

Nghiên cứu ảnh hưởng của độ cứng nền đất đến kết cấu ngầm chịu tác dụng của tải trọng nổ

Studying the effect of elastic modulus soil on underground structures in explosive loading

> TS NGUYỄN XUÂN BÀNG

Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt, Học viện Kỹ thuật Quân sự,
Email nxb@lqdtu.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của mô đun đàn hồi môi trường đất đến nội lực kết cấu công trình ngầm chịu tác dụng của tải trọng nổ trong đất. Mô hình bài toán được xây dựng gồm thuốc nổ, kết cấu bê tông cốt thép, môi trường đất. Sử dụng phần mềm Abaqus với phương pháp CEL (Coupled Euler Lagrangian) và ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian) để tính toán. Kết quả cho thấy, mô đun đàn hồi của môi trường đất ảnh hưởng đến trạng thái nội lực của kết cấu, tuy nhiên tốc độ tăng (giảm) của nội lực không tỷ lệ với tốc độ tăng (giảm) của mô đun đàn hồi nền đất, do đó khi tính toán, thiết kế, đánh giá khả năng chịu lực của kết cấu công trình ngầm chịu tác dụng nổ cần khảo sát, lựa chọn tham số vật liệu nền đất phù hợp để giảm thiểu tác dụng đến kết cấu công trình.

Từ khóa: Tải trọng nổ; Coupled Euler Lagrangian; Arbitrary Lagrangian Eulerian; Abaqus; công trình ngầm.

ABSTRACT

This paper presents the results of the study on the influence of the elastic modulus of the soil on the internal forces of the underground structures under the impact of explosive loads in the soil. The problem model is built including explosives, reinforced concrete and soil. Using Abaqus software with CEL (Coupled Euler Lagrangian) and ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian) methods to calculate. The results show that the elastic modulus of the soil affects the internal force state of the structure, but the rate of increase (decrease) of the internal force is not proportional to the rate of increase (decrease) of the elastic modulus. Therefore, when calculating, designing capacity of underground structures to explosive effects, it is necessary to study and select suitable ground material parameters to minimize the impact on the structure.

Keywords: Explosive loading; Coupled Euler Lagrangian; Arbitrary Lagrangian Eulerian; Abaqus, underground structures.

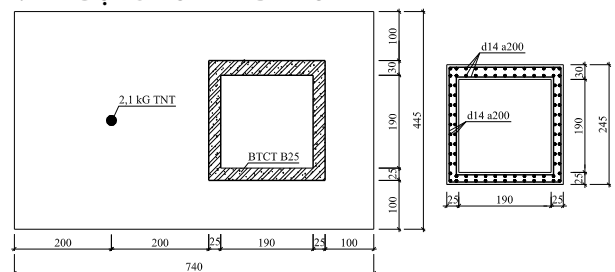
1. MỞ ĐẦU

Các kết cấu ngầm trong đất (công trình ngầm, đường hầm giao thông, đường ống thoát nước, ...) ngoài chịu tác dụng của các dạng tải trọng được quy định trong các tiêu chuẩn, còn có thể chịu tác dụng của các loại tải trọng đặt biệt khác, tải trọng nổ là một ví dụ. Tải trọng này có thể do các vụ nổ phục vụ thi công công trình lân cận gây ra, hoặc có thể do các vụ nổ là hoạt động phá hoại (khủng bố) gây ra. Việc nghiên cứu ảnh hưởng của độ cứng môi trường đất xung quanh đến nội lực của kết cấu ngầm nhằm đưa ra các giải pháp kỹ thuật để giảm thiểu tác dụng phá hoại là rất cần thiết.

Nghiên cứu ứng xử của các công trình ngầm chịu tác dụng của tải trọng nổ là vấn đề rất phức tạp, bởi trong bài toán nổ diễn ra nhiều quá trình khác nhau như: sự chuyển pha vật liệu nổ, sự phá hủy vật liệu, sự tương tác giữa các vật liệu, sự lan truyền sóng nén trong môi trường, sự chuyển động và biến dạng của kết cấu dưới

tải trọng nổ. Mô hình bài toán có sự tham gia của nhiều thành phần vật liệu khác nhau như: thuốc nổ, không khí, môi trường xung quanh và công trình.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH BÀI TOÁN



Hình 1. Kết cấu ngầm trong đất chịu tác dụng nổ.

Tính toán trạng thái ứng suất - biến dạng của kết cấu ngầm như trên hình 1 với các tham số: môi trường đất cát có mô đun đàn hồi $E = 300 \text{ kG/cm}^2$, mật độ $\rho = 1500 \text{ kG/m}^3$, chịu tác dụng của lượng nổ 2,1 kg TNT.

Sử dụng phần mềm Abaqus với lưới Euler và lưới Lagrange để tính toán. Đây là hai loại lưới được sử dụng rộng rãi trong các phương pháp số của cơ học môi trường liên tục (bao gồm các môi trường khí, chất lỏng và vật rắn biến dạng); Để bổ sung lẫn nhau với hai phương pháp trên người ta kết hợp hai phương pháp dựa trên lưới Lagrange và Euler, đó là phương pháp liên hợp CEL (Coupled Euler Lagrangian) và phương pháp tùy biến ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian).

2.1. Mô hình thuốc nổ

Để mô hình hóa hiện tượng nổ và quá trình lan truyền áp lực sóng nổ, sử dụng phương trình trạng thái do Lee - Tarver và Jones - Wilkins - Lee để xuất [1], tham số mô hình thuốc nổ TNT được xác định theo bảng 1.

Bảng 1. Tham số mô hình vật liệu TNT [1]

ρ (kg/m ³)	v_n (m/s)	P_G (kPa)	C_1 (kPa)	C_2 (kPa)
1630	6930	$2,1 \times 10^7$	$3,7377 \times 10^8$	$3,73471 \times 10^6$
r_1	r_2	ω	ν	e (kJ/m ³)
4,15	0,9	0,35	1/1650	6×10^6

2.2. Mô hình không khí

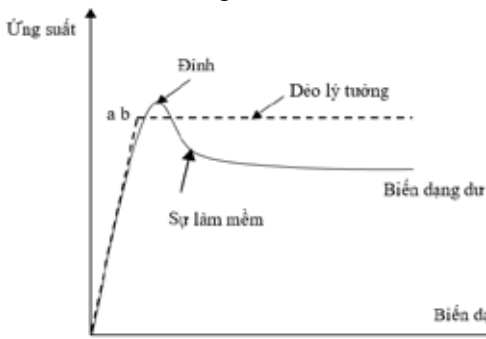
Phương trình trạng thái khí lý tưởng được xác định theo [2] với các tham số tại bảng 2.

Bảng 2. Tham số mô hình vật liệu không khí [2]

ρ (kg/m ³)	P_0 (kG/cm ²)	e (J/kg)	γ	c_v (J/kg.K)	T_0 (K)
1,2	1,033	193300	1,4	716,4	288

2.3. Mô hình nền (môi trường đất)

Nghiên cứu này sử dụng mô hình Mohr-Coulomb cổ điển [3], với đất cát, tham số như bảng 3.



Hình 2. Quan hệ ứng suất - biến dạng của nền thực tế và mô hình Mohr - Coulomb

Bảng 3. Các tham số mô hình đất cát [3]

ρ (kg/m ³)	E (MPa)	ν	ϕ (°)	c (kG/cm ²)	ψ (°)
1500	30	0,25	24	0,01	0

2.4. Mô hình vật liệu thép

Sử dụng mô hình phá hủy do Johnson - Cook để xuất, các tham số của phương trình trạng thái, mô hình bền, mô hình phá hủy của cốt thép được lấy theo [4] như bảng 4.

Bảng 4. Tham số mô hình vật liệu thép [4]

ρ (kg/m ³)	E (Mpa)	A (Mpa)	B (Mpa)	n	T_{melt} (K)
7850	200000	263	130	0,0915	1800
ν	C	D	D_1	D_2	D_3
0,3	0,017	1	0,05	3,44	2,12
D_4	D_5				
0,002	0,61				

2.5. Mô hình vật liệu bê tông

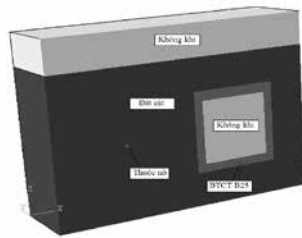
Để mô tả ứng xử của bê tông khi chịu tác dụng của tải trọng nổ, nghiên cứu sử dụng mô hình vật liệu Holmquist - Johnson - Cook (HJC)

[5, 6, 7], đây là mô hình phù hợp, mô tả được ứng xử nén động của bê tông chịu biến dạng lớn, tốc độ biến dạng cao và áp suất cao.

Bảng 5. Các tham số mô hình HJC của bê tông B25 [7]

ρ_0 (kg/m ³)	G (pa)	A	B	C	N
2406	$11,292 \times 10^9$	0,79	1,405	0,007	1,085
ϵ_{fmin}	T_c	f_c (Pa)	S_{max}	P_{crush} (Pa)	μ_{crush}
0,0016	$3,24 \times 10^6$	$41,305 \times 10^6$	7	$13,768 \times 10^6$	0,0007
P_{look} (Pa)	μ_{look}	D_1	D_2	K_1 (Pa)	K_2 (Pa)
1×10^9	0,08	0,04	1	85×10^9	-117×10^9
K_3 (Pa)					
208×10^9					

Mô hình hóa bài toán được thể hiện trên hình 3. Thời gian mô phỏng quá trình nổ và lan truyền sóng nổ 0,06 s.



Hình 3. Mô hình bài toán

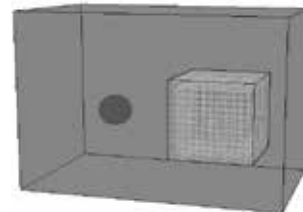


Hình 4. Vị trí các điểm khảo sát trong nền và trên kết cấu

Tiến hành thử nghiệm số trên phần mềm Abaqus và khảo sát kết quả ở một số vị trí điển hình trên kết cấu (1, 2, 3, 4, 5). Sơ đồ các vị trí khảo sát như hình 4.

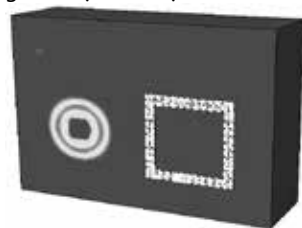
3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG SỐ

Quá trình nổ trong đất được thể hiện trên hình 5.

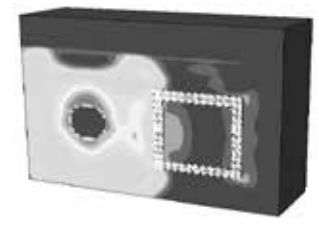


Hình 5. Quá trình nổ trong đất

Quá trình lan truyền sóng nổ trong môi trường đất theo thời gian được thể hiện trên hình 6.



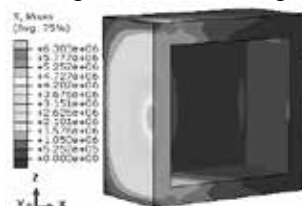
a) Tại thời điểm 0,003 s



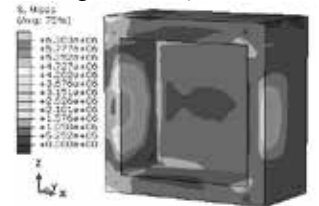
b) Tại thời điểm 0,0162 s

Hình 6. Mô phỏng quá trình lan truyền sóng nổ trong đất theo thời gian

Ứng suất trên kết cấu ngầm theo thời gian thể hiện trên hình 7.



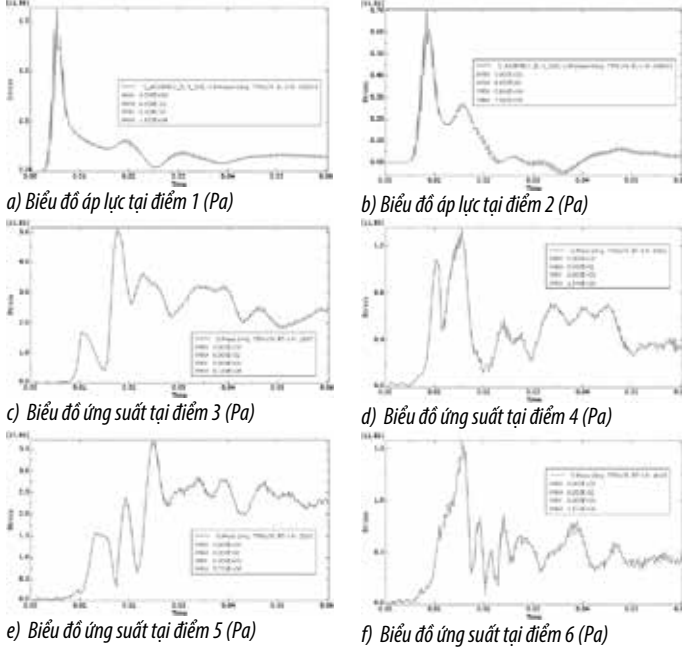
a) Tại thời điểm 0,01140 s



b) Tại thời điểm 0,0174 s

Hình 7. Ứng suất trên kết cấu theo thời gian

Biểu đồ áp lực, ứng suất các điểm khảo sát được thể hiện trên hình 8.



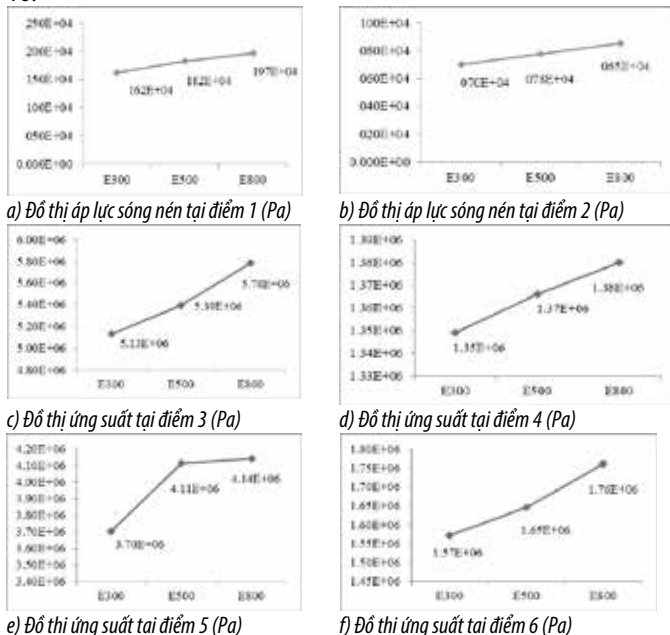
Hình 8. Biểu đồ áp lực và ứng suất tại các điểm khảo sát

4. NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ CỨNG NỀN ĐẤT ĐẾN NỘI LỰC KẾT CẤU NGẦM

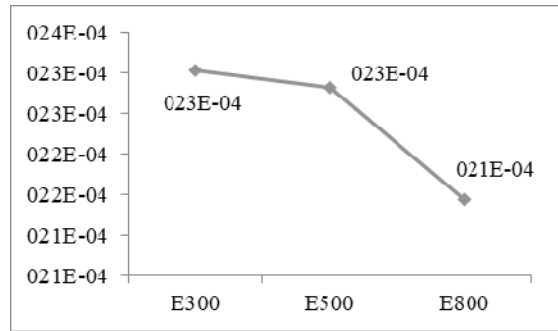
Với mô hình bài toán tại hình 1, nghiên cứu nội lực kết cấu công trình ngầm với độ cứng môi trường lần lượt là:

- E=300 kG/cm² (đã có kết quả tại mục 3).
- E=500 kG/cm² (cát đều hạt, ở trạng thái chặt vừa).
- E=800 kG/cm² (cát đều hạt, ở trạng thái chặt).

Tiến hành thử nghiệm số bằng phần mềm Abaqus, khảo sát áp lực, ứng suất và biến dạng tại một số vị trí điển hình trên kết cấu (1, 2, 3, 4, 5) như hình 4. Kết quả được tổng hợp, thể hiện trên hình 9, 10.



Hình 9. Biểu đồ ứng suất cực đại tại các điểm theo sự thay đổi độ cứng nền đất



Hình 10. Biểu đồ biến dạng cực đại tại điểm 3 theo sự thay đổi độ cứng nền đất
NHẬN XÉT:

Khi mô đun đàn hồi (E) của môi trường đất tăng thì áp lực sóng nén tại các điểm 1 và 2 trong đất đều tăng, áp lực sóng nén tại điểm 1 lớn hơn tại điểm 2, do khi độ cứng của nền đất tăng làm tăng khả năng truyền sóng nén, vì vậy áp lực sóng nén tăng là phù hợp với quy luật cơ học. Tuy nhiên tốc độ tăng áp lực sóng nén nhỏ hơn tốc độ tăng của mô đun đàn hồi E, ví dụ E tăng 2,67 lần, áp lực sóng nén tại điểm 1 tăng 1,22 lần, áp lực sóng nén tại điểm 1 tăng 1,21 lần.

Khi mô đun đàn hồi (E) của môi trường đất tăng thì ứng suất tại các điểm khảo sát trên kết cấu đều tăng, còn biến dạng đều giảm. Tuy nhiên tốc độ tăng áp lực sóng nén nhỏ hơn tốc độ tăng của mô đun đàn hồi E, ví dụ E tăng 2,67 lần ứng suất tại điểm 3 tăng 1,13 lần, ứng suất tại điểm 5 tăng 1,19 lần; Tốc độ giảm của biến dạng nhỏ hơn tốc độ tăng của mô đun đàn hồi E, ví dụ E tăng 2,67 lần, biến dạng tại điểm 3 giảm 1,13 lần.

Với kết quả nghiên cứu này cho thấy, khi thay đổi độ cứng (mô đun đàn hồi) của môi trường đất thì ảnh hưởng đến trạng thái ứng suất biến dạng trên kết cấu, đồng thời sóng nén trong đất cũng tăng (giảm) theo, tuy nhiên tốc độ tăng (giảm) nhỏ hơn so với tốc độ tăng (giảm) của độ cứng nền đất. Do đó khi tính toán, thiết kế, đánh giá khả năng chịu lực của kết cấu công trình ngầm chịu tác dụng nổ cần khảo sát, lựa chọn tham số vật liệu nền đất phù hợp để giảm thiểu tác dụng đến kết cấu công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. E. Lee, M. Finger, W. Collins, JWL equations of state coefficient for high explosives, Lawrence Livermore Laboratory, Livermore, Calif, UCID-16189, Berkeley 1973.
2. Baker, W. E. (1973). Explosions in Air. University of Texas Press, Austin, Texas.
3. Bibiana Luccioni, Daniel Ambrosini, Gerald Nurick, Izak Snyman (2009), Craters produced by underground explosions, Computers and Structures 87 (2009): 1366-1373.
4. Johnson, G. R., Cook, W. H. (1983). A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures. Proceedings of the 7th International Symposium on Ballistics, The Netherlands, 21(1): 541-547.
5. Holmquist TJ, Johnson GR, Cook WH. A computational constitutive model for concrete subjected to large strains, high strain rates, and high pressures. In: Proceedings of 14th international symposium on ballistics, Quebec, Canada, 1993. P: 591-600.
6. Johnson GR. Computed radial stresses in a concrete target penetrated by a steel projectile, In: Proceedings of the 5th international conference on structures under shock and impact, Greece; 1998. P: 793-806.
7. Phan Thành Trung, Nguyễn Quốc Bảo, Vũ Đức Hiếu (2020), Đánh giá sự phá hủy cấu kiện bê tông cốt thép dưới tác dụng tải trọng nổ tiếp xúc bằng mô phỏng số và thực nghiệm tại hiện trường. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, NUCE 2020. 14 (5V): 180-196.