

## (6) 地震断層における雁行配列の形成

|            |     |       |
|------------|-----|-------|
| 埼玉大学       | 正会員 | ○浜島良吉 |
| ダイヤコンサルタント |     | 山田俊雄  |
| 地質調査所      | 正会員 | 小出 仁  |

### Formation of en echelon arrangement of earthquake faults

Ryoukichi HAMAJIMA, Saitama University  
Toshio YAMADA, Dia Consultants Co., Ltd.  
Hitoshi KOIDE, Geological Survey of Japan

#### Abstract

Most of earthquake faults appear as sets of numerous fractures arranged en echelon. Deformation experiments of rocks under tri-axial stresses and clay-model experiments, also, suggest the discontinuous propagation of faults in rocks under compression. The discontinuous portions of en echelon faults stand against the displacement of rock bodies along the faults. The failure of discontinuity of en echelon faults triggers a large earthquake.

In this study, numerical analyses by the Rigid-Body-Spring-Model (RBSM) were carried out to simulate the echelon propagation of earthquake faults. The RBSM is a kind of discrete elements connected each others with springs along their boundaries.

The calculation results show the en echelon propagation of fractures similar to the earthquake faults and fracturing experiments. The results clearly suggest the formation of quiescent area of earthquake activity which is an important precursory phenomenon for large earthquake.

#### 1. まえがき

地震断層は単なる一本の割れ目ではなく、沢山の割れ目帯によって形成される場合が多い。その割れ目の列が、丁度、雁が編隊を組んで飛ぶときに似ていることから、雁行地震断層、或はエシュロン状地震断層と呼ばれており、郷村断層はその代表例である。又北アメリカ・コルデイレアでの断層も規模は大きいけれども同様の断層系と理解されよう。図1は同じ断層の中をズームアップしていったものであるが、スケールの違いによってもやはり同じ様な性状が観測される<sup>1)</sup>。実験的にはリーデルセン断実験と呼ばれるモデル実験によってこうした地震断層系を再現することができる。こうした実験から松代地震断層の地割れのでき方がモデル実験とよく一致しており、更に実験によって生じる割れ目は従来言われていたより複雑であり、雁行状構造が地震の発生メカニズムに重要な役割を果たしているといえる<sup>2)</sup>。図2は濃尾活断層系模式図であり1891年濃尾地震(M7.9)が地震断層のずれに伴って雁行活断層を結ぶように生じている。またこうした雁行地震断層部分には隆起、陥没部が観測されるが、1857年のフォートヘボン地震(M8以上)の震源であるサンアンドレアス断層のロス・アンゼルス市近傍の屈曲部にも同様の現象が観測される<sup>2)</sup>(図3)。現在も隆起が続いており近い将来に大地震を発生する可能性が高い場所である。雁行断層の不連続部は、断層のずれによって圧縮されるために大きな応力がたまるまで破壊せず、断層のずれに抵抗する。しかし、断層にかかっている応力が大きくなるとついに耐えきれず破壊することになるがそれまでにた

まった歪みエネルギーを一挙に解放するために大きな地震を発生すると考えられる。このことから、こうした雁行断層部分の詳細な力学的検討が必要であり、本研究では数値解析的にこうした雁行配列の断層の形成メカニズムを明らかにすることを目的としている。

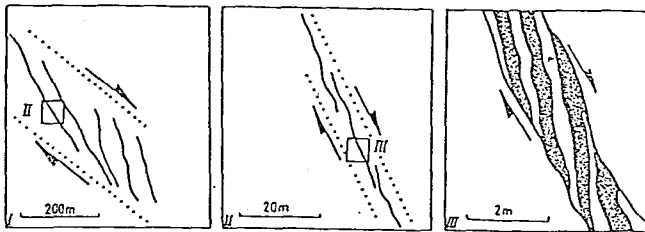


図-1 スケールの異なる雁行断層

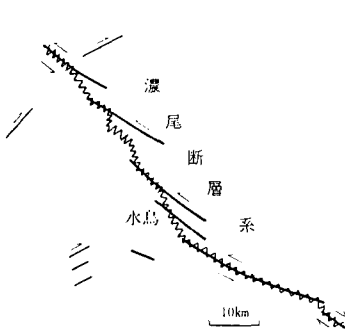


図-2 濃尾活断層系模式図

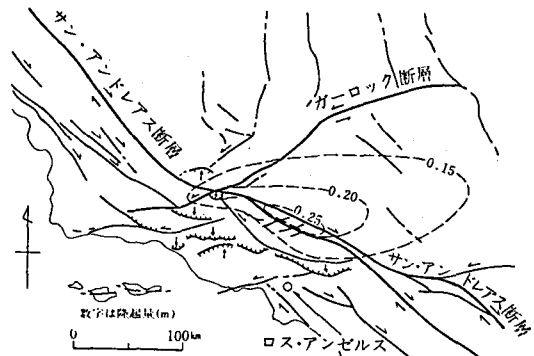


図-3 サンアンドレアス断層屈曲部の隆起  
(屈曲部には多数の副断層、逆断層が集中している)  
隆起量を点線で示す (m)

## 2. 雁行断層の形成メカニズム

愛知・岐阜の県境を流れる木曽川の犬山市付近の河床に現れている岩体の露頭に図4aに見られるような雁行配列をした割れ目が観測される<sup>3)</sup>。この露頭を構成する岩石は、暑さ数cmのやや泥質のチャートとこれと互層するそれより薄い赤色頁岩である。この層状チャートは極めて連続性がよく、又波長数m程度の小さなしゅう曲を繰り返しているが、ここに白い石英脈が図のように顕著な規則性をもって分布している。図4bはこの石英脈の模式的なブロックダイアグラムであり、図4cのような応力場で形成されたと考えられる。こうした共役関係にあるせん断面に沿って石英脈がミ型杉型に雁行配列をしている。この雁行配列を有する近辺の露頭を詳細にみてもと地層の変形構造の種々の段階の形成過程が観察されこれらから地震の発生や広域応力場の議論への発展が期待される。こうしたことから、まず第一の過程として図4aの雁行配列断層の形成メカニズムの検討を行う。

図5は石膏供試体を用いた三主応力実験結果である。拘束圧を静水圧状態で載荷した後、鉛直方向軸圧を増加させたものであり拘束圧が低い場合主として縦方向の割れが生じ、拘束圧が高くなるにつれてせん断破壊に移行する。この実験からは明瞭には図4に見られるような共役なせん断割れ目及びそれに沿う雁行配列状の割れ目は観察されていない。図6a,b,cはこれに対するRBSMによる解析結果であり<sup>4)</sup> 拘束圧のない場合主として縦割れが生じ拘束圧5 kgf/cm<sup>2</sup>の場合には縦割れと斜めのせん断割れ目が混在して生じている。

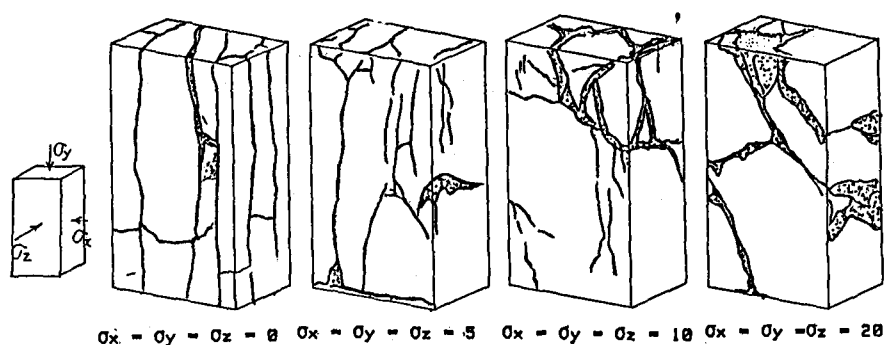
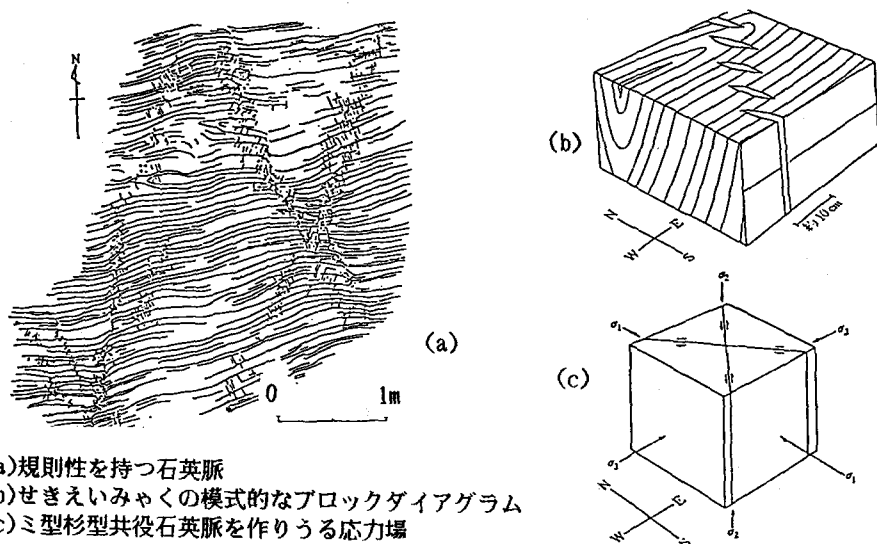


図-5 石膏供試体を用いた三主応力軸圧縮破壊実験

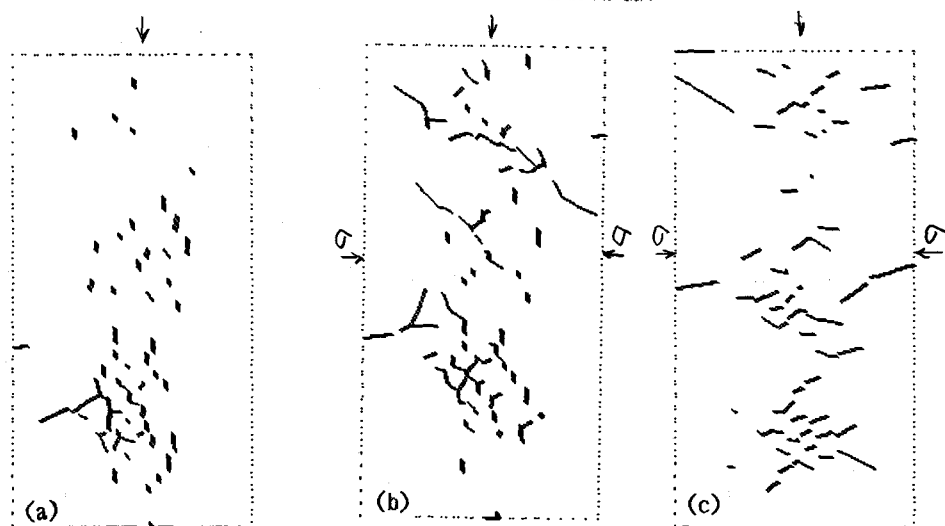


図-6 石膏モデルの圧縮破壊計算結果  
 (a)一軸圧縮 (b) $\sigma = 5 \text{ kgf/cm}^2$  (c) $\sigma = 20 \text{ kgf/cm}^2$

又縦方向の割れ目が雁行配列をしている。拘束圧が $20\text{kgf/cm}^2$ の場合にはせん断割れ目のみが生ずる。このように図4に見られるような理想的な雁行配列形状ではないが拘束圧の大きさによってこうしたせん断面に沿う割れ目の雁行配列が可能であることが示唆される。図7aは解析に用いたボロノイ分割である。又図の様なせん断荷重を作用させることによって図7bのような雁行配列の開口割れ目が生ずる。但し部分的には図中丸印で示されるようなせん断割れ目と開口割れ目が複合して生ずる部分がある。図1で示されるように一本の断層は細かく見れば雁行配列の断層より形成されている。図7bのせんだんめんを図4cの共役せん断面と考えれば図4aの雁行配列の割れ目を説明できよう。図8は2本の割れ目が口を閉じて雁行配列し図のようにせん断変位が与えられた場合である。この場合拘束圧が $20\text{kgf/cm}^2$ の場合割れ目内部には破壊が生じないが $40\text{kgf/cm}^2$ の場合、破壊が割れ目内部に生じている。割れ目内部ブロックの応力状態を見ると $40\text{kgf/cm}^2$ の方が割れ目方向の軸圧力が高くなっていることが分かる。このことは図10のように初期割れ目部分を拡大してみることににより、割れ目方向に1軸圧縮応力場になっており図5、図6の実験及び計算結果が示すように引っ張り破壊が生じていることが分かる。

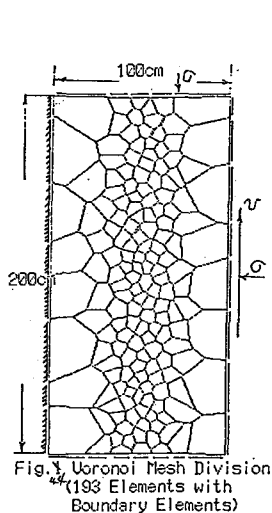


図-7a 解析モデル

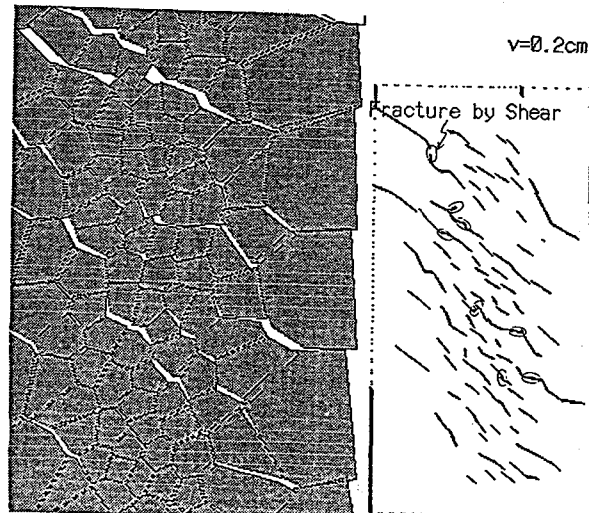


図-7b 初期拘束圧  $\sigma = 5\text{kgf/cm}^2$  でのせん断

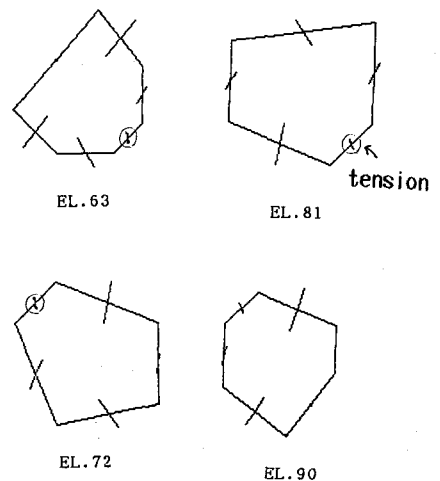
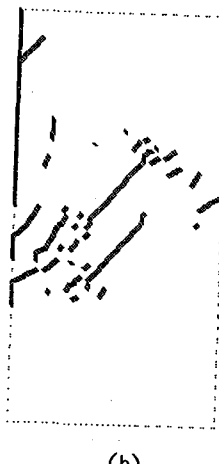
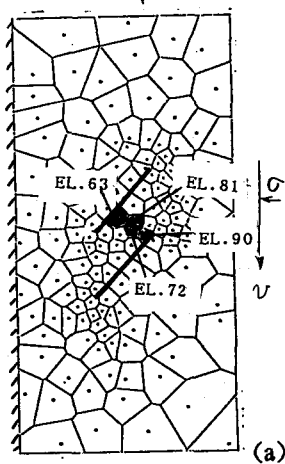


図-8 初期亀裂が存在する場合 ( $\sigma = 20\text{kgf/cm}^2$ ) のせん断  
(a)解析モデル (b)割れ目進展性状  
(c)初期亀裂内部ブロックの応力状態

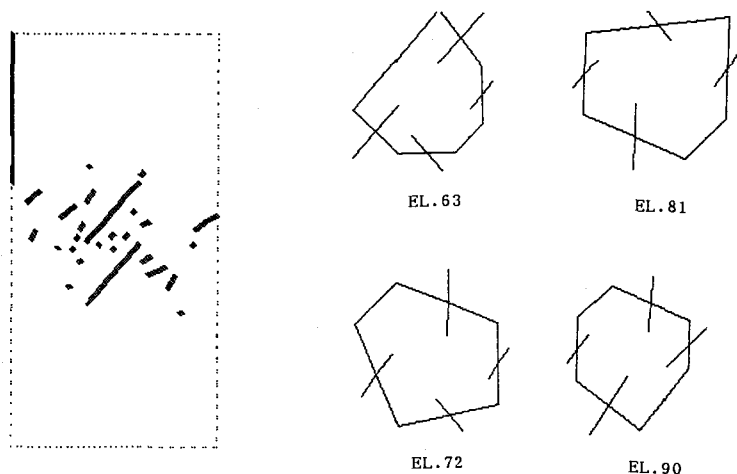


図-9 初期亀裂が存在する場合 ( $\sigma=40\text{kgf/cm}^2$ ) のせん断

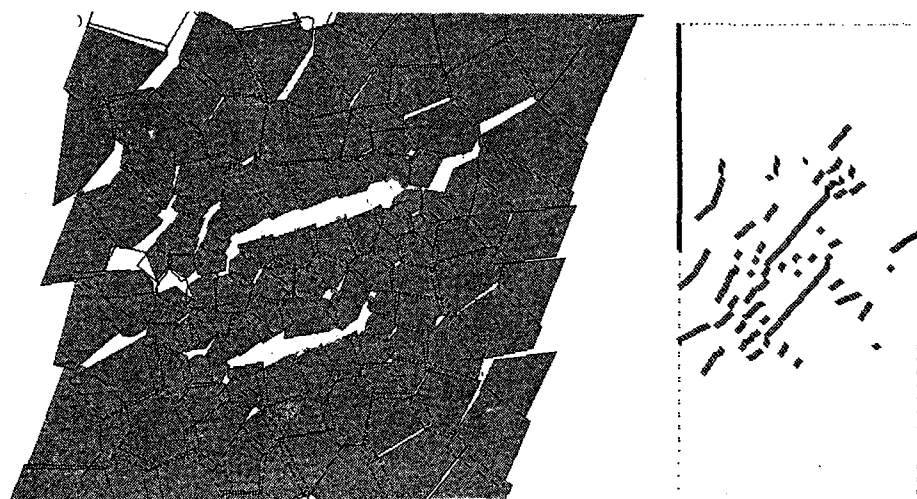


図-10 断層内部の破壊性状

### 3. 結語

数値解析的に断層の雁行配列の状態を再現することを試み、こうした雁行配列をした断層に沿って地震が生じうることを簡単なモデル計算で示した。この場合、先在する断層を囲む応力場の大きさによって断層内部の破壊が左右される。物性値、構成則、拘束条件等多くの吟味すべき点を含んでいると思われるが破壊性状などでは定性的には力学現象をよく表していると思われる。

(謝辞)

水谷伸治郎先生には木曾川河床の露頭を案内して頂き懇切な説明をして頂いた。ここに謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) Jaroszewski, W.: Fault and Fold Tectonics, 1984.
- 2) 小出 仁：地震と活断層の本，国際地学協会，1984.
- 3) 水谷伸治郎，金折祐司：断層の形成過程，科学，Vol. 46, No. 9, pp. 536-544, 1976.
- 4) 浜島良吉他：亀裂および節理系岩盤の進行性破壊の解析に関する研究，応用地質，28-3, pp. 115-125, 1987.