

断層破壊過程の2次元解析と3次元解析の比較

山口大学工学部 正 員 三浦房紀

山口大学大学院 学生員 ○福嶋研一

1. まえがき

構造物の耐震設計用入力地震動を確定論的に推定しようとする研究が多く行われているが、その中の一つに、ジョイント要素を断層面のモデル化に用いて、有限要素法により断層運動の解析を行うという手法がある。この方法によると、断層面の破壊が自動的に伝播していく様子をシュミレートできることが知られている¹⁾。この解析は本来3次元問題として取り扱うべきであるが、それには多大な計算量が必要となる。そこで、本研究ではこの問題を2次元問題として扱うことの可否を検討するために、同一形状モデルを両次元で解析して、その結果を比較・検討した。

2. 運動方程式

断層の不連続面を表現するためにジョイント要素を導入するが、そのせん断方向の構成関係を図1に示す。また、解析領域の境界面には粘性境界を用いて境界における波動エネルギーの吸収をはかった²⁾。これらを考慮にいれた解析を行うために用いる運動方程式は次式で与えられる。

$$\{M\}\{\ddot{\delta}\} + \{C\} + \{C\}_{BS} + \{C\}_{FR} + \{C\}_{BA} + \{C\}_L + \{C\}_R \{\dot{\delta}\} + \{K\}\{\delta\} = \{f(n, i)\} \quad (1)$$

ここに、 $\{M\}$, $\{C\}$, $\{K\}$ はそれぞれ系全体の質量、減衰、剛性マトリクスであり、 $\{C\}_j$ ($j=BS, FR, BA, L, R$) は各境界面における粘性境界マトリクスである。 $\{\delta\}$ は節点変位ベクトルで、 $\cdot$ は時間微分を表す。また、 i は n ステップ目に破壊したジョイント要素の節点对であり、外力ベクトル $\{f(n, i)\}$ の要素 $f(n, i)$ は、

$$f(n, i) = \pm \frac{l_i m_i}{4} \Delta \tau \quad (2)$$

で与えられる。 l_i , m_i は節点对 i をその構成節点に含むジョイント面の分担する2辺の長さであり、 $\Delta \tau$ は応力降下量で、 x 方向および y 方向の2成分で表される。なお、第 n ステップで応力降下が生じない節点对に対しては、この節点外力は0である。

いま、初期状態において、ある節点对でせん断応力がせん断強度に達するように応力と強度の分布を与える。こうすればその節点对に対して式(2)から求めた節点力が式(1)の外力項となる。この運動方程式を解くことにより、最初に破壊した、即ち応力開放された節点对 i から周辺の領域にひずみエネルギーが波動エネルギーとして伝播される。この結果、隣接する要素の応力が増大し、やがてはそこもそのせん断強度に達して破壊が生じることとなる。以下、同様の過程を経て、破壊は順次その周辺へと伝播して広がってゆくことになる。

3. 解析例

破壊伝播の解析に用いた3次元モデルの有限要素網を図2に示す。このモデルは、弾性体に挟まれた不連続面にジョイント要素を導入することによって断層を表している。また、比較を行うための2次元解析モデルは3次元モデルの $Y=5\text{ m}$ における $X-Z$

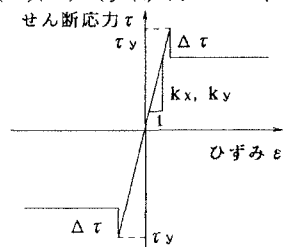


図1 ジョイント要素の構成関係

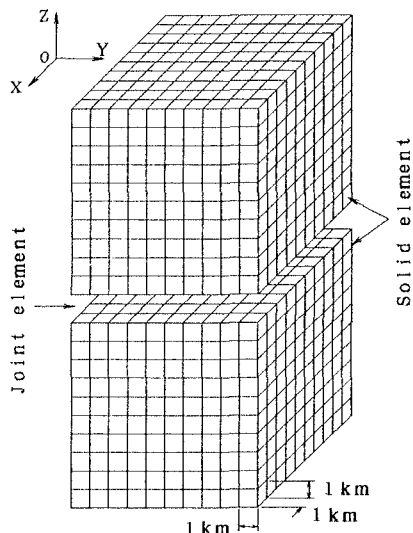


図2 3次元有限要素モデル

断面を想定した。また解析に用いたX方向の初期応力とせん断強度の関係を図3に示す。すなわち、断層面の中心で初期せん断応力がせん断強度に達しており、ここから破壊が生じる。

図4は3次元モデルを用いて求めた破壊前線を示したもので、等高線はジョイント要素が破壊した時刻を表している。この図より、断層の破壊がモデルの中央部から周辺へ次第に伝わっている様子がわかる。ここで、X方向の破壊伝播がY方向に比べて速くなっているのは、X方向にのみ初期せん断応力を与えたことに起因している。

次に、図4に示した点A、Bにおける加速度、速度、変位の応答波形を図5、6の(a)、(b)、(c)に示す。加速度波形で急激に波形が立ち上がっている箇所があるが、これはその点のジョイント要素が破壊したことを意味している。これより、3次元よりも、2次元解析のほうが速く破壊が伝播しているのがわかる。しかしながら、破壊した後の波形はよく一致している。速度についても、加速度と同様の結果となっている。

変位については、2次元の結果ではジョイント要素が破壊した後、時間が経過するにしたがって変位量も次第に増加しているのに対して、3次元の結果は時間が経過してもほとんど変位量が生じていない。

4. まとめ

本研究では、断層面の破壊伝播を解析するに当たって、簡単な3次元問題を2次元問題に置き換えて解析することの有効性を確認した。今後は、さらに複雑な解析モデルについて調べる必要がある。

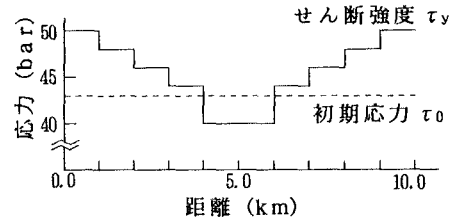


図3 初期応力とせん断強度の関係

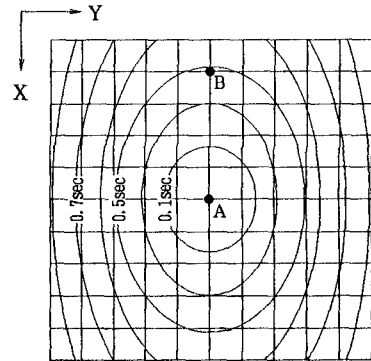


図4 破壊前線

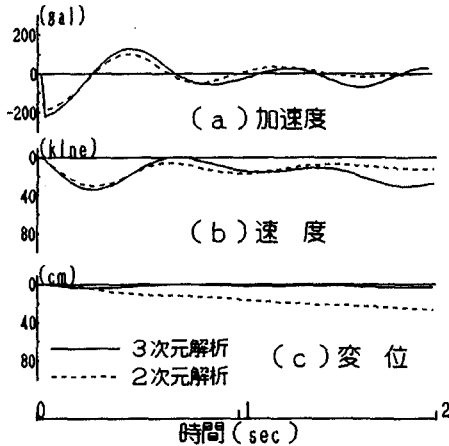


図5 点Aの波形

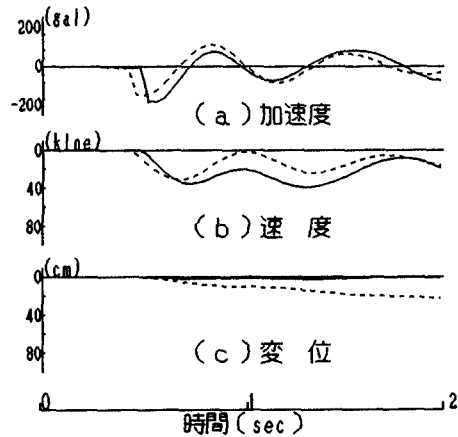


図6 点Bの波形

(参考文献) 1) 三浦房紀・岡重嘉泰・沖中宏志：3次元ジョイント要素を用いた破壊伝播の解析，山口大学工学部研究報告，第36巻，第1号，(1985)． 2) 三浦房紀・沖中宏志：仮想仕事の原理に基づく粘性境界を用いた三次元構造物-地盤系の動的解析手法，土木学会論文集，No. 404，1-11，(1989)．