

# トンネル建設工事中の肌落ち災害事例とその再発防止対策

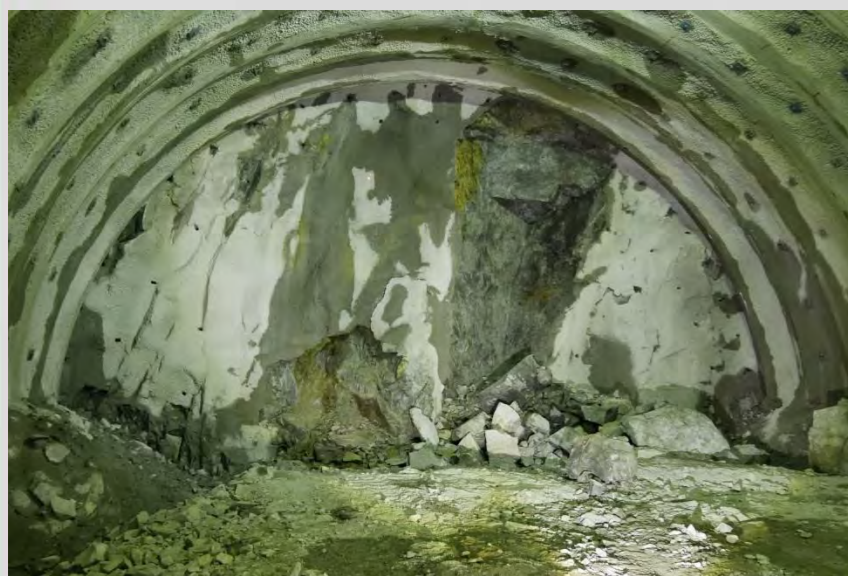
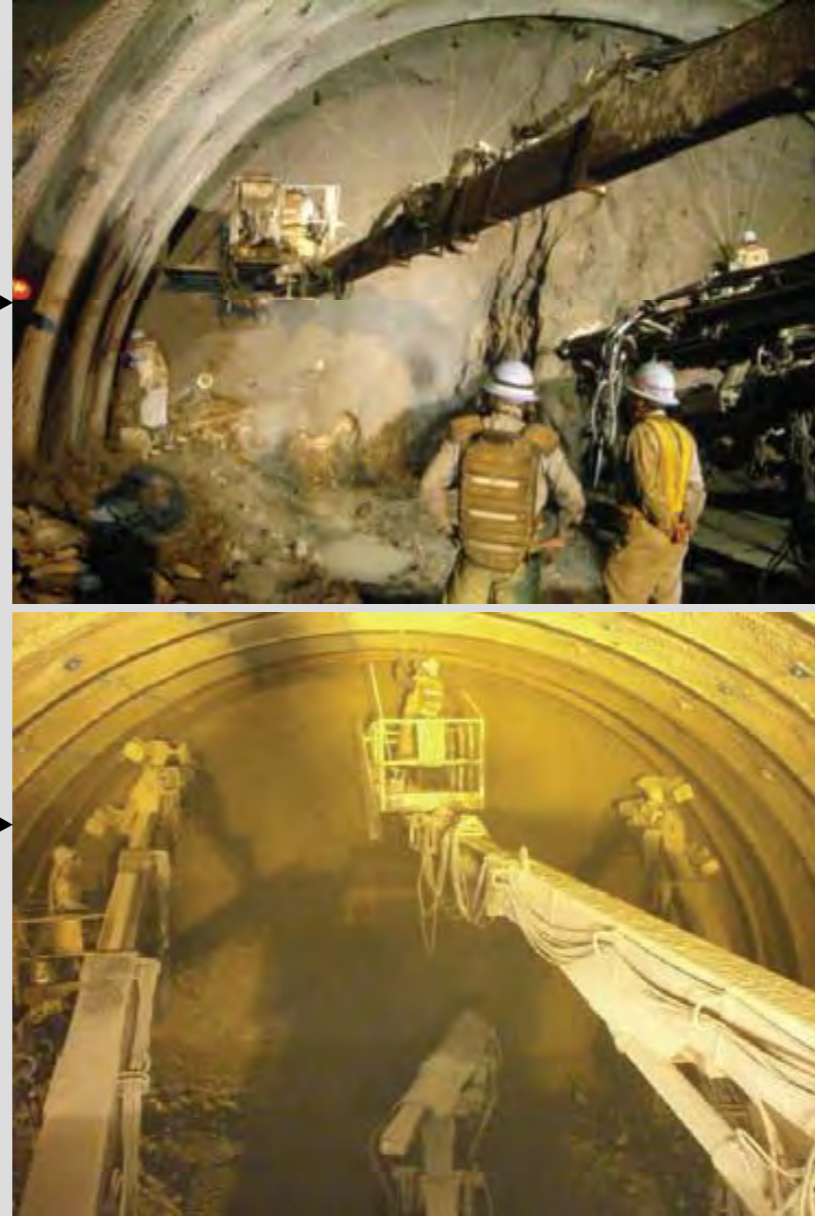
労働安全衛生総合研究所

建設安全研究グループ  
吉川直孝

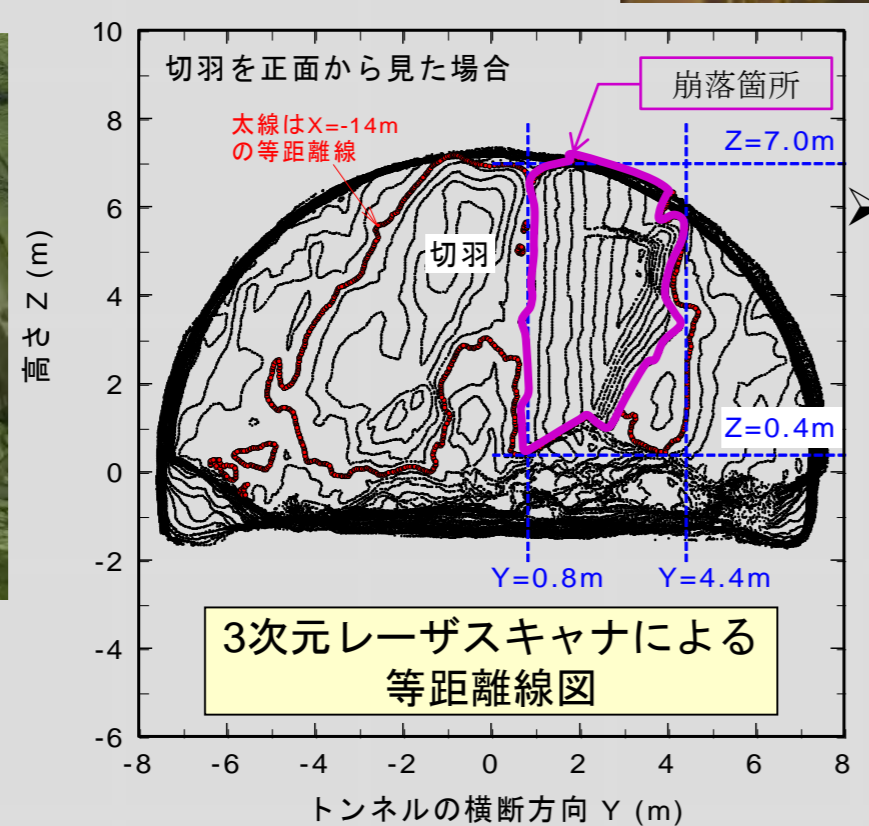
## 1. トンネル建設工事中の落盤（肌落ち）災害事例

➤ トンネル建設工事は、右に示すような施工手順で施工されますが、特に、爆薬や電気雷管を装薬孔に装薬する作業や鋼製支保工を設置する作業時に、掘削面から落盤（肌落ち）があり、被災する場合があります。

1. 削孔（さっこう）
2. 装薬（そうやく）
3. 爆破
4. ズリ処理
5. 支保工建て込み
6. コンクリート吹付け
7. ロックボルト打設

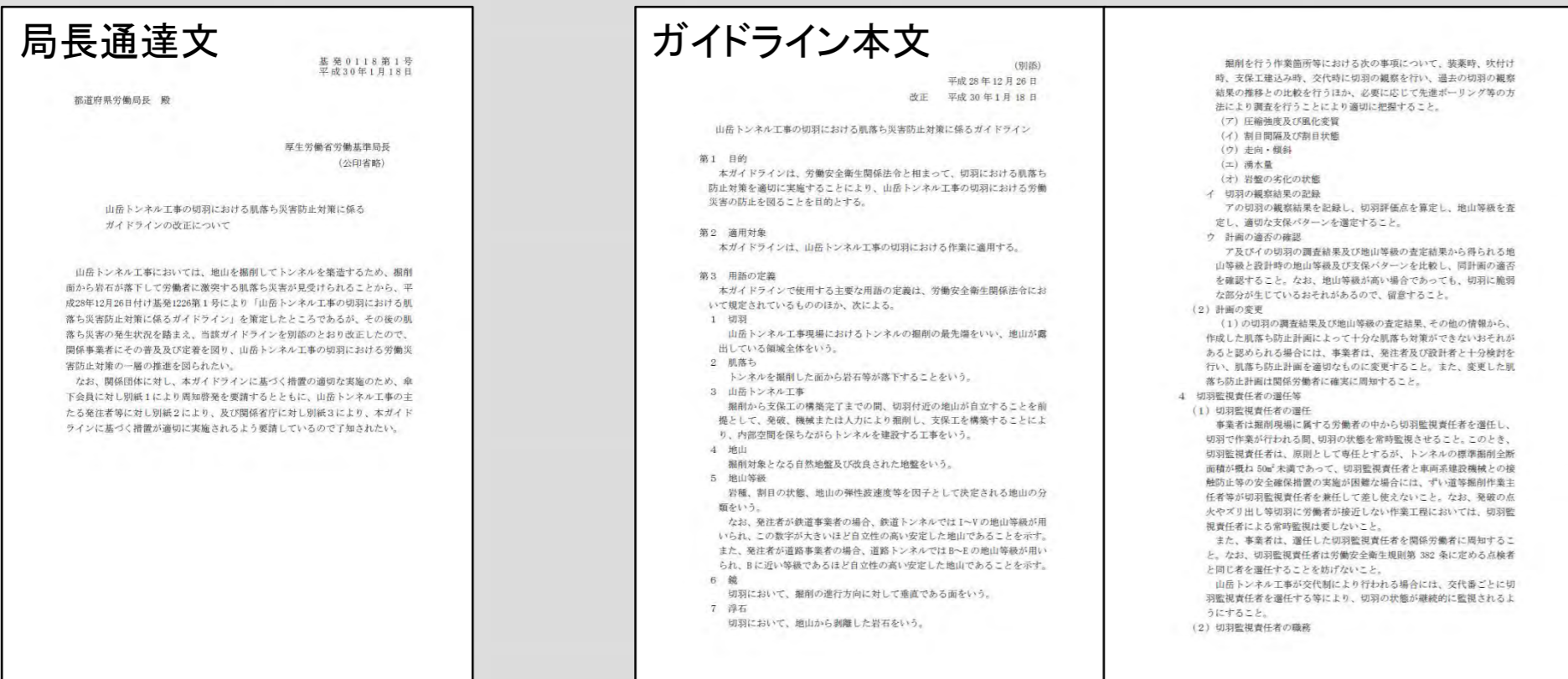


山岳トンネル建設工事中の落盤（肌落ち）災害（2015年）



左の写真は実際に掘削面から岩石が落ちてきた後の写真です。落盤した箇所が奥行き方向に凹んでいることがわかります。それを3次元レーザースキャナで計測すると、左の図に示すように高さ約6.6mもの岩石が落下したことがわかります。

## ◆ 山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン 平成30年1月28日付け基発0118第1号 厚生労働省労働基準局長通達



- 平成30年1月28日に厚生労働省から肌落ち災害防止対策についてガイドラインが発出されました。
- 同ガイドラインでは、切羽への立入禁止措置、完全な機械化の推進が謳われ、掘削面に対して様々な対策が示されています。その中には、掘削面に対して、吹付けコンクリートを打設することも含まれています。
- そこで、本研究では、吹付けコンクリートの押し抜き強度変形を評価することを目的としました。

## 2. 落盤（肌落ち）を表現するための押し抜き実験の概要

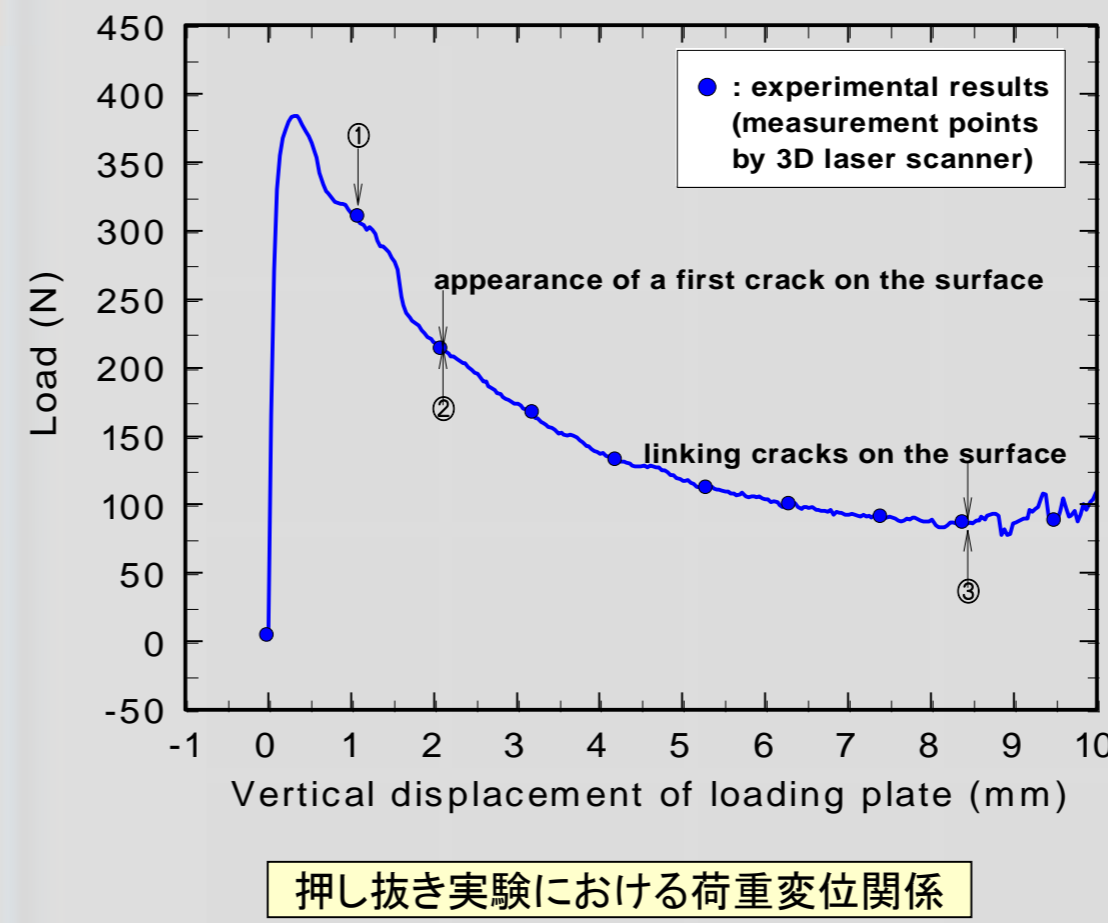
押し抜き実験装置

押し抜き実験前の様子

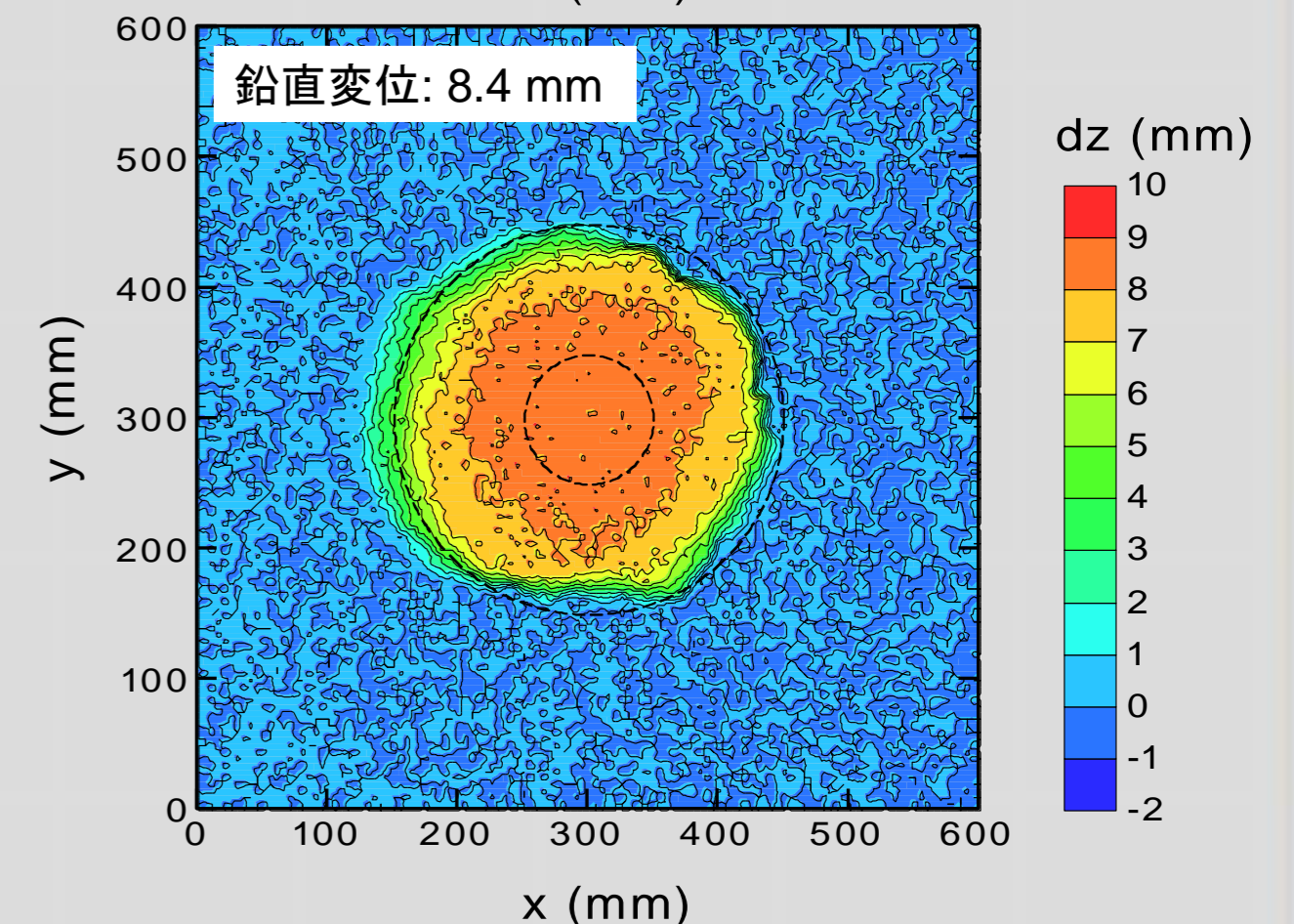
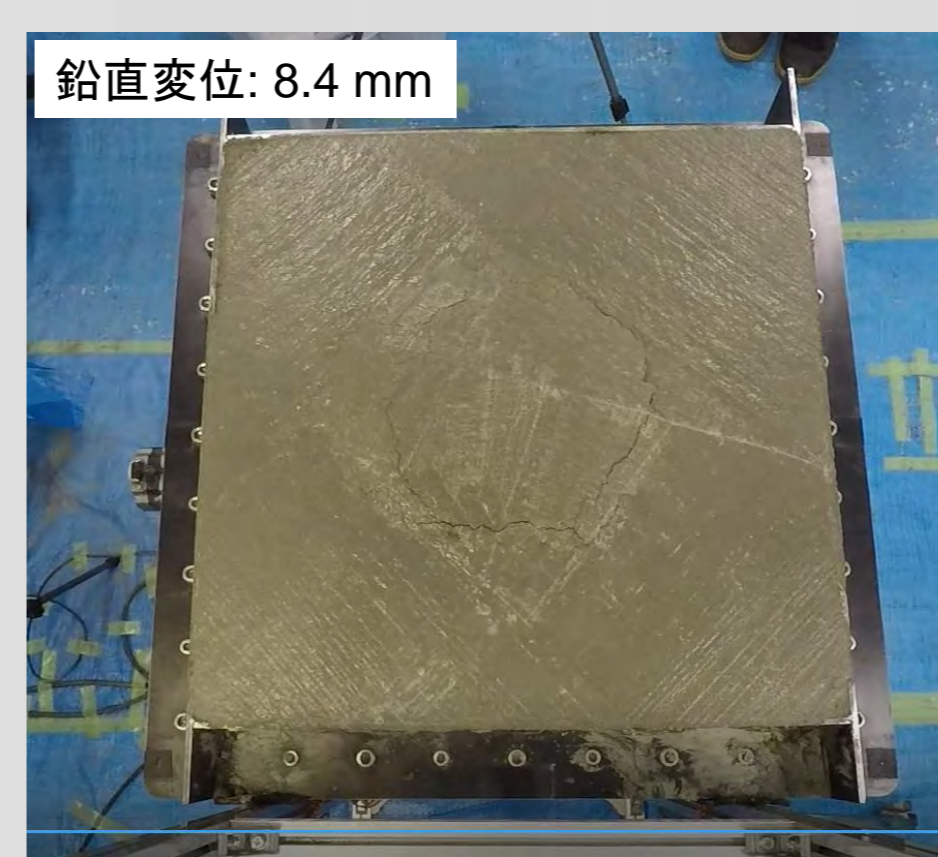
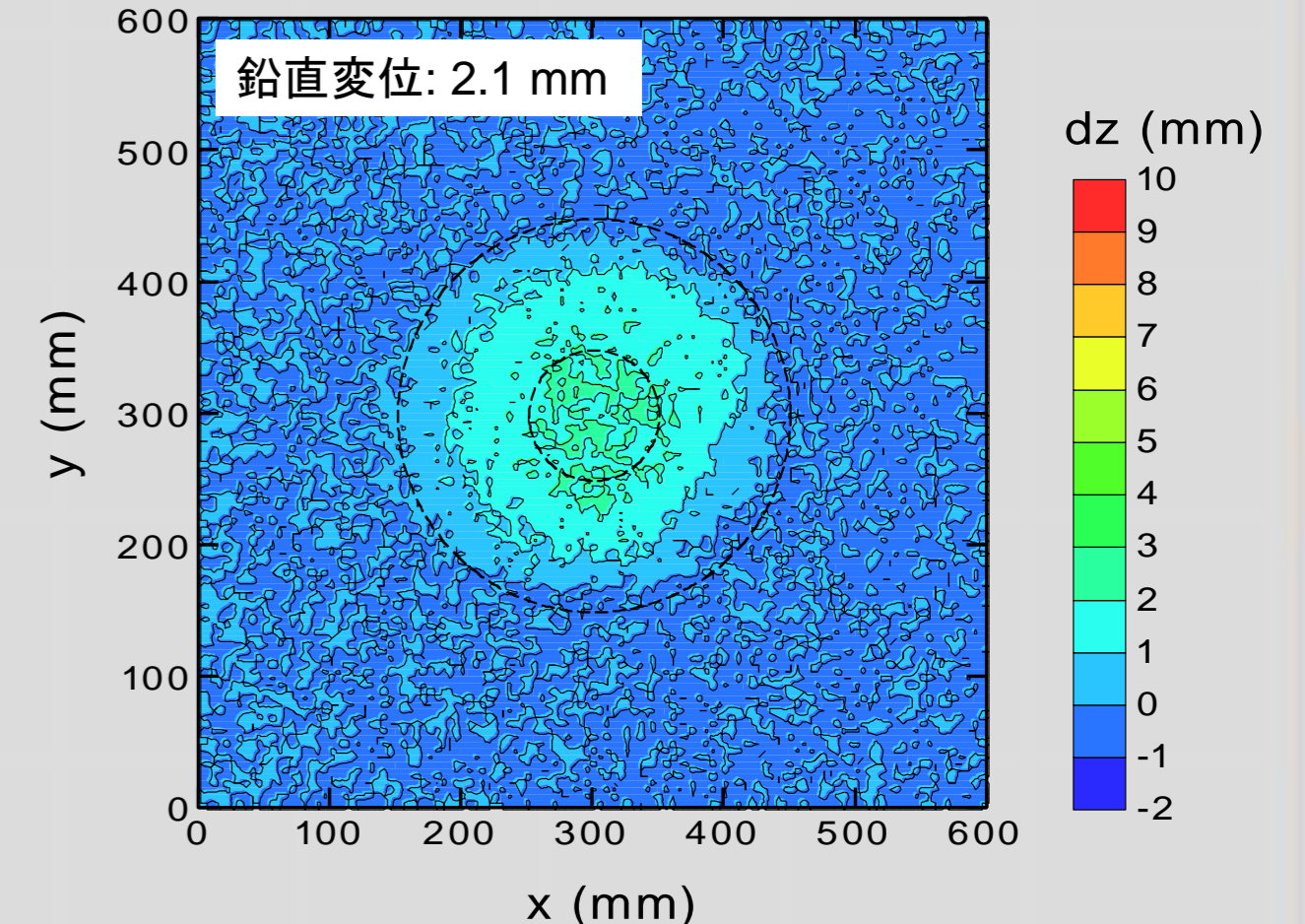
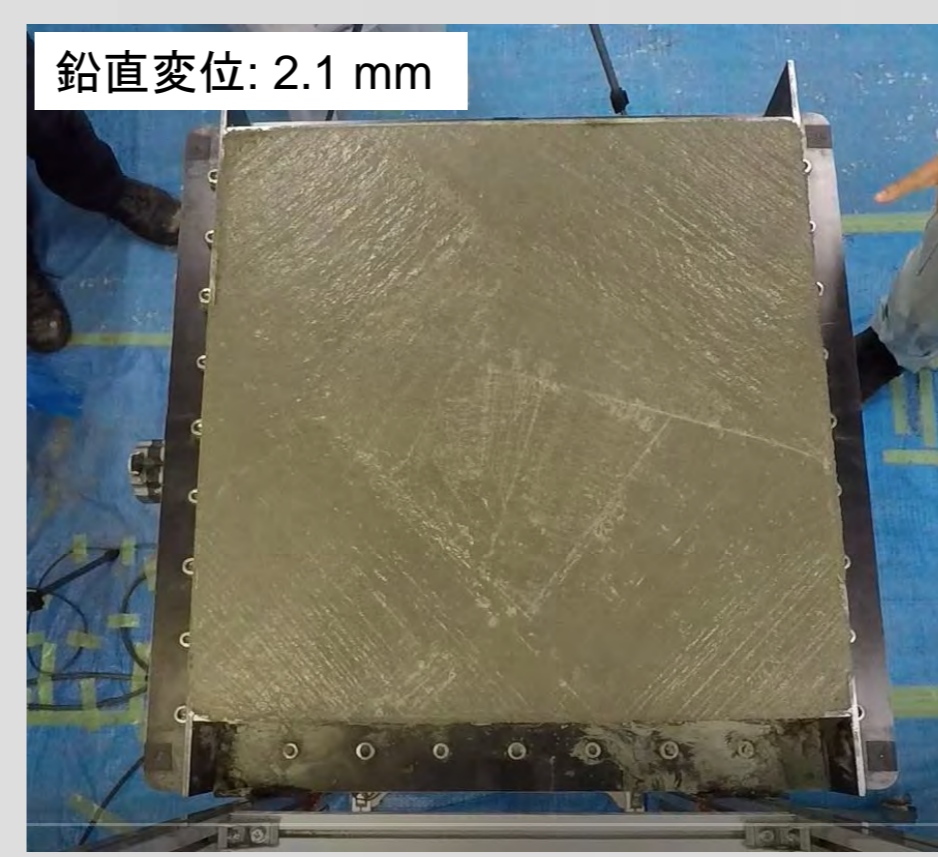
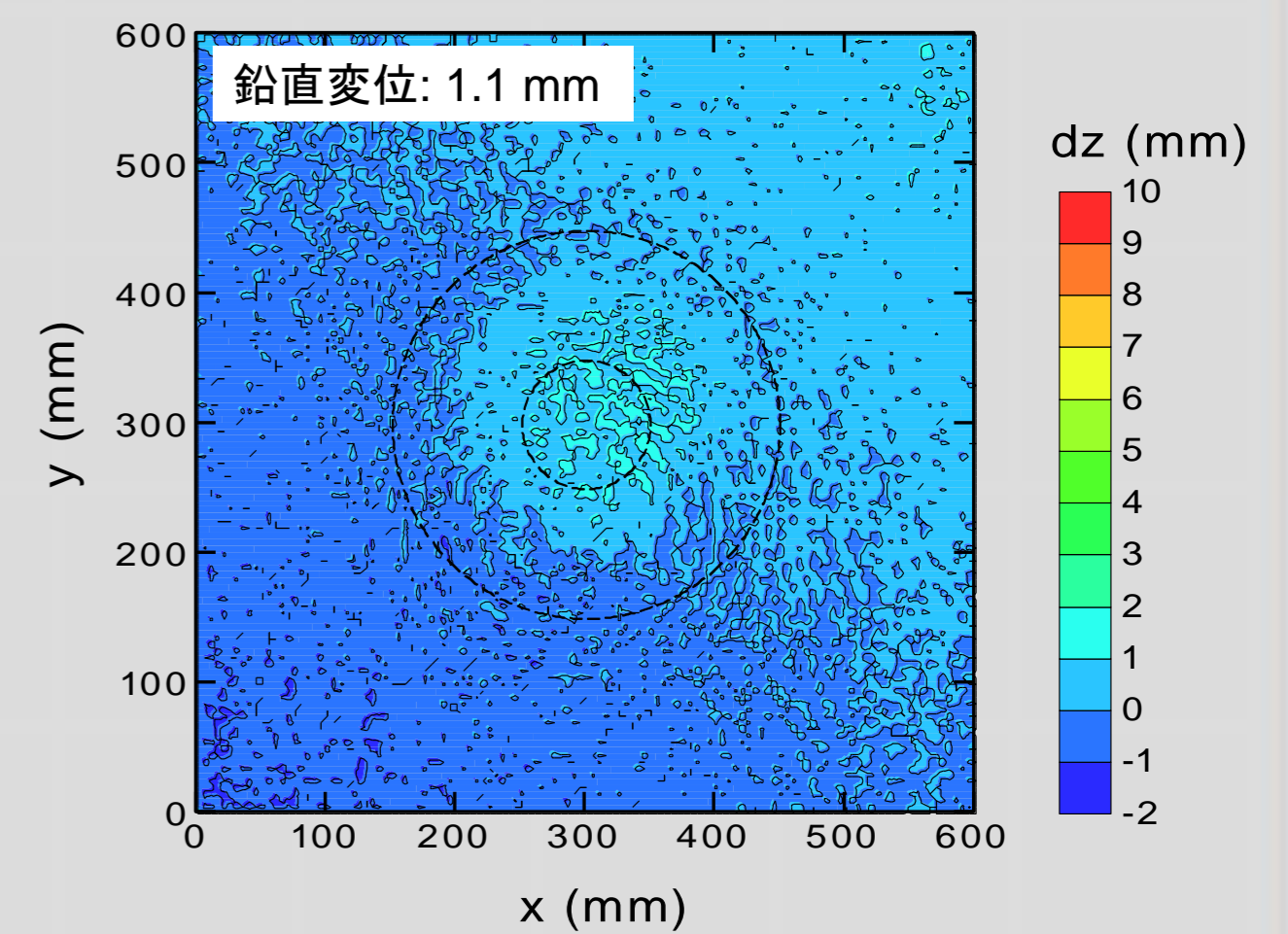
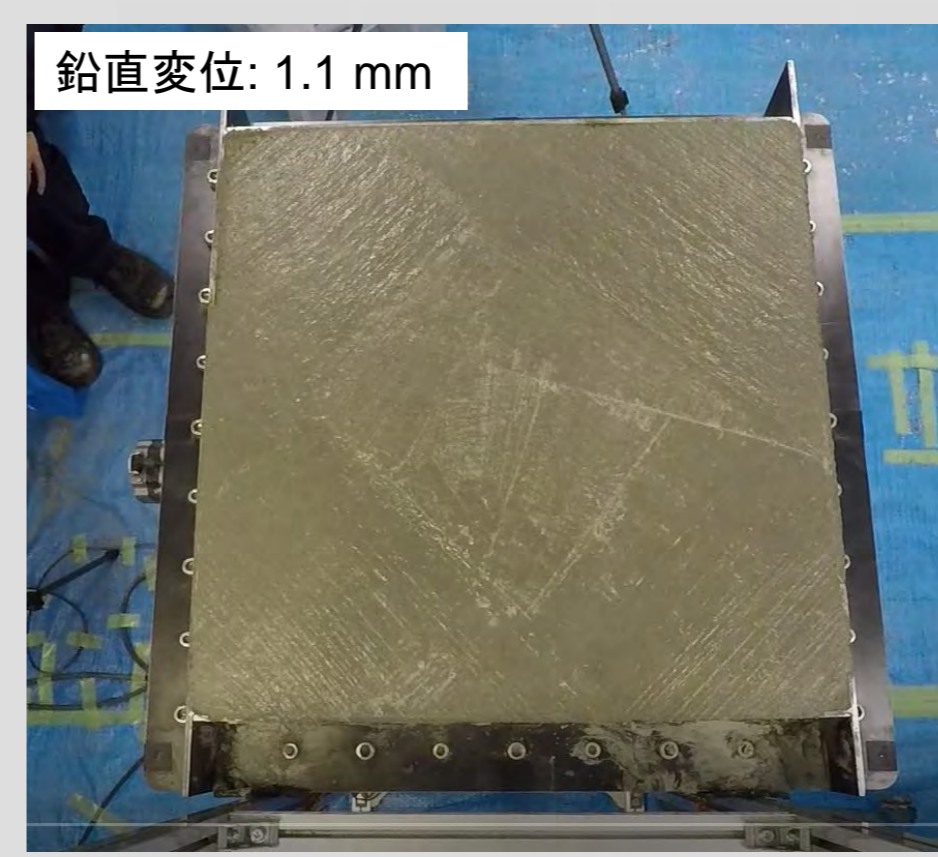
花崗岩の表面の3次元レーザースキャナ計測結果

- 落盤（肌落ち）を室内実験にて模擬するため、当研究所にて新たな押し抜き実験装置を開発しました。同装置の特徴として、型枠内に岩石を敷設し、中央部に落盤（肌落ち）を模擬した岩石を設置することで、掘削面からの落盤（肌落ち）を模擬した実験が可能です。
- 実験は、3次元レーザースキャナを用いて岩石およびベースコンクリートの表面を3次的に計測し、変形の詳細を評価しました。

## 3. 押し抜き実験結果

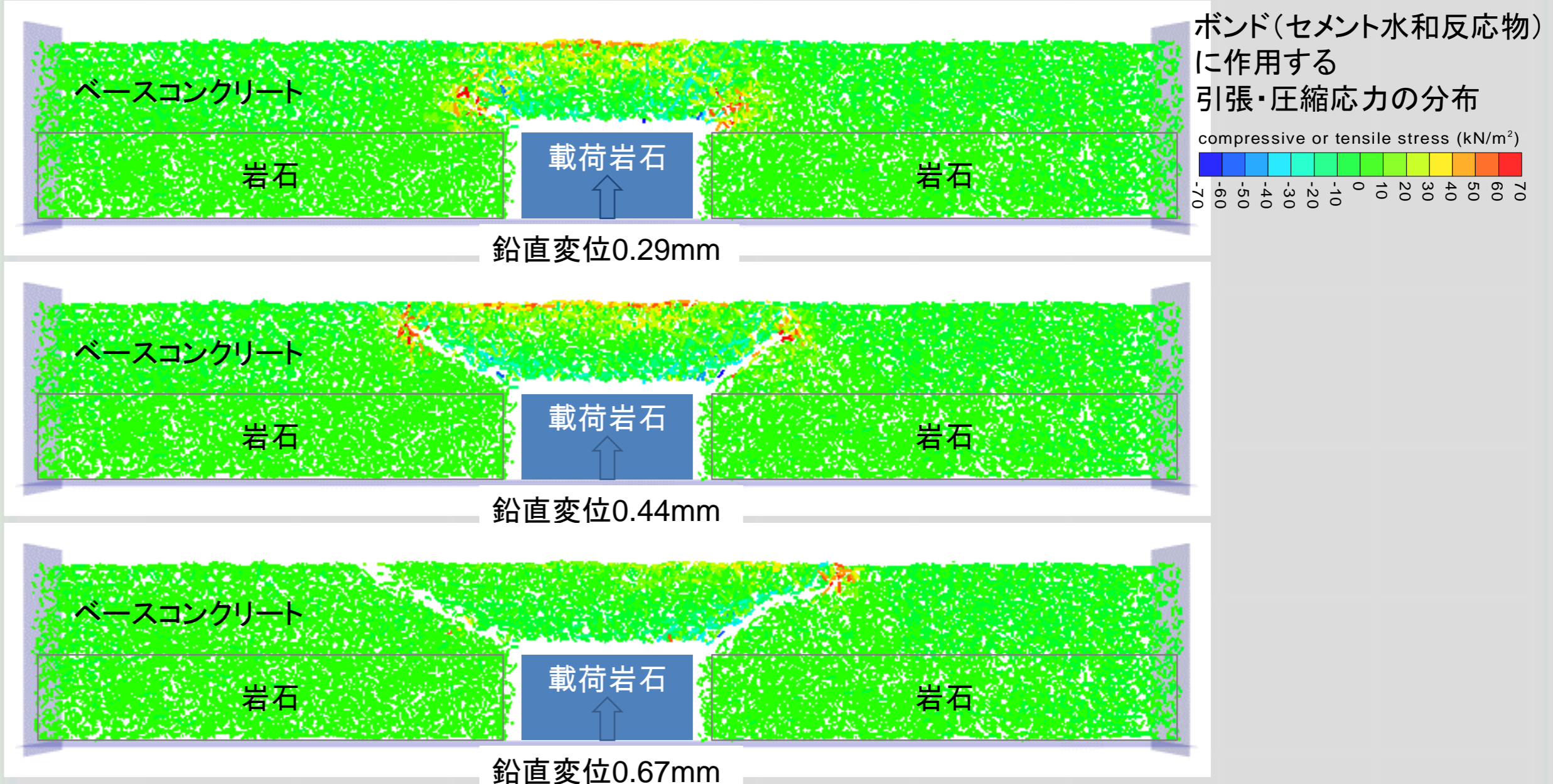


- 押し抜き実験時の荷重と変位関係を見ると、変位が0.3mm程度と非常に小さい変位で破壊していることがわかります。
- 一方、コンクリート表面に亀裂が現れるのは、変位が2mm程度であり、それが次第に拡大・進展し、表面上で亀裂が繋がるのは、変位が8mm程度であることがわかります。
- その時の変形性状を3次元レーザースキャナで計測した結果が下図になります。落盤（肌落ち）の岩石の直径に対して約3倍の変形領域であることがわかります。



押し抜き実験におけるベースコンクリートの表面の様子と3次元レーザースキャナによる3次元変位分布図

## 4. 個別要素法による押し抜き実験のシミュレーションおよび結論



- シミュレーション結果を見ると、落盤（肌落ち）岩石の端部のセメントペーストに引張応力が卓越していることがわかります。載荷をさらに継続すると、その引張応力によりセメントペーストが破壊し、さらに上部のセメントペーストが引張応力に対して抵抗することがわかりますが、その部分も耐えきれず破壊します。こういった過程を繰り返し、終には、コンクリートの表面上に亀裂が出現します。
- このように、コンクリート表面上に亀裂が出現した場合には、内部ですでに破壊している可能性がありますので、すぐに作業員を退避させる必要があります。