

# ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ TRỘN SÂU (DMM) XỬ LÝ NỀN CÔNG TRÌNH Ở CÁC ĐẢO SAN HỒ

EVALUATION OF THE FEASIBILITY OF DEEP MIXING METHOD (DMM) FOR GROUND IMPROVEMENT IN CORAL ISLAND CONDITIONS

➤ Nguyễn Tiến Nam\*, Phạm Đức Tiệp - Viện Kỹ thuật Công trình Đặc biệt, Học viện Kỹ thuật Quân sự,

\*Email: nguyentienam@lqdtu.edu.vn

➤ Nguyễn Văn Hóa - Khoa Xây dựng, Trường Đại học Vinh

➤ Dương Thanh Qui - Viện Vật liệu Xây dựng - Bộ Xây dựng

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày tổng quan về công nghệ trộn sâu (Deep Mixing Method - DMM) và phân tích đặc điểm địa chất – địa chất thủy văn đặc thù của nền san hô tại quần đảo Trường Sa. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đánh giá những khó khăn trong thi công công trình do tính thấm lớn, độ rỗng cao và đặc tính cơ học bất lợi của vật liệu san hô. Kết quả phân tích cho thấy công nghệ DMM, đặc biệt là phương pháp Jet-grouting, có khả năng cải thiện đồng thời các chỉ tiêu cơ lý và điều kiện thủy lực của nền thông qua việc hình thành các cột xi măng – đất tại chỗ. Giải pháp này cho phép kiểm soát dòng thấm, nâng cao ổn định hố đào và giảm thiểu lún lệch công trình trong điều kiện mực nước ngầm biến động theo thủy triều. Ngoài ra, việc tận dụng vật liệu san hô tại chỗ góp phần nâng cao hiệu quả kinh tế và tính khả thi trong điều kiện thi công ngoài đảo. Kết quả nghiên cứu cho thấy DMM là giải pháp phù hợp và có tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong xây dựng công trình trên nền san hô tại Việt Nam.

**Từ khóa:** DMM, Jet-grouting, nền san hô, gia cố nền, cát san hô.

## 1. MỞ ĐẦU

Việt Nam có tiềm năng lớn trong phát triển kinh tế biển, thể hiện qua chiều dài đường bờ biển trên 3.260 km, hệ thống hơn 4.000 đảo, quần đảo và các vùng biển thuộc chủ quyền, quyền chủ quyền và quyền tài phán quốc gia với diện tích trên 1 triệu km<sup>2</sup>, phân bố dọc theo các tỉnh, thành phố ven biển; trong đó, hai quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa giữ vị trí chiến lược đặc biệt quan trọng [1]. Chiến lược phát triển bền vững kinh tế biển đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045 xác định mục tiêu đưa Việt Nam trở thành quốc gia mạnh về biển, gắn phát triển bền vững với bảo đảm quốc phòng, an ninh và bảo vệ chủ quyền quốc gia [2]. Trong bối cảnh đó, nhu cầu xây dựng các công trình bảo vệ bờ biển, công trình neo đậu - tránh bão, cầu cảng - sân bay trên đảo, cũng như các công trình lấn biển và mở rộng đảo ngày càng trở nên cấp thiết.

**Abstract:** This paper presents an overview of the Deep Mixing Method (DMM) and analyzes the specific geological and hydrogeological characteristics of coral foundations in the Spratly Islands. Based on these conditions, the study evaluates the key challenges in construction arising from high permeability, large porosity, and unfavorable mechanical properties of coral materials. The results indicate that DMM, particularly the jet grouting technique, is capable of simultaneously improving both the mechanical and hydraulic properties of the ground through the in-situ formation of soil-cement stabilized elements. This approach effectively controls seepage, enhances excavation stability, and reduces differential settlement under tidal fluctuations of groundwater levels. In addition, the utilization of locally available coral materials contributes to improved economic efficiency and construction feasibility under offshore conditions. The findings suggest that DMM is a suitable and promising solution for foundation treatment in construction projects on coral islands in Vietnam.

**Keyword:** Deep Mixing Method (DMM), jet grouting, coral foundation, ground improvement, coral sand.

Tuy nhiên, điều kiện địa chất đặc thù tại các khu vực ven biển và đảo, chủ yếu là nền đất yếu, bão hòa nước và có tính không đồng nhất cao, đã đặt ra nhiều thách thức cho công tác thiết kế và thi công nền móng các công trình biển – đảo. Mặc dù công nghệ trộn sâu (Deep Mixing Method – DMM) đã được nghiên cứu và ứng dụng trong xử lý nền đất yếu ở Việt Nam từ những năm 2000. Nhưng, các nghiên cứu mới chỉ tập trung vào đề xuất phương pháp tính toán, lựa chọn giải pháp, công nghệ xử lý nền móng cho các công trình giao thông, ổn định thành hố móng đào sâu và gia cố sửa chữa cảng biển... [3-10]. Do đó, vẫn thiếu các nghiên cứu định lượng và thực nghiệm đánh giá một cách hệ thống hiệu quả cải thiện nền móng của công nghệ này cho các công trình biển – đảo xa bờ trong điều kiện địa chất đặc thù trên các đảo san hô của Việt Nam.

Trước yêu cầu thực tiễn nêu trên, nghiên cứu

này tập trung phân tích đánh giá tính khả thi kỹ thuật của công nghệ trộn sâu DMM, đặc biệt là phương pháp phun ướt (jet grouting) trong việc xử lý gia cố nền, móng công trình tại các đảo san hô của Việt Nam. Nơi có điều kiện địa chất thủy hải văn phức tạp, điều kiện thi công vô cùng khó khăn.

## 2. ĐỊA CHẤT THỦY VĂN TẠI CÁC ĐẢO SAN HÔ

Cấu trúc địa tầng và đặc điểm thạch học: Hệ thống các đảo nổi thuộc quần đảo Trường Sa được đặc trưng bởi cấu trúc địa tầng có tính phân nhĩp rõ rệt. Một nhĩp trầm tích đầy đủ từ trên xuống dưới thường bao gồm ba lớp chính: lớp càn vụn lẫn cục tảng và cát san hô gắn kết yếu; lớp dăm, sạn san hô gắn kết chặt chẽ; và lớp đá san hô dạng tảng khối đặc xít. Về mặt thạch học, các nhĩp này được chia thành ba nhóm đá chính: nhóm đá vôi san hô gốc dạng khối, nhóm đá vôi vụn cơ học gắn kết tốt và nhóm đá vụn san hô bở rời. Kết quả phân tích thành phần hóa học cho thấy hàm lượng CaO chiếm tỷ trọng tuyệt đối (trên 54%), trong khi các oxit như  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  và  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  chỉ chiếm một lượng rất nhỏ.

Tính chất vật lý và độ rỗng của nền san hô: Vật liệu san hô có cấu trúc phức tạp với độ rỗng lớn và tính chất cơ học giòn. Các thí nghiệm tại đảo Song Tử Tây, Trường Sa Lớn cho thấy khối lượng thể tích khô của các lớp dao động từ 1,24 đến 2,20 g/cm<sup>3</sup>, tùy thuộc vào mức độ gắn kết. Một đặc điểm đáng lưu ý là độ rỗng của vật liệu san hô rất cao, thường nằm trong khoảng từ 24,13% đến 32,24%. Độ hút nước của các lớp đá san hô cũng khá lớn, đạt mức 6,00% đến 13,87%, phản ánh sự tồn tại của hệ thống vi lỗ rỗng dày đặc trong cấu trúc của các quần thể san hô chết đã biến đổi thành đá.

Địa chất thủy văn tại nền san hô ở quần đảo Trường Sa có hệ số thấm rất cao và chịu tác động trực tiếp, mạnh mẽ từ môi trường biển xung quanh. Kết quả thí nghiệm hút nước tại đảo Trường Sa Lớn cho thấy hệ số thấm trung bình  $K \approx 63,9$  m/ngày. Mức nước ngầm trong đảo biển động không ổn định, phụ thuộc chặt chẽ vào chế độ nhật triều không đều của Biển Đông, với biên độ triều lớn nhất khoảng 2,1 m. Sự dao động này làm thay đổi liên tục áp lực nước lỗ rỗng và mực nước trong các hố đào, gây khó khăn đáng kể cho thi công công trình ngầm do lưu lượng nước thấm vào hố móng lớn.

Thông số cơ lý và tương tác môi trường: Về mặt cơ kỹ thuật, nền san hô được xem là một loại vật liệu đặc biệt với lực dính bằng không ( $C=0$ ) và hệ số ma sát giữa san hô với các vật liệu xây dựng (như bê tông, thép) rất thấp (khoảng 0,43). Cường độ kháng nén và mô đun đàn hồi của nền có xu hướng tăng dần theo độ sâu và mức độ gắn kết của các nhĩp

trầm tích. Cụ thể, tại độ sâu từ -12m đến -17m, lớp đá vôi san hô đặc xít (tuổi Pleistocen) có cường độ kháng nén đạt từ 80 đến 120 kG/cm<sup>2</sup>, là lớp chịu lực tốt nhất trong cột địa tầng [11].

Đặc điểm địa chất thủy văn và cấu trúc nền san hô tại quần đảo Trường Sa ảnh hưởng trực tiếp đến việc lựa chọn giải pháp móng và tổ chức thi công công trình. Với độ rỗng lớn và tính chất cơ học giòn, nền san hô có khả năng chịu tải hạn chế, dễ phát sinh biến dạng không đều và lún lệch dưới tác dụng của tải trọng. Bên cạnh đó, hệ số thấm rất lớn kết hợp với dao động thủy triều biên độ cao làm gia tăng đáng kể dòng thấm và áp lực nước lỗ rỗng. Điều này gây mất ổn định hố móng và bất lợi cho điều kiện thi công phần ngầm. Ngoài ra, thành phần hóa học giàu CaO cùng môi trường biển xâm thực làm tăng nguy cơ suy giảm độ bền của bê tông và cốt thép theo thời gian.

Như vậy, sự kết hợp của tính thấm lớn, dao động thủy triều, cấu trúc rỗng – không đồng nhất và đặc tính cơ học bất lợi đã tạo nên một môi trường địa kỹ thuật đặc biệt phức tạp, làm gia tăng đáng kể rủi ro và chi phí thi công công trình trên nền san hô tại quần đảo Trường Sa.

Trên cơ sở đó, các giải pháp kỹ thuật cần tập trung vào kiểm soát thấm và cải thiện đồng thời các chỉ tiêu cơ lý của nền. Trong điều kiện vật liệu san hô có độ rỗng lớn, tính dính kém và thấm cao, công nghệ trộn sâu (DMM) là giải pháp phù hợp. Phương pháp này cho phép gia cố tại chỗ bằng cách trộn vật liệu nền với chất kết dính nhằm giảm hệ số thấm, tăng độ chặt và cường độ chịu lực. Các cột DMM có thể được bố trí dạng lưới hoặc khối liên tục, vừa đóng vai trò gia cố nền, vừa tạo màn chống thấm hiệu quả, qua đó nâng cao ổn định công trình và hạn chế sự phụ thuộc vào các giải pháp móng sâu truyền thống. Đồng thời, cần kết hợp sử dụng vật liệu chống xâm thực và tăng cường quan trắc trong quá trình thi công để đảm bảo ổn định và độ bền lâu dài của công trình trong điều kiện môi trường biển.

## 3. CÔNG NGHỆ TRỘN SÂU (DMM)

Công nghệ trộn sâu (DMM) là công nghệ xử lý đất tại chỗ nơi đất tại chỗ được trộn với xi măng hay là vật liệu khác. Tùy thuộc vào vật liệu kết dính và phương pháp trộn mà nó được phân loại. Theo phương pháp trộn, có 2 kiểu là phương pháp trộn kiểu tia (Jet Grouting - cắt đất bằng áp lực tia) và phương pháp trộn cơ khí (Mechanic - cắt và trộn bằng cánh). Theo vật liệu trộn phân thành kiểu trộn ướt (chất kết dính dạng vữa) và kiểu trộn khô (chất kết dính dạng bột).

Thế giới đang phổ biến hai công nghệ thi công

là: Công nghệ trộn khô (Dry Jet Mixing) - là dùng không khí để dẫn xi măng bột vào đất (độ ẩm của đất phải lớn hơn 20%), thích hợp dùng cải thiện tính chất của đất dính và Công nghệ trộn ướt (Wet Mixing hay còn gọi là Jet-grouting) - vữa xi măng là chất kết dính, thích hợp cho đất rời [12, 13].

Công nghệ thi công trộn khô (Dry Jet Mixing): Sử dụng cần khoan có gắn các cánh cắt đất, chúng cắt đất sau đó trộn đất với xi măng bơm theo trục khoan. Ưu điểm phương pháp: Thiết bị thi công đơn giản; hàm lượng xi măng sử dụng ít hơn; quy trình kiểm soát chất lượng đơn giản hơn công nghệ trộn ướt. Nhược điểm phương pháp: Do cắt đất bằng các cánh cắt nên gặp hạn chế trong đất có cuội đá, đất sét; khó khăn khi cần xuyên qua các lớp đất cứng; không thi công được ở nơi ngập nước. Chiều sâu phần nền xử lý trong khoảng 15-20m [14].

Công nghệ thi công trộn ướt (Jet-grouting): Dựa vào nguyên lý cắt nham thạch bằng dòng nước áp lực. Khi thi công trước hết dùng máy khoan để đưa ống bơm có vòi phun bằng hợp kim vào tới độ sâu phải gia cố (nước + xi măng) với áp lực khoảng 20 MPa từ vòi bơm phun xả phá vỡ cấu trúc tầng đất. Với lực xung kích của vòi phun, lực li tâm, trọng lực... sẽ trộn lẫn dung dịch vữa, rồi được sắp xếp lại theo một tỉ lệ có quy luật giữa đất và vữa theo khối lượng hạt. Dưới tác dụng của quá trình hóa lý xảy ra giữa đất, xi măng và nước thì quá trình đông cứng được hình thành tạo thành trụ đất - xi măng [14].

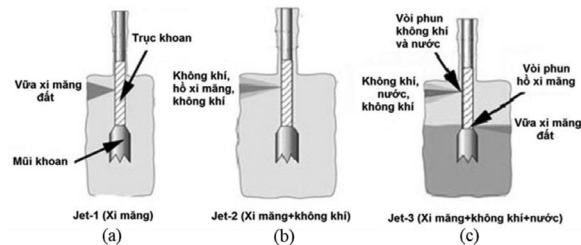
### Hiện nay trên thế giới đã phát triển ba công nghệ Jet - Grouting:

**Công nghệ đơn pha S (JET 1- One jet technology):** Sử dụng cần khoan đơn với một hoặc nhiều lỗ phun, vữa được phun với vận tốc khoảng 100 m/s, đồng thời thực hiện cắt và trộn đất tại chỗ để tạo cọc xi măng-đất đồng đều, có độ cứng cao và hạn chế đất trào ngược. Công nghệ này cho phép thi công cọc đường kính khoảng 0,5-0,8 m, chiều sâu đến 25 m, phù hợp với nền đất đắp. Đây là công nghệ thế hệ đầu và hiện nay ít được sử dụng trong thực tế (Hình 1. a).

**Công nghệ hai pha D (JET 2 - Two jets technology):** Sử dụng cần khoan nòng đôi, trong đó lõi trong bơm vữa và lõi ngoài bơm khí nén. Vữa xi măng được phun với áp suất cao (>200 atm), kết hợp với khí nén (>20 atm) bao quanh giúp giảm ma sát và tăng khả năng xâm nhập của vữa vào đất. Nhờ đó tạo được cọc xi măng-đất có đường kính khoảng 0,8-1,5 m và chiều sâu đến 45 m. Đây là công nghệ phổ biến nhất hiện nay (Hình 1. b).

**Công nghệ ba pha T (JET 3 - Three jets**

**technology):** Sử dụng cần khoan ba nòng, trong đó tia nước áp lực cao kết hợp với khí nén để phá vỡ đất, sau đó vữa được bơm qua vòi riêng để lấp đầy khoảng trống. Hệ thống lỗ phun nước, khí và vữa được bố trí đối xứng quanh trục khoan. Công nghệ này thường dùng cho thi công cọc và tường chống thấm, có khả năng tạo cọc Soilcrete với đường kính lớn, có thể lên tới khoảng 3m (Hình 1. c).



Hình 1. Khoan phun vữa xi măng theo công nghệ trộn ướt (Jet-grouting)

**Ưu điểm:** Chất lượng cọc đều hơn, thiết bị linh hoạt cho phép tiếp cận với mặt bằng hiện trường chật hẹp. Đặc biệt là khả năng xử lý trong những điều kiện đặc biệt (dưới bản đáy công trình, cục bộ dưới sâu,...). Mô đun đàn hồi của cọc xi măng - đất tạo ra cao hơn và độ giòn nhỏ hơn so với công nghệ trộn khô. Thích hợp với thi công trong điều kiện địa chất đất đá rời, mực nước ngầm cao.

**Nhược điểm:** Thiết bị thi công hoạt động ở chế độ áp lực cao đòi hỏi công nghệ thiết bị phức tạp, đặc biệt là bơm cao áp.

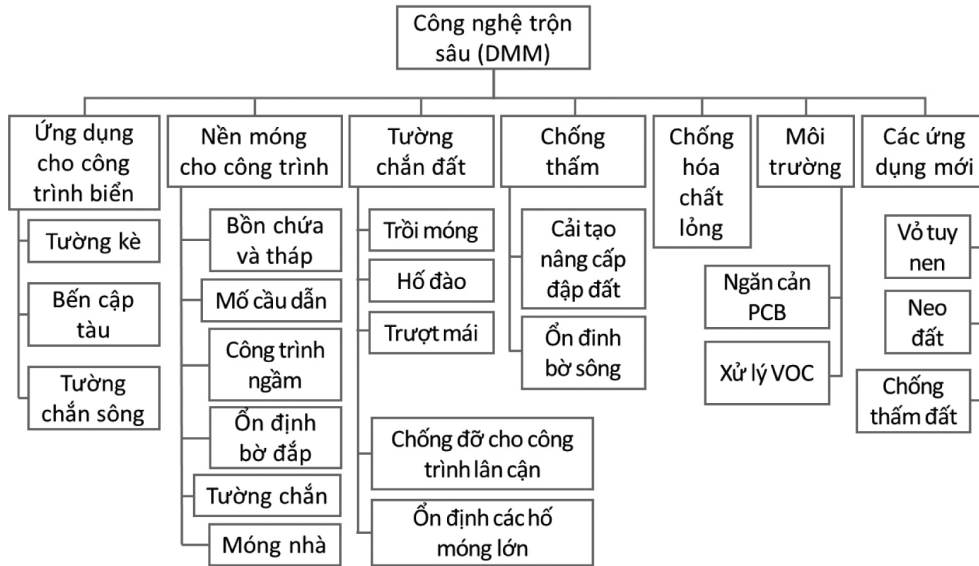
Về nguyên tắc, việc bố trí hệ thống các cọc này trên mặt bằng khu vực cải tạo được dựa trên điều kiện đất nền, yêu cầu về khả năng chịu tải của đất nền và cần nhắc đến điều kiện cân bằng về chuyển vị sao cho tải trọng phân bố vào cọc và vào đất nền không vượt quá sức chịu tải của vật liệu cọc và phần đất nền chưa được gia cố. Các loại, kiểu dạng bố trí hệ thống cọc khi cải tạo nền đất yếu theo DMM thường được áp dụng như: Kiểu khối, kiểu tường, kiểu lưới, kiểu nhóm cọc và kiểu các nhóm cọc tiếp xúc [15].

Từ các nghiên cứu lý thuyết và thực tế thi công các dự án, có thể tổng kết những ứng dụng của công nghệ thi công DMM bằng sơ đồ Hình 2:

### Nghiên cứu và ứng dụng công nghệ trộn sâu:

Công nghệ DMM được nghiên cứu từ cuối những năm 1960 tại châu Âu (Thụy Điển, Phần Lan), khởi đầu với cọc vòi (SLC) đường kính khoảng 0,5 m, sâu đến 15 m, và tiếp tục phát triển theo hướng tối ưu vật liệu gia cố bằng phụ gia như thạch cao, tro bay (Nieminen 1977; Viitanen 1977; Kujala 1982) [16, 17].

Nhật Bản và các nước Scandinavia là khu vực



Hình 2: Phân loại ứng dụng của công nghệ trộn sâu DMM [16]



Hình 3. Trộn sâu ở Nhật Bản



Hình 5. Chống thấm đê quai Thủy điện Sơn La (2005)



Hình 4. Trộn sâu ở Hàn Quốc



Hình 6. Móng nhà máy xi măng Vinakansai - Ninh Bình (2008)

triệu m<sup>3</sup>; riêng Nhật Bản đạt khoảng 23,6 triệu m<sup>3</sup> trong khoảng 300 dự án (1977–1993), cho thấy mức độ phát triển và phổ biến cao của công nghệ [16, 17, 18].

ứng dụng mạnh nhất, với khoảng 2345 dự án giai đoạn 1980–1996, tổng khối lượng xử lý khoảng 26

Tại Trung Quốc, DMM được tiếp nhận từ Nhật Bản từ cuối những năm 1960 và ứng dụng từ năm 1978 trong các khu công nghiệp và công trình cảng



Hình 7. Gia cố móng cống ở Cà Mau (2009)



Hình 8. Gia cố móng đê biển ở Cà Mau (2025)

(Thiên Tàn 1987–1990, hơn 60ha diện tích nền). Hợp tác Nhật–Trung từ năm 1992 tiếp tục thúc đẩy phát triển, điển hình là dự án cảng Yantai với khối lượng xử lý khoảng 60.000 m<sup>3</sup> [7].

Công nghệ trộn sâu (DMM) tại Việt Nam được nghiên cứu từ những năm 1980 với sự hỗ trợ của Viện Địa kỹ thuật Thụy Điển, và dần hoàn thiện qua các nghiên cứu trong nước như của Nguyễn Bá Kế (2000) và đề tài của Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (2002), trước khi được tiêu chuẩn hóa trong TCVN 9403:2012 [19].

Từ năm 2002, công nghệ được ứng dụng thực tế trong xử lý nền đất yếu với các dẫn chứng tiêu biểu như: cảng Ba Ngòi (khoảng 4000 m cọc D=0,6 m), bồn chứa xăng dầu tại Cần Thơ, nhà máy nước Vù Bản (Nam Định) và công trình tại Đình Vũ (Hải Phòng), chủ yếu bằng phương pháp trộn khô với chiều sâu khoảng 20 m. Năm 2004, công nghệ Jet-grouting được chuyển giao và áp dụng trong các công trình thủy lợi như cống Nghệ An, Hà Nam, Long An.

Hiện nay, DMM được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực với các công trình cụ thể: đô thị (Saigon Times Square, Vĩnh Trung Plaza), giao thông (hầm Kim Liên, đường Láng–Hòa Lạc, sân bay Cần Thơ), và thủy công (cảng Cái Mép–Thị Vải,

đập Khe Ngang, đê lấn biển,...), khẳng định hiệu quả trong gia cố nền, chống thấm và ổn định công trình trên đất yếu.

#### 4. KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ DMM CHO CÁC ĐẢO SAN HỒ

Sự tương thích giữa công nghệ và điều kiện địa chất: Nền địa chất tại các đảo san hô (như quần đảo Trường Sa) được đặc trưng bởi cấu trúc phân nhíp với các lớp vật liệu có độ rỗng lớn (24,13%–32,24%) và hầu như không có lực dính tự nhiên ( $C = 0$ ). Trong điều kiện này, các công nghệ xử lý nền sâu như trộn sâu (DMM) và Jet-grouting cho thấy tính phù hợp cao. Đặc biệt, phương pháp Jet-grouting cho phép phun vữa xi măng áp lực cao (20–60 MPa) để cắt và trộn vật liệu tại chỗ, lấp đầy hệ thống lỗ rỗng và kích hoạt các phản ứng thủy hóa, Pozzolanic. Quá trình này tạo ra liên kết xi măng - đất (cốt liệu tại chỗ), hình thành lực dính ( $C_{xm}$ ), đồng thời làm tăng sức kháng cắt và cường độ nén đơn ( $q_u$ ) của nền.

Giải pháp chống thấm và ổn định hố đào: Trong điều kiện mực nước ngầm cao, dao động theo thủy triều (biên độ tới 2,1 m) và hệ số thấm lớn ( $K \approx 63,9$  m/ngày), công nghệ DMM/Jet-grouting có thể được sử dụng để thi công tường chắn và nền bịt đáy bằng các cột xi măng - đất bố trí dạng tường hoặc khối liên tục. Hệ kết cấu này tạo thành vùng gia cố kín nước, giúp kiểm soát dòng thấm và nâng cao ổn định hố đào, giảm sự phụ thuộc vào các hệ thống hạ mực nước ngầm phức tạp.

Trong điều kiện thi công ngoài đảo, chi phí vận chuyển vật tư chiếm tỷ trọng lớn. Công nghệ DMM cho phép tận dụng vật liệu san hô tại chỗ, qua đó giảm đáng kể khối lượng vận chuyển. Đồng thời, thiết bị Jet-grouting có kích thước gọn, linh hoạt, phù hợp với điều kiện mặt bằng hạn chế. Thời gian đông kết tương đối nhanh của cọc xi măng - đất cũng góp phần rút ngắn tiến độ thi công.

Việc áp dụng công nghệ xử lý nền sâu như DMM và Jet-grouting là giải pháp phù hợp để cải thiện đồng thời các chỉ tiêu cơ lý và điều kiện thủy lực của nền san hô. Giải pháp này góp phần nâng cao ổn định công trình và hiệu quả thi công trong điều kiện môi trường biển đảo đặc thù...

#### 5. KẾT LUẬN

Xử lý nền bằng công nghệ DMM, đặc biệt là Jet-grouting, cho thấy tính phù hợp cao đối với nền san hô có cấu trúc phân nhíp, độ rỗng lớn và hầu như không có lực dính. Việc hình thành các cột xi măng - đất giúp cải thiện đáng kể các chỉ tiêu cơ lý, nâng cao khả năng chịu lực và ổn định của nền.

Việc áp dụng hệ tường chắn và nền bịt đáy bằng

các cột xi măng – đất cho phép kiểm soát hiệu quả dòng thấm và ổn định hố đào trong điều kiện mực nước ngầm cao, dao động theo thủy triều. Giải pháp này góp phần đảm bảo điều kiện thi công phần ngầm và hạn chế tác động xâm thực từ môi trường biển.

Ngoài ra, công nghệ DMM cho phép tận dụng vật liệu san hô tại chỗ, giảm nhu cầu vận chuyển và phù hợp với điều kiện thi công hạn chế trên đảo. Đây là cơ sở kỹ thuật quan trọng cho việc áp dụng các giải pháp xây dựng hiệu quả và bền vững trên nền san hô. □

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Anh Tài, Nguyễn Đình Chiến, Nguyễn Nhã...(tuyển chọn: Sông Lam, Thái Quỳnh), Chủ quyền biển đảo Việt Nam - Toàn cảnh biển đảo Việt Nam, NXB Thanh Niên, 2012, 248tr.
- [2] Nghị quyết số 36-NQ/TW ngày 22/10/2018 của BCH Trung ương Đảng về chiến lược phát triển bền vững kinh tế biển Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045.
- [3] TS Phùng Vĩnh An, Bàn về phương pháp tính toán gia cố nền bằng cọc xi măng – đất, Tạp chí Khoa học và công nghệ Thủy lợi, số 11/2012.
- [4] Vũ Bá Thao, Phạm Văn Minh, Tường chống thấm xi măng đất tạo bởi khoan phụt cao áp định hướng, Tạp chí Khoa học và công nghệ Thủy lợi, số 11/2019.
- [5] Nguyễn Sỹ Hùng, Vương Hoàng Thạch, Gia cường nông đất yếu có cát san lấp bằng cọc xi măng – đất, Tạp chí Khoa học Công nghệ xây dựng (NUCE), 2019.
- [6] Nguyễn Thị Ngọc Yến, Trần Trung Việt, Ảnh hưởng của các thông số hình học cọc xi măng – đất đến ổn định nền đường đắp trên đất yếu, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, số 68 (3/2020).
- [7] Vũ Bá Thao, Phạm Văn Minh, Bài học xử lý sự cố cát chảy hố móng sâu bằng cọc xi măng đất, Tạp chí Khoa học và công nghệ Thủy lợi, số 60/2020.
- [8] Lê Đức Linh, Lê Bá Vinh, Nguyễn Nhật Nhứt, Phân tích ổn định tường vây trong hố đào sâu được gia cường bằng cọc xi măng đất, Tạp chí Địa Kỹ thuật, số 3- 2021.
- [9] Phạm Hữu Hà Giang, Lê Hải Trí, Trần Trang Nhất, Hoàng Vĩ Minh, Phạm Anh Du, Đánh giá cường độ chịu nén của cọc xi măng đất được chế tạo trong phòng thí nghiệm và hiện trường, Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, tập 12 số 4 năm 2022.
- [10] Nguyễn Anh Dân, Phản ứng tính của kết cấu bển tường cũ được cải tạo bằng cọc xi măng đất và nạo vét, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, tập 74, số 8 (10/2023).
- [11] Hoàng Xuân Lượng, Báo cáo tổng hợp kết quả khoa học công nghệ đề tài “Nghiên cứu các chỉ tiêu kỹ thuật của nền san hô và tương tác giữa kết cấu công trình và nền san hô”, mã số KC.09.07/06-10 thuộc chương trình KHCN cấp nhà nước KC.09 - 2010.
- [12] Nguyễn Quốc Dũng, Phùng Vĩnh An, Nguyễn Quốc Huy, Công nghệ khoan phụt cao áp trong xử lý nền đất yếu, Nhà xuất bản nông nghiệp, 2005.
- [13] Nguyễn Quốc Dũng, Phùng Vĩnh An, Công nghệ trộn sâu cọc xi măng-đất và khả năng ứng dụng để gia cố nền đê đập, Viên khoa học Thủy Lợi, 2005.
- [14] Nguyễn Bá Kế, Xây dựng công trình ngầm đô thị theo phương pháp đào mở, Nhà xuất bản Xây dựng, 2006.
- [15] Nguyễn Bá Kế, Thiết kế và thi công hố móng sâu, Nhà xuất

bản Xây dựng – Hà Nội, 2004.

- [16] An introduction to the Deep soil mixing methods as Used in Geotechnical applications, Federal Highway Administration, March 2000.
- [17] An Introduction to the Deep Mixing Methods as Used in Geotechnical Applications, Volume 3: The Verification and Properties of Treated Ground, Oct. 2001.
- [18] Hiroyuki Tanaka “Behavior of braced excavation stabilized by Deep Mixing Methods”, Soils and foundations Vol. 33, No. 2, 105-115, June 1993 Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- [19] Báo cáo đề tài cấp Bộ “Nghiên cứu cọc xi măng - vôi - đất”, Viện KHCN Xây dựng, 2002.