



土砂災害の予知と対策

4. 崩壊 (その2)

やす 江 とも みつ
安 江 朝 光*せ の お かつ み
瀬 の 尾 克 美**

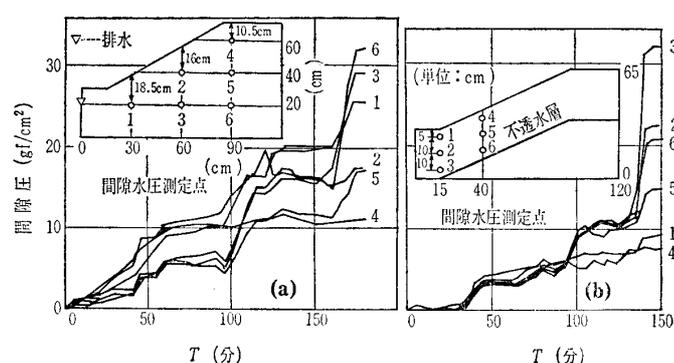
4.4 崖崩れの発生機構

勾配が急で、ルーズな表土層が表面に出ているような見るからに危なそうな崖が崩れるのは感覚的に分かることが多く、また日頃危なそうな感じの崖が豪雨で崩壊しても、それが当然と言う感じで受けとることができる。しかし、なぜ崩壊したかと聞かれても、返答に窮することが多いのも事実である。まず、自然斜面の崩壊である崖崩れより範囲を広げて盛土のり面も含めて、斜面崩壊の発生機構に関連して、これまで発表された研究を見てみよう。

鉄道技術研究所³⁸⁾では、齋藤迪孝らが、昭和24年から、崩壊現象での間隙水圧の挙動と排水工の崩壊防止効果を調べるため、砂質土の盛土について一連の実験を行った。そして崩壊が生ずるための条件として、第1に雨水が盛土に浸透しやすいこと、第2に不透水の基盤があること、第3に相当の降雨があり、間隙水圧が上昇して地下水面がのり面を切るか、あるいはのり面の近くに達することが必要であるとしている。

山村和也³⁹⁾は雨水の浸透による含水比の増加とそれに伴うサクシオン低下ならびにせん断抵抗の低下を斜面の安定に結びつけて解析した。堤体のり面崩壊の大型模型実験において人工降雨による浸透水によって堤体内に発生する間隙水圧は、わずかに上昇するだけで、不飽和の領域には大きな間隙水圧は発生し得ないとした。この結果、降雨による崩壊は主に土のせん断強さの低下に基づくとし、強度と飽和度の関係を求めて実験結果を解析し、現象と良い一致を得ている。以上述べた実験はいずれも盛土の大型模型実験であったが、崩壊の主要因は前者では間隙水圧の上昇であり、後者は含水量の増加に伴う強度低下であると異なった見方をしている。これは使用した盛土材料の違い、すなわち前者では砂質土、後者では関東ロームであったことにもよるのではないかと考えられる。

西田義親らは、雨水浸透に伴って発生する間隙水圧(間隙水圧、間隙空気圧)を取り上げ理論的考察と室内実験を行っている。そして、斜面崩壊は間隙水圧のほか自重の増加、含水によるサクシオンの消失によるものとして検討を加えている。



図—4.16 間隙水圧の経時変化

八木則男⁴⁰⁾らは、西田義親⁴¹⁾らとの共同研究を受けて、雨水浸透による斜面の崩壊の原因として、飽和度の上昇による自重の増加、サクシオンの消失による見かけの粘着力の低下、吸水膨張による粘着力の減少、間隙水圧の増加による強度低下などをあげ、このうち自重の増加は地盤の間隙率がわかれば計算でき、サクシオンの消失や吸水による粘着力の低下は室内実験により土の強度特性として知ることができるとして、間隙水圧の増加による強度低下に関する研究が最重要課題であるとし、室内模型実験により雨水浸透時の間隙水圧の測定を行っている。豊浦標準砂により斜面の模型をつくり、模型の底面を不透層とした実験での間隙水圧の経時変化を図—4.16(a)に、模型斜面中に表面と平行した不透水層を入れた時のものを図—4.16(b)に示す。不透水層で浸透水がリバウンドし、間隙水圧が増加するのは、不透水層までの深さが浅い方が当然早い、それまでに斜面中に発生する空気圧を含んだ間隙水圧は、前者の方が値が高いことが図—4.16より読み取れる。間隙水圧の測点の真上の地表面に静水面があると仮定して静水圧を求めると、両タイプとも斜面先(下方)に近いところで間隙水圧が静水圧以上となり、パイピング発生の恐れを示すが、これは斜面先で小規模な崩壊が生じ、それが漸次波及して斜面全体が崩壊した実験結果によっても裏付けされる。この斜面先からの逐次崩壊の傾向は勾配が急になると見られなくなり、斜面全体が一度に崩壊している。芥川、風間⁴²⁾らは崖崩れでは、表層滑落型崩壊が多いが、これは降雨時ルーズな表土層の飽和度上昇に伴うせん断強度の低下とともに、表土層とそれ以深の難透水層である弱風化層との境界で浸透水の中間流出や地下水面の発生が見られるようになることが

*建設省土木研究所 砂防部部長
**建設省土木研究所 砂防研究室室長

講座

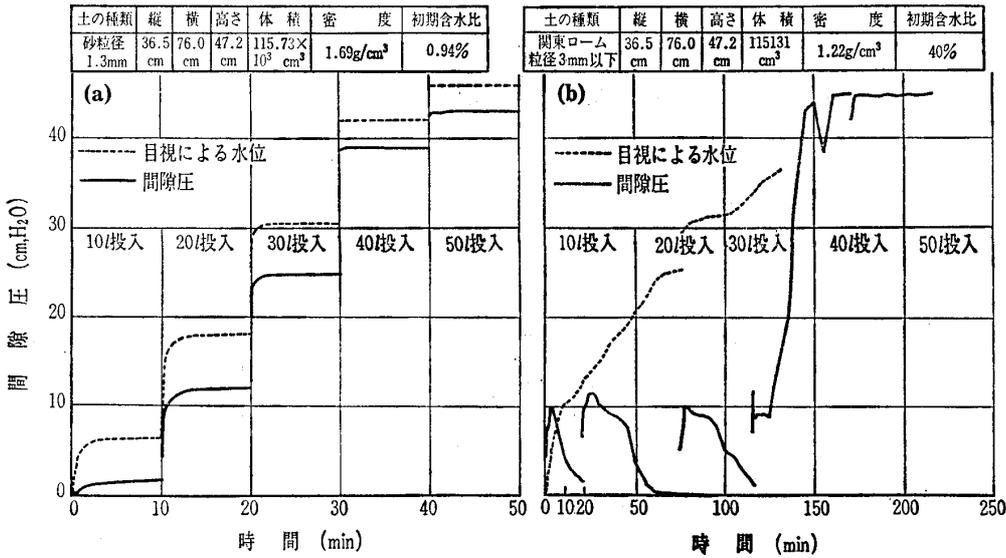


図-4.17 間隙圧の発生状況

大きな要因になっていることを指摘した。そして、これを実験的に確かめるとともに、飽和、不飽和浸透解析⁴⁵⁾による間隙圧の上昇と飽和度の増加による砂質土の強度低下を考慮して斜面の安全率の経時変化を求め実験で模型斜面に崩壊に至る間に見られた現象と良く対応しているとした。

これまで述べた実験や崩壊地の現地調査なども参考にして、降雨時にどのような機構で崖崩れが発生するかをまとめてみる。

間隙圧の発生、増加が崩壊をもたらすことは容易に考えられるが、不飽和土への降雨の浸透、間隙を埋める空気と水との置換、難透水層での浸透水のはね返りなどの状態により、間隙圧の挙動は左右される。

図-4.17(a), (b)⁴⁴⁾は実験土槽に、それぞれ砂およびロームをつめ、これに強い雨を降らした時の間隙圧の発生を示す。これらの実験を種々の土に対して実施した結果から次のことがわかった。

粒径が細くなるほど間隙空気圧が一時的に発生しやすくなる。また、降雨強度が大きいほど、一時的に間隙中に空気が残る状態になり、高い空気圧が出る。しかし、この空気圧は短期間でなくなる。

崩壊直後の現地調査で、崩壊が発生した跡をみると、地山から地下水が小さなパイプ状に吹き出していることがしばしば見られる。間隙水圧の上昇は地表面からの浸透水の難透水層でののはね返り(リバウンド)のほか、地山中の割れ目などの間をパイプフロー状に流れるこのような水によって生ずるケースがあろう。このような崩壊跡で、地山からの地下水の吹き出しが長時間続く場合がある。これは地中のどこかに地下水が多量に貯留されていたことを示している。また降雨時に急激かつ大きな間隙水圧の上昇を招くケースとして図-4.18が田中⁴⁵⁾によって示されている。いずれにしても地山中に断層などがあって地下水が集まりや

すい場所の表面にある表土などのルーズな層は、崩壊しやすいといえよう。

含水による地盤の強度低下については、三軸試験やコーン貫入試験によりこの関係を求めたものがいくつか発表されている。図-4.19はこの1例である。想定すべり面上の土塊の重量が含水により増加することも崖崩れの発生の要因の一つであろう。斜面安定の最も一般的検討方法にすべり面法による安全率(F_s)の計算がある。簡便な形では、 $F_s = \frac{\sum \{c' + W \cdot \cos \theta - u \cdot \tan \phi'\}}{\sum W \sin \theta}$ で表され、間隙(水)圧(u)の増加、地盤の強度(c' , ϕ')の低下および土塊(W)の重量増が安全率の低下をもたらすことは、これからもうなずける。特に表土層と風化岩との境界のような想定すべり面と考えられる不連続面が勾配の急な流れ盤になっている時は、特にこの傾向が加速される。

表面流による浸食も崖崩れの発生を引き起こす。浸食のされ方は流量が多く流速があるほど大きい。地表面が飽和に近いほどサクションにより浸透する量が少ないから、短時間の降雨量が多いこととともに前期雨量により斜面の飽

表面流による浸食も崖崩れの発生を引き起こす。浸食のされ方は流量が多く流速があるほど大きい。地表面が飽和に近いほどサクションにより浸透する量が少ないから、短時間の降雨量が多いこととともに前期雨量により斜面の飽

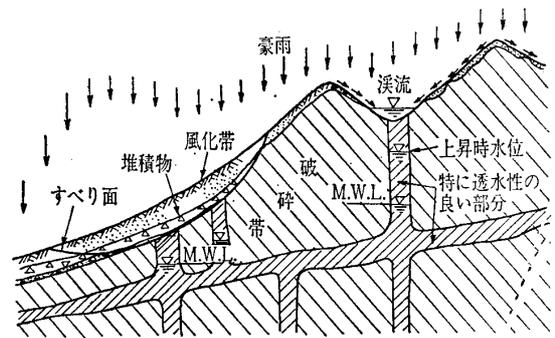


図-4.18 破裂帯内水位または水頭が豪雨時に急上昇する一例の説明図

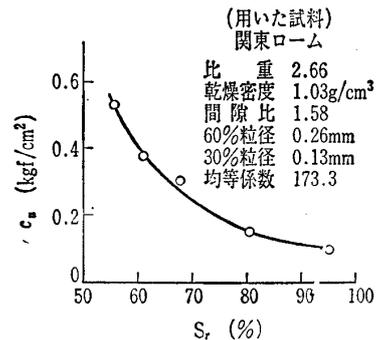


図-4.19 飽和度(S_r)と粘着力(c_u)の関係

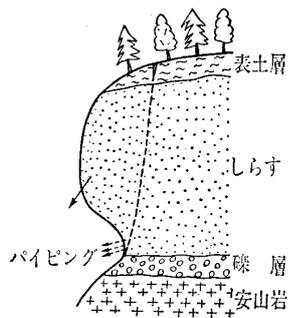


図-4.20 パイピングによる局部崩壊に起因する斜面崩壊

度が高いほど表面流量が大きい。また、このほか背後地の集水面積や斜面の勾配が浸食力に関係する。

降雨による崖崩れの要因には、このほかパイピングによる局所的な崩壊とその進行がある。図-4.20はこの1例である。また長い目で見ると風化も崩壊要因の一つである。

崖崩れの実態調査による

と崩壊の発生件数が最も多いのは梅雨期の豪雨による崩壊の場合のように、降雨が連続して地盤が湿潤状態になっているときに強い雨が降ったケースであった。これを崩壊発生機構から考えると、前期降雨により地盤の飽和度が増加し地盤の強度低下と重量増が生じているところに降雨強度の高い雨が降り、間隙圧が一時に上昇したり、表面流水による浸食が生じやすくなるのが主な原因であろう。

降雨と同じようなインパクトを斜面に与えるものに融雪水がある。積雪地帯では春先の融雪水が地表面に流れ出したり、あるいは地下水になったりして、崖崩れを誘発することがときどき見られる。

地震による崖崩れは昔から記録にあるが、最近では、昭和43年の十勝沖地震、昭和49年の伊豆半島沖地震、昭和53年の伊豆大島近海地震などでは、崖崩れによる被害が目立った。地震のインパクトとしては、加速度、変位、動的間隙水圧の発生、振動による地山の緩み（強度低下）などがあげられる。過去、雨では崩壊しなかった凸形斜面や硬岩からできたオーバーハングした斜面が地震で崩壊する傾向は降雨と地震での崩壊機構の差を示すものである。

崖崩れの発生要因にはこれまで述べたもののほか、河川による斜面下部の浸食、風による樹木のゆれ、地山の凍結融解などが考えられる。

自然斜面は一般に不均質、異方性であり、崩壊の基本的要因は同じでも、崩壊の発生機構はさまざまになる。

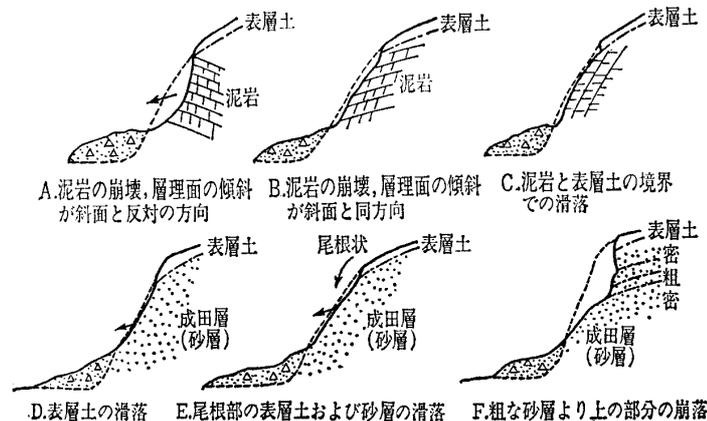


図-4.21 千葉県豪雨災害での斜面崩壊の発生形態の模式図

図-4.21は昭和45年7月の集中豪雨による千葉県での崩壊を形態別に模式図にしたものである。泥質岩と砂層との間の崩壊状況の差を示すとともに、発生機構についても層理などのはく離面がある場合と塊状均質の地山とは差があることを示している。

風化花崗岩地帯では、基岩のうえに風化生成物があり、その上の表層は植物の無数の

根系によって強く結ばれた表層板状体が形成されている。図-4.22の場合では、崩壊は①と②の境と、②と③の境の二つの不連続面で発生する。

図-4.23は昭和47年7月の集中豪雨により崩壊した愛知県西加茂郡小原村の花崗岩地帯の斜面でのサウンディング（土研式簡易貫入試験）の結果である。非崩壊箇所と崩壊箇所での崩壊せずに残った地盤に対する全試験結果が、豪雨前の地表面を基準とした深度でプロットしてあり、崩壊したルーズな表土層は図中のL-線より下の範囲に入っていたものと考えられる。

大規模な地すべり性の山崩れは、岩盤内にすべり面があるもので比較的まれであるが、災害の規模が大きいために注目されやすい。近年の例をみると、著しく破碎された岩盤内にすべり面があるもの（伊那谷大西山、浜田市美川、広島県総領町黒目）と斜面の上部に緻密ではあるが割れ目の多い岩体、斜面の下部に透水性の小さな岩体がある場合（佐賀県多良岳東麓、高知県繁藤）の2とおりがあ

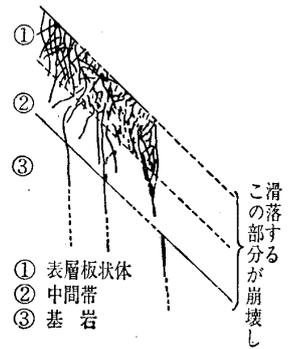


図-4.22 表層滑落型崩壊 (三浦原図)

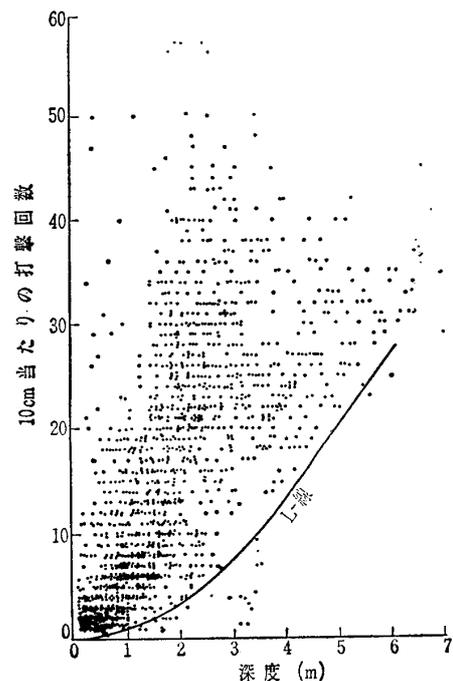


図-4.23 愛知県小原村崩壊地での簡易貫入試験結果

講座

4.5 崩壊の対策

4.5.1 はじめに

発生した崩壊あるいは発生が予想される崩壊の種類によってその対策は異なる。すなわち崩壊の種類とは、i)発生原因が人為か自然か、ii)保全対象が特定される(道路、国鉄等)のか否か、等であり、さらにソフトなものとはハードなものに区分される。今回は崩壊の発生および発生が予想される原因が自然によるもので、保全対象が特定されない一般人家の保全の場合を中心に記述する。

4.5.2 崩壊の対策に関連する法律等

自然斜面が崩壊して、不特定の人家、その他施設を破壊し多くの人命、財産が失われている現状において、各種の崩壊対策関連法律等が制定されている。この法律等の目的は、i)すでに崖、山の周辺に存在する人家を災害から守ること、ii)崩壊が生じるおそれのある所に人家を建築させないことである。

関連法律等と対策との関連は図-4.24に示すとおりである。この図-4.24より分かるように、急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律(通称、急傾斜地法)が崩壊対策を総合的に扱うために制定されていることが理解できる。

4.5.3 ソフトな対策

主なソフトな対策として、i)警戒・避難体制の整備、ii)安全地への家屋移転、iii)行為制限がある。これについて具体的に記述してみる。

4.5.3.1 警戒・避難体制の整備

急傾斜地法20条によれば急傾斜地崩壊危険区域(崩壊するおそれのある崖高5m以上の急傾斜地(傾斜度が30度以上)で、その崩壊により危害が生じるおそれのある人家が5戸以上、5戸未満であっても官公署、学校、病院、旅館等に危害が生じるおそれのある急傾斜地および崩壊を誘発助長する区域(図-4.25参照))の指定があったときは、災害対策基本法による市町村地域防災計画において、崩壊危険区域ごとに、急傾斜地の崩壊による災害を防止するために必要な警戒避難体制に関する事項をきめておくことにな

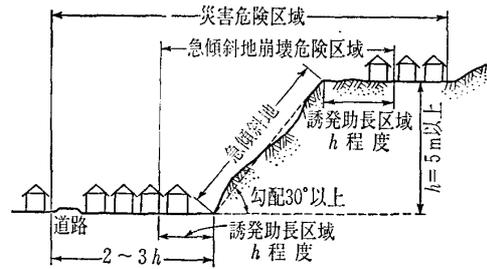


図-4.25 急傾斜地崩壊危険区域設定要領

っている。

4.5.3.2 安全地への家屋移転

家屋を移転する時に助成あるいは融資ができるケースとして次の三つがあげられる。一つは崖地の崩壊、土石流による危険が著しいため地方公共団体が条例で指定した災害危険区域(建築基準法第39条第1項)または地方公共団体が条例で建築を制限している区域(建築基準法第40条)に存する既存の不適合住宅の場合は、崖地近接危険住宅移転事業で助成される。二つには災害が発生した地域あるいは災害危険区域(前出)から10戸以上の全戸が集団で移転する場合に適用されるもので、住宅移転のみでなく住宅用地関連公共施設、生活基盤、生業基盤等の整備を同時に行うもので集団移転促進事業がある。三つには急傾斜地崩壊危険区域(図-4.25参照)において家屋の移転を勧告された場合は住宅金融公庫から移転に対して融資を受けることができる。

4.5.3.3 行為制限

急傾斜地法は急傾斜地崩壊危険区域を指定し次の行為を制限している。

- 1) 水を放流し、または停滞させる行為その他水の浸透を助長する行為
- 2) ため池、用水路その他の急傾斜地崩壊防止施設以外の施設または工作物の設置または改造
また以下のもの以外の行為を制限している。
 - 1) 長さが3m以下のり切りで、のり面の崩壊を生じさせないもの。
 - 2) 高さが50cm以下の切土または深さが50cm以下の掘削で急傾斜地の下端から2m以上離れた土地で行うもの、あるいは急傾斜地の上端では水の浸透または停滞を増加させないもの。
 - 3) 高さが2m以下の盛土
 - 4) 木竹の滑下または地引による搬出
 - 5) 地表から50cm以内の土石の採取で、急傾斜地の下端から2m以上離れた土地で行うもの。
 - 6) 載荷重が1m²につき2.5t以下の土石の集積

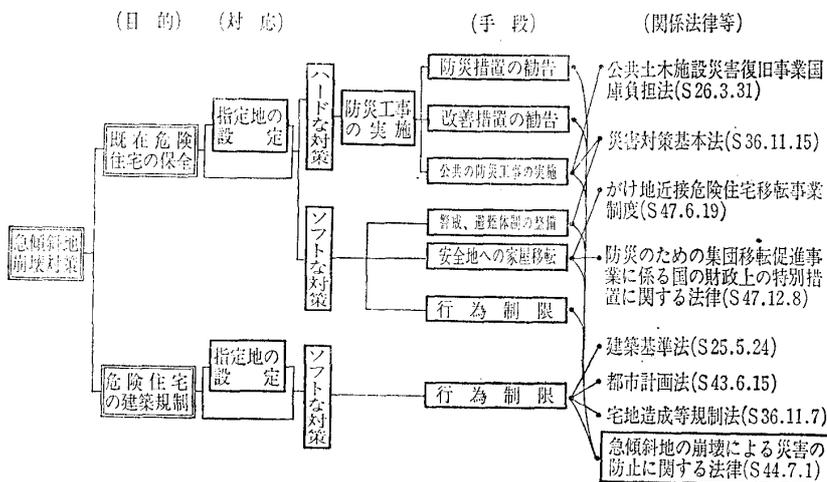


図-4.24 崩壊対策と関連法律等

4.5.4 ハードな対策

4.5.4.1 対策工法の種類

工法は表-4.6で示すように大別して抑制工，抑止工となる。抑制工は崩壊の誘因となる雨水あるいはその他崩壊要因を排水工，のり面保護工等により事前に排除して斜面の安定をはかる工法であり，抑止工は構造物等を設けることによって斜面の崩落，滑動を抑止する工法である。

4.5.4.2 工法選定の一般的流れ

対象斜面がどのような要因によって，どのような形態で崩壊するかを把握し，さらに保全対象物と崖との空間の程度，施工条件，および周辺環境を考慮して工法選定がなされる。一般にまず斜面の全体的な安定を保つために必要な抑止工の選択を行い，ついでのり面保護工等の必要な抑制工が選択される。のり面保護工の選択の目安として表-4.7を参考にされたい。

4.5.4.3 主な対策工法の設計と施工

表-4.6 対策工法の種類

分類	主な目的	工 種	工 種 細 分		
抑 制 工 (1)	雨水の作用を受けないようにする。	排水工	地表水排除工		
			地下水排除工		
		植生によるのり面保護工	植生工		
		構造物によるのり面保護工	吹付工	モルタル吹付工 コンクリート吹付工	
			張 工	石張・ブロック張工 コンクリート張工	
		枠 工	枠 工	プレキャストのり枠工	
				現場打のり枠工	
		その他	その他ののり面保護工		
		(2)	雨水の作用を受けて崩壊する可能性の高いものを除去する。	不安定土地の切土工	切土工④
				斜面形状を改良する切土工	切土工⑤
抑 止 工	雨水等の作用を受けても崩壊が生じないように力のバランスをとる。	擁壁工	石積・ブロック擁壁工 もたれ・コンクリート擁壁工 重力式コンクリート擁壁工 コンクリート枠擁壁工		
			アンカー工	アンカー工	
			杭 工	杭 工	
			押え盛土工	押え盛土工	
		そ の 他	落石を防止する。	落石防止工	落石予防工 落石防護工
					雪崩を防止する。
抑制工と抑止工の両方の目的を持つ工種		柵 工	土留め柵工 編柵工		
			蛇かご工	蛇かご工	
崩壊が生じても被害が出ないようにする工種		待受け工	待受け式擁壁工		
防止工施工時の防護工		仮設防護工	仮設防護柵工		

表-4.7 のり面保護工の選択の目安

のり面の状態	工 法
のり面に漏水があり，のり面勾配が1:1.0より緩い場合	ブロックのり枠工
のり面勾配が1:1.0より急な場合，のり長が長大な場合，ゆう水を伴う風化岩等ののり面で長期安定に不安のある場合等	現場打ちコンクリートのり枠工
土砂・崖錐・土丹・崩れやすい粘土ののり面で，勾配が1:1.0より緩い場合	石張工，ブロック張工
土砂・崖錐・土丹・崩れやすい粘土ののり面で，勾配が1:1.0より急な場合	石積工，ブロック積工，コンクリートもたれ擁壁工
節理の多い岩盤ののり面で風化・浸食・岩片はく離のおそれのある場合	コンクリート張工，のり面アンカー工
風化しやすい岩等ののり面でゆう水がない場合	モルタルまたはコンクリート吹付工
のり面にゆう水が多く，土砂が流出するおそれのある場合等	蛇かご工
のり面表層の土砂が流出するおそれのある場合等	柵 工

① 排水工

1) 目的と一般的留意事項 地表水による斜面の浸食，あるいは地下水による土中間隙水圧の上昇，地盤強度の低下，および含水による地盤重量増等による斜面の崩壊を防止するため雨水，あるいは地下水を斜面外に排除することを目的とする。なお，排水工は地表水排除工および地下水排除工に細分される。後者については，3.5地すべり防止対策の項を参照されたい。

① 地表水排除工：横排水路工（のり肩排水路工，小段排水路工のり尻排水路工），縦排水路工，浸透防止工等

② 地下水排除工：暗きょ工，横ボーリング工等

2) 地表水排除工 地表水を集めて，斜面外に排除したり，対象斜面外から斜面内への地表水の流入を防止するために設けられる。地表水を集めるために横排水路工を，集めた水を迅速に排水するため縦排水路工を設ける。

排水路は現斜面において自然排水の流路となる箇所には排水路を計画することを基本とする。

① 横排水路工：排水路に滞留することのないように1~3%の水路勾配とし，通常30×30cm程度の断面を確保する。長大のり面では5~10mごとに小段が設けられこの小段に排水路を設置する。小段の排水路は図-4.26(a)のようにのり面の勾配と逆方向につけるのが普通であるが，下部の斜面が流水によって浸食されにくい時は図-4.26(b)のように斜面と同じ方向に勾配をつける。

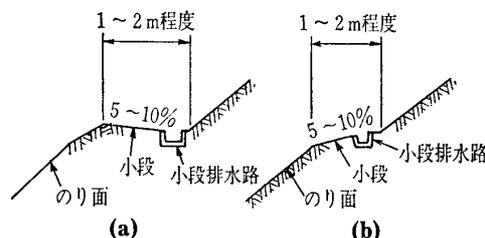


図-4.26 小段の横断勾配

講座

表-4.8 地山の土質に対する標準のり面勾配

岩質・土質	切土高	急傾斜地崩壊防止工事技術指針	国鉄土構造物設計施工指針	道路技術基準	改正労働安全衛生規則解説	横浜市宅地造成工事設計施工基準
岩盤	硬岩	1:0.3~0.8 (0.5)	1:0.3~0.8 (0.5)	1:0.1~0.3 (0.2)	0 垂直 5 m 75° ↓ (約 0.3)	0 5 m 80° 60°
	中硬岩	1:0.5~1.2 (0.8)	1:0.8~1.0 (0.9)	硬 ↓ 軟 1:0.3~0.6 1:0.5~1.0 (0.6)		
	軟岩		1:0.8~1.2 (1.0)	硬 ↓ 軟 1:0.3~0.6 1:0.8~1.2 (0.7)		
硬く締まった土砂・普通土	礫混じり土	0 1:0.8~1.0 5 1.0~1.2 10 m (1.0)	1:1.0 ? 1:1.5 (1:1.3)	1:1.0 1:0.8~1.0 ↓1.0~1.5 (1.1)	0 垂直 2 75° 5 m 60° ↓ (約 0.5)	0 45° 5 m 30°
	砂・砂質土	0 1:0.8~1.0 5 1.0~1.2 10 m (1.0)				
	粘土・粘質土	0 1:0.8~1.0 5 1.0~1.2 10 m (1.0)				
締まっていない土砂・崩れやすい土砂	礫混じり土	0 1:1.0~1.2 5 1.2~1.5 10 m (1.2)	1:1.5~1.8 (1.6)	1:1.5 (1.5)		0 45° 5 m 30°
	砂・砂質土	0 1:1.0~1.2 5 1.2~1.5 10 m (1.2)				
	粘土・粘質土	0 1:1.0~1.2 5 1.2~1.5 10 m (1.2)				
	岩塊混じり粘質土	0 1:1.0~1.2 5 1.2~1.5 10 m (1.2)				

注 1) () 内数字は平均的勾配。

③ 縦排水路工：縦排水路は通常約20m間隔に設置される。一般に少なくとも横排水路の断面よりは大とする。施設のすべりを防止するため、約3mおきにすべり止めを設け、水路法線はできるだけ直線とし、やむをえず曲線とする時は、外曲側の側壁を高上げる。なおいっ水による浸食を防止するため水路の両側に傾斜したコンクリート張、石張を施工するのが望ましい。また縦排水路がほかの水路と合流する箇所、勾配の変化箇所、流向の変化する箇所には深さ15cm以上の土砂だめのある集水ますを通常設ける。流末は既設の排水路に接続させるものとするが、通水断面が十分でない場合には、集水区域を考慮の上必要に応じて改修する。

② 切土工

1) 目的と一般的留意事項 不安定な土塊あるいは斜面全体のバランスを考慮して地盤を切り斜面の安定化をはかることを目的とする。あらかじめ詳細な土質、地下水状況を把握することは困難であるので、施工中に判明した土質、ゆう水等に適宜柔軟に対応する必要がある。

2) 切土勾配 自然斜面は不均一な地質より成立っているため、安定勾配を正確に把握することは困難なので一般に表-4.8に示す標準切土のり勾配を参考に計画する。

3) 切土のり面の形状

④ 小段：小段は以下のとおりとする。

(i)土質よってのり勾配を変化させる時は一般に小段を設ける。(ii)小段は標準として直高5~10m間隔とする。(iii)小段の幅は1~2mを標準とする。(iv)小段には原則としてのり面保護工を施工する。(v)小段の横断勾配は一般に図-4.26のようにする。

⑤ のり肩処理：のり肩部は自然地形と施工面となじみを良くするため、図-4.27のようにラウンディングをする。のり肩部には原則として適当な余裕幅をとって、有害な立木を除去し排水路、フェンス等を設置する。

③ 植生工

1) 目的と一般的留意事項 植生により、雨水による浸食の防止、地表面の温度変化を緩和し、凍上を防止し、

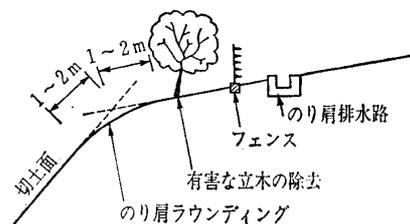


図-4.27 のり肩処理

表-4.9 植生工に使用する主な草本の性質

種類	純度 (%)	発芽率 (%)	平均粒度 (粒/g)	気候的条件		土 壤 的 条 件			環 境 的 条 件		発芽の早遅	休 眠 期 間 (月)	摘 要
				耐寒性	耐乾性	耐酸性	肥沃性	耐湿性	耐陽性	耐陰性			
パーミューダグラス	97	85	3530	×	◎	○	肥	○	◎	○	遅	10~4	葡萄性, 多年性
ケンタッキーブルーグラス	85	80	3850	◎	×	○	//	○	○	○	//	10~2	// //
クリーピングレッドフェスク	96	80	1130	◎	○		瘦	×	×	○	//	—	半葡萄性 //
チューイングフェスク	96	80	1130	◎	◎	○	//	×	○	○	//	—	叢 性 //
ケンタッキー31フェスク	97	85	440	◎	×	○	肥	○	○	○	中	10~1	// //
ウィーピングラブグラス	95	85	3300	×	◎	○	瘦	×	◎	×	早	6	// //
オーチャードグラス	85	80	1180	○	○	○	肥	○	○	◎	中	10~1	// //
イタリアンライグラス	98	90	490	◎	×	○	//	○	○	×	早	10~1	// //
ペレニアルライグラス	98	90	500	○	×	○	//	○	○	○		10~1	// 単年性
レッドトップ	90	80	11000	◎	○	◎	瘦	◎	○	○	早	—	葡萄性, 多年性
サンドラブグラス	70	65	3500	×	◎	○	//	○	○	×	中	3	叢 性 //
チモシー	99	85	2710	◎	×	○	肥	○	○	×	中	—	// //
リードカナリーグラス	96	60	1200	◎	×	◎	//	◎	○	○	遅	—	// //
サブクローパー	99	90	150	○	○	○	//	○	○	×	—	—	葡萄性 //
ホワイトクローパー	96	90	1500	○	○	○	瘦	○	○	×	早	—	// //

注) ◎: 適するもの, ○: 中程度のもの, ×: 不適なもの, 早: 4日以内発芽, 中: 4~7日間で発芽, 遅: 発芽まで7日間以上。

根系によって表土を緊縛することによって崩落の抑制を行い, かつ斜面周辺の自然環境との調和をはかることを目的とする。

植生工は活物を利用するため特に生育に適した条件(気候, 土壌等)を考慮する必要がある。一般にたね吹付工, 植生マット工, 植生板工, 植生袋工, 植生穴工, 植生筋工, 筋芝工, 張芝工に区分される。

2) 適性な植物の選択 主な植物とその適性について表-4.9に紹介する。

3) 土質と工法 一般的には土質と工法の目安として表-4.10を参考とする。

④ 張工

1) 目的と一般的留意事項 斜面の風化, 浸食および軽微なはく離, 崩落を防止することを目的とする。この工法は単独で用いられるほか, のり砕工の中詰めとしても用いられる。ゆう水の多い所は十分な排水対策を実施する。原則として内径5cm以上の水抜き穴を2m²に1個設けるものとする。なお, 一般に張工は石張工, コンクリートブロック張工とコンクリート張工に区分される。

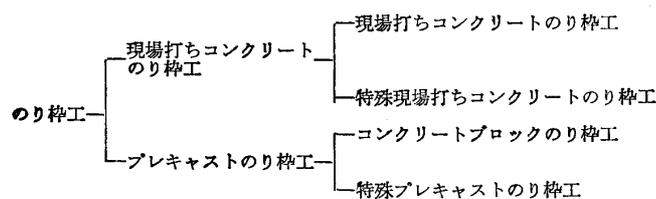
2) 石張工およびコンクリートブロック張工 のり勾配が1:1.0より緩い場合に用い, 原則として直高5.0m以内, のり長7.0m以内とする。石張工には控30~40cmの割石, 雑割石を使用し, 原則として練張とする。コンクリート張工の裏込めコンクリート厚は5~10cmを, 下敷材料は切込み砕石, 栗石を使用し厚さは10~24cmを標準とする。また, のり面の縦方向に10m間隔で隔壁工を設けることが望ましい。

3) コンクリート張工 比較的急な岩質斜面における風化によるはく離崩落を防止するものである。のり勾配は1:0.5より緩い勾配が標準であるが, 地山の状況によっては1:0.3まで計画できる。のり高は20m程度が限度である。多段で設ける時は1段ののり高は15m程度とし, 小段幅は1.0m以上とする。直高が5m以上の場合には原則とし

表-4.10 植生によるのり面保護工の選定

土 質 ・ 岩 質	工 種	
砂	張芝工, 種子吹付工, 植生マット工	
砂質土, 礫質土, 岩塊または玉石混じりの砂質土	締まっているもの	張芝工, 種子吹付工, 植生マット工 植生ネット工
	締まっているもの	種子吹付工(溝切客土または穴切客土併用) 植生袋工, 植生穴工, 植生盤工 植生ポット工
粘土, 粘性土, 岩塊または玉石混じりの粘質土, 粘土	締まっているもの	張芝工, 種子吹付工, 植生マット工
	締まっているもの	種子吹付工(溝切客土または穴切客土併用) 植生盤工, 植生穴工, 植生袋工 植生ポット工
軟 岩	種子吹付工(溝切客土または穴切客土併用) 植生穴工, 植生袋工	

表-4.11 のり砕工の分類



て基礎を設ける。一般に1:1.0程度の勾配には無筋コンクリート張工が用いられ, 1:0.5程度の急勾配には鉄筋あるいは, 鉄骨コンクリート張工を用いる。厚さは0.2~0.8mとする。また地山との一体化をはかるためのアンカーは原則として1~4m²に1本, 打込み深さはコンクリート厚の1.5~3倍が標準である。必要に応じて地山との一体化をはかる, あるいはすべり止めのため地山側にリブを設ける。打継面はのり面に垂直とし, 打継鉄筋(直径9~22mm, 長さ50cm程度)を設置することが望ましい。天端および小口部は, 背後に水がまわらないように地山に十分巻き込むものとする。

⑤ のり砕工

1) 目的と一般的留意事項 のり面に現場打ちコンク

講 座

リート,あるいはプレキャスト部材によって枠を組み,その内部を植生,コンクリート張等で被覆することによって,のり面の風化,浸食防止および表層崩壊を抑制することを目的とする。のり枠工は一般に表-4.11に示すように分類される。一般に斜面勾配が1:1.0より急な場合で土質が良好でない場合,あるいは節理,割れ目等の発達した地盤の場合に現場打ちコンクリートのり枠工を採用し,1:0.8より緩い場合にはプレキャストのり枠工(特殊プレキャストのり枠工の一部を除く)(アンカー付格子状擁壁工等)を採用している。さらに1:1.5より緩で,斜面が短い場合は特殊プレキャストのり枠工の一部(鋼製,樹脂製,木製等)のり枠工を一般に採用する。枠内は植生工の可能な場合は植生工で,不可能な場合はコンクリート張,石張,コンクリートブロック張で中詰めを行うものとする。コンクリート等で中詰めした場合は,内径5cm以上の水抜き穴を2m²に1個以上設けるものとする。ただし,コンクリートブロックのり枠工の場合は,内径7.5cm程度のものを1m²に1個以上とする。

2) 現場打ちコンクリートのり枠工 現場打ちコンクリートのり枠工は,一般に地形あるいは施工条件等の制約を受け,切土のり面の安定勾配がとれない場合に用いられる。

部材の断面は外力が想定される時はこれに基づいて設計するが,一般に幅および厚さは0.3~0.6mとする。けたの間隔は一般に1~5mとする。通常勾配が急になるほど,高さが高くなるほどけた厚を広く,けた間隔は狭くし,けたに鉄筋を入れるようにする。原則として横幅約20mごとに伸縮目地を入れ別ブロックとする。けたには必要に応じてすべり止め杭,あるいはアンカーを設置する。のり枠工の下端には基礎工を設け,岩盤以外の場合には根入れを30cm程度とする。けたと基礎工は鉄筋等を入れて一体化をはかる。

3) 特殊現場コンクリートのり枠工 現場打ちコンクリートのり枠工は,斜面で型枠の組立て,解体,鉄筋組立,コンクリート打設等の施工が困難である。これを改良し,施工速度を高め,安全施工を行うという目的で改良されたものが特殊現場打ちコンクリートのり枠工である。これにはフリフレーム工法,コアフレーム工法,ストロングフレーム工法等がある。

4) コンクリートブロックのり枠工 のり長は原則として7m以下とし(直高では5m程度以下),7mを超える場合は,のり面の縦方向に隔壁工を10mごとに設置する。土質によっては1:0.8のり面勾配程度まで採用できるが,原則として1:1より緩勾配で採用することが望ましい。のり下端よりおおむね1/3のり長までの部分は各部材を緊結して一体化をはかることが望ましい。

5) その他プレキャストのり枠工 これにはアンカー付格子状擁壁工とコンクリートブロックのり枠の代わりに

鋼製,樹脂製,木製等のブロックを使用したのり枠の2種類に大別できる。

⑥ コンクリート・モルタル吹付工

1) 目的と一般的留意事項 斜面をコンクリート,あるいはモルタルで被覆することによって,地表水,外気,雨水等から遮断し,斜面の風化,浸食を防止することを目的とする。風化が進みやすい岩質とかあるいは土丹等植生による被覆が困難な場合で,ゆう水の少ない箇所に用いられる。吹付け工法には乾式工法と湿式工法があり,最近では湿式工法が多く用いられている。

2) 設計と施工

(i) 吹付厚:モルタル吹付は5~10cm,コンクリート吹付は10~25cmで,特に凍結,融解を繰り返す地方では10cm以上が望ましい。

(ii) 補強鉄筋,金網:吹付工の耐久性,安全性を確かなものとするため,吹付層の中間付近に原則的に鉄筋および金網を設けるものとする。鉄筋は異形鉄筋 $D_9 \sim 22$ mmを20~100cmの間隔に配筋する。金網は一般に径2~3.2mm,網目50~100mmのものを設置する。さらに一般に異形鉄筋 $D_{16} \sim 22$ mm,長さ50~100cmのアンカーピンを0.5~2本/m²設置して固定し(D_{16} , $l=1.0$ m, 0.5本/m²を標準),さらに金網は一般に異形鉄筋 $D_{10} \sim 13$,長さ15~30cmの補助アンカーピンを1~3本/m²(D_{10} , $l=30$ cm, 1本/m²を標準)設置して固定する。吹付厚を計測する検測ピンは1本/2m²で通常設置する。

(iii) 伸縮目地:気温あるいは水和熱による膨張・収縮によるひび割れを防止するため斜面の縦方向の伸縮目地を10~20m間隔で必要に応じて設置する。

(iv) 排水:吹付工の効果を向上させるために排水は重要な要素である。水抜き穴は内径50mm以上の水抜き穴を2m²に1箇所以上設ける。さらにのり肩から地表水が浸透しないように金網の先端を地山に30cm程度筋掘りして巻き込む。またのり肩,のり尻には排水路を設置する。

(v) 材料の配合:モルタル吹付工の場合は1:3~1:4(C:S),水セメント比(W/C)45~50%が標準である。コンクリート吹付の場合は一般に1:3:1~1:5:2(C:S:G)W/C 40~50%である。吹付斜面が高く,圧送距離が長い場合には,圧送しやすい1:4:1,W/C=50%のものを用いる。

⑦ 擁壁工

1) 目的と一般的な留意事項 擁壁工は崩壊押え盛土の抑止,のり面保護工の基礎,発生した崩壊土を待ち受けるという目的を有する。主に使用される擁壁の種類は, i)石積ブロック積擁壁, ii)重力式コンクリート擁壁, iii)もたれ式コンクリート擁壁, iv)コンクリート枠擁壁がある。擁壁設置のための掘削は斜面を一時的にも不安定にするので,設置位置,施工方法について十分留意する必要がある。

⑧ アンカー工

1) 目的と一般的留意事項 節理、き裂、層理のある岩盤あるいは不安定な表層土を直接安定な地盤に緊結して崩落を防ぐことを目的とする。一般にアンカー工は斜面上下に人家が近接し、切土工等の安定した工法が採れない時現場打ちコンクリートのり枠工、コンクリート張工、コンクリート擁壁工等と併用される。また、既往施設の補強用として用いられる。このほかすべり止め(地山一体化)アンカーがありこれは一般にのり枠等の構造物から地盤に0.5~2m程度の鋼棒を差し込み鋼棒の曲げとせん断抵抗力により構造物のすべり止めと地山の一体化をはかるものもある。地下水の高い箇所はアンカーが腐食し望ましくない。

⑨ 落石防止工

1) 目的と一般的留意事項 落石防止工は落石発生を未然に防ぐ、あるいは崩落してきた落石を止めて災害防止をはかることを目的とする。落石防止工は落石予防工と落石防護工よりなり、前者は落石の発生を未然に防ぐため転石の除去、固定を行う。後者は崩落してくる転石を斜面下部あるいは中部で受け止めるものである。落石の及ぼす外力の算定は、落下位置、落下物の大きさ、落下径路とその粗度等の推定が困難であるため明確に行えず、過去の経験をもとにする。落石は容易に除去できればこれが最適な工法である。これが困難であれば発生源で抑止することが次善の対策と考えられる。地形が急峻で直接抑止が困難である、あるいは落石発生箇所が不確定な場合に落石防護工を施工する。

2) 落石予防工 落石予防工には落石の原因となる転石等を除去する切土工、あるいは除石工がある。除石工はブレーカー、あるいは膨張剤等を使用して大転石は小割して搬出するものとする。転石等の足元の浸食防止、直接抑止のため根固工、編柵工等を、き裂の入った岩盤の崩落防止のためコンクリート吹付工、アンカー工法を施工する。

3) 落石防護工 落石発生源から人家に至る斜面途中、あるいは斜面下部に設ける落石防止柵工、落石防止壁工、落石防止網工、あるいはポケット式落石防止網工等がある。落石防止柵工は、①ワイヤーロープ金網式(H鋼を支柱としそれにワイヤーロープ金網を取付けたもの)②H鋼式(H鋼を支柱としH鋼の横バタおよびエキスパンドメタルを取付け通常古タイヤ、砂のクッションを設ける)があり、ワイヤーロープはH鋼よりも伸び性能が良いため落石を柔軟に補足するがH鋼は曲り、折損が多くこのため支柱にステをとる等考慮する。ワイヤーロープの間隔は通常35cm以下が望ましい。斜面勾配が40°以上になると斜面途中に設置するのが困難となることが多い。また支柱部分のコンクリートのかぶりは一様に20cm程度以上、また支柱の建込みは、深さ30cm以上とすることが望ましい。

⑩ その他工種

1) 工法の種類 杭工、土留め柵工、編柵工等も使用される。杭工は地すべり性崩壊地で採用されており、3.5

地すべり防止対策を参照されたい。土留め柵工は表層土厚が2.0m以下の斜面でH鋼等の曲げ強度を計算して土留めを行うものである。編柵工は薄い表層土の土留め、浸食防止を目的とし、一般に植生工の補助として用いられる。

参考文献

- 38) 齊藤迪孝・上沢 弘：人工降雨による砂質盛土の崩壊と排水による防止効果に関する実験，鉄道技術研究報告，654，1968.
- 39) 山村和也・久染勝行・川口丸雄：降雨実験からみた斜面の安定解析法，土木技術資料，15，3，1973.
- 40) 八木則男・矢田部龍一・山本浩司：雨水浸透による斜面の崩壊機構，第14回日本道路会議，1981.
- 41) 西田義親・八木則男・二木幹夫・稲寺 隆：雨水浸透による間隙水圧の発生を考慮した斜面安定計算法，金沢大学工学部紀要，9，1，1975.
- 42) 芥川真知・風間秀彦・中島健一：降雨の浸透を考慮した砂質斜面の安定性について，第18回土質工学研究発表会，1983.
- 43) 赤井浩一・大西有三・西垣 誠：有限要素法による飽和・不飽和浸透解析，土木学会論文報告集，No. 264，1977.
- 44) 安江朝光：斜面崩壊対策の現状，昭和51年度土木研究所講演会講演集，1977年3月.
- 45) 田中 茂：浸透・地下水に関して，豪雨時における自然斜面の安定に関するシンポジウム，1978.
- 46) 黒田和男・豪雨時における斜面崩壊と地質，豪雨時における自然斜面の安定に関するシンポジウム，1978.
- 47) 日本道路公団編：設計要領第一集，1970年1月.
- 48) 日本道路協会編：道路土工一排水工指針，1979年4月.
- 49) 日本国有鉄道建設局編：建造物設計標準解説(土構造物)，日本鉄道施設協会，1978年11月.
- 50) 中村二郎編：砂防・地すべり防止・急傾斜地崩壊防止施工法，山海堂，1978年11月.
- 51) 土質工学会編：切土ノリ面，1976年12月.
- 52) 日本道路協会編：道路土工一のり面工，斜面安定工指針，1979年4月.
- 53) 日本河川協会編：河川砂防技術基準(案)，計画編，山海堂，1976年6月.
- 54) 日本河川協会編：河川砂防技術基準(案)，設計編，山海堂，1976年6月.
- 55) 日本河川協会編：河川砂防技術基準(案)，施工編，未発刊.
- 56) 日本河川協会編：河川砂防技術基準(案)，設計編，未発刊.
- 57) 日本住宅公団宅地事業部工事課編：土木工事設計要領の手引(案)，整地編，1980年4月.
- 58) 土質工学会編：設計施工基準集(設計編)，土工，1969年10月.
- 59) 日本住宅公団建築部土木課編：集団住宅団地土木施設設計要領(案)，VIのり面・擁壁，1977年5月.
- 60) 日本道路協会編：道路土工一のり面工・斜面安定工指針，1979年4月.
- 61) 日本材料学会編：斜面安定工法(指針と解説)鹿島出版会，1976年7月.
- 62) 山田・渡・小橋：地すべり・斜面崩壊の実態と対策，山海堂，1971年10月.
- 63) 建設業労働災害防止協会：切取工事の安全，1979年1月.
- 64) 新田伸三・小橋澄治：土木工事のり面保護工，鹿島出版会，1976年7月.
- 65) セメント協会編：ショットクリート工法，1972年3月.
- 66) 土質工学会編：アースアンカー工法，1977年11月.
- 67) FIP 施工委員会プレストレスグラウンドアンカー分科会：Federation International De La Précontrainte (国際プレストレス連盟)—FIP規格，1973年.
- 68) Deutsche Industrie—Norm: DIN-4125，1976年.
- 69) 日本道路協会編：道路土工一擁壁，カルバート，仮設構造物指針，1977年1月.
- 70) 全日本建設技術協会編：土木構造物標準設計2，1977年6月.
- 71) 全国地すべりかけ崩れ対策協議会：急傾斜地崩壊対策事業の手引，昭和55年版，1980年3月.
- 72) 全国治水砂防協会：斜面崩壊防止工事の設計と実例.
- 73) 矢野・釣谷・渡・瀬尾・池谷：砂防，地すべり防止，急傾斜地崩壊防止工事ポケットブック，山海堂.