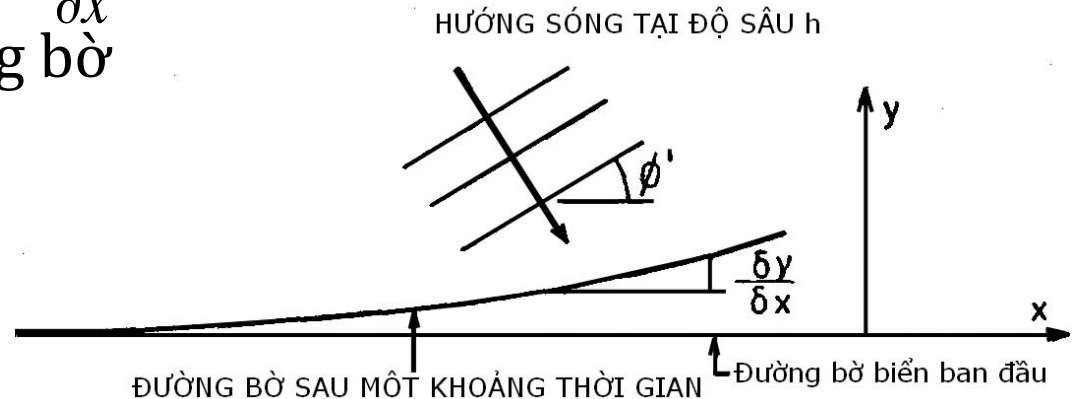
- Biểu diễn sự biến đổi bùn cát dọc bờ biển  $\partial S_x / \partial x$
- Phương trình chuyển động có dạng  $s_x = \frac{\partial S_x}{\partial \varphi}$ 
  - $s_x$  (m<sup>3</sup>/s) là hằng số bờ biển (coastal constant)
- Dùng quy tắc chuỗi vi phân  $\frac{\partial S_x}{\partial x} = \frac{\partial S_x}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial x}$
- Góc tạo giữa đường đỉnh sóng tại độ sâu  $h$  và đường bờ tức thời tại thời gian  $t$

$$\varphi = \varphi' - \frac{\partial y}{\partial x}$$

(giả thiết  $\partial y / \partial x$  nhỏ, đường bờ gần như // đường cơ sở)

- Như vậy:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = - \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$



# Phương trình vi phân

Từ PT c.động:  $s_x = \frac{\partial S_x}{\partial \varphi}$  và hệ thức  $\frac{\partial \varphi}{\partial x} = -\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$

Áp dụng quy tắc chuỗi vi phân cho  $\partial S_x / \partial x$  ta có:

$$\frac{\partial S_x}{\partial x} = \frac{\partial S_x}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \quad \rightarrow \quad \frac{\partial S_x}{\partial x} = -s_x \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

Thế vào PT liên tục ta có:  $-s_x \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + d \frac{\partial y}{\partial t} = 0$

Viết dưới dạng chuẩn (PT parabolic):  $G \frac{\partial^2 y}{\partial^2 x} - \frac{\partial y}{\partial t} = 0$

Với G: hệ số khuếch tán đường bờ (coastline diffusivity)  $G = \frac{s_x}{d} = \frac{Q_L}{\varphi' d}$

Đơn vị  $m^2/s$ , độ lớn nhỏ, cỡ  $10^{-3} m^2/s$ .

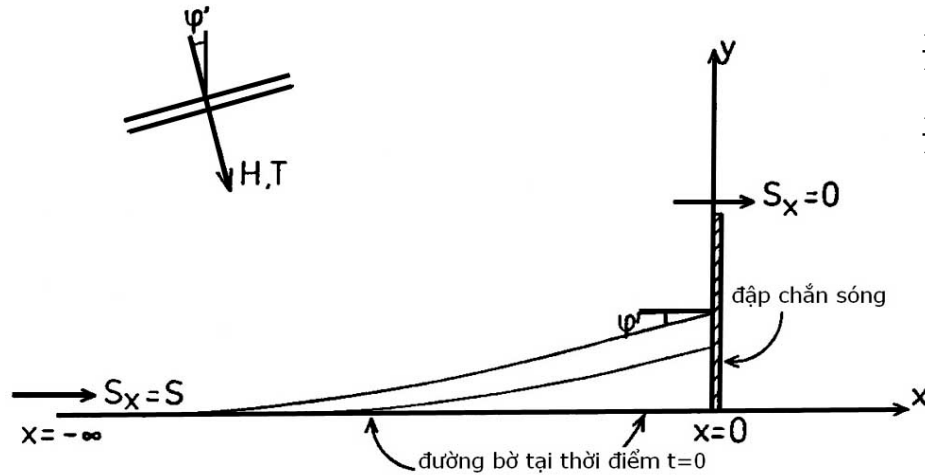
Nghiệm số trị:  $y_i^{t+\Delta t} = y_i + G \frac{\Delta t}{\Delta x^2} (y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1})$

ĐK ổn định:  $G \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \leq \frac{1}{2}$

<https://repl.it/B6mz/4>

# Bài toán mô phỏng bồi tụ trước đập mở hàn

Xây dựng đập mở hàn như hình vẽ, đánh giá bồi lắng sau khi xây.



Điều kiện ban đầu:  $y = 0$  tại  $t = 0$

Điều kiện biên:  $x = -\infty \rightarrow S_x = Q_L$  với mọi  $t$

$x = 0 \rightarrow S_x = 0$  với  $t > 0$

$x = 0 \rightarrow \frac{\partial y}{\partial x} = \varphi'$  với  $t > 0$

Không phải số Shields!

Nghiệm của bài toán:

$$y(t) = \varphi' \sqrt{\frac{4Gt}{\pi}} \left[ e^{-u^2} - u\theta\sqrt{\pi} \right]$$

Trong đó:  $u = -\frac{x}{\sqrt{4Gt}}$ ,  $\theta = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_u^\infty e^{-u^2} du = \text{erfc}(u)$  (hàm bù sai số)

Vị trí bồi xa nhất là tại đập ( $u = 0$ ):  $L(t) = \max y(t) = \varphi' \sqrt{\frac{4Gt}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{\varphi' Q_L}{\pi d}} \sqrt{t}$

Nhận xét: Hướng đường bờ ở sát đập thì vuông góc phương truyền sóng:

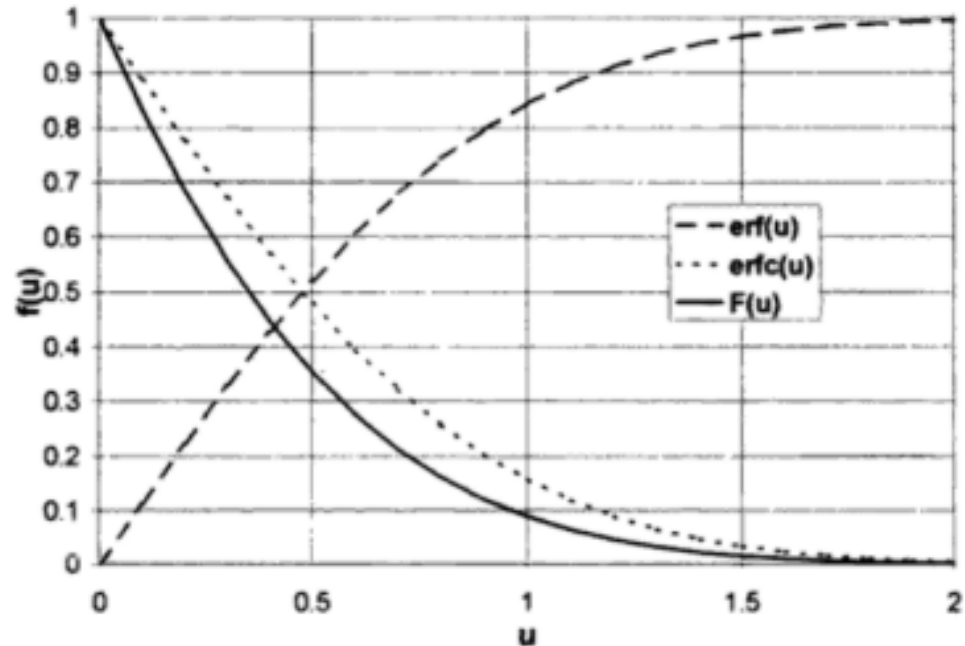
Tại  $u = 0$ ,  $dy/dx = \varphi'$

# Bài toán mô phỏng bồi tụ trước đập mở hàn (2)

Một số giá trị của  $\theta = \operatorname{erfc}(u)$  và  $[\exp(-u^2) - u\theta] = F(u)$  được trình bày ở biểu đồ bên.

Với  $u > 2,5$ ,  $\theta \approx 0$  và  $[\exp(-u^2) - u\theta] < 10^{-4}$  (lượng bồi lắng nhỏ hơn 0.01% đối với thể tích bồi lắng ở gần đập phá sóng).

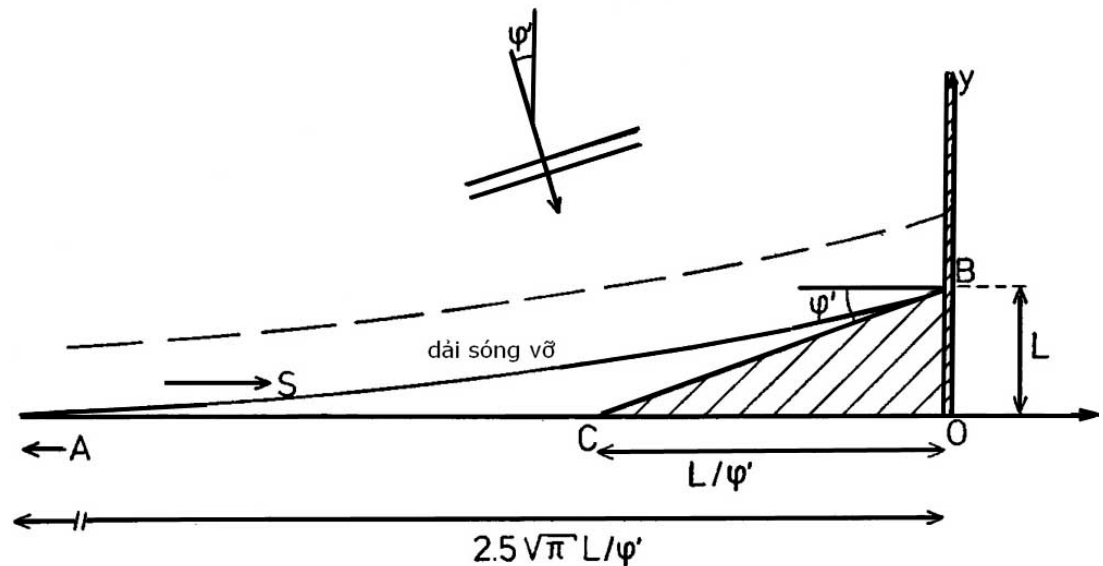
Từ có thể đi đến kết luận rằng, đập phá sóng có ảnh hưởng rất nhỏ tới đoạn bờ cách nó khoảng  $> 5\sqrt{Gt}$  về phía thượng lưu.



Nhận xét về phạm vi bồi:

$$\frac{K.\text{ca'ch } OB}{K.\text{ca'ch } OC} \approx \varphi'$$

$$\frac{K.\text{ca'ch } OA}{K.\text{ca'ch } OC} \approx 2.5\sqrt{\pi} = 4.43$$



Trong thực tế bồi tụ không xảy ra bên ngoài điểm A

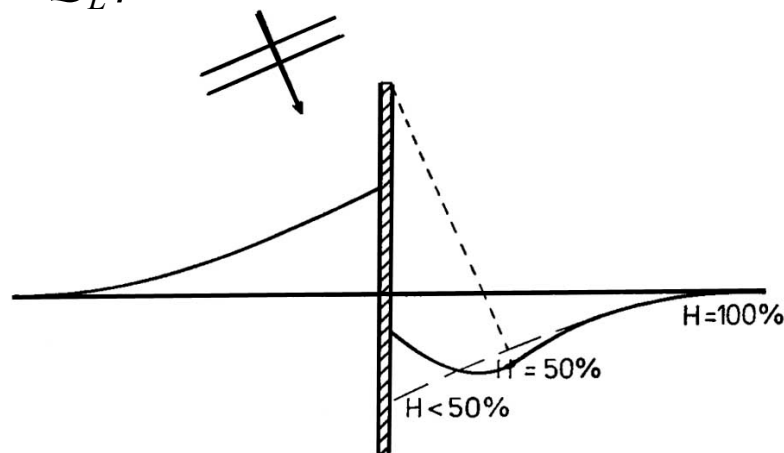
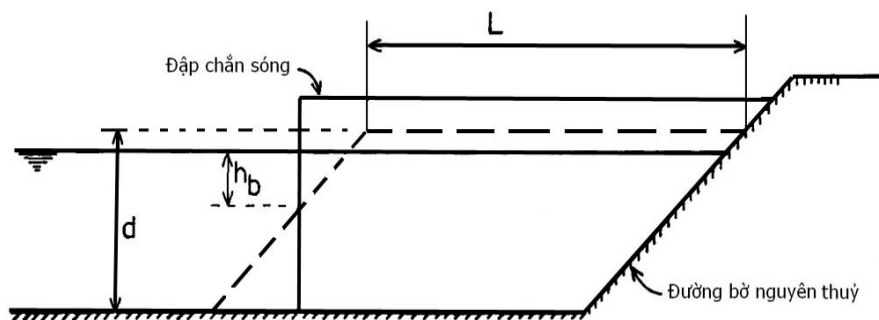
Diện tích bề mặt của  $OCB$  và  $OAB$ :

$$OCB \rightarrow \frac{2 Q_L t}{\pi d} \qquad OAB \rightarrow \frac{Q_L t}{d}$$

Do vậy, 64% tổng lượng bồi tích sẽ được giữ lại ở phần diện tích ( $OCB$ ) được gạch chéo trên hình.

Thời gian cần thiết để bồi tụ bắt đầu vượt ra khỏi đầu đập:

$$t_1 = \frac{\pi L^2 d}{4 Q_L \varphi'} = 0.785 \frac{L^2 d}{Q_L \varphi'}$$

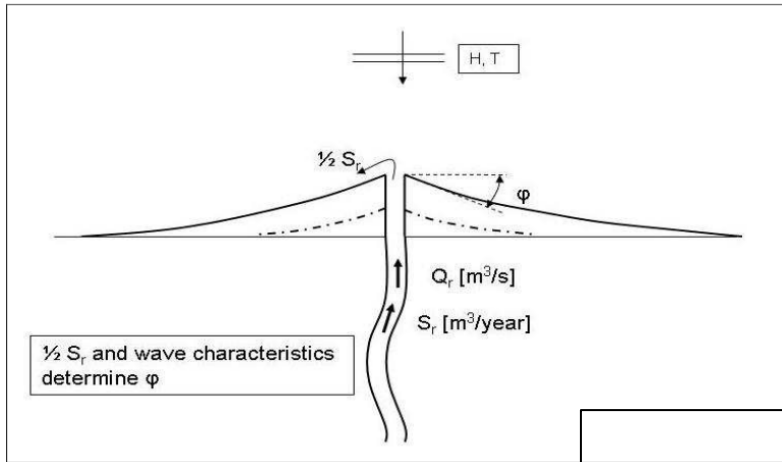


Bồi vượt ra ngoài đầu đập:

Bồi tụ và xói lở ở 2 phía đập với dạng gần như đối xứng nhau

# Bài toán phát triển cửa sông châu thổ

Với bờ biển ban đầu thẳng, một cửa sông chạy vuông góc với lưu lượng bùn cát đổ ra biển bằng  $Q_R$ , bỏ qua ảnh hưởng của sóng. Có thể coi lượng bùn cát này được chia đều sang 2 bên cửa sông gây bồi.



Điều kiện ban đầu:  $y = 0$  tại  $t = 0$

Điều kiện biên:  $x = \pm\infty \rightarrow S_x = 0$  với  $t > 0$

$x = 0 \rightarrow S_x = \pm Q_R/2$  với  $t > 0$

$x = 0 \rightarrow \frac{\partial y}{\partial x} = \varphi'$  với  $t > 0$

Nghiệm của bài toán:

$$y(t) = \varphi' \sqrt{\frac{4Gt}{\pi}} \left[ \exp(-u^2) - u\theta\sqrt{\pi} \right]$$

Vẫn với:  $u = -\frac{x}{\sqrt{4Gt}}$ ,  $\theta = \text{erfc}(u)$  (hàm bù sai số)

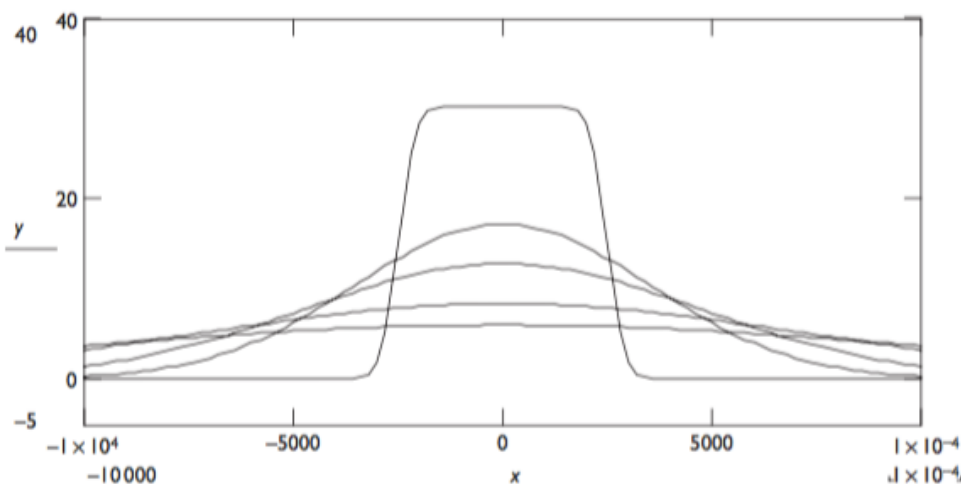
Nhưng  $\varphi'$  được lấy theo biểu thức:  $\varphi' = \arcsin\left(\frac{Q_R}{2Gd}\right)$

Khoảng cách bồi lớn nhất bằng bao nhiêu?

# Bài toán nuôi bãi

Với bờ biển ban đầu thẳng, thực hiện nuôi bãi với lượng cát trên mặt bằng là hình chữ nhật (kích thước  $2\ell$  dọc bờ  $\times$   $Y$  ngang bờ). Hãy tính diễn biến mặt bằng bờ biển.

<http://bit.ly/2ugpQXk>



Nghiệm của bài toán:

Điều kiện ban đầu: tại  $t = 0$ :

$$y = 0 \text{ với } |x| > \ell$$

$$y = b \text{ với } |x| \leq \ell$$

Điều kiện biên:  $x = \pm\infty \rightarrow S_x = 0$  với  $t > 0$

$$y(t) = \frac{Y}{2} \left[ \operatorname{erf} \left( \frac{\ell - x}{2\sqrt{Gt}} \right) + \operatorname{erf} \left( \frac{\ell + x}{2\sqrt{Gt}} \right) \right]$$

với: erf là hàm sai số (tra đồ thị slide ...)

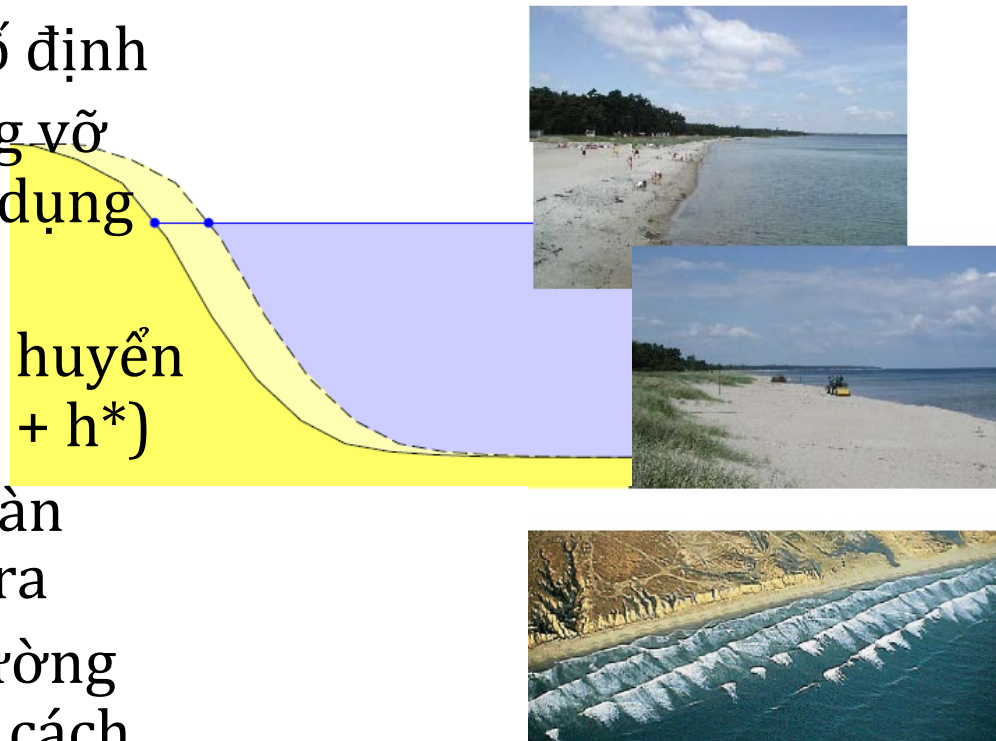
Do bản chất khuếch tán nên vùng nuôi bãi bị “bệt” đi.

Vị trí đường bờ nhô ra nhất (ít bị bệt đi nhất) là điểm giữa vùng nuôi bãi ( $x=0$ ) với  $y_{\max}(t) = ?$

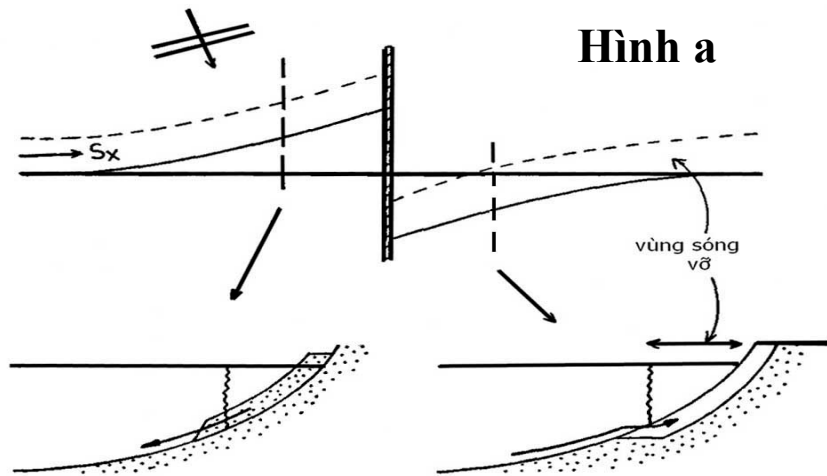


# Các giả thiết của lý thuyết đường đơn

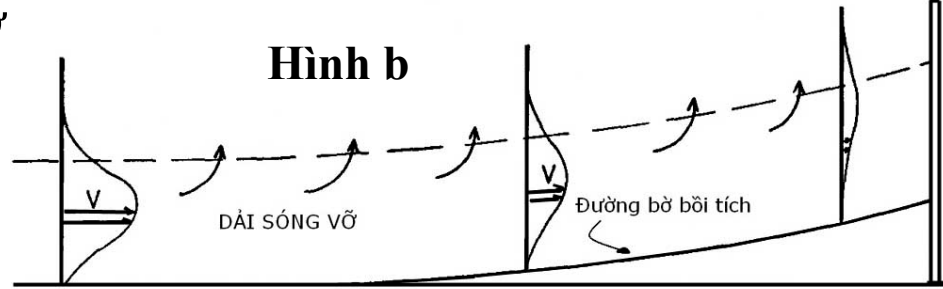
1. Hình dạng mặt cắt ngang cố định
2. Năng lượng sinh ra khi sóng vỡ tạo thành dòng chảy có tác dụng VCBC
3. Mặt cắt ngang bãi biển dịch huyển trong giới hạn cho trước ( $B + h^*$ )
4. Không xét tới dòng tuần hoàn ở ven bờ do công trình tạo ra
5. Biểu thị xu thế diễn biến đường bờ trong thời đoạn dài một cách rõ rệt
6. Góc đường bờ nhỏ (hạn chế đối với trường hợp đường bờ biến dạng nhiều so với đường cong cơ sở ban đầu).



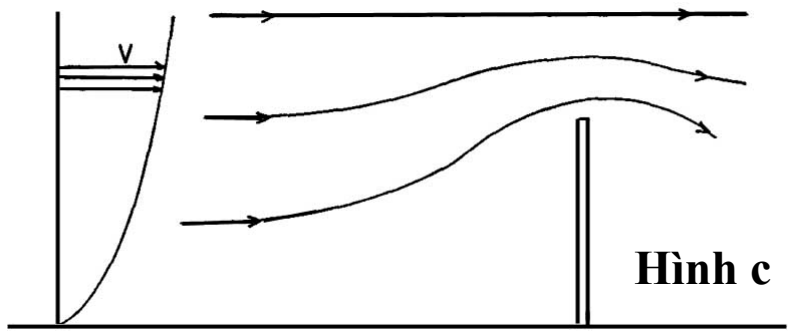
Hình a



Hình b



Hình c

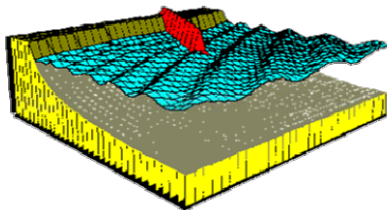


**Hạn chế khác của lý thuyết đường đơn  
riêng với bài toán đập liền bờ**

1. Giả thiết góc  $\varphi'$  nhỏ chưa đúng với thực tế
2. Đường bờ tính toán phải là đường bờ thẳng và có giá trị bằng  $(4,43/\varphi')$  lần chiều dài của đập phá sóng. Giả sử  $\varphi' = 10^\circ = 0.175$  rad và L đập phá sóng = 1000 m, thì đoạn bờ thẳng theo giả thiết kéo dài đến 25 km !!
3. Giả thiết độ dốc đáy biển không đổi dọc dải bờ trong suốt quá trình tính toán là không thực tế vì quá trình bồi độ dốc thay đổi cả phía bồi và phía xói (Hình a).
4. Càng gần đập mở hàn lưu tốc dòng chảy giảm dần, nhưng lại xuất hiện thành phần hướng ngang chảy ra ngoài khơi. Hiện tượng này không được xét tới (Hình b).
5. Chưa xét tới ảnh hưởng của dòng triều (Hình c).
6. Ảnh hưởng của cửa sông?

# Giới thiệu mô hình GENESIS (1D)

**GENESIS**

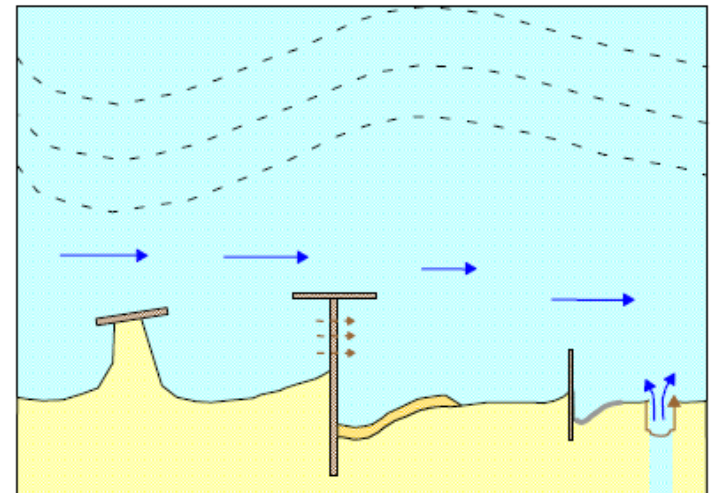
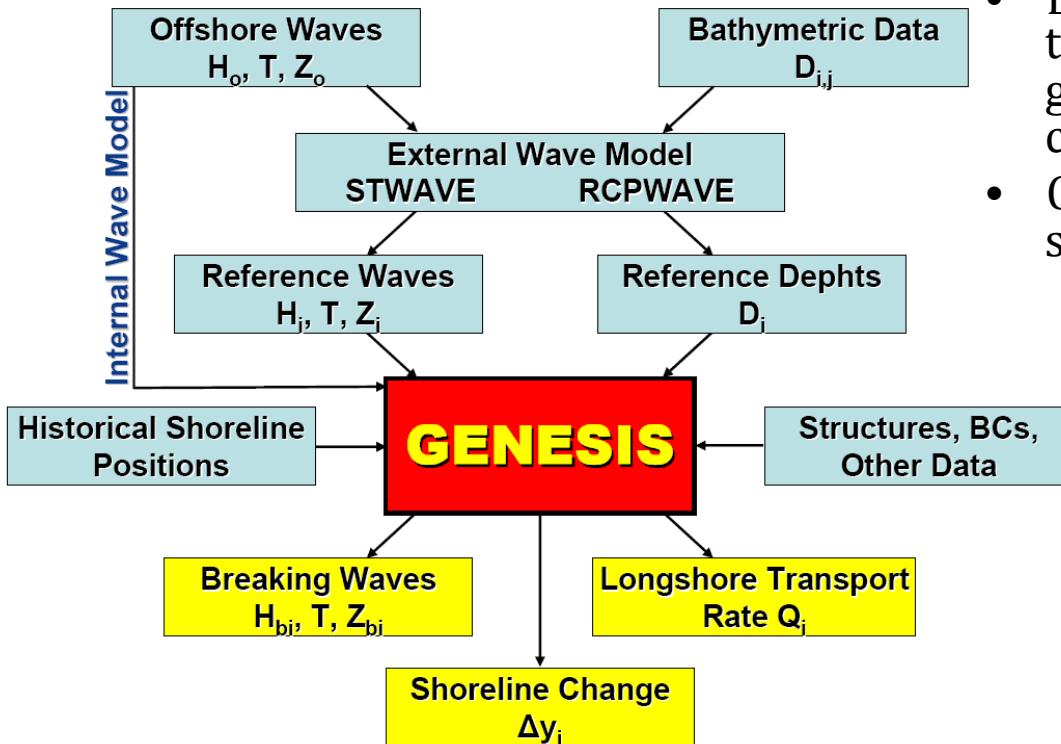


GENERalized Model for SIMulating Shoreline Change

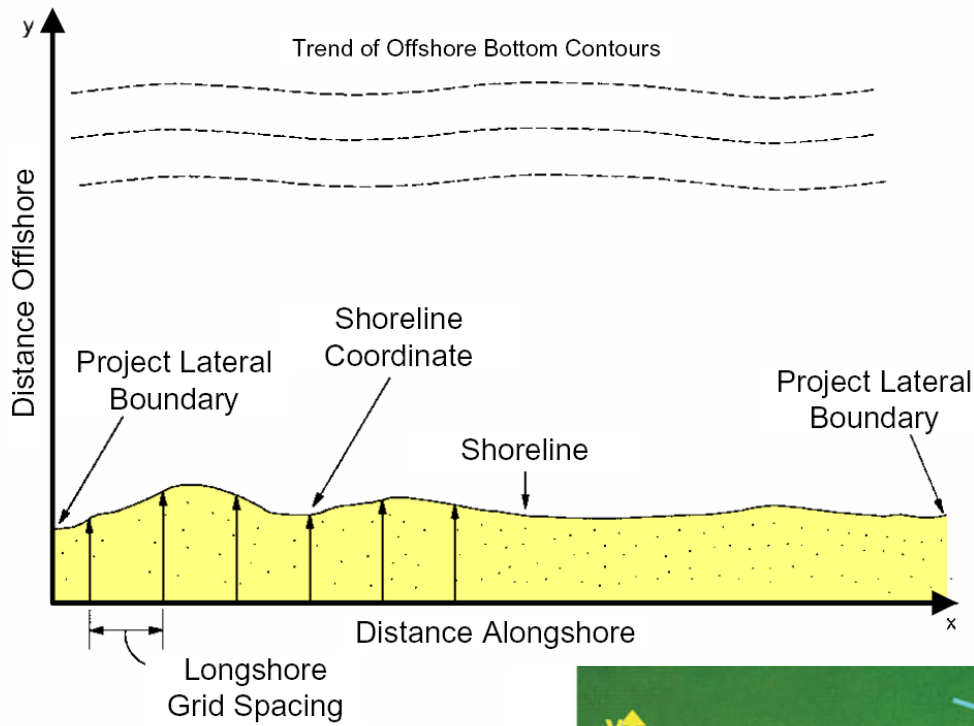
- Tính toán **biến đổi đường bờ** do chênh lệch bùn cát vận chuyển **dọc bờ** theo không gian và thời gian
- Phạm vi tính toán dọc bờ : từ 1-300 km
- Giới hạn tính toán theo không gian: từ 1-30 năm

• Tính năng GENESIS:

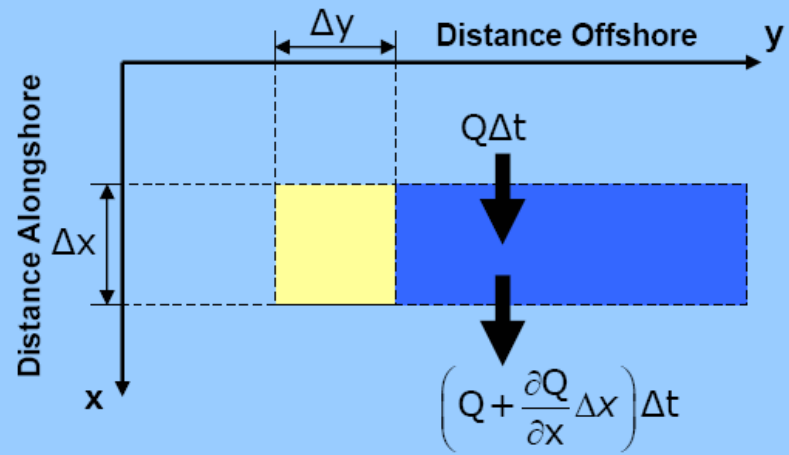
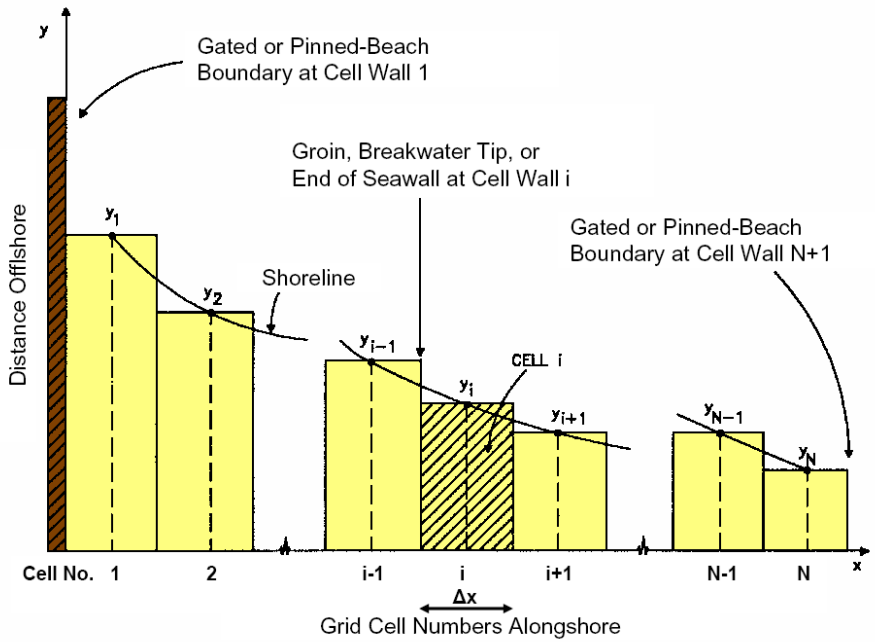
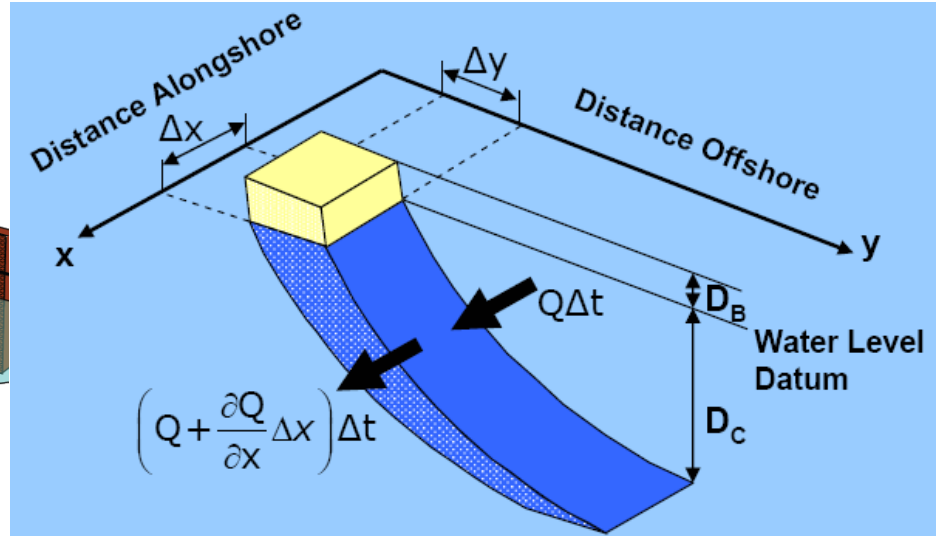
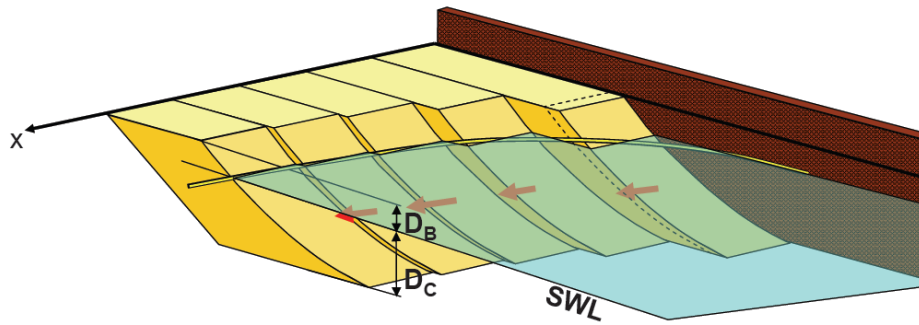
- Mô phỏng với điều kiện sóng phức hợp (biến đổi theo thời gian)
- Biểu diễn được một tập hợp các công trình nhiều chủng loại, xếp tùy ý bao gồm: mỏ hàn, đê chắn sóng, tường biển, các phương án nuôi bãi, chuyển cát.
- Các hiện tượng khúc xạ sóng, nhiễu xạ sóng, truyền qua công trình.



# Đường cơ sở (baseline) và sơ đồ hóa đường bờ



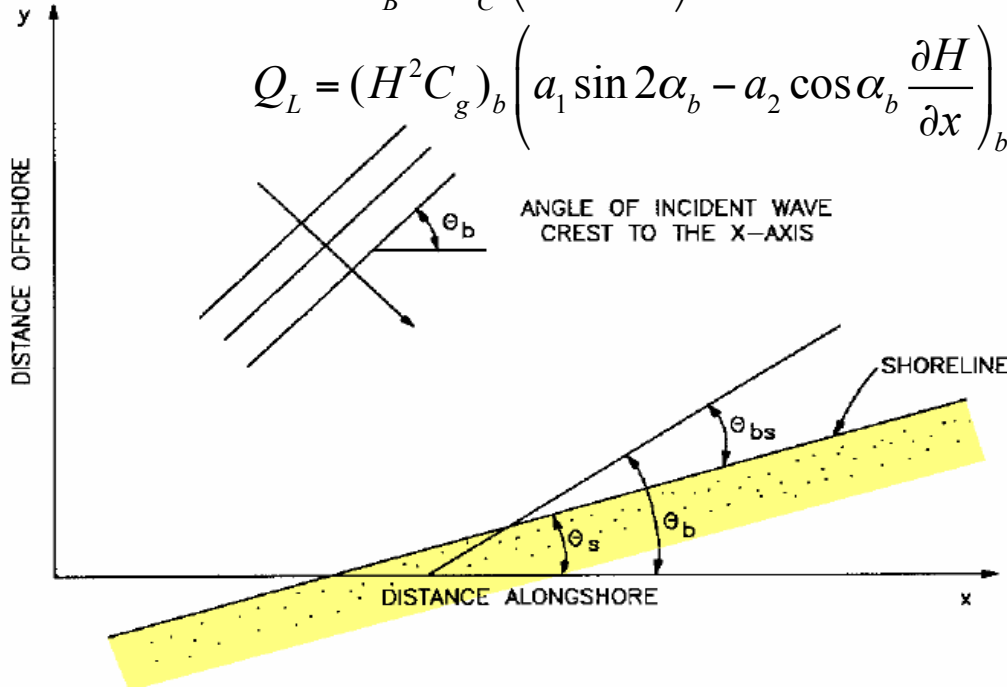
# Phân ô và các thành phần VCBC tại 1 ô lưới tính toán



# Các PT cơ bản trong mô hình GENESIS

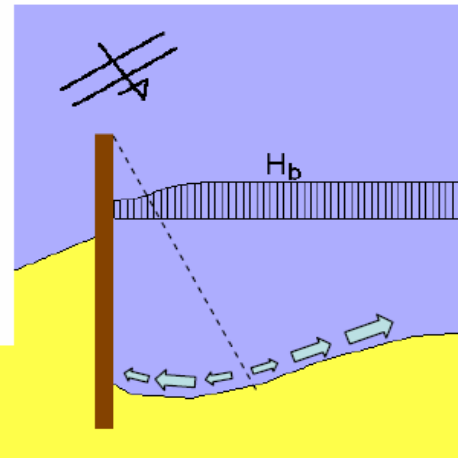
$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{D_B + D_C} \left( \frac{\partial Q_L}{\partial x} - q \right) = 0$$

$$Q_L = (H^2 C_g)_b \left( a_1 \sin 2\alpha_b - a_2 \cos \alpha_b \frac{\partial H}{\partial x} \right)_b$$



$$D_C = \frac{K_1}{16\Delta(1-n)(1.416)^{2.5}}$$

$$a_2 = \frac{K_2}{8\Delta(1-n) \tan \beta (1.416)^{3.5}}$$



## Hạn chế của mô hình GENESIS

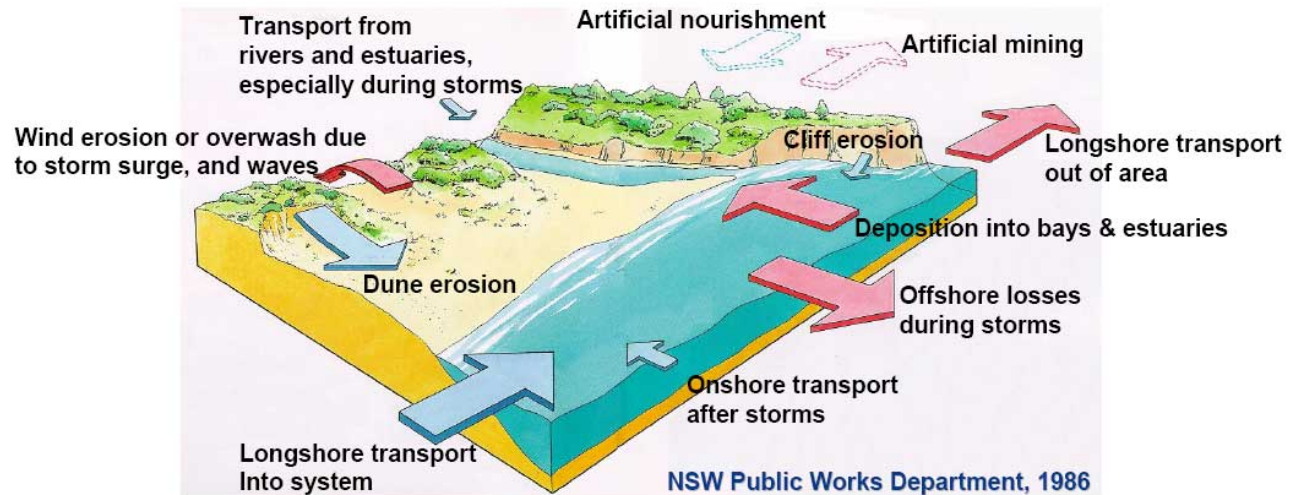
- Hạn chế cơ bản của lý thuyết đường đơn
- Tính toán sự biến đổi mực nước triều gián tiếp
- Không xét tới sóng phản xạ từ công trình
- Một số hạn chế khi bố trí công trình trên mô hình

# Yêu cầu chung số liệu đầu vào của mô hình

- Vị trí đường bờ (*trong 3 thời điểm khác nhau để hiệu chỉnh thông số & kiểm định mô hình*)
- Chuỗi số liệu sóng (H,T,  $\theta$ )
- Mặt cắt ngang bãi biển và địa hình đáy ở vùng ven bờ
- Đường kính bùn cát trung vị  $D_{50}$
- Các hoạt động diễn ra ở lân cận bờ biển (công trình, nuôi bãi, khai thác cát, v.v.): vị trí, thời gian, đặc điểm.
- Vận chuyển bùn cát trong khu vực (dòng ven bờ, đường VCBC, cân bằng bùn cát)
- Địa chất trong khu vực (*sources & sinks of sediments*); phân bố đường kính bùn cát, xu thế diễn biến đường bờ trong khu vực, hiện tượng sụt lún và hiện tượng dâng lên của MNB.
- Mực nước (biên độ triều và cao trình MN so với cao trình bờ biển)
- Các hiện tượng thời tiết bất thường (sóng, nước dâng, công trình hư hỏng, hiện tượng lấp, mở cửa biển, động đất v.v.)
- Các hiện tượng khác (vùng khuất sóng do ảnh hưởng địa hình, dòng chảy mạnh ở bờ biển)

# Cân bằng bùn cát và tác động của sóng, dòng chảy

1. Xác định cân bằng bùn cát trong miền tính của mô hình từ tất cả các nguồn: Mặt cắt dọc bãi biển, nuôi bãi, nạo vét, khai thác cát, công trình chắn giữ bùn cát (đập, cửa biển), diễn biến đường bờ trong quá khứ, xói lở đụn cát, vách bờ...
2. Đánh giá phân phối bùn cát từ các nguồn đối với quá trình diễn biến dọc bờ
3. Kết hợp các tác động do sóng và dòng triều gây ra đối với cân bằng bùn cát dọc bờ





# Lựa chọn chuỗi số liệu đường bờ, hiệu chỉnh thông số và kiểm định mô hình

- Chọn các vị trí đường bờ trong quá khứ ở cùng 1 thời điểm hoặc cùng 1 mùa trong năm
- Xác định các xu thế diễn biến đường bờ tương đối đồng nhất (không nên hiệu chỉnh mô hình trong giai đoạn xói lở đường bờ và kiểm định mô hình trong giai đoạn đường bờ được bồi !)
- Nên hiệu chỉnh thông số mô hình trong thời đoạn ngắn (từ 3-10 năm)
- Nên kiểm định mô hình cho thời đoạn dài (từ 5-20 năm)

# Mô phỏng diễn biến 2D trên mặt bằng

- PT Exner 
$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{1-n} \left( \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right)$$
- Phân chia ô lưới tính toán
- Kèm thêm tính thuỷ động lực (sóng, triều)
- Ví dụ: mô hình XBeach [www.xbeach.org](http://www.xbeach.org)
- Hình bên: bản đồ màu biểu diễn địa hình đáy cùng với vec tơ vận tốc dòng chảy khi có công trình đê chắn sóng.
- Để định lượng bồi xói người ta còn dùng bản đồ “biến đổi cao trình” so với ban đầu:

$$\Delta z = z_{b(t)} - z_{b(t=0)}$$

