

プレス発表資料

平成 27 年 12 月 10 日
国立研究開発法人 防災科学技術研究所

新たな岩石摩擦メカニズムの発見 —地震断層運動解明へ寄与—

国立研究開発法人防災科学技術研究所（理事長：林春男）は、地震の発生メカニズムを解明することを目的として、従来の実験より自然環境に近い大規模な岩石摩擦すべり実験を大型耐震実験施設で行いました。

この実験により、世界で初めて、接触面の大きさによって岩石摩擦の性質が異なることを明らかにし、観察・測定データの解析によりその違いが自然の断層すべりでも発生しうる摩耗のばらつきによって引き起こされていることを確認しました。

これまでは小さな岩石を使って摩擦の性質を推定し、そのデータを基にコンピュータ上で地震の再現および予測するシミュレーション研究が行われてきましたが、より正確なシミュレーションのためには、本研究で明らかとなった成果を考慮に入れる必要があります。本成果は、岩石摩擦の科学的理解の進歩にとどまらず、将来発生するであろう巨大地震による被害予測にも貢献することが期待されます。

本成果は、12 月 10 日に英国科学雑誌ネイチャーにオンライン掲載されます（解禁日時：日本時間 12 月 10 日 AM3:00）。

1. 本件解禁日：平成 27 年 12 月 10 日（木）AM3：00
2. 本件配布先：文部科学記者会、科学記者会（資料配付）
筑波研究学園都市記者会（レク付き資料配付）

新たな岩石摩擦メカニズムの発見

―地震断層運動解明へ寄与―

◇ポイント◇

- ・ 大型耐震実験施設を利用し、従来に比べ大規模な岩石摩擦すべり実験を実施
- ・ 接触面の大きさによって岩石の摩擦（すべりやすさ）が異なる事を世界で初めて発見
- ・ 摩擦の違いは、非一様に自然発生する摩耗によって生じていることを確認
- ・ 将来発生するであろう巨大地震による被害の予測に貢献出来る可能性

1. はじめに

国立研究開発法人防災科学技術研究所（理事長：林春男）は、地震の発生メカニズムを解明することを目的として、従来の実験より自然環境に近い大規模な岩石摩擦すべり実験を大型耐震実験施設で行いました。

この実験により、世界で初めて接触面の大きさによって岩石摩擦の性質が異なることを明らかにし、観察・測定データの解析によりその違いが自然の断層すべりでも発生しうる摩耗のばらつきによって引き起こされていることを確認しました。

これまでは小さな岩石を使って摩擦の性質を推定し、そのデータを基にコンピュータ上で地震の再現および予測するシミュレーション研究が行われて来ましたが、より正確なシミュレーションのためには、本研究で明らかとなった成果を考慮に入れる必要があります。本成果は、岩石摩擦の科学的理解の進歩にとどまらず、将来発生するであろう巨大地震による被害予測にも貢献することが期待されます。

本成果は、12月10日に英国科学雑誌ネイチャーにオンライン掲載されます（解禁日時：日本時間12月10日AM 3:00）。

2. 背景：

地震とは断層が急激にずれることによって引き起こされる現象です。地震のメカニズムを理解し、起こりうる事象を正確に予測するには、岩石が摩擦すべりを起こす際にどのように振る舞うか（摩擦の性質）を知ることが重要です。摩擦の性質を知るために、平らによく磨いた2つの岩石をこすり合わせる岩石摩擦すべり実験が、世界各地の研究機関で非常に数多く行われてきました。その結果、多くの場合すべりが速ければ速いほどすべりやすくなる（摩擦係数が小さくなる）ことが明らかになってきました（正確には、すべり速度ではなく、すべり速度にせん断応力をかけた、仕事率という量に関係しています）。しかしながらそれらの実験の多くは接触面がセンチメートルの規模の岩石を使って行われたものであり、言うまでもなく実際の地震を生じさせる断層（キロメートル規模）とは大きな開きがありました。そこで我々はセンチメートル規模の摩擦法則が大きな規模のすべりに適用可能かどうかを調べるため、大型耐震実験施設を利用し、メートル規模の接触面を持つ岩石（接触面長さ：1.5 m、

幅：0.1 m) で摩擦すべり実験を行いました(図 1)。この施設を利用することで、最大すべり速度 1 m/s、最大すべり量 0.4 m の実験が可能となりました。様々な条件下で実験をおこなった結果、接触面の大きさによって摩擦の性質が異なり、大きな接触面ではよりすべりやすい傾向であることを世界で初めて明らかにするとともに、その原因が自然の環境でも起こりうる現象であることを突き止めました。

3. 研究成果：

本研究で得られた実験データを図 2 のグラフに示します。一般的に岩石の摩擦係数はすべり速度に左右されますが、より正確には、すべり速度と接触面に働くせん断応力の積で示される仕事率に左右されます。グラフの右端が、およそ通常の地震で最終的に到達する仕事率に該当します。このグラフには、メートル規模の実験データ(●)および、従来のセンチメートル規模の実験データ(■)が表示されています。実験に使用した岩石の種類は同一(変はんれい岩)ですが、仕事率に対する摩擦係数の傾向には違いが見られます。両者とも大きな仕事率で摩擦係数が著しく減少している点では一致していますが、最も重要な違いとして、センチメートル規模の摩擦係数がおよそ $0.1 \text{ MJ/m}^2/\text{s}$ を境に急激に減少するのに対し、メートル規模の摩擦係数はそれより一桁小さい $0.01 \text{ MJ/m}^2/\text{s}$ を境に急減しています。この違いを生む原因として、我々は実験後に接触面上で発見された傷(条線)と摩耗物に注目しました(図 3)。これらの条線や摩耗物の分布はばらついているため、当然、接触面上に力学的な不均質を発生させます。実験前には接触面を非常に高い精度で平面に成形した上に、接触面に感圧紙を挟んで圧力分布が均質であることを確認しましたので、このような力学的不均質はすべり中に自然発生し成長するものだと考えられます(図 4)。力学的な不均質が生じると局所的に非常に高い仕事率が発生するため、そこでの摩擦係数が著しく低下し、それによって接触面全体の摩擦係数もまた大きく引き下げられることが予測されます。

今回行ったメートル規模の実験データを、発生した条線や摩耗物の分布に関する観察データ等とセンチメートル規模での摩擦の性質を基にコンピュータ上で再現し、図 2 のグラフへ表示(☆)しました。その結果、メートル規模の実験データとよく一致していることから、接触面の大きさによる摩擦の性質の違いが、すべりの過程で自然発生する力学的不均質によることが裏付けられました。自然界の断層露頭では、条線や摩耗物がごく普通に認められることから、このような不均質は自然界における断層すべりでも容易に発生することが予想されます。これまでは、センチメートル規模の岩石を使って推定された摩擦の性質を基にコンピュータ上で断層すべりを再現し、発生する地震を予測することが数多くおこなわれてきましたが、より正確に再現し予測するためには接触面のサイズの違いを考慮する必要があることが本研究によって明らかとなりました。特に、センチメートル規模の岩石を使って推定された摩擦の性質からは地震が発生する条件となっていなくても、本研究で明らかとなったメカニズムが働いた場合、予想以上に大きくすべり、結果として大きな地震が発生する可能性が想定されます。

ただし、本研究で得られたメートル規模の摩擦の性質そのものをキロメートル規模の断層すべりに適用できるか、発生する力学的不均質と接触面の大きさとの関係性等については、

今後も研究を行っていきます。

○キーワード

摩擦すべり実験：摩擦の性質を知るためにおこなわれる実験。さまざまな条件下において対象とする物質同士を押しつけながらずれ変位を与え、その間に摩擦係数をはじめとする種々の物理量を計測し、どのような要素・要因が摩擦係数に影響を与えるかを調べる。

摩擦係数：接触面のすべりにくさを示す指数で、せん断応力と垂直応力の比で表される（せん断応力／垂直応力）。通常は0～1の間を示し、大きな値ほどすべりにくいことを示す。

垂直応力：接触面に垂直に働く単位平方メートルあたりの力。

せん断応力：接触面に平行に働く単位平方メートルあたりの力。

仕事率：すべり速度とせん断応力の積。単位時間・単位平方メートルあたりに消費される仕事の量。岩石の摩擦すべりでは、この値が大きいほど多くの摩耗物が発生する。

条線：摩擦すべりによって接触面上に発生する傷。すべり方向に平行に発生し、自然の断層面上にもしばしば認められる。

摩耗物：摩擦すべりによって接触面が削られることによって作り出される粉碎粒子。自然の断層帯でも認められ、粒径が小さいものは断層ガウジと呼ばれる。

力学的不均質：力学的な状態が偏っている状態。本研究では、特に接触面上で垂直応力の空間的な分布が偏っている状態を示しており、接触面上での摩耗が空間的に均一ではないことが原因と考えられます。

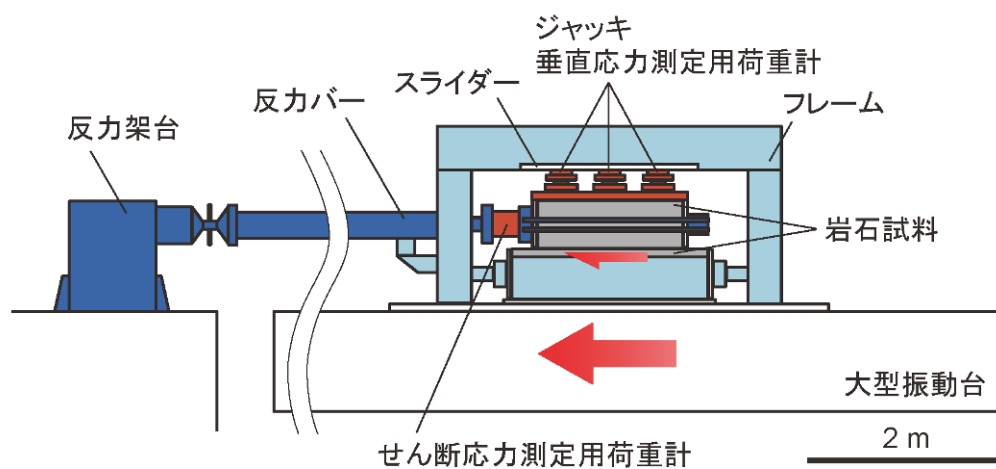
○著者情報（和名）

- 1 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 山下太
- 2 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 福山英一
- 3 一般財団法人 電力中央研究所 溝口一生(防災科学技術研究所 客員研究員)
- 4 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 客員研究員 滝沢茂
- 5 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 徐世慶(Xu Shiqing)
- 6 立命館大学 理工学部 教授 川方裕則(防災科学技術研究所 客員研究員)

(a) 大型振動台上に設置された摩擦試験機の写真



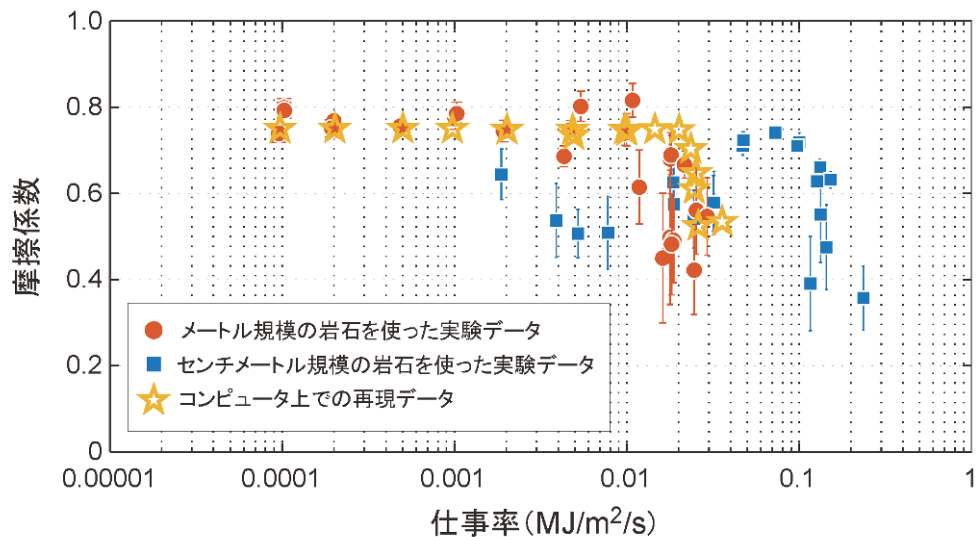
(b) 試験機の模式図



※ Yamashita et al. (2015, Nature) を改変

図1 (a) 大型振動台上に設置された摩擦試験機の写真。(b) 試験機の模式図。

2 m の長さの岩石の上に 1.5 m の長さの岩石が重ねられており、ジャッキによって接触面に垂直応力が加えられています。岩石の種類は変はんれい岩です。下側の岩石はフレームによって大型振動台に固定されており、振動台とともに動きますが、上側の岩石は反力バーおよび反力架台によって振動台の外側に固定されています。そのため、振動台が移動しその移動させる力が接触面の持つ摩擦力（摩擦係数×垂直荷重）を越えると、接触面ですべりが生じます。これは地震を引き起こす地中の断層すべりを模擬しています。実験中の垂直応力はジャッキに接続されている荷重計で測定され、せん断応力は上側の岩石と反力バーの間に取り付けられた荷重計で測定されます。摩擦係数はせん断応力と垂直応力の比から計算されます（摩擦係数＝せん断応力／垂直応力）。



※ Yamashita et al. (2015, Nature) を改変

図2 本研究で得られた実験および再現データ。

仕事率に対する摩擦係数が表示されています。センチメートル規模の岩石とメートル規模の岩石を使った実験とでは仕事率に対する摩擦の性質が異なっていることが世界で初めて明らかになりました。特に重要な違いとして、センチメートル規模の実験ではおよそ $0.1 \text{ MJ/m}^2/\text{s}$ の仕事率を境に摩擦係数が急激に低下するのに対し、メートル規模の実験では1桁小さい $0.01 \text{ MJ/m}^2/\text{s}$ の仕事率を境に急減しています。この違いをつくっている原因として、すべり中に接触面上に自然発生する力学的不均質が考えられましたので、その仮説と様々な観察・測定データを基にコンピュータ上でメートル規模の実験データを再現したところ、良く一致する結果が得られました。

(a) 実験直後に撮影した下側試料の写真 (b) 接触面に近づいて撮影した写真

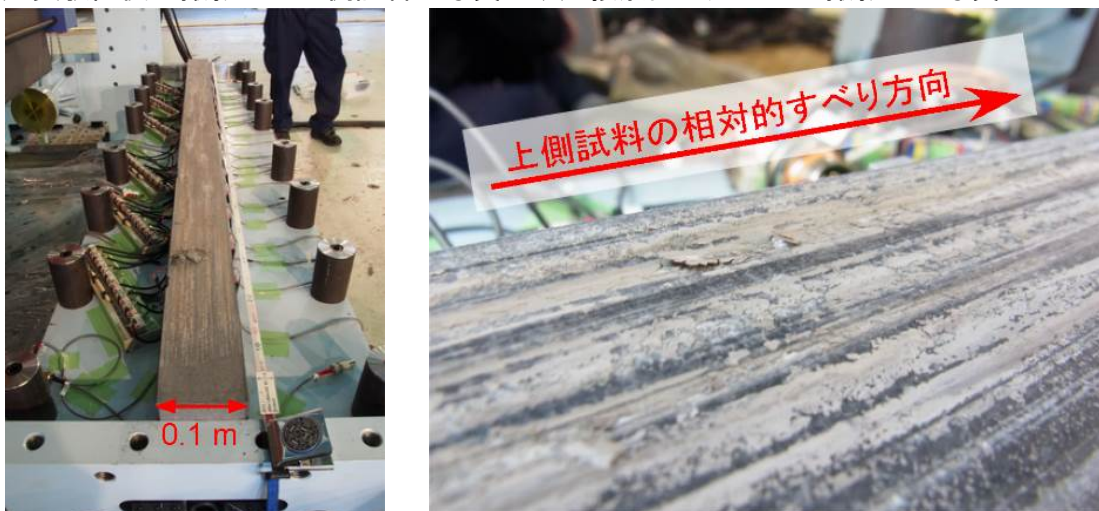


図3 (a) 実験直後に撮影した下側試料の写真。接触面上にすべりによっても発生した条線や摩耗物が確認できます。(b) 接触面に近づいて撮影した写真。すべった方向に平行に条線と摩耗物が分布しています。ただしその分布は接触面全体を完全に覆うには至っていないため、接触面上に力学的不均質が生じたことが予想されます。

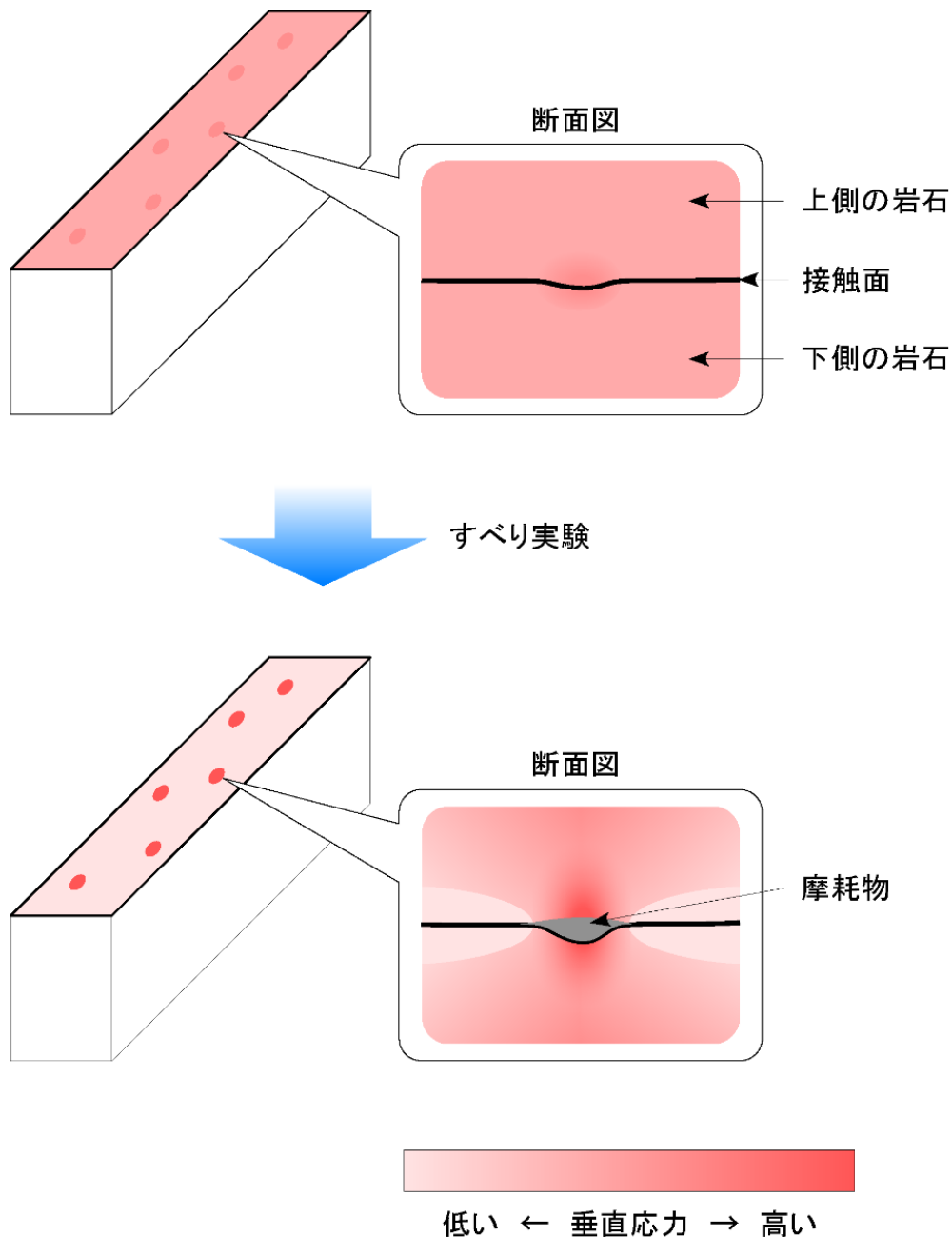


図4 摩擦すべりによって生じる力学的不均質を示す模式図。

すべり実験をおこなう前は、接触面は高い精度で成形されているため、力学的不均質（＝垂直応力のばらつき）がかなり小さいことが感圧紙を使った調査によって確認されています。しかし、摩擦すべりにともなって非一様に摩耗物が生成されると、摩耗物の出っ張りによって部分的に垂直応力が高くなり、さらに多くの摩耗物が生成されることが予想されます。一方、摩耗物の周りの部分が受け持つ垂直応力は相対的に小さくなるため、すべるに連れて接触面上の垂直応力が減少し、全体として力学的不均質が促進されるという事態が発生していると考えられます。