

機関番号：82706

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20710138

研究課題名（和文）インドネシア泥水噴出事故と深部液状化現象の解明

研究課題名（英文）hydro-mechanical process of LUSI mud volcano

研究代表者

谷川 亘（TANIKAWA WATARU）

独立行政法人海洋研究開発機構・高知コア研究所・研究員

研究者番号：70435840

研究成果の概要（和文）：インドネシア東ジャワ泥水流出災害（LUSI）地域の堆積岩を用いて、室内実験により流体移動特性の測定を行い、同地域における間隙水圧の発達過程について考察を行った。その結果、噴出した泥の起源となる層準の透水係数が非常に低いことと、同層準の堆積速度が速いことが高間隙水圧層の発達に大きく寄与することがわかった。また泥水のレオロジー測定により、泥は含水率が高く、変形歪量が多いほど粘性率が小さくなることがわかった。以上から、高間隙水圧の発達と深部からの水の流入による泥層強度の弱화가泥水流出災害の原因の一つと考えられる。

研究成果の概要（英文）：Hydraulic properties of sedimentary rocks in East Java where the disaster of mud eruption (LUSI) was occurred were measured by laboratory tests. Temporal and Spatial pore pressure distribution was evaluated by numerical model based on laboratory results. The numerical results showed that abnormally high pore pressure would have been generated at a clay rich formation that is the origin of erupted mud, and it is mainly caused by the formation of very low permeable layer and rapid sedimentation rate. Rheology measurement showed that viscosity of mud was decreased with increasing of liquid fraction and strain. Our result indicates that overpressure generation and fluid injection to the clay rich formation, both of which induce the reduction of sediment, is one of reasons for LUSI mud eruption.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：液状化、泥火山、透水係数、レオロジー

## 1. 研究開始当初の背景

2006年5月29日、インドネシア東ジャワ州シドアルジョ県のガス田から突如大量の高温泥水が地表に噴出した。大量の泥水流出により、ガス田掘削域周辺の民家、工場およ

び主要幹線道路は泥水に埋まり1万5千人以上が避難を余儀なくされた。しかも泥水の噴出は1年以上たってもおさまることを知らず（2006年11月時点で約126,000m<sup>3</sup>/日）、地盤沈下による二次的な被害も起こりはじめ

ていた。当時、災害状況などから泥水流出事故が起きた原因として「地震誘発説」と「ガス田掘削説」の二つの可能性が議論の中心であった。また、同地域には天然の泥火山や横ずれ断層が発達しているが、情報不足のため泥水噴出災害との因果関係はほとんど分かっていなかった。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、泥水流出災害が起きた原因と高温泥水が大量に流出し続ける原因、および泥水の起源を明らかにすることである。ガス田のロギングによる間隙率や速度検層の結果は、深部では高間隙水圧の発達を示唆しており、高間隙水圧が泥水流出に何らかの影響を与えたことを示唆している。また、同地域では横ずれ断層沿いに自然に形成された泥火山がいくつも認められるため、泥火山の形成と泥水流出事故の関係も興味深い。そこで、(1)高間隙水圧 (Kalibeng 層)が発達している原因 (2)高間隙水圧層の深部からの流体流入に伴う泥岩層の強度低下プロセス過程 (3)泥水の化学的特徴、に着目し、研究を行った。

## 3. 研究の方法

本研究は、地表露頭において採取した泥水流出災害が発生したガス田と同じ層序の堆積岩と、地表に噴出した泥水を用いて実験・分析を行った。



図. 調査地域。赤印は泥水災害が起きた場所。星印は泥水事故を誘発したとされる地震の震源の位置。

室内実験により堆積岩の流体移動特性（浸透係数と比貯留量）を測定し、流体移動特性を評価した。地下深部の環境を再現した高压条件下で測定し、正確な深部の物性評価に努めた。室内実験の結果をもとに一次元の堆積圧密過程を基盤とした数値解析を行い、対象ガス田における間隙水圧の深度分布と時間変化の推定を行った。また、ガス田で実測されている間隙率・間隙水圧分布と比較考察を行った。また、泥岩が強度を失い流動化する挙動を評価するために、市販のレオメータ

(RC30, Reotec 社)を用いて粘性率を測定した。さらに、泥水の水に含まれるリチウム濃度の測定を行った。

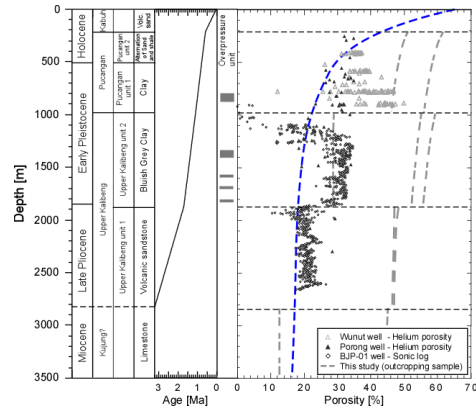


図. ガス田の堆積層序と間隙率分布。地表露頭において各層序に相当する堆積岩を採取した。Kalibeng 層上部で間隙率の増加が認められ、高間隙水圧の発達を示唆している。数値解析により実測値との比較を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 泥水流出ガス田の流体移動特性

流出ガス田の堆積岩は主に砂岩と泥岩からなり、深部のガス貯留層は石灰岩である。透水係数は層序の違いによる値のばらつき大きく、最大7桁の差が認められた。また地表に噴出した泥水の起源と想定されている Upper Kalibeng unit2 が全層序の中で一番低い透水係数を示した。一方、比貯留量は層序の違いによるばらつきがほとんどなく、深部に行くに従って緩やかに減少する傾向が認められた。

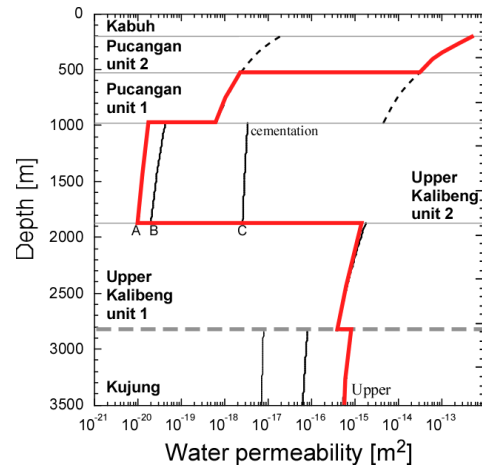


図. 室内実験により推定した泥水流出ガス田の流体移動特性の深度分布。上図：透水係数、下図：比貯留量

### (2) ガス田の間隙水圧分布の推定

室内試験の結果を使用した数値解析により、噴出当時の間隙水圧分布の推定と堆積開始から現在に至るまでの時間変化を推定した。Upper Kalibeng unit2 において静水圧よ

り高い間隙水圧の生成がいずれの解析結果でも認められた。また、同層準の堆積開始とともに高間隙水圧の生成が確認された。また、実際にガス田において直接観測されている間隙水圧と間隙率のデータと良い相関が認められた。低い透水係数を持つ厚い泥質層の発達と同層準の速い堆積速度が高間隙水圧生成に大きく寄与したものと考えられる。

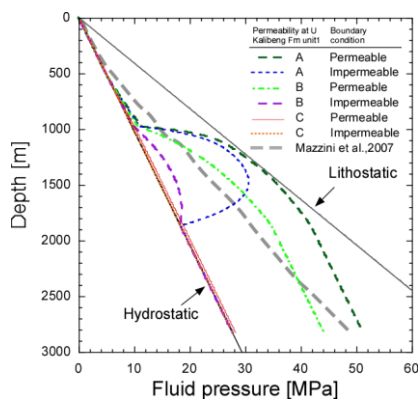


図. 数値解析により推定した間隙水圧分布（灰色以外）と実測値（灰色）の比較。いずれの解析結果も 1000m 付近から間隙水圧が急激に増加している。

### (3) 粘性率の測定

噴出した泥水の含水量をさまざまに変化させて、泥水の粘性率と含水率の関係を調べた。含水率が大きくなると粘性率は指数関数的に減少した。含水率が 90% 以上になるとほぼ水の粘性率と同じになった。また、歪変形とともに強度が減少する傾向が認められた。噴出した泥水の含水率は約 60% であり、泥水の起源岩である Upper Kalibeng 層は 30% である。仮に粘性率が含水率とともに指数関数的に減少すると仮定すると、地下深部から Upper Kalibeng 層への水の注入が粘性率（もしくは強度）を下げて、その結果流動化を引き起こしたことが予想される。

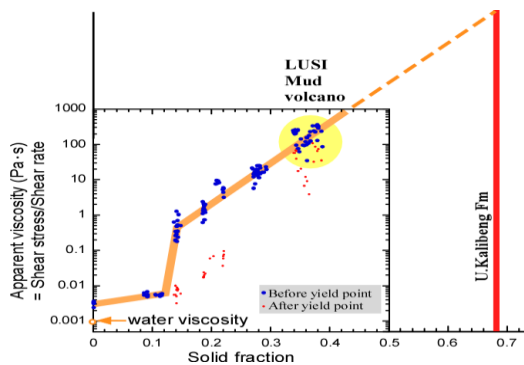


図. 固相率と粘性率の関係。指数関数的に粘性率が増加しているのが読み取れる。

### (4) リチウム濃度

噴出した高温泥水の液相に含まれるリチウムは海水の 1000 倍の値を示した。XRD の測定結果から、泥の主要構成鉱物は粘土鉱物（スメクタイトとイライト）であった。そのため、堆積開始時に粘土鉱物が海水中のリチウムを吸着し、堆積埋没に伴う粘土鉱物の高温脱着作用によりリチウムが液相に吐き出されたことが考えられる。

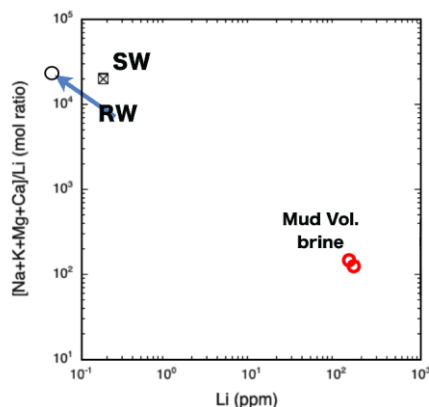


図. 液相のリチウム濃度。河川水 (RW) と海水 (SW) も同じ図に示す。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Tanikawa, W., Sakaguchi, M., Tadaï, O., Hirose, T. (2010) Influence of fault slip rate on shear-induced permeability, Journal of Geophysical Research, doi:10.1029/2009JB007013, 査読あり
- ② Tanikawa, W., Sakaguchi, M., Wibowo, H. T., Shimamoto, T., Tadaï, O., (2010) Fluid transport properties and estimation of overpressure at the Lusi mud volcano, East Java Basin. Engineering Geology, 116, 73-85, 査読あり
- ③ Tanikawa, W., M. Sakaguchi, T. Hirono, W. Lin, W. Soh, and S. Song (2009), Transport properties and dynamic processes in a fault zone from samples recovered from TCDP Hole B of the Taiwan Chelungpu Fault Drilling Project, Geochem. Geophys. Geosyst., 10, Q04013, doi:10.1029/2008GC002269, 査読あり

[学会発表] (計 6 件)

- ① 谷川亘, レオメータを用いたインドネシア火山物質の流動特性, 日本地質学会第

117年学術大会(富山大会), 2010年9月19日,富山大学.

- ② Tanikawa, W., Hydraulic and mechanical properties and dynamic processes in a fault zone from core samples recovered from Hole B of the Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project. 2010 Western Pacific Geophysics Meeting, 2010年6月21日, Taipei International Convention Center, Taipei, Taiwan.
- ③ 谷川 亘, 高速せん断破壊に伴う透水係数の変化, 日本地球惑星科学連合2010年大会, 2010年5月26日, 幕張メッセ国際会議場
- ④ Tanikawa, W., Influence of fault slip rate on shear-induced permeability, EGU2010, 2010年5月6日, The Austria Center Vienna, Vienna, Austria.
- ⑤ Tanikawa, W., Fluid transport properties and estimation of overpressure at the Lusi mud volcano, East Java Basin, AGU2009Fall Meeting, 2009年12月17日, Moscone Convention Center, San Francisco, USA.
- ⑥ 谷川 亘, 東ジャワ島ガス田の泥水噴出災害地域における間隙水圧分布の推定, 日本地質学会第115年学術大会, 2008年9月21日, 秋田大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

谷川 亘 (TANIKAWA WATARU)

独立行政法人海洋研究開発機構・高知コア

研究所・研究員

研究者番号: 70435840