



Công trình ' ( ) c hoàn thành t+i

**! I H # C    À N % N G**

**Ng8Fi h8Ing dKn khoa hLc: GS.TS. NGUYMN VI ' T TRUNG**

Ph-n bi.n 1: PGS.TS. Hoàng Ph( \*ng Hoa

Ph-n bi.n 2: TS. Tr1n \$inh Qu-ng

Lu2n v3n s5 ' ( ) c b-o v. tr(7c H9i ' ;ng ch<m Lu2n v3n t=t  
nghi. p Th+c s> K@ thu2t hBp t+i \$+i HBc \$à NCng vào ngày 13  
tháng 09 n3m 2015.

Có thE tìm hiEu Lu2n v3n t+i:

- Trung tâm Thông tin-HBc li. u, \$+i hBc \$à NCng
- Th( vi. n tr( Gng HBc li. u, \$+i hBc \$à NCng

## MỞ ĐẦU

### 1. Lý do chọn đề tài

Trước đây, việc phân tích và tính toán kết cấu trong bài toán phẳng hay bài toán không gian cho công trình xây dựng nói chung và công trình cầu nói riêng, ta thường phân tích và tính toán tách biệt sự làm việc độc lập giữa kết cấu-móng-đất nền. Đất nền được xem như là điều kiện giới hạn liên kết của kết cấu bằng các liên kết nối đất như gối di động, gối cố định, ngàm cứng và ngàm trượt. Khi bài toán kết cấu được xét độc lập với kết cấu móng và đất nền thì việc tính toán đơn giản hơn, kết quả nhanh hơn nhưng lại không phản ánh đúng sơ đồ làm việc thực của kết cấu trong quá trình khai thác và sử dụng.

Ngày nay, do yêu cầu thực tế của ngành xây dựng, nhiều công trình cầu có kết cấu phức tạp, việc tính toán và thiết kế kết cấu phải xét đến sự làm việc đồng thời của kết cấu-móng-đất nền để có giải pháp thiết kế hợp lý và tiết kiệm. Vì vậy việc nghiên cứu bài toán đồng thời giữa nền và kết cấu để vận dụng trong thiết kế kết cấu và xây dựng cầu thực sự là cần thiết. Từ đó kiến nghị trong quá trình tính toán kết cấu cầu cần xét đến tính tương tác giữa kết cấu-móng-nền để có giải pháp thiết kế hợp lý và hiệu quả kinh tế cao.

### 2. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: Tập trung nghiên cứu sự biến thiên nội lực trong kết cấu cầu dầm liên tục và cầu khung liên tục. Sử dụng các số liệu về địa chất, thủy văn, sơ đồ kết cấu và tải trọng của cầu Cẩm Lệ, cầu Hòa Phước để tính toán.

Phạm vi nghiên cứu: Tính toán nội lực trong kết cấu cầu liên tục trong trường hợp có xét và không xét đến tương tác của đất nền.

### 3. Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu nghiên cứu là so sánh nội lực trong kết cấu cầu khi

có xét và không xét đến sự tương tác của đất nền. Sử dụng mô hình nền biến dạng đàn hồi cục bộ và mô hình nền biến dạng đàn hồi tổng quát để xác định hệ số nền cho các loại kết cấu móng công trình cầu. Ứng dụng lý thuyết phần tử hữu hạn và phần mềm tính toán kết cấu SAP2000 để tính nội lực trong kết cấu khi có xét đến sự làm việc đồng thời của đất nền. Từ kết quả tính toán ta rút ra nhận xét và đề xuất phương pháp phân tích kết cấu cầu hợp lý và kinh tế.

#### **4. Phương pháp nghiên cứu**

Áp dụng lý thuyết tính toán hệ số nền kết hợp với các số liệu khảo sát địa chất, kết cấu thực của công trình cầu để tính toán hệ số nền cho công trình cầu thực tế. Phân tích và mô hình hóa kết cấu, sử dụng phần mềm SAP 2000 để tính toán. So sánh các kết quả tính để có kiến nghị phù hợp trong việc phân tích kết cấu cầu.

#### **5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài**

Việc phân tích và tính toán kết cấu cầu có xét đến sự tương tác của đất nền bằng phương pháp phần tử hữu hạn và máy tính điện tử cho phép ta giải quyết được bài toán kết cấu không gian phức tạp với kết quả nhanh và độ chính xác cao. Vấn đề được giải quyết làm cơ sở cho việc lựa chọn phương pháp phân tích kết cấu tương ứng, có giải pháp thiết kế hợp lý và hiệu quả kinh tế.

Vì vậy, học viên lựa chọn đề tài: “***Tính toán kết cấu cầu liên tục khi có xét và không xét đến tương tác của đất nền***”.

#### **6. Dự kiến cấu trúc luận văn**

Ngoài phần mở đầu, luận văn gồm có 3 chương

Chương 1: Tổng quan về mô hình tính toán kết cấu cầu

Chương 2: Phương pháp xác định hệ số nền đàn hồi tương đương của đất nền

Chương 3: Tính toán kết cấu một số cầu liên tục khi xét và không xét đến sự làm việc đồng thời của đất nền.

## CHƯƠNG 1

# TỔNG QUAN VỀ MÔ HÌNH TÍNH TOÁN KẾT CẤU CẦU

### 1.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Công trình cầu có một vai trò đặc biệt quan trọng trong phát triển kinh tế, xã hội, đảm bảo quốc phòng và an ninh cho mỗi đất nước. Trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển của khoa học và công nghệ, công nghệ thiết kế và thi công cầu cũng phát triển vô cùng mạnh mẽ. Nhiều công trình cầu có kiến trúc đẹp, kết cấu phức tạp và khả năng vượt nhịp lớn đã được xây dựng khắp nơi trên thế như cầu Millau ở Pháp, cầu Vasaco da Gama ở Bồ Đào Nha, cầu Rio de Janeiro ở Brasil, cầu Akashi Kaikyo ở Nhật. Ở Việt Nam có các cầu như cầu Mỹ Thuận, cầu Cần Thơ, cầu Bãi Cháy, cầu Rồng, cầu Trần Thị Lý, cầu Nhật Tân...

Hiện nay, gần như các kết cấu cầu phức tạp đều được phân tích bằng việc áp dụng các chương trình máy tính và hầu hết các chương trình này đều được xây dựng trên phương pháp phần tử hữu hạn. Tuy nhiên, kết quả tính toán và độ chính xác của nó phụ thuộc rất nhiều vào việc lựa chọn một cách hợp lý các đối tượng phần tử, liên kết và tải trọng.

### 1.2. CÁC THÀNH PHẦN CHÍNH CỦA MÔ HÌNH TÍNH TOÁN KẾT CẤU

#### 1.2.1. Mô hình hình học

Mô hình hình học là mô hình chứa các thông số hình học, sự phân bố không gian của các bộ phận kết cấu cũng như mối quan hệ hình học giữa chúng. Nhằm mục đích đơn giản hóa quá trình tính toán, hầu hết các phương pháp tính từ thủ công đến tự động hóa trên máy tính, đều có xu hướng phân chia kết cấu thành các cấu kiện trên cơ sở hình dạng hình học, cấu tạo vật liệu, đặc điểm chịu lực, phương pháp thi công, v.v. Mô hình hình học thường lấy cấu kiện

làm đối tượng cơ sở.

Tùy theo bản chất làm việc trong kết cấu cũng như phương pháp phân tích, các cấu kiện có thể được mô hình hóa thành các phần tử thanh (một chiều), tấm, vỏ, bản (hai chiều) và khối (ba chiều). Ngoài các loại phần tử chính nêu trên, phần tử liên kết đàn hồi được sử dụng mô hình cho liên kết giữa kết cấu nhịp và mô tru cầu (gối cầu)

### **1.2.2. Mô hình liên kết và điều kiện biên**

Liên kết là sự nối kết các bộ phận trong kết cấu và điều kiện biên phản ánh sự nối kết giữa kết cấu với môi trường hoặc kết cấu khác. Tùy thuộc vào sự làm việc về mặt cơ học, các liên kết thực tế thường được mô hình hóa thành các dạng liên kết sau như liên kết ngàm cứng, liên kết khớp, liên kết đàn hồi. Ngoài ra còn có những liên kết khác như liên kết chỉ chịu kéo hay chỉ chịu nén, v.v.

### **1.2.3. Mô hình tải trọng**

Các tải trọng tác dụng lên kết cấu thường được phân biệt theo dạng tác động như lực (bao gồm cả mô men), nhiệt độ thay đổi, chuyển vị cưỡng bức, v.v.

Theo đặc điểm phân bố tác dụng, tác động lực thường được mô hình hóa thành tải trọng tập trung và tải trọng phân bố.

Theo đặc điểm thay đổi vị trí tác dụng, các tải trọng này được chia thành tải trọng cố định và tải trọng di động.

Theo đặc điểm động lực, các tải trọng lại được chia thành tải trọng tĩnh và tải trọng động.

Ngoài ra trong quá trình tính toán còn xét đến các loại tải trọng như sự thay đổi nhiệt độ, chuyển vị cưỡng bức, v.v.

## **1.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN KẾT CẤU**

### **1.3.1. Phương pháp lực**

### **1.3.2. Phương pháp chuyển vị**





### **1.3.3. Phương pháp phần tử hữu hạn**

## 1.4. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN KẾT CẤU KHI KHÔNG XÉT ĐẾN SỰ TƯƠNG TÁC CỦA ĐẤT NỀN

### 1.4.1. Mô hình tính toán kết cấu trong bài toán phẳng

Các kết cấu được mô hình hóa theo các quy ước phù hợp nhưng không xét tới ảnh hưởng của đất nền. Người ta thường giả thiết là kết cấu được liên kết với đất bằng các liên kết như Bảng 1.1.

*Bảng 1.1: Các loại liên kết nối đất*

Tên gọi tựa	Sơ đồ biểu diễn	Số liên kết thanh trong đương
Gối di động		1
Gối cố định		2
Ngàm cứng		3
Ngàm trượt		2

### 1.4.2. Mô hình tính toán kết cấu trong bài toán không gian

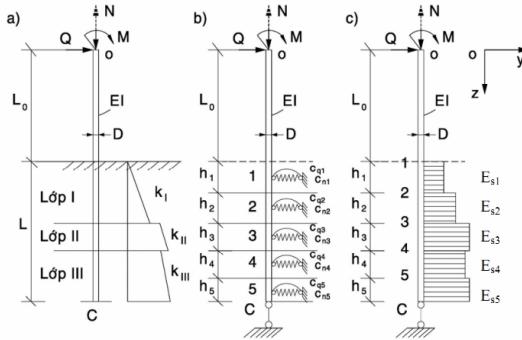
Mô hình không gian phản ánh đúng và gần nhất với trạng thái làm việc thực của kết cấu. Việc giải bài toán này chỉ có thể thực hiện được nhờ sự trợ giúp của máy tính với các phần mềm tính toán hiện đại như SAP200, MIDAS/Civil hay RM.

## 1.5. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN KẾT CẤU KHI CÓ XÉT ĐẾN SỰ TƯƠNG TÁC CỦA ĐẤT NỀN

Đây là mô hình phản ánh đúng sự làm việc của toàn bộ hệ kết cấu. Trong mô hình này, ảnh hưởng giữa đất nền và kết cấu phần trên được biểu diễn bằng các lò xo tương đương thông qua hệ số nền của đất, hệ số nền của đất và kết cấu móng.

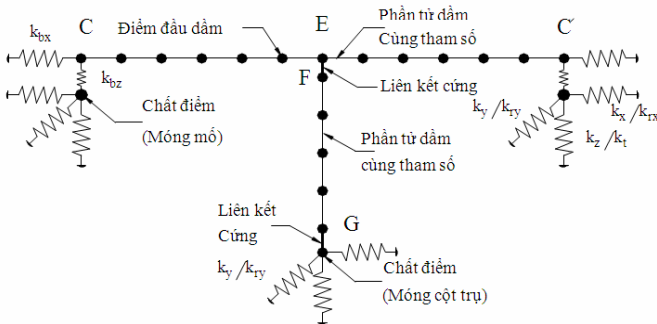
### 1.5.1. Mô hình tính toán kết cấu trong bài toán phẳng

Mô hình tính toán trong bài toán phẳng ta thường xét bài toán tương tác đất nền-cọc và bài toán tương tác đất nền-kết cấu.



Hình 1.6. Sơ đồ tính toán của cọc chịu lực ngang, (a) sơ đồ cọc-đất nền chịu tổ hợp tải trọng, (b) sơ đồ dầm-gối, (c) sơ đồ dầm-nền.

Trong trường hợp tổng quát, mô hình tính toán tương tác đất nền-kết cấu thì ảnh hưởng của đất nền và kết cấu phần trên và móng được biểu diễn bằng các lò xo tương đương có độ cứng hữu hạn. Các móng được biểu diễn bằng khối chất điểm, liên kết giữa kết cấu nhịp và móng trụ được thay bằng các liên kết cứng hay liên kết phần tử đàn hồi.[7]



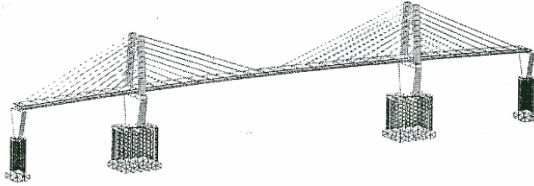
Hình 1.7. Mô hình cầu khung 2 nhịp

Mô hình phân tích kết cấu theo bài toán phẳng đơn giản hơn và được sử dụng rộng rãi nhiều trong thực tế tính toán.



### 1.5.2. Mô hình tính toán kết cấu trong bài toán không gian

Mô hình tính toán trong bài toán không gian ta thường xét bài toán tương tác đất nền-nhóm cọc, bài toán tương tác đất nền-kết cấu và, bài toán tương tác đất nền-cọc-kết cấu.



Hình 1.12. Mô hình tương tác đất nền-cọc-kết cấu

Hiện nay, người ta dùng hai loại mô hình nền để tính toán kết cấu trên nền đàn hồi. Đó là nền đàn hồi tuyến tính và nền đàn hồi phi tuyến.

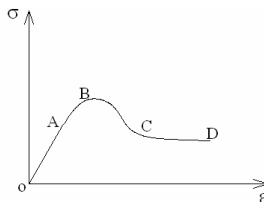
## 1.6. CÁC PHƯƠNG PHÁP MÔ HÌNH TƯƠNG TÁC ĐẤT NỀN VÀ KẾT CẤU

### 1.6.1. Mô hình nền đàn hồi tuyến tính

Đây là mô hình xem quan hệ ứng suất-biến dạng là tuyến tính. Do chấp nhận tính đàn hồi tuyến tính nên có thể áp dụng định luật Hooke:

$$[\sigma] = [D]. [\varepsilon]$$

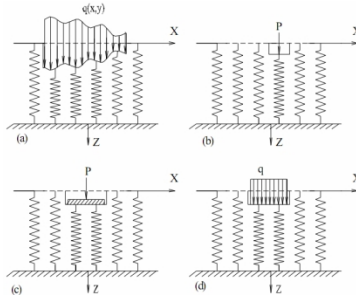
Mô hình này tính toán khá đơn giản. Khi không có phần mềm chuyên dụng có thể sử dụng các chương trình tính toán kết cấu thay thế. Tại các vị trí tiếp xúc giữa kết cấu và đất nền sẽ được thay thế bằng các lò xo tương đương như nền đàn hồi.



Hình 1.13. Mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng

### a. Mô hình nền biến dạng đàn hồi cục bộ

Mô hình nền biến dạng đàn hồi cục bộ còn gọi là mô hình nền Winkler, chỉ xét đến độ lún ở nơi đặt lực mà không xét đến biến dạng ở ngoài diện gia tải. Điều này cho phép ta có thể coi nền đàn hồi tương đương với một hệ các lò xo đàn hồi không liên quan với nhau.



Hình 1.14. Mô hình nền biến dạng đàn hồi cục bộ, (a) tải trọng phân bố, (b) tải trọng tập trung, (c) tải trọng trên tấm cứng, (d) tải trọng phân bố đều

Cường độ phản lực của đất tại mọi điểm tỉ lệ bậc nhất với độ lún đàn hồi tại điểm đó:

$$q(x) = k \cdot w(x)$$

$w(x)$ : độ lún của đất tại vị trí gia tải.

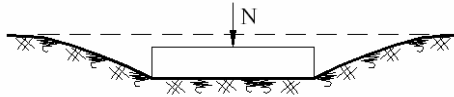
Bảng 1.3. Bảng hệ số nền theo mô hình biến dạng đàn hồi cục bộ [8]

Loại nền	Hệ số nền K (KN/m <sup>3</sup> )
- Đá bazan	8000000 ÷ 12000000
- Granit (đá hoa cương), đá pofia, đá đisprít	3500000 ÷ 5000000
- Đá cát kết sa thạch	800000 ÷ 2500000
- Đá vôi chặt, glômit, đá phiến cát	400000 ÷ 800000
- Đá phiến sét	200000 ÷ 600000
- Tụp	100000 ÷ 300000
- Đất hồn lớn	50000 ÷ 100000

- Cát hạt to và cát hạt trung	30000÷50000
- Cát hạt nhỏ	20000÷40000
- Cát bụi	10000÷40000
- Sét cứng	100000÷200000
- Đất loại sét dẻo	10000÷40000
- Nền cọc	50000÷150000
- Gạch	4000000÷5000000
- Đá xây	5000000÷6000000
- Bê tông	8000000÷15000000
- Bê tông cốt thép	8000000÷15000000

**b. Mô hình nền biến dạng đàn hồi tổng quát [7]**

Trong trường hợp này nền được coi là môi trường bị không chế bởi mặt trên và phát triển vô tận xuống phía dưới.

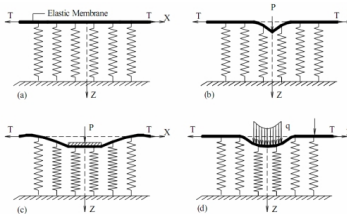


*Hình 1.15. Biến dạng của đất nền theo lý thuyết nền biến dạng đàn hồi tổng quát*

**c. Mô hình nền hai thông số**

Phát triển mô hình nền Winkler và, kể đến tính liên tục bằng cách đưa vào hệ số kể đến tương tác cơ học giữa các phần tử lò xo riêng biệt. Tương tác này có thể là phần tử dầm hay lớp đàn hồi. Các mô hình nền thường nói tới là của Filonenko-Borodich (1940), Hetéyi (1946), Pasternak (1954), Kerr (1964)...

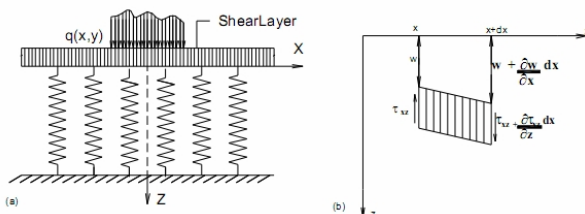
Mô hình nền màng của Filonenko-Borodich (1940):



Hình 1.16. Mô hình nền màng của Filonenko-Borodich

Mô hình nền của Hetéyi (1946):

Mô hình nền của Pasternak (1954):



Hình 1.17. Mô hình nền của Pasternak

Mô hình nền tấm của Vlazov (1966):

#### d. Mô hình nền hỗn hợp

Các mô hình nền hỗn hợp là sự kết hợp song song giữa mô hình nền Winkler và nền đàn hồi liên tục. Repnikov (1967) xem nền đất như một hệ các lò xo độ cứng  $k$  trong môi trường đàn hồi liên tục thỏa mãn điều kiện độ lún của lò xo và môi trường bằng nhau.

#### 1.6.2. Mô hình nền đàn hồi phi tuyến

Đây là mô hình đàn hồi coi quan hệ ứng suất-biến dạng là phi tuyến.

#### 1.6.3. Mô hình nền đàn hồi- dẻo lý tưởng

Mô hình này là sự tổng quát hóa của môi trường đàn hồi và dẻo có ma sát trong.

#### 1.6.4. Một số mô hình nền khác

### KẾT LUẬN CHƯƠNG 1

- Việc lựa chọn một mô hình nền không phải là điều bắt buộc, đối với một bài toán phức tạp như bài toán tương tác, ta có thể áp dụng các giả thiết đơn giản hóa. Do vậy, một mô hình nền có dạng phức tạp (đàn hồi- dẻo; đàn hồi- dẻo- nhớt) chưa chắc là một sự lựa chọn đúng đắn. Ta có thể xem các mô hình nền như các công cụ hỗ trợ để tăng hiểu biết về ứng xử của đất nền, cũng như ảnh hưởng của các yếu tố

khác. Ta cần phải có thêm các nghiên cứu nhằm đánh giá độ phức tạp cần thiết của mô hình nền với mức độ bài toán khác nhau.

- Khi lựa chọn một mô hình nền, ta cần quan tâm tới việc xác định các thông số đặc trưng. Bởi thế công việc nghiên cứu hiện trường, lý giải các kết quả thí nghiệm, sự hiểu biết về nền đất, kinh nghiệm thực tế là các yếu tố quan trọng như việc xác định mô hình nền.

Với ưu điểm là sự đơn giản trong mô hình, đồng thời mô tả khá phù hợp biến dạng quan trắc được trong thực tế, nên hiện nay mô hình nền Winkler, Mohr-Coulomb được sử dụng nhiều trong bài toán tương tác kết cấu-đất nền.

## CHƯƠNG 2

### PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH HỆ SỐ ĐÀN HỒI TƯƠNG ĐƯƠNG CỦA ĐẤT NỀN

#### 2.1. CÁC PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH HỆ SỐ NỀN

2.1.1. Phương pháp ước lượng [2]

2.1.2. Phương pháp thí nghiệm

2.1.3. Phương pháp tra bảng

2.1.4. Phương pháp thực hành

*a. Cơ sở lý thuyết*

*b. Phương pháp thực hành xác định hệ số nền*

$$k = 2.E \quad \text{hoặc} \quad k = 2.E_{tb}$$

#### 2.2. XÁC ĐỊNH HỆ SỐ ĐÀN HỒI TƯƠNG ĐƯƠNG CHO MÓNG

2.2.1. Công thức xác định hệ số đàn hồi cho móng nông

- Công thức xác định hệ số đàn hồi cho móng nông cứng.

- Công thức xác định hệ số đàn hồi cho móng nông mềm.

2.2.2. Công thức xác định hệ số đàn hồi cho móng cọc

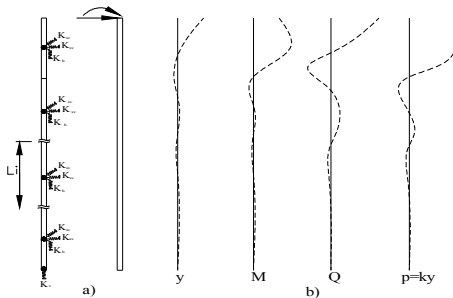
- Hệ số đàn hồi cho cọc ma sát chịu uốn trong môi trường đồng nhất trên nền đá.

- Hệ số đàn hồi cho móng có hình dạng bất kỳ đặt trên hệ cọc chống.

### 2.3. ỨNG XỬ PHI TUYẾN TRONG MÔ HÌNH CỌC-ĐẤT NỀN

Trong trạng thái làm việc của cọc cho các móng đài cao, cọc thường chịu tác dụng đồng thời của tổ hợp tải trọng theo phương đứng, tải trọng theo phương ngang và mô men.

Trong đó, dưới tác dụng của tải trọng theo phương ngang nền đất sẽ tương tác với cọc thông qua những gối đàn hồi theo phương ngang, mối quan hệ giữa phản lực ( $p$ ) và chuyển vị ngang của các gối đàn hồi ( $y$ ) là  $p=k_y \cdot y$ , với  $k_y$  là độ cứng của gối đàn hồi theo phương ngang. Quan hệ giữa  $p$  và  $y$  gọi là đường cong  $p$ - $y$ .



Hình 2.12. Mô hình cọc-đất và kết quả bài toán

Dưới tác dụng của tải trọng thẳng đứng, nền đất sẽ tương tác với cọc thông qua gối đàn hồi theo phương đứng, quan hệ giữa phản lực ( $t$ ) và chuyển vị đứng của gối đàn hồi ( $z$ ) là  $t=k_z \cdot z$ , với  $k_z$  là độ cứng của gối đàn hồi theo phương đứng. Quan hệ giữa  $t$  và  $z$  gọi là đường cong  $t$ - $z$ .

#### 2.3.1. Đường cong $p$ - $y$

- a. Đường cong  $p$ - $y$  cho đất sét yếu dưới mực nước ngầm
- b. Đường cong  $p$ - $y$  cho đất sét cứng dưới mực nước ngầm
- c. Đường cong  $p$ - $y$  cho đất sét cứng trên mực nước ngầm
- d. Đường cong  $p$ - $y$  của đất cát theo Robertson

### 2.3.2. Đường cong t-z

*a. Đường cong t-z với sức kháng bên*

*b. Đường cong t-z với sức kháng mũi*

### 2.3.3. Công thức xác định hệ số nền cho cọc khoan nhồi theo mô đun biến dạng nền

- Hệ số nền của cọc theo phương đứng và phương ngang thân cọc

$$k_v = 0.2.\alpha.E_0.D^{-3/4}$$

Trong đó :

$k_v$ : hệ số nền theo phương đứng ( $\text{kg/cm}^3$ );

$\alpha$ : hệ số điều chỉnh mũi cọc,  $\alpha=1$ ;

D: đường kính cọc (cm);

$E_0$ : Mô đun biến dạng nền

$E_0=25N$ ; (N: giá trị xuyên tiêu chuẩn)

- Hệ số nền dọc thân cọc theo phương đứng

$$k_h = 0.03.\alpha.E_0.D^{-3/4} \quad (2.35)$$

## 2.4. TÍNH TOÁN CỌC VÀ MÓNG CỌC THEO BIẾN DẠNG KHI XÉT ĐẾN HỆ SỐ NỀN

### 2.4.1. Tính toán theo tiêu chuẩn TCVN 10304-2014

*a. Tính toán độ lún cọc đơn*

*a1. Đối với cọc đơn không mở rộng mũi*

*a2. Đối với cọc đơn mở rộng mũi:*

*b. Tính toán độ lún của nhóm cọc từ độ lún của cọc đơn*

*c. Tính toán độ lún của móng cọc theo mô hình móng khối*

*quy ước*

### 2.4.2. Tính toán lún cho móng cọc theo tiêu chuẩn 22TCN 272-2005

*a. Tính lún cho đất rời*

*b. Tính lún cho đất dính*

## KẾT LUẬN CHƯƠNG 2

- Trong các phương pháp xác định hệ số nền thì phương pháp thực nghiệm phản ánh được mối quan hệ giữa ứng suất gây lún và biến dạng của nền đất, đúng với bản chất hệ số nền Winkler.

- Các công thức xác định hệ số đàn hồi cho móng nông và móng cọc là hàm số giữa kích thước hình học của móng, độ sâu chôn móng và tính chất cơ lý của lớp đất, thể hiện tính đàn hồi của nền đất dưới tác dụng của kết cấu. Vì vậy, khi tính toán kết cấu phần trên ta đưa các hệ số này vào để tính toán, đảm bảo tính tương tác đồng thời giữa nền đất và kết cấu.

- Trong thực tế, đất nền không phải là vật liệu đàn hồi, nên mối quan hệ giữa tải trọng và biến dạng không phải là tuyến tính mà là phi tuyến. Tính phi tuyến của đất nền thường được xem xét cho các kết cấu có độ cứng bé hoặc khi nghiên cứu tương tác giữa cọc và đất nền.

- Hiện nay, với sự phát triển của khoa học máy tính, việc giải bài toán tương tác đồng thời kết cấu và đất nền trở nên đơn giản hơn và có độ chính xác cao. Vì vậy, các tiêu chuẩn, quy trình tính toán kết cấu hiện hành cho phép sử dụng các phần mềm chuyên dụng trong tính toán kết cấu khi xét đến tương tác của đất nền và kết cấu như: 22TCN 272:2005 “ Tiêu chuẩn thiết kế cầu” và TCVN 10304:2014 “ Móng cọc-Tiêu chuẩn thiết kế”.



### CHƯƠNG 3

## TÍNH TOÁN KẾT CẤU MỘT SỐ CẦU LIÊN TỤC KHI XÉT VÀ KHÔNG XÉT ĐỀN SỰ LÀM VIỆC ĐỒNG THỜI CỦA ĐẤT NỀN

### 3.1. ỨNG DỤNG SAP2000 TRONG PHÂN TÍCH VÀ TÍNH TOÁN KẾT CẤU

#### 3.1.1. Giới thiệu về SAP2000

#### 3.1.2. Các vấn đề trong thi công kết cấu cầu liên tục

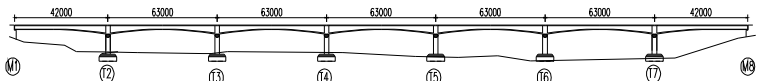
#### 3.1.3. Các bước giải bài toán kết cấu cầu trong SAP2000

### 3.2. TÍNH TOÁN KẾT CẤU CẦU DẦM LIÊN TỤC

#### 3.2.1. Tính toán trong trường hợp không xét tương tác đất nền

##### a. Mô tả bài toán

##### a1. Sơ đồ cầu Cẩm Lệ - Đà Nẵng (Phụ lục 1.1)



Hình 3.1. Bố trí chung cầu Cẩm Lệ - Đà Nẵng

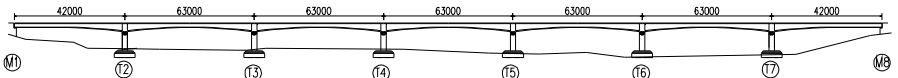
##### a2. Mô hình kết cấu

Kết cấu nhịp: Hệ kết cấu nhịp liên kết với bộ phận bên dưới thông qua các liên kết gối cố định tại đỉnh trụ T4 và gối di động tại các đỉnh trụ và mỏ còn lại, tạo thành hệ kết cấu dầm siêu tĩnh.

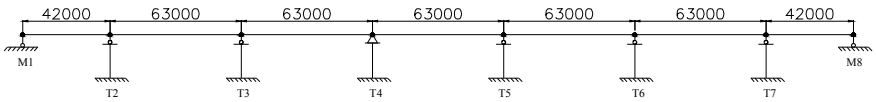
Kết cấu hạ bộ: Phần thân trụ được mô hình bằng phần tử thanh liên kết ngàm cứng với đế móng và tại vị trí liên kết với dầm được giải phóng các bậc tự do tương ứng với gối cố định hay di động, vật liệu là đàn hồi tuyến tính; phần nền móng được tính toán như móng khối quy ước và không xét ảnh hưởng của đất nền xung quanh.

Phương pháp tính toán kết cấu: Tính toán trên sơ đồ không biến dạng, chấp nhận giả thiết chuyển vị và biến dạng nhỏ.

\* Mô hình tính toán:



- Sơ đồ thực



- Mô hình kết cấu



- Mô hình trong phần mềm SAP2000

*Hình 3.2. Mô hình tính toán*

\* Tải trọng và tổ hợp tải trọng

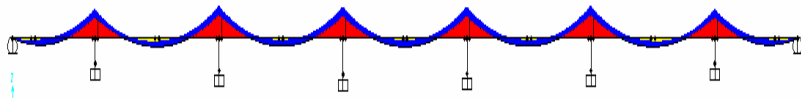
Tính cho trường hợp tải trọng Tĩnh tải, Hoạt tải, Tổ hợp cường độ và, Tổ hợp tải trạng thái sử dụng theo 22TCN 272:2005.

Tải trọng và sơ đồ tải trọng xem Phụ lục 1.2.

### **b. Giải bài toán và kết quả**

Bài toán được giải một lần, do các cọc khoan nhồi đều được chôn sâu trong lớp đá phiến thạch anh phong hóa nhẹ, trạng thái rắn chắc nên xem như kết cấu móng không bị lún.

Kết quả tính nội lực của kết cấu được tổng hợp ở Bảng 3.1, Bảng 3.2.

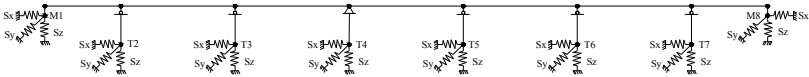


*Hình 3.3. Biểu đồ mô men khi không xét tương tác đất nền*

### 3.2.2. Tính toán trong trường hợp có xét tương tác đất nền-kết cấu (Mô hình bài toán phẳng)

#### a. Mô tả bài toán

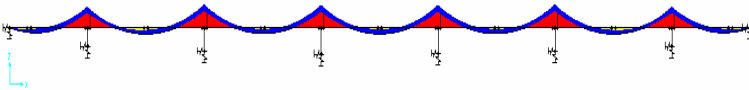
Chân móng, trụ được gắn vào một gối đàn hồi tổng quát, hệ số đàn hồi được xác định theo các công thức xác định hệ số đàn hồi cho móng cọc được trình bày trong Mục 2.2.2. Việc gắn các gối đàn hồi phản ánh tương tác giữa kết cấu phần trên và đất nền.



Hình 3.4. Mô hình tính toán

#### b. Giải bài toán và kết quả

Kết quả tính nội lực của kết cấu được tổng hợp ở Bảng 3.3, Bảng 3.4

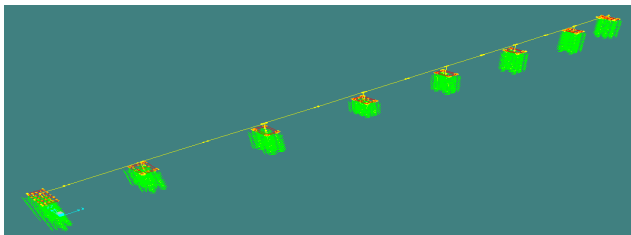


Hình 3.5. Biểu đồ mô men khi có xét tương tác đất nền

### 3.2.3. Tính toán trong trường hợp có xét tương tác đất nền-cọc-kết cấu (Mô hình bài toán không gian)

#### a. Mô tả bài toán

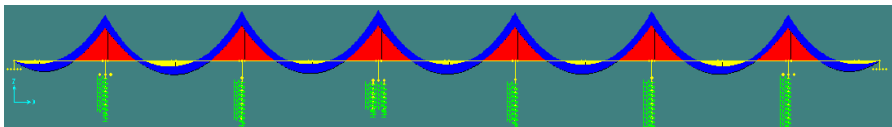
Tương tác giữa cọc và đất nền được thay bằng hệ lò xo có độ cứng thay đổi theo chiều sâu, độ cứng lò xo phụ thuộc vào mô đun biến dạng của đất nền tương ứng. Cọc được chia ra thành từng đoạn có chiều dài 2m, lò xo đàn hồi được gắn vào trung điểm của mỗi đoạn. Giá trị độ cứng của lò xo được tính toán trong phụ lục Phụ lục 1.4.



Hình 3.6. Mô hình tính toán

### ***b. Giải bài toán và kết quả***

Kết quả tính nội lực của kết cấu được tổng hợp trong Bảng 3.5, Bảng 3.6



Hình 3.7. Biểu đồ mô men khi có xét tương tác đất nền-cọc-kết cấu

#### **3.2.4. So sánh và kết luận**

Qua bảng so sánh trên ta thấy rằng đối với kết cấu cầu dầm liên tục mà kết cấu móng có độ cứng lớn thì dưới tác dụng của tĩnh tải và hoạt tải thông thường như đoàn người, đoàn xe, gió nội lực của kết cấu nhịp trong hai mô hình của bài toán phẳng có giá trị tương đương nhau, chênh lệch khoảng từ 0,01% đến 0,62%. Tuy nhiên, xét trong bài toán không gian khi kể đến tương tác đồng thời cọc-đất nền-kết cấu thì sự chênh lệch tăng lên (1,4%) nhưng không đáng kể. Trong đó giá trị mô men âm trong mô hình có xét tương tác của đất nền có xu hướng giảm và giá trị mô men dương có xu hướng tăng lên. Sự phân bố lại nội lực trong kết cấu phụ thuộc vào độ cứng của kết cấu móng, mô đun biến dạng nền và sự đồng nhất của địa chất tại vị trí xây dựng. Vì vậy, nếu xét cho trường hợp ngầm cứng tại chân trụ thì thiên về an toàn khi cần tính toán mô men âm, nhưng không

xét được ảnh hưởng của chuyển vị móng gây ra sự phân bố lại nội lực trong kết cấu.

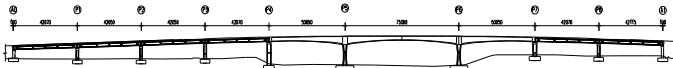
Hiện nay, cùng với sự phát triển của khoa học máy tính, các phần mềm tính toán kết cấu không ngừng hoàn thiện và được sử dụng ngày càng rộng rãi. Việc mô hình hóa kết cấu có xét đến sự làm việc đồng thời của đất nền-cọc-kết cấu trở nên dễ dàng, đồng thời mô hình này phản ánh đúng trạng thái làm việc của kết cấu trong giai đoạn khai thác và sử dụng. Vì vậy, khi tính toán và thiết kế cầu dầm liên tục nên xét đến mô hình tương tác đồng thời đất nền-cọc-kết cấu.

### 3.3. TÍNH TOÁN KẾT CẤU CẦU KHUNG LIÊN TỤC

#### 3.3.1. Tính toán trong trường hợp không xét tương tác đất nền

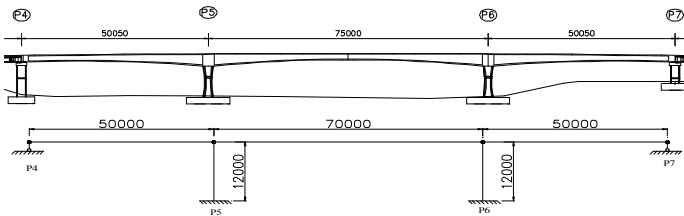
##### a. Mô tả bài toán

##### a1. Sơ đồ cầu Hòa Phước - Đà Nẵng (Phụ lục 2.1)



Hình 3.8. Bố trí chung cầu Hòa Phước - Đà Nẵng

##### a2. Mô hình tính toán:



Hình 3.9. Mô hình tính toán

##### b. Giải bài toán và kết quả

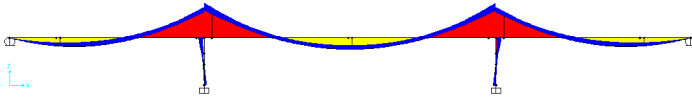
Bài toán được giải theo phương pháp lặp, việc tính toán kết thúc khi nội lực trong hai lần tính toán liên tiếp nhau có giá trị xấp xỉ bằng nhau.

Hệ cọc khoan nhồi của trụ được P4, P7 ngàm vào trong đá nên hệ số đàn hồi tính toán theo lý thuyết cọc chống và bỏ qua ảnh

hường lún của nền móng.

Lớp đất chịu lực chủ yếu cho hệ cọc khoan nhồi của trụ P5 và P6 là lớp hỗn hợp cuội sỏi tầng lãn xen kẹp sét pha nên kết cấu móng được tính theo lý thuyết cọc ma sát và có xét đến ảnh hưởng lún của nền móng. Độ lún móng được tính toán bằng cách sử dụng các kết quả thí nghiệm ngoài hiện trường như đã trình bày trong mục 2.4.2. Tính lún cho trụ P5 và P6 được trình bày trong Phụ lục 2.3.

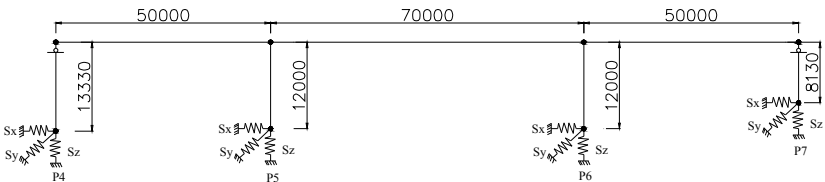
Kết quả tính nội lực của kết cấu theo các lần tính lún trong Bảng 3.12



Hình 3.10. Biểu đồ mô men khi không xét tương tác đất nền

### 3.3.2. Tính toán trong trường hợp có xét tương tác đất nền-kết cấu (Mô hình bài toán phẳng)

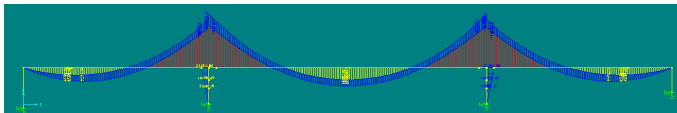
#### a. Mô tả bài toán



Hình 3.11. Mô hình tính toán

#### b. Giải bài toán và kết quả

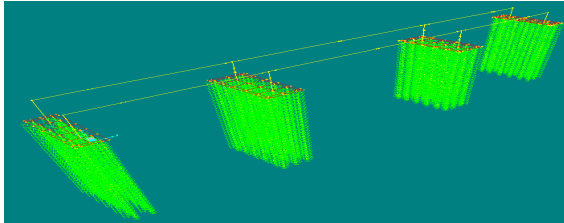
Kết quả tính nội lực của kết cấu được tổng hợp trong Bảng 3.14, 3.15



Hình 3.10. Biểu đồ mô men khi xét tương tác với đất nền

### 3.3.3. Tính toán trong trường hợp có xét tương tác cọc-đất nền-kết cấu

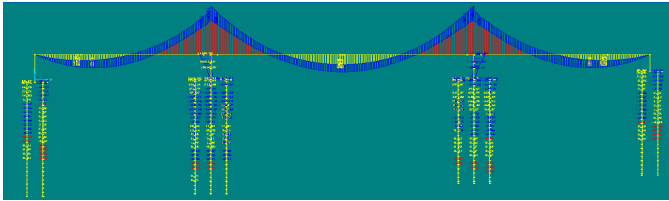
#### a. Mô tả bài toán



Hình 3.13. Mô hình tính toán

#### b. Giải bài toán và kết quả

Kết quả nội lực được tổng hợp theo Bảng 3.16, 3.17



Hình 3.14. Biểu đồ mô men khi xét tương tác đất nền-cọc-kết cấu



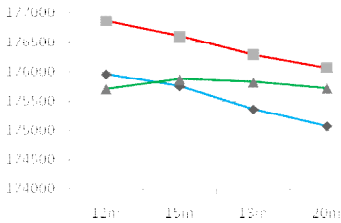
Hình 3.15. Biểu đồ phân bố ứng suất trong bộ móng trụ P5, P6

### 3.3.4. Tính toán nội lực trong kết cấu nhịp khi thay đổi chiều cao thân trụ và thay đổi điều kiện địa chất

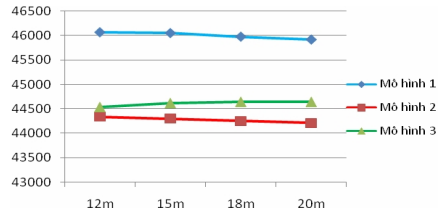
Với tải trọng tác dụng không đổi, khi thay đổi chiều cao trụ, ta có kết quả nội lực trong kết cấu nhịp như Bảng 3.18

Giả thiết chỉ số SPT trung bình trong lớp đất chịu lực cọc khoan nhồi trụ P5 là 50 và cho trụ P6 là 55, ta có kết quả tính lún trong mô hình không tương tác và nội lực trong hai mô hình như Bảng 3.19 và Bảng 3.20.

### 3.3.5. So sánh và kết luận



Hình 3.16. Mô men đỉnh trụ khi thay đổi chiều cao trụ



Hình 3.17. Mô men nhịp biên khi thay đổi chiều cao trụ

Nội lực của kết cấu nhịp cầu khung liên tục có giá trị thay đổi khi ta thay đổi liên kết điều kiện biên và liên kết giữa các kết cấu với nhau. Sự biến thiên nội lực tăng hay giảm so với mô hình liên kết cứng tại chân trụ phụ thuộc vào độ cứng gối đàn hồi và chuyển vị tương đối giữa các gối. So với mô hình không xét đến tương tác đất nền, nội lực trong mô hình có xét tương tác đồng thời của đất nền thay đổi theo quy luật, mô men âm trên kết cấu nhịp tại gối có giá trị giảm và, mô men dương tại giữa nhịp có giá trị tăng, nội lực biến thiên trong khoảng từ  $-0,5\%$  đến  $3,7\%$ . Trong khi đó mô men trong trụ tại đỉnh có sự thay đổi đáng kể. Trong mô hình bài toán có tương tác, mô men thân trụ tại đỉnh giảm từ  $26,7\%$  đến  $27,0\%$  và, giảm từ  $68,1\%$  đến  $68,2\%$  tại chân thân trụ.

Khi tính toán theo mô hình ngàm cứng ở trụ, bài toán xác định áp lực lên móng trụ được giải trước, sau đó lấy kết quả này để giải bài toán tính lún cho bài toán nền móng. Kết quả tính lún này được đưa vào bài toán tính áp lực lên móng trụ ở bước tiếp theo, việc tính toán lặp đi, lặp lại đến khi nào kết cấu có độ lún không đổi. Nội lực cuối cùng của hệ là nội lực do tổ hợp tải trọng và chuyển vị nền móng gây ra. Như vậy tính toán theo mô hình ngàm cứng tốn nhiều thời gian hơn so với mô hình tương tác đồng thời đất nền và kết cấu.

Đối với kết cấu cầu khung liên tục có hai đơn nguyên, khi



xét tính tương tác giữa các bộ phận kết cấu với nhau thì có sự phân bố lại nội lực trong toàn bộ kết cấu. Vì vậy để kết cấu thỏa mãn điều kiện theo các trạng thái giới hạn và đảm bảo tính kinh tế, khi tính toán và thiết kế kết cấu phải xét đến mô hình tương tác giữa cọc-đất nền và kết cấu.

## KẾT LUẬN

### Kết luận

Qua kết quả phân tích và so sánh trên ta có thể khẳng định mô hình tính toán kết cấu cầu khi có xét sự làm việc đồng thời của đất nền cho kết quả tính toán phản ánh đúng trạng thái làm việc của kết cấu khi khai thác, sử dụng và tiết kiệm thời gian tính toán hơn so với trường hợp xem liên kết giữa kết cấu móng và đất nền là liên kết ngàm.

Khi tính toán theo mô hình tương tác đồng thời với đất nền, độ chính xác của kết quả phụ thuộc vào hệ số đàn hồi tương đương. Hệ số đàn hồi là hàm số của cấu tạo kết cấu móng, trạng thái làm việc của hệ cọc và mô đun biến dạng nền.

Trong kết cấu cầu dầm liên tục nhiều nhịp, sự biến thiên nội lực trong kết cấu nhịp phụ thuộc vào chuyển vị tương đối của móng mô trụ. Trong trường hợp kết cấu móng đặt trên nền đất tốt hay cọc ngàm trong đá thì sự khác biệt kết quả tính giữa mô hình tương tác và không tương tác không nhiều. Vì vậy, để đơn giản trong việc tính toán đối với các cầu nhịp bé ta có thể sử dụng mô hình ngàm cứng để tính toán.

Đối với cầu khung liên tục, sự khác biệt về kết quả tính của các mô hình thể hiện rõ hơn, đặc biệt là nội lực cho kết cấu trụ cầu và trong trường hợp địa chất yếu hay cầu có chiều cao thân trụ lớn. Việc mô hình hóa và tính toán trong kết cấu không gian không những thể hiện sự tương tác đồng thời giữa đất nền và kết cấu mà còn thể hiện sự tương tác giữa đất nền-cọc-kết cấu hay đất nền-kết cấu-kết cấu.

### **Kiến nghị**

Hiện nay, lý thuyết tính toán hệ số nền được nhiều tác giả nghiên cứu, hoàn thiện và kết quả nghiên cứu được sử dụng rộng rãi trong tính toán kết cấu nền móng, đồng thời dưới sự phát triển của ngành khoa học máy tính và lý thuyết phần tử hữu hạn, việc mô hình hóa và giải bài toán tương tác giữa đất nền-kết cấu, đất nền-cọc-kết cấu được thực hiện dễ dàng, cho kết quả tính chính xác trong thời gian ngắn. Vì vậy khi tính toán kết cấu cầu liên tục kiến nghị sử dụng mô hình tương tác đồng thời đất nền.

Mô hình bài toán phẳng kiến nghị sử dụng trong giai đoạn tính toán và thiết kế sơ bộ.

Mô hình bài toán không gian kiến nghị sử dụng trong giai đoạn thiết kế kỹ thuật, tính toán và kiểm tra trong các giai đoạn thi công.