

地質調査

'09 第2号

〔小特集〕地盤と災害

編集／社団法人全国地質調査業協会連合会



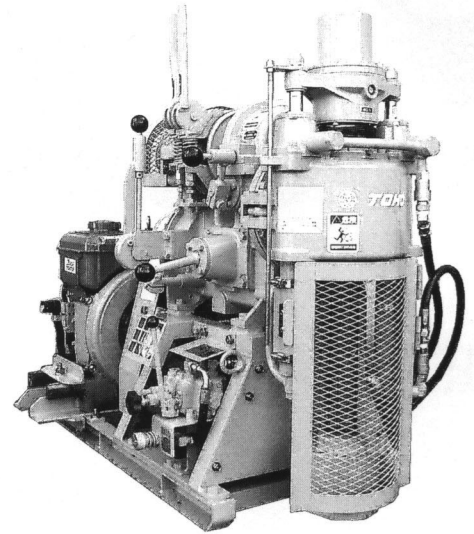
発行 土木春秋社



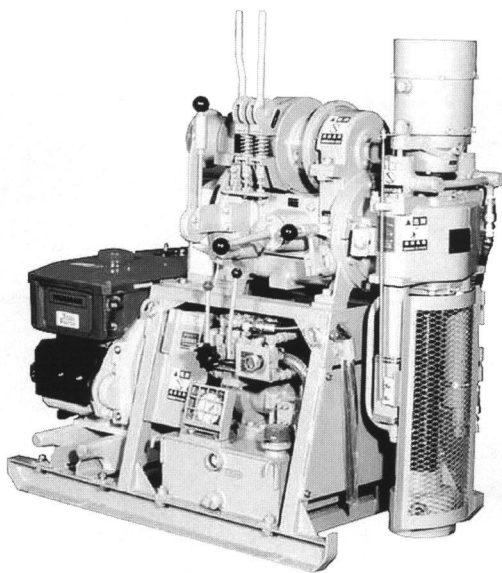
TOHO
DRILLING EQUIPMENT

小型ボーリングマシン

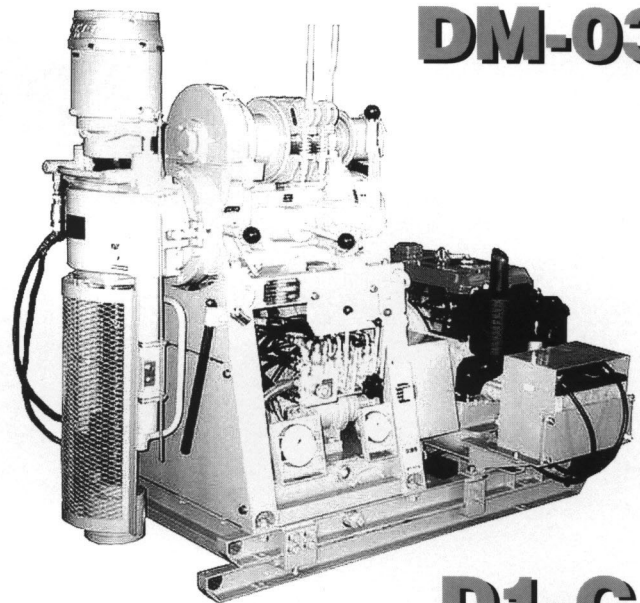
- ニーズに合わせて、ホイストドラムを取外し
コーンプリータイプに変更することができます。
- ブーリの交換で地質にあったスピンドル回転数
が選択できます。
- 試錐ポンプが内蔵でき、しかも原動機は1台で
すみます。



DM-03



D0-D



D1-C

仕 様 右操作・左操作をご用意致しております。

機 種 名		DM-03	D0-D	D1-C
穿孔能力	m	30	100	280
スピンドル回転数	rpm	65、125、370	(A) 60、170、330 (B) 110、320、625	(A) 65、130、250、370 ※2 (B) 90、170、320、490
スピンドル内径	mm	47	43	48 ※2 58
スピンドルストローク	mm	300	400	500
ホイスト巻揚げ能力	KN (kgf) 400	3.9 (400)	5.9 (600)	10.8 (1,100)
フレームスライド	mm		※1 油圧式 300	油圧式 300
動 力	kW/HP	3.7/5	3.7/5	5.5/8
質 量	kg	180(本体)	315(本体)	550(本体)
寸 法 H×W×L	mm	960×500×1,115	1,200×660×1,180	1,390×735×1,580

※1 オプション

※2 スピンドル内径58の場合

東邦地下工機株式会社

東京都品川区東品川4-4-7 TEL 03(3474)4141
福岡市博多区西月隈5-19-53 TEL 092(581)3031
URL: <http://www.tohochikakoki.co.jp>

福 岡 ☎ 092(581)3031
札 幌 ☎ 011(785)6651
仙 台 ☎ 022(235)0821
新 潟 ☎ 025(284)5164
名 古 屋 ☎ 052(798)6667
大 阪 ☎ 0729(24)5022

松 山 ☎ 089(953)2301
広 島 ☎ 082(291)2777
山 口 ☎ 083(973)0161
北九州 ☎ 093(331)1461
熊 本 ☎ 096(232)4763

巻頭言	地球規模での自然災害増大への対応 早稲田大学理工学部環境工学科教授 濱田政則	1
総論	社会動態と地盤災害 東京工業大学大学院理工学研究科教授 日下部 治	2
小特集	地盤と災害 [地質調査]	
	災害を受けやすい国土 須藤 宏 土屋彰義	5
	[気象変動]	
	地震と降雨の複合的メカニズムの斜面災害 大塚 悟	9
	[都市化]	
	宅地ハザードマップ作成にむけた大規模 盛土造成地の抽出法と危険度評価 中筋章人 富田進太郎	14
	ヒートアイランド現象を抑制する地中熱利用 石上 孝	19
	地下水の回復に伴う鉄道施設の地下水障害と 対策 清水 満	25
	災害廃棄物による環境汚染リスクと対策の課題 大野博之 登坂博行	31
やさしい知識	土壌雨量指数 佐々木甫	35
教養読本	土砂災害防止ソフト対策の課題 藤吉洋一郎	37
各地の博物館めぐり	新潟県糸魚川市「フォッサマグナミュージアム」 —石の博物館, 世界ジオパークを目指して— 佐藤博文	41
大地の恵み	岡山の大地と人々の工夫や技術が育んだ特産品 大西智佳	39
	日本の金鉱床 (福岡県星野地域の金鉱床) 松村法行	43
私の経験した現場	地すべり調査における地質リスクの回避事例 上戸喜久夫	45
会告	全地連「平成20年度第46回通常総会」の開催について 平成20年度地質調査事業量は710億円 地質調査技士資格検定試験 受験申込者数1,277名 地連「技術eフォーラム2009」松江 国土交通省 設計業務等標準積算基準書の改定 国土交通省の「国土地盤情報検索サイト」(KuniJiban)の 情報提供について 全地連労災上積み補償制度 更新手続きおよび新規募集 実施中	49 50 52 53

小特集 防災・維持管理分野における最近の調査技術

防災・維持管理分野に係る地質調査技術の適用と今後の取り組みについて
道路防災マップを用いた点検箇所のスクリーニング手法について
河川堤防調査への物理探査の適用手法について
GPSを用いた斜面変位計測サービスについて
地下空洞の調査技術と防災監視について
コンクリート構造物の非破壊・微破壊試験による検査・診断

教養読本 国土地盤情報検索サイト (KuniJiban) による地盤情報の提供と
その利用について

やさしい知識 国土交通省緊急災害対策派遣隊 (TEC-FORCE) の紹介

各地の博物館巡り

大地の恵み

車窓から見る地形・地質

私の経験した現場

地球規模での自然災害増大への対応

早稲田大学理工学術院社会環境工学科教授 濱田 政 則

2009年4月のイタリア中部での地震、2008年の中国四川地震および岩手・宮城内陸地震など国内外で地震災害が多発している。また、ミャンマーやバングラディッシュなど巨大サイクロンによる風水害も頻発し、多くの生命と財産が失われている。これら近年における自然災害の増大には主として二つの要因があると考えられる。その一つは地震や降雨などの自然現象に対する社会の脆弱性の増大である。わが国では少子・高齢化、核家族化、都市圏の過密化と地方の過疎化などの社会構造の変化が災害に対する脆弱性を増大させている。共助意識の減退、災害経験伝承の減少および電子機器への過度の依存などライフスタイルの変化も災害に対する危険要因となっている。さらに、国・自治体等の財政逼迫により社会基盤の整備が遅れているとともに、劣化が進行している防災施設も増加している。一方、アジア、アフリカなど発展途上国における自然災害の最大の原因は貧困にある。ガバナンス能力の不足もあって貧困が自然災害を拡大させ、そのことがまた貧困の度合いを悪化させるという悪循環に陥っている。特に、アジア地域で自然災害が増加している。1986年以後の統計によれば、千人以上の犠牲者を出した自然災害は計59回世界で発生しているが、そのうち70%の42件はアジアで発生しているし、また世界全体で約100万の生命が自然災害によって失われているが、そのうち90万人はアジアである。

風水害が多発しその規模が増大しているもう一つの要因は地球規模での環境変化と考えられる。地球温暖化による海面水温の上昇および都市域のヒートアイランド現象、森林と耕地の喪失、砂漠化の進行および河川・海岸の浸食など自然環境の変化が集中豪雨・豪雪、巨大サイクロン・台風・ハリケーンなどの発生、異常少雨と異常高温および高波・高潮の災害の危険性を増大させている。

このように、自然環境と社会構造の変化により自然災害の規模と頻度が増加してきており、この

傾向は今後21世紀中も続くものと予想される。これら自然災害に対してどのように我々是对応すべきか。我々がとるべき対応策のための基本コンセプトの一つは「予想を超える自然現象へどのように備えるか」また「設計値を大幅に上回る外的条件にどのように対応するか」ということであると考える。予想を超える自然現象や設計値をはるかに超える外力に対していかに被害を軽減し、かつ復旧・復興を迅速に進め、社会に与えるインパクトを軽減することが重要となる。そのためには防災基盤施設の増強などのハード対策とともに、警報・避難システムの整備、防災教育などによる社会の防災意識向上などのソフト対策も重要となる。

自然災害軽減のため第一義的な責任を負うのは国と地方自治体である。しかしながら、国・自治体の体制は必ずしも十分とは言えない。自然災害軽減に関わる各省庁は縦割行政を改善し、その役割分担を明確にして相互の密接な連携のもとに一元的な政策を立案、実施する必要がある。自治体は自然災害軽減のための組織・体制の整備を図るとともに、自治体間の相互の連携を図らなければならない。

自然災害の軽減のために技術者、研究者に求められている役割も大きい。自然災害の軽減のためには理工学のみならず人文科学、医学など広分野の連携が必要である。国土構造と社会構造の災害脆弱性を克服するための技術と知見に関する調査研究を、公的・民間研究機関と大学等が連携して、総合的かつ学際的に推進する必要がある。

発展途上国における自然災害軽減への支援はわが国に課せられた重要な役割の一つである。防災分野の国際支援は、経済発展、能力開発、社会作りの一環であり、技術のみで閉じた支援、また物理的手段、建設に偏した支援ではなく、貧困・ガバナンスなど、社会の基本的問題解決も視野に入れた、土地・資源利用、制度、教育などの社会政策立案と実践への協力が重要である。

社会動態と地盤災害

くさ か べ おきむ
日下部 治*

はじめに

大石・川島¹⁾が「脆弱な国土を誰が守る」と題した論文を中央公論に発表したのは10年前であった。先進諸国との比較の上で日本の国土が脆弱であるという指摘である。脆弱な国土のなかに社会基盤を整備・維持するには、高い技術水準や相対的に高価な整備・維持コストが必要となるのは当然の帰結である。全地連の名著「日本の地形・地質—安全な国土のマネジメントのために」²⁾は、青函トンネルとユーロトンネル、日本の新幹線とフランスのTGVの事例を用いて、同一の社会的サービスを構築するための社会基盤建設は、国土の地質・地形や地震・気象条件などの自然条件によって大きく異なることを示した。これらを読めば、しばしば社会基盤整備に批判的な新聞報道や政治家の発言にみられる「日本の社会基盤整備コストは欧米比較で高すぎる」との無批判な国際比較がいかにか非科学的で偏狭な主張であるかが理解できる。

我が国土が脆弱であるとの認識は正しい。しかし社会基盤整備と国土の脆弱性の関係をそのまま災害が国土の脆弱性からのみに起因していると結論づけることには慎重である必要がある。災害脆弱性は国土の脆弱性からのみに起因したものではなく、国土利用状況や人口構造・社会構造・労働形態などの社会経済的な変化すべてを包含した意味での社会動態と密接に関連している。地盤災害も自然要因と社会経済的・人的要因とが複合して発生すると認識するのが適切である。従って地盤災害の意味は対象とする国、地域によって異なってくるという強い地域性がある。

本稿では、自然災害としての地盤災害と、労働災害としての地盤災害の2点から我が国における

社会動態と地盤災害の関係を見てみたい。

自然災害としての地盤災害

自然災害としての地盤災害は、重力起因の災害形態である斜面崩壊、地すべり、土石流、落石、地球内部のエネルギー放出起因の災害形態である火山災害、液状化等の地震災害が当てはまる。それに加えて地盤内応力変動・地下水変動にともなう地盤沈下なども含めて良いかもしれない。

2007年日本学術会議は「地球規模の自然災害の増大に対する安全・安心社会の構築」と題する対外報告³⁾を出した(委員長濱田政則早稲田大学教授)。そこでは、地球の温暖化や都市化による自然外力の増大要因と、過密化と過疎化、少子高齢化、ネットワーク社会等による災害脆弱性の増大要因を論じ、社会基盤施設や防災施設そのものの老朽化問題も指摘している。中でも国土構造、社会構造との関連から災害脆弱性を捉え、自然災害軽減に向けての国土構造と社会構造のあり方を提言しているのが一つの特徴である⁴⁾。

自然災害に対する脆弱性は、人間社会がどのように国土構造を構築し、土地を利用し、居住形態を選定・形成するかという、いわば人間圏のあり方、人間圏の拡大と強く関連している。いまや人間圏は地球上陸地の30%に及んでいるとも言われる。

人間社会の居住形態は、国や地域の自然環境、人口構成、土地利用形態そして産業構造等の社会動態によって大きく支配される。松谷・藤正⁵⁾は、軟弱な沖積平野に位置する海岸地域への過度の人口集中は、戦後政策的に選択された産業構造の当然の帰結として次のように述べている。

「戦後の日本は、鉄鋼、非鉄金属、化学等の素材産業を基盤とし、その上に重電、重機械等の大規模な製造業を要する産業構造をとった。そのよう

* 東京工業大学大学院理工学研究科教授

な産業構造においては、関連する諸産業が集中して立地すること、つまりは工業地帯を形成することが生産の効率性を高める。一方、素材産業はその原料のほとんど全てを輸入に依存せざるを得ない。産業が特定の地域に集中し、かつその地域が大規模な港湾を持つ特定の海岸地域となったことは当然の成り行きであった。(中略)それらの産業は大量生産を基軸としてことから多くの労働力を必要とし、その労働力の主として農村地域に求めたことが、それらの特定の海岸地域への人口集中を全国的規模で展開させることになった。」

その結果、現在では全人口の約80%が都市域に居住し、今後50年程度は人口減少下においても都市人口が増大するとの見方さえある。都市部への人口集中により地方では過疎化が進行した。2007年に国土交通省から発表された調査結果⁶⁾によれば、全国6万2273集落のうち、消滅が予想される集落は全体の4.2%にもものぼり、2643集落が消滅するとされている。

このような人口配置のアンバランスという社会動態の地盤災害への影響は、災害ポテンシャルの高い地域への居住地拡大による地盤災害発生の可能性増大、中山間地域での森林・耕地の荒廃とそれに伴う土石流等地盤災害の発生可能性の増大である。沖積平野への人口集中は、液状化による地盤災害に加えて、高潮や津波といった水災害への危険性を高め、昭和30年代後半以降に始まった居住地の郊外丘陵地へのスプロールの拡大は、急傾斜地斜面崩壊による地盤災害の危険性を増大させ、谷部を埋め立てた造成盛土は地震時の潜在的な地盤災害の危険地域を生み出した。

自然災害としての地盤災害を軽減するには、地盤災害の脆弱な地域の特定を行い、災害脆弱性の高い地域に位置する居住地から撤退し、より安全な地域への政策的な居住の移転促進が効率的であろうが、住み慣れた土地への愛着という居住者感情に加えて公共の福祉に反しない限り居住・移転の自由が憲法で保障された日本の社会においては、ことはそう単純ではない。

より積極的に地盤災害を防止・軽減するには、それなりの財政基盤が要求される。開発経済学で用いられる人口ボーナスという概念は、出生率の低下にともなう生産年齢人口の人口比率の上昇が、労働投入量の増加と国内貯蓄率の上昇をもたらす、経済成長を促進するという考え方である⁷⁾が、人口ボーナスの効果は人口構造の高齢化とともに薄れる。社会保障費への配分が増加し、社会基盤投資への配分比率が低下するからである。我

が国は2006年から人口減少期に入り、地盤災害の防災力強化策の実現可能性に関して、技術的に可能な防災力レベルが財政レベルによって制約される時代になったと認識する必要がある。

安心・安全社会の構築が強く叫ばれる現代である。地球環境変化にともなう潜在的な地盤災害の危険性増大に対する地域住民の認識を如何に高めていくか、安心・安全への将来投資の必要性に対してどのように合意形成を進めていくか、制約された財政状況のなかで、いかに地盤災害対応への財政投資優先度を高めていくかが大きな課題である。

労働災害としての地盤災害

地盤災害は自然起因ばかりでなく建設行為によっても発生し、地盤に関わる建設行為による地盤の崩壊によって工事従事者が死傷する、労働災害をという形態で地盤災害が発生する。

地盤災害起因による労働災害による死亡者は、1990年代は毎年40名から80名で推移していた。近年の公共工事市場の縮小からか、2007年には20件にまで減少しているが、さらに地盤災害起因の労働災害は減少するというのが労働安全分野の人々の認識である。地盤災害起因の労働災害は、溝掘削工事、切土斜面掘削工事、トンネル工事、土石流等によって発生し、死亡災害は、溝掘削工事と切土掘削工事において大半が発生している。そこでは地盤の崩壊という力学的現象の調査・解析・予測技術の不完全さに加えて、工事の発注形態、工事規模、施工形態、工事従事者の技術力や年齢構成などの社会的・人的要因が死亡災害の原因となっており、地盤災害起因の労働災害の防止に向けた社会動態と地盤災害の視点が重要である。

最近筆者らは過去の事故調査事例を調べる機会を得た⁸⁾。そこで以下のような点が明らかになった。

- (1) 崩壊の前兆現象への適切な対応がなされていない。
- (2) 高齢な工事従事者が被災する例が多い。
- (3) 小規模工事で土砂災害が多発している。
- (4) 十分な科学的知見を得る調査が不足している。
- (5) 専門的な技術的知見が生かされていない。
- (6) 工期が短期間で雪解け時期に集中している。
- (7) 施工時における安全な人的配置という視

点が欠如している。

それらの事象は相互に関連している。隣接する工区で崩壊が発生している、小石がバラバラ落ちるなどの斜面崩壊の前兆現象があっても、様子見だけで設計のり勾配や当初施工方法を再検討せずに工事を続行してしまう例など、専門的な技術的知見が活かされていない。通常大規模工事では、工期が比較的長く工費も多額なので、詳細な地盤調査が行われ、過去の施工経験の蓄積に基づき設計検討が行われ、施工管理体制も整備され、工事従事者に対する教育・研修機会も多い。それに比べ小規模工事では、少額の工費、短期間の工期という制約のもと、十分な地盤調査も行われず、工事従事者への教育・研修機会も少ない。過疎地域である中山間地域での工事では、高齢な工事従事者が多い。

大規模工事では、斜面崩壊発生は皆無ではないものの死亡事故を含む労働災害は発生していないといわれ、死亡事故は小規模工事に集中している。このことは発注額によって工事の安全管理レベルが異なることを意味し、地盤災害起因の労働災害には発注者・施工者の技術力を含む社会経済的な要因が大きく影響していることを示唆している。特に、会計年度に縛られた無理な工期の設定、融雪期に集中した工事発注、出来高管理のための危険な写真撮影義務など、社会システムで死亡事故回避が可能である部分が多くあることは、地盤災害起因の労働災害を社会動態との関連で改めて見

直す必要性を意味している。

おわりに

社会動態と地盤災害を詳細に論じるには、地質・地盤に直接関連する技術分野の研究ばかりでなく社会経済的側面を包含した総合的な地盤リスクマネジメント研究の必要性が痛感され、現在進行中の「地質リスク」「地盤リスク」に関する全地連や地盤工学会で研究活動の成果が期待される。

参考文献

- 1) 大石久和・川島一彦 (1998)：脆弱国土を誰が守る，中央公論，6月号，pp. 148-165.
- 2) 全国地質調査業協会連合会編 (2001)：日本の地形・地質－安全な国土のマネジメントのために，鹿島出版会.
- 3) 日本学術会議 (2007)：地球規模の自然災害の増大に対する安全・安心社会の構築.
- 4) 日下部治 (2007)：国土構造・土地利用と災害脆弱性，学術の動向，日本学術会議，pp. 31-35, 11.
- 5) 松谷昭彦・藤正巖 (2002)：人口減少下社会の設計－幸福な未来への経済学，中公新書.
- 6) 国土交通省 (2007)：国土形成計画策定のための集落の状況に関する現況把握調査最終報告.
- 7) 大泉啓一郎 (2007)：老いてゆくアジア，中公新書.
- 8) 豊澤康男，伊藤和也，日下部治，竹村次朗，高橋章浩，井澤淳 (2009)：斜面掘削工事の土砂崩壊による労働災害の特徴とその対策について，第44回地盤工学研究発表会.

災害を受けやすい国土

す とう ひろし
 つち 藤 や 宏 *
 土 屋 あき よし
 義 **

1. はじめに

日本は四季折々の趣を感じることができる自然豊かな国です。豊富な雨、豊かな水と緑、風光明媚な美しい山々、多種多様な動植物、これらは地球の変動の過程で日本が現在の場所に位置したことや地盤を形成する岩石や地形などによってもたらされたものです。

近年大規模な地盤災害が多発しています。1995年阪神・淡路大震災、2004年新潟県中越地震、2005年福岡県西方沖地震、2007年新潟県中越沖地震、2008年岩手・宮城内陸地震などによる地震による災害がありました。また、1990年雲仙岳、2000年有珠山、同年三宅島での災害のように、今後とも甚大な被害を受ける火山災害にも注意が必要です¹⁾。

2. 日本ってどんな国

一言で言えば、日本は地震と火山の国です。図1は地震の震央の分布図です。地震の多くは、細長く帯状あるいは線上に分布して発生しています。日本はこの帯の中にすっぽり入っています。日本は世界の陸地の0.3%にも満たない国土ですが、日本での地震発生数は、内閣府HPによるとマグニチュード6.0以上の地震回数では世界の約20%に相当しています。

また、図2は活動の活発な活火山の位置を示しています。世界には約1,500の活火山があると言われており、そのほとんどが環太平洋地帯に分布しています。日本には世界の活火山の約10%が存在します。

では、なぜ日本で地震と火山が多いのでしょうか。日本列島周辺域は、「ユーラシアと北米の両大陸プレート」の下に東から太平洋プレートが、南からフィリピン海プレートが沈み込みむという、世界でも極めて複雑な地域となっています(図3)。海のプレートの密度は陸のプレートよりやや大きいので陸のプレートの下に年に数cmの速度

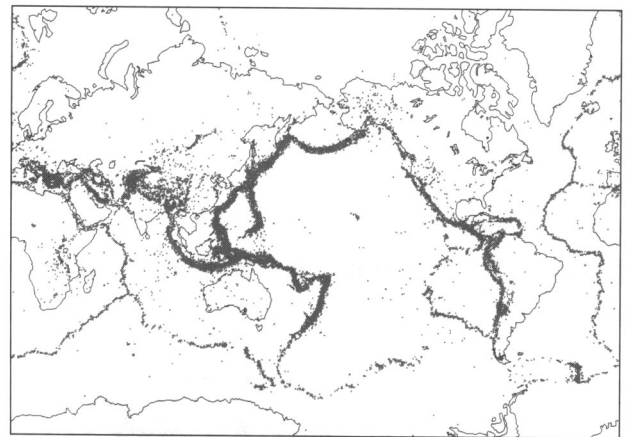


図1 1990年～2000年における世界の地震の震央位置【マグニチュード4.0以上、深さ50kmより浅い地震】(気象庁HP)

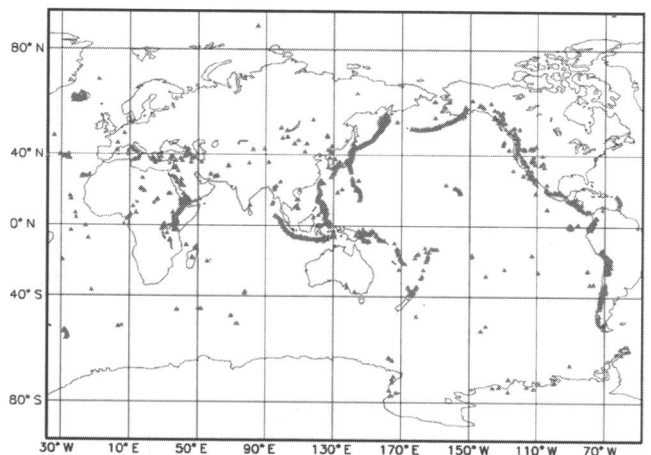


図2 世界の活火山の分布(内閣府防災情報HP)

* 応用地質株式会社東京本社ジオテクニカルセンター

** 社団法人全国地質調査業協会連合会

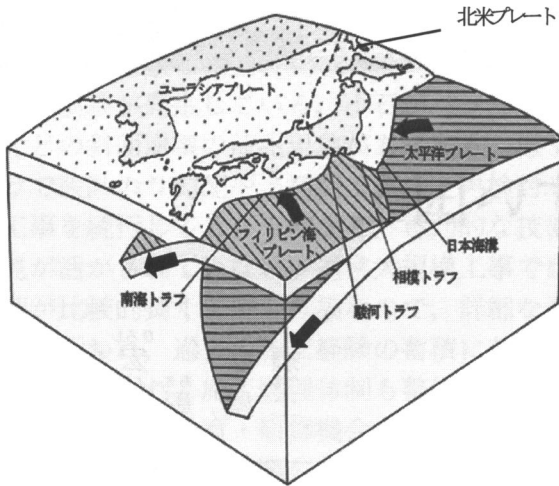


図3 日本列島周辺でひしめき合う4つのプレート(防災科学技術研究所防 HP に一部加筆)

で沈み込んでいます。日本列島は、これらのプレートの沈み込みによって締め上げられた状態となり、海溝やトラフ(海底の細長いくぼみ)が形成され、地震や火山活動が発生し、活断層を含め多数の断層が存在しているのです。

図4は日本周辺の震央位置を示したものです。地震はプレートの沈み込みによって蓄えられた地下のひずみ(形状の変化)がある限界を超えた時に発生します。発生場所(図5)は、海側と陸側のプレートとの間、沈み込むプレート、陸側プレートの内部などです。兵庫県南部地震などの直下型地震は、陸側プレート内で生じたひずみによる断層運動で発生する地震と考えられています。

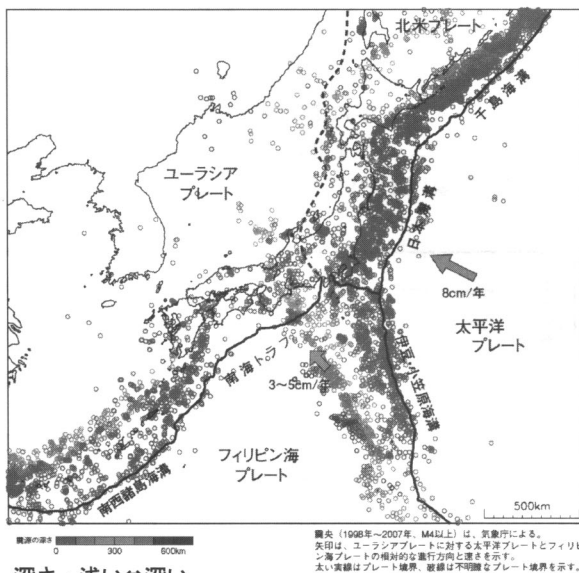


図4 日本列島周辺で発生した地震の震央位置【震央(1998年~2007年, M4以上)は、気象庁による点の濃淡は震源の深さを表す】(地震調査研究推進本部 HP)

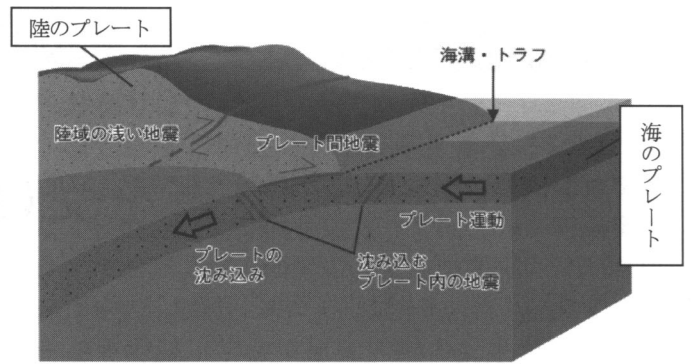


図5 地震の発生場所(地震調査研究推進本部 HP)

3. 災害大国

地盤災害には、山地・丘陵地の斜面部での土砂崩れ、崩壊、地すべり、土石流など、平地部での液状化、沈下、流動化、盛土崩壊などがあります。これらの災害の大きな要因として地震、豪雨、火山活動そして人為的なものなどがあります。日本は、日本列島が置かれている地質条件からも、災害大国とも言えます。

図6は過去30年間の土砂災害発生件数の推移ですが、10年間毎の発生頻度が増加傾向にあることがわかります。

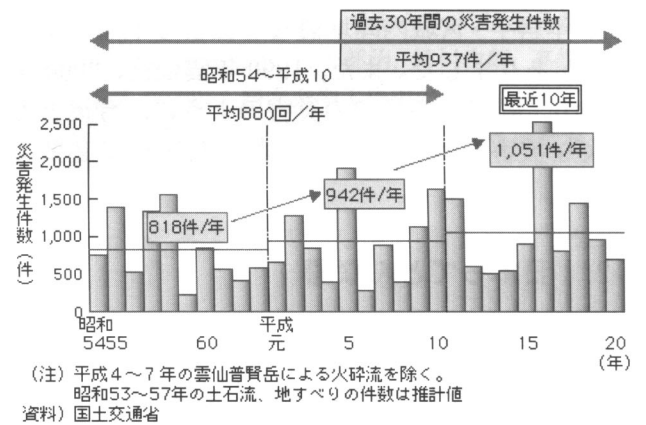


図6 過去30年間の土砂災害発生件数の推移(国土交通省, 国土交通白書2009)

図7に平成11年以降の災害復旧工事費の推移を示します。平成16年は新潟県中越地震等により突出していますが、平均して年間2,000億程度以上の費用がかかっています。

近年、丘陵地や山地での宅地開発なども関係して、地震時に盛土部で地すべりや崩壊が多く発生しており、その対策が課題となっています。

多額の災害対策費用を低減するためには、地域の地盤特性を知り、日頃から備えが必要です。

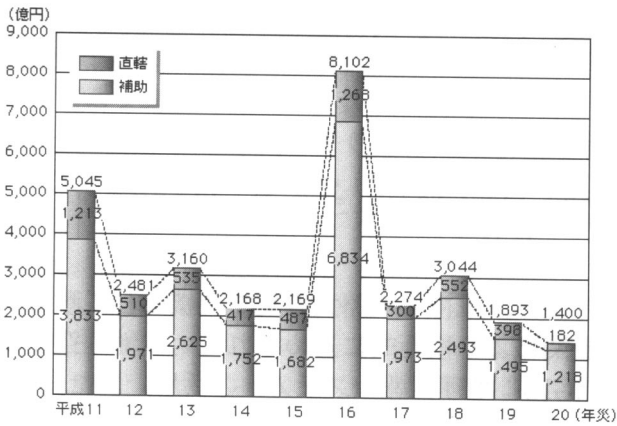


図7 平成11年以降の災害復旧工事費の推移
平成16年は新潟県中越地震等の影響(国土交通省, 国土交通白書2009)

4. 地域の地盤の“個性”を知ろう

地面を地上から見ると、同じように見えますが、場所によって違います。東京や大阪などの日本の大都市は低地にあり、その下には、太古の川や、海などが埋もれています。そのため、砂や砂利が厚く堆積している地域、軟弱な粘土が深い地域、固い岩盤が地表近くまで分布する地域、地下水も浅い地域や深い地域など様々な“個性”があります(図8²⁾)。一般に平野は、山地よりも揺れやすい性質がありますが、同じ平野の中でも地面の下が砂利の場所と軟弱な粘土の場所では、地震時の揺れ方が違います。

軟弱な粘土が深くまで分布する地盤は、砂利が多い締まった地盤より揺れやすくなります。(図9)。

地表付近の地盤の状況は、地形からある程度判断できますが、地下の地盤状況は、ボーリング調査や人工地震による物理探査などで調べることができます。特に耐震性を考慮した建物や構造物を建設する場合、その場所の地盤の個性を調べておくことが重要です。

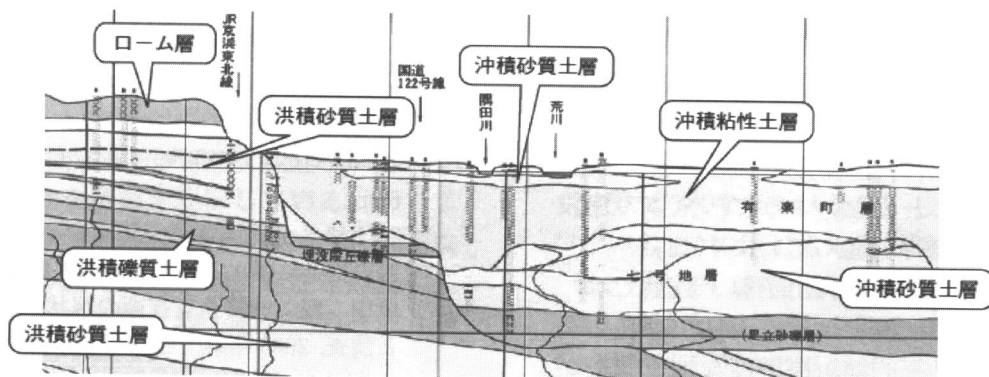


図8 関東平野内の断面図例(「東京都(区部)大深度地下地盤図」東京都, 1996)

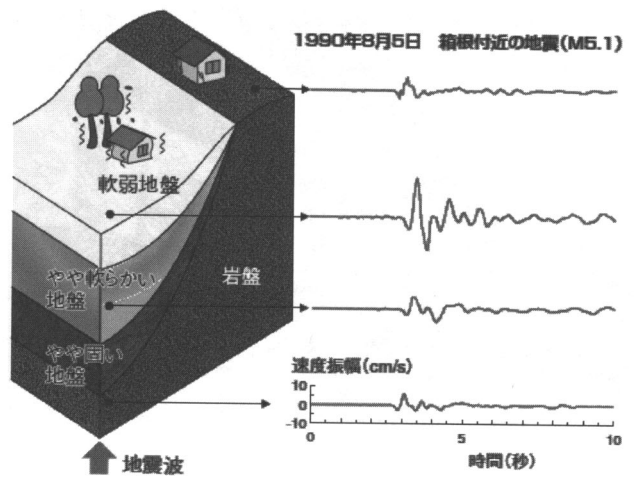


図9 地盤の個性による揺れ方の違い
地震の記録は実際に観測されたもので、軟弱な地盤では岩盤に比べ振幅が約3倍に達しており、揺れている時間も長い(地震調査研究推進本部 HP, 工藤一嘉氏の図をもとに作成)

5. 社会資本の品質確保は地質調査から

地質の違いから外国と日本における社会資本整備コストの違いを考えたいと思います。

図10がフランスの高速道路で、図11が最近つくられた日本の高速道路です。柱の太さと形がずいぶん違います。フランスは地震が少ない国ですから、細い柱で大丈夫なのですが、日本ではそうはいきません。地震が起きても壊れないように、揺れやすい弱い地盤では、地盤を改良して強くすることなど、特に十分な対策を施し、頑丈な構造物を造る必要があります。そのため、欧州やアメリカ中東部に比べ、日本の道路はどうしても建設費が高くなってしまいます。そして、耐久性のある品質のいい社会資本を整備するために、地質調査により地盤の特徴を把握することが重要となります。



図10 シャルル・ド・ゴール空港のアクセス道路の橋脚
(写真提供：北橋建治)

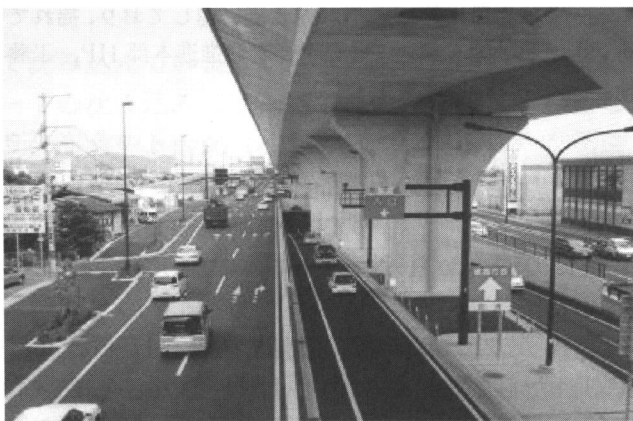


図11 頑丈な日本の橋梁の柱

6. 地質リスクという概念

保険・金融分野などでリスクという言葉がよく使われます。また最近では災害リスク、環境リスクなどとも言われます。リスクとは、様々な定義がありますが、一般的に「潜在的な悪影響、望ましくない影響」などと言われています。また、全地連の地質リスクWGでは、地質リスクを「地質(に係わる事業)における事業コスト損失そのものとその要因の不確実性」と定義しています³⁾⁴⁾。

石油探鉱・開発においても採算性が重要であることから、地質事象についてリスク評価が既に行われておりますが、トンネル工事等の建設分野においても地質に起因するリスク評価・リスク管理という概念を取り入れて、予期せぬリスクにより事業費が増大することのないように、全体の建設コスト低減を図る検討が進んでいます⁵⁾⁶⁾。

地質調査においては限られた予算・数量では、対象地の地質事象の把握には不確実性が存在します。そのためにも効率的な、高精度な地質調査が

求められます。構造物を建設したり、対応策を講じる場合にそのリスクを認識し、安全に工事を進め、いかに建設トータルコストを低減できるが今後ますます重要となります。

7. おわりに

今後は、阪神・淡路大震災を契機として政府関係機関により積極的に進められている地理空間情報(GIS：地理情報システム)の活用、また国・地方自治体・地質地盤情報協議会などより公開が進められている蓄積された地質・地盤情報(ボーリング柱状図など)の活用などを含め、地質調査技術のさらなる技術革新を進めるとともに、地質調査技術を役立たせるために社会への普及活動が求められています⁷⁾。

日本は国土の大部分を山地や丘陵が占め、多くの人が生活する低地は国土のわずか1割程度しかありません。この貴重な低地は、活断層の活動履歴により形成されたとも考えられています。また、プレート運動による火山活動から富士山のような美しい地形、鉱物資源、地熱、温泉などの恩恵も受けています。

生きている地球の鼓動を聞き、日本の自然的個性や私たちの住んでいる地域の地質や地盤を理解し、自然との共生のあり方を考えいくことが、安全・安心な社会基盤の整備、地盤災害の低減、自然環境保全にとって重要と考えます。

最後に、日頃から有益な議論をして頂いた全地連技術委員会および関東地質調査業協会技術委員会の皆様に謝意を表したいと思います。

参考文献

- 1) 高橋 裕監修：大災害襲来一防げ国土崩壊一，国土文化研究所編集，丸善，2008。
- 2) 東京都：東京都(区部)大深度地下地盤図，東京都土木技術研究所，1996。
- 3) 脇坂安彦：土木地質におけるリスクとその管理，地質調査総合センター研究資料集，no. 472，11-14，2008。
- 4) 社団法人全国地質調査業協会連合会：平成17年度地質リスクに係わる事業リスク検討報告書，2006。
- 5) 渡邊法美・佐橋義仁：地質リスクに係わる事業リスクへの対応と地質情報，JACIC 情報，第86号，1-6 pp。
- 6) 社団法人全国地質調査業協会連合会：「企業間連携等の推進に関する調査・研究委員会」報告書，2007。
- 7) 成田 賢：地質調査技術の現状と今後の課題，地質と調査，2006年第1号，2-7 pp，2006。

地震と降雨の複合的メカニズムの斜面災害

おおつか さとる
大塚 悟*

1. はじめに

平成 16 年に発生した新潟県中越地震(以降、中越地震と称する)では旧山古志村を中心に甚大な斜面災害が発生した。これまで斜面崩壊は降水や融雪によって発生することを想定していたが、地震に起因する斜面崩壊の規模は予想以上のものであった。平成 20 年に発生した岩手宮城内陸地震においても大規模な斜面崩壊が発生し、我が国における今後の斜面防災を考える上で地震による斜面崩壊を積極的に考えざるを得ない時代になっている。

個々の斜面崩壊を見ると様々な崩壊要因があるが、規模の大きな斜面崩壊はもともと崩壊の素因を有すると思われる。しかし、その素因が具体的に何を指すのか未だそれ程明確ではない。しかし、地震外力(慣性力)の直接作用で単純に斜面崩壊が発生するとは考えにくく、地下水等の介在が大きく影響すると考えられる。中越地震では地震の数日前に台風 23 号によるまとまった降水があり、斜面内に大量の地下水が内包されたことが斜面被害を大きくしたことが指摘されている。

中越地震では自然斜面だけでなく、盛土や埋戻し土を中心とした人工地盤が斜面崩壊や変形沈下の被害を生じた。谷埋め盛土は集水地形に盛土が構築されることから、盛土部が地山との境界に沿って大きく崩壊し、各地で甚大な被害を生じた。一方、水平地盤上に構築された盛土は地震によって何らかの変形を生じるものの崩壊に至る例の少ないことから、盛土内に存在する水(地下水など)が全体安定性に大きな影響を及ぼしている。

自然斜面や人工斜面の設計計算は降水や融雪などによる地下水の変化に対する安定性を照査しているが、地震外力や地震と地下水の両者を取り扱

う安定性評価は現在までほとんど経験がない。本小文では著者が経験した地震と降雨の相互作用に関連する斜面の崩壊事例と個人的な意見を紹介するものである。課題山積の現状であるが、各機関や研究者による研究の進展を期待したい。

2. 自然斜面の崩壊メカニズム

2.1 崩壊個所の特徴

中越地震では旧山古志村の芋川流域にて集中的に斜面崩壊が発生した。当該地区は地すべり地帯であり、過去から地すべりが繰り返し発生している。しかし、斜面崩壊の発生頻度には地域による差異があり、震源地からの距離以外にも斜面を形成する地質の影響が大きいと思われる。地質では泥岩地域では比較的斜面崩壊が少ないのに対して、砂岩(砂岩・泥岩の互層地盤を含む)の分布する地域では斜面崩壊が多発している。両地域ともに地すべり地形を形成しており、降雨(地下水の涵養)によって発生する地すべりの発生頻度に大きな差異がないとすれば、地震による斜面崩壊は砂岩の分布地域と相関が大きいことになる。砂岩といっても、斜面崩壊を起こすのは固結度の高い岩ではなく、比較的ルーズな砂質土で構成されるものであり、例えば砂岩や泥岩が互層を成す地層では低強度の砂岩を選択的にせん断破壊することにより、斜面崩壊が発生する。キイ・ワードは繰り返しせん断に対するせん断強度(非排水繰り返しせん断強度)の大小であり、降雨時に考慮する静的排水強度ではない。したがって、斜面崩壊(すべり面)の生じる地層は降雨の場合と異なると考えられる。斜面崩壊現場の調査により降雨と地震の崩壊機構の差異を現地調査より明らかにしたいが、斜面崩壊現場のボーリング調査を実施しても崩壊位置を特定できない事例も少なくない。そ

* 長岡技術科学大学環境・建設系教授

の理由に斜面崩壊位置の特定はボーリング・コア試料の含水状況や細粒（粘土）化、せん断破壊状況を考慮して推測するが、降雨による地すべりとは崩壊機構が異なるために従来の知見を適用してすべり面位置を推測することは本来難しいと思われる。しかし、地震時における斜面崩壊機構を明らかにする上で、斜面崩壊の実体を明らかにすることはもっとも基本的な課題である。更なる詳細調査を期待したい。

上記に加えて、地震時の斜面崩壊に影響を及ぼす要因に地震動がある。地震動は基盤からの地震波が斜面内を伝達する際に増幅するために、尾根ほど地震動が大きくなる傾向がある。中越地震では斜面の尾根付近が崩壊する事例が多く、特に表層崩壊の場合にその傾向が大きい。表層崩壊は斜面地表面付近の風化土が低強度であるために、降雨とは比較的無関係に発生すると思われる。しかし、表層崩壊でも崩壊規模が大きいと、大量の土砂が流出するために下流にて大きな被害を生じる可能性があるため注意が必要である。斜面の崩壊規模が大きいのは地層の傾斜方向と斜面の傾斜方向が重なる流れ盤斜面である。実際には様々なタイプの崩壊があり単純化できない点もあるが、流れ盤斜面の場合には多層から成る地層の低強度層に沿ってせん断破壊が生じることから必然的に崩壊規模の大きくなる傾向がある。

2.2 地すべり地形と地震による斜面崩壊

中越地震の被災地は地すべり地帯である。斜面内にはすべり面が形成され、地すべり地形が発達している。地すべりは降雨や融雪による地下水によって繰り返し運動する活動履歴があるが、地震時の斜面崩壊とどのような関係にあるか、明らかにする必要がある。前述のように泥岩から成る地すべり斜面では比較的地震による崩壊事例が少ないことから、泥岩の非排水繰り返しせん断強度は地すべりを誘発するような低強度でないことが推測される。通常、地すべり地は滑動の継続によって斜面が緩傾斜になっており、地震外力による影響も小さいと言える。

一方、固結度の低い砂岩の分布する地域では地震時の斜面崩壊が顕著であった。砂岩は透水層であることから、地下水が豊富な場合に地震による繰り返しせん断により間隙水圧が蓄積すると強度が著しく低下する。この砂層が地震時にせん断破壊を起こすと初生すべり型崩壊を生じる。この事例では斜面崩壊に及ぼす既存すべり面の関与は少ないと思われる。地すべり地帯では過去の地すべ

り滑動により、地すべり崩積土が広範囲に堆積していることも多い。このような崩積土は元々低強度であるほか、地下水も豊富で、地震時の繰り返しせん断によって間隙水圧が蓄積するとせん断強度が低下して斜面崩壊を生じる。既存すべり面との関係は個々の斜面の事情に応じて異なると思われるが、初生すべり型崩壊が発生する可能性も高い。他方、地震時にせん断破壊される地層が既存すべり面に一致する場合には再滑動型地すべりを生じる。中越地震で有名になった東竹沢地すべりは地すべり地形に一致する斜面崩壊が生じており、この分類に該当する。すべり面は地層境界にほぼ一致しており、下部にシルト岩、上部に固結度の低い砂岩が堆積している。下部のシルト岩は不透水層であることから砂岩には地下水が涵養されおり、地震時に繰り返しせん断により強度低下を起こしたと考えられる。すべり面は地層境界のために、せん断強度は不明であるが、前述の崩壊機構に従うと砂岩のせん断強度が支配的であると言える。しかし、地震以外の例えば降雨時の斜面崩壊を想定すると、砂岩は固結度が低いとはいえ静的強度の大きいことから、すべり面でせん断破壊が生じるとすればシルト岩の強度がすべり面の強度を支配すると考えられる。このように、既存すべり面に沿う再すべり型地すべりでも、発揮するせん断強度は降水と地震で異なることから単純ではない。同一のすべり面でも降雨を対象とするか、地震を対象とするかで用いる強度定数を変化させる必要があると思われる。

一方で、地すべり地では様々な斜面对策工が実施されているが、対策工の効果は十分に分析されていない。しかし、基本的に対策工が行われている場合に崩壊事例が極めて少ないことは周知である。したがって、対策工の耐震安定化効果は十分に期待できるが、定量的評価については今後の課題である。地すべりでは排水工が施工されることも多いが、地下水の処理は前述の砂岩の選択的せん断破壊を防止する点で、対策効果のメカニズムが明確である。

2.3 地震後の課題

地震時の斜面災害が社会的脅威として認識され、防災対策が重要課題となっている。しかし、防災対策の計画・実施には広領域からの危険斜面の絞り込みが必要である。いわゆるハザード・マップの作成であるが、地震に対する斜面の危険度評価手法の確立が必要である。近年、GISを利用した試みが行われており、従来よりも合理的に、

視覚的に評価することが可能になっている。しかしながら、評価を支える基盤データがなければ予測精度も低いことから、基盤データの整備が喫緊の課題である。また、降雨災害に対してはハード対策を補完する土砂新法のようなソフト対策が取り組まれている。地震のように再現周期の長い災害に対してはハード対策以上にソフト対策が有効である。人口減による過疎化が急速に進む中で、災害危険度の高い地域の利用を避ける知恵も必要に思われる。

中越地震の斜面崩壊地を調査すると、斜面崩壊地の周囲や未崩壊斜面に多くの亀裂損傷が生じていた。阪神大震災後は地震後も長期間にわたって斜面災害が発生したことから、地震後の斜面防災が極めて重要である。地震後の斜面崩壊は地震の2次災害と言えるが、降雨が引き金となることから注意監視が必要である。幸いに中越地震後に目立った斜面崩壊の増加は見られないが、逆に言えば今後、亀裂に沿う風化の進展や亀裂の閉塞による斜面の浸透状態の変化が斜面崩壊を急増させる可能性があるため経過を見守る必要がある。

3. 人工斜面の崩壊メカニズム

地震では自然斜面のほかに盛土や埋戻し土の人工地盤が甚大な被害を生じた。斜面崩壊では谷埋め盛土の崩壊が顕著であった。谷埋め盛土は集水地形のために盛土内に水が浸透する素因を有しており、崩壊機構は自然斜面と共通する点も多い。以下に、宅地造成地における盛土斜面の崩壊事例の詳細調査の概要を述べる。

3.1 長岡市高町の宅地造成地被害

長岡市の高町は昭和50年代後半に長岡市の東縁丘陵に造成開発された。地質は砂質シルトの御山層であり、切土材を盛土に転用している。造成開発前後の地形情報より切土区間と盛土区間の推定図を作成したものが図1である。造成地中央部に切土区間があり、周辺部に盛土区間がある。盛土は斜面を形成しており、中越地震では盛土が側方変形を生じるとともに、4カ所で斜面崩壊(図中の斜線部)が発生した。崩壊箇所は谷埋め盛土や斜面の腹付け盛土部に当たる地形的特徴がある。盛土区間の変形により、住宅建物に大きな被害が生じた。図1に建物被害を示すが、建物の被害は盛土区間に集中している。しかし、建物被害の統計を取ると、図2の建物被害と切盛り高さとの相関図に示すように、切盛り境界付近では切土区間

にも多数の建物被害が発生している。この原因に切盛り境界付近の引張亀裂が指摘される。図に示すように亀裂と建物被害の相関は高く、亀裂での側方変位や不同沈下によって建物基礎が損傷したと考えられる。

3.2 造成地盛土の崩壊事例

高町の盛土崩壊事例の原因調査を目的に原位置調査および室内試験を実施した。対象とした斜面崩壊は図1に示すNo.3地点である。崩壊状況の様子を写真1に、また崩壊概要について平面図および断面図を図3および4に示した。図5は平面図に記載したボーリング地点で実施した標準貫入試験結果である。崩壊土の力学定数を調べるために崩壊現場より不攪乱及び攪乱試料を採取した。攪乱試料はボーリングIの近傍にて採取して、2mmふるいにて粒度調整したものを使用した。一方不攪乱試料は未崩壊地点のボーリングIIIのコア

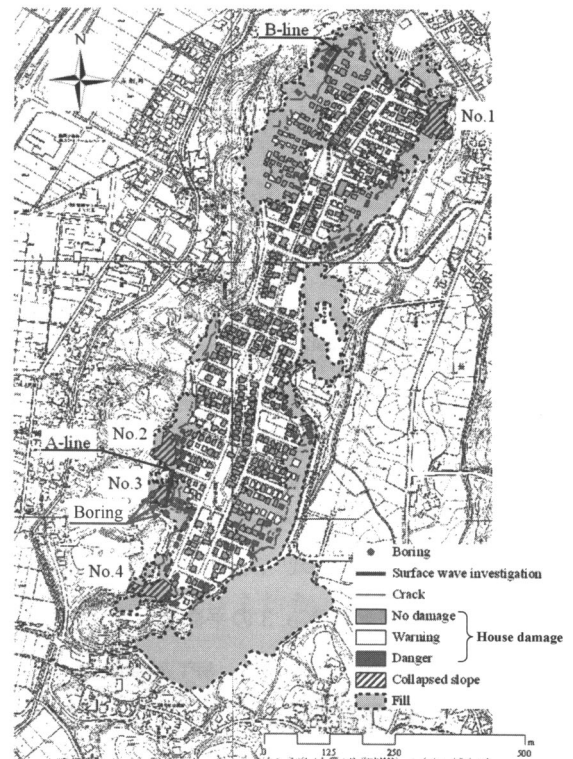


図1 高町の宅地造成における切盛り分布と被害

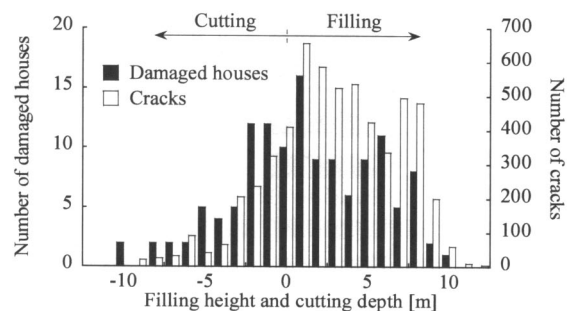


図2 切盛り・地盤の亀裂と建物被害数の相関

試料を使用した。地盤の物理特性を表1に示すが、シルト質の中間土である。地盤の強度定数は表2のように得られた。中越地震では地震2日前の降雨の影響により、土構造物の被害が拡大したことが指摘される。斜面崩壊現場には盛土が流動化した形跡があり、崩積土は多量の水分を含んでいた。液状化による盛土の強度低下が懸念されることから、原位置採取土の非排水繰返しせん断試験を実施した。図6に非排水繰返しせん断試験の結果を示すが、地盤の間隙比によって異なる液状化強度が得られた。

崩壊斜面の耐震安定性を検討するために、非排水繰返し試験結果を用いて静的震度法により水

平震度係数を逆算した。ただし、盛土内の地下水位が不明であることから、地下水位を① すべり面(すべり面は飽和と仮定)、② 地表から5m、③ 地表から3m、の3ケースに設定した。また、すべり面のせん断強度は未崩壊盛土の間隙比に相当する0.90の試験結果を用いて、せん断力の繰返し回数に応じた強度を設定した。図7に①に関する解析結果を示すが、いずれの場合も地下水位の設定によらずに逆算震度係数が0.05~0.20と得られた。地下水位が高い場合や繰返し回数が増加すると、逆算震度係数は小さくなる。高町に近い防災



写真1 斜面崩壊 No. 3 の現場写真 [(株)興和・柴田氏撮影]

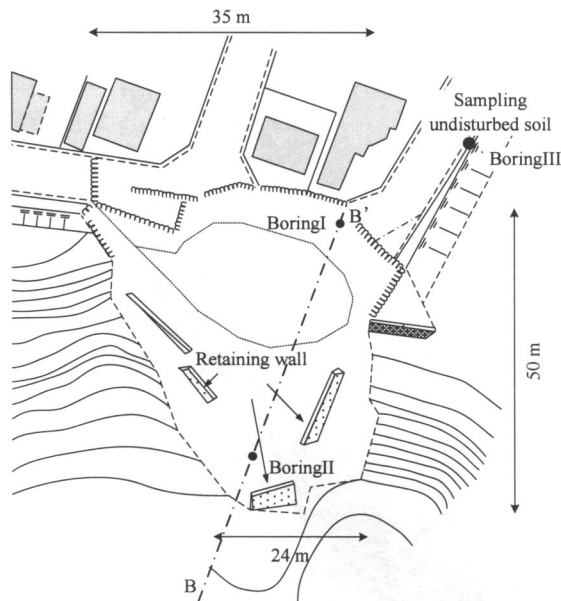


図3 斜面崩壊 No. 3 の平面図

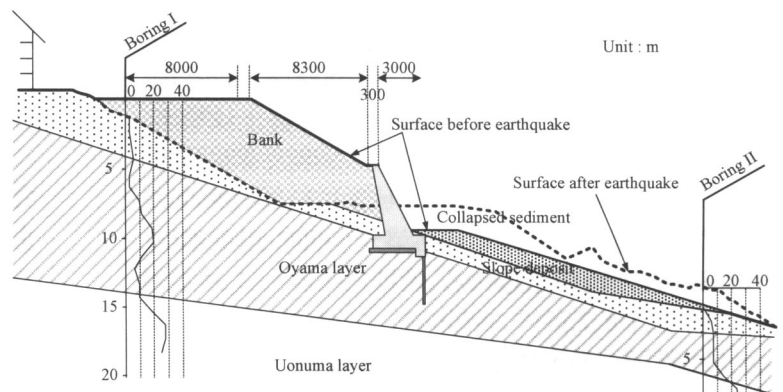


図4 斜面崩壊 No. 3 の断面図

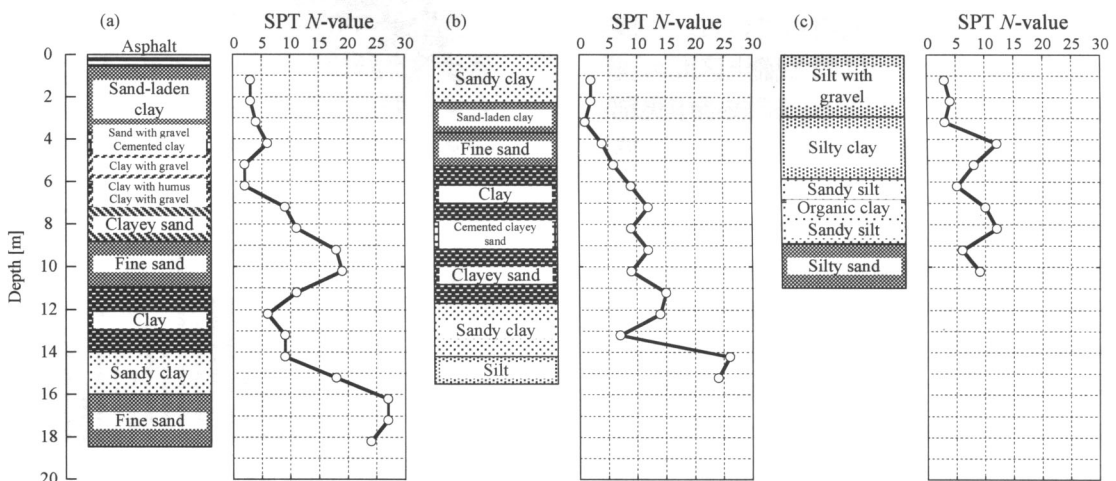


図5 斜面崩壊 No. 3 の現地調査結果

表1 現地土（攪乱・不攪乱試料）の物理定数

	ρ_s [g/cm ³]	w_n [%]	w_L [%]	w_p [%]	I_p -	I_L -
undisturbed	2.692	30.3	56.7	23.8	32.9	19.8
disturbed	2.689	--	74.0	41.0	33.0	--

表2 現地土（攪乱・不攪乱試料）の強度定数

	c_{cu} [kPa]	ϕ_{cu} [deg]	c' [kPa]	ϕ' [deg]
undisturbed	20.9	20.6	0.0	36.9
disturbed	--	--	0.0	36.9

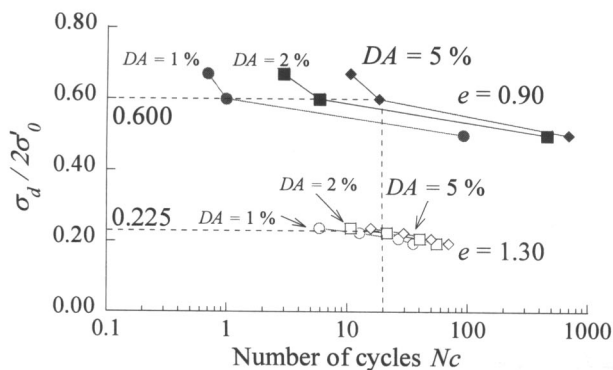


図6 攪乱試料の非排水繰返しせん断試験

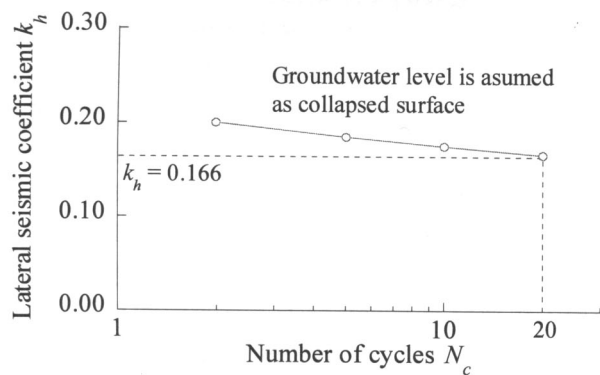


図7 斜面崩壊 No. 3 の逆算震度係数 (すべり面は飽和と仮定)

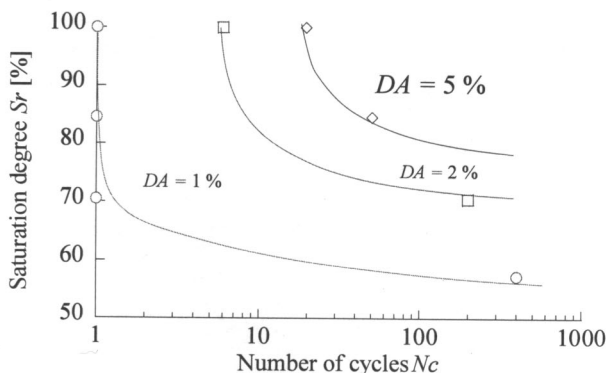


図8 不飽和試料の非排水繰返しせん断試験

科学研究所では最大加速度 800 gal の地震波（不規則波加速度）が計測されており、逆算震度係数は今回の地震で十分に斜面が崩壊することを示唆している。中越地震では地震と降雨の複合災害による地震被害の拡大が指摘されるが、今回の検討により盛土内の地下水位が高くない場合にも、盛土と原地盤の透水係数の差異による地層境界の飽和化によって盛土の崩壊が起こり得ることが分った。

図8に不飽和時の繰返しせん断試験結果を示す。試験数がやや少ないが、地盤が不飽和化するとせん断強度が大きく、繰返し载荷しても変形の進展しない結果となった。このことから盛土の地下水位を下げると地盤の非排水繰返しせん断強度は著しく増加して、盛土の耐震安定化が期待できる。

4. おわりに

新潟県中越地震の斜面災害に基づいて、降雨（地下水）と地震の複合災害の事例を示した。自然斜面については被害から推測される斜面崩壊の場とその崩壊機構について考察した。検証には具体的な実証データの積み重ねも必要であり、調査研究を継続して進めたい。多くの機関や研究者が精力的に研究していることから、今後実態が明らかにされると思われる。盛土などの人工斜面が同様の崩壊機構により多数被災した。人工斜面は自然斜面に対して斜面の概要が把握し易いことから、本小文では詳細調査結果の事例を紹介した。地下水の影響を考慮した斜面の耐震安定解析手法は未だ研究の端緒にあり、基礎から実務までの多様なレベルで研究の進展を期待したい。

本小文を取りまとめるに当たり、国土交通省北陸地方整備局、新潟県、長岡市には資料の提供等で大変お世話になりました。末筆ながら謝意を表します。

参考文献

- Ohtsuka, S., Isobe, K. and Takahara, T.: Fill Slope Failure of the Takamachi Housing Complex in the 2004 Niigatoken Chuetsu Earthquake, Proc. of International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering, 2009.
- 大塚 悟・細山田得三・豊田浩史・磯部公一・高原利幸：類似の被害事例の発掘と収集/潜在する課題への対応, 科学技術振興調整費「重要課題解決型研究等の推進 活褶曲地帯における地震被害データアーカイブスの構築と社会基盤施設の防災対策への活用法の提案」報告書, 2008.

宅地ハザードマップ作成にむけた 大規模盛土造成地の抽出法と危険度評価

なか すじ あき と
中 筋 章 人*
とみ た しん た ろ う
富田 進太郎**

1. はじめに

本小特集号のテーマである「地盤と災害」に関して、最近の地震災害で大きな被害を出しているものの一つが「人工改変地における液状化やすべり現象」であろう。中でも谷埋め盛土の変状や崩壊が注目を集めている。ここでは、都市部やその周辺の大規模盛土造成地に焦点を当てて、その抽出方法や危険度評価について紹介する。

東京や横浜を始めとする全国の大都市は、平野だけでなく台地・丘陵地に発達していることから、意外に多くの斜面が分布している。しかも台地縁の斜面が通行や居住の便のために人工的に改変されて“坂の街”となっている。坂で有名な長崎だけでなく東京や横浜には、何々坂という地名が実に多い。坂は、古くからの造成地盤であり、その周辺は造成地盤上の斜面居住地ともなっている。

一方、高度経済成長期以降の大都市への人口集中により、多くの郊外型ニュータウンが誕生した。丘陵地のニュータウンでは、日当たりが良くて眺めの良い環境と平坦地を作るために、人工的に尾根を削って谷を埋める必要があり、結果的に膨大な数の住宅が谷埋め盛土の上に建っている。こうした大規模な谷埋め盛土の出現は、居住者が予想もできない場所で発生する新たな災害、つまり地震によって谷埋め盛土全体が地すべり的に移動することによって発生する災害を生み出した。ここではこうしたタイプの災害事例を紹介したのち、将来の宅地ハザードマップ作成にむけた大規模盛土造成地の抽出手法などについて解説する。

2. 最近の被災事例

1923（大正12）年9月1日に発生した「関東地

震」によって、神奈川県から東京都にかけて多くの住宅が斜面崩壊や崖くずれで被災したが、それらは自然斜面に近い状況下で被災したものであった。本格的な人工改変地の災害として有名になったのは、1978（昭和53）年の宮城県沖地震で、谷埋め盛土部の地すべり災害であった。さらに、1995（平成7）年の兵庫県南部地震では、台地・丘陵地の住宅地で谷埋め盛土に関連した災害が多く発生した。そのうち仁川と宝塚の2箇所では崩壊土砂が流動化し、仁川では死傷者が出た（図1参照）。しかし多くの谷埋め盛土では、盛土の一部が変動したのみで全般的な流動には発展しなかった¹⁾。

最近、地震時の谷埋め盛土や傾斜地盤上の造成地の災害として、最も注目されたのが2004（平成16）年の新潟県中越地震である。新潟県川口町付近で発生したM6.8の地震は、長岡市周辺に広がる大規模盛土造成地に甚大な被害を与えた。長岡市高町では、丘陵地の縁に造成された大規模盛土造成地が擁壁とともに滑動崩落し、大規模盛土造成地上の家屋や道路等に大きな被害を与えた。釜井(2005)²⁾によると高町団地は、昭和50年代半ばごろに行われた民間の開発地である。開発は、基



図1 仁川の盛土すべり（国際航業撮影）

* 国際航業(株)技術センター

** 国際航業(株)空間情報推進本部

本的に標高 70 m 以上の丘陵の頂部を切土し、周辺に盛土することにより、平坦地を多く確保する形式で行われた。したがって、盛土の大部分は粘土、シルトを主体とする魚沼層起源の土砂であり、締め固めによって凝灰岩のクサリ礫が特徴的に薄く引き延ばされている。周縁部に出現した高い盛土斜面は、コンクリート擁壁によって支持されていた。擁壁の高さは場所によって異なるが、ほぼ 4~6 m で、主としてモタレ式擁壁である。団地の総戸数は 522 戸、人口は約 1820 人（平成 15 年）で、このうち約 70 戸が応急判定によって危険家屋（赤紙）と認定された。被害は周縁の盛土部に作られた外周道路とそれに沿った住宅に集中し、団地の中央部にはほとんど見られない（図 2 参照）。このうちの 5 カ所では、斜面が崩壊し大きな被害が発生した。

これらは、すべて浅い谷の谷頭部に相当し、盛土が谷埋めの形式となったため周囲よりもやや厚く、擁壁に作用する土圧が大きかった箇所である。崩壊しなかった地点でも、クラックや沈下等の被害分布から変形ユニットを認定できる場合が多い。これらの変形ユニットの幅は場所によって異なるが、50~100 m である。

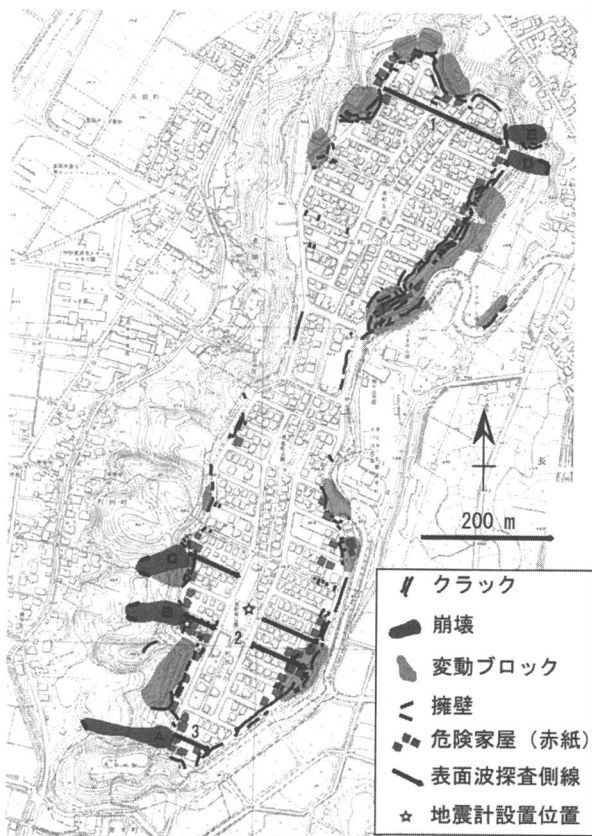


図 2 高町団地の被害分布²⁾

3. 大規模盛土造成地の変動予測調査手法 前章で述べたように、新潟県中越地震の際に、

谷や沢を埋めた造成宅地または傾斜地盤上に腹付けした造成宅地で、盛土全体の地すべりの変動による災害（図 3 参照）が多発した。このことを契機として、宅地造成等規制法による造成宅地防災区域の指定又は宅地造成工事規制区域内における勧告を行うに当たって必要となる「大規模盛土造成地の変動予測調査」のガイドライン³⁾が示された。なお大規模盛土造成地とは、①盛土の面積が 3000 m² 以上、②盛土をする前の地盤面の水平面に対する角度が 20°以上で、盛土の高さが 5 m 以上、のいずれかの要件を満たすものをいう。

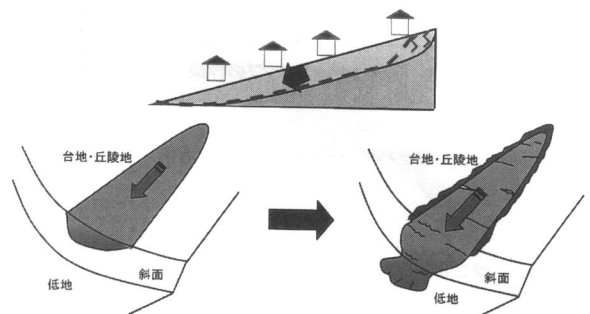


図 3 谷埋め型大規模盛土で発生する滑動崩落のイメージ図³⁾

大規模盛土造成地変動予測調査の流れを図 4 に示すが、大きく見ると第一次スクリーニング・宅地ハザードマップの作成・第二次スクリーニングに区分される。

(1) 第一次スクリーニング

第一次スクリーニングは、比較的広域な調査範囲の中から、収集した資料をもとに地形解析などの手法を用いて既存の盛土造成地の位置や規模を効率的に把握するものである。例えば、広域にわたる盛土造成地の分布を把握する手法として、宅地造成後の標高と宅地造成前の標高を比較し、宅地造成前後の標高の差分から盛土造成地の位置と規模を把握する手法などがあるが、これらの手法については、次章で詳述する。

(2) 宅地ハザードマップの作成

宅地ハザードマップは、宅地造成に伴う災害に対する住民の理解を深め、災害防止のために必要な規制を行うことを目的として作成し、公表・活用するものである。原則として第一次スクリーニングの結果に基づいて、大規模盛土造成地の種類（谷埋め型や腹付け型大規模盛土造成地）などの共通項目と住民の意識啓発等に役立つ情報（例えば東海地震発生の際に想定されている震度や地震発生時の心得）などの地域項目を記載したものである。

(3) 第二次スクリーニング

第二次スクリーニングは、概略的に大規模盛上

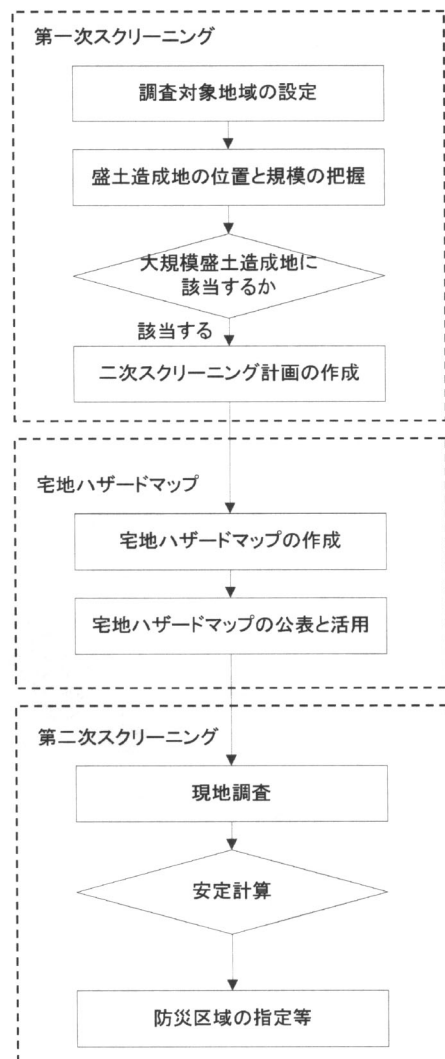


図4 大規模盛土地変動予測調査の流れ³⁾

造成地の地形等を把握するための現地踏査を行った上で、安定計算に必要な盛土造成地の物性値等を土質調査で把握し、安定計算により滑動崩落のおそれ大きい大規模盛土造成地を抽出するものである。なお、これらの具体的な手法や事例は、先に述べたガイドライン³⁾に詳述されている。

4. 大規模盛土造成地の抽出

大規模盛土造成地変動予測調査にとって、重要かつ作業量の主体をなすのが、大規模盛土造成地の抽出である。

(1) 大規模盛土造成地抽出の手順

大規模盛土造成地の抽出のイメージを図5に示すが、基本的な大規模盛土造成地の位置と規模の把握作業は、以下の手順で行う。

① 宅地造成後の地形データの収集

宅地造成後の地形を把握するため・可能な限り新しく、大縮尺で精度の高い地形図を使用する(縮尺1/10000以上可能であれば縮尺1/2500程度)。

② 宅地造成前の地形データの収集

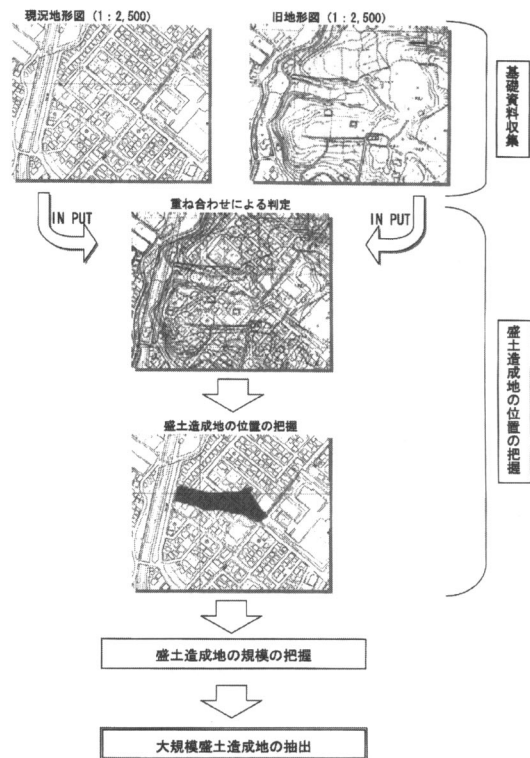


図5 大規模盛土造成地抽出のイメージ図³⁾

宅地造成前の地形を把握するため、可能な限り古い地形図又は造成時期に応じた年度の地形図を使用する。また、出来れば宅地造成後の地形図と同等の縮尺や精度が望ましい。

③ 谷也形の把握

宅地造成前の地形データをもとに、谷地形を把握しておく。

④ 重ね合わせ作業

宅地造成前後の地形図を重ね合わせることで、現在の地形図における谷地形の分布状況を把握する。

⑤ 盛上造成地の位置の把握

重ね合わせ作業で把握された谷地形のうち、現在も谷である場所(盛土が行われていない場所)を除く。

⑥ 大規模盛土造成地かどうか、その規模の確認と位置の確認

大規模盛土造成地の条件(盛土の面積が3000m²以上など)に該当するか否かを確認する。

(2) DEMを利用した大規模盛土造成地の位置と規模の把握

最近では前記手順の作業を、地形図を重ねるよりDEMによって行うことが一般的になっている。DEMとは、数値標高モデル(Digital Elevation Model)とよばれ、標高を面的に表現するもので、地形図の等高線などから標高値を入力して作成する。数値標高モデルの間隔はグリッド間隔といわ

れ、標高の情報をもつポイント同士の距離を示す。一方、メッシュ間隔はポイントデータを中心とした長方形のデータ形態である。盛土造成地の位置は、宅地造成前後の数値標高モデルが示す標高値の差分から把握する。

(3) 宅地造成前の標高データ作成

宅地造成前の標高を DEM で把握する場合、空中写真から DEM を作成するものと都市計画図や地形図から DEM を作成するものがある。

① 空中写真から作成する場合

空中写真から DEM を作成する場合、写真撮影年付近の旧版地形図から抽出した基準点で標定を行い、大縮尺の都市計画図や地形図から空中三角測量に使用する標定点の選定および計測を行う。DEM の原点座標は、宅地造成後の DEM と一致するように設定し、新旧測地系を統一する。なお、TIN の作成は、等高線、ブレイクライン等の計測の併用手法を用いる。

② 都市計画や地形図から作成する場合

TIN (不整三角網) を使用した標高モデルを作成するために、等高線をデジタルデータ化し、TIN から DEM を作成する。なお、作成した DEM は、誤差の検証を実施して用いる。

具体的な抽出では、まず起伏の上下端等、地形形状が連続的に変化する箇所をブレイクラインとして取得する。ここで「地形形状が連続的に変化する箇所」が重要となるが、主に「等高線」・「遷急線及び遷緩線」・「斜面構造物の上端部及び下端部」・「宅地境界」が挙げられる。次に取得したブレイクラインデータから、図 6 に示すような TIN データを作成し、あらかじめ座標設定した格子点ごとに標高値を把握することで DEM データを作成する。格子点の間隔は 5~10 m 程度とし、標高値は格子点の四隅の標高を内挿して求める。

(4) 重ね合わせ作業による大規模盛土造成地の位置・規模の把握

差分図作成に使用する宅地造成前後の DEM は、等間隔で標高値を表したデータである。そのデータを使用して、宅地造成前後の同じ土地の位置における標高差の差分から、図 7 に示すように標高変化量を把握することで盛土を抽出する。

5. 危険度評価

谷埋め盛土の危険度を判定するには、①何らかの安定計算をして決定論的に判定する方法 (決定論的手法) と②経験 (事例) を元に何らかの基準を作って判定する方法 (経験的手法) 及び③リスク解析の理論にもとづいて判定する方法 (半経験

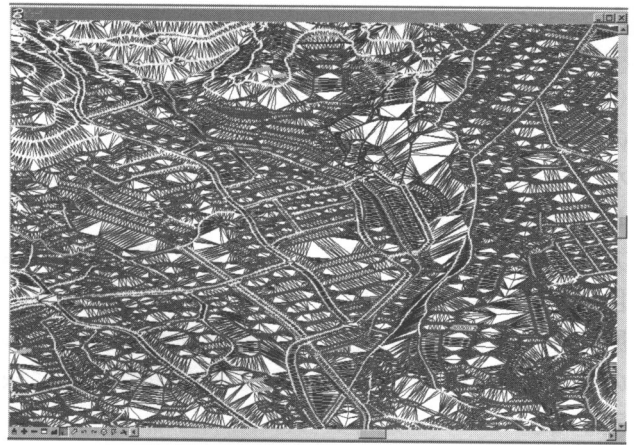


図 6 TIN データの作成例⁴⁾

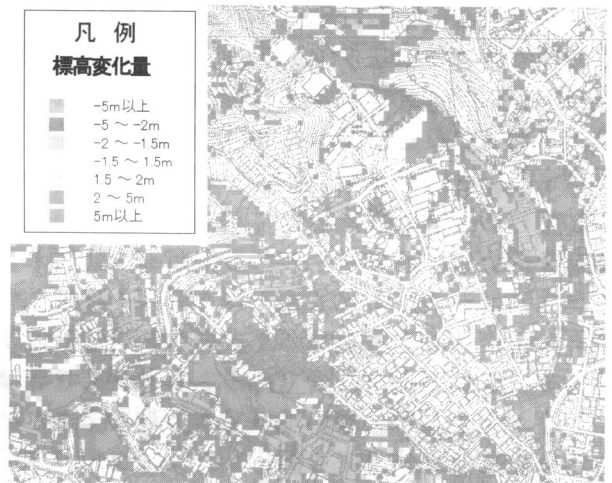


図 7 宅地造成前後の DEM の比較例⁴⁾

(原図では着色により変化量が明瞭に判明できる)

的手法) などがある¹⁾。①は、安定計算をするための地盤に関する詳細な情報を面的に収集する必要があり、そのうえ谷埋め盛土型地すべりのメカニズムがよくわかっていなければならない。しかしこうしたデータをそろえるのは大変なことであり、かつ谷埋め盛土型地すべりの変動メカニズムは意外に複雑であること、などから現時点で決定論的手法を広域に適用することは、はあまり実用的でないと考えられる。また③の半経験的手法は、多くの地震災害事例にもとづくフラジリティカーブが必要であるが、地震の事例が少ないことからこの方法もまた有効ではない。したがって、現時点で谷埋め盛土の危険度を判定するには、②事例解析にもとづく経験的手法が最も実用性が高いと考えられる。

事例解析にもとづく経験的手法には、さらに以下の 3 手法があげられ、それぞれについて簡単に紹介する。

(1) 点数方式による危険度評価

この手法は、大規模盛土造成地の変動予測調査

ガイドライン（案）に紹介されているもので、谷埋め型大規模盛土造成地を対象に過去の災害事例（1978年宮城県沖地震、1995年兵庫県南部地震）の計259事例の変動事例と非変動事例から、複雑な因果関係をもつ地形的な要素を統計的に単純化して、大規模盛土造成地の変動のしやすさを点数方式で評価したものである。点数方式に用いる項目は、大規模盛土造成地の盛り土厚さ、盛土幅、原地盤の勾配および地下水の有無を点数化したもので、点数は、各項目における変動割合を基に決定する。

（2）判別分析（数量化Ⅱ類）による危険度評価

多変量解析（判別分析）は、釜井（2005）¹⁾が要因の組み合わせを色々と工夫して、兵庫県南部地震による阪神間の被災事例に適用したところ、変動群（地すべりした事例）と非変動群（安定であった事例）をうまく分けることができたことを報告している。これは、いわば要因が変動に与える影響を採点（重み付け）したことになる、得られたカテゴリースコア（要因の採点結果）を使って個々の地点ごとの採点表（サンプルスコア）を計算することができるものである。したがって、まだ災害が発生していない地域でも、要因とトリガーがカテゴリースコアを算出した集団と同様であると仮定すれば、個々の谷埋め盛土の採点を行い、変動・非変動の判定を行うことができることとなる。しかし、同じ地震は二度と発生しないことや同じ地形要因を持った地域もないことから、多変量解析を用いた予測法は、事実上適用可能な地震と地域が限定されることになる。

（3）ニューラルネットワーク解析による危険度評価

ニューラルネットワークは、入力条件に対して求める答えを出力するために、学習によって各要因の重み付け（重要度）を変更し、外部環境（求めたい答え）に一致するように調整することができる解析手法である。想定地震の情報と盛土の形状を入力すると、変動可能性の有無が出力される。ニューラルネットワークを用いた危険度の評価は、特定の過去の変動実績データを用いて予測モデルを構築することを基本とする。

釜井（2005）¹⁾は、各地から集めた谷埋め盛土の変動・非変動事例314例について、誘因である地震と素因である谷埋め盛土の性質のうち9要因を

入力し、顕著な変動が見られたかどうかを出力としてモデルを構築した。このモデルでは、出力に対する要因の寄与率は「盛土の厚さ」が最も大きく、「断層面に対する方向」、「盛土の幅」、「盛土の幅/厚さ比」、「断層面からの最短距離」、「盛土の底面傾斜」、「モーメントマグニチュード(Mw)」、「地下水量」、「造成年代」の順に低下する。このモデルでは、感度解析と未学習データを使用した精度評価試験でも良好な結果が得られたが、その後の具体的な地震を用いた有効性の検証では、様々な不備な点も見出された。

6. おわりに

地震を対象とした宅地ハザードマップは、過去の被災事例が少ないため(3~4例)、評価解析の精度は高くない。むしろ現在は、宅地ハザードマップの前段として、これから地道な調査を行い、大規模盛土造成地の実態を明らかにしていく段階であるといえよう。

ここでは、大規模盛土造成地の抽出に重点を置いて記述したが、本来は、まずどこに大規模盛土が隠れて（分布）いるのかを知ること、それを地図に表現して分布図を作ることからはじまる。ついで、その規模や形状を明らかにし、大まかな危険度評価をして重点箇所を抽出する。その後にと地盤調査や土質調査がはじまり、対策の検討となる。いつも地盤調査や土質調査は後回しではあるが、将来宅地ハザードマップが公表され、地方自治体や住民が危険区域の対策について真剣に考える状況になれば、変状点検や地質調査が都市周辺の造成地で活発となることが期待される。

参考文献

- 1) 釜井俊孝・守随治雄（2005）：都市造成地盤のハザードマップ、ハザードマップ—その作成と利用—、日本測量協会、pp. 107-111.
- 2) 釜井俊孝（2005）：2004年新潟県中越地震による都市域の斜面災害、応用地質、第46巻、第3号、pp. 138-144.
- 3) 大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドライン（案）（Web版）、国土交通省 都市・地域整備局、<http://www.mlit.go.jp/pubcom/06/pubcomt88/01.pdf>、2009年4月現在。
- 4) 国土交通省国土地理院地理調査部防災地理課（2009）：盛土地形データ作成及び地震による地盤変位の調査作業報告書、pp. 36-45

ヒートアイランド現象を抑制する地中熱利用

いしかみ たかし
石上 孝*

1. はじめに

地中熱利用ヒートポンプ (Geothermal Heat Pump: 以下, GeoHP と略す) システムは, 恒温性のある地中熱をヒートポンプの熱源として活用することで, 外気温の変動により効率が左右される空気熱源ヒートポンプに比べ成績係数 (Coefficient of Performance: 以下, COP と略す) が向上し, 更なる省エネルギー効果が期待できる。また, 寒冷地でも安定的に利用できることや, 化石燃料を使用するシステムに比べ二酸化炭素排出量を大幅に削減できることより, 近年国内でも注目度が高く, 導入件数も徐々に増えている (図1 参照)。

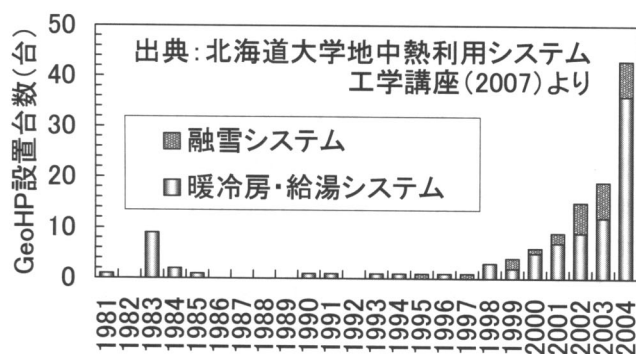


図1 国内の GeoHP システム設置件数

特に最近では, 地球温暖化を上回る勢いで進行中とされる, 都市部でのヒートアイランド対策技術としても認知されつつあり, 環境省では 2006 年度から 5 年計画により「クールシティ推進事業」と称した, 地下水・地中熱を利活用したヒートアイランド対策による地下水・地盤環境への影響評価を実施中である。最終年度 (2010 年度) には,

ヒートアイランド対策による影響評価のガイドラインを作成し, それ以降の地中熱や地下水を利活用したヒートアイランド対策の普及に役立てる計画である。この他にも環境省では現在, エネルギー特別会計における補助・委託・交付金事業の中で, 地中熱を単独項目として設けており, 特定条件下ではあるが補助率 1/2 が適用されている。また, 日経トレンディ (2003) ではヒートアイランド対策に, 地中熱を次世代型空調として取り上げており, 今後の GeoHP システムの普及促進に繋がることを期待したい。

本稿では, この GeoHP システムの概要と本システムに関する導入例として, 弘前市での冷暖房・融雪システムの長期運転実績値について紹介する。

2. GeoHP システムの概要

ヒートポンプとは, 熱を温度の低いところから高いところに汲み上げ利用するもので, 身近なところでは冷蔵庫やエアコンがこれに当たる。エアコンは室内の冷暖房に使用され, ヒートポンプが冷房時には室内の空気から熱を奪って室外に捨て, 暖房時には室外の空気から熱を奪って室内に運ぶ。冷蔵庫は庫内の熱を庫外に捨てることにより庫内を冷却する。両者の特徴は, 空気を熱源 (空気熱源ヒートポンプ) としていることである。これに対して GeoHP システムは, 年間を通じて温度がほとんど変化しない地中の熱エネルギーを取り出し, 暖房や融雪など温熱供給を行ったり, 熱を放出して冷房や冷却などへ冷熱供給を行うものである。地下に熱を捨て, 地下から熱を得る点がエアコンなどの空気熱源ヒートポンプと異なる (図2 参照)。つまり, ヒートアイランド現象の要因とされている排熱を空気中に放出しないため,

* 三菱マテリアルテクノ株式会社/資源・エネルギー事業部 ドリリング部/博士 (工学)

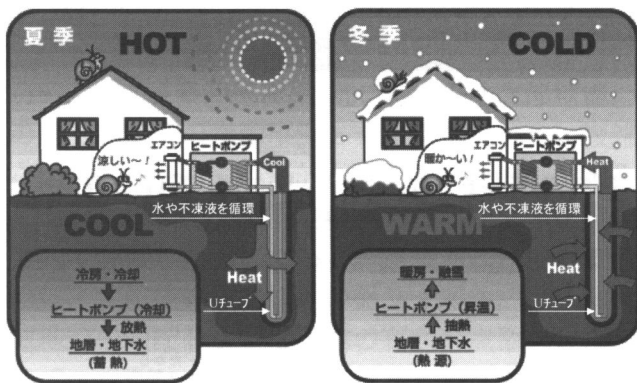


図2 GeoHP システムの概念図



写真1 まちなか情報センター



写真2 歩道融雪状況

ヒートアイランド現象の緩和に貢献できる。

GeoHP システムでは、地中に掘削した熱交換井内に U チューブ等の熱交換器を降下設置し、この熱交換器内に水や不凍液（エチレングリコールやプロピレングリコール等）などの熱媒体を循環させることで地中との熱交換を行う（図2 参照）。熱媒体より得られた熱源からの熱は、地上に設置したヒートポンプ内を循環する冷媒との間で交換され、冷暖房・給湯・融雪などに用いられる。

本システムの導入例として、弘前市における地中熱利用冷暖房・融雪システムの概要と約5年間の長期運転実績値を紹介し、後半に地中熱源評価と環境性評価について示す。

3. 弘前市における地中熱利用冷暖房・融雪システムの概要

2003 年度に弘前市が建設した“まちなか情報センター”（写真1 参照）内の冷暖房施設と隣接する歩道融雪（写真2 参照）の GeoHP システム系統図を図3 に示す。地中熱交換井は深度 90 m を 16 本掘削し、熱交換器として高密度ポリエチレン製の U チューブ（外径 0.0334 m、内径 0.0274 m）を 2 組設置している。熱交換器の接続は、2 本の熱交換井を直列に接続し、合計 8 系統（並列）で構成され、冷暖房および融雪用地中熱源ヒートポンプの共通熱源となっている。また、地中熱交換器と孔壁との間のクリアランスは、藤井ほか（2003）にて高熱伝導性と低透水性を確認したベントナイト添加珪砂骨材モルタルで充填し、循環流体にはエチレングリコールの 30% 溶液を用いている。

冷暖房は、室内空調機器としてファンコイルユニットを合計 8 台設置しており、暖房時には FF 式石油温風暖房機と併用する。歩道融雪は、舗装構造が上から御影石 0.03 m、空隙モルタル 0.03 m、コンクリート 0.06 m であり、放熱管（架橋ボ

リエチレン管、外径 0.0215 m、内径 0.0175 m）がかぶり 0.092 m の位置に設置されている。放熱管布設ピッチは 0.2 m である。

地下熱物性値推定を目的として行われるサーマルレスポンス試験は、施工中の平成 15 年 9 月に実施し、藤井ほか（2002）に基づく解析結果より、地層の有効熱伝導率を $2.25 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ と算出している（石上ほか、2007 a）。この値は、湿潤土壌の標準的な熱伝導率の範囲 $1.5 \sim 2.0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ （熱物性ハンドブック、1990）に比べ、多少大きな値を示しており、地下水による熱移流の影響と考えられる。

4. 長期運転実績値

本施設における GeoHP システムの稼働は、2004 年 4 月からであり、1 年目（平成 16 年度）は試運転調整期間を含んでいるが、これまでの約 5 年間大きなトラブルもなく順調に稼働している。以下に、2004 年 4 月 1 日から 2009 年 1 月 20 日までの約 5 年間の長期運転実績値について示す。

年度ごとのシステム出力（二次側への供給熱

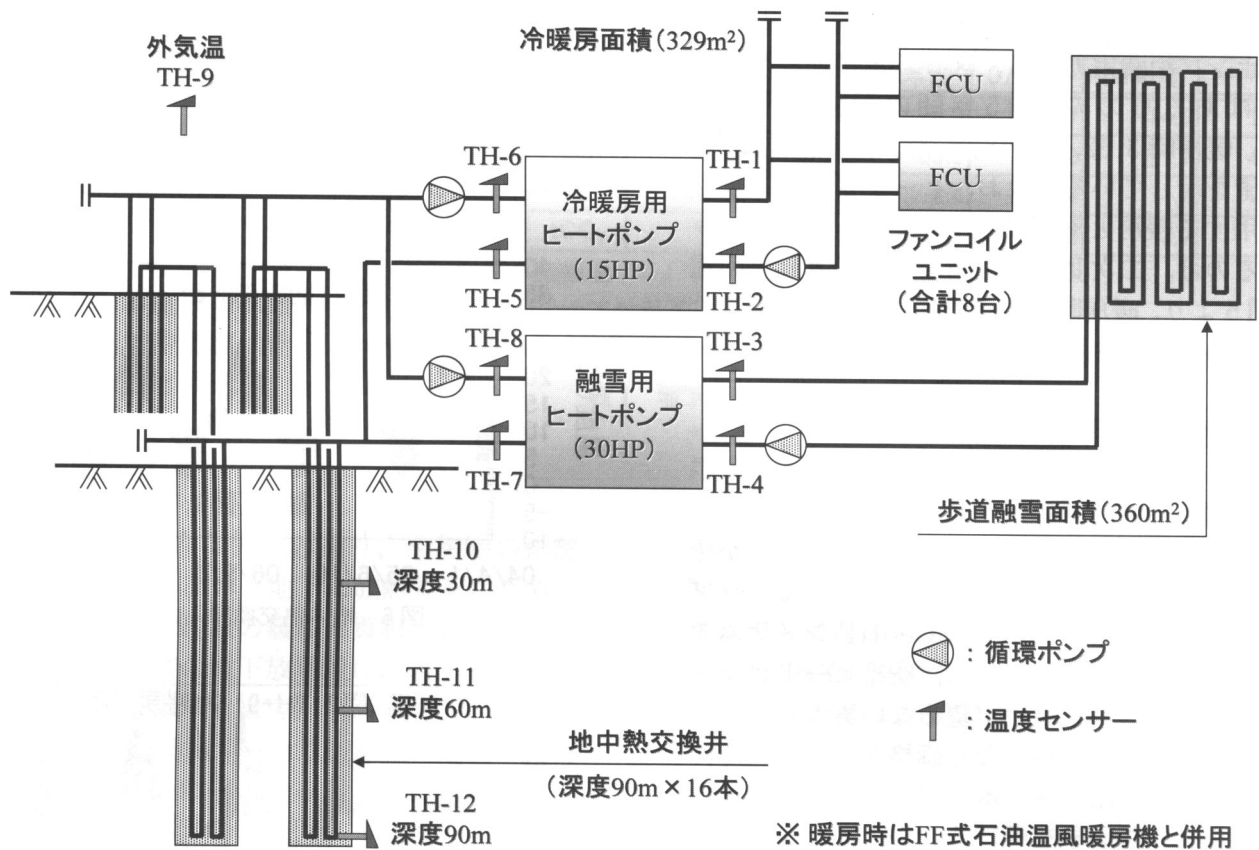


図3 地中熱利用冷暖房・融雪システム概念図

(注記)08年度:09/01/20までの値

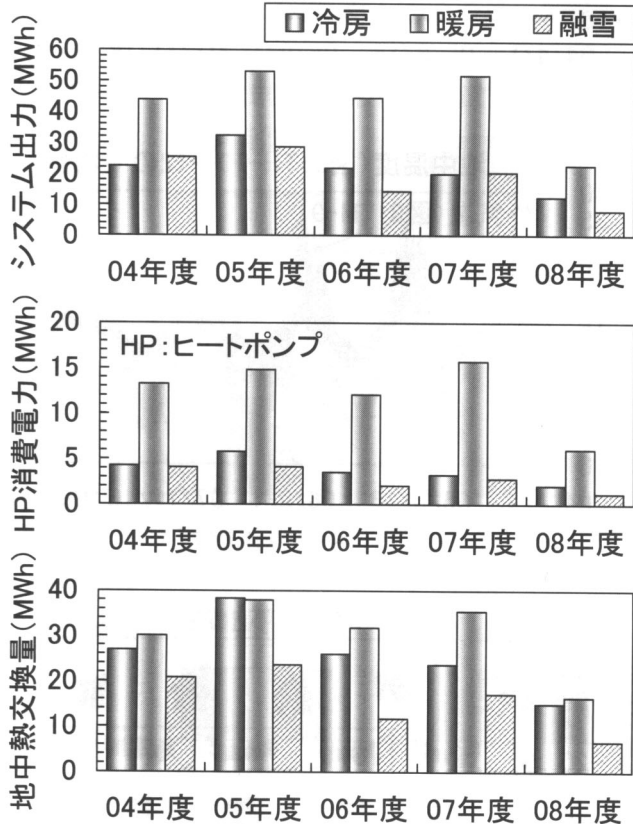


図4 年度ごとのシステム出力, HP消費電力, 地中熱交換量

量), ヒートポンプ消費電力, 地中熱交換量について図4に示す。図4より, 本施設は寒冷地のため, 冷房のシステム出力に比べ暖房のシステム出力が

(注記)08年度:09/01/20までの値

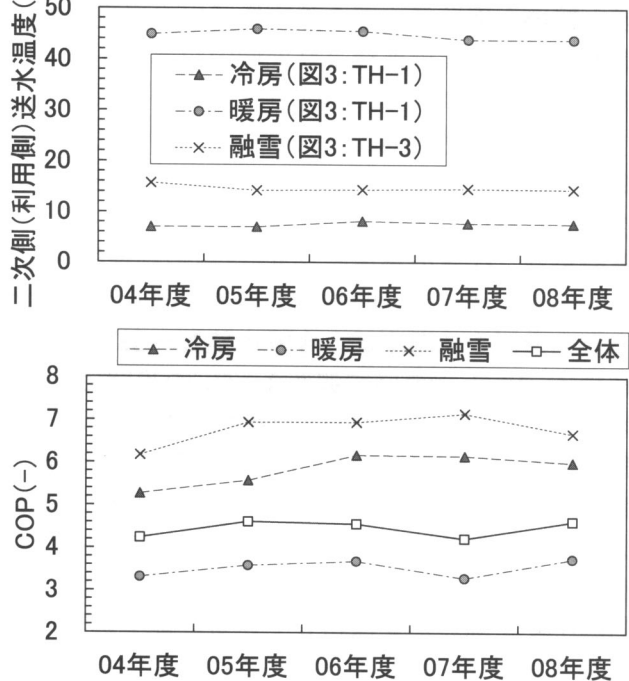


図5 年度ごとの二次側送水温度およびCOP

圧倒的に大きく, 結果的にヒートポンプの消費電力も暖房が最大となる。融雪のシステム出力は冷房と同程度であるが, 暖房と地中熱源を共有しているため, 暖房および融雪時の地中熱交換量(採熱量)は, 冷房時の地中熱交換量(放熱量)の約1.8倍となる。

その結果、年度ごとの COP(=システム出力/ヒートポンプ消費電力) は、図 5 に示す通り多少の変動はあるものの、約 5 年間の累積で冷房時 5.83、暖房時 3.52、融雪時 6.77、全体で 4.43 と高い値を示している。なお、ヒートポンプを加熱で利用する暖房と融雪で COP に大きな違いがみられるのは、二次側(利用側)への送水温度の違い(図 5 より、暖房時で約 45°C、融雪時で約 15°C)によるものである。

5. 地中熱源評価

現在国内では、同じヒートポンプシステムでも空気を熱源としたもの(空冷ヒートポンプ)が圧倒的なシェアを占めており、市場におけるトップランナーと言える。そのため、GeoHP システムで使用する水冷ヒートポンプは、空冷ヒートポンプ程度の開発投資や量産化が望めない実態にあり、製品のラインナップが少なく価格が高い。また、各メーカーは空冷ヒートポンプの高効率化に注力しているような印象を受ける。以上のような市場規模の違いより、先に示した COP のみでは、GeoHP システムの性能を判断するのに十分とは言えない。よって、地中熱交換器出口温度や地中温度と外気温との比較より、地中を熱源とすることの優位性について評価を行う。

図 6 に地中熱交換器入口温度を、図 7 に地中熱交換器出口温度を、図 8 に地中熱交換井温度を示す。これらは、すべて約 5 年間の実測値のプロットであり、図 3 の温度センサー(白金測温抵抗体)位置と対応するよう明記している。図 6 より、地中熱交換器入口温度は、冷房時で 15~28°C、暖房時で 4~13°C、融雪時で概ね 1~6°C の範囲にある。地中熱交換器出口温度は図 7 より、冷房時で 14~22°C、暖房時で 6~15°C、融雪時で 6~12°C であり、初期地中温度約 14°C から多少変動はするものの、すべての期間で地中を熱源とする優位性(冷房時は外気温よりも低く、暖房および融雪時は外気温よりも高い)を保持している。地中熱交換井温度も同様に、図 8 よりすべての期間で外気温に比べ夏期は低く、冬期は高くなっている。

次に単位深度あたり地中熱交換量に関して図 9 に示す。図 9 は地下への放熱と地下からの採熱を区別するために、夏期の地中熱交換量をプラスで示し、冬期の地中熱交換量をマイナスで示している。図 9 より、冷房時の地下放熱量は 15~45 W/m、暖房時の地下採熱量は 10~20 W/m、融雪時(暖房との同時運転含む)の地下採熱量は 45~80

W/m であり、暖房と融雪の同時運転時に地中熱交換量が最大となる。暖房と融雪同時運転時の単位深度あたり地中熱交換量の平均値は約 60 W/m であり、融雪運転時の約 40% は暖房運転と同時に行われている(石上ほか, 2007 b)。ただし、この

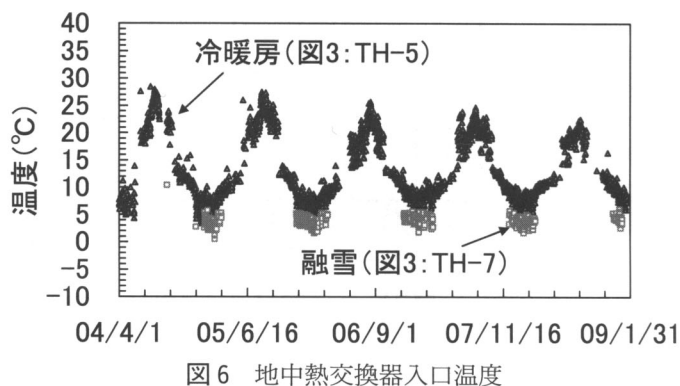


図 6 地中熱交換器入口温度

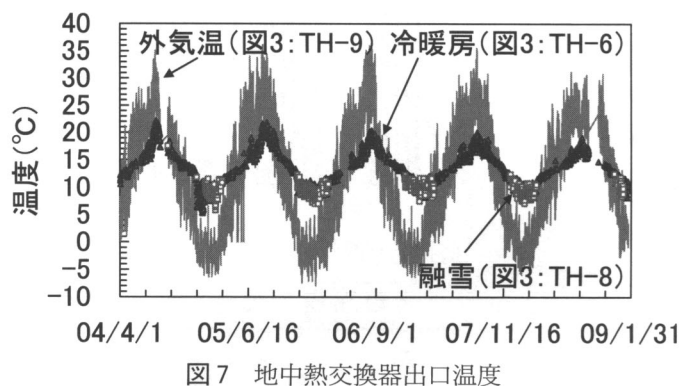


図 7 地中熱交換器出口温度

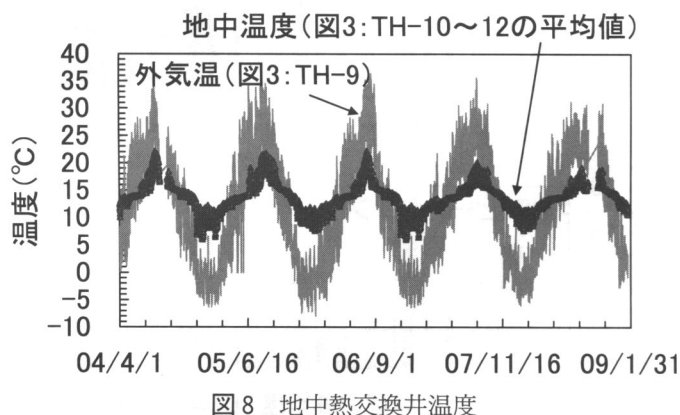


図 8 地中熱交換井温度

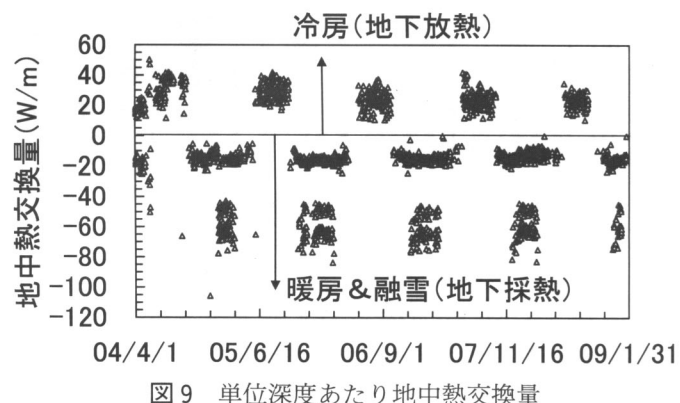


図 9 単位深度あたり地中熱交換量

地中熱交換量が最大となる期間の運転時間が短いことや、本地域における地層の有効熱伝導率が高いことにより、図8に示す通り地中温度の低下はみられない(石上ほか, 2007b)。

以上より、本施設の稼働条件に対して、地中熱源は十分に機能していると言える。

項目	単位	数値					
		04年度	05年度	06年度	07年度	08年度	トータル
①地下放熱量	MWh	26.9	38.3	26.0	23.7	14.9	129.8
	GJ	97.0	138.0	93.5	85.2	53.7	467.3
②原油換算値	kL	2.5	3.6	2.4	2.2	1.4	12.2
③CO ₂ 換算値	tCO ₂	6.6	9.5	6.4	5.8	3.7	32.0

①地下放熱量=実績値

②原油換算値=①地下放熱量(GJ)÷原油の発熱量(38.2GJ/kL)

③CO₂換算値=①地下放熱量(GJ)×原油の炭素排出係数(0.0187tC/GJ)×(44/12)

表1 地下放熱量の原油およびCO₂換算値

6. 環境性評価

GeoHP システムは先述の通り、冷房時の排熱を大気中に放出しない(地下に放熱する)ため、ヒートアイランド現象の緩和に貢献できる。本施設における冷房時の地下放熱量は、表1に示す通り、約5年間で129.8MWh(467.3GJ)であり、この値を原油に換算すると12.2kL、CO₂に換算すると32.0tCO₂に相当する。これらの値からも、ヒートアイランド現象の一因と言われている排熱を削減できていると考えられる。

次に本施設における地中熱利用冷暖房・融雪システムと在来システム(冷房:空冷チラー,暖房:

灯油ボイラー,融雪:電気融雪)とのランニングコスト,エネルギー消費量,CO₂発生量の比較結果を図10に示す。図10より,本施設では約5年間で,ランニングコストを48%(3,620千円),エネルギー消費量を46%(1,072GJ),CO₂発生量を50%(71tCO₂)削減していると試算され,GeoHPシステムの優れた省エネ性および省CO₂を実証する結果が得られた。

7. おわりに

本稿では,GeoHPシステムの現状と概要,そして導入例として弘前市での地中熱利用冷暖房・融雪システムの約5年間の長期運転実績値について紹介した。その結果,COPが冷房時で5.83,暖房時で3.52,融雪時で6.77,全体で4.43と高く,GeoHPシステムの効率が優れていることを示した。

また,これら長期運転実績値に基づく地中熱源評価では,地中熱交換器出口温度と地中温度は,外気温に比べ夏期には十分低く,冬期には十分高いことより,地中を熱源とする優位性を温度レベルからも示すことができた。

最後に環境性評価を実施し,ヒートアイランド現象の一因と言われている排熱を約5年間で129.8MWh(467.3GJ),原油換算値で12.2kL,CO₂換算値で32.0tCO₂削減できており,在来システムと比較してもランニングコストで48%減,エネルギー消費量で46%減,CO₂発生量で50%減という結果が得られた。

以上の結果が,国内ではまだ導入実績の少ないGeoHPシステムの長期的信頼性に繋がることを期待したい。

謝辞

まちなか情報センターにおける冷暖房運転実績データおよび隣接する歩道融雪運転実績データをご提供戴いた弘前市担当者のみなさまにお礼を申

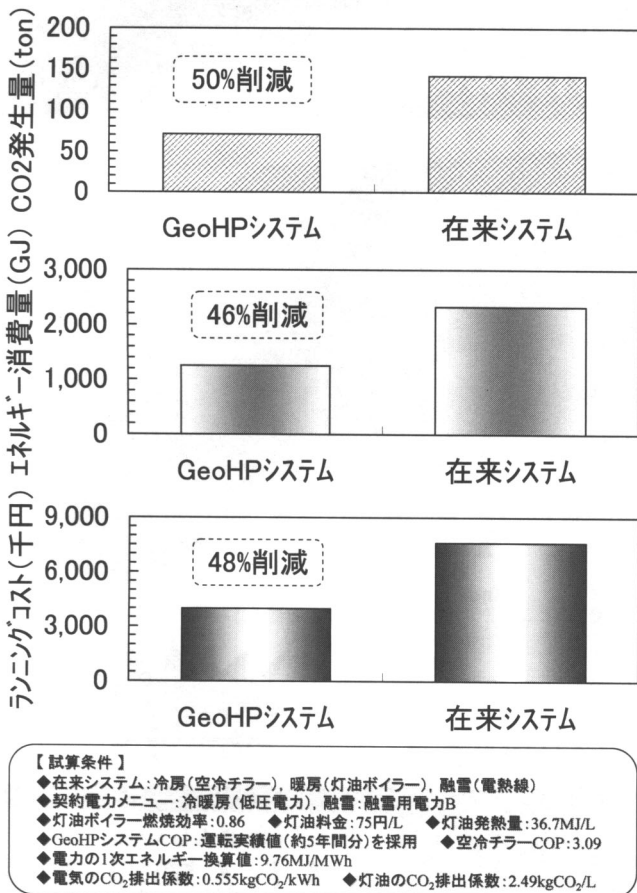


図10 ランニングコスト,エネルギー消費量,CO₂発生量比較

し上げる。

参考文献

藤井 光・秋林 智 (2002) 大地結合ヒートポンプシステム熱交換井設計における温度応答試験解析, 資源と素材, 118, p. 75-80.

藤井 光・石上 孝・大島和夫 (2003) 大地結合ヒートポンプシステム熱交換井におけるグラウト材の熱特性改善, 資源と素材, 119, p. 403-409.

北海道大学地中熱利用システム工学講座 (2007) 地中熱ヒートポンプ, p. 15.

石上 孝・藤井 光・糸井龍一 (2007 a) 地中熱利用冷暖

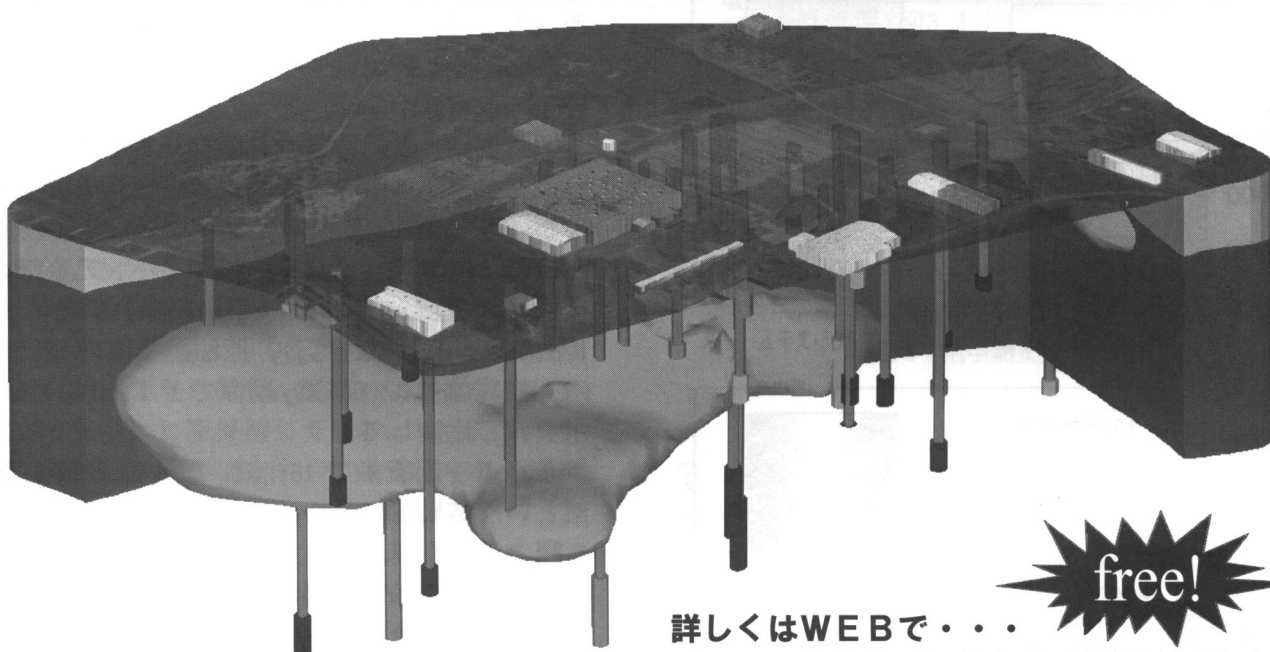
房・融雪システムにおける垂直型 U 字管熱交換井の運転実績評価, 日本地熱学会, Vol. 29, No. 2, p. 91-102.

石上 孝・渡部敦史・鈴木良知・石黒幸治・関 義則・加藤宏之・大島和夫 (2007 b) 弘前市における地中熱利用冷暖房・融雪システム—長期運転実績値からの地中熱源評価—, クリーンエネルギー, Vol. 16, No. 5, p. 57-61.

日本熱物性学会 (1990) 熱物性ハンドブック, 養賢堂, 625 p.

日経トレンディ (2003) ヒートアイランドが生む新ビジネス, 7月号, p. 113-116.

3次元可視化モデル自動作成配信サービス



詳しくはWEBで...

free!

有限会社 太田ジオリサーチ

<http://www.ohta-geo.co.jp/> TEL 078-907-3120(担当:林)

<http://www.あんしん宅地.jp/>
あんしん宅地. JP

地下水の回復に伴う鉄道施設の地下水障害と対策

しみずみつる
清水 満*

1. はじめに

我が国の都市部における地下水位の変動は、明治以降の産業の発展とともに低下が徐々に進み、高度経済成長期の取水急増により急激な低下とこれに伴う地盤沈下を生じさせた。この地盤沈下対策として1960年代より取水規制が強化され、これにより地下水位が急激に回復に向かうとともに地盤沈下が収まって行った。しかし取水規制はその後も維持されているため、急激な水位の上昇は収まったもののその後も緩やかではあるが上昇は継

続しているようである。(図1)

都心部における鉄道をはじめとする地下施設は、高度経済成長期に建設されたものが多く、またこの時期は被圧地下水位が大きく低下していた時期とも一致している。例えばJR東日本における1960年以降に建設された東京地区の主な路線を見てみると、1972年に開業した総武快速線(東京～錦糸町)、1976年開業の東海道横須賀線(東京～品川)、1973年開業の東海道貨物別線(東京貨物ターミナル～川崎貨物ターミナル)、1985年開業の東北新幹線(上野～大宮)がある。このように

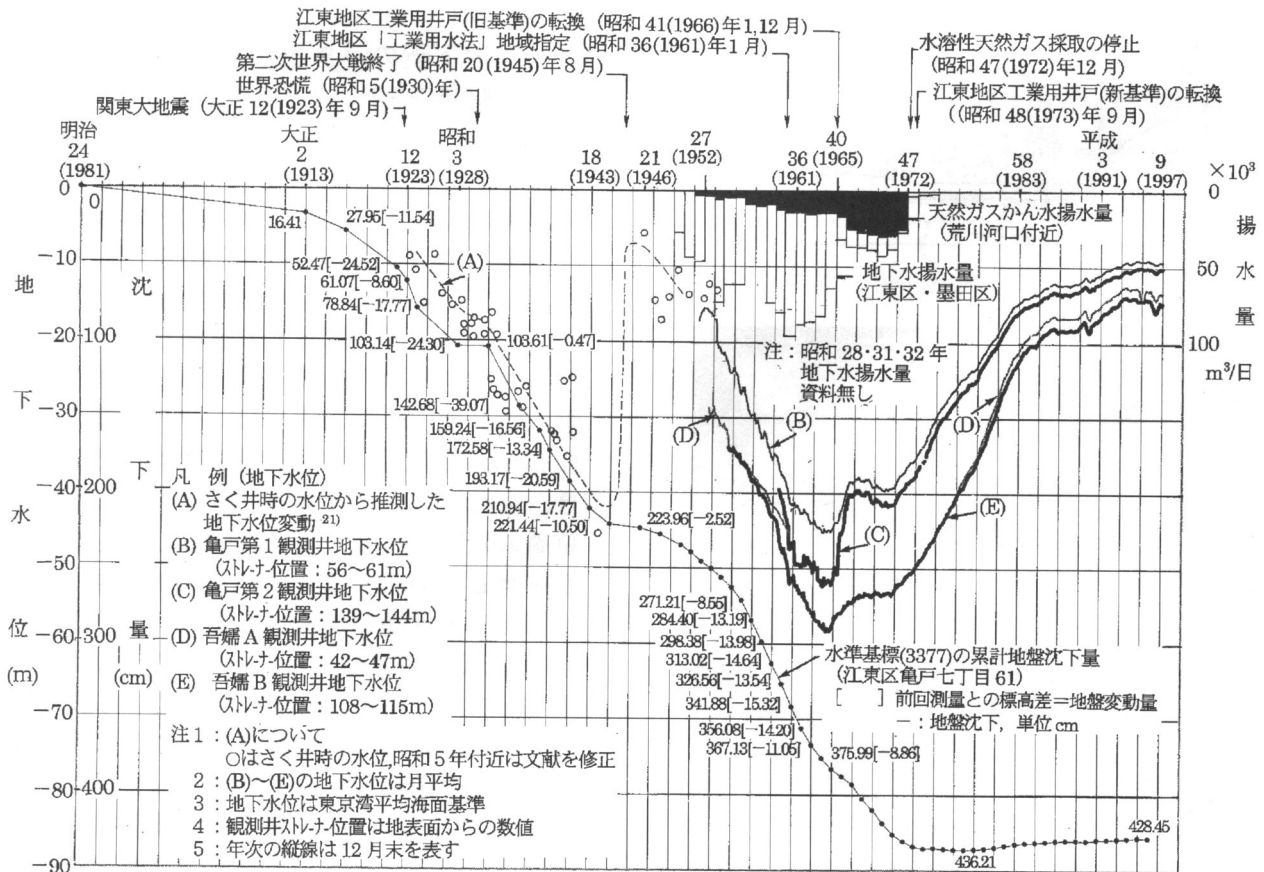


図1 東京都心部の地下水位変動¹⁾

* 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所

被圧地下水位が大きく低下していた時期に建設された地下構造物においては、漏水による部材や構造物内設備の劣化の問題が生じ、特にターミナルとなる地下駅（深さに対して横幅が長い）などの構造物においては構造物自体の浮き上がりの問題が発生してきている。また、浅部に位置する地下構造物においても、近年の異常気象などにより集中的な降雨による急激な自由水の水位上昇により浮き上がることも考えられる。

2. 地下水位の変動が地下構造物に与える影響（武蔵野線新小平駅）

1991年10月6日に降り始めた降雨は、東京都心部において11日までに連続降雨量227mmとなり、11日23時15分頃、武蔵野台地を掘割形式で構築していた武蔵野線新小平駅のU形擁壁（幅20.2m、高さ11.6m）が、地下水の揚圧力により延長120mにわたり最大1.3m隆起し、U形擁壁のブロック目地が最大70cm開口した。（図2、写真1）²⁾

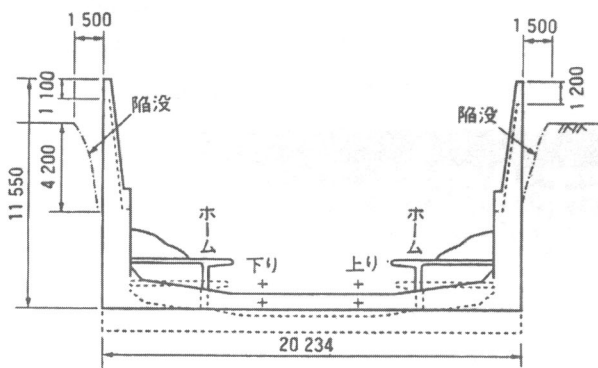


図2 新小平駅断面図²⁾



写真1 隆起し土砂が流入した新小平駅²⁾

この隆起に伴い擁壁背面の土砂と大量の地下水が流入し、武蔵野線（西国分寺～新秋津）は、災害復旧が完了するまでの2カ月間にわたり長期不

通となり、旅客および貨物輸送に多大な支障を与えることとなった。

U形擁壁の底面は、表層の関東ローム層（層厚3～5m）の下に位置する武蔵野礫層（層厚12～13m）の中ほどに位置しており、この礫層は透水性のよい層（ $k=1 \times 10^{-1}$ m/s程度）であった。この武蔵野礫層の地下水は主にロームを浸透する降雨により涵養されており、特に新小平駅周辺地域は降雨による地下水位上昇が生じやすい地点であることが確認された。

この武蔵野砂礫層の地下水位の変動を、新小平駅東方約1kmの地点で1968年以降継続して観測していた記録があり、これによるとこの年の8月以降災害発生までの間に地下水位が9m急上昇し、GL-2.5mまで達していたことが判明した。災害発生時の地下水による揚圧力は、1,610 kN/mで擁壁の自重と摩擦抵抗力の1,248 kN/mを上回るものであった。

災害復旧は、長期的な地下水位の変動を考慮して対策を行うこととし、地表面まで地下水位が上昇しても再変状しない設計とした。このため復旧工事は将来的な軌道部分の再構築と永久グラウンドアンカー（1,350 kN/本、120m区間に150本を施工）で行っている。

3. 地下駅の浮き上がり対策（東北新幹線上野地下駅）

東北新幹線上野地下駅は、洪積台地（上野公園）の崖下に位置する在来線（東北・常磐線）と区道80号線の直下に構築されており、駅中央部断面は、高さ27m、最大幅48m、全延長840mの4層の地下駅であり、構築下床版までの最大深さは約30mである。地下駅の構造は、軌道階であるB4階が鋼とRCの合成構造で、それより上のB1～B3階は鋼構造となっている。地下駅周辺の土質は、地表面より約-16m（地下3階付近）までは東京層の砂層で、この層は自由水と考えられる地下水を有している。この下位には厚さ約10mの東京層のシルト層が堆積しており、この層は平均N値15程度の締まった層である。この層は上部層と下部層を隔てる不透水層となっている。このシルト層の下部には、東京礫層および江戸川砂層が堆積しており両層とも豊富な地下水を有していることから、上位のシルト層により被圧状態にある。駅躯体に影響を及ぼしているのは東京礫層および江戸川砂層に存在する被圧地下水である。（図3）

上野地下駅は、1978年に建設工事に着手し、

1985年3月に供用を開始している。地下駅部の東京礫層および江戸川砂層の深層地下水位は、建設開始時点ではGL-38m程度であったが、開業時では約-18mまで急上昇し、1994年時点ではGL-14m程度まで上昇していた。(図4)このため、深層地下水の上昇が駅躯体に与える影響を検討したところ、地下水位がGL-13mで地下駅躯体の下床版が揚圧力により損傷を受け、GL-11.5mで駅躯体の浮き上がりの問題が発生する可能性があることが判明した。このためJR東日本では、直ちに対策工を検討することになった。

地下水位上昇に対する対策として、①補強スラブの増設による下床版の補強、②グラウンドアンカーによる下床版の

固定、③カウンターウェイトの载荷、の3案を検討したが、①案は列車運行への影響が大きいこと、②案は被圧地下水下でのグラウンドアンカーの施工性の問題があること等から、③案のカウンターウェイトの载荷により対策工を実施することとした。カウンターウェイトとして、鉄塊(インゴット)と鉄粒コンクリートをホーム下の下床版の空間に設置することとし、1995年~1997年にかけて第1次対策として約3.7万トンの载荷工事を完了した。この対策により、地下水位がGL-11mまで上昇しても対応できる構造に補強を行った。

その後、1次対策完了以降も地下水位の変動を観測してきたが、2003年にGL-12m近くまでの水位の上昇が確認されたことから第2次対策の検



図3 東北新幹線上野地下駅断面図³⁾

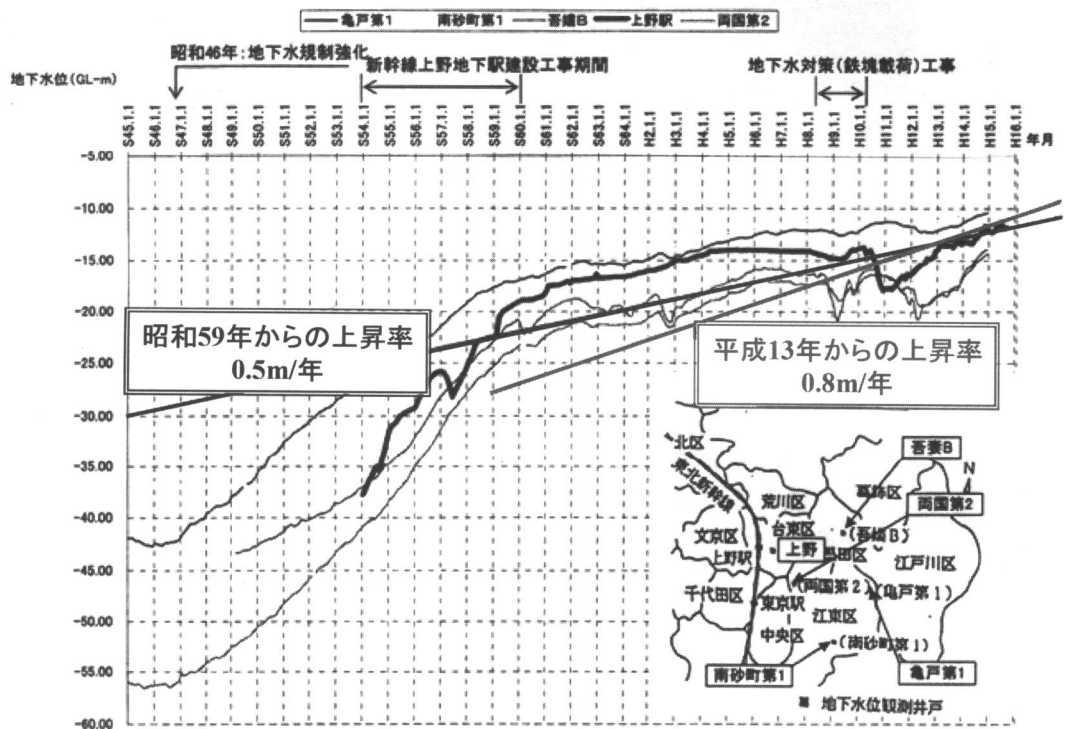


図4 上野駅付近の地下水位変動³⁾

討を進め、2000年に総武東京地下駅で開発した永久グラウンドアンカー工法(約600本)による第2次対策を行うこととなった。今回の第2次対策ではGL-7.5mまでの水位上昇にまで耐えうる対策とした。(図5)

対策工の設計は2次元の骨組み解析を基本とした検討を行った。検討では地下水位の上昇に伴う増加水圧に対して下床版および側壁部材が終局に至らないこと、躯体が浮き上がらないことを確認することとしてアンカーの配置および本数を決定した。グラウンドアンカーの施工においては、アンカーを設置する下床版は被圧地下水下であることから、グラウンドアンカーの所定の機能を確保するため、設置孔からの地下水の噴出を防ぎな

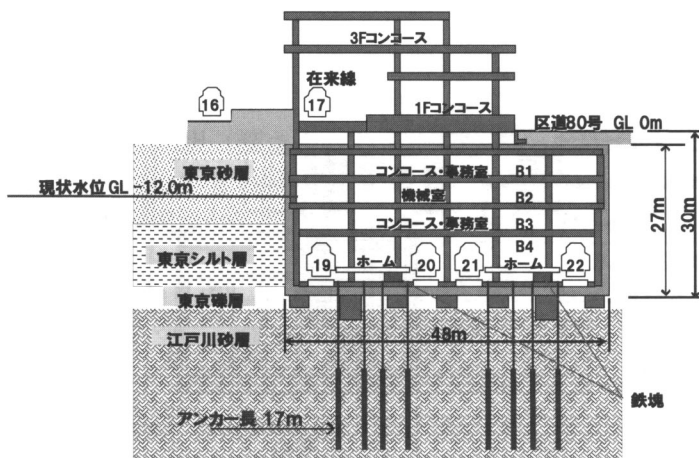


図5 上野地下駅地下水対策断面図³⁾



写真2 止水ボックス設置状況³⁾

から施工しなければならない。このため、止水ボックス、口元パッカー、マウスパッカー、特殊パッカーなどの止水機構を設け止水性を考慮した施工を実施した（写真2）。

これら対策検討においてもっとも困難な課題は、将来の地下水位の想定である。過去には地下水が自噴していたなどの話もあり、また周辺ビルの存在など周辺環境の変化による水位上昇への影響も考えられ、将来どこまで水位が上昇するかが想定困難である。上野地下駅の検討においては、東京都などの観測データを参考にGL-5.0mを一応の最終的な地下水位と仮定し、対策を地下水位の変動に応じて段階的に施工することで最終水位に対応可能な全体補強計画を策定している。なお、緊急的な地下水位の急上昇に対処できるように、地下駅山側に揚水井戸7本を設置しており、不測の事態に適用可能な体制を備えることとしている。

4. トンネルの漏水対策（総武トンネル）

総武トンネルは、1965年～1972年に都市部に建設された並列の単線シールドトンネルである。セグメントは、外径φ7060mmのRCおよび合成セグメントが使用されている。建設時の地下水位は、

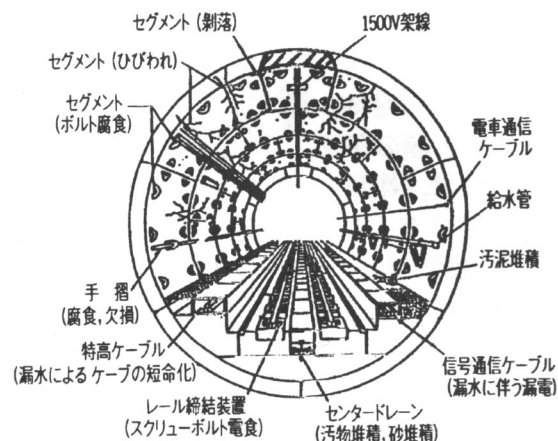


図6 漏水によるトンネル変状⁴⁾

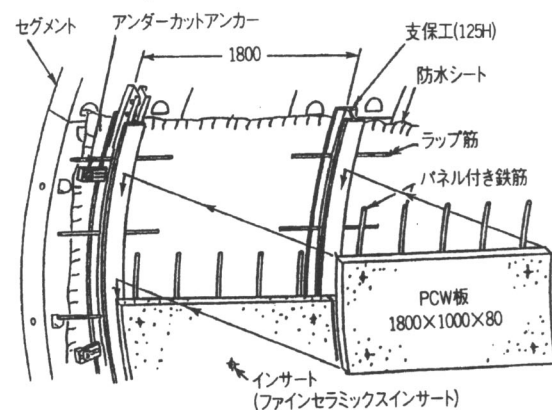


図7 二次覆工概念図⁴⁾

トンネル下部に位置しており、二次覆工を省略して供用が開始された。

供用開始後、地下水の汲み上げ規制が強化されたため、トンネル天端上方まで水位が回復し、1970年代後半からトンネル内への漏水、レール腐食、鉄筋腐食等が発生し始めた（図6）。

このため、注入による止水工や集水桶の設置等の対策が行なわれたが、漏水による湿気と列車走行による新鮮な空気の供給により、セグメントの継手金物等鋼材部分の腐食が進行する結果となっていた。これらの変状に対する恒久的対策として二次覆工の施工による対策が図られている。

二次覆工の構造は、既設セグメントに防水シート（1mm厚）を張り、シート下部に排水管を設置後、H鋼支保工（125H、ctc 1800mm）を設置し、このH鋼間にプレキャストコンクリート板を取り付け、既設セグメントとプレキャストコンクリート板の空隙にモルタルを注入するという構造になっている（図7）。

シールドトンネルに限らず、漏水は様々な劣化の要因となり得ることから重要な問題である。しかし、シールドトンネルは比較的高い地下水圧下であり、その構造は多くの継手を有していることから、漏水を完全に止めることは困難である。

本事例の場合、地下水位の上昇という環境変化により漏水が発生し、トンネルの耐荷能力に問題はなかったものの漏水によるトンネル内設備の劣化およびセグメントの劣化、漏水に伴う背面土砂流出によるトンネルの不安定化などの変状に対する恒久的対策として二次覆工の施工が採用された。

5. 地下構造物への漏水とその有効利用

前述のように、地下構造物は大都市圏に集中しており、その多くは被圧地下水位が大きく低下していた時期に建設されたものである。このため、地下水位の上昇に伴い地下構造物の漏洩地下水の取り扱いも施設所有者にとって大きな課題となっている。これに対して、地下施設が存在する地域が清潔な水を必要としており、地下構造物に漏洩してくる清潔な地下水がこれに利用することが可能であれば、地域と施設保有者にとって大きなメリットが生じることとなる。

(1) 武蔵野線国分寺トンネル湧水を利用した環境改善事例

地方自治体においても水循環の保全という見地から、従来から実施している地下水保全対策に加え、漏洩地下水の環境用水への活用を行い健全な水循環の回復を図る試みを実施している。

この考え方を鉄道トンネルの漏洩地下水に始めて適用した事例が、武蔵野線国分寺トンネル湧水の河川導水事業である。

国分寺トンネルは、武蔵野線と中央線を連絡する支線として武蔵野台地に構築された開削トンネルであり、高さ5.5m、幅6.8m、土被り3.5mの単線トンネルである。このトンネルは1973年に供用を開始しているが、武蔵野台地内の地下水流を横断する方向に位置しているため、1974年と1991年の大降雨時に地下水が湧水し、周辺住宅床下を浸水するという事象が発生した。このため、異常気象等による大雨により地下水位が急上昇した場合においても、周辺住宅地で湧水が発生しないようにトンネル側面に水抜きパイプ（φ50mm：24

本、φ100mm：83本）を設置し、地下水位上昇対策を行った。これによる水抜きパイプからの地下水は、漏洩地下水の取り扱い指導指針にのっとり下水道へ放流していた。

一方、多摩川支流の野川では、都市化の進展による流域湧水の現象、枯渇、下水道の普及のため、水質は向上しているものの水量が減少し、冬季の渇水期には水流が途絶えるという問題が生じていた。この問題の対策として、国分寺トンネルの湧水を活用することとし、国分寺市、東京都、鉄道事業者と協議を重ね、トンネル湧水を野川に放流することとした。この放流に伴う導水路等の設置費用は、JR東日本が下水道処理費の負担が軽減されることからこれを負担することとし、延長1,180mの導水路を2002年に完成させ、1日約2,000m³のトンネル湧水を放流している（図8）。

なお、放流先は地方自治体の意向により、昔あった「姿見の池」の復活を考慮し、この池に放流することとした。本事業により、トンネル湧水を姿見の池の復活と野川の再生を実現している。

(2) 総武快速線トンネル内漏水を活用した立会川の水質改善⁷⁾

総武快速線東京～錦糸町間の延長3.0kmは、1966年に建設着手し1972年に開業した単線並列シールドトンネルである（図9）。本トンネルを計画・設計した時期は揚水規制以前であり、施工時においても地下水がない状態であったため、トンネルの覆工は地下水の影響を想定せず、セグメントによる一次覆工のみの構造とした。

このため、供用開始後の深層地下水位の上昇により多量の漏水が生じ、レール・付属品の腐食やマクラギの劣化などで、線路の維持管理に多くの費用と労力を費やす状況となっていた。深層地下水位が上昇するにつれて漏水量も増大し、2000年時点では1日当たりの排水量が4,500m³にもなっていた。これらの漏水はトンネル勾配に沿って自然流下させ、区間最深部の馬喰町排水所と東京駅銭瓶排水所のピットに一旦貯水した上で、電動ポンプにより汲み上げて下水道に放流していた。

なお、漏水の水質は塩素イオンが若干多いが、海水の1/10程度のため中水（上水と下水の間、リサイクルして限定した用途に利用）と使用しても問題がないレベルのものである。

このような状況の中で、武蔵野線湧水の水循環への活用事業が推進されていたことから、総武トン

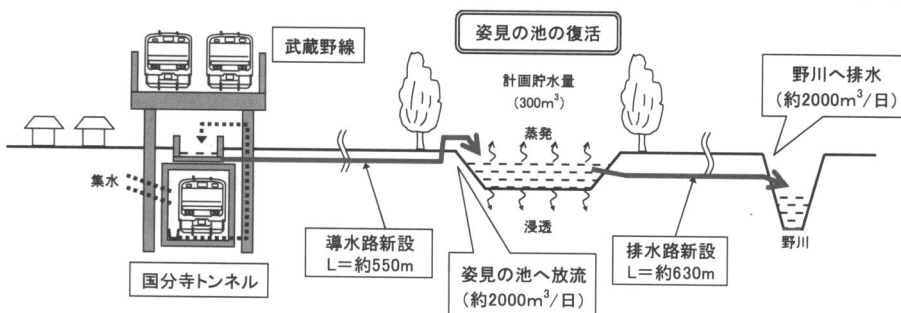


図8 国分寺トンネルの湧水活用事例⁵⁾

ネルにおいてもトンネル内漏水を環境用水として有効活用すべく関係自治体と協議を進めることとなった。この協議の中で、河床が3面張り自然湧水がほとんどなく、下水流入により水質悪化が著しい品川区内の立会川に漏水を放流する提案があり、東京都、品川区、鉄道事業者の三者でトンネル内漏水を活用した立会川の水質改善に取り組むことになった。

立会川の水質改善においては、総武トンネルの馬喰町排水所から品川区の立会川放流口までの、12.3 km 区間の送水設備が必要となった。具体的な送水設備としては、各排水所のポンプ新設、銭瓶排水所の貯水タンク新設、馬喰町駅～東京駅～品川駅～立会川の送水管（ダクタイル鋳鉄管φ250、φ350）新設である。これらの送水設備の新設費用および維持管理については、鉄道事業者が負担することとした（図9）。また、豪雨時には所定量以上の地下水を立会川に放流しないように、雨量観測機器と連動して放流先を下水道に変更する管理システムも導入している。

送水設備の新設工事は2001年より着手し、2002年7月より放流を開始した。トンネル漏水の開始後においては、周辺住民からの立会川に対する悪臭苦情が大幅に減少し、魚影が見られなかった放流口付近にもボラが遡上してくるなど、河川環境の改善が図られている。

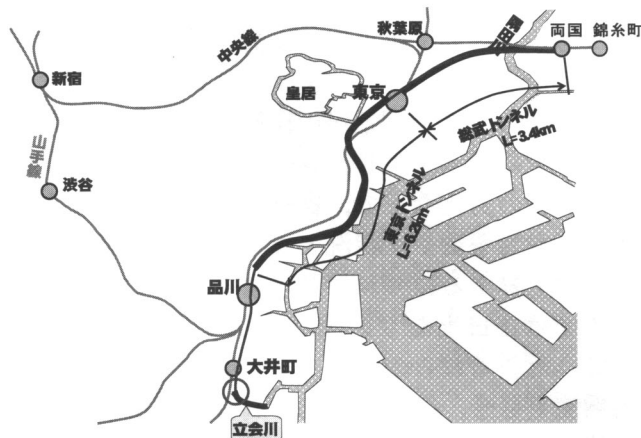


図9 総武快速線トンネル⁵⁾

(3) 東北新幹線トンネル内漏水による不忍池の水質改善⁷⁾

東北新幹線上野トンネルは、上野地下駅を中心に約3.5 kmが地下部分となっており、このトンネル内の漏水は駅部をはさみ東京駅方の上野立坑と大宮方の下谷、日暮里立坑に集水し、下水道へ放流していた。トンネル内漏水量は合計270 m³/日であった。

このような状況下において、東京都、鉄道事業

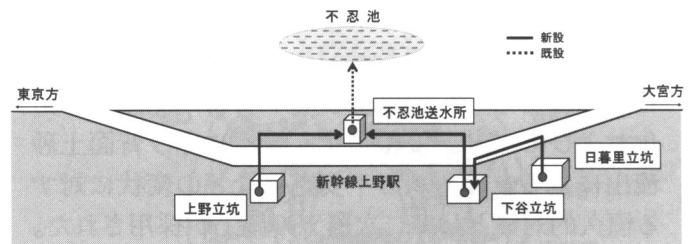


図10 新幹線上野トンネルにおける送水設備⁵⁾

者とでこのトンネル内地下水を活用することによる、不忍池の水質改善と地下水の涵養を図る事業について協議し、不忍池にトンネル内地下水を放流することとした。なお、不忍池は河川と接続しておらず、水の交換がないことから水質は必ずしもよくない状態であり、東京都ではさまざまな設備（曝気噴水ポンプ、生物膜酸化処理など）を池に設置し、水質浄化に取り組んでいた。

不忍池にトンネル内地下水を放流するには、上野駅地下部の既設貯水槽へ3つの立坑から地下水を送水する管路設備が必要であり、φ100～200 mmの導水管を延長3.2 kmに渡り鉄道事業者の負担で整備した。上野駅から不忍池への導水設備については、上野地下駅の深層地下水位上昇対策用に設置してあった導水路を活用することとした（図10）。

本工事は2002年から1年半の工期で完了し、2003年9月より放流を開始している。トンネル内地下水の水質はきわめて良好であり、水質改善効果に寄与することが期待されている。また、水質改善効果については、定期的に水質調査を継続していく予定である。

なお、不忍池については容量が限られていることから、導水した地下水がオーバーフローし下水道に流下した分については、鉄道事業者が下水道料金を負担することとしている。

引用・参考文献

- 1) 遠藤 毅, 川島真一, 川合将文: 東京下町低地における“ゼロメートル地帯”展開と沈静化の歴史, 応用地質, Vol. 42, No. 2, pp. 72～87, 2001.
- 2) 東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所: 武蔵野線新小平駅災害復旧工事誌, 1992.
- 3) 清水 満, 鈴木 尊: 地下水の上昇に対する地下駅の対策工事, 土と基礎, Vol. 53, No. 10, pp. 29～31, 2005.
- 4) 土木学会: トンネルの維持管理, トンネルライブラリー, 第14号, 2005.
- 5) 興石逸樹, 相沢文也: 都心部の地下水変動による鉄道トンネルへの影響, トンネルと地下, Vol. 35, No. 4, pp. 41～48, 2004.

表1 過去15年程度以内に発生した大規模災害（震災，水害）

震災名	全壊(棟)	半壊(棟)	火災(棟)	災害廃棄物推定量(t)
平成7年 兵庫県南部地震	104,906	144,274	261	14,169,443
平成12年 鳥取県西部地震	435	3,101	不明	158,840
平成13年 芸予地震	69	558	4	27,932
平成15年 宮城県北部地震	1,276	3,809	0	254,440
平成15年 十勝沖地震	116	368	2	24,046
平成16年 新潟県中越地震	3,715	13,808	9	849,727
平成17年 福岡県西方沖地震	17	159	1	7,743
平成19年 能登半島地震	684	1,733	0	124,040
平成19年 新潟県中越沖地震	1,319	5,621	1	330,383
平成20年 岩手・宮城内陸地震	28	112	4	6,812
水害名	全壊(棟)	半壊(棟)	床上浸水(棟)	災害廃棄物推定量(t)
平成11年 梅雨前線，低気圧	173	122	3,844	20,707
平成12年 停滞前線，台風第14・15・17号(東海豪雨)	30	176	22,885	106,802
平成12年 台風第16号	34	62	702	4,071
平成14年 台風第6号，梅雨前線	14	27	2,533	12,008
平成15年 梅雨前線	51	56	3,558	17,389
平成16年 新潟・福島豪雨	71	5,657	1,916	46,500
平成16年 福井豪雨	57	142	3,323	16,944
平成16年 台風第16号	29	95	16,799	78,267
平成16年 台風第21号，秋雨前線	79	273	5,798	29,464
平成16年 台風第23号，前線	909	7,776	14,323	128,156
平成17年 台風第14号，前線	1,217	3,896	3,551	57,358
平成18年 7月豪雨	313	1,457	1,980	22,616
平成19年 台風第4号と梅雨前線による大雨と暴風	26	26	420	2,436
平成19年 秋雨前線による大雨	19	239	401	3,643
平成20年 大気の状態不安定による大雨と突風	6	16	536	2,647
平成20年 8月末豪雨(東海豪雨)	3	5	1,678	7,790

備考1) 被災家屋棟数は、消防白書、内閣府DBより作成

備考2) 震災の災害廃棄物推定量は、木造と非木造を半々と仮定し、1棟の床面積を100m²として、全壊80t/棟、半壊40t/棟、火災による焼失23t/棟として計算した。水害の場合は、全壊12.9t/棟、半壊6.5t/棟、床上浸水4.6t/棟として計算した。

阪神淡路大震災では、神戸市の仮置き場で約800万tにのぼり、木質系が約460万t、コンクリート系が約340万tとなっている。新潟県中越地震では、長岡市の仮置き場で約15万t(内、木質系が約8万t、コンクリート系が約7万t)となっている²⁾。

水害の事例としては、平成16年福井豪雨において、福井市が約2万tの災害廃棄物量(市の2.4カ月分の量)になったのに対して、M町では約1,500tと見掛けは少ないが、約21カ月分の廃棄物量となった¹⁾。また、平成16年新潟・福島豪雨では、S市で約9.5カ月分の約3.7万t、N町で約11カ月分の約3千tの廃棄物量となっている⁴⁾。

さらに、アメリカのハリケーン・カトリーナ水害では、災害後1年4カ月の2006年12月の時点で、ルイジアナ州での災害廃棄物量は約2200万t(約4205万m³)であり、最終的に約5122万m³に

表2 主な災害の災害廃棄物量と種類

災害名	生活系	解体木質系	解体コンクリート系
兵庫県南部地震(神戸市)	92,250t	4,597,400t	3,437,000t
新潟県中越地震(長岡市)	5,600t	75,612t	71,732t
平成16年福井豪雨(福井市)	—	19,353t	
ハリケーン・カトリーナ水害(ルイジアナ州)	—	約22,000,000t (2006年12月時点)	

備考) 兵庫県南部地震及び新潟県中越地震は大野²⁾、平成16年福井豪雨は田中他³⁾、ハリケーン・カトリーナ水害は平山¹⁾に示された発生量。

なると推計されていた¹⁾。

なお、今後予想される首都直下地震においては、被災家屋数等の見積もりから、災害廃棄物の発生量は約8,300万~9,600万tと推定されている⁵⁾。この量は、全国の一般廃棄物の年排出量約5,000万tをはるかに上回っている。

2.3 仮置き場の設置状況

大きな災害では、膨大な廃棄物の一時保管・管理のために仮置き場が設置されることが多い。

この仮置き場としては、稼動・閉鎖中の最終処分場などの空きスペース、公園、小中学校のグラウンドなどが用いられている。

阪神淡路大震災の時の神戸市では、6箇所の生活廃棄物のための仮置き場が10～251日間設置され、家屋解体やがれきなどの廃棄物のための仮置き場が9箇所(100～1169日間)設置されている²⁾。

新潟県中越地震、能登半島地震、新潟県中越沖地震のときにも数箇所に仮置き場が設置され、その設置期間が2年以上になった場合もある。

平成12年東海豪雨では、各被災自治体で数箇所に仮置き場が7～203日間設置され、平成16年台風第23号では、10箇所以上の仮置き場が8～220日間設置されている。

3. 災害廃棄物の潜在的環境リスク

3.1 広域環境汚染リスク

大規模な災害時には、広域の環境汚染リスクが考えられる。

大震災では、家屋火災、燃料油などの火災、有毒燃焼ガスの発生や被災家屋からのアスベストの飛散などにより大気汚染の可能性がある。これらによる環境リスクは、焼失被害自体と比べて、一般に短期的であり必ずしも大きくはないが、降下し地表に残留する場合も考えられる。

大規模水害時には、都市周辺の農業・畜産・工業地からの様々な物質が流出し、広域に拡散するリスクが考えられる。特に、化学肥料類、堆肥、尿尿類、燃料などの油類、生ごみなどの生活廃棄物の流出は、土砂と共に災害後の広域環境リスクの要因となる。また、工場などの化学物質の漏洩が水流と共に広がり地下浸透の起こるような場合には、長期の土壌・地下水汚染につながる可能性もある。これらの多くは回収が困難で、広く地表や土壌中に残留し、一定期間注意が必要となる。

3.2 仮置き場周辺の環境汚染リスク

災害後に搬入される廃棄物の種類としては、震災・水害を問わず被災家屋からの可燃物(木材、畳等)、不燃物(コンクリート、断熱材、金属等)、家電製品(TV、冷蔵庫等)、及び生活廃棄物(生ごみ、プラスチック製品等)などがある。

有機物を含む災害廃棄物(生ごみや木材・畳など)が収集・保管され嫌氣的な環境が形成されれば、嫌氣的腐敗が生じ、硫化水素やメタンガスなどが発生し、発熱・発火の原因となる。また、水溶性の揮発性有機酸が発生しやすくなりBODが高くなるため、仮置き場においても水処理を行う必要がある場合も起き、たんぱく質分が分解されれば硫黄系の悪臭が生じる。さらに、不完全燃焼状態となればダイオキシン類などが発生し、大気汚染などにつながる場合も考えられる。

一方、腐敗等による衛生被害も生じる可能性があり、水害時にはこのリスクが高くなると考えられる。水害の場合には、水が大きく関与し、悪臭や硫化水素等の有害ガス、ハエ等の衛生害虫の発生を招くといったリスクが高くなると考えられる。

また、鉛などの重金属等を含む廃棄物が風雨に曝されれば溶出が起り、土壌・地表水・地下水の汚染が生じる可能性もある。これら重金属等を含む廃棄物は、家屋を解体して発生する廃材などにも含まれていることがある⁶⁾。さらに、ダイオキシン類や揮発性有機化合物(VOC)を含む廃棄物も重金属等と同様な汚染を招く可能性がある。

実際、著者らの調査では、こうした仮置き場において、周辺環境への影響はないものの環境基準を超える重金属等が検出された場合も見られる⁷⁾。

3.3 環境リスク低減のための仮置き場の選定・設置に関わる課題

近年、災害廃棄物の対策マニュアルなどは、各地域で徐々に整備されつつあるものの、災害廃棄物の仮置き場の選定や設置にあたっては、その場の耐汚染性能(地形・地質構造からくる自然バリアの存在、地盤の安定性、地下水利用の状況など)や代替人工バリアを考慮した処理計画は具体的に検討されておらず、災害後の適正な処理に不安を残している。2007年にJAPICが、首都圏の大規模災害による廃棄物を2年以内に処理・処分する計画を提言しているが、具体的な仮置き場の位置選定・設置に関する留意点や、仮置き～最終処分の期間や処分後の環境リスク対応などについては検討が進んでいない。

災害廃棄物の環境リスクを低減させる上で、以下のような点を考慮する必要がある⁸⁾。

- ① 地形的・地質的に安定な場の選定、
- ② 降雨の遮断、地盤汚染を防止するための上面・下面の遮水シート等の設置、
- ③ 飛散を防止するための飛散防止フェンス(ネット)等の設置や散水の実施等、



写真1 仮置き場内の対策の例(上：飛散防止フェンス，
下：水処理施設)

- ④ 場内から発生する汚水を処理するための水処理設備等の設置，
- ⑤ 仮置き場管理時の適切なモニタリング，閉鎖時の周辺環境調査・確認，汚染時の復旧対策の実施。

これまでの調査では，シートやアスファルトを敷設して人工的に難透水の場を設けたり，地形・地質的に難透水のシルト岩の分布する場を選定したり，土壌への有害物質の浸透を防ぐ方策を講じたケースも見られたが⁷⁾，地面に直接廃棄物が置かれたケースも見られた。

一方，過去の災害を経験した自治体へのアンケート調査⁹⁾によれば，仮置き場の環境リスクへの対応として，騒音対策，飛散防止ネットによる大気汚染対策，汚濁水の浸透防止用シートによる水質汚濁対策，消臭剤散布による悪臭対策などを考えている(実施した)自治体は多いが，水処理施設の設置までを挙げた自治体は少ない(写真1)。

4. おわりに

環境リスクというのは，感覚的には理解できる

ものの，現場ではそれほど体感できず，後から表出することも多いであろう。災害後の膨大な量の災害廃棄物の処理では，処分を優先するあまり，最終処分場への直接埋立が行われた例があるが，それにより処分場の残余容量を大きく低減させるなど，後の廃棄物処分に影響を及ぼすことも考えられる。災害が想定される地域では，廃棄物の適正な処理・処分を行い二次災害や災害後の処分場の不適正化を防ぐように，あらかじめ復旧プロセスを想定したシナリオを考えておくことが重要となる。

現在，著者らもメンバーである「日本応用地質学会災害廃棄物の防災と環境に関する研究小委員会」では，災害廃棄物の実態調査から，仮置き場の安定性，汚染に関わる実験的・解析的アプローチなどを通じて環境リスクを総合的・定量的に検討しており，今後，災害廃棄物対策の基礎資料を提示してゆく予定である。

参考文献

- 1) 平山修久(2007)：近年の水害における災害対応および水害廃棄物発生量の推定，水環境学会誌，第30巻，第5号，pp. 22-26.
- 2) 大野博之(2009)：第3章地震災害に伴う廃棄物処理，災害廃棄物，中央法規出版，pp. 47-66.
- 3) 田中宏和・田中博義・橘 治廣・山田正人(2007)：福井豪雨災害における水害廃棄物への対応について，都市清掃，第60巻，第277号，pp. 220-226.
- 4) 平山修久・河田恵昭(2005)：水害時における災害廃棄物発生量推定式に関する研究，環境衛生工学研究，第19巻，第3号，pp. 193-196.
- 5) 内閣府防災担当(2004)：直接的被害想定結果について，中央防災会議首都直下地震対策専門調査会第13回資料2-1，pp. 22-24，<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/13/index.html>
- 6) 大野博之・登坂博行(2009)：災害における環境汚染と対応－災害廃棄物を中心に，生活と環境，第54巻，第1号，pp. 67-71及び第2号，pp. 82-89.
- 7) Ohno, H., Tosaka, H., Hachimura, T., Miyahara, T., Matsumoto, K., Utsugi, K., Kitaoka, K., Yamamoto, A. and Yamamoto, Y. (2008)：Situation and environmental risk of the waste at/after disaster and tentative waste storage, APLAS Sapporo 2008, 2C-5.
- 8) 宮原哲也・陳 友晴・登坂博行(2009)：災害廃棄物の発生実態とその対策，生活と環境，第54巻，第3号，pp. 78-82.
- 9) 山中 稔・山本 晃・八村智明・大野博之・登坂博行(2009)：災害発生時の自治体の取り組み－災害廃棄物を中心に，生活と環境，第54巻，第4号，pp. 73-77.

土壌雨量指数

佐々木 はじめ*

1. はじめに

台風や梅雨前線などの降雨がもたらす水資源は、日本には欠かせないものですが、大雨によって多量の雨が地中にしみ込むと、土砂災害の危険性が高くなります。また、地中にしみ込んだ雨は地下水となり、時間をかけて徐々に河川や海に流れ出すため、土壌中の水分量は急には減少しません。このため、何日も前に降った雨により、土砂災害が発生することがあります。これを踏まえて、降った雨が、土中にどれだけ貯まっているかを見積もり、土砂災害の危険性を示したものが土壌雨量指数です。

土壌雨量指数は、降った雨が土壌中に水分量としてどれだけ貯まっているかを、過去に降った雨（解析雨量）と今後数時間に降る雨（降水短時間予報）等の雨量データから「タンクモデル」という手法を用いて指数化したものです。全国を5 km四方のメッシュに分けて、それぞれの格子で計算します¹⁾。

2. タンクモデル

斜面に降った雨は、図1のように地中に深く浸透するものと側方に流れ出るものに分かれます。

タンクモデルは、図2に示すように降った雨が浸透していく状態（貯留、側方からの流出）を縦に3段直列に配置して再現しています。土壌雨量指数は、各タンクに残っている貯留（水分量）の合計となります。また、時間毎の降水量がわかれば、土壌雨量指数が算出できるプログラムも公開されています²⁾。

土壌雨量指数を利用するタンクモデルは、土砂災害発生危険性の把握を目的としたもので、地中に貯まった雨水を正確に推計するものではありません。このため、以下の留意点があります。

① 全国一律のパラメーターを用いており、傾

斜地における植生、地質、風化などを考慮していません。

② 比較的表層の地中をモデル化したものであり、深層崩壊や大規模な地すべりなどの地中深い状況を対象にしていません。

③ 土壌雨量指数は指数が高いほど土砂災害の危険性は高くなります。しかし、指数値は絶対値ではなく、指数値の大小だけで2地点の危険性を比較することはできません。

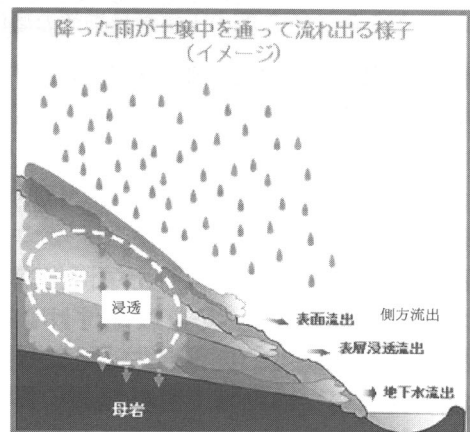


図1 雨が土壌中に浸透する様子¹⁾

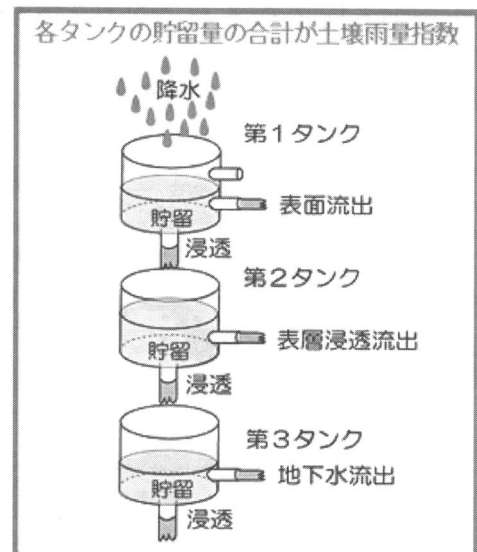


図2 タンクモデル¹⁾

* 株式会社東建ジオテック

3. 履歴順位

土壌雨量指数は、同じ様な高い値でも、普段から雨が多い地域よりも雨が少ない地域の方が土砂災害発生の危険性が高くなります。したがって、土壌雨量指数のみで土砂災害の起こりやすさを見積もることはできなく、履歴順位を併用しています。

履歴順位とは、土量雨量指数と土砂災害の危険度との対応をわかりやすく表現するため、図3のように5 km メッシュごとに直近の10年間に出現した土壌雨量指数を高い順に並べたものをいい、一般に履歴順位が高いほど土砂災害の危険性が高くなります。

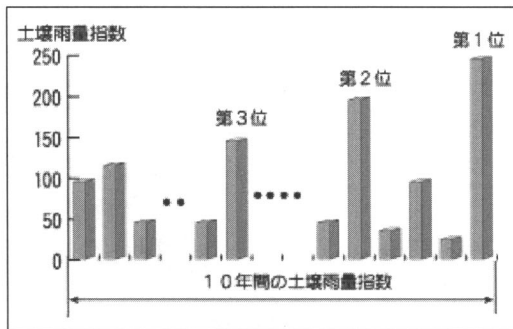


図3 ある格子の10年間の土壌雨量指数の順位²⁾

土壌雨量指数を使って、過去の土砂災害事例では、全体の約6割が履歴1位で発生しており、履歴順位が下がるほど指数関数的に減少しています。また、死者が発生した土砂災害では約8割以上が履歴1位で発生しています⁴⁾。

履歴順位は、現在の雨による土壌雨量指数と比較して相対的な災害危険度を順位付けするもので、過去に同等の順位で災害発生、または災害履歴が記録されていない地域でも、記録のある格子情報から危険度を類推することができます。

4. 土壌雨量指数の例

平成17年の台風14号は、豊後水道周辺地域に大雨を降らせ、図4のように九州の東半分、広島

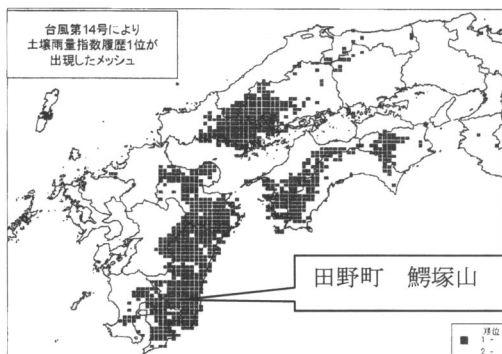


図4 台風14号時に出現した土壌雨量指数履歴1位³⁾

県西部から山口県東部、四国の山間部に履歴1位のメッシュが出現しています。

特に、宮崎県宮崎郡田野町の鱈塚山周辺の山地では、総雨量1013 mmの記録的豪雨をもたらした複数の大規模な土石流が複数発生し、崩壊土量は560万 m³に達しました。図5は現地に設置されたアメダスの30年分の雨量データを使用して、鱈塚地域での土壌雨量指数の結果であり、履歴1位の更新後に崩壊が発生しています。なお、鱈塚山の地質は、四万十層群の付加体であり、砂岩・頁岩互層が分布しています。

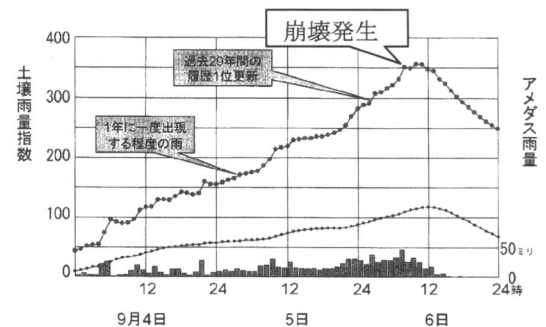


図5 鱈塚アメダス土壌雨量指数時系列図³⁾

5. まとめ

各地の气象台では大雨時には、あらかじめ都道府県と協議して設定した雨量基準に基づき、その基準値を超える雨量が予想される場合に大雨注意報、大雨警報を出しています。

土砂災害に対する警戒は、土壌雨量指数が過去10年の履歴を更新した場合、発表中の大雨情報を更新して「重要変更! ○○市では過去数年間で最も土砂災害の危険性が高まっている」旨を発表しています。なお、発表対象とする土砂災害は、技術的に予知・予測が可能である表層崩壊等による土砂災害のうち、土石流や急傾斜地の崩壊です。

最後に、本文作成にあたり、気象庁のホームページ資料を参考にさせていただきました。ここにお礼申し上げます。

参考資料

- 1) 気象庁：気象庁ホームページ気象等の知識 <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/dojoshisu.html>
- 2) 津地方気象台：分かりやすい防災気象情報の使い方
- 3) 岡田憲治：土壌雨量指数による土砂災害発生危険度予測の現状、土と基礎、Vol 55, No 9, 2007
- 4) 地盤工学会：豪雨時における斜面崩壊メカニズムおよび危険度予測、実務シリーズ 23, p 136
- 5) <http://geocuties.jp/sbsry766/index5.html>

土砂災害防止ソフト対策の課題

ふじよし よういちろう
藤吉 洋一郎*

1. 土砂災害防止に3つのソフト対策

近年、「土砂災害ハザードマップの公表」「土砂災害警戒区域の指定」「土砂災害警戒情報の発表」と、土砂災害防止の3つのソフト対策が次々と打ち出されてきた。しかし、それにもかかわらず、土砂災害による死者数は依然として大雨による災害の犠牲者の大半を占めている。どのようにすればもっと効果を期待できるか考えてみたい。

(1) ハザードマップの公表

「ハザードマップ・災害危険区域図」作りがいま、全国で進められている。

大切なのは、どのようなときに避難を呼び掛けるのか、そのときはどこへ避難したらいいかなども知らせておくことである。

(2) 警戒区域の指定

1999年(平成11年)6月の広島の土砂災害で30人余りが犠牲になった。ほとんどが崖崩れや土石流の危険地域に指定されているところであった。しかも比較的最近開発された住宅地に他から引越してきた人たちなどは、自分の家が土砂災害の危険地域にあることすら知らずにいた。

この災害がきっかけになって、新しい土砂災害防止法が出来た。土砂災害によって著しい被害が予想される地域は都道府県知事が「警戒区域」に指定し、大雨などで危険になったら、市町村長の指示で避難をしてもらおうというわけ。中でも特に危険な地域は「特別警戒区域」に指定し、新たな宅地開発や住宅の建築を制限したり、場合によっては移転を勧告できるようになった。

(3) 土砂災害警戒情報の発表

「土砂災害警戒情報」は都道府県の砂防部局と地元の气象台が共同で発表する。2005年(平成17年)

から順次対象地域を広げ、2007年(平成19年)度末から全国の都道府県を対象にするようになった。

土砂災害はこれまでに降った雨量の総量と、雨の激しさ・つまり時間雨量の大きさが相互に作用して起きるのだが、危険になった市町村に対して「土砂災害警戒情報」を発表し、警戒や避難を呼びかけるのである。「土砂災害警戒情報」はすでに「大雨警報や洪水警報」が出ている段階で発表する警報の中の警報である。

2. これからの課題は

(1) ソフト対策の課題

なかなか大きな効果をあげていない具体的な例を一つ上げてみよう。

2005年(平成17年)9月、鹿児島県では大型台風14号の記録的な豪雨に見舞われた。鹿児島県垂水市では5人の犠牲者がでた。鹿児島県は全国で一番最初に土砂災害警戒情報の発表対象となった県であり、このときの災害が最初のケースとなった。垂水市をはじめ14の市町村が避難勧告や避難指示を出したが、『土砂災害警戒情報』を避難勧告などに即応させる計画はまだできていなかった。3つのソフト対策が互いにリンクしていないという問題点が浮かび上がった。

垂水市ではこのときの反省から、警戒区域の指定と土砂災害警戒情報を避難勧告に活用する体制の整備を進め、その後の人的被害ゼロに効果をあげているという。

全国的に見て、土砂災害を防ぐためのソフト対策がなかなか効果をあげていない理由として、大きく次の3つの要因が考えられる。

① 狼少年的な警告になりがち

土砂災害は発生の時間や場所を特定して予測することが困難なために、警戒の呼びかけがどうし

* 大妻女子大学教授・元NHK解説委員

てもより広い範囲が対象となり、しかも、危険がさほど大きくない段階からの呼びかけが多くなるなど、空振りと狼少年的な傾向が避けられない。

②警戒区域の指定がなかなか進まない。

警戒区域の指定は、個人の財産である土地に関しての、いわばマイナス情報を公に認知する制度であることから、土地所有者の抵抗というか警戒心が根強く、警戒区域の指定に思いのほか時間がかかっている。

③対策の相乗効果が現れていない。

土砂災害警戒区域の指定と土砂災害警戒情報、それに地元市町村長の出す避難の呼びかけとが、あまりリンクしていない。

(2) ソフト対策のかぎは？

土砂災害警戒区域を土砂災害警戒情報とリンクさせて、市町村長による避難呼びかけに結びつくようにすることがソフト対策の課題であるが、対策の相乗効果を高めるために、いまの段階でどのような対応策が可能か考えてみる。

①土砂災害警戒情報の課題

発表する対象地域は市町村単位で、地図情報も非常に大雑把で、比較的広い範囲を対象としている。このため受け取る側から見ると、どこもかしこも同じように危険だといわれているようにしか見えない。气象台や都道府県の砂防部局では2.5キロメッシュとか1キロメッシュなどと、もっと小さな地域を特定できているのに、これが情報に反映されていないのである。

また1時間ごとの雨量の予測をもとに数時間先までの土砂災害の危険の変化を予想した上での土砂災害警戒情報の発表となっているのだが、先に行くほど予想の精度が急速に落ちてしまうのも難点だ。こうした問題点をカバーするには、一度発表したら終わりというのではなく、その後の情報のフォローによって、危険性が更に大きくなっているのかどうかをキチンと伝えることが必要だ。

②警戒区域指定の課題

国土交通省によると、現在全国には土石流危険渓流が18万カ所、急傾斜地崩壊危険箇所が33万カ所もある。従来は人家が5軒以上あるところを対象にしていたが、これを5軒未満や人家はなくても将来宅地化されそうなところをも含めたので倍増した。

警戒区域の指定作業は、これまでに2割前後の進捗率といったところだが、都道府県によってばらつきが大きく、指定を急ぐ必要がある。

③情報と避難の課題

土砂災害警戒区域を土砂災害警戒情報とリンク

させて、市町村長による避難呼びかけに結びつくようにする法整備が必要なのかもしれない。

さらに特別警戒区域の考え方は都市計画部局とのすりあわせが、あまりうまくいっていないのではないだろうか？「危ないところには住まない」ようにするという考え方は、ぜひとも今後の国づくりの基本精神として、しっかりと取り組んで欲しいものである。

3. 小さな被害に大きな教訓

被災の程度の大きなわりには人的な被害が小さくて済んだという災害には、人々の経験や努力あるいは機転で災害の拡大を防いだといった学ぶべき点が多く隠れていることがある。「小さな被害に大きな教訓」が見つかったいくつかの例から、次のようなことが大切だとわかった。

- ① 住民自身が自分たちの住む地域にはどんな災害の危険があるのかを知ること。
- ② 裏山や隣の沢など危険箇所では、災害のときにはどのような前兆現象があるのかをよく知っていること。
- ③ 大雨などの時には危険箇所に現れる前兆現象を観察し、避難の必要を判断すること。
- ④ 日頃から行政など防災専門家の助力を得て、避難路や避難場所を記入した「防災マップ」を作っておき、災害のときの警戒・避難に役立てること。
- ⑤ どの家にはどんな人が住んでいるのか、住民がお互いによく知っていること。
- ⑥ 避難をするときには隣近所に声をかけて一緒に行動すること。

現場にいる住民の異変への「気づき」がまずは大切だ。そして散在する情報から多くの教訓を発掘し、付加価値をつけた情報として広く伝えるコミュニケーションの文化も必要だ。

4. 結びに

自然科学の立場からの「防ぐ工夫」が今後も不可欠であることは言うまでもないが、そればかりではなく、社会科学の立場からの「知らせる工夫」という、いわば側面からの取り組みが、今後ますます重要になるのではないかと思う。

危険地域に住む人たちには、一人ひとりの防災地図を作ってもらふ必要がある。そのためには住民と行政、それに専門家を交えた集落単位の小さな勉強会を繰り返し開くことが必要になる。人手と時間のかかる試みであるが、とはいえ、災害はいつまでも待つてはくれないのである。

岡山の大地と人々の工夫や技術が育んだ特産品

1. 岡山県の地形・地質概要

岡山県の地形は、中国山地から瀬戸内海まで、北から南へ階段状に低くなっている（図1参照）。「晴れの国」と言われる岡山県では、南部の降水量は少ないが、北部の降水量は多く、中国脊梁山地に源を発する三大河川の高梁川、旭川、吉井川が下流域を潤し、農業を支えている。

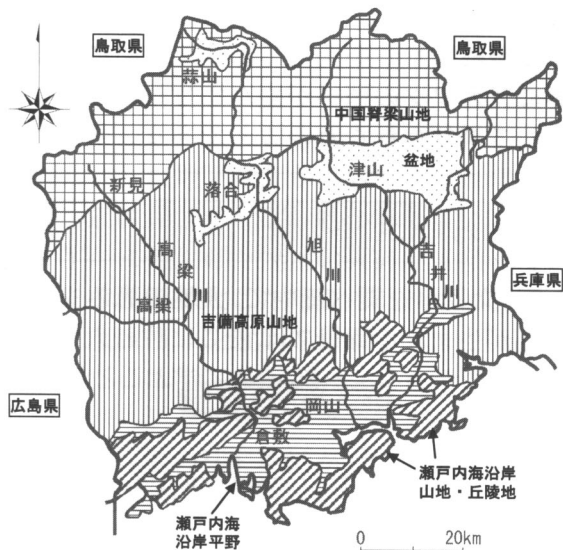


図1 岡山県の地形

（「岡山県地学のガイド」を元に作成）

県下には各種の堆積岩や多くの火山岩類が分布しており、中生代、古生代の堆積岩類（固結堆積物）は県下全域に広く分布している（図2参照）。南部の岡山平野と北東部の津山盆地周辺には新生代の沖積層等が分布しており、蒜山盆地、三大河川流域等にも分布している。

2. 大地の恵み

岡山県には美作三湯等数多くの温泉が花崗岩類

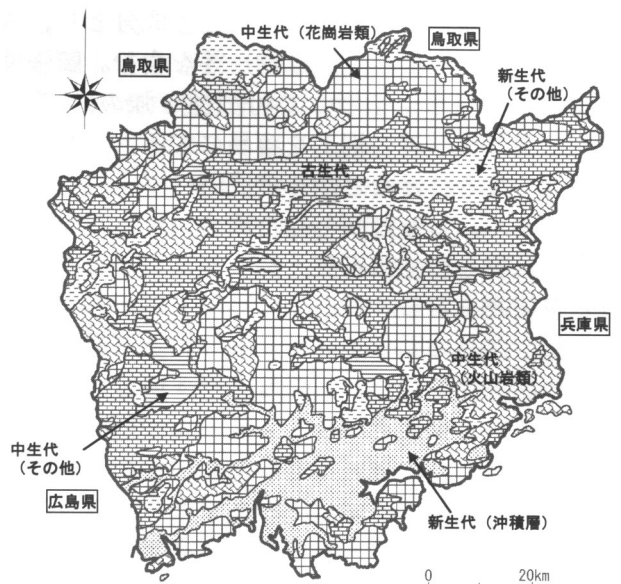
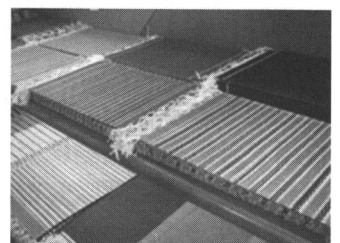


図2 岡山県の地質

（「岡山県地学のガイド」を元に作成）

分布域を中心に点在し、県民の憩いの場となっている。また、備前市の三石鉦床はわが国有数のロウ石産地であり、高梁市成羽町の吹屋地区は、かつて周辺鉦山の硫化鉄を原料とした顔料（ベンガラ）の国内唯一の産地として繁栄した。

蒜山盆地の黒ボク土（火山灰が母材）の畑で生産されている大根は「蒜山大根」としてブランド化されている。岡山平野は三大河川が運ぶ土砂により発達した平坦地である。米、ナス、イ草等数多くの農作物が生産されており、河川沿いの砂地で作られる黄ニラの生産量は全国一位である。黄ニらは、県中部の旧柵原鉦山の坑道で育てる「坑道栽培」も行われている。



イ草製品

3. 備前焼

備前焼は十二世紀頃から備前で作られはじめた焼き物であり、そのルーツは5世紀頃に備前で盛んに焼かれた須恵器にまでさかのぼる。

釉薬を用いない備前焼の出来栄えには、用いる土の性質が大きく影響する。備前窯跡群が位置する地域で採取される流紋岩系や石英斑岩系起源の良質粘土は、新生代更新世に火山岩類の変質により生成されたと考えられている。室町時代まで粘土は山土主体であったが、現在は田圃の下に堆積した粘土が主体である。粘土鉱物としてメタハロイサイトもしくはカオリナイトを主成分とし、スメクタイト（膨張性粘土鉱物）等を含む。膨張性粘土鉱物は保水性を増して可塑性を強め、「ろくろ」による成形等の細工を容易にする。また、融点が低くなることなどから焼成時にガラス化を起こしやすく、しっとりとした風合いをもたらす。非粘土鉱物としては石英、長石類及びかなりの鉄分と有機物を含む。長石類は高温で融解してガラス化し、作品の固化を促進する。石英は粘土の可塑性や収縮性を調整し、強度を増す働きがある。鉄分が多いと釉薬をかけても素地との収縮率の差が大きすぎたり、暗い素地のために釉の発色がままならず、施釉するには不向きである。

備前焼の製作には大量の燃料が必要である。以前は窯周辺の山々の樹木（基本的に雑木）を使用していたが、徐々に乾燥させたアカマツが使用されるようになった。アカマツの薪は火力が強く、松脂のおかげで火足が長く、燠がたまりにくい。また、飛んだ灰は自然釉となる。

備前焼は低い温度で長時間（1週間～1カ月）焼成して積算温度を十分に確保し、その後ゆっくり（5～7日）冷却して、急熱、急冷によるグク（素地や釉に生じた泡）の発生や膨張率の差による破損や歪みを防ぐ。このため、巨大な三石入大甕の焼き上げが可能となり、強くて硬いために、「備前の摺鉢投げても壊れん」と言われていた。

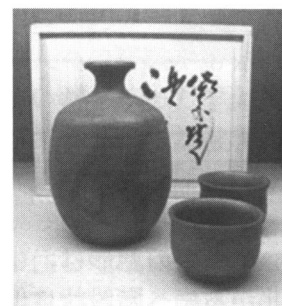
無釉で厚みがあり、器面がつぶれておらず、内側の表面積が大きい。また、かすかな浸透性もあるため、気化熱の作用で外気温が高いほど中は冷え、甕は楽に呼吸しながら中味も生き続け水が腐らない。このため、「備前の水甕、水が腐らん」と言われていた。



地酒

4. 備前焼との相乗効果

岡山県の酒蔵数は全国で10位以内と多く、「万葉集」に“吉備の酒”を詠んだ歌があるほどその歴史は古い。水は日本酒成分の80%を占めており、水質の良否は酒質に影響する。豊かな水量と良好な水質（軟水または中軟水が多い）に恵まれた三大河川の伏流水が酒造用に使用されている。昔から「備前の徳利、酒が旨い」と言われており、備前焼から出る電磁波により味がまろやかになるとの説もある。備前焼特有の微小な凸凹により、非常にきめの細かい泡が立ち上り、この泡が消えにくいいため、時間が経ってもビールをおいしく保つとのことで備前焼ビアマグも人気が高い。岡山県はアカマツ林で採取されるマツタケの生産量で全国2～5位を保っている。備前焼で使用する燃料としてアカマツの需要があったこと、花崗岩由来の岡山の土がスギ・ヒノキの植林にやや不向きであったために、山の尾根等にアカマツの植林が盛んに行われたことが理由として挙げられるとのことである。



備前焼の酒器

5. おわりに

今回、文献等を調べる中で、大地の恵みを生かす特産品が生まれる背景には、そこに住む人々の創意工夫や技術があることを、改めて学ぶことができた。

参考文献

- 岡山県酒造組合：<http://www.optic.or.jp/okayama-sake/>.
- 岡山県知事室公聴広報課：<http://www.pref.okayama.jp/chiji/kocho/kids/gaiyou11.htm>.
- 岡山理科大学『岡山学』研究会編：備前焼を科学する、吉備人出版、2002.
- 黒田早臣：とことん備前焼、株式会社光芸出版、1996.
- 備前市：<http://www.city.bizen.okayama.jp/bizenyaki/index.jsp>.
- 毎日新聞 地方版：岡山大研 Q 秋の味覚の王様マツタケ “高嶺の花” 実是有数の産地/岡山、2007. 11. 7.
- 光野千春・沼野忠之：岡山県地学のガイド、株式会社コロナ社、1980.
- 和風くらぶ：備前焼 備前焼で飲むビールは美味、http://www.wahoclub.net/doki_bi_nomu.html.

(大西智佳 (株)ウエスコ)

各地の博物館巡り

新潟県糸魚川市

「フォッサマグナミュージアム」
—石の博物館，世界ジオパークを目指して—



写真1 博物館全景

はじめに

新潟県内にも、自然科学系の展示を行っている博物館がいくつかあります。そのなかで、とりわけ地質系の展示が秀でており、周辺の巡検にも便利な博物館として、糸魚川市が運営している「フォッサマグナミュージアム」があります。

新潟県南西部に位置する糸魚川市は、フォッサマグナの西端を形成する「糸魚川静岡構造線」（糸静線）の直上に位置しています。そのため、糸静線の東西を構成する岩石、貴重な地質露頭等の観察ができる場所です。

地質の新旧からは、古生代に堆積した石灰岩、蛇紋岩とともに地下深部から絞り出されてきたヒスイ等を最古参とすれば、約240年前（1773年：安永2年）に発生した焼山の火砕流堆積物などの新参者まで、連綿とした時間の流れを体感できる場所に糸魚川市は位置しています。

博物館の案内

こうした「地の利」を活かして1994（平成6）年に糸魚川市美山公園にある奴奈川の郷（ぬなかわのさと）「石の博物館」が開館されました。

展示は、フォッサマグナに関すること、糸魚川やその周辺地域から産するヒスイや鉱物、化石、岩石等を中心に行われています。

入口でチケット代500円を支払い、展示室まで続く展望廊下からは、石で構成された中庭が見えます。この中庭には、命名者であるナウマン博士が考えたフォッサマグナの位置が日本地図上に示されています。また、文字盤にヒスイを用いた日時計があります。

各展示室では、地球誕生の歴史、鉱物や岩石の展示、日本列島の成り立ち、ヒスイや新しく発見された鉱物など糸魚川に深く関わりのある石や化

石などが展示されています。また、「ナウマン博士の部屋」と題された展示室は、博士の遺品や業績など、日本の地質学史に関わる貴重な資料が展示されています。

「フォッサマグナホール」と呼ばれる広間には、約70年前に製造された地震計（ウィーヘルト型地震計：表面に煤を付着させた記録紙を使用）が、現在も稼働しています。大地のさざめきを記録する様子を眺めているのもなかなか良いものです。

展示を堪能した後は、チケットを購入した脇のお土産コーナー（ミュージアムショップ）に立ち寄ることをおすすめします。ここでは、鉱物、化石、石のアクセサリ、書籍など「石」に関する商品を扱っています。

意外なものとしては、巨大なヒスイの原石が前庭に展示してあります。これは、2007（平成19）年6月に盗掘を避けるため、約15km離れた姫川から避難させたものです。



写真2 ヒスイ原石（削孔跡が痛々しい）

展示以外では、体験学習の部屋や分析室もあります。分析は、博物館の研究用として行っているほか、有料ではありますが、一般向けにも行っています。あと、博物館ならではのといったサービスとして、河原や海岸で拾った「石ころ」の鑑定も

行っています。これは、「ヒスイ様の石ころが本物かどうか」学芸員さんに見てもらえるものです。無料ですが、「一回に多くても20個程度まで」とのことです。

博物館ホームページによれば、「JR糸魚川駅からタクシーで約7分、徒歩では糸魚川駅からは約112mの標高差、距離3.5km、約60分、大糸線姫川駅からは約85mの標高差、距離2.8km、約45分」とあります。市内のバス路線も乗り入れていないため、遠方から公共の交通機関を利用する方々には便利とは言い難い場所にあります。周辺の巡検も考えると、レンタカー等の利用が便利だと思います。

休館日：年末年始、月曜日

開館：9時～17時

入館料：500円（3館（ミュージアム・長者ヶ原考古館・自然史博物館）共通700円）

〒941-0056 新潟県糸魚川市一ノ宮1313

Tel. 025-553-1880 Fax. 025-553-1881

周辺の見所

・長者ヶ原考古館

博物館と同じ美山公園内に、長者ヶ原遺跡と呼ばれる縄文時代の遺跡があります。この中の集落跡は、ヒスイの玉や蛇紋岩の石斧の生産・交易拠点として知られています。考古館では、縄文土器や石器、ヒスイの玉などの出土品が展示されており当時の様子をうかがい知ることができます。博物館から徒歩で移動できます。

(Tel 025-553-1900 Fax 025-553-1986)

・青海自然史博物館

2005（平成17）年、市町村合併で糸魚川市となった旧青海町にある博物館です。展示は、地形・地質・動植物等に関してですが、地質分野はかなり高いレベルの内容とのことです。

（糸魚川市大字青海4657-1 Tel 025-562-2223 Fax 025-561-7010 JR青海駅から徒歩5分 フォッサマグナミュージアムから車で約20分）

・地質露頭等

国道148号線沿いのフォッサマグナパークでは、糸静線の断層露頭が見られます。姫川上流の小滝や青海川上流の橋立では、溪谷にヒスイ原石が点在しています。（天然記念物ですので見るだけです）どうしてもヒスイを手に入れたい向きには、海岸等でヒスイ拾いも良いかもしれません。

・登山

全山石灰岩の黒姫山が見所です。実際に登って見なくとも、天気良ければ糸魚川駅から見えま

す。同じく明星山も石灰岩の山です。

健脚な方々は、2007（平成19）年に入山規制が解かれた焼山（新潟焼山）も見所の一つですが、アプローチがかなり大変だと聞かされました。



写真3 糸魚川駅から見た黒姫山

ジオパーク

糸魚川市では1991（平成3）年からジオパークという呼称を呼び使っていました。これとは別に、1997（平成9）年以降、ユネスコでもジオパークという言葉が使われ始めました。

世界ジオパークは、すぐれた地質の遺産を「保護し、後世に伝える」「教育・研究に活かす」「見学旅行により地域を発展させる」ことを目的として2004（平成16）年にユネスコの支援により発足した世界ジオパークネットワーク（GGN）が世界各国の組織と連携して認証する仕組みとなっています。GGNでは、『地質学的重要性だけでなく、考古学的・生態学的もしくは文化的な価値もある1ないしそれ以上のサイトを含む地域』であると定義しています。

日本国内のジオパーク（日本ジオパーク）は、2008（平成20）年12月、7地域が認定されました。日本初のジオパークは、アポイ岳（北海道）、洞爺湖有珠山（北海道）、山陰海岸（鳥取県、兵庫県、京都府）、南アルプス中央構造線（長野県）、室戸（高知県）、島原半島（長崎県）、糸魚川（新潟県）です。

糸魚川は、ヒスイや蛇紋岩を加工した長者ヶ原遺跡や寺地遺跡、糸静線沿いの松本街道（塩の道）、地すべり地を有効に活用してきた棚田等、地質学とその中で活動してきた人間の営みから見て重要な地域であると思われます。

糸魚川市では、ユネスコに先んじてジオパークという造語を使ってきたこともあり、官民を挙げて国内初の世界ジオパークに認定されることを目標にさまざまな事業が行われています。

新潟県地質調査業協会 佐藤博文

日本の金鉱床 (福岡県星野地域の金鉱床)

1. はじめに

かつて日本は「黄金の国ジパング」と呼ばれたほど金 (Au) の採掘が盛んであった。当初は砂金採りから始まった金の採掘であるが、戦国時代頃から坑道や露頭から鉱石を採掘し、製錬する山金 (やまきん) が主流になったといわれている。

日本で金山 (きんざん) と言えば、佐渡や鴻之舞 (こうのまい) のほか、金の含有量で世界最高級を誇る菱刈 (ひしかり) が有名であるが、かつてはその他に日本全国で数多くの小規模な金鉱床が山師 (やまし) によって発見・開発されてきた歴史がある。

2. 日本の金鉱床

日本の金鉱床のほとんどが熱水性鉱床である (金は通常、銀も伴って産出するので、金銀鉱床とも呼ばれる)。日本のような海洋プレートが沈み込む島弧の地質環境では、火山活動が活発である。それに伴い温められた地下水 (熱水) に周辺岩盤やマグマから金属成分が溶け込み、その熱水が上昇する際に、金が石英と共に岩盤の割れ目に沈着することで金鉱床が形成される。

そもそも鉱床とは、資源として利用できる元素や石油・天然ガスなどが濃集している場所で、採掘して採算が取れるものをさす。つまり、有用金属が高濃度であっても、社会情勢 (国際価格や人件費、環境対策費等) によっては、鉱床になったり、ならなくなったりする場合がある。金についても、昔はその品位が 10 g/t (鉱石 1 t 中に金の含有量が 10 g という意味) 以下でも採掘されていたが、金価格の低迷や採掘費用が膨大化したため、日本ではよほどの高品位ではないかぎり採算があ

わないため採掘されない。その中でも、日本で唯一、現在でも稼働している菱刈鉱山 (鹿児島) は世界最高の品位を誇り、その品位は約 50 g/t にもなる。

今回は小規模金鉱床の例として、福岡県八女郡星野村周辺の金鉱床について紹介する。

3. 星野村周辺の地質および金鉱床

九州北中部、豊肥地域には、中新世後期以降の火山岩が広く分布している。この火山岩には、産金量が 10 t を越える鯛生 (たいお), 馬上 (ばじょう) をはじめ多くの金鉱床が存在する (図 1)。そのなかでも津江山地の北西部に位置する福岡県星野地域には火山岩が広く分布し、熱水性金鉱床が胚胎している (沢井ほか, 1998)。

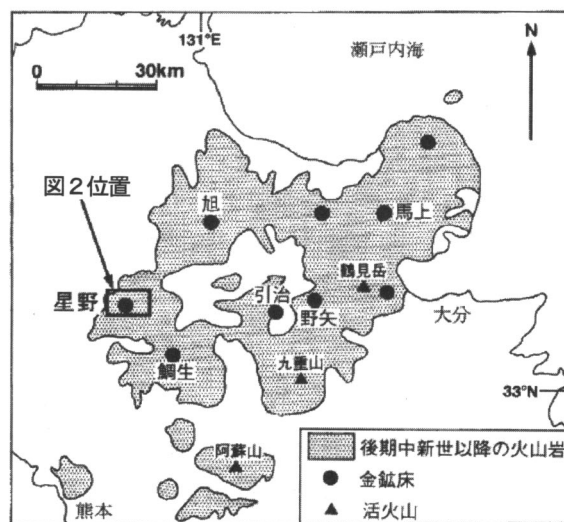


図 1 星野金鉱床の位置と中新世後期以降の火山岩の分布 (佐藤ほか, 1991)

星野村周辺の金鉱床は、天文年間 (1532~1554) に発見され、久留米藩により採掘されたと伝えられている。戦前までは盛んに採掘されたが、金山

整備令により1943年にすべて休山した(太平洋戦争の激化に伴って金鉱山は不要不急産業の指定を受けて休山することになった)。戦後はいくつかの鉱床が小規模に再開されたが、現在はすべて休閉山している。産金量は約2tとされている(資源・素材学会, 1989)。

地元での話では、戦後ごく小規模に残鉱を採掘している人がいて、水銀を使用した「アマルガム法」による精錬をしていたが、水銀の規制が厳しくなってからはほとんど採掘をしていないらしいという話であった。

星野地域の金鉱床は西から興昌星野(こうしょうほしの)、金井星野(きんせいほしの)、鈴耳納(すずみの)、小室、熊渡からなる(図2)。なお、鉱床の名称は、鉱床の統合や鉱業権者の交代によってしばしば改称されてきたが、ここでは資源・素材学会(1989)の鉱床名を使用する。

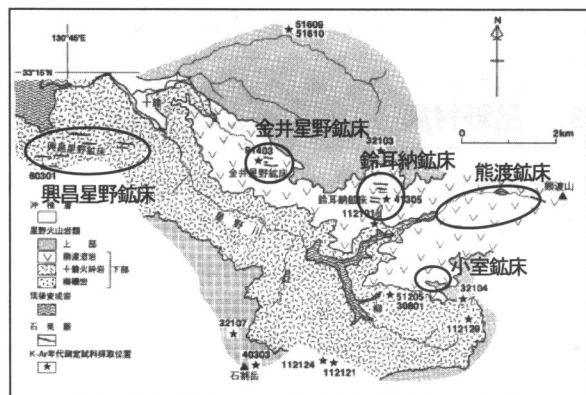


図2 星野地域の地質図(沢井ほか, 1998)

1. 興昌星野鉱床

20以上の既知鉱脈があるが、東西系、N 60° E系、N 60° W系の3系統に分けられる。母岩は鮮新世の安山岩質凝灰角礫岩である。脈幅は0.3~3mであり、鉱石は石英質金銀鉱であり、品位はAu: 6~10 g/tである。金属鉱物には自然金のほか、黄鉄鉱、白鉄鉱、輝銀鉱、濃紅銀鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、黄銅鉱、四面銅鉱などがあり、脈石鉱物は石英が主であるほか、炭酸塩鉱物、緑泥石も見られる(資源・素材学会, 1987)。

現在では鉱山跡(建物跡やズリ捨て場)はほとんど分からないが、山裾の集落では、採掘ズリである石英脈を田畑や家屋の石垣として使用してい

る箇所が多数あり、かつては盛んに掘削されたことがうかがい知れる。

2. 金井星野鉱床

20以上の既知鉱脈があり、走向東西、傾斜80° Nが卓越し、母岩は鮮新世の安山岩溶岩である。脈幅は0.9~6mで、品位はAu: 3~5 g/tであるが、しばしば極めて高品位鉱を産し、肉眼でも自然金が認められた(資源・素材学会, 1987)。

山腹には露天掘り跡や直径3mもの堅穴などの採掘跡が多数残っている。

3. 鈴耳納・小室・熊渡鉱床

小室鉱床、熊渡鉱床とあわせ、日曹仁田原(にっそうにたばる)鉱山として操業されていた。母岩は鮮新世の下部熊渡溶岩の安山岩溶岩である。最大の鉱脈は走向東西、傾斜30° Sを示し、脈幅は3mである。他の鉱脈も走向はほぼ東西、傾斜は60~70° Sを示し、脈幅は0.3~1m前後である。鉱石は一般に方解石を伴う金銀鉱であり、硫化鉄鉱を多量に含む(資源・素材学会, 1987)

4. おわりに

社会情勢の変化(金価格の高騰など)によっては、将来、鉱山開発が活発になることも考えられるが、日本においてはその可能性は小さいであろう。それよりも最近では、廃棄された携帯電話などの電子機器から有用金属を回収する、いわゆる「都市鉱山」が話題となっており、金については約200~300 g/tもの品位と言われている。今後は廃棄物の回収率の向上や回収コストの縮減などが、問題になってくると考えられる。

参考文献

1. 資源・素材学会, 1989, 日本金山誌, 第1編 九州. 114 p.
2. 佐藤 彬・中村研治・西川信康・木田祥治・竹之内耕・宮武修一・松木正義(1991): 九州中部地域における金鉱化作用—特に引治鉱山周辺の調査成果について. 鉱山地質, 41, 109-125.
3. 沢井長雄・松村法行・板谷徹丸(1998): 九州北中部, 星野金鉱床地域の火山岩と金鉱床のK-Ar年代. 地質学雑誌, 104, 377-386.

文: 松村法行 ((株)ダイヤコンサルタント)

地すべり調査における地質リスクの回避事例

うえと きくお*
上戸 喜久夫*

1. はじめに

私は平成10年頃より地すべり対策に関連した調査・解析を中心に業務を担当してきました。今回紹介する「私が経験した現場」は、効果的な地すべり対策工事を行ううえで、地質構造、地下水賦存形態を明らかにすることが如何に大切である

か、そして仮説をたてて調査を行い検証することの面白味を実感することができた、非常に思い出深い経験業務であります。

本論は新第三紀層地すべり地における複雑な地下水賦存形態と左右非対称の横断形状を持つ地すべり土塊に対する調査と対策工事例を紹介するものであります。

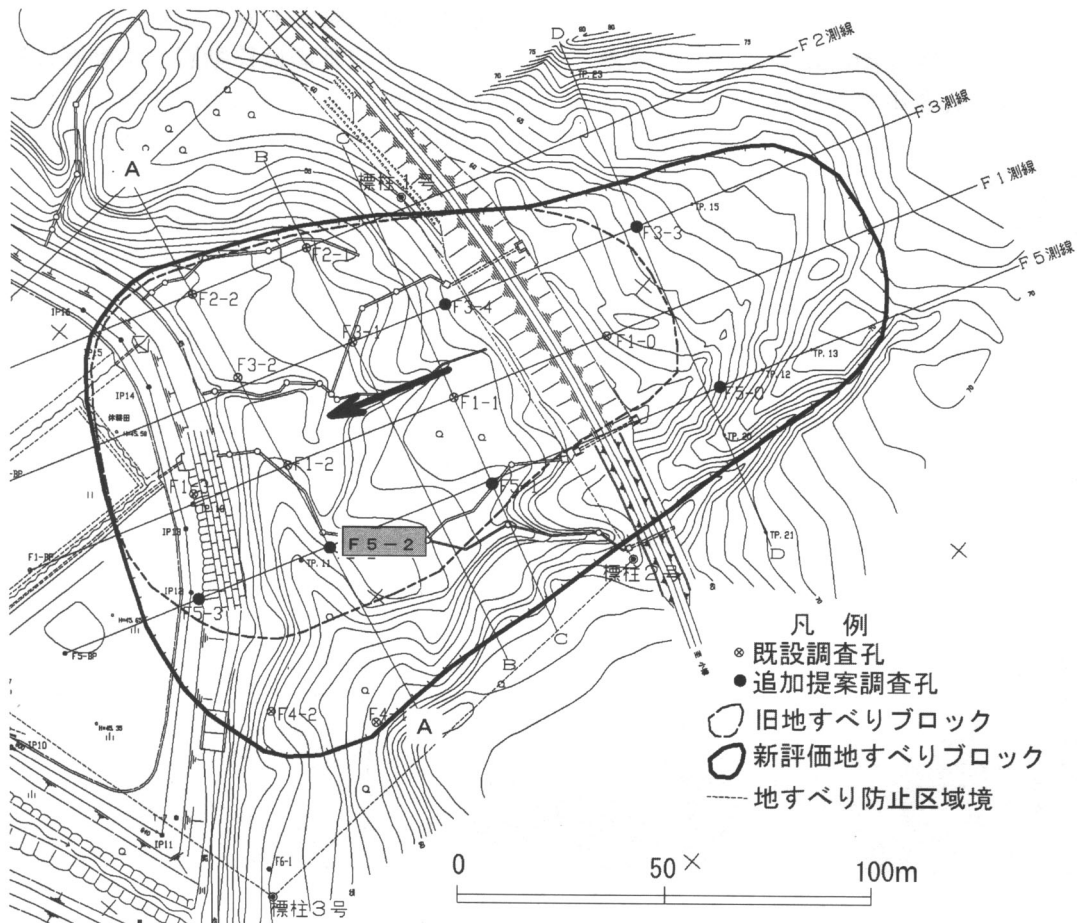


図-1 Fブロック平面図

* 上山試錐工業株式会社 技術部 技術専門員

2. 地すべり規模

図-1にFブロックの地形図を示した。地すべりブロックの大きさは幅130m,奥行き200m,最大地すべり層厚20m程度の規模である。

3. 地すべり土塊形状の特徴

図-2にA-A断面(図-1参照)の地質断面図を示した。当初,地すべり土塊の横断形状は図-2に示した旧想定すべり面のように想定していた。しかし,私は下記のような点に着目してF5測線の新設と調査・観測の追加実施を提案した。

- ① 既設調査観測孔(F2-2, F3-2, F1-2)で確認されている砂岩礫岩優勢層と強風化泥岩層の層理面(すべり面であることを確認済み)が左側端部側に緩く傾斜している。この傾斜に沿って,さらに層理面が連続して追跡された場合,すべり面深度が深くなる可能性がある。この場合,すべり面深度と地すべり土塊の横断幅に大きな誤差が生じ,地すべり対策工の規模や効果に大きく影響する。
- ② 左側端部と高位段丘面の境界に,左側端部の痕跡とみられる小崖が直線的に連続して追跡できる。地すべりブロックの幅によって,対策工施工範囲や工事数量が変化する。

その結果,翌年の孔内傾斜計観測結果より,融雪期の水位上昇を誘因として,F5測線に新設したすべての孔内傾斜計観測孔において変位を観測することができた。図-3はF5-2地点の観測結果図を示したものである。この図から,深度20m付近(強風化泥岩と砂岩礫岩優勢層の境界)に1cm程度の変位が生じていることが理解される。そし

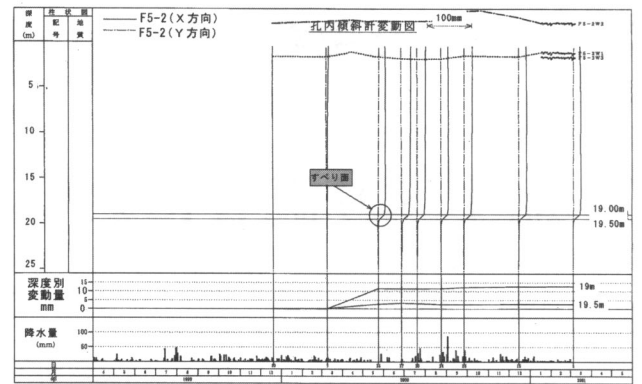


図-3 F5-2地点孔内傾斜計観測結果

て,この結果より,すべり面横断形状は図-2の新規すべり面横断形状に示したように決定することができた。

4. 地下水賦存形態の特徴

F5-2地点においてボーリング掘削時に確認した地下水位の変動状況,掘削完了後に行った地下水検層結果から判明した地下水流動層深度等をまとめて図-4 F5-2地点地下水賦存状況図に示した。

地下水流動層は移動層と不動層に複数存在し,それぞれ異なった水頭面を有している。以下に,調査結果から判明した地下水流動層について述べる。

① 第1地下水流動層

ボーリング掘削時に初期孔内水位として確認できる地下水流動層であり,自由地下水面をもつ。崖錐性堆積物層の中に確認されている。

② 第2地下水流動層

すべり面より上位の移動土塊内に存在する地下水流動層で,被圧地下水面をもつ。

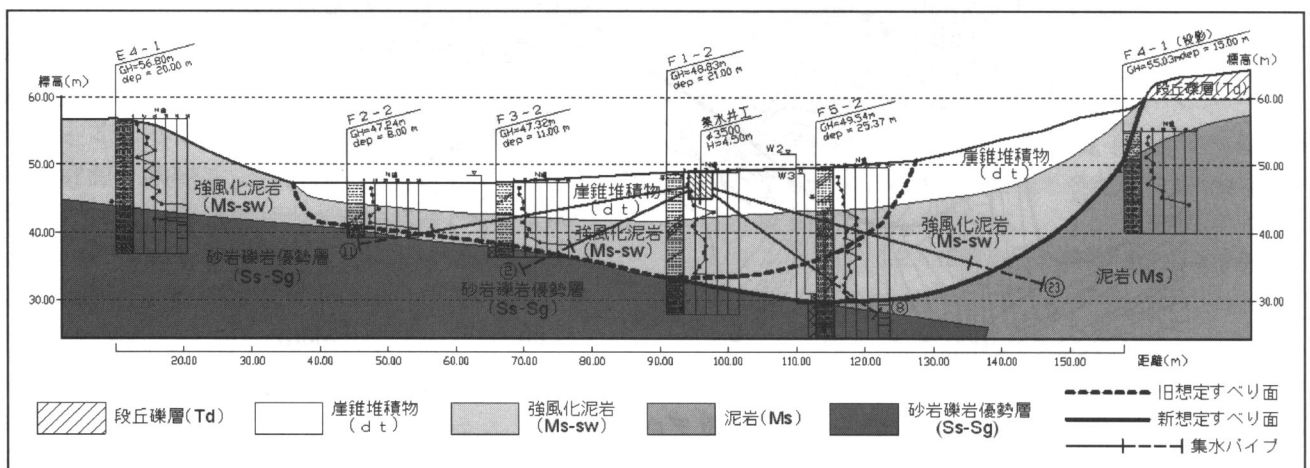


図-2 地質断面図 (A-A断面)

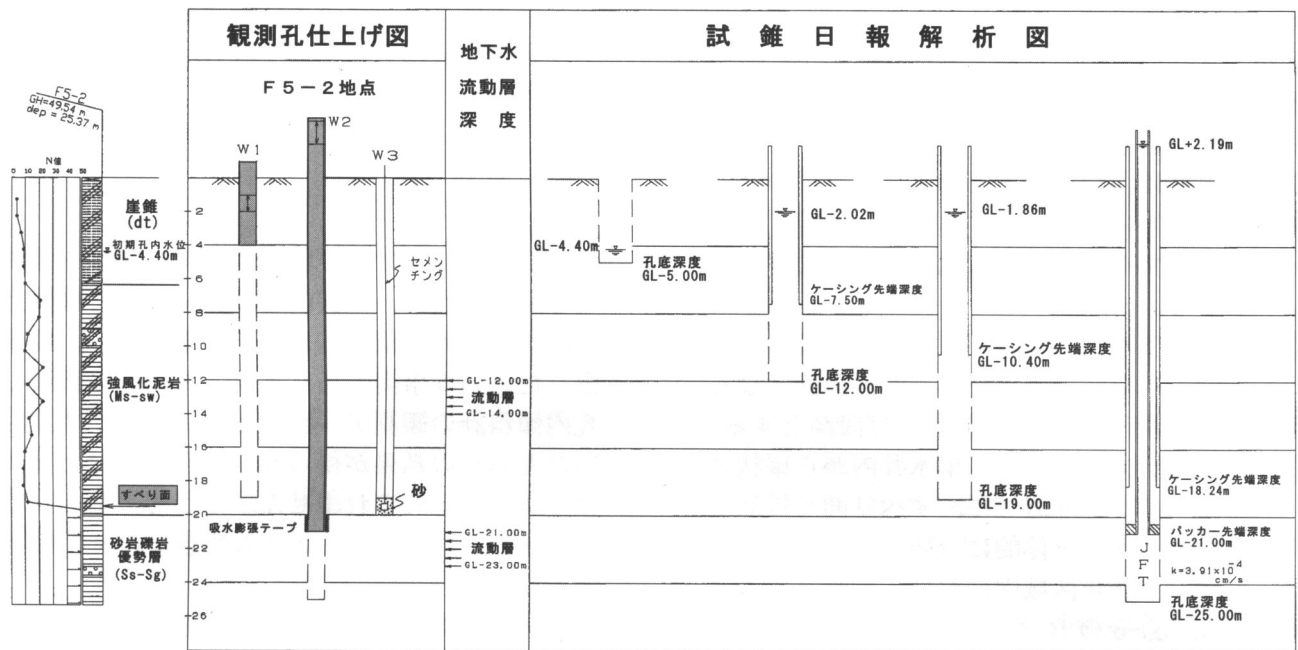


図-4 F5-2地点地下水賦存状況図

③ 第3地下水流動層

すべり面より下位の砂岩礫岩優勢層に賦存する地下水流動層で被圧地下水面をもつ。調査地においては、地表面より上まで上昇する被圧水頭をもち、自噴する。

水位変動状況と地すべり活動の関連を明らかにするために、地下水位観測孔を次のように設置した。

- ① 浅層地下水位観測孔 W1 で第1地下水流動層と第2地下水流動層の干渉水位を観測
- ② 深層地下水位観測孔 W2 で第3地下水流動層の被圧水頭を観測
- ③ さらに、すべり面粘土に発生している間隙水圧を直接計測することを目的として、すべり面深度に電気式間隙水圧計 W3 を埋設した。

地下水位観測結果を図-5 に示した。

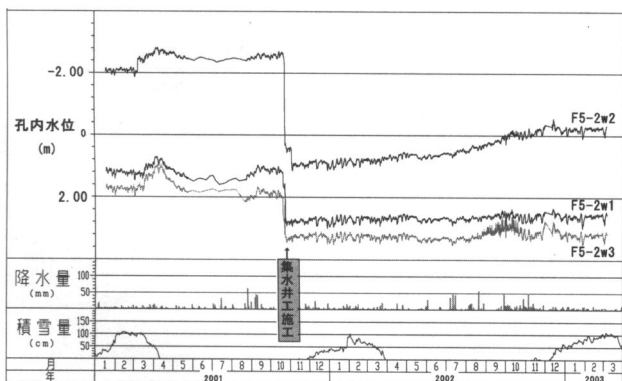


図-5 F5-2地点地下水位観測結果

試錐日報解析図

これより、すべり面深度に埋設した間隙水圧計のデータ W3 と浅層地下水位 W2 は、ほぼ同様の傾向を示していることが判明した。すなわち、すべり面付近には有圧地下水が存在し、その間隙水圧は浅層地下水位 W2 の観測地と近似しており、地表面付近に達する高い水頭を有していると考えられる。

5. 集水井工計画における調査結果の反映

これまで述べたよう地質的特徴を考慮したうえで実施した集水井工計画の要点を説明する。

(1) 基本条件

図-1 に示したように、Fブロックは地すべり防止区域界を超えて、さらに山側まで及んでいる。しかしながら、地すべり防止施設は地すべり防止区域内にあることが求められることから、施設の配置エリアが区域内に限定されてしまう。つまり、図-6 に示したように、地すべり防止区域界の下流側にしか集水パイプを配置することができない。

次に、集水井からの排水は自然流下によることを原則とするため、図-6 に示したように、集水パイプの設置高さは限定されてしまう。

(2) 集水パイプの配置決定における工夫

集水パイプの配置に関する一般的な方法は、図-6 に示した A 案のように、上向き 3~5° 程度の仰角で集水井内から扇状に配置するものである。このような方法で調査地において集水パイプを配置した場合、すべり面を貫通することができない

ため、すべり面近傍の有圧地下水をキャッチすることができない。そのため、すべり面粘土に作用する間隙水圧を低下する効果はほとんど期待できないと判断される。

よって、私は、つぎのような方法を採用した。

- ① 調査結果に基づいてすべり面等高線図を作成し、すべり面の3次元的な形状を明らかにする。
- ② 有圧地下水の被圧水頭より低く、且つ、普通河川へ自然流下させることが可能となる高さを決定し、集水パイプの打設高とする。
- ③ 図-7に示したように、集水井内から扇状に集水パイプを配置して、すべり面を貫通するポイントを全体的に分散させる。勿論、地すべり防止区域内における配置とする。
- ④ 図-2、図-6のB案とC案に示したように、すべり面を貫く手前1m程度から先端側をストレーナー管、それより吐口側を無孔管とし、両者の境界に吸水膨張テープを巻いて集水パイプ外周への漏水を防ぐ。

このような方法により施工した結果、写真-1に示したような排水が得られるとともに、図-5に示

したように、すべての水位観測孔で明瞭な水位低下を得ることができ、地すべりの沈静化を図ることができた。

6. 終わりに

この業務における経験を通じて、私が一番貴重だと感じる点は、地質的な根拠に基づく疑問点を解消するために積極的に業務提案を行い、結果を出したという事実であります。F測線に新設した孔内傾斜計の観測データにおいて、私が予期していたとおりの結果が得られたときの喜びと充実感はいまでも忘れられません。そして、その後の業務における取組姿勢に大きな影響を与えたことは明らかであります。

早いもので、私も定年まで片手で足りてしまう年になってしまいましたが、最後まで仕事に対する面白味を持ち続けながらやって行きたいと思っております。

最後に、この調査を実施するにあたり、発注者や工事関係者の方々には多大な便宜を図っていただきました。この場を借りてお礼申し上げます。

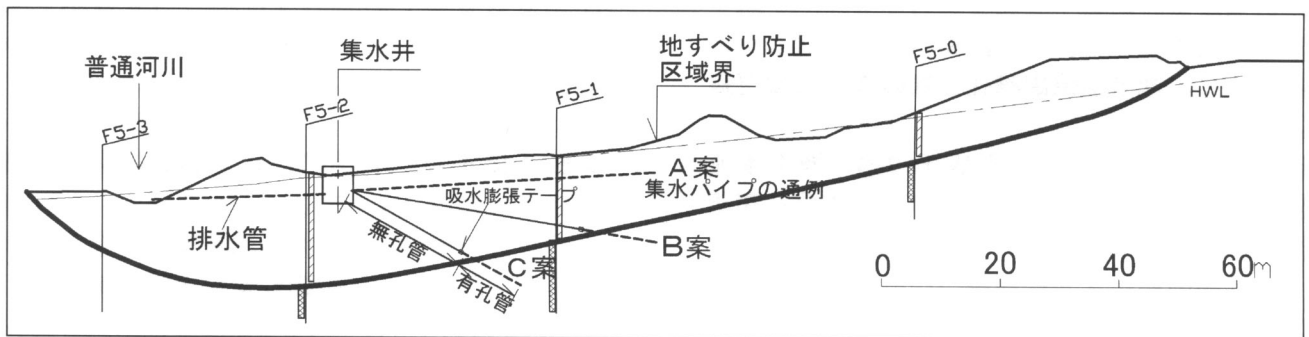


図-6 集水井計画断面図 (F5 測線)

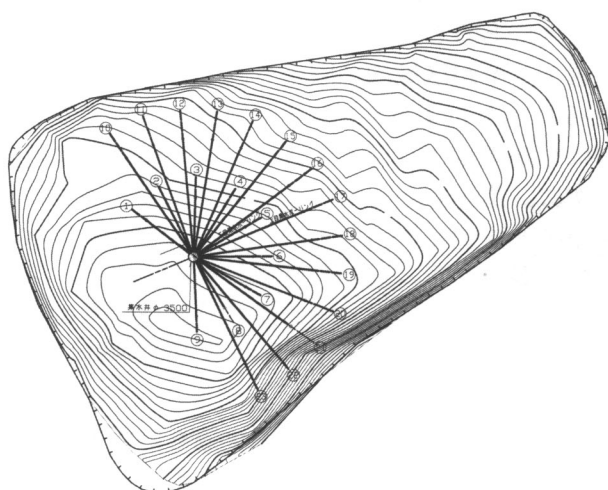


図-7 すべり面等高線と集水パイプの配置



写真-1 集水井からの排水状況 (H 20/10 撮影)