

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23540533

研究課題名(和文) 地震に伴う平野の地滑り：地滑り堆積物の特徴とその発生メカニズムの解明

研究課題名(英文) Landslide on delta plain associated with earthquake: characteristics of slide sediments and sliding mechanism

研究代表者

酒井 哲弥 (Sakai, Tetsuya)

島根大学・総合理工学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90303809

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：三角州平野で発生した地すべり堆積物の特徴を記載し、その発生メカニズムを明らかにした。主な調査対象はネパールカトマンズ盆地と岐阜県東海層群の地層である。地すべり発生の引き金は湖近傍での地下浅部の液状化と地盤の傾動である。地震に伴って発生した液状化層の上に重なる泥質堆積物が、地盤の傾動により湖方向に移動を開始する。湖に入りこんだ地すべり塊の先頭が、後続の地すべり塊を引く形で移動が起こる。地すべりは傾動した地盤が湖の側に押されることで発生するため、内陸部では地すべり塊はブロック化したと解釈される。内陸部では泥の液状化・流動化が発生したため、ブロック化した地すべり塊は流動化した泥に取り込まれた。

研究成果の概要(英文)：The mechanism of slides occurred on delta plain was examined in this study through the detail observation of strata in Kathmandu Valley, Nepal and Tokai Group, Gifu Prefecture. The slide in both examples may have related to tilting of the delta plain and liquefaction of substrata near lakes. The slid sediment block migrated into the lake and the head part of the slide started to draw the body part of the slide lakeward. The slide was triggered by tilting and the onset of the slide happened inland part of the delta plain, where the delta plain deposit was fragmented as sediment blocks. The blocks may have been mixed with mud, which was fluidized beneath the surface in association with earthquake tremor.

研究分野：堆積学

キーワード：地すべり 三角州平野 液状化 大規模な地震 カトマンズ盆地 東海層群

### 1. 研究開始当初の背景

地震に伴って液状化が発生した際、地盤にわずかな傾動があると傾斜方向に向かって表層地盤が移動する可能性がある(例えば、安原ほか, 1998)。しかし、これまでに移動した地盤(堆積物)の内部構造、具体的な移動メカニズムについて議論された事例は少ない。

内陸で巨大地震が起こりうる地域(ヒマラヤ主前縁断層等:ネパール・カトマンズ盆地、一志断層近傍:岐阜県大垣市上石津町)において、地震に伴う地層の変形を明らかにするための予備調査を実施した。その結果、両地域において、三角州平野の堆積物が、地層の面にほぼ平行(すなわちほぼ水平)に移動した痕跡(すなわち、地すべり<この場合、並進性スライド>が起きた証拠)が見つかった。特にカトマンズ盆地の事例では、比較的広範囲に地すべり堆積物が広がる可能性が示された。これは規模の大きな地震に伴って発生した地すべりであることが予想された。三角州平野での地すべりは大きな災害を引き起こしうる現象であり、防災の観点からもその実態を明らかにする必要がある。

### 2. 研究の目的

この研究では過去の地層に記録された平野(三角州平野)環境での地すべりについて、地層に記録された地すべり堆積物の特徴を明らかにし、その発生、移動メカニズムを明らかにすることを目的とした。地層を調べた理由は、最近発生した地すべりの地下を調べるよりも、はるかに多くの情報を得られるからである。対象はネパール・カトマンズ盆地の更新統ゴカルナ層、トカ層、ならびに岐阜県大垣市上石津町に分布する更新統東海層群多良層とした。さらにこの研究では地すべり発生にかかる実験を行った。傾動させることのできる実験水槽を利用して、三角州平野での地すべりの再現を試みた。

### 3. 研究の方法

カトマンズ盆地においては、地層がほぼ水平であることを利用し広域的な地質調査の後、地すべり堆積物が確認されたすべての露頭において堆積物の特徴を記載した(露頭スケッチ、柱状図の作成等)。調査の具体的な対象としたのは、カトマンズ盆地東部に分布するゴカルナ層(およそ5万~3万4千年前)とトカ層(およそ2万年前~1万7千年前:年代値は未補正の炭素14年代による)(図1)である。東海層群においては、三重県から岐阜県にかけて連続する、一志断層の近傍の地層を集中的に調査した。とくに、Hk火山灰層と呼ばれる火山灰層に沿って同一層準の地層(およそ170万年前)を追跡し、地すべり堆積物の特徴を把握した。

地すべりの実験は幅10cm、深さ40cm、装置全体の傾動が可能な水槽を用い、その内部に小規模な三角州を形成させた。カトマンズの地層(地層の特徴については Sakai et al.

(2008)などを参照)を想定して実験をした。実験には細粒砂とシルト分の混入した極細粒砂を使用した。水槽に水をはった状態で上流から水と堆積物を供給して小さな三角州を形成させ、三角州平野部分に薄い泥層を堆積させた。その状態から小規模な振動と実験装置に1度程度の傾動を加えた。実験ではデルタフロントの崩壊は十分に起きたが、大規模に平野堆積物を移動させることには成功していないため、継続して実験を実施している。平野堆積物が大きく移動しない原因の1つとして、堆積させた薄い泥に、地すべり発生時に十分な強度が備わっていないことが考えられる。今後、泥層を厚くしたり、泥層を少し乾燥させるなど、泥層に強度を持たせた実験を継続して実施する。

以下では主にカトマンズ盆地での成果をもとにして、地すべり堆積物の特徴、解釈された地すべりの発生、移動プロセスについて述べる。

### 4. 研究成果

両地域の調査の結果、三角州のデルタフロント部分に三角州平野から連続する地すべり堆積物が確認された。また、東海層群の事例では、デルタフロントの基底にまで達した地すべり堆積物が水流の堆積物による侵食を受けた証拠が見られた。これは地すべり発生直後に相対的な湖水準の低下が起きたことを示す。水位低下量は5mに達し、比較的規模の大きな断層運動に伴う地すべりであることが示された。

カトマンズ盆地では、地すべり堆積物の直下に、層理面にほぼ平行に伸びる塊状の砂層が多く見つけた。この層の層厚の変化は大きい。塊状の層には下位の地層、または上位の地層のものと思われる堆積物の小さなブロック(中礫サイズのものが卓越)が含まれていた。塊状の砂層が上位層、または下位層へとダイクとして続く様子も一部で観察された。これらは塊状の砂層の液状化に伴うもので、上下層の小さなブロックが含ま

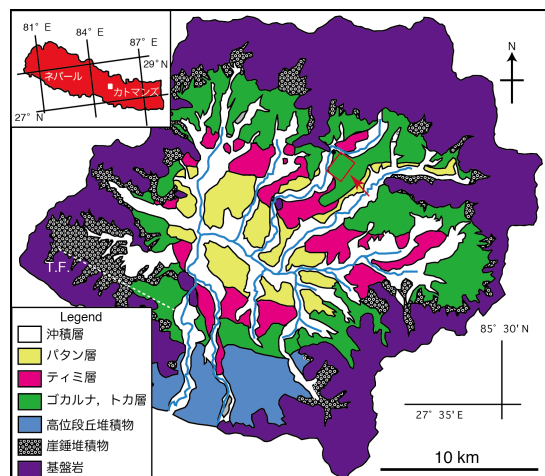


図1 ネパール・カトマンズ盆地の位置と地質図。赤枠の範囲が調査地。



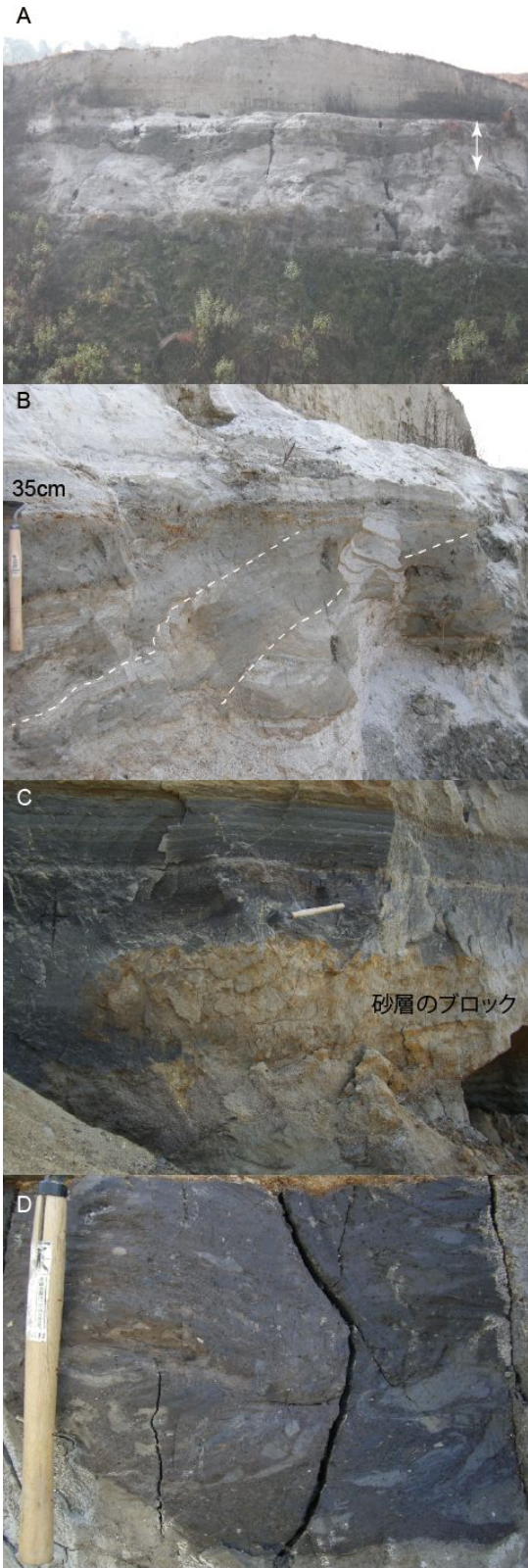


図2(左) カトマンズ盆地の三角州平野堆積物に見られた地すべり堆積物の例．A 湖の湖岸周辺付近で堆積した地層中に見られる地すべり堆積物の例．白矢印の範囲が地すべり堆積物．B: A の写真の地すべり堆積物の拡大写真．白い点線は地すべりが停止時にできたと解釈される、のし上げ構造．写真中央付近には泥層が裂けてできた割れ目があり、下から砂が注入されている．C: より内陸地点での地すべり堆積物．ブロック化した氾濫原泥層が流動化した泥層の中に含まれる．D: 流動化した泥層のクローズアップ写真．下位層に由来すると思われる泥の小さな塊が散在し、それらが引き延ばされている．このことから、流動化が起きていたと判断される．

め上方向に引きずられる痕跡から、これは、のし上げるタイプの断層（衝上断層）であることが示された．図の左側から移動してきた地すべりが停止をする際に形成されたものと思われる．一方、この地層が割れていることが写真中央の地層の裂け目から読み取れる．これは地すべりが一度、停止した後も地盤が移動を続け、今度は引張の力が作用したことが読み取れる．この地点は当時の湖岸線のすぐ近くにあたり、地すべり堆積物がデルタフロントに連続することを踏まえると、地すべり発生当初は左側（内陸側）から移動した地すべり塊が一度停止したが、湖に入り込んだ地すべり塊の先頭が後続の地すべり塊を引っ張ることで引張の力が作用したと考えられる．

湖から離れる側では、地すべり堆積物は断片化した堆積物ブロックとそれを取り囲む泥質な堆積物へと変化する(図 2C, D)．ブロックは大きなもので数 m のサイズになる．それを取り囲む泥質堆積物には小さな泥の塊が含まれ、それが細長く引き延ばされる産状を示す(図 2D)．

より内陸部では特異な堆積物が見られることが明らかになった．それは、表層付近の

れることは、それが地下で移動（流動化）していたことを示す．

湖近傍の地すべり堆積物では、地すべりを被った地層は比較的良好に連続し、一見すると何の変哲もない地層に見える(図 2A)．しかし、図 2B に示すように地層は大きな変形を被っている．この図の点線で示した部分には小規模な断層が見られた．その直下の堆積物が斜

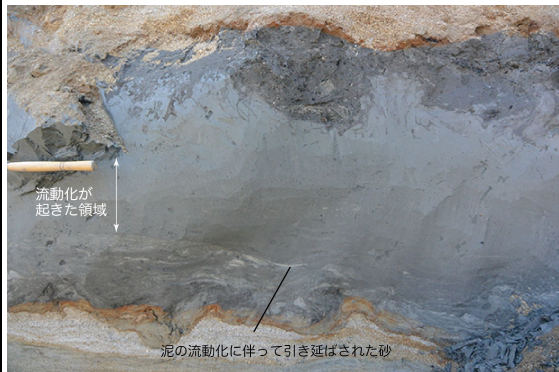


図4 地下で発生した流動化層の一例．矢印で示した塊状の泥層部分が流動化層．その上位の泥にはクラックが発達し、下位の砂層がうすく引き延ばされる変形を受けていることが着目して頂きたい．

泥質堆積物中にはクラックが発達するなど、堆積物の脆性破壊が起きたことを示すのに対し、地下では泥質堆積物が流動化している痕跡が示された(図4)。流動化が起きたことは、均質な砂質シルト層の中に含まれるマッドクラスト、サンドクラストが層理面方向に引き延ばされていることから示される。より内陸部で流動化した泥層が地すべりにもなって破壊された堆積物のブロックの間を埋めるのは、地下で流動化した泥が地表に流れ出たことが原因として考えられる。

地すべりの堆積物が湖側からの流れで運ばれた堆積物に覆われる地点が、カトマンズ盆地、東海層群の双方で見つかった。この堆積物は現状では津波堆積物であると解釈され、地すべり塊が湖に入り混むことに伴って発生したものと解釈される。

調査の結果、カトマンズ盆地でも東海層群の事例でも、堆積時に地盤の傾動が起きていた証拠が得られた。それらを踏まえると、地すべり発生・堆積物移動プロセスは図5のモデルのようにまとめられる。まず、地層の堆積場の近くで発生した地震に伴い、地盤の傾動が発生した。地震に伴って液状化が発生、これにより地表付近の堆積物は地盤の傾斜方向に移動したと解釈される。地すべり塊の先頭が湖に入り込むと、後続の地すべり塊を湖の側に引き寄せる力が地すべり塊に作用した。地すべりの初期には傾動した地盤を湖に向かって押すことになるので、地すべりが開始する内陸側地点では地すべり開始時に引張の力が作用する。このために、内陸側の地点では、堆積物がブロック状に破壊されたと考えられる(図5)。

この研究期間中に、これら以外の事例として見つかったものでは、液状化した層があまりはっきりしなかった。地すべり堆積物の分布も限定的であった。平野上での地すべりの発生は、地盤の傾動とともに、厚い液状化層の形成が、比較的規模の大きな地すべりの発生には重要であると判断される。

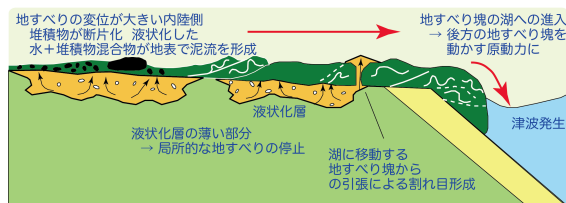


図5 三角州平野上での地すべり発生・移動過程のモデル。

#### 引用文献

Sakai, T., Gajurel, A.P., Tabata, H., Ooi, N., Takagawa, T, Kitagawa, H., and Upreti, B.N., 2008, Revision of lithostratigraphy of fluvio-lacustrine sediments comprising in the northern Kathmandu basin in central Nepal. Journal of Nepal Geological Society.

37, 25-44.

安原一哉・常田賢一・松尾 修・那須 誠, 1998, 粘性土の動的性質 3. 粘性土の動的問題に関するケースヒストリーと現象のメカニズム. 土と基礎, 46(7), 57-62.

#### 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 1 件)

Sakai, T., Gajurel, A.P. and Tabata, H., 2015, Seismites in the Pleistocene succession and recurrence period of large earthquakes in the Kathmandu Valley, Nepal. Geoenvironmental Disasters, 2 (25), 1-17.

〔学会発表〕(計 1 件)

酒井哲弥・ガジュレル アナンタ, ネパール・カトマンズ盆地で見つかったシルト質堆積物中のサイスマイト. 日本堆積学会福岡大会(福岡大学), 2016年3月5日

〔図書〕(計 1 件)

Sakai, T. and Gajurel, A. P., 2012, Excursion Guide for northern and eastern Kathmandu Valley. In Sakai, H., Sakai, T., Gajurel, A.P., and Fujii, R., (Editors), Guidebook for excursion on Geology of Kathmandu Valley. Special Publication of Nepal Geological Society, Series No. 2, Nepal Geological Society (Kathmandu), 21-41.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

酒井哲弥 (TETSUYA SAKAI)

島根大・総合理工学研究科・准教授

研究者番号：90303809

(2)研究分担者  
( )

研究者番号：

(3)連携研究者  
( )

研究者番号：