A STUDY ON THE RESPONSE OF UNDERGROUND PIPES DUE TO BLAST LOADS

OLAREWAJU AKINOLA JOHNSON

UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

SCHOOL OF ENGINEERING AND INFORMATION TECHNOLOGY

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

2013

A STUDY ON THE RESPONSE OF UNDERGROUND PIPES DUE TO BLAST LOADS

OLAREWAJU AKINOLA JOHNSON

UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

THESIS SUBMITTED IN FULFILLMENT FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY

SCHOOL OF ENGINEERING AND INFORMATION TECHNOLOGY

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

2013

PUMS 99:1

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BORANG PENGESAHAN TESIS

JUDUL : _____
_____
_____

IJAZAH : _____
_____

SAYA : _____ **SESI PENGAJIAN** : _____
(HURUF BESAR)

Mengaku membenarkan tesis *(LPSM/Sarjana/Doktor Falsafah) ini disimpan di Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:-

1. Tesis adalah hak milik Universiti Malaysia Sabah.
2. Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi.
4. Sila tandakan (/)

☐ SULIT (Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di AKTA RAHSIA RASMI 1972)

☐ TERHAD (Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan)

☐ TIDAK TERHAD

Disahkan oleh:

_____ _____
(TANDATANGAN PENULIS) (TANDATANGAN PUSTAKAWAN)

Alamat Tetap: _____
_____
_____
_____

_____
(NAMA PENYELIA)

TARIKH: _____ TARIKH: _____

Catatan:
*Potong yang tidak berkenaan.
*Jika tesis ini SULIT dan TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh tesis ini perlu dikelaskan sebagai SULIT dan TERHAD.
*Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana Secara Penyelidikan atau disertai bagi pengajian secara kerja kursus dan Laporan Projek Sarjana Muda (LPSM).

UMS UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

DECLARATION

I hereby declare that the material in this thesis is my own except for quotations, excerpts, equations, summaries and references, which have been duly acknowledged.

Olarewaju Akinola Johnson

PK20099011

UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

CERTIFICATION

NAME	:	**OLAREWAJU AKINOLA JOHNSON**
MATRIC NO.	:	**PK20099011**
TITLE	:	**A STUDY ON THE RESPONSE OF UNDERGROUND PIPES DUE TO BLAST LOADS**
DEGREE	:	**DOCTOR OF PHILOSOPHY**
VIVA DATE	:	**THURSDAY 08TH DECEMBER, 2011**

UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

DECLARED BY

1. MAIN SUPERVISOR
Prof. Dr. N.S.V. Kameswara Rao .....

2. CO-SUPERVISOR
Assoc. Prof. Dr. Md. Abdul Mannan .....

ACKNOWLEDGEMENT

I wish to express my sincere gratitude to the Almighty God for His love, grace, power and sovereignty over my live during the course of this study. May His Holy name forever be glorified, Amen. I also wish to express my sincere gratitude and appreciation to my main supervisor, Prof. Dr. N.S.V Kameswara Rao and co-supervisor, Assoc. Prof. Dr. Abdul Md Mannan for their technical guidance, support, patience and understanding for the past few years. Their continuous academic encouragement, has given me enough strength to complete this Ph.D. My gratitude also goes to the Dean, *Pusat Pengajian Pascasiwazah*, Assoc. Prof. Datin Dr. Mariam bte Abdul Latip for her academic and administrative leadership. Thanks also go to the Dean, *Sekolah Kejuruteraan Dan Teknologi Maklumat* and the Editor-in-chief, SKTM PG Newsletter, Assoc. Prof. Dr. Rosalam Sarbatly for his administrative support. Thanks also go to SKTM co-ordinator and chairman of the Editorial Board of SKTM PG Newsletter, Prof. Dr. Pogaku Ravindra for his academic and administrative supports. Thanks also go to the entire staff of Civil Engineering Program as well as that of ICT unit both in SKTM in persons of the Program Head, Dr. Nurmin, Mrs. Hydayati, Mr. Roselan Alex, Mrs. Diana Kimmuan, Mr. Zuhair B. Abdullah, Mr. Albert Alex Jimmy, etc.

I also wish to express my gratitude to the Ministry of Science Technology and Innovation (MOSTI), Malaysia for the financial support in this study through the e-science project under eScience grant number 03-01-10-SF0042.

In Nigeria, I want to acknowledge the contributions of the Chief Executive of the Federal Polytechnic, Ilaro, Nigeria, Dr. R. A. Oloyo, and other members of staff in person of Engr. O. Osore, Engr. Kukoyi, Engr. Mrs. M. O. Balogun, Bldr. M. K. Sadiq, Surv. A. A. Fayemi and other members of staff. Finally, I wish to express my gratitude to my academic mentors in person of Prof. Dr. J. O. Afolayan, Assoc. Prof. Dr. C. Arum and Assoc. Prof. A. Tubosun. Let me conclude on this note: "Once **God** has spoken; twice have I heard this: that **power belong**s **to God."**

Olarewaju Akinola Johnson
2011

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

ABSTRACT

A STUDY ON THE RESPONSE OF UNDERGROUND PIPES DUE TO BLAST LOADS

Underground pipes are used for services. Loads emanating from blast can create sufficient tremors to damage substructures over a wide area. Blast loads from explosives translate to loadings which the explosive charge (i. e. from surface blast or underground blast) delivers to the buried structures whether in the form of pressure or loading wave velocity. The main sources of blast are war, accidental explosion from military formation, etc. This study is aimed at determining the response of empty underground pipes due to blast loads by simulation using finite element method. Different types of blast and blast loads ranging from 10 kg TNT to 250 kg TNT were considered in this study. Using Unified Facilities Criteria (2008) for surface blast and analytical method for underground blast for the commonly used explosives at various stand-off points, ground movement parameters were determined. In this study, soil and pipe materials were considered as elastic, homogeneous and isotropic. Geotechnical and material properties as revealed by several researchers and pipe manufacturers were used. After validating existing model studied using SAP-80, response of underground pipes due to various categories of blast were studied using time integration technique in ABAQUS/Explicit, a finite element numerical code. Displacement, pressure, stress, strain at the crown, invert and spring-line of underground pipes buried at different embedment ratios in loose sand, dense sand and undrained clay were computed. Parametric studies were carried out and the results of the various responses were analyzed using dimensional analysis. Various mitigation measures were also suggested. In the whole work, a total of 639 models were analyzed. From the result of this study, blast load parameters estimated could be used in the evaluation of blast loads for design of underground pipes to resist the effects of blast loads. In addition, depths play a prominent role in the response of underground pipes due to blast loads. With increasing depth of burial of pipes, observed parameters reduced. These observed parameters reduced at embedment ratios of 3 to 5 for the blast scenarios considered. In addition to this, the reduction in the observed parameters

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

of the response of underground pipes due to blast loads is more in loose sand compared to dense sand. As a result of this, loose material in the form of tire-chip backfill round the buried pipes could be used to mitigate the consequence of blast loads on underground pipes. Furthermore, undrained clay was observed to be problematic because the reduction in the observed parameters is least in the pipes buried in undrained clay and as a result of this, grouting and ground improvement techniques could be adopted as mitigation measure. In addition, for underground steel pipes to resist the effects of internal explosion, minimum of 20 mm thick is recommended. Finally, coefficient of friction of average of 0.4 could be used for the design of pipes buried in sand while coefficient of friction of average of 0.8 could be used for the design of pipes buried in undrained clay. The findings of this study will contribute to the existing academic literature, locally and internationally, considering the fact that this is a new area of research. The guidelines arrived at in this study can be applied by practicing engineers and professionals for design of underground pipes to resist the effects of blast loads. In addition to this, attention to be given to undrained clay soil that can be problematic in the design of underground pipes is also highlighted. In the case of underground pipes that are already designed and constructed without consideration to the effects of blast loads, mitigation measures pointed in this study will help in reducing the impact of blast loads.

UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

ABSTRAK

KAJIAN TENTANG TINDAKBALAS PAIP-PAIP BAWAH TANAH AKIBAT BEBAN-BEBAN LETUPAN

Paip-paip bawah tanah digunakan untuk pembekalan air, pembekalan minyak dan gas, pembentungan, dsb. Beban-beban yang berpunca daripada letupan boleh mengakibatkan gegaran yang cukup kuat untuk merosakkan substruktur di kawasan luas. Beban letupan daripada bahan letupan diterjemahkan sebagai beban-beban yang diakibatkan oleh beban letupan (melalui letupan permukaan atau letupan bawah tanah) terhadap struktur yang ditanamkan dalam bentuk tekanan atau halaju gelombang beban. Sumber-sumber utama letupan adalah peperangan, serangan pengganas, letupan tidak bersengaja daripada formasi ketenteraan, dsb. Kajian ini adalah bertujuan untuk menentukan tindakbalas paip-paip bawah tanah kosong akibat beban-beban letupan menggunakan simulasi dengan kaedah unsur terhingga. Letupan yang berlainan jenis dan beban letupan yang berjulat daripada 10 kg TNT kepada 250 kg TNT telah dipertimbangkan dalam kajian ini. Dengan menggunakan "Unified Facilities Criteria" (2008) untuk letupan permukaan dan kaedah analitikal untuk letupan bawah tanah bagi bahan letupan yang biasa digunakan pada beberapa titik pemerhatian, parameter-parameter pergerakan tanah telah ditentukan. Dalam kajian ini, tanah dan bahan-bahan buatan paip dianggap kenyal, homogen, dan isotropi. Sifat geoteknik dan bahan yang didapati oleh ahli-ahli pengajian dan pengilang-pengilang paip telah digunakan. Selepas pengesahan model yang sedia ada dengan menggunakan perisian SAP-80, tindakbalas paip-paip bawah tanah akibat beberapa kategori letupan dikaji dengan menggunakan "teknik pengamilan masa" dalam perisian ABAQUS/Explicit, iaitu sejenis kod berangka unsur terhingga. Sesaran, tekanan, tegasan, tarikan di bahagian puncak, tengah dan bawah keratan rentas paip bawah tanah yang ditanamkan pada nisbah penerapan dalam pasir longgar, pasir tumpat dan tanah liat bertakungan air yang berlainan telah dikomputasikan. Kajian-kajian berparameter dijalankan dan keputusan beberapa tindakbalas dianalisasikan dengan analisis berdimensi. Beberapa langkah penebatan juga dicadangkan. Dalam

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

kajian ini, sebanyak 639 model telah dianalisakan. Berdasarkan keputusan dalam kajian ini, parameter-parameter beban letupan yang dianggarkan boleh digunakan dalam penilaian beban letupan untuk rekabentuk paip-paip bawah tanah untuk menentang kesan-kesan daripada beban letupan. Tambahan pula, kedalaman memainkan peranan yang menonjol dalam tindakbalas paip-paip bawah tanah akibat beban-beban letupan. Dengan penambahan kedalaman paip-paip yang ditanamkan. Parameter-parameter yang diperhatikan berkurangan pada nisbah penerapan 3 kepada 5 dalam senario letupan yang ditetapkan. Tambahan pula, pengurangan parameter-parameter tindakbalas paip-paip bawah tanah akibat beban letupan adalah lebih banyak dalam pasir longgar berbanding dengan yang dalam pasir tumpat. Oleh itu, bahan longgar dalam bentuk cip tayar yang mengelilingi paip-paip yang ditanam boleh digunakan untuk mengurangkan akibat beban letuoan terhadapnya. Lebih-lebih lagi, tanah liat bertakungan air didapati bermasalah kerana pengurangan dalam parameter-parameter yang diperhatikan adalah paling sedikit bagi paip-paip yang ditanamkan di dalamnya dan oleh itu, grouting dan teknik-teknik pembaikan tanah boleh digunakan sebagai langkah penebatan. Sebagai penambahan, ketebalan minimum 20 mm dicadangkan dalam paip-paip keluli bawah tanah untuk menentang kesan-kesan letupan dalaman. Akhirnya, purata pekali geseran sebanyak 0.4 boleh digunakan untuk rekabentuk paip yang ditanamkan di dalam pasir sedangkan purata pekali geseran sebanyak 0.8 boleh digunakan bagi rekabentuk paip yang ditanamkan di dalam tanah liat bertakungan air. Penemuan dalam pengajian ini akan menyumbangkan kepada literasi akademik yang sedia ada, sama ada tempatan ataupun antarabangsa, memandangkan bahawa ini merupakan sesuatu bidang yang baru dalam penyelidikan. Garis panduan dan parameter yang dicapai dalam pengajian ini boleh diaplikasikan oleh jurutera-jurutera dan profesional yang terlibat dalam perekaciptaan paip-paip bawah tanah untuk menentang kesan-kesan beban letupan. Di samping itu, perhatian yang diberikan kepada tanah liat tidak tersalir yang dapat menjadi masalah dalam perekaciptaan paip-paip bawah tanah juga diserlahkan. Mengenai paip-paip bawah tanah yang telah direkacipta dan dibina tanpa pertimbangan terhadap kesan-kesan beban letupan, langkah-langkah penebatan yang tercatat dalam pengajian ini akan membantu dalam mengurangkan kesan beban letupan.

UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

TABLE OF CONTENTS

UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

CHAPTER 3: METHODOLOGY

CHAPTER 4: GROUND MOVEMENT PARAMETERS DUE TO BLAST LOADS

UMS UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

UMS UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

LIST OF TABLES

UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

LIST OF FIGURES

UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH