

破壊前後の状態に着目した静的断層破壊モデル

○ 東京大学大学院 工学系研究科 正会員 山下 晶一郎
東京大学大学院 工学系研究科 正会員 堀井 秀之

1. はじめに

高レベル廃棄物処分の問題は 2000 年度の実施主体確立を経て処分候補地選定へと事業が本格化する時期を迎える。処分にあたっては 1~10 万年という長期にわたる安全性の確認が必要である。地震現象は重要な検討対象であり、日本列島周辺における地震現象を大局的に説明・予測し得る手法を整備することは合意形成のうえで重要な課題となっている。マグニチュードが 6.5 以上の大きなエネルギーを解放するプレート内地震の再来期間を予測することが工学的に重要である。現在は、1 本の断層が固有の規模と周期の地震を繰り返すとし、確率的な方法で再来期間を予測しているが、千年以上のバラツキを持つという問題点がある。

プレート内地震の再来を支配するメカニズムとして、金折¹⁾による日本列島のブロック構造メカニズムが挙げられる。これは日本列島を代表的な構造線や断層線を境界とするブロックに分割すると、歴史上の大規模地震のほとんどがこのブロック境界上で起こっていることから、各ブロック境界が地震の発生に関して連動性を持っていると考えるものである。

このメカニズムの妥当性を示すために、日本列島のブロック構造の数値解析を行うことが考えられる。ブロック構造解析によりプレート内地震の連動性を予測するためにはブロック境界挙動のモデル化が必要である。そこで本研究では、ブロック境界挙動のモデル化の基となる断層破壊モデルの提案を目的とする。ブロック境界のモデル化を行うためには、断層破壊の開始条件と破壊後の軟化則が必要で、そのためには断層破壊の力学モデルを開発し、断層破壊解析を行うことが有効と考え、所定のマグニチュードの地震の断層破壊によって生じる平均的な断層のずれ量や応力降下量等を予測した。

2. 断層破壊モデル

提案する断層破壊モデルは、地震による断層破壊の前後に着目した静的なモデルで、1 つの断層が繰り返すことを考える。さらに地震による断層の食い違い量には、ある上限値が存在するという観察事実を反映するためにセルフヒーリングのメカニズム²⁾を取り入れたモデルである。

本研究では断層を連続体中の亀裂としてモデル化した。無限遠方にはせん断応力がかかり、亀裂端部で $K_{II} = K_c$ という亀裂の進展条件を満たす問題を考える。応力が高まり亀裂の進展条件が満たされると亀裂が進展する。亀裂の進展に伴って応力が緩和され、亀裂の進展が停止する。また断層周辺には断層影響領域と呼ばれる領域がある。本研究ではこの領域において、亀裂の進展に伴うひずみの緩和が生じると考え、領域内の平均せん断ひずみを計算する。セルフヒーリングの生じた部分では、食い違い量が限界値に達しているとした。

図-1 は、亀裂長とせん断応力、断層影響領域の平均ひずみの関係である。地震の前後で平均ひずみの限界値が変わらないとすると、破壊の開始点 A と停止点 B とを決定することができる。またこの時の応力ひずみ関係は図-2 のようになり、解放エネルギー密度は OAB で囲まれる面積となる。以上のような方法で、断層破壊長、応力降下量、解放エネルギーを計算できる。

3. 断層破壊解析

図-3 に示す入力パラメータを用いた断層破壊解析を行い、マグニチュード、断層破壊長、応力降下量を異なるひずみの限界値に対してまとめた。入力パラメータのパラメトリックスタディを行った結果、影響を与えるパラメータは断層影響領域の弾性定数と破壊靱性値であることがわかった。弾性定数が大きくなると、マグニチュード、断層破壊長、応力降下量のいずれもが大きくなり、また破壊靱性値が大きくなるといずれも小さくなった。

さらに具体例として跡津川断層を取り上げ、断層破壊解析を行った。破壊靱性値が $3.84 \times 10^6 (J/m^2)$ のケースにおけるマグニチュードとひずみの限界値の関係を図-??に示す。これによりマグニチュードが 1858 年飛越地震の 6.9 となる

場合 (図の点線部分), せん断ひずみは 0.0005~0.0015 まで蓄積される必要があることがわかる. 跡津川断層近傍の最近 10 年, 100 年の水平地殻変動データを用いて推定されるひずみの蓄積に要する年数は 2000~5000 年となる. 次にマグニチュードが 6.9 である場合の応力パラメータをまとめたものが図-4 である. この図から図-6 のようにせん断応力と断層変位の関係が得られる. 一定の破壊靱性値に対してはほぼ一定の残留応力となることがわかる.

4. まとめ

本研究の提案する断層破壊モデルを用いた断層破壊解析によって, 与えられた限界食い違い量, 破壊靱性値, 断層影響領域の弾性定数と面積に対して, 断層破壊長, 解放エネルギー (マグニチュード), 応力降下が得られる. これにより断層破壊開始条件と破壊後の軟化則が得られるため, 日本列島のブロック構造解析に必要となるブロック境界挙動のモデルを構築することができる. 今後, 本研究の成果を取り入れた日本列島のブロック構造解析を行い, 歴史地震の連動パターン (図-7) を再現することができれば, プレート内地震に連動性があることを支持するものとなり, またブロック構造解析に基づいたプレート内地震の再来期間の予測を行うという新しい方法の可能性が高まるものと考えられる.

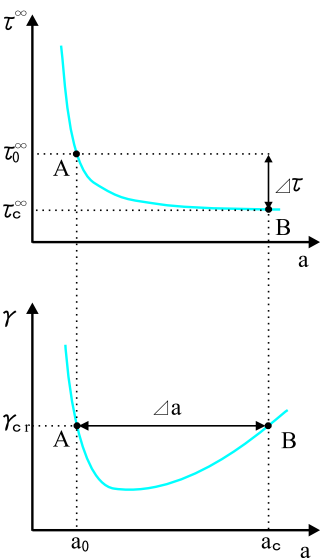


図 1 せん断応力・平均ひずみと亀裂長の関係

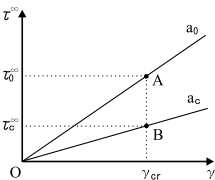


図 2 せん断応力-せん断ひずみ関係

限界食い違い量 δ_c (cm)	300 400 500
弾性定数 E (MPa)	5000 10000 15000
破壊靱性値 G_c (J/m ²)	1.92×10^6 3.84×10^6 7.68×10^6
断層影響領域の面積 A (km ²)	150 175 200
断層深さ W (km)	14

図 3 入力パラメータ

破壊靱性値 G_c (J/m ²)	弾性定数 E (MPa)	初期応力 τ_0 (MPa)	残留応力 τ_c (MPa)	応力降下量 $\Delta\tau$ (MPa)
3.84×10^6	5000	2.41	1.29	1.12
	10000	3.07	1.33	1.73
	15000	3.58	1.38	2.20

図 4 $\delta_c = 300\text{cm}$, $M = 6.9$ の場合の応力降下量

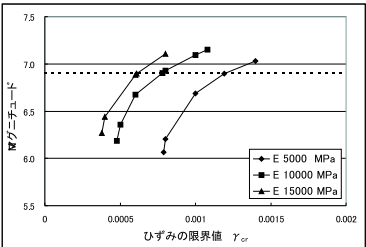


図 5 $G_c = 3.84 \times 10^6$ (J/m²) の場合のマグニチュード-ひずみの限界値関係

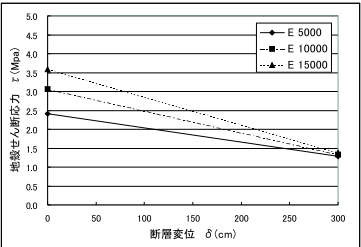


図 6 $G_c = 3.84 \times 10^6$ (J/m²) の場合のせん断応力-断層変位関係

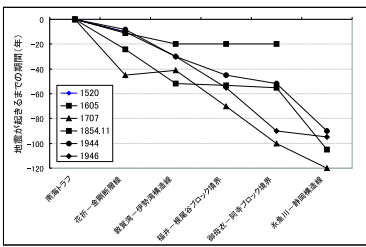


図 7 ブロック境界線で起きた地震の発生系列図

参考文献

- 1) 金折裕司: 足元に活断層, 朝日新聞社, 1995
- 2) Thomas H.Heaton: Evidence for and implication of self-healing pulses of slip in earthquake rupture, Physics of the Earthquake and Planetary Interiors, 64, pp1-20, 1990
- 3) 宇佐美龍夫: 新編日本被害地震総覧 [増補改訂版 416-1995], 東京大学出版会, 1996
- 4) 山下晶一郎: 地震による地殻応力降下量の予測を目的とした断層破壊モデル, 東京大学修士論文, 2000.3