

緑の斜面づくり対策の調査について

前田憲章*

1. はじめに

わが国においては、地形・地質及び気象といった自然条件、さらには稠密な土地利用といった社会的条件の両面において、がけ崩れ災害に対して脆弱な国土条件にあり、毎年多くのがけ崩れ災害が発生している。

このため、危険個所においては住民の安全確保を第一とし迅速な整備が推進されてきている。しかし近年急傾斜地を貴重な緑の空間として保全・活用することに対するニーズが強まるなど、防災対策のみならず多面的な視野に立った取り組みを展開推進することに社会的な期待が高まりつつある。

このような背景から、平成9年度に「緑の斜面づくり工法検討会」が設置され、安全と環境の保全を両立させることを基本に、急傾斜地斜面の植生の存在を考慮する斜面安定の研究と適用工法の検討を行ってきた。

その結果、樹木根系の土壌緊縛効果を現地試験から数量的に把握することで地盤の強度増加を見込む斜面安定解析を試みた。一方、適用工法については、補強土工法をはじめ、提案されているそれぞれの設計手法を整理した。

本稿では、急傾斜地における土壌層と樹木根系の実態を探る試験方法として土壌貫入計を用いた試験の結果と施工後の植生追跡調査についての研究成果



写真-1 従来工法による施工状況【長野県：下川手地区】



写真-2 緑の斜面工法を採用した施工状況【長野県：下川手地区】

* (財)砂防・地すべり技術センター斜面保全部主任研究員

を報告する。

2. 緑の斜面づくり対策の概要

(1) 緑の斜面づくり工法と植生保全

緑の斜面づくりとは、急傾斜地崩壊防止対策において、斜面安定の確保を基本に景観や自然環境に配慮し、地域の歴史・文化や生態系等の特色を生かせるよう、工法を工夫して斜面上の植生を保全してゆく総合的な急傾斜地崩壊対策である（図-1）。

(2) 緑の斜面づくりの対策の流れ

緑の斜面づくり対策では、従来対策で目標とした斜面安定に加えて、植生の保全を考慮する必要があるため、調査から維持管理までの各段階において新たな視点が必要となる（図-2）。

(3) 緑の斜面工法の検討フロー

植生・斜面安定・工法選択等の検討フローについて図-3（38頁）に示す。

3. 土壌貫入試験結果の利用

(1) 土壌貫入計による調査

斜面安定に対する植生根系の補強効果や植生を保全する対策を検討する場合、樹木根系による補強効果の影響する層厚を面的に把握することが重要である。

現在、この層厚については、根の引き抜き試験調査（根系の平面方向伸長域の推定・根系の断面方向伸長域の推定）、及び土壌断面調査（土性・構造・堅密度・水湿状態）と簡易貫入試験データなどを参考に推定している。

根の引き抜き試験や土壌断面調査は原位置の詳細な情報を得られる利点があるが、掘削や伐採の必要があり、土壌層分布状況を把握するためには、これらを補完する簡易かつ精度の良い調査法が有効である。

今回使用した土壌貫入計は軽量

であるため、現場での取り扱いが容易で、試験値がその場でデジタル表示されるという利点もある。その機能と精度については、法面緑化分野で数多い研究と実績があり、今回、自然斜面での土壌層の面的な分布域を捉える補完調査として、現地試験を行った。

(2) 調査例【岡山県：元組地区】

調査値の地層は、表土ないしゆるんだ山砂利層と締まった山砂利層である。代表的な樹種であるウバメガシなどの根系発達域について土壌貫入計で現地試験を行った（図-4、写真-3 40頁）。

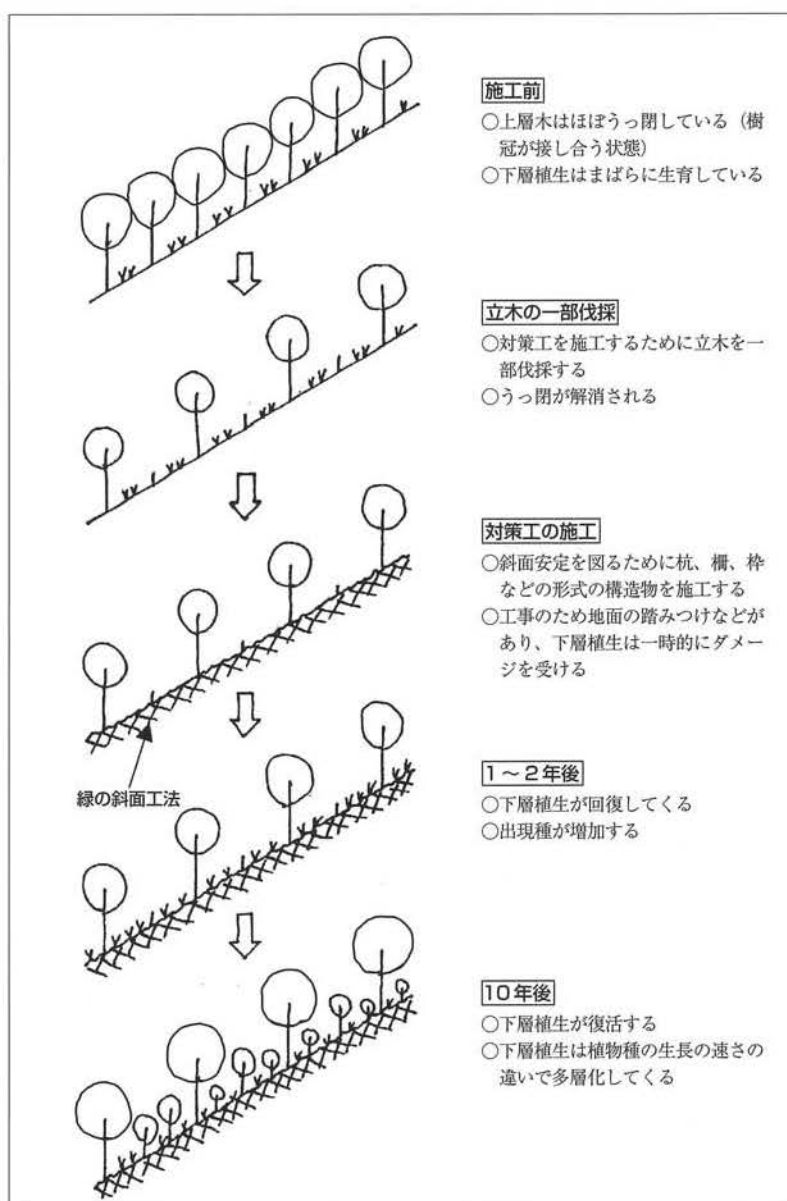
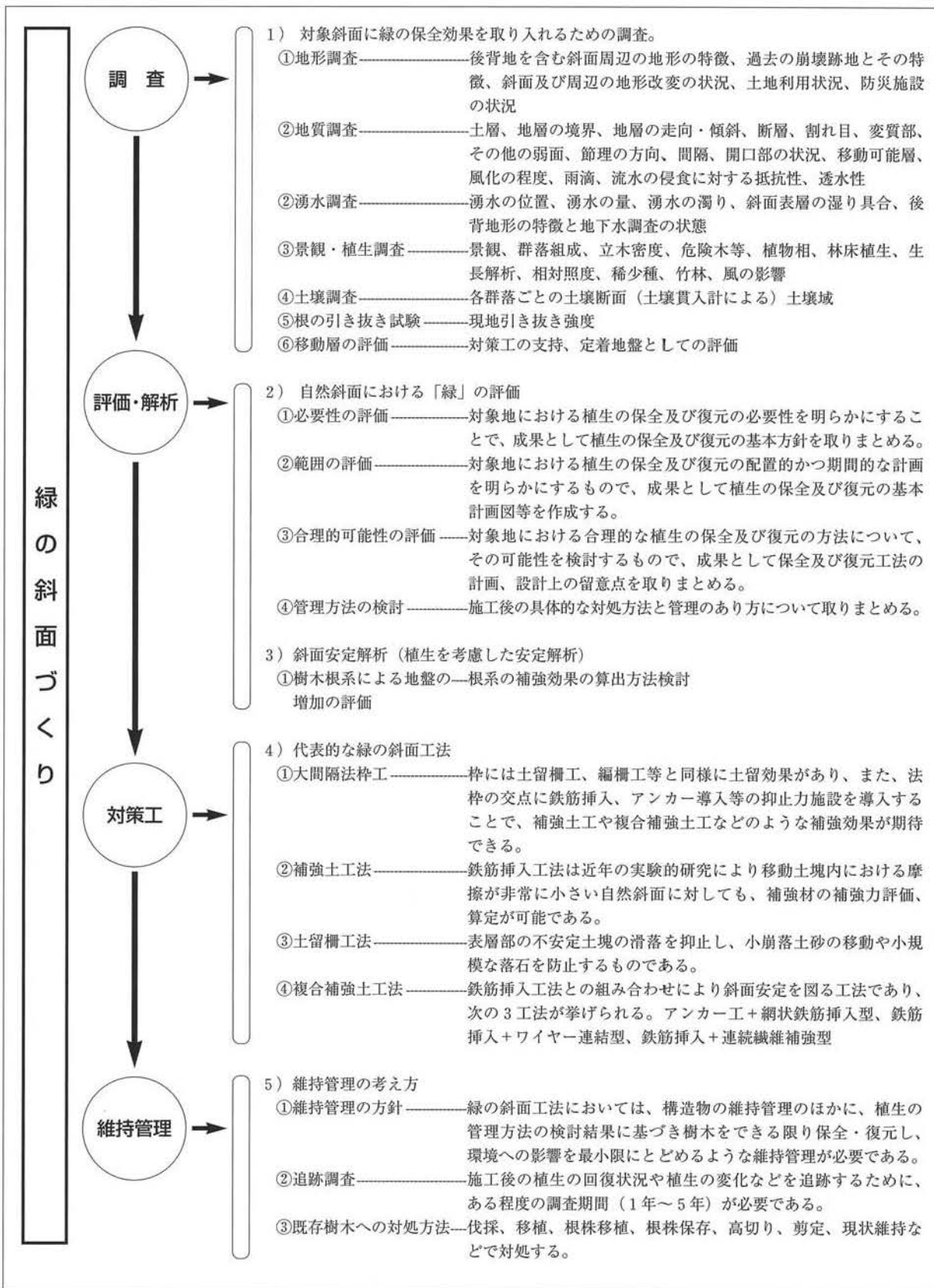


図-1 緑の斜面づくりにおける植生保全の模式図

図-2 緑の斜面づくりの対策の流れ



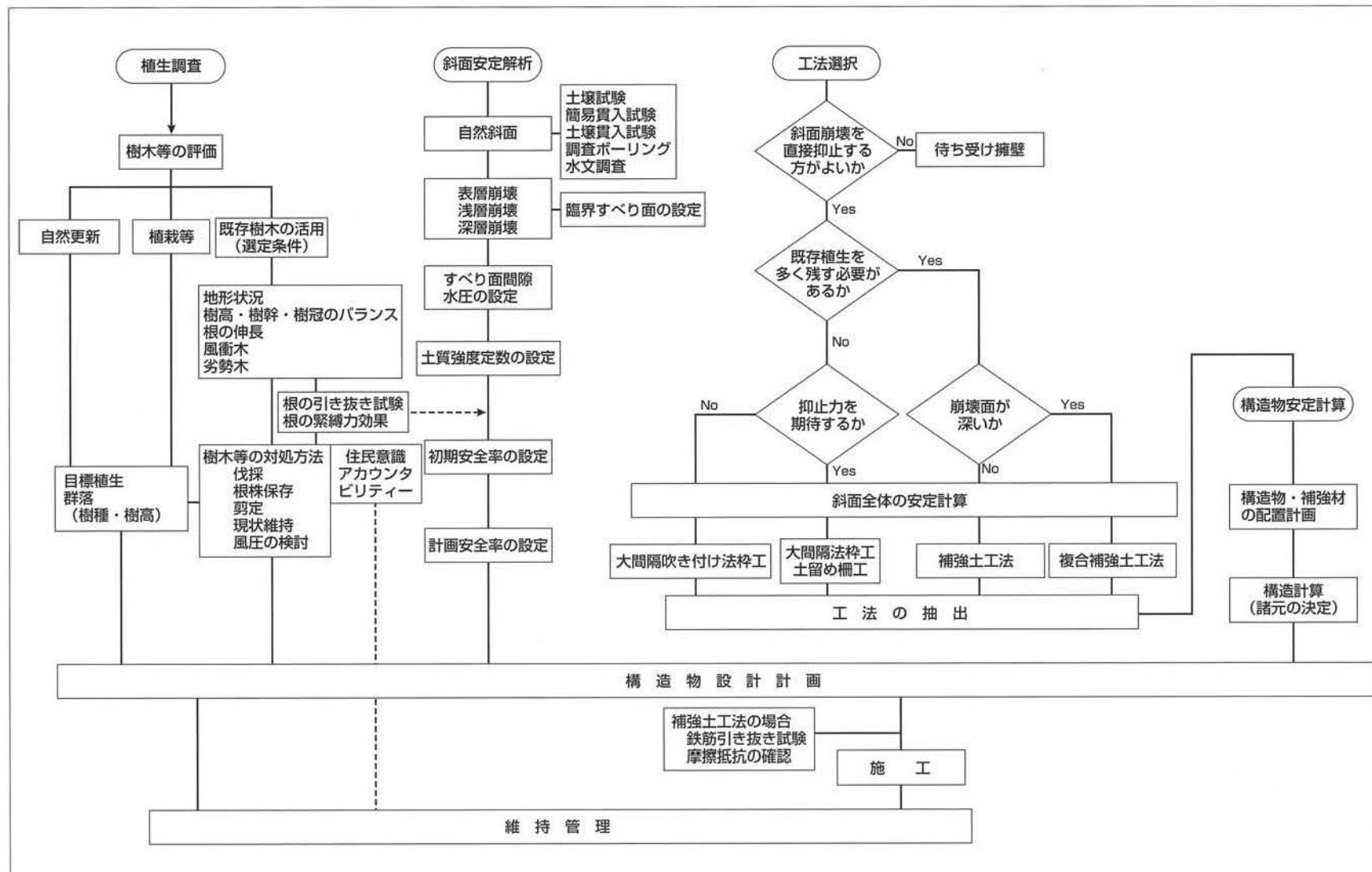


図-3 植生・斜面安定・工法選択等の関係フロー

樹木直近で実施したNo. 2の結果では、土層深(約40cm)で急激に(Nh値100以上)増加し、測定限界の値まで達した。

一方、調査木上方の試験箇所でも土層深(約60cm)で急激に(Nh値100以上)増加し、測定限界の値まで達した。これらの事実を確かめるため、さらに樹木根系網を掘り起こし観察による確認したところ土壌貫入計で把握された深さにおいて、根系の伸長方向が変わっていることが判明した(写真-4、図-5～7 40頁)。

このほかに3箇所の根の引き抜き試験地付近で、同様に土壌貫入計による試験値と土壌断面調査(*)による根系の分布深を比較検証してみると、土壌貫入試験値(Nh値)が急激に変化している所より下には根系網がないことが確認される(写真-5～7、図-8～13 41頁)。

これらをもとに、本調査地で土壌貫入計による根

系発達域(土壌域)の断面調査(*)を行った。その結果、過去に造園・緑化分野で多数のデータによる根系発達が可能な経験値(概ねNh値20以下)と同じく、根系発達域(土壌域)としてやはり図-15(42頁)ではS 20～40に境界がある。これらの測定値から図-14(42頁)のように土壌層の分布状況が断面図上で推定できる。

今回の調査では、樹木生育基盤内の根系発達層(土壌域)の微妙な貫入抵抗の変化を土壌貫入計で捉えることができ、根の侵入可否についてもS値との対応を推定することができた。しかし、これらの調査方法は、自然斜面の急傾斜地ではデータも少なく、今後、地形・地質・樹種など条件の違った場所でのデータを集める必要がある。また、これらの試験値はできるだけ簡易貫入試験や土壌試掘調査でチェックを行い、総合的に調査精度を高める調査方法の研究を行っていく必要がある。

(*) 土壌断面調査

土壌調査は、地形・植生などから判断して、一定の区域を代表していると思われる地点を抽出し実施する。一般的な土壌調査は、幅、深さとも1mを目安としているが、対象斜面が危険斜面であることを考慮し、適宜根系分布を把握できる程度の規模とする。調査は、A層(表層)とB層の厚さの把握、土壌中の根系分布(特に直径2cm以上)の把握、土壌構造、密度、水湿状態の把握を行う。

参考

造園・緑化分野では、土壌貫入試験の測定結果を一般にS値と称する1打撃当たりの貫入量(cm)で評価している。またS値については根系発達との関係で数多くの調査実績があり、下表のような判断基準値が得られている。

なお、S値のNh値への換算、Nc値との関係は次のようになる。

$$0.5 \xrightarrow{\text{S値 (cm/1打撃当たり)}} \xrightarrow{\text{Nh値 (10cm当たりの打撃回数) (10/s値)}} 20 \xrightarrow{\text{Nc値 (簡易貫入計)}} \text{Nc} = \frac{\text{Nh}}{(\text{NhとNcの比率})}$$

参考資料

表-1 長谷川式土壌貫入計の判断基準値(関東ローム等の火山灰土)

S値 (cm)	対応する山中式土壌硬度 (mm)	根の侵入の可否	硬さの表現
0.7以下	27以上	多くの根が侵入困難	×× 固結
0.7～1.0	27～24	根系発達に阻害あり	× 堅い
1.0～1.5	24～20	根系発達阻害樹種あり	△ 締まった
1.5～4.0	20～11	根系発達に阻害なし	○ 軟らか
4.0以上	11以下	膨軟すぎ	△ 膨軟すぎ

(出典) 建設省土木研究所環境部緑化生態研究室「植栽基盤造成技術に関する共同研究報告書」より

- (注) 1. S値というのが貫入計の1打で貫入する深さを示す。
 2. S値が1回でも1.0cm以下の数値が出たら不良ということではなく、
 ・0.7cm以下の固結層の厚さが5cm以上ある。
 ・1.0cm以下の硬い層の厚さが10cm以上ある。
 のどちらかの場合は根はその層を突き破って伸張することは出来ないという程度の目安である。



写真-3 調査地の全景写真

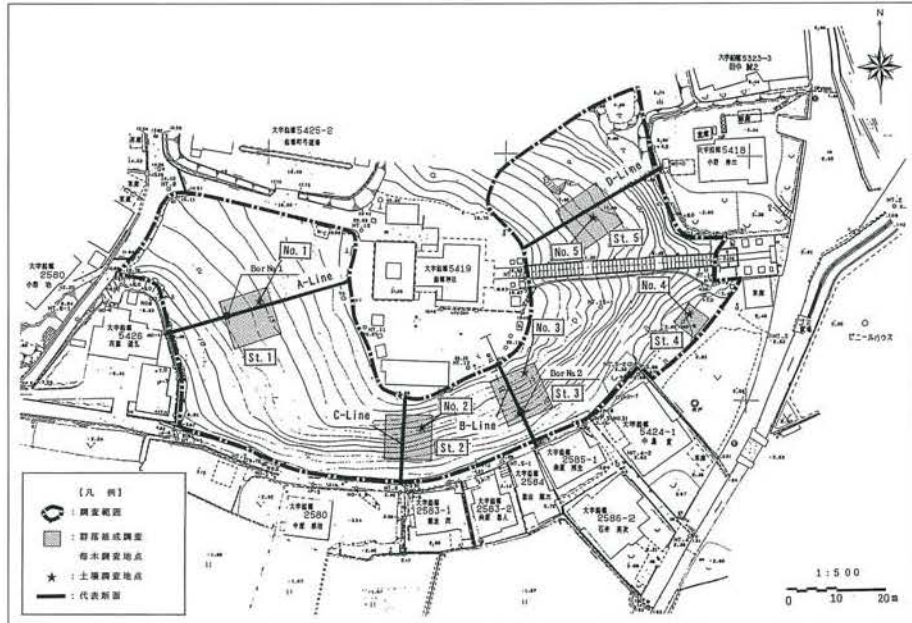


図-4 調査地平面図

(対象木：ウバメガシ 樹高6.5m、胸高直径10.0cm 地点No.2)

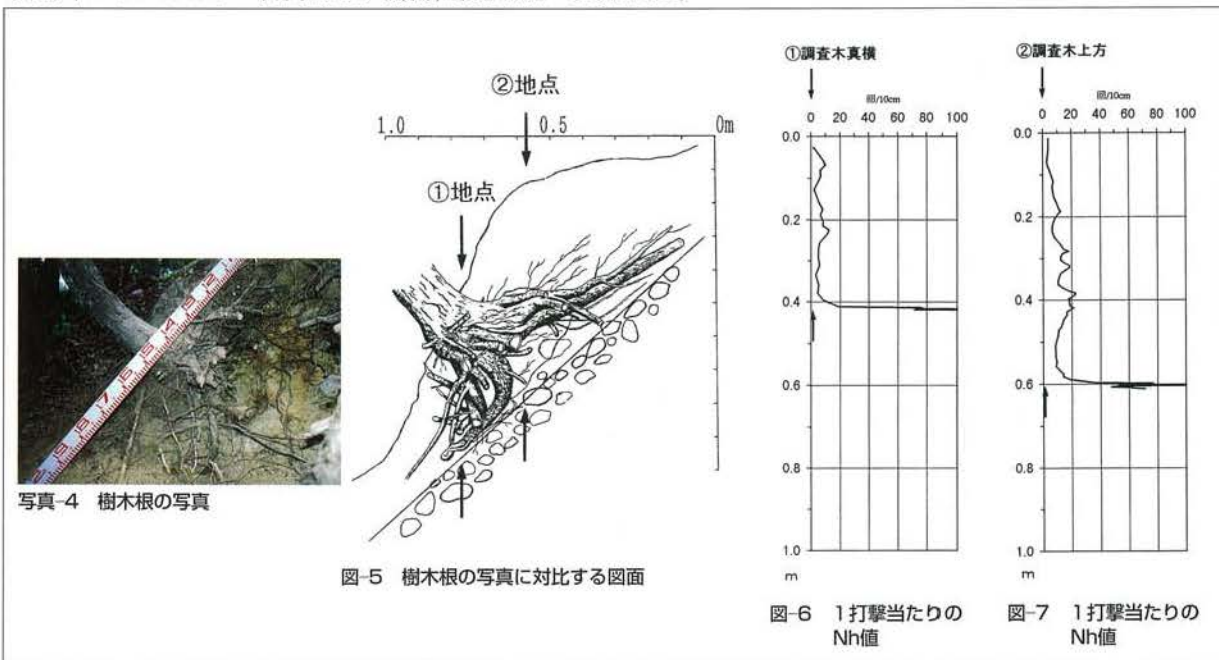


写真-4 樹木根の写真

図-5 樹木根の写真に対比する図面

図-6 1打撃当たりのNh値

図-7 1打撃当たりのNh値

根系発達域と貫入試験結果の関係

調査例【岡山県：元組地区】

[調査地点No.1の概要]

表-2

土壌型	褐色森林土
植生	クスノキ群落
生育状況	高木林(群落高:約16m)
地形	斜面中部
排水状況	良
標高	14m
傾斜/方位	17/WSW
地質	礫がち堆積物



写真-5 土壌断面調査写真

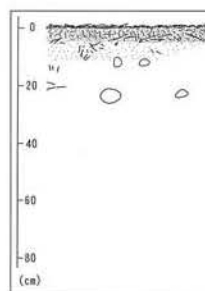


図-8 土壌断面図

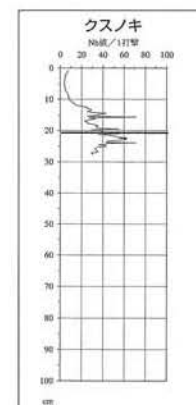


図-9 1打撃当たりのNh値

(*)

[調査地点No.3の概要]

表-3

土壌型	褐色森林土
植生	ウバメガシ-ネズミモチ群落
生育状況	高木林(群落高:約11m)
地形	斜面上部
排水状況	良
標高	14m
傾斜/方位	40/SSE
地質	礫がち堆積物



写真-6 土壌断面調査写真

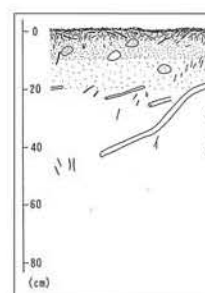


図-10 土壌断面図

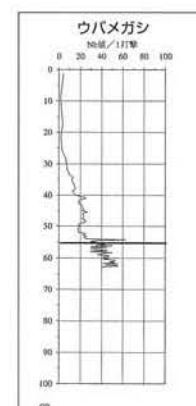


図-11 1打撃当たりのNh値

(*)

[調査地点No.5の概要]

表-4

土壌型	褐色森林土
植生	ウバメガシ-テイカカズラ群落
生育状況	高木林(群落高:約14m)
地形	斜面中部
排水状況	良い
標高	14m
傾斜/方位	20/NE
地質	礫がち堆積物



写真-7 土壌断面調査写真

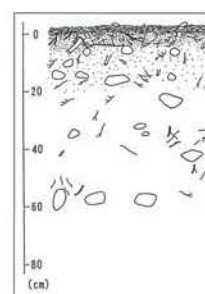


図-12 土壌断面図

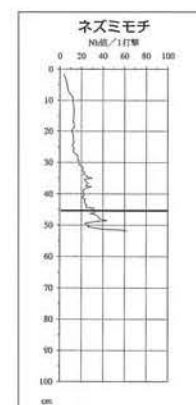


図-13 1打撃当たりのNh値

(*)

(*) 土壌調査による根系確認深度

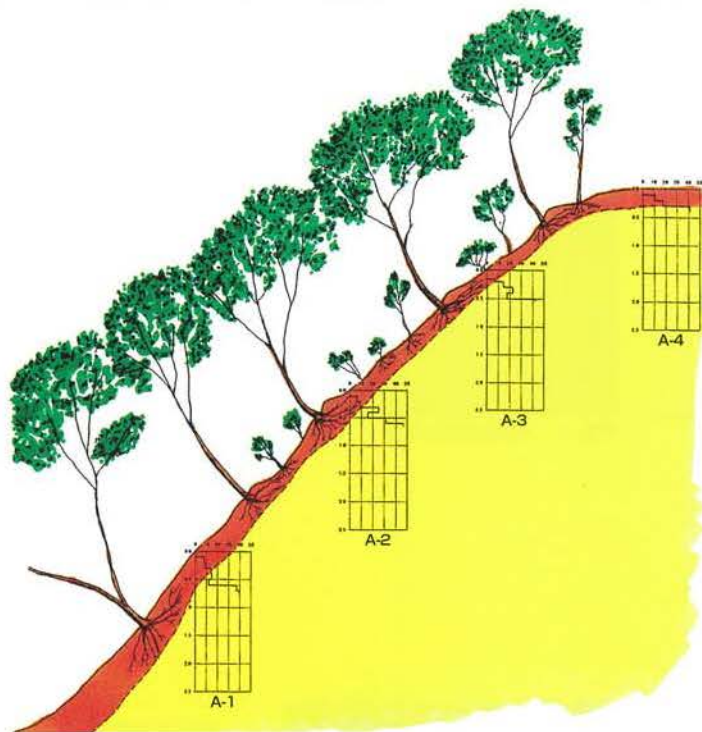


図-14 土壌推定断面図

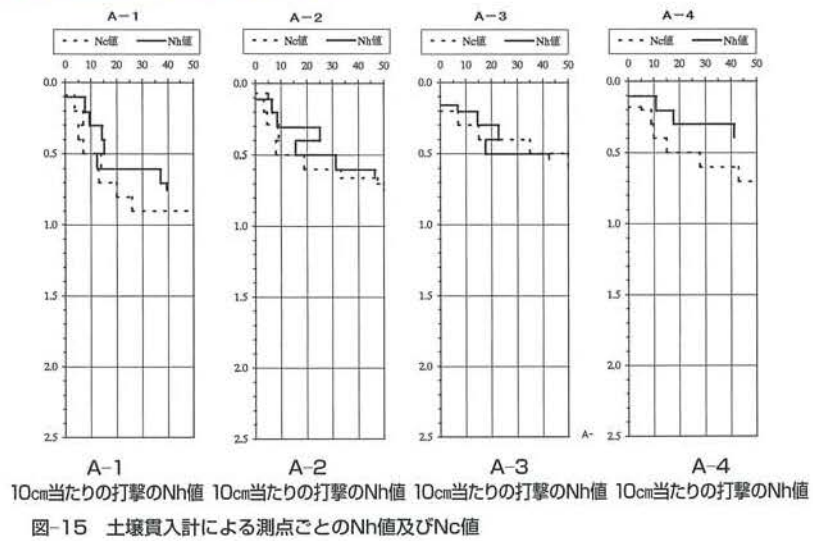


図-15 土壌貫入計による測点ごとのNh値及びNc値

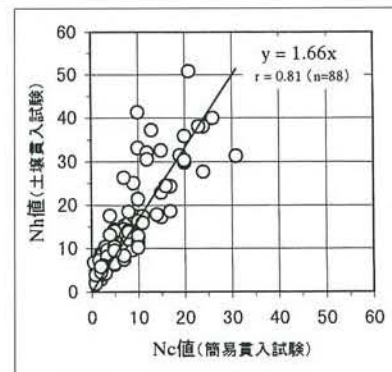


図-16 簡易貫入試験結果との相関

4. 施工事例

(1) 大間隔法砕工

砕間隔を広げることで地上部の対策工露出が少なく抑えられ、林床植生の生育に必要な照度・立木密度が得られ、景観も保持できている。



写真-8 調査例【秋田県：蒲田地区】 工法：大間隔法砕工

(2) 補強土工法

鉄筋挿入土は樹木の伐採を極力抑えた施工が可能で、周辺環境に与える影響は小さくてすむことから、施工後も従前の景観を保つことができた。



写真-9 調査例【長野県：下川手地区】 工法：鉄筋挿入工



写真-10 調査例【長崎県：日野地区】
工法：鉄筋挿入工

(3) 土留柵工

土留柵工による法肩部の崩壊抑止と表土層を編柵工で維持することで、中低木類の育成及び下層植生を増進できている。



写真-11 調査例【青森県：上小屋野地区】 工法：土留柵工+編柵工

(4) 複合補強土工法

樹木の伐採を極力抑えた施工が可能で、補強土工法と同様に周辺環境に与える影響は小さくてすむことから、施工後も従前の景観を保つことができた。



写真-12 調査例【山口県：遠ヶ崎東地区】
工法：鉄筋挿入工+ワイヤー連結型



写真-13 調査例【神奈川県：獅子ヶ谷光明寺地区】
工法：鉄筋挿入工+連続繊維補強型

表-5 追跡植生・地盤調査実施項目

調査項目	1カ年当たりの調査回数	1年目	3年目	5年目
景観調査	2回/年(春夏期・秋冬期)	○	○	○
相対照度調査	2回/年	○	○	○
林床植生調査	1回/年	○	○	○
危険木調査	1回/年	○	○	○
植物相調査	2回/年(春夏期・秋冬期)	○	○	○
群落組成調査	1回/年			○
斜面の安定度調査		○	○	○
防止工法の安定度調査		○	○	○

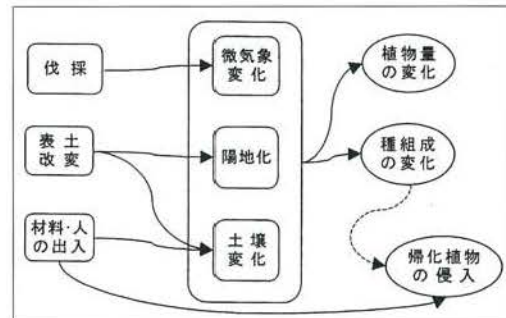


図-17 工事による植生への影響

5. 追跡調査

(1) 調査の目的・内容

緑の斜面づくり工法の施工にあたっては、工事に伴う環境や斜面安定度の変化の度合いを把握するため、植生と地盤の追跡調査を実施する。

調査内容と時期は植生の回復状況や植生の変化などを考慮して、表-5を標準としている。また、対策工事が植生に与える影響について図-17に示す。

(2) 調査例【青森県：上小屋野地区】

1) 調査地概要

当地区は、段丘地形を呈し、斜面下部の平地は住宅・畑に利用され、対策工を必要とする急傾斜地は多くの落葉広葉樹(エゾイタヤーケヤキ群集)に占められている。平成10年度に土留柵工と編柵

工が施工され、工事後の植生の追跡調査を実施し以下のとおり結果を整理した(図-18、19、写真-14(1)(2) 46頁)。

2) 景観調査結果

① 夏季景観の変化

近景を見ると、1999年7月の写真では、施工による伐採の影響で、樹冠の間隔がはっきりと判別でき、施工前に比べると、疎林状になっていることがわかる。その一方で、遠景を見てみると、樹冠は、ほぼ鬱閉しているように見え、施工の影響はほとんど視認することができなくなっている。これは、背景の樹冠及び林床植物の緑によるものであり、景観的にはほぼ施工前の状況を保全していると考えられる(写真-15(1)(2) 46頁)。

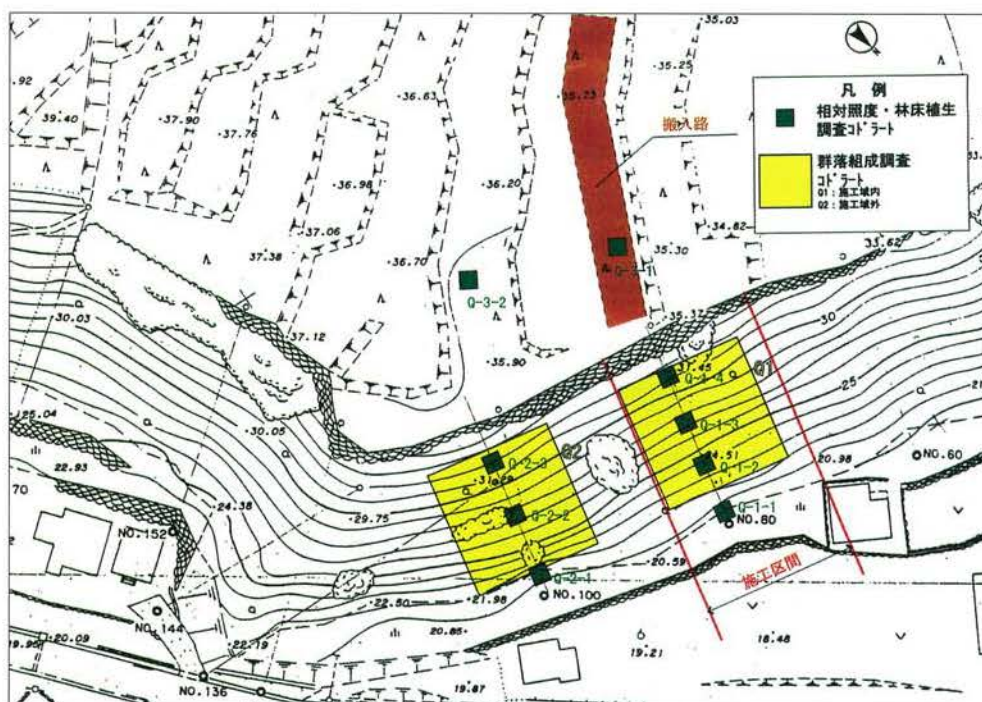


図-18 調査位置図

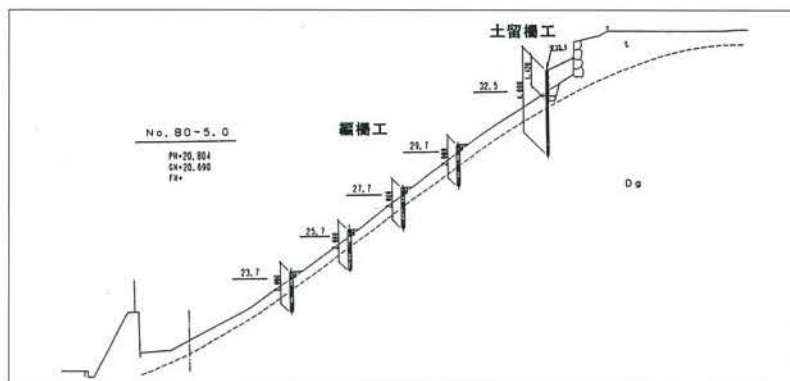


図-19 断面図

② 秋季景観の変化

秋季景観については、施工前に調査を実施していなかったことから、施工後の状況のみを示す。秋季植生については、当斜面がもともと落葉広葉樹林であるために、落葉後の状況は、ほとんど周囲の植生と変化がないが、周囲の林床と比べて、やや緑が多く残っている。これは、林内照度が増加したために、秋遅くまで残存するクズ等のつる植物や秋植物が発生しているためである。全体をとおして見れば、影響はほとんどないものと考えられる(写真-16(1)(2) 46頁)。

3) 相対照度の調査結果

相対照度調査結果を表-6 (47頁)に示す。施工後間もない今年度には、施工斜面の相対照度はどの地点においても、未施工斜面の林縁部に近い値を示している。

施工前と相対照度を比較すると表-7 (47頁)のようになる。施工斜面の相対照度はかなり上昇しており、林内では20%以上の相対照度の上昇が見られる。未施工斜面では、若干の林内照度の上昇が見られるが、これは落葉のためと考えられ、自然状態における年変動の範囲にあるものと考えられる。

また、作業道に関しては、樹木を完全に伐採したために90%近い高い値を示しており（100%でないのは、周囲の樹冠の影響を受けているため）、作業道の対象区の値が大きく変化しているのは、前年の強風によりコドラート周辺のスギ・アカマツが倒木となったためである。

4) 林床植生の調査結果

林床植生の変化を各要素ごとに示すと表-8のようになる。このうち、特に被度と出現種について以下に概要を述べる。

① 被度の変化

被度の変化は、図-20（49頁）に示すとおりであり、施工斜面は、未施工斜面に比して、増加傾向にある。ただし、この中でQ-1-1、Q-2-1はどちらも林縁部分に当たり、施工前から相対照度25%以上と明るかったために、被度が100%近くあり、施工後も被度は全く変化していない。Q-1-3については被度が減少しているが、これは柵工付近で踏み固めと上部からの砂の流出のためと考えられる。

施工斜面の被度と相対照度の関係を見ると（図-21 49頁）、Q-1-1とQ-1-3を除くと相対照度の増加に連れて被度が増加していることがわかる。

② 構成種の変化

施工斜面（Q-1-2、Q-1-3のコドラート）の種構成を表-9、10（48頁）に示す。生育種は両コドラートともに大きく変化しており、このままでは、傾向をつかむことが困難なため、出現種を以下の4つのカテゴリーに分けて構成種の変化を見た。



写真-14(1) 施工直後 1999年3月



写真-14(2) 施工後(4ヶ月) 1999年7月



写真-15(1) 近景 1999年7月



写真-15(2) 遠景 1999年7月



写真-16(1) 近景 1999年11月



写真-16(2) 遠景 1999年11月

表-6 相対照度調査結果

測定地点		相対照度			平均値
		1回目	2回目	3回目	
施工斜面	Q-1-1	37.1%	39.8%	38.6%	38.5%
	Q-1-2	26.3%	26.1%	32.2%	28.2%
	Q-1-3	36.2%	37.7%	47.0%	40.3%
	Q-1-4	55.6%	66.3%	73.4%	65.1%
未施工斜面	Q-2-1	31.7%	30.4%	35.5%	32.5%
	Q-2-2	5.3%	5.4%	5.3%	5.3%
	Q-2-3	4.3%	5.8%	5.9%	5.3%
その他	Q-3-1	89.6%	89.5%	87.2%	88.8%
	Q-3-2	30.9%	31.4%	31.5%	31.3%

Q-2-1：林縁部 Q-2-2、Q-2-3：林内

表-7 相対照度の変化

		相対照度		増減
		1998	1999	
施工斜面	Q-1-1	26.0	38.5	12.5
	Q-1-2	4.8	28.1	23.3
	Q-1-3	4.7	40.3	35.6
	Q-1-4	4.4	65.1	60.7
未施工斜面	Q-2-1	32.6	32.5	-0.1
	Q-2-2	2.9	5.3	2.4
	Q-2-3	2.6	5.3	2.7
その他	Q-3-1	3.7	88.8	85.1
	Q-3-2	3.5	31.3	27.8

表-8 林床植生の各要素の変化

		被度 (%)			層高 (m)			出現種						
		1998	1999	増減	1998	1999	増減	1998	1999	共通種	減少	増加	全体	共通種率
施工斜面	Q-1-1	95	95	0	1.5	1.5	0	16	20	6	10	14	4	30.0%
	Q-1-2	40	70	30	1	1.2	0.2	13	17	7	6	10	4	41.2%
	Q-1-3	55	45	-10	0.8	0.8	0	14	22	3	11	19	8	13.6%
	Q-1-4	30	50	20	0.5	1	0.5	13	24	6	7	18	11	25.0%
未施工斜面	Q-2-1	95	95	0	1.5	0.8	-0.7	19	20	9	10	11	1	45.0%
	Q-2-2	60	70	10	0.8	1.2	0.4	10	15	6	4	9	5	40.0%
	Q-2-3	55	60	5	0.6	1.2	0.6	10	14	6	4	8	4	42.9%
その他	Q-3-1	20	5	-15	0.4	0.5	0.1	4	15	2	2	13	11	13.3%
	Q-3-2	20	20	0	0.5	0.8	0.3	6	14	2	4	12	8	14.3%



写真-17 危険木 (老木)

- ①二次林性の種：二次林の構成種
- ②林縁性の種：林縁や伐採地のような山地性の開放地に生育する種
- ③開放地の種：路傍など人為的な影響が大きい開放地に生育する種
- ④その他の種：上記以外の生育場所や随伴的な種

施工斜面の全コドラートの出現種をまとめて、その傾向を見ると、表-11 (48頁) のようになり、種数は全体として増加しているが、増加した種は林縁や造成地に生育する開放地性の種が主体であることがわかる。このことから、現在の林床の状況は、開放的な要素が多いものと考えられる (図-22、23 49頁)。

5) 危険木調査結果

危険木としては、老木と支障木が抽出された。

施工斜面上部に生育するエゾイタヤは、施工直後には、大きな異常が見られなかったが、今夏に至ると、シロアリが顕著に見られ、著しく腐朽が始まっていることが確認された。本来堅い樹木であるため、すぐに倒木することはないと考えられ

研究成果

表-9 施工斜面の種組成の変化

Q-1-2

種名	被度		種名	被度	
	施工前	施工後		施工前	施工後
シシウド	2	1	アキタブキ		+
カキドオシ	1	+	イヌドウナ		+
アキノキリンソウ	+		オオアキノキリンソウ		+
アマニュウ	+	4	オニドコロ		+
イワガラミ	+		キツリフネ		+
オオカニコウモリ	+		ツタウルシ		+
オクトリカブト	+	1	トチノキkp.		+
コバイケイソウ	+	1	ミズヒキ		+
スミレサイシン	+		ムラサキケマン		+
ツユクサ	+	+	ヤマゼリ		+
ニワトコ	+		ヤマノイモ		+
ミツバアケビ	+				
ムカゴイラクサ	+				

表-11 施工斜面の出現種の変化

	施工斜面		未施工斜面	
	1998	1999	1998	1999
二次林林性の種	22	26	16	21
林縁性の種	6	15	9	8
開放地の種	0	5	3	3
その他の種	2	5	3	4

るが、古木の場合には、工事のストレスがかなり大きく出ることを今後は考慮する必要があるものと考えられる（写真-17 47頁）。

工事の際に支障木として、根本の一部を削除された樹木については、当初枯死が危惧されたが、今夏に至ると癒傷組織が発達し、健全に生育する兆候が見られている。これは、樹木自体が若く、活力が高いためと考えられ、若い樹木の場合は、多少の損傷では影響が出ないことを示唆している。ただし、強度面では弱くなっていることは否めない（写真-18）。

6. 今後の課題

斜面における植生は、斜面安定にプラスに働く場合と、マイナスに働く場合がある。これらの作用でもっともマイナス要因と思われる、風圧力による樹木と斜面安定度の関係は定量的評価に至っていない。今後、急傾斜地での樹木の自重及び風加重の影響の調査・研究を続ける必要がある。緑の斜面工法では、各々の特徴を生かした施工方法、施工機械の改良・開発など建設コストの低減を図るとともに、現段階における自然地山の補強土工の設計にあたっては補強材の引き抜き現地試験等の結果を評価し検

表-10 施工斜面の種組成の変化

Q-1-3

種名	被度		種名	被度	
	施工前	施工後		施工前	施工後
オオカニコウモリ	2		オオアキノキリンソウ		+
アキタブキ	1	+	オシダ		+
イワガラミ	1		カラスザンショウkp.		+
ガマズミ	1		ケヤキkp.		+
ヤマゼリ	1		シシウド		+
ツユクサ	+	+	スミレサイシン		+
ユキザサ	+	+	トチノキkp.		+
クジャクシダ	+		ニワトコkp.		+
コバイケイソウ	+		ヒヨドリジョウゴ		+
ツタウルシ	+		ミズヒキ		+
オクトリカブト		2	ミツバウツギ		+
イヌドウナ		1	ムラサキケマン		+
イスタデ		+	ヤマイヌワラビ		+
エンレイソウ		+	ヨモギ		+
		+	レモンエゴマ		+



写真-18 危険木（支障木）

討することが重要である。また、植生の遷移期間を考慮すると施工後の追跡植生調査はある程度長い期間が必要と思われる。

7. あとがき

緑の斜面づくりは、自然斜面の植生を活用する対策であるため、従来の急傾斜地調査の内容に比べて、斜面安定に対する、植生機能の寄与について詳しい調査が必要である。現地調査の実施にあたり具体的な調査手法や実験方法等について緑の斜面づくり検討会の皆様方には、ご指導及びご助言を頂き厚くお礼申し上げます。

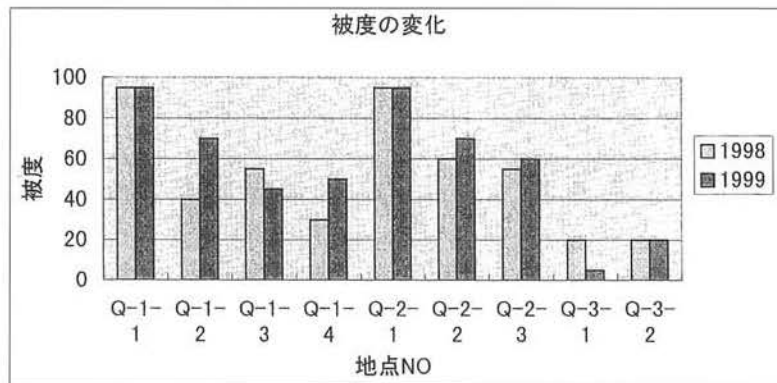


図-20 被度の变化

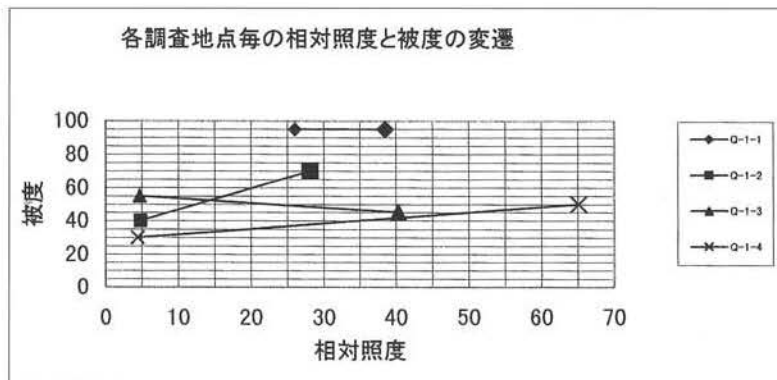


図-21 被度と相対照度

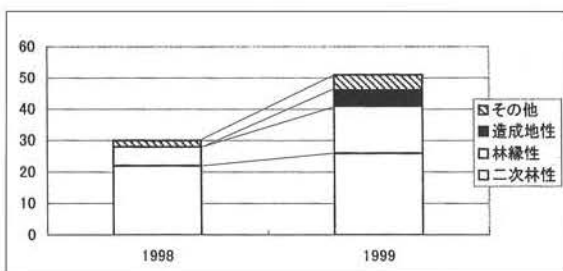


図-22 施工斜面の出現種の変化

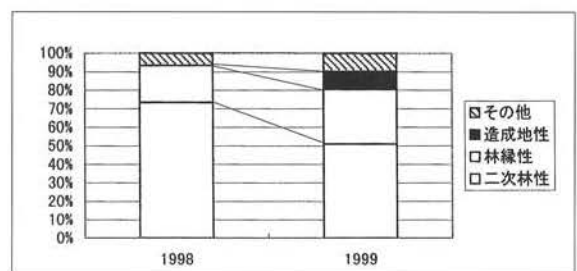


図-23 施工斜面の出現種の比率

また、試験施工地での斜面調査、適用工法の検討をはじめ、施工にご協力頂いた関係機関の方々に当紙面を借りて感謝申し上げる次第である。

参考文献

- 1) (財)砂防・地すべり技術センター (1997)：平成9年度緑の斜面づくり検討会資料
- 2) (財)砂防・地すべり技術センター (1998)：平成10年度上小屋野区域急傾斜地崩壊対策斜面検討調査業務報告書

- 3) (財)砂防・地すべり技術センター (1998)：平成10年度緑の斜面づくり検討会資料
- 4) (財)砂防・地すべり技術センター (1999)：平成11年度上小屋野区域急傾斜地崩壊対策斜面検討調査業務報告書
- 5) (財)砂防・地すべり技術センター (1999)：平成11年度急傾斜地崩壊対策工事(元組地区)設計業務報告書