

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

=====o O o=====

Lê Hải Dương

**NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN KẾT CẤU CÔNG SỰ
BẰNG TÔN SÓNG CHỊU TÁC DỤNG TẢI TRỌNG NỔ**

Chuyên ngành: Kỹ thuật xây dựng công trình đặc biệt

Mã số: 9 58 02 06

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Hà Nội - 2020

CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ - BỘ QUỐC PHÒNG

Người hướng dẫn khoa học:

PGS.TS Nguyễn Trí Tá

Phản biện 1: GS. TS Nguyễn Văn Lệ

Phản biện 2: PGS. TS Vũ Quốc Anh

Phản biện 3: TS Nguyễn Xuân Kiều

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án cấp Học viện theo Quyết định số 4724/QĐ-HV ngày 30 tháng 12 năm 2020 của Giám đốc Học viện Kỹ thuật Quân sự, họp tại Học viện Kỹ thuật Quân sự vào hồi:..... giờngàythángnăm 2020

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Kỹ thuật Quân sự
- Thư viện Quốc gia

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

1. Nguyễn Trí Tá, Lê Hải Dương, (2016), “*Tính kết cấu tôn sóng theo mô hình trực hướng*”, Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây Dựng, số 1.2016, trang 119 – 122.
2. Nguyễn Trí Tá, Lê Hải Dương, (2017), “*Ứng dụng phần mềm ANSYS tính kết cấu công sự bằng tôn sóng tương tác với môi trường chịu tác dụng tải trọng nổ trong đất*”, Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây Dựng, số 4.2017, trang 49 – 52.
3. Nguyễn Trí Tá, Lê Hải Dương, (2017), “*Nghiên cứu ảnh hưởng của phân tử tiếp xúc trong tính kết cấu công sự bằng tôn sóng tương tác với môi trường chịu tải trọng nổ trong đất*”, Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây Dựng, số 7.2017, trang 254 – 257.
4. Nguyễn Trí Tá, Lê Hải Dương, (2018), “*Nghiên cứu quá trình tương tác của sóng nén với kết cấu công sự do nổ trong đất*”, Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây Dựng, số 4.2018, trang 49 – 52.
5. Lê Hải Dương, Nguyễn Trí Tá, Cao Chu Quang, (2018), “*Thí nghiệm hiện trường xác định trạng thái ứng suất – biến dạng của công sự bằng tôn sóng chịu tác dụng tải trọng nổ trong đất*”, Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây dựng, số 11.2018, trang 174-177.
6. Lê Hải Dương, Vũ Văn Hoàng, (2019), “*Thí nghiệm hiện trường xác định đặc tính làm việc trực hướng của tôn sóng làm kết cấu công sự chịu tác dụng tải trọng nổ trong đất*”, Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây dựng, số 7.2019, trang 292-295.

MỞ ĐẦU

Tính cấp thiết của đề tài nghiên cứu

Trong hệ thống công trình phòng thủ, ngoài các đường hầm, công sự lâu bền thì hệ thống các công sự dã chiến, trang bị mang theo bộ đội rất cần thiết, không thể thiếu và có vai trò quan trọng. Hệ thống công sự dã chiến cùng với các công trình lâu bền đã tạo nên hệ thống phòng thủ vừa vững chắc, vừa linh hoạt góp phần hoàn thành tốt các nhiệm vụ chiến đấu của bộ đội. Trong chiến tranh giải phóng đất nước và bảo vệ Tổ quốc, bộ đội ta đã biết tận dụng các vật liệu tại chỗ để làm công sự dã chiến. Từ năm 1982, một số loại công sự dã chiến bằng bê tông cốt thép, bằng cốt ép kết hợp bao cát, bằng thép,... đã được nghiên cứu chế tạo. Tuy nhiên, các loại công sự dã chiến hiện có còn nhiều điểm còn hạn chế, đó là khả năng chịu lực thấp, khối lượng mang vác vận chuyển còn lớn, thời gian lắp dựng còn dài. Gần đây, công sự dã chiến tiếp tục được nghiên cứu nhằm trang bị cho bộ đội chiến đấu phòng ngự ở các loại địa hình khác nhau. Trong đó phải kể đến hai công trình nghiên cứu cấp Bộ Quốc phòng do PGS. TS Nguyễn Trí Tá và TS Cao Chu Quang chủ trì. Hai công trình trên tập trung nghiên cứu về: các loại vật liệu ứng dụng làm công sự dã chiến (trong đó có tôn sóng, composite, vải bạt), sức sống công trình, khả năng bảo vệ sinh lực bên trong công sự, liên kết lắp dựng, tính cơ động, ... Các loại công sự này thường chịu tác dụng cục bộ của các loại đạn nổ trên nóc, nổ cạnh tường. Khi tính toán, tách rời kết cấu ra khỏi môi trường và thừa nhận tải trọng tác dụng trực tiếp lên bề mặt kết cấu, vật liệu làm việc trong giai đoạn đàn hồi. Vấn đề đặt ra cần tiếp tục được nghiên cứu là: khả năng làm việc của kết cấu khi chịu tác dụng của bom đạn nằm ngoài bán kính sát thương; sử dụng mô hình tương tác kết cấu – môi trường để phản ánh đúng đắn hơn mô hình làm việc thực của kết cấu; tính đến khả năng làm việc của vật liệu ngoài giai đoạn đàn hồi, thậm chí có thể xét đến trạng thái tới hạn của kết cấu.

Vì vậy, đề tài ***“Nghiên cứu tính toán kết cấu công sự bằng tôn sóng chịu tác dụng tải trọng nổ”*** là cần được nghiên cứu, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn trong xây dựng công trình chiến đấu.

Mục đích nghiên cứu của luận án

Nghiên cứu tính toán kết cấu công sự bằng tôn sóng chịu tác dụng của đạn (tương đương các loại đạn pháo) nổ trong đất: xây dựng mô hình tính, cơ sở lý thuyết giải bài toán, ứng dụng phần mềm ANSYS vào tính kết cấu và khảo sát ảnh hưởng của một số tham số, thí nghiệm hiện trường xác định trạng thái ứng suất – biến dạng của kết cấu công sự chịu tác dụng của tải trọng nổ trong đất, có kể đến tính phi tuyến của vật liệu kết cấu và môi trường.

Phạm vi nghiên cứu của luận án

- Kết cấu công sự bằng tôn sóng cho công sự ẩn nấp của phân đội bộ binh, tổ có 3 đến 4 chiến sĩ, trong trận địa phòng ngự;
- Nghiên cứu bài toán kết cấu – môi trường chịu tác dụng của tải trọng nổ có xét đến tính phi tuyến của vật liệu kết cấu và môi trường, theo sơ đồ không gian, quá trình liên tục từ khi nổ đến lan truyền sóng nén và tác dụng lên kết cấu;
- Thử nghiệm số nghiên cứu ảnh hưởng một số tham số của kết cấu, môi trường, tải trọng, đến trạng thái ứng suất – biến dạng trong công sự;
- Nghiên cứu thí nghiệm hiện trường.

Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu lý thuyết, ứng dụng phần mềm tính toán kết cấu, thí nghiệm hiện trường.

Nội dung và cấu trúc của luận án

Luận án gồm phần mở đầu, 4 chương (Chương 1: Tổng quan về tải trọng nổ và sử dụng tôn sóng làm kết cấu công sự; Chương 2: Cơ sở giải bài toán động lực học của công sự tôn sóng – môi trường bằng phương pháp phần tử hữu hạn; Chương 3: Thử nghiệm số nghiên cứu tương tác kết cấu công sự bằng tôn sóng với môi trường chịu tác dụng tải trọng nổ trong đất và ảnh hưởng một số thông số đến trạng thái ứng suất – biến dạng của công sự; Chương 4: Nghiên cứu thí nghiệm hiện trường), kết luận chung, danh mục các tài liệu tham khảo và phụ lục.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ TẢI TRỌNG NỔ VÀ SỬ DỤNG TÔN SÓNG LÀM KẾT CẤU CÔNG SỰ

1.1. Tổng quan về các loại tải trọng nổ tác dụng lên kết cấu công sự

Khi bom đạn nổ trong đất, với lượng thuốc nổ nhỏ hơn 100kG và khoảng cách nhỏ hơn 5m, tác dụng nổ lên chướng ngại có thể coi là xung tức thời. Trường hợp lượng nổ C và khoảng cách R lớn, thường là nằm ngoài vùng bán kính phá hoại, tính theo xung lượng không thích hợp, cần phải tính theo áp lực sóng nén. Áp lực sóng nén tác dụng lên kết cấu tính theo công thức:

$$\Delta P = A \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R} \right)^m \quad (\text{kG/cm}^2) \quad (1.1)$$

trong đó:

ΔP - Áp lực sóng nén, kG/cm²;

R - Khoảng cách từ tâm nổ đến điểm tính toán trên kết cấu, m;

A và m - Các hệ số thực nghiệm phụ thuộc loại đất.

Khi đạn nổ trên mặt đất, ở khoảng cách gần không vượt quá $20r_z$ (r_z là bán kính hiệu quả của lượng nổ), áp lực nổ với thời gian rất ngắn, tác dụng nổ lên kết cấu công sự có thể coi là xung tức thời. Ở khoảng cách lớn hơn $20r_z$, áp lực nổ lên kết cấu công sự tính theo công thức của áp lực sóng xung kích.

1.2. Tôn sóng và ứng dụng trong thiết kế công trình

So với kết cấu phẳng, kết cấu dạng sóng có rất nhiều ưu điểm như: làm tăng độ cứng kháng uốn theo phương dọc sóng; làm tăng diện tích bề mặt, quá trình hấp thụ nhiệt và tản nhiệt nhanh; định hướng thoát nước theo một phương.

Trong xây dựng dân dụng và công nghiệp, tôn sóng được sử dụng phổ biến làm mái che và vách ngăn công trình, là một thành phần trong cấu tạo và tính toán chịu lực của kết cấu sàn deck liên hợp thép - bê tông, làm container chứa hàng ... Trong công trình giao thông, tôn sóng được ứng dụng phổ biến làm tường hộ lan, làm sườn tăng cứng cho cầu BTCT dự ứng lực, làm cống qua đường,... Trong quốc phòng, tôn sóng được ứng dụng làm công trình chiến đấu, làm nhà vòm chứa máy bay, nhà kho,...

Do đặc thù cấu tạo hình học, lý thuyết tính cấu kiện tôn sóng không như tính một cấu kiện đơn giản. Hiện nay, có hai phương pháp chủ yếu để tính kết cấu tôn sóng. Một là phương pháp tính với tấm trực hướng tương đương: xây dựng mô hình tấm phẳng có tính chất làm việc tương đương với mô hình thực của tôn sóng, gọi là mô hình trực hướng tương đương của tôn sóng (các tác giả: Seidel; A. Samanta và M. Mukhopadhyay; David Wennberg; Y.Xia và M.I. Friswell;...). Hai là phương pháp phần tử hữu hạn: xây dựng mô hình tôn sóng trên các phần mềm mô phỏng, phân tích kết cấu với sự trợ giúp của máy tính, trong đó ANSYS là một công cụ hữu hiệu.

1.3. Tổng quan về các phương pháp tính kết cấu công sự chịu tác dụng tải trọng nổ trong đất

Cho đến nay, trên thế giới và trong nước đã có nhiều công trình nghiên cứu về tương tác kết cấu công trình với môi trường đất nền chịu tác dụng của tải trọng động. Điển hình phải kể đến: nghiên cứu ứng xử của kết cấu tôn sóng làm cống qua đường với môi trường đất chịu tải trọng đoàn xe chạy (Joseph H. Byrne); nghiên cứu về ảnh hưởng của tương tác phi tuyến kết cấu – nền đất dưới tác dụng của trụ cầu (Houman Ghalibafan, Carlos E. Ventura, và Ricardo O. Foschi); nghiên cứu phân tích tương tác phi tuyến kết cấu – môi trường sử dụng khớp nối lặp (H.Zolghadr Jahromi, B.A. Izzudin và L.Zdravkovic); nghiên cứu về tương tác động lực học phi tuyến của kết cấu với nền biến dạng (Nguyễn Tương Lai); nghiên cứu về tương tác kết cấu công sự - môi trường phi tuyến chịu tác dụng tải trọng nổ (Nguyễn Trí Tá); nghiên cứu tương tác động lực học của kết cấu công sự dạng tấm với nền phi tuyến chịu tải trọng sóng nổ (Vũ Công Hoàng); nghiên cứu trình lan truyền của sóng nổ trong môi trường san hô và tác động của sóng nổ đối với công trình quân sự (Nguyễn Hữu Thế).

Có hai quan điểm tính kết cấu công sự chịu tác dụng của tải trọng nổ: Quan điểm tính học (tải trọng động được thay bằng tải trọng tĩnh tương đương q_s) Quan điểm động lực học (xác định được tần số dao động, các tham số động học và nội lực tương ứng với trạng thái động tại vị trí các khối lượng trong hệ cơ bản từ đó xác định nội lực trong kết cấu).

Các phương pháp số tính kết cấu công trình chịu tải trọng động:

- Phương pháp sai phân hữu hạn: Nội dung của phương pháp này là thay các toán tử vi phân bằng các toán tử đại số cục bộ đơn giản hơn tác dụng trong các nút của miền nghiên cứu. Phương pháp này ít được sử dụng để giải các bài toán tổng quát;

- Phương pháp phần tử hữu hạn: Kết cấu có thể được chia ra thành các phần tử nhỏ hơn, có kích thước hữu hạn và được gọi là các “phần tử hữu hạn”. Hệ kết cấu ban đầu được coi là tập hợp các phần tử nối với nhau tại một số hữu hạn các điểm gọi là “điểm nút”. Phương trình cân bằng của toàn kết cấu được thành lập từ tổ hợp các phương trình cân bằng của phần tử sao cho bảo toàn tính liên tục của chuyển vị tại các nút, nơi các phần tử được nối với nhau. Phương pháp này cho phép giải bài toán hệ kết cấu – môi trường trong một thuật toán, khả năng xây dựng các chương trình có tính tổng quát;

- Phương pháp phần tử biên: Tư tưởng cơ bản của phương pháp này là không dựa vào việc nghiên cứu các đại lượng cần tìm trực tiếp trên toàn miền đã cho, mà chỉ nghiên cứu các phần tử trên biên của miền;

- Phương pháp hạt không lưới SPH: Cơ sở của phương pháp là giải bài toán tích phân của hàm lõi $W(r)$, với vị trí r trong miền tính toán W , rất phù hợp cho mô phỏng sự lan truyền sóng xung kích lan truyền trong không khí.

1.4. Kết luận chương 1

Trong chương này, tác giả trình bày một cách tổng quát về các loại tải trọng nổ tác dụng lên kết cấu công sự, về các mô hình phi tuyến của môi trường và vật liệu kết cấu, tổng quan về tôn sóng và ứng dụng tôn sóng trong thiết kế công trình, các phương pháp tính toán kết cấu tôn sóng. Trên cơ sở phân tích một số công trình nghiên cứu trên thế giới và trong nước về bài toán tương tác kết cấu công sự với môi trường chịu tác dụng tải trọng nổ có kể đến tính phi tuyến, nghiên cứu các phương pháp tính kết cấu công sự chịu tác dụng tải trọng nổ.

Từ nghiên cứu tổng quan cho thấy việc tính toán kết cấu công sự chịu tác dụng của tải trọng nổ do bom đạn gây ra còn một số vấn đề chưa được

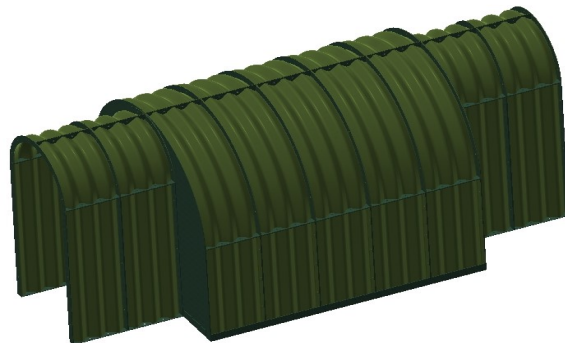
giải quyết đầy đủ là: bài toán tương tác giữa kết cấu và môi trường theo mô hình không gian 3D, làm việc ngoài giai đoạn đàn hồi, chịu tác dụng của tải trọng nổ do bom đạn có xét đến sự tách trượt trên bề mặt kết cấu và môi trường. Đặc biệt, nghiên cứu ứng dụng vật liệu tôn sóng cho kết cấu công sự trong nước cũng còn ít công bố.

Luận án sẽ tập trung nghiên cứu giải quyết nội dung sau: Nghiên cứu tính toán kết cấu công sự bằng tôn sóng theo mô hình không gian, kể đến tính phi tuyến của vật liệu kết cấu và môi trường, tải trọng nổ trong môi trường, có xét đến sự tách trượt trên bề mặt kết cấu. Luận án sử dụng phương pháp PTHH, ứng dụng phần mềm ANSYS làm công cụ tính, thí nghiệm hiện trường làm cơ sở đánh giá độ tin cậy phương pháp nghiên cứu và phần mềm ứng dụng làm công cụ tính.

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ GIẢI BÀI TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CÔNG SỰ TÔN SÓNG - MÔI TRƯỜNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

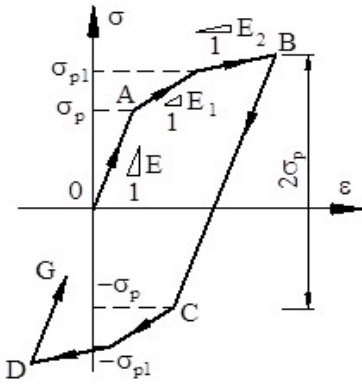
2.1. Đặt bài toán, mô hình tính

Tính toán công sự dã chiến điển hình, là công sự ẩn nấp của tổ đội bộ binh từ 3 ÷ 4 người, kích thước thông thủy phần thân: rộng x dài x cao = $B \times L \times H = 1,4 \times 2,25 \times 1,7$ (m). Công sự đặt trong môi trường đất á cát, chịu tác dụng của tải trọng nổ ngang thân tường, cách tường công sự một khoảng nhất định.

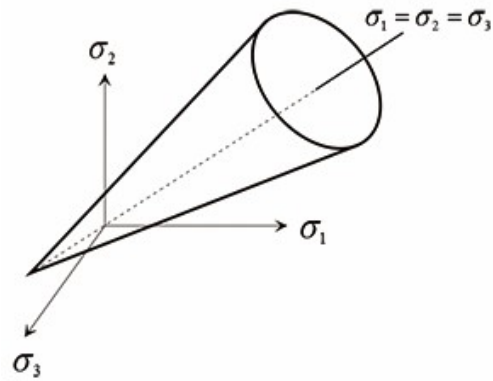


Hình 2.1: Mô hình công sự

Tôn sóng làm công sự được chế tạo từ thép CCT38, chiều dày $\delta = 3\text{mm}$, biên độ sóng $h_s = 5\text{cm}$, chiều dài bước sóng $T_s = 15\text{cm}$. Mô hình vật liệu kết cấu là mô hình đàn – dẻo tam tuyến tính. Mô hình vật liệu của môi trường là mô hình đàn – dẻo của Druker – Prager. Mô hình phần tử tiếp xúc là mô hình của R.Goodman, đã được chính R.Goodman và Mahtab mở rộng cho bài toán không gian ba chiều có kể đến vết nứt và sự tách trượt. Mô hình tải trọng là mô hình sóng nén hình thành do đạn nổ trong đất (công thức 1.1).



Hình 2.2: Mô hình đàn - dẻo tam tuyến tính



Hình 2.3: Mặt giới hạn dẻo theo điều kiện Druker – Prager

2.2. Cơ sở lý thuyết động lực học tính kết cấu công sự chịu tác dụng tải trọng nổ trong đất

Đối với bài toán động, khi dao động trong hệ kết cấu - môi trường sẽ xuất hiện lực quán tính và lực cản nhớt, các lực này có thể coi là lực khối, có phương trình chuyển động của hệ:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{R\} \quad (2.1)$$

trong đó:

$[M]$ - Ma trận khối lượng tổng thể của hệ;

$[C]$ - Ma trận cản của hệ;

$[K]$ - Ma trận độ cứng tổng thể của hệ;

$\{R\}$ - Véc tơ ngoại lực của hệ (do lực bề mặt và lực khối);

$\{\ddot{U}\}, \{\dot{U}\}, \{U\}$ - Tương ứng véc tơ gia tốc, vận tốc, chuyển vị của hệ.

Đối với vật liệu ứng xử phi tuyến, ma trận vật liệu $[D]$ không là hằng số, mà phụ thuộc biến dạng ngoài giai đoạn đàn hồi theo thời gian, do đó phụ thuộc vào chuyển vị của hệ.

Quan hệ ứng suất – biến dạng của bài toán phi tuyến được viết:

$$\{\sigma\} = [D(\{\varepsilon(t)\})] \cdot \{\varepsilon(t)\} \quad (2.2)$$

Ma trận độ cứng phụ thuộc vào biến dạng, chuyển vị:

$$[K] = [K(\{\varepsilon(t)\})] = [K(\{U(t)\})] \quad (2.3)$$

Phương trình chuyển động của hệ kết cấu – môi trường có kể đến biến dạng phi tuyến của vật liệu có dạng:

$$[M]\{\ddot{U}(t)\} + [C\{U(t)\}]\{\dot{U}(t)\} + [K\{U(t)\}]\{U(t)\} = \{R(t)\} \quad (2.4)$$

Để giải phương trình chuyển động dạng phi tuyến (2.4) sẽ sử dụng phương pháp tích phân trực tiếp Newmark kết hợp phương pháp Newton – Raphson, khoảng thời gian cho mỗi bước lặp Δt .

Điều kiện bền về tách và trượt trong tính toán được kiểm tra theo điều kiện Morh – Coulumb. Nếu ứng suất có tác dụng gây kéo, thì không có sự truyền lực qua lại giữa kết cấu và môi trường. Nếu ứng suất là nén, không có sự tách cục bộ giữa kết cấu và môi trường.

- Nếu ứng suất tiếp $\tau \leq \tau_{gh}$, ($\tau_{gh} = c + \sigma_n \cdot \tan \varphi$) thì không xuất hiện sự trượt cục bộ giữa tấm và nền;

- Nếu ứng suất tiếp $\tau > \tau_{gh}$ thì xuất hiện sự trượt cục bộ.

Tiêu chuẩn dừng của phép lặp là sự hội tụ của chuyển vị nút hay nội lực quy nút:

- Đối với hội tụ của chuyển vị nút:

$$\frac{\|\{\Delta U\}^{(i)}\|}{\|\{U_{t+\Delta t}\}^{(i)} - \{U_t\}\|} \leq \varepsilon_D \quad (2.5a)$$

- Đối với hội tụ của lực quy nút:

$$\frac{\|\{R_{t+\Delta t}\} - \{P_{t+\Delta t}\}^{(i)} - [M]\{\ddot{U}_{t+\Delta t}\}^{(i)}\|}{\|\{R_{t+\Delta t}\} - \{P_t\} - [M]\{\ddot{U}_t\}\|} \leq \varepsilon_F \quad (2.5b)$$

trong đó:

ε_D – Độ chính xác yêu cầu theo chuyển vị;

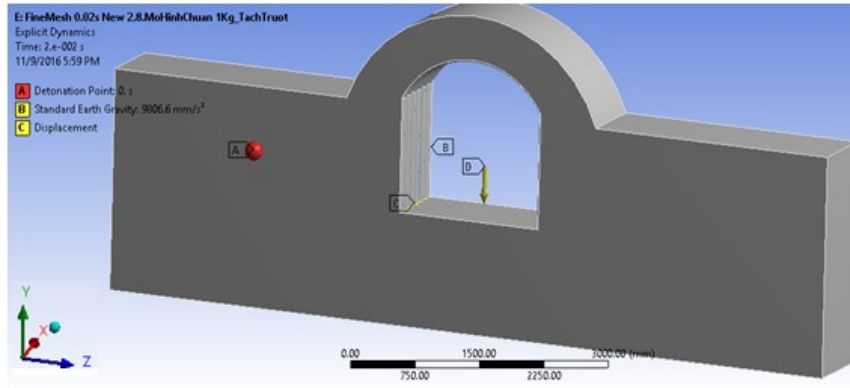
ε_F – Độ chính xác yêu cầu theo lực;

$\| \|$ - Ký hiệu biểu diễn phép tính chuẩn của một véc tơ.

2.3. Ứng dụng phần mềm giải bài toán động lực học kết cấu công sự bằng tôn sóng - môi trường chịu tác dụng tải trọng nổ trong đất

2.3.1. Xây dựng mô hình

Mô hình tính được mô phỏng bằng phần mềm ANSYS theo phương pháp phần tử hữu hạn, mô hình không gian.



Hình 2.4: Mô phỏng mô hình tính

Mô hình vật liệu kết cấu: phần tử shell 93, phần tử tứ giác 8 nút hoặc tam giác 6 nút, là mô hình tấm mỏng (hoặc vỏ) có độ cong, phù hợp với cấu tạo hình dạng của tôn sóng.

Bảng 2.1: Giới hạn ứng suất, biến dạng của vật liệu thép làm tôn sóng khi chịu tác dụng của tải trọng động ngắn hạn

Chỉ số	Giới hạn đàn hồi	Giới hạn đàn dẻo	Giới hạn phá hoại
σ (Mpa)	312	364	494
ε (%)	0,15	1,8	23
$\Delta\varepsilon$ (%)	0,05	1,3	

Mô hình vật liệu môi trường: phần tử Solid 95, có 20 nút (có thể tùy biến thành phần tử khối trụ tam giác 15 nút, phần tử khối chóp tứ giác 13 nút, phần tử tứ diện 10 nút). Phần tử có thể có bất kỳ định hướng không gian nào, phù hợp với mô hình vật liệu đàn hồi hoặc đàn dẻo, biến dạng lớn, có khả năng bám dính, tiếp xúc với mặt cong. Các thông số của môi trường đất á cát khai báo trong mô hình tính:

- Trọng lượng riêng $\gamma = 1500 \text{ kG/m}^3$;
- Modul đàn hồi $E = 23 \text{ MPa}$ (230 kG/cm^2);
- Cường độ giới hạn $[R] = 0,12 \text{ Mpa}$ ($1,2 \text{ kG/cm}^2$);
- Góc ma sát trong $\varphi = 35^\circ$.

Mô hình phần tử tiếp xúc: Luận án sử dụng phần tử CONTA174 và phần tử TARGE170 làm cặp “đối tiếp xúc” trong phân tích bài toán. Cặp phần tử này kết hợp có khả năng tùy biến linh hoạt từ dạng tứ giác sang dạng tam giác, tương thích với phần tử shell93 của mô hình kết cấu và

phần tử solid95 của mô hình môi trường, đặc tính tách – trượt phù hợp với ứng xử và mô hình môi trường đã lựa chọn.

Mô hình thuốc nổ: Thuốc nổ sử dụng trong mô hình tính là thuốc nổ TNT, đây là chất nổ hiệu suất cao, theo lý thuyết của E. Lee , M. Finger, W. Collins. Thông số chính của thuốc nổ TNT như sau:

- Trọng lượng riêng $\gamma = 1630 \text{ kG/m}^3$;
- Tốc độ nổ $v = 6930 \text{ m/s}$;
- Công suất nổ $P = 3,68.10^6 \text{ J/kg}$;
- Áp suất nổ $p = 2,1.10^4 \text{ MPa}$.

2.3.2. Trình tự các bước tính toán

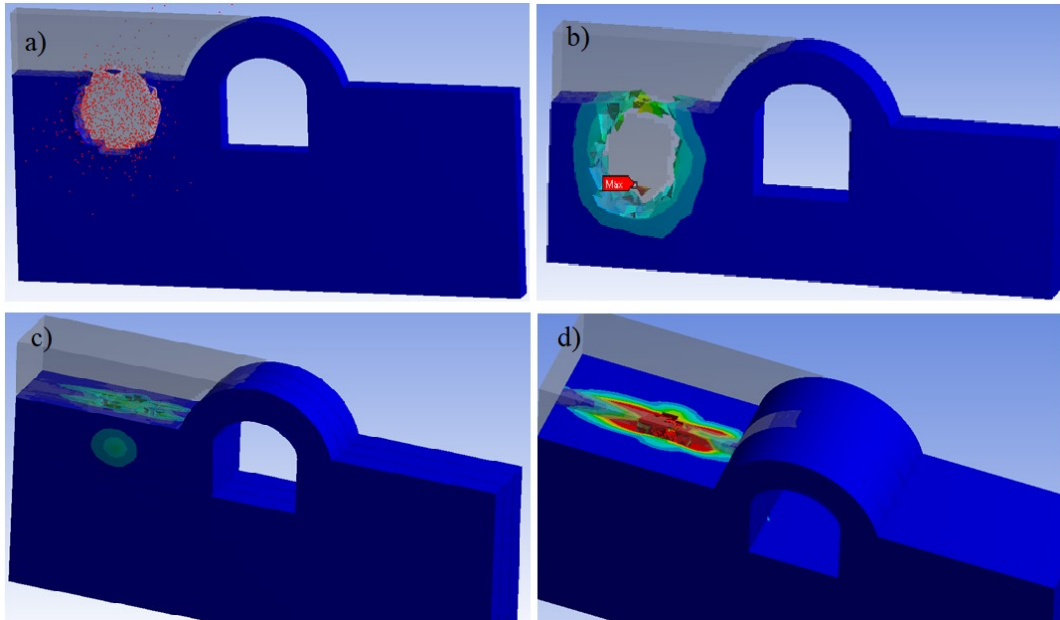
Trình tự sử dụng phần mềm ANSYS phân tích bài toán tương tác kết cấu – môi trường chịu tác dụng tải trọng nổ trong đất gồm các bước sau:

- Xây dựng mô hình hình học: mô hình hóa kết cấu, môi trường đất trong miền nghiên cứu; mô hình vật liệu nổ; chọn kiểu phần tử, xác định các tham số của bài toán;
- Xây dựng mô hình vật liệu cho kết cấu, môi trường, thuốc nổ TNT: thiết lập các thông số về vật liệu;
- Thiết lập kiểu phản ứng nổ: lựa chọn lý thuyết và tiêu chuẩn phản ứng nổ của thuốc nổ;
- Chạy bài toán;
- Xuất kết quả.

2.3.3. Khảo sát lựa chọn chiều dày mô hình

Mô hình khảo sát là một phần thân công sự ẩn nấp, được cấu tạo từ việc ghép nối các đốt có mô đun dài 0,45m. Lượng thuốc nổ TNT lần lượt là $C = 1,5 \text{ kG}$ và $C = 2,0 \text{ kG}$ ở khoảng cách tường công sự là 2,0m. Khảo sát với chiều dày mô hình tính là số nguyên lần chiều rộng mô đun đốt công sự:

- Chiều dày mô hình 0,45m: tương ứng 01 đốt công sự;
- Chiều dày mô hình 0,90m: tương ứng 02 đốt công sự;
- Chiều dày mô hình 1,35m: tương ứng 03 đốt công sự;
- Chiều dày mô hình 2,25m: tương ứng 05 đốt (toàn bộ thân) công sự;



a) Chiều dày mô hình 0,45m

b) Chiều dày mô hình 0,90m

c) Chiều dày mô hình 1,35m

d) Chiều dày mô hình 2,25m

Hình 2.5: Tác dụng nổ với các mô hình có chiều dày khác nhau

Bảng 2.2: Giá trị ứng suất lớn nhất khảo sát các mô hình với $C = 1,5kG$

Thông số	Chiều dày mô hình			
	0,45m	0,90m	1,35m	2,25m
Ứng suất $\sigma_{\max}$ (MPa)	176,72	175,90	174,08	173,16
So sánh với mô hình dày 0,45m		99,53%	98,51%	97,98%

Bảng 2. 1: Giá trị ứng suất lớn nhất khảo sát các mô hình với $C = 2,0kG$

Thông số	Chiều dày mô hình			
	0,45m	0,90m	1,35m	2,25m
Ứng suất $\sigma_{\max}$ (MPa)	430,03	427,85	425,58	423,26
So sánh với mô hình dày 0,45m		99,49%	98,96%	98,42%

Nhận xét: Ảnh hưởng không nhiều của chiều dày mô hình đối với kết cấu công sự dạng tôn sóng. Việc lựa chọn chiều dày mô hình tính không nhất thiết phải chọn cả chiều dài thân công sự, có thể lựa chọn kích thước theo số nguyên lần chu kỳ sóng tôn, và đảm bảo năng lực phân tích của máy tính một cách hợp lý.

2.4. Kết luận chương 2

Tác giả đã xây dựng mô hình tính, nêu ra các phương trình và thuật toán để tính kết cấu công sự theo mô hình bài toán tương tác kết cấu – môi trường chịu tác dụng của tải trọng nổ trong đất. Mô hình tính của hệ theo sơ đồ không gian, trình tự các bước tính toán theo phương pháp PTHH.

Phân tích lựa chọn phần mềm ANSYS là công cụ tính, phân tích lựa chọn mô hình vật liệu, thiết lập các thông số cho mô hình tính. Khảo sát để lựa chọn chiều dày mô hình tính để xây dựng mô hình cho thử nghiệm số.

Tính chất làm việc trực hướng của tôn sóng thể hiện rõ nét qua kết quả khảo sát lựa chọn mô hình, phù hợp với các nghiên cứu về mặt lý thuyết, các nghiên cứu theo phương pháp PTHH, ứng dụng phần mềm ANSYS;

Liên kết giữa các đốt dọc theo chiều dài công sự không ảnh hưởng nhiều đến việc truyền nội lực, mà mang tính giữ ổn định theo phương dọc công sự. Vì vậy, có thể lựa chọn các phương án liên kết khác nhau giữa các đốt công sự sao cho đảm bảo tính ổn định, đơn giản, dễ lắp dựng, ngay cả việc xếp chồng múi tôn khi điều kiện cho phép;

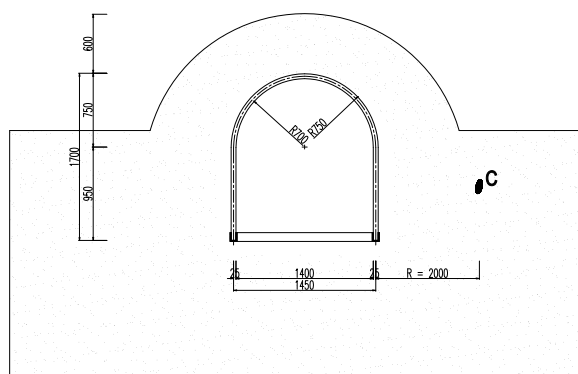
Luận án lựa chọn chiều dày mô hình tính tương ứng với sáu chu kỳ sóng tôn (hai mô đun đốt công sự) có chiều dày 0,90m làm mô hình thử nghiệm số, thực hiện ở chương 3 của luận án.

CHƯƠNG 3. THỬ NGHIỆM SỐ NGHIÊN CỨU TƯƠNG TÁC KẾT CẤU CÔNG SỰ BẰNG TÔN SÓNG VỚI MÔI TRƯỜNG CHỊU TÁC DỤNG TẢI TRỌNG NỔ TRONG ĐẤT VÀ ẢNH HƯỞNG MỘT SỐ THÔNG SỐ ĐẾN TRẠNG THÁI ỨNG SUẤT – BIẾN DẠNG CỦA CÔNG SỰ

3.1. Nghiên cứu tính kết cấu công sự bằng tôn sóng chịu tác dụng của tải trọng nổ khi môi trường tiếp xúc chặt chẽ với bề mặt kết cấu

3.1.1. Bài toán

Tính ứng suất kết cấu công sự bằng tôn sóng tròn trơn chịu tác dụng tải trọng nổ trong đất với lượng thuốc nổ C thay đổi (lần lượt $C = 1,0 \text{ kG}$, $C = 1,5 \text{ kG}$, $C = 2,0 \text{ kG}$), đặt ở khoảng cách $R = 2,0 \text{ m}$ ngang tường công sự. Điều kiện môi trường tiếp xúc chặt chẽ với bề mặt kết cấu, gọi là “bài toán tiếp xúc”



Hình 3.1: Mặt cắt sơ đồ bài toán

3.1.2. Tính theo phương pháp truyền thống

Bài toán được giải theo quan điểm động lực học, tách kết cấu khỏi môi trường, tải trọng tác dụng được quy tính tác dụng lên bề mặt kết cấu. Ứng dụng phần mềm SAP2000 phân tích nội lực. Từ kết quả nội lực thu được, tính ra ứng suất trong kết cấu công sự.

Kết quả thu được giá trị nội lực, ứng suất lớn nhất tại điểm giữa tường công sự (ngang tâm nổ) (Bảng 3.1)

Bảng 3.1: Kết quả tính ứng suất theo phương pháp truyền thống

Nội lực	Tổ hợp 1 (C = 1,0kG)	Tổ hợp 2 (C = 1,5kG)	Tổ hợp 3 (C = 2,0kG)
M (T.m)	0,40	0,59	0,79
N (T)	0,42	0,29	0,15
$\sigma_{\max}$ (MPa)	218,918	320,921	428,27

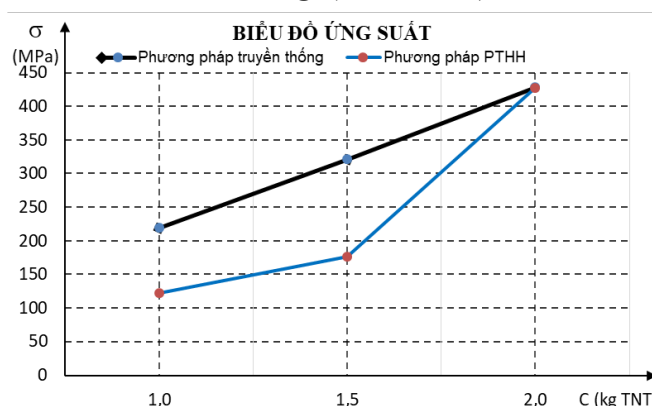
3.1.3. Mô phỏng tính toán bằng phần mềm ANSYS

Kết quả phân tích bài toán ứng với mỗi trường hợp lượng nổ được tổng hợp theo (Bảng 3.2).

Bảng 3.2: Kết quả tính theo phương pháp PTHH (bài toán tiếp xúc)

Chỉ số \ C(TNT)	1,0 kG	1,5 kG	2,0 kG
$\sigma_{\max}$ (Mpa)	122,42	175,9	427,85
$u_{\max}$ (mm)	1,66	2,75	53,61
$\varepsilon_{\max}$ (%)	0,0017	0,0026	0,1663

So sánh kết quả kết quả thu được giữa tính theo phương pháp truyền thống và phương pháp PTHH, sử dụng phần mềm ANSYS mô phỏng quá trình tương tác kết cấu – môi trường (Hình 3.2)



Hình 3.2: Ứng suất theo phương pháp truyền thống và phương pháp PTHH

Nhận xét:

Trong giai đoạn đàn hồi, phương pháp truyền thống tính đơn giản hơn, thiên về an toàn, nhưng chưa kể đến tính tương tác và làm việc đồng thời của môi trường. Trong khi phương pháp PTHH, mô phỏng mô hình làm việc đồng thời, phát huy tối đa khả năng làm việc của hệ kết cấu – môi trường. Môi trường có vai trò quan trọng, làm giảm tác dụng của tải trọng động lên kết cấu công sự, việc sử dụng mô hình tương tác kết cấu – môi trường là rất cần thiết.

3.2. Nghiên cứu ảnh hưởng một số thông số đến trạng thái ứng suất – biến dạng trong kết cấu công sự bằng tôn sóng

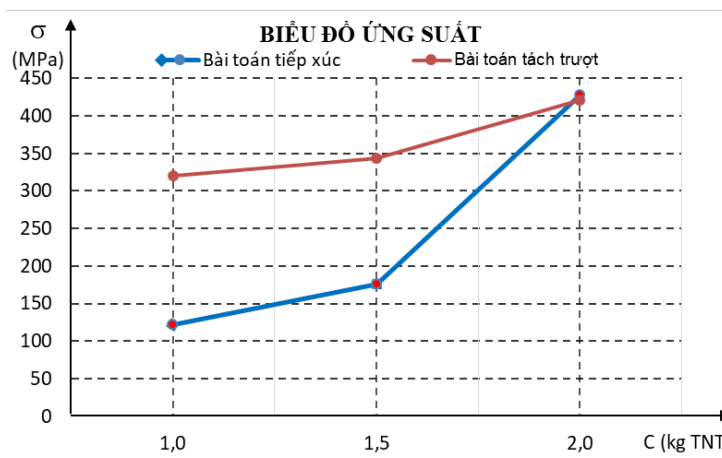
3.2.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của việc kể đến sự tách trượt của môi trường trên bề mặt kết cấu

Khảo sát bài toán (mục 3.1.1), sử dụng phần mềm mô phỏng ANSYS theo phương pháp PTHH. Tại bề mặt tiếp xúc giữa kết cấu công sự và môi trường đất, có xét đến yếu tố tách trượt (gọi là bài toán tách trượt).

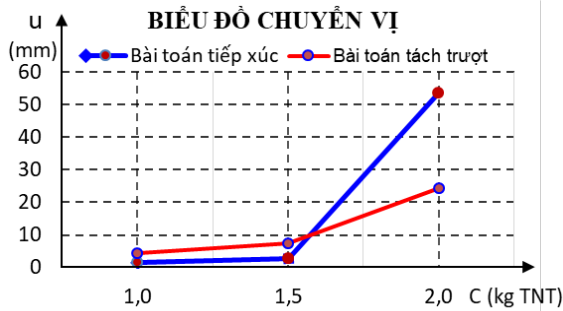
Bảng 3.3: Kết quả tính theo phương pháp PTHH (bài toán tách trượt)

Chỉ số \ C(TNT)	1,0 kG	1,5 kG	2,0 kG
$\sigma_{\max}$ (Mpa)	319,98	343,5	421,09
$u_{\max}$ (mm)	4,46	7,45	24,45
$\varepsilon_{\max}$ (%)	0,0065	0,0092	0,1741

So sánh kết quả tính giữa mô hình bài toán tiếp xúc và mô hình bài toán tách trượt:

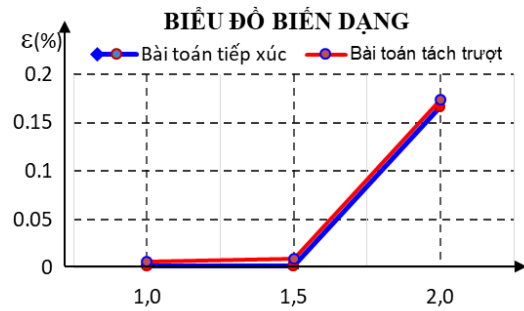


Hình 3.3: Biểu đồ so sánh ứng suất trên kết cấu công sự



Hình 3.41: Biểu đồ so sánh

chuyển vị trên kết cấu công sự



Hình 3.5: Biểu đồ so sánh

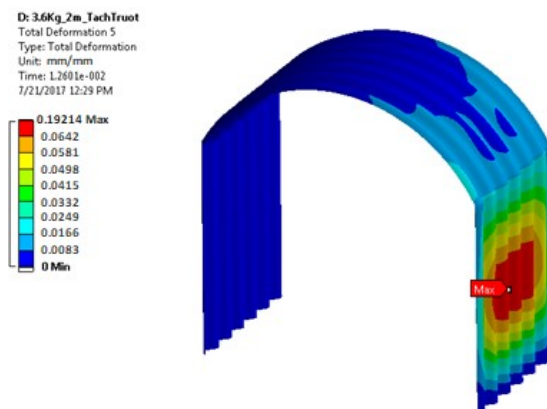
biến dạng trên kết cấu công sự

Nhận xét: Quy luật phát triển khác nhau của biểu đồ ứng suất và biểu đồ chuyển vị, trong khi quy luật tương tự nhau của biến dạng. Cho thấy, mô hình tiếp xúc ảnh hưởng nhiều đến ứng xử làm việc của công sự trong bài toán tương tác kết cấu – môi trường.

3.2.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của sự tương tác theo thời gian giữa sóng nén và kết cấu công sự

Mục đích nhằm xem xét quá trình lan truyền sóng nén trong đất từ khi bắt đầu phản ứng nổ đến tác dụng của sóng nén lên kết cấu công sự bằng tôn sóng.

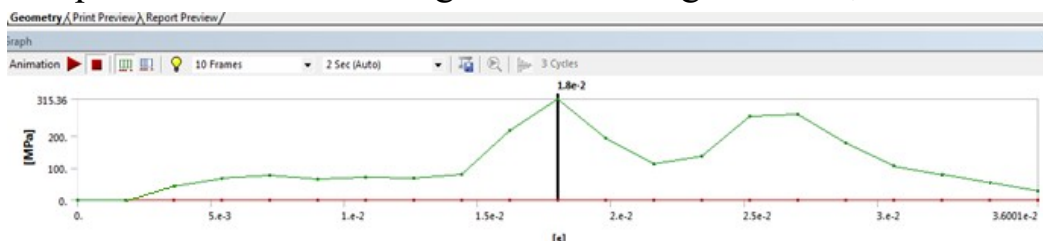
Khảo sát bài toán (mục 3.1.1), tại bề mặt tiếp xúc giữa kết cấu công sự và môi trường có xét đến yếu tố tách trượt.

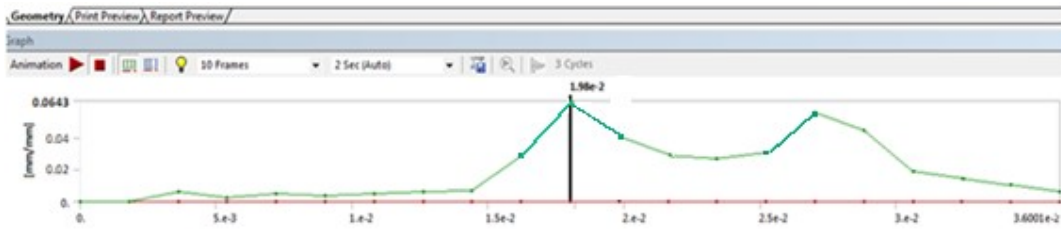


Hình 3.6: Vị trí đạt ứng suất, biến dạng lớn nhất

Lượng thuốc nổ $C = 3,6$ kG, thay đổi khoảng cách đặt lượng nổ đến tường công sự lần lượt là $R = 2,0\text{m}$, $R = 3,2\text{m}$, $R = 3,8\text{m}$, và $R = 4,4\text{m}$.

Kết quả khảo sát với khoảng cách đặt lượng nổ $R = 3,2\text{m}$:

Hình 3.7: Ứng suất theo thời gian tại tường trước công sự, $R = 3,2\text{m}$



Hình 3.8: Biến dạng theo thời gian tại tường trước công sự, $R = 3,2\text{m}$

Bảng 3.4: Tổng hợp kết quả tính với $C = 3,6\text{kG}$ ở khoảng cách khác nhau

Khoảng cách R	2,0 m	3,2 m	3,8 m	4,4m
Biến dạng (%)	0,1921	0,0643	0,0376	0,0276
Ứng suất (MPa)	438,7	315,3	230,7	156,5
Thời gian truyền áp lực $\times 10^{-2}$ (s)	0,72	1,45	1,80	2,12
Thời gian đạt ứng suất cực đại $\times 10^{-2}$ (s)	1,26	1,80	2,15	3,60
Tốc độ truyền sóng đàn hồi a_0 (m/s)	277	221	211	207

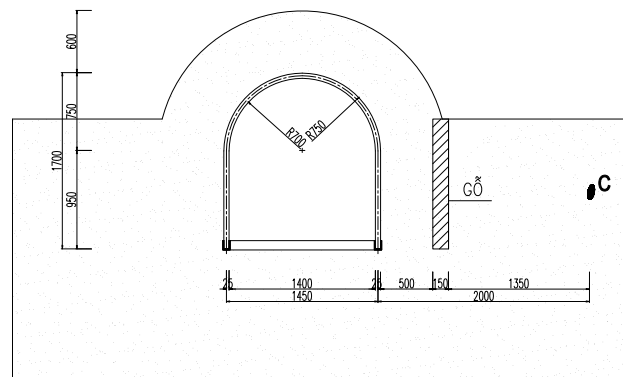
trong đó:

- Thời gian truyền áp lực: tính từ khi phản ứng nổ đến thời điểm áp lực tăng đột ngột gây ra ứng suất (biến dạng) tăng đột biến;
- Thời gian đạt ứng suất cực đại: tính từ khi phản ứng nổ đến thời điểm ứng suất (biến dạng) đạt cực đại;
- Tốc độ truyền sóng đàn hồi bằng khoảng cách từ tâm nổ đến công sự (R) chia cho thời gian truyền áp lực.

Nhận xét: Có sự lan truyền áp lực trong đất mà không phải là sóng nổ, đó là sự nén ép đàn hồi của môi trường, gọi là lan truyền đàn hồi của môi trường, kết cấu chưa chịu tác dụng của sóng nén. Khi khảo sát bằng các phần mềm như SAP2000, ETAB, Plaxis ... thường cho kết quả ngay của sóng nén tác dụng lên kết cấu, không có khoảng thời gian trễ.

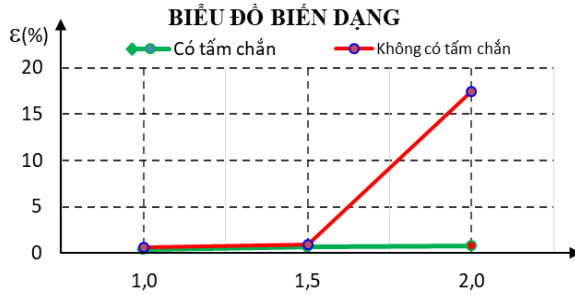
3.2.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của tấm chắn

Mô hình và số liệu của bài toán tách trượt (mục 3.2.1), tấm chắn bằng gỗ dày 15cm, cách tường công sự 50cm. Giả thiết gỗ là vật liệu đẳng hướng, có mô đun đàn hồi $E = 8500 \text{ MPa}$, ứng suất giới hạn $[\sigma] = 10 \text{ MPa}$.

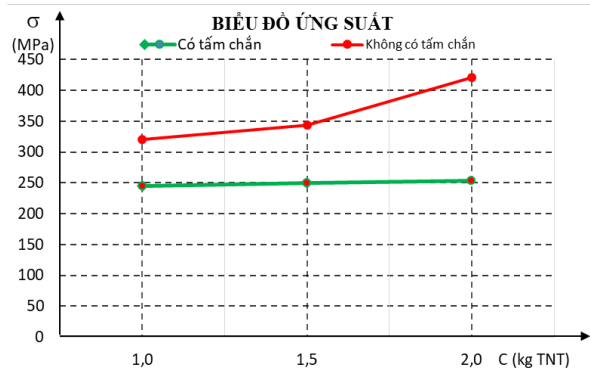


Hình 3.8: Mô hình bài toán có tấm chắn

So sánh với trường hợp không có tấm chắn, ta được:



Hình 3.9: Biểu đồ so sánh biến dạng trên kết cấu công sự



Hình 3.10: Biểu đồ so sánh ứng suất trên kết cấu công sự

Nhận xét: Tấm chắn làm giảm đáng kể áp lực sóng nén tác dụng lên kết cấu công sự. Khi có tấm chắn, kết cấu công sự làm việc hoàn toàn trong giai đoạn đàn hồi, biến dạng trên kết cấu là rất nhỏ. Vì vậy trong xây dựng công sự nên bố trí tấm chắn khi có thể, kể cả việc tận dụng vật liệu tại chỗ như gỗ, tre, ...

3.2.4. Nghiên cứu ảnh hưởng của hình dạng sóng tôn

Phân tích với kết cấu tôn sóng gấp nếp có cùng chiều dày, cùng chu kỳ, cùng biên độ so với tôn sóng tròn trơn, số liệu bài toán tách trượt (mục 3.2.1). Kết quả như sau:

Bảng 3.5: So sánh kết quả tính giữa tôn tròn trơn và tôn gấp nếp

Lượng nổ C (kG)	1,0	1,5	2,0
Ứng suất trong tôn tròn trơn (MPa)	319,98	343,50	421,09
Ứng suất trong tôn gấp nếp (MPa)	289,29	326,78	402,14
Chênh lệch (%)	-9,59	-4,89	-4,50

Nhận xét: Hình dạng múi tôn có ảnh hưởng đến kết quả tính, tuy nhiên kết quả tính sai khác không nhiều. Nguyên nhân chủ yếu xác định là do có sự thay đổi về thông số đặc trưng hình học như: diện tích tiết diện, mô men quán tính tiết diện, mô men kháng uốn

3.3. Kết luận chương 3

Kết quả cho thấy việc lựa chọn mô hình nghiên cứu phù hợp với phương pháp nghiên cứu, sát với mô hình làm việc thực tế của công sự, đánh giá khả

năng làm việc của công sự trong một mô hình tổng thể, phát huy tối đa hiệu quả làm việc của vật liệu, nâng cao sức sống công sự trận địa.

Kết cấu công sự có thể làm việc ngoài giai đoạn đàn hồi, vẫn đảm bảo an toàn chịu lực, có thể có biến dạng lớn, chuyển vị lớn nhưng vẫn đảm bảo tính ổn định, bảo vệ sinh lực bên trong, phù hợp với tính chất làm việc của công sự dã chiến, nâng cao hiệu quả sử dụng, tăng tính kinh tế, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật và đảm bảo an toàn khi sử dụng.

Có thể dùng mô phỏng nổ để xác định tốc độ lan truyền sóng nén trong các môi trường khác nhau là một giải pháp cần được xem xét đến khắc phục những khó khăn khi tiến hành các thí nghiệm hiện trường. Đồng thời, cần nghiên cứu ứng dụng đối với các loại vật liệu khác nhau, các loại vật liệu mới, các giải pháp gia công cấu trúc hình học khác nhau nhằm phát huy tối đa khả năng làm việc của vật liệu, cũng như các giải pháp ngăn chặn có hiệu quả tác động của sóng nổ lên kết cấu công sự.

CHƯƠNG 4. NGHIÊN CỨU THÍ NGHIỆM HIỆN TRƯỜNG

4.1. Mục đích, nội dung của thí nghiệm

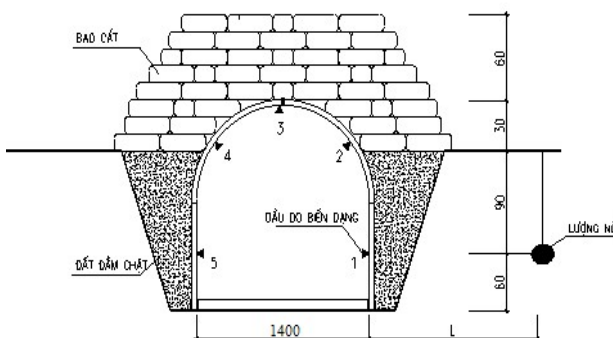
Mục đích: Xác định trạng thái ứng suất – biến dạng của kết cấu công sự chịu tác dụng của sóng nổ lan truyền trong đất gây ra.

Nội dung: Đo biến dạng tại điểm giữa tường cấu công sự, ngang vị trí tâm nổ (điểm đo 1, Hình 4.1), xác định biến dạng tại điểm nguy hiểm nhất trên kết cấu công sự dưới tác dụng của lượng nổ khác nhau. Từ kết quả biến dạng đo được, xác định được ứng suất tại điểm đo trên kết cấu.

4.2. Mô hình thí nghiệm

Công sự được làm bằng vật liệu thép CCT38 (TCVN5575-2012), dày 3mm, biên độ sóng 5cm, chu kỳ sóng 15cm. Kích thước công sự ẩn nắp B x L x H = 1,4 x 2,25 x 1,7 (m).

Mô hình thí nghiệm là mô hình công sự thực, được nghiên cứu, sản xuất, thử nghiệm theo nội dung đề tài NCKH cấp BQP



Hình 4.1: Mô hình thí nghiệm công sự



Hình 4.2: Công sự thí nghiệm



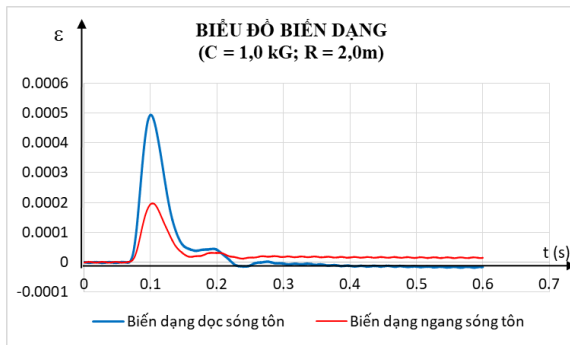
Hình 4.3: Đo số liệu

4.3. Kết quả thí nghiệm

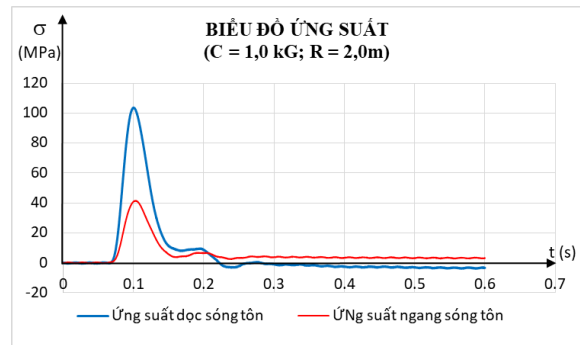
4.3.1. Thí nghiệm 1: Nghiên cứu đặc tính trực hướng của tôn sóng làm kết cấu công sự

Thí nghiệm với 3 lượng nổ ở với 3 điều kiện địa chất khác nhau, cùng khoảng cách $R = 2,0\text{m}$. Đo biến dạng theo hai phương (dọc, ngang sóng tôn):

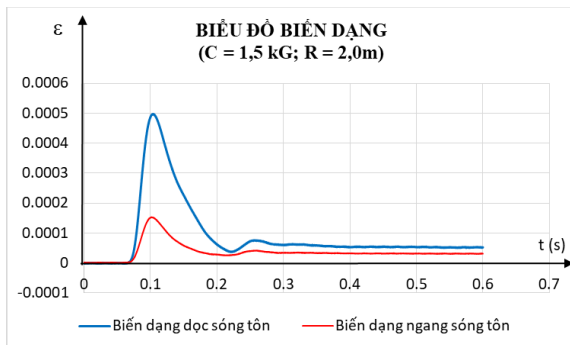
- Lượng nổ $C = 1,0\text{kG}$, môi trường đất mềm (Hình 4.4 và Hình 4.5);
- Lượng nổ $C = 1,5\text{kG}$, môi trường đất chặt (Hình 4.6 và Hình 4.7);
- Lượng nổ $C = 2,0\text{kG}$, môi trường đất tối xốp (Hình 4.8 và Hình 4.9).



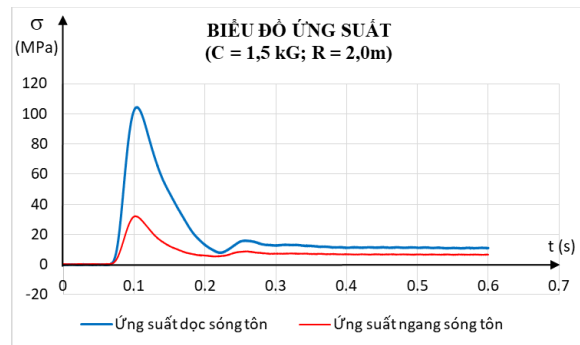
Hình 4.4: Biểu đồ biến dạng



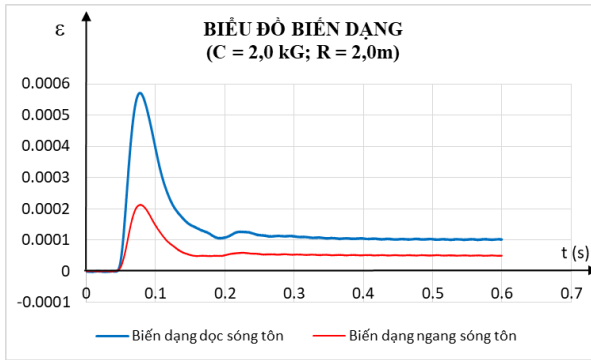
Hình 4.5: Biểu đồ ứng suất



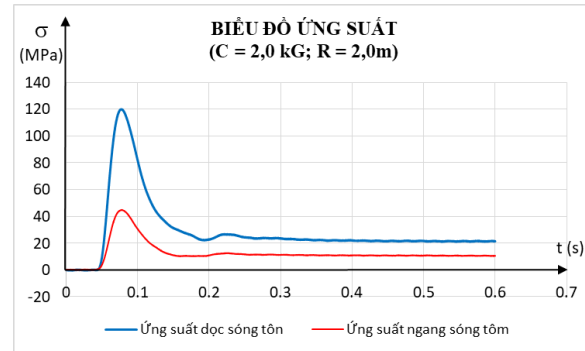
Hình 4.6: Biểu đồ biến dạng



Hình 4.7: Biểu đồ ứng suất



Hình 4.8: Biểu đồ biến dạng



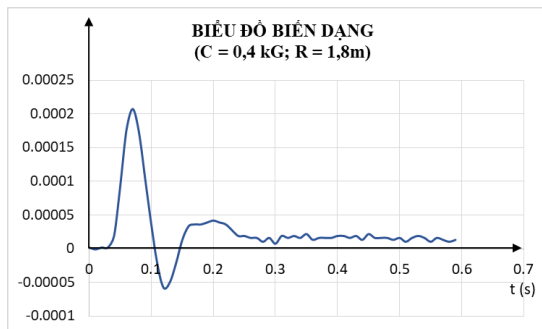
Hình 4.9: Biểu đồ ứng suất

Nhận xét: có sự chênh lệch khá lớn về kết quả đo biến dạng theo hai phương của sóng tôn. Giá trị biến dạng cực đại theo phương dọc sóng tôn lớn hơn nhiều so với giá trị tương ứng theo phương ngang sóng tôn (khoảng 3 lần). Kết cấu tôn sóng làm việc trực hướng

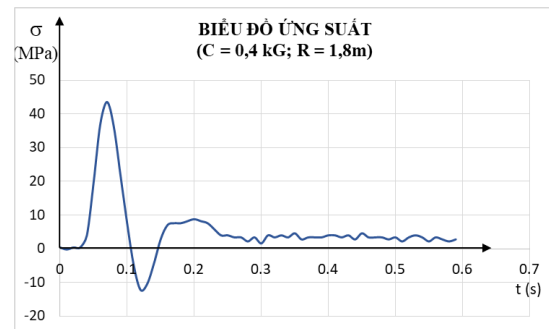
4.3.2. Thí nghiệm 2: Nghiên cứu tương tác công sự tôn sóng với môi trường chịu tác dụng tải trọng nổ trong đất

Thí nghiệm với 3 lượng nổ ở cùng điều kiện địa chất đất mềm, ở 3 khoảng cách R khác nhau. Đo biến dạng theo phương dọc sóng tôn:

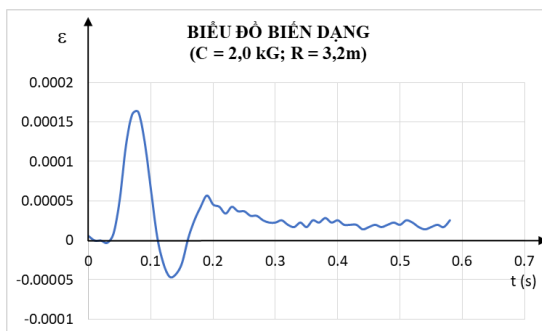
- Lượng nổ $C = 0,4\text{kG}$, khoảng cách $R = 1,8\text{m}$ (Hình 4.10 và Hình 4.11);
- Lượng nổ $C = 2,0\text{kG}$, khoảng cách $R = 3,2\text{m}$ (Hình 4.12 và Hình 4.13);
- Lượng nổ $C = 1,0\text{kG}$, khoảng cách $R = 2,0\text{m}$ (Hình 4.14 và Hình 4.15);



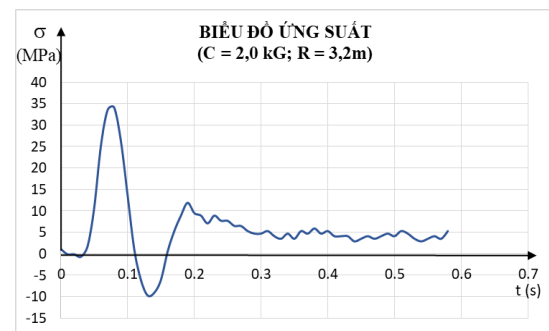
Hình 4.10: Biểu đồ biến dạng



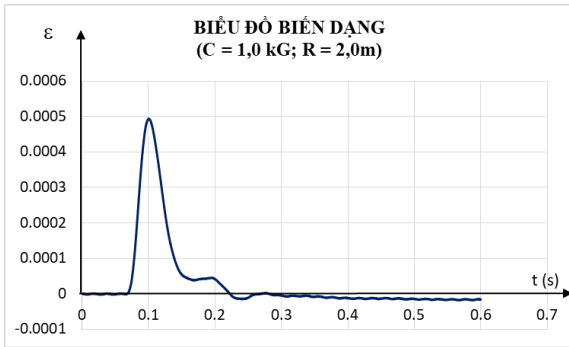
Hình 4.11: Biểu đồ ứng suất



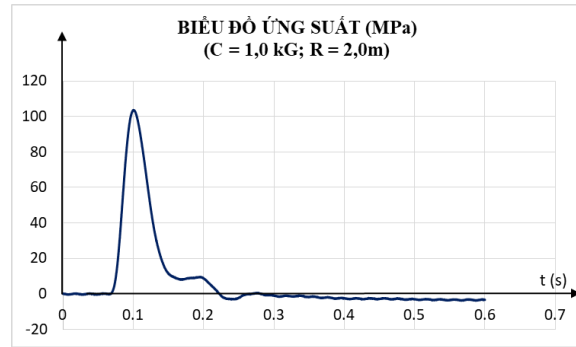
Hình 4.12: Biểu đồ biến dạng



Hình 4.13: Biểu đồ ứng suất



Hình 4.14: Biểu đồ biến dạng



Hình 4.15: Biểu đồ ứng suất

Bảng 4.1: So sánh kết quả tính bằng phần mềm mô phỏng với kết quả thí nghiệm hiện trường (lượng nổ $C = 1,0 \text{ kG}$)

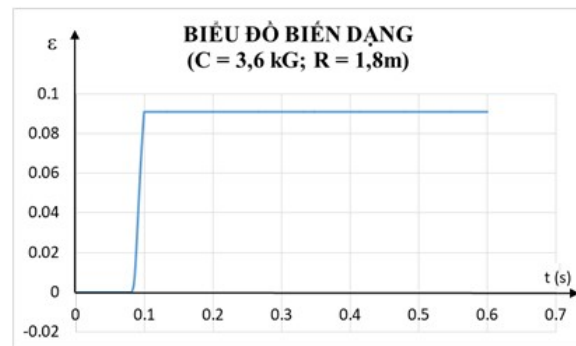
Chỉ số	Mô hình Bài toán tiếp xúc	Mô hình Bài toán tách trượt	Thí nghiệm hiện trường
$\sigma_{y\max}$ (MPa)	122,42	319,98	103,67

Nhận xét: Kết quả thí nghiệm nhỏ hơn kết quả tính toán bằng phần mềm mô phỏng, Phản ánh việc tính toán theo lý thuyết thiên về an toàn hơn bài toán thực tế. Trong thực tế, năng lượng nổ bị tiêu tán qua phễu nổ tung và khe nứt của môi trường nhiều hơn tính toán theo lý thuyết.

4.3.3. Thí nghiệm 3: Xác định trạng thái làm việc của công sự ẩn nắp chịu tác dụng tương đương đạn pháo 130mm nổ trong đất

Thí nghiệm với lượng nổ $C = 3,6 \text{ kG}$ (tương đương đạn pháo 130mm), khoảng cách $R = 1,8 \text{ m}$. Đo biến dạng theo phương dọc sóng tôn (Hình 4.16).

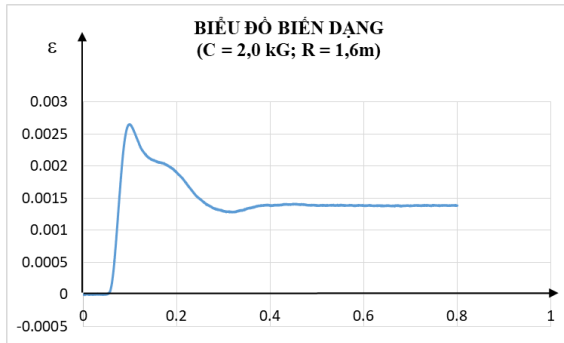
Nhận xét: Tải trọng tác dụng của sóng nén tiệm cận gần đến tác dụng của xung nổ, biến dạng dư lớn, vật liệu đã bị chảy dẻo, kết cấu làm việc ngoài giai đoạn đàn - dẻo nhưng vẫn đảm bảo ổn định. Công sự an toàn.



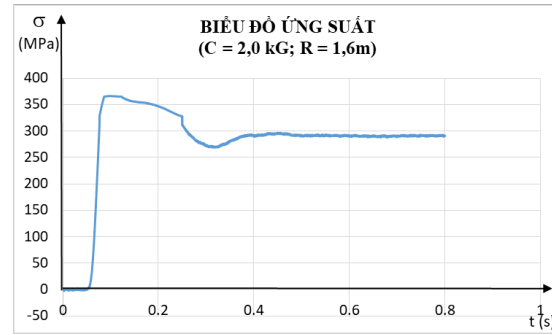
Hình 4.16: Biểu đồ biến dạng

4.3.4. Thí nghiệm 4: Xác định trạng thái làm việc của công sự chỉ huy chịu tác dụng nổ trong đất

Thí nghiệm với lượng nổ $C = 2,0 \text{ kG}$, công sự chỉ huy, khoảng cách $R = 1,6 \text{ m}$. Đo biến dạng theo phương dọc sóng tôn (Hình 4.17 và hình 4.18).



Hình 4.17: Biểu đồ biến dạng



Hình 4.15: Biểu đồ biến dạng

Nhận xét: biến dạng dư ổn định (xấp xỉ 0,14%). Biến dạng dư vượt qua ngưỡng của giới hạn đàn hồi (0,05%), chuyển sang giai đoạn đàn dẻo, ứng suất lớn nhất xác định được $\sigma_{\max} = 365,98$ MPa, xấp xỉ ngưỡng của giới hạn đàn dẻo khi có tính đến hệ số gia tăng cường độ của vật liệu khi chịu tác dụng của tải trọng động ngắn hạn. Công sự ổn định, đảm bảo an toàn.

4.4. Kết luận chương 4

Thí nghiệm được tiến hành trên mô hình công sự thực bằng tôn sóng, mô hình được nghiên cứu, sản xuất, thử nghiệm theo nhiệm vụ nghiên cứu khoa học cấp Bộ Quốc phòng, đã được nghiệm thu đạt kết quả tốt.

Số liệu đo được từ thí nghiệm hiện trường phản ánh đúng quy luật của sóng nén lan truyền trong đất, và tương tác của sóng nén lên kết cấu công sự nằm trong đất.

Kết quả thí nghiệm phản ánh tính chất làm việc trực hướng của tôn sóng làm kết cấu công sự, phù hợp với nghiên cứu về mặt lý thuyết và thử nghiệm số.

Kết quả thí nghiệm được phân tích, so sánh với kết quả phân tích bằng phần mềm mô phỏng theo phương pháp phần tử hữu hạn. Trong đó, thí nghiệm hiện trường cho kết quả nhỏ hơn, phản ánh tính thực tiễn của thí nghiệm hiện trường cũng như tính thiên về an toàn trong các phương pháp tính toán hiện nay. Đặt ra vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu về mặt lý thuyết cũng như khai thác phần mềm ứng dụng để hoàn thiện trong tính toán, sát với điều kiện thực tế.

Sai số giữa kết quả tính bằng phần mềm mô phỏng ANSYS trên mô hình tương tác với kết quả thí nghiệm hiện trường là chấp nhận được. Cho thấy, kết quả nghiên cứu bằng phần mềm mô phỏng ANSYS trên mô hình tương tác đảm bảo độ tin cậy, có tính khả thi.

KẾT LUẬN CHUNG

1. Các kết quả mới và chính của luận án

- Bài toán nghiên cứu xuất phát từ nhu cầu thực tiễn xây dựng công trình quốc phòng nói chung và xây dựng hệ thống công sự trận địa nói riêng nhằm chuẩn sẵn sàng chiến đấu trong điều kiện tác chiến mới. Nghiên cứu với mô hình công sự thật, đang được nghiên cứu đồng bộ các chỉ tiêu chiến kỹ thuật, có tính ứng dụng cao, có khả năng được trang bị cho các đơn vị huấn luyện sẵn sàng chiến đấu, phục cho các nhiệm vụ cụ thể khi tình huống tác chiến xảy ra;

- Sử dụng phần mềm ANSYS tiến hành phân tích các bài toán tương tác giữa kết cấu công sự bằng tôn sóng với môi trường đất á cát chịu tác dụng tải trọng nổ trong đất, khảo sát sự thay đổi của các tham số để thấy sự ảnh hưởng đến trạng thái ứng suất – biến dạng trên kết cấu công sự;

- Thí nghiệm hiện trường trên mô hình công sự thật, khối lượng nổ tương đương với phương tiện sát thương dự kiến sử dụng trong chiến tranh, điều kiện thí nghiệm tương tự điều kiện làm việc thực tế của công sự. Do đó, kết quả thí nghiệm phản ánh sát thực nhất tính chất làm việc của công sự, là cơ sở để đánh giá độ tin cậy của kết quả tính toán theo lý thuyết truyền thống và kết quả phân tích bằng phần mềm ANSYS với mô hình và phương pháp nghiên cứu đã chọn.

2. Các kết quả mới của luận án

- Áp dụng phần mềm chuyên dùng (ANSYS) giải quyết bài toán chuyên môn về tương tác giữa kết cấu công sự bằng tôn sóng với môi trường đất chịu tác dụng tải trọng nổ trong đất theo mô hình không gian, tải trọng do nổ trong đất là liên tục từ thời điểm phản ứng nổ đến quá trình tác dụng lên kết cấu, vật liệu kết cấu và môi trường làm việc ngoài giai đoạn đàn hồi. Các kết quả khảo sát cho thấy phương pháp nghiên cứu có độ tin cậy, các khuyến nghị kỹ thuật có thể làm tài liệu tham khảo cho tính toán, thiết kế và sử dụng cho kết cấu công sự bằng tôn sóng;

- Nghiên cứu thí nghiệm tại hiện trường với mô hình công sự thực và điều kiện thí nghiệm sát với thực tế chiến đấu. Kết quả đạt được cho thấy sự tương đồng giữa lý thuyết và thí nghiệm thực tế, làm phong phú thêm hoạt động thí nghiệm của lĩnh vực nghiên cứu.

3. Các vấn đề cần nghiên cứu tiếp theo sau luận án

- Tiếp tục giải quyết các bài toán trên đối với các loại vật liệu mới nghiên cứu trong thiết kế, chế tạo công sự;
- Phân tích bài toán tương tự với mô hình tải trọng tổng thể, bao gồm tác dụng cục bộ và truyền sóng, xuyên suốt quá trình va chạm – xuyên – nổ - truyền sóng;
- Tính toán kết cấu bằng tôn sóng theo mô hình trục hướng chịu tác dụng tải trọng sóng nổ.
- Nghiên cứu tính toán kết cấu công sự đã chiến làm việc trong điều kiện biến dạng lớn.