

高知県黒耳海岸に露出する古第三系室戸層に見られる海底地すべり体 Submarine mass-transport deposits of the Paleogene Muroto Formation in the Kuromi coastal region, Kochi Prefecture

伊川 祐¹; 藤内 智士^{1*}; 柴田 伊廣²
IKAWA, Yu¹; TONAI, Satoshi^{1*}; SHIBATA, Tadahiro²

¹ 高知大学理学部, ² 室戸ジオパーク推進協議会
¹Faculty of Science, Kochi University, ²Muroto Geopark Promotion Committee

海底地すべりによる再移動堆積体の内部構造や周辺の堆積層との関係を明らかにするために、高知県室戸市黒耳（くろみ）海岸で2 km以上にわたって連続して露出する過去の再移動堆積体を含む地層について層序と地質構造を調べた。これらは、再移動堆積体ができる原因や過程を考える上で重要な情報となる。

調査した再移動堆積体を含む地層は、古第三紀四万十付加体の一部である上部始新統—下部漸新統の室戸層である。室戸層は黒耳海岸に露出する範囲での層厚がおおよそ650 mであり、砂岩と泥岩との割合および変形の程度にもとづく6つの岩相からなる。それらの岩相は、泥岩層・泥岩優勢砂岩泥岩互層・等量砂岩泥岩互層・砂岩層・褶曲砂岩泥岩互層・乱雑層、である。堆積相・変形相・層序にもとづいて、これらの地層は深海チャネルおよびその周辺でできた堆積層と海底地すべりによる再移動堆積体であると考えた。

黒耳海岸に露出する室戸層の中には再移動堆積体が少なくとも2つ含まれており、そのうちの一方は厚さが270 mを超える。また、再移動堆積体に見られる数cmから数m規模の褶曲群の方向について、そのばらつき具合を調べた。その結果、ヒンジ線は周囲の層理面に対して平行な方向を中心として50度程度ばらついていることがわかった。一方で、褶曲軸面は層理面に対してさまざまな角度で斜交する方向のものがああり、一方向への集中はみられない。このような褶曲群の方向の分布は、これらの再移動堆積体が主に流動によって移動や変形をしたこと、さらに流動の一部は乱流状態であったことを示している。上記した黒耳海岸にみられる再移動堆積体の規模や変形構造から、プレート収束帯では大規模な海底地すべりが起こることがあり、それによってできた再移動堆積体が付加体の一部になっていると推察した。

キーワード: 海底地すべり体, 付加体, 四万十帯, 古第三紀

Keywords: submarine mass-transport deposit, accretionary complex, Shimanto belt, Paleogene

第二渥美海丘で見られた海底地すべりとその構造 Feature of slump and associated structure observed at Daini-Atsumi knoll, the gas production test site from gas-hydrate

鈴木 清史^{1*}; 高山 徳次郎¹; 真田 佳典²; 藤井 哲哉¹
SUZUKI, Kiyofumi^{1*}; TAKAYAMA, Tokujiro¹; SANADA, Yoshinori²; FUJII, Tetsuya¹

¹ 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構, ² 独立行政法人海洋研究開発機構
¹JOGMEC/TRC, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

メタンハイドレートからのガス生産を実施した第一回海洋産出試験テストサイトである第二渥美海丘付近には、海底地すべりが何箇所かで見られる。これらは第二渥美海丘の隆起に伴い形成された構造と考えられ、その構造把握は重要であった。この第二渥美海丘で海洋産出試験前に実施された調査井掘削では、三次元地震探査により構造が把握された地すべり体の一つを貫通しており、地震探査で確認された構造を孔内検層と一部のコアから確認することができた。講演では、震探断面で見出された特徴と、検層やコア分析から把握された地すべり体の密度構造について紹介する。

謝辞

本研究は、メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム (MH21) によって実施された研究の一部である。発表を許可していただいた MH21・経済産業省に感謝の意を表します。

キーワード: スランプ, 三次元震探, LWD 検層, 過圧密, メタンハイドレート, 低インピーダンス
Keywords: Slump, 3D seismic profile, LWD, Over-consolidate, Gas hydrate, Low impedance

高メタンフラックス緩傾斜陸棚斜面におけるスランプ層の性質とその役割 Role of slump deposits in a high-methane-flux gentle continental slope

森田 澄人^{1*}
MORITA, Sumito^{1*}

¹ 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門
¹ AIST-GREEN

A great number of submarine landslide deposits (slump deposits) are known to be buried in Pliocene and the upper formations in northern part of Sanrikuoki Basin (Morita et al., 2011). The slump deposits are mainly made up of imbricated thrust sheets of stacked sedimentary layers which were peeled off from ancient bottom surface. The slump deposits often show dimmed facies as an acoustic characteristic and have dewatering structure from the slip surface, and sometimes have gas chimney at the roof of the slump deposits. These indicate that the slump deposits are strongly related to natural gas in formation water. A key to grasp the nature of the slump deposits is likely in a comparison with a result of previous scientific drilling. Site C9001 is a drill site which was operated by D/V CHIKYU in this survey area (Higuchi et al., 2009). By the result of the expedition, the sedimentary basin is mostly composed of mud and few thin ash and sand layers. The sediments are normal and the parts judged as mass transport deposits (MTD) by visual core description are very limited even in the depth domain interpreted as slump deposits in seismic data. However, methane detected in head space gas and methane hydrate bearing sediments recovery were reported only in the slump deposits domain interpreted in the seismic data. Previous reports with respect to MTD indicate that MTDs generally have the nature as seal where the beds have higher shear strength and density due to compaction. Nevertheless, the nature of the slump deposits in the Sanrikuoki Basin is opposite to those of the other MTDs, and may indicate as if reservoir. The difference of the natures is maybe caused by the environment of very gentle continental slope where the slumping has repeated. There is a hint of it in the fact that slump deposits in the survey area avoided fatal collapse by sliding on the very gentle slope and basically formed the imbrication of block-supported structure.

キーワード: 海底地すべり, MTD, スランプ, 三陸沖堆積盆, ちきゅう, メタンハイドレート
Keywords: submarine landslide, mass transport deposits, slump, Sanrikuoki Basin, CHIKYU, methane hydrate

地震による海底地すべりでの地盤液状化による水膜現象の重要性 Liquefaction-induced water-film mechanism in submarine slide

國生 剛治^{1*}
KOKUSHO, Takaji^{1*}

¹ 國生 剛治
¹ Kokusho Takaji

砂からなる海底地盤の滑りのメカニズムの可能性のひとつとして、地震時液状化による水膜現象が挙げられる。傾斜地盤の地震時流動破壊については、地盤工学的に要素試験レベルでの土の非排水せん断強度との関連を明らかにする努力が払われてきた。

それらは、滑りが完全に非排水条件下で起きるとするものと、間隙水の移動による間隙の再配分を考慮するものとに二分される。飽和砂の非排水条件メカニズムを再現する非排水せん断力学試験を行うと、かなり低い相対密度 (D_r) の砂 (例えば新潟地震で大流動を起こした新潟市の $D_r=30\sim40\%$ の砂) についても、液状化した後に 20% 以上の大きなひずみが発生するとダイレイタンス効果により強度が回復する実験結果が得られ、緩い傾斜の斜面では大きな流動が起きないことになってしまった。また、流動はしばしば地震終了後に時間遅れをもって起きているが、非排水メカニズムではこれも説明できない。一方、地震後に斜面が時間遅れを持ってせん断破壊する原因として、完全な非排水条件ではなく間隙水の移動が関わっている可能性が推定されてきた。液状化層の上に低透水性層がある場合、排出された余剰水が直下に捕捉されて間隙の緩いゾーンと密なゾーンを生じる。つまり透水性の不均質性に起因して、液状化直後から余剰間隙水の局所的な移動により間隙の再配分が起き、それがせん断強度に大きな影響を与えることが考えられる。間隙再配分効果が発揮される程度は地盤中の透水性の不均質性の度合によって異なる。海底地盤において成層構造は見られ各層の透水係数は著しく変化していると考えられる。この観点から、低透水性の薄層やシームを挟んだ砂層が液状化した時に起きる現象を調べるために模型実験が行われた。透明アクリル円筒にシルトシームを挟み込んだ厚さ 2m ほどの飽和砂層を作製し、ハンマーの衝撃を加えて瞬時に全層を液状化させる。すると砂とシルトの透水係数の違いにより、下部の液状化層から排出された余剰間隙水がシーム直下に捕捉され、水の層 (水膜) が発生する。同様な水膜生成は粗砂の間に細砂層を挟んだ場合など色々な成層構造についても見られる。なおこれらの動画は参考文献に示す URL からダウンロードすることができる。水膜厚さと上部・下部砂層表面の沈下量は時間経過を辿り、砂層の厚さ・密度やシームの透水性などにより決まる時間の長さだけ水膜が存続することが分かる。この間の過剰間隙水圧は、初期には全層液状化状態の三角形分布から液状化の終息につれて下部から減少していき、水膜の生成によりシルト層内に過剰な動水勾配が生じる。この間、シームを通して水膜の水が上部砂層に浸透し、水膜が消滅するまでこの状態が継続する。実際の地盤において、このように水膜が形成されれば、地盤の安定性に大きな影響を与えることは当然予想される。厚さ 5mm 程度の円弧形状シルトシームを挟み込んだ 2 次元模型飽和砂斜面に、振動台により断面直交方向に正弦波振動を約 3 サイクル加えた実験によると、斜面流動の時刻歴をシームを挟まない均質斜面とシームを挟み込んだ斜面について、均質斜面では 0.34G の大きな入力加速度に対して斜面変形はほぼ振動中 (最初の 2 秒間) に限られる。それに対して、シーム挟み込み斜面では 0.18G の小さな入力に対して振動中はほとんど変形がないにも関わらず、振動終了後から 21 秒までに大きな流動変形が起きる。このときシームの直下には水膜の生成が確認できる。つまり、振動中に液状化した砂層の下部から余剰水が上昇し始め、シルトシームの直下でほぼ連続的な水膜が形成されるまで時間を経てから円弧に沿って流動が起きるのである。水膜が形成されると斜面からのせん断応力が伝達され難くなる。そのため、それ以深の地盤ではせん断ひずみとそれに伴うダイレイタンス効果による余剰水の間隙への吸収やせん断強度の回復は起きなくなり、水膜が継続的に存在できて側方流動がさらに起きやすくなると解釈できる。以上のように、水膜によって滑り面の摩擦抵抗が完全にゼロになることはないが、大幅な強度低下が起きる可能性が模型実験で示された。水膜現象は極めて緩勾配の海底においても地滑りを惹き起こすメカニズムとして、重要な働きをしていると考えられる。つまり、海底地すべりが長距離流動を起こす要因としては慣性力の直接的影響より液状化後の水膜現象による強度低下の方が重要であると言えよう。

キーワード: 地震時液状化, 水膜, 時間遅れ, 透水性
Keywords: seismic liquefaction, water film, time delay, permeability

デコルマ帯の発達様式から考察する海底地滑りの発生様式 Factors controlling submarine landslide occurrence: Lessons learned from plate-boundary decollement zones

氏家 恒太郎^{1*}
UJIE, Kohtaro^{1*}

¹ 筑波大学
¹ University of Tsukuba

海底斜面は基本的には安定である。しかし、海底地滑りがひとたび発生すると、海底に敷かれたケーブルなどのインフラストラクチャーを破壊し、時として津波を引き起こすことがある。これまで地滑り面にアクセスした例はほとんどなく、海底地滑りの発生様式は良く分かっていない。一方、過去20年間に渡りプレート境界先端部(デコルマ帯)の掘削が世界各地の沈み込み帯で行われてきた。ここではデコルマ帯掘削で明らかになった知見をレビューし、それを基に海底地滑りの発生様式を考察する。デコルマ帯の発達を規定する要因は、(1)スメクタイトに富む層準、(2)間隙水圧が上昇した層準、(3)続成作用によるセメンテーションを受けた地層と受けていない地層の境界、の3つに分けることができ、これらの要因が複数からみあっていることもある。これを海底地滑りの発生様式に適用するとすれば、以下のようになるであろう。地滑り面は、スメクタイトが濃集した層準に発達しやすいであろう。スメクタイトは火山灰の変質由来であることを考えれば、地滑り面の発達層準は火山活動の活発化とリンクしている可能性がある。一方、斜面堆積物における透水率のコントラストも地滑り面発達にとって重要であるかもしれない。例えば、透水性の悪い泥質堆積物の上に透水性の良い砂質層などが急速に堆積した場合や、メタンハイドレート由来の流体が透水性の悪い堆積物の下にトラップされた場合、過剰間隙水圧が発生し、地滑りを引き起こすきっかけとなることが考えられる。また、地温勾配が高いところでは、斜面堆積物中にセメンテーション境界が発達し、物性コントラストを形成することで、地滑りを引き起こしやすくすることが考えられる。

南海トラフ上部陸側斜面に発達する地すべり層の流動過程, IODP Expedition 333 Site C0018
Flow dynamics of Nankai Trough submarine landslide inferred from internal deformation using magnetic fabric

金松 敏也^{1*}; 川村 喜一郎²; 北村 有迅³; Novak Beth⁴; Strasser Michael⁵
KANAMATSU, Toshiya^{1*}; KAWAMURA, Kiichiro²; KITAMURA, Yujin³; NOVAK, Beth⁴; STRASSER, Michael⁵

¹ 海洋研究開発機構, ² 山口大学大学院理工学研究科, ³ 鹿児島大学大学院理工学研究科地球環境科学専攻, ⁴ Department of Geology Western Washington University, ⁵ Geological Institute, Seiss Federal Institute of Technology ETH Zurich
¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ² Graduate School of Sciences and Engineers, Yamaguchi University, ³ Department of Earth and Environmental Sciences, Graduate School of Science and Engineering, Kagoshim, ⁴ Department of Geology Western Washington University, ⁵ Geological Institute, Seiss Federal Institute of Technology ETH Zurich

IODP Expedition 333により、地震発生と海底地すべりとの関係を理解するため NanTroSLIDE project として、Site C0018において 314.2mbsf まで掘削をおこない 6 層の海底地すべり層 (MTD1?MTD6) が掘削された。127-189mbsf に最も厚い海底地すべり層があり (MTD6)、直上の広域テフラの噴出年代から、この地すべりはおよそ 100 万年前に起こったと推定される。この厚い地すべり層の上位では、比較的規模が小さな海底地すべり層と均質な粘土層が交互に堆積している。海底地すべり層で採取されたコアは著しく変形しており、海底地すべり滑動時の様々な変形構造が記録されていた。一連の地すべり層の下位 (189m 以深) では、タービダイト層が繰り返し堆積しており、海底地すべり発生時に堆積物の供給に劇的な変化が起こったことを示唆している。

各海底地すべり層の流動変形過程を特徴づけるため、帯磁率異方性による粒子配列の測定を行った。各層のその特性は均一でなく、各層の中で、異なるシーアアが発達し、流動から堆積するまでの過程を記録していると考えられる。多くの場合、地すべりユニットの上部は一部の岩相に無秩序層が認められるにもかかわらず、水平面に平行な磁気フォリエーションが認められ、下部にゆくほどシンプルシアアまたはピュアシアアによる異方性が増す。一方、最大の層厚をもつ MTD6 では、大きく褶曲を繰り返すような構造の粒子配列が認められる。古地磁気で復元可能なシーアアの方向を復元したところ、2 方向が得られ、これは地すべり層が供給された方向と考えられる。こういった地すべり流動の形態や供給方向の違いは、分岐断層を含む南海トラフ陸側斜面の発達過程が反映されていると考えられる。

キーワード: 海底地すべり, ナントロスライド, IODP, 南海トラフ
Keywords: submarine landslide, NanTroSLIDE, IODP, Nankai Trough

Potential tsunamigenic submarine landslides in active margins Potential tsunamigenic submarine landslides in active margins

川村 喜一郎^{1*}; Jan Sverre Laberg²; 金松 敏也³
KAWAMURA, Kiichiro^{1*}; JAN SVERRE, Laberg²; KANAMATSU, Toshiya³

¹Yamaguchi University, ²University of Tromso, ³JAMSTEC
¹Yamaguchi University, ²University of Tromso, ³JAMSTEC

A review of modern, historical and submarine landslides from the geological record shows that landslides in active continental margins can generate tsunamis. The tsunamis may damage coastal and seabed infrastructure and so represent an important element of marine geohazards research due to their potentially significant impacts on society. The primary trigger mechanism of tsunamis in this type of setting was thought to be earthquake activity; however, there are also a number of alternative hypotheses regarding the likely initiation mechanism including the generation of submarine landslides. In this paper, we briefly review the geological features and trigger mechanisms of tsunamigenic submarine landslides on active margins. Large tsunamigenic submarine landslides appear to occur mostly on margins characterized by non-accretion. These observations has implications for tsunami warning systems as the Japanese system does not consider the scenario of tsunami excitation by submarine landslides

キーワード: tsunamigenic submarine landslide, tsunami earthquake, tectonic erosion, Japan trench, the 2011 Tohoku-Oki earthquake
Keywords: tsunamigenic submarine landslide, tsunami earthquake, tectonic erosion, Japan trench, the 2011 Tohoku-Oki earthquake

変形構造から推定される巨大海中土石流内部の応力および間隙水圧の変化：北海道
東部根室層群厚岸層の例
Temporal changes of internal stresses and pore pressures of a large-scale submarine debris flow

大坪 誠^{1*}; 成瀬 元²; 宮川 歩夢¹
OTSUBO, Makoto^{1*}; NARUSE, Hajime²; MIYAKAWA, Ayumu¹

¹ 産業技術総合研究所, ² 京都大学大学院

¹Geological Survey of Japan, AIST, ²Graduate School of Science, Kyoto University

Mass-transport deposits are major components of depositional systems in the deep sea environments. These deposits usually are composed of muddy chaotic deposits, and are expected to conduct as permeability seals over channel deposits. These mass transport deposits appear as transparent layers on seismic data and chaotic intervals in cores (e.g., Weimer, 1991). Regardless of their common occurrence and distinctive geometry, the dynamics of subaqueous mass transport processes (debris flows) are not well known. It is great difficult to observe directly a subaqueous debris flow.

Naruse and Otsubo (2011) documented quantitatively the internal structures of a mass-transport deposit in the Akkeshi Formation, from the middle part of the Cretaceous-Paleocene Nemuro Group, Japan. The paleostress analysis using meso-scale faults (Yamaji, 2000) of a large-scale mass-transport deposit revealed that the flow experienced two different stress fields: (1) a vertical uni-axial compressional stress field with the σ_1 -axes oriented normal to the bedding surface (Phase I) and (2) horizontal tri-axial compressional stress fields with the σ_1 -axes oriented parallel to paleocurrent direction (Phase II) (Naruse and Otsubo, 2011).

We examined the temporal changes of internal stresses and pore fluid pressures in a submarine mass transport from the relationships between the principal stresses axes and attitude of fault planes in the mass transports deposits in the Akkeshi Formation. We used 22 fault data and stresses of two Phases in a mass transport deposits. We attribute fault variations to the degree of fault overpressure acting on faults to estimate the pore fluid pressure ratio in the submarine mass-transport deposits. The theory can be explained using the Mohr circles. The inferred internal stresses results imply that the stress fields of Phase I are created by a radial spreading of the flow during its downcurrent movement, while the stress fields of Phase II result from compression during deposition on the basin plain (Naruse and Otsubo, 2011). The increase of pore fluid pressure ratio from Phases I to II represents that the pore fluid pressures have been recognized as playing an important role in the occurrence of the faults in Phase II. On the subdivided Phase II, pore fluid pressure ratio increases until Phase IIa and decreases after Phase IIb while σ_1 -hmax increases during Phase II.

References:

Naruse, H., and, Otsubo, M. (2011) Heterogeneity of Internal Structures in a Mass-transport Deposit, Upper Cretaceous to Paleocene Akkeshi Formation, Hokkaido Island, Northern Japan. SEPM Special Publication, 96, 279-290.

Weimer, P. (1991) Seismic facies, characteristics and variations in channel evolution, Mississippi Fan (Plio-Pleistocene), Gulf of Mexico, in Weimer, P., and Link, M.H., eds., Seismic Facies and Sedimentary Processes of Submarine Fans and Turbidite Systems, New York, Springer, 323-347.

Yamaji, A. (2000) The multiple inverse method: a new technique to separate stresses from heterogeneous fault-slip data. Journal of Structural Geology, 22, 441-452.

キーワード: 応力, 間隙水圧, 小断層, 地すべり, 土石流

Keywords: stress, pore pressure, meso-scale fault, mass-transport, debris flow, land slide