

京都大学工学部

京都大学大学院工学研究科

熊本大学衝撃・極限環境研究センター

学生員 ○片見 俊宏

建山 和由・平井 伸悟

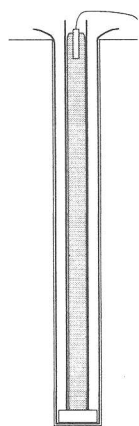
伊東 繁・長野 司郎

1. はじめに

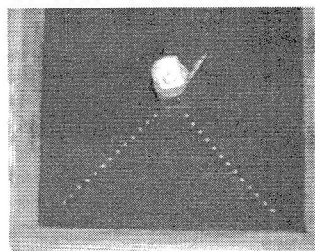
地盤内に直径 50mm 程度の小孔を掘り、この小孔を爆破の衝撃圧を利用して急激に押し広げることにより地下空洞を構築する工法を想定する。この技術をトンネルや基礎工事に応用すると、地盤掘削に伴う排土量を最小限に抑えて地下空洞を構築することができ、かつ、衝撃的に押し広げることによって空洞を作るため孔壁近傍の土が集中的に圧縮され¹⁾、安定した地下空洞を作ることができる。本研究では、前報に引き続き²⁾、室内実験によりこの技術の実現可能性を考察した。

2. 実験方法

実験は、熊本大学衝撃・極限環境研究センターの実験棟で、縦、横ともに 50cm、高さ 25cm（いずれも内寸）の木製土槽を用いて実施した。実験では、土槽内に薄層で試料土を撒きだして締固め、その中央に直径 5cm の円筒形の孔を鉛直に設けた。小孔の中にはその孔壁に密着するようメンブレンを入れて、その中に水を満たした（図 1）。小孔の中央には、直径 5mm のペンスリットと呼ばれる導爆線型爆薬をセットし、瞬発雷管で爆破した。試料作成時に土の中に直径 3mm の球形のマーカーと圧力波の伝播を計測するための圧



▲図 1



▲写真 1

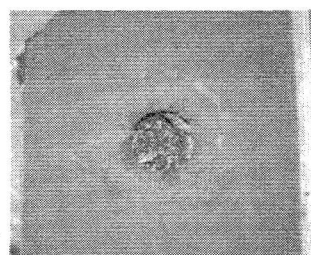
▼表 1

実験系	分類	D ₅₀	G _s	γ _t	ω
K1	砂質土	0.65	2.721	1.60	9.00
K2	粘性土	0.1	2.802	1.00	138.26
K3	砂質土	0.35	2.713	1.80	16.91
K4	砂質土	0.35	2.713	1.75	16.91

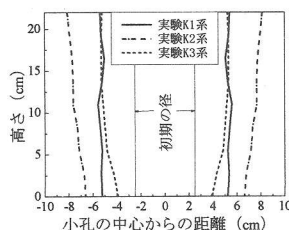
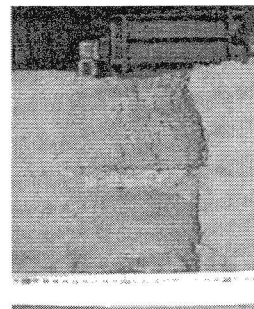
力センサーをセットし（写真 1）、爆破時の衝撃波の伝播と爆破による小孔周辺地盤の変形を計測した。また、土槽は分割できるため、実験後、試料土を鋼製エッジで切断し、押し広げられた小孔の断面を観察した。実験に用いた試料土は、3 種類で、表 1 にそれらの諸元を示す。

3. 実験結果

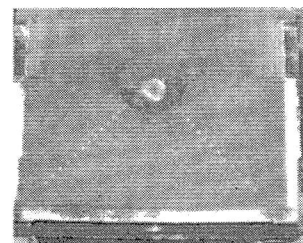
写真 2(a), (b) は、粘土試料に対する実験後の状態を表したものである。直径 5cm の小孔は、15cm ～ 16cm にまで押し広げられている。いずれの実験でも小孔は鉛直方向にほぼ均等に押し広げられているが、押し広げ後の孔の大きさは試料土により異なる。図 2 は 3 種類の実験結果を観察して、押し広げられた小孔の様子をスケッチした結果である。この図からわかるように、粘性土（K2）では、最大直径 16cm 程度にまで押し広げられているが、砂質土（K1, K3）では 12cm 程度にまでしか広がっていない。別途実施した一次元圧縮試験から、今回使用した粘土試料は砂質土に比べ



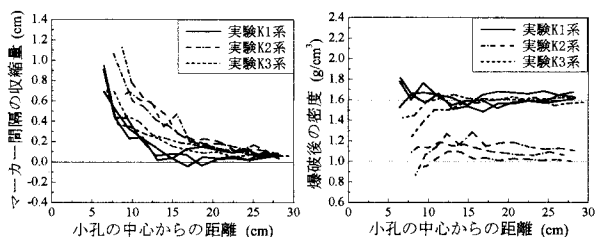
▲写真 2 左(a), 右(b)



▲図 2



▲写真 3



▲図 3

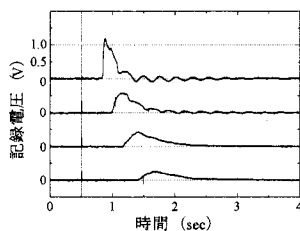
▲図 4

ると圧縮性が著しく高いことが明らかになっている。衝撃波による小孔の押し広げでは、地盤の圧縮性が押し広げ状況に大きな影響を及ぼすと考えられる。

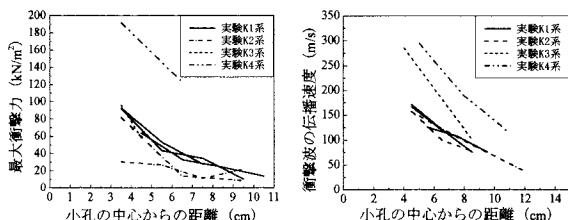
写真 3 は、実験後のマーカーの変位をカメラで写したものである。爆破により、小孔周辺の土は外へ押し広げられたため、各マーカー間隔は実験前に比べ小さくなっている。図 3 は、マーカー間隔の収縮量の分布を写真から読みとりプロットした結果である。試料土により若干の差はあるが、小孔の中心ではマーカーの間隔は大きく変化しているが、小孔の中心から 15cm ～ 25cm 離れるとマーカー間隔はあまり変化していないことがわかる。このことは、小孔の押し広げによる影響が、この範囲の土の圧縮で吸収されていることを意味している。

初期密度とマーカーの間隔の変化から押し広げ後の小孔周辺の試料土の密度分布を計算することができる。図 4 は、図 3 のマーカー間隔から計算した小孔周辺の土の密度分布である。小孔は押し広げられているため、周辺の密度は増加するはずであるが、いずれの試料土に対してもこのことは確認できなかった。この矛盾は、小孔が大きく押し広げられ過ぎたために孔壁にクラックが生じ、このため今回の計算式の適用範囲を超えてしまったことが大きな要因であると推測される。

図 5 は、圧力計測センサーの出力結果の一例である。各実験ともセンサーは 4 個用い、小孔の孔壁から 10, 20, 40, 80mm の地点にセットした。圧力波は、各地点とも図に示すようにある時点で急激に立ち上がり、ピークを迎えた後、なだらかに収束するという傾向を示している。ピークの値から計算した最大衝撃力を図 6 に、また各地点における立ち上がりの時間を追うことで計算した衝撃波の伝播速度を図 7 に示す。図 6 より明かなように、小孔の中心から遠ざかるにしたがって最大衝撃力が小さくなっている。これは、土の圧縮によって衝撃波のエネルギーが消費されたことと衝



◀図 5



▲図 6

▲図 7

撃波が幾何的に分散するためであると考えられる。図 7 を見ると、衝撃波の伝播速度も小孔の中心から遠ざかるにしたがって小さくなっている。これは、圧縮性の土中を伝播する衝撃波の特性に起因するためと考えられるが、詳細については現在考察中である。

4. まとめ

小孔の衝撃押し広げによる地下空洞構築技術の可能性について、爆薬を使った室内実験で考察を行った。その結果、少量の爆薬でも爆破の衝撃波により空洞を構築することが可能であることが明らかになった。ただし、構築される空洞の大きさは初期地盤の圧縮特性に影響を受けるとともに、爆破の特性に大きく依存することが予想される。今回の実験に用いた試料土の圧縮特性と実験結果との関係等について、引き続き考察を行うとともに、地盤中における衝撃波の伝播特性について詳細に検討を行う予定である。

最後に、本研究を行うにあたり、熊本大学の大谷順助教授、松本英敏技官から試料土と実験装置の提供等ご協力を得た。記して感謝の意を表する。

【参考文献】

- 1) 平井、建山：小孔の急速押し広げによるトンネル構築技術に関する基礎的研究，平成 13 年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集，pp.III-43-1 ～ 2，2001 年
- 2) 同上