第24回消防防災研究講演会資料

令和3年11月26日

主催　消防庁　消防研究センター

第 24 回消防防災研究講演会

「土砂災害における救助活動」

開催日　　令和 3 年 11 月 26 日（金）13:00～16:50
＜オンライン開催＞

― プログラム ―

13:00　【　開　会　】

13:00～13:05　開会の辞・趣旨説明　消防研究センター　新井場公憲　・・・・・・　3

【Session 1】
13:05～13:30　(1) 土砂災害現場の安全管理
消防研究センター　新井場公憲　・・・・・・　5

13:30～13:55　(2) 令和元年 10 月 25 日大雨における土砂災害救助活動事例について
千葉市消防局　新井吉昭、染谷直志　・・・・・・　13

13:55～14:20　(3) 令和元年東日本台風に伴う土砂災害時の初動対応及び民間重機との連携について
相模原市消防局　山縣洋希　・・・・・・　30

14:20～14:30　【　休　憩　】

【Session 2】
14:30～14:55　(4) 斜面災害発生時の緊急対応現場での留意点
応用地質株式会社　上野将司　・・・・・・　57

14:55～15:20　(5) 土砂崩壊による労働災害と防止技術の開発
独立行政法人労働者健康安全機構　労働安全衛生総合研究所
玉手　聡　・・・・・・　65

15:20～15:45　(6) 土砂災害現場の特徴と情報の利活用
消防研究センター　土志田正二　・・・・・・　75

15:45～15:55　【　休　憩　】

15:55～16:45　【総合討論（質疑応答）】

16:45～16:50　【　閉　会　】

第 24 回消防防災講演会「土砂災害における救助活動」

消防研究センター　新井場公徳

1　趣旨

2018 年北海道胆振東部地震、令和元年東日本台風、令和２年九州豪雨などにより、多数の土砂災害が発生し、困難な救助活動が行われている。これに対して、令和２年３月には「土砂災害における効果的な救助手法に関する高度化検討会報告書」（消防庁国民保護防災部参事官室：https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/post-52.html）がまとめられ、対応の枠組みや考え方について整理され、各消防本部での検討と体制整備が進んでいる。このような中、これまでの研究成果、消防機関の事例及び専門機関の知見及び経験を共有し、土砂災害への対応に関して、現在の課題と今後の方向性を議論したい。

2　内容

消防研究センターから、これまでの技術支援の蓄積を元に、土砂災害現場の特性に応じた安全管理のあり方について報告する。また、近年のドローンや情報技術を活用して救助活動に資する情報を得て分析する技術について、本年７月の熱海市土石流災害を事例に紹介する。

千葉市消防局新井吉昭氏、染谷直志氏からは、豪雨により住宅地で発生した斜面の崩壊への対応について、相模原市消防局山縣洋希氏からは、丘陵地で発生した土石流災害について、活動状況についてご報告を頂く。この２つの消防本部の事例は、移動した土砂の量としては特に規模が大きいというわけではないが、対応が困難であるという土砂災害の特徴を有しており、その中で安全に配意しつつ積極的な活動が展開されており、経験を共有することには大きな意義があると考えられる。

専門機関から現場の実情と技術に詳しい２名の方をお招きした。（独）労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所玉手聡氏には、斜面工事の労災の状況と対策についてご講演頂く。氏は、斜面での土木工事などにおける労働災害について、その防止に長年取り組み、現場の実情を踏まえた実践的な知見を蓄積されている。これは、消防活動の安全の確立に役立てることできると期待している。また、地質コンサルタント業の応用地質株式会社上野将司氏からは、斜面に変状を生じた際の調査について、専門家の対応についてご教示頂く。氏は日本地すべり学会解説委員もつとめられ、災害対応の経験を持つこの分野のエキスパートである。

総合討論では、現状の救助活動における課題をそれぞれの立場から議論したい。皆様からの活発なご意見ご質疑をお待ちしています。

3　文献（各講演者の論文等で今回の話題に関連する代表的なもの）

・新井場公徳・土志田正二：神奈川県相模原市緑区牧野（まぎの）地区の斜面崩壊における捜索救助活動にかかる技術支援、消防研究所報告、第 129 号、pp. 1-10, 2020.
・千葉市：令和元年災害記録誌、

https://www.city.chiba.jp/somu/kikikanri/kikikanri/2020saigaikirokusi.html
・玉手聡：玉手聡，堀智仁，菊田亮一，前田英樹(2019)小規模崩壊に対する被災防止技術の検討，第 54 回地盤工学研究発表会講演概要集 DVD，1951-1952.
・上野将司：「危ない地形・地質の見極め方　38 のトラブル事例にみる調査・設計の着眼点」、日経 BP 社、ISBN:978-4-8222-6638-7，2012 年 8 月 13 日
・土志田正二・新井場公徳：土砂災害による救助活動現場における無人航空機（ドローン）の利活用、消防研究所報告、第 129 号、pp. 11-20，2020.

土砂災害現場の安全管理

消防研究センター　新井場公徳

1　はじめに

「「この崖がもういちど崩れないか見ていてほしい」と指示されたのだが、どこをどう見たら良いのか分からなかった。」20 年以上前、筆者が消防研究所（当時）に就職して１年目に、ある崖崩れの調査に行った際に、消防隊員から聞いた言葉である。土砂災害現場の安全管理の難しさを物語っている。本稿では、消防研究センターが行ってきた斜面の二次的な崩壊に関する研究、災害現場における技術支援及び消防機関の活動に関する聞き取り調査の結果を踏まえ、土砂災害現場における安全管理のあり方について考察する。

2　技術支援及び活動ヒアリングを踏まえて

2.1. 技術支援の実際

（１）技術支援の内容

これまで消防研究センターが土砂災害現場で実施してきた技術支援を表１に示す。

この中で２つの現場でこれは危険と判断し、撤退又は危険地域の設定を進言している。2008 年岩手・宮城内陸地震の事例のうち熊倉崩壊地（写真１）では、上方の岩盤の切り立った部分（溶結凝灰岩部分）を厳重に監視しながらであれば活動は可能と判断したものの、活動中に脇の斜面（写真左端）からの湧水が増えたため、活動を中止した（その後、自衛隊の無人重機を導入）。この斜面が一旦乾燥後に浸水させると崩壊する（スレーキング性を有する）凝灰岩から構成されていたこともあり、かなりひやっとした現場であった。また、2018 年北海道胆振東部地震による土砂災害のうち幌内地区では、自衛隊員が「鉄砲水が出た」と退避してくるのに出会い、活動地点ではなかったものの、鉄砲水が出た渓流の上流をドローンで確認したところ、水のたまりを２箇所発見した。水をためている土砂が押し流された場合に下流に泥流が出てくることが想像されたことから、この渓流付近は危険と判断した。

写真１　2008 年岩手宮城内陸地震による熊倉の崩壊地

その他の現場では、災害発生からの時間の経過、斜面に残った亀裂の有無、水の湧き出しの場所と量、渓流に水をためている土砂の有無、周辺の地形及び地質などを調査し、対策（監視要員の配置と監視対象の指定、万一の場合の退避経路の設定、センサーの設置など）の上で活動が可能と判断した。また、降雨、湧き水の変化や新たな崩壊などの変化に対応できるよう、状況が安定するまで観察や周辺調査、連絡体制の継続などを行ってきた。

（２）監視体制

監視要員の配置と監視の対象としては、おおよそ次のように選定している。崖の直下で活動する場合には、崖の切り立った部分からの落石が直接的に危険であるとともに、再度の崩壊の前兆ともなりうることから、監視対象とすることが必要でそのような場所に要員を配置する。また、崩れた崖の両側に同じような土の条件が続いていることも考えられることから、両側面に対しても樹木の揺れなどを見る必要がある。なお、落石の中には、乾燥によって砂の表面張力が減少したり木の根が収縮することにより、二次的な崩壊とは関係なく発生するものも多い。

一方、土石流の現場又は渓流を渡る場所などでは、上流に不安定な土砂（例えば渓流を堰き止めて水を貯めている土砂）がある場合には再び土石流又は急な増水が発生する恐れが高いことから、上流への監視が必要である。土石流の速度は、秒速 30mを超える観測値もあるが、人的被害が発生して消防隊が活動するような場所では、おおよそ秒速 10mを見込めばほとんどがカバーできると考えられる。その場合には 300m上流に監視要員を置けば、少なくとも 30 秒の退避時間を稼ぐことができる。

表１　消防研究センターの土砂災害にかかる技術援助

災害	助言の内容
2004 年中越地震[1)]	妙見崩壊地での救助活動における、二次的崩落の危険性（土木研究所の後を引き継いだもの）
2006 年長野県岡谷市土石流災害[2)]	湊６丁目の土石流災害地での救助活動における、二次災害の発生危険性、監視場所及び監視対象、緊急待避にかかる猶予時間、降雨時の活動停止の基準、避難勧告の発出範囲
2008 年岩手宮城内陸地震[3)]	２箇所の崩壊地での救助活動における、二次的崩落の危険性の評価、湧水増に伴う退避の助言、立入り危険箇所の指定、監視場所、監視対象及び退避範囲の指定
2014 年広島市土石流災害[4)]	「山が動いている」という通報に対するヘリコプターからの確認、保育園の安全性に関する助言
2016 年熊本地震[5)]	３箇所の崩壊地における、二次的な崩落の危険性の評価、監視場所及び監視対象の指定、変状の監視、降雨時の活動停止の基準、活動再開の判断
2018 年北海道胆振東部地震[6)]	吉野地区、富里地区、幌内地区での捜索救助活動における、二次災害の発生危険性の評価、降雨時の活動停止基準、二次的な出水に対する対応策
2019 年台風 19 号災害（相模原市）[7)]	相模原市緑区牧野（まぎの）地区での捜索救助活動活動における二次災害の発生危険性の評価、降雨時の活動停止基準
2020 年宮崎県椎葉村土石流災害	災害状況の把握、ドローンによる捜索に関する助言
2021 年熱海市土石流災害	二次災害の発生危険性の評価、異常発生時の安全確認、被害状況図及び土砂の深さの分布図の作成

（３）計器の活用方法と見方

限られた時間と資材で簡便に扱える監視機器としては、レーザー距離計により対象までの距離変化を監視する機材や、地表傾斜計を複数設置して無線監視する機材がある。設置作業に危険な地域に入ることもあるが、継続的に監視ができるのは有効である。他に、設置には時間を要するが、2 つの杭を打ちその間にワイヤーを張り、二つの杭の間の距離変化を測る伸縮計（地すべり計、移動量計とも呼ばれる）などの計器も土木分野では用いられている。

地すべりなどの斜面変状が見つかった場合には、計器による観測が行われることが多い。どの

計器をどこに配置するかは、専門業者によって慎重に検討される。消防活動のスケールで完全な配置を実現することは難しいが、隊員を守るという観点から次のような考え方で設置することが有効と考えられる（図１[8]）。

・活動地点に害をなす恐れのある不安定そうな土砂（崖よりも上方斜面で亀裂がある場合にはそれより下側（図 A～B の区間））

・不安定な土砂の同定が困難な場合又はそこまで行けない場合には、活動地点に来る土砂が通るであろう場所でセンサーが反応する場所（C）（渓流周辺で活動する場合には、渓流の上流にさかのぼった場所）

・言わずもがなであるが、無線式の警報機は無線が届く場所であることを確認する。

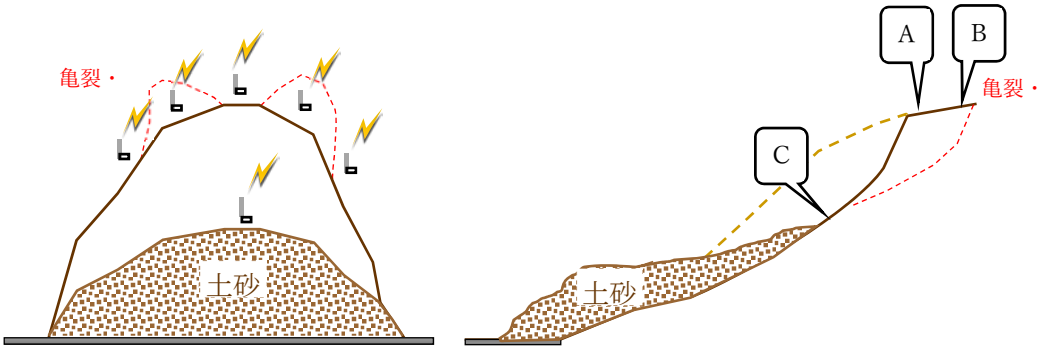


図１　監視装置（多点設置型の傾斜計）の設置場所の模式図

写真２は、2019 年の相模原市での災害時に、傾斜型のセンサーを相模原市消防局の隊員が設置しているところである。なお、この設置場所は次のように選定した。①活動地点（渓流の底）のすぐ脇に急斜面（渓流の岸が 30 度を超える崖になっていた）があった。②この崖には、硬い岩盤の下に固結度の低い礫層をはさみ、安定性に懸念がある地層になっていた。③水が湧いていた形跡があり地下水の集まる場所と見られた。④この崖は崩れる徴候は見られていないが、万一ゆっくりと変形が進むと危険なので、機械で監視したい。⑤崖の上が傾斜のゆるい平坦地になっているので、その平坦地の崖に近いところ（＝斜面の変化が現れやすいところ）にセンサーを設置する。⑥指揮所から無線が届くことを確認した。なお、写真の隊員の向こう側がすぐに急崖になっていて、その下で活動が行われている。

写真２　2019 年相模原市緑区牧野の現場のにセンサーを設置している状況

（４）警戒範囲

土砂の流送範囲は、同じ土質で同じ規模の崩壊を想定すれば、はじめの崩壊と同じ範囲が一つの目安である。発生することが高い落石やが崩れた面の小規模な剥落に対しては、これが適応できる。一方、まれではあるが、災害時の崩落よりも高い斜面が崩落する場合には、より遠くまで到達する可能性がある。また、土砂の規模が大きくなると、広がる範囲も大きくなる傾向があり、この場合も、はじめの土砂よりも遠くまで到達する。なお、崩落した土砂の運動は水の影響を強く受ける。地表付近の水がはじめの災害時よりも少なくなっている場合には、二次的な崩落の土砂の到達範囲は小さくなる。参考までに図２は、住民が安心して生活できるレベルの安全を考慮したものであるが、少しずつ移動している地すべりに対してどの程度の危険箇所を想定しておくかについての、一つの案として（独）土木研究所が示しているもの[9]である。

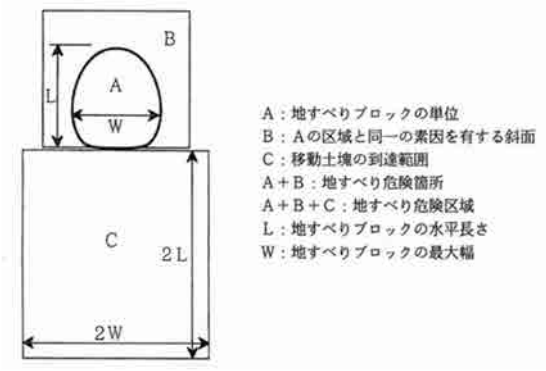


図２　地すべりの場合の危険区域の見込み方（消防活動用ではないことには留意）

2.2. 聞き取り調査にみる初動期の危険性

これまで消防研究センターでは、土砂災害への対応について、消防機関に聞き取り調査を実施してきた。その中で、本格的な「救助活動」事案について聞くと、周辺を警戒する監視員の配置や多機関連携など、安全管理に努力している一方、避難誘導や状況調査出向などの活動において、ヒヤリハットが多いようである。例えば、避難の呼びかけのために家屋に伺ったところ、待っている間に数分前に登ってきた道が土砂で埋まった（図３）、状況調査のために車両を一時駐車した場所に翌日行ったら土砂に埋まっていた、洪水の状況調査に出た消防団員がその後発生した土石流に巻き込まれた、などがある。このような時間帯の活動の安全確認に検討の余地があると思われる。

図３　避難誘導中のヒヤリハット

2.3. 規模の大きな二次的崩落への配意

土砂災害に関する二次災害として戦後最大の繁藤災害では、写真３の左の写真の崖崩れで埋まった団員の救出活動中に幅 200ｍの山腹が大規模に崩壊した（同写真右）。このように、はじめに発生した土砂移動よりはるかに大規模な土砂が二次的に移動することは、人命に関する事態では近年は聞かれないものの、自然現象としては発生している。特に地すべりが多い地形・地質の場所では注意が必要である。なお、一般には移動する土砂の規模が大きいほど土砂の到達範囲は大きくなるが、前兆は大きく、時間も長くなる傾向にあり、避難のための時間は大きくなる。ただし、もともと直線的な亀裂が入っていた岩盤が、その直線に沿ってすべる場合は急激に走り出すことがある。このように、大規模な現象や急激な現象があることには留意しておく必要がある。

写真３　1972 年７月５日高知県繁藤の災害

3　安全管理の現状と課題に関する検討

3.1. 安全管理体制

先に述べた通り、「救助活動」という状況認識ができる前にヒヤリハットが多い。消防隊員といえど土砂に対してはほとんど無力であり、警戒レベル４の気象状態になったときの活動の継続の必要性について、慎重に検討する必要があると思われる。一般にその時間帯には多くの隊が個々に活動していることが多く、本部としての安全管理が求められると言える。

次に、火災出動においては、火点一巡などの全容把握が早期に求められる。火災に限らず、あらゆる災害対応において、同様のことが言えよう。どこまで何が広がっているかを知らずに現場に深入りすることは避けるべきであろう。土砂災害は全容の把握が難しいため、一番初めに入った隊は奥行きや広がりを意識して活動を開始すべきであろう。

一方、「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」により、土砂災害の危険箇所については指定が進んでおり、これらの情報を管轄についてあらかじめ共有し、豪雨時におきうる状況を平常時に想定しておくことが有効であろう。

また、活動中には安全管理任務の独立が重要である。前兆の見逃しや前兆に気付いても逃げきれなかった事例がある。何かをしながらでは災害の前兆に気づかないおそれが高い。少ない隊員数の中であっても、常に周囲を把握し、自分たちに土砂が流れてくるとすればどちらからか、どちら側に逃げるのが良いか、渓流の流れが異常ではないか、を考える隊員を指名することが必要と考えられる。

3.2. 管理する安全性の考え方

地盤の中は見ることができず、斜面の中でどのように地層が組み合わさっているのか、また、どのように地下水が流れているかを知ることが非常に困難である。このような不確実性に起因する危険を避けるために、土木工事では、入念に調査するとともに、設計時に安全のための余裕を

見込む。一方、消防活動では、調査の時間は短く手段も限られる。安全のための余裕も大きく見込めないことが普通である。また、土木工事が担保しようとするのは、構造物の供用期間にわたって、住民が心配なく生活できるような、高いレベルの安全性であるが、消防活動では、活動の間だけ、活動している場所が、万一の際には応急手当てしながらでも持てば良いという、ギリギリの安全性である。このように、一般の土木工事と消防活動では要求する安全性の質とレベルが異なることから、土木技術の消防現場への適用が進みにくい現状がある。情報の量、求める安全のレベル及び安全のための余裕の見込み方について、専門技術者の考え方と消防の考え方のすり合わせが必要である。日常生活を確保するレベルの安全性を求めれば、消防活動は進まない。

写真４は、砂斜面に埋もれた人を想定し、掘削で救出する手順を研究している様子である。この時の現場の表面はほぼ乾燥した砂であり、安息角に近い斜面であることから、掘削に伴って上方から砂が流入し続ける。それを防ぐために、単管とコンパネで砂の流入を防ごうとしている。このとき、単管はコンパネが表面付近の砂から受ける斜面下方への力を、斜面の深いところ（比較的締め固められており、かつ、湿度があって表面張力が作用するために、土が強い）に伝えて支えようとしている。実はこのような構造物を、斜面の浅い土の一般的な物性で、どのような条件でも安全になるように設計することはきわめて困難であり、この構造物はあくまで限られた条件で安定しているに過ぎない。つまり、この構造物は、人を掘り出す短い時間だけ斜面を騙して止まっておいてくれれば良いという思想のもと、作りながら安定するように手を入れ続ける必要がある。このように、壊れさせないことを目指しつつ、壊れても靭性がある、あるいは時間が稼げるような状況を作る技術が求められている。

写真４　30 度砂斜面における掘削訓練の様子（兵庫県下消防長会救助技術研究会土砂災害作業部会）

3.3. 安全管理の対象

目視監視は基本的な方法であるが、何を監視するかについて意識的である必要がある。通常、土砂災害対応訓練と言えば、土砂の中からいかに人を掘り出すかという訓練であり、その場での「安全管理」は、隊員の作業に起因する危険性（人と工具の干渉、挟まれ、転落、熱中症など）の監視を意味する。このような訓練では再現されないが、実際の現場ではこれとは別に、周囲の斜面や渓流の上流など環境の危険に対する安全管理も行わなければならない。すなわち、掘削訓練とは逆の方向を見る隊が必要となる。現実として現場に消防機関しかいない場合も多く、そのような監視を行う必要を認識しておくことと、都道府県の河川部局、砂防部局、治山部局などに土砂災害に対する知見と経験があることから、日頃から連携を構築しておくことが有効である。

目視監視にあたり、先に述べたような、大規模な地すべりや急に崩壊してくる直線的な岩盤すべりなど、あまり発生しないが発生した場合に破局的な状況になる現象については、常に頭の隅に置いておいていただきたい。落石や異音、水の湧き出し、亀裂の開口などに注意が必要である。

センサーによる監視の場合には、どのくらいの観測値で異常と判定するか、が問題となる。斜

面工事で実績のあるワイヤーを利用した移動量計では、１時間あたり１～２ミリから警戒態勢となり、10 ミリで立入禁止という値が多い。傾斜を利用した場合の基準値は現場ごとに異なっている。これは、傾斜はどこで測るか、によって大きく変化することが挙げられる。センサーによる監視でもう一つ重要なのは、誤差の評価である。土木工事などで用いるセンサーは設置の直後には地盤の動きとは関係ない観測値を示すことが多い。この大きさや期間は、センサーの設置方法ごとに変わってくる。また、特に露天では直射日光による金属部品の温度変化による誤差も生じやすい。現在、消防研究センターでは、神戸市消防局及び相模原市消防局の協力を得て、傾斜センサーのしきい値の考え方について検討している。

3.4. 活動停止と活動の再開

降雨が予想される場合には、判断が遅れないように、事前に活動停止基準を定めておくことが望ましい（例えば[10]）。森林であれば降雨始めの数ミリは地盤に染み込まないが、植生によっても異なる。また、降雨により現場は泥濘化することから、退避に時間を要するようになることにも留意して決定することとなる。降雨による災害の場合には、降雨後の時間経過とともに安全性が向上することから、徐々に緩和（停止基準雨量は大きく）できる。図４に本年７月の熱海市の土石流災害の際に消防研が提示した停止基準の雨量の変化を示す。地下にある水の量を表すモデルを用いて、水の量の減少に応じて、不確実性を考慮して安全の余裕を見つつ、徐々に基準を緩和した。

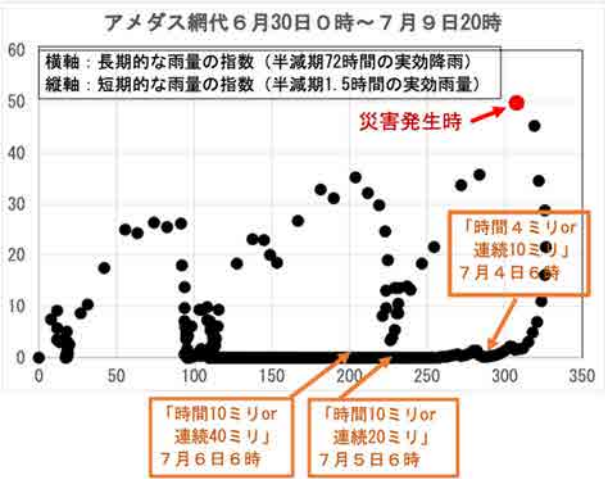


図４　熱海市の土石流災害（７月３日発生）後に提案した降雨による活動停止基準

一方、停止した活動の再開の判断は一般に難しいとされる。停止前からの地形変化（新たな崩壊や渓流の詰まりなど）、流水の増え方、泥の上での活動性などを見て判断することとなろう。崖の崩れたところ、活動地点の最上流の渓流の様子、活動地点周辺の様子などは定期的に写真に記録しておくことで、変化がわかりやすくなる。

4　まとめ及び展望

消防研究センターが行ってきた研究及び技術支援を元に、土砂災害現場での消防活動の安全管理の実情についてまとめ、課題について検討した。災害現場はいずれも独自性があり、それぞれの現場で起きやすい現象／起きにくい現象があり、専門家であればある程度目星をつけ、重点的に確認するもの／確認を要しないものを意識して危険性を評価するが、一般の消防隊員にそのレベルを求めることはできない。そこで、冒頭の隊員には、現在であれば次のように答えたい。

・土砂が到達していない場所（またはマンション等の高いところ）から崩れた部分全体を見渡す。
・崩れた奥の（上）斜面が崩れてこないか、崩れた面から落石が起きないか見る。
・湧き水があればその量に変化がないか、定期的に写真を撮って確認する。
・樹木の揺れや異音がないか、奥の斜面、両側面の斜面を見る。

・崩れた奥の斜面に亀裂がないか。亀裂があるならその周辺は特に警戒する。
・現場に流れてくる渓流はないか。その渓流の流量に変化がないか。
・その上流に土砂ダムがないか、調べる、または調べることを依頼する。

土砂災害現場は範囲が広くなり、また不確実性が高いため、安全管理については慎重に検討する必要がある。今後とも、不確実性を低減できるような研究と消防活動の現実に即した対策技術の開発に取り組んでいきたい。

謝辞

技術支援、聞き取り調査、訓練の視察及び意見交換について、多くの消防本部の皆様にご協力いただきました。記して感謝します。

文献

１）消防研究所：斜面崩壊現場の二次崩壊危険度予測手法に関する研究報告書、消防研究所研究資料第 70 号、(平成 18 年３月)
２）新井場公徳・吉原浩：2006 年７月岡谷市湊地区土石流災害対応への技術支援について、消防科学と情報、No.84、pp. 44 – 51 (2007.1)
３）新井場公徳・田村裕之・杉井完治・喜多洋樹：岩手・宮城内陸地震における斜面災害地での技術支援について、消防研究所報告第 106 号、pp. 6-16 (2009)
４）新井場公徳・土志田正二・佐伯一夢：2014 年８月広島市において発生した降雨停止後の土砂災害の要因と土砂災害時の活動の安全確保に関する考察、消防研究所報告、第 121 号、pp.1-8 (2016)
５）新井場公徳・土志田正二・尾川義雄：土砂災害地での応急対応活動における危険性管理、日本地すべり学会誌、第 54 巻２号、pp. 10-17 (2017)
６）新井場公徳・土志田正二・佐伯一夢・清水幸平：平成 30 年北海道胆振東部地震による土砂災害地における捜索救助活動に係る技術支援、消防研究所報告、第 128 号、pp.1-18 (2020)
７）新井場公徳・土志田正二：神奈川県相模原市緑区牧野(まぎの)地区の斜面崩壊における捜索救助活動にかかる技術支援、消防研究所報告、第 128 号、pp.1-10 (2020)
８）オサシテクノス・神戸市消防局・神戸大学：「土砂災害現場での捜索救助活動等における２次災害防止を目的とした監視システムの研究開発」報告書、平成 30 年度消防防災科学技術推進制度終了課題報告、https://www.fdma.go.jp/mission/develop/item/H30_seika_osashi.pdf (2019.3)
９）土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム：地すべり防止技術指針及び同解説（提案）、土木研究所資料、第 4077 号、ISSN0386-5878、(平成１９年９月)
10）消防庁広域応援室：緊急消防援助隊の二次災害防止のための活動中止の判断基準等について（消防広第 215 号）、(令和２年８月 12 日)

令和元年１０月２５日大雨における土砂災害救助活動事例について

千葉市消防局　緑消防署
新井　吉昭
染谷　直志

千葉市の概況

- 位置と市の構成

本市は東京湾の湾奥部に面し、千葉県のほぼ中央部に、東京都心部からは東に40km、成田国際空港と木更津市（東京アクアライン接岸地）からそれぞれ約30kmの距離にある。

市域面積は約272㎢、南北に24.5km、東西に25.6kmで習志野市、八千代市、佐倉市、四街道市、八街市、東金市、大網白里市、茂原市、市原市と接している。

千葉市の概況

千葉市の人口977,838人
（令和３年８月１日現在）

市内は中央区、花見川区、稲毛区、若葉区、緑区、美浜区の６つの行政区で構成され、地形は花見川などの河川によって刻まれた低地と台地、東京湾沿いに広がる約34㎢の埋立地に区分される。全体的に平坦な地形のため、都市の成長とともに市街化が進んだが、内陸部には緑豊かな自然環境を有し、大都市でありながら緑と水辺に恵まれている。

千葉市消防局

消防局所在地：千葉市中央区長洲１－２－１
管轄区域：６区
（中央・花見川・稲毛・若葉・緑・美浜）
配置：１局３部９課１消防学校
６署１９出張所
職員数：９４６人
車両等：消防車両１２４台　救急車両３２台
ヘリコプター２機　消防艇１艇

令和３年４月１日現在

令和元年における災害状況

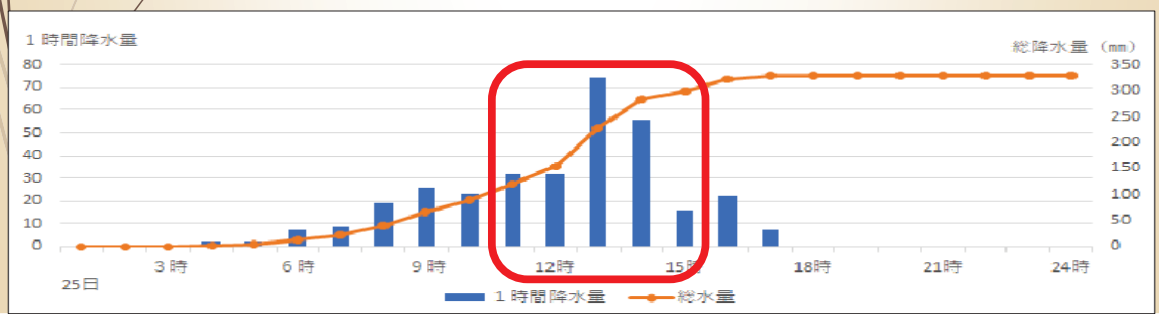
- ９月９日の令和元年房総半島台風（台風１５号）では、**最大瞬間風速57.5m/ｓの記録的な風による家屋の屋根の破損、倒木が多く発生**し、**広範囲で長時間の停電が続き、停電に伴う断水や通信途絶**も発生
- １０月１２日の令和元年東日本台風（台風１９号）では、本市への上陸は免れたものの房総半島台風の被害復旧が終わってない中での被災
- １０月２５日の大雨（１０月２５日大雨）による、河川の氾濫や内水氾濫を引き起こし、多くの床上床下浸水や道路冠水等が発生するとともに、**土砂災害により３名の尊い命が奪われた。**

１０月２５日大雨の概要

- 低気圧は10月23日に東シナ海で発生し、この低気圧に向かって、南から暖かく湿った空気が流れ込んだほか、台風第21号の周辺の湿った空気が流れ込み、大気の状態が非常に不安定になった影響で、千葉県や福島県を中心に関東地方から東北地方太平洋側の広い範囲で大雨となり、千葉県や福島県の観測地点を中心に、**総降水量が200㎜を超えた**ほか、**3時間及び6時間降水量が各観測地点において観測史上1位の記録を更新する記録的な大雨**となった。

１０月２５日大雨の概要

- 千葉市緑区の土気南小学校に設置されている千葉市雨量観測システムでの観測によると、10月25日0時から24時までの間、最大1時間降水量74.5㎜、総降水量329㎜が観測された。最も強い雨が降った11時から15時までの間、総降水量194.5㎜が観測され、アメダス千葉での観測における**10月の1か月平均降水量185.9㎜を僅か4時間で超える記録的な大雨**となった。



千葉市緑区の土砂災害にかかる避難勧告・指示の発令等の状況

発令内容	発令日時	対象地区	発令理由	解除日時
避難勧告	１０月２５日（金） １０時５３分	緑区 （土砂災害警戒区域等）	土砂災害警戒情報が発表されたため	１０月２５日（金） １４時３０分 「避難指示へ変更」
避難勧告	１０月２５日（金） １２時００分	中央区、花見川区、稲毛区、若葉区 （土砂災害警戒区域等）	土砂災害警戒情報が発表されたため	１０月２５日（金） １４時３０分 「避難指示へ変更」
避難勧告	１０月２５日（金） １２時１３分	緑区（大椎町、越智町）	村田川の水位が氾濫のおそれがある水位に到達したため	１０月２５日（金） ２１時２０分
避難指示（緊急）	１０月２５日（金） １４時３０分	中央区、花見川区、稲毛区、若葉区、緑区 （土砂災害警戒区域等）	記録的短時間大雨情報が発表されたため	１０月２５日（金） ２１時２０分

被害状況

- 死者　１４人（千葉県１２人、福島県２人）

《**千葉市３**、茂原市３、佐倉市・市原市１、長柄町２、長南町２》

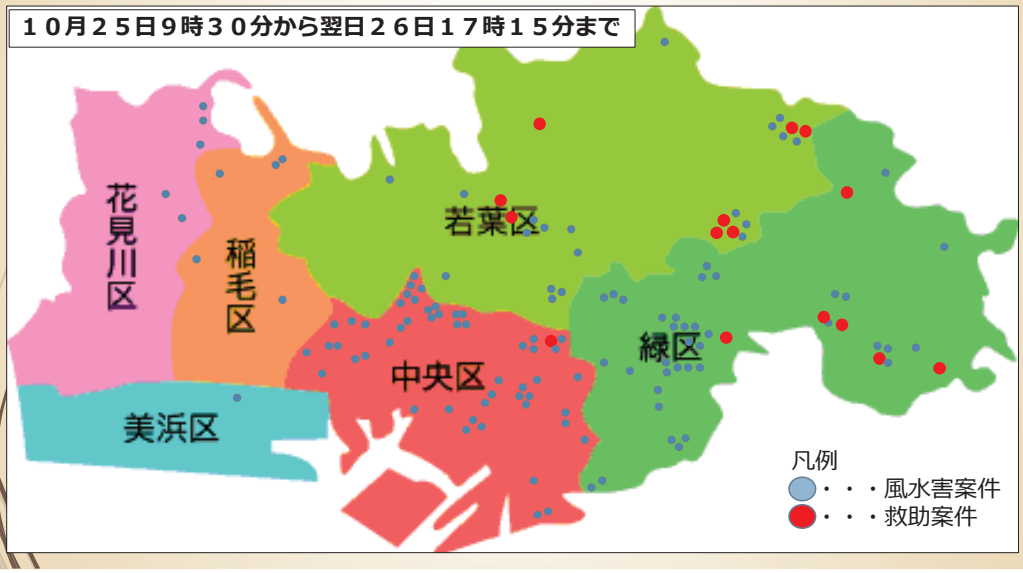
- 負傷者１３人（千葉県１１人、福島県２人）

住家被害５１１２棟　・千葉県４８６０棟
・茨城県　２４６棟
・埼玉県　２棟
・神奈川県　３棟
・愛知県　１棟

千葉市内の災害状況

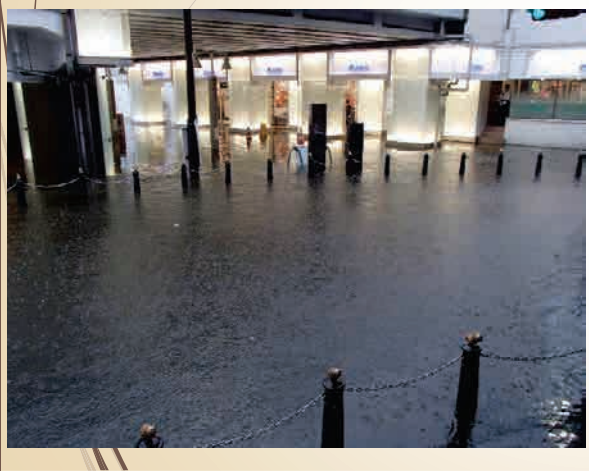
区分			中央区	花見川区	稲毛区	若葉区	緑区	美浜区	合計
人的被害	死者		0	0	0	0	3	0	3
	行方不明者		0	0	0	0	0	0	0
	負傷者	重傷	0	0	0	0	1	0	1
		軽傷	0	0	0	0	0	2	2
住家被害	全壊		0	0	0	0	8	0	8
	半壊		0	0	0	12	7	0	19
	一部破損		2	0	0	6	29	1	38
	床上浸水		3	1	0	12	23	0	39
	床下浸水		6	7	1	11	51	2	78
非住家被害	公共建物	浸水	0	0	0	0	1	0	1
		上記以外	0	0	0	0	0	0	0
	上記以外（店舗等）	浸水	3	0	0	12	11	0	26
		上記以外	0	0	1	3	17	1	22
その他	文教施設		0	0	0	0	0	0	0
	がけ崩れ		3	0	0	16	79	0	98
	道路冠水		108	5	7	45	64	6	235
	車両被害		5	2	1	8	13	0	29
	倒木		0	0	0	0	8	1	9
	上記以外		11	0	1	40	108	2	162
合計			141	15	11	165	423	15	770

千葉市内の災害状況



千葉市内の災害状況（冠水氾濫）

道路冠水（京成千葉駅前）



道路冠水（JR蘇我駅前ロータリー）

千葉市内の災害状況（冠水氾濫）

道路冠水（中央区都町３丁目）

道路冠水（中央区都町３丁目）

千葉市内の災害状況（土砂災害）

塀の倒壊（中央区今井町）

道路分断（緑区越智町）

千葉市内の災害状況（土砂災害）

土砂災害（緑区誉田町３丁目）

土砂災害（緑区誉田町３丁目）

緑区板倉町で発生した土砂災害

災　害　概　要

覚知時刻：令和元年10月25日13時32分
現着時刻：令和元年10月25日14時18分
救出完了：令和元年10月25日21時17分
　　所要時間：6時間59分
被　　害：木造2階建て住宅全壊
原　　因：建物北側斜面の崩壊
死　　者：１名（居住者男性）
出動車両：５台　指揮隊　消防隊　救助隊
　　救急隊　資器材搬送車　各１隊
出動人員：１８名
関係機関：警察官１０名、自衛隊員３０名
　　重機会社職員４名

現場到着時の状況

木造２階建て住宅が、北側の斜面崩落により土砂に押し流され全倒壊していた。

北側

東側

現場到着時の状況

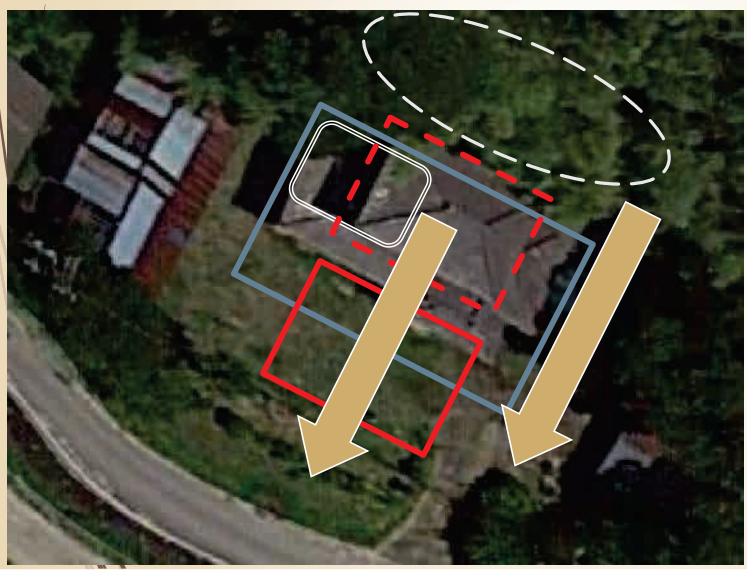
木造２階建て住宅が、北側の斜面崩落により土砂に押し流され全倒壊していた。

南側

南東側

現場到着と状況判断①

状況判断①



凡例

崩壊区域

崩壊方向

1 階部分（倒壊後）

2 階部分（倒壊後）

捜索範囲

状況判断②

災害現場全体の状況把握

☆　消防局警防課保有のドローンの活用

→　天候により使用不可

☆　監視人配置のための部隊の増強

→　市内で災害多発していたため、応援要請するも到着まで時間を要す

状況判断③

☆　救助隊長からの要請

①　指揮隊の増強

→　特異な災害なため指揮隊を要請

②　重機の要請

→　現場の状況から必要と判断

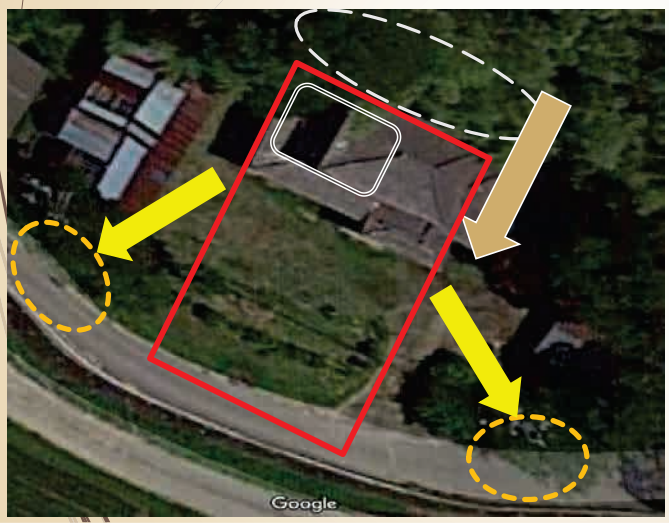
☆　方面指揮本部及び災害対策本部の動き

警察・自衛隊・重機要請

職員の非常招集の調整

活動前における周知徹底

危険区域の設定・緊急退避場所・退避経路の周知徹底



凡例

崩壊区域

崩壊方向

危険区域

退避経路

緊急退避場所

捜索範囲

活動前における周知徹底

☆緊急退避基準の取り決めと周知徹底

☆警報システム

退避：１秒毎に３回の短い警報音を発し現場から全員避難するまで繰り返す

停止：３秒間の長い警報音を発し活動を一旦停止し周囲の状況を確認する。

活動再開：１回の長い警報と短い警報音

活動初期

活動指示

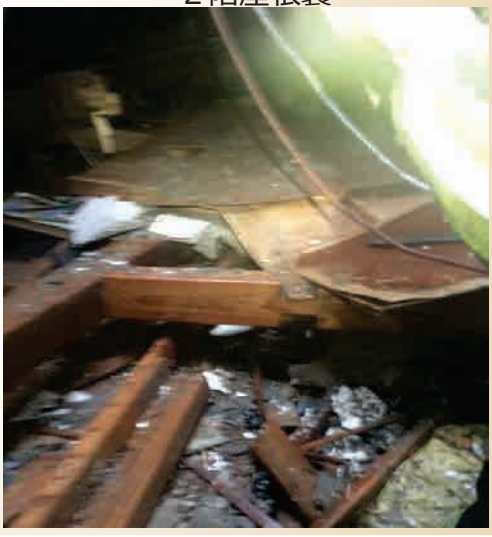
① 要救助者の捜索と早期発見

② ハザード情報の早期把握

活動初期の状況

１階部分

２階屋根裏



活動中期

活動指示

① １階部分検索のため、開口部を複数作成

活動中期の状況

活動後期

活動指示

① 重機による倒壊建物の除去活動を依頼

② 除去活動後の土砂の取り除き及び検索活動

活動後期の状況

活動後期の状況

土砂災害を経験して・・・

- 付近住民からの情報は、要救助者の位置特定や家屋の捜索活動における状況の把握において、大いに役立った。
- 付近住民への聞き込みと同時に、インターネットの航空写真等で倒壊以前の状況を入手し、倒壊のイメージを隊員間で共有したことは、より効率的な検索活動へと繋がった。
- 建物北側に二次崩壊危険があったが、消防力劣勢であり早期増隊も見込めなかったため、独立した安全員の配置は困難と判断し、小隊長が安全管理・記録・指揮を兼任した。そのような活動の中、資料等に記載されている土砂災害の前兆現象の知識、小隊長の危険予知の状況把握・判断の上で、躊躇せずに一時退避の指示を出すことが出来た。
- 本災害では、限られた人員と資器材での活動を余儀なくされることとなった。このことから、特殊な災害では、「初動体制」「早期の状況把握と判断」「必要部隊等の要請」「根拠と状況に基づいた明確な指示」「情報の周知と共有」の重要性を再認識することが出来た。

ご清聴ありがとうございました。

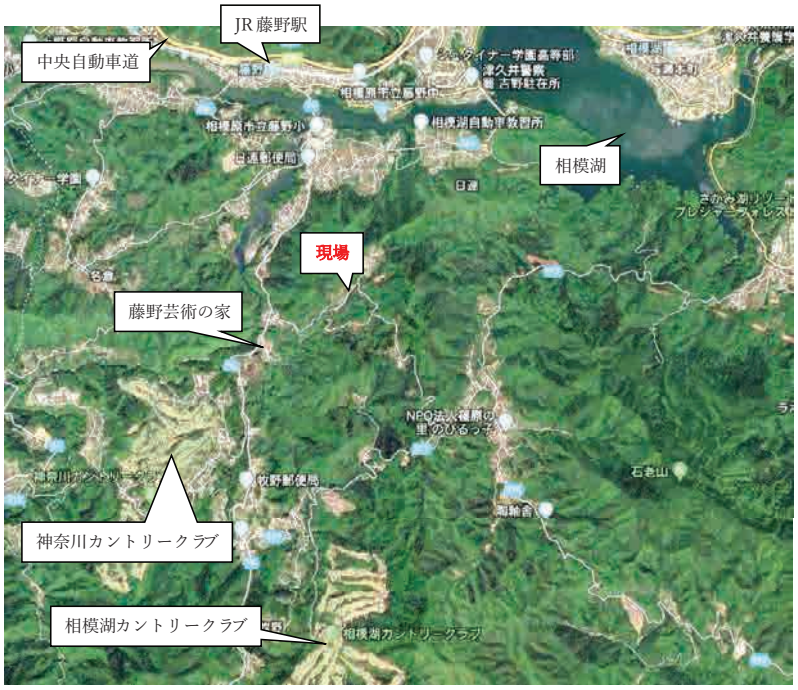
出典元
「令和元年災害記録誌」
「消防庁速報　１０月２５日からの大雨による被害状況」

相模原市消防局
警防部警防課

令和元年東日本台風に伴う土砂災害時の初動対応及び民間重機との連携について

土砂災害発生場所
相模原市緑区牧野新和田地区

牧野新和田で発生した土砂災害
～発生場所～



牧野新和田で発生した土砂災害
～災害概要～

１０月１２日２１時４６分　覚知
「土砂崩れで家屋が倒壊し、
居住者が２名いる模様」
との近隣住民から１１９番通報

土砂崩れにより家屋が崩壊し、
居住者（６０代男性、６０代女性）の
安否が確認できなくなったもの

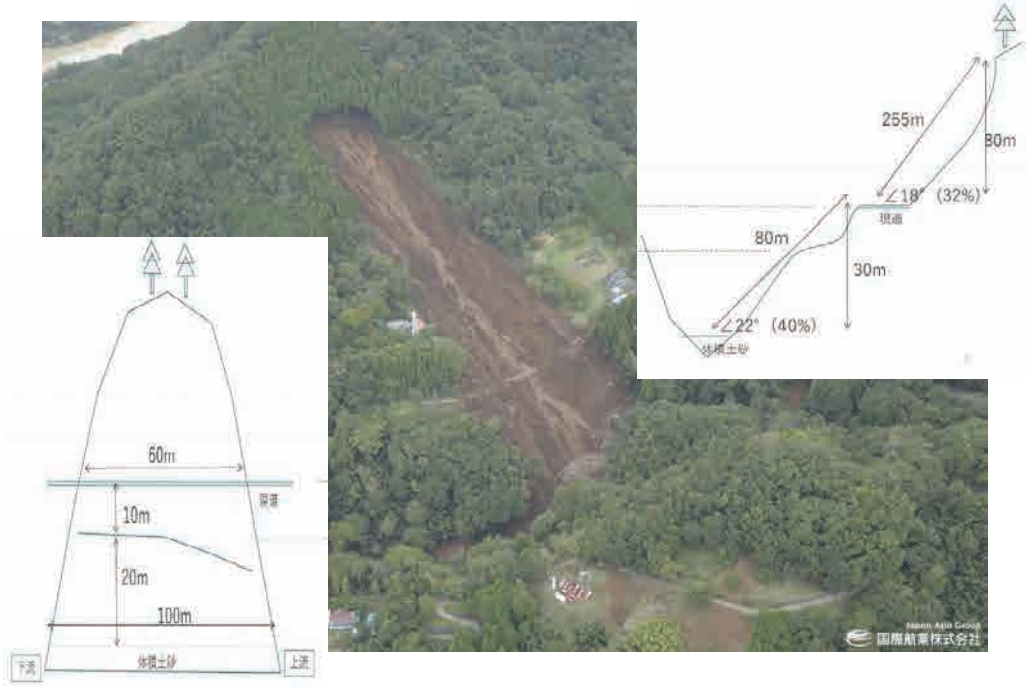
２人目の発見が１１月１２日
約１か月の期間を要した活動現場

牧野新和田で発生した土砂災害
～発災前の衛星写真～

牧野新和田で発生した土砂災害
～発災後の衛星写真～

居住者２人のほか、母屋、車庫、小屋、車両３台

牧野新和田で発生した土砂災害
～土砂崩れ規模～

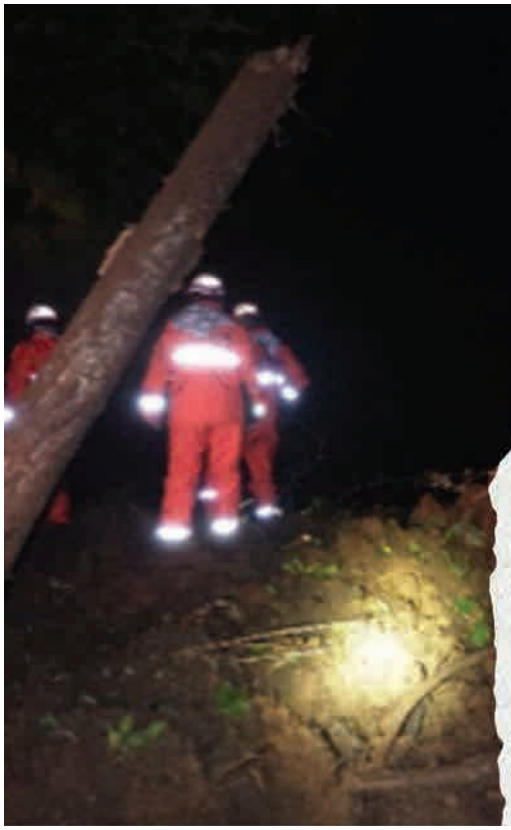


牧野新和田で発生した土砂災害
～出場～

１２日２１時４７分出場
大隊本部指令により出場するも
道路冠水、倒木、道路への土砂流入等の
通行障害があったため、一旦帰署

１３日００時４３分
通行障害であった土砂が取り除けたとの情報（元消防職員から）により再度出場

１３日０１時３０分
現場到着
車両４台　　消防団員を含む　計２３名



暗中の中、ライトで照らすと約１００メートル下の谷底に大量の土砂、倒木等が堆積している中、住宅の屋根部分を確認するも、このまま活動を着手するには二次災害の危険性もあり、一旦、全隊引揚、早朝から活動を開始

牧野新和田で発生した土砂災害
～ドローン活動～

本市ドローン保有台数
・マトリス　　１台
（総務省消防庁貸与品）
・ファントム　２台
・マービック　１台
計４台を保有

牧野新和田で発生した土砂災害
～ドローン画像～

牧野新和田で発生した土砂災害
～ドローン画像～

牧野新和田で発生した土砂災害
～ドローン画像～

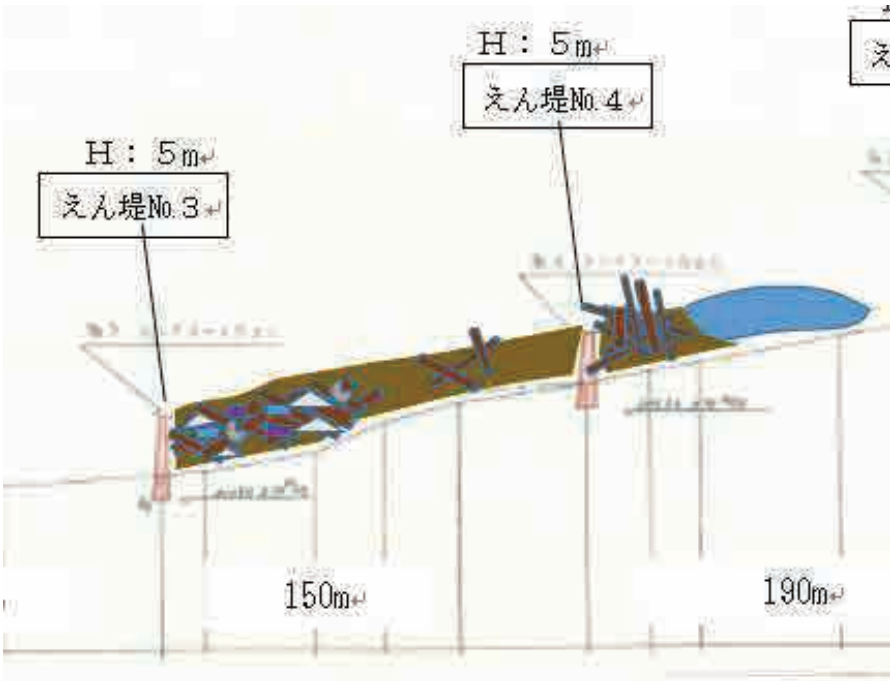
牧野新和田で発生した土砂災害
～ドローン画像～

牧野新和田で発生した土砂災害
～現場指揮本部の設定位置～

牧野新和田で発生した土砂災害
～現場指揮本部の位置～

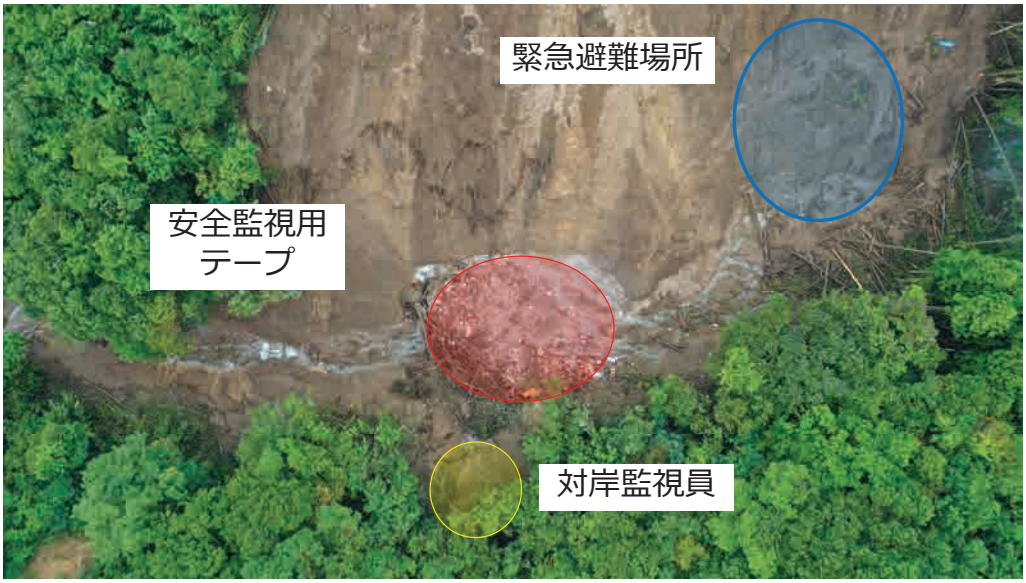
牧野新和田で発生した土砂災害
～上空から見た捜索救助現場～

牧野新和田で発生した土砂災害
～捜索救助現場の断面図～

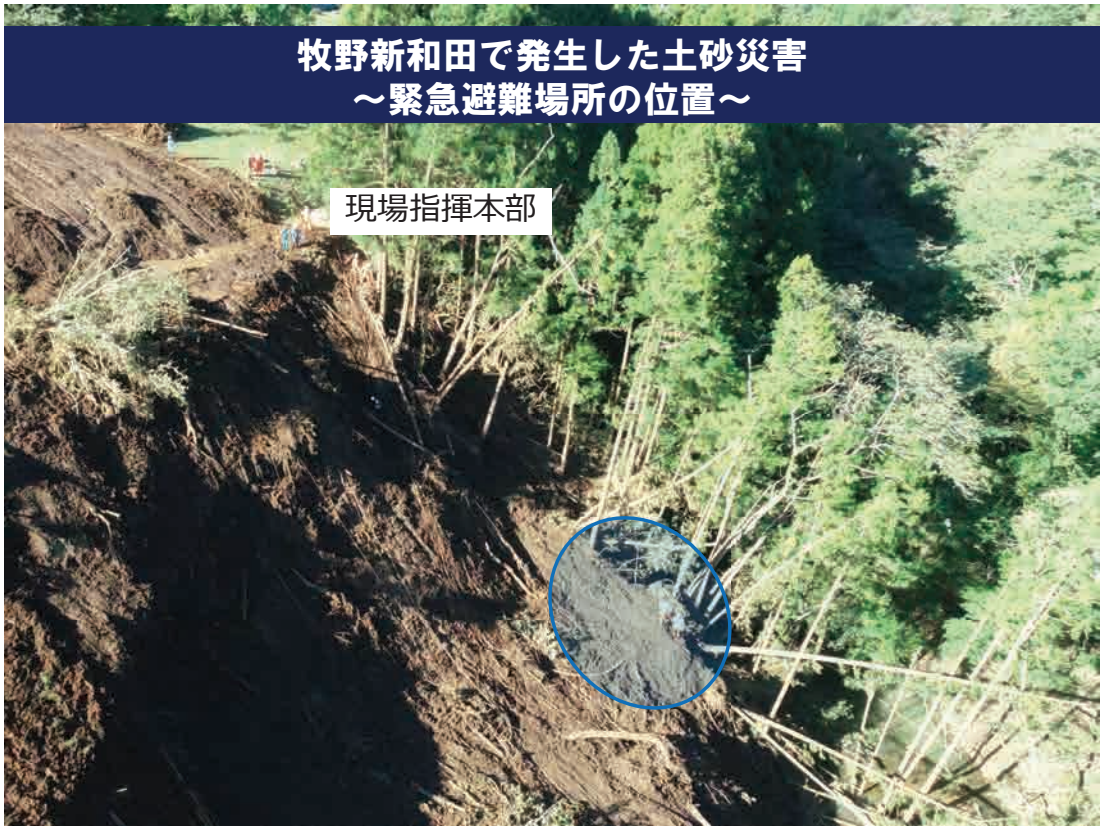


牧野新和田で発生した土砂災害
～二次災害防止措置～

牧野新和田で発生した土砂災害
～二次災害防止措置～



牧野新和田で発生した土砂災害
～対岸監視員の配置～


牧野新和田で発生した土砂災害
～緊急避難場所の位置～
現場指揮本部

牧野新和田で発生した土砂災害
～二次災害防止措置（安全監視用テープ）～

牧野新和田で発生した土砂災害
～捜索救助活動開始～
二次災害防止措置後、救助隊及び県警機動隊と合同で進入管理を行ったうえで捜索救助活動を実施
１３時４０分
自衛隊の派遣が決定
２０時２４分
自衛隊が到着

牧野新和田で発生した土砂災害
～土砂災害時における救出活動の考え方～

第一段階【表面検索】

土砂が埋没していないすべての捜索場所（生存圏内）について検索

第二段階【空間検索】

倒壊建物内（生存圏内）の捜索救助

第三段階【詳細検索】

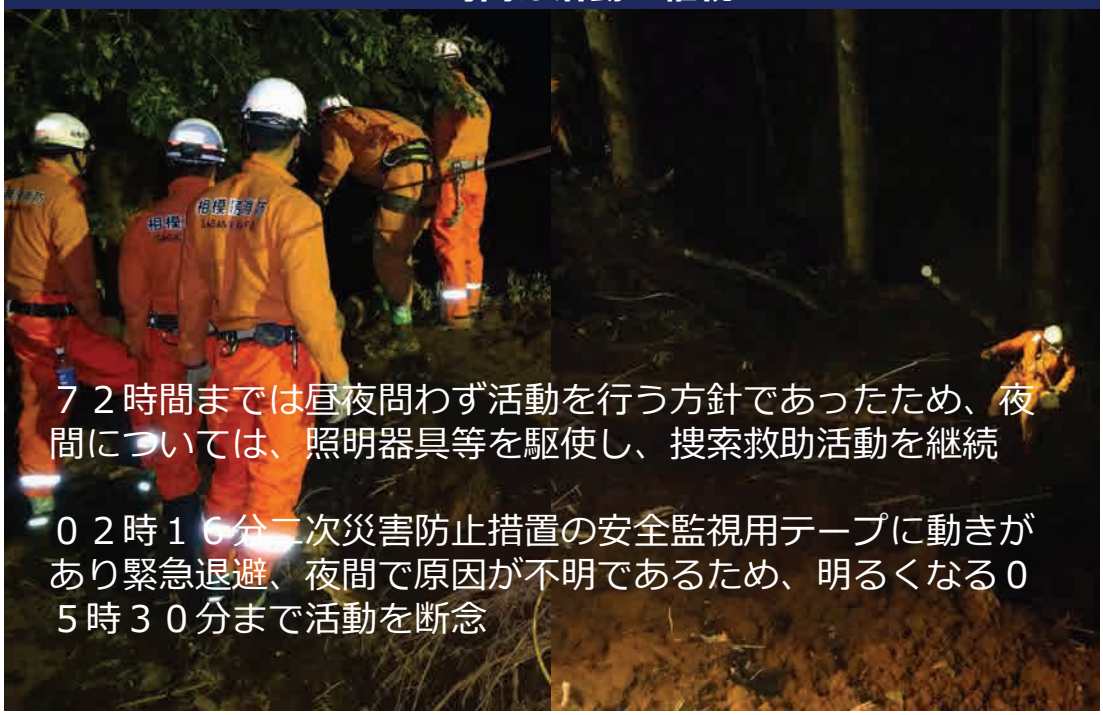
重機などを活用し土砂内すべての捜索救助

牧野新和田で発生した土砂災害
～活動ローテーション～

指揮本部
　入退出管理の徹底

５人程度を１小隊
２隊（１０名程度）のみ活動
２時間
ローテーション

牧野新和田で発生した土砂災害
～７２時間は活動を継続～



７２時間までは昼夜問わず活動を行う方針であったため、夜間については、照明器具等を駆使し、捜索救助活動を継続

０２時１６分二次災害防止措置の安全監視用テープに動きがあり緊急退避、夜間で原因が不明であるため、明るくなる０５時３０分まで活動を断念

牧野新和田で発生した土砂災害
～１４日消防研究センター土砂災害専門官臨場～

消防研究センター土砂災害専門官の臨場
ハザードの評価を依頼

①再崩落の危険性は低い

②湛水の上昇により土砂の流出危険あり

③捜索現場北側の急斜面の崩落危険あり

〈活動中止判断雨量〉
時間雨量：　５ミリ
累計雨量：１０ミリ
連続雨量３時間降雨がない場合リセット

牧野新和田で発生した土砂災害
～上空から見た捜索救助現場～

牧野新和田で発生した土砂災害
～ハザード湛水の状況～

牧野新和田で発生した土砂災害
～ハザード湛水（安全監視用テープの設定）～

牧野新和田で発生した土砂災害
～消防、警察、自衛隊と合同で活動～
土砂表面上の倒木や瓦礫などを撤去

牧野新和田で発生した土砂災害
～重機搬入について～

重機の搬入については、活動初期段階から検討

最重要捜索箇所への重機搬入には
３つの障害

①両岸急斜面

②上流下流に治山ダム

③軟弱な地盤面

牧野新和田で発生した土砂災害
～重機搬入にかかる各機関の対応～

自衛隊の重機
ヘリコプターによる重機搬送
⇒困難

国土交通省の重機
リモコン式重機の投入
⇒困難

重機を保有する他市消防本部
⇒困難

牧野新和田で発生した土砂災害
～アドバイス～

消防研究センター土砂専門官、国土交通省テックフォースからのアドバイス

「渓流内への重機搬入や堆積する土砂の掘削、移動は、それに特化した高度な知識と経験及び多くの資機材が必要であることから、自衛隊や消防などの救助実施機関では困難であるため、普段から渓流などの工事を請け負う専門業者に委託したほうがよい」とのアドバイスを受ける

牧野新和田で発生した土砂災害
～市長部局都市建設局との連携～

都市建設局との作戦会議や国土交通省テックフォースなどを通じて、治山・治水工事に優れた民間企業を紹介

牧野新和田で発生した土砂災害
～重機搬入業者の決定～

某大手ゼネコン会社

搬入経路２つ提示
①下流域からの搬入ルート
②崖上からの搬入ルート

通常、工事を着手する前に入念な調査が必要（この規模だと約１か月間）今回は現場合わせとなるため作業員の安全を考慮した結果

①の下流域からの搬入方法を選択

牧野新和田で発生した土砂災害
～現場指揮本部の設定位置～

牧野新和田で発生した土砂災害
～１１月１日下流域からのアプローチ～

牧野新和田で発生した土砂災害
～軟弱な地盤面への対応～

牧野新和田で発生した土砂災害
～軟弱な地盤面への対応～

牧野新和田で発生した土砂災害
～１１月４日搬入ルート変更～
岩盤
予定していた搬入ルート岩盤があり
重機ストライカーによる掘削を検討
するも崖上からのルートに変更

牧野新和田で発生した土砂災害
～１１月５日崖上からのアプローチ～

牧野新和田で発生した土砂災害
～崖上からの搬入ルート造成～

牧野新和田で発生した土砂災害
～崖上からの搬入ルート造成～

牧野新和田で発生した土砂災害
～崖上からの搬入経路～

牧野新和田で発生した土砂災害
～軟弱な地盤面の対応～

牧野新和田で発生した土砂災害
～放水による土砂排除～

牧野新和田で発生した土砂災害
～民間重機との連携活動～

牧野新和田で発生した土砂災害
～民間重機との連携活動～

牧野新和田で発生した土砂災害
～発見時の対応～

１１月１０日女性発見
重機（グラップル）による瓦礫等の排除時に行方不明者の左手首を偶然掴み上げた

１１月１２日男性発見
重機と放水による連携活動中、頭部を発見

要救助者の身体が土砂や木の根っこ部分などの間に挟まれていたため、手掘りと重機を活用しながらの救出活動

牧野新和田で発生した土砂災害
～民間重機との連携について～

重機が１１月７日に捜索救助現場に到着してから６日間で被災宅の２名が発見された

人海戦術では限界な場所でも重機が入れば違った次元での活動が可能であること

民間事業者
「重機のオペレーターにも土木、解体、建築など様々な分野があり、重機が扱えるからといって、すべてに対応できるわけではないため、それぞれの現場に対応できるレベルの現場監督やオペレーターを選択していくことが安全性、効率性に繋がっていく。」

ご清聴ありがとうご
ざいました。

斜面災害発生時の緊急対応現場での留意点

応用地質株式会社　上野将司

１．はじめに

斜面崩壊は土砂や岩石が急速に落下するので発生してからでは逃げる余裕がなく被災事例が多い。また、斜面での土砂災害発生時に、被災者の救助活動や初動調査等にあたる人達が被災現場に立入り、二次的に発生する崩壊や落石により被災する事例がある。

筆者は北海道渡島半島西海岸の国道 229 号旧第 2 白糸トンネル坑口部において、1997 年 8 月 25 日に発生した岩盤崩壊現場で貴重な経験をした。崩壊規模は 20,000 m^3にも及び道路トンネル坑口を破壊埋没させたため、警察・消防の 40 名が急崖下で被災者の捜索救助活動をすることになった。しかし崩壊斜面には不安定な部分が残っており、光波測距などの監視が実施されたが十分な精度が無く目視主体の監視の下で救助活動が行われた。心もとない監視を続ける間に、時々落石のあることに着目して落石の位置と頻度を観測するうちに不安定斜面の崩壊時期が予測できるのではないかと考え作業を続けた。その結果、岩盤崩壊の 3 日後に落石の増加が顕著になったため、関係者全員に避難してもらった直後に 2 次崩壊の発生を目の当りにした。また、この現場では二次災害防止のための避難区域を崖高に等しい距離に設定していたが崩壊発生直前には崖高の 2 倍の距離まで退避してもらった。最終的に被災者は無かったが崩壊の前兆現象や二次災害防止についての理解を深めた経験になった。この経験が端緒となって二次災害防止に関する技術的検討を進めてきたので、その結果について紹介する。

２．二次災害の事例

二次災害のいくつかの事例について概要を示し、そこから得られる教訓について検討した。

事例１　高知県繁藤の斜面崩壊[1)]

前日昼から降り始めた豪雨により 1972 年 7 月 5 日午前 5 時頃に国鉄土讃線繁藤駅前の民家の裏山が小崩壊して民家に土砂が流れ込んだ。この土砂を除去するため数人の消防団員が作業していたところ、6 時 45 分頃に高さ 10m、幅 10m の小崩壊が発生して消防団員 1 名が生埋めになった。このため降り続く雨の中で多数の人が救出作業にあたっていたが連続雨量は 800mm を越え、10 時 55 分頃に高さ 80m、幅 140m、崩壊土砂量 10 万 m^3 の大崩壊が発生した。崩壊土砂は救助作業中の人や 10 軒の人家および停車中の列車を巻き込んで 150m 離れた谷の対岸まで達し、59 名が犠牲になり合計 60 名もの尊い命が奪われた。崩壊斜面の傾斜は 45°　地質は秩父帯の珪質岩・粘板岩・砂岩・凝灰岩が受け盤構造で分布するので不安定化しにくい斜面であるが、風化により緩んだ部分が崩壊したものである。

事例２　川崎市高津区の崖崩れで住宅埋没[2)]

前夜から続く豪雨により 1989 年 8 月 1 日午前 3 時 15 分頃、住宅裏の傾斜 40°　の斜面が小崩壊して住宅を押しつぶし住民 3 名が生埋めになった。この救助に駆け付けた消防署員 14 名があたったが約 1 時間後の 4 時 29 分頃に 2 度目の表層崩壊（崩壊土砂量 400m^3）が発生し、署員 3 名が死亡して住民と合わせて 6 名が犠牲になり、残りの署員 11 名が重軽傷を負った。地質的には新第三紀の

泥岩を薄く被覆する風化火山灰層が雨水の浸透で2度の表層崩壊に至ったものとされる。

事例３　上信越自動車道の法面崩壊

群馬県富岡市の上信越自動車道において、2001年9月の豪雨で高さ10mの切土法面の下部が小崩壊して土砂が高速道路本線に流出した。高速道路は通行規制中で利用者の事故は無く雨は止んでいた。この小崩壊による土砂流出の確認のため管理者5名が切土法面に近づいて点検中に、ひと回り大きな崩壊が発生して全員が流出してきた土砂に埋まり2名が死亡、3名が負傷した。地質は新第三紀の堆積岩および新期の火山灰で流動化しやすい性質であった。

事例４　北海道えりも町の岩盤崩壊[3)]

襟裳岬北方の海蝕崖下に位置する国道336号の宇遠別第一覆道において、2004年1月12日7:30頃に400m^{3}規模の小崩壊が発生した。このため国道を通行止めにして管理者が斜面下の監視小屋で監視に入ったが、1月13日22:25に大規模な崩壊が発生して管理者1名が死亡、官用車の運転手1名が負傷した。崩壊斜面の傾斜は65°崩壊規模は高さ100m、幅100m、崩壊土度量4万m^{3}である。地質は熱変成岩で、2方向の節理が発達しておりクサビ状崩壊を来したものである。

事例５　浜松市原田橋の岩盤崩壊[4)]

原田橋は国道473号の天竜川に架かる吊橋であり佐久間ダム下流に位置する。橋の老朽化で架けかえのための仮設工事中であった。橋の右岸は傾斜75°の急斜面に面しており、この斜面から2015年1月29日に吹付けモルタルの剥離、1月31日14:10頃には落石があったため国道を通行止めとした。管理者2名が現場確認に訪れ、斜面に近い吊橋上から視察していたところ、17:10頃に大規模な岩盤崩壊（8,000m^3）が発生して吊橋を直撃したため管理者2名が巻き込まれて河床に落下して死亡した。地質は花崗岩と砂質片麻岩が分布し、崩壊は両者の境界付近で発生したものである。

事例1、事例2の災害では生埋めになった被災者の救助に集中して二次的な崩壊を予測せずに対処したと思われ、また事例3、事例4、事例5の災害に対して管理者は注意して臨んでいたと思われるが、いずれも土砂災害の犠牲になってしまった。これらの事例から、留意すべき点として次の3点があげられる。

①崩壊土砂の到達距離

②崩壊の前兆から崩壊までの余裕時間

③小崩壊後の規模の大きな崩壊

３．二次災害防止に必要な知識

斜面災害発生直後の調査や被災者の救助のため、崩壊斜面への立入りや接近する場合に留意すべき点について検討した。

3.1 崩壊土砂の到達距離

斜面が崩壊した場合、その崩壊土砂の到達距離については全国的なデータを基にした図 1 に示す実態報告があり、最大で崖高の 2 倍の距離まで到達するが、大半は斜面の高さと同じ距離の範囲内に収まることがわかる。この実績をもとにして土砂災害防止法では斜面下の居住地に対して土砂災害警戒区域（イエローゾーン）を設定している。したがって、不安定斜面での住民等の警戒避難については斜面高さの２倍の距離の範囲を対象に考え、専門家が調査等で斜面に接近する場合に先ずは斜面高さの１倍の距離までと考えて全体把握に努めるべきである。その後に斜面の正面下方からではなく斜面上部や側部から崩壊斜面に接近して調査を進め、不安定な部分があれば簡易な測定で変位の測定が可能なようにする。以上の作業は短時間で行い、クラックの変位や小崩壊に注意する監視員を適切な場所に配置して救助活動や緊急調査に入るべきである。事例 2、事例 3、事例 5 は小崩壊の発生や不安定化した法面・斜面の正面から救助・調査に入ったため被災したもので、周囲から状況把握を行った上で作業を進めるような注意が望まれる。

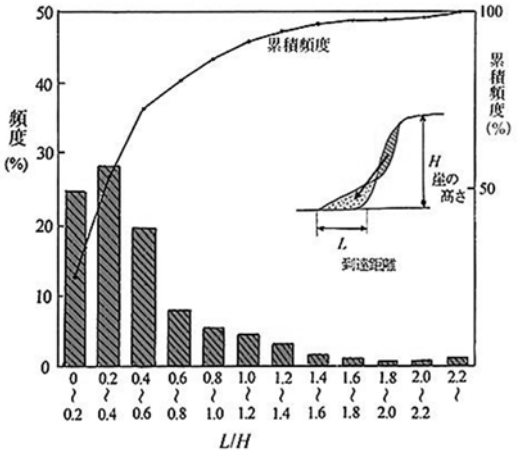


図１　崖高と崩壊土砂の到達距離の関係[5)]

3.2 崩壊の前兆から崩壊までの余裕時間

比較的緩い傾斜の斜面で発生する地すべりは、クラックや構造物の変状などの前兆現象が確認されれば伸縮計を設置してクラックの変位計測を行うことで崩壊時刻の予測が可能になる。急斜面の崩壊については不安定化を示す現象として、小崩壊・落石・斜面保護工の剥離・クラック等の発生があるが崩壊時刻の予測は困難とされている。筆者は、急斜面の崩壊から緩斜面（地すべり）の崩壊まで不安定化した斜面の崩壊の前兆現象について関心を持って取り組み、崩壊の兆候が認められた事例について収集整理してきた。今回は既往の発表資料[6)7)]に新たに 3 事例を追加して別表の一覧表に整理した。

着目したのは崩壊の前兆の確認時刻から崩壊発生時までの時間であり、この時間を余裕日数（時間）と定義した。別表に示す事例の余裕日数と崩壊斜面の傾斜との関係について図-1 に示す。既往の発表資料で指摘している点であるが、斜面傾斜が緩いほど前兆は早期に現われ、崩壊までの余裕日数が長いことがわかる。重要なことは傾斜 60° を越える急斜面での前兆現象の確認後の余裕日数は最長でも 5 日間程度であり、1 時間以内のこともある。急斜面において落石等の前兆と思われる現象を認めた場合、斜面から離れて監視するなり避難すべきである。急斜面から離れる距離は、前述のように最低でも急崖の高さと同程度、できれば 2 倍程度が望ましい。

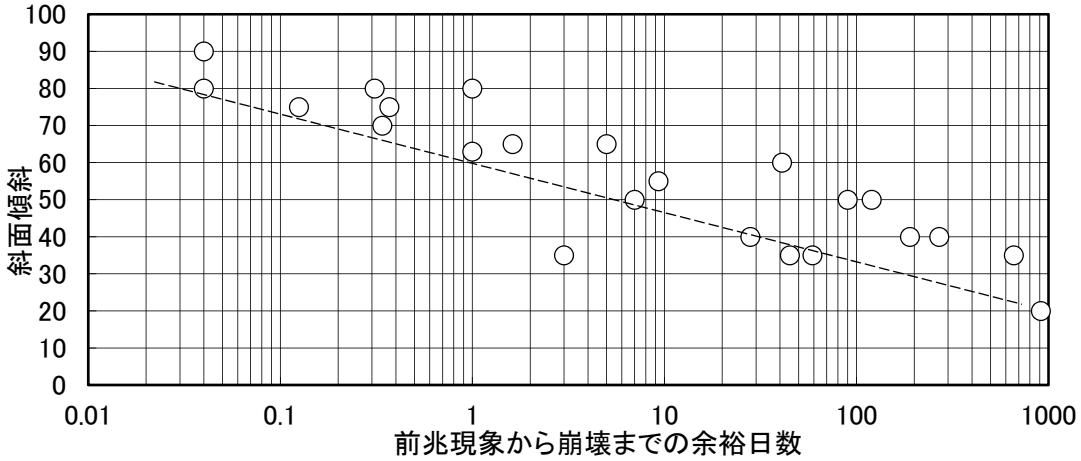


図２　前兆現象から崩壊までの余裕日数と斜面傾斜の関係

事例 4、事例 5 のように急斜面において落石や小崩壊を認めた場合は崩壊が迫っていると考え、対象斜面に正面から近づくことは避けて調査位置を不安定斜面の側部にするなどの配慮が必要である。ただし、崩壊の前兆現象は必ず確認できるとは限らない（気付かない）ことにも留意する必要がある。

3.3 小崩壊後の規模の大きな崩壊

事例 1～5 のいずれも落石や小崩壊の後に発生した崩壊によって 2 次災害となったものであり、崩壊範囲の拡大についての注意が必要である。地すべりなど不安定化した斜面の両側面は、安定斜面と切り離されてクラック（せん断面）が発生するため地下水の通り道になって湧水が認められ、沢や雨裂が形成されることもある。このような不安定斜面の地下水賦存状況については模式図（図 3 左）に示すように、滑落崖付近の頂部引張り領域と側面のせん断領域（図のハッチ部分）があげられる。降雨はこの部分に浸透してわずかな水量でも大きな間隙水圧を斜面に作用させるものと考えられる。

不安定斜面の側面の末端付近は地下水が集中しやすいため、小ブロックのすべり移動や急速な崩壊が発生することがある。このため、不安定斜面では両側の不安定化しやすい小ブロックに注意し、反対に小 block の顕著な不安定化や崩壊を認めた場合には、背後の大きな不安定ブロックの存在を疑って広い範囲を点検・調査すべきである。図 3 右の図は、ある地すべり性崩壊が発生した直後の地形図である。崩壊とともに崩土が流出して大災害になったが、崩壊後の滑落崖の背後斜面にはクラックが発生して更に大きな規模の斜面が不安定化したものである。

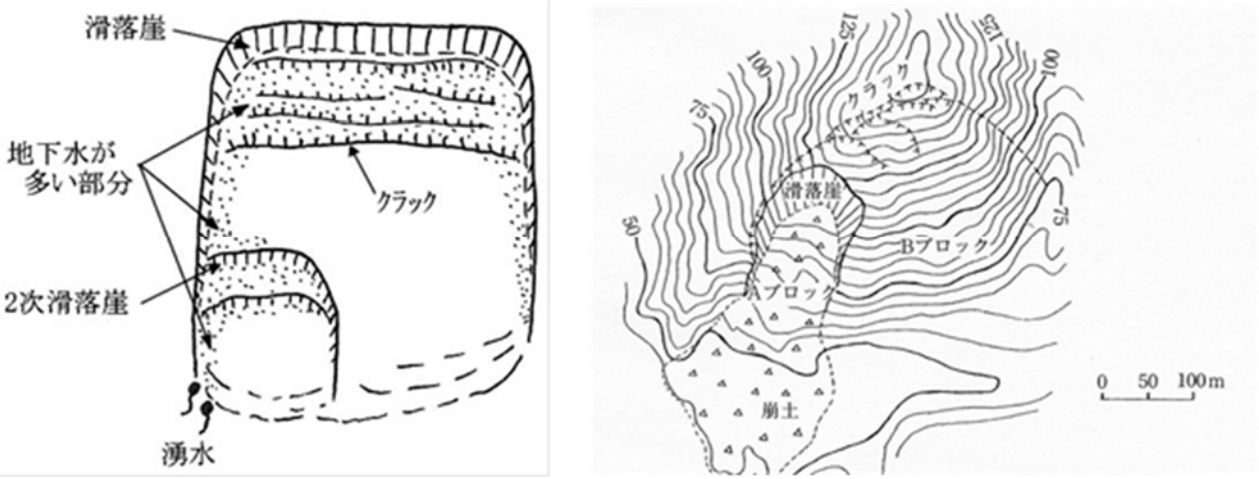


図３　不安定斜面の地下水賦存状況の模式図（左図）と斜面崩壊例（右図）

４．まとめ

斜面の不安定化の前兆と考えられる落石や小崩壊等の発生に際して、救助・調査・監視等の作業を行う場合、いきなり斜面内への侵入や接近することは危険である。下記の点を考慮しつつ現場状況を広く観察の上で対処すべきである。また崩壊の前兆は必ず確認できるとは限らない（気付かない）ことにも留意する必要がある。

① 崩壊土砂の到達距離は､90%が崖高と同じ距離まで到達し､最大で崖高の２倍程度まで到達する。避難や監視をする場合は対象斜面の正面ではなく側方にすべきである。

② 傾斜 60°以上の急斜面では、落石や小崩壊等の兆候が認められた場合、崩壊までの余裕時間は１日以内と考えて対処すべきである。

③ 地すべり地や不安定化した斜面では、末端側部が急速な変位を生じる場合や急速に崩壊することがある。逆の立場に立つと，顕著な移動部分に監視や調査の注意が向いていると、背後の大きな動きに気が付かないことがあるのでこの点についても考えて対処すべきである。

別表　崩壊予兆事例の諸元（１）

No	名称 位置	年月日 （時刻）	崩壊 土量 （千㎥）	崩壊 箇所 勾配	地質名	前兆		引用 文献 No.
						現象	余裕 時間	
1	眉山 長崎県島原市	1792.5.2	216,000	35°	石英安山岩	同年４月頃、大きな地震があり、島原城下の井戸の水位が上昇したり、あるいは逆に枯れたり、温湯がでたりした。	1.5　ヶ月	(1) (2)
2	高磯山 徳島県上那賀	1892.7.25	4,000	35°	四万十帯 頁岩	崩壊の３日前から付近の泉が白濁した。	３日	(3)
3	土線線岩原・豊水間 高知県大豊町	1962.2.20.	60.0	50°	三波川帯 結晶片岩	同年.2.13 に脚部で 600 ㎥の崩壊。 2.17 に脚部で 200 ㎥の崩壊。	７日	(4)
4	東北線浅虫 青森県青森市	1966.7.27	100.0	40°	流紋岩質 凝灰岩	6.29 台風による 73mm の降雨があり、山腹斜面に数条の細い亀裂が見られた。末端部の張りコンクリート上部二箇所に小崩壊（約 80 ㎥）が生じた。 7.4 にのり面で約 30 ㎥の小崩壊。これ以降、各所に亀裂が発達。	28 日	(5) (6)

5	飯山線高場山 新潟県小千谷市	1970.1.22	130.0	40°	第三紀 頁岩砂岩	1969.4 の融雪期に、例年に比べ変状が増大。 1969.8 の記録的な大雨で、トンネル坑門の変状増加、坑門上のクラックの開きは 1 日 17mm も増加する。	9ヶ月	(4) (5) (7)
6	安居山 福井県福井市	1972.12.2	100.0	35°	新第三紀 凝灰質砂岩・凝灰岩	10.4、安居山山腹に延長 150m、幅 30cm の馬蹄形の亀裂の発生を地元民が発見。	59 日	(5) (8)
7	高徳線白鳥・引田間 香川県引田町	1974.7.7	25.0	35°	和泉層群 砂岩頁岩	1972.9 の台風 20 号の際に擁壁上方の斜面に幅 50cm,延長 60m の亀裂が発生。	22ヶ月	(5) (9)
8	真名川原石山② 福井県大野市	1975.8.23	94.0	50°	手取層群砂岩礫岩頁岩	2.18 崩落後、4 月の現地踏査で、2 月崩落を囲むように幅 200m、段差 2.0～0.3m の直線状の亀裂を確認。	4ヶ月	(10)
9	一宮町 兵庫県一宮町	1976.9.13	600.0	20°	古第三紀～古生代の火成岩など	2～3 年前に地すべり末端部の水田が 10～15cm 沈下。 6ヶ月～1 年前から池の水が減少。 2～3 日位前から沢水が減少、前日は地すべり脚部の小川の水が黄色っぽく濁り、白い砂が大量に流れる。	2.5 年	(11)
10	国道 33 号柳谷 愛媛県柳谷村	1979.7.20	4.0	50°	秩父帯 砂岩粘板岩	崩壊の約 3ヶ月前の 4 月に松山側斜面上部の 30° 程度とやや緩やかな斜面でクラックを発見。	90 日	(5) (9) (12)
11	国道 305 号越前岬 福井県越前町	1989.7.16 (15:25)	1.5	90°	新第三紀 礫岩砂岩凝灰岩	崩壊当日の 14:25 頃、最初の落石を聞いた。その後一時間ほどの間に 7～8 回の落石があった。	1 時間	(13)
12	国道 327 号小八重 宮崎県西郷村	1990.5.31	56.0	60°	四万十帯 粘板岩	4 月 20 日に、数条の亀裂が法面のモルタル吹付けに発生。 崩落前には、頻繁に落石や小崩壊があった。	41 日	(14) (15)

別表　崩壊予兆事例の諸元（２）

No	名称 位置	年月日 (時刻)	崩壊 土量 (千㎥)	崩壊 箇所 勾配	地質名	前兆		引用 文献 No.
						現象	余裕 時間	
15	国道 229 号第 2 白糸 北海道島牧村	1997.8.28	3.8	80°	安山岩質 水冷破砕岩	8.26 朝 6:00 頃から落石あり観測開始、崩壊 1 時間 20 分前から落石の頻度が急激に増加。	2 日 7 時間～1 時間 20 分	(18) (19)
16	横浜市南区中村町 （マンション切土法面）	1999.2.17 (21:50)	0.6	75°	更新統 上総層群 砂層シルト層	17 日朝(9 時？)モルタル表面が膨らみ、幅 10 ㎝程度の亀裂が入り土のこぼれを確認。	9 時間	(20)
17	県道山口徳山線鳴滝 山口県鳴滝	1999.8.27	3.3	80°	粗粒雲母 花崗岩	6 日前に小崩壊。 前日に、岩盤の「きしむ音」を聞いて測量作業を取りやめた。	6 日	(21)
18	国道 336 号えりも 北海道えりも町庶野	2004.1.13 (22:25)	40.0	65°	ホルンフェルス	1 月 12 日 7:30 に約 400m³ の崩壊を確認。	39 時間	(22)

19	国道 169 号奈良県五條市大塔区宇井	2004/8/10、(0:15)	200.0	40°	四万十帯砂泥互層	1 月頃、道路沿いの擁壁等の変状発生	190 日	(23)
20	国道 169 号奈良県上北山村西原	2007/1/30、(7:40)	1.1	55°	四万十帯砂岩泥岩（混在岩）	第 1 回崩壊 1 月 18 日 20:50、100m^3 第 2 回崩壊 1 月 21 日 0:00、80m^3	9 日 7:40～11 日 11::50	(24)
21	国道 140 号大久保秩父市大滝	2014.7.20（19:30）	0.3	70°	石灰岩	7 月 20 日 11:15 に路線バス運転手が国道の落石を確認し通報。	8 時間 15 分	(25)
22	国道 473 号原田橋浜松市天竜区	2015.1.31（17:10）	8.0	75°	花崗岩砂質片麻岩	2 日前に吹付けモルタルの剥落発生。3 時間前に落石あり。	2 日～3 時間	(26)
23	逗子市池子（マンション切土法面）	2020. 2.5（8:00）	0.05	63°	新第三紀池子層凝灰質泥岩	崩壊前日に法肩付近で長さ4m幅1cmの開口クラックを確認	1 日	(27)

別表の引用文献

(1) 高橋博・大八木規夫・大滝俊夫・安江朝光(1986) ：斜面災害の予知と防災、白亜書房、pp.1-10.

(2) 高橋龍城(1987) ：眉山の崩壊、新砂防、Vol.40、No.2

(3) 羽田野誠一(1974) ：崩壊性地形（その 1)、土と基礎、Vol.22、No.9.

(4) 山田剛二・渡正亮・小橋澄治(1971) ：斜面崩壊の実体と対策、山海堂、pp.310-325.

(5) 斉藤迪孝(1992) ：実証土質工学、技報堂出版、pp.160-170.

(6) 山田剛二(1967) ：浅虫地すべりについて、応用地質、Vol.8、No.2、pp.77-87.

(7) 山田剛二・小橋澄治・草野国重(1971) ：高場山トンネルの地すべりによる崩壊、地すべり、Vol.8、No.1、pp.11-24.

(8) 渡正亮(1973) ：安居山の地すべり運動、施工技術、Vol.6、No.7、pp.109-112.

(9) 建設省四国地方整備局(1993) ：四国の道路防災について考える

(10) 渡正亮・竹林征三・松田六男(1977) ：真名川ダムの原石山切取法面崩壊の特性、地すべり、Vol.13、No.4、pp.1-10.

(11) 島通保(1987) ：兵庫県一宮の地すべり、二次災害の予知と対策 No.2

(12) 堀伸三郎・成田賢・関信雄(1986) ：一般国道 33 号柳谷地区斜面崩壊の予測、地質学論集第 28 号、pp.259-272.

(13) 平野昌繁・諏訪浩・藤田崇・奥西一夫・石井孝行(1990) ：1989 年越前海岸落石災害における岩盤崩落過程の考察、京都大学防災研究所年報第 33 号 B-1

(14) 笹原克夫・中村良光(1993) ：ビデオ画像を利用した岩盤崩壊の運動解析、土木技術資料 35-6

(15) Suwa, H.(1991)：Observed Failure of Rock Slope in Japan, Landslide News, No.5

(16) 渡辺正幸・中村良光・笹原克夫(1992) ：国道 158 号猿なぎ洞門の岩盤崩壊について、土木技術資料、34-5

(17) 豊浜トンネル崩落事故調査委員会(1996) ：豊浜トンネル崩落事故調査報告書

(18) 山岸宏光･志村一夫(1997) :1997 年 8 月北海道島牧村第二白糸トンネルを破壊した新第三紀ハイアロクラスタイトの岩盤崩落、地質学雑誌、Vol.103、No.10

(19) 三浦均也・西村右敏(1997) ：国道 229 号第 2 白糸トンネルにおける岩盤崩落、土と基礎、Vol.45、No.11

(20) 千葉達朗・屋木健司（1999)：1999 年 2 月横浜市南区の急傾斜地崩壊、日本地質学会ニュース、２，(3)、pp. 4～5.

(21) 山口県鳴滝地区岩盤崩壊地点における変位と AE 測定による不安定岩塊の挙動監視(2002)：土木学会論文集、No.722/Ⅲ-61、pp.345-355.

(22) 一般国道 336 号えりも町斜面崩壊調査委員会（2004)：一般国道 336 号えりも町斜面崩壊調査報告書.

(23) 産経新聞（2004)：地すべり発生的確予測、2004.8.13.

(24) 千木良雅弘ほか（2007)：奈良県国道 169 号法面崩壊地質調査、日本地質学会 News,10,(4),pp.10～11.

(25) 朝日新聞埼玉版（2014)：バス運転手土砂崩れ察知、2014.8.29. 朝刊.

(26) 日経コンストラクション（2015）：浜松で橋が崩落市職員 2 人死亡、2015.2.23、pp.20～21.
(27) 毎日新聞（2020）：斜面崩落前日に亀裂、2020.10.31. 朝刊

本文の参考文献

1) 室町忠彦・森野亮宏・上沢弘・飯島哲之助・桜井孝・今井篤雄（1976）：国鉄沿線における斜面災害の実態(1)、鉄道技術研究報告、No.1012、pp.3～7.
2) 神奈川県土木部砂防課（1990）：川崎市高津区蟹ヶ谷のがけ崩れ災害、河川、No.525,pp.58～61.
3) 一般国道 336 号えりも町斜面崩壊調査委員会（2004）：一般国道 336 号えりも町斜面崩壊調査報告書
4) 日経コンストラクション（2015）：浜松で橋が崩落市職員 2 人死亡、2015.2.23、pp.20～21.
5) 国立研究開発法人防災科学技術研究所 HP：防災基礎講座基礎知識編、斜面崩壊・地すべり https://dil.bosai.go.jp/workshop/01kouza_kiso/15houkai.html （2021 年 9 月 29 日確認）
6) 小寺忠広・上野将司・安藤伸(2005)：斜面崩壊の前兆現象に関する検討，第 44 回地すべり学会研究発表会講演集，pp.517-520.
7) 上野将司・谷川正志（2016）：斜面崩壊の前兆から崩壊までの残り時間の検討、日本地すべり学会、第 55 回研究発表会講演集.

土砂崩壊による労働災害と防止技術の開発

独立行政法人労働者健康安全機構　労働安全衛生総合研究所　玉手　聡

1.　はじめに

斜面や溝を掘削する工事では土砂の生き埋めとなる労災事故が後を絶たない。また、地震や豪雨による大きな自然災害が毎年のように発生しているがその救出活動や復旧作業でも痛ましい労働災害が発生している。いわゆる 2 次災害である。本稿では災害復旧を含む地盤工事での土砂崩壊による労働災害について、その防止対策に関する研究を紹介する。

2.　災害の発生状況と安全基準

労働安全衛生規則 (以下,「規則」という)第 356 条と第 357 条では手堀り掘削時の地山の高さと勾配の関係について**表 1** のように定めている [1)]。一般の工事では「その他の地山」として計画される場合が多く，深さ 2m が垂直掘削の上限とされている。加えて，規則第 361 条では同時に「地山の崩壊等による危険の防止」として，崩壊のおそれがある場合の防止措置を義務付けており [1)]、この場合は深さに関係なく土止め支保工等の対策を講じなければならない。

また、2003(平成 15)年 12 月 17 日に「土止め先行工法に関するガイドライン」[2),3)] (厚生労働省基発第 1217001 号)が策定され、小規模な溝掘削における対策が強化された。ここでは土止め先行工法が推奨され、作業者は土止め支保工の設置後に溝内に入るよう指示された。同時にその対象深さは「概ね 1.5m 以上 4m 以下」と定義され，規則に示された 2m よりも浅い 1.5m の溝工事から土止め支保工は設置するよう改善された。先に述べたとおり、1.5m 未満の工事についても「崩壊のおそれ」がある場合は土止め支保工を設置しなければならないが、実際には設置無しで行われることも多くなったようである。

厚生労働省「職場のあんぜんサイト」に公開されている災害データから「災害状況」に溝の深さの記録があったもののみについて整理し、その割合を**表 2** に示す。ここで死亡災害の 15%は 1.5m 未満の浅い掘削作業中に発生しており、さらに死傷災害では 39%と多くを占める。このように、たとえ浅い溝内であっても土砂の生き埋め事故では重篤な被害を発生させており掘削作業では十分注意しなければならないことがわかる。

表1　地山の種類と掘削面の高さと勾配の関係[1)]

地山の種類	掘削面の高さ	掘削面の勾配
岩盤または堅い粘土からなる地山	5 m 未満	90 度
	5 m 以上	75 度
その他の地山	2 m 未満	90 度
	2 m 以上 5 m 未満	75 度
	5 m 以上	60 度
砂からなる地山	5 m 未満または 35 度以下	
崩壊しやすい状態になっている地山	2 m 未満または 45 度以下	

表２　崩壊した溝の深さと労働災害の発生割合

	死亡災害注1)	死傷災害注2)
1.5m 未満	15 %	39 %
1.5m 以上 2.0m 未満	21 %	25 %
2.0m 以上 5.0m 未満	63 %	33 %
5.0m 以上	1 %	3 %

注 1)　2004 年から 2017 年までの間に発生した死亡災害 88 件のうち記録のあった 68 件について
注 2)　2006 年から 2016 年までの間に発生した死傷災害 153 件のうち記録のあった 61 件について

図１　工事中に発生した土砂崩壊による生き埋め事故の例

3　崩壊の危険な兆候を「見える化」する研究

3.1　災害事例の考察

図 1 は復旧工事中に発生した土砂生き埋め事故の例を示す。この事故は、地震で崩壊した斜面を補強する復旧工事中に発生した 2 次災害であった。この図の右奥側で発生した土砂崩壊によって、その下側で作業していた労働者 2 名が生き埋めとなった。この事例から当時の工事の様子を知ることができる。

本工事の最終目的は斜面前面に「カゴ枠」という構造物を設置して斜面の安定化を図ることであった。しかしながら、その工事中に斜面が崩壊する重大事故が発生した。

カゴ枠を設置するためにはまず、その箇所を整える必要がある。具体的には、斜面下側の部分(法先)を垂直に近い角度で切土掘削し、底面を平らにならす作業である。言うまでも無く斜面は勾配と高さが大きくなるほど崩壊しやすくなるためその限界を超えないよう注意しなければならない。図の手前側には設置が完了したカゴ枠を見ることができる。おそらく、この成功を踏まえて同じ高さと勾配の要領で奥側へと作業を進めたものと思われるが、この奥側で事故は発生した。この事例は以下のようなことを示唆していると考えられる。

1)　たとええ小さな現場内であっても手前側と奥側のように場所が離れると土の強さは異なること。土は自然に堆積した材料であるためコンクリートや金属などのような人工材料と比べて強さにバラツキが多い。また、一見しただけではその強さがわからないという問題もある。
2)　土は(斜面は)安定しているように見えても時間が経って崩れることがあること。これは土の塑性的な性質によるものと見られクリープ的な破壊を呈することが知られている。この一時的な安定が人の判断を誤らせる問題がある。
3)　作業者が被災に至った間接的な原因には逃げ遅れもあったこと。崩壊の兆候に気付くのが遅

れたために労働災害に至ったとも言える。すなわち、土の危険は見逃される可能性がある。

4) 掘削中の斜面崩壊を防止する適当な仮設補強の工法が未だないこと。平坦な地盤を溝状に掘削する工事では、左右の壁の間に切梁を設置する(土止め支保工)ことで反力を得られるが、斜面では崩壊に抵抗する反力の確保が容易でない。斜面の補強技術には種々あるものの工事中の仮設構造物として簡易なものは未だ無いのが現状のようである。

以上のように、土という材料には危険判別の難しさや仮設による崩壊防止の難しさの問題がある。そのような状況にあっても労働災害(人的被害)は防止されなければならない。ここではその一手段として斜面崩壊の兆候を早期に捉えて現場内に知らせるために開発した簡易な計測システムを紹介する[4)]。

3.2 土砂崩壊の簡易危険検出システム

本研究では、斜面の浅い部分のせん断ひずみを計測する「表層ひずみ棒センサー」を考案した[5)]。このセンサーは**図 2** に示すような短い棒の下端にスクリューを備えたものであり、簡単に設置して利用することを目的に開発した。本稿では Mini Pipe Strain meter を略して MPS と呼ぶ。MPS は回転させながら斜面に貫入設置するセンサーであり、この棒の曲げ変形によってせん断ひずみの増加を捉える。MPS は全長 0.6m、最小直径(パイプ)10mm、最大直径(受圧体)50mm、重量約 3.5N の小型なセンサーであり、先端には長さ 80mm の貫入スクリューを有する。**図 3** は斜面の内部で増加するせん断ひずみと変位の分布イメージを示すが、MPS 自体は長さが短いためすべり面までは届かない。しかしながら、点線で示した変位イメージのように表層でもせん断ひずみは僅かに生じると考え、その計測について検討を重ねた。そして、MPS を土と強く密着させることでこの僅かな変化を棒の曲げ変形で捉えられることがわかった。

図 2 に示す「土砂崩壊の簡易危険検出システム」は MPS と警報器及び受信機から構成する。この警報器にはデータ収録と解析さらに警報を送信する機能が備わる。データは 0.1Hz で自動収録され、10 秒ごとに式(1)に示す換算せん断ひずみθと経過時間 t_e の関係を逐次計算させる。

$$\theta = A \cdot t_e + B \tag{1}$$

ここで，A と B は回帰計算から求まる係数であり、A はせん断ひずみθの増加速度を意味する。

図 4 に示すように A は 6 組のデータセットから求まりその値が閾値を超えると、第 1 警報(D1)として黄色ランプが点灯する。したがって、D1 は微小なひずみ速度の検出を意味するものである。次に、式(1)を用いて「現在」から 10 秒ごと 20 秒後の予測値を計算させ、その値を一旦メモリーに格納する。そして実際に両時刻となった時に実測値と予測値の差を計算させ、その値がともに閾値を上回った場合は第 2 警報(D2)として赤色ランプが点灯させ同時にブザーが鳴る。したがって、このシステムはひずみ速度の発生を表示する装置とも言え、D2 はそれまでの傾向とは異なる変化の発生を知らせるものである。D1 と D2 の両警報は同時に受信器に送信され現場内で共有される。受信器 1 台で最大 5 セットまでモニター可能であり，MPS 番号と警報種別が表示される。

当研究所の web ページにおいて過去に行った実験の様子を公開[6)]している。この実験では崩壊 24 分前からひずみ速度の増加が検知され、崩壊約 20 秒前に D2 警報を発した[7)]。このような掘削終了から崩壊までのタイムラグは作業者に安定の判断を誤らせるものであることも確かめられた。また、目視では変位や亀裂を崩壊直前まで発見できないことも明らかとなった。一方、MPS は崩壊前に警報を発しておりこの時間は作業者の避難を可能にする。したがって、土砂の直撃による人的被害は軽減できる可能性が高いと考えられる。

図２　表層ひずみ棒(MPS)センサーによる「土砂崩壊の簡易危険検出システム」の外観

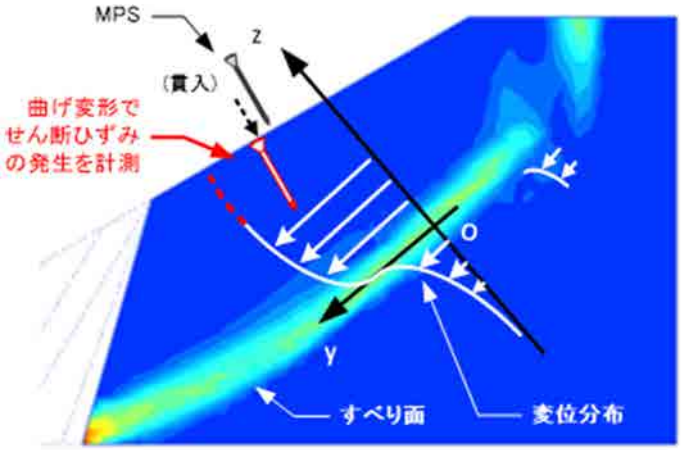


図３　MPS の設置と斜面内部のせん断ひずみと変位の分布イメージ

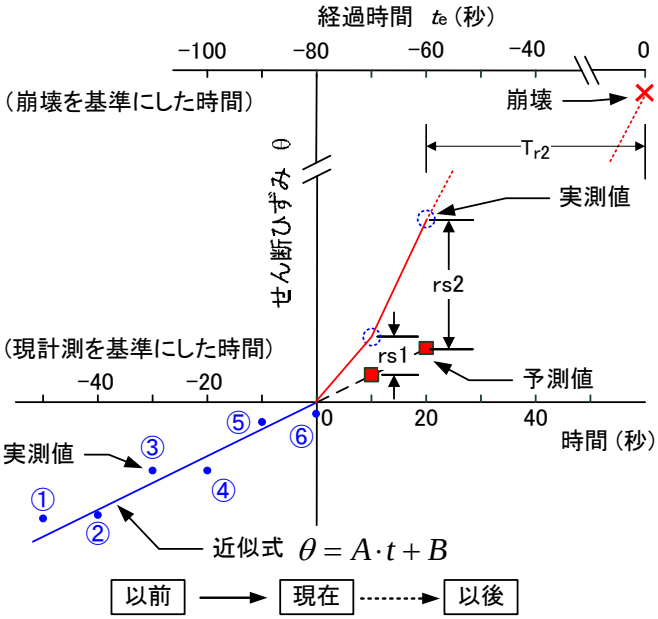
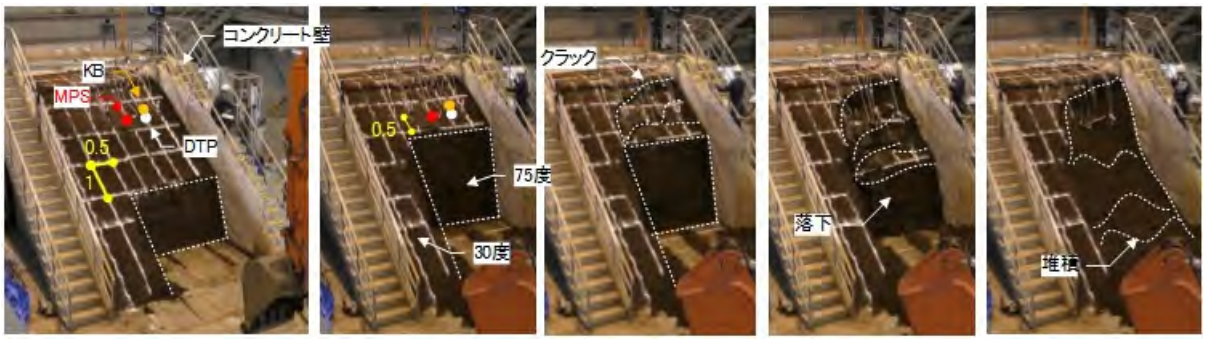


図４　ひずみ速度による簡易な危険の判別方法



1) 第2掘削後(高さ1.5m) 2) 第4掘削後(高さ2.5m) 3)崩壊開始(掘削から10分後) 4)直後に崩土落下 5) 堆積した崩土

図5　模型斜面に設置したセンサー(MPS，DTP，KB)の位置と崩壊の様子

3.3　崩壊予兆の計測比較

図5は所内で行った実大規模の斜面崩壊実験から異なるセンサーによる反応の比較を示す[8]。MPS，変位計(DTP)，傾斜計(KB)の3種類のセンサーがほぼ同一の斜面高さで隣り合う位置に設置されている。具体的には，KB は斜面に貫入設置したプラスチック杭の頭部に設置し，ワイヤー式変位計である DTP はセンサー本体を不動点側に置きそこから伸ばしたワイヤーを可動点側の先の杭頭に取付けた。この時ワイヤーの向きは斜面とほぼ平行とした。最終の第4掘削の終了時では掘削面の肩からセンサーまでの離隔が約0.5m であった。各センサーの出力は MPS が換算せん断ひずみθ，DTP は変位 d，そして，KB は傾斜角 i として整理し，その値はθが斜面下側に凸の曲げ変形を，d は斜面下方向への伸張を，i は斜面下側への傾斜を正とした。

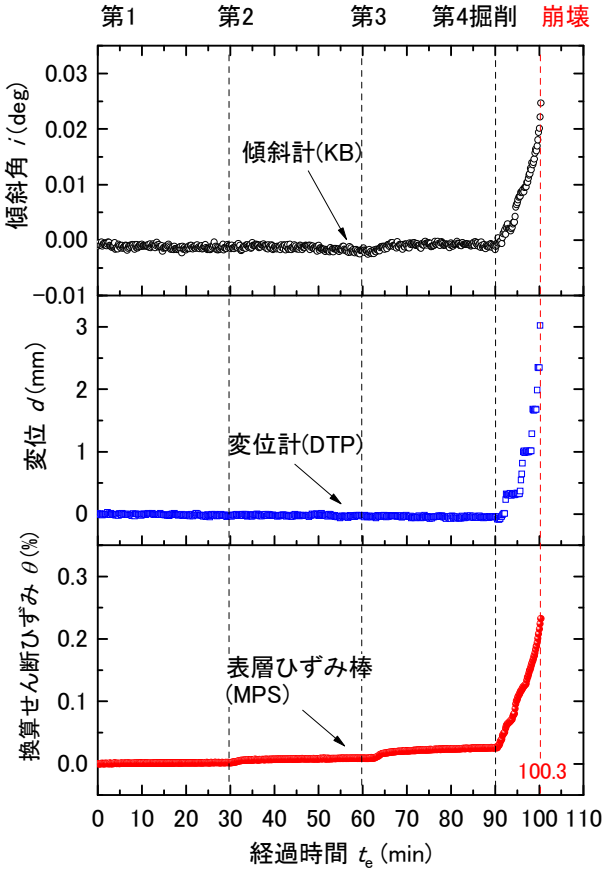


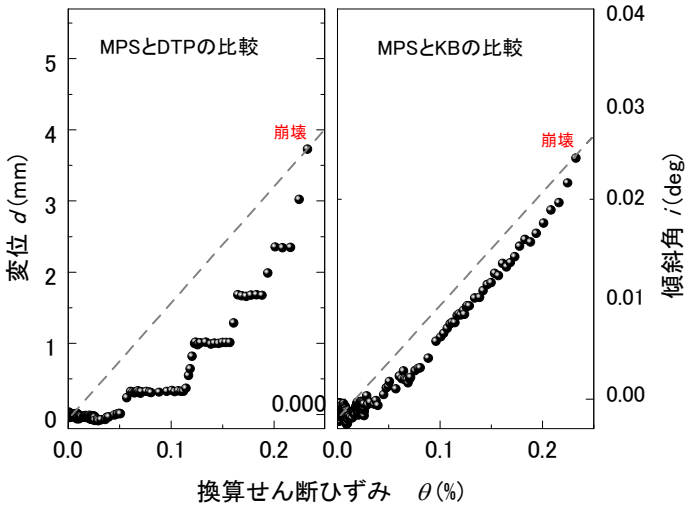
図6　3種類のセンサーによる崩壊前の反応比較

3.4　計測値の反応比較

図6は経過時間 t_e に対する各センサーの反応を示す。3つのセンサーに共通して t_e が90分付近から値に増加が現れており，100.3分で崩壊に至るまでの間一致した傾向を示す。なお，曲線は崩壊開始時までを編集したものであり崩土落下時のデータは含まない。崩壊前の斜面に生じた変化を各センサーは捉えており，その変化は掘削終了(t_e=90分)から崩壊(100.3分)までの10.3分間に顕著な増加を示している。言い換えると掘削終了から崩壊までには10.3分の時間差が存在した。当時は目視による観察も行ったがその変化は判別できないほどの小さなものであった。したがって，計測技術を利用すれば崩壊前の微小な変化が捉えられ，目視よりも早期に危険を察知できることが確かめられた。反応を詳細に見ると，i では t_e が60分付近で一旦増加しその後収束している。さらに，θでは t_e が30分と60分の両掘削時に敏感に反応している。一方，d については $0< t_e <90$ において明確な反応示さずほぼ

一定で推移している。

図 7 はθの増加に対する d と i の反応の比較を示す。$0<\theta<0.05$ において d の増加は停滞している。これは先の**図 6** で $0< t_e <90$ の時に d には反応が見られなかったことと一致する。また，d はθに対して段階的な増加を示す。これは本実験に用いたワイヤータイプの変位計の特徴と見られ，長さ 2m 程に伸張させて張ったワイヤーには重力によるたるみや摩擦が生じたためと思われる。可動点の変位に際してワイヤーの張力にも増減が生じ，それによってたるみも増減した。この増減が d を階段状に増加させた一因と考えられる。一方，i は $0<\theta<0.02$ で僅かに停滞が見られるものの d ほど明確でなくθに対してほぼ直線的な関係を示した。なお，前回加速度計(容量 2G)から換算して求めた i では予兆を全く判別できなかった [9]が今回高精度なタイプを用いることである程度計測できることがわかった。次に,d とθの間には曲線的な関係が現れており，特に$\theta<0.15$ では d の増加率がそれ以降に比べて小さい。これは DTP が崩壊前の微小な変化に対して反応が鈍いことを示唆するものと思われる。



1) 変位とせん断ひずみの関係　　2) 傾斜とせん断ひずみの関係

図 7　換算せん断ひずみに対する変位と傾斜角の反応

図 8　溝掘削における土止支保工(矢板工法)

4　生存空間確保のための研究

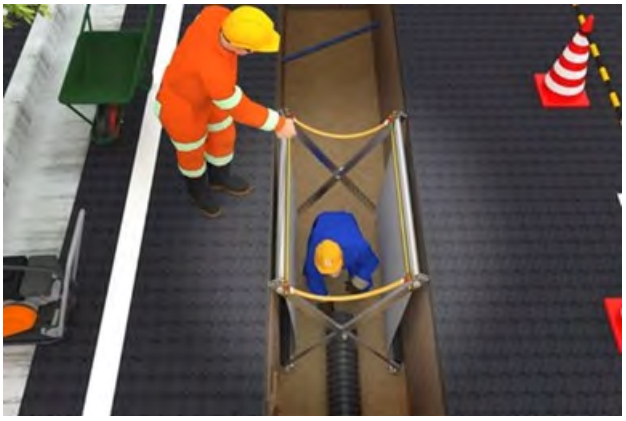
4.1　土止め支保工に代わる簡易な保護手段

近年、既設の古い埋設管の更新工事が増加している。下水道は管径が大きく埋設位置も深いことから基本的に**図 8** のような土止め支保工 [3]の設置は必須となる。一方、上水道やガスの工事では掘削深さが 1m から 1.5m と浅いため、発注の際に土止め無しとなることも多い。したがって、今後の土砂崩壊による労災事故の防止では深さ 1.5m 未満の浅い掘削工事が安全上のターゲットと見られ、災害復旧工事を含めた人的被害軽減のための新たな施工技術の研究 [10]を行っている。

この研究では小規模な溝工事で頻発する労働災害に焦点をあて、現場で利用しやすい仮設機材を検討している。特にこの検討では構造が極力簡易なものを追求している。**図 9** a)は実験用に試作した機材(以下、「土砂遮断装置」[11]と呼ぶ)を示し、**図 9** b)にこれを用いた作業イメージを示す。

土砂遮断装置はアルミパイプ 4 本を四隅で垂直に結合した矩形状のフレームによって構成するものである。このフレームは外枠(幅 1.5m)と内枠(幅 1.4m)の 2 つからなり、両枠は長さ 1.5m の斜材の部分で交差する。左右の斜材には高さ 0.7m の位置に自在クランプを配置し、2 組の矩形フレームはここで回転可能に結合されている。交差させたフレームにおいて同一面側となる上下の梁材間には高強度なシート材が帆を張るように取り付けられている。このシート材が崩土からの荷重を受け止める。

a)　実験用に試作した土砂遮断装置



b)　土砂遮断装置内での作業イメージ

図 9　浅い溝掘削における被災防止のための保護手段「土砂遮断装置」

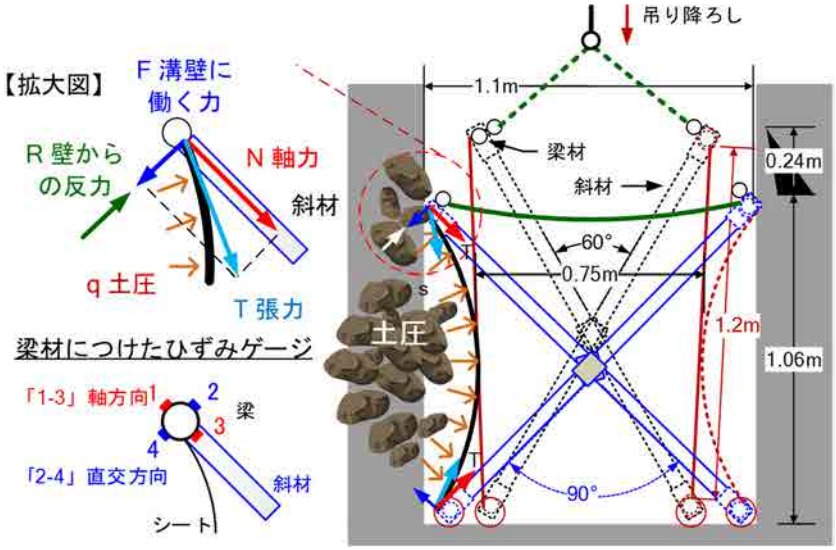


図 10　溝内に吊り降ろして開口する機序と崩壊土砂の作用

4.2　構造のユニット化

土砂遮断装置は構造をユニット化することによって溝内での組立が不要なものとした。したがって、溝の外から設置が可能なものである。具体的には、交差フレームの交点を中点よりも下側に偏心させた位置としたことで、上側が下側よりも重いアンバランスな状態を有している。そのため、土砂遮断装置等は**図 10** のように溝内に吊り降ろすだけで、自重による回転モーメントによって上部が開口する。すなわち、フレームが半自動的に張り出して設置は終了する。作業者はその後に溝内に入るようになることから被災の危険が無い。したがって、土砂遮断装置は「土止め

先行工法」の考え方[3)]に準じたものとなっている。

4.3　被災防止の検討

土止め支保工(図 8)は土圧に対して十分な強度を備える「崩壊防止」のための構造物であるが、その設置には労力を要する問題があった。小規模工事における効率性の問題を解決するために、土砂遮断装置では機能を「崩壊防止」から「被災防止」に見直した。具体的には、「たとえ崩壊しても人に被害を与えないための保護手段」とすることを目的とした[12)]。そこで要求性能は溝壁の水平変位をゼロに抑えるものではなく生存空間が確保されれば多少の「変位は許容」することとし、構造は極力軽量かつ簡易なものを追求した。

深さ 1.5m 未満の溝は土の粘着力によって自立するケースが多い。しかし、ここに危険が潜んでいた。自立する壁を「崩壊のおそれ無し」と見誤り、溝に入って事故は発生している。土には時間が経ってから崩壊する場合があり、たとえ小規模な工事でも安全対策を講じる必要がある。

4.4　設計外力の最適化

事故に見られるタイムラグを伴ったクリープ的な崩壊は、見方を変えれば壁は直前まで自立していたと言える。すなわち「崩壊しようとする力」と「抵抗する力」の差は僅かであったとも考えられ、それならば崩土を保持するための支持力もさほど必要としない可能性がある。土砂遮断装置に働く設計外力を最適化すれば、その構造を従来の土止め支保工に比べて簡易なものにできると考えた。

図 10 は抵抗機序の概念を示す。崩土からの土圧 q がシート材に作用すると張力 T が発生する。T は端点で軸力 N とそれに直交する力 F に分解され、F は溝の壁の反力 R とつり合う。したがって、理論的には斜材に曲げモーメントは作用せず軸力 N のみが卓越することになる。フレームにおける端点と交点間の長さは 0.8m 以下と短いため断面を適宜設計することで座屈は防止される。

図 11 は過去に行った 6 ケースの実大溝崩壊実験から求めた各部材の強度に関する安全率を示す[13)]。斜材と梁材の安全率 $F_{s(CF)}$ と $F_{s(BM)}$ の値は部材の曲げモーメントの最大抵抗強さを実測値で除した値であり、受圧シートの安全率 $F_{s(VS)}$ は最大引張強さを実測値で除した値である。$F_{s(CF)}$ は 2.5 から 11.9 に、$F_{s(BM)}$ は 2.9 から 6.1 と広範囲に分布するがいずれも仮設構造物の設計の目安とされる安全率 2 よりも大きい。また、$F_{s(VS)}$ は 19 から 42 とさらに大きな値を示すがこの値は引張り力が作用するワイヤーロープの基準(安全率 6 以上)[14)]と比べても十分大きな値を示している。

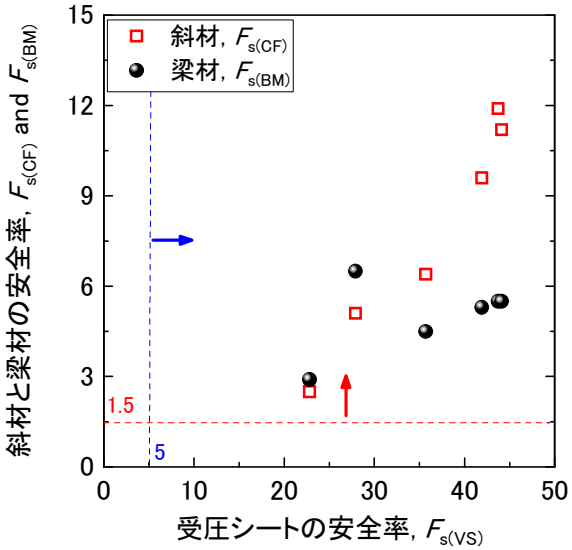


図 11　装置を構成する部材の強度安全率の関係

4.5　残存空間の実験的検証

図 12 は崩壊前と崩壊後の土砂遮断装置を上部から撮影した様子を示す。盛土開始前の溝内に設置した段階では床面と斜材の角度が約 60 度でありシートに若干たるみがある程度であった。その後、崩土の荷重を受けたものであるが L 型擁壁との間には空間が保持されている。図 12 内の 2)から 5)までの比較から崩壊前後の梁にほとんど水平変位は見られず梁間の距離は 0.8m でほぼ

一定であった。これは先の 4.4 節で仮定した機序が実際に再現されたことを意味する。すなわち、シート張力の分力と崩土からの力が自動的にバランスするため梁はほとんど水平変位しないことがわかった。

次に、シート材を見ると曲線的な張り出しが見られるが一連の実験を通して最も狭い部分での間隔が 0.5m 以上であることを確認した。(独)産業技術総合研究所の AIST/HQL 人体寸法・形状データベース [15]によれば、腹部厚径の平均は 204.7mm、腰骨幅 325.3mm、背肩幅 439.5mm とされている。したがって、幅 0.5m 以上の空間が確保されれば人への危害は防止できると考えられる。

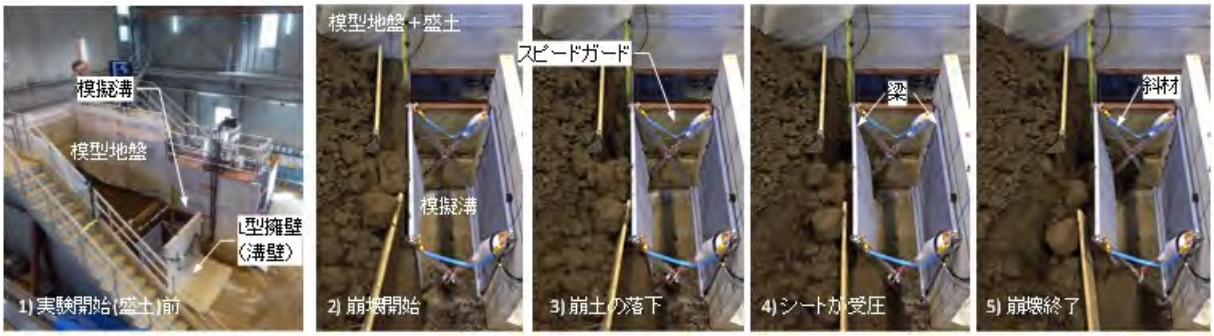


図 12　崩土を受圧する土砂遮断装置の様子

5　まとめ

本稿では、土砂崩壊による労働災害に焦点を当てその問題点を考察した。そして、その問題解決するために行っている 2 つの研究「土砂崩壊の簡易危険検出システム」(MPS システム)と「土砂崩壊からの保護手段」(土砂遮断装置)について紹介した。

「MPS システム」は、計測技術を利用した斜面の監視の提案であり、ここでは工事中の現場で利用しやすい簡易なシステムの提供を目的としたものである。「表層ひずみ棒センサー」(MPS)という新たなセンサーを考案するとともに、計測と演算の機能を内蔵させた警報装置を開発してシステム化した。その兆候の判別には斉藤 [16]や福園 [17]が提案した伸縮量のひずみ速度 [16]の考えを表層のせん断ひずみに応用し、2 次的クリープと 3 次的クリープをライトとブザーで警報するものとした。さらに無線でその情報を伝達することで現場内での迅速な共有も可能とした。これまで行った実験から MPS は小さな変化を確実に捉え、崩壊約 20 秒前に実際に警報を発した例を紹介した。このシステムは目視では気づきにくい小さな変化を迅速に捉え、崩壊の危険を簡易に「見える化」するものとして現在利用されている [18]。

「土砂遮断装置」は万一の崩壊時に生存空間を確保するためのもので、その構造は溝内に吊り降ろすのみで準備は終了し特に組立の必要が無いものでる。溝崩壊時の生存空間の確保性能を確かめるため実大規模の溝崩壊実験をおこなった。その結果、崩土を受けた土砂遮断装置は上部の梁間隔がほとんど減少することなくシート部が張り出して崩土を受圧した。さらにその際に発生した部材曲げモーメントは十分小さな値であり、軽量なフレーム構造で十分支持可能なことがわかった。以上より、簡易的な手段で人的被害を軽減できる可能性が明らかになった。この装置は「スピードガード」として現在提供されている [19]。

土砂崩壊による労働災害を防止するためには、崩壊そのものを防止することが第一である。しかしながら、土という自然材料の強さを知ることは容易でない。また、地震や豪雨などの災害後

は地盤が劣化しているため、その復旧工事には 2 次災害の危険が伴う。したがって、さらなる安全には、たとえ崩壊しても人への危害は発生させない対策も講じておくことが必要ではないだろうか。

本稿では、危険な兆候が目視では判別しにくい土の変形について、ICT の利用による把握を試みる研究と、従来型の土止め支保工が利用しにくい小規模な溝掘削工事における被災防止の保護手段具に関する研究について紹介した。今後は施工現場等での実証試験を行いつつ改善を進め、普及に努めたいと考えている。

参考文献

1) 安衛法便覧 I 令和 3 年度版(2021)労働安全衛生規則，労働調査会，1225-1231.
2) 安衛法便覧 III 令和 3 年度版(2021)土止め先行工法に関するガイドラインの策定について，労働調査会，544-552.
3) 土止め先行工法に関する手順と留意事項　土止め先行工法とは(2006)建設業労働災害防止協会.
4) 玉手聡、堀智仁(2021) 土砂崩壊の簡易危険検出システムの検討. 令和 3 年度土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会, VI-70.
5) 特許第 4942348 号及び特許第 5500374 号，貫入型パイプひずみ計.
6) 労働安全衛生総合研究所，YouTube JNIOSH Channel，土砂崩壊の兆候を「見える化」する新技術，https://www.youtube.com/watch?v=-rG75ABzAr4&t=1s
7) 玉手聡，堀智仁，三國智温，伊藤和也，吉川直孝，末政直晃(2013)斜面の浅い部分のせん断ひずみ計測による崩壊予兆の把握に関する大型模型実験，土木学会論文集 C，Vol.69，No.3，326-336.
8) 玉手聡、堀智仁、菊田亮一(2021) 実大斜面実験による崩壊予兆の計測比較，地盤工学会，第 56 回地盤工学研究発表会，13-5-4-03.
9) 玉手聡，堀智仁：掘削溝の肩付近に現れる崩壊予兆に関する実大模型実験(2017)土木学会論文集 C(地圏工学)，Vol.73，No.3，282-293.
10) 玉手聡，堀智仁，菊田亮一，前田英樹(2019)小規模崩壊に対する被災防止技術の検討，第 54 回地盤工学研究発表会講演概要集 DVD，1951-1952.
11) 特許第 6431239 号，土砂遮断装置，2018.
12) 菊田亮一，前田英樹，玉手聡，堀智仁(2019)溝崩壊に対する簡易ガードの基礎的研究，第 54 回地盤工学研究発表会講演概要集 DVD，1953-1954.
13) Satoshi Tamate, Tomohito Hori and Ryoichi Kikuta (2021) Design of personal soil guard system for safer trench excavations in shallow depths. Proceedings of the 20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Sydney 2021, (Accepted).
14) 安衛法便覧 I 令和 3 年度版(2021)クレーン等安全規則，労働調査会，1790-1793.
15) 河内まき子・持丸正明(2006)AIST/HQL 人体寸法・形状データベース 2003，産業技術総合研究所 H18PRO-503.
16) 斉藤迪孝：斜面崩壊の予測について，土と基礎，Vol.20，No.2，pp.13-19，1972.
17) 福囿輝旗:表面移動速度の逆数を用いた降雨による斜面崩壊発生時刻の予測法, 地すべり, Vol.22, No.2，pp.8-13，1985.
18) (株)丸東製作所ホームページ．http://www.maruto-group.co.jp/
19) 日本スピードショア(株)ホームページ.「スピードガード」https://speedshore.co.jp/speedguard/

土砂災害現場の特徴と情報の利活用

消防研究センター　土志田正二

1. はじめに

消防に限らず，全ての災害対応にあたる組織・団体において，大規模災害発生時に最も求められる情報は，被災地域・被災状況の全容把握である。そのために俯瞰的情報が災害発生後すぐに入手できるのであれば，災害対応における活動方針を決定するための重要な基礎データとなる。

近年、無人航空機(ドローン)の技術革新ならびに低価格化に伴い、災害時の救助活動におけるドローンの利活用が注目されている。現場で手軽かつ短時間で俯瞰的情報の入手を可能としたドローンは，消防救助活動の革新的資機材であると考えられる。土砂災害現場の救助活動においても高所からの俯瞰的情報は有用であり、ドローンによる空撮情報の利活用方法を考察・整理しておくことは重要である。本論では土砂災害現場における災害最初期の安全で迅速な救助活動を行うためにどのような情報が必要になるかの考察を行うとともに、その時間的制約や特徴を整理する。次に土砂災害現場において実際に行った情報収集、特にドローン空撮情報の利活用事例を紹介する。またその事例を基に、土砂災害による救助活動現場におけるドローン空撮情報の利活用の流れを紹介する。

2. 土砂災害現場での情報収集

前述通り、災害時において最も求められる情報は、被災地域・被災状況の全容把握であるが、大規模災害になるほど全容把握は困難である。土砂災害においても、豪雨・地震により複数の崩壊が同時多発した場合や、数 km にもおよぶ大規模な崩壊・地すべり・土石流、夜間や悪天候時に発生した場合など、災害最初期において全容把握するのは非常に困難である。

土砂災害現場において、消防で特に求められる情報は、①迅速な捜索活動を補佐する情報、②救助活動部隊の安全管理に関する情報である。①迅速な捜索救助活動を補佐する情報とは、安全で障害が少ない移動ルートの選択、要救助者の生存確率の高い場所の抽出、要救助者発見・救助に必要となる資機材の選定などである。②救助活動部隊の安全管理に関する情報としては、特に二次崩壊による被害の防止に関する情報であり、二次崩壊の危険箇所や影響範囲、その対策などである。これらの情報は、監視対象や監視場所、安全な退避場所などの選定に寄与する。しかし、二次崩壊の危険度が最も高い災害最初期ほど使用可能な情報は少なく、今までは現場の隊員による限られた範囲の目視情報や、知識に頼らざるを得なかったという問題があった（表１）。

近年のドローンの普及に伴い、少人数でも運用可能な小型ドローンが災害現場でも利用されはじめたことから、情報収集能力は各段に向上した。ただし、情報収集能力が向上しても、その情報の利活用は現場の消防隊員の知識に頼らざるを得ない。ここでは、ドローンにおいてどのような情報収集ができ、利活用できるかについて整理し、紹介する。土砂災害の救助活動時に警戒すべき箇所や現象については、消防庁の令和元年度救助技術の高度化検討委員会報告書[1)]や、過去

の消防研究センターにおける技術支援に関する報告 [2), 3), 4)]において個々の事例を紹介しているので参照頂きたい。

3. ドローンによる情報収集と利活用

情報収集のための資機材として一般的なドローンを利活用する場合、取得できる空撮情報は大きく分けて動画と静止画の 2 種類に分類される（表２）。動画は、動いているものを対象とした「探す（要救助者の捜索・探索）」、「確認する（火災現場における延焼状況の確認や、火や煙の状況確認）」、「監視する（自然災害現場での水・土の挙動など）」情報収集に適しており、私達がこれまでヒアリングを行った消防本部の多くは動画による情報収集にドローンを主に用いていた。動画は視覚的にわかりやすい情報でもあるため、訓練などにおいて振り返り検証のため利用されている事例も多かった。一方、静止画は動画のような動作の確認は難しいが、動画と異なり位置情報（GNSS [Global Navigation Satellite System] 情報）を簡単に付与させることができるため、撮影位置を把握することができる。また動画に比べて解像度が高いため、現在の状況を示す詳細な地図

表１．土砂災害現場における二次崩壊対策の時間的制約

	活動段階	使用可能な情報	二次崩壊危険度
災害発生 － 当日日入り	要救助者の救出（本人からの救助要請）	隊員の目視情報 隊員の知識 手持ちの資機材（小型ドローン・映像中心）	高
～72時間（約3日間）	要救助者の捜索・救助	衛星・航空写真(国土地理院等) 専門家の助言 小型重機等の資機材 産業用ドローンを用いた解析情報	↕
約3日後～1週間（1ヶ月）	行方不明者の捜索・救助	安全監視（伸縮計・ワイヤーセンサー等） 詳細な地形測量（航空レーザ測量等） 専門家の調査（学会調査団等） 大型重機等の資機材	低

表 2.　ドローンによる空撮情報（情報収集目的）

	動画	静止画
カメラ解像度 [Mavic2Pro]	4K: 3840×2160	5472×3648
位置情報	無し	GNSS情報付加可能
特徴	・動いているものを探す、確認する、監視するために利用 ・視覚的にわかりやすい情報伝達	・「現場地図」を作成する(活動が長期化、多数部隊が活動する状況において、作成指揮に利用する)
火災現場	延焼状況を確認 火・煙の状況確認	現場地図の作成
捜索現場	人を探す、物を探す	
自然災害現場	水・土の挙動の監視	

（「現場地図」とする）を作成することができる。「現場地図」は捜索・救助活動が長期化する場合や、多数の隊が活動するような状況下において、現場状況を広範囲で把握し共有できるため、作戦指揮に利用する地図として有用である。本研究ではドローン空撮による静止画から「現場地図」を作成することを中心とした、実際の土砂災害現場でのドローン空撮情報の利活用事例を紹介する。

3.令和 3 年 7 月熱海市土石流災害

令和 3 年 7 月 3 日、豪雨により熱海市で土石流災害が発生した[5)]。消防研究センターでは、現場の安全管理に係る技術支援を 7 月 3 日から 7 日まで実施した。ここでは技術支援時に用いたドローン空撮情報の利活用事例を紹介する。

熱海市土石流災害で消防研究センターが使用したドローンは Mavic2Pro と Mavic2Zoom [DJI]の 2 台である。どちらも総重量 2kg 以下で可搬性に優れている（小型・軽量）ことから、災害最初期における利活用に適している。今回の技術支援活動期間では、天候はほぼ曇りまたは小雨状態であり、有人機や他機関のドローンが多く飛行していたことから、場所とタイミングを見計らってドローンによる空撮を実施した。図 1 は災害の概要と消防研究センターのドローンの離発着地点を示している。基図には、国土地理院地理院地図に消防研究センターが作成した災害後の簡易オルソ画像（後述）を重ね合わせたものを使用している。ドローンの飛行ルールに関しては、国土交通省の飛行ルールほか[6)]、消防研究センターにおける運用体制[7)]を基本とし、安全性の確保に配慮した運用を行った。

図 1.　熱海市土石流災害の災害概要とドローン離発着地点
（基図：地理院地図と災害後の簡易オルソ画像）

図 2A　離発着場所 B から運用、下流を望む

図 2B　離発着場所 D から運用、上流を望む

図 2C　離発着場所 A から運用、崩壊頭部（滑落崖）を撮影

現場のドローン空撮画像を図２に示す。図２A は図１のドローン離発着地点 B からドローンを運用し空撮したものであり、土石流の中流部から下流部に向けて撮影している。図２B は離発着地点 D から運用し、土石流の最下流部付近から上流部に向けて撮影したものである。図 2C は離発着地点 A から運用し、土石流の頭部（滑落崖）を撮影したものである（この図２Ａと図２Ｃは約１ｋｍの距離があり、その一部でドローンの飛行ができず後述する簡易オルソ画像の作成はできなかった）。図２A～C のように、土砂災害現場におけるドローン空撮写真はそのまま（簡易利用）でも災害状況の把握に有用であるが、斜め写真は映る角度によって大きさや形状が実際とは異なって見える場合も多いため注意が必要である。

ドローンによる空撮情報は、解析処理を行うことで更なる利活用が期待できる。消防研究センターでは、ドローン空撮画像を用いて既存の地図と重ね合わせすることができる「現場地図」の作成を行うことが多い[8)]。熱海市土石流災害の技術支援においても、この「現場地図」の作成を行い、熱海市消防本部庁舎内に設置された活動機関（消防・警察・自衛隊ほか）の合同調整所へ提供した。熱海市土石流災害の技術支援では、前述の通り、天候・ドローンの飛行環境の条件が良くなかったため、複数回の飛行を実施し、適宜現場地図を更新して、合同調整所へ提供した。現場地図作成用に行ったドローン空撮飛行は以下の通りである（緊急で行った上流部の土砂ダムが形成されていないかの確認のためのドローン動画撮影飛行などは除く）。

・7 月 4 日

ドローン離発着地点 B より、地点 B 周辺を空撮。有人機等が多く飛行し、天候も悪くなってきたため、広域での空撮はできず。→　一部地域（中流部）の現場地図を合同調整所に提供

・7 月 5 日

ドローン離発着地点 D より、最下流部から在来線線路周辺まで空撮。→　在来線より下流部の現場地図を合同調整所に提供

ドローン離発着地点 B より、上流側を空撮。下流側は他機関のドローンが飛行していたため空撮はできず。　→　一部地域（中流部）の現場地図を更新、合同調整所に提供

ドローン離発着地点 A より、崩壊滑落崖から下流側を空撮。電波状況が厳しくなってきたあたりで引き返す。　→　オルソ画像は後日作成（研究センターに戻ってから作成）

・7 月 6 日

早朝（4:30～）よりドローン離発着地点 C から新幹線線路まで空撮。同時に離発着地点 C より上流側も空撮。→　土石流中流部から新幹線線路までの現場地図を作成、合同調整所に提供

熱海市土石流現場において、現場地図を作成するためのドローンの飛行方法は、①対地高度 100～150m（法令の許す範囲での高高度）、②カメラは基本直下向き、③静止画のインターバル撮影（2 秒間隔）、④オーバーラップ率・サイドラップ率を考慮し、⑤自動航行を使わず手動運転で行った。③の 2 秒間隔インターバル撮影であれば、オーバーラップ率はほぼ問題ないことは経験上把握していたため、サイドラップ率を十分にとるように飛行した。離発着地点 B、C より上流側においては、鉄塔と送電線が確認されたため目視により十分に気を付けて空撮を実施した。

現場地図の作成のためには空撮写真を用いた SfM[9)] 解析が必要となる。SfM 解析は解析用ノート PC を現場に持ち込み行った。PC のスペックは、CPU: インテル Core i7-8750H、メモリ：32GB

(DDR4 SO DIMM)、SSD: 500GB SSD、グラフィック：NVIDIAGeForceGTX1060 6GM である。SfM 解析には Metashape (Professional) [Agisoft] を使用した。

3 日間実施した空撮画像を用いて、在来線線路より下流側で約 100 枚、新幹線より上流側で約 300 枚選定し、SfM 解析を行って簡易オルソ画像の作成を行った（図３）。オルソ画像[10]とは、写真上の像の位置ずれをなくし空中写真を地図と同じく真上からみたような傾きのない、正しい大きさと位置に表示される画像（正射変換画像）である。簡易オルソ画像は、災害前の地図や航空写真、衛星データとの比較が容易であり、災害前後の変化を見ることができる。本災害では、土

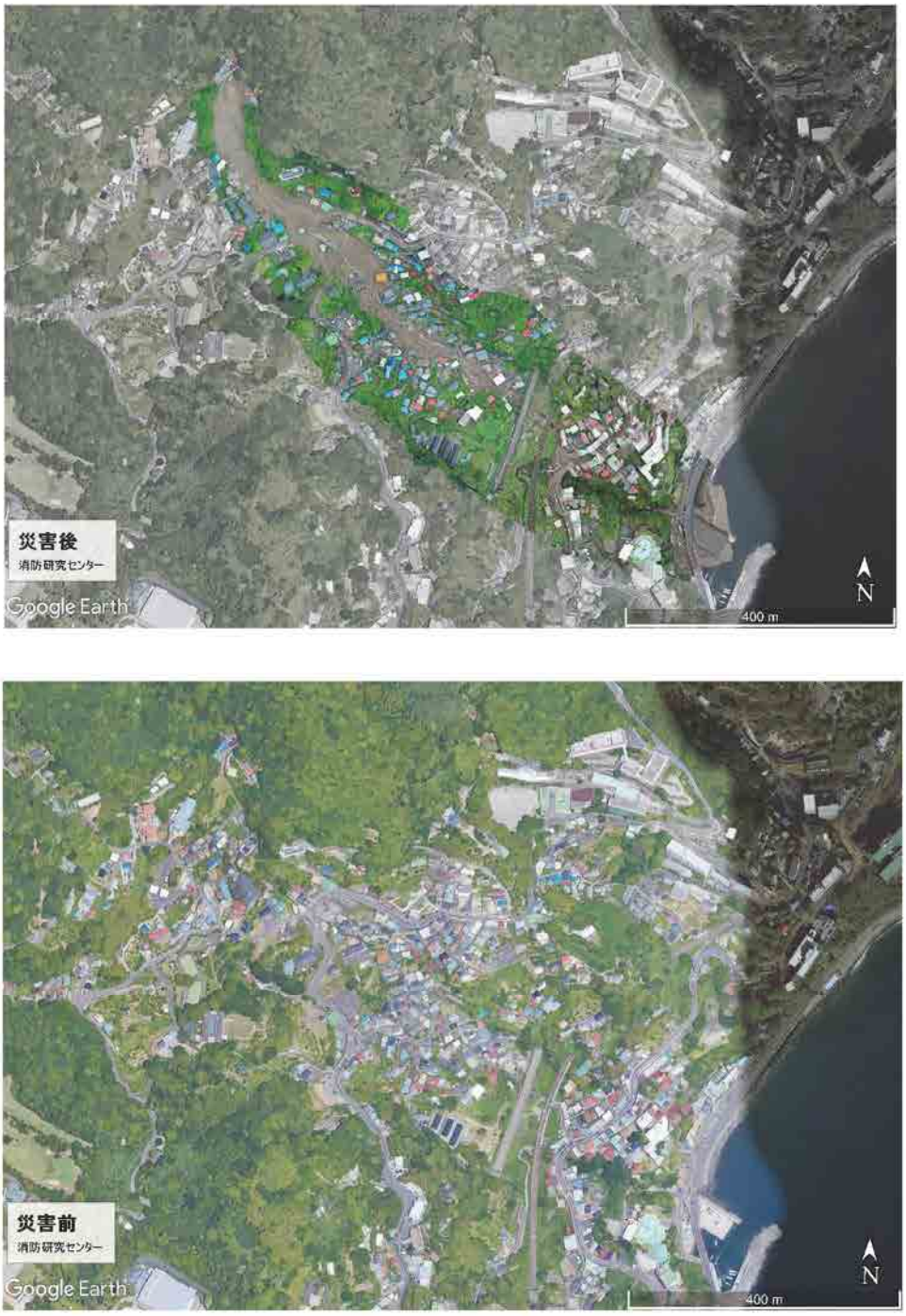


図３　７月６日に提供した簡易オルソ画像と、災害前の航空写真（Google Earth）

石流によって流出した家屋を正確に把握することができた。また簡易オルソ化することで、要救助者の捜索位置の絞り込みや、監視対象（二次災害危険箇所）や一時避難場所などとの水平距離を正しく認識することができる。図３では災害後の簡易オルソ画像（上図）との比較を行うために、災害前の航空写真データ(2017 年 6 月 17 日撮影)（下図）を Google Earth より引用したものを示す。これらは 7 月 6 日に合同調整所に提供したものである。

また、作成した簡易オルソ画像に国土地理院基盤地図情報 [11]の建物形状（建物ポリゴン）を重ね合わせたもの（一部抜粋）を図４に示す。災害発生前の建物ポリゴンと重ね合わせることで、被害範囲や流出家屋の状況を迅速に把握することができた。これらも 7 月 6 日に合同調整所へ提

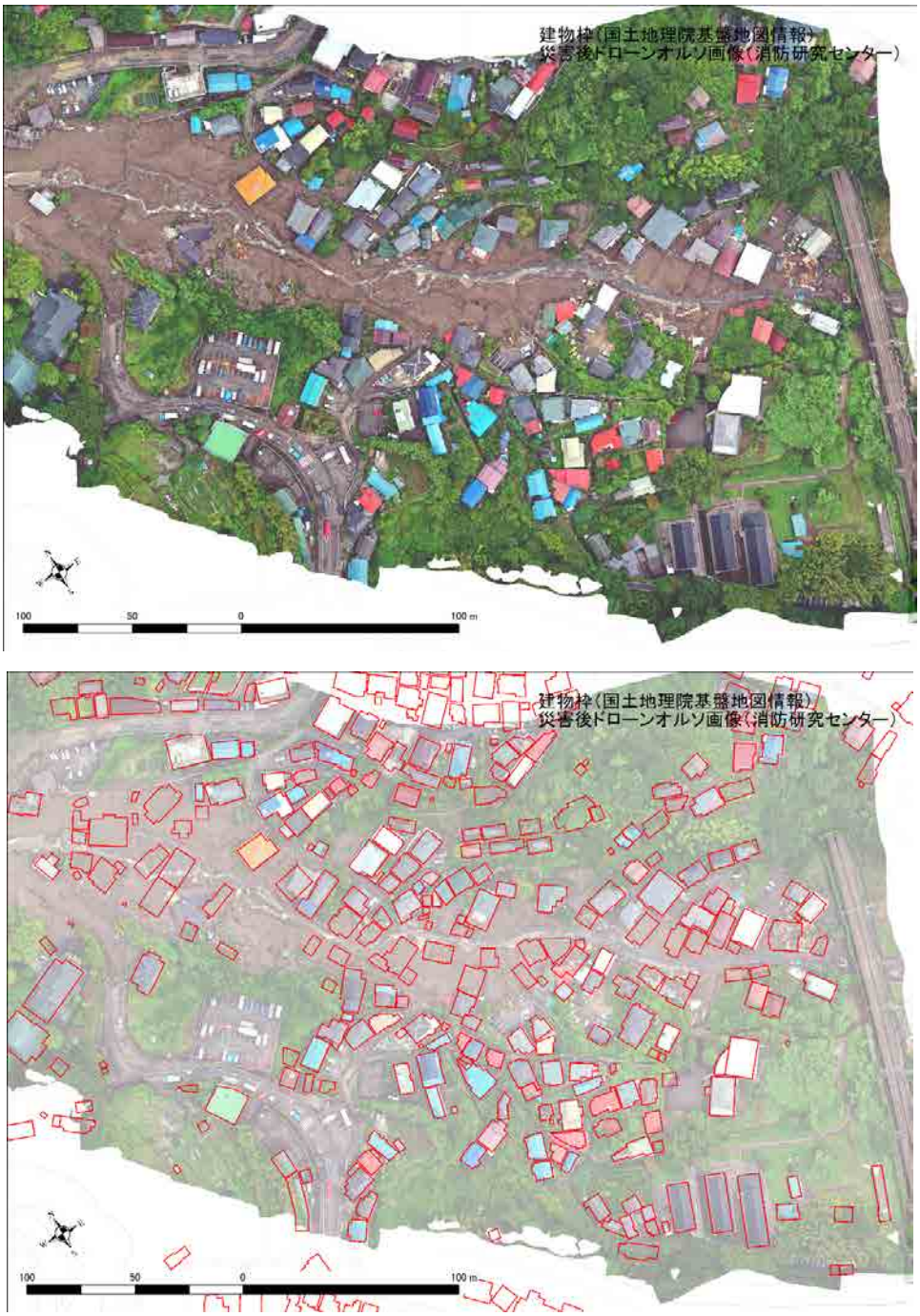


図４　簡易オルソ画像と国土地理院基盤地図情報建物ポリゴンの重ね合わせ（一部抜粋）

供した地図の一部である。また、7 月 7 日には現場に派遣されていた消防庁職員により、この地図に要救助者情報（要救助者がいたと想定される家屋の抽出）が記載され、より救助活動に役に立つ地図となった。

SfM 解析は簡易オルソ画像だけではなく、数値標高モデル(DEM: Digital Elevation Model)を作成することができる（本来、数値標高モデルの作成が主目的で簡易オルソ画像はその副産物である）。土砂災害現場において数値標高モデルを作成するメリットは、地形の高低差が明確になることである。土砂災害による救助活動現場における安全管理を考えた場合、この高低差情報は重要であり、二次崩壊が発生した際の一時避難場所の選定や、捜索救助活動に用いる資機材の運搬が可能かなどの移動ルートの判断にも用いることができる。災害後の数値標高モデルの鉛直精度を向上させるためには、正確に測量された地上基準点（GCP: Ground Control Points)を用いる必要があるが、災害最初期ではその測量が難しいことが多い。本災害時においても、地上基準点の正確な測量が困難であったため、国土地理院基盤地図情報５ｍメッシュデータを利用し、災害前後で変化がないと思われる箇所を仮 GCP として利用した。そのため鉛直精度は高くないが、経験上このような仮 GCP の設定でも、鉛直方向で±1m 程度、水平方向で±数十 cm 程度の精度を持つと考えられ、災害直後の捜索救助活動に利活用するには十分だと考えられる。

今回は、ドローン空撮情報から作成した数値標高モデルと既存の災害前の数値標高モデルを比較し、その差分値を算出した（図５）。この作業は技術支援から戻った後に研究室で行ったため、

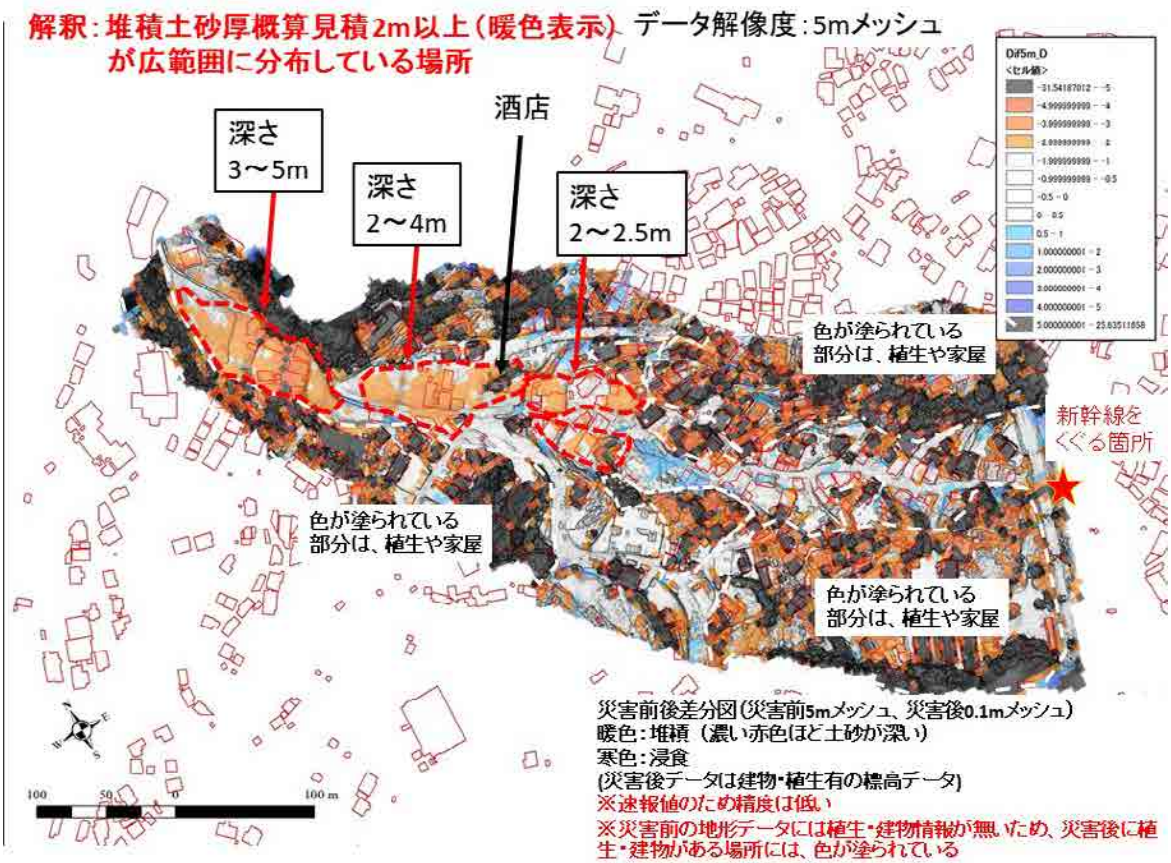


図５　災害前後標高差分図(堆積土砂層厚図)　速報版

※7 月 8 日に提供した図から個人情報等を削除・修正

現場の消防庁職員経由で合同調整所に７月 8 日に提供したものである。崩壊前から崩壊後の値の差分を算出しているため、正の値が侵食、負の値が堆積を示す。比較に用いた災害前の数値標高モデルは国土地理院基盤地図情報５ｍメッシュデータである。

前述したとおり、今回ドローン空撮画像から作成した数値標高モデルは、位置合わせ(GCP)の精度に問題があるため、数十 cm 単位の議論を行うことは難しいが、全体的な土砂移動の傾向を把握することができる。ただし、国土地理院の数値標高モデルは植生・建物下の地形を示した数値地形モデル(DTM: Digital Terrain Model)である一方、ドローン空撮画像から作成された数値標高モデルは植生・建物の地形を示した数値表層モデル(DSM: Digital Surface Model) のため、両者を比較した場合には植生・建物がある地域ではその差も含まれていることに注意しなければならない。今回は特に救助活動を行うために重機が必要となると思われる堆積土砂が層厚 2m を超える場所を表示するように作図し提供した。

4. ドローンの利活用方法

令和３年７月熱海市土石流災害や過去の消防研究センターの技術支援の事例[8)]を基に、ドローンの運用方法の流れを整理した。運用方法は簡易利用と解析利用に分けており、消防本部のみでの迅速な利活用方法として簡易利用、ドローン空撮情報の解析を専門とする組織もしくは外部の専門家の協力があった際の利活用方法として解析利用とした。この解析利用については、今後消防本部のみでも利活用できるようになるのが理想ではあるが、現状においてはこのような利活用方法があるという認識を消防本部が持ち、これらの情報が必要となった際に協力を依頼できる外部機関を確保しておくことが必要ではないかと考えられる。ただし、今回の熱海市土石流災害の技術支援の経験を踏まえると、災害最初期には外部機関に頼ることが困難な場合も多いと考えられるため、解析利用に関しても積極的に消防本部での導入されることを期待したい。今回紹介した運用方法の流れは、今までの消防研究センターで行った技術支援の経験を踏まえて作成したものだが、今後の土砂災害消防救助活動現場におけるドローン利活用の基本的な運用方法の一つとして参考にして頂ければと期待する。

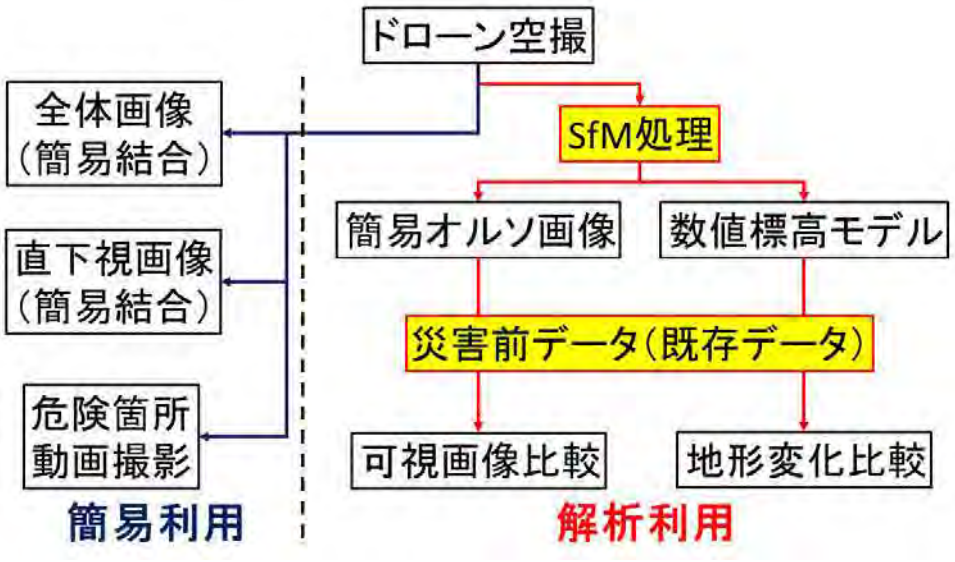


図６　土砂災害現場におけるドローンの利活用方法

5. おわりに

ドローンによる俯瞰的情報は、現場で手軽かつ短時間で入手できるため非常に有用である。ただし、災害現場で十分に利活用するためには、専門的知識とのリンクが必要不可欠であり、何を撮影し、どのように使うかを把握しておく必要がある。また土砂災害現場における安全管理へドローン空撮情報を利活用するためには、解析処理を行うことによってより詳細な情報が得られることが示された。なお、実際に現場で解析処理を行うためには、時間・人員・資機材等という課題が多い。ドローン空撮情報をより有効に利活用するためには、各解析時間の短縮のほか、土砂災害の専門的な知識をドローン空撮情報にどのようにリンクさせていくのかを考察していかなければならない。今回紹介した熱海市土石流災害でのドローン空撮は、天候が基本悪く、有人機や他機関のドローンも常に多く飛行しているという状況であり、かなり厳しい状況での飛行を余儀なくされた。今後、災害対応においてドローンによる情報収集は基本事項となっていくと想定されるため、安全かつより有用な情報収集を行うための技術発展にも期待したい。

引用文献

1) 消防庁：令和元年度救助技術の高度化検討委員会報告書　土砂災害時の効果的な救助手法について、令和 2 年 3 月
https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/post-52.html
2) 新井場公徳・土志田正二・尾川義雄：2016 年熊本地震時の土砂災害現場における技術支援、消防研究所報告、第 121 号、pp. 9-22、2016.
3) 新井場公徳・土志田正二・佐伯一夢・清水幸平：平成 30 年北海道胆振東部地震による土砂災害時における捜索救助活動に係る技術支援、消防研究所報告、第 128 号、pp.1-12、2020
4) 新井場公徳・土志田正二：神奈川県相模原市牧野（まぎの）地区の斜面崩壊における捜索救助活動にかかる技術支援、消防研究所報告、第 129 号、pp.1-10、2020.
5) 消防庁：令和３年７月１日からの大雨による被害及び消防機関等の対応状況（第 32 報）、令和 3 年 9 月 3 日
https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/210701baiuzennsenn32.pdf（参照日 2021 年 9 月 28 日）
6) 国土交通省：無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルール、国土交通省
https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html（参照日 2021 年 9 月 28 日）
7) 土志田正二・新井場公徳・佐伯一夢：消防救助活動における無人航空機（UAV）の利活用方法について、消防研究所報告、第 124 号、pp.1-9、2018.
8) 土志田正二・新井場公徳：土砂災害による救助活動現場における無人航空機(ドローン)の利活用、消防研究所報告、第 129 号、pp.11-20、2020.
9) 織田和夫：解説：Structure from Motion (SfM)　第一回　SfM の概要とバンドル調整、写真測量とリモートセンシング、55(3)、pp.206-209、2016.
10) 国土交通省国土地理院：オルソ画像について、国土交通省国土地理院
https://www.gsi.go.jp/gazochosa/gazochosa40002.html　（参照日 2021 年 9 月 28 日）
11) 国土交通省国土地理院：基盤地図情報ダウンロードサービス、国土交通省
https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php（参照日 2021 年 9 月 28 日）

第 24 回消防防災研究講演会資料

令和 3 年 11 月 26 日　発行
禁無断転載
発行　消防庁 消防研究センター
〒182-8508
東京都調布市深大寺東町 4-35-3
TEL 0422-44-8331　FAX 0422-42-7719
http://nrifd.fdma.go.jp/