

P-2. 岡山市西部に分布する白亜紀花崗岩のテクトニック・ノンテクトニック節理群

Tectonic and non-tectonic joints of Cretaceous granite in the western area of Okayama City

光本恵美(高知大・理)・藤田勝代((財)深田地質研究所, 高知大院)・横山俊治(高知大・理)

1. はじめに

西南日本内帯の花崗岩中には互いに直交する2方向の高角節理群と低角節理群の発達を観察される。これらの節理群に囲まれた岩塊は方状を呈していることから方状節理と呼ばれることがある¹⁾。方状節理という認識は高角節理群と低角節理群が同時に形成されたとみなすことで、一般には花崗岩体の冷却時の収縮が方状節理の原因であると考えられている²⁾。

これに対して、兵庫県六甲山地の花崗岩類の節理を解析した平野³⁾のように、高角節理群と低角節理群とは成因が異なるとする見解もある。平野は、互いに直交する高角節理群は共役関係にある造構節理(せん断節理)であるとし、それから求められた最大主応力軸は東西方向を向き、それは西南日本内帯の活断層から求められた主応力や極浅発地震や微小地震の発信機構から求めたものと矛盾しないとしている。高角節理群の形成時期については明言していないが、上記の文脈からすると、高角節理群は第四紀後半の造構応力場のもとで形成されたかと平野は考えているようである。一方、低角節理群については、詳細な解析はないが、上載荷重の除荷によるシーティングジョイントであると述べている。

調査地域の岡山市西部に分布する白亜紀花崗岩中にも互いに直交する2方向の高角節理群のほか、2タイプの低角節理群が発達しているのが明らかになった。本論文では、それらの節理群の分布、方向、破壊様式について記載し、高角度節理群が造構作用によるテクトニック節理群であり、低角節理群が非造構性のノンテクトニック節理群であることを論証する。

2. 調査地域の地質

2.1 花崗岩類

調査地域に分布する花崗岩は山陽帯の花崗岩に属し、桜色のカリ長石が特徴的な粗粒角閃石黒雲母花崗岩が主岩相をなす。この粗粒角閃石黒雲母花崗岩にアプライトが貫入しており、アプライトは低角でシート状の形態をもって広がっているのが野外で観察できる。掘削深750mのボーリングコアで確認されたアプライトの貫入面も低角(0~40°)で、その厚さは深部方向に増大し、深度750mまでのアプライトの積算層厚は146.2m(19.5%)、最大の見かけ層厚は39.8mに及ぶ^{4), 5)}。

2.2 岩脈類

調査地域には、閃緑ヒン岩・フェルサイト・石英斜長石斑岩などの岩脈が平行岩脈群を形成している。測定した岩脈の貫入面は、オフセット部を除くと、急傾斜で北北西方向を示している(図-1)。

西南日本内帯の白亜紀花崗岩に貫入している平行岩脈群は第1期から第5期までの5回の岩脈活動に区分される⁶⁾。このうち、山陽帯の花崗岩に貫入している岩脈群は後半の3期である。調査地域の平行岩脈群は、母岩の花崗岩がなお高温で完全に固結していない時期の岩脈活動で形成された第3期岩脈群に対比される岩脈と、母岩の花崗岩が完全に固結し温度がかなり低下した時期の岩脈活動で形成された第4期岩脈群に対比される岩脈が混在して分布している。第4期岩脈群のフェルサイト岩脈のK-Ar年代値(カリ長石)は75.3Maと75.9Maが得られており⁷⁾、母岩の花崗岩のK-Ar年代値(黒雲母)である75.0Maと76.0Ma⁷⁾とは重複していることから、両者の冷却年代にはほとんど時間差がないと考えられる。

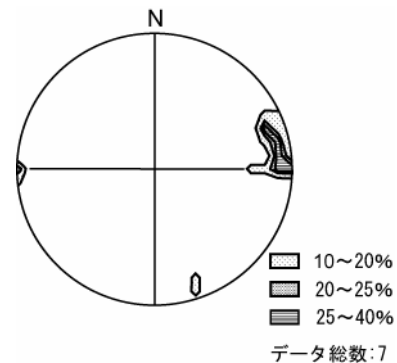


図-1 岩脈の走向傾斜(シュミットネット下半球投影)

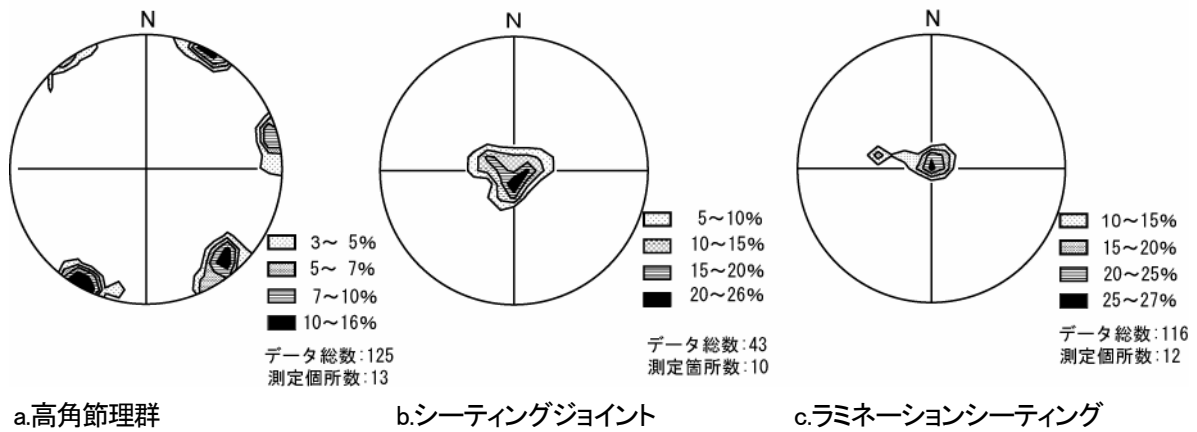


図-2 高角節理群・シーティングジョイント・ラミネーションシーティングの走向傾斜(シュミットネット下半球投影)

3. 節理群の特徴

3.1 高角節理群

高角節理群は北北西，東北東，西北西の3方向が卓越している(図-2のa)．測定を行った13地点では北北西方向と東北東方向の2方向が卓越し，残りの1地点では北北西方向と西北西方向の2方向が卓越している．したがって，いずれの地点でも，互いに直交する2方向の高角節理群が発達していると見ることができる．ここでは北北西方向の高角節理群をTJ1高角節理群，東北東あるいは西北西方向の高角節理群をTJ2高角節理群と呼ぶことにする．

TJ1およびTJ2高角節理群の傾斜はほとんどが60度以上である(図-3)．節理面は平滑で連

続性が良く，多くはほぼ1~3m間隔で走っている．TJ1とTJ2高角節理群の関係は，一方が他方に完全にアバットする(早期の節理のところでは後期の

節理が停止する関係)証拠は得られていない．節理面は結晶粒界を横切って走り，かつ破断面に沿ってズリ変位をもたない引張り割れ目である(図-4)．特記事項として，TJ1高角節理面に沿って鉍化作用を示す金属鉍物の付着が観察されている(酸化していたため，鉍物種は未同定)．

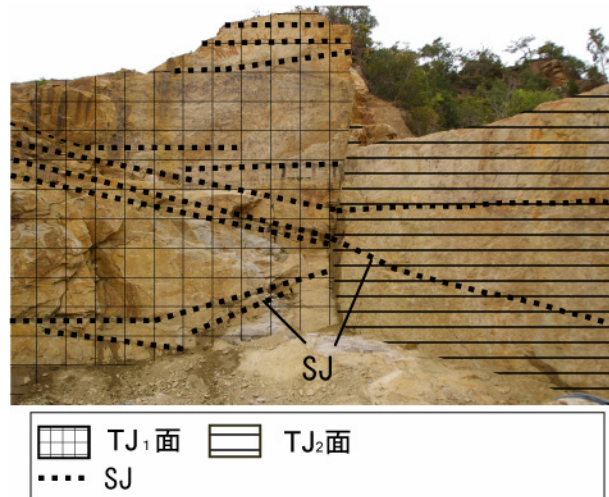


図-3 高角節理群(TJ1面, TJ2面)とシーティングジョイント(SJ)の産状

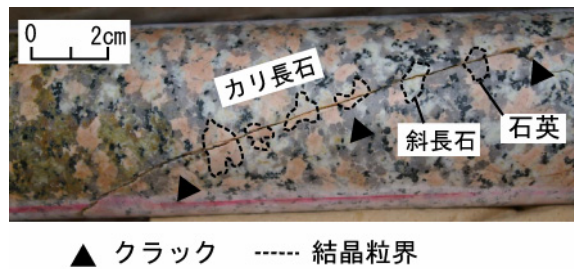


図-4 ズリ変位をもたない引張り割れ目であることを示す高角節理(深度197.60m付近)

3.2 シーティングジョイント

低角節理群のひとつのタイプは連続性が良く (図-3), 時折緩やかな曲面を描いている割れ目群 (図-5) で, 高角節理と同様に, 結晶粒界を横切って走り, かつ破断面に沿ってズリ変位をもたない引張り割れ目である (図-6). ここではこのような低角節理群をシーティングジョイントと呼ぶ. シーティングジョイントは大部分が 30 数度よりも緩傾斜である (図-2 の b). シーティングジョイントの節理間隔は露頭では高角節理群のそれよりも狭いが, 掘削深 750m のボーリングコアを解析すると, 深部に向かって広がる傾向がある⁴⁾.

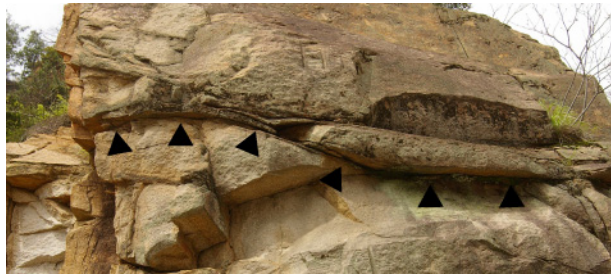
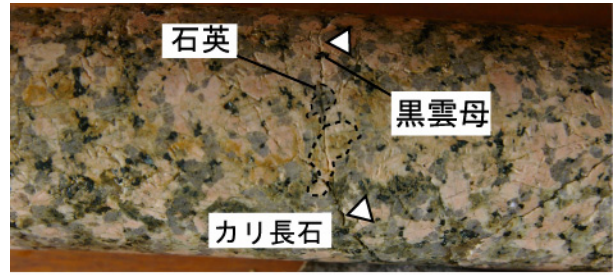


図-5 緩やかな曲面を描いたシーティングジョイント



△ クラック ---- 結晶粒界

図-6 ズリ変位をもたない引張り割れ目であることを示すシーティングジョイント(深度 102.20m)

3.3 ラミネーションシーティング

低角節理群のなかでも, ミリメートルオーダーの割れ目間隔をもち, 平行~準平行に発達する割れ目群をラミネーションシーティングと呼ぶ (図-7)^{8) 9)}. ラミネーションシーティングは結晶粒界を横切って走り, かつ破断面に沿ってズリ変位をもたない引張り割れ目である. ラミネーションシーティングはシーティングジョイントの傾斜に近く, 大部分が 30 数度よりも緩傾斜を示す (図-2 の c).

他の花崗岩地域では, ラミネーションシーティングの発達する D 級岩盤 (マサに相当) が地表から 20~30m くらいの深さまでほぼ水平に分布しているのが一般的であるが, 本地域では, ラミネーションシーティングが発達する見かけ層厚 7m

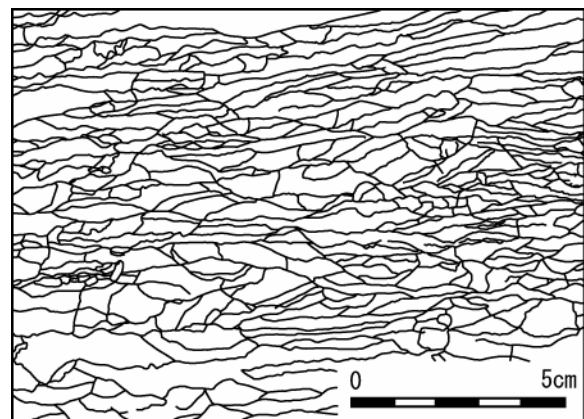


図-7 粗粒角閃石黒雲母花崗岩中に発達するラミネーションシーティングのスケッチ

あ D 級岩盤が山頂部の一部に分布するのみである (図-8). ここでは D 級岩盤の直下に CH~B 級岩盤が広がり, 両者の岩盤の境界にはシーティングジョイントが走っている. 調査地域のほとんどの場所では, 地表付近に未風化核岩とそれを取り巻く D 級岩盤からなる花崗岩が分布している. D 級岩盤中にはラミネーションシーティングが発達していて, 角が丸みを帯びた未風化核岩を取り巻いている (図-9, 図-10). 未風化核岩は高角節理群とシーティングジョイントに囲まれた方状の岩塊が源になっており, 未風化核岩として存在する部分は, これらの節理に沿って形成されたラミネーションシーティングの発達を免れたところである. 未風化核岩の分布域よりさらに深部になると, ラミネーションシーティングはシーティングジョイントに沿ってのみ発達するようになる (図-11). 掘削深 750m のボーリングコアの解析によると, ラミネーションシーティングは深部に向かって次第に減少し, 深度 510m 以深ではその存在が確認されていない²⁾.

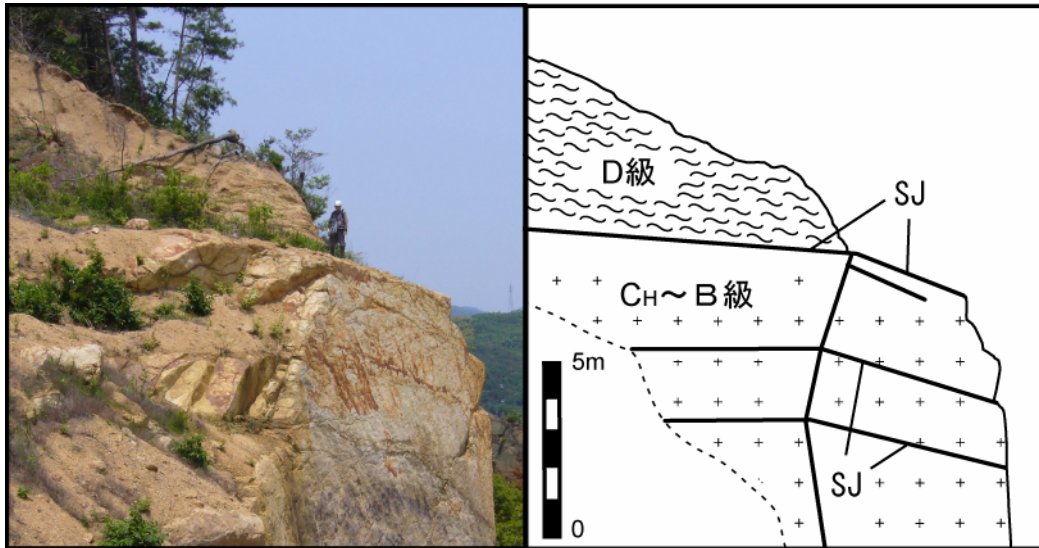


図-8 野外で観察できる風化帯構造(左)とそのスケッチ(右)

ラミネーションシーティングが発達し、鬼真砂と呼ばれるマサがみられるD級岩盤の直下にC_H~B級岩盤が分布している。両岩盤の境界には緩傾斜のシーティングジョイント(SJ)が走っている。

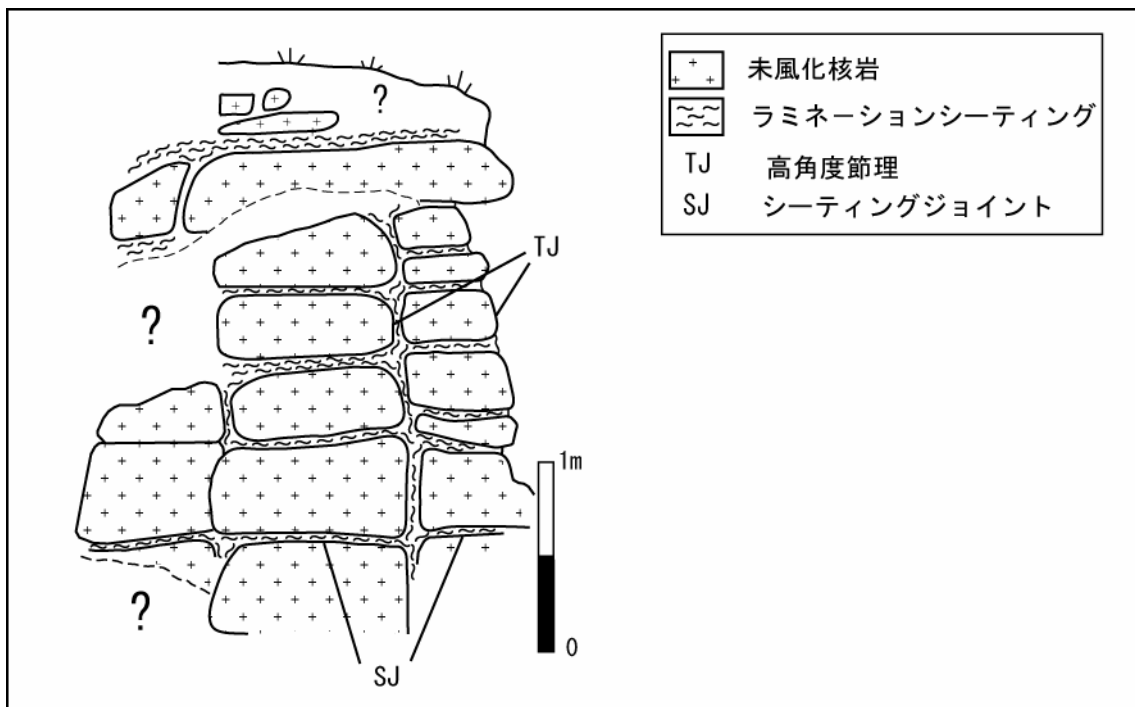


図-9 未風化核岩とラミネーションシーティングの産状を示す露頭スケッチ

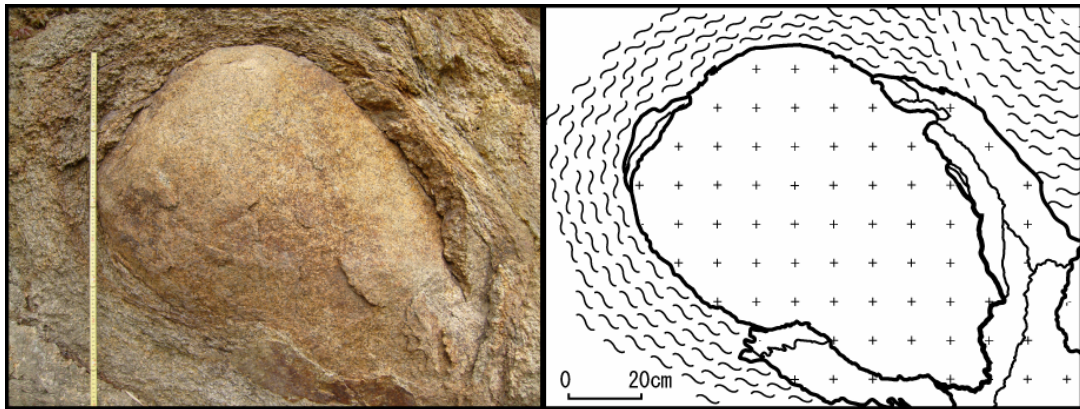


図-10 未風化核岩を取り巻くラミネーションシーティングの写真(左)とそのスケッチ(右)



図-11 シーティングジョイント(SJ)に沿って発達するラミネーションシーティング

4. 考察:テクトニック・ノンテクトニック節理群の分類と成因

4.1 テクトニック節理群

地殻応力場では、地表面がせん断応力の働かない自由表面であることから、少なくとも表層とその近傍において主応力軸の一つは鉛直になる¹⁰⁾。したがって、地形的起伏に起因した応力集中の影響を受けない深度の地殻では、より単純な状態を仮想して、鉛直応力 (σ_v)・水平最大主応力 (σ_{Hmax})・水平最小主応力 (σ_{Hmin}) を3つの主応力と見なし議論される。

記載した節理はいずれも引張り割れ目であることから、最小主応力 (σ_3) の方向は節理面に垂直である。高角節理においては、節理面に垂直な方向が水平最小主応力 (σ_{Hmin})、節理面の走向方向が水平最大主応力 (σ_{Hmax}) となる。岩脈は高角の引張り割れ目にマグマが貫入した火成岩体なので、主応力の配置は高角節理と同じである。

TJ1 高角節理群の卓越方向から推定される σ_{Hmax} は北北西である。TJ1 高角節理群の節理面に金属鉱物が付着していることから、TJ1 高角節理群の形成は花崗岩が冷却末期のなお高温である時期であり、花崗岩の定置場に近い地下深所であったと推定される。一方、第3期岩脈群の岩脈活動も母岩の花崗岩がなお高温であった時期であり、岩脈の貫入面の方向から推定される σ_{Hmax} は北北西で TJ1 高角節理群の σ_{Hmax} と一致している。このことから、TJ1 高角節理群 (少なくともそのかなりのもの) は第3期岩脈群の岩脈活動の時期に形成され、その一部が第3期岩脈群の岩脈マグマの通路となった可能性がある。第3期岩脈群は広域的な応力場の元で形成されたものであることから、TJ1 高角節理群も広域的な応力場の元で発生したテクトニック節理群であると結論した。

調査地域の TJ1 高角節理群と TJ2 高角節理群との間では明瞭なアバット関係は認められないことから、TJ1 高角節理群と TJ2 高角節理群は、それぞれ異なる時期に異なる応力場の元で形成されたと考えられる。TJ2 高角岩脈群の卓越方向から推定される σ_{Hmax} は東北東（あるいは西北西）である。岩脈活動からこのような応力場が形成された時期を推定すると、それは、TJ2 高角岩脈群と同じ σ_{Hmax} が推定される第 5 期岩脈群の活動時期に対応する。

4.2 ノンテクトニック節理群

シーティングジョイントとラミネーションシーティングの発達は地表付近ほど分布密度が高い^{4) 5)}。このことから、シーティングジョイントとラミネーションシーティングは、現在の地形から復元される接峰面に密接に関係し、隆起・侵食による上載荷重の除荷によって形成された除荷節理 (unloading joint)¹¹⁾、すなわちノンテクトニック節理群であると解釈した。除荷による破壊はシーティングジョイントの形成に始まり、シーティングジョイントの構造規制を受けながらラミネーションシーティングが形成されていったと考えられる。高角節理群との関係を考えて、先に広域的な応力場の元でテクトニック節理群 (TJ1, TJ2 高角度節理群) が形成されたのち、上載荷重の除荷によってノンテクトニック節理群 (シーティングジョイント, ラミネーションシーティング) が形成されたと考えている。隆起・侵食による上載荷重の除荷は、地表付近においては側方へも除荷が起こる。側方への除荷が大きいところでは高角節理面に対してもラミネーションシーティングが形成され、未風化核岩が形成されたと考えている。

引用文献

- 1) 地学団体研究会編(1995)：新版地学事典。平凡社，東京，1443p.
- 2) 垣見俊弘(1978) 地質構造の解析。地学双書，22，地学団体研究会，240p.
- 3) 平野昌繁 (1971)：花崗岩の節理を中心とした深成岩体の brittle な変形・破壊を考えるうえでの問題点。地質学雑誌，257-263.
- 4) 藤田勝代・横山俊治(2006) 深度 750m 調査ボーリング孔の花崗岩の割れ目の分布様式(1) シーティングジョイントの発生間隔の深度変化。平成 18 年度研究発表会講演論文集，日本応用地質学会 (投稿中)
- 5) 藤田勝代・横山俊治 (2006) 深度 750m 調査ボーリング孔の花崗岩の割れ目の分布様式(2) ラミネーションシーティングの深度分布。平成 18 年度研究発表会講演論文集，日本応用地質学会 (投稿中)
- 6) 横山俊治(1984)：西南日本内帯の後期中生代岩脈群の地質学的・岩石学的研究。広島大学地研報，24，1-63.
- 7) (有) 地質調査グループ ジオテック (2004) 産総研岡山応力測定孔周辺の地質調査 報告書，120p
- 8) 藤田勝代 (2002MS)：花崗岩中のラミネーションシーティングによる岩盤のゆるみと斜面変動。高知大学修士論文，109p.
- 9) 藤田勝代 (2003)：香川県小豆島の花崗岩類に発達するラミネーションシーティングのロックコントロールと構造規制。財団法人深田地質研究所年報，no. 4，pp.155-174.
- 10) Anderson, E. M. (1951)： *The dynamics of Faulting and Dyke Formation with Appalachian to Britain (2nd ed.)*, Olyver and Boyes, 206p.
- 11) Engelder, T(1985) Loading paths of joint propagation during tectonic cycle: an example from the Appalachian Plateau. U.S.A. J. Struct. Geol., 7, 459-476.