

愛媛大学工学部 フェロー会員 稲田善紀
愛媛大学工学部 正会員 木下尚樹
愛媛大学大学院 学生員 篠原淳一
愛媛大学大学院 学生員 ○佐藤善政

1. はじめに

近年我が国では、生活水準の向上によりエネルギー消費量は高い伸びを示している．そこで、省エネの一環としてゴミ焼却時に発生する廃熱を利用して水を熱水に変え家庭への給湯，地域暖房等多目的に利用することが考えられる．この場合，一日の時間帯や季節による使用量の変動に影響を受けることなく，安定した熱水の供給を行うための一時的な貯蔵が必要となる．その一つの方法として，地山岩盤内に空洞を設け熱水を直接貯蔵することが考えられる．しかし，この場合，熱水を貯蔵することによって空洞周辺岩盤には温度分布が生じ，それに伴う熱応力が発生することが予想され，空洞の安定性が問題となる．

本研究では，空隙率および含水状態の異なる 5 種類の岩石について高温下における強度・変形特性および熱物性値を実験により求め，その結果を比較し考察する．また，これらの値を用いて温度分布および応力分布を解析により求め，熱水貯蔵時の空洞周辺岩盤の挙動について考察する．

2. 実験に使用した試料

本実験に用いた試料は，空隙率の異なる 5 種類の岩石，花崗岩（愛媛県越智郡宮窪町大島産），安山岩（愛媛県上浮穴郡久万町産），砂岩（福岡県大牟田市産），凝灰岩（栃木県宇都宮市産）および泥岩（神奈川県相模原市産）である．供試体を一軸圧縮試験用にはφ3×6 cm，圧裂引張試験用にはφ3×3 cmに成形し，以下に示す 2 通りの方法で処理したものを用いた．

- ①室内で 1 週間自然乾燥させ，さらにデシケータ内で 1 週間乾燥する．
 - ②花崗岩，安山岩，砂岩の場合は①の状態のものを蒸留水を満たしたデシケータ内で真空ポンプにより 5 時間脱気し，凝灰岩および泥岩の場合は同様に真空ポンプで 1 時間脱気する．
- 以後，①の状態のものを“Dry”，②の状態のものを“Wet”と呼ぶことにする．各岩石の物理的性質を表 1 に示す．

3. 高温下における岩石の強度・変形特性および熱物性値

高温下における岩石の圧縮強度を図 1 に示す．温度上昇に伴い強度が低下していることがわかる．これは温度上昇に伴う岩石の構成鉱物粒子の熱膨張の差異によって助長される潜在的マイクロクラックの拡大が原因だと考えられる．また，各岩石の Dry と Wet を比較すると，Wet の方が強度が小さいことがわかる．これは，供試体表面から間隙内に水が侵入したことにより，荷重をかけた際に間隙水圧が発生し破壊を促進させたことが大きな要因と考えられる．圧裂引張強度においても同様の傾向がみられた．次に，圧縮試験の際に得られ

表 1 岩石の物理的性質

岩石	空隙率 (%)	含水比 (%)	飽和度 (%)	見かけ比重	真比重
granite(Dry)	0.80	0.09	28.54	2.650	2.669
granite(Wet)	0.80	0.24	81.32	2.654	2.669
andesite(Dry)	5.60	0.91	41.02	2.549	2.665
andesite(Wet)	5.60	1.94	88.33	2.594	2.665
sandstone(Dry)	8.12	1.46	16.77	2.400	2.616
sandstone(Wet)	8.12	3.42	96.89	2.488	2.616
tuff(Dry)	37.09	1.39	5.76	1.560	2.446
tuff(Wet)	37.09	24.01	99.62	1.908	2.446
mudstone(Dry)	39.42	1.31	5.42	1.631	2.692
mudstone(Wet)	39.42	21.90	99.62	2.015	2.692

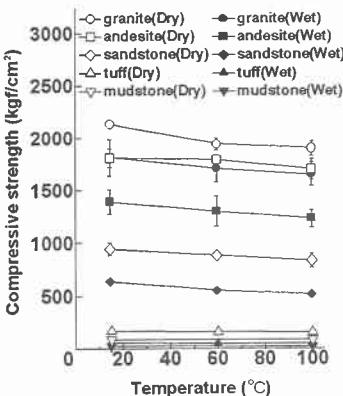


図 1 圧縮強度

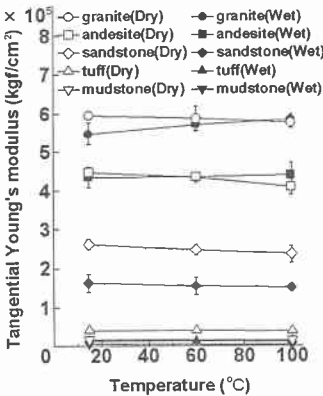


図 2 接線弾性係数

た応力-ひずみ曲線より求めた各岩石の接線弾性係数を図2に示す。温度上昇に伴い値が低下する傾向がみられた。また、凝灰岩および泥岩の接線弾性係数は他の岩石に比べてかなり小さいことがわかる。

要素分割法¹⁾に実測値を適用させる方法により高温下における各岩石の熱拡散率を求めた結果を図3に、また熱伝導率を図4に示す。空隙率の比較的大きい凝灰岩および泥岩において水の影響を大きく受け、DryとWetを比較した場合その差に大きな違いがみられた。

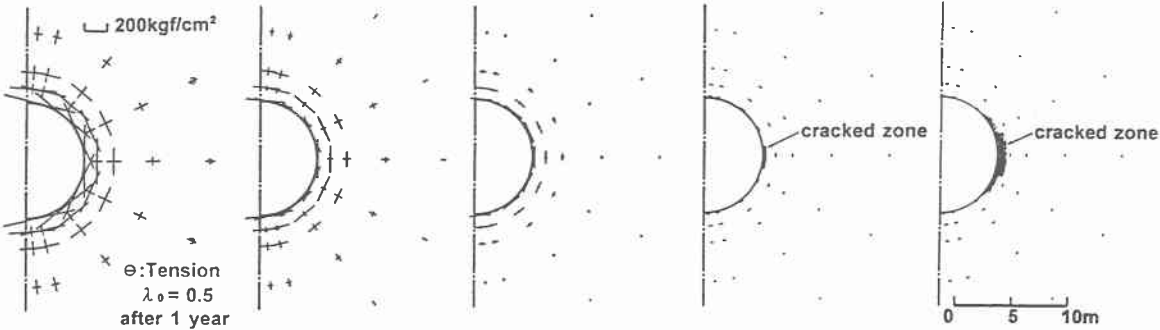
4. 空洞周辺の温度分布

本解析では、土被り100mの地山岩盤内に直径10mの円形空洞を設け空洞に熱水を貯蔵することを想定する。ここでは、空隙率の小さいものとして花崗岩、大きいものとして凝灰岩の空洞周辺岩盤の温度分布を要素分割法により貯蔵1年後まで求めた結果を図5に示す。初期の時間には急激な温度勾配を示しているが時間の経過とともに緩慢になり、空洞周辺に温度が及ぶことがうかがえる。また、貯蔵1年後には空洞から1m付近において温度分布が50日間隔で約0.1℃と非常に小さくなり温度変化が実用上無視できる準定常状態となる。さらに、凝灰岩の熱拡散率および熱伝導率が花崗岩に比べて小さいため、凝灰岩の方が花崗岩に比べて熱を遅く伝えていることがわかる。

5. 空洞周辺の応力分布

前述の温度分布の解析結果をもとに熱応力を考慮した有限要素法を用いて空洞周辺の応力分布を求めた結果を図6に示す。熱水貯蔵時における花崗岩、安山岩および砂岩の岩盤内空洞に熱水を貯蔵した場合、空洞周辺岩盤には貯蔵開始直後から岩盤の熱膨張により空洞の接線方向に大きな圧縮応力が発生し、時間の経過とともに応力は増大するものの破壊に至るような応力は発生せず、空洞は安定することがわかった。しかし、凝灰岩は貯

蔵1日後に、泥岩においては、貯蔵1時間後に空洞の水平軸付近がせん断破壊することがわかった。



6. おわりに (花崗岩) (安山岩) (砂岩) (凝灰岩) (泥岩)

高温下における各岩石の強度は、温度上昇とともに低下し、その割合はWetで特に大きいことがわかった。熱物性値については、凝灰岩および泥岩では空隙中の水の影響を受け、DryとWetを比較した場合その差に大きな違いがみられた。解析の結果、空隙率の違いにより空洞周辺岩盤の応力分布は異なることがわかった。

参考文献 1) 稲田善紀：地下の空間利用，101～103 頁，森北出版，1989。

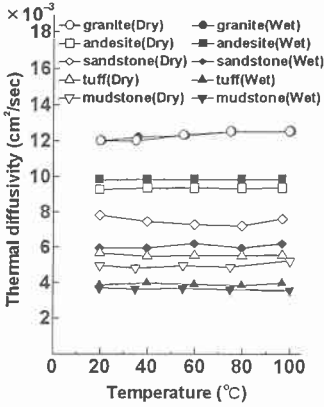


図3 熱拡散率

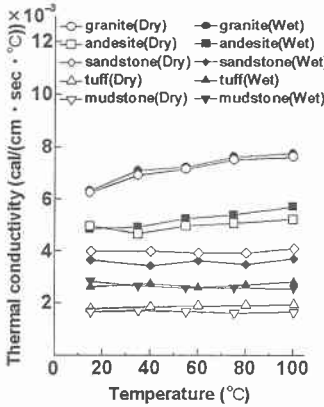


図4 熱伝導率

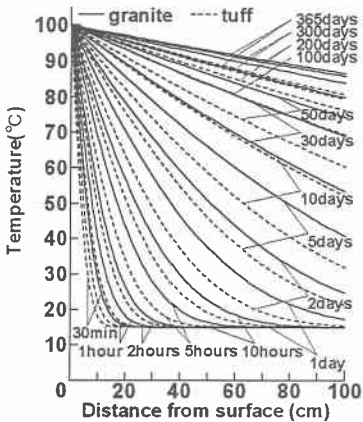


図5 熱水貯蔵時の温度分布の経時変化の比較（花崗岩岩盤，凝灰岩岩盤）