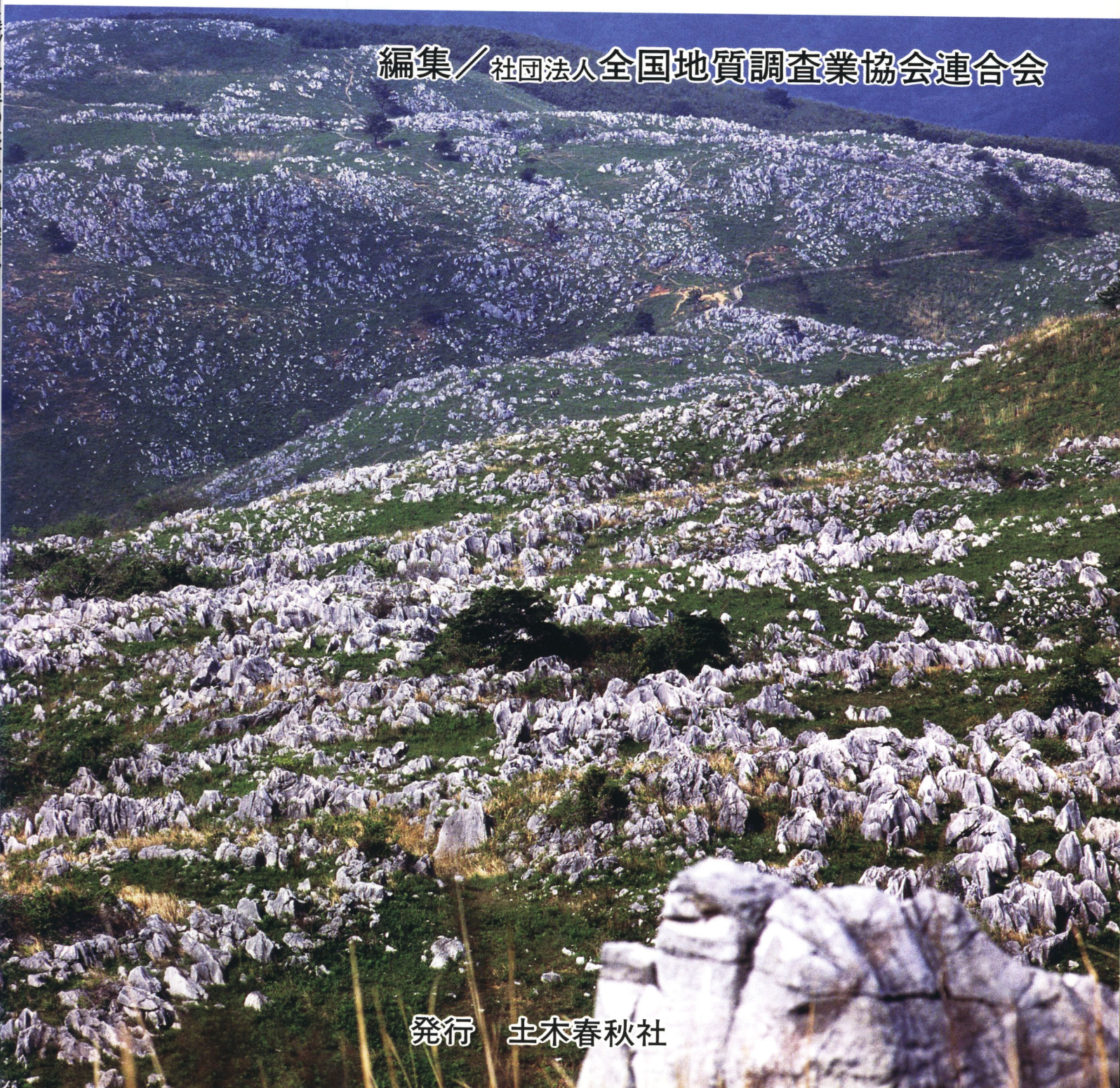


# 地質調査

'07 第4号

〔小特集〕谷埋め盛土の耐震化

編集／社団法人全国地質調査業協会連合会



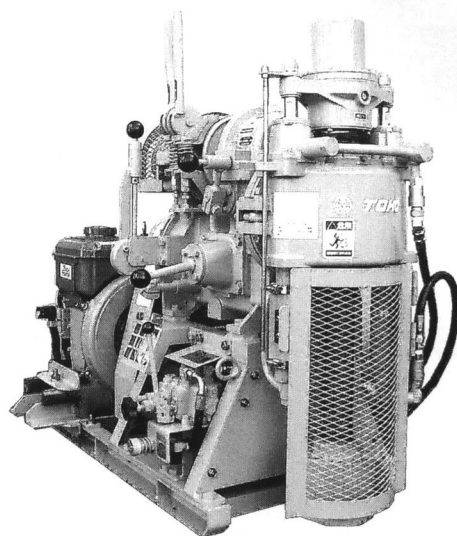
発行 土木春秋社



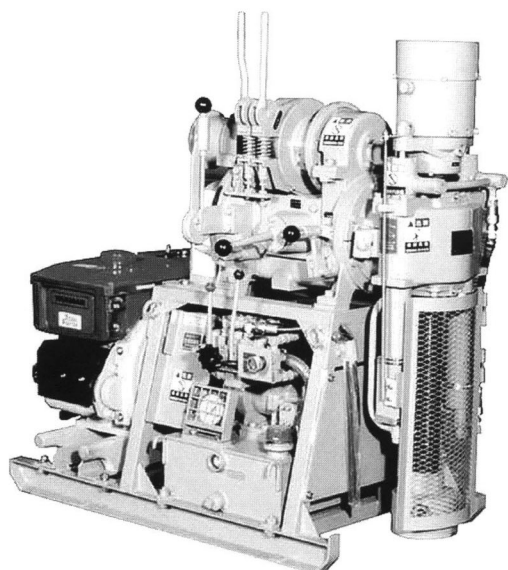
**TOHO**  
DRILLING EQUIPMENT

# 小型ボーリングマシン

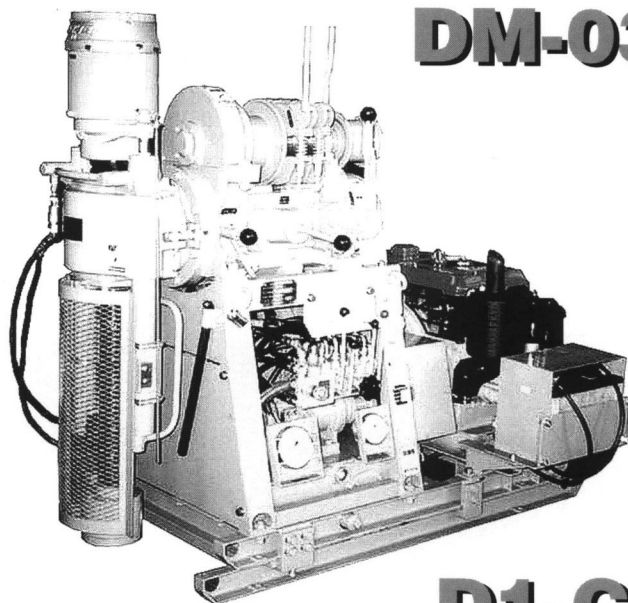
- ニーズに合わせて、ホイストドラムを取外し  
コーンプリータイプに変更することができます。
- ブーリの交換で地質にあったスピンドル回転数  
が選択できます。
- 試錐ポンプが内蔵でき、しかも原動機は1台で  
済みます。



**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.com>

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

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

巻頭言	宅地防災対策の必要性	東京工業大学教授 太田秀樹	1
小特集	谷埋め盛土の耐震化		
	総論 盛土の耐震性向上の考え方	安田 進	2
	宅地造成等規制法等の改正と宅地防災 マニュアル等の改定について	三輪賢志	7
	盛土の被害事例	釜井俊孝	11
	宅地造成盛土地盤の地質調査と 地震時の安定性評価	黒田真一郎	16
	川崎市における「宅地耐震化推進事業」の 取組みについて	瀧川道夫	22
	宅地地盤の耐震化を考える	田村昌仁	27
	宅地盛土のり面の耐震強化	山本 彰	34
	宅地地盤・基礎の地震被害事例	岡野泰三 佐藤 隆 松下克也	41
	道路盛土の耐震対策	杉田秀樹 佐々木哲也	45
教養読本	事業継続計画 (BCP)	丸谷浩明	50
やさしい知識	宅地耐震化推進事業について	石原寛之	54
各地の博物館巡り	秋吉台科学博物館	森岡研三	56
大地の恵み	日本最北の名水 利尻島	金 秀俊	58
	全地連「技術 e-フォーラム 2007」について		60
私の経験した現場	堆積軟岩における切土勾配決定の難しさと 不連続面のせん断強度	村岡 洋	64
会 告	平成 19 年度上半期の事業量は前年比 7.9%減 —全地連受注動向調査		69
	主な新事業の進捗状況について		70
	地質情報管理士資格検定試験の実施		71
	全地連保険制度 更新手続き・新規加入募集活動	実施中	71

**小特集** 社会資本の維持管理とアセットマネジメント

社会資本へのアセットマネジメント導入の方法と課題

道路橋の健全度評価手法とマネジメントシステムの開発

斜面の維持管理技術とアセットマネジメント

トンネルの維持管理技術とアセットマネジメント

静岡市の下水道施設の健全度判定とアセットマネジメント導入

大阪府の道路施設のアセットマネジメントに向けた取り組み

青森県橋梁アセットマネジメントについて

**教養読本** 地質調査業における CSR (Corporate Social Responsibility : 企業の社会的責任)**やさしい知識** ライフサイクルコスト (LCC) 分析

各地の博物館巡り

車窓から見る地形・地質

大地の恵み

**表紙：秋吉台のカルスト地形—カレンフェルトとドリーネ—**

山口県西部に位置する秋吉台は、石炭—ペルム紀の石灰岩が東西16 km・南北8 kmにわたって露出し、わが国最大のカルスト地形をなしている。写真(地獄台)には、石灰岩柱の林立したカレンフェルトがよく発達し、すり鉢状のドリーネも見られる。これらは石灰岩が雨水によって溶かされてできたものである。

秋吉台の地下には、たくさんの地下水系があり、台の上に川がないかわりに、地下に川が隠されている。地下の川の部分が、実は洞窟で秋芳洞などのような洞窟には

多量の地下水が流れている。こうした洞窟の中には、目の退化した特殊な生物が住んでいる。秋吉台の地下水系は地下地形としても、目のない生物の住む場所としてもとても大事で、「ラムサール条約湿地」に登録されている。

毎年2月には、「春を告げる恒例の山焼き」が行われ、約5,000人もの見物客でにぎわい、約1,500 haの秋吉台中が炎と煙に包まれる。

(写真提供：秋吉台科学博物館館長 配川武彦氏)

## 宅地防災対策の必要性

東京工業大学教授 太田 秀樹

山を削って、谷を埋める。こうして造成された土地に、新しい住宅街をつくる。戦後の経済復興期に、職を求める人々が続々と都市に移住したのに対応して、都市郊外の宅地がこのような手順で造成された。高価な宅地を買うだけの力が当時の人々にはなかったから、宅地はできるだけ経済的なものにする必要があった。

雨・風の風化作用にさらされている大地のなかで、山が山として現にそこに存在するのは、その部分が大地のなかでも相対的に硬いからである。切土部分の地盤がしっかりしているのに対して、盛土部分が相対的に柔らかいのはやむをえない。盛土工事が人為的な経済活動である以上、自然の山と同じにすることはとてもできない相談である。

昭和40年代前半までに造成された宅地が、年齢にすれば50歳になろうとしている。短いようだが50年の間に、地盤はそれなりに変化する。特に人工的に自然を改変した造成宅地では、その変化が意外に大きい。人為的な改変をうけた大地が、半世紀の間にどのような変貌をとげるのか。現場現場で違うのは言うまでもないが、多くの場合水がもたらす変化が大きい。

当たり前のお話であるが、もともと谷であった場所を埋めるのが盛土である。谷は山より低くて、だからそれ故に水が集まる。そこを埋めてしまうと、水が行き場を失ってしまう。盛土のなかに水が溜まると、あとあと大変なことになるから、造成工事で排水施設をつくって、水を盛土の外に出すように工夫する。

盛土は工事が終わってからも少しずつ沈下するから、半世紀もの間には排水施設に変状が発生する。変状した排水施設の中を水が流れ続けると、場合によっては周辺の土が水と一緒に流れ出てしまうことがある。盛土のなかに空洞ができてしまうわけである。空洞が次第に大きくなるようなケースだと、問題が深刻である。地中のことなので、我々の眼には見えない。知らないうちに盛土が不安定になってゆく。

一般に盛土は、年月とともに強くなると言われている。

しかし条件によっては、造成宅地が年月とともに不安定になってゆくケースがある。原因のすべてが地下水だとまでは言えないが、地下水がいたずらをしていることが多いのだろうと筆者は思っている。地下水が原因で地中に空洞ができるとか、地下水が原因で地中の一部が軟弱化するとかいった事態は、大体において進行的である。問題箇所が次第に広がってゆく場合が多い。

造成宅地に土地をもとめ我が家を建てた人は、大変な数にのぼるだろう。その人たちの中には、運が悪ければ、自分の土地の真下に空洞が発生している場合もあるだろう。しかし地中のことだから、本人がまったくご存じないのは当然だといえよう。年月とともに、空洞が地下水の上流方向に向かって広がったとしよう。空洞発生地の所有者の土地から、隣の土地へと広がったとする。空洞発生地の所有者は、隣の人に迷惑をかけていることになる。連鎖的に被害者が次の加害者になってゆくだろう。

このような事態が進行中らしいということが、仮に分かったとしよう。その場合、空洞発生地の所有者が、すべての補修費を出さなければならないのか。それともそれぞれの所有者が自分の土地の補修費を出すのか。関係者全員の合意が取れなかったら、事態を放置せざるをえないのか。またまた仮の話だが、仮に地震が起きて、その空洞が原因で何軒かのお宅が壊れたとしよう。この場合、いったい誰が責任をとるのか。それとも誰もとらないのか。

造成宅地が年月とともに劣化してゆくケースは少なくない。原因はさまざまであるが、上記の例のように地震に対して脆弱になっている宅地は、何らかの補強が必要である。しかし宅地は個人の所有物であるから、公の費用だけで補強することは原理的にムリがある。とは言っても現実には危険であることが推定されるのに、放置するのもおかしいではないか。こういったいわばジレンマとも言うべき事態に、何とか対応したい。このようなお役所の努力で、宅地防災対策が一步前進した。いろいろな意味で、画期的なことだと思う。今後更に改善・充実してゆくことを、筆者は願っている。

# 総論 盛土の耐震性向上の考え方

やす だ すすむ  
安 田 進\*

## 1. はじめに

我が国では戦後、高度成長期とともに都市近郊の台地や丘陵地に数多くの造成宅地が造られてきた。近年の地震ではこのように造成された宅地のうち、谷を埋めて盛土がされた箇所の被害が目立ってきている。このため、本特集号はこれまでに造られてきた既設の谷埋め盛土、特に造成宅地の地震時安定性の検討や対策工のあり方に焦点を当てたものである。これに関連して昨年、宅地造成法等規制法(以下、宅造法と呼ぶ)が改正になり、既設の大規模谷埋め盛土の耐震性を検討する必要が生じてきた。宅造法の改正の経緯は各論で述べられるので、筆者は自分なりに盛土の耐震調査に関係してきたこの30年余りのことをまず振り返って、既設の盛土の耐震性がなぜ問題なのかを考えてみた。そして、宅造法の改正と歩調を合わせて地盤工学会関東支部で耐震に関する手引きを作成したので、その紹介をし、技術的な課題を述べてみた。

## 2. 地震時に被災しやすい造成宅地盛土

筆者は1975年(昭和50年)に大学院を出て会社に勤めた。そして早速札幌の火山灰質砂質土による造成盛土の液

状化に関する業務を担当した。その数年前の1968年には十勝沖地震により清田団地で住宅の被害が発生していた。そこでその時の被害報告書を見てみると、図1のように明らかに盛土区域の家屋だけが被災していた<sup>1)</sup>。1964年の新潟地震で液状化が認識されるようになって間がなく、液状化が原因とは報告書には断言されていなかった。ただし、どうみても液状化したのだらうと思ひ、調査対象の造成盛土も液状化に対処しなければならぬといったようなことを報告書に書いた。この1968年の清田団地の被害が我が国における本格的な造成宅地の初めての地震被害だったのではないかと考えられる。

昭和50年代の初め頃は多摩ニュータウンの建設が盛んに行われていた。石原研而先生はこの盛土材の動的強度を求めて地震時安定解析に用いることを試みられ、筆者も手伝わせていただいた。その動的強度を求める方法は5.で後述するが、多摩ニュータウンの盛土材である関東ロームに対して繰返し三軸試験を行ったところ、動的強度は静的強度の1.2倍程度との試験結果が得られた<sup>2)</sup>。

そうこうしているうちに1978年宮城県沖地震が発生した。この地震では仙台市の緑ヶ丘などの造成宅地盛土で甚大な被害が発生した。その時に撮った写真が写真1である。ただし、この地震では中層建物の崩壊や河川堤防、タンクの被害の方が目立っていて、筆者は緑ヶ丘を訪れたのは一度だけであった。ここの被災原因は浅田秋江先生らによって詳しく調べられた<sup>3)</sup>。その結果、盛土を施工する際に伐開

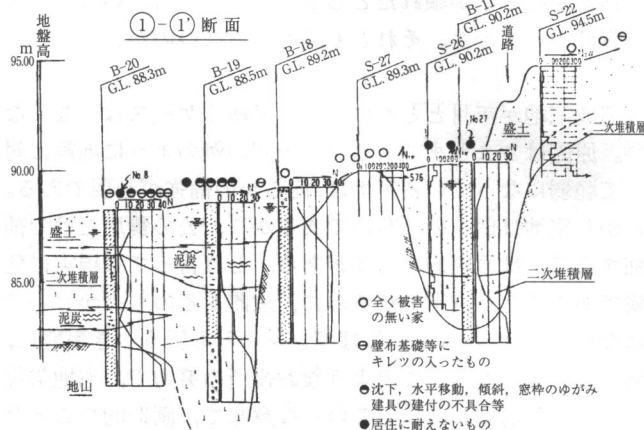


図1 1968年十勝沖地震による札幌市の清田団地の被害箇所<sup>1)</sup>



写真1 1978年宮城県沖地震による仙台市の緑ヶ丘の被災状況

\* 東京電機大学理工学部建設環境工学科 教授



写真2 1993年釧路沖地震による釧路市緑が岡の被災状況



写真3 1993年釧路沖地震における茅沼の被災状況

した草木で谷を埋められ、その上に掘削した岩石が埋められており、草木が腐り、また岩石の間を水が流れて岩石を風化させ、盛土下部の強度が弱くなっていったと推定された。なるほど、施工の仕方が大切なのだと筆者はその報告書を見た時に感じた。また、これから我が国では造成宅地盛土の地震被害が増えていくだろうと感じた。

上述したように宮城県沖地震では河川堤防の被害が甚大であった。そのため、河川堤防の被災メカニズムに関する調査が地震後に多く行われた。その一つとして、被災した名取川堤防で液状化により発生した過剰間隙水圧を推定し、それを考慮した安定解析が行われた<sup>4)</sup>。これが過剰間隙水圧を考慮した盛土の地震時安定解析を広める契機となったと言えよう。ただし、過剰間隙水圧を考慮すると設計震度は考慮しなくて良いのか、それとも半分程度は考慮すべきなのか、当時は意見が分かれていた。

次に造成盛土の被害が発生したのは1987年の千葉県東方沖地震である。この時、長南中学の校庭の盛土が大きく崩れた。スウェーデン式サウンディングで被災した箇所の調査を行ってみたところ、盛土はかなり緩かった<sup>5)</sup>。

1990年代にはいつてからは、やはり大地震の度に造成宅地盛土の被害が続出することになってきた。1993年の釧路沖地震では釧路市の緑が岡や武佐などで写真2に示すように多くの被害が生じた。被災原因に関しては詳細な調査が行われ、谷壁部を高盛土したのり面の慣性力による崩壊や、

盛土の一部の液状化、さらに液状化に伴う地盤の流動と、いくつかの原因で造成盛土が変状し、家屋や埋設管に被害が発生したことが明らかにされた<sup>6)</sup>。近郊の茅沼でも造成宅地盛土が沼に向かって写真3に示すように変形した。

その後も1995年兵庫県南部地震、2003年十勝沖地震、2004年新潟県中越地震、2007年新潟県中越沖地震と造成盛土宅地の被害が発生してきたのは記憶に新しいところである。

以上のような被災事例に基づくと、① 締固めが不十分で緩い盛土、② 液状化しやすい土で造られた盛土、③ のり面勾配が急とか高い盛土、④ 地下水排水工が不十分で地下水位が高い盛土、⑤ 風化層の除去など地山の処理が不十分な盛土、⑥ 盛土材に草木や岩が混入している盛土、などが被災しやすいと言えるようである。

### 3. 造成宅地における耐震設計の導入の経緯

筆者が造成宅地の耐震性に関する指針作りに関係させていただいたのは1984年である。住宅・都市整備公団において「宅地耐震設計指針(案)」が作成され、地盤の液状化、のり面の安定性、擁壁の安定性、自然斜面の安定性に関する検討方法が示された。のり面の安定性の検討方法では、前述した多摩ニュータウンでの実験結果をもとに粘性土では常時の粘着力の1.2倍程度を見込んでおいても差し支えないことや、飽和した砂質土では過剰間隙水圧を考慮したすべり安定解析を行うことが盛り込まれた。この指針は2003年(平成15年)に改訂され「宅地耐震設計マニュアル(案)」が出されている。

一方、1962年に宅造法が創設され、宅地造成に伴い災害が発生するおそれの著しい区域を、宅地工事規制区域として指定できるようになった。そして、この区域内で行われる宅地造成工事については、地盤の安全性の確保、擁壁の設置、排水施設の設置といった防災措置を講じる必要があることが定められた。ただし、これは豪雨から宅地を守ることを主眼とされていた。1988年には建設省民間宅地指導室監修の「宅地防災マニュアル」が出版され、ここでは中地震に対する擁壁の設計が参考として示された。そして、1998年に「宅地防災マニュアル(改訂版)」が出版され、そこには宅地擁壁に関して中地震および大地震の2つの地震動に対する設計法が示され、盛土に関しては一定の条件下において大地震時に対する検討方法が示された。

このように造成宅地で地震時安定性が検討されるようになってきたのは最近である。昭和30年代から多く造成されてきた既設の造成宅地のうち、古いものは耐震性にほとんど考慮がなされずに造成されてきたと考えられる。

### 4. 地震時安全性の検討手順

過去の被災事例が物語っているように、切土に比べて盛土は一般に地震時に変状を起こしやすい。さらに、盛土の中でも谷埋め盛土の方が変状を起こしやすい。ただし、耐震性を考慮した設計や施工を行えば、大地震時においても

安定した盛土が造成できる。例えば、良い盛土材を用いて、排水設備を設置し、締固めも十分に行えば安定しているはずである。新設の造成盛土であればこのようなことを考慮して安定した宅地ができる。

これに対し、上述したように多くの既設の谷埋め盛土では耐震性を考慮して設計・施工されてきていない。そこで耐震性の検討や対策が必要であるが、既設の場合は以下に示すようにいくつかの困難な問題を抱えている。

- ① 造成時の資料が残っていないと宅地のうちのどこに谷埋め盛土が存在するか分からなく、そのための特別な調査が必要となる。
- ② 造成時の資料が残っていないと排水処理方法や使った盛土材、施工方法が分からない。したがって、地下水位や盛土材の強度分布が分からない。このため、地盤調査地点の選定および適切な数量の決定が難しい。さらに、家屋があるため地盤調査も実施し難い。
- ③ 新設の盛土では締固めや排水暗渠の設置など簡単な方法で対策がとれるが、既設の場合は家屋が建っているままで対策しなければならず、抑止工や抑制工といった大がかりな方法で対策をとらざるを得ない。このための費用も多くかかる。

さて、宅造法の改定にともなって、国土交通省から調査のガイドラインが出された。これについては各論で述べられると思われるので、ここではこれと同時期に歩調を合わせて地盤工学会関東支部で検討した手引き<sup>1)</sup>に示した既設造成宅地における耐震性調査・検討・対策の手順の概要を述べてみる。

#### <手順1> 調査対象地域の設定および盛土造成地の位置と規模の把握

まず、地形図や都市計画図等をもとに市街化の動向や土地利用状況を把握し、宅地として土地利用されていない地域は検討対象から除外する。そして対象範囲内において、新・旧の航空写真や地形図をもとに机上で盛土箇所の抽出を行う。例えば、図2は他の目的で、ある地区の新・旧航空写真をもとに盛土箇所および盛土厚さの分布を調べたものである。このような調査を行えば、盛土箇所の抽出が行える。ただし、航空写真や地形図の縮尺によって抽出した区域の精度が異なる。

#### <手順2> 現地踏査による詳細調査区域の選定

机上で抽出した盛土箇所に対し現地踏査を行って、詳細な調査が必要かどうか、また、その検討の優先度などを判断する。現地踏査では盛土高やのり面勾配、のり面の変状、擁壁の種類、擁壁の変状などをもとに詳細な調査の必要性を判断する。

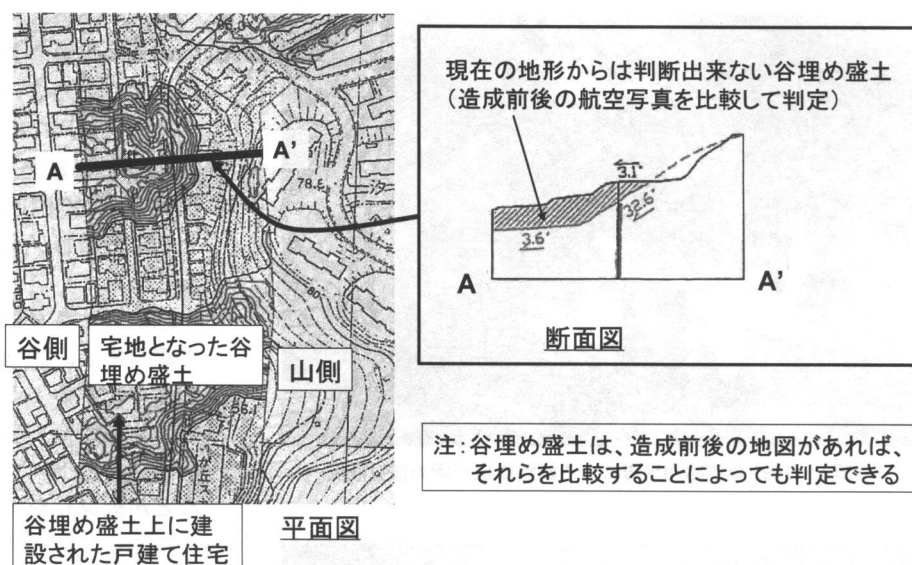


図2 造成前・後の航空写真を用いて盛土箇所および盛土厚さを調べた例

#### <手順3> 安定性検討のための現地調査

詳細な調査が必要と判断された盛土に対し、地盤調査および土質試験を行って、安定解析に必要な定数を求める。また、地下水位分布や既存構造物の調査も行う。

#### <手順4> 地震時安定性の検討

現地調査を行った盛土に対し、地盤および建物等の地震時安定性を定量的に検討する。このために、液状化の可能性のある箇所ではまず液状化の発生の推定を行い、これを考慮してのり面の安定性や擁壁の安定性の検討を行う。そしてその結果をもとに建物の地震時の安定性の検討を行う。

#### <手順5> 安定対策の設計と施工

地震時の安定性に問題があると判断された場合には適切な対策工を選定し、対策工の設計を行う。この場合、地盤の変状を防ぐ対策以外に、家屋の基礎を補強することによる対策もあり、いくつかの対策工を選定して比較検討する。

## 5. 既存の造成宅地盛土の耐震性検討における技術的な課題

既存の造成宅地盛土の耐震性の検討は上述したとおりであるが、本格的な検討事例はまだなく、実際にどのような問題が発生するか分からないのが現状である。そこで、宅地ではないが他の既設盛土での検討事例をもとに、今後検討すべき課題を挙げてみると以下のようなものがある。ただし、対策費用に関して国・自治体・住民間の分担方法や、団地内での盛土箇所・切土箇所の住民の分担方法など、経費の問題は大変深刻であるが、ここでは取り上げず、技術的な課題だけに留めておく。

### (1) 安定性のための現地調査の実施方法に関して

安定性検討のための現地調査では、盛土の厚さ、地下水面、盛土材料、盛土の締固め度などの三次元分布が分からなければならない。このためにはボーリング、標準貫入試験といった一般的な調査だけでは無理で、物理探査、簡易なサウンディングなどを駆使する必要がある。地山表面に



風化層が残っているような場合にはこの薄層の把握も大切である。そこで、どの程度の調査数量で三次元の把握が行えるのか、適切な調査数量・方法を確立していく必要がある。また、地山上に排水暗渠が設けられている場合は地下水位の分布が静水圧分布にならないこともあるので、孔内水位から地下水位を求める時にはボーリング底の深度に注意が必要であり、このような盛土独特の地盤特性に関して留意事項を明らかにしていく必要がある。

## (2) 盛土材の動的強度の求め方に関して

地震時に土の強度が変化することがある。典型的な例が液状化する土の場合で、繰返し载荷の効果によって強度が大幅に低下する。逆に液状化しない粘性土の場合には、地震荷重の载荷時間が静的载荷に比べて速いため、強度が増加することもある。造成宅地に用いられる盛土材の種類や密度は多種多様であり、このような強度増減効果の影響を考慮して安定解析を行う必要がある。液状化の場合には試験方法が確立されてきたが、粘性土の動的強度や、不飽和土の動的強度に関してまだ試験方法が確立されていない。一例として前述した多摩ニュータウンで行われた動的強度試験方法を以下に示してみる。

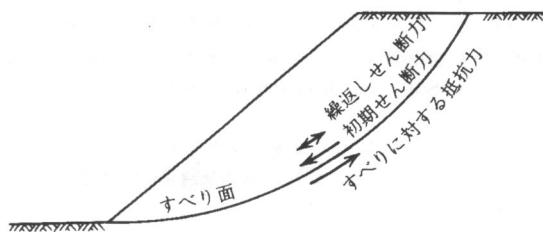


図3 すべり面に加わる力の扱い

これは図3に示すようなすべり面に初期せん断応力が加わっているところに、繰返しせん断応力が加わると考え、それを繰返し三軸試験や繰返しねじりせん断試験で再現する方法である。図4に示すように、初期せん断応力  $\tau_s$  を排水状態で与えておき、非排水状態にして所定の波数の繰返しせん断応力を与える。そして破壊するまでその繰返しせん断応力の振幅を上げていき、破壊した場合の繰返しせん断応力  $\tau_{df}$  と  $\tau_s$  を加え合わせたものを動的強度とみなす。多摩ニュータウンでは関東ロームや稲城砂における動的強度が得られた<sup>2)</sup>が、その後いくつかのデータを付け加え筆者が塑性指数との関係でまとめてみたものを図5に示

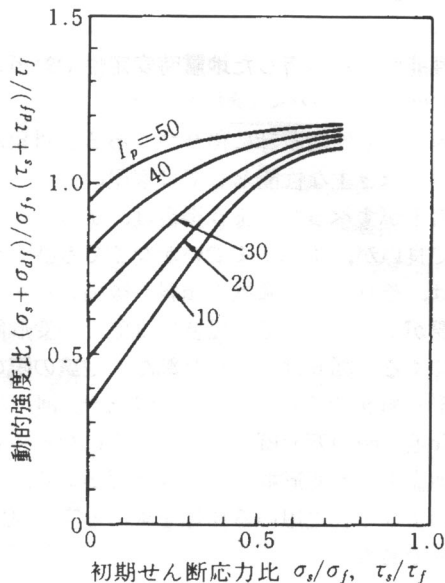


図5 動的強度特性のまとめ<sup>(8),(9)</sup>

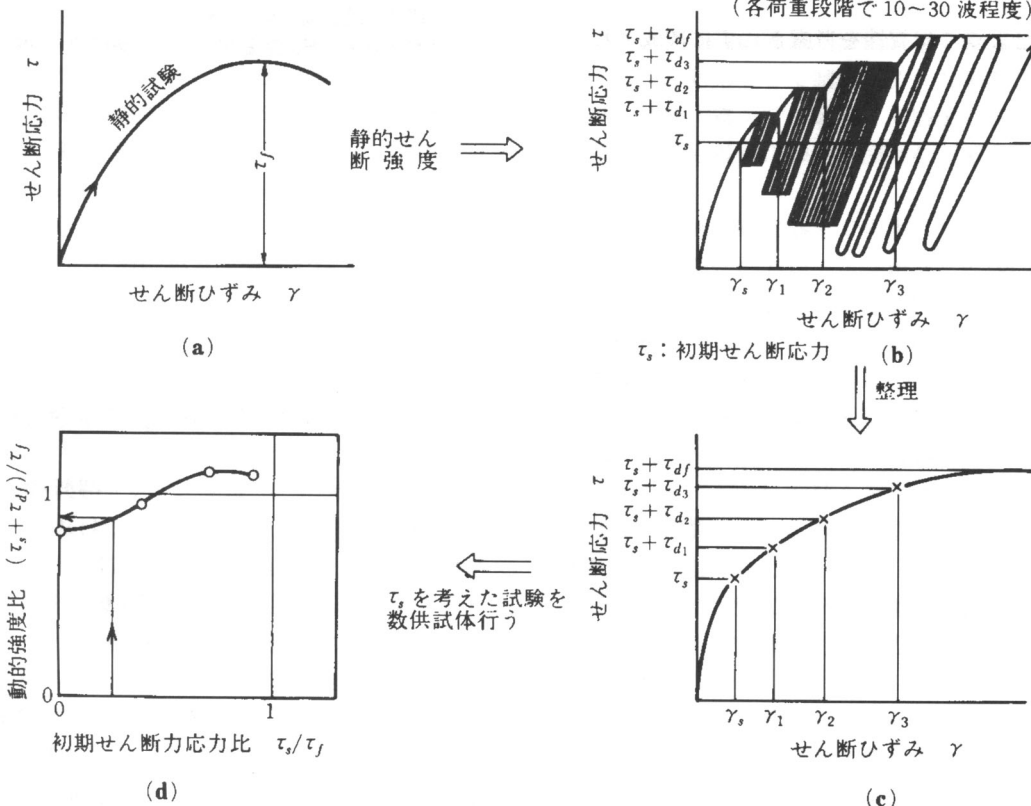


図4 動的強度試験方法の模式図<sup>(8)</sup>

す<sup>8),9)</sup>。縦軸は静的強度に対する動的強度の比を示している。塑性指数が大きい粘性土の場合、载荷時間が短い効果が卓越し、動的強度は静的強度より2割程度大きくなっている。これに対し、塑性指数が小さい砂っぽい土になると、初期せん断応力が小さい場合に繰返しせん断応力が両振れになってくるので、繰返し载荷効果により過剰間隙水圧が発生して強度が低下している。ただし、図3に示したように、常時のすべりに対する安全率 $F_s$ の逆数が初期せん断応力比に該当すると大まかに考えられるため、 $F_s$ が1.5程度の盛土を想定すると動的強度比は1を超えることになる。

### (3) 性能設計を考慮した地震時安定性や対策のあり方に関して

最近耐震設計も性能設計に移りつつある。対象が宅地なので、考慮すべき主な性能としては家屋の被害であろう。家屋下の盛土がすべってしまう場合は、すべり安定解析を行うだけで良いが、すべるまでいかなくても盛土が変形する場合には、それに伴う家屋の傾斜や破損の定量的な評価をする必要がでてくる。その場合には盛土の変形解析も必要になってくる。図6は上述した釧路沖地震の際の茅沼の盛土の変形を解析で再現したものである<sup>6)</sup>。河川堤防ではこのような地震時の変形解析を行うようになってきつつあるが、宅地盛土でも変形解析を行う必要がある。そのために解析法およびそれに用いる物性を求める室内試験方法の確立が必要である。

## 6. あとがき

以上述べてきたように耐震性を考慮されずに造成されて

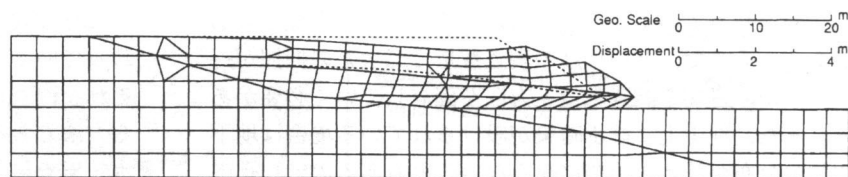


図6 動的解析による茅沼の盛土の変形解析例<sup>6)</sup>

きた宅地が全国に数多くあり、最近地震時の被害が増えてきている。住民を守るために早急に対策をとっていく必要があるが、費用の問題に加えて、既設造成宅地盛土の耐震性の検討には技術的にも多くの課題を抱えている。今後の技術開発や研究が行われることが望まれる。

### 参考文献

- 1) 1968年十勝沖地震調査委員会：1968年十勝沖地震調査報告，1969.
- 2) 石原研而・木賀一美・坂本雅男・安田 進：多摩ニュータウンに分布する稲城砂および粘性土の動的性質，第13回土質工学研究発表会講演集，pp. 589-592, 1978.
- 3) 土木学会東北支部：1978年宮城県沖地震調査報告書，1980.
- 4) 岩崎敏男・常田賢一・安田 進：1978年宮城県沖地震における地盤の耐震性に関する調査，第14回土質工学研究発表会講演集，pp. 1285-1288, 1979.
- 5) Ishihara, K., Yasuda, S. and Yoshida, Y.: Liquefaction-induced flow failure of embankments and residual strength of silty sands, Soils and Foundations, Vol. 30, No. 3, pp. 69-80, 1990.
- 6) 地盤工学会 1993年釧路沖地震・能登半島沖地震災害調査委員会：1993年釧路沖地震・能登半島沖地震災害調査報告書，地盤工学会，1994.
- 7) 地盤工学会関東支部：造成宅地における耐震調査・検討・対策の手引き—地震から既存の住宅を守るために—，地盤工学会，2007.
- 8) 安田 進：火山灰の動的特性に関する2,3の実験，火山灰に関する研究討論会論文集，土質工学会北海道支部，pp. 45-52, 1992.
- 9) 地盤調査・土質試験結果の解釈と適用例，地盤工学会，1998.

# 宅地造成等規制法等の改正と 宅地防災マニュアル等の改定について

み お けん じ  
三 輪 賢 志\*

## 1. はじめに

「宅地造成等規制法等の一部を改正する法律」については、平成18年3月31日に成立し、翌4月1日に公布され、9月30日から施行された。今回の改正は、昭和36年に宅地造成等規制法が制定されて以来、初めての抜本的な改正となった。以下では、今回の法改正の背景および概要、そして地方公共団体に技術的助言として示している宅地防災マニュアルの改定と、大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの策定を中心として解説していく。

## 2. 従前の宅地造成等規制法の概要

宅地造成等規制法は、戦後、人口急増に伴い宅地開発が進められた造成地において、集中豪雨等により、崖崩れ等の災害が頻発したことを踏まえて昭和36年に制定された。具体的には、新たな宅地造成に伴い崖崩れや土砂の流出による災害が生ずるおそれが大きい市街地または市街化が予想される区域を、都道府県知事（政令市、中核市、特別市の長を含む。）が「宅地造成工事規制区域」として指定し、当該区域内で行われる一定規模以上の切土または盛土（宅地造成工事）を許可に係らしめるとともに、宅地所有者等に対して、災害防止のために必要な措置を講ずべきことを勧告し、または命令することができることとする等の規制を行う制度であった。

## 3. 総合的な宅地防災対策に関する検討会

平成7年の阪神・淡路大震災、平成16年の新潟県中越地震において、宅地における盛土造成地での被害が多発した。このことを受け、平成17年5月に都市・地域整備局において総合的な宅地防災対策に関する検討会（以下「検討会」とする。）を開始した。検討会は、新規造成地における土砂流出防止に重点をおいていたそれまでの宅地防災対策を、震災による被害軽減を重視する総合的な「地盤災害」対策として、強化・推進していくために設けられたものである

\* 国土交通省 都市・地域整備局都市計画課開発企画調査室 企画専門官

表1 検討会メンバー

名 前	所 属
池邊このみ	(株)ニッセイ基礎研究所社会研究部門上席主任研究員
宇賀 克也	東京大学大学院法学政治学研究科教授
太田 秀樹 (座長)	東京工業大学大学院理工学研究科国際開発工学専攻教授
沖村 孝	神戸大学都市安全研究センター教授
釜井 俊孝	京都大学防災研究所・地盤災害研究部門助教授
木村 拓郎	(株)社会安全研究所長
土井 幹夫	横浜市まちづくり調整局指導部宅地開発担当部長
中川 雅之	日本大学経済学部教授
廣井 脩	東京大学大学院情報学環・学際情報学府教授
二木 幹夫	(財)ベターリビング筑波建築試験センター所長

(表1)。

従前の宅地造成等規制法は、集中豪雨などによる土砂流出災害への対応として制度化されたものである。ところが、阪神・淡路大震災では数多くの盛土の変動が生じ、新潟県中越地震でも長岡市の高町団地など盛土の変動事例が多数見られた。

これら大地震時に盛土で発生した災害は、従来の法制度が必ずしも念頭においてこなかった態様のものであることが明らかになった。それは、「崖崩れ」のような宅地表面の土砂流出ではなく、より深層の切り盛り境界や地山との境界面で地すべりの崩壊を起こす現象である。検討会では、こうした災害事象を滑動崩落と呼ぶこととした。滑動崩落とは、大規模な盛土造成地において、盛土全体または大部分が主として盛土底面をすべり面として旧地形に沿って崩落する現象をいい、特に谷や沢を埋めた盛土造成地で集中的に発生している。

そこで、検討会では3つの基本的目標を掲げ、宅地の地震防災対策を法制度や予算等の施策として位置づけることを必要とした。

3つの基本的目標は以下のとおりである。

- ① 大地震時における大規模盛土造成地の安全性に係る技術的基準を明確にする。
- ② 上記基準を踏まえ、今後新規に造成される大規模盛

土造成地の安全性を確保する方策を実施する。

- ③ 現在我が国に多数存在すると思われる危険な大規模盛土造成地について、その安全性向上を図るための方策を導入する。

#### 4. 法改正の概要

##### 4.1 宅地造成に関する工事の技術的基準の見直し

検討会の基本的目標をふまえた今回の改正の目的は造成宅地の滑動崩落を防止することであり、そのために設置すべき施設および地盤について講ずべき措置を、政令の技術的基準に盛り込む必要がある。

宅地造成等規制法施行令（以下、「施行令」という。）の第4条に、「擁壁、排水施設及び地滑り抑止ぐい並びにグラウンドアンカーその他の土留め」とした。新たに追加された施設は地滑り抑止ぐい、グラウンドアンカー、その他の土留めである（図1, 2, 3）。

また、政令第5条には地盤について講ずる措置に関する技術的基準を示しており、その第3項において排除する対象に地下水を追加している。これは、原地盤が谷地形のため地下水が集まりやすい谷埋め盛土等から地下水を排除することにより、滑動崩落を未然に防止するために規定したものである（写真1）。

政令第5条第3項においては、あわせて検討会において指摘されていた盛土の締固めについて、盛土に緩み、崩壊またはすべりなどが生じないように、おおむね30 cm以下で敷き均した上で締固めするよう規定したところである。

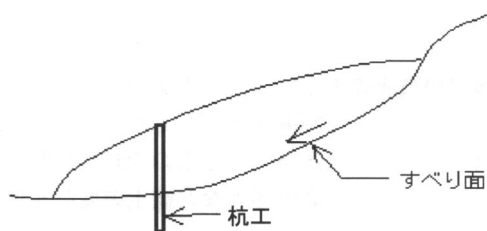


図1 地滑り抑止ぐい

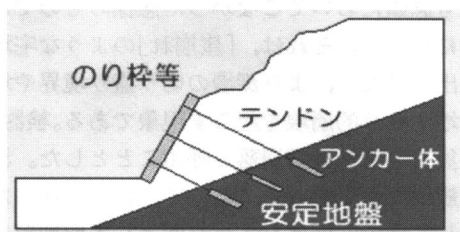


図2 グラウンドアンカー

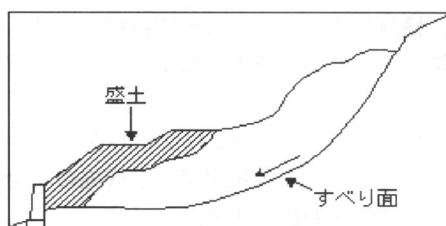


図3 その他の土留め（押しえ盛土）



写真1 地下水排除工（暗渠排水工）

##### 4.2 「造成宅地防災区域」の導入

###### (1) 造成宅地防災区域の指定

今後発生が懸念される首都直下地震等の大規模地震災害においては、多くの盛土造成地が崩壊または変動するという危険性が指摘されている。また、昭和40年代から50年代にかけて活発に供給された宅地は、造成から30年程度を経て、設置された擁壁等の施設の老朽化が見受けられ、修復等が必要なものが増えてきている。

過去に造成された大規模造成宅地であって、地形・地質上、宅地造成に関する工事の規制を行う必要は認められず、したがって宅地造成工事規制区域の指定を受けなかったものについても、例えば、地震時に滑動崩壊して公共施設等に甚大な被害をもたらす危険性のあるもの等、宅地造成に伴う災害のおそれが認められるものが全国に存在する。このような宅地についても、安全の確保の必要があることから、宅地造成工事規制区域外の造成宅地であって、宅地造成に伴う災害発生により相当数の居住者その他の者に危害を生じさせるおそれがある一団の土地の区域であって、当該災害の防止のため必要な措置をとるべき一団の土地の区域であって政令で定める基準に該当するものを造成宅地防災区域として指定することができることとする。

なお、災害の防止のため必要な措置をとるべき一団の造成宅地の区域の基準については、災害発生の蓋然性を考慮して客観的に決められるべき性格のものであり、政令で定める必要がある。

政令第19条第1項に定めている造成宅地防災区域の指定基準は3つであり、基本的に滑動崩落現象を起こしうる造成宅地を対象としている。

###### ① 谷埋め盛土型

安定計算による安全率が1.0未満かつ盛土をした土地の面積が3,000 m<sup>2</sup>以上かつ盛土をした土地の地下水位が盛土前の地盤面の高さを超えて盛土内に浸入。

###### ② 腹付け盛土型

安定計算による安全率が1.0未満かつ盛土前の地盤面の勾配が20度以上かつ盛土の高さが5 m以上。

###### ③ その他

造成宅地について「地盤の滑動」、「擁壁の沈下」、「崖の崩落」その他これらに類する事象が生じているもの。

(2) 造成宅地防災区域内における勧告や命令

造成宅地防災区域内においては、災害が発生した場合に想定される周辺の公共施設、家屋等へ与える損害の甚大さにかんがみて、同区域内の宅地の所有者等は宅地の安全性の確保のために擁壁等の設置等の必要な措置を講ずるよう努めなければならないこととする。また、都道府県知事は、造成宅地防災区域内において擁壁、排水施設等の設置が不十分である場合等においては、宅地の所有者等に対して必要な措置を講ずるよう勧告または命令することができることとする。

5. 宅地防災マニュアルの改定

「宅地防災マニュアル」(平成元年7月6日建設経済局長通達、改定版平成10年2月3日建設経済局長通達)は、宅地造成等規制法に基づく宅地造成工事および都市計画法に基づく開発行為(以下「開発事業」という。)の許可等に当たっての防災措置に関する基本的考え方や具体的手法等を体系的に取りまとめて、開発事業者が開発事業を実施する際および都道府県等が開発事業の審査を行う際の参考に供するために作成されたものである。

宅地造成等規制法および政令の改正が行われたことをふまえ、前回の改定から9年が経過している「宅地防災マニ

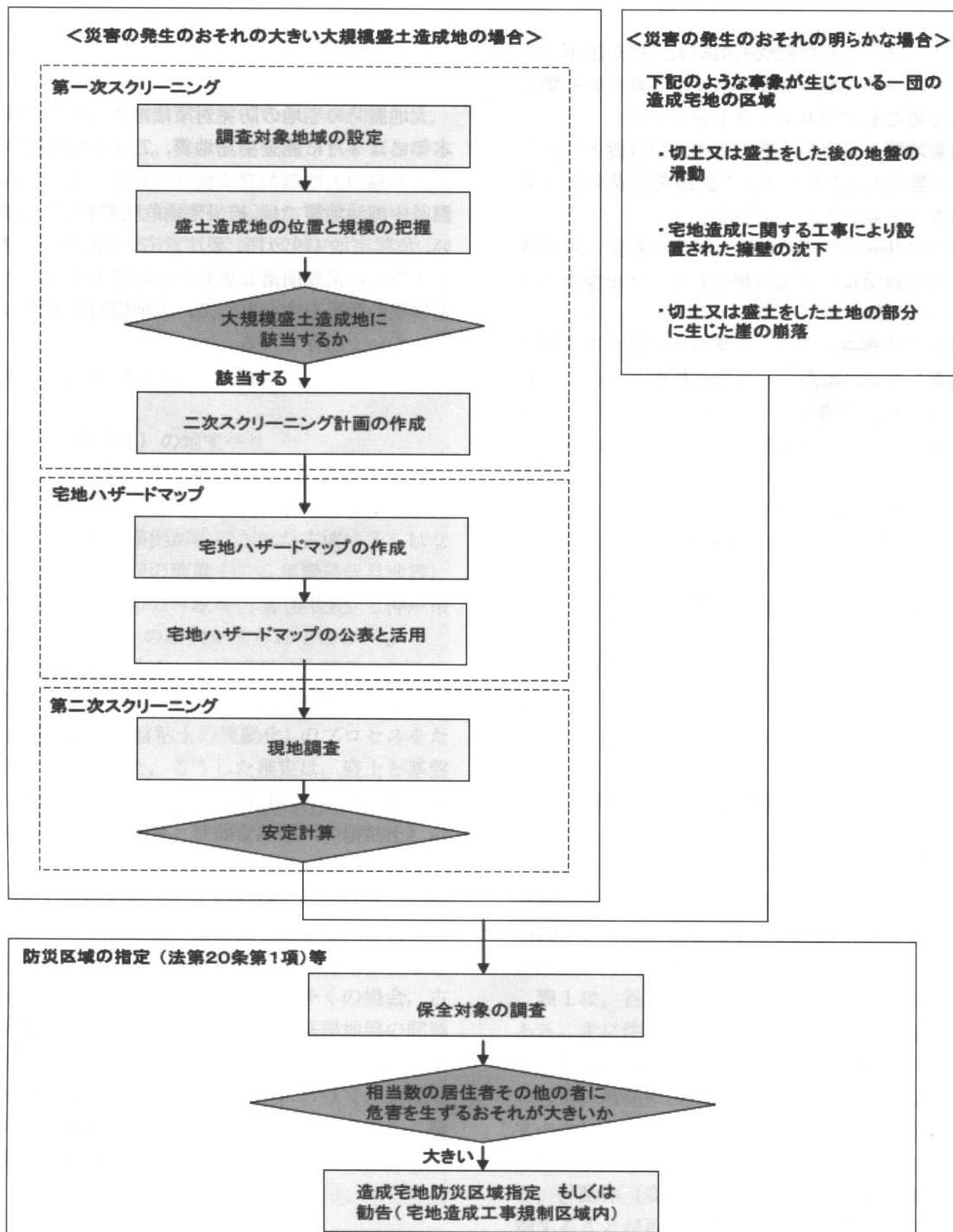


図4 大規模盛土造成地の変動予測調査の流れ

ュアル]について、改定案を作成し、平成19年3月5日から19日までパブリックコメントを募集し、学識経験者等からなる宅地防災技術会議を3月23日に開催し御意見・御指摘を頂き、3月28日に技術的助言として地方公共団体等へ発出したところである。

改定は、それまで盛土のり面のみに求めていた安定性の検討を、盛土全体についても求めるなど、新規開発事業における宅地耐震技術基準を追加している。また、既存の盛土造成地の滑動崩落防止対策である地下水排除工や地すべり抑止杭についての留意事項など示している。

## 6. 大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの策定

今回の法改正で創設された造成宅地防災区域を指定するためには、以下の手順を踏む必要があり、これらの手順についてとりまとめたものがガイドラインである。

- ① 調査対象地域を設定し、盛土造成地の位置と規模を把握し、第二次スクリーニング計画を作成する。(第一次スクリーニング)
- ② 第一次スクリーニングにおいて抽出された大規模盛土造成地を表示した宅地ハザードマップを作成し、住民等への周知・普及を図る。
- ③ 第二次スクリーニング計画に基づき、盛土造成地の現地調査を行い、地形や土質等を把握した上で、安

定計算を行う。(第二次スクリーニング)

- ④ 第二次スクリーニングの結果を基に、宅地造成に伴う災害で相当数の居住者その他の者に危害を生ずるものの発生のおそれ大きいと判断された大規模盛土造成地について、造成宅地防災区域の指定もしくは宅地造成工事規制区域における勧告を行う。

ガイドラインは、平成18年9月29日に技術的助言として地方公共団体に通知し、その後宅地ハザードマップについて追記したものを平成19年3月28日に同様に通知している。平成18年度に創設された宅地耐震化推進事業のうち、大規模盛土造成地の変動予測は、このガイドラインを参考に地方公共団体が事業主体として実施しているところである。

## 7. 最後に

大地震時の宅地の防災対策は始まったばかりであるが、本年には3月に能登半島地震、7月に新潟県中越沖地震と震度6強の大地震が立て続けに発生したところである。新潟県中越沖地震では、被災宅地危険度判定を2082カ所で行い、危険宅地419カ所、要注意宅地307カ所と判定された。その中には滑動崩落と思われる現象もあり、宅地耐震化推進事業の活用を中心として、大地震時の宅地の安全確保を図っていく所存である。

# 盛土の被害事例

かま い とし たか  
釜 井 俊 孝\*

## 1. はじめに

我々は、古代から盛土を作り利用してきたが、それは、膨大な失敗の歴史でもある。その全貌を紹介することはとてもできないが、ここでは、古代と現代の二つの時期の盛土について簡単に記述し、失敗例から何かを学ぶきっかけにしたい。技術を検証する上で、時間は効果的なフィルターである。それでは、盛土たちがどのような運命をたどったのか見て見よう。

## 2. 歴史時代における被害事例

### 2.1 古墳（大規模盛土）の地すべり

古墳は、古代の大規模な盛土構造物であるが、その相当数が、地すべり・崩壊によって、本来の形を失っている。実際の発掘によって被害事例が検討された古墳は多くはない。しかし、例えば、一回の地震（1596年慶長伏見地震）による被害として、高槻市の今城塚古墳（6世紀）と神戸市の西求女塚古墳（3世紀）の事例が知られている<sup>1),2)</sup>。

今城塚古墳において、地すべりの過程は、震動による盛土のブロック化→基盤粘土中のすべり面の形成（地すべりの発生）→長距離移動（基盤粘土の流動化）のプロセスをたどったと推定される。また、こうした推定は、盛土と基盤粘土の土質試験結果からも支持される。地すべりの原因は、古墳直下に伏在した地震断層と軟弱な基盤（沖積粘土）の存在である。

西求女塚古墳では、トレンチでの観察と基盤砂層の動的変形試験結果から、基盤砂層の液状化によって、古墳の一部がひきずり落とされるように滑り落ちたと推定される。

古墳自体は入念に作られたものであり、多くの場合、古墳における崩壊・地すべりの主な原因は、基礎地盤の問題であると考えられる。すなわち、古墳の地すべりは、わが国のような活発な変動帯に立地する都市において、基礎地盤情報の収集は、災害のリスク評価の精度を左右する、極めて重要な要因であることを示している。

### 2.2 崖っぶち古墳の被害

古墳時代も終わりごろになると、適地が限られてくるようになり、山地斜面にも古墳が作られるようになった。飛鳥のカツマヤマ古墳（8世紀）はその一例である<sup>3)</sup>。この古墳では、墳丘盛土が、中央で切断され、地すべりによって滑落している状況が確認された。古墳は、花崗岩の尾根を切土して造成した平坦部から下側斜面にかけて造成された。すなわち、墳丘が斜面に引っかかっている不安定な形状であった。

地すべりを発生させた地震は、地震考古学的な検討によって、1361年正平南海地震が有力である（飛鳥地方で震度5強～6弱）。等価線形解析の結果では、斜面下で約230 gal（25 cm/s）の揺れ（ほぼ震度5強相当）に対し、墳丘上端部では、最大応答が約1200 gal（65 cm/s）に達した。しかし、墳丘を取り除いたモデルにおいては、肩の部分の最大加速度応答は約400 galに過ぎなかった。すなわち、墳丘上端部で推定された大きな加速度は、基礎地盤と古墳の相互作用によって古墳自らが招いた結果と考えられる。

現代においても、こうした斜面の肩付近（崖っぶち）における開発が進行している。すなわち、カズマヤマ古墳の事例は、考古学上の意義のみならず、現代の都市防災上も重要な情報を提供していると言える。

## 3. 現代における被害事例と特徴

高度成長期以降、大都市域には多くの谷埋め盛土が造成され、主に宅地として利用されている。谷埋めは、現代を特徴付ける盛土の形態であり、古墳に対して、現代は谷埋め盛土の時代ともいえる。

表1は、谷埋め盛土の被災事例に関する最近のリストである。主に住宅地のデータであるが、統計情報が不備なため、実際にはこれ以上の地点で災害が発生していると考えられる。最初にわかることは、地震による谷埋め盛土の地すべりは、ほぼ毎回のように発生しているということである<sup>4),5)</sup>。その多くはクラックや沈下等の地表変状の性質から、移動体（変動ユニット）中に頭部、側部、末端部を識別することが可能であり、全体が地すべりとして変動したと考えられる事例である。その一部は、土塊が液状化し、

\* 京都大学 防災研究所 教授

表1 谷埋め盛土の地すべりが発生した災害

発生年	月日	災害の名称	場所	発生箇所数	備考
<b>「地震による災害」</b>					
1968	5.16	十勝沖地震	青森県名川町剣吉(中学校)	1	崩壊(死者4)
1978	6.12	宮城県沖地震	仙台市、白石市(現、仙台市白石区)	10	沈下のみによる被害は除外
1987	12.17	千葉県東方沖地震	長南町長南(中学校)	1	噴砂
1993	1.15	釧路沖地震	釧路市	7	
1994	10.4	北海道東方沖地震	中標津町	2	
1995	1.17	兵庫県南部地震	神戸市、芦屋市、西宮市、宝塚市	139	死者34
2001	3.24	芸予地震	広島県河内町、呉市、愛媛県松山市	3	
2003	5.26	三陸南地震	築館町館下	1	
2003	7.26	宮城県北部地震	矢本町、鳴瀬町	4	農地を含む
2003	9.26	十勝沖地震	釧路市	2	
2004	10.23	新潟県中越地震	長岡市郊外	10(長岡市のみ)	高岡団地を含む 鉄道・高速道以外
2007	3.25	能登半島地震	主に能登有料道路	11	
2007	7.16	新潟県中越沖地震	柏崎市内	7	中位段丘と古砂丘の開析谷
<b>「降雨による災害」</b>					
2003	7.1	長期間の降雨	大分県日田市三和	1	緩斜面の農地が流動化(死者1)
2005	9.7	台風14号	山陽自動車道(岩国市)	1	崩壊(死者3)
2006	6.12	長期間の降雨	那覇市首里鳥堀町	1	腹付け盛土の地すべり
2006	7.19	集中豪雨	福井市中野	1	崩壊(死者2)
2006	7.24	集中豪雨	山陰自動車道(松江市玉湯)	1	一部崩壊、避難

崩壊土砂が長距離を流動した。その他の大部分の事例では拘束条件や人工構造物、地下水位等の制約により、一般的な流動には発展しなかった。しかし、こうした非流動的な変動においても多くの住宅が損傷しており、このタイプの災害が地域社会に与えた影響は大きく、谷埋め盛土の地すべりは防災上重要な斜面災害のタイプであると考えられる。また、最近では豪雨災害においても、谷埋め盛土の変動が発生し、場合によっては死者が出る状況が続いている。これらの事例の多くは、盛土の排水不良が原因であると考えられ、災害の背景として谷埋め盛土における排水施設的设计、施工上の問題点が存在すると考えられる。主な盛土被害の事例を年表風にまとめると、以下のようになる。

### 3.1 地震による被害

#### 現代的盛土災害の始まり—1978年宮城県沖地震—

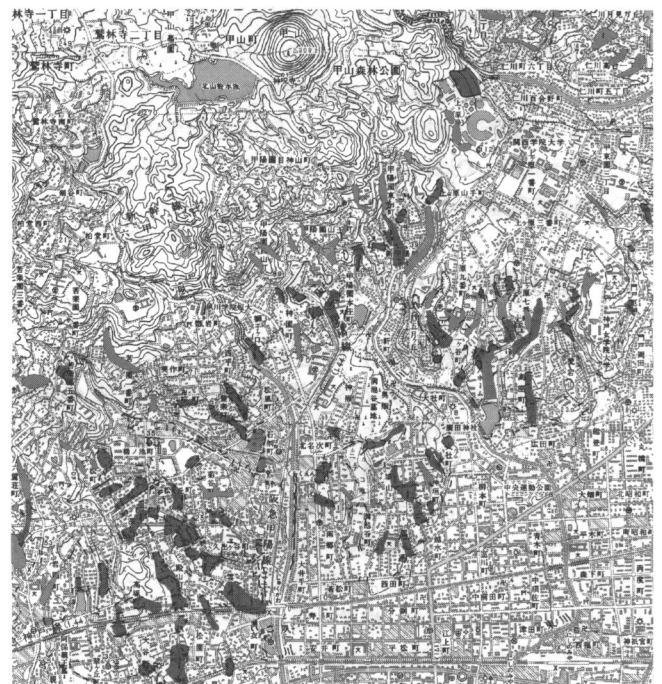
谷埋め盛土のすべり、沈下による被害が現実化した<sup>6),7)</sup>。これらは、その後の都市域の地震災害において、繰り返して出現する定番の被害パターンとなった。

#### 北の台地の谷埋め問題—1993年釧路沖地震、1994年北海道東方沖地震—

底面に泥炭層を伴う谷埋め盛土で多くの問題が発生した<sup>8)</sup>。宮城県沖地震以後に発生した中では、最も顕著な都市型斜面災害であった。しかし、北海道の地方都市での災害は、大都市に住む阪神や首都圏の都市住民にとってはどこか人ごとで、自らの問題として捉えることは難しかった。

#### 全国区になった谷埋め盛土のすべり—1995年兵庫県南部地震—

六甲山麓の住宅地では、小規模な擁壁・石垣等の損壊を除いて、少なくとも214カ所の顕著な斜面変動(地すべり性の盛土の変動・斜面崩壊)が発生し、人命・住宅に直接的な被害を与えた<sup>9)</sup>。このうち、2カ所では、土砂が流動化して高速のすべりが発生し、西宮市仁川のケースでは、34名の犠牲者を出した。



- 兵庫県南部地震により変動(地すべり)した谷埋め盛土
- 兵庫県南部地震による大きな被害が認められなかった谷埋め盛土
- ため池跡(盛土)
- 兵庫県南部地震によって谷埋め盛土に生じた地表の割れ目



図1 1995年兵庫県南部地震で発生した谷埋め盛土被害の分布(西宮地域)

比較的緩傾斜の斜面にもかかわらず、住宅やライフラインに深刻な被害を与えた盛土は、仁川の例も含めて、ほぼ例外なく造成以前の谷を埋めて作られた谷埋め盛土であった。このことから、地震時における谷埋め盛土の地すべり現象が広く認知されるようになった。

また、1920年代の造成当初には、残されていた谷筋が、その後の社会情勢の変化から盛土され、このとき被災した



ケースも多く見られた。盛土の被害の社会経済的側面を強く示唆していた。

#### 近代化遺産の崖っぷち災害—2001年芸予地震—

数箇所では谷埋め盛土の変動が発生したが、呉市における空石積みの崩壊が顕著であった<sup>10)</sup>。崩壊した石垣は、大正時代に軍港として発展した時期のものが多く、斜面二次堆積物や薄い盛土の部分に擦りつけられていた場合が多かった。いわゆる「崖っぷち」である。また、地震動増幅の地形効果により、尾根や独立した小丘上で、被害率が上昇する傾向が見られた。一方、比較的堅い地盤上の石垣は被害が軽微であった。これら事実、急な人工斜面においても、基礎地盤の善し悪しによって震動の大きさに違いを生じ、被害の大きさが分かれることを示していた。

#### 田園地帯の盛土被害—2003年東南北部の地震—

##### ①宮城県沖の地震（5月26日）

この地震では、比較的広い範囲でしばしば1Gを超える大きな地震動（加速度）が発生したが、その割に地盤災害は比較的少なかった。短周期成分が卓越していたため、大きな地震動が被害に直接結びつかなかったと言われている。

築館町館下の崩壊では、谷埋め盛土斜面が幅約40m、長さ約200mにわたって崩壊し、流動化した。崩壊した場所は、1970年代に造成された斜面である。谷埋め盛土は締め固めの難しい軽石流堆積物であり、地下水を大量に貯留していた。旧谷底付近の地盤強度は特に小さく、盛土底面付近での液状化が崩壊につながった可能性が高い。

##### ②宮城県北部の地震（7月26日）

地震は旭山丘陵の直下で発生し、被害は、旭山撓曲の上盤側すなわち丘陵の西側の地域で顕著であった。

斜面災害の多くは、砂取り場跡の切土斜面の崩壊であったが、盛土斜面においても2種類の災害が発生した。一つは、水平に切土された尾根に擦り付けられた盛土の崩壊である。これらは、新田開発のために急な谷壁斜面上に造成されたもので、地下水が多量に含まれていたため、崩壊土砂が流動化し、崩壊源の高さに比べて長距離を移動した。もう一つは、谷埋め盛土が比較的広い範囲で変動したケースで、末端の擁壁が変形した。

これら地盤災害が生じた箇所は、多くが高度経済成長期以降に形成された人工地盤（埋め立て地、堤防、盛土、切土斜面）であった。これらの事実、純農村地帯であっても現在では郊外化、都市化が進行し、伝統的な「田園」が消失しつつあることを物語っていた。

#### プレート地震による被害—2003年十勝沖地震—

この地震による被害は、長周期成分が卓越するプレート境界型地震の事例として貴重である。札幌では、震源から200km以上も離れているにも係わらず、深い谷埋め盛土が液状化し、住宅に被害が出た。釧路では、浅い谷埋め盛土や急斜面に擦り付けられた腹付け盛土ですべりが発生した。

#### 地方中核都市の盛土被害—2004年中越地震—

新潟県中越地震では、長岡市を中心とした都市域においても、造成地（ニュータウン）において、盛土の被害が発生した。まとまった被害としては、高町団地、悠久山周辺、乙吉町鶴ヶ丘団地の事例が知られている<sup>11)</sup>。

最大の被害が発生した高町団地は、昭和50年代半ばに造成された総戸数522戸（平成15年）の団地で、このうち約70戸が応急判定での危険家屋と認定された。開発以前は、東西両側を活断層（悠久山断層）に画された、南北に長い孤立した標高約90mの魚沼層からなる丘陵であり、一部が高位段丘化（標高約60m）していた。開発は、基本的に標高70m以上の丘陵の頂部を切土し、周辺に盛土する形式で行われた。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。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、全て浅い谷の谷頭に相当し、盛土が他よりもやや厚かった箇所である。破壊された擁壁の断片を見ると、前面に倒壊したものは少なく、底部から全体として移動しており、底面付近を巻き込む大きなすべり土圧の発生が示唆された。

谷埋め盛土の変動は、悠久山周辺と鶴ヶ丘団地においても、低地から続く谷筋を造成した緩傾斜の斜面で発生した。谷埋めの厚さは比較的薄く、5m以下である。

信濃川以西の丘陵地では、被害が急速に減少するが、長岡ニュータウン陽光台1丁目（約35mの厚い谷埋め盛土）では、2棟ほどが沈下、傾斜する被害が出た。周囲の道路では噴砂とクラックが認められ、液状化による被害と考えられる。

#### 有料道路の盛土被害—能登半島地震—

2007年3月25日の能登半島地震では、能登半島の各地で震度6強を観測した。石川県で震度6を記録したのは、観測開始以来、初の出来事である。住宅等の被害に比べて、交通の被害が大きく、能登有料道路では、25kmの間に11カ所で盛土の大規模な崩壊が発生した。こうした、道路盛土（谷埋め盛土）の被害は、中越地震の際に、上越自動車道においても多数発生した。この地震では、それが短い区間に集中して発生した点が特徴的である。

#### 都市形成史を反映した盛土被害—中越沖地震—

2007年7月16日の新潟県中越沖地震では、柏崎市を中心として中越地方の各地で震度6強を観測した。盛土の被害は、海岸部の砂丘周辺と内陸部の安田層分布地域に発生した。

柏崎市は、海岸砂丘から発展した都市である。したがって、旧市街の中心部では砂丘の斜面に石垣や擁壁が築かれ、盛土が広く分布していた。強い震動によって砂丘の頂部が割れて、海側の急斜面では、盛土を巻き込む崩壊が発生した。また、内陸側の緩斜面では、液状化による側方流動が発生した。変動が顕著であった地域の多くは、古砂丘を侵食した浅い谷の谷埋め盛土であり、地下水位が高い部分に相当する。

柏崎平野の内陸部では、沖積面からの比高が5~10mの

中位段丘が発達する。これらは、未固結のシルト-砂からなる安田層の堆積面である。柏崎市の発展に伴って、1970年代以降、市域はこの地域に拡大した。谷幅が広く比高が低いので、谷全体を埋める通常の谷埋め盛土の他に、平坦面にすり付けるような片盛土が広く分布している。地震によって、これらの両方に被害が発生した。特に、盛土の底面に沖積層が存在すると思われるケースでは、被害が顕著であった。

### 3.2 降雨による事例

#### 傾斜地マンション―首里鳥堀町―

平成18年6月の長雨によって、盛土が変動し、首里の傾斜地マンション1棟(5階建て)が深刻な被害を受けた。この盛土は、丘陵の斜面から谷に張り出すようにテラス状に造成されていた。マンションは、盛土の中央部に位置し、上部から土圧を受ける構造になっていた。基礎には杭基礎が採用され、盛土の下の地山(島尻層群の泥岩)を支持地盤としていた。しかし、長雨によって盛土に地下水が浸入し、盛土の地すべりが発生すると、基礎杭は地すべり力に耐えられずに変形した。当然、マンションの建物全体も変形し、住居としての利用に耐えられずに放棄された。この事例は、粗悪な土地造成(マンションの建設と同じ施工業者)が原因であり、やや極端な事例であるが、建物で土圧を受けることの危険性を示す事例であるといえる。

#### 高速道路の盛土被害例―岩国の中国自動車道―

2005年台風14号による豪雨により、山口県岩国市甘木(はたき)の山陽自動車道では、長さ50mにわたって高速道路が路盤ごと崩壊し3名の人命が失われた。一般に高速道路の人工斜面は施工管理が厳しく行われるため、高品質の構造物であると考えられる。したがって、過去にあまり例のない特異な災害として注目された。

崩壊土砂の流動化は高く、十分に含水していた。崩壊地点は谷埋め盛土の部分に相当する。付近にも同様の谷埋め盛土があるが、路面が沈下した程度で、崩壊には至らなかった。崩壊地点がこれらと大きく異なる点は、崩壊地点の基盤が断層の直上である点である。これまでも自然斜面では、豪雨時に断層から多量の地下水が表層に供給され、崩壊が発生するケースが良く知られている。今回の事例は、同様の機構が谷埋め盛土の崩壊にも存在する可能性を示していると考えられる。

#### ゴルフ場の盛土―福井中野町―

梅雨末期の集中豪雨により、2006年7月19日、ゴルフ場の谷埋め盛土の前面が、幅約50m、高さ約17mにわたって崩壊した。2棟が全壊。2名死亡した。住宅団地のLPガスの供給棟が全壊したため、一時は可燃性ガスが周辺に充満した。谷埋め盛土は、谷を横断するように造成され、盛土の背後には谷が残っていた。すなわち、盛土の内部に地下水が供給される構造になっていたが、排水設備の設置は限定的であった。さらに、盛土はいわゆる盛りこぼしであり、擁壁等の斜面防護施設も設置されていなかった。

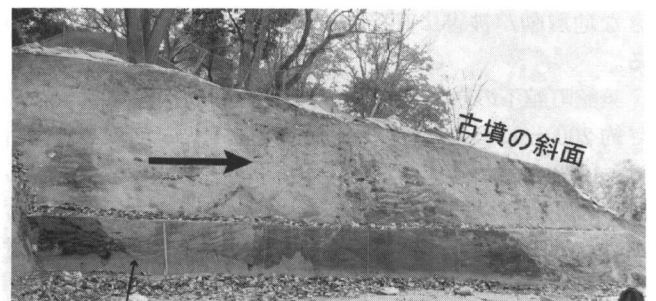
ゴルフ場の開設は1974年であり、被害を受けた住宅団地は、1977発行の地形図(1/25000)にはすでに記載されている。したがって、ほぼ同時期の開発と言える。さまざまな災害リスクを考慮した地域開発が必要だった事例といえる。

## 4. 被害が無かった(軽微であった)盛土の事例

盛土の無被害事例は、被害事例と同様に重要である。それらは、単純な強度論を超えて、安全な盛土構造物とは何かについての示唆に富んでいる。

### 古墳の事例

古墳では、1596年慶長伏見地震の震源域(地震断層の近傍)に位置しながら、被害を免れた太田茶臼山古墳の事例が良く知られている。この地震では、より震源から遠い今城塚古墳が崩れている。規模も構造も良く似ているこの二つの古墳の被災状況を分けたものは、主として基礎地盤の違いであると考えられる。すなわち、太田茶臼山古墳の基盤は、良く締まった段丘礫層である。



すべり面

写真1 1596年慶長伏見地震によって引き起こされた今城塚古墳の地すべり断面。

沖積粘土と墳丘の境界面付近に、ほぼ水平のすべり面が形成され、古墳の盛土がブロック状に分かれて移動している。

奈良盆地東南部を代表する二つの巨大古墳、行燈山古墳と渋谷向山古墳の事例も興味深い。両者は、わずか数km隔てられ、同様に山麓の扇状地上に位置するが、前者では変形が見られないのに対し、後者は大きく変形している。これは、時代の若い後者(渋谷向山古墳)の建設の際に適地が不足し、一部が谷埋め盛土上に構築されたためと考えられる。

### 現代の谷埋め盛土の事例

現代の谷埋め盛土においても、周辺の盛土は大きく変形しているにもかかわらず、軽微な被害で止まった事例が存在する。1995年兵庫県南部地震では、それらは、花崗岩地域特有の幅の狭い、細長い谷埋め盛土や神戸層群分布域の深い箱型の谷埋め盛土に多かった。2003年宮城県沖の地震における築館町の事例、同年の宮城県北部地震における矢本町の事例では、地質、地下水等の条件が同様のケースでは、谷幅が狭く、深い盛土の被害が軽微であった。すなわち、谷埋め盛土の被害・無被害には、谷埋め盛土の形状が



写真2 兵庫県南部地震における谷埋め盛土の地すべり (西宮市)。画面奥の民家と手前の道路の間 (駐車場の部分) はかつて、深さ5m程度の谷であった。この谷埋め盛土は、画面の200mほど右から左へ数m移動し、画面左のマンションに当たって停止した。駐車場には、末端部の隆起に伴うクラックの発達が顕著である。ここは、現在では住宅地として使われている。



写真3 新潟県中越地震による長岡市高町団地の被害。崩壊した部分は、谷頭部の盛土である。

重要であることを示す事例と考えられる。

2007年新潟県中越沖地震では、谷埋め盛土の被害は、平野部に限定され、山間地の谷埋め盛土 (米山台など) の被害はほとんど見られなかった。もともとの地震動が小さかったとも考えられるが、軟弱な谷底堆積物 (沖積層) がほとんど堆積していなかったことも被害を小さくした原因と考えられる。

#### 被害を免れる盛土の特徴

周辺に被害盛土が分布しているにもかかわらず、被害が軽微であった盛土に共通する特徴は以下のとおりである。

- 底面ですべらない。すなわち、軟弱な堆積物が存在しない。
- 谷埋め盛土の場合は、横幅が狭く深い形状で、側部拘束が発揮されやすい形をしている。
- 盛土自身が強い (内部ですべらない)。
- 基礎地盤が固く、あまり揺れない。
- 斜面の肩など、地震動が増幅されやすい場所に位置していない。

すなわち、盛土の被害を軽減するには、盛土自身を強く

するだけでは不十分であり、広義の基礎地盤の強化が必要であるといえる。

## 5. おわりに

盛土は地層と同じで、一度作られると事実上地表から消え去ることはない。ここでは、その意味で、古代の大規模盛土 (古墳) の被害事例、無被害事例についても紹介した。しかし、現代の盛土がこうした歴史の批判に耐えるかについては、大いに不安がある。例えば、施工管理が比較的厳格に行われてきた公共工事の盛土に比べて、民間の宅地盛土の管理が比較的甘かったのは事実である。その結果、膨大な数の高リスク盛土、将来の被害盛土が作られてきた。常に後追いの各種「技術基準」だけでは、こうした現状を好転させることはできないであろう。

盛土をとりあえず作るには、「技術」だけでも可能であるが、それを将来にわたって安全に作るには、場所ごとに異なる土地の歴史 (地史+歴史) を理解する必要がある。近代の空間・時間的普遍性を基にする「基準」の中にそれを求めるのは難しい。すなわち、過去の盛土の被害事例をどのように将来に生かすかは、個々の技術者の歴史観・自然観が問われる問題であると思われる。

## 謝辞

本稿で使用した事例は、多くの方々によるさまざまなご協力を得て、調査、検討できたものである。紙数の制約から個々のお名前を挙げるができないが、寛恕を願うとともに感謝申し上げる次第である。

## 参考文献

- 1) 寒川 旭：今城塚古墳の地震痕跡、発掘された埴輪群と今城塚古墳、高槻市教育委員会、pp. 73-75, 2004.
- 2) 寒川 旭：西求女塚古墳において検出された地滑りの痕跡、西求女塚古墳 発掘調査報告書、神戸市教育委員会、pp. 219-234, 2004.
- 3) 釜井俊孝・寒川 旭：奈良県カツマヤマ古墳の地すべり、2006年度 京都大学防災研究所年次研究発表会予稿集、2007.
- 4) 井口 隆：谷埋め盛土における地震時地すべりの事例と若干の考察、兵庫県南部地震等に伴う地すべり・斜面崩壊研究委員会報告書、地すべり学会、pp. 101-117, 1995.
- 5) 釜井俊孝・守隨治雄：斜面防災都市、理工図書、200 p, 2002.
- 6) 浅田秋江：宅地造成地盤の地震時危険の予測法と防止工法に関する研究、土質工学会論文報告集、22-4, pp. 191-202, 1982.
- 7) 千葉則行：1978年宮城県沖地震による地すべり・斜面崩壊について、兵庫県南部地震等に伴う地すべり・斜面崩壊研究委員会報告書、地すべり学会、pp. 203-217, 1995.
- 8) 柳澤栄司・安田 進・吉田 望・若松加寿江：住宅地の被害、1993年鉦路沖地震・能登半島沖地震災害調査報告書、土質工学会、pp. 231-275, 1993.
- 9) 釜井俊孝・鈴木清文・磯部一洋：1995年兵庫県南部地震による阪神都市地域の斜面災害、応用地質、36, pp. 47-50, 1995.
- 10) 釜井俊孝・守隨治雄：2001年芸予地震による呉市都市域の斜面災害、日本地すべり学会誌、40-5, pp. 78-83, 2004.
- 11) 釜井俊孝：2004年新潟県中越地震による都市域の斜面災害、応用地質、46-3, pp. 138-144, 2005.

# 宅地造成盛土地盤の地質調査と 地震時の安定性評価

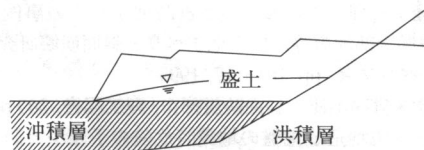
くろ だ しん いち ろう  
黒田 真一郎\*

## 1. はじめに

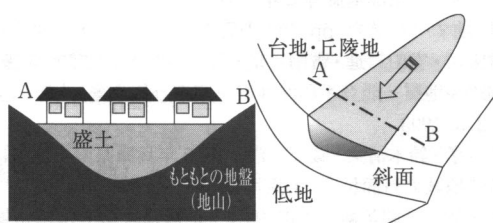
兵庫県南部地震や新潟県中越地震では、谷埋め盛土において被害が生じ、これを教訓に盛土に対する調査の方法や解析手法が検討されてきた。その結果、今年3月には宅地防災マニュアルが改正され、新たに検討項目も追加された。本論では、新旧のマニュアルの内容を基に宅地盛土の地質調査と地震時の安定性の検討方法について述べる。

## 2. 宅地防災マニュアルとその概要

「宅地造成等規制法」に基づく宅地造成工事や「都市計画法」に基づく開発行為の許可等に当たって、平成元年に『宅地防災マニュアル』が整備され、運用されてきた。この中では、図1(a)に示すような軟弱地盤上の宅地盛土の造成における問題に対処するため、軟弱地盤対策に重点をおいた内容となっている。その後、兵庫県南部地震の被災結果を受けて平成10年に見直しが行われ、改訂版では既存不適格宅地や地盤の弱いところでの耐震設計に関する詳細な検討が必要と追記された<sup>1)</sup>。ただしこの中の基本的な宅地の



(a) 軟弱地盤上の盛土



(b) 谷埋め盛土  
図1 盛土の種類

被害については、切土盛土からなる宅地の造成に当たっての調査、設計、対策を主に述べられている。一方、今回改正された『宅地防災マニュアル(平成19年3月)』<sup>2)</sup>では、兵庫県南部地震や新潟県中越地震によって図1(b)に示すような谷埋め盛土で生じた被害から得た教訓を基に、これまであまり議論されていなかった既存の人工谷埋め盛土に対する、盛土滑动崩落についての防止措置について、検討することが盛り込まれた。

## 3. 宅地盛土の調査計画と検討項目

宅地盛土の地質調査に当たっては、目的と対象地盤によって、必要となる要求事項が異なる。(1)宅地盛土の造成工事の計画段階では、以下の項目に留意して調査、解析、対策検討を行う。

- ① 盛土基礎地盤の沈下と変形
- ② 盛土基礎地盤の支持地盤としての安定性(強度)
- ③ 盛土基礎地盤の地震時の液状化に対する強度
- ④ 盛土材の物性と強度特性

一方、(2)既設盛土の安定性については、

- ① 降雨時の間隙水圧の上昇に対する安定性
- ② 地震時の液状化の発生に対する安定性
- ③ 地震時の滑動力に対する安定性

等に関する検討が必要となる。

### 3.1 宅地盛土の造成工事における地質調査

造成に当たり軟弱地盤が多いとされる沖積低地において盛土を行う場合は、大きな沈下や周辺地盤に影響するような変形が懸念されるため慎重な検討が必要となる。特に長期間にわたって継続するような圧密沈下が発生すると予測される場合には、宅地という性質上、そこに建つ建築物が将来的に使用不能になる恐れもあり、十分な検討を要する。この場合の調査計画は、図2に示すような流れとなる。調査の結果、盛土によって沈下・すべりなどが予測される場合には、各種の対策工事が必要となる。表1に軟弱地盤上の盛土に対する調査方法の一覧を示す。

\* 中央開発(株)関西支社取締役 支社長

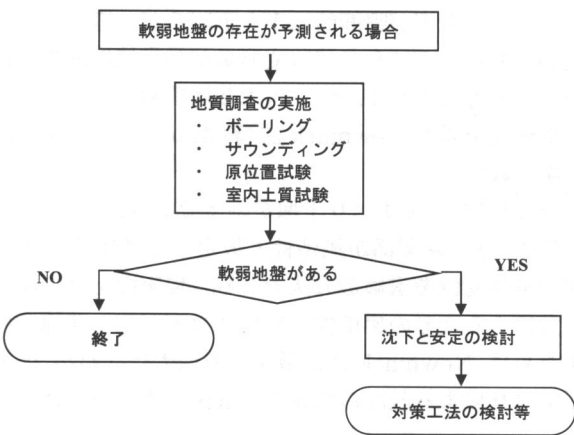


図2 軟弱地盤上の盛土と地質調査

表1 安定性検討に必要な地盤情報と調査方法

検討項目	必要な地盤情報	調査方法
支持層の確認	N 値, 土質区分, 地層厚	ボーリング (標準貫入試験), オランダ式二重管コーン貫入試験, 三成分コーン貫入試験, スウェーデン式サウンディング, ポータブルコーン貫入試験, 物理試験
盛土の安定性 (支持力)	N 値, 地下水位, 粘着力 (一軸圧縮強さ), 内部摩擦角, 単位体積重量, 残留強度	ボーリング (標準貫入試験), サンプルング, 物理試験, 湿潤密度試験, 一軸圧縮試験, 三軸圧縮試験
沈下量	圧密特性, 湿潤密度, 地下水位, 含水比, 変形係数	ボーリング (標準貫入試験), サンプルング, 圧密試験, 孔内水平載荷試験
変形	N 値, 変形係数	ボーリング (標準貫入試験), サンプルング, 一軸圧縮試験, 孔内水平載荷試験
液状化	N 値, 粒度組成, 湿潤密度, 地下水, 液状化抵抗, せん断剛性率	ボーリング (標準貫入試験), サンプルング, PS 検層, 粒度試験, 振動三軸試験

### 3.2 既設盛土の安定性検討のための地質調査

一方、すでに宅地化された谷埋め盛土に対し、地震の際の安定性を検討するための地質調査の実施が、今回新たに改訂されたマニュアルに示された。これまで比較的安定性が高いと評価されていた谷埋め盛土について、地震の外力により盛土と基盤との層境界付近で液状化が発生し、急激な強度低下が起き、盛土部全体が滑り出し、変形あるいは崩壊につながる現象が発生しているのではないかと<sup>1)</sup>、と報告されている。また近年多発する短時間の集中豪雨で盛土が崩壊する例もある。谷埋め盛土の抽出には1次スクリーニングと呼ばれる机上調査によって場所の特定を行う。地震時に大きな被害が発生したのは、一般に3,000 m<sup>2</sup>以上の面積を持ち、一定の要件(地山の傾斜角, 法面形状, 宅地形状)を持つ谷埋め盛土であることが多いとされている<sup>3)</sup>。そこで机上調査において、造成前と現在の地形図, 空中写真などを比較することで詳細に検討を行う。このほか、当

表2 既設谷埋め盛土の安定検討のための調査方法

検討項目	必要な地盤情報	調査方法
支持層の確認 (基盤の傾斜)	N 値, 地層構成, 地層厚	ボーリング (標準貫入試験), 三成分コーン貫入試験, スウェーデン式サウンディング, ポータブルコーン貫入試験, 浅層反射法
盛土の安定性 (支持力)	N 値, 地下水位, 粘着力 (一軸圧縮強さ), 内部摩擦角, 単位体積重量	ボーリング (標準貫入試験), サンプルング, 湿潤密度試験, 一軸圧縮試験, 三軸圧縮試験
地下水位	圧密特性, 湿潤密度, 地下水位, 含水比, 変形係数	ボーリング (標準貫入試験), 水位測定, 電気探査
地盤の透水性	N 値, 変形係数	ボーリング (標準貫入試験), サンプルング, 現場透水試験
液状化	N 値, 粒度組成, 湿潤密度, 地下水, 液状化抵抗, せん断剛性率	ボーリング (標準貫入試験), サンプルング, PS 検層, 粒度試験, 振動三軸試験

該地や周辺での既往の地質調査資料や地質図, 周辺での工事記録, 災害記録なども有効である。ただし、地形改変が古い時代(明治時代以前)に行われた場合、それを特定するための地図がないこともあり、注意を要する。次に現地踏査, 測量などを慎重に行う。特に現地踏査においては、地山と盛土の境界を正確に把握することが後の解析精度を上げるのに重要となる。その後、代表的なポイントでボーリングや原位置試験, 物理探査などを行い、地盤の状況や強度特性を把握する。既設盛土に対する地震時の安定性検討の二次調査としての地質調査方法について表2に示す。

## 4. 性能性照査設計法を用いた盛土の耐震検討

前述の地盤調査の結果を基に、地震時の盛土の安定検討が行うが、本章では最近要求されるL2地震動に対して盛土の安定性を検討する手法のうち、地震時の変位を検討できる手法について解説する。

### 4.1 設計入力震動と耐震設計法

兵庫県南部地震以降、盛土の耐震設計においても、L2地震動(表3参照)に対して耐震性を確保する必要があるとされ、さまざまな解析手法が提案されている。

これまで盛土の耐震性の評価方法として、円弧すべりと震度法を組み合わせた設計方法が用いられてきた。しかし、この方法では、L2地震動のように設計水平震度が大きくなると破壊安全率が所定安全率を満足しなくなる。また、L2地震動に対応した設計では、構造物の損傷が許容されるため、構造物の耐震性能を応答値(変位量等)で照査する必要がある。盛土の応答値を求める方法としては、FEM等数値解析による動的解析手法があるが、入力パラメータや結果の評価が困難な場合がある。このため、盛土を対象とする設計法として、地震時変位量をNewmark法により

表3 耐震設計における設計入力地震動の概要

設計入力地震動	要求される耐震性能	定義
レベル1 (L1) 地震動	宅地の機能が維持されること	許容応力度設計 <sup>a)</sup> など従来型設計に用いる地震動
レベル2 (L2) 地震動	許容される損傷及び機能低下の程度を規定 <sup>b)</sup> し、盛土全体の崩壊が生じないこと	盛土の損傷過程に立ち入って安全性を照査するための地震動であり、現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の大きさをもつ地震動

- a) 円弧すべりと震度法  
b) 盛土の機能修復の可能性、経済性の評価により定める

計算し、許容変位量と照査する方法が提案されている<sup>9)</sup>。

Newmark法は、

- 1) 理論の簡明さと比較して比較的妥当な結果を与える
- 2) 入力パラメータの設定が容易(円弧すべり方法とほぼ同様)
- 3) 結果の解釈が容易である

等の特徴があり設計に用いやすく、盛土のL2地震動に対する照査方法として取り入れられている。

以下、Newmark法による地震時変位計算について述べる。

#### 4.2 Newmark法の概要<sup>5),6)</sup>

盛土の耐震性の一般的な評価方法として、円弧すべりと震度法を組み合わせた方法がある(表4(a))。しかし、この方法では、設計水平震度が大きくなると破壊安全率が所定安全率を満足しなくなる。また、実際に長期安定性が保たれている盛土でも円弧すべり法で照査すると、わずかな設計水平震度で安全率=1.0を確保できなくなることがある。このことは、円弧すべり法と震度法との組み合わせでは、「盛土は変形しやすいが、延性的であるため他の地上構造物と比較して崩落的な破壊に至りづらい」という盛土の特性を適切に評価できないことを意味している。

一方、L2地震動のような大きな慣性力が作用した場合、

表4 照査手法(円弧すべり法とNewmark法)の比較

	(a) 円弧すべり法	(b) Newmark法
解法	設計水平震度 $k_h$ に対してすべり崩壊を生じさせない設計法	土塊に降伏震度以上の加速度が生じた場合に滑動が生じるものとし、運動方程式によって変位量を算定する
模式図		
照査	安全率: $F_s = M_R / M_D \geq F_{sa}$	変位量: $\delta \leq \delta_a$
特徴・問題点	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震力が大きくなると <math>F_s &gt; 1.0</math> とするのは困難</li> <li>数10秒の地震動に対して不安定であっても良いのでは?</li> </ul>	数10秒の地震動に対して不安定であっても、生じる変形量が許容されれば良いとする設計法

円弧すべり安全率が瞬間的に1を下回るが、盛土が十分に延性的であるならばその残留変形量が許容値以内であれば問題ないと考えられる。そこで、L2地震動によるすべり土塊の滑動変位量をNewmark法(表4(b))で算出する設計が考案された。

Newmark法は、すべり土塊が剛体であり、すべり面における応力-ひずみ関係が剛塑性と仮定して地震時のすべり土塊の滑動変位を求める方法である。現実の土は、繰り返し応力による変形の累積性、軟化性などが強い非線形性を示すために、Newmark法は厳密な方法ではないが、従来の円弧すべりによる設計の問題点を解決するためには有効である。

#### 4.3 Newmark法の基本概念

Newmark<sup>4)</sup>は、土を剛塑性体と仮定し、ある一定以上の加速度が土塊に作用するとその土塊はすべると考えて、加速度の継続時間をもとに、すべり変位量を簡易的に求める方法を考案した。

この考え方にに基づき、円弧の回転モーメントに対する釣り合い式(式(1)、(2))として以下のように滑動変位量(図3:  $\delta$ )を計算する。

$$J\ddot{\theta} = M_D - M_R$$

$$= M_{DW} + M_{DKH} - M_{RW} - M_{RKH} - M_{RC} - M_{RT} \quad (1)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{J}(k_h - k_y)(M_{DK} + M_{RK}) \quad (2)$$

ここに、 $\theta$ : 回転角、 $J$ : 慣性モーメント、 $k_h$ : 設計水平震度、 $k_y$ : 降伏震度、 $M_R$ : 転倒に対する抵抗モーメント、 $M_D$ : 転倒モーメント、 $M_{DW}$ : 自重による転倒モーメント、 $M_{RW}$ : 自重によるすべり面の摩擦力による抵抗モーメント、 $M_{RC}$ : すべり面の粘着力による抵抗モーメント、 $M_{RT}$ : 補強材力により抵抗モーメント、 $M_{DKH}$ : 地震慣性力による転倒モーメント(=  $-k_h \cdot M_{DK}$ )、 $M_{RKH}$ : 地震慣性力による抵抗モーメント(=  $-k_h \cdot M_{RK}$ )、 $M_{DK}$ : 地震慣性力による転倒モーメント(単位水平震度当り)、 $M_{RK}$ : 地震慣性力による抵抗モーメント(単位水平震度当り)

計算手順は以下のとおりである。

- ① 円弧すべり法により、設計水平震度( $k_h$ )を変化させた円弧すべり法による安定計算を行い、安全率が1.0なる降伏震度( $k_y$ )と、この時の円弧すべり面(臨界すべり面)を求める(図4)。

このとき、臨界すべり面に対して、降

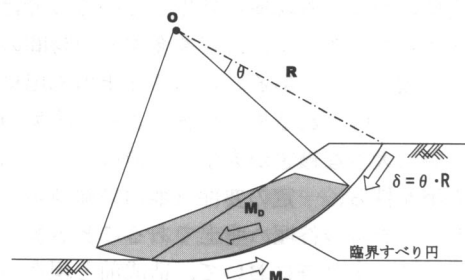


図3 滑動変位計算モデル

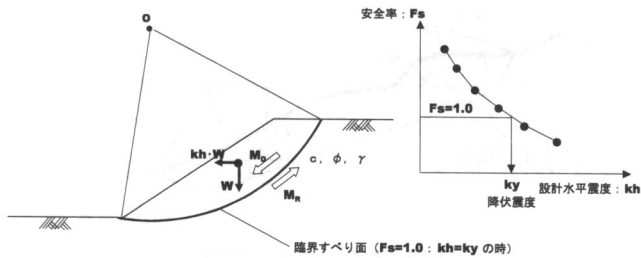


図4 臨界すべり面と降伏震度模式図

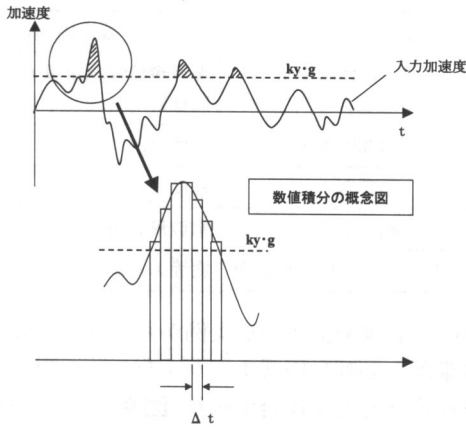


図5 入力加速度と降伏震度の関係と数値積分の概念

伏震度は次式から算出できる。

$$k_y = \frac{M_{RW} + M_{RC} + M_{RT} - M_{DW}}{M_{DK} + M_{RK}} \quad (3)$$

- ② 計算に用いる動的解析法などにより、入力加速度波形を設定する。
- ③ 臨界すべり面の回転変位量は、入力加速度に対して線形加速度法により、図5で示した降伏震度以上の加速度が作用した場合のみ土塊が滑動するとして逐次積分して求める。

$$\ddot{\theta}_{t+\Delta t} = \frac{1}{J} \Delta M_{t+\Delta t} \quad (4)$$

$$\dot{\theta}_{t+\Delta t} = \dot{\theta}_t + \frac{1}{2} (\ddot{\theta}_t + \ddot{\theta}_{t+\Delta t}) \Delta t \quad (5)$$

$$\theta_{t+\Delta t} = \theta_t + \dot{\theta}_t \Delta t + \frac{1}{6} (2\ddot{\theta}_t + \ddot{\theta}_{t+\Delta t}) \Delta t^2 \quad (6)$$

#### 4.4 Newmark 法に必要な計算条件

Newmark 法による地震時変位量の算定に必要な計算パラメータは表5に示し、詳細は以下のとおりである。

##### (1) 土質定数

土質定数は基本的に円弧すべり法と同様に、単位体積重量、せん断強度（内部摩擦角、粘着力）を設定する。ただし、地震中における、ひずみの局所化によってすべり面の

表5 計算に必要な設定パラメータ

	項目	設定内容等
土質定数	単位体積重量	湿潤単位体積重量（円弧すべり同様）
	内部摩擦角	ピーク強度 $\phi_{peak}$ 、残留強度 $\phi_{res}$
	粘着力	ピーク強度 $c_{peak}$ 、残留強度 $c_{res}$
入力加速度	加速度波形	動的解析で算出または地震記録などより設定

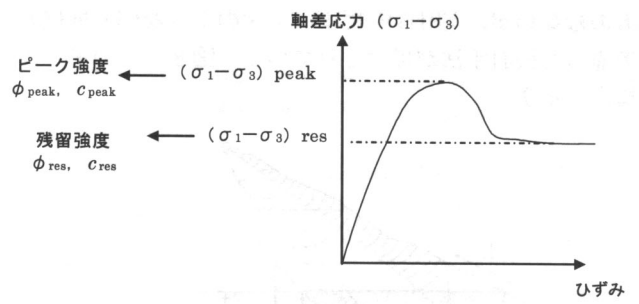


図6 ピーク強度と残留強度

土の強度が軟化し、ピーク強度（通常の静的強度）から残留強度まで低下することを考慮する場合がある。この場合については、せん断強度（内部摩擦角、粘着力）に関して図6に示すようなピーク強度、残留強度を設定し、考慮する。

#### (2) 入力加速度波形

Newmark 法では、地盤や盛土内の加速度増幅特性などが直接考慮できない。このため、計算に用いる対象盛土への入力加速度波形を適切に設定する必要がある。設定方法としては地震応答解析結果を用いる方法と既往の最大の地震加速度波形や設計地震動波形を加速度調整して決定する方法がある。

### 5. 谷埋め盛土の地震時の安定検討

今年度改訂された『宅地防災マニュアル』から安定検討の必要性を求められた谷埋め盛土についての耐震検討手法には、まだ確立したものは無い。しかし、これまでの研究成果によっていくつかの手法が提案されている。以下これらについて解説する。

#### 5.1 地震時の盛土の滑動崩落

過去の宅地防災対策は集中豪雨時の「崖崩れ対策」が中心となっていたが、大地震時には数多くの「地すべりの滑動崩落」が発生した（図7参照）。実際の地震時には盛土が完全に谷底まで移動する「崩落現象」ばかりでなく、盛土が数m側方に移動する現象も含む。盛土が数mでも側方に移動すれば、その上の家屋の多くは全壊相当となり解体することになる。

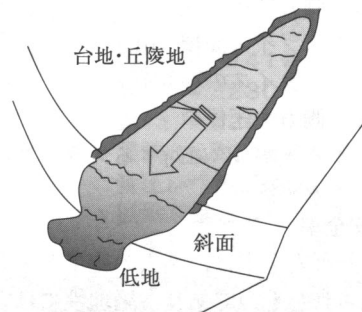
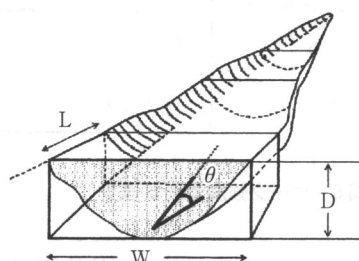


図7 谷埋め盛土の滑動崩落模式図

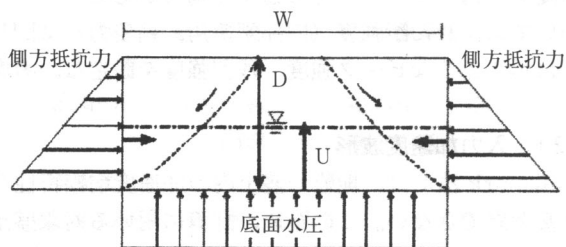
#### 5.2 側方抵抗を考慮した安定解析手法

大地震時の谷埋め盛土の安定計算手法として確立された

ものはないが、太田ら<sup>13)</sup>によって次のような側方抵抗力を考慮した検討手法が提案されている。図8にそのモデルの概念を示す。



$L_0$ : 単位長さ, L: 全体長さ, W: 幅, D: 厚さ,  $\theta$ : 斜面の傾斜角



底面は、常時には粘着力及び内部摩擦角によるせん断抵抗力(R)が働いているが、地震時は、液化化～流動化または、過剰間隙水圧の発生等によりせん断抵抗力が低下し、いわゆるローラーライドのような状況に陥ると考える。

図8 側方抵抗モデルの概念図

安定解析手法に必要な要件としては、「現場で取得可能なデータを用いることができること」がある。数値解析(FEMなど)を用いた弾塑性解析手法も今後実用化されることが期待されるが、その解析に必要な現場データが取得できるかどうかという点で、経済性や技術的な面(盛土最下部の緩んだ土砂の試料採取の困難さなど)で解決しなければならない課題がある。

$$F = \frac{\frac{r_1}{a_1} \sum_{\text{末端円弧部}} (R_1 - W_t \cdot k_h \cdot \sin \theta \tan \phi') + \frac{r_2}{a_2} \sum_{\text{頭部円弧部}} (R_2 - W_t \cdot k_h \cdot \sin \theta \tan \phi') + \sum_{\text{直線部}} (R_3 - W_t \cdot k_h \cdot \sin \theta \tan \phi')}{\frac{r_1}{a_1} \sum_{\text{末端円弧部}} (W_t \sin \theta + W_t \cdot k_h \cdot \cos \theta) + \frac{r_2}{a_2} \sum_{\text{頭部円弧部}} (W_t \sin \theta + W_t \cdot k_h \cdot \cos \theta) + \sum_{\text{直線部}} (W_t \sin \theta + W_t \cdot k_h \cdot \cos \theta)} \quad (7)$$

ここに、 $r_1, r_2$ : 末端および頭部の円弧部の半径 (m)

$a_1, a_2$ : 末端および頭部の円弧の中心から土圧作用点までの距離 (m) (図9参照)

$R_1, R_2, R_3$ : 末端円弧部, 頭部円弧部, 直線部のせん断抵抗力 (kN/m)

$$\{= c' \cdot A_b + (W_t - u \cdot A_t - u_s \cdot A_t) \cos \theta \tan \phi' + R_s\}$$

$A_b$ : スライスのすべり面面積 (m<sup>2</sup>)

$u$ : すべり面の常時の平均水圧 (kPa)

$R_s$ : 側方抵抗力 (kN)  $\{= c'_i A_s + P \cdot \tan \phi'_i\}$

$A_s$ : スライス面積 (m<sup>2</sup>)

$h$ : スライスの平均高さ (m)

$K$ : 側方土圧係数

$W_t$ : 盛土幅  $W$  に対するスライスの重量 (kN)

$k_h$ : 水平震度

$A_t$ : スライス平面積 (m<sup>2</sup>)

$u_s$ : すべり面の常時の平均過剰間隙水圧 (kPa)

$c'_i, \phi'_i$ : 側面の粘着力 (kPa) とせん断抵抗角 (°)

$P$ : 側面土圧 (kN)  $\{= 2 \cdot 1/2 \cdot K \cdot \gamma_t \cdot h^2 \cdot b\}$

$b$ : スライス幅 (m)

$\gamma_t$ : 土塊の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$\theta$ : すべり面の傾斜角 (°)

### 5.3 計画安全率

地すべりの計画安全率は、過去の施工と失敗による経験によって定められたものであり、論理性には乏しいがきわめて有用なものとなっている。しかし、谷埋め盛土の地震時滑動崩落については、過去に防止対策例が存在していないことから、現時点では経験的な計画安全率の設定が困難である。このため、現時点では地すべりあるいは急傾斜対

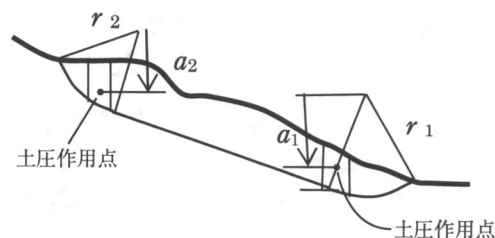


図9 複合すべりモデル図

表6 計算に必要な設定パラメータ

	項目	設定内容等
土質定数	単位体積重量	湿潤単位体積重量 (円弧すべり同様)
	内部摩擦角	強度 $\phi$ ,
	粘着力	強度 $c$ ,
地下水位	間隙水圧	水位測定 $u$
すべり面形状	すべり面の傾斜角	底面の傾斜 $\theta$

現時点で、谷埋め盛土の被災例から、移動土塊の主断面形状は末端部と頭部に円弧すべりを有し、中腹部が直線的なすべり面形状をなす複合すべり(図9)として扱うことが妥当と考えられる。したがって、対策工の設計に利用できると考えられる安定解析式は、そのような盛土に対する側方抵抗のモデルの一般式(7)で示される複合すべり安定解析式である。縦断面形状に関する詳細な調査結果をこれに反映させ、解析を行う。

なお、谷埋め盛土の安定計算手法に関する研究は発展途上であり、今後より高度で詳細な手法、あるいはより簡便で実用的な手法が開発される可能性があると考えられている。

また、必要な計算条件を表6に示す。

策で用いられる計画安全率を準用し、 $PF_s=1.2\sim 1.5$ とするのが妥当と考えられる。

### 6. おわりに

宅地盛土の地震時の安定性を検討するための解析方法は、ここで述べた方法が今後主流になっていくものと考え



られる。一方、これらの解析手法のパラメータとなる基礎データや土質定数を得るための地質調査や室内試験方法について、より簡便で経済的な手法の開発が今後重要となる。

末筆ながら、本文の作成に当たり有限会社 太田ジオリサーチ 太田英将氏、中央開発株式会社 橋本和佳氏に貴重な助言を頂きました。ここに記して謝意を表する次第です。

#### 引用文献

- 1) 宅地防災研究協会：「[改訂版] 宅地防災マニュアルの解説」, ぎょうせい, 1997.
- 2) 宅地造成等規制法令研究会：「[改正] 宅地造成等規制法の解説」, ぎょうせい, pp. 191-241, 2007.
- 3) 宅地造成等規制法令研究会：「[改正] 宅地造成等規制法の解説」, ぎょうせい, p. 79, 2007
- 4) Newmark, N.M.: Effects of Earthquakes on Dams and Embankments, Geotechnique, Vol. 15, No. 2 pp. 139-159, 1965.
- 5) 土木学会：「動的解析と耐震設計第2巻 動的解析の方法」, 技報堂出版, pp. 242-243, 1986.
- 6) (財)鉄道総合技術研究所：「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」, 丸善, 1999.
- 7) 館山：「盛土・抗土圧構造物の耐震設計法」, レベル2 地震動に対する地盤・基礎構造物の耐震設計講習会公演資料, 地盤工学会, 2001.
- 8) 第三回総合的な宅地防災対策に関する検討会 説明資料 (平成17年9月26日)：国土交通省都市・地域整備局 都市計画課開発企画調査室.
- 9) 釜井俊孝：『地震による都市域の斜面災害』, 平成18年度宅地造成設計・施工研修, 全国建設研修センター, 2006.
- 10) 釜井俊孝・守随治雄：『斜面防災都市一都市における斜面災害の予測と対策一』, 理工図書, 2002.
- 11) 大地震時における宅地盛土の被害に関する調査業務 (平成17年9月)：NPO法人都市災害に備える技術者の会, 国土交通省都市・地域整備局 都市計画課開発企画調査室.
- 12) 釜井俊孝・守随治雄・笠原亮一・小林慶之：地震時における大規模宅地盛土斜面の不安定化予測, 日本地すべり学会誌, Vol. 40, No. 5, pp. 29-39, 2004.
- 13) 太田英将・榎田充哉：「谷埋め盛土の地震時活動崩落の安定計算法」既存造成宅地の耐震調査から設計まで DS, 地盤工学会第3回地盤工学会関東支部研究発表会, 「造成宅地の耐震調査・検討・対策方法に関する委員会」主催, pp. 21-35, 2006.
- 14) 太田英将：「盛土の耐震設計—設計・工事—」, 平成18年度宅地造成設計・施工研修, 全国建設研修センター, 2006.

～あなたのスキル 活かしませんか？～

## 登録スタッフ募集!

技術士・RCCM・地質調査技士  
土木施工管理技士・測量士  
建築士・環境計量士 等

\*土木・建築業界の調査・試験業務に特化した求職活動をしてみませんか？

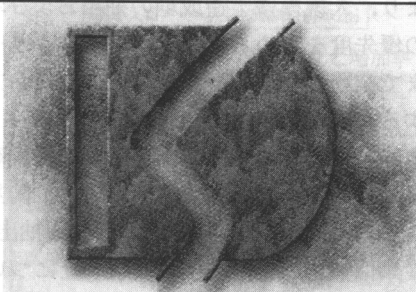
あなたの技術を活かせる、あなたの将来像にベストマッチする職場をご紹介します！  
土木・建築・測量分野での実務経験・資格をお持ちの方、登録をお待ちしています。

\*\*\*詳しいお問合せはこちらへ\*\*\*

担当：人材サービスグループ 目黒 【E-Mail】[dkss0201@dksiken.co.jp](mailto:dkss0201@dksiken.co.jp)

【TEL】(026)293-3434

【詳細情報・登録ページ】<http://www.dksiken.co.jp/haken.htm>



URL <http://www.dksiken.co.jp>

#### 許認可登録

- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> 有料職業紹介事業    | 20-ユ-30069   |
| <input type="checkbox"/> 一般労働者派遣事業登録 | 般20-300151   |
| <input type="checkbox"/> 建設コンサルタント登録 | 建20 第7741号   |
| <input type="checkbox"/> 地質調査業者登録    | 質17 第2230号   |
| <input type="checkbox"/> 測量業者登録      | 第(3)-22484号  |
| <input type="checkbox"/> 計量証明事業登録    | 濃度(水及び土壌) 環境第74号<br>音圧レベル 環境第75号<br>振動加速度レベル 環境第76号<br>知事許可(般-19)第21907号 |

建設業 長野県



## 株式会社 土木管理総合試験所 人材サービスグループ

■本社 〒388-8006 長野市篠ノ井御幣川877-1 TEL(026)293-5677/FAX(026)293-6431

■ DK試験センター ■ 松本営業所 ■ 富山営業所 ■ 長岡営業所 ■ 群馬営業所 ■ 山梨営業所 ■ 京滋営業所  
■ 東京支店 ■ 名古屋支店 ■ 南信営業所 ■ 上越営業所 ■ 新潟営業所 ■ 宇都宮営業所 ■ 横浜営業所 ■ 大阪営業所

# 川崎市における「宅地耐震化推進事業」 の取組みについて

たき がわ みち お  
瀧 川 道 夫\*

## はじめに

まず、取組みの説明をするにあたって、その担当である建築監察課の宅地監察・防災班について若干触れておきます。川崎市まちづくり局指導部建築監察課は機構改革により平成19年4月1日に指導部建築指導課建築監察担当主幹の下に建築防災班と建築監察班により構成されていた2班体制から民間建築確認機関の指導を行う建築監察班の新設と開発指導課から宅地監察・防災に係る業務を引き継ぎ、新たに課として発足しました。

このことにより、建築防災と宅地防災が機構の上で統合されたこととなりますが、宅地防災は、主として開発業務関連でがけ地の崩落現象の対策を行っており、特に梅雨や台風など降雨量が多くなる時期には自然がけ等の斜面地や造成地等の地盤が緩み、がけ崩れが発生する可能性が高まることから、パトロール等により周辺住民に対し注意喚起を行っております。

本市では、昭和30年以降の首都圏近郊の人口増加に伴う住宅地が順次整備されてきたことから、市域に造成地を相当数有しており、特に丘陵地周辺には大規模盛土造成地も多く含まれていると推定されております。また、川崎市が位置する南関東地方では、今後30年以内にマグニチュード7程度の地震が発生する確率が70%程度とされていることから、宅地に対する地震対策を図るため宅地耐震化推進事業として平成18年度から取り組みました。

当該事業の第1次スクリーニングを平成18年度に完了し、大規模盛土造成地マップ(宅地ハザードマップ)を公表し、現在の状況としては、第2次スクリーニングに入る段階にあります。

ここに至るには、本市が本事業に取り組む以前に「独立行政法人防災科学技術研究所 川崎ラボラトリー」(以下「川崎ラボ」という。)が国の委託を受け、震災総合シミュレーションシステムの研究に着手しており、そのデータを利用していただけたことが、他の都市と比較して早期に事業に取り組めた大きな要因と思っております。

## 2. 具体的な取組み

具体的な作業としては、平成18年度に宅地耐震化推進事業の大規模盛土造成地変動予測調査の中の、おもに机上調査である第1次スクリーニングとして、調査範囲の設定および資料の収集等による大規模盛土造成地の抽出を行いました。

### 2.1 事業までの経過

本市に対して国土交通省より平成17年度末に宅地耐震化推進事業の要請がありましたが、この時点では、本市としては本事業を実施する予定はありませんでした。

そこで、国からの要請を受けた後、川崎市内で震災に関する研究を行っている川崎ラボラトリーから研究資料の提供を受け、研究内容を分析・検討した結果、川崎市の西部地域の丘陵地を中心に、土地の切り盛りを調査した人工改変データが全市の4割程度作成されていることが判明し、事業の取組みについて具体的な検討を行いました。

その結果、地震対策の一環として平成18年度から事業化を図るとの本市の方針が決定されました。

### 2.2 委託業者の選定

委託業者の選定にあたっては、委託業務内容が航空写真の解析に始まり、大規模盛土造成地の抽出および現地調査を行う箇所の優先度を定めるための第2次スクリーニング計画の策定まで業務が多岐にわたり、かつ、総合力を持つ業者を選定する必要がありました。

選定の具体的な作業としては、本市の業務委託有資格者名簿から測量一般、アセス、地質調査および、防災や地質等のコンサル業務の執行ができる業者20社を抽出し、その業者に対して類似業務実績報告を求め、7社について類似業務の実績があったことから、この7社を局内に設けられた業者選定委員会(委託等業務)に諮り、指名競争入札により委託業者の決定をいたしました。

### 2.3 調査区域の設定

本市の市街地形成の特性として、昭和30年代から東京のベッドタウンとして、市域の丘陵地を中心に急速な宅地化

\* 川崎市まちづくり局指導部建築監察課 課長

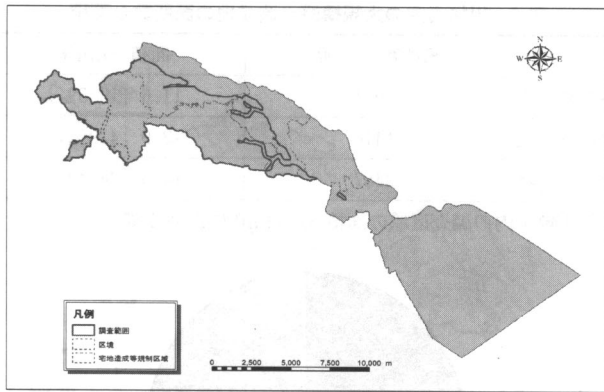


図1 調査区域図

が進み、ほぼ全市域にわたり宅地化されていったという経過があります。このため、市域 144 km<sup>2</sup> から大地震時に滑动崩落する可能性がない多摩川沿いを中心とした平坦部分を除き、昭和 37 年に指定された宅地造成工事規制区域を基本とした丘陵地 59.3 km<sup>2</sup> を調査区域として設定いたしました (図 1)。

## 2.4 資料の収集

今回の調査に利用した資料としては、調査範囲内における宅地化の状況から、宅地開発が始まる昭和 30 年代以前の資料として、昭和 22 年に米軍が撮影した縮尺 1/10,000 の航空写真を採用し、また、現況を把握するための資料としては、本市が平成 17 年度に作成した縮尺 1/2,500 の地形図を基本的資料として選定しました。

関連資料として、川崎ラボの研究資料、川崎市地域防災計画等を使用しました (図 2, 3)。

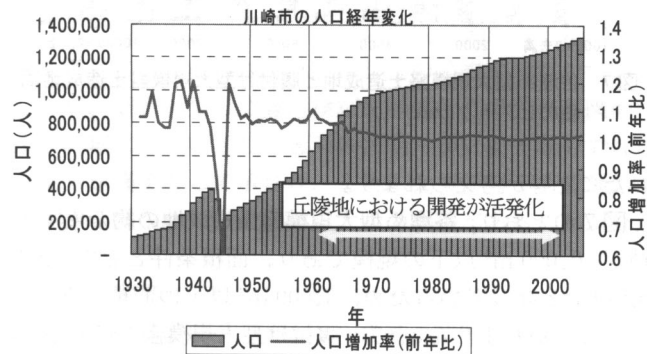


図2 川崎市の人口の経年変化と増加率

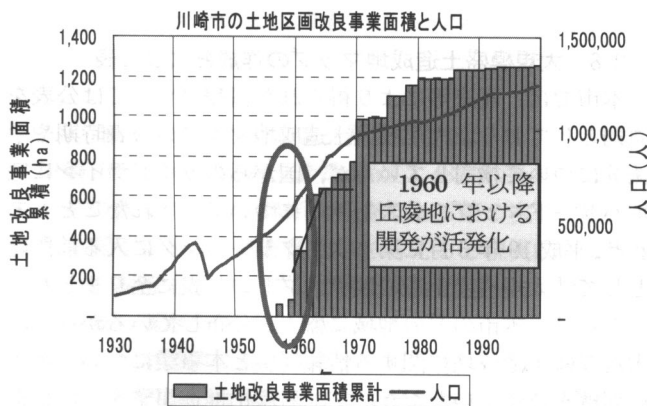


図3 川崎市の土地区画改良事業面積と人口増加の推移

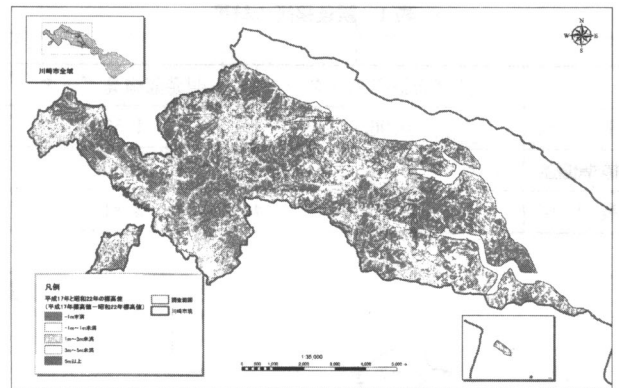


図4 差分図 (標高差  $\Delta h = \text{開発後の標高, } H_a - \text{開発前の標高 } H_b$ )

## 2.5 差分図の作成

地形図については、等高線および標高点のデータから地形データを作成するため TIN (不整三角網) を作成した。このデータから米軍の航空写真とともに 2.5 m メッシュの数値標高データ (DEM) を作成し、その標高差から差分図を作成しました (図 4)。

この差分図の作成にあたっては、川崎ラボが、大都市大震災軽減化のための震災総合シミュレーションシステム開発の一環として、平成 14~17 年度に行った航空写真を用いた人工改変地域抽出手法の開発、人工改変地データベースの検証等において、調査対象範囲の 7 割程度の差分図が作成されていたため、その数値標高データ (DEM) 等の資料を使用することで、効率的に作業を進めることができました。

## 2.6 誤差の検証

差分図の使用にあたっては、机上データのため実態の切り盛り状況の確認が必須となります。

この誤差を検証するため、国土地理院が設置した三角点の現在使用できる測量成果と標高値を比較しました。使用した三角点は調査対象範囲に設置されている 26 カ所としました (図 2)。そのうち 2 カ所については、建物上に三角基準点が設置されているため、誤差検証の対象から除外しました。

検証の結果を以下に示すと開発後の標高データの平均的な誤差 (標準偏差) は、0.74 m でしたが、開発後の標高データの最大誤差は、2.70 m となりました (表 1)。

一方、開発前の標高データの平均的な誤差 (標準偏差) は、1.06 m であり、最大誤差は、3.81 m と開発後のデータと比較して、大きい傾向があります (図 5, 表 1)。

この結果から開発後の地形と開発前の地形のデータを重ね合わせることで、約 3 m の鉛直方向の誤差が想定されたが、大規模盛土造成地の抽出においては、宅地造成等規制法の許可対象となる高さ 1 m を考慮し、差分図上で 1 m 以上盛土されている範囲を盛土区域としました。

## 2.7 大規模盛土造成地の抽出

大規模盛土造成地の抽出にあたっては、事前に川崎ラボが作成した差分図から、大規模盛土造成地数を想定したと

表1 誤差検証の結果

(単位：m)

	開発後標高データ	開発前標高データ
平均	0.96	1.57
標準偏差	0.74	1.06
最大値	2.70	3.81

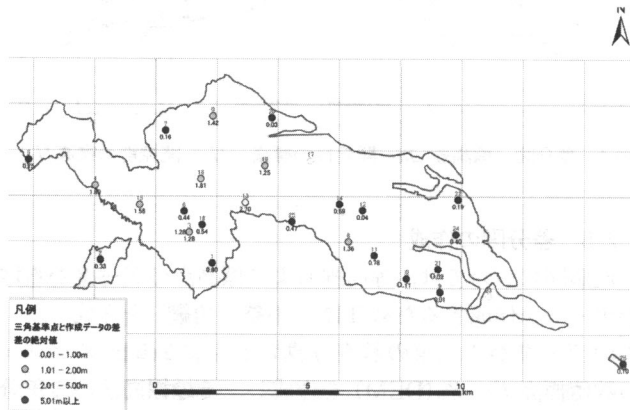


図5 開発前の作成データと三角基準点標高の差分

ころ、川崎市内で10,000カ所以上が抽出されることが想定されました。

今回の調査から抽出できる人工改変地形の規模は、技術的に面積で25m<sup>2</sup>(5m四方程度)が限度であるため、5m×5m=25m<sup>2</sup>以下の盛土造成地は抽出の対象から除くこととしました。

大規模盛土造成地の抽出対象は、国が示した大規模盛土造成地の変動予測調査のガイドライン(以下「ガイドライン」という)III.2盛土造成地の位置と規模の把握に、谷埋め型大規模盛土造成地(盛土の面積が3,000m<sup>2</sup>以上)腹付け型大規模盛土造成地(現地盤面の勾配が20度以上で、かつ、盛土の高さが5m以上)と規定され、それにより抽出を行うこととした。

実際に、大規模盛土造成地の抽出作業を行ったところ、想定以上の約12,000の大規模盛土造成地が抽出されたが、現状確認のため、一部区域について現地調査を行い検証したところ、明らかに旧地形を改変していない箇所についても、大規模盛土造成地として抽出されている箇所が確認されました。

このため、抽出作業は、個々の大規模盛土造成地について、平成17年の航空写真と昭和22年の米軍の航空写真と比較し、明らかに地形の変化の無いものを除去することで大規模盛土造成地として2,487カ所が抽出されました(表2, 図6, 7)。

このような大規模盛土造成地の抽出数の抽出作業による誤差の原因としては、差分図を作成する資料として、地形図や米軍写真を使用したため、米軍写真のひずみや劣化による誤差と地形図の精度誤差が大きく影響していたこと。

また、航空写真と地形図という異なる性格の基礎資料から数値標高データ(DEM)を作成したことにより、差分図を作成する段階で、実際には地形に変化がなく差分として抽出されるべきでない箇所がデータ上、差分として抽出さ

表2 川崎市内の大規模盛土造成地の箇所数と面積

	箇所数(箇所)	面積(km <sup>2</sup> )
谷埋め盛土	1071	11.6 [19.5%]
腹付け盛土	1416	2.9 [4.9%]
合計	2487	14.5 [24.4%]

[ ] 川崎市内の調査区域の面積59.3km<sup>2</sup>に占める割合

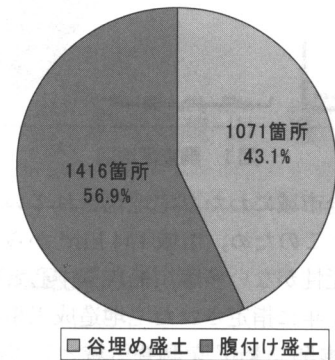


図6 川崎市内における大規模盛土造成地の抽出数

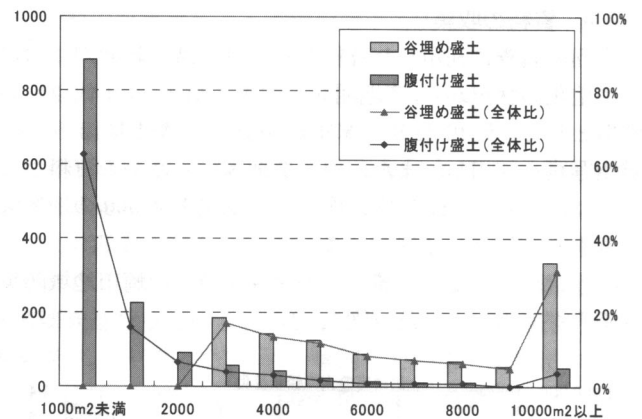


図7 谷埋め型大規模盛土造成地と腹付け型大規模盛土造成地面積のヒストグラム

れたこと等が考えられます。

図7のとおり、谷埋め型大規模盛土造成地の約70%は面積が10,000m<sup>2</sup>以下の規模であり、面積条件として3,000m<sup>2</sup>以上となっているため、3,000m<sup>2</sup>以下の面積に該当するものではありません。一方、腹付け型大規模盛土造成地は、面積による抽出基準がないため、1,000m<sup>2</sup>未満の小規模な盛土造成地が全体の60%以上を占めていました。

## 2.8 大規模盛土造成地マップの作成および公表

本市では、調査等により得られた情報については公表を原則としており、大規模盛土造成地マップの公表時期や手法等について検討していたが、国からのガイドラインに宅地ハザードマップの公表と活用について示されたこととあわせ、平成19年6月に第2次スクリーニングに入る前段階として「大規模盛土造成地マップ」の公表に至りました。

これは、本市のどの地域に盛土が分布しているかなど、大規模盛土造成地に関する情報提供と本事業について市民に理解を持っていただき、宅地耐震化推進事業を円滑に進めるためのもので、大規模盛土造成地マップという名称で

大規模盛土造成地マップ【概要版】

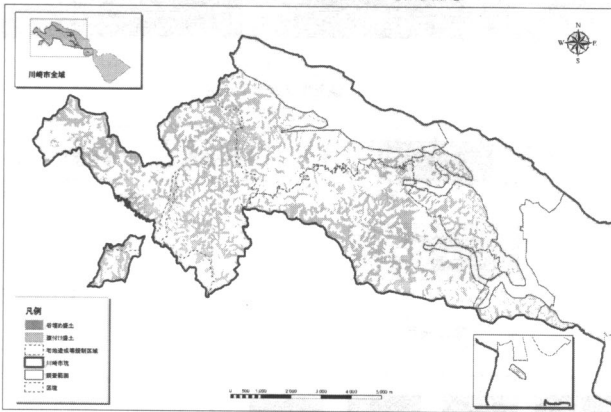


図8-1 大規模盛土造成地マップ(表)

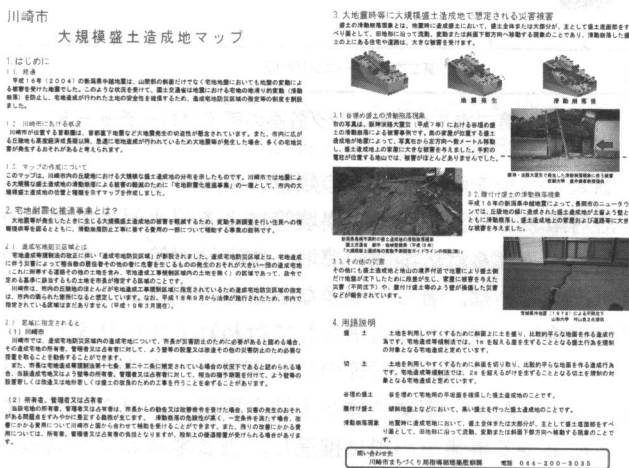


図8-2 大規模盛土造成地マップ(裏)

公表を行いました(図8-1, 8-2)

この大規模盛土造成地マップの作成にあたっては、当初ガイドラインに沿ったマップとしての公表を検討していましたが、調査結果の位置の検証を開発行為等の許可図面により詳細に比較検証したところ、明らかに盛土部分ではない部分が盛土として示され、また、大規模盛土造成地の外側境界線についても数十メートルの誤差があることが分かりました。

この誤差等は、使用した航空写真や地形図が持つ精度誤差と数値標高データ(DEM)作成時の誤差等が大きいと思われる。

このため、個々の宅地を特定する要因となる道路等の詳細な地物を示さない大規模盛土造成地マップとなりました。

### 2.9 第2次スクリーニング計画の作成

川崎市内に大規模盛土造成地が2,487カ所あることから、その総てについて詳細な調査である第2次スクリーニングを行うことは、調査費用等を考えると現実的ではないことから本市では、優先的に第2次スクリーニングを行うべき区域の選定を行いました。

まず、大地震時に滑动崩壊する可能性について検討したところ、谷埋め型大規模盛土造成地については、ガイドラインの解説に示された点数評価を用いました。なお、優先

表3 優先度評価区分

優先度	谷埋め盛土		腹付け盛土
	階級別変動割合	点数	
A	80%以上	40点以上	抽出条件に該当するすべての腹付け盛土
B	40%以上 80%未満	28~39点	—
C	20%以上 40%未満	20~27点	—
D	20%未満	20点未満	—

表4 優先度評価結果一覧表

優先度	箇所数		
	全体	谷埋め盛土	腹付け盛土
A	1484カ所	68カ所	1416カ所
B	275カ所	275カ所	—
C	247カ所	247カ所	—
D	481カ所	481カ所	—
合計	2487カ所	1071カ所	1416カ所

度として表3で示すとおり4段階評価としました。

ガイドラインの解説に示されていない腹付け型大規模盛土造成地の評価について点数評価を検討したが、谷埋め型と同様な評価手法が取れなかったため、一律に危険なものとして評価を行い、優先度を決定しました(表3, 4)。

また、今回の調査区域である丘陵地については、昭和37年に宅地造成工事規制区域に指定しているため、指定後の



図9-1 昭和37年以前大規模盛土造成地(488カ所)



図9-2 昭和37年以前大規模盛土造成地(40カ所)

表5 優先度グループ分け

	優先度 A	優先度 B	優先度 C	優先度 D
昭和 37 年以前の盛土造成地	最優先グループ	優先グループ	優先グループ	待機グループ
昭和 37 年以降の盛土造成地	優先グループ	優先グループ	優先グループ	待機グループ

表6 優先グループ別大規模盛土造成地箇所数

	優先度 A (点数 40 点以上)		優先度 B (点数 28 点以上)	優先度 C (点数 20 点以上)	優先度 D (点数 20 点未満)
	谷埋め盛土	腹付け盛土			
昭和 37 年以前の盛土造成地	40	448	97	65	44
昭和 37 年以降の盛土造成地	28	968	178	182	437
合計	68	1416	275	247	481

造成宅地は、宅地造成等規制法の許可を受けており、一定の技術的水準に達していることから優先度は低いものと考えて除外し、488カ所を抽出した(図9-1)。

この中から、社会的要件として、盛土上に人家が10棟以上あり、滑动崩落により複数の公共施設等に被害が及ぶ区域を抽出したところ、40カ所となった(図9-2)。

この40カ所について、現地調査を行った結果、10カ所において擁壁の亀裂やはらみだしの変状、地盤の沈下や地下水の上昇による湧水の発生等が確認された(表5,6 図10)。

### 3. 最後に(宅地の耐震化について)

個々の宅地の耐震対策については、従来から地耐力を期待できない敷地に建物を建築する際には、液状化あるいは軟弱地盤の地盤改良を行うことで、硬い地盤と同様な安全性を確保することが主として考えられてきました。

このような地盤特性については、土質工学を学ばれた皆様には常識であることと思います。

ところが、現に造成地等に建売等の住宅を購入し、生活されている一般の人々は、このような事柄にほとんど関心をもっていないのが現状であると思います。

行政の防災担当としては、大地震における宅地単位を超えた大規模な造成地全体の滑动・崩落現象が起きる可能性があるという状況をどのように伝えていくかが現時点での課題となっております。

地震における被害想定等は被害を強調すれば過敏反応を起し、被害の可能性を抑えて伝えれば逆に、安心してしまい対策を怠り、無反応となる傾向にあります。そこで、昨今では確率的に表現しておりますが、その統計的表現では的確に伝わらない状況です。

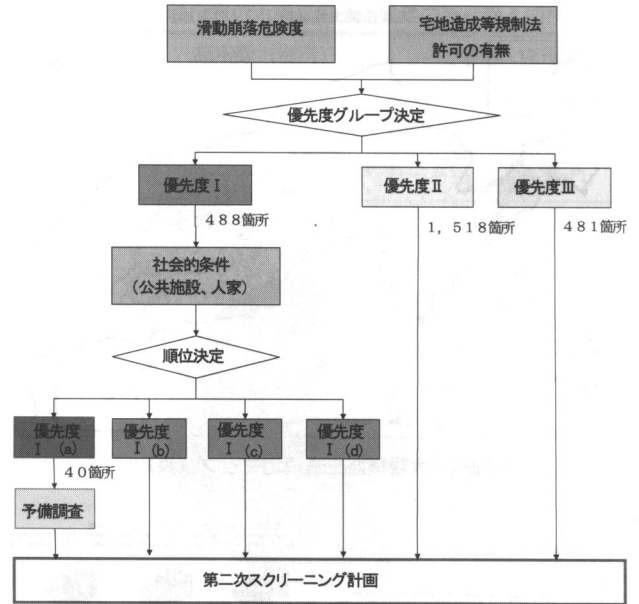


図10 第二次スクリーニング計画の策定フローチャート

個人レベルを超えた地域の類似の事業として、がけ地の崩落対策および河川の堤防崩壊等による浸水対策等がありますが、これらは広範囲の農地・住宅地対策として行われるか、あるいは、著しく危険ながけ地の崩落および河川の堤防崩壊等、局所的な対策として行われてまいりました。

ダムあるいは道路建設等の公共事業は、事業目的を主体的に進めるために事業主体が土地を取得し、自ら所有することによって事業を円滑に推進し、当該地域および周辺地域の公共性を高めることができます。

宅地耐震化推進事業は、これらの対策と異なり、限定的な地域の事業として大規模盛土造成地の範囲が限定され、しかも居住した状態で対策を行わなければならないことが特徴的です。

また、当該事業は、現にその宅地で生活している人々のために地震時における安全性を確保するわけですから、耐震化を進めるためにその人の宅地を取得することで事業展開を促進していく手法では、目的に対し矛盾することになりますし、地域社会の理解と協力がなければ事業の執行ができません。

その事業手法としては急傾斜地の防護壁等によって土砂災害を防止することに近いと思いますが、その地域社会の生活を維持しながら耐震性を確保することがソフト面あるいは技術面において実行可能であるのか。このような課題に取り組むための具体的・個別的なアプローチが必要であると思います。

今後、現地調査から耐震化対策へと事業展開していく過程で地域社会に対する合意形成の手法や耐震対策の工法等の開発を行いながら、国土交通省のご指導や先進的な他都市の取組みとともに本市の宅地耐震化事業を一步一步進めてまいりたいと考えております。

# 宅地地盤の耐震化を考える

たむら まきひと  
田村 昌仁\*

## 1. はじめに

近年の地震による著しい住宅の地盤被害を教訓として、宅地の耐震性能への関心が高まり、宅地造成等規制法等の法令改正等もなされ、宅地の診断や補強も徐々にではあるが進みつつある。既存建築物を対象とした建築物の耐震改修促進法においても同様であり、建築物の耐震診断に関連し、敷地の診断・改修も求められるようになってきた。宅地の一次スクリーニング、二次スクリーニングなどの用語も広まり、宅造法令に係わるガイドライン<sup>1)</sup>だけでなく、地盤工学会でも宅地耐震のための手引き<sup>2)</sup>を策定しており、今後各方面で新たな技術が開発されると考えられる。

本稿は、上述した宅地の耐震性能に着目し、宅地地盤の耐震化の現状と課題を述べるとともに、大規模盛土造成地を主対象に耐震性の評価手法や対策工の種類、採用に当たっての留意点を示したものである。また、併せて、新潟県中越沖地震などの最近の被害事例や対策事例を紹介する。なお、4章で紹介する二次スクリーニングに基づく宅地の耐震性能評価法や対策工の詳細等は、文献<sup>2)</sup>にまとめられており、参照されたい。

## 2. 宅地の耐震性能評価の現状と課題

宅地には多種多様な役割があり、それだけに宅地に求める性能もさまざまである。宅地は半完成品と言われるが、これは、宅地の性能はその役割からして土地の状態だけでは評価できず、住宅と一体になった段階ではじめて評価できるということでもある(仏に魂が入るような感?)。安全性が確認できていない敷地でも、住宅の基礎を工夫することで安全な住宅や宅地になる場合もある。もちろん、人工的な造成地であれば、地震や豪雨といった自然災害に対して容易に崩れないなどの性能は当然期待され、それ故大規模盛土造成地の宅地耐震化への取組みがなされていると考えられるが、宅地と道路等の配置や住宅基礎の工夫により、住宅の著しい被害は回避できる場合が多いと考えられる。斜面が良質な岩盤等であれば、写真1のような構造(ポー

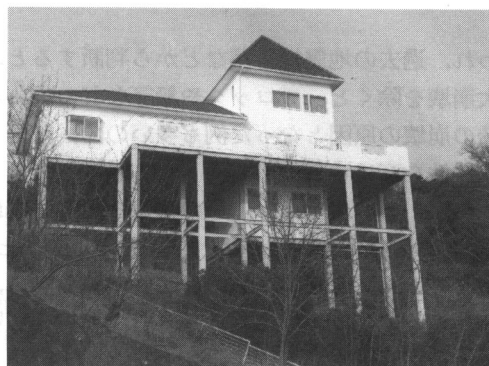
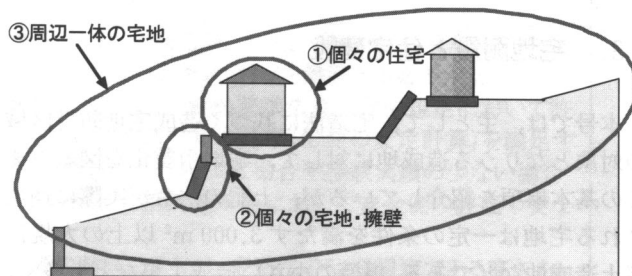


写真1 崖端部から外周道路下方の斜面上の住宅 (ポールコンストラクション)



宅地地盤の耐震性能評価は、①個々の住宅、②個々の宅地・擁壁、③周辺一体の宅地、の3つの対象のそれぞれに対して考慮する必要がある。

図1 宅地地盤の耐震性を考えるうえでの検討対象

ルコンストラクション)<sup>3)</sup>として土地の有効利用を図ることもあるが、耐震性が確認できない盛土斜面では、外周道路などを利用して崖から住宅・宅地をセットバックさせることが基本であろう。

図1は、宅地地盤の耐震性能評価の概要を示したものである。耐震性の検討対象は、① 個々の住宅の基礎・地盤の耐震性、② 個々の宅地・擁壁等の耐震性、③ 周辺一体の宅地の耐震性、の3つがあげられる。それぞれの保有耐震性能を図2のように示すことができれば、耐震補強を必要とする優先順位や補強方法の選択も容易になると考えられるが、相互に影響することもあるため、定量的な評価法は明確でない。また、各項目における診断の方法や補強の要否については、思想や考え方が統一されているわけではないことに注意を要する。耐震補強・補修の費用が、自己負担となる場合は、著しい被害に直結する部分の補強が優先され

\* 建築研究所 国際地震工学センター 上席研究員

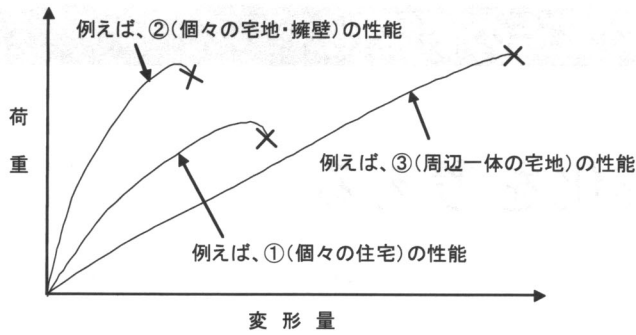


図-1に示した3つの検討対象に対して耐震性能を評価し、それぞれの役割などに応じて補強の優先順位などを決めることが重要。ただし、それぞれの評価に必要な荷重及び変位置のレベルや許容値が不明。変位置に関しては、検討対象間の相互の影響なども考慮することも必要であるが、現時点では不明な部分が多い。

図2 宅地地盤の耐震性能評価の基本的な考え方

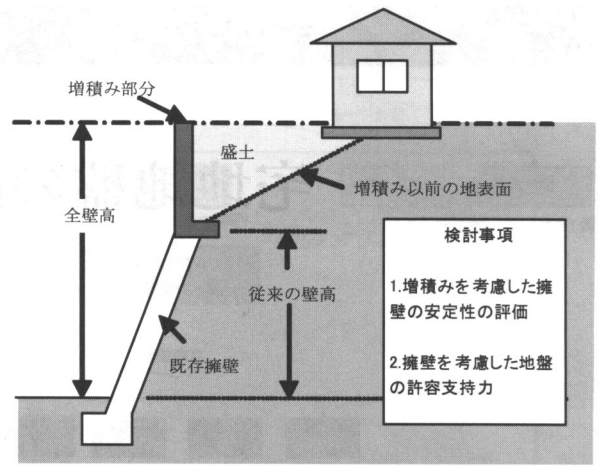


図3 増し積み擁壁の留意点

と思われる、過去の地震被害例などから判断すると、斜面全体の大崩壊を除くと、ブロックや無筋などの古い基礎が上部構造の崩壊の原因となった例も多いので、基礎を剛強にして一体性を高める方策が有用となる場合も少なくないと思われる。①の検討は、木造等の耐震診断・改修に係わる基礎・地盤の評価方法<sup>4),5)</sup>が参考となる。また、②と③は、より密接に係わっており、宅地の著しい地盤変動は、③の宅地全体の地盤変動だけでなく、個々の宅地内の擁壁が増し積み擁壁やブロック塀による土留めなどの不安定な構造(図3、写真2)であることが被害を助長・増大させている場合が多い。



写真2 ブロック塀を擁壁の代替として利用した土留め壁の被害例(新潟県中越沖地震, 2007)

### 3. 宅地耐震と住宅建設

本号では、主として、宅造法に基づく造成宅地防災区域の対象となりうる造成地に対して、宅地耐震化を図るうえでの基本事項を紹介しているが、上記の法令が実際に適用される宅地は一定の条件を満たす3,000 m<sup>2</sup>以上の大規模盛土造成地などである。規模の小さい造成工事なども多く、全体からみると、造成や住宅建設の段階で、敷地・地盤の耐震性を直接検討する場合は少ないといっても過言ではない。また、宅地耐震の問題は、宅地造成に係わる事項だけでなく、建築工事における工作物擁壁や住宅建設における基礎・地盤の設計にも密接に関わっているので、造成と建築の双方の現状等を知ること宅地の耐震化を図るうえで重要である。そこで、ここでは住宅建設における宅地評価の基本を述べる。

図4は、斜面地における建築物のセットバックとクリアランスに関する古くからの海外の規定例(米国, UBC/IBCなど)であるが、このような配置計画は日本の『がけ条例』と同様であり、世界共通でもある。崖面を擁壁等で覆えば、この種の規定が適用除外となることが多く、崖に近接した住宅等が建設される可能性もあるが、宅地全体の耐震性などにも配慮して、セットバックとクリアランスの必要性に配慮することも重要である。

また、上記の宅地耐震と住宅建設の関係は、最終的には住宅の基礎設計における地盤の支持力評価の関係に係わっ

てくる。基礎設計における地盤の短期許容支持力の設定に宅地全体の耐震性をどのように扱うかについては、技術的に明確でないものが多いことなどから、現時点では特別の場合を除くと大規模盛土造成地のような検討をすることはないと考えられるが、今後の重要な課題である。

ただし、構造計算書問題を契機として、建築基準法が2007年6月に改正され、建築構造関係の技術基準解説書が改定され、基礎の耐震設計や基礎と擁壁との関係についても、今まで以上に詳細な説明が加えられ、宅地自体の耐震性能の問題だけでなく、住宅建設においても宅地の耐震性に配慮した設計・施工が求められるはじめたことに注意が必要である。表1は、上記の解説書における宅地耐震に係わる基礎・地盤・擁壁の内容の概要を示す。増し積みなどにおいても上段・下段の合計が2mを超える増設に対しても現行規定への適用が今まで以上に明確になっていることや地盤の短期許容応力度の評価において液状化の影響が軽微なことが確かめられない限り、短期の許容応力度の設定が

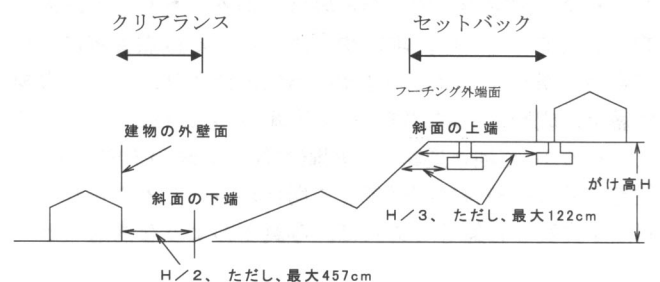


図4 がけと住宅の配置の関係(UBC, IBCの例)



できないなどとなっている。

#### 4. 宅地の耐震性能の評価法と対策工

表2は、宅地の耐震性能の評価方法を示したものである<sup>2)</sup>。評価方法の違いによる影響や入力地震動の評価方法など、現時点でも明確でない部分があるので、それぞれの適用範囲や経験・実績などを考慮して適切に評価方法を選択することが重要である。

表3は、宅地の耐震性を向上するための対策工の概要を示す<sup>2)</sup>。

各工法の採用に際しては、経験・実績や各方向の適用範囲、施工条件、既存住宅の存否などを考慮することが重要である。単独の方法では効果が十分でない場合もあるので経済性なども勘案して適切に補強方法などを選択しなければならない。

抑止工は、構造体を設置することによって力ですべり等

に抵抗することを目的としたものである。構造計算による定量的な評価が可能であるが、工法によっては地形や地質などに基づく経験が重要視されることもある。のり面保護や表層排水なども、総合的な対策の一部になる。なお、対策工のなかには、建築工事では設計法が確立しておらず、採用が難しい場合（例えば、斜めアンカーや補強土工、表1参照）があるので、当該宅地における対策工の基準上の扱いなどにも注意を要する。

また、宅地全体の耐震性能は、要所・要所を補強することで向上できる場合もあるが、一体性が乏しい壁高の高い増し積み擁壁など、宅地全体のすべりなどよりも、個々の評価が重要となる場合があるので、対策の目的や対象範囲についても事前に明確にしておくことが望まれる。一般に、既設擁壁の補強方法の多くは、構造計算による確認は難しい。

表1 建築構造関係技術基準解説書<sup>3)</sup>における宅地耐震に係わる記載内容の例

項目	法, 令, 告示等	内容
液状化 短期許容支持力	令 38 条, 告示 1113 号	許容応力計算及び限界耐力計算。『液状化による沈下等の影響が軽微であることが確かめられない限り、地盤の短期許容応力度を設定することはできない』など
	告示 598 号 (H19)	限界耐力計算における液状化の判定方法の明確化。最大加速度 150gal で FL が 1 を超える場合。350gal では液状化時地表変位 $D_{cp}$ が 5cm 以下、液状化指数 PL が 5 以下など。
擁壁の構造	令 142 条	既存擁壁の上部に擁壁を増設することもあるが、上段と下段を合わせた擁壁の壁高が 2m を超える場合は、原則、本条(142 条)の規定を満足する必要がある。 宅造法に規定する以外の擁壁についても、建築基準法及び関係規定において許容応力度が与えられる材料を用いて構造計算の基準(常時の安定計算)を満足することを確かめた場合は築造可能(ただし、特殊な場合や経験実績の少ない場合は、実験等を併用した地震時の検討や抵抗機構等において安全側の評価の要など) 耐震設計の必要性は、設計者の判断によるが、宅造法の仕様規定である高さ 5m を超える場合や、土木関連の擁壁で耐震設計を行うべきとされる高さ 8m を超える場合が目安となる。地震時には擁壁を支持する地盤が液状化する場合もあるので、壁高が高い場合には特に注意が必要である。
支持力と擁壁	告示 1113 号 第 2	擁壁背面の近傍を敷地とする場合は、建物荷重によって擁壁の安全性検討した上で地盤の許容支持力を設定しなければならない。
地盤アンカー	告示 1113 号 第 7	鉛直アンカーに限定。水平・斜めアンカーは時刻歴応答解析等。
基礎の補強	告示 566 号 (H17)	既存不適格住宅の構造緩和規定。 増築・改築等の床面積が既築部の 1/20 以下(ただし、50 <sup>2</sup> m <sup>2</sup> 以下)の場合: 現行規定(令 1347 号など)への適用不要 上記の比が 1/2 未満の場合は、既存部の基礎補強(ただし、上部は現行規定による) 上記の比が 1/2 以上の場合、既存基礎も現行規定によるなど
表層の地盤増幅 (工学的基盤の傾斜の影響や表層傾斜の影響等の評価方法の明確化)	告示 598 号 (H19)	限界耐力計算の地盤増幅特性の評価に限定。 基盤傾斜の評価: $V_s$ が約 400m/s 以上、厚さが 5m 以上、表層地盤の厚さの 5 倍程度の範囲において地盤の深さが一様なものとして 5 度以下の傾斜であること。みなし工学的基盤の考え方の導入(工学的基盤より浅い場合でも波動インピーダンス( $V_{sx}$ 地盤密度)が 2 倍程度異なる際には、併せて検討し、大きい $G_s$ を採用 表層傾斜の影響評価: 一般建築物は 4m 程度以下の傾斜なら影響が少ない。戸建て住宅では 10m, 20m を超えると影響が大きい。

表2 現地調査および地盤調査に基づく宅地の耐震性の評価方法<sup>2)</sup>

検討対象	検討項目, 評価方法など	
液状化の検討	液状化判定	概略判定, 限界 $N$ 値, FL 法, 室内液状化実験など
	液状化の影響評価	液状化指数 PL 法, 地表面変位 Dcy, 地盤流動量, 液状化による沈下予測
のり面の安定性	極限平衡法(簡易法)	円弧すべり法(Fellenius, Janbu, Bishop 法など)
	地震時変形解析法(詳細法)	有限要素法(有効応力解析, 動的など) 累積積分法(ニューマーク法など)
擁壁の安定性	転倒・滑動・支持力に関する安定計算と壁体耐力に関する構造計算。一般的な RC 造の擁壁であれば一般の技術基準指針類の内容が参考にできる。基準類によって評価方法等が異なる場合があることや特殊な構造の擁壁など評価法が確立していない場合もあることに注意が必要。擁壁を含む斜面全体の安定性については, 有限要素法やニューマーク法などによる。	
基礎等の検討	崖地での地盤の支持力や杭の水平抵抗力, 水道・電気・ガス等の地中埋設物等の検討など	

注: 検討に際しては, 検討用地震動や液状化検討用の地表面加速度などを適切に設定することが重要。  
円弧すべり等における設計地震動は, 宅造分野では中地震 0.15, 大地震 0.25 程度を採用することが多い。

表3 宅地耐震のための対策工

対策工の種類		概要
宅地 周辺 一体	抑制工	地表水排除工, 地下水位排除工, 押え盛土工などによる斜面の安定化工
	抑止工	擁壁, アンカー, 杭, 補強土などによる構造的な補強
	のり面保護工	植生工, 吹付工(モルタル, コンクリート), 石張り工, のり枠工などによる表面保護
	液状化対策	地下水位低下工, 固結工, 締固め工(コンパクショングラウチング等)
個々の 宅地	擁壁の補修・補強	増し打ち・添え打ち, 目地詰め, 格子枠工, 自立山留め壁,
		水抜き孔の清掃や新設,
		地山補強土, アンカー(緊張型, 待ち受け型など), 控え杭, 控え壁
	防護壁等	がけや擁壁の状況によっては崩土対策の防護壁等の設置が有用な場合もある
基礎補強	無筋の有筋化, ブロックや独立基礎の補強及び一体化, 基礎直下の地盤補強など	

## 5. 新潟県中越沖地震による宅地被害と対策事例

新潟県中越地震(2004)では高町団地や山越村などで宅地被害が顕著であったが, 新潟県中越沖地震(2007)では液状化およびそれに起因すると考えられる被害が繰り返し発生した地域もあった。ここでは, 崖上が砂丘, 崖下が低地からなる造成地の地震被害の概要を述べるとともに, 中越地震を教訓として地震対策として地下水位低下工(暗渠工)が採用された住宅の状況などを報告する<sup>7)</sup>。

図5は, 上段の砂丘の崖から下段側の低地に至る範囲における住宅の被害状況を示す。この団地は, 約34年前に造成され, 山側の砂丘を崩して切盛造成したと考えられている。地形図や現地で行った表面波探査の結果から判断すると低地側には粘土質の部分も含まれていると考えられる。写真3は, 住宅の被害状況であるが, 前面道路から4, 5mほど奥まった位置で地盤が50mほど陥没して水平にも押し出され, 住宅数棟が大破していた。地下水位は, 大

破した住宅の下方の宅地ではほぼ地表面付近にあった。この大きな地盤変動被害の原因としては, いろいろな要因(基礎の種類, 住民へのヒアリングによると敷地の周辺に小川や水路があったなど)が考えられるが, 下段側の擁壁が造成後に増し積みされた構造であり, 下段側に数十cm沈下して水平に押し出されたことも, 宅地での地盤変動を増大させた一因であると考えられる。

図6は, 前回の中越地震(2004)で全壊して新築する際に, 地震対策として採用された地下水位低下工(暗渠工)の概要である。この敷地周辺では, 今回の中越沖地震(2007)においても液状化による著しい被害が再度発生していた。住宅の外周にドレンを設置して, 地下水位を低下させ, さらに沈下対策の鋼管杭が採用されていた。道路側の擁壁やその背面地盤には, 地震によるひび割れや段差等の被害が一部生じていたが, この宅地周辺の住宅・宅地の被害と比較すると軽微にとどまっており, 地下水位低下工の効果が発揮されたものと考えられる。写真4は, このドレンによって前面道路に排出されている地下水の状況であるが, 常

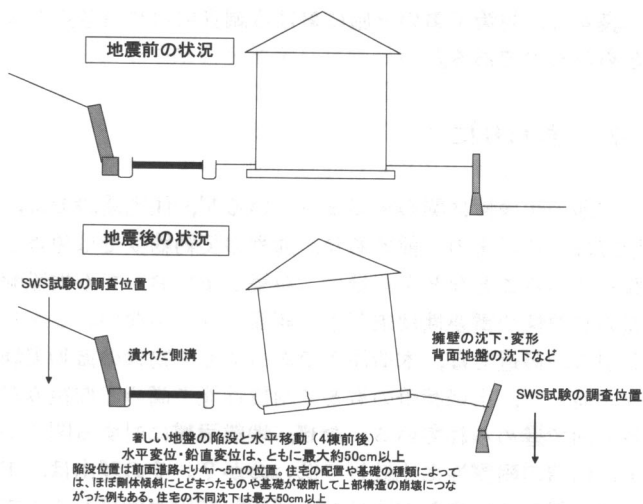


図5 砂丘周辺の造成地における地盤変動による被害

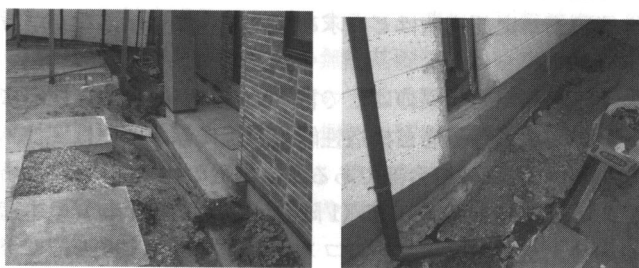


写真3 宅地内の地盤の陥没や水平変位による住宅の被害

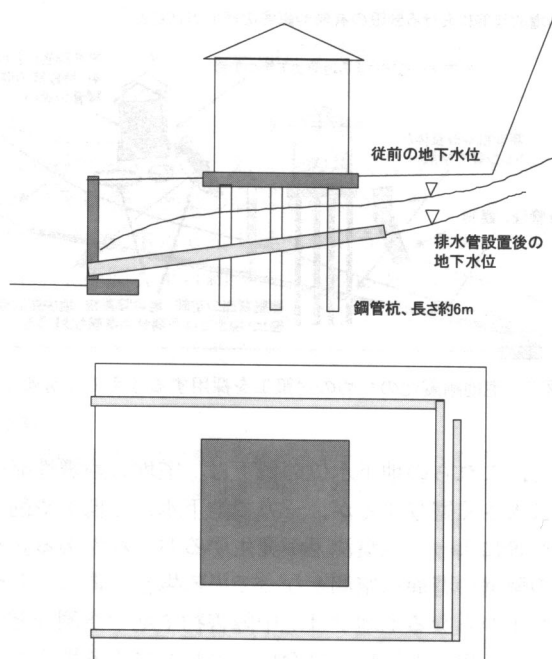


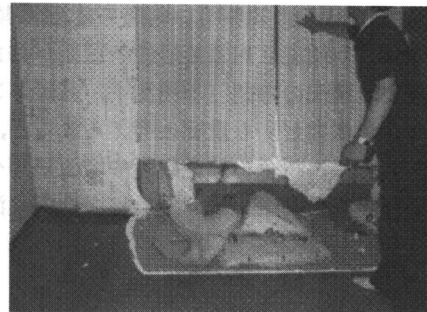
図6 住宅の外周に排水管（ドレン）を設置して、地下水位を低下した例



写真4 常時ドレンから排出されている敷地内の地下水（左下の排水管が敷地内ドレンによるもの、右は別の排出管）。



写真5 砂丘斜面の崩壊による住宅の外壁等の被害例



時でも大量の地下水が排出されており、裏山の砂丘斜面には地下水が常に供給されていると考えられる。なお、この宅地の周辺では、裏山の砂丘斜面が地震で崩壊して新築住宅の外壁を1.2m埋めた事例（写真5）も認められているが、この宅地では裏山の変状は特に認められなかった。

## 6. 対策工の実施における留意点

4章で紹介した対策工の採用に際しては、個々の住宅敷地での工事となる場合が少なくないので周辺環境等に対する十分な注意が必要である。一次スクリーニングや二次スクリーニングの際にも、現地調査や地盤調査によって当該宅地の耐震性等の検討を要するが、対策工の採用に際しては宅地内の既設の住宅基礎や擁壁の構造等に関しても十分に把握しておく必要がある。外観調査等が主となる場合も多いと考えられるが、造成情報が不明な宅地では、地盤条

件が複雑で埋土などの性状が場所ごとに大きく異なるおそれがある。住宅地によっては、地盤調査等が実施できるスペースすら確保できない場合もある。

地下水位低下工は、他の抑止工としてのアンカーや杭と比較すると、地上作業が周辺へ及ぼす影響が少なく、排水管などを長く設置できれば有効であるが、既存の住宅や擁壁等の直下での工事となる場合は地中埋設物等への影響などにも注意を要する。住宅の前面道路における下水道等の公共工事だけでなく一般の建築工事でも、周辺への影響を考慮して近隣住宅等の基礎や土間のひび割れなどの有無などを計測することが多くなっており、宅地耐震化のための対策工の場合でも周辺への環境対策が重要となろう。また、最近の住宅建設では、地盤改良を採用する割合が増えており、このような場合は、地下水位低下のための住宅地での削孔・ボーリング等によって既設の改良体や鋼管に悪影響を及ぼすおそれもあるので十分な注意が必要である。改良体と鋼管の配置は、事前に正確に把握できない場合が少なくない。

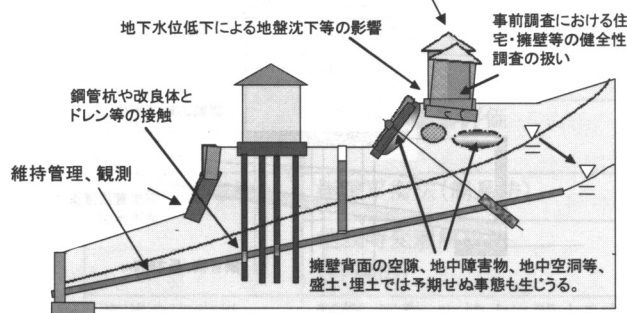


図7 宅地耐震化のための対策工を採用するうえでの留意点

また、これらの地下水位の低下は、宅地の耐震性能の向上には大きく寄与するが、一方で地下水位の低下や削孔部の変形等によって地盤沈下が発生するおそれもある。石積み等の擁壁の背面は空洞となっている場合があることや盛土・埋土からなる宅地では地中障害物や地中空洞などが存在している場合も皆無ではない。ドレンによる地下水位の変化やアンカー工等による地中応力の変化が思わぬ地盤沈下等をもたらすおそれもあるので、事前調査によってこれらのリスクに対しても十分配慮しておくことが必要である。

図7は、上述した対策工を採用する際の留意点の概要を示したものである。戸建て住宅は、品確法の創設（新築住宅10年保証）により、常時の沈下障害など、基礎・地盤の不具合や瑕疵に対する居住者意識が高まっており、工事に先立つ現況の確認（不同沈下、基礎コンクリートのひび割れ、欠損など）も重要と考えられるが、事前調査の範囲や計測方法、将来の住宅建設や増改築等への影響、さらには事前調査の結果の取り扱いについても注意が必要である。

表4は、対策工事の実施における調査項目や留意点をまとめたものである。

## 7. おわりに

宅地の耐震性に関心が高まっているが、住宅建設では、地震は自然災害の一種であり、通常の契約約款では免責となっていることなどを背景に、新築工事においても地盤耐震の必要性や重要性は未だ十分認識されていない。しかしながら、最近では、木造住宅であっても実物大の振動実験等が盛んで、市場競争のもとで耐震性能を高める取組みが各方面で進められている。なぜ、地盤耐震に対する関心が上部構造の耐震性に比較して低いのか？。その理由は、①地盤に対して確実な方法はない？、②費用対効果からみて不可能？、③現行基準でも地盤・擁壁・基礎に対する耐震性能評価が上部構造ほどに求められていない？、などが考えられる。

また、費用対効果のことで言うなら、一般の木造住宅において、耐震等級など構造性能の評価に係る部分は、柱・壁・梁とそれらの接合部であるが、最近の住宅団体の調べ<sup>8)</sup>によると、延べ床140㎡（1階80㎡、2階60㎡）の木造の場合、上記の構造骨組のコストは、材工で190万円である。一方、地盤の耐震性を十分に考慮しない状況下での基礎設計でも、基礎や改良等のコストは、布基礎120万円、べた基礎170万円、改良50～240万（工法による幅が大）であり、上部構造の構造骨組のコストよりかなり大きい場合もありうる。このように基礎や改良に要する費用が多大であるにもかかわらず、地盤改良や住宅用鋼管杭の設計は、あくまで沈下軽減のための地業としてしか位置づけられておらず、耐震設計の方法は無論、常時の沈下対策としての

表4 対策工の実施における留意点

項目	留意点	
近接工事	工事範囲の詳細調査	住宅の基礎・改良等の仕様と健全性、擁壁の構造や健全性、詳細設計のための地盤調査、地下水位の低下やアンカー工等による地盤沈下等おそれなどを評価するための調査や計測
	矢板、孔、溝等の設置	住宅や擁壁等が近接する場合、周辺の影響を防止するため矢板等を設けて、振動や変形による悪影響を回避。
	住宅・擁壁の補修・補強	住宅や擁壁等が近接する場合には、事前または事後に基礎や壁体等の補修・補強を必要とする場合もある。各部のひび割れ・欠損、不同沈下、段差等に注意。特に、既存基礎が鉄筋コンクリート造でない場合は、地盤沈下等によるひび割れ等が生じやすいので十分な注意が必要。
	周辺等への影響監視	工事前後の沈下量や不同沈下などの計測。対策工によっては水質等の管理を要することもある。敷地の実況によっては、工事の長期観測などを必要とする場合もある。
維持管理	排水工	排水機能の点検、目詰まり等に対する措置、排水量・地下水位等の観測など
	アンカー等	緊張力などの点検、アンカー設置範囲の掘削工事の規制など
	宅地地盤	地盤変位の観測点（沈下、水平変位等）の定期検査、地下水位観測、日常点検など
増改築等	住宅の増築、新築など	対策工が採用された宅地における住宅の増改築や新築における制限の有無、基礎の設計と対策工への相互の影響の評価方法、一般の建築工事において取り扱いが難しい対策工を採用した場合の評価建法
	土地の改変等	整地、土留め、掘削などの制限の有無、軽微な土地の改変の扱いなど

設計法も必ずしも明確ではない。このことを考えると、住宅建設時に宅地耐震を考慮した検討が標準化されるには時間を要すると思われるが、住宅建設における改良や杭の位置づけを明確にするとともに、住宅の地震被害に関して、現行基準を満足する一体の鉄筋コンクリート造の基礎と適切な地盤改良が採用された住宅の被害の実態を正確に知ることが必要である。地盤改良を採用した新築住宅のなかには、傾斜したものもあるが、現在の沈下対策としての地盤改良の設計を少し工夫することで大地震に対しても軽微な被害にとどめられる可能性もあるので、液状化対策としての改良や杭の設計法の開発も重要である。

本稿で述べた耐震性能の評価法と対策工は、図1の③を主対象にしたものである。③の周辺一体の宅地耐震の問題は、① 個々の住宅の基礎・地盤、② 個々の宅地の耐震性と比較して、社会基盤としての宅地の役割を考えると重要であるが、被害事例から判断すると、著しい地盤被害の多くは、現行基準を満たさない無筋基礎やブロック基礎の古い住宅に発生しており、個々の宅地の擁壁が構造的に不安定な積み積み擁壁やブロック塀の土留めであったために被害が増大した例も少なくない。このため、対策工の採用に当たっては、耐震補強の目的や対象範囲を明確することも重要であろう。

4章で紹介した対策工は、いずれも土木工事としてみると経験・実績があると考えられるが、住宅地における建築工事としてみると、例えば、アンカー工はあくまで鉛直アンカー（H13告示1113号第7）に限定されており、斜めアンカーは時刻歴計算等を要する位置づけになっているな

ど、耐震化事業と一般の建築工事との関係の違いなどにも注意を要する。また、耐震補強を実施した宅地において、増改築や解体撤去に伴う住宅の新設がなされる際に、住宅等の積載荷重が補強部分に及ぼす影響の評価や土地が改変できる範囲の扱いなど、対策工の維持管理や将来の建築工事に及ぼす影響などについても注意が必要である。さらに、既存宅地での工事は6章で述べたように、住宅の常時に生じる沈下や不同沈下は紛争につながるおそれがあることにも十分配慮した上で、適切な対策工を選定し、周辺への影響を監視することも重要であろう。

#### 参考文献

- 1) 大規模盛土造成地の変動予測ガイドライン, 国土交通省, 2007. 4.
- 2) 造成宅地における耐震調査・検討・対策の手引き—地震から既存の住宅を守るために—, 地盤工学会 関東支部, 2007. 2.
- 3) 岡野泰三: ポールコンストラクションによる住宅基礎の被害と設計例—阪神淡路大震災に耐えた傾斜地の掘建て柱式基礎—, 基礎工, 2007. 8.
- 4) 住宅局建築指導課 監修: 木造住宅の耐震診断と補強方法, (財)日本建築防災協会, 2004. 7.
- 5) 住宅局建築指導課ほか 監修: 改正建築物の耐震改修の促進に関する法律及び施行令等の解説, ぎょうせい, 2006. 2.
- 6) 住宅局建築指導課/国総研/建築研究所/日本建築行政会議 監修, 編集: 日本建築センターほか, 2007年版建築物の構造関係技術基準解説書, 発行: 全官報 2007. 8.
- 7) 新潟県中越沖地震における建築物の基礎と地盤の被害, 建築研究所ホームページ, 2007.
- 8) 米田誠・中井敦司: 住宅基礎の新設および補修・補強における費用対効果の考え方, 基礎工, 2007. 8.

# 宅地盛土のり面の耐震強化

やまもと あきら  
山本 彰\*

## 1. はじめに

大規模な地震が発生すると、宅地盛土のり面には崩壊、地すべりおよび石積みや擁壁の変状・倒壊など大小さまざまな被害を生じる。過去の地震による被害調査結果から、宅地盛土のり面の変状形態は、①局所的で小規模な変状と、②被害が広域に及ぶ大規模な地すべり的な変状の2つに大別できる(図1)。これら変状形態のうち、前者は古くから地震による盛土のり面の被害として認識されていた変状であり、主に慣性力に起因していると考えられる。一方、後者の地すべり的な変状形態は、1978年の宮城県沖地震で発生した仙台市緑ヶ丘地区での被害において認識されるようになり、兵庫県南部地震、新潟県中越地震などにおいても宅地盛土のり面全体に及ぶ大規模な被害を引き起こしている。その被害形態は、表1に示すように分類されている<sup>1)</sup>。これら被害形態のうち、タイプAとタイプBは液状化の可能性があると考えられており、タイプCは慣性力および地下水が変状の原因と考えられている。

対策工は、地震時に生じるこれらの変状形態、変状メカニズムを考慮した設計を行う必要があり、特にその発生原因によって慣性力を原因とする場合と液状化を原因とする場合とに分けて考える必要がある。盛土のり面の安定性に

対する対策工のうち、地震時の慣性力を原因とする場合は、常時の安定問題に対する対策の考え方に準じることができ。この場合、対策工の設計に際して地震時の慣性力を考慮する必要がある。また、地盤の液状化を原因とする場合は、液状化問題に対する対策と常時の安定問題に対する対策を併せて考える必要がある。

以下に、既設宅地盛土のり面を対象として、耐震補強について述べることにする。特に、②の地すべり的な変状形態に対する耐震補強を中心に記述する。

## 2. 対策工の種類

対策工は、その種類によって、対象とする地盤の変状形態や変状規模、および対策工の機能や効果が異なる。このため、これら対象とする地盤の変状形態等に応じ、適切な対策工を選定する必要がある。

宅地盛土のり面の安定対策工は、のり面保護工、抑制工、抑止工、液状化対策工に分類できる。安定対策工は、一般にこれら4種類の工法を併用して実施する。斜面の安定対策工の種類と各変状形態に対する効果を図2に示している<sup>2)</sup>。

のり面保護工は、土質や湧水などの条件を考慮した上で、採用するのり面勾配がそののり面における安定勾配よりもかなりゆるい場合には侵食や表層崩壊の防止を目的として植生工程度とし、安定勾配に近い場合にはもう少し安定性の高いのり面保護工を採用する。一般に、のり面保護工は設計上のり面の安定性に寄与するとは考えない。

抑制工は、宅地盛土のり面の崩壊原因の一部を取り除くことによって、その安定化を図る対策であり、地表水排除工、地下水排除工、排土工、押え盛土工等がある。これらのうち、比較的施工が容易で地震時の対策として効果があると考えられているのが地下水排除工、排土工、押え盛土工である。地下水排除工は、地盤内に浸透した水を速やかに外部に排除する対策である。新設の宅地盛土のり面では、地表

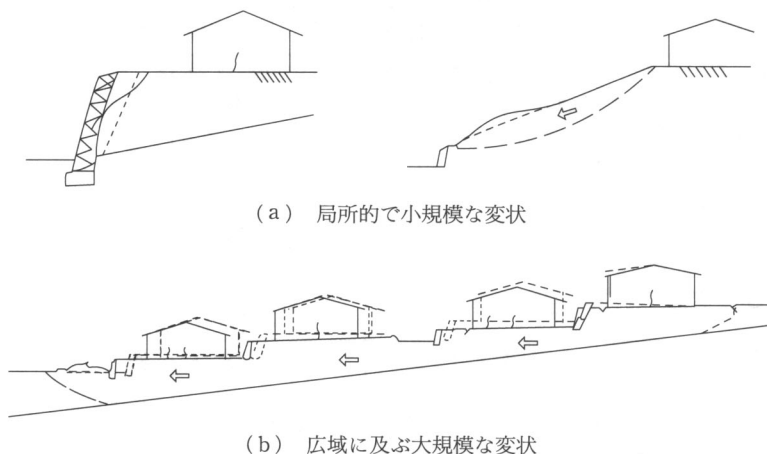
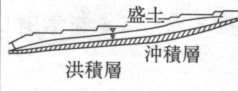

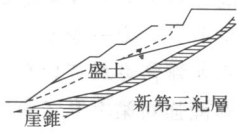


図1 大規模地震による宅地盛土のり面の変状形態

\* (株)大林組技術本部技術研究所 地盤岩盤研究室 グループ長

表1 被害形態（大規模な変状）の分類<sup>1)</sup>

タイプ	断面模式図	被害の特徴	該地点
A		<ul style="list-style-type: none"> <li>谷筋盛土型（緩傾斜の宅盤）</li> <li>谷筋を埋める型で盛土した地域に発生（標高 30～70 m 程度）</li> <li>変状は旧谷地形に沿って発生（変状域の幅に対し斜面方向の長さが長い）</li> <li>盛土下部には連続性のよい沖積層が分布する場合が多い</li> <li>変状土塊の基底の形状は非円弧</li> </ul>	（液状化の可能性有） 2, 24, 26, 27a, 27b, 28, 29a, 29b, 29c, 30a, 30b, 31, 32, 34, 36, 37, 40, 52  （その他） 44, 45, 46, 48a, 49, 50
B		<ul style="list-style-type: none"> <li>段丘崖切盛土型</li> <li>幅の広い谷の片側や沖積平野に接する段丘斜面を切盛した地域に発生（標高 15～40 m）</li> <li>変状域の幅は斜面方向の長さに対して同等か広い</li> <li>盛土下部には沖積層または崩積土が分布</li> <li>変状土塊の基底の形状はほぼ円弧</li> </ul>	（液状化の可能性有） 33, 38, 39, 41, 43  （その他） 35, 42, 47, 54
C		<ul style="list-style-type: none"> <li>丘陵切盛土型</li> <li>丘陵地の斜面を切盛した地域に発生（標高 100 m 以上）</li> <li>盛土の斜面が変形</li> <li>盛土の下部は崖錐または岩盤</li> <li>変状土塊の基底の形状は円弧に近い</li> </ul>	11, 12, 14a, 14b, 51

面から浸透した水が表土層を流下する時点で暗渠、サンドマット、透水マット等により集水し、地表水排除工に誘導して排除する。一方、既設の宅地盛土のり面では、水平排水ボーリング工（横ボーリング工）や集水井を設けて、地下水の排除を行う。地下水排除工は、このような地すべりの安定性向上とともに、液状化防止の効果も期待できることから、地下水排除工は地震時における宅地盛土のり面の安定性向上において有効であるといえる。しかし、地下水位は降雨などによって変化することから、不確定要因が多く、抑止工のように設計において定量的にその安定性を評価することは難しい。一方、排土工や押え盛土工については、既設宅地盛土のり面では地表面がすでに住宅地等として利用されていることが多く、これらの工法の適用は難しい。

抑止工は、人工の構造物等によって宅地盛土のり面の崩壊を抑止する対策工法であり、擁壁工、地山補強土工、グラウンドアンカー工、杭工、シャフト工がある。グラウンドアンカー工や杭工はこれまで宅地造成等規制法（以下「宅造法」と呼ぶ）の適用区域での使用が困難であ

		造成宅地斜面の変状形態				
		造成のり面の変状		(3-1) 地すべり	(3-2) 急傾斜地	
		(1)慣性力	(2)地盤流動			
造成宅地斜面の安定対策工	抑制工	地表水排除工	△	—	○	△
		地下水排除工	△	○	○	△
		地下水遮断工	△	○	○	△
		排土工	○	—	○	○
		押え盛土工	○	△	○	○
	抑止工	擁壁工	○	▲	△	○
		補強土工	○	▲	△	○
		グラウンドアンカー工	○	○	○	○
		杭工	○	○	○	△
		シャフト工	○	○	○	—
	のり面保護工	植生工	△	▲	▲	△
		構造物による保護工	△	▲	▲	○
	液状化対策	密度増大工(振動締め等)	○	○	△	—
		密度増大工(石灰圧入等)	○	○	○	—
		固結工	○	○	○	△
		地下水位低下工	△	○	○	△
間隙水圧消散工		—	○	○	—	
せん断変形抑制工		○	○	○	○	

○：効果あり，△：効果ややあり，▲：効果ほとんどなし，—：効果が不明

図2 安定対策工の種類<sup>2)</sup>

ったが、宅造法の一部改正（平成18年9月30日）に伴って、宅造法の適用区域においても使用できることとなった。

液状化に伴う地盤の耐震補強および流動対策としては下記の考え方があり、完全に液状化を防止しなくても構造物に影響がなければよいという考え方もある<sup>3)</sup>。

- ① 考え方1：液状化を発生させないようにする。
- ② 考え方2：液状化が発生しても大きな流動を生じないようにする。
- ③ 考え方3：流動が発生しても構造物の機能が保たれるようにする。

具体的に既設の宅地盛土のり面に適用できると考えられる液状化対策としては、密度増大工法、固結工法、地下水位低下工法、間隙水圧消散工法、せん断変形抑制工法がある。既設宅地盛土のり面の液状化に伴う地盤の流動対策は、これらの液状化対策と先に述べた抑制工や抑止工と組み合わせ、上記の①～③の考え方に基づいて採用することになる。

### 3. 耐震補強の事例

#### 3.1 局所的で小規模な変状形態に対する耐震補強

比較的小規模な変状については、のり面保護工や地山補強土工による耐震補強対策を採用することが多い。盛土のり面が安定勾配以下で施工されており、十分な締固めがなされている場合には、基本的に地震で崩壊することはほとんどないと考えられるが、のり面の侵食防止を兼ねてのり面保護工を設置するのが有効である。

一方、安定勾配より急勾配で施工された盛土のり面や擁壁（石積み）の耐震補強対策としては地山補強土工がよく用いられる。地山補強土工には、ネイリング工法、ダウリング工法、マイクロパイル工法がある<sup>4)</sup>。

ネイリング工法は、地山内に鉄筋などの棒状材料を打設してのり面、自然斜面あるいは崖地の安定化を図る対策工法であり、既設盛土のり面や石積みの耐震性向上、道路切土のり面あるいは自然斜面や崖地の安定対策として多く採用されている。兵庫県南部地震では道路等においてネイリング工法の施工されたのり面が多く存在していたが、大きな変状や崩壊を生じたといった事例は報告されておらず、耐震性に優れた対策工法と考えられている<sup>5)</sup>。写真1に石



写真1 ネイリング工法による石積み壁の補強事例

積み擁壁のネイリング工法による補強対策事例を示す。

#### 3.2 大規模な変状形態に対する耐震補強

宅地盛土のり面の大規模な変状には、慣性力に起因するものと、液状化に起因するものがある。したがって、耐震補強に当たってはこれらの変状メカニズムを考慮した対策を講じる必要がある。

##### (1) 慣性力に起因する変状に対する耐震補強

慣性力に起因する変状に対する耐震補強工法としては、グラウンドアンカー工、杭工、シャフト工などがあるが、施工スペースが十分に確保できる場所では排土工や押え盛土工なども有効である。

グラウンドアンカー工は、のり面や自然斜面に鋼線等のワイヤー状の引張材を打設して先端部を基盤層に固定し、緊張力を付加することによってのり面や斜面の安定性向上を図る対策工法であり、地山補強土工に比べて大きな抑止力を必要とする地すべり対策等に採用されることが多い。新潟県中越地震では盛土のり面が多数崩壊した高町団地において、グラウンドアンカーを施工した擁壁がほぼ健全な状態で残存していたことが確認されており（写真2）、また過去の地震においてもグラウンドアンカーを施工した斜面が崩壊したという事例はほとんど報告されていないことから、グラウンドアンカーは耐震補強対策として有効と考えられる。なお、兵庫県南部地震では、震源となった断層に近いのり面に打設されていたグラウンドアンカーにおいて地震後に頭部の損傷が確認されており、グラウンドアンカー工の頭部に皿ばねを設置してグラウンドアンカーの耐震性向上を図る工法が開発されている<sup>6)</sup>。



写真2 グラウンドアンカーの打設された擁壁（高町団地内）

杭工は、地表面から鉛直に木杭、鉄筋コンクリート杭、H鋼杭、鋼管杭等を打設して、杭の曲げ抵抗あるいはせん断抵抗によってすべりの安定性向上を図る対策工法である。杭工は、すべり面を貫いて基盤層（不動層）に固定する。杭の強度が不足する場合には口径や肉厚を大きくするか、あるいは合成杭により杭自体の強度を増加させる。杭工は、地すべりにおける打設位置によってくさび杭、抑え杭、および補強杭に分類される<sup>7)</sup>。また、期待する機能によって曲げ杭とせん断杭があり、打設位置や期待する機能によって設計法が異なる。



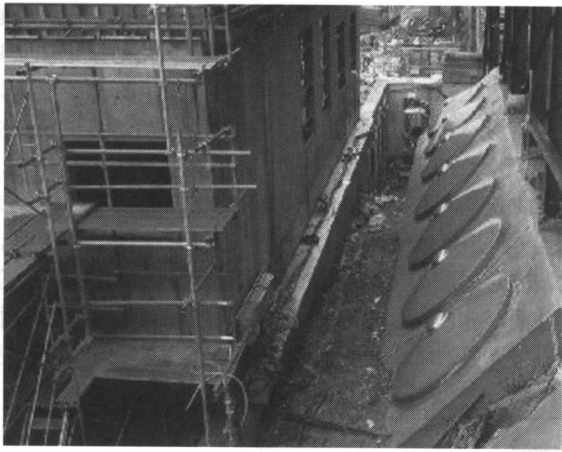


写真3 グラウンドアンカーの施工事例

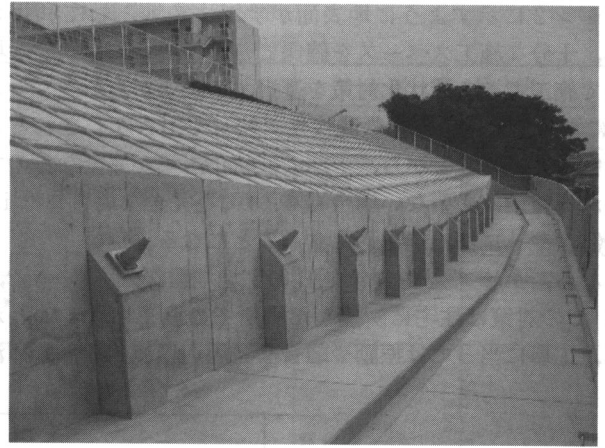


写真4 杭とグラウンドアンカーの施工事例

図3は図2の被害形態タイプCを想定した既設宅地盛土のり面全体の変状に対してグラウンドアンカーと杭工を適用した場合の例を示しており、写真3、写真4はグラウンドアンカーの適用例とグラウンドアンカーと杭工を併用した補強対策の事例を示している。

(2) 液状化に起因する変状に対する耐震補強および流動対策

宅地盛土のり面の液状化に伴う被害形態としては表1のタイプAやタイプBの形態があり、適用できる対策工法は変状形態、地形あるいは地表面の利用状況によって制限される。図4、図5はタイプAおよびタイプBにおける液状化による流動対策の例を示している。

タイプAの被害形態の場合には、液状化対策のみによって対策を講じることは難しく、むしろ抑制工や抑止工を主体とした対策になる。タイプBのように宅地盛土のり面下部の沖積層や崩積土の液状化に伴って既設宅地盛土のり面全体が変状する場合にはゾーン1~3に分けて対策工を考える必要がある。ゾーン1のように盛土下部において十分な施工スペースが確保できる場合には、一般的な液状化対策を採用できる。また、

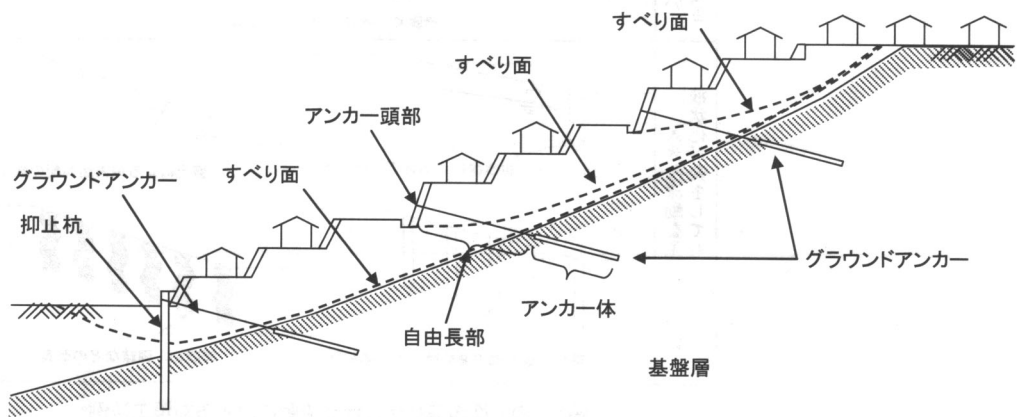


図3 グラウンドアンカーおよび抑止杭設置の模式図 (タイプC)<sup>2)</sup>

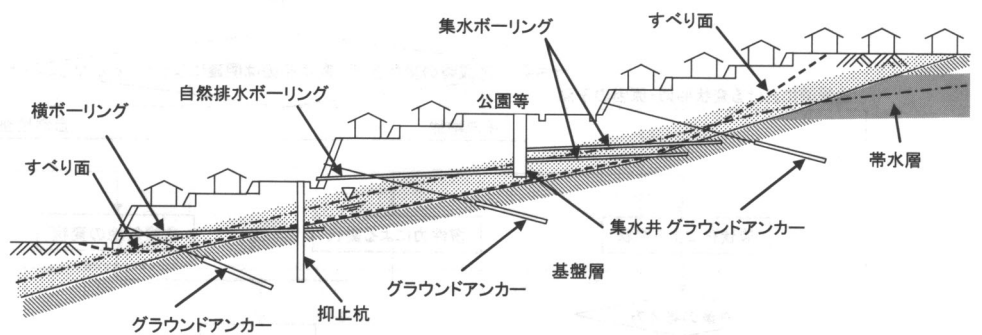


図4 液状化を含めた既設宅地盛土のり面の耐震対策および流動対策 (タイプA)<sup>2)</sup>

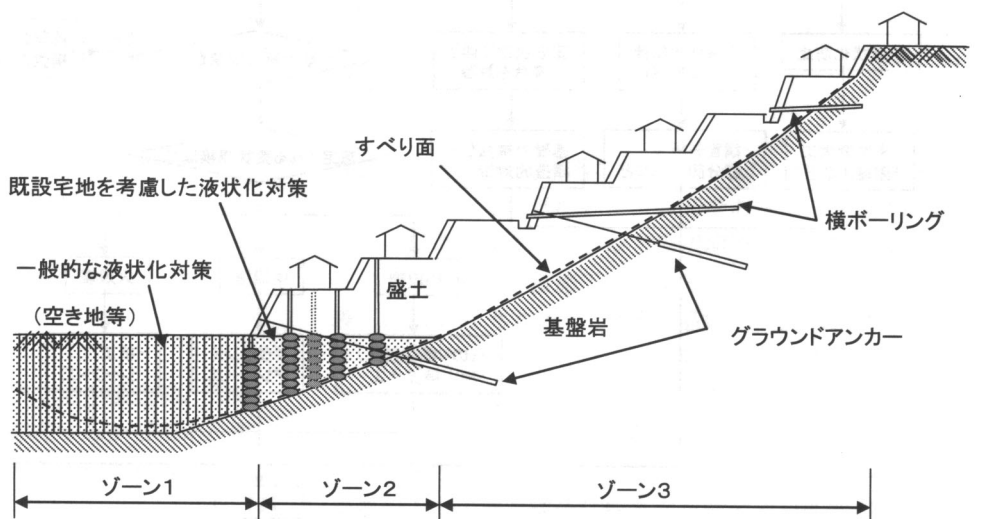


図5 液状化を含めた既設宅地盛土のり面の耐震対策および流動対策 (タイプB)<sup>2)</sup>

ゾーン2に示すように地表面がすでに宅地として利用され、十分な施工スペースを確保できない場合には狭隘な場所で施工できる液状化対策を選択する必要がある。ゾーン3については盛土下部の液状化に伴って引き起こされる変状領域であることから、下部の液状化対策が完全なものであれば対策は必要ない場合もあるが、不完全な場合にはi)抑制工やii)抑止工を適用することになる。

なお、タイプAやタイプBの宅地地盤部分(ゾーン2, 3)での対策は住宅に隣接した場所での施工になることから、工事に当っては振動や騒音など周辺環境への影響に注

意を払う必要がある。施工機械が小さく、低振動・低騒音で既存の住宅地周辺でも施工可能な液状化対策工法としては密度増大工法的一种であるコンパクショングラウチング工法や石灰パイル工法、固化工法的一种であるグラウト工法、地下水位低下工法的一种であるグラベルドレン工法や人工材料を用いたドレン工法などがある<sup>7)</sup>。

図4, 図5では個々ののり面が石積みや擁壁で構築された比較的急勾配の宅地盛土のり面を想定しているが、個々ののり面が非常にゆるい場合には図6に示すような液状化対策も考えられる。なお、地下水位低下工法や間隙水圧消

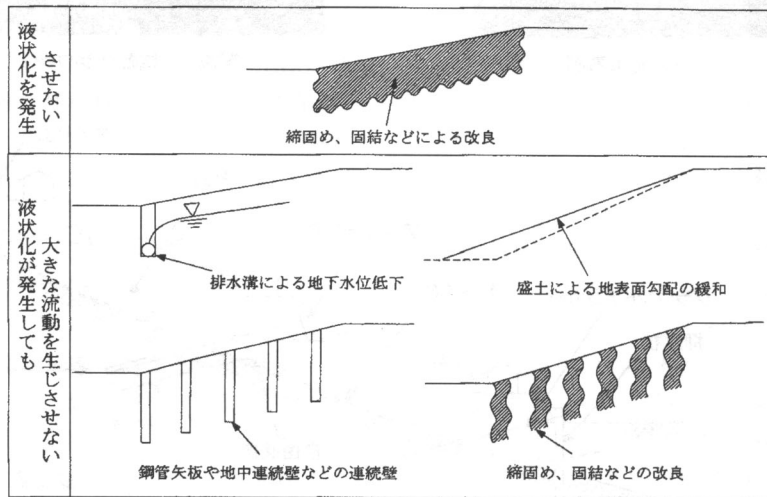


図6 のり面の液状化に伴う流動に対する対策工法例<sup>9)</sup>

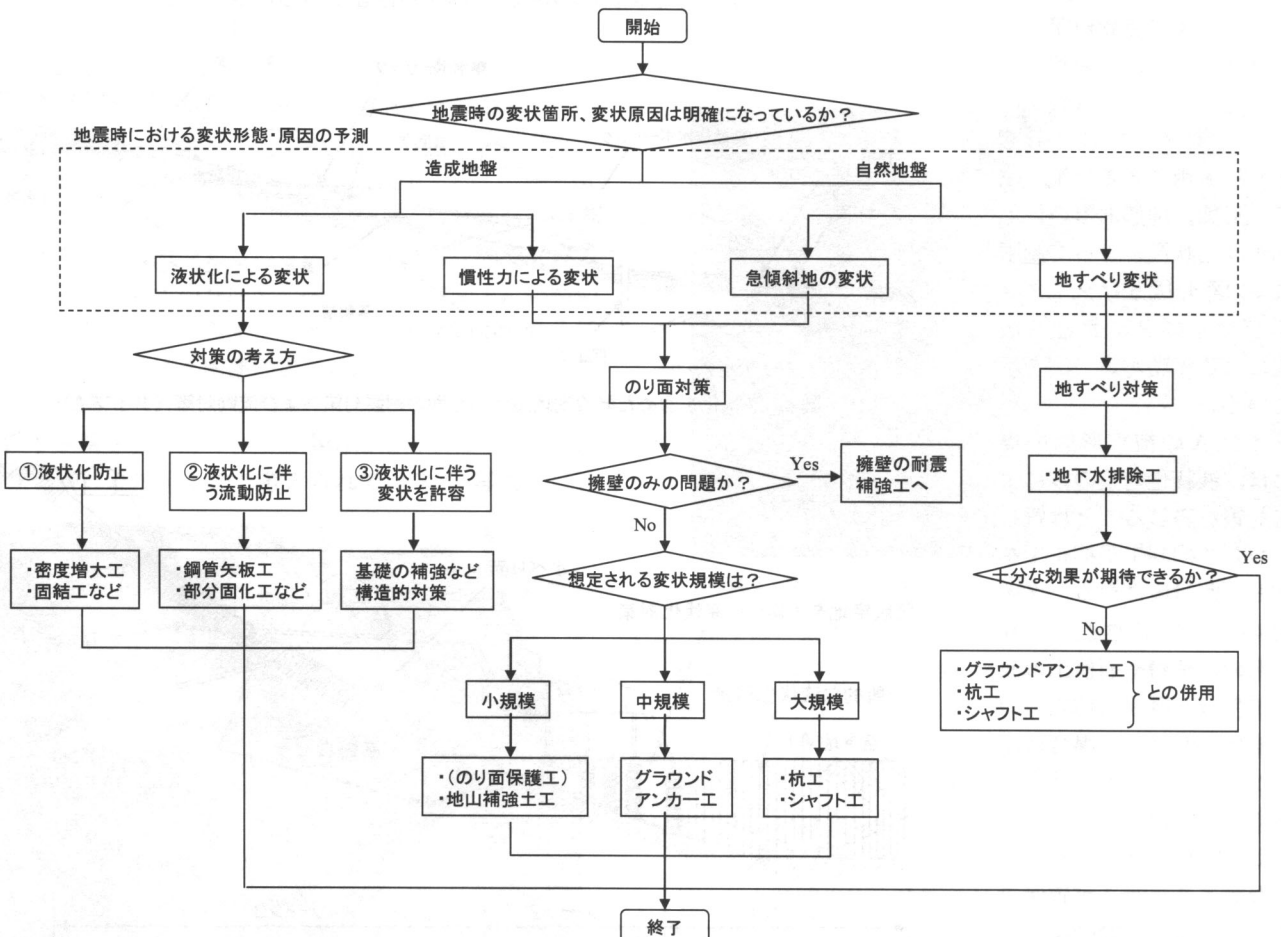


図7 盛土のり面の耐震対策工選定フロー図の例<sup>2)</sup>

散工法の適用に当たっては地下水位の低下に伴って地盤沈下を生じる可能性もあるので、注意が必要である<sup>3)</sup>。

#### 4. 対策工選定時の留意事項

対策工は、地震時に生じると想定される変状形態、変状メカニズム、変状規模を考慮し、目的に応じて複数の工法を取り上げ、最適な工法を選定する必要がある。図7に対策工の大まかな選定フローを示す。一般的に、地すべり対策では、地下水排除工を基本とし、必要抑止力の不足分に対してグラウンドアンカー工や杭工などの抑止工を選定することが多い。

さらに、対策工の選定に当たっては、以下の事項を考慮した比較検討を行って適切な工法を選定する必要がある。

- i) 地盤条件：土層構成、土質、地下水等
- ii) 宅地条件：土地利用等
- iii) 施工条件：施工スペース、周辺地盤の変状、施工工期、機械の搬入、埋設物の有無、電線や電話線等による上空の使用制限、迂回路の確保等
- iv) 環境条件：振動、騒音、地下水汚濁、景観等
- v) 経済条件：工費、維持管理費等
- vi) 関連法規：地すべり等防止法、急傾斜地法、砂防法など
- vii) その他：対策工の効果、経済性、信頼性、施工実績等

条件によっては、1つのみの工法ではなく、複数の工法を組み合わせることでより効果的な対策効果が得られる場合もあることに留意する。

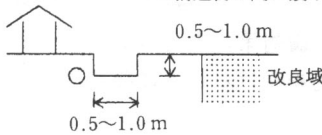
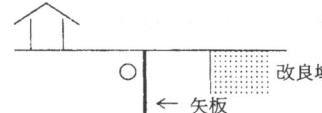

#### 5. 施工時の留意事項

施工に当たってはまず、既設構造物や地中構造物、架線等が施工箇所の近傍や施工範囲内に存在するかどうかを調べるとともに、適用する対策工法の施工手順等を確認し、必要に応じて施工前に対策を講じる。

特に、対策は宅地および道路など供用しながらの施工、

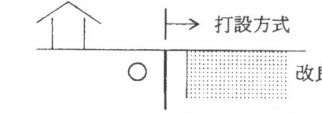
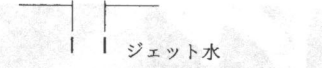
表2 近接施工の対処方法<sup>9)</sup>

(a) 構造物の設置による対策

対 策	概 要	対 策 目 的	
		振 動	変 位
構造物設置による対策	空溝設置 0.5~1.0 mの空溝を改良域と構造物の間に設ける。 	○ 表面波を低減できる。	○ 地表付近の変位を低減できる。
	矢板設置 改良域と構造物の間に自立矢板を打設する。 	○	○
構造物そのものの補強 	補強 改良域	○	○

(注)・空溝の設置の中には、ここに示すよりも深い溝を設ける方法や空隙孔を設ける方法もある。  
・これらの方法を併用したり、(b)に示す方法を併用することもある。

(b) 施工順序、施工方式の変更による対策

対 策	概 要	対 策 目 的	
		振 動	変 位
施工に順序による対策 打設方向考慮 	→ 打設方式 改良域 構造物から遠ざかる方向に打設する。	—	○
施工方式の変更による対策	ジェットの利用 	○	—
	圧入方式の利用 ・油圧などによりケーシングを地盤中に押し込む。	○	—
	排土式の利用 ・打設箇所を施工すると同時に材料投入量に見合う土砂を排出する。	○	○
	先行先掘りの実施 ・打設箇所にあらかじめ先行して孔を設ける。	○	○

(注)・(a)に示す方法と併用することもある。  
・施工方式の変更は一部の工法で可能である。

構造物の近接施工、狭隘な場所での施工となることが多く、工事に当たっては低振動、低騒音であること、地表面変形による影響が少ないことなど周辺環境への影響に注意を払う必要がある。近接施工に対する一般的な対処方法の例を表2に示す<sup>8)</sup>。ちなみに、住宅の品質確保促進等に関する法律(平成17年改正)では、住宅新築請負契約における請負人の注文者に対する瑕疵担保責任を定めており、木造、鉄筋コンクリート住宅および鉄骨鉄筋コンクリート住宅について「床の傾斜6/1000以上の不具合が発生している場合、構造耐力上主要な部分に瑕疵が存在する可能性が高い(床の傾斜3/1000以上、6/1000未満で瑕疵が存在する可能性

が一定程度存在する)」としている。

また、道路盤を使用した対策では上下水道やガス管等が埋設物されていることが多く、電線や電話線等による上空の使用制限を受けることが多い。さらに、道路の使用に当たっては、迂回路を設ける必要があり、できるだけ短期間での施工が求められる。

このように、既設宅地盛土のり面の耐震対策に当たっては適用できる対策工法や施工方法に制約を受けることになる。

#### 参考文献

- 1) 宅地防災研究会：宅地防災マニュアルの解説〔1〕, pp. 81-89, 平成10年5月.

- 2) 地盤工学会関東支部 造成宅地の耐震調査・検討・対策方法に関する検討委員会：造成宅地における耐震調査・検討・対策の手引き—地震から既存の住宅を守るために—, 平成19年2月.
- 3) 地盤工学会：液状化対策工法, 2004. 7.
- 4) 地盤工学会：地山補強土工法シンポジウム発表論文集, pp. 291-294, 1996. 3.
- 5) 佃 長次・山本 彰・福田直三：兵庫県南部地震時の切土補強法面の安定性の評価, 土と基礎, Vol. 44, No. 10, pp. 31-32, 1996. 10.
- 6) 山本 彰・鳥井原誠：グラウンドアンカーの耐震対策に関する研究, 土木学会論文集, No. 736/III-63, pp. 153-166, 2003. 6.
- 7) 日本道路協会：道路土工のり面工・斜面安定工指針, pp. 353-377, 1999. 3.
- 8) 建設省土木研究所：液状化対策工法設計・施工マニュアル(案), 1999.



NETIS登録No. : KT-040081-A

## 盛土耐震化工法

**対策対象**

- 宅地谷埋盛土
- 道路沢埋盛土
- 鉄道谷渡盛土
- 液状化懸念地盤
- 風化岩盤法面
- 不安定崖錐斜面

擁壁      宅地      鉄道・道路      文化財修復

# 有限会社 太田ジオリサーチ

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

2008年1月15日スタート  
**あんしん宅地. JP**

# 宅地地盤・基礎の地震被害事例

おか の たい ぞう  
岡 野 泰 三\*  
さ 藤 かつ 隆\*\*  
まつ した かつ や  
松 下 克 也\*\*\*

## 1. はじめに

近年発生した地震による住宅の被害が発表されるなか、宅地地盤の被害の多さに目を奪われるものがある。外見上の被害は見られないが、宅地の擁壁が崩壊したことにより、大きく傾いた建物被害を見ることがしばしばである。住民の大切な財産である宅地が一瞬のうちに破壊され、建物は大丈夫だが、住むことさえも許されない悲惨な状況になったり、その改修に莫大な費用が必要な状況に追い込まれている状況を目の当たりにし、住宅建設に携わる者として、現状の宅地地盤に対して疑問を抱くことさえある。

平成18年9月20日に施行された宅地造成等規制法等の改正により、危険造成地・宅地の補強を行うこととなったが、効果のほどは今後を期待するばかりである。この状況の中、建築基準法の改正がたびたび行われた。住宅の設計・施工においては、性能表示制度が導入され、「耐震性能」では、今や「耐震等級3」になるように設計される住宅が当然のように作られている。しかし、宅地地盤の耐震化は進まず、宅地の安全性の確保までもが住宅の設計者に求められ、宅地の診断、既存擁壁の補強も、建築確認申請時に対応を迫られる状況にある。

住宅建設に携わる筆者たち、しいては住宅のオーナーにおいて、その地盤への対応の難しさ、調査費用・建設コストの増大も大きな悩みとなりつつある。

安心・安全で、長期に使用可能な住宅を提供することが求められている昨今において、果たして、住宅のオーナー・設計者に、住宅・宅地地盤の安全への対応を強いていることが、本当に『安心・安全な住まい作り』になるか、最近の地震

被害を通して考えてみたい。

## 2. 近年の低層木造住宅の地震被害

住宅の地震被害の集計報告がある。1995年1月16日に発生した『阪神・淡路大震災』では、5000名を超える死者、200,000棟を超える全壊、半壊という未曾有な被害が発生したことは忘れることもできない大事件であった。

この大災害が発生した阪神地区に建てられた住宅の被害集計が、『三井ホーム 阪神・淡路大震災2×4住宅3568棟の記録』で公表されている。その記録(表1)によると、1975

表1 阪神・淡路大震災2×4住宅3568棟の記録：三井ホーム(株)

被害の原因と被害程度	強震による建物構造被害	地盤崩壊、地割による被害	液状化による被害	隣家の倒れ掛りによる被害	その他仕上げ、設備の被害	計
全壊	—	—	—	—	—	—
半壊	—	—	—	—	—	—
一部損壊	2	8	4	7	0	21
軽微被害	0	63	26	21	1,021	1,311
被害なし	—	—	—	—	2,236	2,236
合計	2	71	30	28	3,437	3,568

\* (不同沈下で6/1000を超えたものを『一部損壊』としている。)

表2 新潟県中越・中越沖地震震度5強以上地区での集計

被害の原因と被害程度	強震による建物構造の被害	地盤崩壊、地割による被害	液状化による被害	隣家の倒れ掛りによる被害	その他仕上げ、設備の被害	計
全壊	—	—	—	—	—	—
半壊	—	—	—	—	—	—
一部損壊	0	15	21	0	1	37
軽微被害	0	26	32	0	828	886
被害なし	—	—	—	—	3674	3674
合計	0	41	53	0	4503	4597

\* 表1と同様の集計基準としている。

\* 三井ホーム(株)技術統括本部技術開発グループ チーフマネージャー

\*\* 住友林業(株)筑波研究所住宅グループ 主任研究員

\*\*\* (株)ミサワホーム総合研究所 構造・振動研究室 室長

年以降に建てられた3,568棟の内、強震による一部損壊の被害を受けた建物は2棟であるが、地盤変動、崩壊、液状化により、不同沈下、建物変形による被害は、101棟にも及んでいる。

最近の「新潟県中越地震」「新潟県中越沖地震」の木造住宅メーカーの被害集計結果は、表2のとおりである。

以上から、一部損壊の物件の内、宅地地盤に係る被害が6割～9割に達していることが分かる。反対に、建物構造体の被害は、全体の1割以下の発生状況が分かる。宅地地盤に起因する被害が多いことから、今後の地盤に対する対応が必要となると言える。

### 3. 宅地基礎地盤の地震被害事例

#### (1) 盛土崩壊による建物被害事例

##### 1) 側方流動による地割れ、地盤沈下

擁壁と盛土地盤の崩壊により、宅地地盤が沈下、側方流動が発生した現場(写真1)。建物基礎際で大きく地割れが発生している。基礎には鋼管杭を施工していたため、大きな被害は免れることができたが、住民は長期にわたり住まうことができなかつた。

##### 2) 宅地全体の円弧すべり

斜面地への盛土が地震により、円弧すべりが発生。団地の一区画4宅地が大きな被害を受ける。最大約60cmの沈下が発生。

建物自体の被害はないものの、住民は転居を余儀なくされ、財産を失うことになることに……(写真2)。



写真1



写真2

#### (2) 擁壁変状による建物被害事例

##### 1) 擁壁の倒壊

ブロック土留めの倒壊(写真3)により、建物も沈下、側方移動している。変状は、円弧すべりの状況を呈している(写真4)。移動距離は約60cm、沈下は約40cmしているが、建物自体の被害は外観上まったく見られない。建物と土留めブロック間は安息角以上に離れており、建物はべた基礎で設計されていた。



写真3



写真4



写真5



写真6

### (3) 液状化による建物被害事例

#### 1) 液状化による地割れ

旧河道とその土手に跨った敷地で、河道側で液状化が発生し、宅地を横切る形で大きく地割れが発生し、建物も地割れに沿って破壊・沈下している（写真5, 6）。

地盤調査、基礎設計上の問題があったかもしれないが、この土地が旧河道に半分架かり、地震時に大きく地盤が崩壊することを、この建物の住民は知っていたであろうか。

## 4. 基礎、地盤補強事例

### (1) 鋼管杭による補強

液状化による地盤沈下、側方流動が発生した宅地で、鋼管杭が施工された事例である。20 cm 以上建物は浮き上がりはしたが、建物への被害はない。



写真7



写真8



写真9



写真10



写真11

鋼管杭を必要耐力のある地盤深さまで施工することで、液状化による被害を抑えることができた事例と考える。

### (2) ベタ基礎による補強

山裾の道路に面した宅地（写真9）、地震により盛土部分に地割れ、地盤沈下が発生した。その盛土地盤に一部かかる状態で建設されたベタ基礎の建物は、道路に面する部分の犬走りは大きく破壊された（写真10）が、建物は被害を最小に抑えることができた。

道路を隔てた反対側（盛土地内）の布基礎で作られた倉庫は、大きく沈下、破壊されていた。

### (3) 柱状改良による液状化対策補強

地区全体に液状化が発生した松波地区で、高基礎の家屋は見た目にも大きく不同沈下が発生し、傾いているが、隣の新築の家屋は、柱状改良を4.5 m 施工していたため、不同沈下による傾きを軽減することができた。傾斜角は6/1000未満であり、柱状改良が液状化に対して一定の効果があることが示されたひとつの事例と考える（写真11）。

## 5. 今後の被害軽減対策（案）

### (1) 法律、制度による設計支援としての対策

#### 1) 切盛り土の造成の分かる図面の公開

現状、住宅を建設する前の地盤調査は、スウェーデン式サウンディング試験（以下、SWS 試験）がほとんどの現場で使われ、その結果から基礎設計がなされている。

SWS 試験では情報が不足していることが分かっているが、費用、工期、調査スペース、調査体制等の問題から、他の詳細調査を行うことは少ない。その現状から、住宅の基礎設計者は、土地条件図、ハザードマップ、近隣状況、既存構造物等から情報を収集して対応を行っている。

しかし、宅地地盤の被害の多い造成地において、盛土等の状況を調査することが難しく、造成等の図面を確認することができないのが現状である。

造成を行うためには、構造物の図面はもちろん、切り盛土の範囲を書いた図面を作成し、確認申請を行っているのであるから、土地購入者へ必ず公開、提示、説明することが、住宅基礎の設計の品質向上につながることを考える。

例えば、土地購入者への重要事項の説明に『造成計画平面図』、『切り盛土図』を提示し、土地平面図と同様に保管することが、地盤被害の軽減対策となることを考える。

## 2) 造成時の必要地盤耐力の確保 (宅地の性能表示)

現在の土地の評価額は、土地の利便性、道路付け等の地盤評価に関係のない基準で決められている。しかし、住宅を建てる目的の土地購入者は、基礎工事において、宅地地盤の耐力により、地盤補強工事費がかかることとなる。場合によれば数百万に及ぶこともある。土地選びに際して素人である住民にとっては、リスクが大きく、その結果の負担も大きい。そのため、危険な設計がなされることがあるとも聞き及んでいる。

新築住宅の性能表示、リフォームの性能表示が法的に整備されている現状、宅地の性能評価制度が整備されることが地盤被害をなくす大きな対策であると考えられる。

### (2) 既存擁壁への補強対策事例

#### 1) セメントグラウト注入工法による既存擁壁の補強方法

既存擁壁があり、その支持地盤の支持力が十分でない場合がある。また、建築する住宅の周辺の構造物の安定性に不安がある場合があるが、築造替えができる場合ばかりではない。その場合、既存構造物の基礎下を補強することは難しい。

その時の施工事例として、グラウト注入工法により、擁壁等の基礎底盤下へホーリングマシン(写真12)を使用してセメント等を注入することで補強を行うことがある(図1, 2)。水ガラスとセメントの混合方法により、瞬結で長期耐久性のある地盤改良が行うことができ、擁壁裏へも注入が可能となる。

### (3) 液状化への不同沈下対策例

#### 1) 薬液注入工法による補強

薬液注入により、砂質地盤の粘性を上げることも、液状化対策のひとつと言われている<sup>1),2)</sup>。しかし、注入工法は薬液の逸失、注入範囲が不明確なことが問題となることが多い。そこで、注入範囲を敷地内に限る工法を併用することで液状化対策として有効となると考える。

注入範囲を限定する工法として、建物外周に、鋼管パイプを打設することで、その内部に注入材が留まり、改良効果が上がることが報告されている<sup>3)</sup>(写真13)。

## 6. おわりに (今後の課題)

住宅における多くの地震災害は、宅地造成に起因する被害が多いことが言われている。住宅設計者は、その宅地地盤の状態を調査し、既存擁壁の安全性、液状化対策を住宅の基礎設計で対応することが現在求められている。品質確

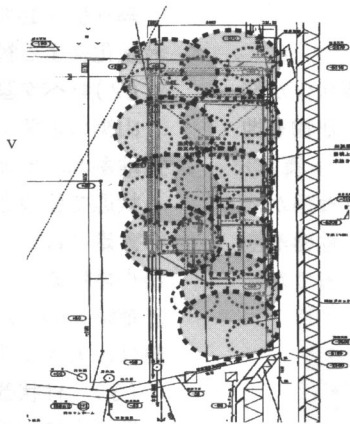


図1

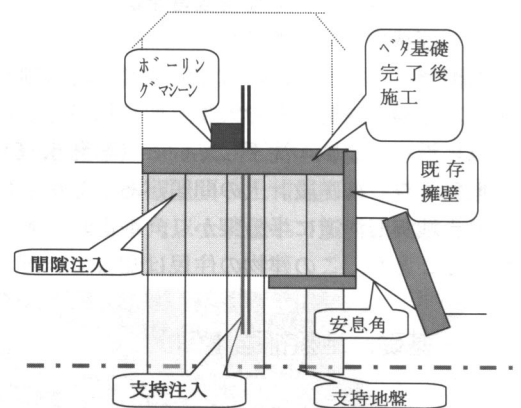


図2



写真12

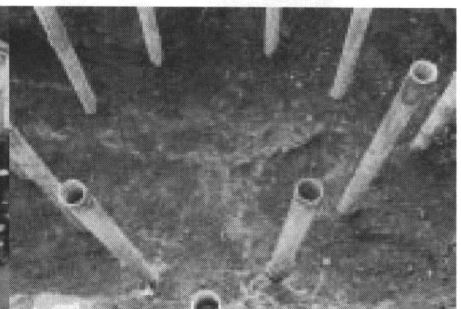


写真13

保促進法、耐震改修促進法等の法律で、建物を新築、建替え、増改築する時に宅地の安全を確保させる政策と思われるが、上記事例からも分かるとおり、建物基礎、地盤補強だけでは防ぐことのできない宅地地盤の被害が多いことが分かっていると考える。宅地造成という行為は、住宅を安全に建築できる地盤であることが求められることが当然と思われるが、その宅地にある工作物が安全でないことがまだあるようである。

今後は、宅地の性能評価が明示され、それに応じた土地価格で取引されることが、土地のオーナーにとって、公平で安全・安心できる住まいを建築できる第一歩であると確信している。その機運が高まることで、既存宅地、建物の建替えにおいても、宅地地盤の必要な補強を行うことができると考える。

また、住宅技術者は、さらに安全で安心できる基礎・地盤補強技術を確立することを推進する必要があると考える。

今後『宅地の耐震化』が確実に、早く法整備され、必要な技術開発がなされることを期待する。

#### 参考文献

- 1) 建設省住宅局建築指導課他監修：小規模建築物等のための液状化マップと対策工法。
- 2) 林 健太：薬液注入工法の調査・設計から施工まで講習会 液状化対策としての薬液注入工法、(財)地盤工学会。
- 3) 平崎・高田・岡野：“注入による小規模建物の修復技術” 日本建築学会大会学術講演概要集、2006。



# 道路盛土の耐震対策

すぎ 杉 佐  
た 田 々  
ひで 秀 哲  
き 樹 也

## 1. はじめに

2004年新潟県中越地震,2007年能登半島地震では特に沢部を横断する道路盛土で大規模な崩壊が生じ,長期間にわたり道路交通機能が失われた<sup>1),2)</sup>。これらの地震における道路の被害の特徴としては,橋梁等の構造物と比較して土工区間の被害が多く,土工区間の被害が道路交通機能の喪失につながったことである。このため,道路交通機能の低下を最小限に抑制するとともに,被災後の機能回復を迅速に行うため,道路盛土についての耐震診断技術および耐震対策技術の開発が求められている。

ここでは,近年の地震で被害が目立った谷埋め盛土を対象に,その耐震診断法・耐震対策工の提案を目的に実施している最近研究事例を紹介するとともに,谷埋め盛土の耐震対策の考え方と今後の課題について紹介する。

## 2. 既往地震による谷埋め盛土の被害の特徴

まず,2004年新潟県中越地震,2007年能登半島地震等の既往の地震による谷部を埋めた盛土の崩壊事例とその原因について紹介する。

### (1) 2004年新潟県中越地震<sup>1)</sup>

2004年新潟県中越地震において,傾斜地盤上の高盛土,谷部を埋めた盛土に多数の被害が生じている。写真1,2に新潟県中越地震における盛土の崩壊事例を示す。写真1は,沢地形に沿って作られた旧道は無被害であったのに対して,線形改良のために谷部を埋めた盛土が断続的に崩壊した事例である。旧道と新道に挟まれた部分は,以前から水田などとして利用されており,常時より地下水が盛土内に供給されていた可能性が高く,このことが盛土の被害を拡大させた原因と考えられる。写真2は,国道117号小千谷市細島の谷部を横断する高さ約15mの片切片盛土が大きく崩壊した事例である。片盛部が延長約60mにわたり車線全部を含む形ですべり崩壊し,崩壊土は隣接する水田を数十m遠方まで覆った(写真3(b))。崩壊土は盛土のり先



写真1 一般県道大沢小国小千谷線の盛土崩壊事例 (新潟県提供)



写真2 国道117号の盛土崩壊事例

の数十m遠方まで達し,斜面からは流水が確認され,また,のり先に隣接する水田には明確な液状化の痕跡が見られていないことから,山側から地下水が盛土内へ供給され,盛土内の含水比が高かったことが被害の原因と考えられている。

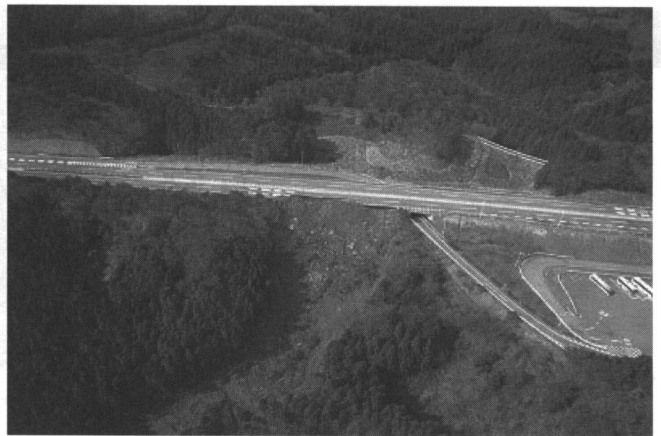
### (2) 2007年能登半島地震<sup>2)</sup>

2007年能登半島地震では,能登有料道路で多くの盛土被害が生じた。このうち11カ所で大規模な崩壊が生じた。写真3に能登有料道路の別所岳SA近傍17.7kpの盛土崩壊の様子を示す。能登半島地震による盛土被害の典型的な事例であり,谷地形を埋めた盛土高約35mの高盛土が崩壊した。崩壊した土は,盛土下方の沢筋に沿って200m程度も流下した。現地踏査の結果,11カ所の大規模崩壊箇所のいずれの箇所においても,沢や湿地,湧水等の水の存在が

\* 独立行政法人土木研究所つくば中央研究所 耐震研究グループ 振動チーム



(a) 崩壊状況



(b) 上空からの斜め写真

写真3 能登有料道路の盛土崩壊事例

確認されており、盛土内の水が大規模な崩壊の要因となった可能性が考えられる。

### (3) まとめ

2004年新潟県中越地震, 2007年能登半島地震により, 大規模な崩壊を示した盛土は, 沢部や谷部を埋めた盛土であり, 盛土高さに比べて崩土の移動距離が大きいことが特徴であった。いずれの事例も崩壊後の状況等から地山からの浸透水等により盛土内の含水比が高かったことが被害を拡大させた要因の一つであることが考えられる。

## 3. 谷埋め盛土の耐震性に関する動的遠心模型実験

既往の地震における谷埋め盛土の被害の特徴を整理すると, 崩壊後の状況等から地山からの浸透水により盛土内の含水比が高かったことが被害を拡大させた要因の一つであることが考えられる。ここでは, 谷埋め盛土の大規模崩壊

に及ぼす盛土の締固め度, 盛土内の水の影響および耐震対策工法の効果を把握するために行った, 動的遠心模型実験の結果を紹介する。

### 3.1 実験概要

谷部ないしは傾斜地山に片盛した道路盛土を想定した, 動的遠心模型実験を行った。地山は石膏で作製し, 盛土背後の地山勾配を  $30^\circ$ , のり先の地山勾配を  $5^\circ$  とし, 盛土背後の地山には段切りを施した。盛土は山砂(江戸崎砂:  $D_{50} = 0.228 \text{ mm}$ ,  $\rho_s = 2.657 \text{ g/cm}^3$ , 締固め試験による  $\rho_{dmax} = 1.604 \text{ g/cm}^3$ ,  $F_c = 6.9\%$ ) を突き固めて, 重力場換算で高さ  $15 \text{ m}$ , のり面勾配  $1:1.8$ , 高さ  $5 \text{ m}$  ごとに小段を設けて地山上に構築した。実験は, 盛土の締固め度, 浸透水位, 対策工をパラメータとして7ケース行っている。各ケースの模型の概要を図1に示す。なお, 図中の数値は全て模型スケールで示している。対策工は, 盛土底面に厚さ  $10 \text{ mm}$  の排水層を敷いたケース, のり尻にふとんかごを設置した

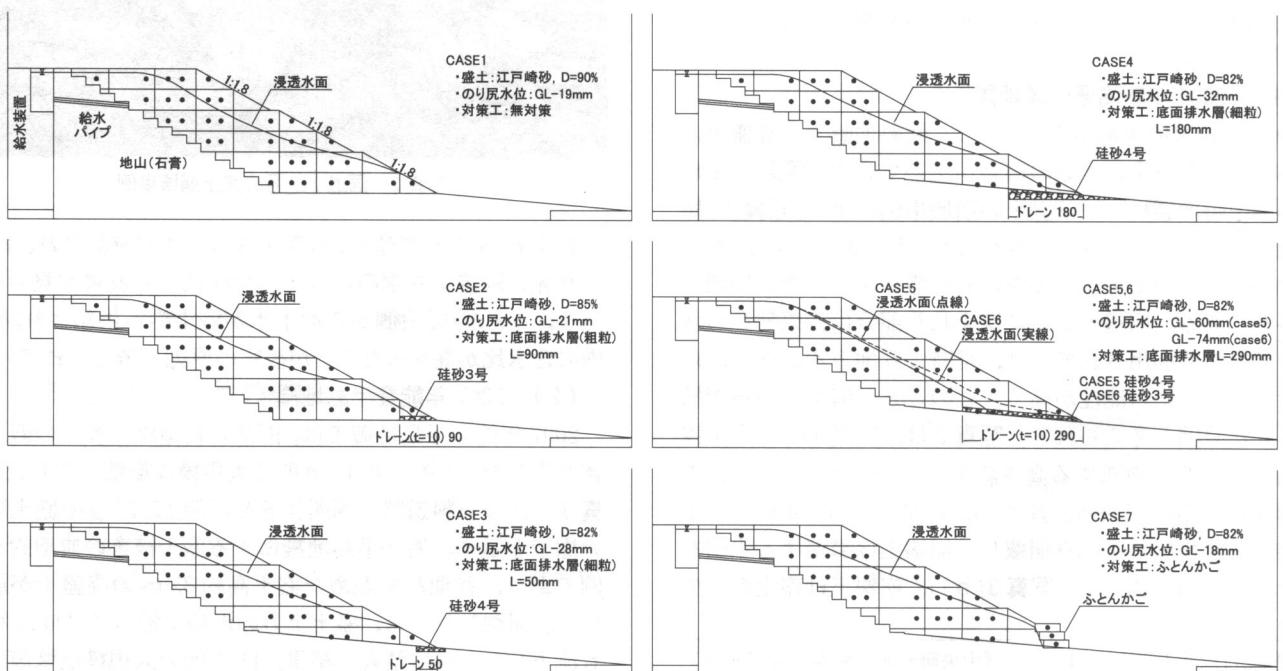


図1 実験ケースの概要

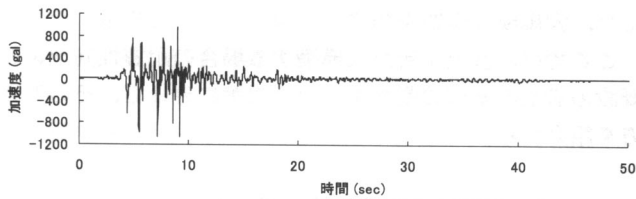
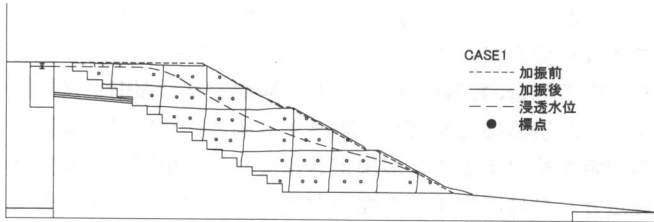
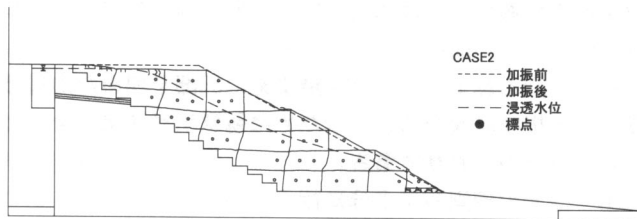


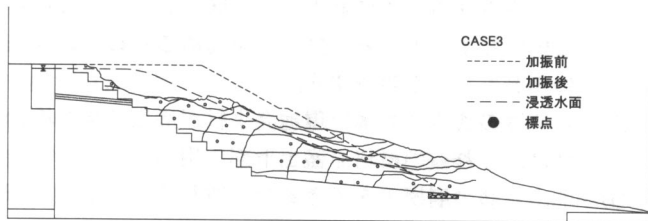
図2 入力地震動



(1) Case 1  $D_c=90\%$



(2) Case 2  $D_c=85\%$



(3) Case 3  $D_c=82\%$

図3 締固め度の違いによる盛土の変形状況の比較

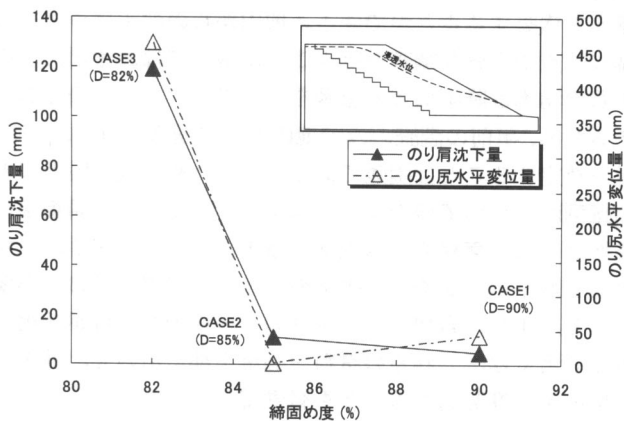


図4 盛土の変形量と締固め度  $D_c$  の関係

ケースである。

地山から浸透水を供給する工夫を施し、遠心加速度 50 G 場で、盛土内に浸透水を形成させた上で、模型を水平方向に加振した。浸透に関する相似則を満足させるため、間隙流体として水の 50 倍の粘性をもつメトロゾ水溶液を用

いている。各ケースの加振前の浸透水面は図 1 に示した。浸透水面が目標水位で概ね定常状態に達した後に加振を行った。加振波形としては、図 2 に示す、道路橋示方書<sup>3)</sup>の I 種地盤におけるレベル 2 タイプ 2 地震動を用いた。

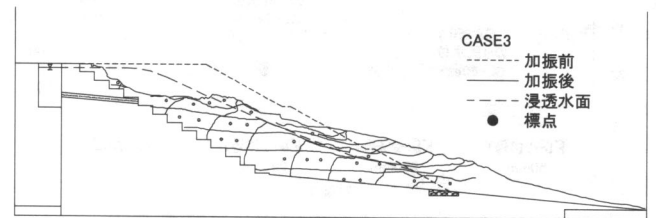
### 3.2 実験結果

#### (1) 締固め度の影響

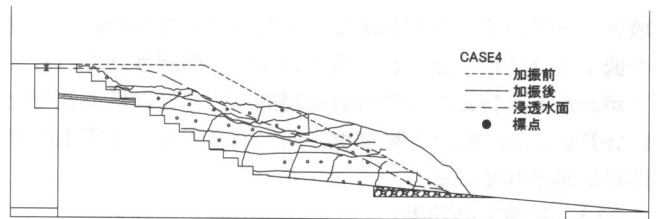
図 3 に、浸透水位が高く締固め度を変化させたケースの加振後の模型の変形状況を示す。また、図 4 は、これらのケース盛土の変形量と締固め度との関係を表している。締固め度 85%、90%では天端沈下量、水平変位量ともに限定的であるが、締固め度 82%では流動的な大規模崩壊が生じていることが分かる。

#### (2) 浸透水位の影響

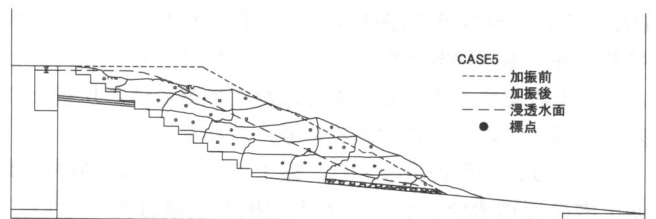
図 5 に締固め度 82%で、のり尻付近の浸透水位を変えたケースの変形状況を示す。また、図 6 にこれらのケースの盛土高 1/3 の位置における盛土内の浸透水の水位  $h_w$  と盛土の変形量との関係を示した。のり尻水位の高い CASE 3



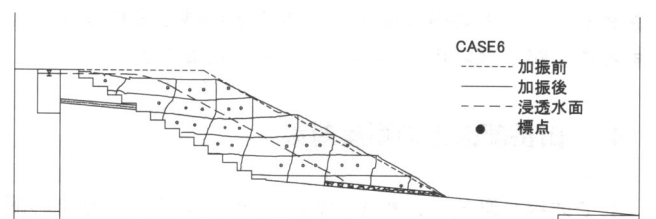
(1) Case 3  $h_w=-1.4$  m



(2) Case 4  $h_w=-1.6$  m



(3) Case 5  $h_w=-3.0$  m



(4) Case 6  $h_w=-3.7$  m

図5 浸透水位の違いによる盛土の変形状況の比較

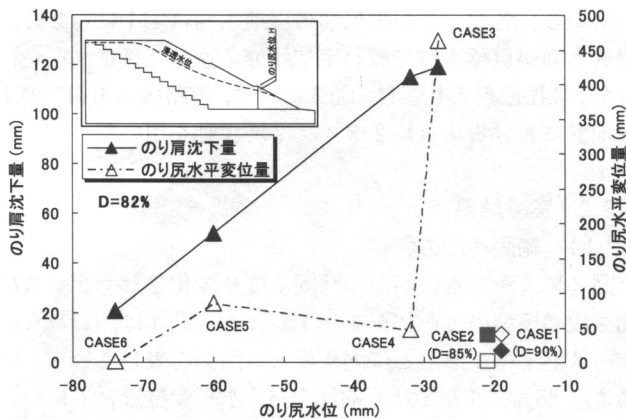


図6 盛土の変形量とのり尻水位  $h_w$  (盛土高 1/3 の位置) の関係

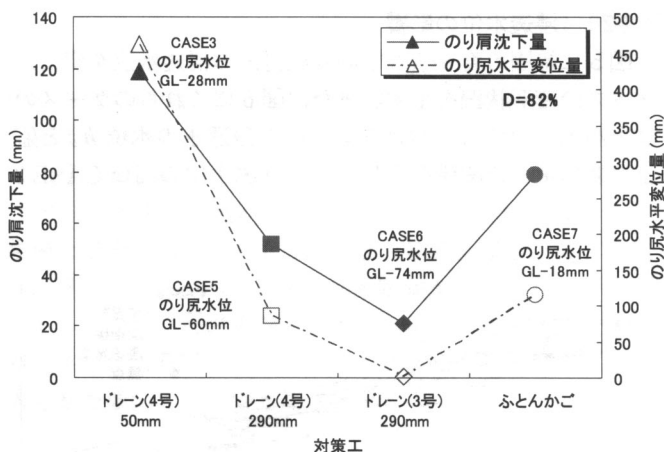


図7 盛土の変形量と対策工の関係

ではり尻の水平変位量が卓越しており、大規模な流動崩壊となっていることがわかる。またり尻付近の浸透水位を低下させていくにつれ、盛土の変形が抑制されていることがわかる。特にり尻付近の浸透水位をほぼ低下させたCASE6では、締固め度85%、90%と同程度まで盛土の変形が抑制されている。

### (3) 対策工の効果

図7に、締固め度82%における対策工と盛土の変形量との関係を示した。ふとんかごをり尻に設置したケースでCASE7は、同程度の浸透水位であるCASE3と比べて水平変位量が1/4程度となっている。これは、り尻にふとんかごを設置することで、ふとんかごの重量により盛土の変形を抑えているためであると考えられる。

以上より、今回の実験では、盛土の締固め度が高ければ盛土内の浸透水位が高くても大規模な崩壊は生じないこと、締固め度が低くても盛土り尻付近の浸透水位を下げること、り先にふとん籠を設置しり先の安定性を向上させることで大規模な崩壊を防ぎ盛土の残留変位を小さくすることができる可能性があることを確認した。

## 4. 山岳部盛土の耐震対策

3.で述べた動的遠心模型実験の結果によると、盛土の耐震性に及ぼす盛土内水位や締固め程度の影響は非常に大きく、盛土を十分に締め固め、盛土内の水位を低下させるこ

とで、大規模な崩壊を防ぐことができることを示した。

ここでは、盛土を新たに構築する場合の耐震性向上策と既設の盛土の耐震診断および耐震対策に分けて、その考え方を紹介する。

### 4.1 盛土新設時の耐震対策の考え方

盛土の設計は「道路土工のり面・斜面安定工指針」<sup>4)</sup>により行われている。道路盛土では、標準のり面勾配が適用できない場合で、① 万一崩壊すると隣接物に重大な損害を与える場合、あるいは、② 万一崩壊すると復旧に長期間を要し、道路機能を著しく阻害する場合について、地震時の安定を検討することが規定されている。地震時の安定計算法としては円弧すべり面を仮定した震度法が参考として示されている。沢部を横断する盛土の大規模な崩壊には盛土内の水の存在が大きく影響しているが、地震時の安定検討を行うにあたっては適切な排水処理、施工管理等が行われていることが前提となっている。

そこで、これまでの知見を踏まえて沢部を埋めた山岳部盛土の大規模崩壊を防止するために留意すべき事項をまとめると以下のとおりである。

- ① 盛土の締固めを十分に行う。
- ② 雨水や地山からの湧水が盛土内へ浸透しないように表面排水工、地下排水溝を配置する。盛土内の水圧を減少させるために盛土に排水層を設ける。これらと併用して、り先の排水性を高めるためにり先にふとんかごを設置する。
- ③ 岩塊等の透水性のよい現地発生材が活用できる場合には、これらの材料を盛土下部に用いる。
- ④ 地山表層の崩積土をできるだけ取り除いた上で段切りを施し、地山とのなじみをよくする。
- ⑤ 補強盛土、補強土壁等の適用も検討する。

安定した盛土を構築するためには、締固めと水の処理が重要である。十分な締固めを行うことで、密実で安定した盛土を構築することができる。地山からの湧水については調査時点で十分な調査を行うことが重要ではあるが、地山からの湧水は降雨による影響を強く受け、また季節変動もあるため、事前の調査のみで地山からの湧水の有無、位置、量を特定することは困難である。このため、施工段階の地山掘削時において地山からの湧水について十分に調査を行うとともに、実務的には沢部の盛土については図8に示すような水平排水層や地下排水溝を十分に設置しておく必要がある。また、岩塊等の透水性のよい現地発生材が活用できる場合には、これらの材料を盛土下部に用いて、盛土り尻の排水性を高めることも有効である。

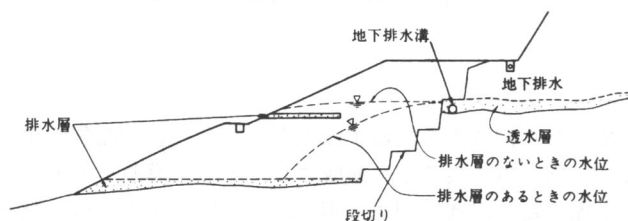


図8 盛土の排水処理の例<sup>4)</sup>

また、安定した盛土を構築するためには基礎地盤の処理が必要である。盛土基礎地盤部にルーズな表土や崩積土が堆積している場合にはこれらを掘削除去する、厚い場合には基礎地盤の改良を行うこともある。また、地山はできるだけ深く掘削し、また盛土とのなじみをよくするために段切りを施す必要がある。現場条件によっては、補強土盛土、補強土壁を利用することにより盛土全体として耐震性を確保することができる。

#### 4.2 既設沢埋め盛土の耐震診断・耐震対策の考え方

既設道路盛土の耐震診断・耐震対策を行う必要がある場合には、沢部を埋めた盛土は要注意箇所となる。多数の既設盛土の中から弱点箇所を抽出する必要があるが、その際には、以下の項目に留意するのがよいと考えられる。

- ① 常時の変状の有無、あるいは補修履歴・既往災害の有無（路面の沈下、亀裂、段差、のり面の亀裂・はらみだし等）
- ② 盛土のり面、のり先からの湧水の有無。盛土背後地の湿潤状況（池や湿地等の有無）。
- ③ 地下排水施設、表面排水施設が健全に機能しているか否か（排水溝の目詰り、亀裂等がないか）

降雨時、地震時にかかわらず過去に変状が発生した箇所では、抜本的な対策が行われていないと再度被災する可能性が高い。常時において路面の沈下・亀裂、のり面のはらみだし、のり面からの湧水など何らかの変状が発生している盛土は、一般に地震で被災する可能性が相対的に高いと考えられる。このため、日常点検においてこれらの箇所を把握するとともに、必要に応じて維持補修をしておくことが重要である。特に、地山からの湧水等があると、地震時のみならず降雨時においても大規模な崩壊につながる可能性があるため、日常の点検においてのり面からの湧水の有無を確認しておくとともに、排水工の維持管理を適切に行っておくことが重要である。なお、既設盛土について地震時に被害を受けやすい弱点箇所を抽出する手法として「平成8年度道路防災総点検（地震）要領」<sup>9)</sup>があるが、その診断精度を向上すべく、2007年能登半島地震、2004年新潟県中越地震などの事例をもとに現在検討を行っているところである。

山岳部盛土の対策としては、一般に各種の土留め対策が有効であると考えられるが、既設盛土への適用性や費用を考慮すると、現実的にとりうる対策としては以下の工法が有力であると考えられる。

- ① ふとんかご等の設置による盛土のり先の安定性確保
- ② 水平排水孔の設置・横ボーリング工等による盛土内水位の低下

写真4は、平成16年の新潟県中越地震で崩壊した盛土の復旧として、のり先に大型ふとんかごを設置してのり先の排水性を高め、盛土が再構築された事例である。

3.で盛土内の盛土底面に排水層を設け地下水位を低下させること、のり先にふとん籠を設置して盛土のり先の安定性を高めることにより、山岳盛土の大規模な崩壊を防ぐこ



写真4 のり先に大型ふとんかごを設置してのり先の排水性を高めた事例

とができることを示したが、今後は既設山岳部盛土に適用可能な排水パイプの設置やのり先ドレーン等の有効性について定量的な検討を行う予定である。

## 5. まとめ

- (1) 2004年新潟県中越地震、2007年能登半島地震等の既往の地震により、大規模な崩壊を示した盛土は、沢部や谷部を埋めた盛土であり、盛土高さに比べて崩土の移動距離が大きいことが特徴であった。いずれの事例も地山からの浸透水等により盛土内の含水比が高かったことが被害を拡大させた要因であることが考えられた。
- (2) 動的遠心模型実験により、盛土の締固め度が低く、盛土のり面の浸透水位が高いほど、大規模な流動性崩壊が生じやすいこと、盛土の締固め度が高ければ盛土内の浸透水位が高くても大規模な崩壊は生じないこと、締固め度が低くても盛土のり面の浸透水位を下げる、あるいはのり先にふとん籠を設置して盛土のり面の安定性を高めることにより、大規模な崩壊を防ぎ盛土の残留変位を小さくすることができる可能性があることを確認した。
- (3) 遠心模型実験等の結果を踏まえ、盛土を新たに構築する場合の耐震性向上策と既設の盛土の耐震診断および耐震対策の考え方を示した。

#### 参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所：平成16年（2004年）新潟県中越地震土木施設災害調査報告、国総研研究報告第27号、土木研究所報告第203号、2006。
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所・独立行政法人建築研究所・独立行政法人港湾空港技術研究所緊急調査団：平成19年能登半島地震の緊急調査速報、土木技術資料、Vol. 49, No. 6, pp. 6-11, 2007。
- 3) (社)日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編、2002。
- 4) (社)日本道路協会（1999）：道路土工のり面・斜面安定工指針。
- 5) (財)道路保全技術センター：平成8年度道路防災総点検（地震）要領、1996。

# 事業継続計画 (BCP)

まる や ひろ あき  
丸谷 浩明\*

日本では、毎年、地震、台風、梅雨前線豪雨などの災害が発生しており、企業の被害も続いている。その中でも特に留意すべき点の一つが、ある企業の生産中断によって、災害被害のない取引先の経済活動にも大きな影響を生じていることである。広域大規模災害が発生した場合、こうした取引関係を介した被害の拡大が強く懸念される。また、このような経済被害の原因は、自然災害だけでなく、火災、広域停電、テロ、公共的なネットワークのシステムダウンなど事件・事故によっても発生する可能性がある。

その対策として政府が導入を推進し、また、企業や公的組織へ広まりつつあるのが、事業継続計画 (BCP: Business Continuity Plan) である。

## 1. 事業継続計画 (BCP) とは

### 1.1 事業継続計画の定義

災害や事件・事故により企業や組織が大きな被害を受けると、平時の業務の中断を余儀なくされる。「事業継続」とは、こうした企業、組織等の活動の中断をなるべく発生させず、かつ、できるだけ早期に回復するための経営マネジメント戦略である。

事業継続の概念を図1に示した。災害、事故等の甚大な

被害を受けた場合、なんら対策を講じない状況では重要業務の操業度がゼロになり、それが徐々に復旧すると考えられる(実線)。しかし、そのような遅い回復の仕方では、顧客の他社への流出、マーケットシェアの低下、供給中断による社会的影響の発生、企業・組織の評価の低下などの懸念がある。そこで、これらの問題が発生しない「復旧時間の許容限界」を把握し、それより前に「復旧の目標」を設定して、図1の左向きの矢印のように許容される時間内に操業度を復旧させる努力をすることが必要である。

また、災害、事故等の直後でも最低限維持すべき「操業レベルの許容限界」を把握し、それを上回る「レベルの目標」を立て、図1の上向きの矢印のように許容限界以上の操業度で重要事業を継続させ努力をすることも必要である。このようにして達成される結果が、点線で示す操業度の復旧曲線となる。

このような改善を達成するためのBCPの主要な対策としては、施設・設備の代替確保や耐震補強などの損害予防策、代替要員の確保・育成、必要な資金の確保などがある。しかし、これらに先立って、指揮命令系統の明確化、本社等の重要拠点の機能確保、迅速な安否確認、対外的な情報発信・情報共有、情報システムのバックアップなどの対策が行われていなければ、そもそも迅速な復旧は行えない点にも十分留意しなければならない。

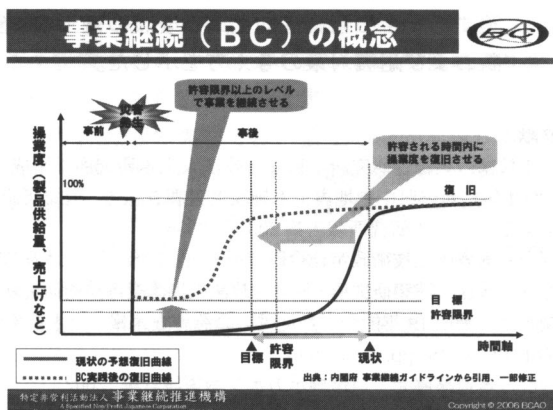
また、これらのBCP対策の費用は、緊急対応体制の整備、同業他社への代替生産の依頼など、必ずしも多額の出費を伴わないものもかなりあるので、対策費用を恐れず検討をすべきである。

### 1.2 BCPの手法のポイント

#### (1) 重要業務と目標復旧時間案の把握

BCPの手法のポイントは、まず、重要業務を選び、その復旧をいつまでに行うべきかの目標(目標復旧時間)を決めることである。

自社にとっての重要業務の選定や目標復旧時間(案)の把握については、対応戦略決定の基礎となる重要事項なので、できるだけ定量的な分析・検討を行うことが推奨される。具体的には、社内各部署へのアンケート調査やヒアリングなどで、網羅的に重要業務の候補を把握するとともに、



(出典：NPO法人事業継続推進機構「標準テキスト第3版」)

図1 事業継続の概念図

\* 京都大学経済研究所 教授 (NPO法人事業継続推進機構 理事長)

その業務の復旧がどのくらい遅れると悪影響がどの程度発生するかも時系列で見積もらせて、それらを整理していく。その際、例えば、利益、売上げに対する影響などは、定量的な影響試算を行って判断をすることが有効である。また、社会的評価などは定性的な分析にならざるを得ないが、影響の重大性に段階をつけ、相互に比較可能にすることが有効である。

ただし、定量的な分析・検討は負担が重いならば、定性的な現状分析や検討を主に用いてもそれなりの効果はある。特に、中小企業の簡易な取組みでは、経験に基づく直感的検討でよいであろう。分析に時間をかけ過ぎて何もしないより、まずは粗い分析・検討で概括し、早期に具体的対策の策定に進む方がよいと思われる。ただし、その場合でも、継続的改善により後から分析・検討の充実を図ることが推奨される。

そして、これらの結果を踏まえ、重要業務の中断による影響が許容できない水準に達する時点の前に、目標復旧時間の案を設定することになる。なお、ここで目標復旧時間の「案」としているのは、実際にその時間までに復旧させるために対策（後述(2)で決める）の費用や実現性をも評価して、最終的な目標復旧時間をどこに置くかを経営判断で決めるからである。

### (2) 重要業務実施のための重要な要素の抽出と対策

次に、(1)で把握した重要業務と目標復旧時間の案を念頭におき、その重要業務の業務プロセスを詳細にたどる。そして、重要業務の実施のために不可欠な重要な要素(人、物、金、情報等の資源など)を抽出するとともに、それらの要素が想定する災害でどのような被害を受けるかを予測する。この作業の意味は、災害等が発生した場合の重要業務の復旧時期について、実際にはどの重要な要素の被害が一番の遅れの原因(すなわちボトルネック)なのかを把握することである。

多くの場合、この作業の前に想定する災害の被害概要を把握しておき、重要業務に関わる各担当部局にそれを提示しながら、重要な要素とその被害予測の詳細な洗い出しを依頼する。重要な要素の種類には、自社内の人、もの、金、情報といった資源はもちろん、取引先から調達する材料、部品やサービスなどもある。さらに、インフラ・ライフライン被害、交通規制等も考慮に入れるが、これらは行政や公益企業側でも分からない情報が多いため、不明の部分は自社で状況をおおまかに仮定すればよく、こだわり過ぎず作業を前に進める方がよい。

このプロセスで、重要業務の復旧の遅れの原因となる重要な要素(ボトルネック資源)が発見されるので、それに対策を打てばその分復旧が早くなる。そこで、ボトルネックを一つ解消すると、今度は別の重要な要素がボトルネックとして現れる。また、その対策を考える……。そして、費用や実現性の面で当面実施が困難といった対策に突き当たると、当面は目標復旧時間をそれ以上早くすることができないこととなる。

### (3) 受忍するリスクと他の対策

このように、復旧を早めるのに必要な重要な要素へ

の対策が、実施困難であれば、その要素が被災した場合のリスクは経営者として受忍するしかない。しかし、実際の災害で必ずしもその重要な要素が被災するとは限らないし、被害の程度は予測より軽微かもしれない。したがって、その対策において、他の対策に取り組むことでもBCPとしては有効である。例えば、停電や断水のリスクの回避には相当コストがかかるので、他の再開準備は進めてはおくが電気・水道は供給再開を待つという意味決定をしても事業継続の対応策になる。受忍するしかないリスクが自社に多く残っていたとしても、何も用意していない場合と格段の差が生じることが、理解いただけると考える。

### 1.3 BCP と従来の防災対策との相違

従来の防災対策は、① 人命の安全確保と物的被害の軽減を目標とし、② 拠点レベルでの対策・対応が中心であり、③ 主に安全関連部門・施設部門の取組みであった。一方、BCPにおいては、従来の防災対策の①は当然維持するが、②の拠点レベルの復旧努力に代えて、経営の観点から重要業務(商品・サービスの供給)を選びそこに集中して継続・早期復旧を図る。また、対策の進め方は上述のとおりなので、重要業務の実施部門が対策の主役に加わる。また、サプライチェーン(供給連鎖)すなわち、取引でつながった主体全体での対策・対応、といった新しい視点をプラスする。さらに、復旧時間や復旧レベルといった指標も重要なものとして認識していく。これらをまとめたのが図2である。BCPは従来の防災対策を無意味なものとするわけではないが、一方で視点・発想に新たなものが明確に加わる。

従来の防災とBCへの取組みの特徴		
	従来の防災	BCへの取組みの特徴
視点	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆人命の安全確保</li> <li>◆物的被害の軽減</li> <li>◆拠点レベルでの対策・対応</li> <li>◆主に安全関連部門・施設部門の取組み</li> </ul>	<p>従来の防災の考え方に加え以下の新しい視点をプラス</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆重要業務(商品・サービスの供給)の継続・早期復旧 &lt;経営の観点&gt;</li> <li>◆サプライチェーンでの対策・対応</li> </ul>
指標	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆死傷者数</li> <li>◆物的損害額</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆復旧時間・復旧レベル</li> <li>◆経営ならびにステークホルダーに及ぼす影響</li> </ul>

(出典：NPO 法人事業継続推進機構「標準テキスト第3版」)

図2 従来の防災とBCPへの取組みの特徴

## 2. BCPのニーズが高まっている理由

近年、BCPの必要性が高まっている理由は、災害、事故等の多発やその懸念の高まりだけではない。以下のような要因もニーズを高めている。

### 2.1 サプライチェーンの複雑化、外注化

新潟中越沖地震でも例が見られたが、代替調達が難しい部材・サービスの調達先が被害を受けると、自社の事業継続に直接影響が出る。そして、このような影響が出る可能

性は近年高まってきている。企業・組織は、業務の合理化等のために、従来自社で行ってきた仕事の一部を専門の会社に外注してきたことから、サプライチェーン(供給連鎖)が複雑になった。また、調達コストの削減のため調達先を絞り込み大量買付けで価格を下げる方策も進められてきた。これらの企業の合理化の努力が、事業継続の観点からは脆弱性を高めている。

しかし、このような企業の合理化努力を止めることを訴えても理解は得られないであろう。したがって、できるだけ代替調達先の確保に努めることとし、コストや技術的条件から代替調達が不可能な場合には、調達先のBCPを十分に確認し、さらに、取引先に被害があった場合の早期復旧支援をBCPに含めることなどを考えるべきであろう。総じて、BCPには取引先と連携して取り組まなければ達成できない部分が多くあり、自社のみでの努力では完結しないことに留意が必要である。

## 2.2 市場や社会における評価の重要性

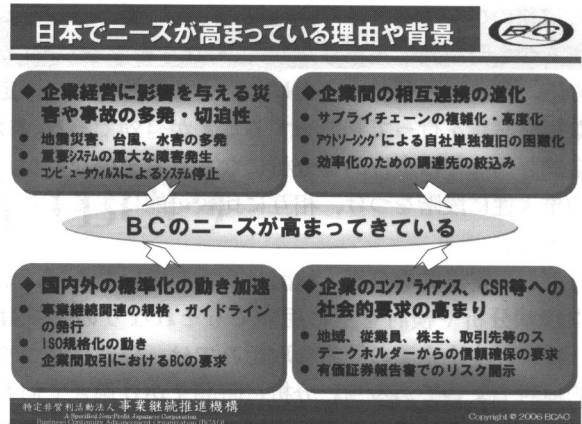
BCPは、企業・組織のCSR(企業の社会的責任)の観点からも重要である。災害、事故等により契約した製品・サービスの供給に支障を来たせば、生産停止が連鎖し、日本全国、さらには海外へも災害の経済被害が波及する供給責任の問題になる。また、災害、事故発生時に必要性の高い支援物資、救出機材その他の物品やサービスやそれに不可欠な材料、部品等の供給が止まれば、災害対応自体に支障が生じることでやはり企業の供給責任が問われるであろう。このような供給責任を考慮して、企業・組織は、BCPに取り組まなくてはならない。

広域災害時における企業の地域貢献や地域連携もCSRの一つとして重要性が認識され始めている。それらの実施には自社の重要事業の継続が基本的前提なのでBCPの策定が必要であり、かつ、自社の復旧対策の実施には地域の救援活動や復旧活動との調和を考慮することが求められるため、それも踏まえた周到なBCPが必要となる。

さらに、最近の制度改正により、企業は直面するリスクの開示に努めるよう求められてきている。災害、事故等のリスクについても例外ではない。ただ、災害等のリスクのみを開示するのでは企業評価へのマイナスが心配されることから、対策としてBCPを持ち、BCMを行っていることと合わせて公表できることが有効な対応策と考えられてきている。

## 2.3 BCPのISO化の動き

BCPに関しても、ISO(国際標準化機構)での規格化の動きが続いている。社会安全(Societal Security)に関するテクニカル・コミッティーで議論が行われており、日本は独自の規格案を上述の政府ガイドラインを踏まえて作成・提案し、規格原案の一つとして認められた。その後、主要6カ国の5つの規格提案をもとに一本化された規格案がまとまった。この規格案は、2007本年中に公表される見通しであり、3年間程度、意見照会が行われる見込みである。なお、日本は、BCPは第三者認証制度になじまないものと主張し、規格案の段階では、各国の意見もそのように



(出典：NPO 法人事業継続推進機構「標準テキスト第3版」)

図3 日本で事業継続のニーズが高まっている理由や背景

まとまった。

このような国際標準規格化の動きに対し、国内の企業・団体の関心が高まってきている。

## 3. BCPの普及策

### 3.1 政府のBCPに関するガイドラインの策定

BCPは米国、英国で先行して普及しているが、わが国でも、前述した大規模地震等の災害の被害の広域的な波及を防ぐ必要性や、情報システムのセキュリティの面の必要性から、ここ数年導入が促進されている。

2005年3月に経済産業省が情報セキュリティの観点から「事業継続計画策定ガイドライン」を発表し、続いて同年8月に内閣府・中央防災会議の企業評価・事業継続WGが「事業継続ガイドライン 第1版」を発表、さらに、2006年2月には中小企業庁が「中小企業BCP策定運用指針」を公表した。また、2007年3月には、内閣府はガイドラインに、必要な解説を加えた「事業継続ガイドライン 第1版解説書」を公表している。これらが日本のBCP策定促進の役割を果たしている。

なお、主に首都直下地震発生時の首都中枢機能の維持の観点から、内閣府は2007年6月に「中央省庁事業継続ガイドライン第1版」を公表した。これを踏まえて、各省庁は2007年度中にBCPを策定することとなっている。また、このガイドラインは、他の行政機関等のBCP策定に際しても参考となるとと思われる。

### 3.2 中小企業への普及の取組み

BCPは、ある企業が単独で策定しても、部品や材料の供給を受ける取引先などが同様に事業継続力を高めないと効果が上がらない。したがって、中小企業におけるBCP策定促進は、地域経済全体の課題である。

中小企業への普及ツールとしては、上述の中小企業庁「中小企業BCP策定運用指針」があり、様式や関連資料が充実している。しかし一方で、マニュアルとしては分量が多く、中小企業に読んでもらえそうにないなどの課題も指摘されている。

そうした中で、筆者は、徳島県からの協力要請を受け、



NPO 法人事業継続推進機構（BCAO）の会員の協力を得て、主に従業員数十人規模の企業を想定してBCPの導入ツールを開発した。段階的な導入方法を採用した「中小企業BCPステップアップ・ガイド」であり、現在、BCAOが著作権を有している。

徳島県の企業防災ガイドラインが2006年4月10日から同県のホームページ上で公開されているが、そこに本ガイドを徳島県に合わせカスタマイズをしたものが掲載されている。また、本ガイドは、他の自治体、経済団体等からの要請があれば、活用を歓迎し連携をしていく方針である。例えば、東京商工会議所において、従業員100人以下の企業へBCPを普及するために「中小企業のBCP策定推進研究会」（座長：首都大学東京 中林一樹教授）が本年5月から設置され、筆者も委員として参加しているが、その検討にも本ガイドが主要材料として使用されている。このほか、筆者をはじめBCAOのメンバーも、各地で紹介を行っている。

#### 4. 事業継続力の維持・向上のために

企業・組織の事業継続力は、単にBCPを策定したからといって継続的に保たれるわけではない。むしろ、事業継続力は放置しておけばすぐに低下してしまうので、維持・向上していく不断努力が必要である。そこで、BCPの策定がひとまず終わっても、BCPの運営・改善体制として、各部署が横断的に参画する体制（兼務でよい）を維持していくとともに、日常の業務に事業継続の維持・向上の観点を加える発想が必要である。

最も基礎的な取組みとしては、緊急連絡網や安否確認のリストに登録した電話番号や携帯メールアドレスを最新の状況に保つこと、取引先担当者が変われば連絡先リストを更新することなどが、日常のルーティン業務として行われることである。また、担当者の異動の際の引継ぎにおいて、BCPで定められた対応が確実に引き継がれるかどうかの確認も重要である。

さらに、新たな業務や生産手段が導入される場合、対応を怠ればいっぺんに事業継続力は低下してしまう。例えば、新たな商品の生産が始まれば、生産に不可欠な要素が新しくまとまって出てくるので、その代替確保等の対応が不可欠となる。また、製造ラインが変更され新しい機械が導入されれば、操作ができる人材は新たに教育を受けた者だけに限られてしまい、前任者が代替できなくなる。そこで、新たな業務や生産手段が導入されるに際して、BCP対策も講じられているかを稟議の審査項目に加えておくことが、事業継続力の維持・向上策として求められるであろう。

企業・組織全体の観点では、このような対応の実践のため、経営者の関与の下、事業継続の目標を業務目標に落とし込むことが必要であり、また、経営方針の変更とBCPの改定を連動させることが求められる。また、社内全体にBCPについて十分な周知を図り、定期的な訓練により定着を図らなければならない。これらにより、相互依存の関係にある各部門間の横断的な取組みにもつながっていく。ま

た、訓練は、BCPの効果・実効性を検証し、要修正事項を見つけ出すという意義も大きいので、積極的に取組みが望まれる。

そして、最低限、年度の区切りにおいて問題点を経営者にまで上げて見直しを行い、経営層が新たなBCP充実への方針を打ち出す。このようにPDCAサイクルの中で、少しずつでも着実に継続的な改善を行うことが必要である。

#### 5. NPO 法人事業継続推進機構と認定資格制度

本稿で使用した図は、BCAOが標準テキストとして示しているものである。BCAOは、2006年1月、災害、事故発生時の事業継続を推進する意志を持つ専門家、有識者等が設立したものであり、筆者もこれに参画し、現在、理事長を務めている。

##### 5.1 BCAOの事業内容

BCAOの活動としては、事業継続の普及・啓発、専門家育成、標準化、表彰、調査研究・情報提供、出版、講演会、企業・団体の取組支援などである。2007年8月末現在、361名の個人会員（学生会員を含む）、75社の法人会員（個人活動枠1社当たり10人または5人）、資格会員134名の参加を得て、各種の分科会活動や関西支部での活動が活発に続いている。概要は、以下のとおりである。

- ① 標準化・教育委員会～標準化分科会、カリキュラム分科会、セミナー分科会
- ② 普及啓発委員会～ニュースレター分科会、アワード分科会、中小企業・地域普及分科会
- ③ 国際委員会～国際関係分科会
- ④ BC基本事項委員会～ビジネスインパクト分科会、情報システム分科会/バックアップオフィス分科会、ファイナンス分科会、自然災害研究分科会、自然災害情報分科会、地域貢献・連携分科会、テロ・事件分科会、新型インフルエンザ分科会
- ⑤ 調査・分析委員会～BC事例調査分科会/文献・統計分科会
- ⑥ 基礎勉強会グループ
- ⑦ 関西支部

##### 5.2 BCAO認定資格制度

BCAOでは、事業継続の専門資格制度を設け、運営していくこととしている。今年春に創設したBCAO認定「事業継続初級管理者」の試験は、これまで東京および大阪でそれぞれ2回実施され、合格者は744名となっている。今回の試験は2007年12月に予定している。さらに、2007年度中に、よりランクの高い資格であるBCAO認定「事業継続主任管理者」試験も立ち上げる予定であり、現在、そのカリキュラムの開発が精力的に行われている。

以上で紹介した活動については、BCAOのホームページ（<http://www.bcao.org/>）でご案内しているのでご覧いただきたい。

# 宅地耐震化推進事業について

いし はら ひろ ゆき\*  
石原 寛之\*

## 1. 宅地耐震化推進事業の創設の背景

平成7年の阪神・淡路大震災において、大規模に谷を埋めた盛土造成地で地すべりの崩落による被害が多発し、平成16年に発生した新潟県中越地震、平成17年の福岡西方沖地震でも同様の被害が発生しました。このような大規模地震が起きた時に崩落の危険性がある大規模盛土造成地は全国に数多く存在すると推測されており、また、切迫性が指摘されている首都直下地震、東海地震および東南海・南海地震等の大規模地震が発生した場合、これらの盛土の崩落により、多数の人的被害や住宅・公共施設等への被害が発生するものと懸念されます。一方で、現行の宅地造成等規制法に基づく宅地造成工事規制区域は、国土の3%弱が指定されているにすぎず、こうした危険な造成宅地を十分にカバーしている状況にありません。

このような中、これらの過去の被災事例の分析を行うことにより、こうした崩落等の危険性を評価し、必要な対策を行う上での技術的な知見も明確にされてきました。このことを踏まえ、大規模盛土造成地等の安全確保対策を総合的に講ずることが求められ、国土交通省として、平成17年5月、有識者からなる「総合的な宅地防災対策に関する検討会」を設置し、平成18年1月19日に最終的な取りまとめが行われ、宅地造成等規制法が制定以来初めて抜本的に改正されました。この改正を念頭に、平成18年度予算において、既存の造成宅地に係る「宅地ハザードマップ」の整備などのための変動予測調査と、地下水排除等の宅地耐震補強対策のための滑動崩落防止工事について支援を行う「宅地耐震化推進事業」の創設が認められました。以下では、その概要について解説していきます。

## 2. 宅地耐震化推進事業の概要

宅地耐震化推進事業は、大規模地震が発生した場合に大きな被害が生ずるおそれのある大規模盛土造成地の被害を防止するため、変動予測調査（宅地ハザードマップ作成）を行い、大規模盛土造成地の危険性等について住民への情報提供等を図るとともに、滑動崩落防止工事を行い、宅地



阪神・淡路大震災



新潟県中越地震

写真1 阪神・淡路大震災および新潟県中越地震における被害状況



写真2 谷埋め盛土のすべりによる被害のおそれ

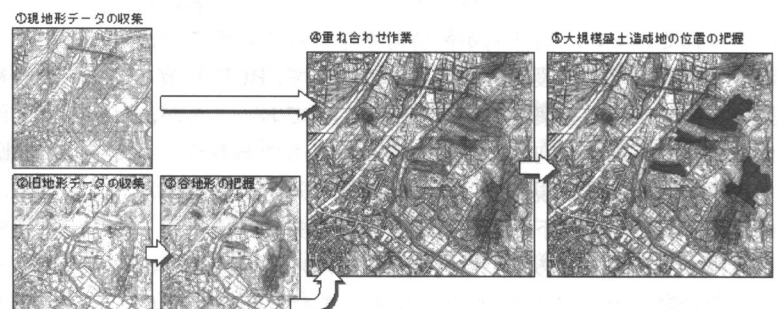
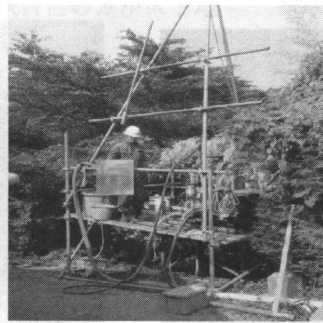


図1 宅地ハザードマップ作成イメージ

\* 国土交通省 都市・地域整備局都市計画課開発企画調査室 係長

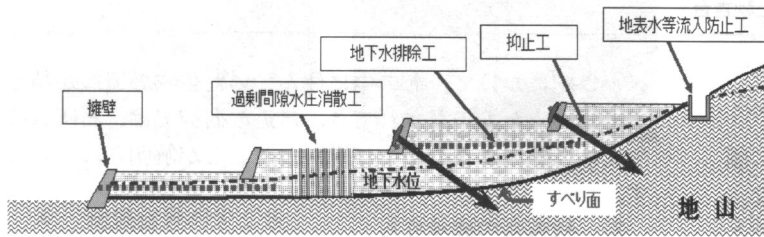


表面波探査：盛土の厚さを測定

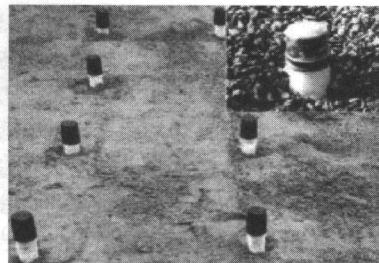


調査ボーリング実施風景

写真3 変動予測調査の一例



地下水排除工の例



過剰間隙水圧消散工の例

図2 大規模盛土の滑動崩落防止工事イメージ

の耐震化を推進することで、国民の生命、財産の保護を図ることを目的として実施する事業です。以下に事業の詳細について解説します。

○大規模盛土造成地の変動予測（宅地ハザードマップ作成）

大規模地震時に変動、崩落する危険性のある大規模盛土造成地は、外見上危険性が必ずしも明らかではない場合もあるため、変動予測調査を実施し、対策を要する緊急度の高い危険な大規模盛土造成地を特定します。また、その結果を住民に情報提供することにより、当該盛土上の住民の防災意識を啓発したり、滑動崩落防止工事などの住民等による自主的な地震対策等の実施を促します。変動予測調査は地方公共団体が実施し、調査に要する費用の一部を当該地方公共団体に国が補助します。

事業主体：地方公共団体  
 補助率：国 1/3  
 補助対象：大規模盛土造成地の変動予測に関する調査に要する費用

○大規模盛土造成地滑動崩落防止事業（滑動崩落防止工事）

変動予測調査の結果等をうけて、大規模地震時に滑動崩落の危険性が特に高い、一定の要件（相当数の居住者、公共施設等へ被害をもたらすおそれ等）を満たす危険な大規模盛土造成地について、地震の前に行われる滑動崩落防止工事を推進することにより、宅地の耐震化を進めます。

具体的な事業実施の要件としては、宅地造成等規制法により造成宅地防災区域として指定された区域または宅地造成工事規制区域内において勧告がなされた区域であって、盛土部分の面積が3,000 m<sup>2</sup>以上、被害想定家屋が10戸以上、道路（高速自動車国道、一般国道、都道府県道）、河川、鉄道の公共施設もしくは地域防災計画に記載されている避難地または避難路に被害が発生するおそれのある場合が該当します。事業は盛土上の住民や地方公共団体等が実施し、地方公共団体が実施費用の一部を助成する場合等に当該地方公共団体に国が補助します。

事業主体：地方公共団体及び宅地所有者等  
 （宅地所有者等へは地方公共団体からの間接補助）  
 補助率：国 1/4  
 補助対象：大規模盛土造成地の滑動崩落防止工事に要する設計費及び工事費

3. おわりに

新潟県中越地震等の大規模地震において、住宅ごと大規模盛土造成地が崩壊するなどの被害が発生したことに伴い、宅地造成等規制法を制定以来初めて抜本的に改正しました。また、これにあわせて大規模地震の際に崩壊する危険性の高い大規模盛土造成地の耐震性の確保を図るため「宅地耐震化推進事業」を創設し、推進しているところです。

このような中、先般の新潟県中越沖地震の発生により大規模盛土造成地の安全性に対する住民の不安がさらに高まっています。今後もより一層の事業の推進を図っていくことが必要です。

# 各地の博物館巡り

自然が三億年かけて  
 つくりだした天然記念物  
 特別天然記念物  
 「秋吉台」「秋芳洞」

## 「秋吉台 科学博物館」



写真1 展望台上空から見た秋吉台



写真2 博物館正面

### はじめに

特別天然記念物「秋吉台」「秋芳洞」は、特に学術的に価値の高い自然です。明治・大正の頃から昭和・平成になっても、幾多の科学者による研究により、豊富な化石産地として、日本型カルストの模式地として、日本最多の洞窟群域として、好石灰岩植物や洞窟性動物の宝庫として、さらにカルスト地域の自然を利用して生きてきた人類の歴史と言った各側面から、秋吉台の学術的重要性は益々深く認識されるようになってきました。

昭和31年に米軍による空爆演習地の話が持ち上がりましたが、もちろん大反対運動により中止となりました。これを一つの契機として、この秋吉台の学術的重要性を広く世間の人々に認識していただくための社会教育機関として、また学術研究および内外研究者への足場とすることによって学会への貢献を目的とした研究機関として、さらに特別天然記念物秋吉台・秋芳洞の保全を行うための機関として、昭和34年10月1日秋吉台科学博物館は開館しました。

以来48年、日本を覆う社会・経済情勢の激変の中で、秋吉台科学博物館は独創性のある、しかも特色のある自然史博物館へと成長し続けてきました。そして、今日では、全国から秋吉台や秋芳洞を訪れるビジターたちに真の秋吉台の姿を知っていただき、さらに自然を探求したり、保全をしてゆく拠点として開放され、大きな力を発揮しています。

### 秋吉台の誕生から現在まで

#### 1. 石灰岩が語る秋吉台の生い立ち

秋吉台をつくっている岩は、「秋吉石灰岩」と呼ばれています。秋吉台の石灰岩の中には、おびただしい数の化石が見られ、この化石を調べていくと、この石灰岩がいつ、どこで、どのようにしてできたかが分かります。

秋吉台の石灰岩の中には、フズリナ、サンゴ、アンモナイトと言った化石がよく保存されています。そのため、この石灰岩は古生代の石炭紀から

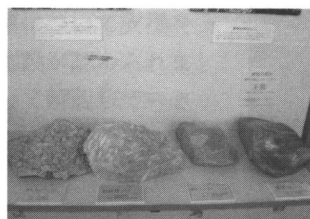


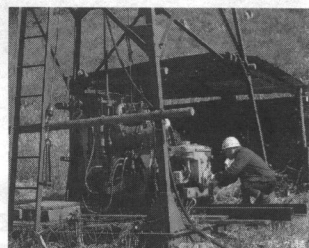
写真3 館内に展示されたフズリナ等の化石類

ペルム紀にかけて、海の中に住んでいた生物の遺骸が積もって固まったものとされてき、最近の研究では、石灰岩の生成は環礁のようなサンゴ礁だったことが解明されています。

#### 2. 秋吉台の成り立ち

1923年、秋吉台を研究した小沢儀明博士は、秋吉台の帰り水地域や江原地域では化石帯の新旧が逆の順序で分布することから、地層が逆転していることを発見しました。それは、ペルム紀の終わりから三畳紀の始めにかけて、この地域に大規模な地殻変動があったためだと考えました。当博物館では、地層の逆転を実証するために、帰り水地域でボーリング調査を行いました。

最近の学説では、秋吉台は、今から3億5千万年前に現在の南太平洋のような暖かい海で生まれ、約1億年かかって環礁へと発達しながら、この地まで移動してきました。そして、大陸プレートの下に潜り込み、



そして一部が付加体として押し上げられ、その時に、サンゴ礁の秋吉台は崩壊し、石灰岩の一部は転倒し、逆転したと考えられています。

写真4 帰り水のボーリング調査



写真5 ボーリング調査結果を示す展示

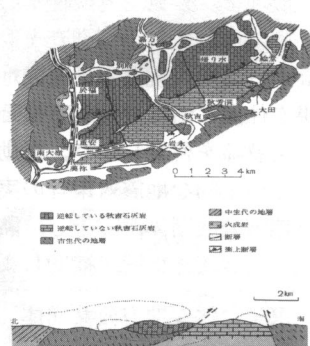


図1 秋吉台の地質図

#### 3. 日本型カルストの本態

石灰岩は雨水に溶けるため、石灰岩地帯にはカルスト地形と呼ばれる独特の地形が発達します。日本は、夏に雨の多いモンスーン気候帯に属する地域で、また割れ目の多い石灰岩であるため、「日本型カルスト」と呼ばれる、特長の

あるカルスト地形が発達しています。秋吉台のカルスト地形は、日本型カルストの典型的なものです。

秋吉台で、まず目をひく地形は、カレンフェルトやドリーネです。ドリーネは、川の働きをする地形で、空から見ると月の表面のクレータに似ています。秋吉台はドリーネの分布密度が高いことが最も大きな特徴になっています。また、帰り水や出来水で見られる構造的溶食谷もその典型です。このように、秋吉台では、まるで箱庭のような美しいカルスト地形が見られます。

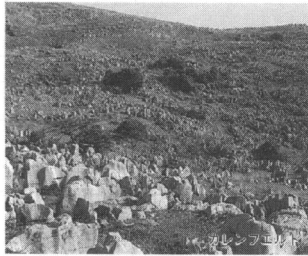


写真6 カレンフェルト

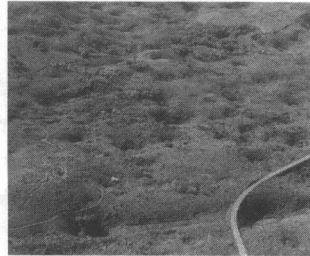


写真7 ドリーネ群

#### 4. 地底世界のすごさ

秋吉台のカルスト地形は、洞窟の発達が顕著な点でも注目されます。秋吉台には、420もの洞窟が知られており、洞窟の数の多いことでも日本一です。

洞窟は、地下を流れる地下水が石灰岩を溶かすことによりできます。そのため、時代とともに地下水位が変化すると、洞窟もそれに伴って立体的に発達します。秋吉台の洞窟のうち、最も規模の大きい洞窟は、「秋芳洞」です。ここは、三十万年もの長い間、秋吉台の地下水の最大の排出口として働いてきました。この洞窟では下刻作用の進行により、次第に天井が高くなり、その高さは30mになり、大規模な洞窟となりました。

洞内を彩る洞窟生成物もみごとです。百枚皿や洞内富士、黄金柱は、秋芳洞ならではの傑作です。

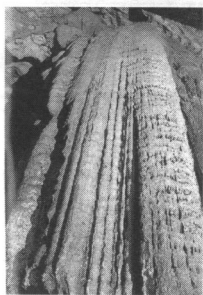


写真8 黄金柱



写真9 百枚皿

#### 5. 秋吉台の生物

石灰岩地を好む植物を生態学的に「好石灰岩植物」と呼んでいます。動物の中には石灰岩地にしか住まないものがありますし、草原にはオオウラギンヒョウモンなどの絶滅しかかった珍しい昆虫なども棲息していますし、陸貝の中にも石灰岩地を好むものが見られます。

洞窟の中には「洞窟性動物」と呼ばれる動物がいます。秋吉台の洞窟には、世界中でこしかいない特産動物が沢山住んでいます。そのほとんどのものは、眼が退化しています。生涯太陽の光を知らない動物たちの生活は、興味に

満ちています。眼で物を見ることをやめた動物達は、触角や耳を使って物を見ることをはじめたからです。

#### 学術的価値高い秋吉台

秋吉台科学博物館の設立の原点は、秋吉台を研究する学徒の足場となり、積極的に秋吉台の学術研究を推進することにあります。

古生物の分野では、秋吉台が古生代の石炭紀からペルム紀にかけての化石がきわめて保存の良い状態で見られることから、この化石の研究はとても重要です。また、洞窟から出てくる新生代更新世から完新世にかけての化石も豊富で、この分野からの期待も大きい所です。

地質学の分野では、秋吉石灰岩の起源やその由来、秋吉造山運動の研究が中心となっています。特に、学術ボーリングを使った秋吉造山運動の証明は、大いに注目されました。

地理学の分野では、秋吉台カルストの発達史や洞窟の世界の解明が進められてきました。特に洞窟の分野では、秋芳洞をはじめとする洞窟群の発達史や鍾乳石などの二次生成物の物理学的解析が注目されてきました。

植物学では、「好石灰岩植物」の正体の究明が行われ、動物学では洞窟性動物や洞窟棲コウモリ類の研究がとりあげられてきました。

また、本館を足場にして、秋吉台の自然を研究した研究者も少なくありません。地質、古生物、地理、洞窟、動植物の分野で九州大学や山口大学など全国の大学、博物館、研究所の研究者が本館を足場にして研究を行い、優れた業績を上げてきました。

最近では、秋吉台の地下水系が地下地形としても、眼のない生物の棲む場所としても、非常に重要なことにより「ラムサール条約湿地」に登録されています。

#### おわりに

秋吉台科学博物館では、秋吉台の重要性を教育普及するために、講演会・映画会・ビデオ鑑賞会等を積極的に行っています。特に、全国から秋吉台を訪れる修学旅行生には、その教育目的を達成するためにつくられた映画、ビデオ等を駆使して、学芸員が化石採取やスライドを用いた解説など、体験的な自然学習を行い、短時間のうちに秋吉台の自然が分かるようになってきました。また、秋吉台の自然を、小学生から成人に至るまで幅広い人々に理解していただくために、さまざまな解説書が刊行されています。

最後に、展示物の撮影を快く承諾していただきました学芸員の皆様にお礼申し上げます。

(宇部興産コンサルタント(株) 森岡 研三)

所在地：山口県美祿郡秋芳町秋吉

入館料：無料

休館日：12月28日～1月1日

HP：<http://www.urban.ne.jp/home/akihaku>

E-Mail：[akihaku@ymg.urban.ne.jp](mailto:akihaku@ymg.urban.ne.jp)

TEL：0837-62-0640 FAX：0837-62-0324

## 日本最北の名水 利尻島

### 1. リ・イシリの鼓動

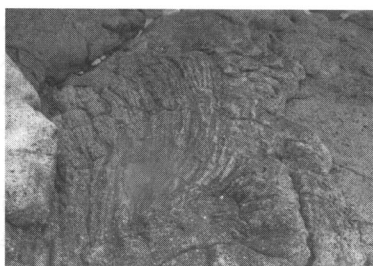
クマゲラの甲高いダミ声に誘われ、森の奥深くまで足を運んだ。北海道本土と違い、山親爺がいないと確信できるだけで、心の余裕も違う。涸れ沢の多いこの島にいて、かすかに水の音がする。せせらぎが近づくにつれ、鼓動は波打ち、ついにその源へと辿り着いた。最北の名水「甘露泉水」のさやけき流れに、味わうことを忘れ、つい聞き入ってしまう。

～リ・イシリ～ここはアイヌの人々が碧海にそびゆる“高い山の島”として仰ぎ見た尊厳の孤島。この山は島に住む人々に数知れぬ恵みを与えてきた。

日本最北の利尻礼文サロベツ国立公園にある利尻島は、半径約8kmの円形の島で、面積約182km<sup>2</sup>、その中心をなす利尻山(利尻富士)は、標高1,721m、日本名山百選にも名を連ね、リシリヒナゲシなど貴重な高山植物の宝庫としても知られる。

### 2. 利尻島の地質

利尻山は、第三紀基盤岩の上に幾たびにもわたる火山活動の噴出物が積み重なってできた「成層火山」で、約9万年前までには現在のような山が形成されていたと考えられている。現在山体は、標高500m以上では著しく浸食され、それよりも下では緩傾斜の溶岩台地または扇状地を示す<sup>2)</sup>。島内でもっともよく見ることのできる溶岩は後期本体溶岩の「杓形溶岩」で、玄武岩からなり、丸みを帯びた細かい穴が多数空いているのが特徴である。特に杓形港付



パ・ホイホイ・ロービー構造

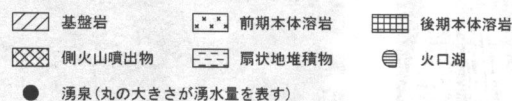
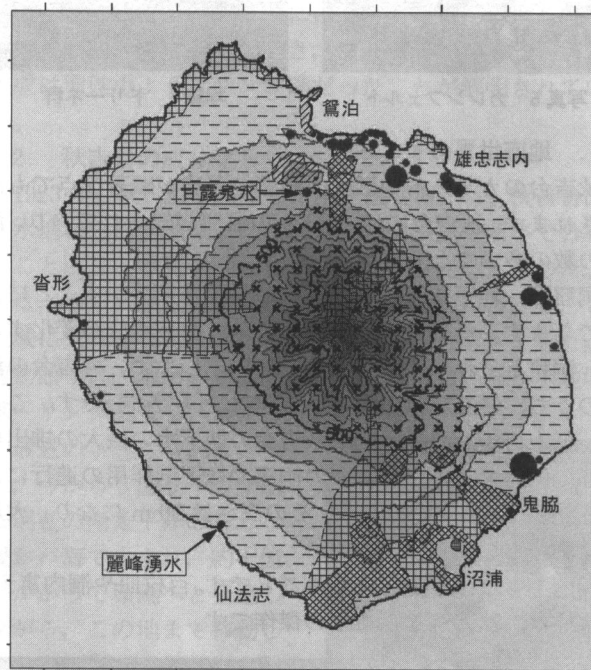


図1 利尻島水理地質略図<sup>2),3)</sup>

近の海岸沿いではさまざまな溶岩形態を見せてくれる。

### 3. 水の恵み

利尻山の山腹に見られる浸食谷は涸沢だが、溶岩流や扇状地の末端部である海岸付近では湧水や河川を見ることができ。つまり、山頂付近にもたらされた雪や雨は一度火山体内部に浸透し、ふたたび山麓の低地に顔を出す。このような湧水や河川は利尻島の東半部に集中し、西半部ではほとんど存在しない。その理由は、第三系基盤岩の高さが東側の方が低いためと考えられている<sup>3)</sup>。

利尻島には日本名山百選に選出された湧水「甘露泉水」がある。この「甘露泉水」は利尻山の鷺泊登山ルート<sup>3)</sup>の三



甘露泉水 (左) と麗峰湧水 (右)

合目付近 (標高 290 m) にあり、誰もが「甘い」と表すことが、この名の由来であるといわれている。水質は pH 6.7、水温 6.1°C、溶存成分合計 100 mg/l と少なく、また海に囲まれていることから若干塩素イオン濃度が高いのが特徴である<sup>4)</sup>。島民に「甘い水」と言われる所以は、案外この塩分にあるのかもしれない。

島を一周すると、この他にも麗峰湧水、姫沼湧水、長寿の泉など、たった 1 時間ばかりの道程に多数の湧水が見つかり、いかにこの島が水に恵まれているかを知ることができる。

一方、利尻島は周囲の海底に地下水が湧き出すことでも知られている。この海底湧水は、古くから漁業従事者によってその存在が確認されている。

湧いているのは冷たい水だけではない。島内には大きく 3 つの温泉があり、ホテルや町営の温泉施設に利用されているため、民宿やキャンプ場に宿泊しても温泉は堪能することができ、コンブ風呂でお肌もつるつるになる。

#### 4. 大地の恵み

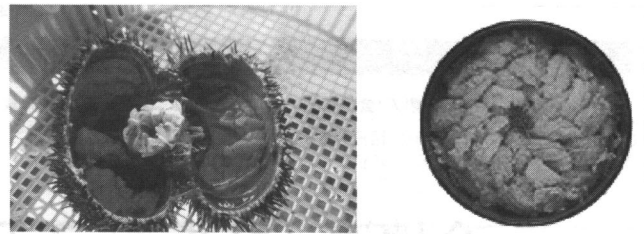
利尻の物産と聞けばまず諸兄が連想されるのが利尻昆布であろう。リシリコンブは、マコンブとは異なる海藻で、「リシリコンブ」という種類の昆布なのである。小ぶりだが味が良く、上品なダシがとれることから、京都の料亭などでもてはやされているブランド昆布である。

利尻島の湧水は、全体の約 60% が地上、残りの 40% は海底湧水であるという試算がある<sup>3)</sup>。とくに真水の混じる地域の利尻昆布は味も絶品と言われている。利尻では、海底にあつてなお大地の恵みにあやかっているわけだ。

利尻昆布は、地元でさまざまな昆布製品として加工され、もはや食品の域を出て美容と健康にも貢献する (とくにお肌と髪) 貴重な資源である。



雄志志内の海底湧水 (左), 利尻昆布最上品 (中), 昆布焼酎 (右)



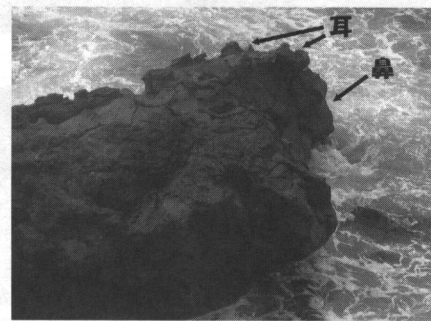
「ガンゼ」と呼ばれるエゾバフンウニ (左) と生ウニ丼 (右)

また、北海道の漁村でガンゼと言えばエゾバフンウニ、ノナがムラサキウニである。ガンゼは、ノナに比べて濃厚で、北海道ならではの味わい。このウニたちは、昆布を主なエサとして育つ。昆布のうまいところで育つウニは当然うまい! というわけで、つまりは海底湧水がもたらす美味なのである。毎年 6~9 月はウニ漁の季節。島を巡る。「ウニ食べてきなさい」と、呼び止められる。タダで写真のようなガンゼをいただく幸運に巡り会えたのも、お山のおかげと涙する。まさに究極の大地の恵みであろう。

#### 5. おわりに

最近利尻では、海藻押し葉の事業が展開されている。通常廃棄物扱いされる雑多な海藻を、アートの世界に変えていく。人気は少しずつ広まっていると聞く。

また、地質断面の見える山頂付近、麓にはハワイを思わせる溶岩の奇態、岩盤から湧き出る地下水、逆さ富士を映し出す火口湖 (マール) など、ジオパークにもできそうな地質現象が随所に見られる。ここに火山の野外展示を作るのも一興と、島にいるただ一頭のヒグマ (寝熊の岩) を眺めながらぼんやりと思いに耽るのであった。



寝熊の岩 (杓形溶岩)

#### 参考文献

- 1) 内田洋平：地質で語る百名山「利尻山」、産業技術総合研究所地質調査総合センターホームページ
- 2) 山口久之助・小原常弘：利尻島の地下水〔I〕、応用地質, vol. 12, No. 2, pp. 33-44, 1971.
- 3) 石塚吉浩：利尻火山、産業技術総合研究所地質調査総合センターホームページ, 2002.
- 4) 島野安雄・永井 茂：日本水紀行(1)総説および北海道の名水、地質ニュース, vol. 455, pp. 22-30, 1992.
- 5) 利尻町ホームページ
- 6) 利尻富士町ホームページ

[文：金 秀俊 (株式会社 ドーコン)]

# 全地連「技術 e-フォーラム 2007」について

第18回技術 e-フォーラムが、9月6日(木)～7日(金)の2日間、札幌市の“札幌コンベンションセンター”で開催された。(行事の具体的な内容は、表1参照)

今回のフォーラムでは、「環境との共生—地質調査業の将来と方向性を考える—」をメインテーマに、地元「北海道地質調査業協会」の全面的な協力と「国土交通省北海道開発局」「北海道」「札幌市」の後援および「日本応用地質学会」「日本情報地質学会」「NPO 地質情報整備・活用機構」「(独)産業技術総合研究所」「(独)土木研究所寒地土木研究所」「北海道立地質研究所」「日本地質学会北海道支部」「(社)地盤工学会北海道支部」「(社)土木学会北海道支部」「(社)日本地すべり学会北海道支部」に協賛いただいた。

初日の特別講演会は、財団法人リバーフロント整備セン

ター理事長の竹村公太郎氏に基調講演として「広重にみる日本近代文明の萌芽—土地と水からの視線—」というテーマでご講演いただいた。また、シンポジウム・フォーラムシアターや一般公開したオープン技術発表会等にも、多数の方が聴講され、2日間の総入場者数は、約630名となった。

技術発表会には、若手技術者を中心に全国から122編(表2参照)の応募があり、活発な質疑が行われた。

なお、今回の優秀技術発表者賞には、各セッションから選抜された20名が受賞された。(表3参照)

平成20年度の技術 e-フォーラムは、四国地区(高知市)で開催する予定である。

表1

## プログラム

### 9月6日(木)

会場1F:特別会議場	
<b>開会式</b>	<b>開会挨拶</b>
10:00~10:05	全地連会長 瀬古 一郎
10:05~10:15	<b>来賓挨拶</b>
	国土交通省北海道開発局長 (予定)
	北海道知事 (予定)
<b>特別講演会</b>	<b>「広重にみる日本近代文明の萌芽—土地と水からの視線—」</b>
10:15~12:00	財団法人リバーフロント整備センター 理事長 竹村 公太郎 氏
会場1F:特別会議場	
<b>シンポジウム※1</b>	<b>北海道地質調査業協会 企画</b>
13:00~16:00	<b>「自然とどうかかわるか—地質調査業の役割—」</b>
	<b>コーディネータ</b>
	辻井 達一 氏(財団法人北海道環境財団 理事長)
	<b>パネリスト</b>
	①岡田 弘 氏(北海道大学名誉教授)
	②石森 秀三 氏(北海道大学 観光学高等研究センター長・教授)
	③中井 和子 氏(中井景観デザイン研究室・代表)
	④予定(北海道開発局)
	⑤竹松 公太郎 氏(財団法人リバーフロント整備センター 理事長)

※1 シンポジウム: 北海道地質調査業協会の独自企画で実施します。  
 ※2 フォーラムシアター: 業界に関連したテーマで行うミニ講演会です。  
 ※3 オープン技術発表会: 従来エリア2(有料)のプログラムだった技術発表会の一部をオープン(来場自由)としました。

### 9月7日(金)

会場2F:小ホール	
<b>フォーラムシアター※2</b>	<b>全地連活動報告(1)</b>
9:30~10:00	<b>「工学地質図のJIS化とその解説書について」</b> 坂森 計則(全地連情報化委員会委員)
10:00~10:30	<b>全地連活動報告(2)</b>
	<b>「地質情報を活用した新規事業への展開について」</b> 中田 文雄(全地連情報化委員会委員長)
10:30~11:00	<b>全地連活動報告(3)</b>
	<b>「地質リスクに関する事例収集活動について」</b> 佐橋 義仁(全地連技術委員会委員)
11:00~12:00	<b>全地連活動報告(4)</b>
	<b>「全地連委員会の活動報告」</b> 成田 賢(技術委員会委員長)/上田 敏雄(積算委員会委員長)
13:00~14:00	<b>特別企画(1)</b>
	<b>「日本風塵街道の源流—シーニックパイウェイ北海道のとくみ—」</b> 和泉 晶裕 氏(北海道開発局)
14:00~15:00	<b>特別企画(2)</b>
	<b>「白滝黒曜石遺跡ジオパーク構想について」</b> 北川 健司 氏(遠軽町 町長)
会場2F:206号室	
<b>オープン技術発表会※3</b>	<b>発表テーマ:「A-3 ハザードマップ」</b>
9:00~14:20	<b>「A-4 ローカルソイル」「A-5 情報化」</b>
	<b>発表編数:18編</b>



表1 (つづき)

同時開催行事のご紹介(フォーラム会場内で開催されます。)

① 応用地質学会北海道支部主催:3学会、2研究所合同シンポジウム(入場自由)  
 メインテーマ:「最新の災害に対する研究 -安全・安心のために-」

日時:9月7日(金) 9:00~15:00  
 会場:2F「207号室」

② 日本情報地質学会 主催:  
 公開講座「GIS利用技術の基礎講座」

日時:9月6日(木) 13:00~17:00  
 会場:2F「202号室」

③ 展示会(入場無料)

第1日目 9月6日(木) 12:00~16:30  
 第2日目 9月7日(金) 9:00~15:00  
 会場:2F「204号室」

出展者一覧

出展者名	展示内容
<b>招待コーナー</b>	
日本情報地質学会	学会活動の紹介
NPO 地質情報整備・活用機構	活動紹介、Web-GISの紹介
遠軽町	白滝黒曜石遺跡ジオパーク構想の紹介
<b>システム関連コーナー</b>	
(有) シンク・フジイ	①標準貫入試験自動記録装置「勘太」 ②無線式マルチロガー「DCのび太」 ③インターネット監視・安全管理システム「のび太安全管理システム」
(株) 測商技研 北陸	①LAN通信システム ②無線通信システム
野外科学(株)	①3Dレーザースキャナ ②ポータブル重金属分析計
応用リソースマネジメント(株)	Web版SS調査報告書作成ソフト
<b>調査・探査機器関連コーナー</b>	
応用地質(株)	①S&DL水位計 ②I-SENSOR ③SIR-3000 ④LLT-S ⑤エラストロガー2
応用計測サービス(株)	①孔内カラーカメラシステム ②孔曲がり測定装置
(株) ジョファイブ	①高分解能音頭検査装置 ②地下水流向流速計
(株) エーディック	①ボーリング孔の曲り計測システム ②光ファイバセンシングシステム ③トンネル技術の総合支援

出展者名	展示内容
<b>調査・探査機器関連コーナー</b>	
ジーエスアイ(株)	①デジタルクリノメータ ②3次元地盤モデリングシステム ③モバイル現地案内システム
(株) ダイヤコンサルタント	浅層タイプPIE20(多深度間隙水圧計)
(株) レアックス	①PVS(建材等の含有アスベスト偏光判定装置) ②BIP-V(ボーリング孔壁画像化装置) ③地下水汚染解析シミュレーションソフト
(株) タナカコンサルタント	①LISA3(高密度・高精度三次元データ計測装置)
東邦地下工機(株)	①小型軽量ボーリングマシン ②土壌・環境汚染調査機器 ③小型信任型水圧ピストンサンブラー
<b>環境関連コーナー</b>	
協同組合地盤環境技術研究センター	組合活動の紹介
(株) 東亜利根ボーリング	①調査機器エコプローブ ②調査ツール
明治コンサルタント(株)	古環境調査 -過去の歴史を調べる-
(株) 四電技術コンサルタント	四国の都市平野の浅層地下水動向(水みち)図
<b>特別展示コーナー</b>	
北海道地質調査業協会	①独自企画展示 ②関連機関展示 ③市民のための地質 何でも相談コーナー
古今書院	書籍販売

表3 優秀技術発表者賞 受賞者一覧

セッション区分	論文No	発表者	所属先	地区
A-3 ハザードマップ	5	酒井 信介	(株)阪神コンサルタンツ	関西
A-4 ローカルソイル	11	三好壮一郎	国際航業(株)	九州
A-5 情報化	17	王寺 秀介	中央開発(株)	関東
B-1 物理探査	23	山上 友也	応用地質(株)	北海道
B-2 地震	26	佐々木 恭	東邦地水(株)	中部
C-1 軟弱地盤	33	長井いづみ	協同組合関西地盤環境研究センター	関西
C-2 室内試験	37	橋本 篤	協同組合関西地盤環境研究センター	関西
C-3 環境(1)	44	石澤 伸彰	応用地質(株)	関西
C-4 環境(2)	47	西田 守一	応用地質(株)	東北
C-5 原位置試験	55	五家 康宏	(株)ダイヤコンサルタント	東北
D-1 ケーススタディ(1)	64	萩原 協仁	基礎地盤コンサルタンツ(株)	中部
D-2 ケーススタディ(2)	66	佐藤 円	応用地質(株)	東北
D-3 掘削・サンプリング技術	73	寺井 康文	大地コンサルタント(株)	北海道
D-4 オペレーターセッション	OP2	紫和 健	応用地質(株)	中部
D-5 トンネル	85	青木龍一郎	応用地質(株)	九州
E-1 地下水(1)	91	藤井 浩詞	(株)アクア ジオテクノ	北海道
E-2 地下水(2)	92	五十嵐慎久	キタイ設計(株)	関西
E-3 メンテナンス	98	岩田 淳	玉野総合コンサルタント(株)	中部
E-4 斜面・地すべり(1)	109	佐藤 洋平	応用地質(株)	四国
E-5 斜面・地すべり(2)	114	松村 法行	(株)ダイヤコンサルタント	関西

表2 全地連「技術e-フォーラム2007」札幌 技術発表内容一覧

◎オープン技術発表会(論文No.1~No.18)

セッション区分	論文No	発表者	所属先	地区	題目
A-3 ハザードマップ 7日 9:00~10:20 2F 206号室	1	田中 洋	(株)東京ソイルリサーチ	関西	地すべりハザードマップ作成に関する研究(その1)
	2	辻 貴博	(株)阪神コンサルタンツ	関西	地すべりハザードマップ作成に関する研究(その2)
	3	谷垣 勝久	(株)タニガキ建工	関西	急傾斜地の崩壊ハザードマップ作成に関する研究(その1)
	4	熊岡康之進	基礎地盤コンサルタンツ(株)	関西	急傾斜地の崩壊ハザードマップ作成に関する研究(その2)
	5	酒井 信介	(株)阪神コンサルタンツ	関西	急傾斜地の崩壊ハザードマップ作成に関する研究(その3)
	6	浅井 功	サンコーコンサルタント(株)	関西	土石流ハザードマップの作成方法に関する研究(その3)
	7	熊谷 恵	協同組合関西地盤環境研究センター	関西	ハザードマップに関する一考察 一避難の現状と課題一
A-4 ローカルソイル 7日 10:35~12:00 2F 206号室	8	工藤 健雄	(株)エイトコンサルタンツ	中国	九州地方北東部の第三紀層の物理・力学特性
	9	久保下隆文	(株)関西地質調査事務所	関西	大阪府東北ニュータウン地区における海成粘土層の腐食性評価
	10	松本 和正	北海道土質コンサルタント(株)	北海道	札幌市の表層地盤の特徴について
A-5 情報化 7日 13:00~14:20 2F 206号室	11	三好社一郎	国際航業(株)	九州	未固結粗粒降下軽石堆積物(御池ぼら)のC <sub>v</sub> φ
	12	太田 史朗	川崎地質(株)	東北	動態観測データに基づく圧密変形解析パラメータの補正事例
	13	藤井 俊逸	(株)藤井基礎設計事務所	中国	インターネット監視による土工工事の安全管理
	14	鈴木 秀洋	野外科学(株)	北海道	3次元計測技術を用いた斜面計測
	15	山邊 晋	川崎地質(株)	関東	3Dキャビティスキャナー“C-ALS”の空洞調査への適用
	16	谷地 武晴	応用地質(株)	北海道	石狩支庁管内地盤資料のGIS化について
	17	王寺 秀介	中央開発(株)	関東	島根県における地盤情報の公開事例
	18	植松 聡	明治コンサルタント(株)	北海道	電力通信インフラのない地域における監視システムの構築

◎エリア2(有料)技術発表会(論文No.19~No.0P5)

セッション区分	論文No	発表者	所属先	地区	題目
B-1 物理探査 6日 13:30~14:50 1F 101・102号室	19	岡田 聡	応用地質(株)	九州	牽引式電気探査と表面波探査の河川堤防調査事例
	20	関 克郎	(株)ジオテック	北海道	オーリス(非破壊探査システム)の概要と適用例
	21	今井 貴士	(株)ダイヤコンサルタント	北海道	急傾斜地における防空壕調査事例
	22	小西 千里	応用地質(株)	関東	牽引式電気探査による河川堤防の非破壊調査
	23	山上 友也	応用地質(株)	北海道	泥炭地盤における表面波探査の実施例
B-2 地震 6日 15:05~16:25 1F 101・102号室	24	江川 秀男	(株)地研コンサルタンツ	関東	標準貫入試験に併用した接地抵抗試験の方法および結果の考察
	25	落合 努	(株)東建ジオテック	関東	能登半島地震の被害調査と常時微動観測
	26	佐々木 恭	東邦地水(株)	中部	人工ドレーン材の間隙水圧消散効果に関する振動台実験
	27	佐藤 明	(株)ダイヤコンサルタント	北海道	地震動予測に用いる浅部地盤構造モデルの作成ー札幌市の事例ー
C-1 軟弱地盤 6日 13:30~14:50 1F 104・105号室	28	田中 均	(株)東京ソイルリサーチ	関東	単点3成分微動測定により求めた長周期微動の性能設計への活用
	29	南部 卓也	中央復建コンサルタンツ(株)	関西	軟弱地盤における開削工事時のリバウンド現象の予測評価事例
	30	小島 一宏	北海道土質コンサルタント(株)	北海道	札幌市北部に分布する軟弱海成粘土の分布と工学的性質
	31	平田 幸靖	(株)宇部建設コンサルタント	中国	軟弱地盤上での高盛土に対する検討
	32	太田 雅之	(株)ダイヤコンサルタント	関東	軟弱地盤上の道路拡幅盛土の安定・沈下対策工法選定事例
	33	長井いづみ	協同組合関西地盤環境研究センター	関西	3次元飽和-不飽和浸透流解析を基礎とした圧密沈下解析手法
	34	小松 洋之	(株)東京ソイルリサーチ	関東	残留沈下量の予測ー厚い軟弱地盤における予測沈下量の算定ー
C-2 室内試験 6日 15:05~16:25 1F 104・105号室	35	太田 佳之	北海道土質コンサルタント(株)	北海道	札幌周辺に分布する泥炭地の地盤沈下
	36	畢 春蕾	北海道土質試験協同組合	北海道	岩石の凍上試験について
	37	橋本 篤	協同組合関西地盤環境研究センター	関西	針貫入試験機による土質試験の定量化と圧密試験への適用
	38	大熊 浩明	(株)開発工営社	北海道	岩盤路床の凍上判定に関する試験結果について
C-3 環境(1) 7日 9:00~10:20 1F 104・105号室	39	松岡 俊秀	(株)エーティック	北海道	脆弱・軟弱部分を含む泥質岩の針貫入勾配値と諸物性値の関係
	40	山本 隆広	応用地質(株)	北海道	自然由来の重金属を含む掘削土の処理事例
	41	額 渉	応用地質(株)	関東	サイドスキャンソナーによるオオクチバスの産卵場調査
	42	重野久美子	(株)ドーコン	北海道	土壌中から検出された重金属の存在形態と土壌特性の検討
	43	松下 純子	(株)宇部建設コンサルタント	中国	民家に近接する施工における振動軽減対策
C-4 環境(2) 7日 10:35~12:00 1F 104・105号室	44	石澤 伸彰	応用地質(株)	関西	猛禽類の生息環境保全に配慮した道路整備事業
	45	笹田 直己	地盤環境エンジニアリング(株)	関東	油汚染調査方法 ー油種により異なる調査方法ー
	46	住友 慶三	応用地質(株)	北海道	地質調査結果に基づく湿原植生の変化に関する一考察
	47	西田 守一	応用地質(株)	東北	三春ダムにおける底生動物の変化
	48	高梨 俊行	川崎地質(株)	関東	トンネル掘削による植生への影響評価について
C-5 原位置試験 7日 13:00~14:20 1F 104・105号室	49	山田 勝也	(株)宇部建設コンサルタント	中国	地域高規格道路建設における環境アセスメントの事例
	50	岡崎 修	明治コンサルタント(株)	北海道	油汚染対策事例
	51	長藤 亮輔	(株)マスダ技建	関東	改良ビットを用いた自動孔内水平載荷試験結果
	52	堀永 昌宏	(株)G&Mリサーチ	関西	粘性土分を含む砂礫層で地下水流動層を正確に把握する方法について
	53	井村 隼	(株)東京ソイルリサーチ	九州	軟岩(古第三紀層)を対象とした地盤の平板載荷試験
	54	森 伸一郎	(株)ジオファイブ	関東	高分解能温度検層装置の開発とその適用例
	55	五家 康宏	(株)ダイヤコンサルタント	東北	有機質土地盤における原位置せん断摩擦試験の適用について
	56	富浦 裕司	(株)レアックス	北海道	泥水に対応できる孔内観察システムの適応例
	57	日向 洋一	(株)エーティック	北海道	ボーリング先端の位置計測システムの開発と適用事例
	58	中田 智広	応用地質(株)	北海道	河川堤防における挿入型Ri土壌水分密度計による飽和度測定

表2 (つづき)

セッション区分	論文No	発表者氏名	所属先	地区	題 目
D-1 ケーススタディ(1) 6日 13:30~14:50 1F 107号室	59	杉野 康博	(株)ダイヤコンサルタント	中部	第三紀の泥岩におけるひずみレベルの異なる変形係数の測定事例
	60	荒木 功平	(株)ダイヤコンサルタント	関東	締固め曲線を用いた水分特性曲線と不飽和・飽和透水係数の導出
	61	新山 雅憲	(株)ダイヤコンサルタント	東北	河床砂礫の粒度特性推定手法の検討事例
	62	大田 裕生	(株)宇部建設コンサルタント	中国	設計業務における地質調査の必要性
	63	遠藤 彰博	中央開発(株)	関西	互層・中間土層の支持地盤としての評価手法
	64	萩原 協仁	基礎地盤コンサルタンツ(株)	中部	不飽和強度を考慮した河川堤防の安定解析に関する検討事例
D-2 ケーススタディ(2) 6日 15:05~16:25 1F 107号室	65	谷本 裕則	川崎地質(株)	北海道	大規模取水施設計画に伴う軟弱地盤解析と対策工法の検討について
	66	佐藤 円	応用地質(株)	東北	不飽和粗粒土の浸水沈下による道路盛土の変状事例
	67	秦 政志	(株)宇部建設コンサルタント	中国	砂防ソイルセメントを用いた設計事例
	68	住 武人	川崎地質(株)	関西	円山川堤防の特徴および堤防強化の基本構造について
	69	岩田 孝信	川崎地質(株)	東北	河川構造物に起因した道路陥没事故の緊急復旧調査事例
	70	渡邊 聡	復建調査設計(株)	中国	水文調査におけるクレーム対処事例
D-3 掘削・サンプリング技術 7日 9:00~10:20 1F 107号室	71	久保 裕一	中部土質試験協同組合	中部	伊勢湾岸地域における動的変形特性について(その2)
	72	杉 俊二	(株)ダイヤコンサルタント	関東	脱酸素剤を用いたボーリングコアの長期保存の事例
	73	寺井 康文	大地コンサルタント(株)	北海道	火山灰質地盤における打ち込み式コアチューブの有効性
	74	沼田 康平	(株)地研コンサルタンツ	関東	簡易ボーリングマシンによるコア採取の事例
	75	山田 茂昭	(株)日さく	関西	SH型貫入試験による斜面性状の把握
	76	河野 智也	(株)日さく	北陸	CPT試験機を用いたサンプリングとその試料の品質について
D-4 オペレーターセッション 7日 10:35~12:00 1F 107号室	OP1	佐々木定夫	合資会社チコウ	北海道	先進ボーリング掘削技術及び安全対策について。
	OP2	紫和 健	応用地質(株)	中部	ボーリング調査に伴う高所作業安全対策改善事例
	OP3	岡岡 博	トキワ地研(株)	北海道	慣れた作業に見えない危険
	OP4	谷内江敬太	北海道土質コンサルタント(株)	北海道	簡易動的コーン貫入試験の適用性について
	OP5	中村知太郎	(株)宇部建設コンサルタント	中国	狭小なスペース内でのボーリング事例
D-5 トンネル 7日 13:00~14:20 1F 107号室	77	越谷 賢	サンコーコンサルタント(株)	関東	トンネル事前調査における地表地質踏査の重要性
	78	本山 晋士	中央復建コンサルタンツ(株)	関西	山岳トンネルにおける物理探査を中心とした地山評価事例
	79	山本 幸源	応用地質(株)	中部	大断面低土被り地山における地表面沈下管理について
	80	高林 茂夫	中央復建コンサルタンツ(株)	関西	トンネルの変位・変状と粘土鉱物との関係について
	81	後藤 和則	(株)ドーコン	北海道	岩盤の押し出しにより変状した施工中トンネルの地圧測定事例
	82	深瀬 雅幸	(株)ダイヤコンサルタント	北海道	三次元浸透流解析に基づくトンネル工法検討
	83	小原 雄一	(株)エーテック	北海道	トンネル計測BIによる情報化施工
	84	多田 浩二	中央開発(株)	関東	道路トンネル施工に伴う地下水影響評価および通水対策工の効果の検討事例
	85	青木龍一郎	応用地質(株)	九州	含水状態の強風化花崗岩(マサ土)地山を対象としたトンネル地山評価事例
E-1 地下水(1) 6日 13:30~14:50 1F 108号室	86	中野 英樹	(株)エイトコンサルタント	関西	堤体盛土における透水係数の一考察
	87	石森 裕康	大成基礎設計(株)	北海道	種々の透水試験から得られる透水係数比較の一例
	88	渡邊 貴之	(株)日さく	北陸	高密度電気探査による地下水水質の推定
	89	唄代 重一	(株)東京ソイルリサーチ	北海道	地下水流路調査の一手法(自然電位法による電気探査)
	90	渡邊 尚史	住鉱コンサルタント(株)	北海道	河川工事の既設井戸への影響について
	91	藤井 浩詞	(株)アクア ジオテクノ	北海道	微流速検層による帯水層別流入量・水頭・水温の推定
E-2 地下水(2) 6日 15:05~16:25 1F 108号室	92	五十嵐慎久	キタイ設計(株)	関西	難透水性地盤地域における地温測定による地下水調査事例
	93	藤谷 寿	(株)開発工営社	北海道	三次元浸透流解析による地下水保全対策工の検討について
	94	最上 哲弥	(株)レアックス	北海道	フロメーターを用いた水みち割れ目の特定
	95	秋山 道生	大地コンサルタント(株)	北海道	降雨による地下水変動の一考察
	96	大角 達夫	応用地質(株)	北海道	絶対圧水位計を用いた地下水位観測の一例
	97	小西 弘将	(株)レアックス	北海道	水質分析からみた扇状地地下水流動系の検討
	98	岩田 淳	玉野総合コンサルタント(株)	中部	シュミットハンマーによる洗礫背面の空洞判定の可能性について
E-3 メンテナンス 7日 9:00~10:20 1F 108号室	99	小泉 和広	(株)ダイヤコンサルタント	関東	地盤内に敷設されたプレストレストコンクリート管の劣化調査について
	100	石川 正基	(株)ダイヤコンサルタント	関東	粉末X線回折分析法によるコンクリート構造物の劣化の評価に関する試み
	101	福田 正人	拓北地下開発(株)	北海道	堤体コンクリートの損傷と劣化度調査の事例
	102	權淵 俊樹	川崎地質(株)	東北	物理探査を用いた石積護岸の健全度評価事例
	103	矢野 倫啓	中央開発(株)	北陸	ダム堤体内の劣化・性状把握調査事例
E-4 斜面・地すべり(1) 7日 10:35~12:00 1F 108号室	104	野田 牧人	国際航業(株)	東北	トンネル坑口付け時に発生した地すべり性崩壊について
	105	宗村 知明	(株)宇部建設コンサルタント	中国	簡易動的コーン貫入試験を用いた急傾斜地崩壊対策工に伴う調査事例
	106	柳川 享史	(株)相愛	四国	新型メンテナンスジャッキを用いたグラウンドアンカーリフトオフ試験について
	107	小野 尚哉	国際航業(株)	関西	不安定岩盤斜面における微地形・亀裂の三次元的な調査解析事例
	108	山田 結城	(株)ドーコン	北海道	集水ボーリング目詰まり状況と水質の関係
E-5 斜面・地すべり(2) 7日 13:00~14:20 1F 108号室	109	佐藤 洋平	応用地質(株)	四国	表層崩壊に伴う二次災害の監視事例
	110	進藤 陽介	(株)ダイヤコンサルタント	東北	松ノ沢地すべりにおける地下水分布と地下水排除工
	111	石本 裕己	(株)宇部建設コンサルタント	中国	風化凝灰質砂岩で発生した地すべり災害復旧調査事例
	112	田中 慎一	(株)ダイヤコンサルタント	東北	斜面対策グラウンドアンカーの挙動事例
	113	新妻 重明	(株)開発工営社	北海道	クライミング技術を用いた急崖斜面調査とその活用法
	114	松村 法行	(株)ダイヤコンサルタント	関西	兵庫県における風倒木に伴う山腹崩壊
	115	佐藤 直	川崎地質(株)	北陸	土石流の警戒基準策定について
	116	川井 武志	明治コンサルタント(株)	北海道	大深度の地すべり調査で実施した動態観測孔構造について
	117	長谷川陽一	国土防災技術(株)	東北	鱒淵沢地すべりの概要と監視体制

# 堆積軟岩における切土勾配決定の難しさと 不連続面のせん断強度

むら おか ひろし  
村 岡 洋\*

## 1. はじめに

私は地質調査業務に携わって13年目をむかえている。ここ10年ほどは主に急傾斜地・道路法面・斜面災害等、斜面関係の調査・解析～設計を担当している。斜面関連業務の解析の難しさは身にしみて感じているが、なかでもいつも悩み、難しいと思うのが軟岩切土法面の解析である。切土法面勾配の多くは指針に示されている標準切土勾配に基づいて決定されているが、その標準勾配で切土された法面の崩壊事例が多い。私自身も周辺の切土法面勾配を調査し、標準切土勾配を考慮して自信を持って提言したつもり勾配で切土した法面が崩壊した経験を持っている。標準勾配に頼る恐さを痛感しているほか、 $20^\circ$ 以下の緩い勾配で崩壊する事例が多いことに驚いている。このことから崩壊面、すなわち不連続面のせん断強度は我々が考えている以上に小さいのではないかと疑問を持つに至り、どうにかしてせん断強度を測定できないかという強い思いを持つようになった。

本報告では崩壊の代表事例を紹介し、こうした崩壊事例が多いことをきっかけとして始めた軟岩のせん断強度に関する研究について紹介する。

## 2. 関わった崩壊事例

切土完成から崩壊までの経過日数や地質、崩壊面の傾斜角、崩壊原因等の違いを考慮し、3つの崩壊事例を紹介する。

**事例1**：切土勾配1:1.0での切土完成から数日後に崩壊が発生し、1:2.0で切直したが再び崩壊した。黒色泥岩からなり、傾斜角 $20^\circ$ の層理面を崩壊面とする(写真1)。

**事例2**：切土勾配1:1.0での切土完成から数日後に崩壊が発生し、さらに数日後、下部の層理面に沿って崩壊した。硬質泥岩からなり、傾斜角 $22^\circ$ の層理面を崩壊面とする(写真2)。

**事例3**：切土勾配1:1.0での切土完成から7~8年経過してから豪雨を誘因として崩壊が発生した。黒色泥岩から

なり、 $14^\circ$ と非常に緩い傾斜の層理面を崩壊面とする(写真3)。



写真1 崩壊状況 (事例1)

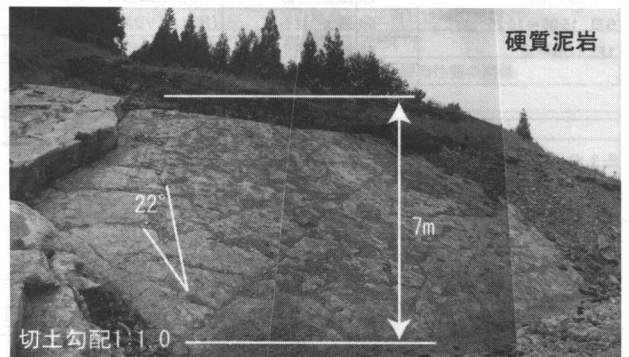


写真2 崩壊状況 (事例2)

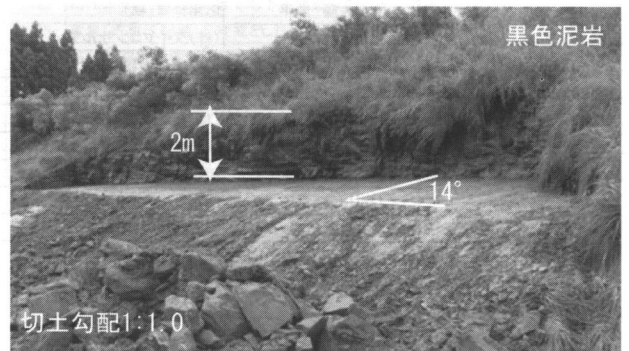


写真3 崩壊状況 (事例3)

\* 奥山ボーリング(株) 調査設計部

### 3. 崩壊事例から学んだことと課題

これまでの崩壊事例から学んだことを整理して以下に示す。

#### ① 標準勾配を安易に適用することは危険である。

例えば、道路土工のり面工・斜面安定工指針では、「割れ目が流れ盤の場合」において標準切土勾配を適用できないと記載されている。しかしながら当時は不連続面のせん断強度も明らかにされていなかったため、切土勾配の決定根拠が見いだせないということで標準勾配が安易に使用されてきた傾向がある。

#### ② 層理面に代表される弱面の存在有無を把握することが重要である。

層理面が崩壊面であることが多い。近くの露頭調査で、不連続面の有無、角度等を把握することが重要である。さらにボーリングコアの割れ目の位置、角度、挟在物の有無等を入念に調べ、崩壊面となる可能性のある割れ目を把握することが重要である。

#### ③ 複数の不連続面で崩壊が発生する場合がある。

層理面が複数層存在し、切土法面に出現する場合は、どの層理面でも崩壊が発生しうる。

#### ④ 10 数度の緩い傾斜の不連続面でも崩壊面となる。

崩壊面となった最も緩い傾斜角は13°である。その他、20°程度の傾斜で発生している事例も多い。不連続面の勾配が緩いというだけで崩壊が発生しないという判断をしてはいけない。

これらから私が最も強く感じたことは、「本来であれば切土勾配は、露頭調査およびボーリングコアの亀裂、粘土化部等の弱面から、発生しうる崩壊面を想定し、不連続面のせん断強度を用いて安定解析等により決定するべきである」ということである。側方の抵抗力、間隙水圧等不確定な要素を含むため、精度的に十分な成果を得ることの難しさは認識しているが、可能な対応はしていく必要があると考えた。当時、不連続面のせん断強度はほとんど明らかになっていなかったこともあり、不連続面のせん断強度を測定することを第一の課題とした。

### 4. 考案した簡易せん断試験方法とせん断強度

せん断強度の測定方法は、原位置で簡易に測定できることを条件として検討した。その結果、垂直荷重とせん断荷重がわかればせん断強度を求めることができることに着目し、試料を採取せず人力で荷重載荷する簡易な方法を考案した。その後、いくつかの課題が見つかり、これらを解決する新たな試験装置を開発した。

#### 4.1 当初考案した人力による原位置せん断試験方法とせん断強度

当初考案したせん断試験方法は、エンジンカッターやのこぎり等を用いて、不連続面上の岩塊をカット・整形し、人力かリング状の鋼製おもり、あるいはその両方で垂直力を載荷し、その力を一定に保ったままの状態ですせん断させるものである（写真4）。

試験時に苦労した点は、不連続面上の土被りが厚い場合、土被り部を人力で切り崩す体力勝負の作業となること、せん断させる上盤試料を変位させないようにカット・整形すること、人力による荷重載荷では私のような重量1kN程度の人間（＝力持ちの人間）が必要となることである。



写真4 せん断試験状況

せん断試験は、50 を超える地点で行った。試験前は、垂直荷重の一定載荷を保持できるか、せん断変位発生時のせん断荷重を正確に読み取れるか等が不安材料であり、データがばらつく可能性があるかと予想していたが、予想よりはるかに相関の良い結果が得られた。砂岩層では $\phi=30\sim40^\circ$ 程度と高い値を示すが、泥岩や凝灰岩などでは $\phi=20\sim30^\circ$ 程度と低く、さらに水でぬれると $\phi$ の低下が顕著である結果が得られている（図1）。

得られたせん断強度の検証は、実際に崩壊が発生した6地点においてせん断試験結果を用いた安定計算によった。水圧および側面抵抗が作用しない条件を想定した計算で、豪雨を誘因として崩壊したため水圧を考慮した計算が必要なA地点を除き、他の5地点の安全率は1.0以下となり、崩壊した状況と一致する結果であった（図2）。せん断試験

せん断抵抗角 不連続面の状態		砂岩				黒色泥岩				硬質泥岩				凝灰岩					
		10	20	30	40(°)	10	20	30	40(°)	10	20	30	40(°)	10	20	30	40(°)		
挟在物 なし	水でぬれて いない状態			●	●			■	■			■	■			×	×	×	×
	水でぬれた 状態			●	●			■	■			■	■			×	×		
挟在物 あり	水でぬれて いない粘土		●	●	●			■	■			■	■						
	水でぬれた 粘土			●				■	■			■	■						
	スラリー状 の粘土							■	■			■	■						
	補鉄筋							■	■			■	■						

図1 地質ごとの不連続面の状態とせん断抵抗角分布図

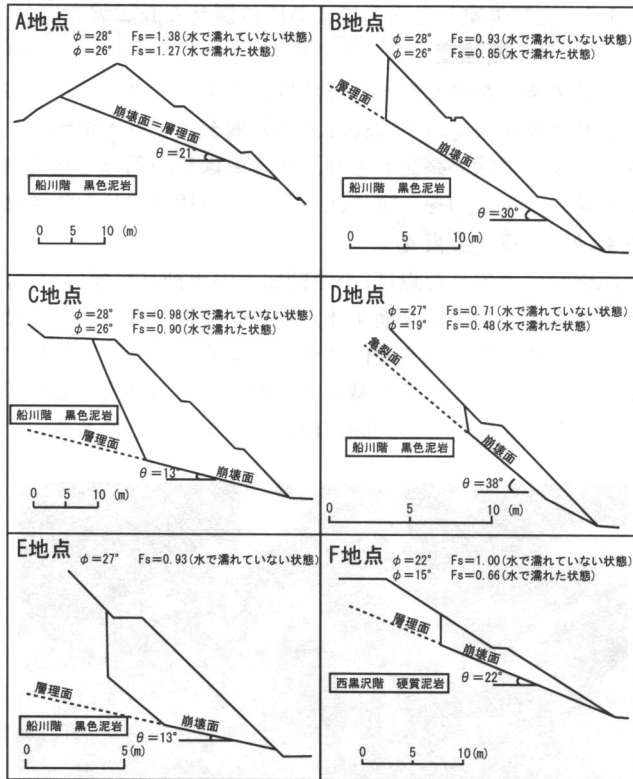


図2 安定計算断面と結果

結果は安定解析に利用でき、有用であると判断できた。

ただし当試験の問題点として、

- ① 人力载荷のため、载荷可能な荷重が小さい。不連続面の傾斜が大きくなるとさらに小さくなる。
- ② せん断変位が大きくとれない。
- ③ ピーク強度しか求めることができない。
- ④ 斜面上での作業となり、作業性が悪い。

等があり、これらを解決できる新たな試験装置の開発が必要となった。

#### 4.2 新たに開発したせん断試験装置と結果の一例

人力による簡易せん断試験の課題を解決する、新たなせん断試験装置を開発した。

試験装置は、最大5kNまで载荷でき、変位量を50mm程度とすることで残留強度まで測定できるものとした(写真5)。各荷重と変位量は、最短で1秒おきにデータロガーを用いて自動で記録するものとした。

試験試料は、不連続面を挟んで採取したブロック供試体とし、せん断箱を使用しないことが特徴である。整形中に発生しやすい不連続面沿いの変位を防止するために整形を最小限にしたいことが背景にある。試料はエンジンカッター、のこぎり等を用いて採取する(写真6, 7)。

当試験で苦労している点は、供試体採取時に下盤の試料を地山から切り離す作業である。エンジンカッターを横向きに入れて切り離すようにしているが、少しでもカッターに荷重が掛ると、カッターが暴れ、試料に変位が発生してしまう。エンジンカッターの使用は熟練の技が必要であり、最後はのこぎりを用いて人力で切断するという体力勝負の作業となる。人間の体力消耗も激しいが、本来の使われ方

をされていないのこぎりは摩耗も激しくかわいそうである。

試験結果は、せん断変位とせん断荷重の関係からピーク強度のほか、変位が大きくなった際の残留強度も測定できる。せん断荷重-せん断変位曲線も地質、不連続面の状態ごとに特徴があり、これを解明することで地震時の解析に有用な情報になると考えている。これまで試験は、新潟県中越地震で崩壊した箇所を含め、数箇所で行っている。

結果の一例を図3に示す。図では変位が5mm程度より大きくなってせん断荷重が一定であるが、なかにはせん断変位が大きくなるにつれてせん断荷重が徐々に低下する場合もある。残留強度を求めるには、せん断変位量40~50mm程度までのせん断が必要となる場合もある。

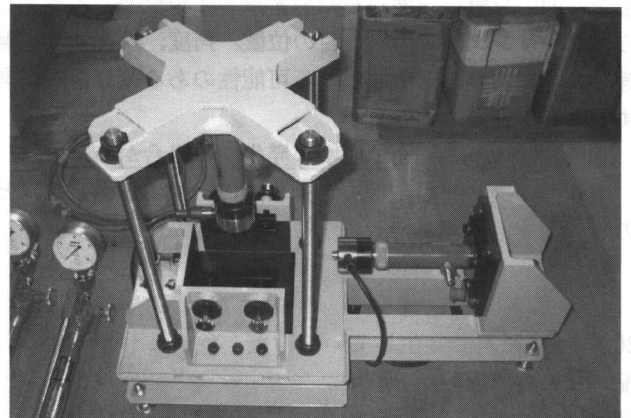


写真5 せん断試験機の外観



写真6 試料採取中の状況



写真7 採取された試験試料

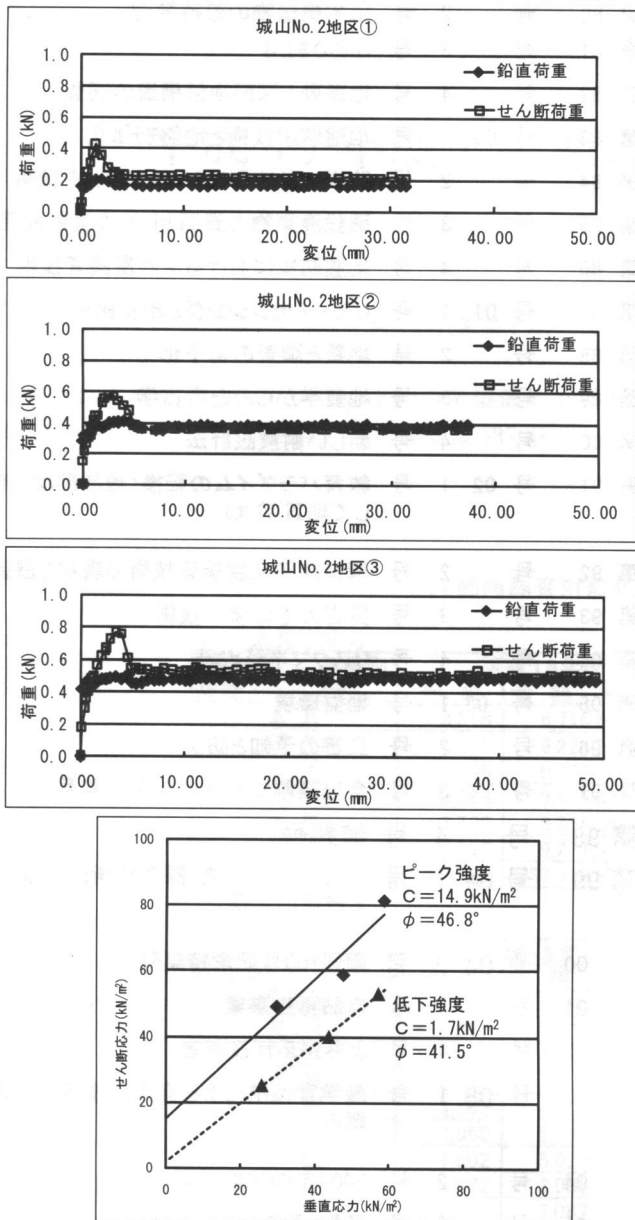


図3 新たに開発したせん断試験の結果の一例

## 5. まとめ

軟岩切土法面の解析において、提言した法面勾配で切土した箇所が崩壊する経験をした。切土勾配は、標準切土勾配と周辺の既存切土法面の勾配から決定するしかないという現実を理解してくれていたのか、若い技術者の将来を考えてくれていたのか、委託機関からは大きなお叱りを受けなかった。これに答えるべく何かいい方法がないか常に脳裏から離れなかった。これまでほとんど明らかにされていなかった不連続面のせん断強度の測定という、難しい課題にのめり込んでしまったが、今では大きな成果を得たと自負している。今後、さらにデータを収集するとともに、難しい課題ではあるが、切土法面勾配の有意な設計手法の確立にむけて一歩ずつ前進していきたいと考えている。

### 引用・参考文献

- 1) 村岡 洋・小松順一・藤井 登・阿部真郎：不連続面のせん断強度を用いた軟岩切土のり面の安定解析，地盤工学会研究発表会講演集，pp. 1095-1096, 2004.
- 2) 小松順一・村岡 洋・阿部真郎・三田地利之：軟岩切土法面における岩盤崩壊の地質的素因と不連続面のせん断強度，地すべり学会誌，第41巻，第6号，pp. 39-49, 2005.
- 3) 小松順一・村岡 洋・和賀征樹・阿部真郎：軟岩不連続面のせん断強度測定を目的とした簡易せん断試験装置の開発，地盤工学会研究発表会講演集，pp. 471-472, 2007.
- 4) 日本道路協会：道路土工 のり面工・斜面安定工指針，1999.