

NGHIÊN CỨU KẾT CẤU KHUNG ỐNG THÉP CHẮN LŨ Bùn ĐÁ CHỊU TÁC DỤNG CỦA LỰC VÀ CHẠM BẰNG THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH VẬT LÝ

Vũ Quốc Công^{1,3,*}, Vũ Hoàng Hưng², Nguyễn Chí Thanh³

¹ *Nghiên cứu sinh Trường Đại học Thủy lợi*

² *Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi*

³ *Viện Thủy công, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam*

** Email: congqv@gmail.com*

TÓM TẮT

Lũ bùn đá là loại hình thiên tai thường gặp ở khu vực miền núi phía Bắc. Một trong những giải pháp để ngăn chặn đá làm giảm tác động đến vùng hạ lưu là xây dựng các đập hồ dạng khung thép ống. Đối với loại đập này, khi ngăn chặn dòng bùn đá, theo quán tính các khối đá lớn trong dòng chảy va chạm vào kết cấu chắn giữ có khả năng gây phá hoại kết cấu. Để giảm lực va chạm có thể đặt các gối mềm phía trước hoặc phía sau của khung. Nhờ tính đàn hồi của gối, làm tiêu tán một phần năng lượng do va chạm của đá khối. Một trong những gối đàn hồi đơn giản và hiệu quả là sử dụng lò xo thẳng có độ cứng nhất định theo phương dọc trục. Sử dụng phương pháp nghiên cứu thí nghiệm để phân tích ứng xử của khung khi không có/có thiết bị tiêu tán năng lượng chịu tác dụng của lực va chạm, từ đó đưa ra những kết luận về tính hiệu quả của giải pháp này.

Từ khoá: *Lũ bùn đá, lực va chạm, thí nghiệm, mô hình kết cấu, khung thép ống.*

1. BẮT VẤN ĐỀ

Để phòng, chống và giảm nhẹ rủi ro thiên tai lũ bùn đá, các nước trên thế giới đã không ngừng đầu tư nghiên cứu, phát triển các công nghệ tiên tiến, áp dụng các giải pháp công trình, phi công trình và đã có những thành công nhất định.

Một trong những giải pháp công trình được sử dụng phổ biến là xây dựng đập ngăn bùn đá hay còn gọi là đập hồ. Đó là một dạng đập nhỏ, xây dựng qua suối hoặc kênh để giảm tốc độ dòng bùn đá. Mục đích chính của các đập này là làm tiêu hao năng lượng của dòng lũ bùn đá bằng cách làm chậm và lắng phần phía trước của dòng lũ bùn đá, từ đó tác động tới khu vực hạ lưu và khu vực dân cư bị ảnh hưởng sẽ được giảm đi đáng kể. Trong điều kiện bình thường, dòng suối vẫn trong cơ chế làm việc bình thường, đảm bảo cho bồi lắng, phù sa vẫn có thể vận chuyển xuống hạ lưu, không làm thay đổi độ dốc của lòng suối, đảm bảo sự liên tục của dòng suối. Mặt khác, khi xảy ra lũ bùn đá, hệ

thống có thể giữ lại đá lớn, gỗ trôi dạt đồng thời giảm lưu tốc dòng lũ [1, 2].

Hiện nay, trên thế giới đang sử dụng các hình thức ngăn dòng bùn đá: Đập bê tông cốt thép có lỗ và khe thoát nước, bãi trụ bê tông cốt thép, khung bê tông cốt thép, khung thép và lưới thép cường độ cao. Mỗi loại hình kết cấu đều có ưu, nhược điểm riêng. Đối với đập chắn bằng khung thép, được sử dụng khi nền đập là nền đá hoặc có thể sử dụng kết hợp một phần bê tông cốt thép. Khi sử dụng đập chắn bằng khung thép có thể linh hoạt trong vận chuyển, lắp đặt hoặc tháo dỡ khi cần dọn đá, ngoài ra có thể bố trí các thiết bị tiêu tán năng lượng do va chạm của đá khối [3].

Đối với các đập chắn bằng khung thép, khi ngăn chặn dòng bùn đá, theo quán tính các khối đá lớn trong dòng chảy va chạm vào kết cấu chắn giữ có khả năng gây phá hoại kết cấu [4]. Để giảm lực va chạm có thể đặt các gối mềm phía trước hoặc phía sau của khung. Nhờ tính đàn hồi của

gối, lực va chạm tác dụng vào khung sẽ giảm [5 - 9]. Một trong những gối đàn hồi đơn giản và hiệu quả là sử dụng lò xo có độ cứng nhất định và chỉ chịu lực theo phương dọc trục, không chịu cắt. Đối với khung ống thép chấn lữ bùn đá dạng tam giác có thanh chống, chủ yếu chịu nén dọc trục khi chịu tác dụng của lực va chạm phía thượng lưu. Do vậy, việc đặt gối lò xo theo phương dọc trục thanh chống có thể đem lại hiệu quả đối với thanh chống khi lò xo tiêu tán một phần năng lượng. Tuy nhiên, hiệu quả của việc tiêu tán năng lượng là bao nhiêu cần phải được xem xét đánh giá. Chính vì vậy, “Nghiên cứu kết cấu khung ống thép chấn lữ bùn đá chịu tác dụng của lực va chạm bằng thí nghiệm mô hình vật lý” là cần thiết nhằm làm sáng tỏ tác dụng của gối đàn hồi đến ứng xử của khung.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mục tiêu thí nghiệm

Nghiên cứu ứng xử của khung ống thép không gian không có/có gắn thiết bị tiêu tán năng lượng chịu tác dụng của tải trọng va chạm, bao gồm:

- Khảo sát chuyển vị và ứng suất trong khung khi chịu tác dụng của lực va chạm,
- Xây dựng quan hệ tải trọng - chuyển vị, tải trọng - ứng suất.

Để đạt được 2 mục tiêu này, cần tiến hành dán các cảm biến điện tử vào bề mặt ống thép để đo biến dạng trong ống thép (ứng suất nén trong các thanh chống), đặt các đầu đo chuyển vị ngang và đứng tại đỉnh khung ứng với các kịch bản va chạm.

- Khảo sát ảnh hưởng của gối đàn hồi đến ứng xử của kết cấu khung. Để đạt được mục tiêu này, cần tiến hành thí nghiệm 2 khung: Không có và có thiết bị tiêu tán năng lượng khi thay đổi độ cứng của lò xo chân gối đỡ.

2.2. Sơ đồ thí nghiệm

Kết cấu khung chấn lữ bùn đá thường được đặt trên ngưỡng tràn bê tông có cao độ cao hơn hoặc bằng cao độ lòng suối. Chiều dài và chiều cao của kết cấu khung được xác định dựa trên lưu lượng dòng bùn đá và mức độ ngăn chặn. Chiều dài của kết cấu thường được mở rộng đến mức có thể bằng bề rộng lòng suối và được chia thành các đơn nguyên làm việc độc lập, chiều cao của khung thường không quá 4 m. Chính vì vậy, mẫu thí

nghiệm không sử dụng mô hình thu nhỏ mà sử dụng kết cấu nhỏ với tỉ lệ mô hình 1: 1.

Để xem xét ứng xử của kết cấu khung ống thép khi chịu tác động của vật va chạm đàn hồi và tác dụng của gối đàn hồi đến ứng xử của kết cấu cần thiết lập 2 mô hình thí nghiệm khung chân ngầm và khung chân lò xo chịu cùng hình thức va chạm. Sơ đồ thí nghiệm được thể hiện ở hình 1.

Để tạo ra khối lượng và vận tốc trước thời điểm va chạm có thể sử dụng 2 phương pháp: Thứ nhất, thả vật rơi tự do theo quỹ đạo kiểu con lắc; thứ hai, cho vật chạy theo quỹ đạo mong muốn dưới tác dụng của trọng lực. Đối với phương pháp thứ nhất, vật thể có thể tạo hình dạng theo ý muốn kể cả việc sử dụng viên đá hoặc viên sỏi có sẵn được treo bằng dây mềm nên tạo lực va chạm khá đơn giản. Tuy nhiên, khó khống chế được vận tốc, đặc biệt là vận tốc viên đá thực tế có sự giảm cản bởi dòng nước. Đối với phương pháp thứ hai, vật thể phải có cấu tạo hình tròn để có thể dễ dàng chạy trên ray và phải tạo cơ cấu chống đỡ ray phức tạp nhưng có thể dễ dàng điều chỉnh vận tốc và vị trí vật thể trước khi va chạm. Khối lượng của vật thể được lựa chọn thông qua tính toán sơ bộ để đảm bảo khi va chạm không làm phá hoại kết cấu. Nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp thứ hai để tạo lực va chạm tác dụng vào khung ống thép.

Để xem xét ứng xử của kết cấu khung, cần thực hiện đo đặc biến dạng ở các thanh ống thép bằng cách dán các cảm biến điện trở (Straingage - SG) lên bề mặt thanh và chuyển vị theo 2 phương tại đỉnh khung và độ biến dạng của lò xo (đối với khung chống có gắn gối lò xo) bằng cách đặt các cảm biến chuyển vị (Linear Variable Differential Transform - LVDT).

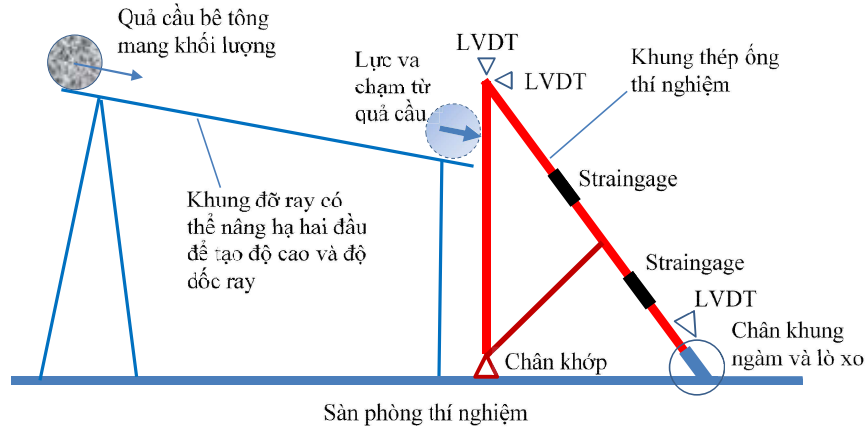
2.3. Chế tạo mẫu thí nghiệm

Mẫu thí nghiệm được chế tạo có kích thước là $b \times h \times l = 920 \times 1.000 \times 1.000$ mm. Kích thước này được lựa chọn theo tỉ lệ đồng dạng với kết cấu thường dùng trong thực tế.

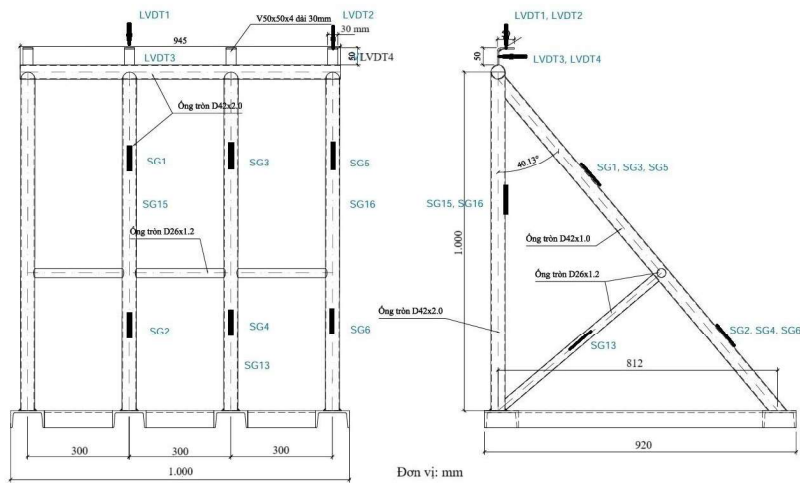
Vật liệu sử dụng làm khung là thép ống $\phi 42 \times 2,0$ và $\phi 26 \times 1,2$ có sẵn trên thị trường và được liên kết hàn. Lò xo sử dụng 3 loại đều có chiều dài $L_0 = 55$ mm và đường kính $\phi 32,5$ có sẵn trên thị trường. Chỉ tiêu cơ lý của vật liệu thép chế tạo khung và độ cứng của lò xo được xác định thông qua thí nghiệm trong phòng.

Để đánh giá hiệu quả của gối đàn hồi, chế tạo 2 mẫu có cùng kích thước hình học, chỉ khác mẫu

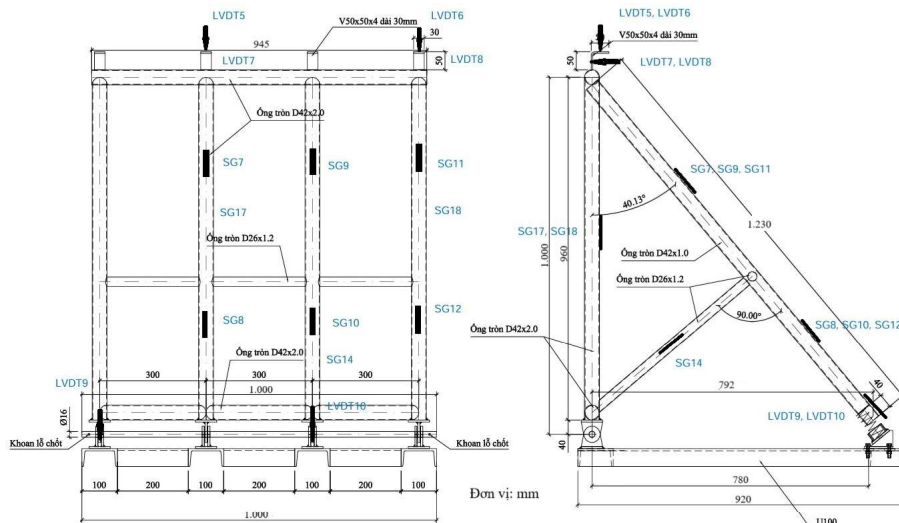
số 2 thay thế chân ngàm bằng chân liên kết lò xo theo phương dọc trục được thể hiện ở hình 2 và 3.



Hình 1. Sơ đồ thí nghiệm



Hình 2. Cấu tạo, kích thước hình học và vị trí đo mẫu thí nghiệm 1 khung chân ngàm



Hình 3. Cấu tạo, kích thước hình học và vị trí đo mẫu thí nghiệm 2 khung chân lò xo

Các khung thép đều được dán 9 SG. Trên đỉnh khung được lắp 4 LVDT để đo chuyển vị đứng và ngang trên đỉnh khung, các cảm biến được lắp đặt trên khung cố định. Riêng đối với mẫu khung số 2, đặt thêm 2 LVDT để đo độ biến dạng của lò xo.

Các vị trí dán SG và đặt LVDT lên kết cấu khung được thể hiện ở hình 4 và 5. Việc đo đạc được thực hiện bởi Phòng thí nghiệm kết cấu công trình, Trường Đại học Giao thông vận tải Hà Nội với các thiết bị đã được kiểm nghiệm đảm bảo độ tin cậy.



Hình 4. Dán các SG lên mẫu khung ống thép



Hình 5. Đặt các LVDT trên đỉnh và chân khung

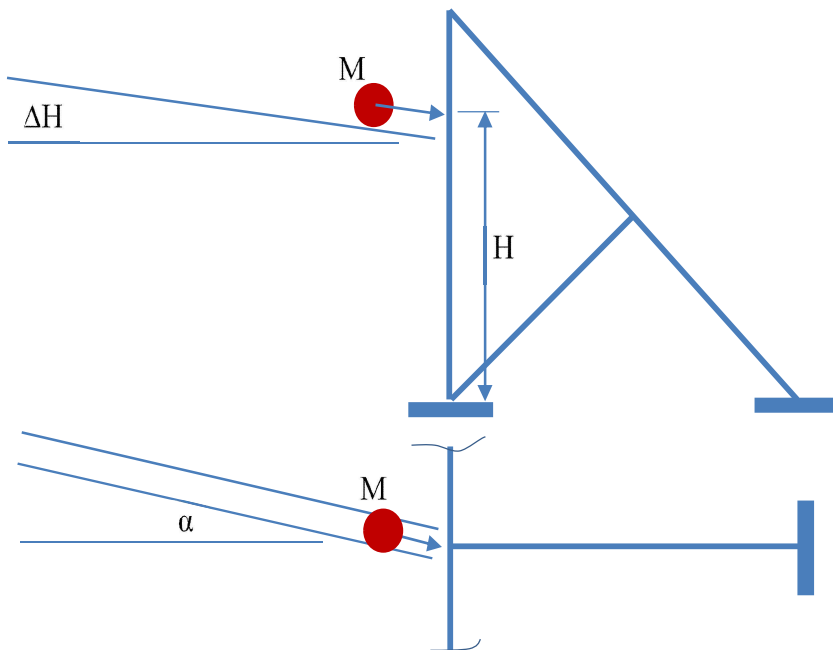
2.4. Xây dựng kịch bản thí nghiệm

Để xem xét hết các trường hợp bất lợi đối với kết cấu khung và tính chất đối xứng của kết cấu, chỉ cho va chạm vào thanh đứng của mặt phẳng khung thứ 3 tính từ bên trái tại các vị trí khác nhau H ($H_1 = 92$ cm; $H_2 = 72$ cm; $H_3 = 52$ cm), ngoài ra xem xét đến ảnh hưởng của khối lượng vật va chạm M ($M_1 = 7,8$ kg; $M_2 = 3,13$ kg; $M_3 = 1,05$ kg), chênh lệch độ cao đường ray ΔH (60 cm; 40 cm; 20 cm) và góc va chạm trên mặt bằng α (20 độ; 0 độ) (Hình 6). Các thông số được lựa chọn phù hợp với mẫu thí nghiệm và bao quát hết các trường hợp có thể xảy ra gây bất lợi đối với kết

cấu. Tổng số kịch bản thí nghiệm là 216 trong đó mẫu khung 1 (chân ngầm) thực hiện 54 kịch bản, mẫu khung 2 (chân lò xo) thực hiện $54 \times 3 = 162$ kịch bản cho 3 loại lò xo. Tuy nhiên, lực va chạm lớn nhất và vị trí bất lợi nhất đối với kết cấu khung khi khối lượng M lớn nhất, chênh lệch ΔH lớn nhất và góc $\alpha = 0$ tác dụng tại vị trí H lớn nhất (Bảng 1). Đó là các kịch bản A-1, B-55, C-109 và D-163. Trong đó: A là khung chân ngầm, B là khung chân lò xo có độ cứng K1, C là khung chân lò xo có độ cứng K2 và D là khung chân lò xo có độ cứng K3 ($K_1 < K_2 < K_3$).

Bảng 1. Các kịch bản thí nghiệm khung thép chịu tác dụng của lực va chạm

Kịch bản	Mẫu	Vị trí va chạm H (cm)	Chênh lệch độ cao đường ray ΔH (cm)	Góc va chạm α (độ)	Khối lượng vật va chạm M (kg)
A-1	1	92	60	0	7,8
B-55	2-K1	92	60	0	7,8
C-109	2-K2	92	60	0	7,8
D-163	2-K3	92	60	0	7,8



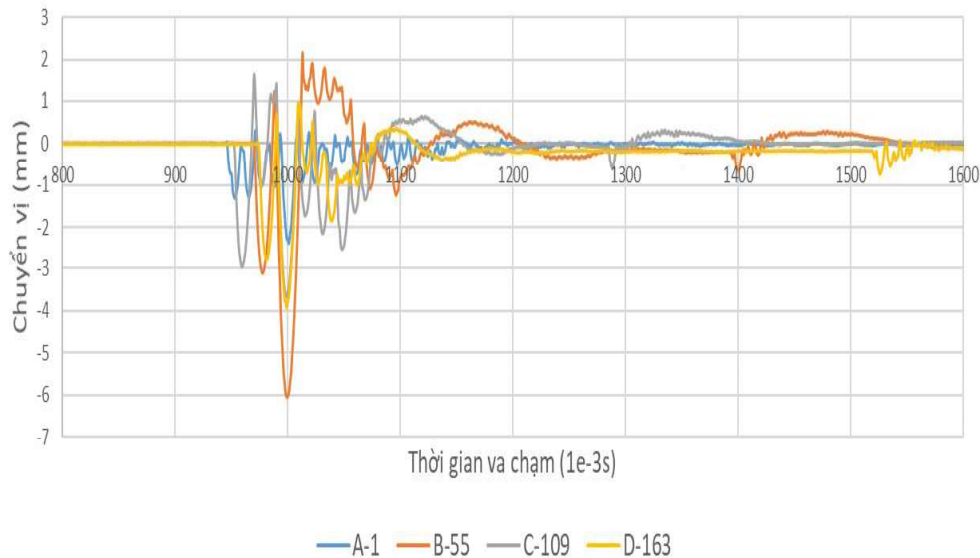
Hình 6. Các thông số thay đổi của lực va chạm tác dụng lên kết cấu khung

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

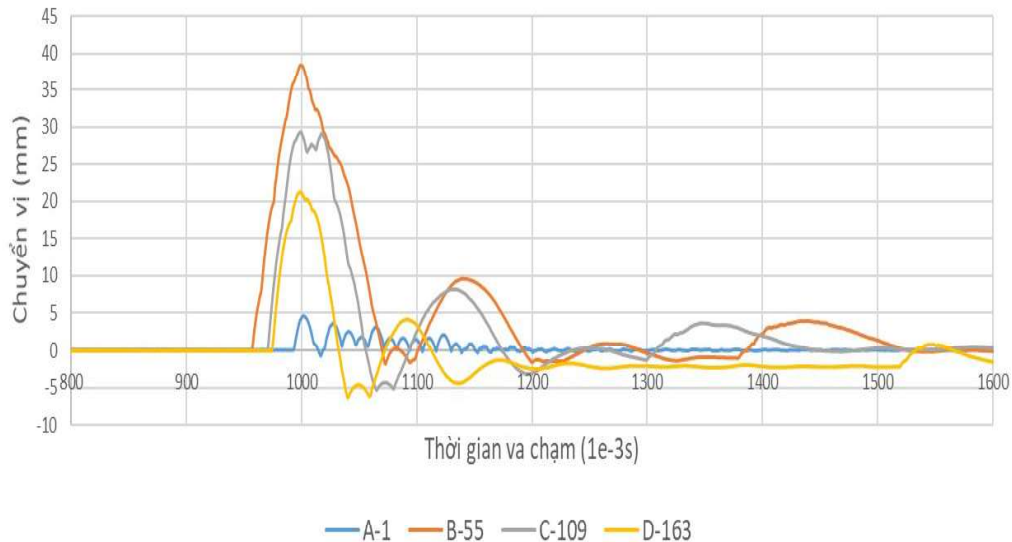
3.1. Kết quả chuyển vị

Hình 7 và 8 thể hiện kết quả đo đặc chuyển vị theo phương đứng và phương ngang ở đỉnh khung theo thời gian và chạm ứng với 4 kích bản thí nghiệm ở bảng 1. Từ biểu đồ ở hình 7, 8 cho thấy, đối với khung chân ngầm (kịch bản A-1) có chuyển vị đứng nhỏ nhất bằng -2,362 mm và

chuyển vị ngang nhỏ nhất bằng 4,58 mm; đối với khung chân lò xo có độ cứng K1 (kịch bản B-55) có chuyển vị đứng lớn nhất bằng -6,042 mm và chuyển vị ngang lớn nhất bằng 38,47 mm. Đối với khung chân ngầm, sau khi kết thúc va chạm, biên độ dao động nhỏ hơn rất nhiều so với khung chân liên kết lò xo.



Hình 7. Chuyển vị đứng của đỉnh khung theo thời gian

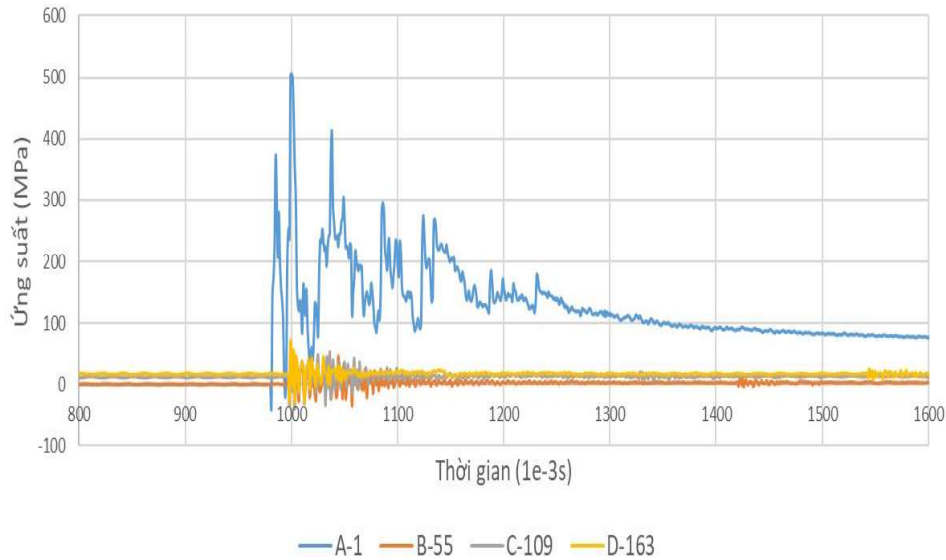


Hình 8. Chuyển vị ngang của đỉnh khung theo thời gian

3.2. Kết quả ứng suất

Hình 9 thể hiện kết quả đo đặc ứng suất dọc trục của thanh chống theo thời gian và chạm ứng với 4 kích bản thí nghiệm ở bảng 1. Từ biểu đồ ở hình 9 cho thấy, đối với khung chân ngầm (kịch bản A-1) có

ứng suất dọc trục lớn nhất bằng 507,024 MPa phù hợp với kết quả tính toán sơ bộ bằng giải tích đối với khung phẳng chịu tác dụng của lực va chạm; đối với khung chân lò xo có độ cứng K1 (kịch bản B-55) có ứng suất dọc trục nhỏ nhất bằng 54,835 MPa.



Hình 9. Ứng suất dọc trục của thanh xiên

3.3. Nhận xét

Khi thay đổi liên kết ở chân khung (chân ngầm và chân đàn hồi với các độ cứng lò xo khác nhau) thì chuyển vị đỉnh khung thay đổi. Lò xo có độ cứng càng lớn thì chuyển vị đỉnh khung sẽ giảm, điều này phù hợp với quy luật. Hình 7 và 8 thể hiện biểu đồ so sánh chuyển vị đứng và chuyển vị ngang ở đỉnh khung trong các trường hợp thay đổi liên kết chân khung với lực tác dụng không đổi, khi chân khung liên kết ngầm có thể coi độ cứng lò xo bằng vô cùng, chuyển vị đỉnh khung là nhỏ nhất, đây là giá trị biến dạng đàn hồi của khung khi chịu tác dụng của tải trọng. Chuyển vị ngang lớn nhất tại đỉnh khung là lớn nhất, tương ứng với trường hợp chân khung liên kết đàn hồi có độ cứng lò xo nhỏ nhất.

Khi so sánh ứng suất dọc trục thanh xiên trong các trường hợp thay đổi liên kết chân khung với lực tác dụng không đổi cho thấy, ứng suất trong thanh xiên thay đổi rõ rệt khi chân khung liên kết lò xo đàn hồi. Khi chân khung liên kết ngầm, ứng suất trong thanh xiên từ giá trị lớn nhất giảm dần và dao động theo thời gian, trong khi chân liên kết lò xo ứng suất tăng dần đạt đến giá trị lớn nhất sau đó giảm về giá trị 0. Khi khung có chân liên kết ngầm, chuyển vị của kết cấu là nhỏ nhất nhưng ứng suất dọc trục trong thanh chống lớn vượt quá ứng suất chảy của vật liệu; với khung có chân liên kết lò xo, lò xo có độ cứng tăng thì

chuyển vị giảm, ứng suất tăng nhưng vẫn nhỏ hơn rất nhiều so với khung có chân liên kết ngầm.

Từ các kết quả chuyển vị và ứng suất ở trên cho thấy, mặc dù khung có chân liên kết lò xo có chuyển vị tăng nhưng ứng suất giảm đáng kể. Khi ứng suất trong thanh giảm, tức là khả năng chịu tải của kết cấu tăng lên hoặc có thể giảm kích thước mặt cắt thanh để tiết kiệm vật liệu.

4. KẾT LUẬN

Khi kết cấu khung ống thép chịu tác dụng của tải trọng va chạm, tác dụng của gối đàn hồi đến trạng thái ứng suất của kết cấu có hiệu quả rõ rệt. Ứng suất trong thanh chống giảm đi đáng kể khi có gắn thiết bị tiêu tán năng lượng, điều này có nghĩa khả năng chịu lực của kết cấu tăng lên hoặc có thể giảm kích thước mặt cắt thanh. Kết quả nghiên cứu này làm tiền đề cho việc nghiên cứu tối ưu hóa kết cấu đảm bảo yêu cầu kinh tế và kỹ thuật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Trung Kiên, Nguyễn Trần Hiếu, Hoàng Tuấn Nghĩa (2019). Nghiên cứu khả năng áp dụng giải pháp đập hở khung thép ngăn lũ bùn đá tại khu vực miền núi phía Bắc Việt Nam. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội*, 13(5V), 28 - 37.
2. Ishikawa và cs (2018). Lịch sử Sabo và công nghệ đập ngăn bùn đá dạng hở. Hội thảo Giải pháp

công nghệ trong phòng, chống lũ quét, sạt lở đất, ngày 9/7/2018, Hà Nội.

3. Shima, J., Moriyama, H., Kokuryo, H., Ishikawa, N., Mizuyama, T. (2016). Prevention and mitigation of debris flow hazards by using steel open-type sabo dam. *International Journal of Erosion Control Engineering*, volume 9, no. 3, pp. 135 - 144.

4. Atsuyuki Daido, Masahito Yoshizumi, Kenta Nakajima. (1994). Impact force of mud - debris flows acting on structure. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)*, volume 38, pp. 557 - 562.

5. Toshiyuki Horiguchi, Yoshiharu Komatsu, Satoshi Katsuki and Nobutaka Ishikawa. (2018). Load evaluation of debris flow against steel open sabo dam using DEM. *Symposium Proceedings of the Interpraenent 2018 in the Pacific Rim*, pp. 228 - 235.

6. Osamu Shimakawa, Toshiyuki Horiguchi, Masuhiro Beppu, *et al.* (2022). Effect of dent

deformation of a joint of steel pipe on global failure of steel pipe open sabo dam. *Journal of Structural Engineering*, volume 68A, pp. 896 - 906.

7. Osamu Shimakawa, Toshiyuki Horiguchi, Yoshiharu Komatsu, *et al.* (2019). Load reduction mechanism analysis of energy dissipators at a prepositive of open sabo dam using DEM. *Journal of Structural Engineering*, volume 75, issue 2, pp. 175 - 185.

8. Osamu Shimakawa, Toshiyuki Horiguchi, Masuhiro Beppu, *et al.* (2022). Effect of damaged member on structural robustness of steel pipe open sabo dam. *Journal of the Society of Materials Science, Japan*, volume 71(8), pp. 691 - 698.

9. Osamu Shimakawa, Toshiyuki Horiguchi, Masuhiro Beppu, *et al.* (2021). Study on failure mechanism of open sabo dam using DEM. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. A2 (Applied Mechanics (AM))*, volume 77, issue 2, pp. 381 - 392.

STUDY ON THE IMPACT RESISTANCE OF STEEL PIPE FRAME BARRIERS FOR DEBRIS FLOW USING PHYSICAL MODEL EXPERIMENTS

Vu Quoc Cong^{1,3}, Vu Hoang Hung², Nguyen Chi Thanh³

¹ *PhD Student, Thuyloi University*

² *Faculty of Civil Engineering, Thuyloi University*

³ *Hydraulic Construction Institute, Vietnam Academy for Water Resources*

Summary

Debris flows are a common type of natural disaster in the mountainous areas of Northern Vietnam. One solution to reduce the impact on downstream areas is to construct open - frame barriers using steel pipes. For this type of barrier, when blocking debris flows, large rocks in the flow, due to inertia, may collide with the structure, potentially causing damage. To reduce impact forces, soft connections can be placed either in front of or behind the frame. These connections, due to their elasticity, help dissipate some of the energy from the rock impact. A straightforward and effective type of soft connection is to use straight springs with specific axial stiffness. This paper uses physical experimental methods to analyze the behavior of the frame both with and without energy - dissipating devices under impact forces, leading to conclusions about the effectiveness of this solution.

Keywords: *Water demand, water balance, reservoir, scenario.*

Ngày nhận bài: 21/10/2024

Ngày chuyển phản biện: 12/11/2024

Ngày thông qua phản biện: 21/11/2024

Ngày duyệt đăng: 28/11/2024