

スケールモデル実験による三次元インバージョン構造の形成過程の検討

Scaled Analogue Experiments of 3D Inversion Structures

山田 泰広[1]

Yasuhiro Yamada[1]

[1] 石資・技研

[1] JAPEx Research Center

砂などのアナログ物質を用いたモデル実験は、上部地殻の脆性破壊を再現できるため、地質構造の形態とその形成過程を検討する際の有力な手法である。今回は3次元的な形態の断層がまず正断層として活動し、次に逆断層として再活動した際に、断層上盤にそれぞれどのような変形構造が形成されるか、モデル実験を行って検討した。その結果、断層の形状は構造形態に大きな影響を与えることが観察された。このような実験は良質の地震探鉱データが得られない深部構造の推定に役立つ。

[はじめに] 断層上盤に形成される褶曲や小断層などの変形構造の形態は、深部に伏在する主断層の形状によって支配される。今回は、両者の関係をアナログモデル実験を行って検討した。実験で用いた主断層は、三次元的な形状を持つ2種類のリトリック断層（下位ほど緩傾斜となる断層）である。この主断層に、伸張変位とその後圧縮変位を与えた際に、それぞれ上盤に形成される変形構造の形態とその形成過程の観察を行った。

[モデル実験] 砂や粘土などを用いたアナログスケールモデル実験は、クーロン破壊の挙動を示す上部地殻の変形構造の形態とその形成過程を検討する際の有力な手法である。これまでに伸張、圧縮、横ずれなどの応力場について実験が行われ、実際の地質構造に応用されてきた。特に石油開発会社では、堆積盆地における複雑な地質構造の形成過程や深部構造の形態を理解することが必要であるため、モデル実験を用いた様々な検討が進められてきた。今回紹介するインバージョン構造（後述）については、これまで二次元モデル実験による検討が行われてきたが、三次元的な形状を持つ断層面の影響による構造形態の側方への変化を観察するために、三次元実験を行った。今回の実験では、相似比から、モデル中の1cmは実際には約1kmに相当する。

[インバージョン構造] インバージョン構造とは、応力場の転換に伴って形成される特徴的な地質構造のことである。一般に堆積盆地は伸張応力場で形成されるが、その後何らかの原因で圧縮応力場に転換することがある。このとき、既存の伸張性構造によって圧縮構造の形成が制約された結果、単なる圧縮構造とは異なる構造が形成されることがある。これがインバージョン（positive inversion）構造である。まれに圧縮構造が伸張応力によって再度変形することもあり、これもインバージョン（negative inversion）構造と呼ばれる。

[実験結果1] 単純なリトリック断層を用いた実験の結果、伸張時には上盤に rollover 背斜構造が形成され、その頂部付近に crestal collapse graben（以下 CCG と略）と呼ばれる地溝部が形成された。伸張運動時に形成された堆積層（syn-extension strata）は、断層に向かって層厚が増す楔型の断面形態を示す。一方、圧縮時には断層近傍で急傾斜となる非対称形の背斜構造や CCG の一部を使用して活動した back thrust、さらに footwall shortcut と呼ばれる小衝上断層群が形成された。圧縮運動時に形成された堆積層（syn-contraction strata）は、主断層に向かって厚さを減じることが観察された。

[実験結果2] 上部で再度緩傾斜となるリトリック（緩い S 字状）断層の上盤には、伸張時には CCG と主断層の中間に軸を持つ向斜構造が形成された。また、CCG の形態は実験結果 1 より複雑であり、高傾斜の逆断層も伸張時に特徴的に観察された。圧縮時には比較的対称形の形態を示す背斜構造が形成され、主断層と back thrust に挟まれて pop-up 構造を示す。堆積層（syn-contraction strata）は fault-bend folding に伴って形成される growth structure に似た構造を示す。

[まとめ] 実験結果から、主断層の形態は上盤に形成される褶曲構造の形態や、新たに形成される小断層の形態・分布を支配することが明らかとなった。これは伸張応力場で形成される構造群についても、その後圧縮応力場に転換した後に形成されるインバージョン構造についても成立する。このような実験結果は、10km 程度までの大深度地下構造や、複数の応力場によって形成された複雑な変形構造の発達過程を検討する際など、一般に地震探鉱データの質・量が不十分な地域・深度の構造形態を推定する場合に、構造解釈のテンプレートとして非常に有用である。