

地盤の種類と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 防衛大学校 正会員 蓮江 和夫

1. はじめに

爆発災害が発生すると、極めて多くの死傷者が発生するうえ、構造物の機能が停止あるいは喪失されるため社会に大きな影響を与える。そこで、爆発に対して防護の対象となる構造物を地下に建設することにより、地盤が爆発による衝撃力を吸収あるいは緩和し、耐爆性の高い構造とすることが期待できる。耐爆性能を有する地下構造物を設計するためには、荷重条件となる爆土圧の特性を適切に評価することが必要になる。しかし、実規模での爆発実験を数多く実施することは困難なうえに、それに代わる小規模の模型実験の手法も確立されていないため、爆土圧のデータは蓄積されていない状況にある。

本研究は、砂およびシルトで作製した模型地盤を用いて爆発実験を行い、地盤の種類と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. 模型地盤を用いた地中爆発実験の概要

図-1 に示すように幅 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を作製した。供試土は、砂およびシルトの 2 種類とした。表-1 に供試土の粒度特性を示す。砂については、天日乾燥させ、飽和度の範囲を 12%~86% とした。シルトは乾燥させると塊状に固結してしまうため、自然の状態から加水して実験を行った。飽和度の範囲については、69%~94% である。各ケースの飽和度、間隙比（土粒子の体積に対する間隙の体積の比率）および湿潤密度（供試土の単位体積質量）の平均値を表-2 に示す。

供試爆薬には、直径と高さが等しい円柱形に成形した C4 爆薬 9.7g を用い、模型地盤の中央、深さ 30cm の位置で爆発させた。発生した爆土圧は、小型圧力センサー（荷重容量 1MPa）で計測した。センサーは、爆源から水平距離 40cm の位置に設置した。計測においては、AD 変換器のサンプル間隔を 0.1ms とした。

3. 実験結果および考察

(1) 実験結果の評価指標の定義

本研究では、爆土圧特性を代表する物理量として、図-2 に示す指標を選んで検討を行った。すなわち、計測された爆土圧の中で最大の値を最大爆土圧 P_0 とする。また、爆土圧が立ち上がってから負圧を示すまでに要した時間を正圧継続時間 t_d とし、正圧継続時間内の爆土圧を、時間積分した値を力積 I とする。

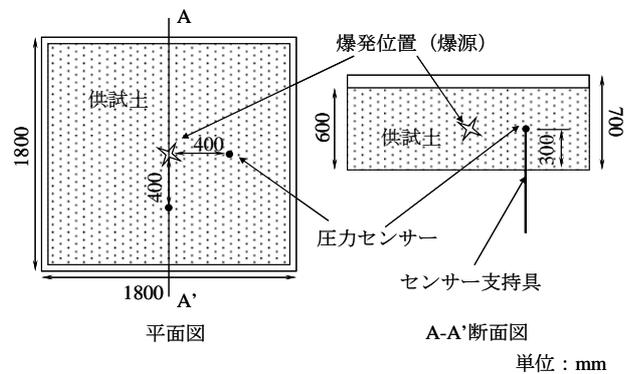


図-1 模型地盤の概要

表-1 供試土の粒度特性

供試土	礫分 %	砂分 %	シルト分 %	粘土分 %	平均粒径 mm
砂	3.5	96.2	0.3	0.0	0.40
シルト	0.5	25.5	67.5	6.5	0.055

表-2 各実験ケースにおける供試土の状態

供試土	砂				シルト																			
	飽和度 S (%)	間隙比	湿潤密度 (g/cm^3)	飽和度 S (%)	間隙比	湿潤密度 (g/cm^3)	飽和度 S (%)	間隙比	湿潤密度 (g/cm^3)															
	12	0.77	1.56	28	1.02	1.48	51	0.9	1.66	68	0.92	1.73	86	0.77	1.90	69	3.18	1.14	88	2.74	1.34	94	2.68	1.39

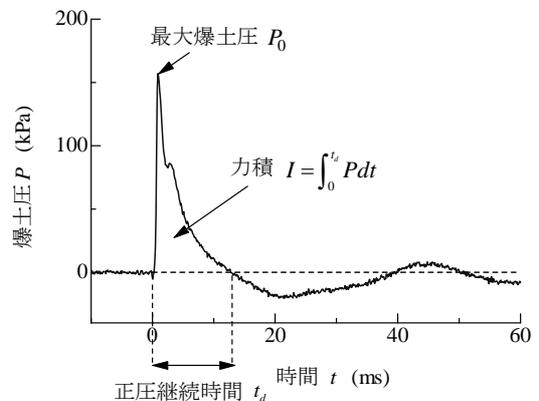


図-2 爆土圧評価指標の定義

キーワード 地中爆発, 模型地盤, 飽和度, 爆土圧, 距離減衰

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

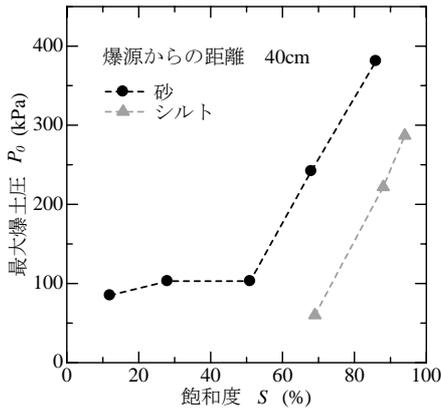


図-3 最大爆土圧と飽和度の関係

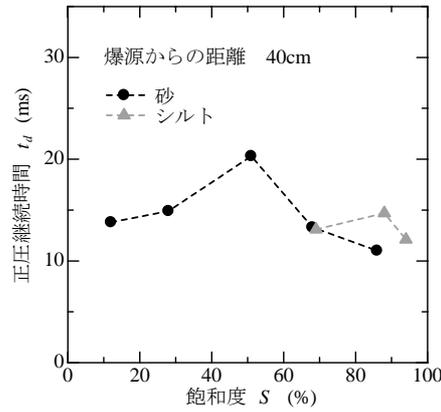


図-4 正圧継続時間と飽和度の関係

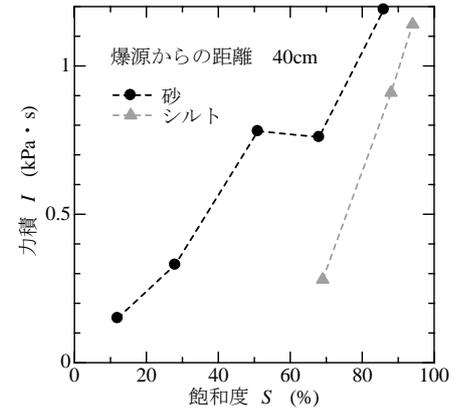


図-5 力積と飽和度の関係

(2) 地盤の種類と飽和度が爆土圧特性に及ぼす影響

1) 最大爆土圧

最大爆土圧 P_0 と飽和度 S の関係を図-3 に、その値を表-3 に示す。なお、これらの値は2個～5個の計測値の平均値を示している。最大爆土圧は、60kPa～381kPaの範囲で変化し、飽和度が上昇すると最大爆土圧は増加していることがわかる。たとえば、砂の模型地盤で飽和度12%の場合における最大爆土圧は85kPaであるが、飽和度が86%に上昇すると、最大爆土圧は約4.5倍の381kPaに達している。

飽和度約70%以上の領域における砂とシルトの最大爆土圧を比較すると、砂の最大爆土圧の方が大きいことがわかる。これは、同じ飽和度のとき、間隙比はシルトの方が大きく、湿潤密度は砂の方が大きいことに起因していると考えられる。すなわち、シルトは砂と比較して間隙が多い構造であるため、同じ飽和度であっても空気間隙量が砂よりも多い。したがって、爆発荷重を受けた際にシルトの方が大きな圧縮変形を示し、エネルギーの損失が大きくなると考えられる。さらに、シルトの場合は粘着力の抵抗によるエネルギー損失も加わるため、シルトの模型地盤では爆土圧の距離減衰が大きくなり、爆土圧が低下したと考えられる。

2) 正圧継続時間

正圧継続時間 t_d と飽和度 S の関係を図-4 に、その値を表-3 に示す。正圧継続時間は、約11ms～20msの範囲で変化している。砂の場合、飽和度12%で13.8msを示す。その後飽和度の上昇にしたがい正圧継続時間も増加し、飽和度51%で正圧継続時間は20.3msを示すが、その後は減少に転じる。シルトの場合、飽和度の上昇に伴う正圧継続時間の変化には明瞭な傾向は認められず、継続時間は約12ms～15msの範囲で変化している。

表-3 実験結果の一覧

供試土	砂					シルト		
	飽和度 S (%)	12	28	51	68	86	69	88
最大爆土圧 P_0 (kPa)	85	103	103	242	381	60	222	287
正圧継続時間 t_d (ms)	13.8	14.9	20.3	13.8	11.0	13.1	14.7	12.1
力積 I (kPa·s)	0.15	0.33	0.78	0.76	1.19	0.28	0.91	1.14

3) 力積

力積 I と飽和度 S の関係を図-5 に、その値を表-3 に示す。これより、砂、シルトともに、飽和度が上昇すると力積は増加する傾向が認められる。たとえば、砂の模型地盤で飽和度12%の場合における力積は0.15kPa·sである。飽和度が86%に上昇すると、力積は約7.6倍の1.14kPa·sに達している。

飽和度約70%以上の領域で砂とシルトの力積を比較すると、砂の方が大きい。しかし、飽和度の上昇に対する力積の増加率は砂よりもシルトの方がやや大きく、飽和度の上昇にしたがって砂とシルトの力積の差が縮小する傾向を示している。この理由は、次のように考えられる。飽和度約70%以上の領域において、最大爆土圧は、砂、シルトともに飽和度の上昇に伴って増加している。このとき、砂の継続時間は減少するのに対し、シルトの継続時間にはほとんど変化がない。この結果、シルトの力積の増加率が大きくなったと考えられる。

4. おわりに

土質によって最大爆土圧と力積の値は大きく異なり、砂とシルトを比較すると砂の方が大きい値を示した。これは、爆土圧の距離減衰が砂とシルトで異なることに起因したものと考えられる。