

## 未固結堆積物中の "Vein structure" の 幾何学的形態とその地質学的意義

### Geometry and geological significance of "vein structure" in soft sediment

斎藤実篤・長濱裕幸\*

Saneatsu Saito and Hiroyuki Nagahama

#### I. はじめに

地質構造の形成過程を解明する際、現在形成されつつある場においてその変形様式を正確に把握することは重要である。

付加帯を構成する現在の海溝内側斜面には vein structure と呼ばれる変形構造が存在する。Vein structure は日本海溝の深海掘削試料 Leg 56, 57において Arther et al. (1980) により初めて記載され、ガテマラ沖の深海掘削試料 Leg 67において Cowan (1982) により初めて "vein structure" という名称が用いられた。それ以来、深海掘削試料からの vein structure に関する報告は多い (eg., Lundberg & Moore, 1981; Cowan et al., 1984; Ogawa & Miyata, 1985; Behrmann et al., 1988)。しかし陸上での vein structure の報告は極めて少なく、著者らの知る限りでは三浦・房総半島においてのみである (小川, 1980; 芦, 1987, 1988)。一方、vein structure の成因に関する議論は多くの研究者によってなされたが、hydrofracture 説 (Arther et al. 1980)、広域応力場で形成した伸張裂罅説 (芦, 1987, 1988)、広域応力場で形成した hydrofracture 説 (小川, 1980; Ogawa & Miyata, 1985)、down slope extension による tension crack 説 (Cowan, 1982) など種々の説がある。

小論では従来の研究例を踏まえ、房総半島南部に発達する vein structure の構造解析を行い変形様式の解明を試みるとともに、その成因と地質学的意義について検討した。なお、vein structure という名称はまだ一般的には定着しておらず、その呼び方が適切かどうかは検討の余地がある。

#### II. 地質概説

房総半島南部には海成の新生界が厚く堆積しており、下位から嶺岡層群、保田層群、三浦層群、千倉層群、豊房層群に区分される (Fig. 1)。Vein structure は嶺岡隆起帯の南方の地層群において発達が著しく、特に中～上部中新統の三浦層群天津層 (Amatsu Formation: Loc. 1, 2, 3, 5)、上部鮮新統の千倉層群布良層 (Mera Formation: Loc. 4) において模式的な発達がみられる。本地域に分布する天津層は中尾ら (1986) による石堂層群に相当し、Okada & Bukry (1980) による新第三紀石灰質ナンノ化石帯の CN9を示す化石を産出する (中尾ら, 1986; 小竹, 1988)。本層は、数cm～50cmのスコリア質砂岩・凝灰岩等を挟在する灰白色凝灰質シルト岩を主体とする。三梨ら (1979) による嶺岡山地北方の天津泥岩層とほぼ同様な岩相を示すが、随所に褶曲と乱堆積構造がみられるという点では模式地とは大きく異なる。一方布良層は主に砂岩・凝灰岩の薄層を挟む灰白色凝灰質シルト岩からなり、著しく褶曲している。石灰質ナンノ化石帯の CN12の下部を示す化石を産出する

\* 東北大学理学部地質学古生物学教室

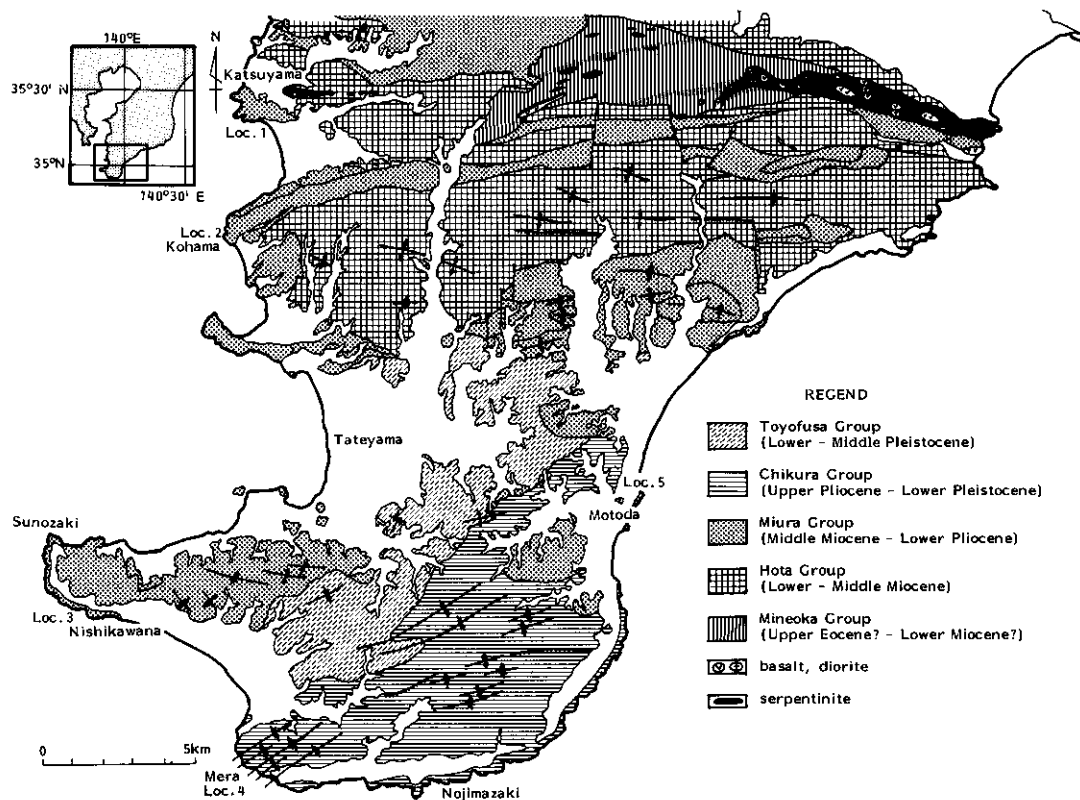


Fig. 1 Geological map and location of the vein structure in the southern extremity of Boso Peninsula.

(小竹, 1988)。

### III. Vein structure の産状

房総半島にみられる vein structure は均質なシルト岩中に発達する傾向が強く、砂岩や凝灰岩中にはほとんど認められない。Vein structure は層理面にほぼ直交し、層理面にほぼ平行な厚さ1~10cmのゾーンをなして発達する (Fig. 2)。ゾーンの側方への厚さの変化はほとんどない (Fig. 3)。層理面と vein の面に直交する断面(ac 断面: Fig. 7)で観察すると、vein structure を構成している個々の vein は中央部でその幅が最も厚く、その上下両端に向かって薄くなり、しばしばその両端は幾枝にも分岐していることがある (Fig. 3)。これらのことから、各 vein が中央部において発生し、分岐しながら上下両方向に向かって成長した過程が推察される。また、大きな vein はS字状に湾曲し、まれに上下両端に二次的な vein structure が発達していることがある (Fig. 4)。一般に vein structure は地層面に平行な迂り面 (以下、迂り面と呼ぶ) を伴って発達し (Fig. 5)、両者の形成時期はほぼ同時期であると考えられる。また多くの場合、vein に伴う迂り面に沿って堆積物の引きずりが見られ (Fig. 5)、その引きずりのセンスを判定することが可能である。一方、vein structure や迂り面は、堆積物が未固結の時に形成した小断層によって切られており、また生痕化石を切っていることがある。従って vein structure の形成時期は生痕形成時期よりも後で、小断層の形成時期より



Fig. 2 Vein structure observed at Nishikawana, Tateyama City, Boso Peninsula on a centimeter scale.

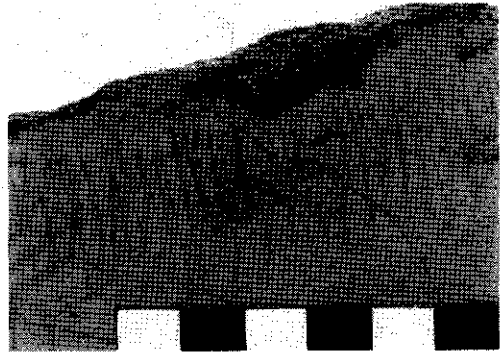


Fig. 3 Typical style of vein structure on centimeter scale.

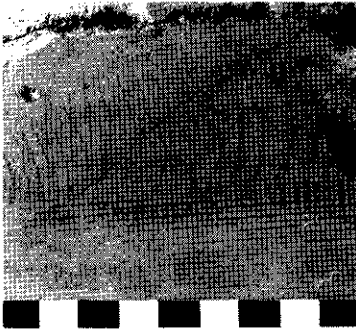


Fig. 4 Sigmoidal veins with secondary veins on a centimeter scale.



Fig. 5 Sliding plane associated with vein structure on a centimeter scale.

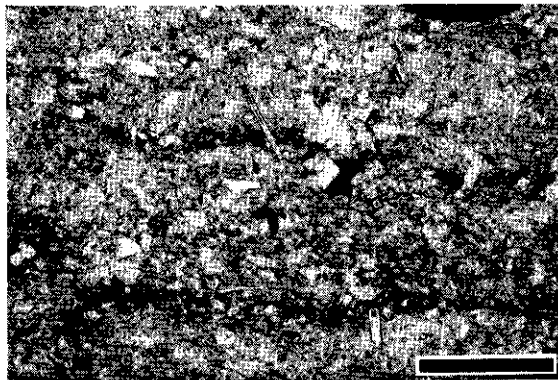


Fig. 6 Vein observed in thin section. Scale bar is 0.3mm.

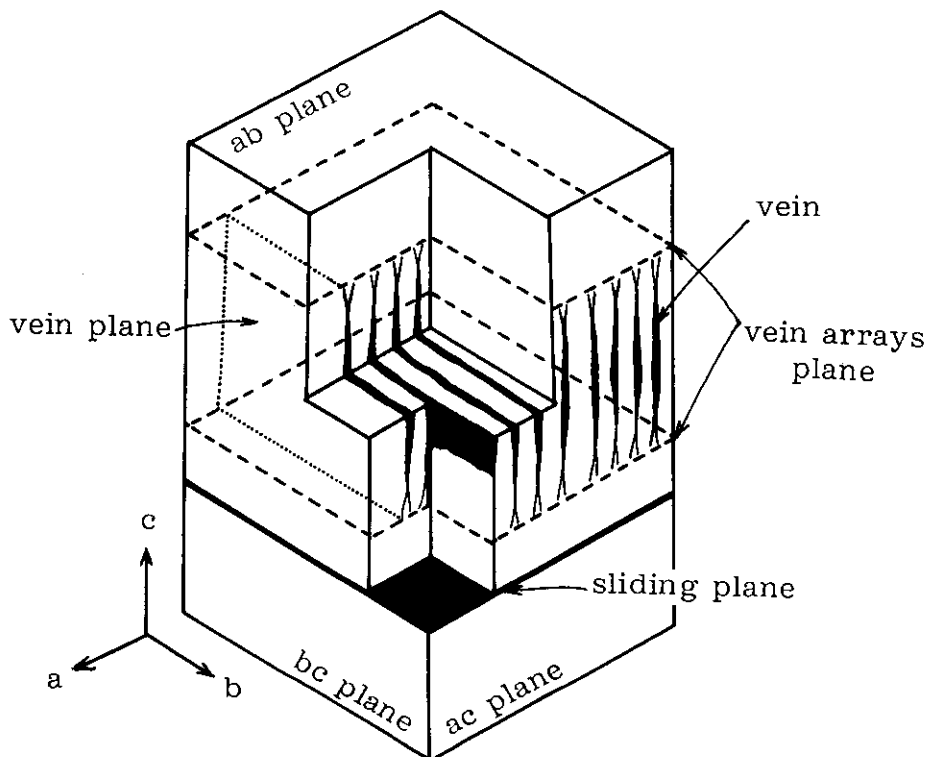


Fig. 7 Three dimensional geometry and the name of parts of vein structure.

は前であるといえる。

鏡下においては、veinは周辺部との境界を縁どる暗色の部分と、それに囲まれた構成粒子の配列が乱されている部分として認識され、境界部の暗色の物質はveinの内部にも散点的に存在する(Fig. 6)。境界部の暗色物質はモンモリロナイト、イライト、緑泥石よりなり、周囲の物質と本質的な差はなく、細粒になっているために暗色を呈す(Arther et al., 1980; 小川, 1980)。また、veinは珪藻や骨針などの微化石を横切って発達していることがあるが、それらの微化石には機械的な剪断破壊が認められない。これらの観察事実から、veinはvein面(vein plane)に沿う剪断変位を伴わない伸張裂罅であると考えられる。

#### IV. 幾何学的形態及びその発達様式

Vein約100本につきvein structureの配列面(vein arrays plane)に対する個々のvein面のなす角度( $\theta$ )を計測し、その結果をヒストグラムに表した(Fig. 8)。Fig. 8によると $\theta$ 値のピークは $82^\circ$ 付近に認められる。このことは個々のveinが配列面に対してわずかながら雁行配列していることを示している。Roering (1968)は、単純剪断変形によって生ずる伸張裂罅が初生的に剪断方向に対し約 $45^\circ$ の角度で発生し、延性的な変形に伴って $\theta$ 値が増大する傾向を実験的に確かめた。 $\theta$ 値が $82^\circ$ 付近にピークを持つvein structureは形態的にFig. 9のD (Roering, 1968, Fig. 14-D)のタイプに類似する。しばしばveinがS字状を呈することがあるが、このことはveinがある程度成長した後、あるいはその成長の過程でそれが剪断変形を受けたことを意味する。この場合S字状の湾曲を

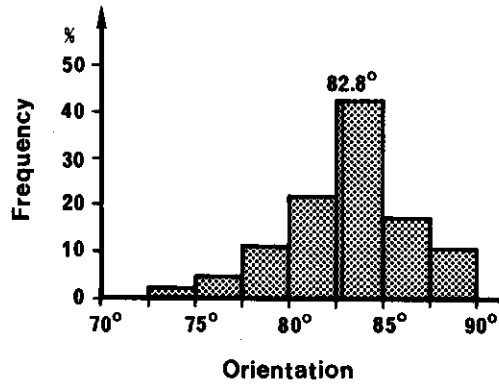


Fig. 8 Histogram showing frequency of  $\theta$ .

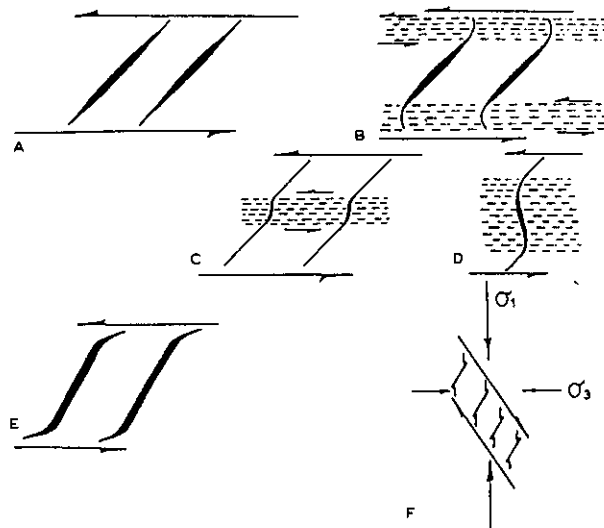


Fig. 9 En-echelon veinlets: A. before shear deformation; B, C, D. deformed by various shear strains. E. The actual, observed shape of en-echelon veinlets contrasting with B, C and D. F. In the formation of “anomalous” shapes, fractures grow from the shear cracks, and are parallel to  $\sigma_1$ .

After Roering (1968).

呈す vein から剪断のセンスを推定することができ、それは vein structure に伴って発達する迂り面に沿うずれのセンスと常に一致している。以上のことより、一般的な vein structure の特徴は以下のようにまとめられる。

- ① ゾーンをなす vein structure において個々の vein の長さはほぼ一定で、個々の vein 間隔もほぼ一定である。
- ② 個々の vein は剪断変位を伴わない。
- ③ 個々の vein はそれらがなす配列面に対し雁行配列を呈する。
- ④ Vein structure は迂り面と密接な関係を持って発達し、推定される両者のずれのセンスは一致する。

- ⑤ S字状に湾曲した vein はその上下両端に二次的 vein を伴うことが多い。

### V. Vein structure の成因とその地質学的意義

Arther et al. (1980) の記載によると, vein は海溝内側斜面表層部200m~600m の未固結堆積物中に発達している。Vein の成因の一つとして, 彼らはテクトニックな圧縮によって引き起こされる脱水過程を重視しているが(Fig. 10), vein の方向性に関しては特に考察をしていない。一方 Lundberg & Moore (1981) も南メキシコ沖の深海掘削試料 Leg 66において vein を記載している。彼らは vein が層理面に対してほぼ直交し, それらが平行配列することを指摘した。そこで彼らは, それらが slope sediment を切る dip slip fault を反映して発達した構造であると考えた。また Cowan (1982) は vein structure が堆積物表層の down slope extension によってできる伸張裂罅 (tension crack) であり, 造構応力に起因するものではないことを強調した。これに対して Ogawa & Miyata (1985) は, vein の成因として地層面に対し垂直な最大圧縮応力軸 ( $\sigma_1$ ) と, vein と直交する最大引張応力軸 ( $\sigma_3$ ) をもつ応力場での堆積物の脱水過程をあげている (Fig. 11)。一方陸上では, 小川

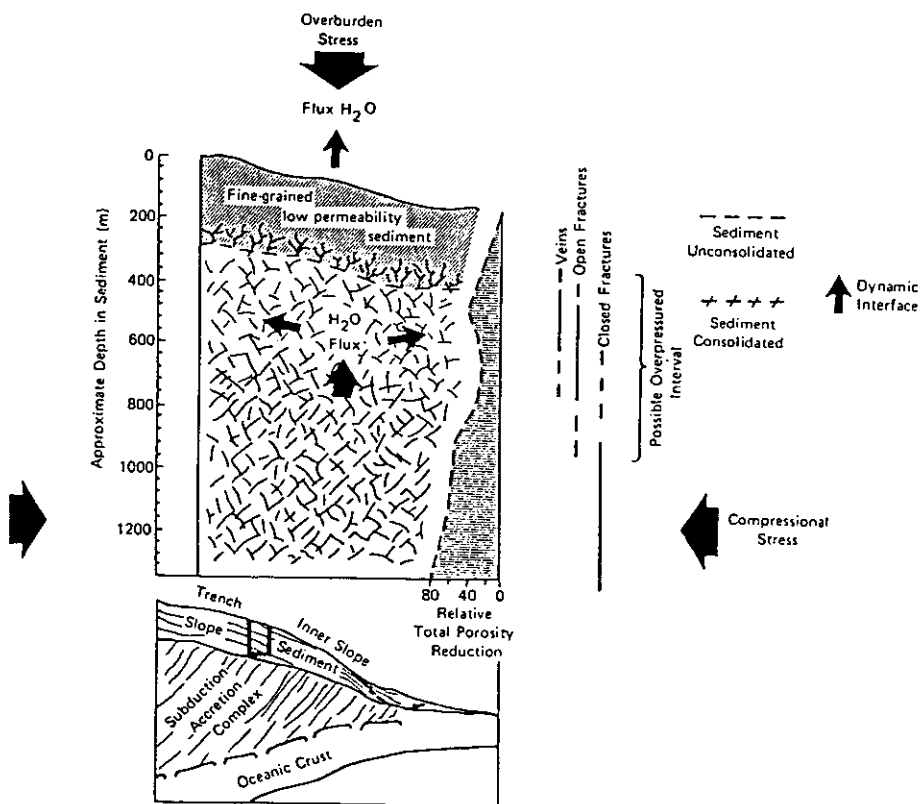


Fig. 10 Schematic model for sediment dewatering, porosity reduction, and stages of tectonic deformation related to burial depth on the trench inner slope off northern Honshu. Fractures at an intermediate stage may be kept open by excess fluid pressure caused by tectonic dewatering of sediment at depth and upward migration of fluids along a fracture network. Increased lithostatic stress with burial to depth greater than 500 meters causes closing and rehealing of fracture.

After Arther et al. (1980).

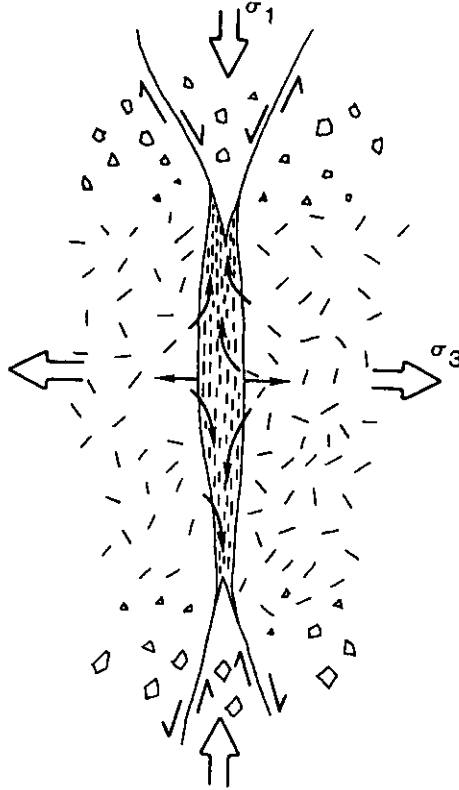


Fig. 11 Model of the first stage of development of a vein which is parallel to the 1 principal stress directions  $\sigma_1$ .  
After Ogawa & Miyata (1985).

(1980) は vein structure の成因として堆積直後の正断層形成時における脱水過程を重視し、vein structure が地層面に対し鉛直な最大圧縮応力によって形成した伸張裂罅であると考察した。また芦 (1987, 1988) は、三浦・房総半島に発達する vein structure がおよそ10km四方に及ぶ範囲で一定した方向性を示すことと、vein structure が最初期の正断層から推定される  $\sigma_{Hmax}$  の方向と一致することを指摘し、vein structure が地層表層部における重力に起因した構造でなく、広域的な造構応力によって形成した構造であると考えた。このように、vein structure の成因に関して種々の説があり、未だ見解は一致していない。

今回、著者らの行った房総半島南部に発達する vein structure の構造解析及びその発達様式の詳細な検討結果は、vein structure と呼ばれるものの多くが、未固結堆積物中での層理面にほぼ平行な剪断変形によって発生した伸張裂罅であることを示唆する (Fig. 12)。一方 vein structure が現在の海溝内側斜面の表層200m~600mまでの slope sediment に特徴的に発達することから (Arther et al., 1980)、vein structure を誘発させた parallel plane shear の原因として、斜面上の未固結堆積物の down slope creep (Cowan, 1982) などが考えられるであろう。また未固結堆積物中の異常水圧孔隙水の挙動とそれに伴う堆積物の物性の変化も vein structure 形成時において大きく関与しているのかも知れない。

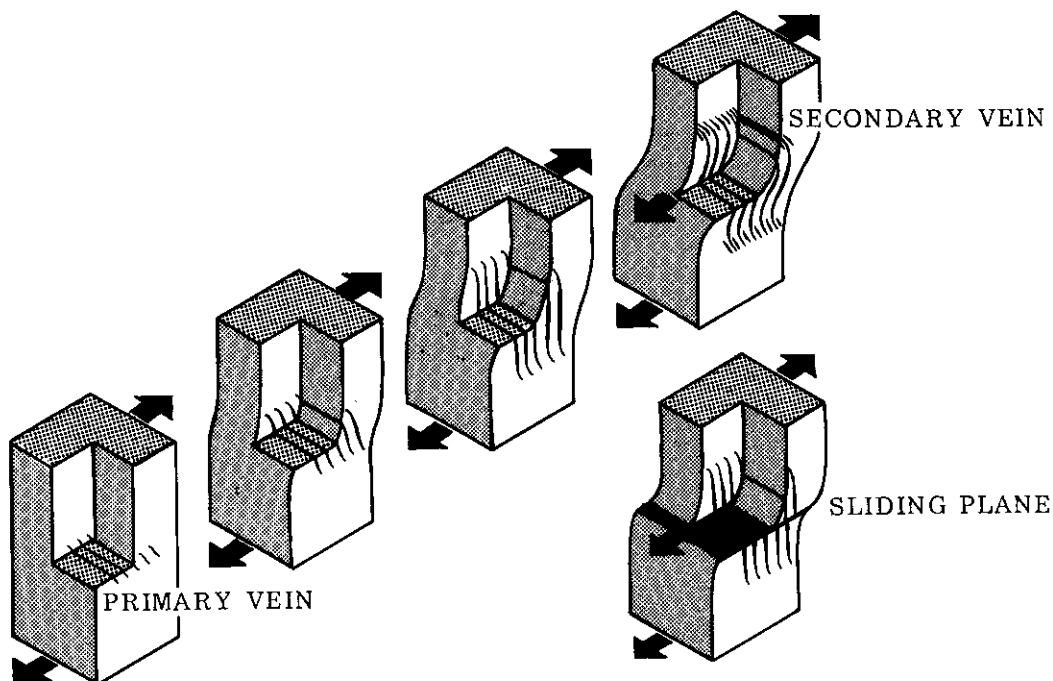


Fig. 12 A model for evolutionary process of vein structure.

## VI. 結 論

世界各地の海溝内側斜面には vein structure と呼ばれる変形構造が存在する。それらは未固結堆積物に特徴的な構造であるため、表層のごく限られた範囲にしか発達しない。一方、房総半島南部の新第三系にも vein structure が発達する。それらの詳細な観察によって、大部分の vein structure は層理面とほぼ平行な剪断変形 (bedding plane shear) に伴って発生した伸張裂罅 (extension crack) であるという結論を得た。従って vein structure の形成条件 (未固結堆積物, parallel plane shear) が揃えば前弧域以外の地域にも発達することが十分に考えられる。Vein structure は parallel plane shear のセンスを判定する重要な指標となり、広域的に vein structure の方向性や形態を調べることによって未固結時の表層堆積物の挙動を把握できる。

## VII. 謝 辞

本研究を報告するにあたり、東北大学理学部地質学古生物学教室の中川久夫教授、大槻憲四郎博士には粗稿の御校閲をお願いし、有益な御助言をいただいた。また、同教室の大友昭平技官には写真撮影に際して多大な御世話を受けた。以上の方々に深く御礼申し上げる。

## 文 献

- Arther, M. A., Carson, B., and von Huene, R., 1980. Initial tectonic deformation of hemipelagic sediments at its leading edge of the Japan convergent margin. In Scientific Party, Init. Repts. DSDP., 56, 57, Pt. 1: Washington (U.S. Govt. Printing Office), 569-614.



- 芦寿一郎, 1987. Vein structure を用いた応力場復元の可能性—房総・三浦半島の例—. 日本地質学会第94年学術大会講演要旨, 462.
- 1988. Injection に伴う地層の回転—房総半島南端の例—. 日本地質学会第95年学術大会講演要旨, 335.
- Behrmann, J. H., Brown, K., Moore, J. C., Masclé, A., and Taylor, E., 1988. Evolution of structures and fabrics in the Barbados Accretionary Prism. Insight from Leg 110 of the Ocean Drilling Program. *J. Struct. Geol.*, v. 10, 577-591.
- Cowan, D. S., 1982. Origin of “vein structure” in slope sediments on the inner slope of the Middle America Trench off Guatemala. In Aubouin, J., von Huene, R., et al., *Init. Repts. DSDP, 67: Washington (U.S. Govt. Printing Office)*, 645-650.
- Cowan, D. S., Moore, J. C., Roeske, S. M., Lundberg, N., and Lucas, S. E., 1984. Structural features at the deformation front of the Barbados Ridge Complex, DSDP Leg 78A. In Biju-Duval, B., Moore, J. C., et al., *Init. Repts. DSDP, 78A: Washington (U.S. Govt. Printing Office)*, 535-548.
- 小竹信宏, 1988. 房総半島南端地域の海成上部新生界. *地質雑*, v. 94, 187-206.
- Lundberg, N., and Moore, J. C., 1981. Structural features of the Middle America Trench slope off southern Mexico, DSDP Leg 66. In Watkins, J. S., Moore, J. C., et al., *Init. Repts. DSDP, 66: Washington (U.S. Govt. Printing Office)*, 793-805.
- 三梨 昂・菊池隆男・鈴木耐元・平山次郎・中嶋輝允・岡 重文・小玉喜三郎・堀口万吉・桂島 茂・宮下美智夫・矢崎清賢・影山国夫・奈須紀幸・加賀美英雄・本座栄一・木村政昭・楡井 久・樋口茂生・原 雄・古野邦雄・遠野 毅・川島真一・青木 滋, 1979. 東京湾とその周辺地域の地質. *特殊地質図 (20)*, 10万分の1, 地質調査所.
- 中尾誠司・小竹信宏・新妻信明, 1986. 房総半島南部石堂地域の地質. *静岡大地科研報*, v. 12, 209-238.
- 小川勇二郎, 1980. 三浦・房総両半島の新第三系シルト岩中にみられる細脈状破断劈開. *九大理研報 (地質)*, v. 13 (2), 321-327.
- Ogawa, Y., and Miyata, Y., 1985. Vein structure and its deformational history in the sedimentary rocks of the Middle America Trench slope off Guatemala, DSDP Leg 84. In von Huene, R., Aubouin, J., et al., *Init. Repts. DSDP, 84: Washington (U.S. Govt. Printing Office)*, 811-829.
- Okada, H., and Bukry, D., 1980. Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). *Marine Micropaleont.*, v. 5, 321-325.
- Roering, C., 1968. The geometrical significance of natural en-echelon crack-arrays. *Tectonophysics*, v. 5 (2), 107-123.

## ABSTRACT

The vein structures, which develop in the present inner slope sediment, can be observed in Neogene System on the southern extremity of Boso Peninsula, central Japan.

We studied the texture of vein structure and process of its development in the case of Boso Peninsula. The vein structure was developed by the parallel plane shear in the soft sediment of high ductility. We propose that the vein structure is a useful indicator of the parallel plane shear sense. It is possible to picture the movement of soft sediment by the analysis of the orientation and style of vein structures.