

地震時には断層周辺に蓄えられたひずみエネルギーが解放されて地震波エネルギー (radiated energy), 摩擦熱, 新たなすべり面を作るためのエネルギー (surface energy) などになるのであるが¹⁾²⁾, このとき解放されるひずみエネルギーについては次のような評価の仕方をする.

断層面上のある部分においてせん断応力が地震前の σ_0 から地震後の σ_1 まで低下するものとする (図-1). このとき, 実際にせん断応力～すべり関係がたどる経路はひとまず置いておき, それとは別に, ①のように最初の状態と最後の状態を直線で結ぶ経路を考える. 最初の状態 (C) では, 断層面を挟む両側の岩盤は, 反対側の岩盤からのせん断応力 σ_0 により支えられている. そこで, 岩盤が及ぼすせん断応力を外部からのせん断応力で置き換える (断層面上の一部だけでなく全断層面にわたり) ことをイメージし, 外部からのせん断応力を「そろりそろりと」低下させ, σ_1 まで低下したときに再度反対側の岩盤からのせん断応力で置き換える. これが地震後の状態 (B) である. このとき, C→B の過程で, せん断応力～すべり関係は図の①の経路をたどるはずである. なぜなら, 地震前の状態では応力, ひずみ, 変位の組み合わせは静弾性問題の支配方程式を満足しているはずで, 地震後の状態も同様であるから, それらを $m:n$ に内分した応力, ひずみ, 変位の組み合わせも静弾性問題の支配方程式を満足しているはずだからである. したがって, C→B の過程で岩盤が外部に対してする単位面積あたりの仕事は図の台形 OABC の面積となり, これを断層面全体にわたり積分したものが全仕事となる. ところで, このとき, せん断応力は「そろりそろりと」低下させるので, 地震波は発生しないはずである. したがって, C→B の過程で解放されるひずみエネルギーは台形 OABC の面積を断層面全体にわたり積分したものとなる. この方法ではひずみエネルギーを計算する際に体積積分などはないという点が興味深いと筆者は感じた.

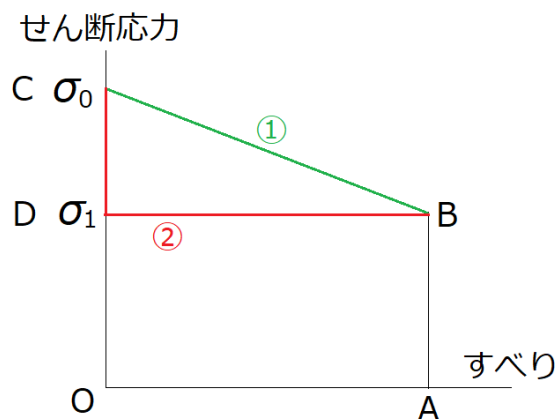


図-1 断層面上におけるすべりとせん断応力の関係

実際の地震時にせん断応力～すべり関係がたどる経路としては様々なものが考えられるが, 最も単純なケースとして Brune の論文³⁾⁴⁾で取り上げられているように②の経路を考えるならば, 摩擦熱として消えるエネルギーは長方形 OABD の面積を断層面全体にわたり積分したものとなる. したがって, 仮に surface energy が無視できるとすれば, 地震波として放射されるエネルギーは三角形 BCD の面積を断層面全体にわたり積分したものとなる. このことから, 断層面上のせん断応力の絶対値は地震波の解析からはわからないことが理解できる.

参考文献

- 1) Kanamori, H.: Mechanics of earthquakes, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, Vol.22, pp.207-237, 1994.

- 2) 高橋美紀, 廣瀬丈洋, 飯尾能久: 断層の強度に関する論争と学際的アプローチの必要性, 地質学雑誌, Vol.124, No.9, pp.725-739, 2018.
- 3) Brune, J.: Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, Journal of Geophysical Research, Vol.75, pp.4997-5009, 1970.
- 4) Brune, J.: Correction, Journal of Geophysical Research, Vol.76, p.5002, 1971.