



III



A STUDY OF COASTAL SAND IMPROVEMENT IN QUANG BINH PROVINCE BY VIBRO COMPACTION

Hong Lam Dang

University of Transport and Communications, No. 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 18/10/2022

Revised: 15/01/2023

Accepted: 23/02/2023

Published online: 15/02/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.2.2>

* *Corresponding author*

Email: dang.hong.lam@utc.edu.vn

Abstract. Ground improvement by the vibro compaction is tending to be applied more and more in Vietnam and is attracting more studies on its solution for design. This article analyzes and evaluates the suitability of the method of vibro compaction and the three principle parameters of its solution needed to decide are the depth of vibro compaction, the spacing of vibro compaction arrangement and the area of vibro compaction. The coastal sand in Quang Binh province has been used to evaluate and apply the theory of vibro compaction. The results show that the coastal sand in Quang Binh province has a good suitability number, the particle distribution is within the recommended value range for using the vibro compaction method in literature. The author has also designed a typical compaction spacing conformed to the required standard penetration value in two cases where the groundwater level is deeply and the groundwater level closed to the ground. The results show that the groundwater level is closed to the ground, the vibro compaction spacing should be intensified

Keywords: vibro compaction, coastal sand, water level, standard penetration value

@ 2024 University of Transport and Communications



NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG CẢI TẠO ĐẤT CÁT VEN BIỂN TỈNH QUẢNG BÌNH BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐẦM RUNG LÀM CHẶT ĐẤT

Đặng Hồng Lam

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC : Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 18/10/2022

Ngày nhận bài sửa: 15/01/2023

Ngày chấp nhận đăng: 23/02/2023

Ngày xuất bản Online: 15/02/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.2.2>

* Tác giả liên hệ

Email: dang.hong.lam@utc.edu.vn

Tóm tắt: Cải tạo nền đất bằng phương pháp đầm rung đang có xu hướng áp dụng ngày càng nhiều ở Việt Nam và cần có nhiều nghiên cứu về giải pháp này để áp dụng thực tế. Bài báo trình bày phân tích đánh giá sự phù hợp của phương pháp đầm rung làm chặt đất và ba thông số chính cần được quyết định đó là chiều sâu đầm rung, khoảng cách bố trí đầm và phạm vi cần đầm rung. Đất cát ven biển tỉnh Quảng Bình đã được sử dụng để đánh giá, áp dụng lý thuyết đầm rung. Kết quả cho thấy đất cát ven biển tỉnh Quảng Bình có chỉ số phù hợp, thành phần hạt nằm trong khoảng giá trị khuyến cáo sử dụng được phương pháp đầm rung theo các nghiên cứu đã có. Tác giả cũng đã thiết kế điển hình về khoảng cách đầm theo các giá trị xuyên tiêu chuẩn mong muốn đạt được trong hai trường hợp mực nước ngầm nằm rất sâu và mực nước ngầm thay đổi gần mặt đất. Kết quả cho thấy mực nước ngầm nằm càng gần mặt đất thì khoảng cách đầm rung cần được bố trí dày hơn.

Từ khóa: đầm rung, đất cát ven biển, mực nước ngầm, giá trị xuyên tiêu chuẩn.

@ 2024 Trường Đại học Giao thông vận tải

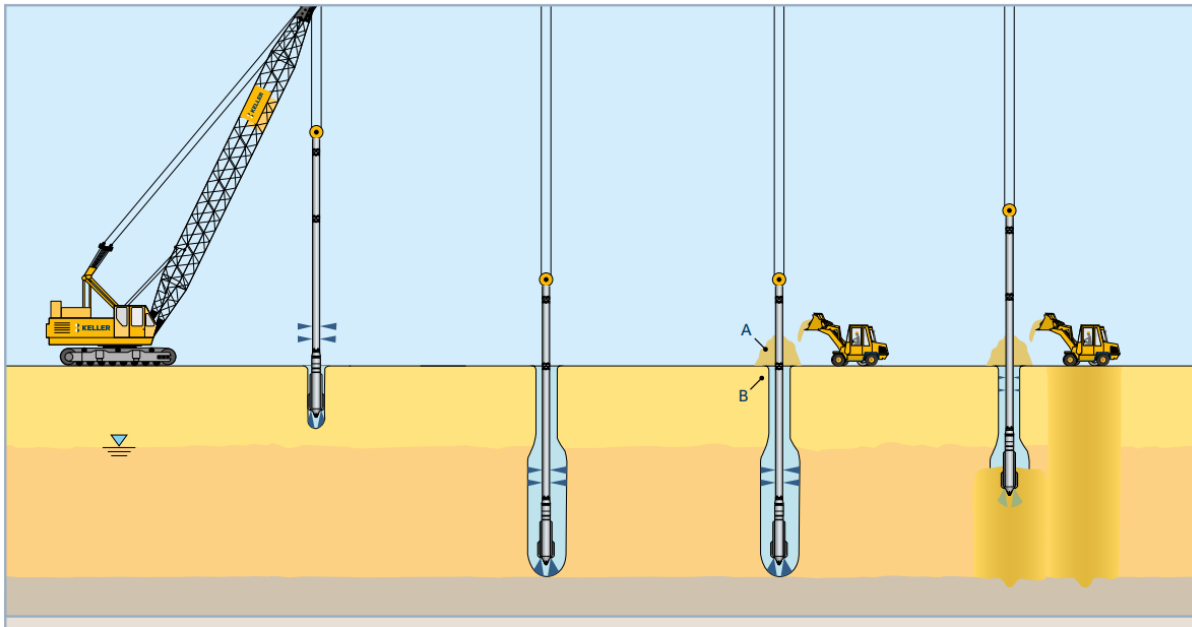
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thiết kế móng cho công trình xây dựng dân dụng, công nghiệp và giao thông được nghiên cứu bởi nhiều nhà khoa học trên thế giới [1-4] và đã được biên soạn thành tài liệu hướng dẫn như AASHTO [5]. Các phương án thiết kế thường được đề cập đến là móng nông trên nền thiên nhiên hoặc trên nền cải tạo, móng cọc bê tông cốt thép hoặc cọc khoan nhồi.

Đối với các phương án móng nông (nói cách khác là móng trọng lực) thông thường yêu

cầu móng cần được đặt vào lớp đất tốt. Trong trường hợp lớp đất đáy móng vẫn không đạt được yêu cầu thiết kế thì giải pháp đào bỏ lớp đất này và thay bằng lớp vật liệu tốt hơn được áp dụng. Các giải pháp cải tạo nền đất nhằm nâng cao mức độ ổn định của công trình được giới thiệu trong các công trình nghiên cứu [6-9], bao gồm các phương pháp như thay đất nền bằng đất có cấp phối tốt và đầm chặt; đầm rung, đầm động, cọc đá, cọc đất xi măng, cọc cốt cứng...

Đầm rung là phương pháp làm chặt đất tới một độ sâu tương đối lớn khi thực hiện đầm bằng thiết bị đầm rung tạo lỗ tại vị trí đất cần gia cố với 4 bước chính ở Hình 1 như sau: (1) Xuyên quả đầm xuống đến cao độ thiết kế, (2) Tiến hành rung quả đầm để làm chặt đất xung quanh quả đầm, (3) Đắp bù đất bị lún xuống do quá trình chặt đất xung quanh quả đầm, (4) Hoàn thiện vị trí đầm chặt bằng rút quả đầm lên và lu lèn bề mặt. Quá trình đầm rung sẽ làm cho đất xung quanh chặt lại, tức là sẽ tạo lỗ rỗng ở xung quanh. Khi đó sẽ có hai cách để lấp lỗ rỗng xung quanh là đưa chính loại đất hiện có xung quanh xuống vị trí lỗ rỗng và được gọi là đầm rung làm chặt đất và cách thứ hai là đưa vật liệu hạt thô hơn như đá 2÷4 cm xuống vị trí lỗ rỗng nên gọi là đầm rung thay thế đất hay có tên gọi khác là cọc đá. Phương pháp đầm rung làm chặt đất có ưu điểm kinh tế hơn phương pháp đầm rung thay thế do không cần mua vật liệu thay thế mà tận dụng luôn vật liệu hiện có xung quanh. Tuy nhiên, hiện nay chỉ có các nghiên cứu phương pháp đầm rung làm chặt đất ở trên thế giới và chưa có nghiên cứu cho địa chất ở Việt Nam do đó cần sự nghiên cứu khả năng áp dụng của phương pháp đầm rung làm chặt cho địa chất ở Việt Nam, cụ thể là đất cát ven biển ở tỉnh Quảng Bình.



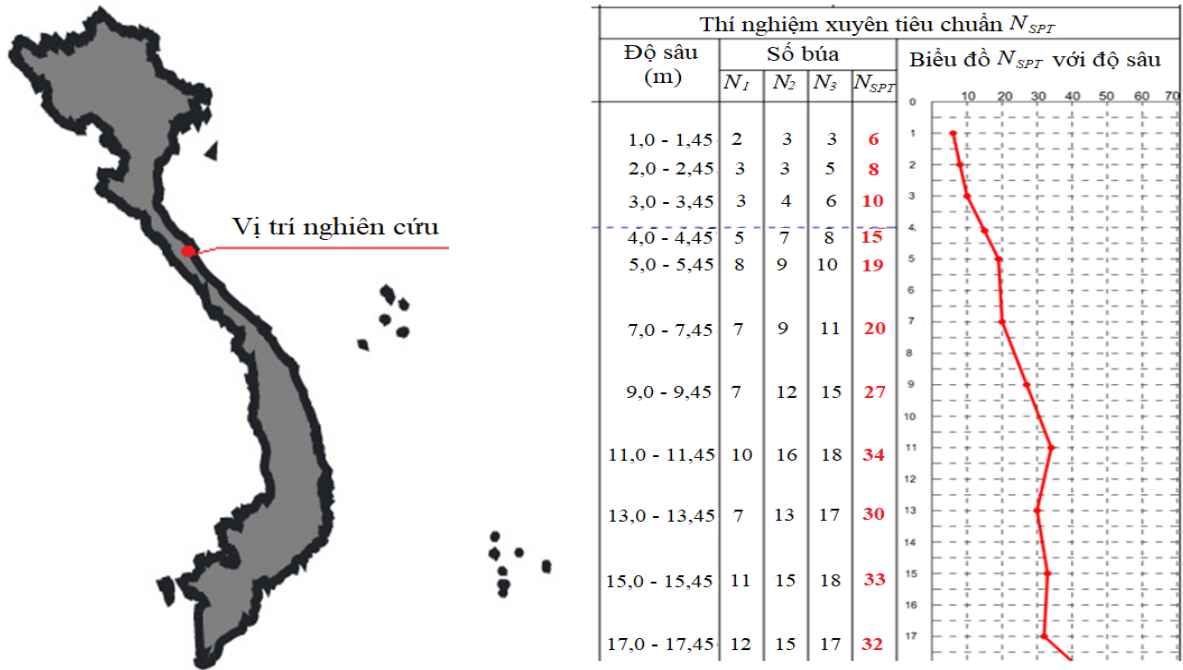
Hình 1: Mô hình minh họa đầm rung làm chặt đất theo Keller [10].

2. SỐ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khu vực nghiên cứu và tính chất của đối tượng nghiên cứu

Khu vực và đối tượng nghiên cứu của bài báo là cát ven biển tỉnh Quảng Bình thể hiện trên bản đồ Việt Nam (Hình 2a). Lỗ khoan WP09 với biểu đồ giá trị N_{SPT} theo độ sâu (Hình 2b) được lựa chọn để nghiên cứu, gồm lớp cát mặt rời rạc dày 7m có giá trị N_{SPT} nhỏ hơn 10 búa, tiếp đến là lớp cát chặt vừa có giá trị N_{SPT} từ 10 đến 30 búa phân bố ở độ sâu từ 7m đến

13m, tiếp theo là lớp cát chặt có giá trị N_{SPT} lớn hơn 30 búa phân bố từ độ sâu từ 13m.

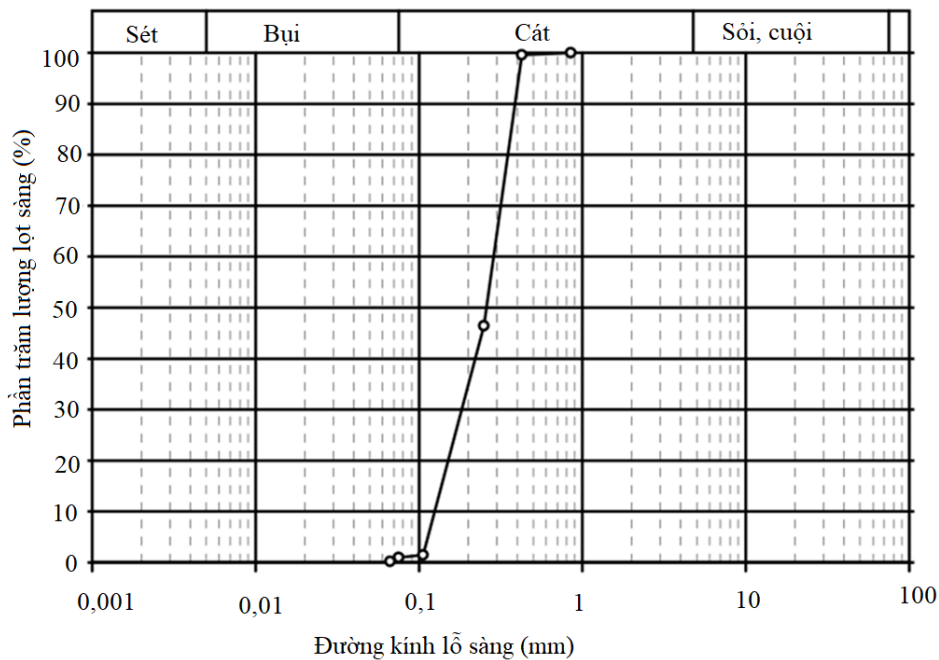


a) Khu vực nghiên cứu

b) Biểu đồ giá trị N_{spt} điển hình

Hình 2. Khu vực nghiên cứu và mặt cắt địa chất điển hình tại khu vực nghiên cứu.

Mẫu đất cát được lấy ở độ sâu $4,0 \div 4,5$ m với giá trị N_{spt} là 15 búa. Thí nghiệm phân tích thành phần hạt được thực hiện và thu được kết quả trong Hình 3.



Hình 3. Biểu đồ thành phần hạt điển hình.

2.2. Kiểm tra tính phù hợp của địa chất với phương pháp đầm rung

Kết cấu thành phần hạt lớp địa chất đầm rung cần được kiểm tra để đảm bảo khả năng truyền tải áp lực rung từ thiết bị đầm rung. Để tiến hành kiểm tra tính phù hợp của lớp phía trên (đến độ sâu tối đa 14m) với phương pháp đầm rung, lý thuyết của Brown [9] được trình bày ở [7] [11-13] với khái niệm “chỉ số phù hợp” SN được thiết lập và tính toán theo công thức sau:

$$SN = 1,7 \sqrt{\frac{3}{(D_{50})^2} + \frac{1}{(D_{20})^2} + \frac{1}{(D_{10})^2}} \quad (1)$$

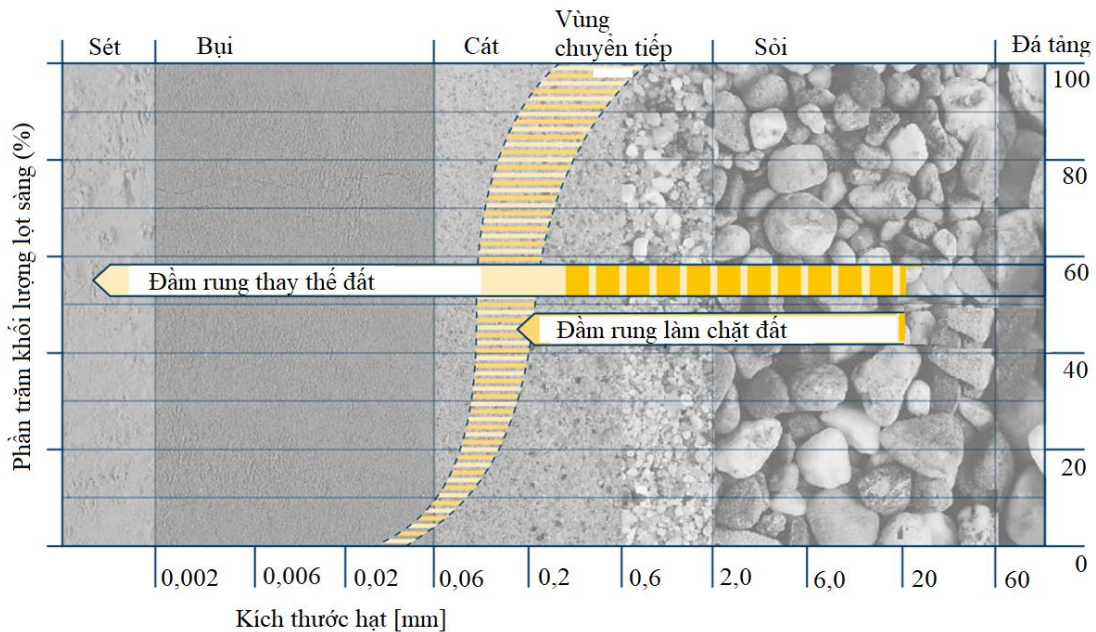
trong đó: D_{50}, D_{20}, D_{10} là đường kính kích thước hạt, đơn vị mm tại 50%, 20%, và 10% qua rây thí nghiệm xác định thành phần hạt.

Sau khi tính toán, chỉ số phù hợp được so sánh và đánh giá theo Bảng 1 dưới đây:

Bảng 1. Chỉ tiêu đánh giá độ phù hợp.

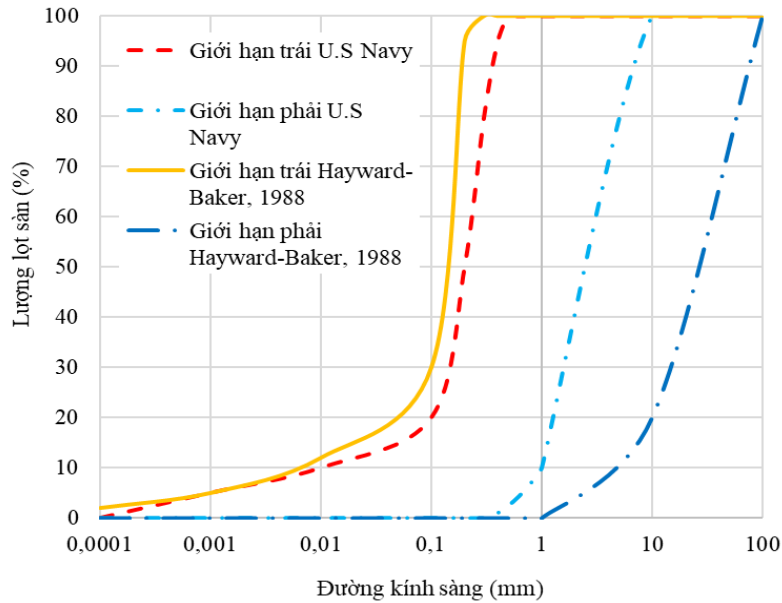
Chỉ số phù hợp SN	Đánh giá
0 ÷ 10	Rất phù hợp
10 ÷ 20	Phù hợp
20 ÷ 30	Khá phù hợp
30 ÷ 50	Không phù hợp

Ngoài ra đơn vị chuyên sâu về cải tạo nền đất Keller [10] cũng đưa ra hình vẽ để đánh giá sự phù hợp của phương pháp đầm rung. Như Hình 4 đã thể hiện, phương pháp đầm rung thay thế đất được áp dụng cho đất có thành phần hạt (đường kính d có lượng lọt sàng 50% khối lượng) từ đất sét cho đến đất cát vừa ($d < 0,6\text{mm}$), phương pháp đầm rung làm chặt đất được đề nghị áp dụng cho đất cát hạt vừa ($d \geq 0,2\text{mm}$) cho đến sỏi hạt thô ($d < 2\text{mm}$)



Hình 4. Phân vùng các loại đất phù hợp với phương pháp rung sâu làm chặt đất và đầm rung thay thế đất theo Keller [10].

Giới hạn thành phần hạt đất phù hợp với phương pháp đầm rung làm chặt đất còn được nghiên cứu bởi U.S Navy [12] và Hayward-Baker [13] cho biểu đồ giới hạn trái và phải như hình 5 dưới đây.

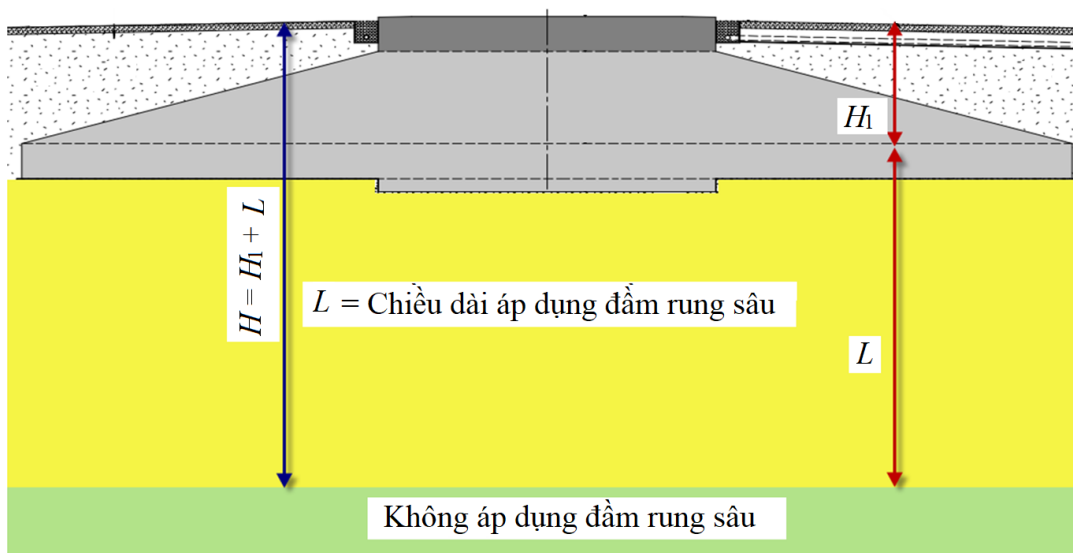


Hình 5. Khoảng thành phần hạt phù hợp cho phương pháp đầm rung làm chặt đất theo U.S. Navy [12] và Hayward-Baker [13].

Nghiên cứu của Mitchell [14] cho khuyến cáo rằng phương pháp đầm rung sẽ không hiệu quả nếu hàm lượng hạt mịn ($\leq 0,074\text{mm}$) chiếm hơn 25% khối lượng. Sự không hiệu quả ở đây do quá trình thoát nước chậm dưới tác động của lực đầm rung.

2.3. Thiết kế giải pháp đầm rung làm chặt đất

Hai thông số cơ bản cần được xác định trong thiết kế đó là: (1) Chiều sâu đầm rung hay là cao độ đáy đầm rung; (2) Các bố trí và khoảng cách đầm được minh họa ở Hình 6 và (3) phạm vi cần đầm rung.



Hình 6. Mô hình thực hiện đầm rung theo chiều sâu.

Chú ý:

$H = H_1 + L$: là tổng chiều dài xuyên trong quá trình đầm rung làm chặt đất tính từ bề mặt thiên nhiên cho đến cao độ thiết kế dừng đầm chặt nền đất.

H_1 : Chiều dài xuyên (không đầm chặt) tính từ mặt nền thiên nhiên đến vị trí có 1m cao hơn đáy móng.

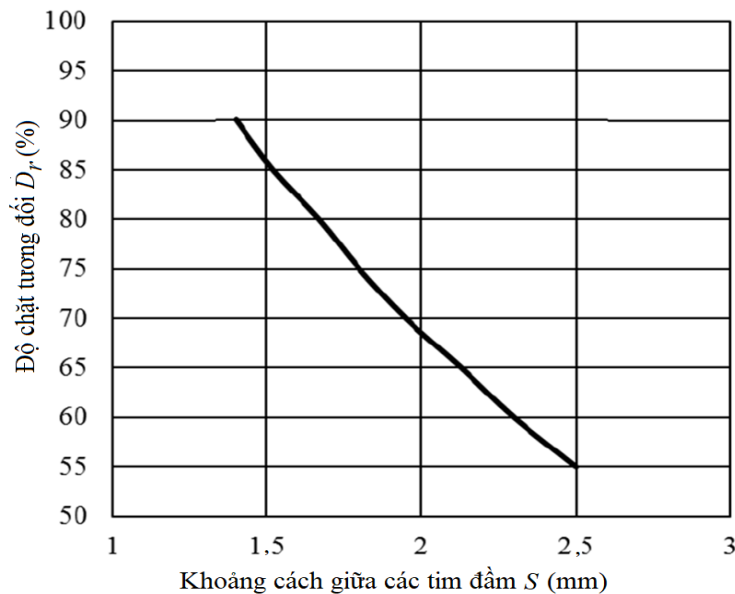
L : Chiều dài xuyên và đầm chặt nền đất dưới móng công trình, tính từ đáy cao độ đầm rung lên đến cao độ cao hơn đáy móng 1m.

a) Chiều sâu đầm rung

Căn cứ theo giá trị N_{spt} yêu cầu và hình trụ địa chất hồ khoan tương ứng tại từng vị trí trụ móng thiết kế. Xác định chiều sâu đầm rung hết lớp cát 1a và lớp cát 1b (có thể 1 phần phía trên hoặc toàn bộ lớp).

b) Khoảng cách bố trí

Khoảng cách thiết kế giữa các tim đầm rung làm chặt cát phụ thuộc loại đất, độ chặt yêu cầu. Để xác định khoảng cách bố trí tim đầm rung, trong quá trình thiết kế căn cứ theo độ chặt yêu cầu sau gia cố. Căn cứ theo biểu đồ mối tương quan giữa độ chặt (D_r %) và khoảng cách bố trí (S) được thể hiện theo Hình 6 [7][15], xác định khoảng cách bố trí giữa các vị trí tim đầm rung tương ứng với độ chặt được tính toán.



Hình 7. Mối quan hệ giữa độ chặt (D_r %) và khoảng cách bố trí (S).

Mối quan hệ giữa khoảng các đầm S và độ chặt tương đối yêu cầu D_r (%) theo biểu đồ trên có thể biểu hiện dưới phương trình đường thẳng gần đúng như sau:

$$S = -0,031D_r + 4,15 \quad (2)$$

Có một số công thức xác định độ chặt tương đối D_r từ giá trị N_{spt} [8] [16,17].

Bảng 2. Tương quan giữa giá trị N_{spt} và độ chặt tương đối D_r [8][17].

Giá trị N_{spt}	Độ chặt D_r (%)	Trạng thái
< 10	< 30	Rời rạc (xốp)
10 ÷ 30	30 ÷ 60	Chặt vừa
30 ÷ 50	60 ÷ 80	Chặt
> 50	> 80	Rất chặt

Độ chặt sau gia cố được xác định thông qua giá trị N_{spt} yêu cầu theo công thức kinh nghiệm sau [16]

$$D_r = 21 \left(\frac{N_{spt}}{\frac{\sigma'_v}{98} + 0,7} \right)^{1/2} \quad (3)$$

trong đó,

D_r : độ chặt yêu cầu đạt được

N_{spt} : giá trị số búa xuyên tiêu chuẩn tại yêu cầu đạt được

σ'_v : ứng suất hữu hiệu tại lớp gia cố đầm rung

Thay công thức (3) vào công thức (2), ta có được công thức tính khoảng cách đầm phụ thuộc vào giá trị N_{spt} yêu cầu và ứng suất hữu hiệu tại vị trí đang xét ở công thức (4) sau:

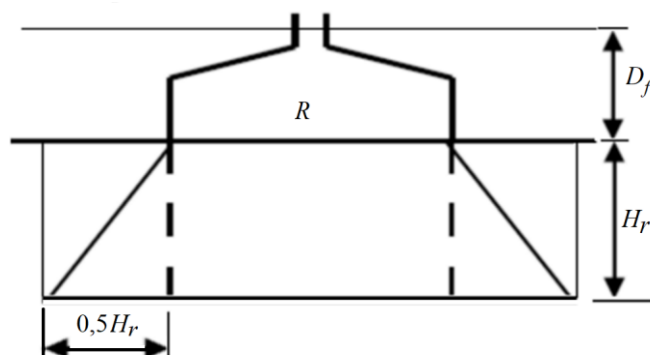
$$S = -0,651 \left(\frac{N_{spt}}{\frac{\sigma'_v}{98} + 0,7} \right)^{1/2} + 4,15 \quad (4)$$

Việc bố trí mạng lưới tim đầm rung ảnh hưởng tới độ chặt yêu cầu và tính kinh tế của biện pháp gia cố. Trong trường hợp với cùng một yêu cầu về độ chặt thiết kế, mạng bố trí hình vuông yêu cầu số điểm bố trí đầm rung nhiều hơn từ 5 đến 8% so với mạng bố trí hình tam giác (khi quy đổi mạng hình vuông về hình tam giác tương đương) theo kết quả so sánh từ báo cáo [7]. Vì vậy, mạng bố trí hình tam giác được khuyến cáo sử dụng trong thực tế.

Ảnh hưởng của mực nước ngầm: Mực nước ngầm làm giảm giá trị ứng suất hữu hiệu có trong đất σ'_v do đó làm tăng yêu cầu về độ chặt tương đối D_r . Khi đó, khoảng cách giữa các vị trí đầm sẽ gần hơn và sẽ có giới hạn về giá trị N_{spt} lớn nhất có thể đạt được

c) Phạm vi đầm rung

Phạm vi cần cải tạo để đảm bảo khả năng chịu lực cho móng được xác định qua chiều sâu cần cải tạo H_r tính từ đáy móng và chiều rộng cần cải tạo được đề xuất lớn hơn $0,5H_r$ tính từ đáy móng có đường kính R như Hình 8.



Hình 8: Sơ họa phạm vi cải tạo.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU CHO ĐẤT CÁT VEN BIỂN TỈNH QUẢNG BÌNH

Căn cứ kết quả phân tích thành phần hạt từ báo cáo khảo sát địa chất được thể hiện tại Hình 3, kết quả tính toán chỉ số phù hợp cho một số lỗ khoan điển hình được ghi chú tại Bảng 3 dưới đây.

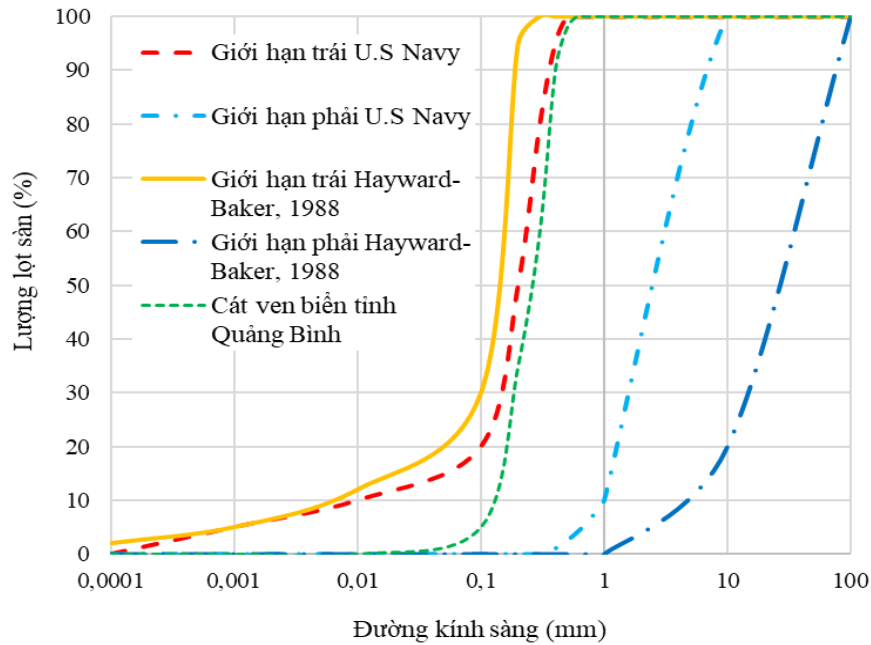
Bảng 3. Kết quả tính chỉ số phù hợp của một số vị trí lỗ khoan điển hình.

Lỗ khoan	Lớp địa chất phạm vi gia cố	D_{10} (mm)	D_{20} (mm)	D_{50} (mm)	Chỉ số phù hợp
WP09	1a: Cát cấp phối kém, xốp	0,10	0,13	0,18	26,97
	1b – Cát cấp phối kém, chặt vừa	0,13	0,16	0,20	22,38
WP11	1a – Cát cấp phối kém, chặt vừa	0,10	0,135	0,25	24,21
	1b – Cát cấp phối kém, chặt vừa	0,104	0,182	0,20	23,89
WP16	1a: Cát cấp phối kém, xốp	0,14	0,16	0,26	19,98
	1b – Cát cấp phối kém, chặt vừa	0,14	0,17	0,27	19,14
	1c: Cát cấp phối kém, chặt	0,14	0,16	0,26	19,98
WP20	1a: Cát cấp phối kém, rất xốp đến xốp	0,09	0,13	0,18	28,20
	1b – Cát cấp phối kém, chặt vừa	0,13	0,16	0,20	22,38
WP23	1a: Cát cấp phối kém, rất xốp	0,13	0,16	0,22	21,52
	1b – Cát cấp phối kém, chặt vừa	0,13	0,16	0,22	21,52
WP25	1a: Cát cấp phối kém, rất xốp	0,12	0,14	0,20	23,77
	1b – Cát cấp phối kém, chặt vừa	0,13	0,15	0,22	21,88

Kết quả nêu trong bảng 3 cho thấy chỉ số phù hợp xấp xỉ 20 cho lớp cát 1b nên được đánh giá là phù hợp cho biện pháp đầm rung. Đối với lớp cát 1a chỉ số phù hợp trung bình khoảng 25 nên được đánh giá là khá phù hợp.

Từ các biểu đồ thành phần hạt của đất cát ven biển ở tỉnh Quảng Bình, đường kính hạt chủ biểu trong khoảng giá trị 0,1mm đến 0,4mm như đặc trưng ở Hình 3. Đối chiếu với Hình 4 ta thấy đất cát ven biển ở tỉnh Quảng Bình phù hợp cho phương pháp đầm rung, cụ thể hơn phù hợp cho cả 2 cách đầm rung thay thế đất và đầm rung làm chặt đất

Tác giả vẽ tiếp biểu đồ thành phần hạt của đất cát ven biển tỉnh Quảng Bình vào Hình 9 để thấy sự phù hợp của đất cát này cho phương pháp đầm rung làm chặt đất

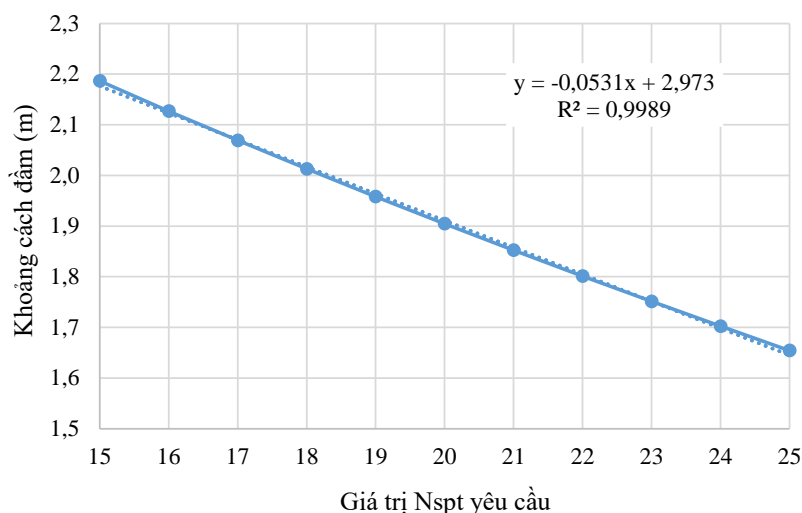


Hình 9. Khoảng thành phần hạt phù hợp cho phương pháp đầm rung làm chặt đất theo U.S. Navy [12], Hayward-Baker [13] và thành phần hạt của đất cát ven biển tỉnh Quảng Bình.

Tiếp theo khảo sát khoảng cách đầm theo giá trị N_{spt} cần đạt được sau xử lý. Giả sử các công trình có yêu cầu giá trị N_{spt} cần đạt được sau xử lý từ 15 đến 25. Thông thường phạm vi xử lý bằng đầm rung trong khoảng từ đáy móng, đáy nền đường (ở độ sâu khoảng 3m) đến độ sâu có giá trị N_{spt} mong muốn, đến phạm vi chịu nén hoặc đến độ sâu tối đa mà thiết bị đầm rung có thể thực hiện được (tối đa không quá 14m). Trong một số tính toán cho móng điện gió thì chiều sâu cần xử lý có giá trị trung bình 10m nên trong tính toán này tác giả chọn độ sâu 10m làm giá trị đặc trưng cho tính toán. Với trọng lượng thể tích trung bình của đất cát trên mực nước ngầm là $17,5 \text{ kN/m}^3$, ta có được kết quả tính khoảng cách đầm rung theo giá trị N_{spt} yêu cầu như bảng 4 và Hình 10 sau.

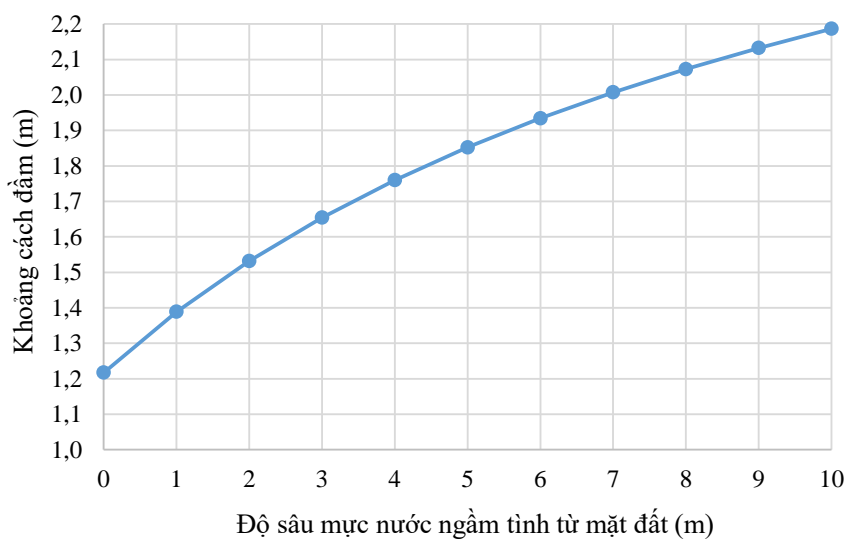
Bảng 4. Kết quả tính khoảng cách đầm rung và giá trị N_{spt} yêu cầu.

Giá trị N_{spt} yêu cầu	Độ sâu, h	σ'_v	D_r (%)	Khoảng cách đầm rung (cm)
15	10	175	63	2,19
16	10	175	65	2,13
17	10	175	67	2,07
18	10	175	69	2,01
19	10	175	71	1,96
20	10	175	72	1,90
21	10	175	74	1,85
22	10	175	76	1,80
23	10	175	77	1,75
24	10	175	79	1,70
25	10	175	81	1,65



Hình 10. Mối quan hệ giữa giá trị N_{spt} yêu cầu và khoảng cách đầm.

Tiếp theo xem xét thêm ảnh hưởng của mực nước ngầm đến việc bố trí khoảng cách đầm rung. Mực nước ngầm ở đây được tính với các trường hợp khác nhau, cụ thể mực nước ngầm có thể dâng lên bất đầu từ độ sâu 10m cho đến ngang mặt đất (0m). Khi có mực nước ngầm, ứng suất hữu hiệu tại điểm đang xét (ở độ sâu 10m) sẽ thay đổi làm thay đổi khoảng cách đầm rung như vẽ ở Hình 11 cho trường hợp mong muốn đạt được chỉ số $N_{spt} = 15$



Hình 11. Mối quan hệ giữa độ sâu mực nước ngầm tính từ mặt đất và khoảng cách đầm.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày nghiên cứu lý thuyết về tính khả thi của phương pháp đầm rung làm chặt đất cát ven biển tỉnh Quảng Bình qua một lỗ khoan đặc trưng WP09. Kết quả đánh giá lý thuyết theo lý thuyết của Brown [9], theo đơn vị chuyên sâu về cải tạo nền Keller [10], theo U.S Navy [12] và Hayward-Baker [13], theo Mitchel [14] cho thấy đất cát ven biển tỉnh Quảng Bình ở độ sâu 4,0÷4,5m là phù hợp cho phương pháp đầm rung làm chặt đất.

Bài báo cũng trình bày phương thiết kế và kết quả thiết kế phương pháp đầm rung làm chặt đất cát ven biển tỉnh Quảng Bình trong đó đề cập đến cách lựa chọn hai thông số quan trọng là chiều sâu đầm rung và khoảng cách đầm.

Bài báo cũng đồng thời đưa ra sự ảnh hưởng của mực nước ngầm đến khoảng cách đầm trong thiết kế. Kết quả nghiên cứu giúp cho người kỹ sư có thêm các thực hiện và số liệu tham khảo cho thiết kế phương pháp đầm rung làm chặt đất trong tương lai.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường đại học Giao thông vận tải (ĐH GTVT) trong mã đề tài số T2022-CT-007. Các tác giả xin chân thành cảm ơn các kỹ sư công ty cổ phần FECON, Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng IBST đã hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. R.G. Lukas, Dynamic Compaction, Geotechnical Engineering Circular No. 1, FHWA-SA-95-037, 105, FHWA, Washington, DC, 1995.
- [2]. C. Zhou, C. Yang, H. Qi, K. Yao, Z. Yao, K. Wang, P. Ji, H. Li, Evaluation on Improvement Zone of Foundation after Dynamic Compaction. Appl. Sci., 11 (2021) 2156. <https://doi.org/10.3390/app11052156>
- [3]. J.S. Moon, H.S. Jung, S. Lee, S.T. Kang, Ground Improvement Using Dynamic Compaction in Sabkha Deposit. Appl. Sci., 9 (2019) 2506. <https://doi.org/10.3390/app9122506>
- [4]. G.P. Nicholson, Soil Improvement and Ground Modification Methods, 2015, ISBN 9780124080768.
- [5]. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 7th ed., with 2015 and 2016 Interim Revisions, LRFDUS-7-M. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 2014.
- [6]. J. Han, Principles and Practices of Ground Improvement. John Wiley & Sons, Inc., 2015.
- [7]. V.R. Schaefer, R.R. Berg, J.G. Collin, B.R. Christopher, J.A. DiMaggio, G.M. Filz, D.A. Bruce, D.Ayala, Geotechnical Engineering Circular No.13 – Ground Modification Methods – Reference Manual Volumn I. FHWA-NHI-16-027, 2016.
- [8]. Đặng Hồng Lam, Nguyễn Đình Dũng, Nguyễn Châu Lân, Nền và Móng Công trình Giao thông, NXB Giao thông Vận tải, 2022.
- [9]. R.E. Brown, Vibroflotation Compaction of Cohesionless Soils. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 103 (1977) 1437-1451.
- [10]. Keller. Vibro technique, Keller Group Pl, www.keller.com
- [11]. J. C. Glover, Sand Compaction and Stone Columns by the Vibroflotation Process Proc. ASCE Symposium on Recent Developments in Ground Improvement Techniques. Bangkok, 1982.
- [12]. U.S. Navy, Design Manual-Soil Mechanics, Foundations, and Earth Structures. Naval Facilities Engineering Command, NAVFAC DM-7.3, Washington, DC, 1983.
- [13]. C.J. Griffith, Soil improvement through vibro-compaction and vibro-replacement, 1991.
- [14]. J.K. Mitchell, Soil Mechanics and Foundation Engineering. Proc. 10th ICSMFE, Stockholm, Sweden, 1981.
- [15]. S. Thorburn, Building Structures Supported by Stabilized Ground Geotechnique, 25 (1975) 1.
- [16]. G. G. Meyerhof, Discussion on research on determining the density of sands by spoon penetration testing. Proc. 4th Int. Conf. on SMFE, 3 (1957), p. 110.
- [17]. TCVN 9351 - 2012 : Đất xây dựng – Phương pháp thí nghiệm hiện trường – Thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn (SPT).