



Title	不安定岩体の熱変形と岩盤の諸物性値
Author(s)	前田, 将平; 藤井, 義明; 菅原, 隆之; 小玉, 齊明; 宮下, 尚志
Citation	資源・素材学会春季大会講演集, 2016, 1511
Issue Date	2017-03-28
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/64886">http://hdl.handle.net/2115/64886</a>
Type	proceedings
Note	資源・素材学会平成28年度春季大会、2016年3月28日（月）～30日（水）、東京大学本郷キャンパス、東京
File Information	MMIJ2016.1511.pdf



[Instructions for use](#)

一般講演

岩盤力学・開発機械  
岩盤力学・開発機械

2016年3月28日(月) 11:00 ~ 17:00 第5会場 (東京大学)

[1511] 不安定岩体の熱変形と岩盤の諸物性値  
Thermal Deformation of Unstable Rock Block and Properties  
of Rock Mass

○前田将平<sup>1</sup>, 藤井義明<sup>1</sup>, 菅原隆之<sup>1</sup>, 小玉齊明<sup>2</sup>, 宮下尚志<sup>3</sup> (1.北海道大学, 2.函館高専, 3.ドーコン)

キーワード：急崖, 落石, 傾斜, 熱変形, 数値計算

不安定岩体が落下するメカニズムを明らかにすることを目的として行われている長期計測により、気温変化により不安定岩体に熱変形が生じていることが明らかになった。熱変形に関する数値計算では、傾斜変化はある寸法の不安定岩体でピークを示すことが明らかになった。傾斜変化がピークとなったときの不安定岩体の亀裂長さを $L_c$ と定義し、岩盤の熱伝導率・比熱・密度・ポアソン比・不安定岩体形状から $L_c$ を推定する式を作成した。岩盤の物性値から推定した $L_c$ ・落石の寸法と頻度・節理間隔の間の関係についても検討した。

## 1. はじめに

寒冷地である北海道では落石や岩盤斜面崩壊がしばしば発生している。既往の研究によれば、気温変化による熱変形、間隙水の凍結融解、樹木の成長、降水等により岩盤の節理が開口し、不安定岩体が形成される(Keppetipola et al. 2013)。筆者らは、有限要素法を用いた熱変形に関する数値計算により、ある亀裂長さにおいて、不安定岩体の熱変形による傾斜変化がピークになることを見出した。この現象に基づいて、落石の寸法・頻度等について新しい考察ができる可能性があるため、ここに説明する。

## 2. 熱変形に関する数値計算

有限要素法を用いて、二次元弾性非定常熱応力解析を実施した。

### 2.1 モデル

縦、横 10 m の岩盤斜面で、表面から 1 m の位置に長さ 5 m の鉛直な亀裂を有しているモデル(図 1、2)を使用して、モデル左上部の不安定岩体の熱変形による傾斜変化の計算を行った。モデル右端・下端は断熱境界、上端も植生や未固結土にて断熱されていると仮定し、モデル左端から大気温度変化を与えた。下の境界は y 方向変位を拘束、右の境界では x 方向変位を拘束した。不安定岩体の亀裂長さを  $L$ 、厚さを  $W$  とした。

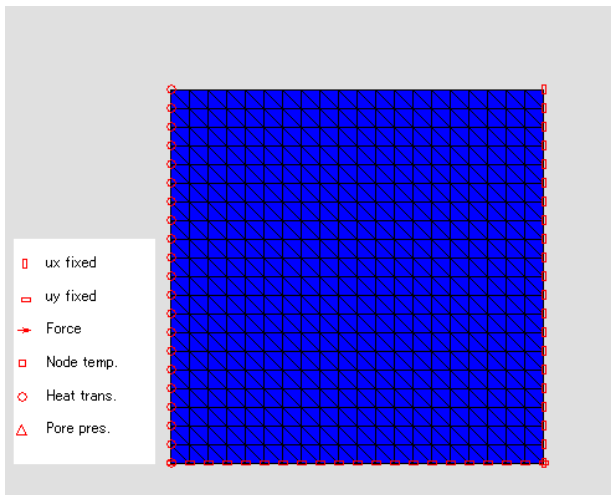


図 1 有限要素法のモデル

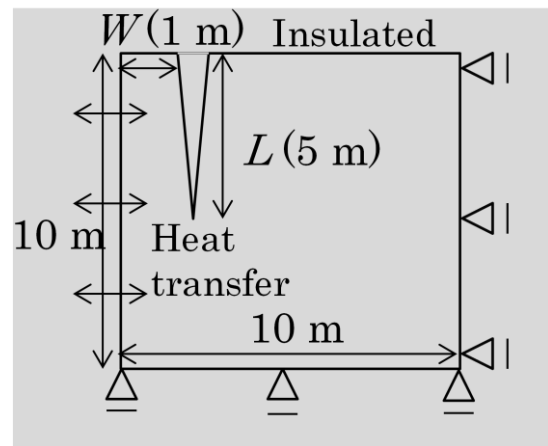


図 2 モデルの概略図

### 2.2 数値計算に用いた物性値と気温変化

モデルの物性値には長期モニタリングの対象としている岩盤斜面より採取した岩石試料の物性値(富樫ら、2014、表 1)を使用した。与えた気温変化は、長期モニタリング開始から 2014 年 3 月 26 日までの現地で計測された日平均の最高・最低気温を最高・最低値とする周期 1 年の正弦波を 2 周期とし、簡単のため、岩盤中の水の凍結が生じないよう気温全体を  $13^{\circ}\text{C}$  高くした(図 3)。

表 1 数値計算に用いた物性値

物性値	値
ヤング率	94.47 GPa
ポアソン比	0.20
熱伝導率	2.02 W/mk
比熱	1183 J/kg · K
線膨張率	$5.88 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
密度	2718 kg/m <sup>3</sup>
有効空隙率	3.61%
熱伝達係数	3.00 W/m <sup>2</sup> · K

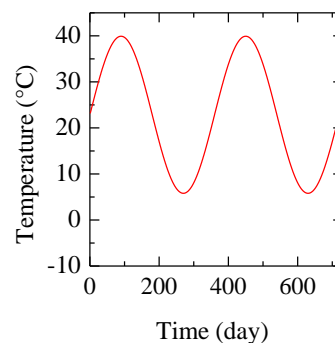


図 3 モデルに与えた気温変化

### 2・3 傾斜振幅 $A$ と亀裂長さ $L_c$

気温変化による不安定岩体の平均傾斜(開口量/ $L$ )の2周期目の最大値と最小値の差を傾斜振幅  $A$  と定義した(図4)。モデルを拡大・縮小し、同様の計算を行い、傾斜振幅  $A$  が最大となったときの亀裂長さ  $L$  を  $L_c$  と定義した(図5)。また、そのときの不安定岩体の厚さを  $W_c$  と定義した。

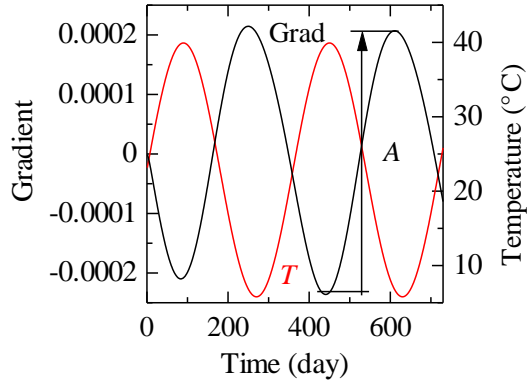


図4 傾斜振幅  $A$

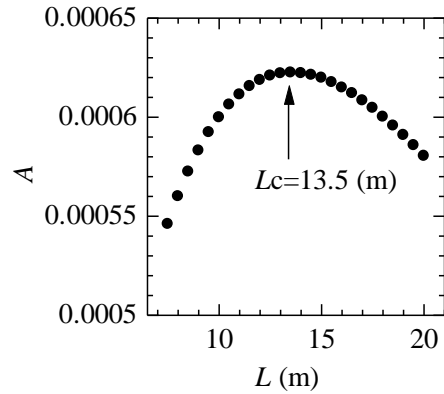
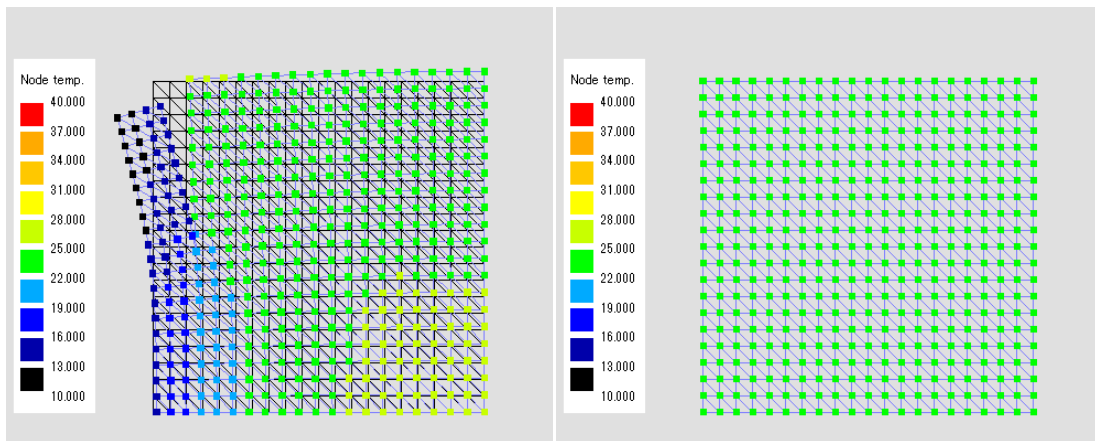


図5 傾斜振幅  $A$  と亀裂長さ  $L_c$

不安定岩体の傾斜変化は岩体前後の温度勾配により生じる。岩体が小さいと岩体は全て加熱・冷却され一様な温度となり、逆に岩体が大きいと温度変化はほとんど生じず、どちらも傾斜変化は小さい(図6)。そのため、適度な温度勾配が生じる大きさの岩体の亀裂長さが  $L_c$  となる。



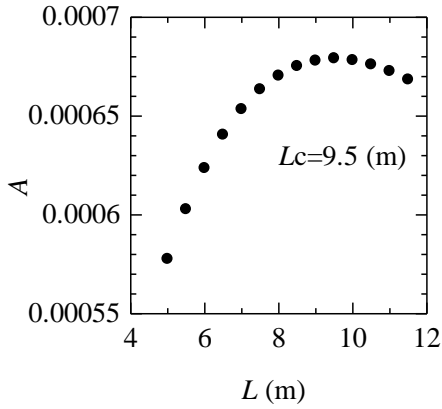
(a) 岩体が小さい( $L=2.5$  (m))とき

(b) 岩体が大きいの( $L=5000$  (m))とき

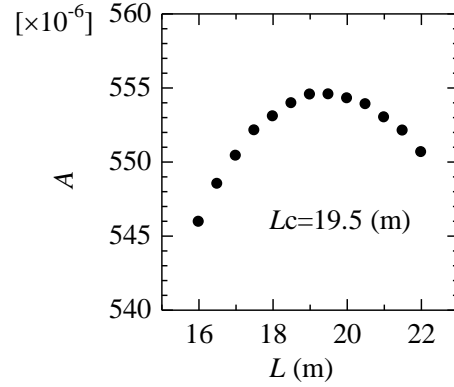
図6 不安定岩体の温度分布

## 2・4 $L_c$ と岩盤の諸物性値

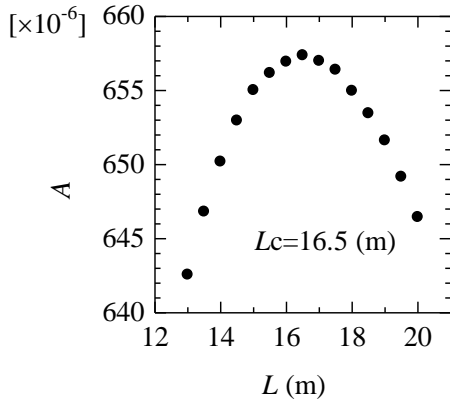
亀裂長さ  $L_c$  と岩盤の諸物性値の関係を明らかにするため、熱伝導率・比熱・密度・ポアソン比について、それぞれの値を 0.5 倍、2 倍にして上記と同様の計算を行い、 $L_c$  を求めた(図 7)。



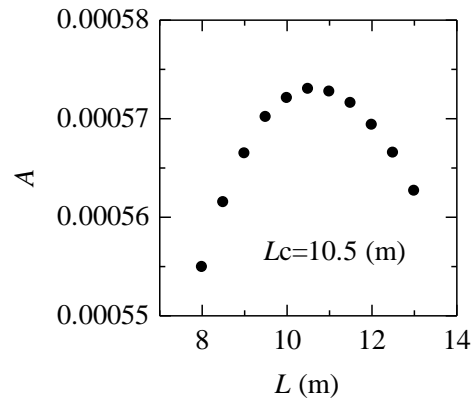
(a) 熱伝導率 0.5 倍



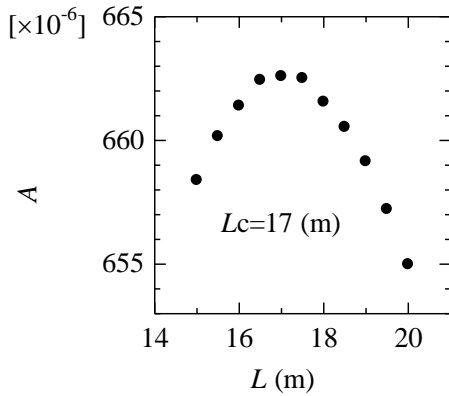
(b) 熱伝導率 2 倍



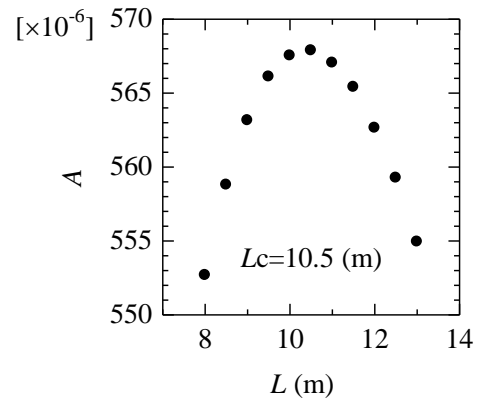
(c) 比熱 0.5 倍



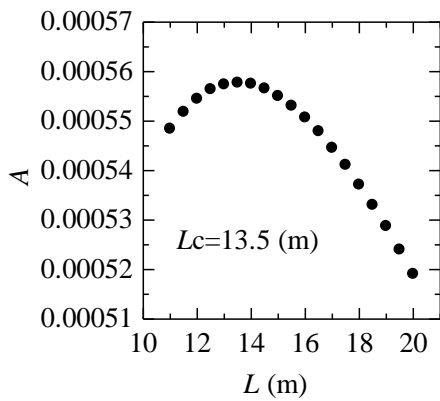
(d) 比熱 2 倍



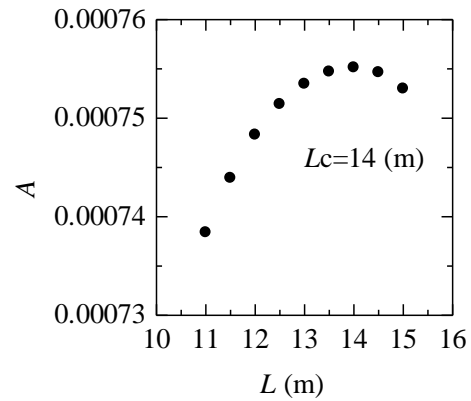
(e) 密度 0.5 倍



(f) 密度 2 倍



(g) ポアソン比 0.5 倍



(h) ポアソン比 2 倍

図 7 亀裂長さ  $L_c$  と岩盤の諸物性値

### 2・5 $L_c$ と不安定岩体形状

亀裂長さ  $L_c$  と不安定岩体形状についても関係を明らかにするため、不安定岩体の厚さを 0.5 倍、2 倍にしたモデル(図 8、9)を使用し、 $L_c$  を求めた(図 10、11)。熱伝導率・比熱・密度・ポアソン比の値を変え、同様に  $L_c$  を求めた。

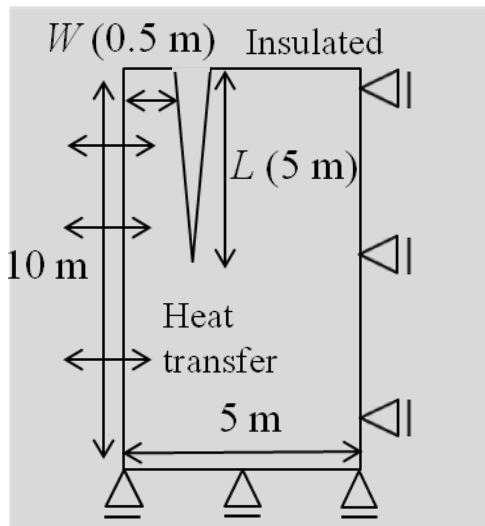


図 8 厚さ 0.5 倍のモデル

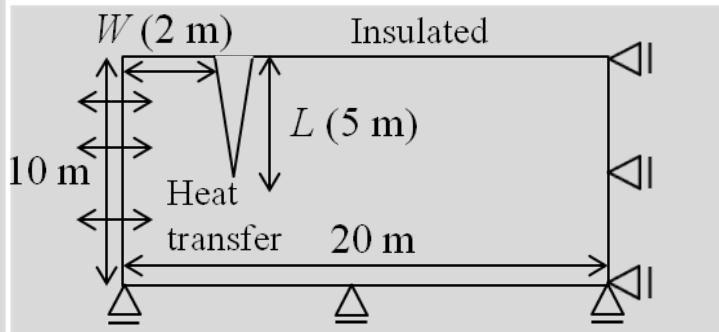


図 9 厚さ 2 倍のモデル

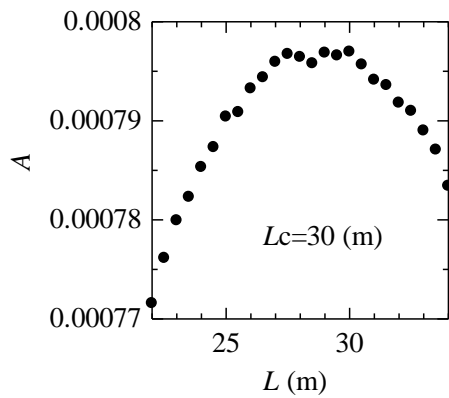


図10 厚さ0.5倍のモデルのLc

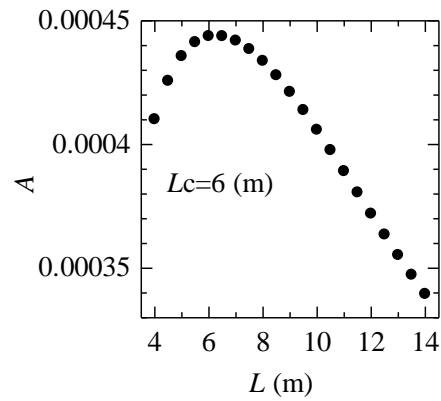


図11 厚さ2倍のモデルのLc

## 2・6 Lcを推定する式

Lcと不安定岩体形状・熱伝導率・比熱・密度・ポアソン比の関係を、定数B (s・m<sup>-1</sup>)、C<sub>LW</sub>、C<sub>λ</sub>、C<sub>c</sub>、C<sub>v</sub>、C<sub>ρ</sub>を用いて、

$$Lc = B \left( \frac{Lc}{Wc} \right)^{C_{LW}} \lambda^{C_{\lambda}} c^{C_c} \rho^{C_{\rho}} \nu^{C_v} \quad (1)$$

と仮定した。これらの定数を求めるため、Lc・不安定岩体形状・熱伝導率・比熱・密度・ポアソン比・定数について、次の観測方程式を作成し、最小二乗法により各定数を計算した。

$$\left\{ \begin{array}{c} \log Lc \end{array} \right\} = \left[ \begin{array}{cccccc} 1 & \log \frac{Lc}{Wc} & \log \lambda & \log c & \log \rho & \log \nu \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{c} \log B \\ C_{LW} \\ C_{\lambda} \\ C_c \\ C_{\rho} \\ C_v \end{array} \right\} \quad (2)$$

計算の結果、B=244±0.073 (m)、C<sub>LW</sub>=1.096±0.0096、C<sub>λ</sub>=0.513±0.01570、C<sub>c</sub>=-0.315±0.01574、C<sub>ρ</sub>=-0.347±0.01548、C<sub>v</sub>=0.0364±0.01568、と求められた。数値計算により求めたLc、物性値から推定したLcを比較すると、多少のばらつきはあるものの(1)式は数値解析の例を概ね表わすことができている(図12)。

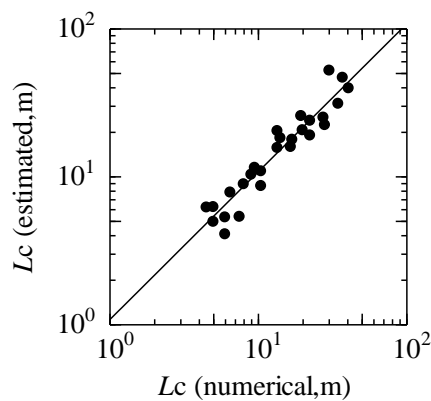


図12 数値計算によるLcと物性値から推定したLc

(1)より

$$Lc = (BWC^{-C_{LW}} \lambda^{C_\lambda} c^{C_c} \rho^{C_\rho} \nu^{C_\nu})^{\frac{1}{1-C_{LW}}} \quad (3)$$

あるいは、

$$Wc = (BLc^{C_{LW}-1} \lambda^{C_\lambda} c^{C_c} \rho^{C_\rho} \nu^{C_\nu})^{-C_{LW}} \quad (4)$$

となる。

### 3. まとめ

熱変形に関する数値計算により、物性値に依存する傾斜変化が最大となるときの不安定岩体の亀裂長さを推定する式を作成した。

物性値で決まる  $Lc$ 、 $Wc$  と近い水平・鉛直節理間隔を有する岩盤斜面で、そうでない斜面よりも落石が多い、または、ある連続した岩盤斜面で節理間隔が変化する場合に、 $Lc$ 、 $Wc$  と近い節理間隔の部分で落石が頻発するようなことがあれば、落石の危険性を評価する判断基準の1つとなり得るものと期待される。

以上を明らかにするためには、たとえば、層雲峡の柱状節理の鉛直・水平節理間隔の現地調査、管理者による落石頻度記録の資料分析、現地から採取した岩石の物性値の測定等を行い、検討する必要がある。

### 謝辞

本研究は一般財団法人北海道道路管理技術センター道路管理技術研究所との共同研究として行われた。ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

- Keppetipola, S.S.S.M., Fujii Y. and Kodama, N. (2013), Mechanisms of Falling Rock Formation at Steep Slope due to Temperature Perturbation, Proc. 47th US Rock Mechanics/ Geomechanics Symposium in San Francisco, 23-26 June, 2013, Paper No. 13-237, June 24, 2013.
- 富樫晃平・小玉齊明・山真典・菅原隆之・畠山葵・福田大祐・加藤昌治・川崎了・藤井義明(2014)、函館市豊崎町における落石メカニズム解明を目的とした長期モニタリング対象の旧道岩盤斜面を構成する岩石の特徴、資源・素材学会春季大会、33-1