

固結粒状材料を用いた発破に伴う応力の実験的検討

東京都市大学大学院 学生会員○佐藤芙美

東京都市大学 正会員 伊藤和也

(独) 労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 正会員 吉川直孝 正会員 平岡伸隆

1. はじめに

トンネル建設工事における労働災害は 1979 年以降、NATM の普及により劇的に減少したが、未だ労働災害発生率は全建設業に対するそれよりも高い値を示しており、死亡災害は毎年数件程度発生している¹⁾。その災害事例を分析した既往の研究²⁾では、トンネル建設工事中の労働者が肌落ちにより被災すると、重篤な災害となる場合が多いことが報告されている。また、肌落ち災害はトンネル建設工事特有の災害であり、山岳トンネルにおいて発破掘削方式を用いた現場で発生していることが示されている。本研究は、現行の施工方法を否定するものではなく、今後の施工の安全性を向上させるため、発破掘削前後の地山の応力挙動を把握することを目的としている。本報告は、豊浦砂を薬液により固結させた(以下、「固結粒状材料」)円柱供試体を用いた発破実験を実施し、発破に伴う応力挙動を検討したものである。

2. 実験および解析概要

本実験は発破の基礎的な実験として、固結粒状材料の円柱供試体と着火材と呼ばれる小型の電気雷管を用いて応力とひずみの挙動を把握するため実施した。また、その結果を個別要素法(以下、「DEM」)を用いて再現することで発破に伴う応力挙動を検討した。

(1) 供試体作製方法

円柱供試体は豊浦砂 ($\rho_s=2650\text{ kg/m}^3$, $e_{\max}=0.985$, $e_{\min}=0.611$) を薬液(パーマロック ASF-II)により固結させた。OHP シートを内張りにしたモールド内に薬液を半分まで注ぎ、豊浦砂をモールド内に空中落下させ作製した。その際、豊浦砂の相対密度は $D_r=80\%$ となるように作製した。薬液濃度は $S_c=10\%$ とした。図1に供試体の寸法を示す。養生後の供試体において、供試体の中央から左右に 5mm ずつ離れた箇所にそれぞれ 1 つずつ穿

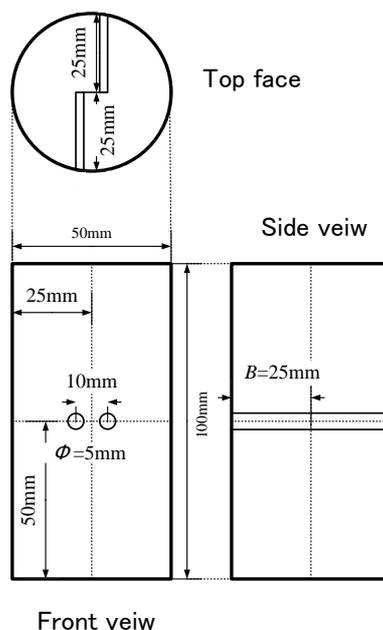


図1 供試体寸法

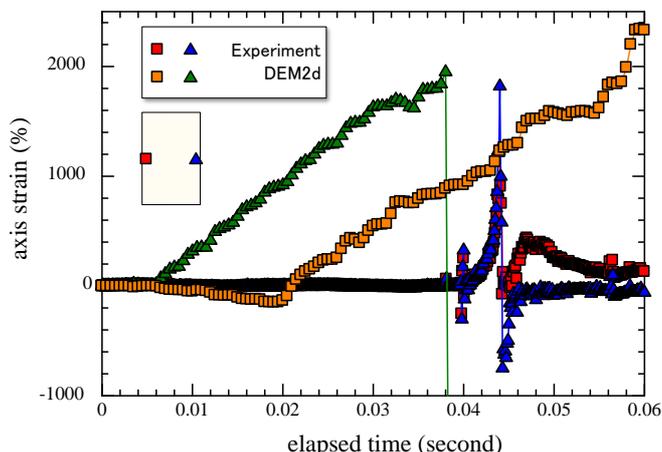


図2 ひずみと経過時間の関係

孔 ($\phi=5\text{mm}$, $B=25\text{mm}$) し、穿孔穴に 1 つずつ着火材を設置した。さらに、供試体の左右の側面にそれぞれひずみゲージを、供試体の底面には圧力計を設置した。着火材設置後の穿孔穴は豊浦砂で埋め、コンクリート用ひずみゲージ接着剤で固結させた。

キーワード 固結粒状材料 発破 応力挙動 個別要素法

連絡先〒158-0087 東京都世田谷区玉堤 1-28-7 TEL03-5707-0104 E-mail:g1681710@tcu.ac.jp

(2) 解析概要

本報告では Itasca 社の PFC2D ver5.0 を用いた。固結粒状材料における2次元DEMのパラメータの詳細な決定法は既往の研究に譲る^{3),4)}。円要素により、実験と同等の寸法(幅 $L=50\text{mm}$ 、高さ $H=100\text{mm}$)を有する供試体を作製した。実験では豊浦砂(平均粒径 $D_{50}=0.20\text{mm}$)を用いているが、解析において同等の粒径の円要素を用いた場合、計算コストが課題となるため、ここでは円要素の平均直径 $\phi=3\text{mm}$ とした。着火材によるガスの膨張作用は、実験と同等の位置に円形の壁要素を発生させ、その壁要素を膨張・収縮させることで表現した⁵⁾。供試体側面のひずみ値を測定するために、供試体側面の左右計4箇所(図2)の円要素のxy座標をモニタリングし、左右それぞれのひずみ量を算出した。本報告では、ひずみ値を計測する上で、初期高さを 50mm とした。これは、円要素の平均直径の16.7倍に相当する。実験においては、初期ゲージ長は 10mm であり、豊浦砂の平均粒径の50倍に相当する。解析においても実験と同等に初期高さを取るべきであるが、そのようにすると、供試体の高さ以上になってしまうためである。

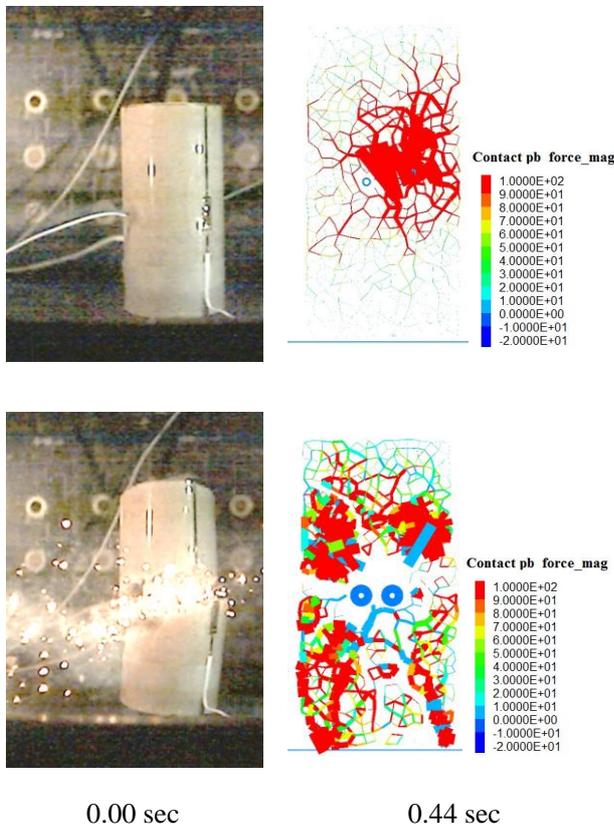


図3 供試体の発破シミュレーション状況

(左：実験状況，右：円要素間の接触力)

3. 実験および解析結果

各箇所(図2)のひずみ及び経過時間の関係を図2に示す。また、実験および接触力の解析状況を図3に示す。両図ともに、正の値をそれぞれ引張応力とした。図2から実験結果は、0.04秒付近において急激に上昇、低下し、直後に0に戻った。また、0.044秒で、ひずみ値は正の値を示しながら急激に増加した。これらは、まず先に弾性波(応力波)が供試体内に伝播し、その後にガスの膨張による作用によって引張破壊したことが示されている。解析値においても立ち上がり時間に相違がみられるが、ひずみ値の上昇を確認できた。図3より、供試体は水平方向に破壊した。これは、供試体の鉛直方向の高さよりも水平方向の断面積の方が小さいため、より小さい断面積の方で供試体は破壊したと推察される。さらに、解析結果による円要素間の接触力の分布を見ると、球状の壁要素の膨張が終了し、収縮に転じた後においても、引張り応力が作用していた。

4. まとめ

本報告では、固結粒状材料からなる供試体を用いた発破実験を実施した。その結果として、供試体は引張応力によって、より断面積の小さい水平方向から破壊することが推察された。また、円要素間の接触力の分布図より、要素レベルではあるが、発破後の供試体内において引張応力の残存が確認され、実験場においても発破後には岩盤同士の亀裂に存在する固結物には引張応力が残存している可能性が示唆された。一方で、実験値と解析値ではひずみ値の立ち上がり時間に相違が見られているため、今後、2次元DEMにおける弾性波の伝播等について検討する必要がある。

《参考文献》

- 1) 厚生労働省 HP, 職場の安全サイト, <http://anzeninfo.mhlw.go.jp>, (閲覧日 2016.03.01).
- 2) 吉川直孝, 伊藤和也, 堀智仁, 玉手聡: トンネル建設工事における労働災害の調査・分析～落盤・土砂崩壊災害の傾向～, 土木学会 安全問題研究論文集 Vol.5(2010.11).
- 3) 佐藤芙美, 伊藤和也, 吉川直孝: 2次元個別要素法のパラメータ決定方法の検討, 第12回地盤工学会関東支部発表会概要集(2015.10), CD-ROM, pp. 144-145.
- 4) 佐藤芙美, 伊藤和也, 末政直見, 吉川直孝: 固結粒状材料における2次元個別要素法のパラメータ決定方法の検討, 第43回土木学会関東支部技術研究発表会(2016.3), CD-ROM, pp. III-41.
- 5) 佐藤芙美, 伊藤和也, 吉川直孝: 2次元DEMによる固結粒状材料を用いた発破実験に伴う応力の検討, 第51回地盤工学研究発表会(2016.9 投稿中)