

# Khuếch đại năng lượng sóng mặt và hạn chế ảnh hưởng bất đồng nhất ngang trong phương pháp phân tích sóng mặt đa kênh (MASW)

Nguyễn Nhật Kim Ngân<sup>1</sup>, Đỗ Văn Lưu<sup>1</sup>, Nguyễn Thành Văn<sup>1</sup>, Trần Phúc Trịnh<sup>1</sup>,  
Võ Mạnh Khương<sup>2</sup>

**Tóm tắt**—Phân tích sóng mặt đa kênh (MASW) là một trong các phương pháp địa chấn tương đối mới trong lĩnh vực địa vật lý tại Việt Nam. MASW cho phép khảo sát sự phân bố độ cứng của môi trường đất đá bên dưới mặt đất thông qua việc xác định giá trị vận tốc truyền sóng ngang  $V_s$  dựa trên kết quả phân tích hình ảnh phổ sóng mặt. Chúng tôi tiến hành đo đạc 1D MASW tại lỗ khoan thuộc dự án phát triển khu dân cư tại quận 2, thành phố Hồ Chí Minh với hệ thống máy thu được giữ cố định, vị trí nổ và khoảng cách thu nổ khác nhau. Các hình ảnh phổ sóng mặt được cộng dồn để khuếch đại năng lượng sóng mặt trên hình ảnh phổ sóng, làm giảm ảnh hưởng của các bất đồng nhất theo phương ngang và các ảnh hưởng đến từ khoảng cách nổ quá gần hoặc quá xa. Các điểm dữ liệu được lựa chọn từ đường cong vận tốc pha trên hình ảnh phổ sóng mặt cho quá trình giải bài toán ngược nhằm xác định vận tốc truyền sóng ngang  $V_s$ . Giá trị  $V_s$  theo MASW được so sánh với thành phần thạch học trong lỗ khoan và  $V_s$  theo phương pháp địa chấn khác (down-hole). Độ lệch tương đối giữa hai phương pháp nhỏ hơn 10%. Sự thay đổi của giá trị  $V_s$  theo MASW hoàn toàn phù hợp với các tầng địa chất trong lỗ khoan, bao gồm, lớp đất sang lấp gần mặt (93 m/s), lớp bùn xám (68–157 m/s), lớp sét lẫn cát (250–265 m/s) và phân lớp sét bên dưới (254–400 m/s).

**Từ khóa**—phân tích sóng mặt đa kênh, MASW, vận tốc truyền sóng ngang, phổ sóng mặt, down-hole

Ngày nhận bản thảo 03-01-2018; ngày chấp nhận đăng 08-05-2018; ngày đăng 20-11-2018

Nguyễn Nhật Kim Ngân<sup>1</sup>, Đỗ Văn Lưu<sup>1</sup>, Nguyễn Thành Văn<sup>1</sup>, Trần Phúc Trịnh<sup>1</sup>, Võ Mạnh Khương<sup>2</sup> – <sup>1</sup>Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM, <sup>2</sup>Liên đoàn Bản đồ Địa chất Miền Nam Việt Nam

\*Email: nnkngan@hcmus.edu.vn

## 1. GIỚI THIỆU

Vận tốc truyền sóng ngang  $V_s$  là tham số quan trọng trong địa vật lý cho phép đánh giá độ cứng của môi trường đất đá bên dưới mặt đất [7]. Từ giá trị  $V_s$ , các tham số đàn hồi khác của môi trường đất đá như mô đun Young, mô đun biến dạng trượt có thể được xác định. Tại Việt Nam, theo quy chuẩn đã có, các phương pháp địa chấn truyền thống như down-hole và cross-hole được sử dụng một cách rộng rãi trong việc xác định  $V_s$  [4]. Tuy nhiên, các phương pháp này đều là phương pháp phá hủy, đòi hỏi phải có lỗ khoan tại khu vực khảo sát, thời gian khảo sát lâu và chi phí tương đối cao [3, 5]. Trong khi đó, phương pháp phân tích sóng mặt đa kênh (MASW) cho thời gian khảo sát nhanh, quy trình đơn giản và ít tốn kém hơn [3, 5]. Do đó việc sử dụng MASW để khảo sát cấu trúc và độ cứng dưới mặt đất được xem là phương pháp bổ sung hoặc thay thế các phương pháp vừa nêu.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành đo đạc theo phương pháp 1D MASW trên lỗ khoan tại khu vực quận 2, thuộc khu đô thị Thủ Thiêm. Vị trí hệ các máy thu được giữ không đổi trong suốt quá trình đo đạc, tiến hành đo điểm nổ thuận nghịch hai đầu, khoảng cách nguồn nổ được thay đổi nhằm giảm thiểu các ảnh hưởng đến từ khoảng cách nguồn quá gần hoặc quá xa cũng như các ảnh hưởng bất đồng nhất ngang khi xem giá trị  $V_s$  bên dưới mặt đất chỉ thay đổi theo độ sâu trong khảo sát 1D MASW. Giá trị  $V_s$  phân tích theo phương pháp phân tích sóng mặt đa kênh được đối chiếu với lỗ khoan địa chất tại khu vực và kết quả  $V_s$  từ phương pháp địa chấn truyền thống down-hole.

**Sóng Rayleigh**

Sóng Rayleigh hình thành từ sự giao thoa giữa sóng dọc P và sóng ngang SV khi đến bề mặt ranh giới tự do (ranh giới giữa môi trường đất đá bên dưới và môi trường không khí bên trên bề mặt). Phương trình truyền sóng Rayleigh thể hiện mối quan hệ giữa vận tốc pha sóng Rayleigh (c) và vận tốc truyền sóng ngang  $V_s$ , vận tốc truyền sóng dọc  $V_P$  [7, 8]:

$$\left(2 - \frac{c^2}{V_s^2}\right)^2 = 4\left(1 - \frac{c^2}{V_P^2}\right)^{\frac{1}{2}}\left(1 - \frac{c^2}{V_s^2}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{1}$$

Đặt  $\xi = (c/V_s)^2$  và  $q = (V_s/V_P)^2$ , viết lại phương trình (1):

$$\xi^3 - 8\xi^2 + 8(3 - 2q)\xi + 16(q - 1) = 0 \tag{2}$$

Hệ số Poisson:

$$\sigma = [V_P^2 - 2V_s^2]/[2(V_P^2 - V_s^2)] \tag{3}$$

Đặt  $\rho$  là mật độ đất đá, mô đun biến dạng trượt:  $G = \rho V_s^2$  (4)

Đối với môi trường đất đá là vỏ trái đất,  $\sigma = 0,25$  và  $q = 1/3$ , phương trình (2) trở thành [7, 8]:

$$\xi^3 - 8\xi^2 + \frac{56}{3}\xi - \frac{32}{3} = 0 \tag{5}$$

Trong môi trường bán không gian đồng nhất, sóng Rayleigh truyền với vận tốc pha [7, 8]:

$$c = \sqrt{\xi} \cdot V_s \tag{6}$$

**Đường cong vận tốc pha sóng Rayleigh**

Xét phân lớp có bề dày H nằm trên môi trường bán đồng nhất, bên dưới mặt đất, có vận tốc truyền sóng dọc, vận tốc truyền sóng ngang, hệ số Lamé và số sóng trong mỗi phân lớp lần lượt là  $V_s, V_P, \mu, k, V_s', V_P', \mu', k'$ .

Đặt  $r = [(c^2/V_P^2) - 1]^{1/2}, s = [(c^2/V_s^2) - 1]^{1/2}, a' = kr'H, b' = ks'H, a = krH, b = ksH$ , phương trình đường cong vận tốc pha của sóng Rayleigh (Love, 1911) [8]:

$$\xi \eta' - \xi' \eta = 0 \tag{7}$$

trong đó

$$\xi = (1 - s^2)[X \cos a' + (Yr/r') \sin a'] + 2s'[Wr \sin b' - Z/s' \sin b] \tag{8}$$

$$\xi' = (1 - s'^2)[Ws \cos a' + Zr' \sin a'] + 2s'[X \sin a' - (Ys/s') \cos b'] \tag{9}$$

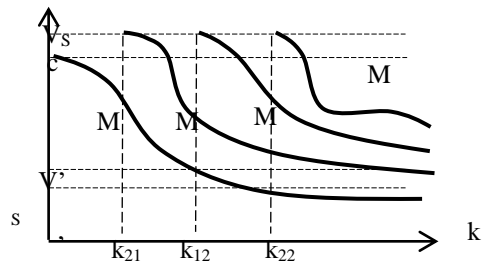
$$\eta = (1 - s^2)[Wr \cos b' + (Z/s') \sin b'] + 2r'[X \sin a' - (Yr/r') \cos a'] \tag{10}$$

$$\eta' = (1 - s'^2)[X \cos b' + (Ys/s') \sin b'] + 2r'[Wss \sin a' - (Z/r') \cos a'] \tag{11}$$

$$g = \mu/\mu', X = gc^2/V_s'^2 - 2(g - 1), Y = c^2/V_s'^2 + 2(g - 1) \tag{12}$$

$$Z = gc^2/V_s'^2 - c^2/V_s'^2 - 2(g - 1), W = 2(g - 1) \tag{13}$$

Nghiệm của phương trình đường cong vận tốc pha sóng Rayleigh (7) cho thấy vận tốc truyền sóng Rayleigh là một hàm theo tần số  $c(k)$  hay nói cách khác  $c(\omega)$ , có vô số nghiệm tương ứng với các dạng đường cong vận tốc pha khác nhau. Hai đường cong vận tốc pha có dạng đối xứng  $M_{11}, M_{12}$  và hai đường cong vận tốc pha có dạng bất đối xứng  $M_{21}, M_{22}$  (Hình 1). Đối với đường cong vận tốc pha cơ bản  $M_{11}$ , tại dải tần số thấp ( $k = 0$ ), vận tốc truyền sóng tiến đến vận tốc truyền sóng Rayleigh trong môi trường bán không gian đồng nhất ( $c = 0,92 V_s$ ) và tại dải các tần số cao ( $k = \infty$ ), vận tốc tiến đến vận tốc truyền sóng Rayleigh trong phân lớp bên trên ( $c' = 0,92 V_s'$ ) [8].



**Hình 1.** Đường cong vận tốc pha sóng Rayleigh: đường cong cơ bản ( $M_{11}$ ) và 3 đường cong bậc cao đầu tiên ( $M_{12}, M_{21}, M_{22}$ )

**Bài toán ngược**

Vận tốc pha sóng Rayleigh (c) được xác định thông qua hàm F [6, 7]:

$$F(f_j, c_j, V_s, V_P, \rho, h) = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, m) \tag{14}$$

Trong đó,  $c_j$  là vận tốc pha sóng Rayleigh tại tần số  $f_j$ ;  $V_s, V_P, \rho, h$  là các véc tơ gồm các thành phần vận tốc truyền sóng ngang ( $V_{si}$ ), vận tốc truyền sóng dọc ( $V_{pi}$ ), mật độ ( $\rho_i$ ), bề dày ( $h_i$ ) của phân lớp thứ  $i$  và  $m$  là tổng số phân lớp mô hình đất đá bên dưới mặt đất theo phương ngang. Đối với một tập giá trị các tham số mô hình ( $V_s, V_P, \rho, h$ ) tại

một tần số xác định  $f_j$ , các nghiệm của phương trình (14) là giá trị vận tốc pha sóng Rayleigh. Nếu đường cong vận tốc pha bao gồm  $m$  điểm số liệu, sẽ có  $m$  phương trình (14) được dùng để xác định các vận tốc pha tại các tần số  $f_j$ . Vận tốc pha sóng Rayleigh là một hàm của bốn tham số  $V_S, V_P, \rho, h$ . Tuy nhiên, chỉ có sự thay đổi của  $V_S$  tác động chủ yếu lên vận tốc pha sóng Rayleigh. Do đó, giá trị vận tốc truyền sóng  $V_S$  có thể được xác định thông qua các giá trị vận tốc pha sóng Rayleigh. Ma trận Jacobian của mô hình tương ứng với vận tốc  $V_S$  tại tần số  $f_j$  [6, 7]:

$$J = \left[ -\frac{\partial F/\partial V_{Sj}}{\partial F/\partial c} \right]_{f=f_j} \quad (15)$$

Gọi  $x = [V_{S1}, V_{S2}, \dots, V_{Sn}]$  là véc tơ gồm  $n$  phần tử chứa các giá trị vận tốc  $V_S$  của mô hình,  $b = [b_1, b_2, \dots, b_m]$  là véc tơ gồm các giá trị đo đạc của vận tốc pha sóng Rayleigh tại  $m$  tần số khác nhau [6, 7]:

$$J\Delta x = \Delta b \quad (16)$$

Trong đó,  $\Delta b$  là độ sai khác giữa giá trị đo đạc và giá trị mô hình,  $c(x_0)$  là vận tốc pha của mô hình tương ứng với vận tốc truyền sóng  $S$  ban đầu,  $\Delta x$  là độ hiệu chỉnh được tính toán. Phương trình (16) có thể được giải thông qua thuật toán tối ưu hóa, phương pháp bình phương tối thiểu. Sau mỗi vòng lặp, véc tơ  $\Delta x$  được tính toán và thêm vào các giá trị của mô hình. Quá trình lặp sẽ tiếp diễn cho đến khi sai số giữa số liệu đo đạc và số liệu mô hình ( $\Delta b$ ) giảm xuống đến một giá trị hợp lý [6, 7].

### Đo đạc 1D MASW

Đối với khảo sát 1D MASW, hệ thống máy thu được rải trên mặt đất với tâm hệ được đặt tại vị trí cần khảo sát và ghi nhận sự thay đổi giá trị  $V_S$  theo độ sâu. Theo lý thuyết, mặt cắt 1D  $V_S$  có thể thu được chỉ cần một vị trí điểm nổ khi môi trường bên dưới mặt đất xem như đồng nhất theo phương ngang. Trong quá trình phân tích số liệu, điều kiện đất đá bên dưới mặt đất được trung bình hóa theo phương ngang dọc theo hệ máy thu. Kết quả là mặt cắt 1D  $V_S$  thể hiện sự thay đổi giá trị vận tốc truyền sóng ngang  $V_S$  theo độ sâu bên dưới mặt đất tại tâm của hệ máy thu. Mặt cắt 1D  $V_S$  thể hiện 100% sự thay đổi giá trị vận tốc  $V_S$  theo độ sâu ứng với vị trí tâm của hệ máy thu. Tuy nhiên trên thực tế, môi trường địa chất bên dưới mặt đất là bất đồng nhất theo độ sâu lẫn phương ngang, do đó việc lựa chọn khoảng cách thu nổ tối ưu trong khảo sát MASW để sóng mặt đạt được năng lượng

lớn và tín hiệu rõ ràng nhất là điều hết sức cần thiết, góp phần giảm thiểu các ảnh hưởng nhiễu. Có hai yếu tố ảnh hưởng lớn nhất đến sự hình thành và lan truyền sóng mặt là ảnh hưởng do khoảng cách thu nổ (khoảng cách giữa điểm nổ và máy thu thứ nhất) quá gần hoặc quá xa [2, 10].

Sóng Rayleigh được hình thành từ sự giao thoa giữa các sóng khối, trong đó các sóng khối được tạo ra do hiện tượng giao thoa và phản xạ. Do đó, nếu khoảng cách thu nổ quá gần sẽ ảnh hưởng đến khả năng giao thoa của các sóng khối, hạn chế sự hình thành và lan truyền sóng của sóng mặt. Trong quá trình đo đạc MASW, khoảng cách thu nổ phải lớn hơn một giới hạn thu nổ nhỏ nhất nào đó để dữ liệu thu được không bị ảnh hưởng quá nhiều bởi sóng khối, nhiễu xung quanh và năng lượng sóng mặt chiếm ưu thế nhiều nhất. Khoảng cách giới hạn cực tiểu này thay đổi theo bước sóng. Giới hạn cực tiểu sẽ lớn trong trường hợp bước sóng dài và ngược lại. MASW được đo đạc trong một dải bước sóng nhất định. Dải bước sóng này được xác định từ khoảng cách giữa các máy thu và chiều dài toàn bộ hệ thống máy thu. Giới hạn cực tiểu của khoảng cách thu nổ trong khoảng 25–50% chiều dài hệ thống máy thu [10].

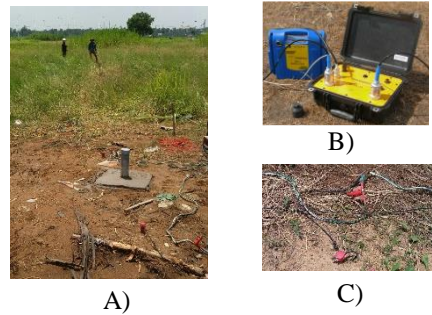
Mặc dù sóng mặt mạnh hơn nhiều so với sóng khối khi nó được hình thành gần điểm nổ, tuy nhiên, độ suy giảm của sóng mặt nhanh hơn sóng khối. Kết quả là sau khi lan truyền đến một khoảng cách nào đó, năng lượng của sóng mặt sẽ giảm nhanh và thấp hơn mức năng lượng sóng khối và nhiễu từ môi trường xung quanh. Do đó, khoảng cách từ hệ thống máy thu đến nguồn nổ phải nhỏ hơn một khoảng cách giới hạn xác định (khoảng cách giới hạn cực đại) [10].

Việc đo đạc nhiều mặt cắt địa chấn với cùng vị trí hệ máy thu nhưng khoảng cách, vị trí điểm nổ khác nhau (nổ hai đầu thuận nghịch), sau đó, số liệu được cộng dồn thành một hình ảnh phổ sóng mặt duy nhất trong quá trình phân tích có thể giảm thiểu ảnh hưởng đến từ khoảng cách thu nổ quá gần hoặc quá xa và ảnh hưởng của bất đồng nhất theo phương ngang [2, 10].

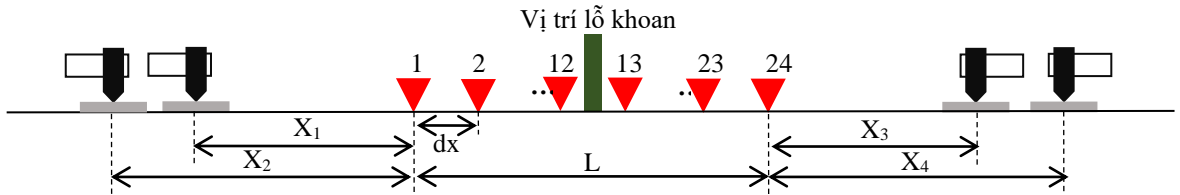
## 2. PHƯƠNG PHÁP

Chúng tôi tiến hành thu thập số liệu 1D MASW tại lỗ khoan thuộc dự án phát triển khu dân cư, quận 2, thành phố Hồ Chí Minh (Hình 2A). Máy địa chấn RAS-24 (Hình 2B) kết hợp với 24 máy thu (geophones) tần số thấp 4,5 Hz (Hình 2C) được sử dụng để ghi nhận các dao động của đất đá bên dưới mặt đất dưới dạng băng ghi địa chấn. Tất

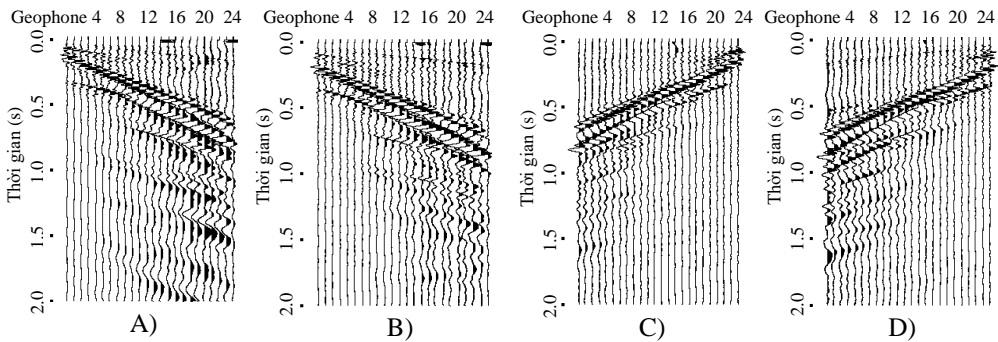
cả các dạng sóng địa chấn bao gồm sóng khúc xạ, phản xạ, sóng trực tiếp, sóng mặt, ... đều được ghi nhận trên băng ghi địa chấn này. Hệ thống máy thu được bố trí cách đều nhau, khoảng cách giữa hai geophones gần nhau nhất là 2 m. Lỗ khoan địa chất nằm giữa geophone 12 và 13 (Hình 2A). Trong suốt quá trình đo đạc 1D MASW, toàn bộ hệ thống máy thu được giữ cố định, khoảng cách thu nổ cũng như vị trí điểm nổ được thay đổi, nổ hai đầu thuận nghịch, khoảng cách thu nổ lần lượt có các giá trị 10 m và 16 m (Hình 3). Búa tạ 9 kg và đe sắt được sử dụng để tạo ra các dao động lan truyền bên trong lòng đất. Tổng thời gian đo trên mỗi băng ghi địa chấn là 2 s, bước lấy mẫu là 0,125 ms. Tổng cộng có bốn băng ghi địa chấn tương ứng với vị trí nổ thuận nghịch hai đầu và hai khoảng cách thu nổ 10 m và 16 m (Hình 4).



Hình 2. (A) Khảo sát 1D MASW; (B) Máy địa chấn RAS-24; (C) Geophone 4,5 Hz



Hình 3. Sơ đồ hệ máy thu và vị trí các điểm nổ trên tuyến đo 1D MASW: khoảng cách giữa các geophones  $dx = 2$  m; độ dài hệ máy thu  $L = 46$  m; hai điểm nổ thuận  $X_1 = 10$  m và  $X_2 = 16$  m; hai điểm nổ nghịch  $X_3 = 10$  m và  $X_4 = 16$  m



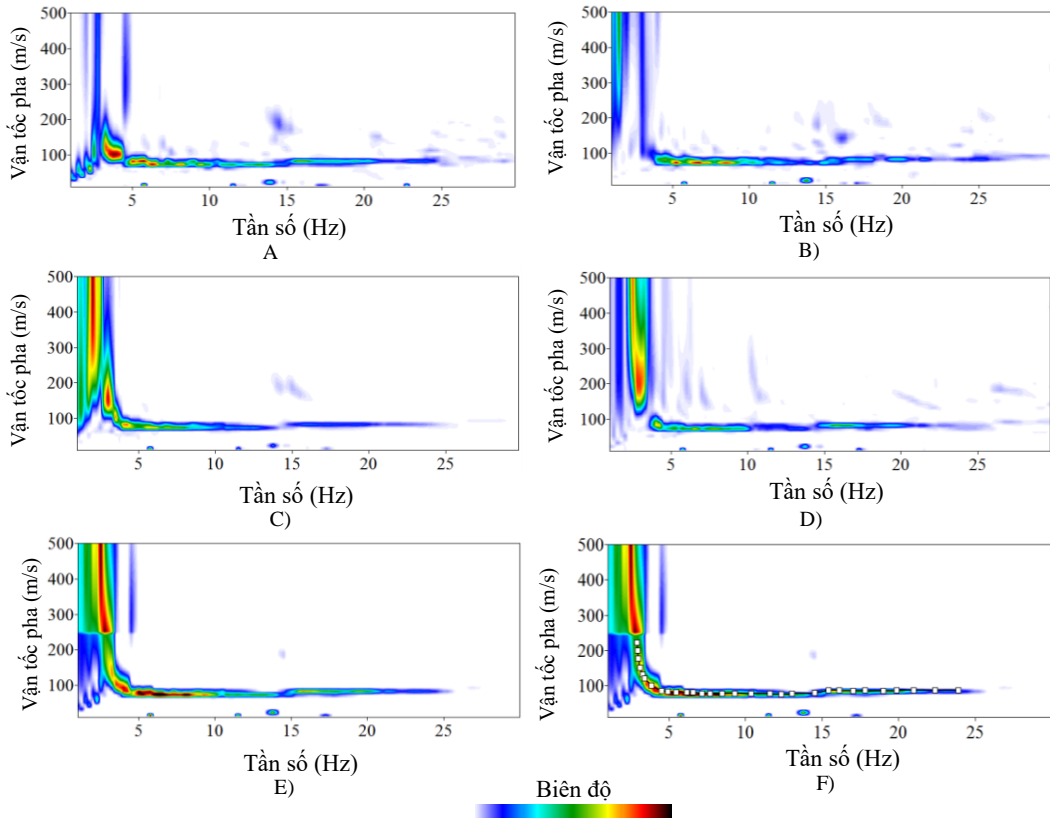
Hình 4. Băng ghi địa chấn tương ứng với các vị trí và khoảng cách thu nổ khác nhau: (A)  $X_1 = 10$  m; (B)  $X_2 = 16$  m; (C)  $X_3 = 10$  m; (D)  $X_4 = 16$  m

Chúng tôi sử dụng phần mềm chuyên dụng có bản quyền PS của công ty Park Seismic trong quá trình phân tích số liệu [1]. Môi trường bất đồng nhất theo phương ngang bên dưới mặt đất, khoảng cách thu nổ quá gần hoặc quá xa đều có thể ảnh hưởng lên băng ghi địa chấn cũng như quá trình phân tích số liệu. Băng ghi địa chấn được biến đổi từ miền không gian - thời gian ( $t-x$ ) sang miền tần số - vận tốc pha ( $f-c$ ) để thu được các hình ảnh phổ sóng mặt (Hình 5A, 5B, 5C, 5D). Các hình ảnh phổ sóng mặt sau đó được cộng dồn trong quá

trình phân tích nhằm trung bình hóa các bất đồng nhất theo phương ngang (Hình 5E), góp phần khuếch đại tín hiệu sóng mặt, hạn chế ảnh hưởng đến từ khoảng cách thu nổ quá gần hoặc quá xa. Trên hình ảnh phổ sóng mặt, nơi tập trung năng lượng sóng mặt cực đại sẽ có dạng đường cong (đường cong vận tốc pha sóng Rayleigh) do vận tốc pha sóng Rayleigh là một hàm theo tần số, trong khi đó các dạng sóng khác không có tính chất này nên dễ dàng được loại bỏ trong quá trình xử lý. Các hình ảnh phổ sóng mặt với nguồn nổ

đơn (Hình 5A, 5B, 5C, 5D) có năng lượng sóng mặt giảm nhanh chóng theo độ sâu gây khó khăn trong việc nhận diện các đường cong vận tốc pha từ tần số khoảng 3 Hz trở xuống ( $\leq 3$  Hz), đặc biệt là hai hình ảnh phổ sóng mặt có nguồn nổ xa 16 m (Hình 5B, 5D) do điểm nổ xa nên năng lượng sóng mặt không đủ để xuyên xuống những độ sâu lớn. Trong khi đó, hình ảnh phổ sóng mặt sau quá trình cộng dồn có độ khuếch đại năng lượng sóng mặt lớn hơn, hình ảnh đường cong vận tốc pha rõ ràng

hơn (Hình 5E). Hình dạng đường cong vận tốc pha sóng Rayleigh cho biết sự thay đổi vận tốc truyền sóng theo độ sâu tại vị trí khảo sát. Đường cong vận tốc pha trên hình ảnh phổ sóng mặt (Hình 5E) thể hiện vận tốc truyền sóng giảm dần tính từ bề mặt (trong khoảng từ 25 Hz đến 5 Hz), đến một độ sâu nhất định ( $\leq 5$  Hz), vận tốc sóng bắt đầu tăng lên đến những giá trị lớn hơn (Hình 5E). Chúng tôi lựa chọn ba mươi điểm giá trị trên đường cong vận tốc pha cho quá trình giải bài toán ngược (Hình 5F).



**Hình 5.** (A), (B), (C), (D) Phổ sóng mặt với khoảng cách thu nổ  $X_1 = 10$  m;  $X_2 = 16$  m;  $X_3 = 10$  m;  $X_4 = 16$  m; (E) Phổ sóng mặt của số liệu sau khi được cộng dồn; (F) Các điểm số liệu được lựa chọn trên đường cong vận tốc pha sóng mặt

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

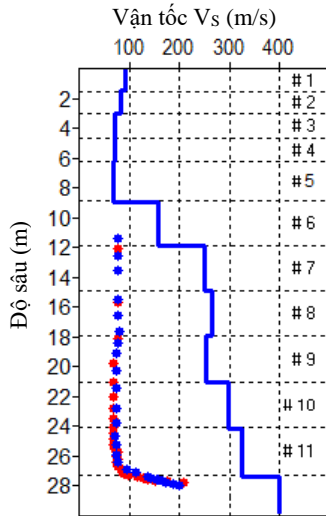
Chúng tôi khảo sát sự thay đổi giá trị vận tốc truyền sóng ngang  $V_s$  từ mặt đất đến độ sâu 30 m, sử dụng phần mềm chuyên dụng xử lý sóng mặt có bản quyền PS của công ty Park Seismic [1]. Quá trình giải bài toán ngược kết thúc sau ba vòng lặp khi tỷ lệ giống nhau giữa giá trị đo đạc thực tế và giá trị mô hình vào khoảng 88,42%. Mặt cắt 1D  $V_s$  thể hiện sự thay đổi giá trị vận tốc truyền sóng ngang theo độ sâu được thể hiện trong Hình 6, có thể thấy các giá trị này hoàn toàn phù hợp với tính chất đàn hồi của các phân lớp thạch học trong lỗ

khoan (Bảng 1). Tương ứng với lớp đất sang lấp trên bề mặt có bề dày 1,5 m, giá trị  $V_s$  tương đối thấp vào khoảng 93 m/s. Từ độ sâu 1,5 m trở đi,  $V_s$  giảm xuống những giá trị thấp hơn khoảng 84 m/s đến 68 m/s phản ánh vận tốc truyền sóng trong phân lớp bùn sét lẫn hữu cơ. Tại đáy của lớp bùn sét hữu cơ (độ sâu khoảng 12 m), giá trị  $V_s$  bắt đầu tăng lên đạt giá trị gần 157 m/s. Sau đó,  $V_s$  tiếp tục tăng trong khoảng 250–265 m/s khi lan truyền trong phân lớp sét pha cát (độ sâu trên 12 m đến gần 18 m). Từ độ sâu 18 m trở xuống, tương ứng với phân lớp sét, vận tốc truyền sóng ngang  $V_s$  tăng dần theo độ sâu (254–400 m/s).

Ngoài ra, giá trị vận tốc truyền sóng ngang  $V_s$  theo MASW (Bảng 2) được so sánh với giá trị  $V_s$  được đo bằng phương pháp địa chấn truyền thống down-hole (Bảng 3) [4]. Hình 7 thể hiện mặt cắt 1D  $V_s$  của cả hai phương pháp trên cùng một đồ thị. Giá trị  $V_s$  theo cả hai phương pháp không có sự khác biệt lớn. Độ lệch tương đối của giá trị vận tốc truyền sóng ngang  $V_s$  giữa hai phương pháp trên mỗi mét độ sâu tại khu vực Thủ Thiêm, quận 2, Thành phố Hồ Chí Minh nhỏ ( $\leq 9\%$ ). Độ lệch tương đối lớn nhất của  $V_s$  giữa hai phương pháp là 9% tại độ sâu 3 m, khi đó  $V_s$  đạt giá trị 84,09 m/s theo MASW và 92,77 m/s theo down-hole [4]. Đối với mỗi độ sâu còn lại, độ lệch tương đối không lớn hơn 5%.

Kết quả đo đạc cho thấy nền địa chất tại khu vực khảo sát từ mặt đất đến độ sâu khoảng 12 m tương

đôi yếu với giá trị vận tốc truyền sóng ngang  $V_s$  thấp. Từ 12 m trở xuống, độ cứng của nền đất tăng theo độ sâu phản ánh qua các trị số  $V_s$  tăng dần. Từ mặt đất đến độ sâu 30 m,  $V_s$  được xác định bằng phương pháp MASW tại Thủ Thiêm, quận 2, thành phố Hồ Chí Minh, thay đổi trong một khoảng tương đối rộng (68–400 m/s). Từ giá trị  $V_s$  phân tích được theo MASW và mật độ đất đá trong thành lỗ khoan (Bảng 1), mô đun biến dạng trượt  $G$  (tham số đàn hồi phản ánh tính cứng của các thành phần đất đá chống lại sự biến dạng dưới tác dụng của ngoại lực) được xác định qua công thức (4). Bảng 2 thể hiện các giá trị vận tốc truyền sóng ngang  $V_s$  và mô đun biến dạng trượt  $G$  tính toán được.



**Hình 6.** Giá trị 1D  $V_s$  theo độ sâu (MASW)  
Chấm xanh: đường cong vận tốc pha số liệu mô hình  
Chấm đỏ: đường cong vận tốc pha số liệu đo đạc

**Bảng 1.** Cột địa tầng khu vực khảo sát

Độ sâu (m)	Bề dày (m)	Ký hiệu	Mật độ (g/cm <sup>3</sup> )	Thành phần thạch học
1,5	1,5		1,48	Đất sạt lấp
12,2	10,7		1,48	Bùn sét lẫn hữu cơ màu xám sẫm
17,8	5,6		1,96	Sét lẫn cát màu vàng nâu, đỏ nâu
30	12,2		2,07	Sét màu vàng xám, đỏ nâu

**Bảng 2.** Giá trị vận tốc truyền sóng ngang  $V_s$  và mô đun biến dạng cắt  $G$  theo MASW

Độ sâu (m)	Bề dày (m)	Mật độ (kg/m <sup>3</sup> )	$V_s$ (m/s)	Mô đun biến dạng cắt $G$ (MPa)
1,50	1,50	1480	93,14	12,84
3,01	1,51	1480	84,09	10,47
4,61	1,60	1480	70,53	7,36
6,23	1,62	1480	72,32	7,74
8,94	2,71	1480	67,81	6,81
11,93	2,99	1480	157,32	36,63
14,93	3,00	1960	249,80	122,30
17,94	3,01	2070	264,83	145,18
21,05	3,11	2070	253,63	133,16
24,20	3,15	2070	297,92	183,73
27,40	3,20	2070	325,05	218,71
30,00	2,60	2070	399,70	330,70

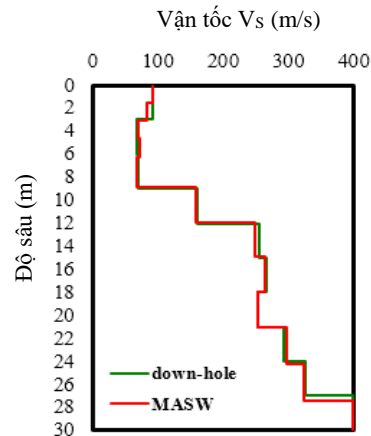
**Bảng 3.** Giá trị  $V_s$  theo down-hole

Độ sâu (m)	$V_s$ (m/s)
3,0	92,77
6,0	68,92
9,0	70,99
12,0	160,11
15,0	254,51
18,0	265,59
21,0	252,37
24,0	293,41
27,0	325,39
30,0	398,48

#### 4. KẾT LUẬN

Khảo sát 1D MASW được tiến hành tại khu vực Thủ Thiêm, thuộc dự án phát triển khu dân cư quận 2, thành phố Hồ Chí Minh, sử dụng vị trí nguồn nổ khác nhau và xử lý số liệu bằng phần mềm chuyên xử lý sóng mặt PS. Trong quá trình xử lý, các hình ảnh phổ sóng mặt được cộng dồn nhằm trung bình hóa ảnh hưởng của các bất đồng nhất theo phương ngang, hạn chế nhiễu đến từ môi trường xung quanh và từ các sóng khối. Năng lượng sóng mặt thể hiện qua đường cong vận tốc pha của số liệu được cộng dồn tăng lên khá lớn và hình dạng đường cong rõ ràng hơn so với các đường cong đến từ nguồn nổ đơn. Giá trị vận tốc truyền sóng ngang  $V_s$  theo phương pháp phân tích sóng mặt đa kênh hoàn toàn phù hợp với thành phần thạch học trong lỗ khoan địa chất và kết quả  $V_s$  theo phương pháp địa chấn truyền thống down-hole.

Giá trị  $V_s$  ghi nhận được tại khu vực khảo sát cho thấy độ cứng của nền đất thay đổi theo độ sâu, từ mặt đất đến độ sâu khoảng 12 m, nền đất rất yếu phản ánh qua các trị số  $V_s$  nhỏ (93–157 m/s). Do đó, trong quá trình thi công cần phải có phương án khắc phục tình trạng này, đảm bảo tính an toàn của công trình xây dựng. Từ độ sâu 12 m đến hơn 27 m, độ cứng của nền đất tăng dần thể hiện qua các giá trị  $V_s$  tăng theo độ sâu (250–325 m/s), được quy ước là nền đất cứng loại C theo tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam năm 2006 [9]. Từ hơn 27 m trở xuống,  $V_s$  đạt các giá trị cao hơn (gần 400 m/s) tương ứng với nền đất rất cứng loại B [9].



**Hình 7.** Giá trị  $V_s$  theo độ sâu của phương pháp MASW và down-hole

*Lời cảm ơn:* Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại Học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ đề tài mã số C2019-18-03.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] B.P. Choon, PS User Guide Series, Park Seismic LLC, 2015.
- [2] B.P. Choon, R.D. Miller, J. Xia, “Multichannel analysis of surface waves”, *Geophysics*, vol. 64, pp. 800–808, 1999.
- [3] D.M.E. Haque, et al., “Comparison of shear wave velocity derived from PS logging and MASW—A case study of Mymensingh Pourashava, Bangladesh”, *Bangladesh Journal of Geology*, vol. 26, pp. 84–97, 2013.
- [4] Đ.V. Lưu, V.M. Khương, Báo cáo địa chấn lỗ khoan dự án phát triển khu dân cư đô thị Thủ Thiêm, Quận 2, Thành phố Hồ Chí Minh, Liên đoàn Bản đồ Địa chất miền Nam, 2017.
- [5] J. Xia, R. Miller, et al., “Comparing shear-wave velocity profiles inverted from multichannel surface wave with borehole measurements”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 22, pp. 181–190, 2008.
- [6] J. Xia, R.D. Miller, B.P. Choon, “Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves”, *Geophysics*, vol. 64, pp. 691–700, 1999.
- [7] N.N.K. Ngân, N.N. Thu, Đ.Q. Tuấn, “Xác định vận tốc truyền sóng ngang VS và các tham số đàn hồi của môi trường đất đá bằng phương pháp phân tích sóng mặt đa kênh”, *Tạp chí Địa chất*, Tổng cục địa chất và khoáng sản Việt Nam, no. 352–354, pp. 229–237, 2015.
- [8] U. Augustin, “Principles of Seismology, Cambridge University Press”, United Kingdom, 1999.
- [9] Quy định chung, tác động động đất và quy định đối với kết cấu nhà, Thiết kế công trình chịu động đất, Tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam 375, Hà Nội, 2006.
- [10] <http://masw.com> (2017).

# Maximizing the energy of surface wave and diminishing the effect of lateral inhomogenousness in the multichannel analysis of the surface wave (MASW)

Nguyen Nhat Kim Ngan<sup>1</sup>, Do Van Luu<sup>1</sup>, Nguyen Thanh Van<sup>1</sup>, Tran Phuc Trinh<sup>1</sup>,  
Vo Manh Khuong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Science, VNU-HCM, <sup>2</sup>South Vietnam Geological Mapping Division  
Corresponding author: nnkngan@hcmus.edu.vn

Received 03-01-2018; Accepted 08-05-2018; Published 20-11-2018

**Abstract**—Multichannel analysis of surface wave (MASW) is one of the novel seismic methods in geophysics field in Vietnam. MASW is able to survey the stiffness of the soil environment under the ground via the shear-wave velocity  $V_s$  by analyzing the spectral image of surface wave. We did the 1D MASW survey upon the borehole belonged to the residential development project at district 2, Ho Chi Minh city with fixed receiver system, different source orientations and different source offsets. The spectral images of surface wave were combined to maximize the surface wave's energy on the spectral image of surface wave to minimize the effect of lateral inhomogenousness and near - far source offsets. The data points were chosen on the phase curve on

spectral image of surface wave for the inversion process to define shear wave velocity  $V_s$ . The  $V_s$  from MASW was compared to the petrographic components and another seismic method (downhole). The relative difference of the obtained  $V_s$  values between two methods was less than 10%. The change of  $V_s$  in MASW was absolutely compatible to petrographic components in geological borehole, near surface filled soil layer (93 m/s), dark-gray silty layer (68–157 m/s), sandy clay layer (250–265 m/s) and lower clay layer (254–400 m/s).

**Keywords**—multichannel analysis of surface wave, MASW, shear-wave velocity, spectral image of surface wave, downhole