

## Nghiên cứu một số mô hình vật liệu nâng cao trong mô phỏng ứng xử của đất rời chịu tác dụng của tải trọng chu kỳ theo phương thẳng đứng

Phạm Văn Hùng\*  
Trường Đại học Mỏ - Địa chất

### TÓM TẮT

Trong nghiên cứu mô phỏng số các bài toán địa kỹ thuật, nghiên cứu ứng xử của nền đất và kết cấu chịu tác dụng của tải trọng chu kỳ là một thách thức không nhỏ. Một số mô hình vật liệu biểu diễn ứng xử của đất chịu tác dụng của tải trọng chu kỳ đã được sử dụng. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng các mô hình đất thông thường như mô hình Mohr-Coulomb và Cam clay cải tiến, Hardening Soil... chưa thể dự báo sự tích lũy độ lún và sự suy giảm độ cứng của đất theo số lần lặp của tải trọng chu kỳ. Bài báo tiến hành phân tích một số mô hình đất cơ bản và nâng cao như Mohr-Coulomb, Cam-clay cải tiến, tăng bền động học và hypoplasticity... trong mô phỏng khối đất chịu tác dụng của tải trọng chu kỳ theo phương thẳng đứng. Kết quả cho thấy rằng các mô hình tăng bền động học và hypoplasticity phản ánh tốt hơn ứng xử của đất dưới tác dụng của tải trọng chu kỳ dưới dạng sự tích lũy độ lún của đất. Ngoài ra, thông qua so sánh kết quả mô hình số với các kết quả thực nghiệm, nghiên cứu làm rõ mức độ tin cậy trong việc sử dụng một số mô hình đất nâng cao trong mô phỏng ứng xử của đất dưới tác dụng của tải trọng chu kỳ.

*Từ khóa:* mô hình vật liệu nâng cao; đất rời; tích lũy biến dạng; tải trọng chu kỳ.

### 1. Đặt vấn đề

Trong thực tế, nhiều kết cấu chịu tác dụng của tải trọng có cường độ thay đổi theo thời gian, như tải trọng gây bởi động đất, gió, sự xếp dỡ tải, giao thông, vận hành máy móc và hoạt động sản xuất. Khi tốc độ thay đổi của tải trọng đủ lớn thì ảnh hưởng của tải trọng chu kỳ không thể bỏ qua. Tải trọng chu kỳ tác dụng lên các bộ phận kết cấu, và truyền xuống móng và nền. Ứng xử của nền đất dưới tác dụng của tải trọng chu kỳ rất phức tạp. Ứng suất gây bởi tải trọng chu kỳ làm các hạt đất tái sắp xếp và thay đổi bề mặt tiếp giữa các hạt, làm gia tăng biến dạng dư với mỗi chu kỳ của tải trọng. Ngoài ra, sự gia tăng của áp lực nước lỗ rỗng với số lượng chu kỳ tải trọng, gây giảm ứng suất hữu hiệu, làm giảm khả năng chịu lực của nền đất. Sự tích lũy áp lực nước lỗ rỗng và biến dạng dư của nền đất dưới tác dụng của tải trọng chu kỳ là mối quan tâm đối với nhiều công trình như mặt đường cao tốc, đường sắt và đường sân bay (Ishihara, 1996).

Trước đây, khi tiến hành mô phỏng hay xây dựng lời giải giải tích cho các bài toán địa kỹ thuật, các mô hình vật liệu cổ điển thường được sử dụng như mô hình đàn hồi, mô hình đàn hồi tuyến tính và dẻo tuyệt đối (Mohr-Coulomb). Ngày nay, cùng với sự phát triển của công nghệ thông tin và các phần mềm lập trình, mô hình vật liệu nâng cao hơn được phát triển liên tục với nhiều hàm và nhiều biến hơn. Mô hình nâng cao cho phép mô phỏng chính xác hơn sự làm việc của các vật liệu nói chung và đất nói riêng (Ni và nnk, 2014).

Bài báo phân tích một số mô hình vật liệu nâng cao khi mô phỏng ứng xử của nền đất dưới tác dụng chu kỳ. Những so sánh đánh giá hiệu quả của mô hình nâng cao với những mô hình truyền thống cũng được thảo luận. Ngoài ra, bài báo làm rõ mức độ tin cậy trong việc sử dụng mô hình đất nâng cao khi mô phỏng ứng xử của đất dưới tác dụng của tải trọng chu kỳ nhờ so sánh kết quả mô hình với kết quả thực nghiệm.

### 2. Lý thuyết mô hình vật liệu trong mô phỏng ứng xử của đất dưới tác dụng của tải trọng chu kỳ

Các mô hình ứng xử của đất trước đây thường được xây dựng thông qua các quan hệ với ứng suất tổng. Tuy nhiên, các mô hình này đã tồn tại một số hạn chế, đặc biệt là trong các bài toán thoát nước và không thoát nước. Ứng suất hữu hiệu được đại diện trong mô phỏng ứng xử của đất, ngay cả khi chịu tải đơn điệu và tải trọng chu kỳ. Do đó, trong những thập kỷ gần đây, hầu hết các mô hình ứng xử của vật liệu đều dựa trên lịch sử ứng suất và những thay đổi trong ứng suất hữu hiệu (O'Reilly và Brown, 1991). Với một tenxơ ứng suất tổng là  $\sigma_{ij}$  (dấu dương khi chịu nén) và áp lực lỗ rỗng là  $u$ , tenxơ ứng suất hữu hiệu là  $\sigma'_{ij}$ , Tenxơ

\* Tác giả liên hệ  
Email: phamvanhung@hmg.edu.vn

ứng suất hữu hiệu được xác định:

$$\sigma'_{ij} = \sigma_{ij} - u\delta_{ij} \quad (1)$$

Trong đó, tenxơ  $\delta_{ij}$ , là biến thiên Kronecker,  $\delta_{ij} = 1$  khi  $i = j$ ; và  $\delta_{ij} = 0$  khi  $i \neq j$

### 2.1. Mô hình đàn hồi, dẻo tuyệt đối (Mohr-Coulomb)

Mô hình Mohr-Coulomb không thể mô tả quá trình tích lũy biến dạng của đất dưới tác dụng của tải trọng chu kỳ do độ cứng của đất trong mô hình được coi là không đổi. Các kết quả thực nghiệm và lý thuyết đã chỉ ra rằng chỉ khi có sự giảm độ cứng và sự gia tăng hệ số giảm chấn, hiện tượng tích lũy biến dạng với số chu kỳ tải trọng mới xảy ra. Mô hình Mohr-Coulomb chỉ có thể mô tả sự giảm độ cứng cát tuyến trung bình khi xảy ra giai đoạn biến dạng dẻo (Prisco và Wood, 2012). Độ cứng cát tuyến được coi là sự kết hợp của độ cứng không đổi trước phá hoại và độ cứng bằng “0” trong giai đoạn đất bị chảy dẻo (hình 1). Nếu biến dạng cát tại giai đoạn chảy dẻo trong mô hình đàn hồi tuyến tính dẻo tuyệt đối với mô đun cát  $G$  là  $\gamma_f$ , tại biến dạng cát  $\gamma_m$ , ứng suất cát bằng  $G\gamma_f$ , độ cứng cát tuyến  $G_s$  được xác định theo (2).

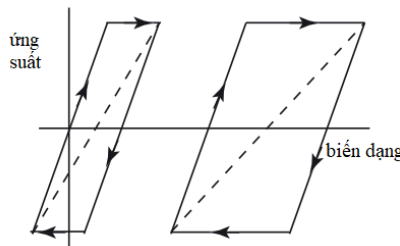
$$G_s = G \frac{\gamma_f}{\gamma_m} \quad (2)$$

Năng lượng tiêu tán và năng lượng đàn hồi được lưu trữ tối đa trong mỗi chu kỳ được biểu diễn theo công thức (3) và (4). Sau đó, hệ số giảm chấn  $D$  được tính theo công thức (5).

$$W = 4G\gamma_f^2 \left( \frac{\gamma_m}{\gamma_f} - 1 \right) \quad (3)$$

$$\Delta W = \frac{1}{2} G\gamma_f^2 \frac{\gamma_m}{\gamma_f} \quad (4)$$

$$D = \frac{2}{\pi} \left( 1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_m} \right) \quad (5)$$



Hình 1. Sự phụ thuộc của biên độ biến dạng vào độ cứng cát tuyến dưới tác dụng của tải trọng chu kỳ của mô hình Mohr-Coulomb (Prisco và Wood, 2012).

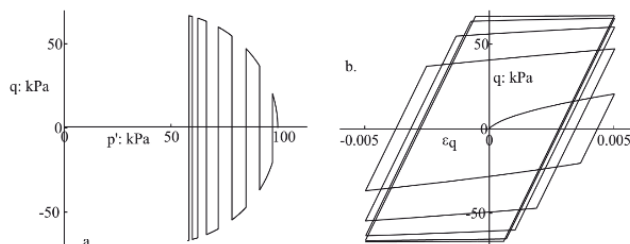
### 2.2. Mô hình Cam-clay cải tiến

Mô hình Cam-clay cải tiến là mô hình đàn-dẻo với quy luật tăng bền/giảm bền (hardening/softening rules), trong đó ứng xử của đất trong giai đoạn đàn hồi là phi tuyến và ứng xử tăng bền/giảm bền được biểu diễn thông qua biến dạng dẻo thể tích. Mô hình Cam-clay cải tiến đã được sử dụng rộng rãi khi mô phỏng ứng xử của một số loại đất yếu (Roscoe và Burland, 1968; Wood, 1990). Mô hình Cam-clay cải tiến không thể mô tả được hiện tượng tích lũy biến dạng với số chu kỳ của tải trọng do quan hệ ứng suất – biến dạng giai đoạn dỡ tải và gia tải là tuyến tính (hình 2). Các hàm toán học của mô hình Cam-clay cải tiến được xây dựng trên lý thuyết đàn hồi, lý thuyết dẻo và lý thuyết đường bao phá hủy cho phép mô hình phù hợp để mô tả sự thay đổi thể tích theo các cấp tải trọng khác nhau, ứng xử đàn hồi phi tuyến, quy luật tăng bền/giảm bền và trạng thái giới hạn.

### 2.3. Mô hình dẻo tăng bền động học

Khi trạng thái ứng suất đạt đến đường bao giới hạn dẻo, đường bao giới hạn này sẽ được mở rộng hướng ra bên ngoài, và sự tăng của kích thước đường bao giới hạn dẻo làm tăng vùng đàn hồi. Việc xem xét quy tắc tăng bền động học cho phép xem xét sự thay đổi vùng đàn hồi cả về kích thước và vị trí của nó. Mô hình Cam-clay không thể mô hình hóa sự phát triển của giai đoạn dẻo cho các đường dỡ tải. Do đó, việc vận dụng nguyên lý động học cho các mô hình dẻo có thể giải quyết việc đó. Theo quan điểm của Prisco và Wood (2012), nguyên lý tăng bền động học nên được khuyến khích cho các mô hình tăng bền đẳng hướng: trong mô hình Cam-clay, quỹ tích đường chảy dẻo không thay đổi hình dạng và hướng của nó, và

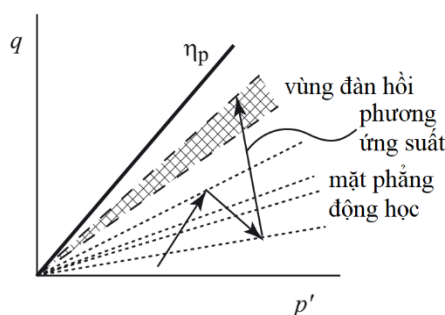
nó sẽ đi qua không gian ứng suất ban đầu khi đường ứng suất tương tác với nó; với mô hình Mohr-Coulomb, kích thước của đường bao chảy dẻo tăng dần dần.



Hình 2. Các thí nghiệm nén ba trục không thoát nước bằng mô hình Cam-clay: (a) đường ứng suất hữu hiệu; (b) quan hệ ứng suất - biến dạng (Prisco và Wood, 2012)

### 2.3.1. Mô hình Mohr-Coulomb với nguyên lý tăng bền động học

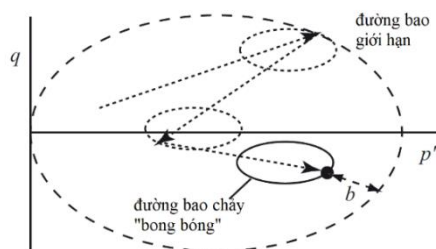
Để khắc phục những nhược điểm gây ra do mô hình đàn hồi tuyến tính trong giai đoạn làm việc khi dỡ tải và gia tải. Việc phát triển thêm nguyên lý tăng bền động học trong mô hình Mohr-Coulomb sẽ cho phép thay đổi độ cứng trong vùng đàn hồi và phụ thuộc vào lịch sử ứng suất tác dụng (hình 3). Rõ ràng, đường bao của vùng đàn hồi này là đường bao giới hạn dẻo. Tuy nhiên, để liên hệ với mô hình trước đó, phạm vi giới hạn vùng đàn hồi được gọi là bề mặt dẻo và bề mặt trước đây được gọi là mặt dẻo giới hạn (Dafalias và Popov, 1975). Do đó, độ cứng có thể xác định riêng rẽ phụ thuộc vào bề mặt dẻo và bề mặt dẻo giới hạn. Dựa trên sự lựa chọn hàm nội suy của độ cứng, sự biến đổi độ cứng liên tục và trơn tru được chuyển dịch từ giá trị đàn hồi sang giá trị dẻo hoàn toàn khi trạng thái ứng suất di chuyển từ bề mặt dẻo bên trong ra bề mặt bên ngoài. Ảnh hưởng của trạng thái của đất và cấp độ ứng suất được xem xét nhờ đưa vào các tham số mô hình. Ngoài ra, hiện tượng giảm bền trong phạm vi cắt cục bộ cũng được mô phỏng.



Hình 3. Mô hình Mohr-Coulomb với thuyết tăng bền động học (Dafalias và Popov, 1975).

### 2.3.2. Mô hình Cam-clay với thuyết tăng bền động học 'bong bóng'

Nguyên lý tăng bền động học cho mô hình Cam-clay đã được đề xuất bởi nhóm tác giả Al-Tabbaa và Muir Wood (1989). Vùng đàn hồi được giới hạn bởi một mặt dẻo 'bong bóng' (đường bao nhỏ nằm bên trong), nó có thể di chuyển bên trong bề mặt giới hạn, *a*, (đại diện cho trạng thái ứng suất hiện tại). Các chuyển động của 'bong bóng' sinh ra trong các biến dạng dẻo. Bề mặt 'bong bóng' có thể tiếp xúc với bề mặt đường bao giới hạn, nhưng nó không bao giờ vượt ra ngoài bề mặt giới hạn. Độ cứng của đất sẽ thay đổi linh hoạt nhờ khoảng cách giữa 'bong bóng' và bề mặt đường bao giới hạn, *b*. Độ cứng sẽ giảm đi khi 'bong bóng' di chuyển gần bề mặt giới hạn (hình 4).



Hình 4. Nguyên lý tăng bền động học cho mô hình Cam-clay (Al-Tabbaa và Muir Wood, 1989).

Liên quan đến ứng xử của đất khi chịu tác dụng của tải trọng chu kỳ của mô hình này, quy tắc chảy không liên hệ cho phép thay đổi biến dạng cắt và biến dạng thể tích một cách phù hợp, đặc biệt là đối với ứng xử liên quan độ giãn nở khi cắt.

Ngoài ra, nhờ việc đưa thêm ba tham số của mô hình mà nó đại diện cho tốc độ tăng bền trong chu kỳ đầu tiên của tải trọng, mô hình đàn dẻo kết hợp với nguyên lý tăng bền động học đẳng hướng có thể mô hình hóa ứng xử của đất sét cứng tự nhiên dưới tác dụng của tải trọng chu kỳ (theo Hong và nnk. 2014) (Hong và nnk, 2014).

#### 2.4. Mô hình Hypoplasticity

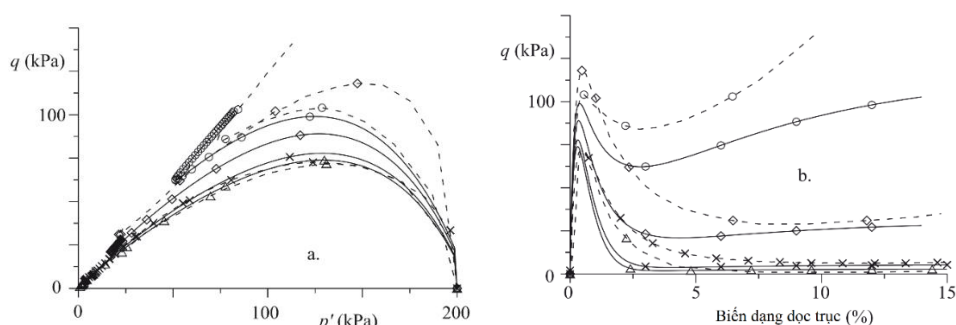
Mô hình được đề xuất bởi Kolymbas. Phương trình toán học tổng quát của mô hình hypoplastic được trình bày trong các nghiên cứu của Kolymbas (1988); Kolymbas và Karlsruhe (1991), trong đó ứng xử phi tuyến trong giai đoạn đàn hồi của các vật liệu đã được xây dựng bằng cách sử dụng một phương trình tenxơ phi tuyến duy nhất của tốc độ biến dạng. Do không tạo ra bề mặt dẻo cũng như không chia thành giai đoạn đàn hồi và giai đoạn dẻo, các phương trình toán học của mô hình hypoplastic khác biệt đáng kể so với các mô hình đàn hồi-dẻo trước đây. Các phương trình toán học của mô hình này không chỉ đề cập đến tính phi tuyến của đất, ảnh hưởng của độ rỗng của đất và độ giãn nở (thuộc tính *pyknotropy*) và mức độ áp suất (thuộc tính *barotropy*) (Gudehus, 1996), mà còn xét đến ảnh hưởng của lịch sử biến dạng của đất trong giai đoạn biến dạng rất nhỏ (Niemunis và Herle, 1997).

Về khía cạnh tải trọng chu kỳ, mô hình hypoplasticity đã phát triển thêm nguyên lý về biến dạng nhỏ giữa các hạt. Nhờ đó mà mô hình đã xem xét được ứng xử biến dạng nhỏ do sự thay đổi hướng ứng suất. Nguyên lý biến dạng nhỏ giữa các hạt dẫn đến phát sinh thêm tenxơ biến dạng giữa các hạt ( $\delta$ ), lưu trữ lịch sử biến dạng gần đây nhất và sự gia tăng độ cứng ( $E = dT/d\epsilon$ ) của vật liệu khi thay đổi theo hướng biến dạng ( $D$ ). Mô hình hypoplastic đã được áp dụng phổ biến cho bài toán địa kỹ thuật chịu tác dụng tải trọng chu kỳ, như công trình dân dụng chịu động đất (Gudehus và nnk, 2008), tòa nhà chịu tải trọng chu kỳ (von Wolffersdorff và Schwab, 2009) và nền đắp tăng cường bằng lưới địa kỹ thuật (ĐKT) trên đất yếu gia cố bằng cọc cứng chịu tải trọng lặp (Moormann và nnk, 2016).

### 3. Mô hình vật liệu nâng cao mô phỏng ứng xử của đất rời chịu tác dụng của tải trọng chu kỳ

#### 3.1. Mô hình tăng bền động học

Tác giả Gajo và nnk (2004) sử dụng mô hình Mohr-Coulomb với nguyên lý tăng bền động học để mô phỏng quá trình nén ba trục mẫu cát. Ảnh hưởng của vị trí các mẫu cát cũng được đưa ra chi tiết hơn dựa trên một mô hình tương đương với mẫu cát Severn-Trent. Kết quả của Gajo và Muir Wood (1999) chỉ ra rằng tính chính xác của mô hình đã được kiểm chứng nhờ đối sánh với dữ liệu thí nghiệm nén ba trục cho cát Hostun, như trong hình 5.



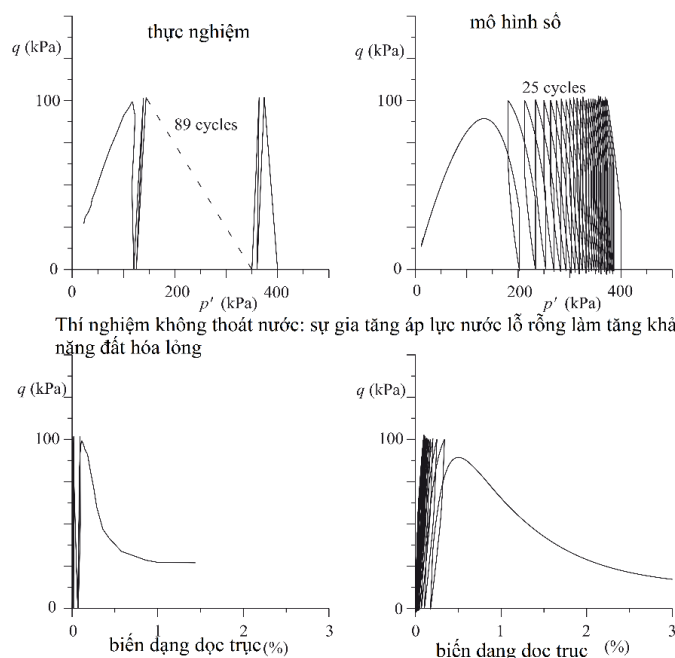
Hình 5. So sánh kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm: ảnh hưởng của trạng thái ban đầu đến kết quả thí nghiệm nén ba trục không thoát nước cát Hostun với ứng suất hữu hiệu  $p' = 200$  kPa (Gajo và Muir Wood, 1999).

Một thí nghiệm nén ba trục không thoát nước của cát Hostun được xây dựng bằng mô hình số được thực hiện bởi Gajo và Muir Wood (1999). Kết quả mô phỏng số cho thấy mẫu đất đã bị hóa lỏng sau 25 chu kỳ, trong khi mô hình thực nghiệm hóa lỏng sau 89 chu kỳ, được biểu thị trong hình 6. Tuy nhiên, có điểm đáng nhấn mạnh ở đây rằng mô hình tăng bền động học có thể mô phỏng ứng xử của đất dưới tác dụng của tải trọng chu kỳ liên quan đến sự thay đổi biến dạng thể tích của đất.

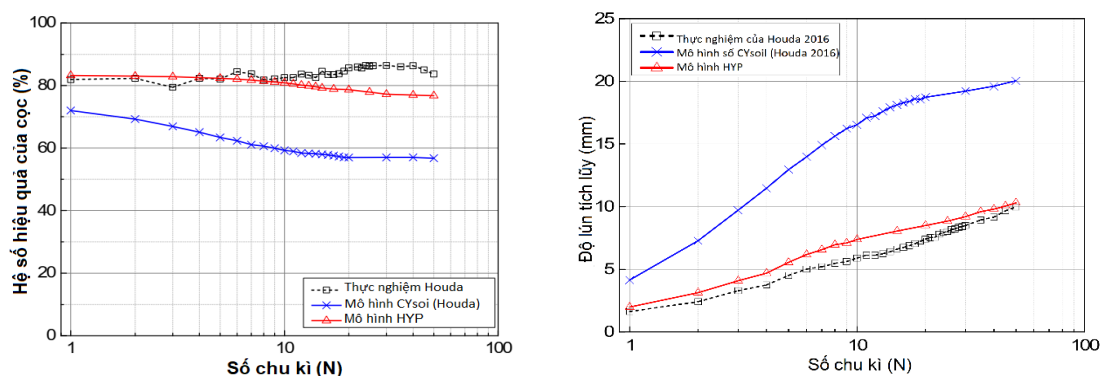
#### 3.2. Mô hình hypoplasticity

Nghiên cứu khối đắp trên nền đất yếu gia cố bằng cọc cứng, vận dụng mô hình hypoplasticity cho khối đắp bằng vật liệu rời, Phạm và Dias (2021) đã chỉ ra rằng, sử dụng mô hình hypoplasticity cho đất rời có

thể mô phỏng được quá trình truyền tải trọng bên trong khối đất và hiện tượng tích lũy biến dạng với số chu kỳ tải trọng (hình 7). Ngoài ra, các kết quả số của mô hình hypoplasticity cho kết quả chính xác hơn so với mô hình CYsoil về hệ số hiệu quả của cọc và độ lún tích lũy. Việc xem xét ứng xử phi tuyến tính trong quá trình dỡ tải-gia tải cho phép mô hình hypoplasticity đánh giá tốt sức chịu tải của nền và độ lún tích lũy.



Hình 6. So sánh giữa kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm về tải trọng chu kỳ không thoát nước trên cát rời Hostun (Gajo và Muir Wood, 1999).



Hình 7. Hệ số hiệu quả của cọc và độ lún tích lũy của khối đất dưới tác dụng của tải trọng chu kỳ (Van Pham và Dias, 2021).

#### 4. Kết luận

Bài báo phân tích một số mô hình vật liệu trong mô phỏng ứng xử của nền đất dưới tác dụng của tải trọng chu kỳ. Mô hình vật liệu truyền thống như Mohr-Coulomb và Cam-clay cải tiến chưa thể mô phỏng ứng xử của nền đất dưới tác dụng của tải trọng chu kỳ bởi do quan hệ ứng suất – biến dạng giai đoạn dỡ tải và gia tải là đàn hồi. Bên cạnh đó, mô hình tăng bền động học và mô hình hypoplasticity được xem là mô hình vật liệu nâng cao nhờ biểu diễn được các quan hệ ứng suất – biến dạng phức tạp, ứng xử đàn hồi phi tuyến, quy luật động học, sự biến đổi độ cứng trong vùng đàn hồi phụ thuộc vào lịch sử ứng suất.

Thông qua so sánh kết quả phân tích một số kết quả nghiên cứu, bài báo đã chỉ ra rằng sử dụng mô hình vật liệu nâng cao hoàn toàn có thể mô phỏng được ứng xử của nền đất dưới tác dụng của tải trọng chu kỳ dưới khía cạnh về sức chịu tải của nền và sự tích lũy biến dạng với mức độ tin cậy cao.

#### Lời cảm ơn

Tác giả chân thành cảm ơn nhóm nghiên cứu mạnh “Địa kỹ thuật, vật liệu và phát triển bền vững, GESCC”, Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở - Địa chất về sự định hướng và đóng góp hoàn thiện bản thảo.

## Tài liệu tham khảo

- Al-Tabbaa, A. and Muir Wood, D. 1989. An experimentally based 'bubble' model for clay. In *International Symposium on Numerical Models in Geomechanics*, pp. 91–99.
- Dafalias, Y.F and Popov, E.P. 1975. A model of nonlinearly hardening materials for complex loading. *Acta Mechanica*, 21(3), 173–192.
- Gajo, A., Bigoni, D. and Muir Wood, D. 2004. Multiple shear band development and related instabilities in granular materials. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 52(12), 2683–2724.
- Gajo, A. and Muir Wood, D. 1999. A kinematic hardening constitutive model for sands: the multiaxial formulation. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 23, 925–965.
- Gudehus, G. 1996. A Comprehensive Constitutive Equation for Granular Materials. *Soils and Foundations*, 36(1), 1–12.
- Gudehus et al. 2008. The soilmodels.info project. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 32(12), 1571–1572.
- Hong, P.Y, Pereira, J.M, Cui, Y.J, Tang, A.M, Collin, F. and Li, X.L. 2014. An elastoplastic model with combined isotropic-kinematic hardening to predict the cyclic behavior of stiff clays. *Computers and Geotechnics*, 62, 193–202.
- Ishihara, K. 1996. Soil behavior in earthquake geotechnics. Clarendon Press, 1996, 350 pages.
- Kolymbas, D. (1988), A constitutive theory for soils and other granular materials, Publication Series of the Institute of Soil Mechanics and Rock Mechanics, Karlsruhe University, No. 109
- Kolymbas D. 1991. An outline of hypoplasticity. *Archive of Applied Mechanics*, 61, pages143–151.
- Moormann, C., Lehn, J. and Aschrafi, J. 2016. Design of reinforced piled earth structures under static and variable loads. in GeoAmericas 2016, 3rd Pan-American Conference on Geosynthetics.
- Ni, J., Indraratna, B., Asce, F., Geng, X., Carter, J.P. and Chen, Y. 2014. Model of Soft Soils under Cyclic Loading. *International Journal of Geomechanics*, 15(4), 1–10.
- Niemunis, A. and Herle, I. 1997. Hypoplastic model for cohesionless soils with elastic strain range. *Mechanics of Cohesive-frictional Materials*, 2(4), 279–299.
- O'Reilly, M.P. and Brown, S.F. 1991. Cyclic loading of Soils. Blackie, 1991, 479 pages.
- Pham V.H. and Dias, D. 2021. 3D Numerical Modeling of Rigid Inclusion-Improved Soft Soils Under Monotonic and Cyclic Loading-Case of a Small-Scale Laboratory Experiment. *Applied Sciences*, 11, 1–18.
- Prisco, P.D. and Wood, D.M. 2012. Mechanical behaviour of Soils under environmentally induced cyclic Loads. *Springer Vienna*, 573.
- Roscoe, K.H. and Burland, J.B. 1968. On the Generalized Stress-Strain Behavior of Wet Clays. In: J. Heyman, F. Leckie (Eds.), *Engineering plasticity*, Cambridge University Press, Cambridge, 535-609.
- von Wolffersdorff, P.A. and Schwab, R. 2009. The Uelzen I Lock - Hypoplastic finite-element analysis of cyclic loading. *Bautechnik*, 86, 64–73.
- Wood, M. 1990. Soil behaviour and critical state soil mechanics. *Cambridge University Press*.

## ABSTRACT

### Study on the advanced constitutive models in simulating the granular soil behavior subjected to vertical cyclic loading

Pham Van Hung\*

*Hanoi University of Mining and Geology*

In numerical modeling for geotechnical engineering, the study of the behavior of the soil and the structure under the cyclic loads is the challenge. Several constitutive models representing soil behavior under cyclic loading were proposed to use. The previous studies showed that classical soil constitutive models, such as Mohr-Coulomb, modified Cam-clay model, and Hardening Soil, cannot describe the strain accumulation and the decrease in soil stiffness under a number of load cycles. The paper aims to analyze the basic and advanced soil constitutive models including Mohr-Coulomb, modified Cam-clay, kinematic hardening and hypoplasticity models in the simulation of soil under vertical cyclic loading. The paper shows that the kinematic hardening and hypoplasticity models better describe the soil behavior under cyclic loading in terms of strain accumulation. In addition, thanks to a comparison of numerical modeling results with experimental results, the study clarifies the reliability level in using the advanced soil constitutive models in simulating soil behavior under cyclic loads.

*Keywords:* advanced constitutive model; granular soil; cumulative strain; cyclic loading.