

模型地盤を用いた地中爆発実験による爆土圧特性の検討

防衛大学校

学生会員

〇市野 宏嘉

学生会員

東海林 真

正会員

大野 友則

正会員

別府 万寿博

1. はじめに

平成13年に米国で発生した同時多発テロ以降、社会的に重要な施設あるいは危険物を取り扱う施設などを建設する際には、テロや事故による爆発荷重に対する防護設計が必要と考えられつつある。一般に、地上構造物に耐爆性を施す場合は、壁などのRC部材をかなり厚くする必要があるため、施設によっては地下構造とすることが有利である。すなわち、重要構造物を地下に建設することにより、地盤材料によって伝達される衝撃力を緩衝する効果も期待できると考えられる。しかしながら、実規模での爆発実験を数多く実施することが困難であり、かつ模型実験の手法も確立していないことから、地下構造物の設計に必要な爆土圧（地中爆発の際に地盤内に発生する動的な土圧）については、利用できるデータが蓄積されていない状況にある。

本研究は、模型地盤を用いた地中爆発実験を実施して、地中爆発により発生する爆土圧を計測し、爆薬の質量（薬量）および爆発位置（爆源）からの距離が爆土圧特性に及ぼす影響について検討したものである。

2. 模型地盤を用いた地中爆発実験の概要

本実験に用いた実験装置を図-1に示す。幅180cm、奥行き180cm、高さ70cmのベニヤ合板製の枠組の中に深さ60cmまで供試土を充填して模型地盤の土槽を作製した。供試土には、神奈川県横浜市産の天然山砂を用いている。供試土は、土粒子密度 $\rho_s=2.68$ (g/cm³)、湿潤密度 $\rho_t=1.55$ (g/cm³)、飽和度 $S=51.6$ (%)、平均粒径 $D_{50}=0.20$ (mm)であり、日本統一土質分類における細分類では、粒度の悪い砂（GP）に分類される。

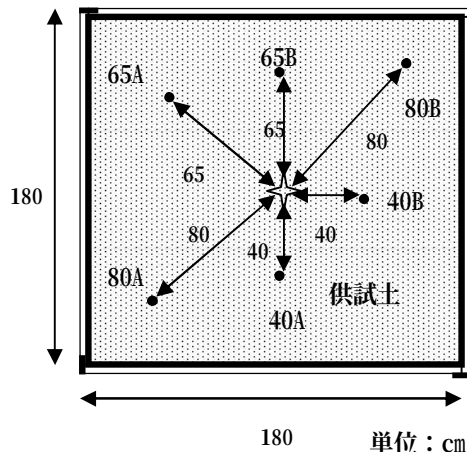
実験は、薬量 W を変えて $W=9.7$ g, 12.7 g, 16.0 gの3ケースを実施した。直径と高さが等しい円柱形に成形したC-4爆薬を模型地盤の中央、深さ30cmの位置に設置して、6号電気雷管により起爆させた。

また、小型圧力センサ（応答周波数3.7kHz）を用いて、図-1(a)に示すように爆源から40cm, 65cm, 80cmの距離における圧力を計測した。これらの圧力センサは、受圧部が地盤上面から深さ30cmに位置するように埋設された鋼製のセンサ支持具に固定した。なお、計測においては、AD変換器のサンプリング間隔を0.1msとした。

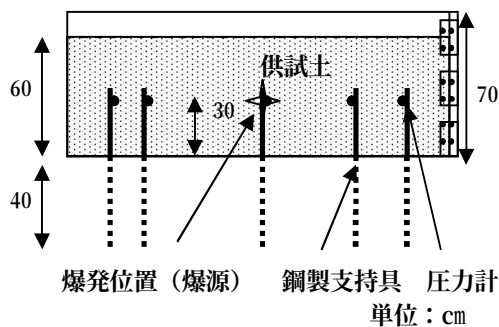
3. 実験結果および考察

3.1 圧力と時間の関係

図-2に、薬量 $W=12.7$ gの爆発で得られた爆土圧～時間関係を示す。爆源からの距離 $D=40$ cmでの圧力は、鋭い立ち上がりで瞬時に最大爆土圧を示した後緩やかに低下している。時刻20msでは負圧を示し、最終的に静的な土圧に戻っている。爆源からの距離が $D=65$ cm, 80 cmのように離れると、波形の立ち上がりは緩やかになるとともに、最大爆土圧も小さくなっている。これらの傾向は、 $W=9.7$ g, 16.0 gにおいても同様であった。また、爆土圧の伝播速度は約40m/sであることがわかる。



(a) 平面図



(b) 側面図

図-1 実験装置

キーワード 地中爆発 / 爆土圧 / 模型地盤 / 最大爆土圧 / 換算距離

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL 046-841-3810 E-mail: g44053@cc.nda.ac.jp

3.2 最大爆土圧の距離減衰

図3に、最大爆土圧 P_0 と爆源からの距離 D の関係を示す。図中の表には、実験ケースごとの最大爆土圧の平均値を示している。薬量 $W=9.7\text{g}$, 12.7g , 16.0g のいずれにおいても、距離 D が大きくなると最大爆土圧 P_0 の値は急激に減少する。距離 80cm における最大爆土圧の値は、距離 40cm における最大爆土圧と比較して $11\sim 16\%$ まで低下した。

3.3 最大爆土圧と換算距離との関係

一般に、最大爆土圧は、換算距離(爆源からの距離を薬量の3乗根で除した値)の関数として整理することが多い。米国陸軍テクニカル・マニュアルには、種々の土質における最大爆土圧の値が、以下の実験式(以下、TM式と略称する。)で推定できることが示されている¹⁾。

$$P_0 = 5.08 \times f \times (\rho c) \times \left(2.52 \times \frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-n} \quad (1)$$

ここに、 P_0 : 最大爆土圧 (MPa), f : 結合係数

ρc : 音響抵抗 ($\text{MPa} \cdot (\text{m/s})^{-1}$)

D : 爆源からの距離 (m)

W : 爆薬重量 (kg), n : 減衰係数

$\rho c, n$ は、土質によって変化する係数値であり、土質に応じて様々な値が定められている。

図4に、本実験で得られた最大爆土圧と換算距離の関係を示す。最大爆土圧と換算距離の関係は、両対数軸上において線形性を示し、以下の関数で近似できる。

$$\ln P_0 = -0.557 - 3.08 \ln(D/W^{1/3}) \quad (2)$$

また、図4には、TM式において、土質を「湿った、緩い砂」($\rho c = 2.83$, $n=3$, $f=1$)とした場合のグラフも破線で示している。両者を比較すると、TM式の方がやや大きな最大爆土圧を与えるが、本実験で得られた実験式とTM式はほぼ類似していることがわかる。

4 結言

本研究で得られた成果は以下のように要約される。

- 1) 爆源からの離隔距離が大きくなると、最大爆土圧は急激に減衰する。距離 80cm における最大爆土圧の値は、距離 40cm におけるそれと比較して $11\sim 16\%$ に低下した。
- 2) 最大爆土圧と換算距離の関係は、両対数軸上においてほぼ線形性がある。その近似式はTM式と類似している。

ただし、爆土圧は土質等の条件によって大きく異なることが指摘されている^{1), 2)}ので、今後は土質の違いに応じた爆土圧特性を解明する必要がある。

参考文献

- 1) Headquarters, Department of the Army, Washington DC: Fundamentals of protective design for conventional weapons, TM5-855-1, Cha.5, 1986.
- 2) Eng-Choon Leong, S Anand, Hee-Kiat Cheong, Chee-Hiong Lim: A revisit to TM-5-855-1: Scaled distances and peak stresses, Design and Analysis of Protective Structures against Impact/Impulsive/Shock Loads, pp. 29-40, 2003.12

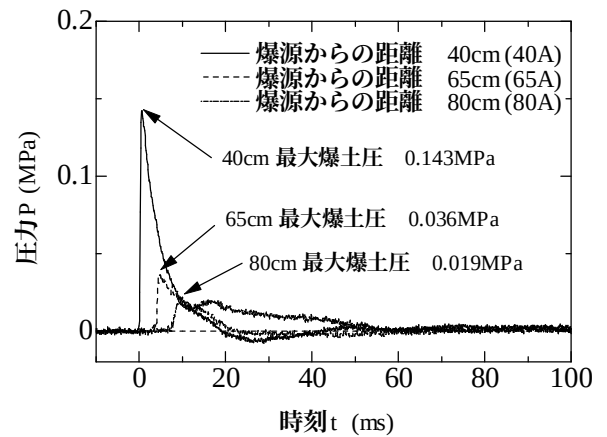


図2 爆土圧～時間関係
(薬量 $W=12.7\text{g}$)

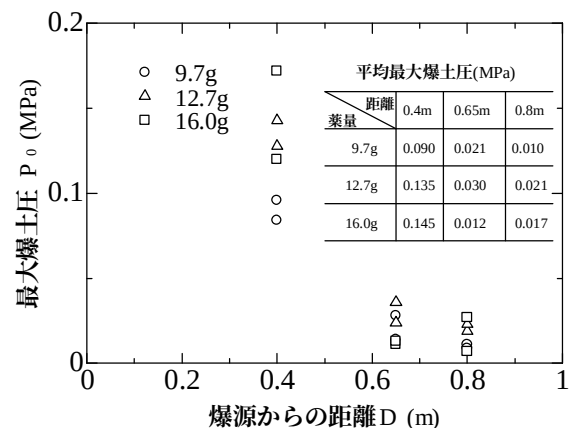


図3 最大爆土圧と爆源からの距離との関係

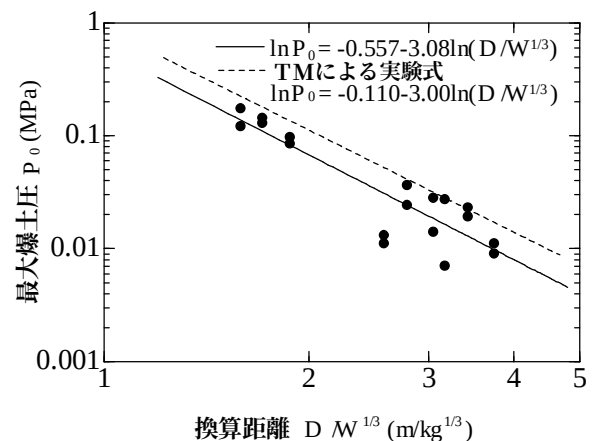


図4 最大爆土圧と換算距離との関係