地盤の飽和度が爆土圧特性に及ぼす影響に関する実験的研究

防衛大学校　学生会員　○市野　宏嘉
防衛大学校　正会員　大野　友則
防衛大学校　正会員　別府　万寿博

1. 序言

近年，世界のいたるところで爆発を伴うテロ事件が頻発しており，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，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．一方，このような施設を地下構造とすれば，地盤材料が爆発による衝撃力を緩衝する効果を利用して，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おいて入力荷重となる爆土圧（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 [1)]．したがって，使用する地盤材料が要求される防護効果を発揮するか否かを，実験により明らかにする必要がある．しかし，実規模での爆発実験は施設や安全性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 C4 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. 地盤を用いた地中爆発実験

実験に用いた実験装置を**写真-1** に示す．幅 180 ㎝，奥行き 180 ㎝，高さ 70 ㎝のベニヤ合板製の枠組の中に深さ 60 ㎝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 ρ_s=2.68 (g/cm^3)，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，模型地盤の飽和度を変化させて，**表-1** に示す 5 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 C4 爆薬 9.7g を模型地盤の中央部深さ 30 ㎝の位置で爆発させ，**写真-1** に示すように爆発位置（爆源）から水平距離 40 ㎝, 65 ㎝, 80 ㎝の位置に設置した小型圧力センサを用いて爆土圧を計測した．これらの圧力センサは，受圧部が地盤上面から深さ 30 ㎝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．

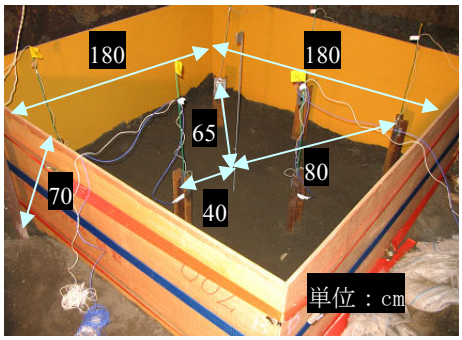

写真-1　実験装置（供試土充填前）

表-1　実験ケース

ケース番号	飽和度 S (%)	爆源からセンサまでの距離 D (cm)
Ⅰ	51.6	40,65,80
Ⅱ	80.7	40,65,80
Ⅲ	85.3	40,65,80
Ⅳ	93.9	65,80
Ⅴ	97.9	65,80

3. 実験結果および考察

3.1　爆土圧特性値の定義

爆土圧～時間関係の一例として，**図-1** に飽和度 S=80.7%のケースにおいて爆源からの距離 D=40cm で計測された波形を示す．爆土圧は，鋭い立ち上がりで瞬時に最大爆土圧を示した後，滑らかな曲線を描き低下していく．時間 12ms 以降では負圧を示し，その後再度正圧が生じているが，第二波以降は急激に減衰しており，最終的にほぼ静的な土圧に戻っている．

キーワード　飽和度，模型地盤，地中爆発，爆土圧
連絡先　〒239-0811　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

また，本研究では，爆土圧特性を表す指標を以下のように定義する．

(1) 最大爆土圧 P_0

爆土圧の中で最大の値をいう．圧力センサが 30cm の深さにあることから，深さ 30cm に相当する土かぶり圧を基準(P=0)としている．

(2) 正圧継続時間 t_c

爆土圧が立ち上がってから負圧を示すまでの時間をいう．

(3) 力積 I

正圧継続時間内の爆土圧を，積分した値をいう．

3.2　飽和度が最大爆土圧に与える影響

最大爆土圧 P_0 と飽和度 S との関係を図-2 に示す．爆源からの距離にかかわらず，飽和度が上昇すると，最大爆土圧は増加している．特に，飽和度 S=80%以上の領域における増加が著しいことがわかる．すなわち，飽和度 S が 51.6%から 97.9%に上昇した場合，爆源からの距離が 65cm および 80cm における最大爆土圧 P_0 は 4.4～5.3 倍に増加した．

3.3　飽和度が正圧継続時間に与える影響

正圧継続時間 t_c と飽和度 S の関係を図-3 に示す．いずれの距離においても，飽和度が上昇すると，正圧継続時間は短くなることがわかる．飽和度 S が 51.6%から 97.9%に上昇した場合，爆源からの距離が 65cm および 80cm における正圧継続時間 t_c は，0.28～0.44 倍になった．

3.4　飽和度が力積に与える影響

力積 I と飽和度 S の関係を図-4 に示す．全般的に，飽和度が上昇すると力積は多少増加する傾向がある．これは，飽和度の上昇に伴い正圧継続時間が減少する影響が反映されるので，飽和度が上昇した場合の力積の増加率はそれほど大きくならなかったものと考えられる．たとえば，距離 D=80cm においては，飽和度が上昇しても力積はほとんど変化していない．

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) 飽和度が上昇すると，最大爆土圧は増加する．

(2) 飽和度が上昇すると，正圧継続時間は短縮する．

(3) 飽和度が上昇すると，力積は多少の増加傾向を示す．

土質が爆土圧特性に与える影響の解明をさらに進めるため，今後は本実験で用いた供試土（山砂）以外の礫，粘土等，他の土質による検討が必要であると考える．

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.

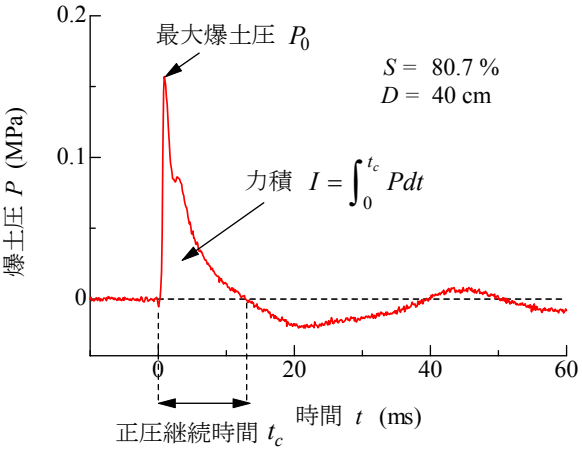

図-1　爆土圧波形

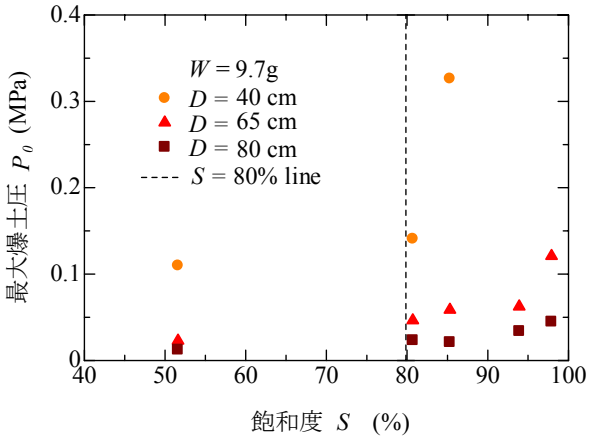

図-2　最大爆土圧と飽和度との関係

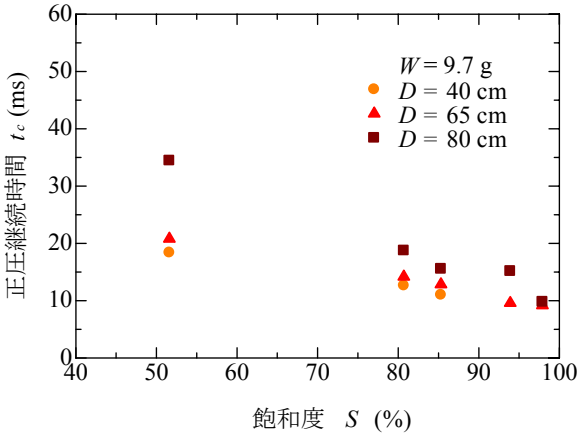

図-3　正圧継続時間と飽和度との関係

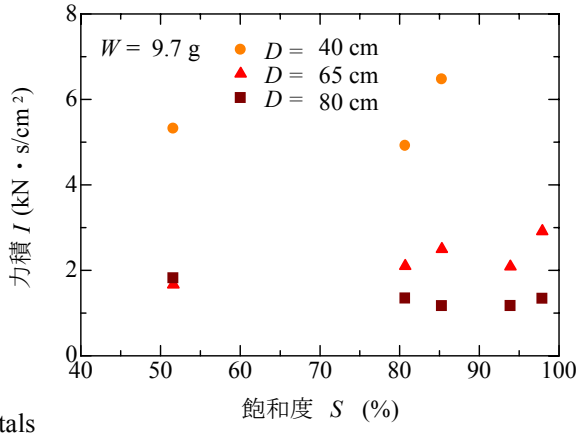

図-4　力積と飽和度との関係