

## 地中爆発において地盤の飽和度が爆土圧特性に与える影響に関する研究

防衛大学校 学生会員 東海林 真 学生会員 市野 宏嘉  
 正会員 大野 友則 正会員 別府 万寿博

### 1. はじめに

社会的に重要な施設や火薬類および危険物等の貯蔵施設を建設する際は、テロや事故による爆発荷重を考慮する必要がある。この場合、爆発荷重に対する地上構造物の耐爆設計では、壁などのRC部材をかなり厚くする必要がある。これに対して、土を利用した地下構造であれば、より安全で経済的な設計が実現する可能性がある。しかしながら、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）は土質等の条件、とりわけ地盤の飽和度によって大きく異なることが指摘されており、土質によっては必ずしも地中爆発に対する防護効果を期待できないおそれがある<sup>1)</sup>。しかし、実規模での爆発実験は費用や期間の制限から数多く実施することが困難であるため、有用なデータが少なく、爆土圧の伝播・減衰・増幅などの特性は未解明な問題が多い。

本研究は、模型地盤の内部でC-4爆薬を爆発させて、その爆発により発生する爆土圧を計測し、地盤の飽和度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 実験方法

#### 2.1 模型地盤

本実験に用いた模型地盤は、幅 180 cm、奥行き 180 cm、高さ 70 cmのベニヤ合板で作成した枠の中に供試土を充填したものである。土槽に供試土を充填する際は、所定の密度になるまで 15 cmごとに締め固め、その厚さが 60 cmになるまで繰り返して充填した。完成した模型地盤を写真-1に示す。供試土の飽和度は、表-1に示すように  $S=51.6\%$  (実験 )  $S=80.7\%$  (実験 )  $S=97.9\%$  (実験 ) の 3 通りに設定した。また、表-1には、飽和度とあわせて供試土の土粒子密度  $\rho_s$ 、湿潤密度  $\rho_t$ 、間隙比  $e$ 、含水比  $w$ 、および粒度を示した。供試土には、シルトや粘土などの細粒分を重量比約 3%程度含む天然の山砂を用いており、現実の地盤に比較的近い条件とした。

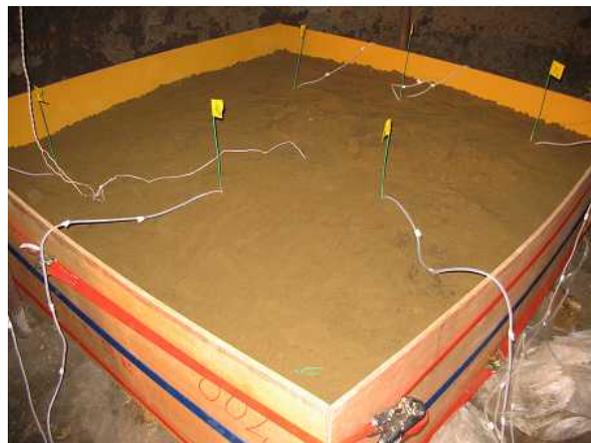


写真-1 模型地盤

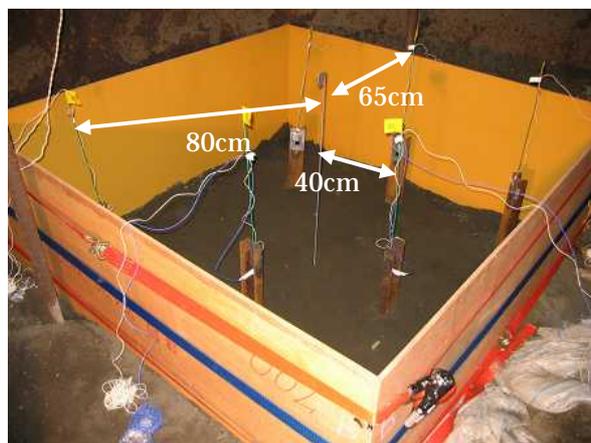


写真-2 圧力センサの設置状態

表-1 供試土の  $\rho_s$ 、 $\rho_t$ 、 $e$ 、 $w$ 、 $S$  および粒度

土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	間隙比 $e$	含水比 $w$ (%)	飽和度 $S$ (%)
2.68	1.57	1.29	21.7	51.6
2.68	1.76	0.95	28.7	80.7
2.68	1.89	0.87	31.8	97.9

60%粒径 $D_{60}$ (mm)	10%粒径 $D_{10}$ (mm)	均等係数 $U_c$	曲率係数 $U'_c$	日本統一土質分類における細分類
0.22	0.11	2.00	0.93	粒度の悪い砂 (GP)

キーワード 模型地盤、飽和度、爆土圧、最大爆土圧増加率

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 TEL046-841-3810 E-mail: s50271@ed.nda.ac.jp

## 2.2 爆土圧の計測

本実験では、9.7g の C-4 爆薬を直径(D = 2.2cm)と高さ(L = 2.2cm)が等しい円柱形(L/D = 1)に成形した。なお、形状保持のため高さ 4cm のアルミスリーブで巻いた。これを模型地盤の中央、深さ 30 cm の位置に埋設し、6号電気雷管を用いて爆発させた。センサの設置深さは、爆薬と同じ 30cm とし、その位置は、写真 2 に示すように爆発位置(爆源)から 40cm, 65cm, 80cm とし、各位置 2 箇所の異なる方向で計測を行った。発生した爆土圧は、小型圧力センサ(応答周波数 3.7kHz)で計測し、AD 変換器のサンプル間隔は 0.1ms とした。

## 3 実験結果および考察

### 3.1 圧力～時間関係

図 1 に、ケース 1, 2, 3 で得られた爆土圧波形のうち爆薬からの距離  $R = 65\text{cm}$  の場合について示す。これより、飽和度が大きくなるにつれ最大圧力が大きくなるのがわかる。ケース 1 のように飽和度が低い場合、爆土圧は緩やかに増加しピークを迎えた後、緩やかに減少する。ケース 2 のように飽和度が高くなると、土圧が急激に立上がり、正圧の継続時間はケース 1 と比較するとおよそ半分の短さになっている。

### 3.2 飽和度が最大爆土圧の値に及ぼす影響

図 2 は、最大爆土圧  $P_0$  と飽和度  $S$  の関係を示したものである。いずれの距離においても、飽和度の増大に伴い最大爆土圧も増加していることがわかる。本実験で得た最大爆土圧  $P_0$  と飽和度  $S$  の関係の回帰式は次式となった。

$$1) \text{ 距離 } R = 40\text{cm} \quad P_0 = e^{0.017S - 3.3} \quad (1a)$$

$$2) \text{ 距離 } R = 65\text{cm} \quad P_0 = e^{0.038S - 6.0} \quad (1b)$$

$$3) \text{ 距離 } R = 80\text{cm} \quad P_0 = e^{0.033S - 6.4} \quad (1c)$$

また、図 3 は、各飽和度における最大爆土圧  $P_0$  を、飽和度  $S = 51.6\%$  の時の最大爆土圧  $P_0$  の値で除した値(最大爆土圧増加率という。)  $P_r = (P_0/P_{0, 51.6})$  を飽和度  $S$  に対してプロットしたものである。図 3 によると、最大爆土圧増加率  $P_r$  の値は飽和度  $S = 80.7\%$  では 1.34 倍～2.25 倍であり、飽和度  $S = 97.9\%$  では 4.40 倍～5.63 倍にもなることがわかる。すなわち、土中の水分が増加すると、爆発によって生ずる爆土圧は急激に大きくなり、特に、飽和度 80～100%においては、その傾向が著しくなることがわかった。

## 4. 結言

(1) 模型地盤を用いた地中爆発実験において、地盤中の爆土圧は汎用の圧力センサーにより計測可能である。

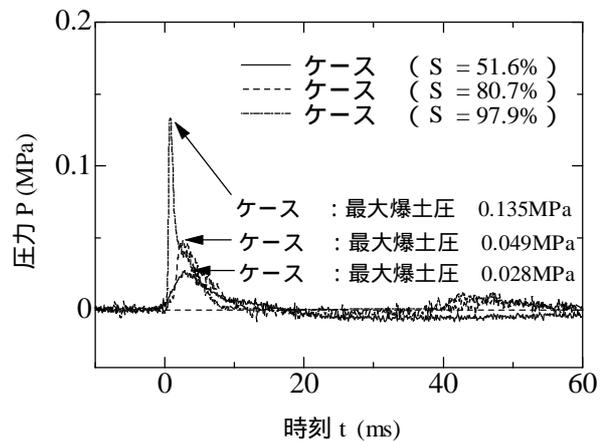


図 1 爆土圧波形 (R=65cm)

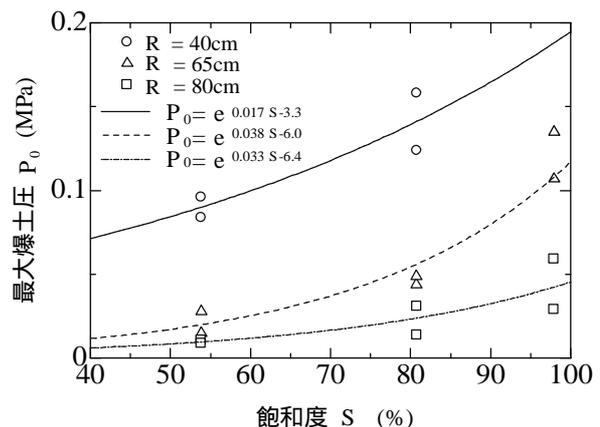


図 2 最大爆土圧  $P_0$  と飽和度  $S$  の関係

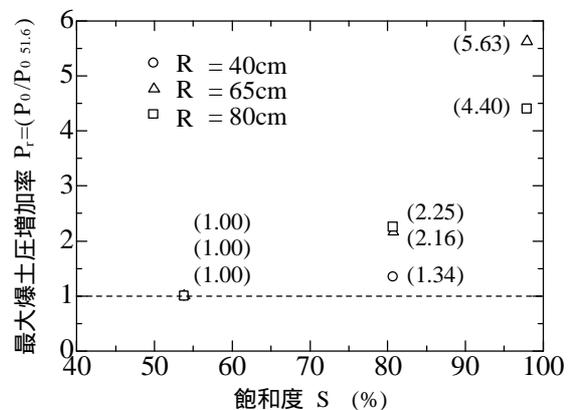


図 3 最大爆土圧増加率  $P_r$  と飽和度  $S$  の関係

(2) 地盤の飽和度が増大すると爆土圧が大きくなることがわかった。特に、飽和度  $S = 51.6\%$  と比較して  $S = 80.7\%$  では、最大爆土圧が 1.34 倍～2.25 倍に増加し、飽和度  $S = 97.9\%$  では 4.40 倍～5.63 倍にも増加することがわかった。

## 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.