膨潤性鉱物を含んだ断層岩の大型研磨試料作製

藤原　誠[1)]

要旨　断層の破砕部や地すべりのすべり面から採取された軟弱な不攪乱試料は，スメクタイト等の膨潤性粘土鉱物を含むことが多く，水を用いた研磨法ではスレーキングを起こすために研磨試料の作製は難しいとされてきた．しかしながら，たとえ大型の試料であってもこれまでに公表されてきた手法を応用することで，より迅速に，より美しく研磨試料を作製することが可能となった．本報告では，断層破砕帯の研磨試料作製の一例として，山崎断層の派生断層（土万断層）から採取した破砕帯試料の研磨試料作製について，その詳細な手順を示した．

キーワード：断層岩，研磨試料，膨潤性鉱物，土万断層

1. はじめに

近年，地震活動に伴う土砂災害（斜面崩壊・地すべり・土石流など）の研究が進められ，それに伴い，それらの素因となる断層破砕帯，津波堆積物およびすべり面などの軟弱な不攪乱試料を対象とした薄片および研磨試料の詳細な構造解析が試みられてきた（高木・小林，1996；増田・須崎，1984など）．しかし，これらの脆弱な試料はその採取・研磨が非常に難しい．なかでもスメクタイトなどの膨潤性鉱物を含む試料は，水を含むとスレーキングが発生し，試料の一部が容易に脱落するため，水を使った切断・研磨では詳細な構造解析に供する研磨試料を作製することができない．筆者は，これまでに提案された研磨法に則って，軟弱な試料を対象とした研磨試料の作製を試行錯誤してきた．その過程で，より大型の試料に対応する工夫や，作業を迅速にするための知見が得られたので，ここに報告する．

例として，岡山県北部～兵庫県中西部に分布する山崎（やまさき）断層の派生断層である土万（ひじま）断層の破砕帯を選び，その試料採取と研磨試料作製について記載する．研磨試料は，フラットベッドスキャナによる画像取得とその後の組織解析に用いるための平面性・平滑性を得ることを目的として作製した．

2. 試料採取地

試料採取は，兵庫県の山崎断層帯の中央部に位置する土万断層にて行った（図1）．山崎断層帯は岡山県北部～兵庫県中西部に分布し，北西から那岐（なぎせん）山断層帯，山崎断層帯主部，草谷（くさたに）断層の3つの断層帯に区分される（安藤，1972；福井，1981；地震調査研究推進本部地震調査委員会，2003）．土万断層は山崎断層帯主部に当たる断層の一つで，佐用（さよう）町大船（おおぶね）付近から東南東に伸び，山崎町春安（はるやす）付近に至る．土万断層を対象として

Engineering Geology of Japan, No. 3, 13-20（2013）

Making method of polished sections of fault rocks containing swelling minerals.

Makoto Fujihara[1)]

fujihara@geohiruzen.co.jp
[1)] Hiruzen Institute for Geology and Chronology, Co., Ltd.,
2-5 Nakashima, Naka-ku, Okayama 703-8252, Japan

[1)] 株式会社蒜山地質年代学研究所
〒703-8252　岡山県岡山市中区中島2番地5

2013年7月25日受付，2013年8月28日受理． © 2013 Hiruzen Institute for Geology and Chronology. All rights reserved.

選定した理由として，断層の変位方向などが詳細に検討されていること，地表に明確な断層破砕帯が露出していること，断層破砕帯周辺が未固結で採取に重機等が必要ないことが挙げられる．試料採取地点は，兵庫県宍粟（しそう）市山崎町葛根（かずらね）付近で，緯度経度は N35°2’33”，134°27’30”（WGS84 世界測地系）である．

3. 試料採取

一般的に，試料採取に当たっては，10cm 四方程度の試料を対象とするなら七山・重野（1998）の Lunch Box 法が，また，それ以上のサイズのブロック試料ならば田中ほか（1989）の不攪乱試料採取法が用いられる．今回は大型の試料を対象とするため，田中ほか（1989）に従って試料を採取した．ただし今回は，採取する露頭面を水平方向に掘り込むスペースが取れなかったため，水平面からブロック試料を掘り出すのではなく，垂直露頭面からブロック試料を掘り出すように作業を行った．ブロック試料の採取フローを図 2 に示す．

3. 1. 露頭面の整形

通常の露頭観察と同様に，ハンマーやねじり鎌等を使用して露頭面を平面に整形し，観察，スケッチおよび写真撮影を行った．この際，断層の走向傾斜を測定して面構造の姿勢を把握し，ブロック試料の採取位置を決定した．また，条線を確認して変位の方向を把握しておくのが望ましいが，今回は条線が確認できなかった．ペイントマーカーや修正液等，水分に強いペンでブロック試料採取位置に方位などを書きこんだ（図 3A）．

3. 2. ブロック試料採取

試料採取露頭のスケッチを図 4 に示す．ブロック試料採取位置は，断層破砕帯中央部のガウジおよびそれを挟む両側の母岩を含む部分とした．採取するブロック部分の上部および左右をチゼルハンマー，魚沼ハンマー，クワおよびピッケル等で掘り下げた（図 3A）．このとき，ブロック試料の裏に当たる部分を切り離すため，予定するブロック試料の厚さよりも深く掘り下げた．またブロック試料が下方に崩れ落ちないよう，押さえながらブロック試料の下部を掘った．粘土分に富んだ試料は崩れないこともあるが，今回の試料は粘土分に乏しく砂礫状で崩れやすかったため，下部を掘り下げたらすぐにラップを巻きつけた上でビニールテープやガムテープで固定し（図 3B），その後裏側を切り離した．採取後は崩れないように緩衝剤等で梱包し，研究室へ持ち帰った．

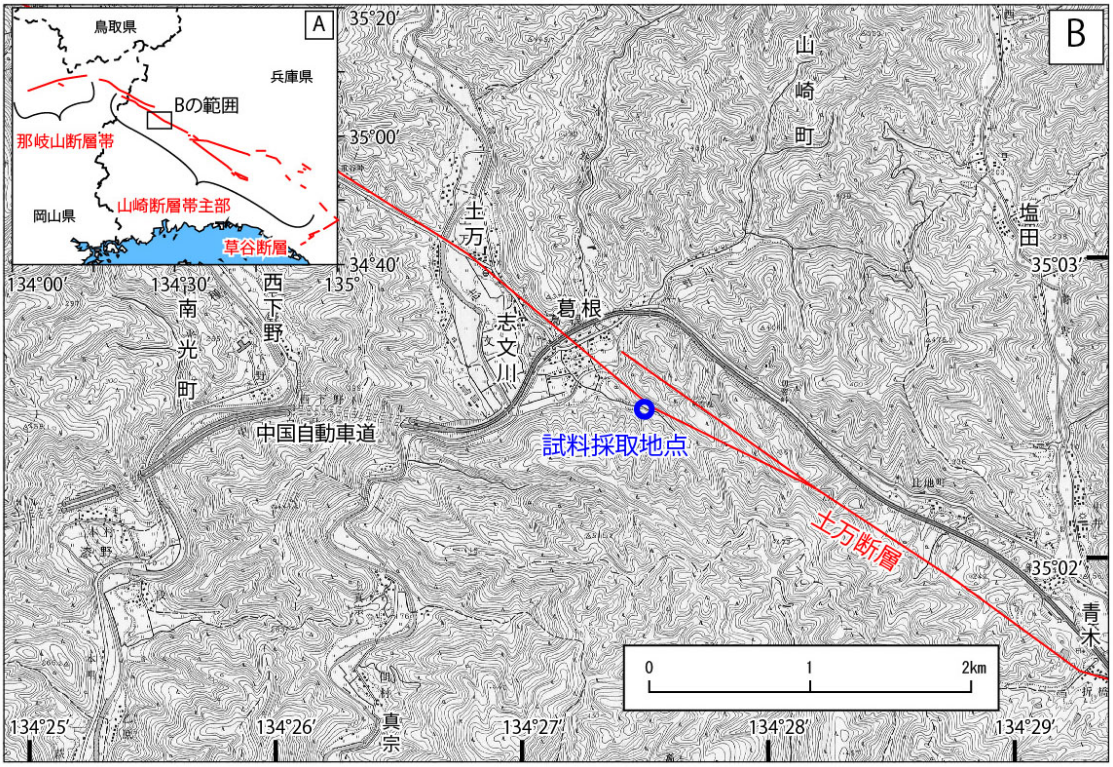

図 1　土万断層沿いの試料採取露頭位置．A：山崎断層帯の分布図．土万断層は，山崎断層帯主部の一部である．断層位置は地震調査研究推進本部地震調査委員会（2003）による．B：土万断層沿いの試料採取地点．基図には国土地理院発行 2 万 5 千分の 1 地形図「土万」（1995 年発行）を使用し，断層位置は兵庫県（2001）による．

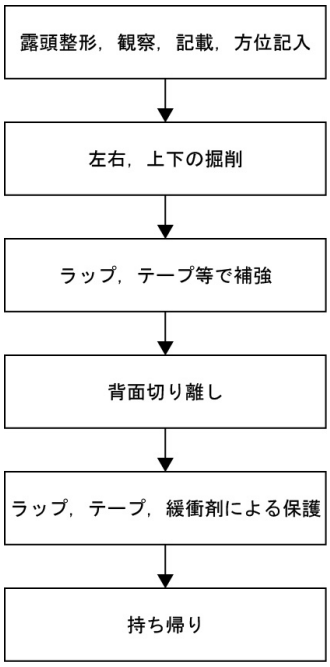

図２　露頭整形から試料採取までのフロー図．垂直露頭なので，ブロック側面から作業を行い，最後に背面を切り離した．

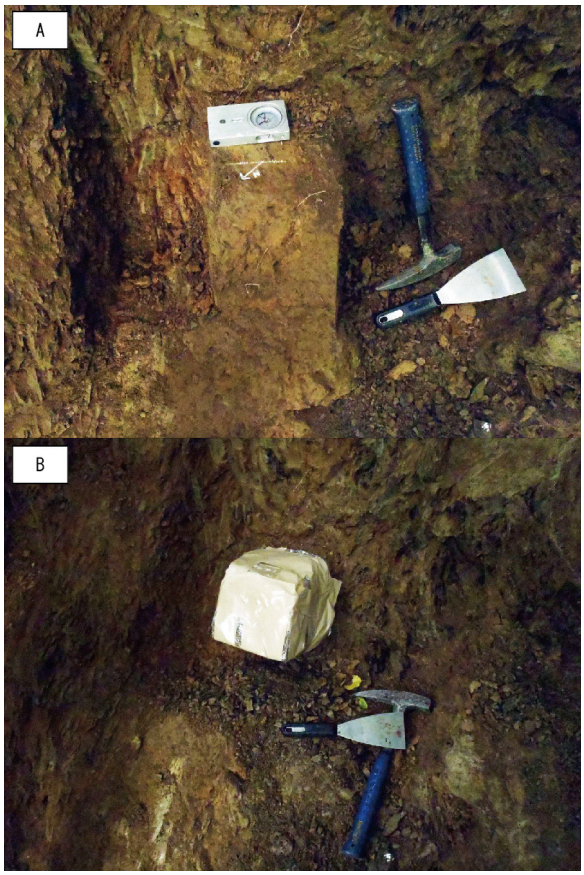

図３　定方位試料採取時の写真．A：試料上部と左右を掘り下げ，マークを書き込んだ状態．B：さらに試料下部を掘り，ラップ，テープ等で補強する．この後，試料背面を切り離した．

4. 研磨試料作製

持ち帰ったブロック試料は，24 時間自然乾燥させた後，エポキシ樹脂（アイ・ティー・ダブリュー・インダストリー社製デブコン ET）を用いて固化させた．この樹脂は比較的粘性が低く，試料に浸透しやすい．また，固化後も無色で透明度が高く黄変しにくい性質を持つ．固化はブロック試料の各面について順に行い，1 つの面に塗布した樹脂が完全に硬化してから次の面の作業に移った．樹脂の完全硬化には丸 1 日（冬季では 2 ～ 3 日）かかるが，50℃前後に温度を上げれば 4 ～ 5 時間程度で硬化する．ただし，ブロック試料が水を含んでいると硬化不良を起こすため，あらかじめ試料をよく乾燥させておく必要がある．固化したブロック試料は岩石カッターまたはコンクリート用ドリルで半割した．半割したブロック試料の切断面を樹脂固化した後，研磨を行った．ブロック試料の採取からドリルを用いた半割作業までの模式図を図 5 に示す．また，半割作業のフローを図 6 に，研磨作業のフローを図 7 に示す．

4. 1. 試料乾燥・固化

採取したブロック試料は水分を多く含んでいるため，乾燥させる必要があった．採取時に巻きつけたラップやテープを 1 度にすべて剥がすと試料の形状を保てない場合があるので，1 面のみ剥がし，乾燥させた．急激に乾燥させると顕著なひび割れが発生する恐れがあるため，室温で乾燥させるのが望ましい．しかしながら，試料サイズが 20cm 四方を超えるものは乾燥に 1 ヶ月以上かかることがあるので，ひび割れの発生具合を見ながら，50℃前後の恒温漕に入れたり，弱い風を送り続けて乾燥時間を短縮させた．その際，自重による変形を防ぐため，適宜テープや紐で縛る等，試料を補強しなおした．乾燥後，試料形状を維持するために，露出させた 1 面にエポキシ樹脂を塗布し，固化させてから残りのラップやテープをはがした．さらに，1 面ないし 2 面にエポキシ樹脂を塗布し，固化させてから別の面に樹脂を塗布，固化と繰り返し，全面を固化させた．この時，試料採取時につけた走向傾斜のマークや試料番号等を消さないように注意し，必要に応じて上書き，転写しながら作業を行った．

4. 2. 半割

半割作業の前に，露頭観察情報に基づいてブロック試料の切断位置を決め，マーキングした．理論上，岩石カッターで切断可能なサイズは，試料の上下から切

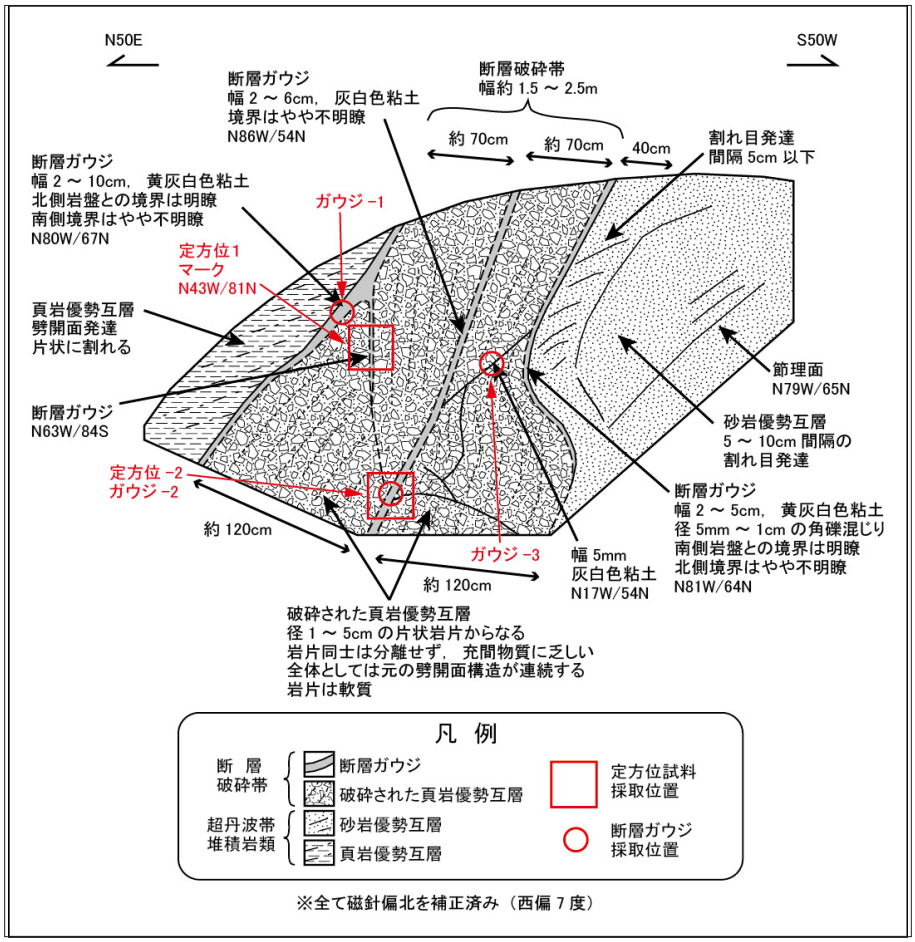

図４　試料採取露頭のスケッチ．断層破砕帯中央部の断層ガウジを含むように定方位試料採取位置を決定した．

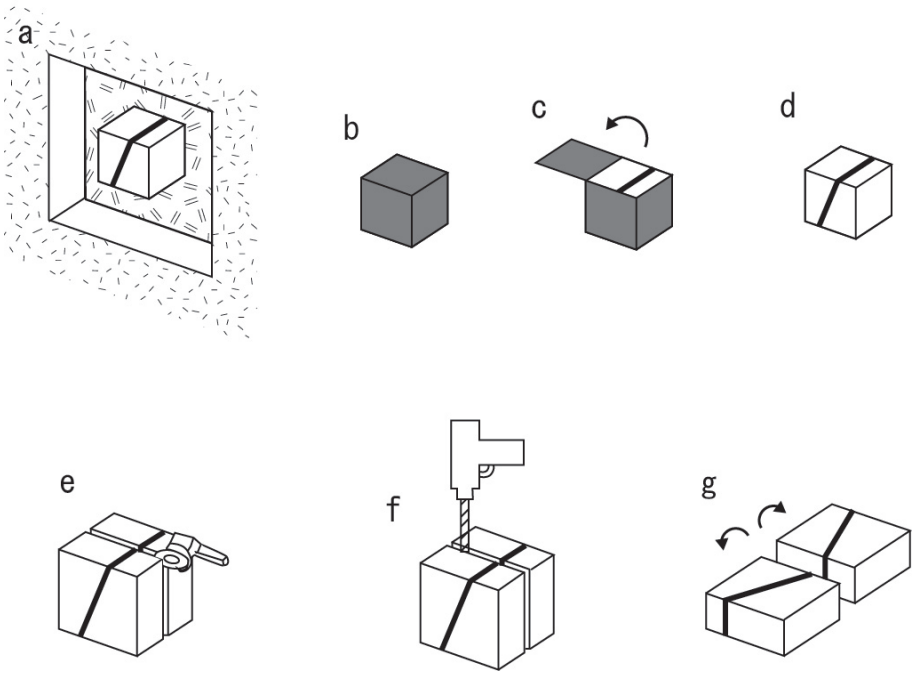

図５　試料採取から半割作業までの模式図．a：露頭から試料を採取する．b：全面緩衝材等で梱包して持ち帰る．c：１面のみ開封し，乾燥・固化させる．d：全面開封し，固化させる．e：ディスクグラインダで表面に切れ目を入れ，固化させる．f：ドリルで穿孔・固化を繰り返す．g：半割する．

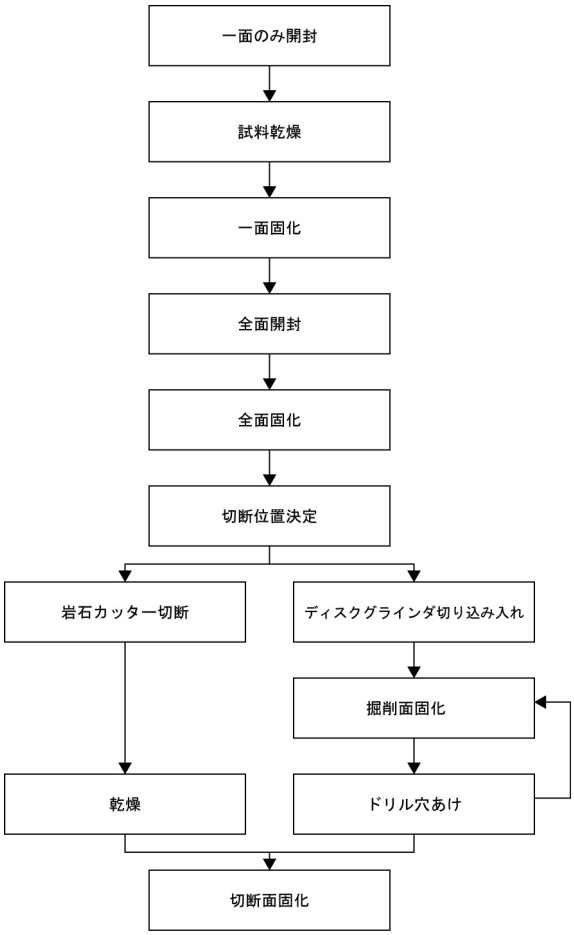

図６　試料持ち帰り後，半割するまでのフロー図．試料が大きくて岩石カッターを使用できない場合，ディスクグラインダおよびドリルによる切断をする．

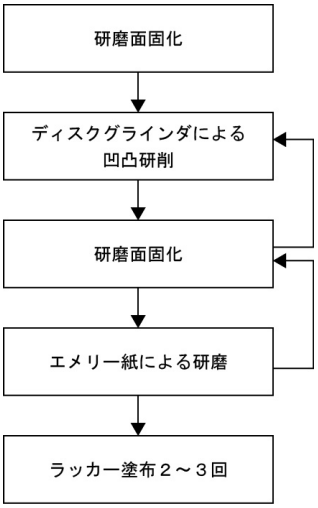

図７　研磨フロー図．ディスクグラインダによる粗研磨・固化を繰り返し，ある程度の平面が得られたらサンドペーパーによる仕上げ研磨を繰り返す．仕上げにラッカーを２～３度塗布する．

ることで，岩石カッターの有効切り込み長の倍までである．ボーリングコア等の 10×20cm 程度の試料から半割研磨試料を作製する場合は，岩石カッターで切断可能である（武士ほか，2012）．このサイズであれば，潤滑水を最小限に絞って切断し，タオル等ですぐに水気をとって乾燥させれば半割試料を作製できる．しかしながら今回は試料が大きく，岩石カッターが使用できないため，ディスクグラインダ（径 100 ～ 125mm のダイヤモンド刃）およびコンクリート用ドリル（ドリル刃径 6 ～ 8mm，有効長 120 ～ 200mm）を用いて切断した．切断位置のマーキングに沿って，ドリル刃を入れやすいようにディスクグラインダで切れ目を入れ，その切れ目の表面は樹脂で固化した．ディスクグラインダ（刃の径 100 ～ 125mm）は有効切り込み長が短く，深さ 2 ～ 3cm の溝を掘る程度だが，ドリルの刃が斜めに入ることを防ぐためにこの手順は必要である．切断予定面に平行になるように注意深くドリルを当て，穴を開けていった．約 2cm おきにドリル穴を開けたら，内部の崩壊を防ぐため，エポキシ樹脂を流し込んで穴の表面を固化させた．一度に多くの穴を開けると試料が割れ，分割面に多くの凹凸がでる．今回は，切断面に直交する方向にテープや紐で縛って試料の割れを防いだ．穴あけと固化を繰り返し，試料を切断した．ドリルを用いる場合には，ドリル刃の太さや試料内部の状態（たとえば礫の量や粒径など）にもよるが，切りしろが厚さ 1 ～ 2cm ほど必要である．岩石カッターの場合は切断後に試料が乾燥してから，ドリルの場合は切断後すぐに，切断面にエポキシ樹脂を塗布，固化させて保護することが望まれる（図 8）．

4. 3. 粗研磨

粗研磨では，半割試料の切断面に認められる突出部分を除去し，切断時に形成された穴の底まで掘り下げ，できるだけ平坦な面を削り出す．粗研磨にはディスクグラインダにコンクリート・石材研削用ダイヤモンドカップ（図 9）を装着して用いた．半割試料は机上や床上に固定し，ディスクグラインダを切断面全面に当てるように水平に動かし，研削した．この作業では礫や粉じんの飛散，ダイヤモンドホイールの欠損などが想定されるため，防塵マスク，保護メガネ等，保護具の着用が必須である．ある程度の深さまで研削すると，エポキシ樹脂の浸透していない部分が研削面に現れる．その状態のままで研削を進めると，樹脂の浸透していない部分が選択的に掘り込まれるため，再度エポキシ樹脂による固化を行った．目視で確認できる凹凸が無くなるまで，固化と研削を繰り返した（図 10）．

4. 4. 平滑研磨

粗研磨によって得られた平面にエポキシ樹脂が塗られた状態の半割試料をより平滑に研磨する．粗研磨を終えた半割試料のサイズによって平滑研磨法は分けられる．直径10cmまでの試料ならば，ガラス板にカーボランダムやアルミナの研磨粉，灯油を潤滑剤とした従来の研磨法（大橋ほか，2008など）を用いる方がきれいに仕上がる．この方法では試料に灯油が浸透するため，研磨粉の粒度を変更する際や，樹脂が浸透していない部分が現れるたびに乾燥させる必要がある．試料のサイズが大きくなると乾燥に長い時間がかかるため，また研磨面が曲面になりやすいため，適さない．直径20cmまでの試料は，作業台に固定したダイヤモンドパッド，またはサンドペーパーの上で研磨する．ダイヤモンドパッドやサンドペーパーの下にゴム板を敷くことで，サンドペーパーのずれを抑えることができる．ダイヤモンドパッドやサンドペーパーは#100前後から始め，研磨面全面が当たるようになれば#400～#800程度に変えて傷を消すように研磨する．最後に#1500～#2000のサンドペーパーで仕上げ研磨を行う．これら研磨の最中にエポキシ樹脂の浸透していない部分が表面に現れたら研削を止め，その都度エポキシ樹脂による固化を行う．直径20cmを超える試料の場合，試料を固定して，サンドペーパーを動かして研磨する．サンドペーパーはサンディングブロックまたはハンドサンダーに装着する．

図８　半割後，ディスクグラインダによる粗研磨を数回行い，固化中の写真．左側は研磨後の素地が出ている状態．右側が樹脂を塗布した状態．試料には凹凸が残っているため，この後も粗研磨を数回繰り返す．

図９　粗研磨に使用する直径100mmの石材研削用ダイヤモンドカップをディスクグラインダに装着した．

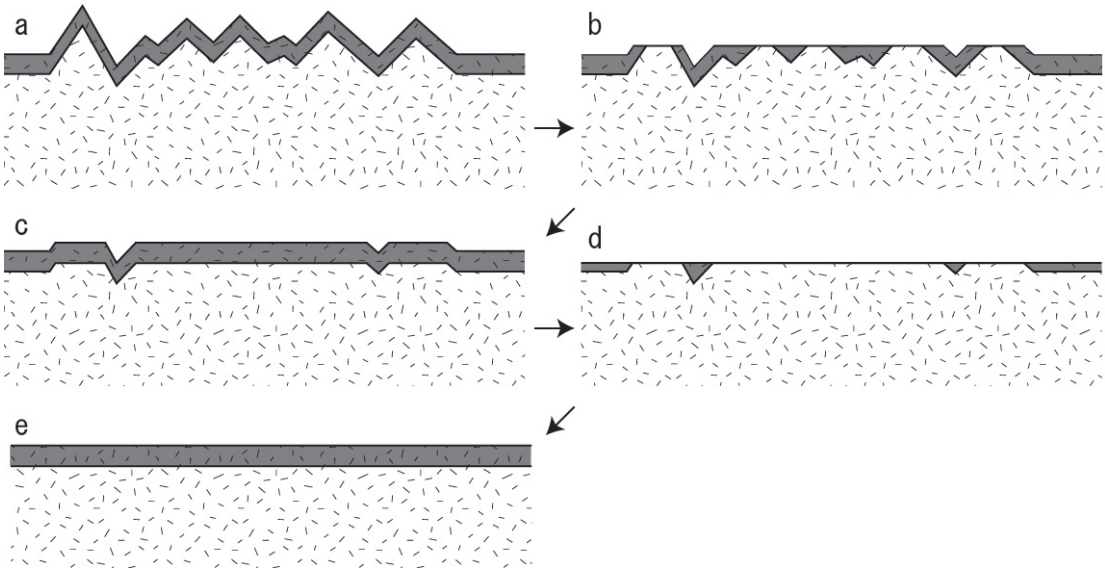

図10　繰り返し研磨を行う際の試料表面の模式図．樹脂で固化された試料の凸部を取るように研磨し，全体が平坦になる前に素地が見えたら研磨を止める（a－b）．樹脂を塗布して固化させ（c），平坦になった時点で研磨を止め，樹脂を塗布する（d－e）．素地が出たまま研磨を続けると，試料が大きく剥離し，表面に穴があいてしまう．１度の樹脂塗布で試料に樹脂が浸透するのは試料表面から１～３mmまでなので，固化・研磨１サイクルで１～３mm程度掘り下げることができる．

どの研磨法においても，仕上げ研磨終了後，表面に透明アクリルラッカーを2～3度塗布して完成とする．完成した研磨試料のスキャン画像を図 11 に示す．今回の試料は直径 18cm 程度であったため，作業台に固定したサンドペーパーの上で試料を動かす方法をとった．

5. まとめ

兵庫県中西部～岡山県北部に分布する山崎断層の派生断層である土万断層から採取した破砕帯試料について，半割研磨試料を作製した．乾燥･固化を行った後，ディスクグラインダで切断位置に溝を掘り，溝に沿ってコンクリートドリルによって穴を開けた．ドリル孔の壁面を樹脂固化し，再度穴あけを繰り返すことで試料を半割した．ドリル切断による荒れた切断面を，ダイヤモンドカップを取り付けたディスクグラインダで粗研削することで作業時間を短縮した．その後，作業台に固定したサンドペーパーの上で試料を滑らせることで平滑面を得た．最後にアクリルラッカーを塗布して研磨試料の完成とした．

図 11　完成した研磨試料のスキャン画像.

6. おわりに

以上の手順をもって，これまで複数の大型研磨試料を作製してきた．試料の切断にコンクリートドリルを使用することで，これまで作製が困難であった大型の脆弱な試料を切断することが可能となった．特にドリルによる切断は水を使わないため，スレーキングを生じさせない．ドリル使用のデメリットは，切りしろが大きく切断部を 1 ～ 2cm 失うことである．それによって切断後の向かい合う 2 面の構造に若干の違いが表れる．また，切断直後の切断面の平面性が悪く，平らに研磨する手間が大きくなる．これはディスクグラインダにダイヤモンドカップを取り付けて研削することにより，作業時間を大幅に短縮することでカバーできる．

完成した研磨試料は研磨面のスキャンを行い，各種解析に供する．また，切断した試料の向かい側を用いて大型薄片の作製，分析などを行うことも可能である．断層岩やすべり面の研磨試料を用いた各種解析の例としては高木･小林（1996），土木研究所ほか（2013）などを参照されたい．

謝辞

株式会社蒜山地質年代学研究所の曽根原崇文博士には試料採取地の選定から試料採取に当たって多大なご協力を頂いた．また，同研究所の竹下浩征博士および郷津知太郎博士には原稿を校閲していただき，改善意見を頂いた．ここに記して感謝いたします．

引用文献

安藤喜美子（1972）三浦半島・伊豆半島および兵庫県山崎付近における断層の横ずれによる谷の変位量について．地理学評論，**45**，716-725.

大橋聖和・小林健太・間島寛紀（2008）膨潤性粘土鉱物を含む未固結断層岩の薄片･研磨片作製法．地質学雑誌, **114**, 426-431.

地震調査研究推進本部地震調査委員会（2003）山崎断層帯の評価.

高木秀雄・小林健太（1996）断層ガウジとマイロナイトの複合面構造－その比較組織学．地質学雑誌，**102**，171-179.

武士俊也・杉本宏之・本間宏樹・宇都忠和（2012）樹脂固定法によるすべり面標本の作成マニュアル(案)．土木研究所資料第 4227 号．18p

田中竹延･澤田臣啓･長谷川修一（1989）断層破砕部採取法．活断層研究，no.6，93-98.

土木研究所・ハイテック株式会社・株式会社高知地質調査・株式会社地圏総合コンサルタント・応用地質株式会社・株式会社建設技術研究所（2013）すべり層のサンプリングと認定方法に関する研究．共同研究報告書第 449 号．101p.

七山　太・重野聖之（1998）Lunch Box と速乾性ボンドを

用いた未固結砂礫の定方位試料作成法．地質ニュース，**523**，52-56.
兵庫県（2001）平成12年度地震関係基礎調査交付金　山崎断層帯に関する調査成果報告書．兵庫県，103p.
福井謙三（1981）山崎断層系の変位地形．地理学評論，**54**，196-213.
増田冨士雄・須崎和俊（1984）未固結砂の定方位薄片作製とその堆積学的意義．筑波大学水理実験センター報告，**8**，17-28.
松田時彦・岡田篤正（1968）活断層．第四紀研究，**7**，188-199.