

ボーリング掘削におけるトラブル事例の分析 —岐阜県東濃地域における深層ボーリング孔での崩壊事例を対象とした取り組み—

日本原子力研究開発機構 正会員 ○榊永 幸介

日本原子力研究開発機構 非会員 天野 健治 國丸 貴紀

1. はじめに

地質環境調査の一環として実施されるボーリング調査においては、場所、時間、コスト、人的・技術資源などに制約が課されるほか、崩壊や湧・逸水、ガス噴出などの地質地盤環境に由来するリスクを常に伴う。特に、規模の大きな事象は、目的としたデータを取得する事無く調査を中止せざるを得ない可能性がある他、復旧や補償、追加調査に多大な追加コストを必要とする場合もある。このようなリスク評価は、一般に想定されるトラブルを事前に同定し、リスクを見積もることによって行われ、許容できないレベルのものに対しては、回避もしくは低減するための対策が施される¹⁾。地質リスクに関しても、近年様々な評価事例が増えてきており、適切な質・量の地質調査の実施と地質学的解釈等の重要性が指摘されている²⁾。また、深刻なトラブルほど事例が少なくなることから、トラブルの予測に必要な事前情報の欠如や見落とし等の問題も生じやすくなると考えられる。そこで、本研究では、実際のボーリング調査で経験したトラブル事例を精査し、トラブルの種類、発生原因、対策等を整理するとともに、崩壊事例に着目したトラブルの発生頻度や特徴等を評価した。なお、本研究は、平成22年度経済産業省資源エネルギー庁からの受託成果の一部である。

2. トラブルの事例

日本原子力研究開発機構では、結晶質岩を対象とした深地層の科学的研究の一環として、岐阜県東濃地域において、掘削長が500m以上の深層ボーリング調査を計19箇所（掘削総長：17.5km）で実施している。その内、計13箇所の深層ボーリング調査結果（掘削総長：11.5km）を整理した結果、ボーリング掘削中のトラブルとしては、逸水、崩壊、孔径拡大、掘削ツール及び調査機器の抑留などが計136件発生しており、程度の差はあるものの全てのボーリング孔で認められる（図1）。

事例収集では、ボーリング調査結果をとりまとめた報告書と日報に基づき、発生場所、発生状況、発生原因、対処方法、対処結果などに関する情報を整理した。対処方法に関するノウハウや判断根拠など十分な記載が確認できない事項については、当時の調査担当者への聞き取り調査を行い、それらの結果を事例ベース推論が可能なデータベースとして構築した。なお、トラブルの内、逸水と崩壊に係るものが全体の約60%を占めており、工程に最も影響の大きかった事象としては、掘削ツールの抑留（復旧作業期間：約3ヶ月）が挙げられる。

3. 崩壊事例の整理・分析

本研究では、ボーリング掘削中のトラブルの内、孔壁崩壊事例を分析の対象とし、本地域の基盤である白亜紀の土岐花崗岩³⁾を掘削している深層ボーリングの内、対象領域内の断層分布等を考慮して、DH-9号孔（孔口標高275.42m、掘削長1,030m）、DH-12号孔（孔口標高137.39m、掘削長716m）およびDH-13号孔（孔口標高277.51m、掘削長1010m）を選定し、これらの調査結果⁴⁾を利用した。

崩壊事例は、調査報告書等の記載事項に基づき、抑留・崩壊防止セメンチングを行ったと記述されている区

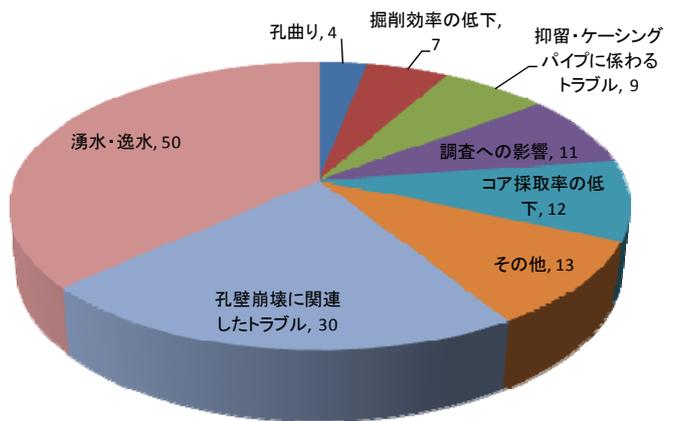


図1 トラブル事例（数値は事例の件数）

間（保孔が必要な崩壊），単に崩壊物や崩壊押し出しが認められたと記述されている区間（保孔の必要が無い崩壊），崩壊の定義には該当しないがコアが流出したと記載されている区間（コア流出区間）の3つに分類できることが分かった．前者の2つの崩壊は，DH-9号孔で100mあたり0.6箇所，DH-12号孔で100mあたり0.4箇所，DH-13号孔で100mあたり0.4箇所であり，3孔ともほぼ同程度の頻度で崩壊が発生している．

一方，ボーリングコア観察や孔壁画像観察の結果から，DH-9号孔の深度230-238mの岩脈分布区間を除いて，いずれの崩壊区間においても顕著な割れ目の発達や変質作用を認めることができた．そこで，崩壊区間に分布する割れ目の密度や方向性の傾向を確認するとともに，物理検層値（1m深）を利用して孔径拡大や弾性波速度の変化など岩盤物性との関連性を主成分分析やクラスター分析等の手法を用いて評価した．その結果，割れ目帯中の崩壊箇所は，中程度（クラスター2,3,4）に区分される岩盤中の特定のスコア範囲に発生していることが明らかとなった（図2）．また，いずれの崩壊も割れ目帯の下部もしくは下部付近に多く発生している

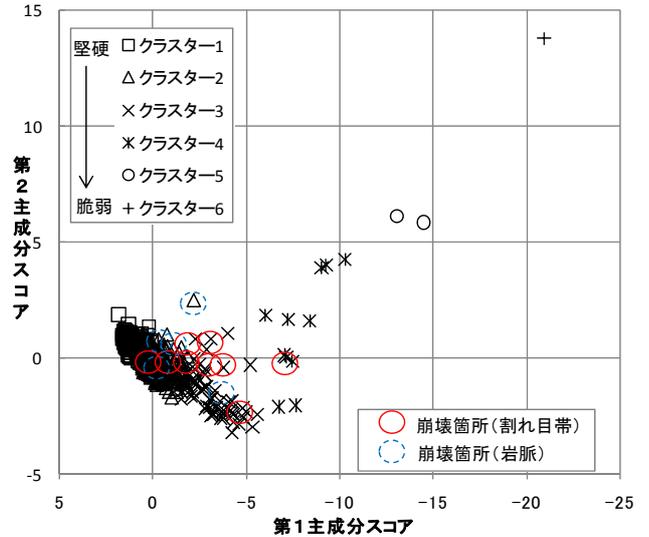


図2 主成分・クラスター分析結果 (DH-9)

表1 割れ目帯中の崩壊箇所一覧

ボーリング孔名	割れ目帯 深度(m)		崩壊区間 深度(m)		割れ目帯中の位置	最大割れ目密度(本/m)	割れ目の方向(割れ目帯)	
	198	230	230	238			走向	傾斜
DH-9	198	230	230	238	下	4	N53W	85S
	803	865	848.7	851.0	下	2	N25W	86E
			861.0	865.0	下	2		
DH-12	170	211	195.6	-	中央	6	N41W N62W	79N 32NE
	468	472	467.7	469.5	上	2	N23W N51W	74E 84NE
DH-13	93	101	100	-	下	1	N39W	78NE

（全体の約90%以上）とともに，本地域の最大主応力軸と同一の北北西～北西走向の割れ目が多く観察される（表1）．以上のことから，本地域の崩壊の多くは，不規則的（ランダム）な事象ではなく，特定の規模，方向性，変質度を有した割れ目帯や断層の分布に起因するものと解釈される．したがって，崩壊の原因になる割れ目帯や断層の3次元分布を事前に構築し，掘削予定地点での遭遇状況を予測することにより，崩壊区間をより具体的に特定できる可能性がある．更に，掘削中のボーリングコアの割れ目頻度や方向性，岩盤物性等を掘削中に測定することにより，崩壊する可能性の高い区間を事前に検知できる可能性も有しており，リスク回避のための対策判断（掘削中止・中断，保孔など）を迅速に支援する情報としての活用が期待される．

4. まとめと今後の課題

岐阜県東濃地域で実施したボーリング掘削中のトラブル事例の整理・分析により，トラブル事例の一つである崩壊の多くは，特定の地質構造に集中して発生していることが分かった．今後は，トラブルシューティングのルールベース化等を通じて，システムの利便性を更に高めるとともに，3次元地質モデル等を活用したリスク評価手法の精度向上を図る予定である．

参考文献

- 1) 向坂政男：“よくわかるリスクアセスメント-事故未然防止の技術-”，中災防新書（2003）．
- 2) 脇坂安彦：“リスクマネジメントにおける地質学的解釈の重要性”，地質ニュース，675号，pp. 52-56（2010）．
- 3) 糸魚川淳二：“瑞浪地域の地質”，瑞浪市化石博物館専報，第1号，pp. 1-50（1980）．
- 4) 三枝ほか：“超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階（第1段階）研究成果報告書”，JAEA-Research 2007-043（2007）．