

近畿地方のブロック構造モデル

伊東 守¹⁾・児玉敏雄¹⁾・中村英孝¹⁾・
佐々木 猛²⁾・石井大介²⁾・原田芳金³⁾

1. はじめに

平成7年1月17日に六甲地域の西方約20kmにおいて兵庫県南部地震が発生した。この地震の震源は淡路島北部の野島断層とされており、大阪湾を中心とする地殻ブロック、いわゆる大阪ブロックの西側に位置している。大阪湾のテクニクス的な位置付けと六甲変動の活動様式の変化については、従来より活発な議論が展開されており、大阪湾を含む地域は現在最もホットな研究対象の場となっている。

著者らは、地殻の変動による活断層の挙動を、数値解析によって予測するための地質構造モデルについて検討を行っており、モデルの構築にあたり上述の大阪ブロックの挙動に着目した。当該地域を解析対象とした理由は以下のとおりである。

- ① 兵庫県南部地震は近年生じた最も身近な大地震であり、この震源となった野島断層を含む六甲断層および有馬-高槻断層系の解析ができなければ、他の一般的な断層の解析は不可能である。
- ② 兵庫県南部地震の後、多くの機関が六甲・淡路地域を中心に調査研究を進めており、今後これらの調査研究の成果が公表されると共にそれらのデータを利用できる。

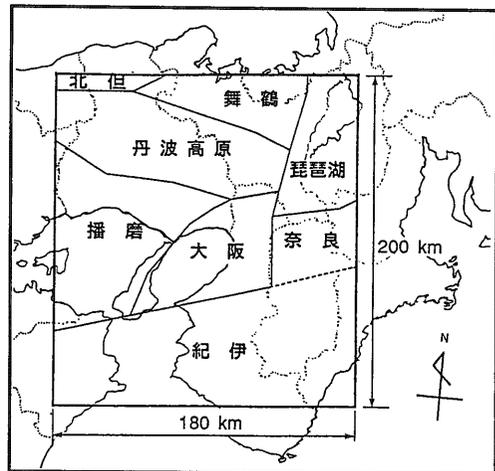
本検討においては、数値計算手法として有限要素法(FEM)および剛体-バネモデル(RBSM)を用いた平面二次元解析により、地震時の大阪ブロックの挙動を再現した。解析モデルは、大阪ブロックを中心にすえた東西約180km、南北約200kmの近畿地方の領域を地質構造上同一と見なせるブロックに分割したものをを用いた。ここでは地質のモデル化、解

析手法、断層の横ずれ挙動の検討結果について述べる。

2. 検討条件

(1) 解析モデル

解析領域は、第1図に示すように兵庫県南部地震の震源である野島-六甲断層系および大阪ブロックをモデルの中央に位置付け、境界の影響が入らないようにその周辺の領域を含めてモデル化した。解析領域内は主要な活断層を各ブロックの境界線とし、一つのブロック内の物性値を地質構造上同一と見なし8ブロックに分割した。ここで、各ブロックの名称は解析の便宜上定義したものである。



第1図 解析領域とブロック分割

1) 佐藤工業(株)中央技術研究所
〒103 中央区日本橋本町4-12-20
2) 鹿島建設(株)情報システム部
3) (財)原子力環境整備センター

キーワード：活断層，兵庫県南部地震，有限要素法，剛体-バネモデル

第1表 岩盤物性値

地層 ブロック名	単位体積重量 γ (kg/m³)	弾性係数 E (MPa)	ポアソン 比 ν	粘着力 C (MPa)	内部摩擦 角 φ (度)
北 但	2,550	7,000	0.25	6.0	35
舞 鶴	2,550	7,000	0.25	6.0	35
丹波高原	2,550	7,000	0.25	6.0	35
琵琶湖	2,550	6,000	0.25	6.0	35
播 磨	2,650	10,000	0.25	8.0	35
大 阪	2,650	10,000	0.25	8.0	35
奈 良	2,550	5,000	0.25	6.0	35
紀 伊	2,550	5,000	0.25	6.0	35

(2) 地盤物性値

岩盤物性値は、既往の地盤調査結果に基づいて設定した。解析に用いる岩盤物性値を第1表に示す。解析では活断層の横ずれ挙動を表現するために断層部に接する要素の辺上に二種類のばねを設定し、これらを介し活断層を形成する隣接二要素を結びつける。すなわち、活断層の部分には断層法線方向のばね(垂直ばね定数; K_n)と、接線方向のばね(せん断ばね定数; K_s)を設ける。また、活断層に蓄えられるひずみエネルギーをばねのせん断定数 K_s を用いて評価した。垂直ばね定数は対応する岩盤相当の物性値とし、せん断ばね定数はブロック境界の最新の活動年代から推定した経過時間と再来周期に応じて以下の三段階に分けて設定している。解析に用いるせん断ばね定数を第2図に示す。

① $K_s = \text{小} : E/100,000$

最新の活動年代が歴史記録にないもの、もしくはかなり古いもので地質学的な見地から今後活動する可能性が高いと考えられるブロック境界。

② $K_s = \text{中} : E/10,000$

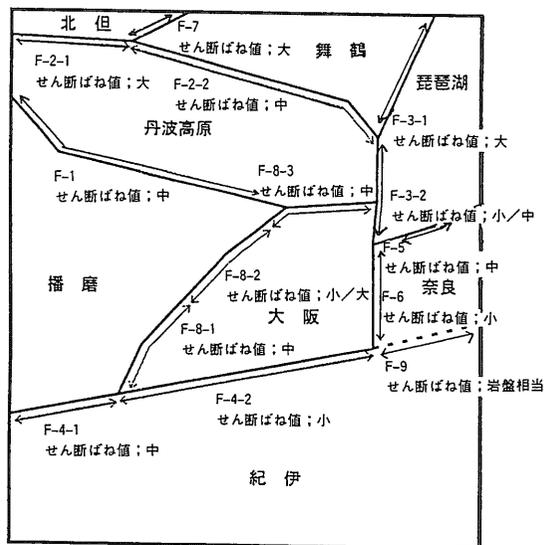
最新の活動年代や再来周期から考えてやや活動度が高いと考えられるブロック境界。

③ $K_s = \text{大} : E/1,000$

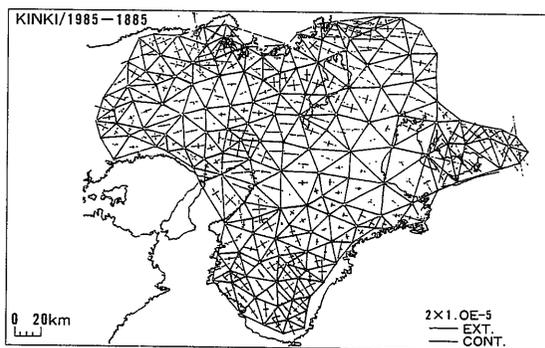
最新の活動年代や再来周期から考えて今後の活動度が低いと考えられるブロック境界。

(3) 荷重・境界条件

地殻変動外力は解析領域境界辺上に強制変位を与えることで考慮した。与える強制変位量としては、第3図に示す過去100年間の近畿地方の水平ひずみ(建設省国土地理院, 1994)を参考にして設定した。すなわち、解析モデルの東側面に南海道地震の影響をとり除いた南北方向へ均一分布する圧縮変位と、さらに南方向へのわずかなせん断的な変位を与



第2図 活断層のせん断ばね

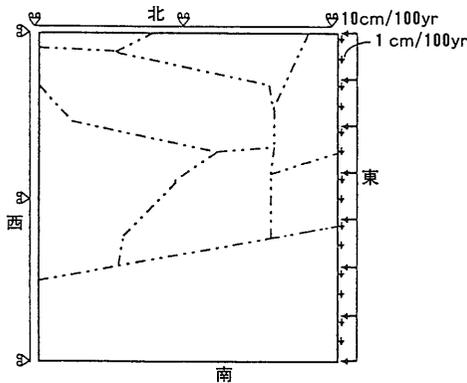


第3図 100年間の近畿地方の水平ひずみ

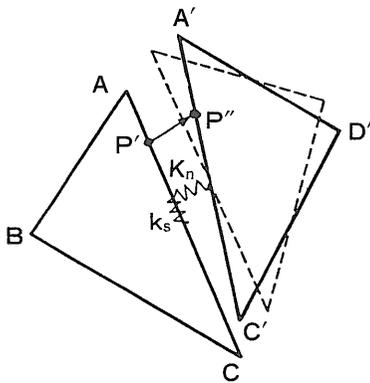
えた。境界条件は、モデル西側境界に対しては東西方向の変位を、北側境界に対しては南北方向の変位を拘束した。他の境界は自由境界として取り扱った。荷重・境界条件を第4図に示す。

(4) 解析手法

解析手法は断層の挙動を考慮してFEMとRBSMの二手法とする。RBSMは構造物の極限解析を目的に開発された手法であり、第5図に示すように解析対象領域内を剛体要素の集合体と、それらを連結する二種類の分布ばね(垂直ばね定数; K_n , せん断ばね定数; K_s)によりモデル化する(川井ら, 1990)。設定したばねに変形特性、破壊基準を持たせることにより不連続体的な挙動を表現することができる。FEMと同様、領域内を要素に分割する解法手法の一つである。また、任意の要素分割形状をとることも



第4図 荷重・境界条件

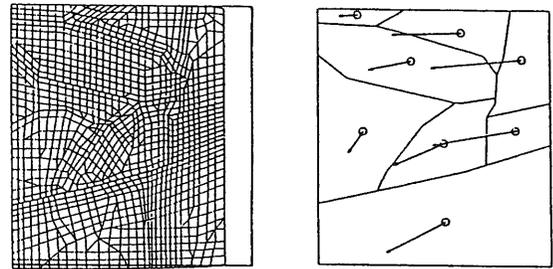


第5図 剛体要素と分布ばね

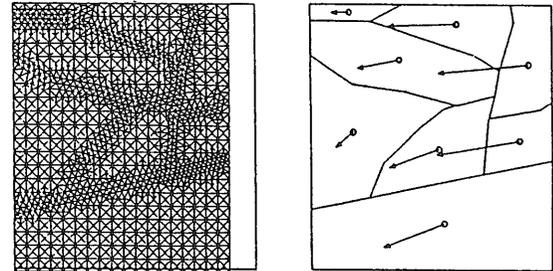
可能である。本検討では、三角形要素を用いた場合と任意多角形によるポロノイ要素(竹内ら, 1993)を用いた場合の解析を実施した。ポロノイ分割を用いたRBSMによる解析では、乱数を用いて要素分割を行うため、破壊パターンがあらかじめ予測できない場合についても人為性を排除した要素分割が可能となる。したがって、新しく発生する断層の予測や既存の断層の進展方向に対する検討を行う場合には有効な方法と考えられる。

(5) 解析ケース

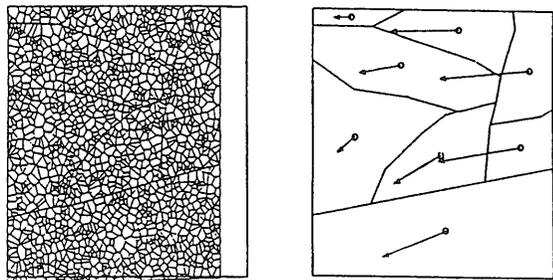
解析ケースは、兵庫県南部地震の発生前後の活断層のひずみの蓄積状況を想定し、活断層のばね定数の違いが断層部の変形挙動に与える影響について検討を行うため、野島一六甲断層系のせん断ばね定数が大きい場合と小さい場合について実施した。なお、解析は線形弾性解析とし100年間分の地殻変動外力を与えた。



FEM



RBSM(三角形要素)



RBSM(ポロノイ要素)

変位 : 10cm ←

変位 : 1.8cm ←

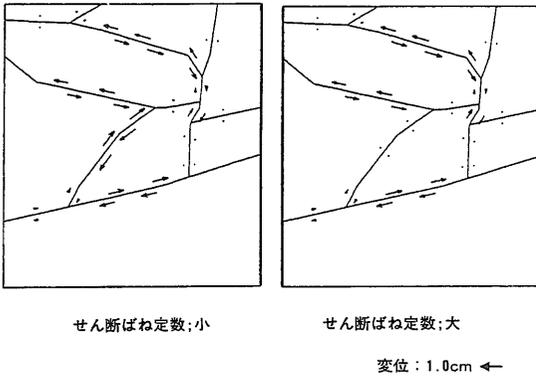
第6図 変形図と変位ベクトル図

3. 解析結果および考察

(1) 解析手法および要素分割について

解析結果として、野島一六甲断層系のばね定数を小とした場合の変形図と変位ベクトル図を第6図に示す。

① FEMと三角形要素を用いたRBSMによる結果を比較すると、播磨並びに奈良ブロックの変位ベクトルの方向に若干の差異が見受けられるが、他のブロックでは両手法による結果は良く一致している。これは、今回の解析が弾性範囲内にあり、全体の変位が断層での不連続的な挙動に支配されないためであると考えられる。



第7図 ブロック境界の相対変位ベクトル図

② RBSMにおける三角形要素とポロノイ要素分割の結果について見ると、ポロノイ要素分割の方が要素数が少なく、さらに節点座標および要素の大きさがランダムなこともあり単純に比較することは難しいが、全体的な傾向として要素分割による影響は少ないようである。本検討で扱った問題においては三角形要素とポロノイ要素とによる結果の差が無く、ポロノイ要素を用いた場合でも各構造ブロックの挙動を表現することが可能であるといえる。

(2) ブロック境界の活断層のばね定数について

解析結果として、各ブロック境界における活断層の相対変位ベクトル図を第7図に示す。

① 兵庫県南部地震で断層運動の生じた野島一六甲断層系および大阪ブロックの挙動についてみると、断層は右横ずれの挙動を示し大阪ブロックは半時計回りに回転しており、地質学的に言われている定性的な動きを本解析は再現していると考えられる。しかしながら、実際にはブロック境界を形成する主要な活断層は逆断層である。横ずれ挙動だけではなく三次元的な挙動を的確にとらえる解析を行う必要がある。

② 地震発生前後を想定した野島一六甲断層系ブロック境界のせん断ばね定数が小と大のケースを比較すると、野島一六甲断層系の活断層の相対変位が大きく異なっている。しかしながら、全ブロックについてみるとその他の活断層の大きな変動は見られない。したがって、野島一六甲断層系のせん断ばね定数の違いがその他のブロック境界の横ずれ挙動に与える影響はほとんどないものと考えられる。

4. まとめ

近畿地方を地質構造上同一と見なせるブロックに分割し、FEMとRBSMにより活断層の横ずれ挙動について解析的な検討を行った。得られた結果をまとめると以下ようになる。

- ① 地質学的な知見に基づいて各ブロック境界ごとのせん断ばね定数を変えた二次元平面解析を行うことにより、兵庫県南部地震時に断層運動の生じた野島一六甲断層系の挙動および大阪ブロックの定性的な動きを再現した。
- ② 解析手法による違いについて検討するためにFEMとRBSMによる解析を行ったところ、両者の結果はほぼ一致した。
- ③ RBSMの要素分割による違いについて検討するために、三角形要素とポロノイ要素分割による解析を行ったところ、両者の結果は同様の傾向を示した。

本来、岩盤に蓄えられたひずみエネルギーの解放が断層運動、すなわち地震であるが、この現象を表現するためには断層の間欠運動等をモデル化した非線形解析が必要である。本検討では断層運動を長期的にとらえ、同様の解析を剛性の変化によりモデル化した。断層の相対変位の結果から、その目的はある程度達成されたものと考えられる。

しかしながら、地盤定数や強度等の物理定数および活断層のばね定数等の入力データに関する情報が現状では不足しており、今後の研究による解析精度の向上が期待される。

参考文献

建設省国土地理院(1994):地震予知観測の成果(3)-近畿・中国・四国・九州・沖縄地域-地震予知連絡会地域部会報告第6巻, p.88.
 川井, 竹内(1990):コンピュータによる極限解析法シリーズ2, 離散化極限解析プログラミング, 培風館.
 竹内, 古谷, 山田(1993):ポロノイ多角形を用いたRBSMの要素自動分割について, 土木学会第48回年次学術講演会講演概要集(1), pp.1430-1431.

ITO H Mamoru, KODAMA Toshio, NAKAMURA Hidetaka, SASAKI Takeshi, ISHII Daisuke and HARADA Yoshikane (1996): A Block Structural Model on The Kinki Area.

<受付: 1996年8月1日>