

土木学会平成 15 年度全国大会
研究討論会 研 - 0 6 資料

二十一世紀の斜面工学の創生を目指して 防災・維持管理・環境・計画・景観

座 長	後藤 聡	山梨大学
基調講演者	稲垣 秀輝	(株)環境地質
	大野 博之	長崎大学
	矢田部龍一	愛媛大学
話題提供者	上野 将司	応用地質(株)
	釜井 俊孝	京都大学
	佐々木 寧	埼玉大学
	築瀬 知史	日本道路公団

日 時 平成 15 年 9 月 24 日 16 : 30 ~ 18 : 15
場 所 徳島大学工 - K 5 0 2

斜面工学研究小委員会

目 次

1 . 斜面工学とは	1
2 . 二十一世紀の斜面工学に向けて	2
2 . 1 . 斜面工学の必要性とその意義	2
2 . 2 . 斜面工学の方法論について	3
3 . 斜面災害のリスク評価に向けて	5
4 . これからの都市斜面の維持管理について	6
5 . 斜面環境と生態系との接点	8
5 . 1 . 国際スタンダード	8
5 . 2 . 斜面の安定化	8
5 . 3 . 自然再生の速度	9
6 . 新しい観点からの斜面の計画論について	11
6 . 1 . 高速道路の斜面計画	11
6 . 2 . 従来の斜面計画	12
6 . 3 . 斜面計画における景観保全	12
6 . 4 . 土木技術的な側面以外の斜面計画	13
7 . 四国における斜面と斜面工学	13
7 . 1 . まえがき	13
7 . 2 . 四国の斜面と人間生活	13
7 . 3 . 21世紀初頭の四国の斜面工学の課題	14
7 . 4 . 四国の山村文化の継承に向けた活動を	15

< 執筆者 >

- 1章：後藤 聡（地盤工学委員会斜面工学研究小委員会委員長，山梨大学大学院医学工学総合研究部）
- 2章：稲垣秀輝（同委員会副委員長，(株)環境地質）
大野博之（同委員会幹事，長崎大学工学部）
- 3章：上野将司（同委員会委員，応用地質(株)技術本部技師長室）
- 4章：釜井俊孝（同委員会委員，京都大学防災研究所）
- 5章：佐々木寧（同委員会委員，埼玉大学工学部）
- 6章：築瀬知史（同委員会委員，日本道路公団試験研究所緑化技術センター）
- 7章：矢田部龍一（愛媛大学工学部）

1. 斜面工学とは

日本は、山地の占める割合が大きく平地が少ないという国土の特徴を持つ。さらに、日本はその人口が1億人を超え、住宅地は山地まで拡大してきている。しかし、古来山地には斜面を利用して畑地や棚田や森林などが造られ、居住地もそれらと共存してきた。一方、道路や鉄道の建設の際には、盛土や切土などの人工改変により新たな斜面が作られている。このように日本は、とても斜面とのつきあいが多い国である。加えて、地震・火山国であり梅雨前線や台風による豪雨も多く、斜面においては地盤災害（斜面崩壊、崖崩れ、地すべり、土石流など）が毎年のように発生している。

まず、斜面における地盤災害を簡単に分類すると以下のようなになるであろう。

(1) 斜面の対象

(用途別) 1. 道路・鉄道, 2. 宅地, 3. 山地・森林, 4. 畑地

(成因別) 1. 切土斜面, 2. 盛土斜面, 3. 自然斜面

(2) 斜面災害の素因と誘因

(素因) 1. 地形, 2. 地質, 3. 土質(土壌), 4. 植生, 5. 水文環境

(誘因) 1. 降雨, 2. 地震, 3. 融雪, 4. 切り取り(建設工事), 5. 火山の噴火

(3) 斜面災害のタイプ

滑動: 地滑り, 斜面崩壊, 崖崩れ, 山崩れ

流動: 土石流, 岩屑流れ, 泥流, 火砕流, 雪代, 雪崩

落下: 落石, 岩盤崩落

土木工学では、これまで主に機能、維持管理、およびコストを重視した設計方法を創り出してきた。ものを造る立場からの設計である。特に、斜面における地盤災害の防災・軽減は、重要な研究テーマである。しかし、人間と斜面が共存するためには、そこに住む住民の方から見た斜面も考えなければならない。機能のみを重視した斜面だけではなく、環境や生態系さらには計画や景観も考慮した新しい斜面工学の考え方が必要である。そこに住む人たちにとって、災害時の補償やリスク回避とコスト、法律等は最大関心事のひとつである。社会科学としての斜面も十分に検討しなければならない。

このような背景から、地盤工学委員会の下に「斜面工学研究小委員会」が平成14年度から設立された。平成14年度は委員の公募と具体的な活動計画の策定に時間がかかり、実質の委員会活動は平成15年度からスタートした。景観、生態、計画、法律等の広い分野からの委員会参加となっている。研究小委員会では、(1)災害WG、(2)維持管理WG、(3)環境と生態系WG、(4)景観と計画WG、の4つのワーキンググループ活動を行っており、総合科学としての斜面の検討を行っている。さらに、広い分野の方が委員として参加されているので、委員間で共通認識を持つため、さらに一般の方にも斜面のことを知ってもらうために、「斜面工学Q&A」(案)という書籍を出版予定である。

本研究討論会のテーマには、「斜面工学」となっているが、自然科学と社会科学を双方含んだ総合科学としての斜面を意味している。小委員会設立の準備段階では、総合科学としての斜面を検討することから、「斜面学」という名称を考えたが、「斜面学」ではあまりにも広すぎるということで、「斜面工学」という名称になっている。ここで使っている「斜面工学」は総合科学としての斜面のことである。

そこで、本研究討論会では、以下の6つのテーマに対して、短い時間ですが総合科学としての新しい斜面工学を皆さんと一緒に討論ができたらと思います。

- | | |
|-----------------------|-------------------|
| 1) 二十一世紀の斜面工学に向けて | 2) 斜面災害のリスク評価に向けて |
| 3) これからの都市斜面の維持管理について | 4) 斜面環境と生態系との接点 |
| 5) 新しい観点からの斜面の計画論について | 6) 四国における斜面と斜面工学 |

2. 二十一世紀の斜面工学に向けて

2.1. 斜面工学の必要性とその意義

我が国の国土の地形的特徴は古来より山地が多いため、必然的にそのほとんどが斜面となっていることである。これらの斜面では人口は極端に少なく斜面を工学的に考えたり、その土地利用の計画を考えたりする必要性は少なかった。それに対応するかのように、人の住む場所はほんの一部の平野に限られており、ここでの土地利用が高度化していた。このため、都市計画や農地計画が確立し、その利用の調整を行う必要があった。しかしながら、人口の増加と共に、人の利用しやすい平地部から生活の場所が山地へと延び始めた。これは古くは奈良時代には平城京の造営のために田ノ上山の植生伐採が周辺の環境の破壊にいたる。また、荘園農地が急速に広がる平安時代には傾斜地での農地で地すべり災害が記録されており、人と斜面との関わりを工学する必要性が芽生え始める。時代が進むにつれ斜面と人とのかかわりが益々密接になり、江戸時代には斜面と共生した安定した生活が実践されていたようである。しかし、20世紀に入ってからの機械化による土地開発により、特に、昭和に入ってから人口の急増に比例し丘陵地や山地の開発が進み、環境破壊や自然生態系の減少などの問題が発生し、斜面を対象とした総合工学の必要性が深刻になってきた。それに対して、工学は従来の人々が密集した地域を対象とした都市工学や農業工学が中心で斜面の取り扱い方に不慣れな面があり、斜面を総合的に考える21世紀の新しい工学、つまり斜面工学の創生が時代のながれといえる。

ここで、斜面工学が取り扱う地勢的位置を図2.1に示した。斜面工学が扱う地勢的領域は我が国の大部分を占める山地部から平地周辺部である。また、世界的にも山岳地は多く、斜面工学の領域は世界的にみても広いといえる。さらに、土地利用の進んだ平地を主に取り扱う都市工学や農業工学とは一部重複する地域が出てくるのが留意点にあげられる。次に、斜面工学と他学問分野との関連は図2.2に示したとおり、地質学・地形学・気象学などの地盤の基本的な学問とその上で暮らす植物や動物などを対象とした生物学やそれら全体を取り扱う生態学なども多に関連している。さらに、地盤を相手にする地盤工学や土木工学、それらを社会に利用する社会工学や人間工学も関連する分野といえる。

このように、斜面工学とはいろいろな側面を持っていることになるが、その内容を分解してみると図2.3に示したように防災、維持管理、環境・生態系、景観・計画の4つの要素に分けられる。これら4つの要素はそれぞれお互いに関連しあい明確に分離することは出来ないものの、大きく4つに分けることは人と自然との関係を分析する上でわかりやすい。

これら4つの要素については3章～6章で詳しく述べられるため、ここではその概略だけを述べる。

防災的要素：斜面・溪流災害の素因や誘因の分析、災害確率や災害予測の検討、地震・豪雨・火山噴火などによる災害事例の研究、斜面災害のハードな対策工法の検討や研究

維持管理的要素：都市斜面災害の研究とその保全方法の確立、ハザードマップの作成方法の研究と作成したハザードマップの公表、斜面モニタリングの手法の確立と維持管理を含む対策方法の検討、情報伝達・避難誘導などのソフト対応の手法の研究

環境・生態系的要素：斜面安定のための植生のあり方や斜面生態系の類型化やその研究、里山や農地斜面の環境保全の試み、スキー場、リゾート地の斜面環境保全の試み、都市斜面緑化技術や法面・自然斜面緑化技術の研究

景観・計画的要素：人と斜面とのかかわりの検討と斜面景観のあり方の研究、景観と経済性を考慮した斜面計画の策定、良好な斜面景観のための新しい技術・評価方法の検討、社会科学的な側面から斜面計画の提案

このように、4つからなる斜面工学の要素をそれぞれ研究するとともに、これらをトータルした形で、人と斜面の共生を提案しそれを具体的に実施していくことは、21世紀の斜面工学のメインテーマであり、その斜面工学の必要性とその意義はたいへん大きいと言える。最後に、7章で述べられるように斜面災害の多い四国の地で、斜面工学創生の研究討論会が開催できるのはたいへん光栄であり、実り多い討論を期待したい。

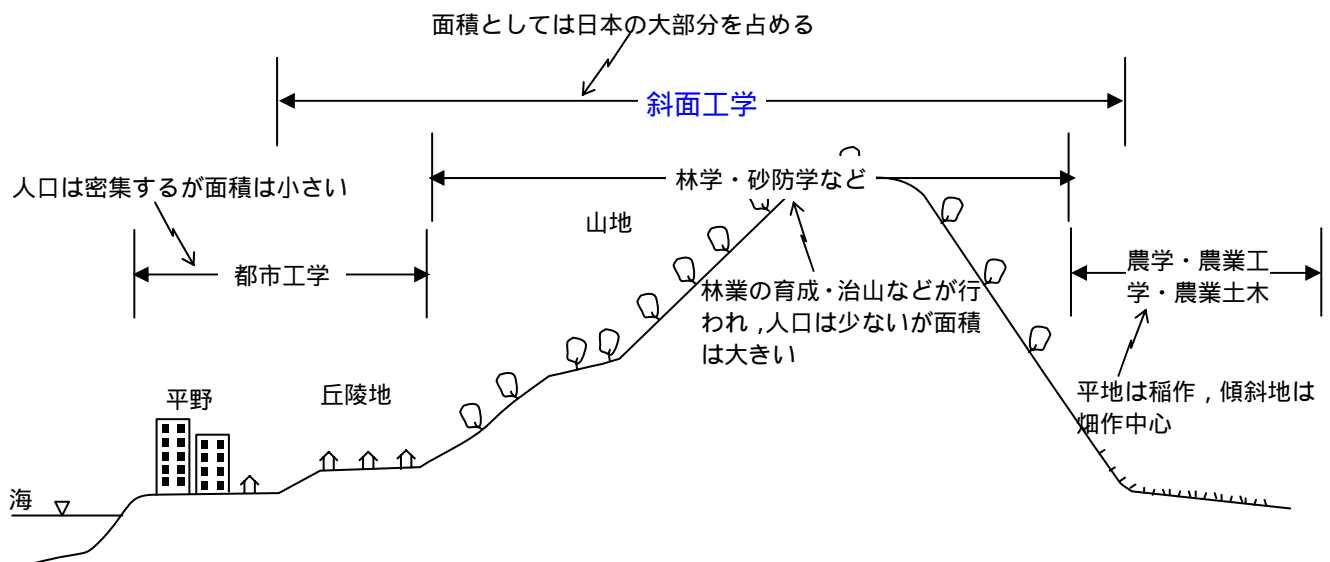


図 2.1 斜面工学の扱う地勢状況

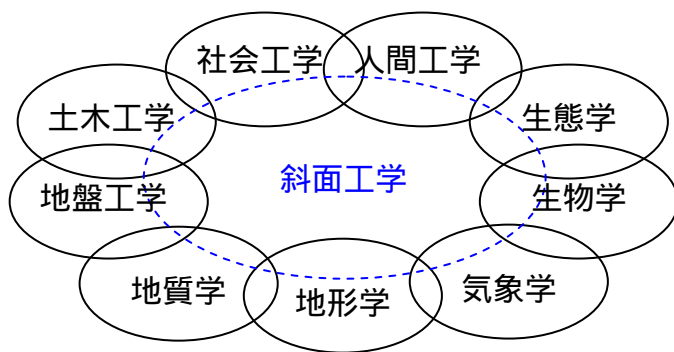


図 2.2 斜面工学と他学問との関連

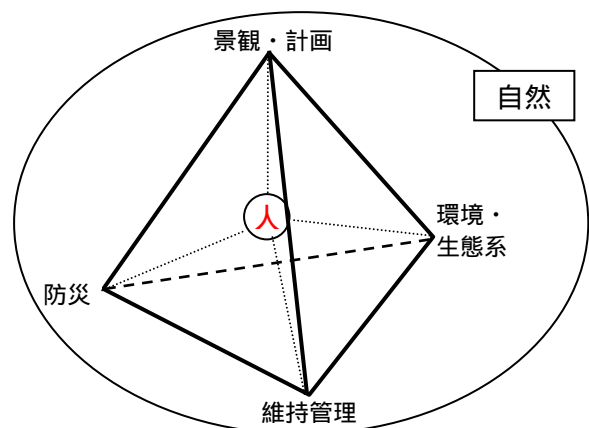


図 2.3 斜面工学の4つの分野

2.2. 斜面工学の方法論について

前節の観点から考えた場合、斜面工学では具体的にどのような観点の検討を行うことが必要となるだろうか？ここでは、最近提唱されたオムニスケープジオロジーの考え方を概説し、斜面工学の具体的な方法論を考えてみたい。

オムニスケープジオロジーとは「持続可能な社会をつくるための環境に主眼をおいた地球の現象を学ぶ学問」として位置付けられている。持続可能な社会を築くために、環境へのインパクトを最小限に抑えた社会、丈夫で適応力がありすぐに立ち直りのできる社会(つまりは防災である)、そして全ての人に利便性の高い社会をつくることが求められている。この基礎学問の一つがオムニスケープジオロジーであり、そこにはこれまでの環境地質学的観点に加え、生態学的観点と社会学的観点が付加される。つまり、景観を日本的な狭い意味で捉えるのではなく、「人間の影響やその歴史を含む地圏や生物圏の構造や動態すべて」によって成立するものとして捉えている。オムニスケープジオロジーは、地生態学に似たような学問であると捉えられるが、あくまでも地盤・岩盤を中心に据えた学問としての確立を目指すものであり、地理学からの派生の地生態学とは異なる。そして、持続可能な社会の発展に貢献する学問として、環境問題だけでなく、防災問題をも対象に含んでいる。

このように捉える総合学問としてオムニスケープジオロジーが存在し、その具体的な観点として以下の6つが挙げられる。但し、それぞれの観点ごとに知見の発展状況が異なり、具体的な評価・検討や対策法がある程度確立されてきているものもある一方で、これから作り上げていかなければならないものもある。

地形・地質学的な観点(気象や地下水などの水文地質学も含む)

自然環境の地形・地質学的な観点とは、すなわち無機的な自然の観点から検討することを意味する。そこには、水文地質学のように気象的な影響や地下水学的な影響も含んでいる。樹木などの植生の活動は、日のあたる場所であるかどうか、雨が適度に降る場所であるかどうか、地盤変動のある場所であるかどうかなどによって変化する。従って、地形・地質学的な観点の検討を行うと言うことは、間接的に生態学的な観点の検討にも影響してくることになる。

生態学的な観点

生態学的な観点は5章で詳しく述べられるのでそちらに譲る。ここでは、そこでは触れきれない点として、事業の生態系への影響評価について簡単に述べる。生態系の観点から自然を評価するものの一つとして HEP(ハビタット評価手続き)がある。HEP は、アメリカにおける生態系の評価に広く実用化されており、HU(ハビタットユニット)を求めるためのハビタット変数と適正指数(SI)グラフがいろいろな生物種(主に哺乳動物や鳥類)に対して設定されており、事業実施前後の HU の算出が可能なものとなっている。しかし、湿地を主対象としているので斜面に対する問題としては、新たな手法や考え方を生み出していく必要がある。それには、5章で触れたような様々な実験も必要となる。

防災・維持管理の観点

斜面の防災や維持管理については、従来から力学的観点を基礎として多くの検討・評価が行われている。それらは、斜面对策工などのハード面では、土質力学(又は岩盤力学)を基にした安定性の検討である。また、こうしたハード面以上にこれからは、危険地域指定や警戒避難体制整備などのソフト面も重要となる。この観点は最も発達した分野であり、3・4章で詳しく述べられる。

ランドスケープ(見てくれとしての景観)の観点

自然環境は、地形・地質的な点、気象・気候的な点などに影響されて地域固有のものを形成し、そこには地域固有の多様性を持った生態系が存在する。こうした地球科学的な状況が自然環境に影響を及ぼし、狭い意味での景観(見てくれとしての景観であり、以降、ランドスケープと呼ぶ)を形成することになる。ランドスケープを取り扱う場合、色彩と形状の観点にたってフラクタル解析を用いることで、そのランドスケープの特徴を捉えることができる。この方法は、とかく定性的になりがちであるランドスケープの特徴を、見た目の観点から定量化できる手法として有効である。

社会学的な観点(歴史・風土なども含む)

社会・風土的な評価についても、地形・地質学的な評価などと同様に確立されたものがあるわけではない。人間の歴史的な背景やその地域の文化・風土を重視しなければならない、と言うことは言われているが、その技術的な手法は確立されておらず、定性的に述べられているに過ぎないのが現状である。この点は、社会工学の分野の研究が参考になる可能性がある。

経済学的な観点

以上の観点以外にも防災と生態系などの自然環境を含めた経済的な費用対効果を検討する必要がある。

防災については、従来からの実際に対策をした場合の費用とその効果を検討すればよい。これに対して、自然環境を経済的に評価することは、一見難しそうに見える。しかしながら、環境の変化は消費者の効用に何らかの影響を及ぼすと考えられ、その観点からは、そこに環境に対する支払意志額(WTP: Willingness to Pay)を定義することが可能となる。自然環境の経済的評価とは、この環境に対する WTP を実際に計測することである。

自然環境の経済的評価には、いくつかの方法がある。大きく分けると「顕示選好法」と「表明選好法」に分けられる。顕示選好法は、人々の実際の経済行動から得られるデータ(市場データなど)を基にして、間接的に環境の価値を評価する方法であり、代表的なものとして、「ベドニック法」や「トラベルコスト法」がある。これに対して、表明選好法は、人々の環境に対する WTP を直接尋ねることで環境の価値を評価

する方法で、「CVM(Contingent Valuation Method)」や「コンジョイント分析」などがある。特にCVMは、アンケート調査などにおいて、提供されている環境サービスの量的減少または質的低下を避けるために最大限その当事者が支払っても良いと考える金額、すなわち支払意志額(WTP)、あるいは、その変化を受忍する代わりに最低限保証してほしいと考える金額、すなわち受取意志額(WTA)を、直接あるいは間接的に質問することにより、そのサービスの貨幣的評価を行う手法である。

3. 斜面災害のリスク評価に向けて

わが国は国土の70%以上が山地や丘陵地であり、主要な交通路は山間部や海岸沿いの急斜面下を通過するものが多い。また都市域の拡大に伴う開発は丘陵から山麓に及んでおり、斜面や崖に近接して多数の住宅が建設され高度で過密な土地利用がなされている。地質は複雑な構造や分布を呈し脆弱であることに加え、降水量が多く地震多発地帯であるために、地すべり、崩壊、落石、土石流による災害が発生しやすい環境にある。

このような斜面災害を防止するためにハード・ソフトの様々な対策が実施されており、ハード対策の投資効果や新しい法律(土砂災害防止法)による土砂災害特別警戒区域等の指定などに関して、国民に対してわかりやすく説明する必要に迫られている。この説明手段あるいは合理的な防災管理を行うために、斜面災害のリスク評価に関する技術開発が進められている。斜面災害のリスク評価に際し、最大の不確定要因は斜面崩壊等の発生確率に代表されるハザード評価である。このため、ハザード評価に焦点をあてて以下のような手順で検討する必要がある。なおここでは、災害対象や地域を限定して絞り込んだ。

災害事例の整理

斜面災害の素因については日本応用地質学会編「斜面地質学」(1999)にまとめられている。また、地すべり土塊や崩壊土砂の移動距離等については土砂災害防止法をはじめとして各種指針類に経験的な簡易評価法が示されている。このため、斜面災害事例に関する文献等をもとに、主として降雨や地震等の自然誘因や被害状況について整理する必要がある。

災害発生場および規模の予測

斜面災害の発生場、形態、規模については従来、地質技術者が空中写真判読や現地踏査をもとに想定してきた。その想定は技術者のレベルと現地踏査の程度に支配され、適切な調査がなされていれば満足できるものとなっている。実際に斜面の点検結果で岩盤崩壊や落石危険個所の想定をした部分から、その後岩盤崩壊や落石が発生するなどの事例が認められる。

経験豊富な地質技術者による職人芸的な調査以外に、斜面災害の発生場等に関する客観的な指標を得るための検討がなされている。岩盤崩壊を例にあげれば、崖の傾斜、高さ、割れ目の密度等から崩壊危険度や規模を想定するような関係図表類(例として図3.1)の提案がある(北海道日本海沿岸における大規模岩盤崩落検討委員会報告書, 2000)。このような最近の成果や、航空レーザー測量等の新技術による調査手法を整理して、崩壊や落石等の災害発生場および規模の想定法についてまとめる必要がある。

また崩壊、土石流、地すべり土塊等の到達域については土砂災害防止法等に示されている方法を基本に考え、上記の災害発生場や規模の想定とあわせてハザードマップ作成の方向性を検討しなければならない。

災害の発生確率

土石流については危険溪流の抽出手法が示されており、周辺での既往土石流の発生事例があれば危険雨量の設定が可能である。このことから、土石流発生の確率雨量を求めて当該地域の土石流発生確率とすることができる。

表層崩壊については斜面傾斜、不安定土層厚、せん断強度等をパラメータとして、降雨波形を考慮した確率雨量で崩壊確率を表すことが可能であり、簡易な現地調査を組み込んだ手法がある。

岩盤崩壊については、既往の崩壊や割れ目間隔をもとにして1回の崩壊層厚を設定することで、地形地

質学的に求められた海岸や河谷の平均的な浸食速度から崩壊周期の想定が可能である。この点について具体的に説明すると次のようになる。仮に海食崖での岩盤崩壊が割れ目間隔等を参考にして厚さ 10m の規模で発生するとすれば、平均侵食速度が 10cm/yr の場合には岩盤崩壊の発生周期は 100 年になり、平均侵食速度が 3cm であれば 330 年周期になる（図 3.2）。ただし、このような環境の海食崖の延長が仮に 1km あるとすれば、1km もの長さで岩盤崩壊が一気に発生するわけではなく、崩壊幅が 50m と想定できれば 20 箇所の崩壊にわかれることになる。したがって、延長 1km を考えれば 330 年周期で 20 の崩壊が発生するものと説明できる。

以上のような工学的手法や地形地質学的手法を総合して、災害形態毎の発生確率の算定方法についての可能性を検討することが望まれる。

ハザード評価の情報公開

斜面のハザードはリスク評価に向けて利用するだけでなく、以下に述べるような観点から情報公開して広く一般に周知する必要がある。この点についての議論も必要となる。

従来、交通路のなかった海食崖や峡谷部は風光明媚な観光地であるため、道路整備が進みアプローチが容易になって多くの人が集まるようになった。このような場所は落石、崩壊、地すべりの多発地域であり災害の発生する確率が高まっている。一方、都市域における斜面では安定化が進み、植生が繁茂して貴重な緑地が形成されていたが、この部分を急傾斜に切土して宅地化が進められ、緑地が消失するとともに崩壊危険箇所が増加している。このように、斜面災害の危険箇所は全国各地で作り出され、災害の危険にさらされる人が増えている。

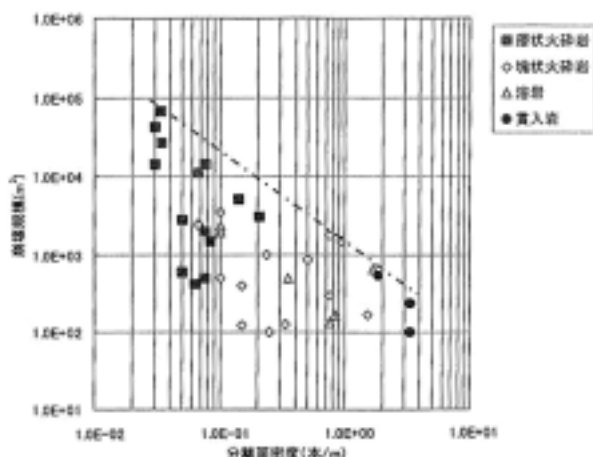


図 3.1 岩盤の分離面密度と崩壊規模の関係

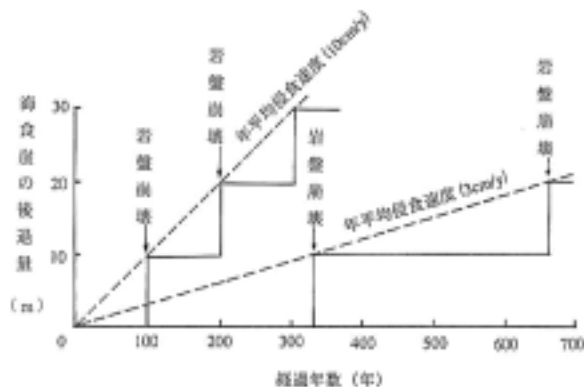


図 3.2 海食崖の平均侵食速度と岩盤崩壊の発生周期（崩壊厚 10m の場合）

4. これからの都市斜面の維持管理について

大都市は平野に形成されていると思われがちであるが、実際の都市の内部には多くの斜面が存在する。現在の大都市でしばしば見られる高密度の傾斜地居住において、住居の安全性、快適性を満たすためには斜面の維持・管理が不可欠であり、今後もその重要性は増大すると考えられる。ここでは、都市域の斜面における維持・管理問題について述べる。

本来、都市域の斜面災害は、図 4.1 のように大きく外縁型と内部型に区分される。このうち都市内部型の斜面災害は成熟した市街地にしばしば発生する。近年都市域で発生した斜面災害は、人工斜面の不安定化であることが多く、災害の根底には斜面の維持管理問題が常に存在する。災害としては急斜面で発生する崖崩れ・石垣等の崩壊と緩傾斜の斜面で発生する谷埋め盛土の地すべりが最も多い。

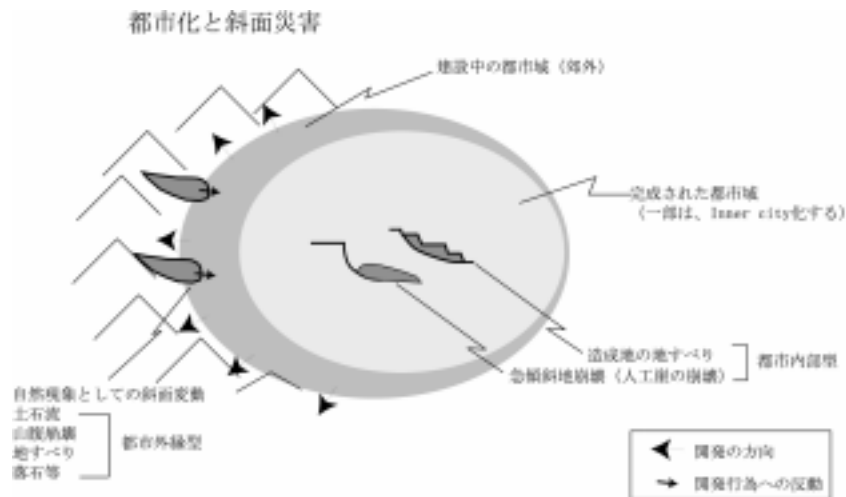


図 4.1 都市化と斜面災害の関係

1999年2月横浜市南区中村町で発生した崖崩れは、前者の典型例である。高さ30mのコンクリート吹きつけ斜面が崩壊しマンションが1棟被災した。直接の誘因は不明である。この崖は、もともと本牧台地の海食崖であったが、切り土によって自然斜面の勾配に比べてより急崖化されていた。崖の中腹に分布する上総層群の泥質岩が2方向の節理によって楔状に分離し上部の下末吉層・ロームを載せたまま落下したもので、1987年千葉県東方沖地震の際、上総丘陵において多数発生した崩壊と同様なパターンである。

2002年8月11日呉市西三津田町において住宅の背後の石垣が崩壊し、一名の方が亡くなった。直接の誘因は、崩壊の直前で時間雨量34mmを記録した豪雨であるが、この斜面は前年(2001年)の3月に発生した芸予地震による被災斜面の一部であり、崩壊は地震後の二次災害である可能性が指摘されている。崩壊した部分には古い道路の路盤が埋没しており、路盤直下の盛土には大量の地下水が供給されたことを示すパイプ痕が点在していた。これより、古い道路の路盤によって盛土内部を上昇した地下水が規制され、被圧された地下水の前面への突出によって石垣が急速に破壊され、災害となった可能性が指摘されている。

谷埋め盛土の地すべりは、過去の大規模な地震災害(1978年宮城県沖地震、1993年釧路沖地震、1995年兵庫県南部地震等)において多数発生した。最近では2003年5月26日、三陸南部地震で発生した築館町館下の崩壊も谷埋め盛土の崩壊であった。この崩壊地点そのものは放棄された宅地開発地であり、積極的な維持・管理がなされていない斜面であった。したがって、現在の都市域には含まれていないが、広義の都市開発に関連した斜面と考えられる。しかも崩壊の発生と運動のメカニズムは過去の都市域における災害事例と同様であり、流動化した土砂が緩斜面を長距離移動した事例として注目される。周辺には同様の谷埋め盛土でありながら非変動であった事例が複数存在する。崩壊したか、しなかったかは、過去の災害事例と同様に盛土の横断形状の影響を強く受けたものと考えられる。

わが国の大都市では、今後周辺部への膨張速度が弱まり、都市域の再生、再利用が加速されると考えられる。その場合、斜面の維持・管理において特に重要な点は、基礎・壁体の再利用・一部利用と斜面防護施設の老朽化(特に盛土内部の地表水・地下水排水施設の老朽化・能力低下)であると考えられる。上述の呉市西三津田町の災害は、前者に関連して災害が発生した具体的事例である。谷埋め盛土においては、計画通りに排水施設(暗渠等)が機能すれば存在しないはずの地下水位が盛土の内部、しかも浅い位置に形成されていることが多い。現在の工法では盛土内部の排水施設は更新する事は困難であるため、取るべき対策は限られるが、老朽化を視野に入れた排水施設計画が望まれる。

総合的な防災計画においてハザードマップの必要性はしばしば指摘されている。都市の斜面災害について公表されたものは少ないが、地震による谷埋め盛土の地すべりに関しては一部の地域を対象に作成されている。今後は出来るだけ対象地域を広げるとともに、他の種類の斜面災害(急傾斜地や豪雨を誘因とする災害)

についてもハザードマップを整備する必要がある。

地質，地盤に関する情報は面的情報として都市計画・再生計画に不可欠であり，その品質の良し悪しは財政的なリスクに直結する。今後は都市域における高精度の地質・地盤情報の対象を人工構造物にまで拡大して整備することが，斜面を含めた今後の都市再開発・再利用において特に重要である。

5．斜面環境と生態系との接点

5．1．国際スタンダード

1993年の環境基本法，2000年循環型社会形成推進基本法の成立に伴い，地盤環境関連では土壤汚染対策法（2003年2月）が，生態環境関係では自然再生法(2003年1月)，環境影響評価法（1997年6月）が制定され，各省庁では，新たな事業目標，課題（表5.1）を設定，環境の内部目的化をすすめ，多くのプロジェクトが動き始めている。エコロジーがからむ新しい視点での国土づくりが始まっているのである。

表5.1 各省庁の主な事業目標，課題

国土交通省（含旧建設省） 日本道路公団	多自然型川づくり，エコシティー循環型都市・環境共生住宅 エコロード，ピオトープ，環境にやさしい道路
経済産業省（含旧運輸省）	自然環境調和型まちづくり，ゼロエミッション，エコシティー 自然啓発施設エコミュージアム，環境共生港湾エコポート
環境省	生物多様性国家戦略1995，新生物多様性国家戦略2002

こうした国家政策の急速な転換は，国内事情の変化，環境世論の高まりによるものだけとはいえない。その背景には，環境に対する国際スタンダード化の大きなうねりがある。生物多様性，生態系の理念が色濃く反映している。

表5.2 環境の国際スタンダード化

国際会議	国際条約	国際基準
国連環境計画 1972	気候変動に関する国際連合 枠組み条約1992	環境ISO14001
国連人間会議 1982		
環境と開発に関する国連会議 1992 アジェンダ21の採択	生物の多様性に関する条約1992 ラムサール条約1975	

5．2．斜面の安定化

斜面は，水分や塩類の流亡，強い日射と高温，乾燥，そして崩壊などの多重苦に晒される場であり，濃い緑の森林の成立は難しい。しかし，その場ニッチェは特有の生物集団，森林にも劣らない多様性を保有している。人工的に形づくられた斜面では，多重苦がそのまま影響する。斜面の安定化，再生を目的に緑化工法がとられるが，その再生は当然難しい。目的達成のため，究極の機能性が求められ，場を選ばない効率性高い発芽・成長とその速度，工法の作業性，対価費用が追及された。外来牧草種による早期緑化は，こうして生まれた工法である。草種はイネ科とマメ科植物である。とくにイネ科では多数の属と種が利用でき，マメ科は空中の窒素固定能を有す根粒バクテリアとの共生から，荒地でも旺盛に生育する。こうした成長の旺盛さは，急速な緑化を可能した一方，少数種による単調な緑地を生み，場ニッチェの占拠という物理的な圧迫，交雑種による遺伝子攪乱という質的圧迫を在来種にもたらしている。

長期的には不安定な斜面状態を長期化させていることになる。斜面の安定化は，生態系の安定があってもたらされるのである。

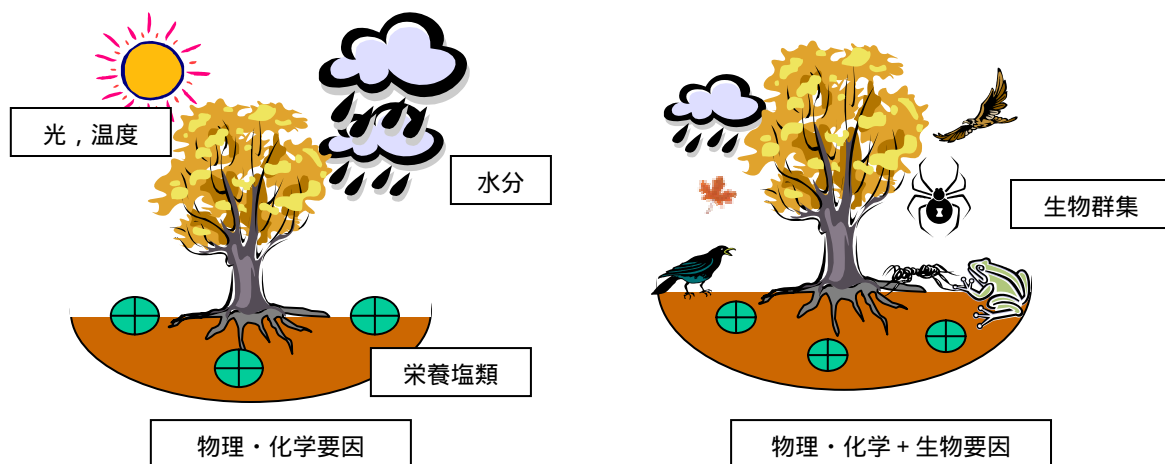


図5.1 多様性と持続的安定

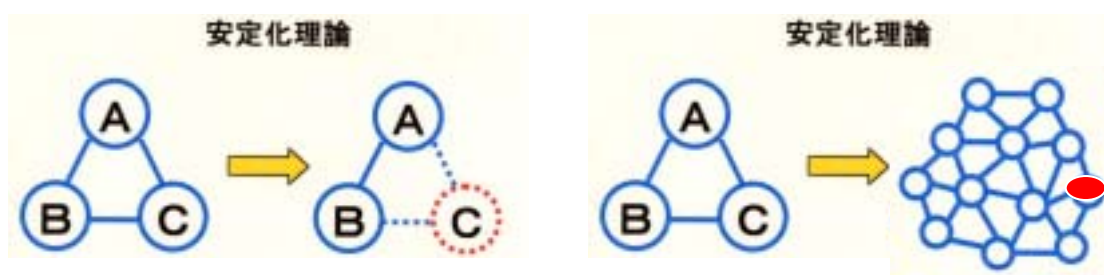


図5.2 生態系の安定化理論

5.3. 自然再生の速度

草本植物の成長は、わずか2~3ヶ月で成長を完成、樹木でも数十年で十分な大きさまで達する。しかし、我々は、一面のジャガイモ畑を草原とは呼ばないし、スギの人工林を森林とは呼ばない。見掛け上、一面の緑とはいえ、自然の再生は、ほとんど進んでいないといえる。日本の原生林といわれる森も、少なくとも数千年の変遷の結果として存在しているとされる。人が行う緑化とは時間スケールや次元が異なる。人が行えるのは、場の設定、初期設定だけであるともいえる。

地盤の表層にある土壌も、安定した持続的植生を支える条件としては、埋土種子集団Seed Bank, 菌根菌集団Bacteria, 土壌小動物集団の熟成が必要とされる。一般に、比較的時代の新しい火山地域と古生層を主とした古い地盤地域とでは、生物集団、生態系は大きく異なっている。生態系は面的拡がり、空間と時間との3次元要素の積分結果なのである。

5.3.1. 湿地での自然再生実験

湿地環境は、比較的植生遷移の進行が早い場所と考えられる。草本植物主体の生態系であるからである。攪乱された水辺や、水田放棄地なども急速に一面のヨシ原に変わる。しかし、そうした環境でも、地盤・土壌環境の違いは、植生の遷移に大きく影響、再生の速度に違いが見られる。

ヨシ優占の植生が占める湿地を 5mほどの深さまで掘削、無処理や表層の土壌を再度撒き出す手法で、植生の回復状況を比較した。実験区は、土壌無攪乱区(パターンA)、根茎含む表層土まきだし区(パターンB)、根茎なしの表層土まきだし区(パターンC)、基盤土壌むき出し区(パターンD)の4パターンである。

土壌無攪乱区(パターンA)では、元の多年生の植生であるヨシ優占群落が急速に再生、一年でほぼ回復する。

根茎含む表層土まきだし区(パターンB)でも、同様に一年で再生してくるが、その後、帰化植物のセイタカアワダチソウの進入が始まり、遷移が後退、停滞する傾向が見られる。土壌の攪乱が、植生の遷移に影響を与えている。

根茎なしの表層土まきだし区（パターンC）では，植生の回復が，土壌中の埋土種子に依存している。すなわち，一年生草本群落に始まり，二年目には多年生草本群落に遷移した。しかし，元の植生であるヨシ優占群落に遷移するには，時間が要する傾向を示す。

基盤土壌むき出し区（パターンD）では，土壌は好天時にレンガ状に乾燥，ひび割れを生じ，雨時には粘着・粘土状に変化，植生は三年目を迎えても，ごく少数の一年生植物を散生するのみで遷移の速度は極端に遅い。

基盤である地盤土壌の物理・化学性の他，生物関連の条件の差の影響が大きい。



図 5.3 湿地環境での再生実験（上：造成初期 4 月，下：5 ヶ月後の状況）

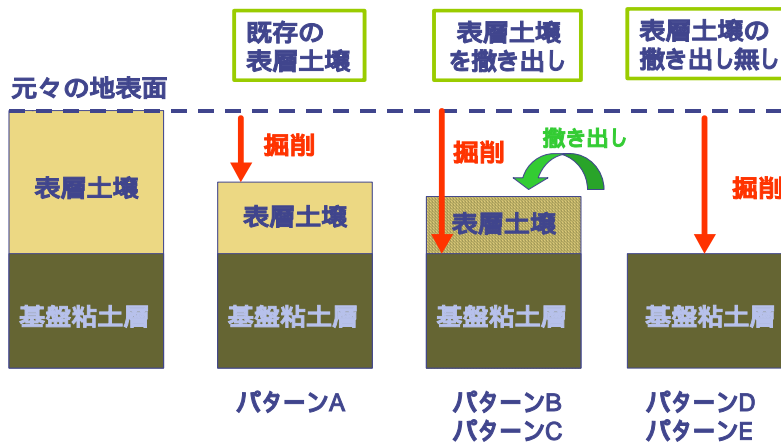


図 5.4 地盤土壌の条件

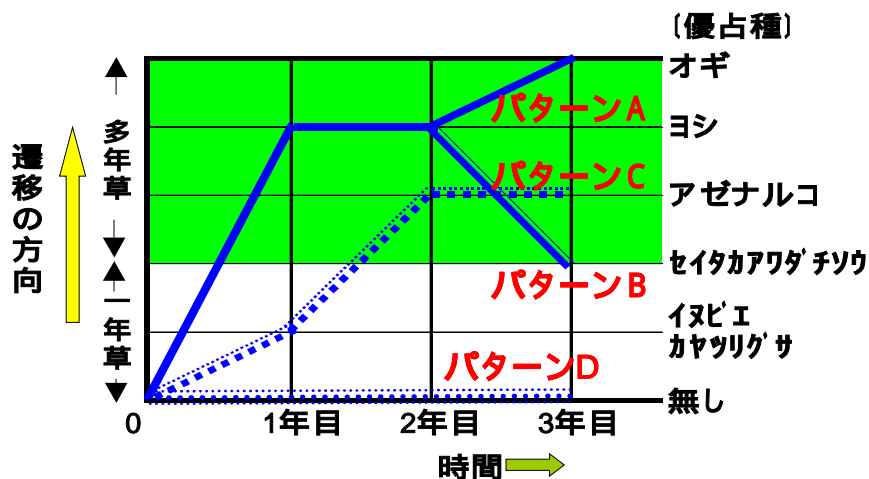


図 5.5 処理パターン別の植生優占種の違い

5.3.2. 斜面と植生

ある地域の気候，地盤条件で発達が予想される植生を表現する概念に潜在自然植生がある。地域の潜在自然植生が図化される場合，マクロな視点，すなわち主に温度と雨量で規定される気候的局相林で表現される。しかし，同じ気候域にあっても，傾斜角度の違いで植生は変化している。傾度変化で変わる植生系列は，一見，平地の植生遷移のパターンとほぼ同じである。植生遷移は時間系で変化するが，斜面では同一の環境がより長く持続，限りなく同一の経過時間系にならぶ。植生の高さ，密度，濃さに関わらず，異なる質の価値をもつ生態系と認識すべきものである。

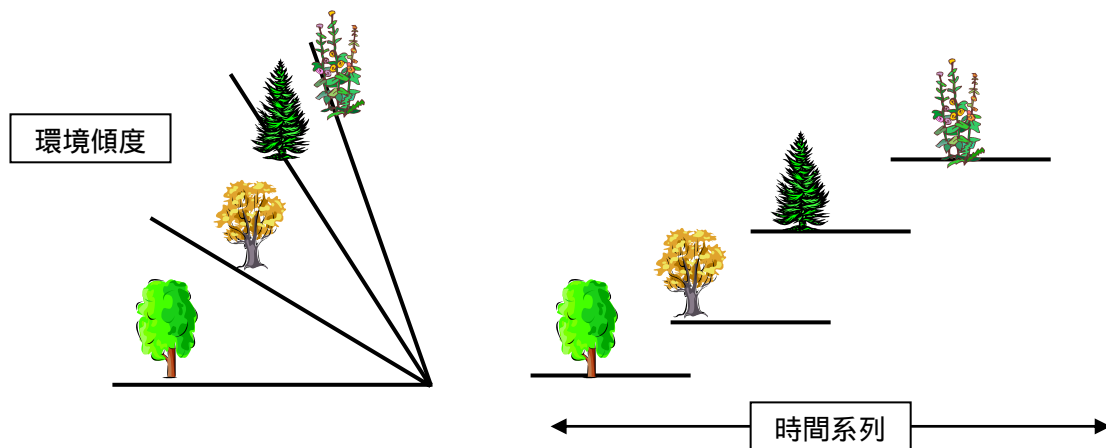


図 5.6 環境傾度と植生

6. 新しい観点からの斜面の計画論について

新しい観点からの斜面計画のためには，先達の技術あるいは思想に立ち戻り，21 世紀に向いさらなる変革を目指すことである。土木技術は現在に比べ全くの未熟だった時代から，その建設工事は高邁な哲学を持って進められていた。土木の分野だけに特化されることではないが，技術の発展にともなって，やがてややもすると，それらの精神は置き去りにされてしまう。この章では，高速道路の斜面計画の変遷と斜面における景観保全計画や，土木技術的な面から離れた斜面計画の課題と方向性について述べる。

6.1. 高速道路の斜面計画

大規模な斜面が造成される高速道路を例にすると，1956(S31)年に日本道路公団が創立され，1963(S38)年に名神高速道路が開通し，1969(S44)年には，東名・名神高速道路が全通しているが，その線形計画においては，良好な景観の提供や高速道路は可能な限り緑化するという思想のもと，建設は進められた。技術的には手探り状態の面もあったが，現在においても，景観的な評価は他の道路に比べて高い。

東名・名神以降の新規 5 道等高速道路開通ラッシュの時代 (= 高度経済成長時代) からは，経済性や施工速度の向上が重視され，建設機械の大型化と土量配分が優先される嫌いが強まった。施工技術は向上し，技術的要領化は進み，一般技術者誰もが標準的な道路設計が可能になり，画一化が進んだ。反面，地形に合わせて計画された緩やかな曲線は激減し，道路線形の直線化が進んだことにより，人工斜面は大規模化され，擁壁や吹付けのコンクリート構造物が出現し，大地に大きな傷跡を残す結果となった。

景観や自然環境に配慮した設計要領は整備されたが，施工の画一化はその思想を希薄にさせ，施工技術とは一線を画した。後には景観整備をまとめた手引き書等が出来上がったが，広くは行き届かず一部の技術者に理解されるだけにとどまった。

旧建設省が景観への配慮に関する通達を行った 1985 年頃からは，社会的にも環境配慮の要求や，量から質に思想転換が図られ，さらには，1994 年に策定された環境政策大綱によって建設行政全てに環境に配慮することが内部目的化された時代になっている。

6.2. 従来の斜面計画

斜面やその景観は、似て非なるものであり、依然として、曖昧なものといわれることが多い。これは、以下のように、優れた土木施設が何か不明確であることに起因すると考えられる。

斜面の計画は、利害の二律背反である。

- ・都市（残すべき緑と勝手の悪い斜面）と山間部（豊富な緑と放棄された斜面）
- ・利便（景観、良好な日照、通気性）と不便（狭小な通行路、高低差）

斜面計画には、安全性が最重要でありそれに対して様々な技術があるが、新たに出現する景観に対しては、良し悪しを判断する基準が曖昧で主観に頼る嫌いがある。

土木は人間社会の利益になることとして施行されるが、考え方の方向や意識の大小など様々な住民感情が氾濫する。

従来の土木技術は、不便、不安定、不安など負の要素の解消が主で、近年は変化してきたが、正の要素の保全という観点での計画は少なかったように思える。

正の要素の保全は、負の要素の解消を目的とした計画の中にあっても今後の計画には不可欠である。

6.3. 斜面計画における景観保全

斜面を改変する計画の中で、良好な「景観の保全」を考えることは、つまり自然環境の保全や安定した自然斜面を残しながら周辺と調和させることである。

自然景観が優れている点は、長年自然が安定方向へと作り上げてきた事から得られる斜面としての安全面からの機能美である。これらを保全する意義は、壊すのは簡単であるが、復元又は創出することは非常に難しく、ある程度の時間をかけなければ不可能であることから明らかである。

贖罪の感からか、「景観上は植物の方が良い。」という思いからか、通常植物の生育できない基盤上に小手先の緑が採用されているが、芝草や先駆性樹種（大抵葉面は毛が生えており薄い緑色を呈する）など限られた植物のみが生育できる空間であり、均質な景観を生む結果となる。樹林などがもつ質感は全体としては緑であっても、影は色濃く適度な不均質であるため、その薄緑の均質さが逆に違和感を生じさせる。

緑色の塗装についても、陰影や質感に乏しく、むらがある色にむらがない不自然さは同様である。

これらの景観技術的課題の解決は当面重要であるが、新しい時代には、地球規模の環境への配慮という課題が付加される。そのためには、安定勾配のみを前提とした斜面の造成法にも改善が必要であろう。

6.3.1 斜面計画時の景観保全の考え方

圍繞景観（道路では内部景観）においては、不自然さを求めるとしても、斜面では、ほとんどの場合、眺望景観（道路では外部景観）となることを、公共空間以外でも留意することが肝要である。

計画にあたっては、まず、人工斜面の発生を回避することを念頭に置くが、計画される施設によっては回避が不可能であり、この場合、別の個所を選定し直す方法と、地形改変を可能な限り最小化し、景観要素として樹木の移植、表土の保全を検討し、改変個所の復元方法や経年予測を検討する必要がある。この検討は、規模の大きいものほど不可欠である。

- ・ 景観資源の保全：既存林（＝現地形）の保全、周辺から眺望が景観阻害要素にならない検討、調和した圍繞景観の計画などを検討
- ・ 景観資源の活用：保全とは逆に、現地形を改変することで、周辺の良好な景観の取り込みを検討

これら考え方は、近年のリサイクル運動に言う4R（Refuge(避難) > Reduce(縮小) > Reuse(再利用) > Recycle(再生利用)）という考え方にも類似しており、時代に適合しているが、これは、大規模施工化する以前の考え方であり、新しく古い概念と言える。21世紀に向けての期待は、斜面に植物の生産力を求めることを前提とした圍繞景観の新たな設計法の概念が付加されることである。

6.3.2 斜面設計、施工時の景観保全の考え方

大きな地形改変を伴う斜面計画は、前節に示したとおり、現地形の改変により出現する斜面を予測・再現

し、十分な検討を行うが、圍繞景観レベルや影響が小さい眺望景観に関しては、計画段階での見落としが多い傾向にあり、設計や施工段階においては、前節の項目について再度見直す他、景観に影響を及ぼす範囲や逆に景観が向上する可能性について次のような項目についても検討する。

- ・ 既存斜面とのり面との総合的調和：不均質なり面への移行は抑止力も不均質となることに留意
- ・ ラウンディング：改変によって生じる切土のり面と現地形との連続性の確保
- ・ グレーディング：切土のり面の緩傾斜化による開放性の確保と周辺からの植物侵入の期待
- ・ 周辺景観との調和：造成した斜面での植生復元について、植栽方法や植栽基盤の確保を検討し、造成時に工夫

6.4. 土木技術的な側面以外での斜面計画

斜面計画にあつては、今後とも人間の生活としての地盤の安定と利益の向上を目的としていくが、地球環境の悪化を招く計画や施工では、巡り巡って人間にも害悪をもたらす。

安定した自然斜面については、都市部においては多くの緑を有し、貴重な環境を提供しており、山間地においても景観の保全だけでなく、水源涵養やCO₂固定など、定性的には良いと判断される。

しかし、その価値を経済的に把握することは、未だ一般的でない。計画を施行しないことによる損失や災害が出現する確率などは検討されているが、逆に現存する斜面を失う損失についても検討する必要がある。

また、斜面を保全するための法的な規制はほとんど無いが、これは技術的な計画とは別に必要であり、前述のとおり、そもそも土木技術は人間の生活に根ざしたもので、安全の提供、不便の解消を主目的として施行されるものであることから、生活空間の一部として「より良い斜面の意義」に関する知識について、一般市民にも啓蒙していくことが望ましい。

7. 四国における斜面と斜面工学

7.1. まえがき

フィリピン海プレートによる造山活動が活発な四国は急峻な地形を呈している。また、構造運動と豪雨が相俟って、四国は斜面災害の多発地である。2度にわたる小豆島豪雨災害や大規模崩壊である繁藤災害など、多数の犠牲者がでる土砂災害も珍しくない。道路を巻き込んだ地すべりは長期間の交通止めを余儀なくされ、迂回路が極めて少ない山間地の住民の生活を直撃する。四国のこれからの斜面問題には、2つの大きな課題がある。一つは高齢過疎化に伴う廃村の問題であり、もう一つは南海地震による斜面崩壊の問題である。

本文では、四国の斜面問題に関して、四国の地質、地形、斜面崩壊の特徴、ならびに四国でこれから対応すべき斜面問題に関して簡単に述べておく。

7.2. 四国の斜面と人間生活

7.2.1. 四国の地質と地形

四国はフィリピン海プレートの潜り込み部に形成された付加体である。地質的には、瀬戸内側から順に領家花崗岩帯、堆積岩が分布する和泉層群、中央構造線を挟んで南側に変成帯である三波川帯と御荷鉾帯が、そして弱変成を受けている秩父北帯、秩父帯、堆積岩帯である四万十帯と続いている。

これらの地質帯は、中央構造線を始めとする東西方向に走る大構造線により区切られている。構造運動と断層運動により四国の地質は揉まれており、至る所に弱面を有している。これが地すべりや大規模崩壊の素因となっている。

7.2.2. 四国の斜面崩壊の特徴

1) 豪雨時の斜面崩壊

瀬戸内側に分布する花崗岩地帯では、まさ土化した斜面が豪雨時に崩壊し、災害を引き起こすことが多い。特に、小豆島では1974年と1976年に集中豪雨に見舞われ、それぞれ29名、50名の犠牲者をだしている。なお、小豆島災害では山頂部をクラックの発達した玄武岩が形成しており、そこに浸透した雨水が山の中腹

から麓にかけて分布しているまさ土を崩壊させている。

1972年7月の繁藤災害は10万立方にも及ぶ大規模斜面崩壊であり、66名もの犠牲者が出た。この崩壊では、一次の小崩壊による犠牲者に対する救援活動中に大崩壊が発生し、近くの国鉄繁藤駅に停車していた列車も巻き込んでの大崩壊となった。

2) 地すべり

四国は地すべりの多発地である。四国の脊梁山脈を形成している三波川帯は片理の発達した変成岩帯であり、地すべりの多発地である。また、深層風化して、粘土化しやすい御荷鉾緑色岩帯では分布面積の20%もが地すべり指定地となっている。

変成岩帯の母岩は風化して、クォーライトやハイドロマイカ、アクチノライトなどの粘土鉱物が生成される。石英や長石なども含まれているが、花崗岩と比べると結晶が小さく、風化した際にまさ土のように砂質土となることはない。

変成岩帯の表層土は前述した風化特性により、細粒分を多く含み、その結果、透水係数は小さく、また、見かけの粘着力を有するために、豪雨時の表層崩壊の発生件数は少ない。しかし、断層破砕帯や大規模な崩壊土塊の古いすべり面などの弱面は地下水により風化して粘土化しやすく、また、断層などの弱面に貫入した熱水により生成された粘土など、数十m深さにおける連続した粘性土層の存在は地すべりの素因となる。このため、片理が発達していることもあり、極めて地すべりを起こしやすい。

3) 地震による崩壊

四国は南海地震や中央構造線などの活断層による大地震の頻発地でもある。長谷川によれば、これらの地震により大規模な山体崩壊が繰り返し起きている。南海地震では津波災害がクローズアップされているが、大規模な山体崩壊も含めた斜面災害に対する検討を行う必要がある。

7.2.3. 四国の山岳地の地すべりと人間生活

20年前のことになるうか、日もとっぴりと暮れた四国の山間地を車で走っていた時のこと、遙か遠くの山の上に光るものがある。星に詳しい方ではないので、明るい星もあるものだと感心しているとますます輝いてくる。そこで初めてあんな山の上に人家があるのだと気がついた。昼間走ると山の上までは見えない。国道が通っているところでも地形的に大変なところなのに、それから更に数kmもクネクネ道を山の上に行き上っていくのであろう。子供達が小学校に通うのはさぞかし大変であろうと妙な心配をしたことを覚えている。

国道から見上げると険しい山間地に見えるが、その実、上がってみれば人家があるところは比較的平坦地である。このことに気がついたのは、それから10年近くも経って、地すべりの研究を本格的に行うようになって更に数年経過した頃のことである。険しい四国の急斜面、人家が点在しているところは何のことはない地すべり地であった。

険しい四国の山岳地、その中腹に広がる僅かの平坦地を求めて開拓した先人達の苦労は計り知れない。大規模地すべり地の一つである長者地すべり地には1000年以上も前に人々が生活を始めている。四国の秘境、祖谷溪は平家の落武者が移り住んで以来、何十世代もの人々の暮らしが営まれてきた。

四国の山間地での生活は地すべりによって支えられてきたものである。地すべりは時として大災害を引き起こすが、人々に緩傾斜地を提供している。食を求めて長い年月をかけて開かれてきた四国の地すべり地を舞台とした社会が、今まさに廃村の時を迎えようとしている。急速な近代化と経済社会への移行が山村生活を成り立たなくした。長い日本の文化が今まさに終えようとしている。

7.3.21 世紀初頭の四国の斜面工学の課題

日本経済が成熟し、公共事業への投資を抑制せざるを得ない状況の中で、四国の斜面对策にこれまでのような事業費の投入は期待できない。予算に限りがある中で、どのような斜面問題があり、また、対処していくべきか検討してみる。

四国横断幹線国道の規制雨量の緩和

国道 33 号線は松山市と高知市を結ぶ幹線である。山岳地を縫うように走っていることもあり、斜面が多いので、豪雨時に斜面崩壊や地すべり、落石の発生が懸念される。そのため、連続雨量 250mm で事前通行規制がかけられる。この規制区間の多くは代替道路がなく、長期の規制は生活に多大な影響を及ぼすことになる。規制雨量解除に向けて、一層の斜面对策が望まれる。

斜面防災ネットワークと地すべり DB の構築

限られた予算と高齢化の進展により、これまでのように地すべり地に調査・対策費を投入することは無理であるし、現実的でない。このような状況の中で、地すべり DB の構築を急ぐ必要がある。また、より少ない投資金額で大きな成果をあげるためには、斜面防災ネットワークの構築も必要である。

南海地震による斜面災害の軽減に向けた調査研究の展開

30～40 年後を一つの目安として南海地震の発生が検討され始めている。津波による死者数が最大であるが、斜面災害によるものも全死者数の 1 割程度であろうと算定されている。過去の経験の基づく確率的な算定も必要であるが、特定の人の生死に関しては、個別の斜面に対する検討が必要となる。まだ、南海地震による斜面崩壊に関する検討はされていない。膨大な斜面を対象として、計画的に安定性を議論しなければならない。

7.4. 四国の山村文化の継承に向けた活動を

前述したように、四国の山間地は高齢化により廃村の危機にある。四国の山間地区では高齢化率が 50% を越えた町村が目白押しであることから、地すべり地に位置している山村での高齢化率の高さは推して知るべしである。このような事態を迎えているのは、収入の道が無く、教育や医療の問題があっては当然の結果である。廃村を地すべりという面から捉えれば、地すべり防止にプラスに作用することはないであろう。排水路の詰まり、水田からの漏水処理、小崩壊の復旧作業など、これまでは地域を上げて取り組み、地すべりの発生を極力抑止してきた。脈々と続いてきた山村文化が今の時代に廃れていくということも問題であるが、斜面災害の加速化という面からも大きな問題である。

祖谷溪に代表されるように、四国の山村には長い歴史があり、固有の山村文化が発達・伝承されてきている。遠くないうちに廃れていくであろう山村の姿を、また、文化を記録にとどめ、DB 化することも、地すべりに対する力学的対策と同様に重要であると感じる。

このような活動に対して大学教官と学生のボランティア的調査活動だけに頼るのではなく、行政の援助ならびに技術者・研究者個々の頭脳面での援助に期待するものである。

生産性が低い上に災害の多い四国を維持していくことは日本にとっても大変であろう。せめて身の丈にあった四国の斜面工学の確立が必要である。