



Title	第一領域の亀裂進展における湿度の影響の表現
Author(s)	藤井, 義明
Citation	資源・素材学会平成21年度春季大会講演要旨集. (I) 資源編, 67-68
Issue Date	2009-03-26
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/39943
Type	proceedings (author version)
Note	資源・素材学会平成21年度春季大会. 平成21年3月26日～平成21年3月28日. 千葉工業大学、千葉県習志野市.
File Information	fujii.pdf



[Instructions for use](#)

第一領域の亀裂進展における湿度の影響の表現

北海道大学工学研究科 藤井義明

1. はじめに

Freiman の式では、ダブルトーション試験で得られる亀裂速度に対する湿度の影響をうまく近似することができない。そこで、ここでは、実験結果をうまく近似できるように Freiman の式を若干修正した関係式を示す。また、当該関係式で既往の実験結果を近似し、諸定数を算定する。

2. 提案する式

第一領域における応力拡大係数と亀裂速度の対数との間の関係を模式的に示せば図 1 のようである。すなわち、高湿度における関係式は、低湿度における関係式より左側に位置し、傾きや切片は互いに異なる。

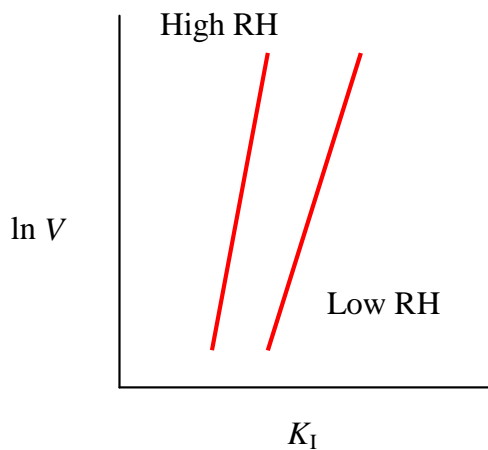


図 1 第一領域における応力拡大係数と亀裂速度の対数との間の関係の模式図

これに対し、Freiman (1984)の式は、

$$V = V_0 a \exp\left(\frac{-E_{\text{act}} + \alpha K_I}{RT}\right) \quad (1)$$

であり、ここで、 V は亀裂速度 (m/s)、 V_0 (m/s) は物質や環境により決まる定数、 a は水の活量 (相対湿度にほぼ等しく、以下では相対湿度で置き換えて考察する)、 E_{act} (J/mol) は分子 1 mol あたりの活性化エネルギー、 K_I はモード I の応力拡大係数 ($\text{Pa}\cdot\text{m}^{0.5}$)、 R は気体定数 ($8.3144 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)、 T は絶対温度 (K)、 α は定数 ($\text{m}^{2.5}/\text{mol}$) である。

(1)式の両辺の対数を取れば以下が得られる。

$$\ln V = \ln V_0 + \ln a - \frac{E_{\text{act}}}{RT} + \frac{\alpha}{RT} K_I \quad (2)$$

つまり、この式では、湿度による切片の差異が $\ln a$ の差に固定されてしまう。また、相対湿度は傾きに影響しない。つまり、Freiman の式では実験結果を近似することができない。

Freiman の式を、応力拡大係数の対数と亀裂速度との間の関係を近似できるように若干修正してみれば、たとえば、

$$V = V_0 a' \exp\left\{\frac{-E_{\text{act}} + (\beta a + \alpha) K_I}{RT}\right\} \quad (3)$$

または、

$$V = V_0 \exp\left\{\frac{-E_{\text{act}} + \gamma' a + (\beta a + \alpha) K_I}{RT}\right\} \quad (4)$$

となる。パラメーターの数を増やすのは本意ではないが、これらの式では、定数 β ($\text{m}^{2.5}/\text{mol}$) と γ (無次元あるいは J/mol) が追加されており、定数 β により、相対湿度の傾きへの影響が、また、 γ あるいは γ' により相対湿度の y 切片への影響が調整できる。これらが物理的に何を表しているかは具体的には明らかでないが、次節で既往の実験結果を近似してみる。

近似に先立ち、まず、(3)、(4)式の両辺の対数を取っておく。

$$\ln V = \ln V_0 + \gamma \ln a - \frac{E_{\text{act}}}{RT} + \frac{(\beta a + \alpha) K_I}{RT} \quad (5)$$

$$\ln V = \ln V_0 - \frac{E_{\text{act}}}{RT} + \frac{\gamma' a}{RT} + \frac{(\beta a + \alpha) K_I}{RT} \quad (6)$$

温度が同じで湿度の違う 2 つの $\ln V - K_I$ 線図の傾きから、 α と β を求めることができる。次に、 y 切片から、 γ 、 γ' を求めることができる。 V_0 と E_{act} はさらに異なる温度下でのデータがないと求められない。

3. 実験結果の近似

図2に奈良ら(2008)の、ほぼ同じ温度下で、2つの湿度下における鉦路砂岩のDT試験で得られた $\log V - \log K_I$ 線図を示す。この図面から2つの供試体に対する平均的な $\ln V - K_I$ 線図の傾きと y 切片を求め、(3)、(4)式中の定数を計算すると表1のようになった。なお、図2の横軸は対数のため、高湿度のほうが傾きは緩くみえるが、ここで計算する傾きは横軸が普通軸のため傾きは高湿度のほうが若干大きい。

(3)式において γ が1であれば、Freimanの式と等しくなるが、求められた値は16.5であり、1とはかなり違う。また、 γ' や β も無視できないくらい大きな値である。

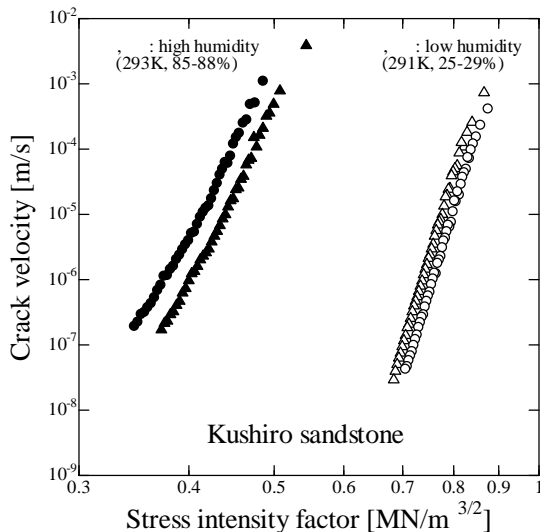


図2 鉦路砂岩の2つの湿度下におけるDT試験で得られた $\log V - \log K_I$ 線図(奈良ら, 2008)

表1 鉦路砂岩の $\ln V - K_I$ 線図の傾き、 y 切片、 α 、 β 、 γ 、 γ' の計算結果

	High RH	Low RH
平均相対湿度(%)	86.5	27
平均温度(K)	292	
$\ln V - K_I$ 線図の傾き (Pa^{-1})	61×10^{-6}	51×10^{-6}
$\ln V - K_I$ 線図の y 切片 (-)	-38	-51
$\alpha(\text{m}^{2.5}/\text{mol})$	0.113	
$\beta(\text{m}^{2.5}/\text{mol})$	0.041	
γ (-)	16.5	
$\gamma'(\text{J}/\text{mol})$	97×10^3	
$\ln V_0 - E_{\text{act}}/(RT)$ (-)	-62	

4. 両式の比較

得られた定数を用いて、292 K、相対湿度10、50、100%における亀裂速度を計算して図3に示す。なお、相対湿度0の場合の亀裂速度は、(3)式によれば0に、(4)式によ

ればきわめて小さいが0でない値となる。

計算結果では、(3)式の方が低湿度における湿度の影響が大きくなっている。どちらがよりよく実験結果を近似できるか等について検討するには、さらに詳細な実験結果が必要である。

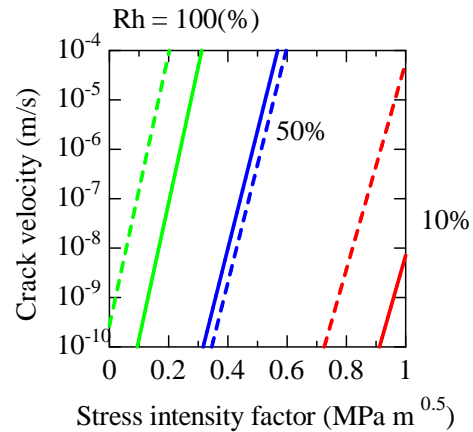


図3 鉦路砂岩の292 K、Rh = 10、50、100%における第一領域の $\log V - K_I$ 線図に関する(3)式(実線)、(4)式(破線)による予測

5. おわりに

ダブルトーション試験における亀裂速度に対する湿度の影響をうまく近似できるようにFreimanの式を若干修正して導いた2つの式を示した。当該関係式で既往の実験結果を近似した場合の諸定数を算出して示した。

(3)式での湿度の影響の表れ方は経験式的であるが、(4)式での湿度の影響は、水蒸気分子が表面に吸着することによるポテンシャルの変化等と結び付けられそうである。粘土鉱物を多く含む粘性変形が卓越する鉦路砂岩などでは、サブクリティカルな亀裂進展の原因として、応力腐食ではない現象が卓越する可能性もある。こうした、サブクリティカルな亀裂進展の原因なども考慮しながら、定数の意味や提案した関係式の妥当性等について検討していきたい。

引用文献

- Freiman, S. W. (1984), Effects of Chemical Environments on Slow Crack Growth in Glasses and Ceramics, J. Geophys. Res., Vol. 89, No. B6, pp. 4072-4076
 奈良禎太・藤井義明・市原義久・澤田昌孝・富田新二・金子勝比古(2008)、砂岩のサブクリティカルな亀裂進展に及ぼす湿度の影響、平成20年度資源・素材学会春季大会講演要旨集、pp. 67-68