

応用地質アラカルト

IAEG Bulletin紹介（19）

国際委員が推薦する注目論文（その2）  
“IAEG Bulletin Volume 79 Issue 4（5月号）”より

国際委員会国際委員  
水野直弥

1. 概要

国際委員会では、学会誌第58巻第2号からほぼ連続で16回にわたり国際応用地質学会（IAEG）の学術誌である、Bulletin of Engineering Geology and the Environmentの論文を紹介してきた。このBulletinは2019年からSpringer webで閲覧可能な電子版のみになり、2019年は422編の論文が公開され、2020年も約360編が公開予定である。

今回対象とするのは2020年の5月に発行された36編の論文である。なお、国際委員によるIAEG Bulletinの論文紹介方法は、応用地質61巻2号（2020年6月号）より下記のとおり変更されている。

【58巻2号～61巻1号】

各国際委員が興味を惹かれた論文を1編選定し、その内容を比較的詳しく紹介する。

【61巻2号～】

対象号の全論文（30～40編程度）について、「執筆機関・国」、「論文名（和訳）」、「分類（表-1）」を整理・紹介する（本編末の一覧表）。そのうち、当該号の紹介を担当する国際委員が着目した数編の論文について、「要旨」を紹介し、

表-1 論文分野の分類

No.	分類	No.	分類
1	地すべり・土石流	11	風化・劣化
2	地すべり予測	12	地下水
3	斜面安定・落石	13	ダム基礎・漏水
4	活断層・地震	14	一般構造物基礎
5	液状化	15	トンネル・地下空洞
6	岩盤強度	16	陥没・廃坑跡
7	岩石物性・試験	17	廃棄物・環境汚染
8	土質物性・試験	18	歴史的建造物
9	採石・石材	19	地熱・資源
10	骨材・セメント	20	地質一般

論文に対する簡単なコメントを添える。

2. 論文全体傾向

(1) 国別数

投稿論文数を国別で見ると、総計14カ国から36編の投稿があった。地域別に見ると、中国が20編（56%）を占め、イラン3編、インド2編、ノルウェー、英国、スペイン、オーストリア、ポーランド、トルコ、マレーシア、台湾、米国、ナイジェリア、オーストラリア各1編である。

(2) 論文投稿機関

筆頭著者で見ると、大学から32編、Institute of technologyとする技術研究所が4編である。

(3) 分野

地すべり・土石流6編、土質物性・試験6編、岩石物性・試験5編、トンネル・地下空洞4編の順であり、土質物性・試験および岩石物性・試験に関する地盤工学的な研究が多い。

3. 論文紹介

土砂災害に対するソフト対策の検討では、災害シナリオの想定が重要である。そこで、今回は中国で発生した大規模な地すべり・土石流に関する2つの論文（本編末一覧表のNo.7, No.9）を紹介させていただく。これらの研究対象地域が位置する横断山脈は、四川盆地とチベット高原を結ぶ東西交易路を妨げて南北に連なる複数の山脈と峡谷からなる。横断山脈はヒマラヤ造山運動の時期にユーラシアプレートとインドプレートが衝突して形成された褶曲山脈で活断層が発達し、土砂災害や地震の多い地域である（図-1）。なお、中国における地質災害の7割は地すべりとされている。

3.1 中国南西部の安寧河-則木河断層帯における土石流発生時の降雨パターンと雨量指標<sup>2)</sup>

(1) 概要

本研究では、土石流発生の予測と警戒のために、安寧河と則木河流域の82事例を対象に、土石流発生時の降雨条件

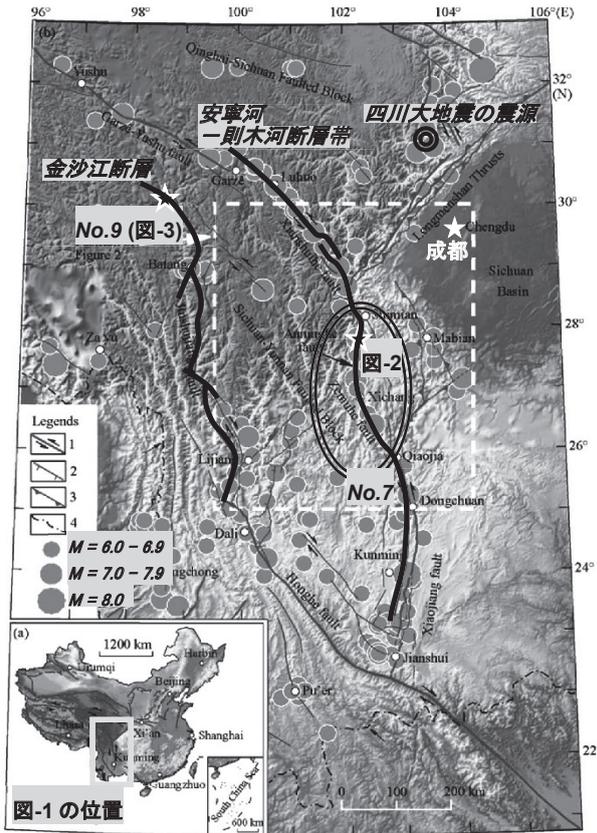


図-1 中国南西部における主要な活断層の分布<sup>1)</sup>

注) A seismic gap on the Anninghe fault in western Sichuan, China, Science in China Series, 2008の図-1に加筆.

を検討し、雨量指標を提案した.

(2) 地形・地質

Anning River-Zemu River (安寧河-則木河) 断層帯は、四川盆地西側の大梁山地域(標高の範囲は4,358m~992m, 標高差3,366m)に位置し、南北方向の走向を有し、変位センスは左横ずれ、第四紀後期以降の平均変位速度は6~7mm/年とされる。また、大梁山地域は横断山脈の一角をなし、原生代から新生代までの地層からなる褶曲山脈である。このため、当該地域は、中国南西部において土石流災害が多発する地域の1つとなっている(図-2)。

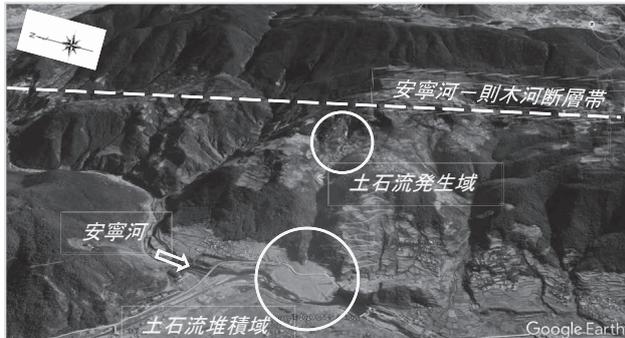


図-2 研究対象地域の鳥観図(2020年撮影)

注) Google Earth, Image © 2020 Maxar Technologiesに加筆.

(3) 降雨パターンによる雨量指標の検討

土石流発生時の総雨量 $R_t$ (=当日の日雨量 $R_d$ +発生前7日間の実効雨量 $R_a$ )に対する日雨量の重み( $\delta = R_d/R_t$ )によって降雨パターンを4つに分類し、日雨量と総雨量との相関式を用いて、土石流の発生確率が50%以上となる雨量指標を検討した。その結果、土石流発生の危険度は、実効雨量が少なくても、日雨量が50mmを超えると高まり、実行雨量が50mm以上あれば、日雨量が20mm程度であっても高まると推定される(表-2)。

表-2 降雨パターンと雨量指標

Rainfall Pattern	A	B	C	D	
Weight ( $\delta$ )	$\delta \geq 0.8$	$0.6 \leq \delta < 0.8$	$0.4 \leq \delta < 0.6$	$\delta < 0.4$	
雨量指標	$R_d$ (mm)	57.38	51.12	32.16	23.39
	$R_a$ (mm)	8.3	24.1	32.6	57.4

(4) 結論

降雨パターンごとに見ると、土石流発生日の日雨量と総雨量との間に強い相関が得られた。このような手法で設定された雨量指標は、土石流発生の予測と警告に役立つと考えられる。一方、土石流発生には、地盤の強度と透水性も大きく影響するため、今後は地盤条件も考慮した検討を行う。

(5) 紹介者のコメント

本研究で提案されている雨量指標は、日本国内の数値に比べてやや小さいと感じるが、これは気候(とくに年間降水量)の違いと考えられる。同じ地質現象でも、気候条件によってトリガーとなる雨量等が異なる理由を改めて考える機会となった。

3.2 中国、チベット、Baigeにおいて二次的に発生した崩壊性地すべりの調査と数値解析<sup>3)</sup>

(1) 概要

本研究では、災害の拡大を早期に予測するために、二次すべりの発生により被害が拡大したBaige地すべりを対象に、EDEMによる数値解析を実施し、二次すべりの影響を動的に分析した。

(2) 地形・地質

Baige地すべりは、横断山脈を流れるJinsha River(金沙江)の右岸に位置し、その背後には活断層が分布する(図-3)。Baige地すべりの地質は、Gangtuo Formationと呼ばれる片麻岩と蛇紋岩で構成され、片理面の走向はほぼ南北で、20°程東側に傾斜して流れ盤をなすほか、東北東-西南西、東南東-西北西の2系統の高角度節理が発達する。



図-3 Baige地すべり周辺の鳥観図（2017年撮影）  
注）Google Earth, Image © 2020 Maxar Technologiesに加筆。

(3) 地すべり発生の経緯

2018年10月10日に最初の地すべり（体積：約3,500万m<sup>3</sup>、標高差834m）が発生した。この一次すべりにより高さ160mの段波が発生し、土塊は左岸に衝突して高さ約50mの天然ダムを形成した。その数日後、天然ダムへの流入と下流への漏水量はバランスし、湛水量は2億9,000万m<sup>3</sup>に達した。

11月3日に、一次すべり背後の斜面頂部から二次すべり（体積：約160万m<sup>3</sup>）が発生した。二次すべりは、一次すべり発生個所に残存した不安定土塊（体積：約660万m<sup>3</sup>）の崩壊を誘発し、これらの土塊は天然ダムの高さを100mまで嵩上げた。

11月13日に、湛水量は5億7,800万m<sup>3</sup>に達し、天然ダムからの漏水量は31,000m<sup>3</sup>/sのピークに達した。翌14日に四川省と雲南省で洪水が発生し、多数の道路や橋、堤防が破壊され、多数の住宅が浸水して重大な経済的損失を引き起こした。

(4) EDEMによる数値解析

EDEMは、個別要素法（Discrete Element Method, DEM）を用いて粒子の動きとその相互作用を解析するソフトウェアで、岩屑なだれ、土石流、地すべりの動的挙動を推定できる。粒子の接触と分離の力学的モデルは、鉛直力、法線力、抵抗から構成され、垂直力と法線力は反発係数、抵抗は静摩擦係数と回転摩擦係数により制御される（表-3）。

地すべり発生前後のデジタル標高モデルから作成された地形モデルを使用して、EDEMにより二次すべりのシミュレーションを行った。

その結果、二次すべり土塊はすべりの発生から10秒後には、一次すべり発生個所に残存していた不安定土塊に衝突し、30秒後には最大速度62m/sに達して天然ダムに衝突し、40秒後には天然ダム（一次すべりによる堆積土砂）への付加（変形を伴う）を完了し、天然ダムを嵩上げしたと推定される。

表-3 数値解析に使用した主なパラメータ

パラメータ	値
密度 (kg/m <sup>3</sup> )	2,600
ポアソン比	0.2 - 0.35
せん断弾性率(GPa)	22 - 6.9
静摩擦係数	0.5 - 0.9
回転摩擦係数	0.03 - 0.06
反発係数	0.5 - 0.3

(5) 結論

EDEMを用いたシミュレーションにより、二次すべりのエネルギーの一部が、一次すべり発生個所に残存していた不安定土塊に与えられたこと、二次すべり土塊が天然ダムに付加する過程が再現できた。今後はさまざまな解析手法と比較し、その適用性を検証する。

(6) 紹介者のコメント

本研究の対象となった地すべりや天然ダムは、国内の事例に比べて大規模であるが、事象の進行や地すべり災害における二次すべりの影響については、国内の災害シナリオを考える上でも参考になると感じた。

4. 終わりに

近年はGoogle Earth等により、海外の衛星写真や地形を真上からだけでなく、さまざまな角度・スケールから鳥観できる。しかも衛星写真については、過去30年程ではあるが、同一箇所について複数の撮影時期の衛星写真を閲覧することが可能である。

私の場合、上記のツールを使って、論文の研究対象地域を探訪することが、楽しみ方の1つである。その際には、想像（妄想？）をより膨らませるべく、論文に記載された試験値や数値解析で使用されたパラメータ値も参考にしたい。皆さんもコロナ禍で増えたお家時間を利用して、論文の研究対象地域を探訪してみたいはいかがでしょうか。

参考文献

- 1) WEN XueZe et al. (2008), A seismic gap on the Anninghe fault in western Sichuan, China, Science in China Series D : Earth Sciences vol. 51 no. 10, pp. 1375-1387.
- 2) Huayong Ni, Zhi Song (2020), Response of debris flow occurrence to daily rainfall pattern and critical rainfall condition in the Anning River-Zemu River Fault Zone, SW China, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, vol. 79, pp. 1735-1747
- 3) Wenpei Wang, et al. (2020), Investigation and numerical modeling of the overloading-induced catastrophic rockslide avalanche in Baige, Tibet, China, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, vol. 79, pp. 1765-1779

## 国際委員会からのお知らせ

IAEG Bulletinは、国際会員（年会費：4,500円）になれば購読することができます。

国際会員の入会案内

<https://jseg.or.jp/02-committee/international.html>

なお、IAEG BulletinのAbstractは、下記URLよりどなたでも閲覧できます。

IAEG Bulletin Abstract閲覧

<https://www.springer.com/journal/10064>

## 2020年5月号 (No. 1~18)

番号	論文名(原文)	論文名(和訳)	著者	所属機関 国*	分類
1	Uncertainty of volume fraction in bimrock using the scan-line method and its application in the estimation of deformability parameters	スキャンライン法を用いたbim(bock in matrix)rockの体積分率の不確実性と変形性パラメーターの推定について	Yu-Chen Lu +3名	大学 台湾	20 地質一般
2	Reasonable gangue section length for disposing gangue pollutants in the new green mixed workplace	石炭採掘における脈石汚染物質処理のための合理的な埋戻区間の設定について	Yang Tai +2名	大学 中国	17 廃棄物・環境汚染
3	Evaluation of solidification/stabilization in arsenic-contaminated soils using lime dust and cement kiln dust	石灰ダストとセメントキルンダストを使用したヒ素汚染土壌における固化/安定化の評価	Hajir Mohammad Eisa +2名	大学 イラン	17 廃棄物・環境汚染
4	A DEM-FDM coupled numerical study on the deformation and failure process of the isolated stone column in soft soil	軟弱地盤における孤立した石柱の変形と破壊プロセスに関するDEM-FDMによる解析的研究	Xin Tan +3名	大学 中国	14 一般構造物基礎
5	The dilemma of determining the superiority of data mining models: optimal sampling balance and end users' perspectives matter	データマイニングモデルの優位性を決定する際のジレンマ:最適なサンプリングバランスとエンドユーザーの視点について	Mehdi Teimouri +1名	大学 イラン	2 地すべり予測
6	Multi criteria study for seismic hazard assessment of UNESCO world heritage Ahmedabad City, Gujarat, Western India	西インドのグジャラート州、ユネスコ世界遺産アーメダバード市の地震災害評価のための多基準分析	Vinay Kumar Dwivedi +7名	技術研究所 インド	4 活断層・地震
7	Response of debris flow occurrence to daily rainfall pattern and critical rainfall condition in the Anning River-Zemu River Fault Zone, SW China	中国南西部の安寧河-則木河断層帯における土石流発生の降雨パターンと雨量指標	Huayong Ni +1名	技術研究所 中国	1 地すべり・土石流
8	Evaluation of ground dynamic characteristics using ambient noise measurements in a landslide area	地すべり地域における環境騒音測定を用いた地盤動特性の評価	Sadegh Rezaei +2名	大学 イラン	1 地すべり・土石流
9	Investigation and numerical modeling of the overloading-induced catastrophic rockslide avalanche in Baige, Tibet, China	中国、チベット、Baigeにおいて二次的に発生した崩壊性地すべりの調査と数値解析	Wenpei Wang +5名	技術研究所 中国	1 地すべり・土石流
10	Integrated shallow seismic imaging of a settlement located in a historical landslide area	歴史的な地すべり地域の集落における統合地震波探査	Gulseda Vanli Senkaya +3名	大学 トルコ	1 地すべり・土石流
11	A comparative approach of monitoring techniques to assess erosion processes on soft cliffs	崖の侵食プロセス評価における複数のモニタリング技術の比較	Laura Del Rio +3名	大学 スペイン	3 斜面安定・落石
12	A novel procedure for 3D slope stability analysis: lower bound limit analysis coupled with block element method	3D斜面安定性解析の新しい手順:ブロック要素法と組み合わせた下限解析	Jian-feng Zhou +1名	大学 中国	3 斜面安定・落石
13	The "Salcher" landslide observatory—experimental long-term monitoring in the Flysch Zone of Lower Austria	オーストリアのフリッシュゾーンにおけるSalcher地すべりの長期モニタリング	M. J. Stumvoll +7名	大学 オーストリア	1 地すべり・土石流
14	The morphology evolution of the shear band in slope: insights from physical modelling using transparent soil	斜面におけるせん断帯の形態進化:透明土を用いた物理モデリングによる推察	Wei Lanting +4名	大学 中国	1 地すべり・土石流
15	Multi-temporal UAV data for assessing rapid rill erosion in typical gully heads on the largest tableland of the Loess Plateau, China	中国、黄土高原の最大の台地の典型的なガリーヘッドにおける急速なリル侵食を評価するための複数時期のUAVデータ	Pinglang Kou +6名	大学 中国	3 斜面安定・落石
16	Improvement of loess characteristics using sodium alginate	アルギン酸ナトリウムを使用したレス特性の改善	Yong Zhao +5名	大学 中国	8 土質物性・試験
17	Microanisotropy and preferred orientation of grains and aggregates (POGA) of the Malan loess in Yan'an, China: a profile study	中国の延安におけるマランレスの微視異方性と粒子および凝集体の優先配向(POGA)の形態	Xi'an Li +4名	大学 中国	8 土質物性・試験
18	Analysis of stress-strain relationship of brittle rock containing microcracks under water pressure	水圧下の微小亀裂を含む脆性岩石の応力-ひずみ関係の分析	Zhihao Li +6名	大学 中国	7 岩石物性・試験

※第一著者の所属機関および国

2020年5月号（No. 19~36）

番号	論文名(原文)	論文名(和訳)	著者	所属機関 国※	分類
19	An analysis on the slaking and disintegration extent of weak rock mass of the water tunnels for hydropower project using modified slake durability test	水力発電プロジェクトにおける水路トンネルの脆弱岩盤のスレーキングと崩壊に関する分析	Lena Selen +2名	大学 ノルウェー	15 トンネル・地下空洞
20	Impact of intact rock properties on proneness to rockbursting	山跳ねに対するインタクトロックの特性の影響	Bre-Anne Sainsbury +1名	大学 オーストラリア	15 トンネル・地下空洞
21	Laboratory investigation of the mechanical properties of coal-rock combined body	石炭岩石複合体(CRCB)の力学的性質に関する実験的調査	Zhan-bo Cheng +2名	大学 中国	7 岩石物性・試験
22	Changes in color and roughness of red sandstone at high temperatures	高温による赤色砂岩の色と粗さの変化	Zhihao Dong +3名	大学 中国	7 岩石物性・試験
23	Influence of freeze-thaw cycles on the degradation of sandstone after loading and unloading	さまざまな載荷および除荷を受けた砂岩の劣化に対する凍結融解サイクルの影響	Jian Zhang +3名	大学 中国	11 風化・劣化
24	Mechanical behavior of transversely isotropic rocks under uniaxial compression governed by micro-structure and micro-parameters	微細構造と微細パラメータにより支配される一軸圧縮下の横等方性岩の力学的挙動	Guowen Xu +2名	大学 中国	7 岩石物性・試験
25	Parametric study of integrity on the mechanical properties of transversely isotropic rock mass using DEM	DEMを用いた横等方性岩盤の力学的性質に関するパラメトリックスタディ	Jiu-yang Huan +3名	大学 中国	6 岩盤強度
26	Effect of water saturation on uniaxial compressive strength and damage degree of clay-bearing sandstone under freeze-thaw	凍結融解下の粘土含有砂岩の一軸圧縮強度と損傷度に及ぼす飽和の影響	Yanzhang Liu +4名	大学 中国	7 岩石物性・試験
27	An enhanced index for evaluating natural joint roughness considering multiple morphological factors affecting the shear behavior	剪断挙動に影響を与える複数の形態学的要因を考慮した節理面の粗さを評価するための新しい指標	Leibo Song +5名	技術研究所 中国	6 岩盤強度
28	Linear discontinuous deformations created on the surface as an effect of underground mining and local geological conditions-case study	地下採鉱と局所地質条件の影響により発生した地盤変状の研究事例	Roman Scigala +1名	大学 ポーランド	16 陥没・廃坑跡
29	Forecasting of TBM advance rate in hard rock condition based on artificial neural network and genetic programming techniques	人工ニューラルネットワークと遺伝的プログラミング技術に基づく硬岩地山におけるTBM前進率の予測	Jian Zhou +3名	大学 マレーシア	15 トンネル・地下空洞
30	Application of stochastic joint network simulation to composite strata of shallow-buried long-span metro tunnels	複数の都市地下トンネルが埋設された地層へのランダムジョイントネットワークシミュレーションの適用	Song Chen +3名	大学 中国	15 トンネル・地下空洞
31	Determination of soil-water retention curve from a transient air-water two-phase outflow experiment	非定常空気-水二相流出実験からの土壌-水分特性曲線の決定	Chang Liu +3名	大学 中国	12 地下水
32	Swell and microstructural characteristics of high-plasticity clay blended with cement	セメントと混合した高塑性粘土の膨潤と微細構造特性	S. J. Abbey +2名	大学 英国	8 土質物性・試験
33	A novel experimental system for studying the sand liquefaction characteristics from macroscopic and microscopic points of view	巨視的および微視的観点から砂の液状化特性を研究するための新しい実験システム	Mincai Jia +4名	大学 中国	5 液状化
34	Liquid limit determination of low to medium plasticity Indiana soils by hard base Casagrande percussion cup vs. BS fall-cone methods	カサグランデパーカッションカップ法とBSフォールコーン法による低-中程度の可塑性インディアナ土壌の液性限界測定	Fawad S. Niazi +3名	大学 米国	8 土質物性・試験
35	Effect of human hair fiber reinforcement on shrinkage cracking potential of expansive clay	膨張性粘土の収縮亀裂発生ポテンシャルに対する人毛繊維による補強効果	Mandeep Singh Basson +1名	大学 インド	8 土質物性・試験
36	Engineering behaviour of lime- and waste ceramic dust-stabilized expansive soil under continuous leaching	連続浸出試験における石灰および廃棄物セラミックダストによる安定化土壌の工学的挙動	Chukwueloka A.U. Okeke	大学 ナイジェリア	8 土質物性・試験

※第一著者の所属機関および国