

NHỮNG VẤN ĐỀ VỀ NÚT BÊ TÔNG CỐT THÉP

GS.TS. NGUYỄN VĂN ĐẠT

Hội KHKH Xây dựng TP. Hồ Chí Minh

Nhân Hội thảo "Nứt và kiểm định vết nứt trong kết cấu bê tông cốt thép công trình xây dựng" do Sở Xây dựng TP. Hồ Chí Minh, Tạp chí Sài Gòn Đầu tư và Xây dựng và Công ty Cổ phần Kiểm định Xây dựng Sài Gòn (SCQC) tổ chức, với tư cách là người có liên quan tới khoa học kỹ thuật xây dựng, chúng tôi xin phát biểu một số ý kiến trao đổi sau:

1) Nứt bê tông cốt thép (BTCT) là hiện tượng thường gặp, có thể bỏ qua nhưng cũng rất nguy hiểm, cần phân tích, đánh giá nguyên nhân và mức độ ảnh hưởng đến chất lượng công trình, nhất là đối với kết cấu BTCT ứng lực trước.

Nguyên nhân chung có thể nói nứt là do co ngót gây ra và đặc biệt là do co ngót dẻo (Plastic Shrinkage) bị cản trở bởi hàm lượng thép trong bê tông quá cao hoặc thành phần cốt liệu (đá, sỏi) trong cấp phối bê tông quá bé.

2) Các công trình đã bị sự cố nứt gần đây như Hầm sông Sài Gòn (TP. HCM), Thaco công nghiệp (Đà Nẵng), tru cầu Vĩnh Tuy (Hà Nội) hoặc xa hơn như Bể tạo cơn (Công trình Nhà máy nước Thủ Đức, TP. HCM), lò phản ứng hạt nhân (Đà Lạt)... chúng tôi đã rút ra được 7 vấn đề mang tính khoa học kỹ thuật xây dựng, mong được chia sẻ với Hội thảo như sau:

Vấn đề 1: Công trình Hầm qua sông Sài Gòn, thuộc dự án Đại lộ Đông Tây bị nứt khi đổ bê tông, nhưng trước khi căng cáp ứng lực trước nếu không xử lý nứt để trả về độ cứng ban đầu thì không đủ khả năng truyền lực để tạo tiền áp. Tương tự như ở Thaco Đà Nẵng, do tiền áp bị đánh mất nên buộc phải hạ tải trọng chuẩn theo thiết kế ban đầu. Tiền áp là "tài sản" quý báu về chất lượng công trình không được bảo đảm do trình tự thi công bị sai lệch, nên đã làm tăng biến dạng của kết cấu công trình.

Vấn đề 2: Hiện dạng co ngót dẻo là khi trạng thái nứt xảy ra rất sớm sau đổ bê tông 1 ngày như ở bể tạo cơn Công trình Nhà máy nước Thủ Đức vì sự cản trở co ngót. Như vậy, thời gian xảy ra nứt là thước đo mức độ cản không chế của lượng cốt thép trong bê tông và kích thước của cốt liệu cốt trong cấp phối bê tông. Ở trụ cầu Vĩnh Tuy, sau 5 năm mới nứt, là do co ngót thường, không phải lỗi của thiết kế mà là do cấp phối của bê tông không được thử nghiệm, kiểm chứng.

Vấn đề 3: Có thể xem co ngót là nguyên nhân khá phổ biến nên việc sử dụng vật liệu (thép và cấp phối bê tông) trong kết cấu BTCT rất đáng được quan tâm khi thiết kế và thi công bê tông.

Vấn đề 4: Hầu như mọi trạng thái nứt đều được xử lý theo Injection (bơm) với sikadur 751 hoặc với MBT Low Viscosity của Singapore, được sản xuất ở Bình Dương. Với áp suất bơm 5 – 6 atm thì MBT sẽ len lỏi khắp bê tông, với đường nứt 0,1 mm. Đây là phương pháp quốc tế đã được dùng ở Việt Nam từ hơn 20 năm trước. Hầm sông Sài Gòn cũng được xử lý theo phương pháp trên. Đây là biện pháp xử lý nứt có hiệu quả, nên được áp dụng.

Vấn đề 5: Loại vết nứt khá nguy hiểm xảy ra khi áp dụng ở cọc ống BTCT ứng lực trước. Ở đó có nứt do lực vòng và nứt theo kinh tuyến. Nếu ở cọc ống bị nứt thì khá nguy hiểm vì cọc sẽ bị giảm khả năng truyền lực từ tải của công trình xuống nền cọc mà một phần tải đó bị lưu lại ở cốt ± 0,00, chớ khi có gió bão tác động gây ra lực trượt lớn công tác dụng với tải nói trên và sự cố công trình sẽ xảy ra. Nói chung nứt thường là do co ngót, nứt dọc thường là do cọc bị tác dụng quá tải.

Vấn đề 6: Vết nứt có thể hình thành do nguyên nhân này nhưng phát triển vết nứt lại do nguyên nhân khác. Trường hợp này đã xảy ra ở mặt đường băng Tân Sơn Nhất, hình thành nứt do nhiệt độ nhưng phát triển do kết cấu đường thay đổi. Cũng như vậy, ở bể tạo cơn (Nhà máy nước Thủ Đức), nứt hình thành do co ngót dẻo nhưng phát triển do kết cấu bể có tải tác dụng khi nước đã vào đầy bể. Vì vậy, không những chỉ phân tích hiện trạng nứt mà phải xem xét thời điểm xuất hiện nứt.

Vấn đề 7: Nứt làm cho kết cấu BTCT không còn là môi trường liên tục nên không thể đo bằng siêu âm ngoài 60 cm, tức rất khó kiểm tra chất lượng bê tông ở công trình, chưa nói đến phải lập chuẩn chuyển đổi (v, R).

3) Xin phép được giới thiệu Tiêu chuẩn cơ sở TCCS 01:2013/HXD.HCM "Sức chịu tải cọc ma sát bê tông cốt thép" do Hội biên soạn và công bố tháng 12/2013. Hiện có 01 công trình ở quận 2, TP. HCM và công trình 20 tầng ở Bình Dương đã áp dụng Tiêu chuẩn cơ sở trên và đã được thẩm tra đạt kết quả là giảm được 20% chiều dài cọc. Hội sẵn sàng truyền đạt kinh nghiệm áp dụng tiêu chuẩn cơ sở này cho quý vị có quan tâm.

Xin chân thành cảm ơn các bạn đồng nghiệp đã lắng nghe. Kính chúc Quý vị luôn dồi dào sức khỏe, hạnh phúc trong cuộc sống riêng và thành công trong mọi công tác.

Xin cảm ơn Ban tổ chức đã cho Hội được phát biểu ý kiến. Chúc Hội thảo hôm nay thành công tốt đẹp. □

CẢM BIẾN ĐO BIẾN DẠNG VÀ CÁC ỨNG DỤNG CỦA NÓ TRONG QUAN TRẮC CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG

STRAIN GAGES AND ITS APPLICATIONS IN MEASUREMENT OF INFRASTRUCTURAL ENGINEERING

TS. PHẠM HOÀNG KIÊN

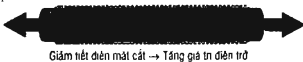
Khoa Công trình, Trường Đại học Giao thông Vận tải

Cùng với việc phân tích tính toán kết cấu, công tác quan trắc công trình xây dựng trước khi thi công, trong giai đoạn thi công và cả trong giai đoạn khai thác đang ngày càng trở nên quan trọng. Các số liệu quan trắc giúp chúng ta đánh giá được tình trạng của kết cấu, đưa ra được các giải pháp trên cơ sở xét đến sự hài hòa giữa tính kinh tế và tính an toàn. Bài viết này giới thiệu về những nguyên lý cơ bản của cảm biến đo biến dạng Strain Gages và một số ứng dụng của nó trong quan trắc công trình xây dựng.

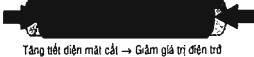
1. Những nguyên lý cơ bản của cảm biến đo biến dạng Strain Gages

Cảm biến đo biến dạng Strain Gages lợi dụng một đặc tính chung của vật liệu thép là điện trở của chúng sẽ thay đổi khi vật liệu bị biến dạng. Giá trị của điện trở tỷ lệ nghịch với diện tích mặt cắt và tỷ lệ thuận với chiều dài của vật liệu thép. Khi một đoạn dây thép bị kéo, diện tích mặt cắt sẽ nhỏ đi và chiều dài dây thép sẽ tăng lên, và như vậy giá trị điện trở sẽ tăng lên. Ngược lại, khi dây thép chịu ứng suất nén, giá trị điện trở sẽ nhỏ đi. Tùy theo loại vật liệu thép mà biến dạng phát sinh trong nó sẽ tỷ lệ với sự thay đổi của giá trị điện trở với một hằng số nhất định. Nếu dây thép (Strain Gages) được gắn chặt vào kết cấu, nó sẽ biến dạng cùng với kết cấu, và như vậy nếu đo được sự biến đổi của giá trị điện trở của dây thép chúng ta sẽ xác định được biến dạng của kết cấu.

Lực kéo



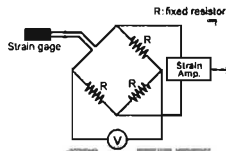
Lực nén



Hình 1. Nguyên lý cơ bản của cảm biến đo biến dạng

Sau khi xác định được biến dạng có thể tính toán ứng suất phát sinh trong kết cấu thông qua mô đun đàn hồi. Để đảm bảo xác định được chính xác biến dạng của kết cấu thông thường người ta dùng một loại keo chuyên dụng để gắn chặt cảm biến đo biến dạng

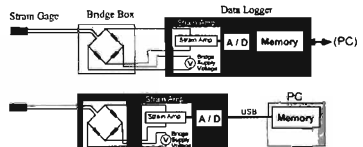
vào kết cấu. Để có thể đo được một cách chính xác sự biến đổi của giá trị điện trở của cảm biến đo biến dạng người ta dùng mạch cầu (Bridge circuit) để chuyển sự biến đổi của giá trị điện trở sang sự biến đổi của điện áp. Vì điện áp thay đổi rất nhỏ (thường chỉ ở mức μV) nên người ta sẽ khuếch đại tín hiệu lên 5,000 đến 10,000 lần để có thể đọc được bằng các thiết bị hiển thị.



Hình 2. Mạch cầu (Bridge circuit)

Cảm biến đo biến dạng có thể dùng cả trong trường hợp đo tĩnh và đo động. Trong ngành công nghiệp ô tô người ta vẫn dùng cảm biến đo biến dạng này trong các

thí nghiệm để xác định ứng suất gây ra bởi lực xung kích (với tần số lên tới vài trăm kHz) gây ra khi xe bị va chạm. Để có thể nhận tín hiệu ra từ cảm biến đo biến dạng cần lựa chọn và bố trí các thiết bị thu dữ liệu một cách thích hợp. Thông thường có thể sử dụng một trong hai sơ đồ bố trí thiết bị thu dữ liệu như ở Hình 3.



Hình 3. Bố trí thiết bị thu dữ liệu

Để hiểu đúng các giá trị đo và sử dụng đúng cảm biến đo biến dạng trong các phép đo chúng ta cần nắm được mối quan hệ giữa giá trị biến dạng (đại lượng muốn đo) và tín hiệu điện áp đầu ra (Hình 4).

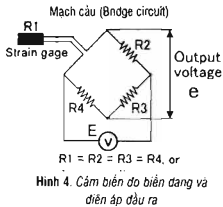
Thông thường cảm biến đo biến dạng sẽ được gắn vào một mạch điện được gọi là Wheastone Bridge, nhờ đó mà có thể phát hiện được tín hiệu ngay cả khi có một sự biến đổi rất nhỏ trong giá trị điện trở của cảm biến. Giả sử giá trị ban đầu của điện trở của cảm biến là $R(\Omega)$ và sự thay đổi của giá trị điện trở là $\Delta R(\Omega)$. Biến dạng ε có thể được tính theo công thức sau:

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \varepsilon \quad (1)$$

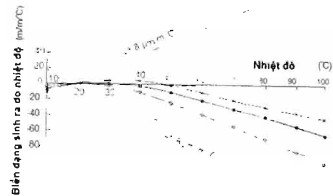
Trong đó K được gọi là hệ số cảm biến (gage factor). Hệ số K biểu thị độ nhạy của cảm biến đo biến dạng. Tùy theo loại cảm biến và các hãng sản xuất mà hệ số K có thể có những giá trị khác nhau.

Giả sử độ kích điện áp của mạch cầu có giá trị là E. Điện áp đầu ra $e(V)$ có thể được tính toán theo công thức sau:

$$e = \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot E = \frac{1}{4} \cdot K \cdot \varepsilon \cdot E \quad (2)$$



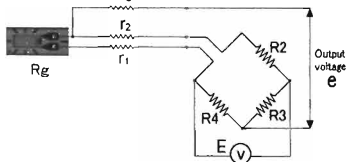
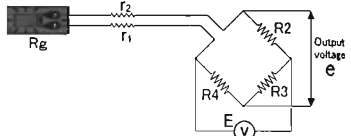
Gần đây, các cảm biến tự bù nhiệt (self-temperature-compensation gages) đang được dùng ngày càng phổ biến. Khi cảm biến được gắn chặt vào kết cấu, ngoài những biến dạng phát sinh do tải trọng tác dụng lên kết cấu (những biến dạng mà chúng ta muốn đo) còn phát sinh cả những biến dạng do sự thay đổi của nhiệt độ (những biến dạng không mong muốn). Khi nhiệt độ môi trường thay đổi, giá trị điện trở của cảm biến sẽ thay đổi. Ngoài ra còn một nguyên nhân nữa cũng dẫn đến sự thay đổi của giá trị điện trở của cảm biến là do sự khác nhau trong hệ số giãn nở nhiệt giữa vật liệu của kết cấu và vật liệu làm cảm biến. Tuy nhiên bằng việc lựa chọn cấu trúc và vật liệu làm cảm biến một cách thích hợp có thể giảm thiểu tối đa ảnh hưởng của nhiệt độ. Những cảm biến như vậy được gọi là cảm biến tự bù



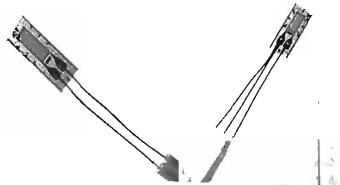
Hình 5. Đặc tính tự bù nhiệt của cảm biến của hãng KYOWA, Nhật Bản

nhiệt. Hình 5 mô tả đặc tính tự bù nhiệt của cảm biến của hãng KYOWA, Nhật Bản. Với việc sử dụng cảm biến tự bù nhiệt, biến dạng đo ảnh hưởng của nhiệt độ được giảm xuống dưới $\pm 1.8 \mu m/m^{\circ}C$. Trong phạm vi nhiệt độ thông thường của kết cấu (từ $20^{\circ}C$ đến $40^{\circ}C$), giá trị này thậm chí còn được giảm xuống dưới $\pm 1.0 \mu m/m^{\circ}C$.

Việc dùng cảm biến tự bù nhiệt sẽ giúp tránh được ảnh hưởng của nhiệt độ tại đầu ra của cảm biến. Tuy nhiên, trong một số trường hợp dây nối giữa cảm biến (strain gage) và mạch cầu (bridge circuit) cũng sẽ chịu ảnh hưởng của sự thay đổi nhiệt độ. Với loại cảm biến hai dây (1-gage 2-wire system) như trong Hình 6, điện trở của các dây nối (r_1 và r_2) sẽ được cộng dồn vào điện trở của cảm biến. Khi dây nối ngắn, điện trở của chúng sẽ không gây ra các vấn đề liên quan đến nhiệt độ. Tuy nhiên khi dây nối dài chúng sẽ gây ảnh hưởng bất lợi đến kết quả đo. Ví dụ, với dây nối có diện tích mặt cắt ngang là 0.3 mm^2 và điện trở là $0.062 \Omega/m$, chiều dài dây là 10m (tổng chiều dài của hai đoạn r_1 và r_2 là 20m), khi nhiệt độ tăng lên $1^{\circ}C$ sẽ làm phát sinh trong kết quả đo một giá trị biến dạng là 20×10^{-6} .



Loại cảm biến 3 dây (Hình 7) đã được phát triển để triệt tiêu những ảnh hưởng nhiệt độ không mong muốn của dây dẫn. Loại cảm biến này sẽ có 3 dây nối từ



cảm biến tới mạch cầu. Trong cảm biến 3 dây, điện trở của dây dẫn r_1 sẽ được tính vào với điện trở của cảm biến R_g , còn điện trở của dây dẫn r_2 sẽ được tính vào với điện trở R_2 . Điều đó có nghĩa là r_1 và r_2 được bố trí tại hai phía kề sát nhau của mạch cầu, và như vậy ảnh hưởng của các giá trị điện trở r_1 và r_2 sẽ triệt tiêu lẫn nhau. Điện trở của dây dẫn r_3 được nối ra phía ngoài của mạch cầu. Nó hầu như sẽ không gây ra ảnh hưởng đáng kể nào đến kết quả đo.

2. Ứng dụng của cảm biến đo biến dạng trong quan trắc công trình xây dựng

Trên cơ sở cảm biến đo biến dạng đã được giới thiệu ở phần 1, người ta người ta đã ứng dụng và phát triển nó thành nhiều các thiết bị cảm biến khác nhau (cảm biến đo tải trọng, chuyển vị, gia tốc, độ nghiêng, độ mở rộng vết nứt, đo áp lực đất, áp lực nước lỗ rỗng...). Trong phần 2 sẽ giới thiệu một số những ứng dụng của các thiết bị cảm biến này trong quan trắc công trình xây dựng.

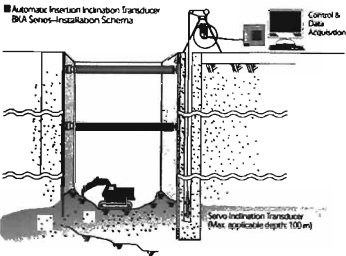
2.1. Quan trắc khi thi công hố đào và hệ văng chống

Trong quá trình thi công hố đào và hệ văng chống có thể tiến hành quan trắc một cách tổng hợp những nội dung sau:

- Quan trắc quản lý an toàn của hệ tường chắn
- Quan trắc trạng thái của tường chắn (độ nghiêng, áp lực đất, áp lực nước lỗ rỗng, ứng suất trong cốt thép)
- Quan trắc hiện tượng bùng nền (độ độ lún theo từng lớp đất)
- Quan trắc phản lực trong các thanh chống (độ biến dạng, đo tải trọng)
- Quan trắc lực căng trong các neo đất

Quan trắc sự dịch chuyển của các kết cấu xung quanh

- Quan trắc độ lún của các công trình xung quanh.
- Quan trắc sự dịch chuyển của kết cấu (quan trắc độ nghiêng)



Hình 9. Ví dụ về quan trắc khi thi công hố đào và hệ văng chống

2.2. Quan trắc kết cấu nền đất đắp

Để quan trắc sự dịch chuyển của nền đất có thể tiến hành đo những nội dung sau:

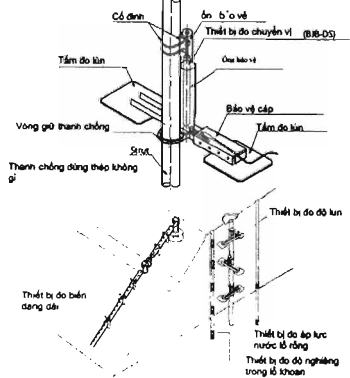
Độ lún của nền hiện tại hoặc độ lún của từng

lớp đất

- Sự thay đổi của áp lực nước lỗ rỗng
- Sự thay đổi của mực nước ngầm
- Sự dịch chuyển của nền đất (bằng các thiết bị đo độ nghiêng được chôn hoặc gắn vào nền đất)
- Sự thay đổi của áp lực đất



■ Sơ đồ thiết bị quan trắc



Hình 10. Ví dụ về quan trắc kết cấu nền đất đắp

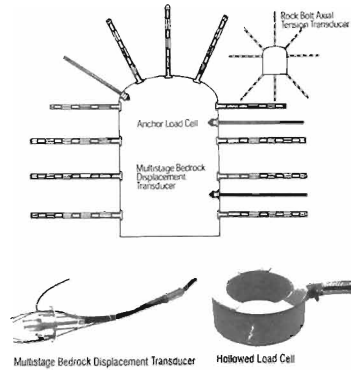
2.3. Quan trắc hầm và công trình ngầm

• Hầm khiên đào (Shield Tunnel): Kết cấu hầm này thích hợp với những nơi có địa chất yếu và có mực nước ngầm cao, thường được áp dụng để thi công hầm trong thành phố. Để đảm bảo an toàn trong thi công cần quan trắc động thái của bản thân kết cấu hầm cũng như của các công trình xung quanh.

- Quan trắc biến dạng, chuyển vị
- Quan trắc các đứt hầm
- Hầm NATM (NATM Tunnel): quan trắc đối với dạng kết cấu hầm này để đảm bảo những mục đích sau:

- Nhằm được ứng xử của nền đất xung quanh
- Xác nhận được hiệu quả của hệ thanh chống
- Xác nhận tính an toàn của kết cấu
- Công trình ngầm: một ví dụ về quan trắc công

trình ngầm được thể hiện trong Hình 11.



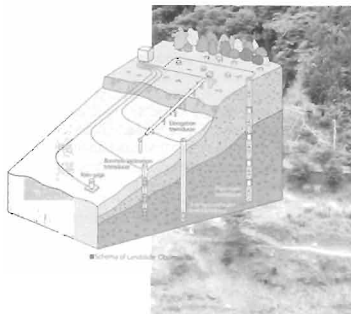
Hình 11 Quan trắc hàm ngầm của nhà máy phát điện

2.4. Quan trắc sụt trượt

Ở Việt Nam cũng như ở nhiều nước khác trên thế giới, sụt trượt là một tai họa thiên nhiên gây ra nhiều tổn thất về người và tài sản của xã hội. Việc quan trắc sụt trượt sẽ giúp giảm thiểu những tai họa thiên nhiên này. Đối với việc quan trắc sụt trượt, thông thường người ta đo lượng mưa, mực nước ngầm, sự dịch chuyển (độ nghiêng) của các lớp đất, áp lực nước lỗ rỗng... Vị trí tiến hành quan trắc sụt trượt thường ở những nơi không thể cung cấp nguồn điện một cách thường xuyên, do vậy người ta đã nghiên cứu những thiết bị, bộ thu và lưu dữ liệu chạy bằng pin hoặc năng lượng mặt trời (Hình 13). Việc truyền dữ liệu cũng có thể được tiến hành thông qua các thiết bị vệ tinh.

2.5. Quan trắc đập

Liên quan đến vấn đề an toàn và kinh tế khi xây



Hình 12 Ví dụ về quan trắc sụt trượt

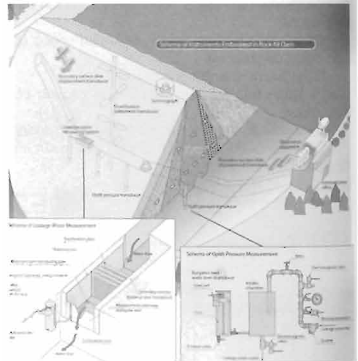


Hình 13. Bộ thu và lưu dữ liệu

dựng, vận hành đập, chúng ta thường phải đối mặt với những vấn đề sau:

- Tính chất cơ học không chắc chắn và tính không đồng đều của vật liệu làm đập
- Các vấn đề có nguyên nhân từ xây dựng
- Các vấn đề liên quan đến điều kiện thủy văn
- Ứng xử theo thời gian với đồng đất ...

Việc quan trắc đập sẽ cung cấp các số liệu để có thể đưa ra các giải pháp giải quyết những vấn đề này trên cơ sở xét đến sự hài hòa giữa tính kinh tế và tính an toàn.



Hình 14 Ví dụ về quan trắc đập Rockfill

2.6. Quan trắc trong đường sắt

Do vận chuyển số lượng người lớn nên vấn đề đảm bảo an toàn trong vận hành tàu đường sắt là một nhiệm vụ quan trọng. Một sai lầm nhất thời hoặc một bất thường nào đó có thể cướp đi cuộc sống của rất nhiều người. Trên thế giới có những hệ thống đường sắt (ví dụ như tàu Shinkansen của Nhật Bản) được vận hành rất chính xác và an toàn. Để làm được điều này đòi hỏi phải có sự quan trắc để luôn kiểm tra và

giám sát sự hoạt động của hệ thống. Một số ví dụ về quan trắc trong đường sắt được thể hiện ở các Hình 15 và 16.



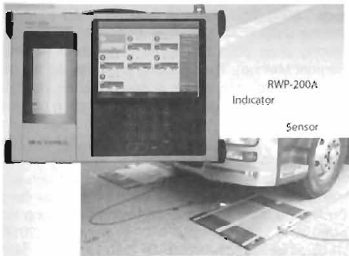
Hình 15. Cảm biến đo các xung kích khi chạy tàu



Hình 16. Cảm biến đo tải trọng trục và tải trọng ngang

2.7. Quan trắc trong giao thông đường bộ (kiểm soát tải trọng xe)

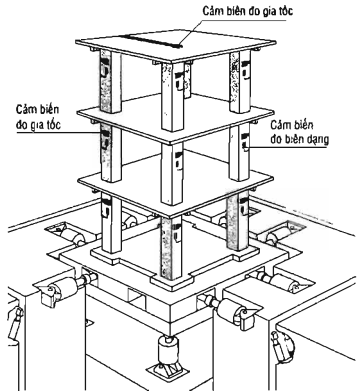
Không chỉ riêng ở Việt Nam mà đối với rất nhiều nước trên thế giới, việc kiểm soát xe quá tải, bảo vệ kết cấu hạ tầng là một nhiệm vụ quan trọng. Để làm được điều này có thể sử dụng trạm cân lưu động (Hình 17) hoặc hệ thống cân động WIM (Weigh-in-motion). WIM là hệ thống cân tải trọng xe được đặt cố định ở trên mặt đường (Hình 18). Nó cho phép xác định tải trọng một cách tự động khi xe lưu thông qua hệ thống



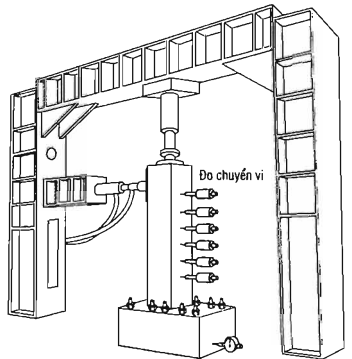
Hình 17. Cân lưu động kiểm soát tải trọng xe



Hình 18. Trạm cân động WIM



Hình 19. Thí nghiệm bàn rung



Hình 20. Thí nghiệm bàn rung

(Xem tiếp trang 77)

đất nền càng lớn thì càng dễ xuất hiện mất tương tác khi tàu chuyển động với vận tốc càng lớn. Tuy nhiên, khi tàu chuyển động với vận tốc nhỏ và có sự khác nhau độ cứng đất nền của hai ray thì hiện tượng nảy bánh xe vẫn có thể xảy ra.

Các kết quả nghiên cứu thu được là tài liệu tham khảo hữu ích cho công tác thiết kế và bảo dưỡng đường ray nhằm tránh xảy ra các tai nạn đáng tiếc trên hệ thống tàu cao tốc hiện nay. □

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ phát triển khoa học và công nghệ quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 107.02-2013.27.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. P. M. Mathews, *Vibrations of a beam on elastic foundation*, *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, 38, pp. 105-115, 1958.
2. F.V. Filho, *Finite element analysis of structures under moving loads*, *Shock and Vibration Digest*, 10:27-35, 1978.
3. Lei X., Noda N.A. *Analyses of dynamic response of vehicle and track coupling system with random irregularity of track vertical profile*, *Journal of sound and vibration*, 258(1):147-165, 2002
4. P. Galvin, A. Romero, J. Dominguez, *Full three dimensional analysis of high speed train track soil structure dynamic interaction*, *Journal of sound and vibration*, 329, 5147-5163, 2010
5. C.G. Koh, J.S.Y. Ong, D.K.H. Chua, J. Feng, *Moving Element for Train-Track Dynamics*, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 56, pp. 1549-1567, 2003.
6. Tran Minh Thi, K.K. Ang, Jian Dai, Luong Van Hai (2013). *Moving Frame Method for Dynamic Analysis of High-Speed Train Slab*

Track-Viscoelastic Foundation System. Hội nghị Khoa học toàn quốc Cơ học Vật rắn biến dạng lần thứ XI, Tp.HCM, 7-9/11/2013

7. Tran Minh Thi, K.K. Ang, Luong Van Hai, *The effect of track irregularity and wheel load on dynamic response of high-speed rail system*, *Tạp chí Khoa học-Trường ĐH Mở TP.HCM*, 2013.

8. L.V. Hai, *Phân tích ảnh hưởng của hiện tượng nảy bánh xe đến đáp ứng động lực học tải cao tốc sử dụng phần tử chuyển động MEM*, *Tạp chí Xây dựng*, số 4-2014:102-105

9. C. Esvelid, *Developments in high-speed track design*, keynote lecture at: *Structures for High-Speed Railway Transportation-IABSE Symposium*, Antwerp, 27-29 August 2003.

10. C. Esvelid, *Modern Railway Track (2nd Edition)*, MRT Productions, Duisburg, Germany, 2001.

11. Nielsen JCO, Igeland A, *Vertical dynamic interaction between train and track-influence of wheel and track imperfections*, *Journal of Sound and Vibration*, 1995; 187(5):825-839.

12. Kalker, *Three dememsional elastic bodies in rolling contact*, *Solid mechanics and its applications*, 1990.

13. Lê Tuấn Anh, *Phân tích động lực học tải cao tốc có xét đến độ nảy bánh xe và tương tác với đất nền*, *Luận văn Thạc sỹ*, Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM, 12/2013.

KS. Bùi Văn Nhứt - Học viên cao học, Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường đại học Bách khoa TP.HCM – Đại học Quốc gia TP.HCM

NCS. Trần Minh Thi - Khoa Kỹ thuật Xây dựng và Môi trường, Đại học Quốc gia Singapore

TS. Lương Văn Hải, TS. Lê Anh Tuấn, TS. Nguyễn Võ Trọng - Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách khoa – Đại học Quốc gia TP.HCM

Email: lvhai@hcmut.edu.vn

CẢM BIẾN ĐO BIẾN DẠNG VÀ CÁC ỨNG DỤNG...

(Tiếp theo trang 69)



Hình 21. Thí nghiệm hàm gió

mà không cần phải dừng xe (tốc độ xe chạy có thể từ 0.02 đến 80 km/h). Hệ thống gồm bản thép đặt trên mặt đường, phía dưới bản thép có gắn các cảm biến xác định tải trọng và các thanh cảm (bar sensor) biến để giúp nhận dạng các trục và đánh giá tốc độ xe.

2.8. Ứng dụng thiết bị quan trắc trong các phòng nghiên cứu của các trường đại học và viện nghiên cứu

Một số ví dụ về ứng dụng thiết bị quan trắc trong các thí nghiệm bền vững, thí nghiệm giá động (với tương phản lực), thí nghiệm hầm gió được minh họa trong các Hình 19 - Hình 21. □

Tài liệu tham khảo:

1. Hanna T.H. (1973), *Foundation Instrumentation*. Trans Tech Publications
2. Lemcoe M. M. (1975), *Development of electric resistance strain gages system for use*, *Adv. Instrumentation* 30-1.
3. Chrzanowski A.S., Deng N., and Massiera M, (2008). *Monitoring and Deformation Aspects of large Concrete face Rockfill Dams*, 13th FIG Symposium Deformation Measurement and Analysis, 4th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering, Lneac, Lisbon 2008 May 12-15.
4. Daniel B., Claus-Peter F. and Alfredo G (2006), *Structural Health Monitoring*, British Library Cataloguing-in-Publication.