

キंक褶曲の形成条件

Formative Conditions of Kink Fold

植村 武

Takeshi Uemura

はじめに

褶曲構造の軸に直角な断面の二次元的形態を、褶曲の波形という。褶曲の波形は、二次元の平面曲線であり、曲率の変化の状態によって連続型と不連続型とに二分される。ヒンジの部分が円味を帯びていて、曲率の変化が連続的なものが前者であり、ヒンジがとがっていて曲率の変化が不連続的なものが後者である。後者はキंकをはじめ、シェブロン、アコーディオン、ジグザグ、マイターなどの名を冠して呼ばれる褶曲である。これらのなかで、キंक褶曲と呼ばれるものは、キंकバンドという特徴的な変形帯を短翼とする非対称な褶曲である。

褶曲一般の形成機構は、基本的には座屈(buckling)と曲げ(bending)との複合とみることが出来る(植村, 1974; 1976など)。したがって、キंक褶曲についても、この二つの機構にもとづいて考察をすすめる必要がある。

座屈型キंक褶曲

このタイプの褶曲の形成機構や形成条件については、1970年代のJohnsonらの精力的な研究(Johnson et al., 1974-1976など)をあげることが出来る。Honea & Johnson(1976)は、弾性物質からなる多層系が正弦波(Biot波)褶曲ではなく、キंक褶曲を形成する場合は、層間剪断強度が有限の値を持つ必要があることを明らかにし、次の条件を導いた(第1条件)。

$$K_1 = (\partial v_0 / \partial x) \cdot (Ga / \tau)$$

ここで、 $\partial v_0 / \partial x$ は座屈正弦波褶曲における初期勾配の最大値、 Ga はこの系の平均剛性率、 τ は層間剪断強度である。この条件をよく検討してみると、 $\tau = 0$ (これは $Ga = 0$ なることを要する)、あるいはもっと一般的には、 $K_1 = 0$ ならば正弦波および同心円状褶曲が発達し、 $K_1 > 0$ ならばキंक褶曲が発達するという結論に到達する。換言すれば、 $K_1 = 0$ または $K_1 = \infty$ ならば正弦波褶曲が発達し、 K_1 が有限の値ならばキंक褶曲が発達する。

もう一つの条件は、キंक褶曲の発生に必要な限界荷重が、上記の多層系の中央波面に沿う剪断強度のどれよりも大きいと仮定することによってもとめることができる。つまり、キंक褶曲を発生する限界荷重が正弦波褶曲を発生する限界荷重よりも大きくなければならない、という仮定である。第2の条件は、次のようになる。

$$K_2 \quad P_0 = P_B > P > P_0$$

ここで、 P は圧縮軸に沿う荷重、 P_B および P_0 はBiot波および正弦波を発生するための荷重である。

この条件を詳しく検討すると、 $K_2 \gg 1$ および $K_2 = 1$ ならばBiot波およびキंक褶曲の発生にとって有利であり、また、多層系内の層の数が増すほどキंक褶曲ができやすくなることがわかる。いいかえるとこれら2つの条件は、キंक褶曲の形成にとって有効な因子が、有限の値を持つ層間剪断強度・大きな値の平均剛性率・座屈層内の大きな値の初期勾配および剥理の良好な発達などであることがわかる。

* 新潟大学理学部：〒950-21 新潟市五十嵐二の町 8050

曲げ型キंक褶曲

この型のキंक褶曲に関する研究は、理論的にも実験的にもきわめて少ない。純粋剪断型の変形における共役剪断帯にみられる構造などが、これに相当するものであろう。

Dewey et al.(1965)のjoint drag型キंकバンドの大半や、植村・龍(1987)の不連続型キंकバンドなどは、おそらくこの型の褶曲の短翼に相当するものであろう。

この場合、理論的考察にとっても、最も重要な問題は、ある幅を持った変形帯であるキंकバンドの形成機構に関するものであろう。キंकバンドと、剪断性節理や脆性断層との相違は、前者が後者より若干高い延性度で形成されることであろう。しかし、ノーマル・キंकバンドすなわち曲げ型キंकバンドは、剥理面と高角をなす面状構造が存在する場合には、低延性度の条件においても形成される。

変形系列

Weiss(1968)やAnderson(1974)などの実験的研究によれば、座屈型のキंकバンドはむしろ高い封圧下で形成されるし、このことはまた、理論的な考察とも一致する。しかしながら、植村・龍(1987)が指摘したように、実験の場合に不可避的な大きい歪み速度や、天然にはいつでも発生し得る間隙圧を考慮すると、このことは必ずしも高延性度を意味しない。曲げ型キंकバンドの形成条件としては、一般には低延性度条件を想定するのが妥当である。

要するに、キंक褶曲は、両タイプとも平均延性度が低いし中程度で、延性度較差が中程度の変形相に属するものであって、座屈型から曲げ型に向って平均延性度が減少する系列を構成している。植村・龍(1987)は、キंकバンドを「円型」・「角型」・「不連続型」に分類し、この順序に平均延性度が減少するとしたが、後二者がここで議論したものに相当する。

文 献

- Anderson, T. B., 1974: The relationship between kink bands and shear fracture in the experimental deformation of slate. *Jour. Geol. Soc. Lond.*, v.130, 367-382.
- Dewey, J. F., 1965: Nature and origin of kink bands. *Tectonophys.*, v.1, 459-494.
- Honea, R. and Johnson, A. M., 1976: A theory of concentric, kink and sinusoidal folding and of monoclinical flexuring in compressible, elastic multilayers. IV: Development of sinusoidal and kink folds in multilayers confirmed by rigid boundaries. *Ibid.*, v.30, 197-239.
- Johnson, A. M., 1975: Ditto. III: Transition from sinusoidal to concentric-like to chevron folds. *Ibid.*, v.27, 1-38.
- and Ellen, S. D., 1974: Ditto. I: Introduction. *Ibid.*, v.21, 301-339.
- and Honea, E., 1975: Ditto. II: Initial stress and nonlinear equation of equilibrium. *Ibid.*, v.25, 266-280.
- Reches, Z. and Johnson, A. M., 1976: Ditto. VI: Symmetric folding and monoclinical kinking. *Ibid.*, v.35, 295-334.
- 植村 武, 1974: 第三系の変形機構に関する研究。総研報告「東北地方における第三紀地殻変動に関する構造地質学的研究」、75-79.
- , 1976: 北信第三系の褶曲モデル。地質学論集, no.13, 203-209.
- 植村 武・龍 学明(1987): 岩石のキंकバンド。地質雑. v.93, 681-699.
- Weiss, L. E., 1968: Flexural slip folding of foliated model materials. *Geol. Surv. Canada Paper*, no.52-68, 294-357.