

3. ポット苗樹木による斜面緑化の経時変化 -樹木の成長と二酸化炭素の固定-

池田 穰^{1*}・今井 久²・山口 修一¹

¹株式会社間組 技術・環境本部 環境事業部 (〒105-8479東京都港区虎ノ門2-2-5)

²株式会社間組 技術研究所 技術研究第一部 (〒305-0822 つくば市荻間515-1)

* E-mail: yikeda@hazama.co.jp

ポット苗樹木を用いた斜面緑化工法「ハザマ式法面緑化工法」により、急傾斜の長大岩盤法面48,000㎡に7万本の樹木を1995年に植栽した。その後2001年、2007年に樹木の標本調査を行ない、成長率や二酸化炭素の固定速度を推定した。その結果、

- ・降雨由来の浸透水が、斜面上部より比較的多く供給される斜面下部において、樹木の成長率がよいこと。
 - ・落葉樹よりも常緑樹の方が成長率が高く、樹木1本当たりの二酸化炭素固定速度も落葉樹の方が大きいこと。
 - ・1995年から2007年までの12年間の法面全体での単位面積あたりの二酸化炭素固定速度は、 $0.43\text{kgCO}_2/\text{m}^2/\text{年}$ であること。
- などがわかった。

Key Words : slope tree planting method, nursery plant in pot, evergreen and deciduous trees, carbon dioxide fixation

1. はじめに

神奈川県相模川水系の宮ヶ瀬ダムの骨材製造工事で生じた原石山法面は、急傾斜の長大岩盤法面である。この法面に周辺の景観や環境と調和した緑化を行うため、現地自然植生に近い中高木等を植栽する工法で緑化した。施工は、1994年4月から1995年3月にかけて行われた。写真-1に見られるように施工後10年以上の期間、樹木は順調に生育しているように見られる。急斜面の長大岩盤法面という樹木にとって厳しい条件での成長状況を確認するため、これまで施工6年後の2001年に樹木の生存率、成長率等に関して標本調査を行った^{1)・2)}。それから更に6年後の2007年に再度調査を行い、2001年に調査した一部樹木の成長率を調べ、成長状況を確認した。また樹木の炭素量の概算から、法面緑化による二酸化炭素の固定速度を評価した。

2. 法面緑化の方法、現場概要および調査方法

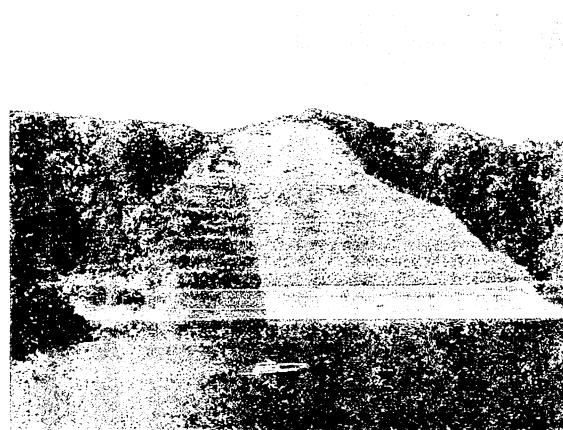
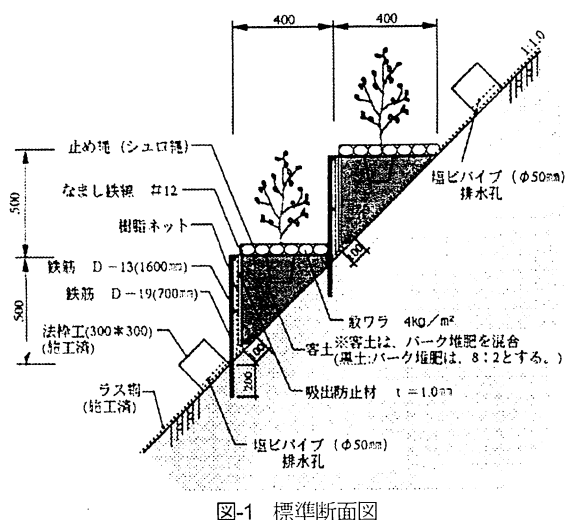


写真-1 宮ヶ瀬ダム原石山法面

(1) 法面緑化の方法

法面緑化に用いたハザマ式法面緑化工法とは、硬岩質法面や急傾斜地等において木本植物等の育成と継続的な緑化を図る工法である。鉄筋により樹脂ネットを垂直に固定し、客土を投入することにより柵状の苗木直植え工(ポット工)を生育基盤として確保する。斜面緑地の緑



化工法「ハザマ式法面緑化工法」として平成8年に建設技術評価（第95210号）を受けている³⁾．図-1に標準断面図を写真-2に植栽用枡をそれぞれ示す．

(2) 現場概要および調査方法

当該法面は、標高295m～400mの勾配1：0.8の法面下部および標高400mの平坦部をはさみ、標高400m～490mの勾配1：1の法面上部に分かれる（図-2）。法面下部は高度15m毎に幅4mの7個の小段、法面上部は高度7.5m 毎に幅2mの12個の小段をそれぞれ持つ。法面、小段に植栽した樹木は、周辺環境の樹木構成にも配慮し、落葉樹、常緑樹等総計7万本である（表-1）。法面全体は、横方向の

小段と縦方向の排水路により、ブロックに区分けでき、全体の5%にあたる3500本ほどの樹木が含まれるように、任意の4つのブロック（A、B、C、D）を選択し2001年3月に生存率、成長率等に関して標本調査を行った。それから6年後の2007年12月に4つのブロック内の任意の樹木について樹高、根元周囲長を測定し、導入時の規格高および2001年の調査時の値と比較した。写真-3に施工時および調査時の法面の状況を示す。

3. 結果と考察

表-1 植栽樹木の種類と導入数

分類	樹木名	導入数(本)	各分類内の比率(%)	全体に対する比率(%)
落葉樹	コナラ	6,870	30.0	32.9
	クリ	6,180	27.0	
	ヤマボウシ	1,371	6.0	
	イヌシデ	4,574	20.0	
	イタヤカエデ	688	3.0	
	エゴノキ	3,203	14.0	
	小計	22,886	100.0	
常緑樹	アラカシ	13,731	33.7	58.5
	シラカシ	12,351	30.3	
	タブノキ	3,203	7.9	
	ウラジロガシ	3,922	9.6	
	アカガシ	7,554	18.5	
	小計	40,761	100.0	
	低木	タニウツギ	369	
ウツギ		369	10.0	
ツルグミ		369	10.0	
トベラ		1,293	35.0	
サツキツツジ		1,293	35.0	
小計		3,693	100.0	
紅葉樹・花木		ナナカマド	1,120	48.7
	イロハモミジ	561	24.4	
	ヤマザクラ	280	12.2	
	ミツデカエデ	340	14.8	
	小計	2,301	100.0	
	計	69,641		100.0

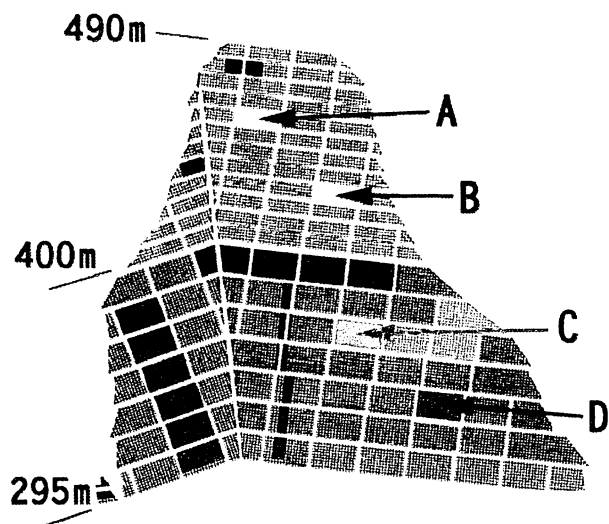


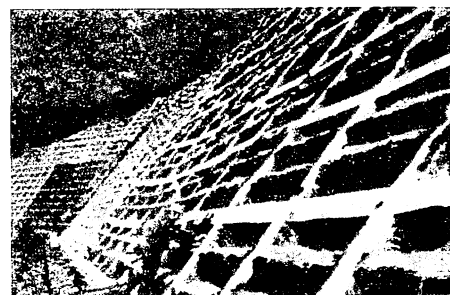
図-2 調査したブロック (A, B, C, D) の位置

(1) 樹木の成長

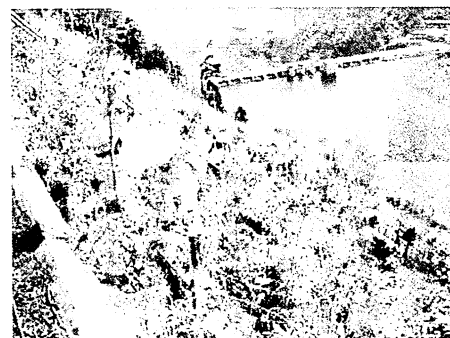
表-2に4つのブロックにおける施工時1995年の想定導入数, 2001年の調査樹木数および2007年の調査樹木数を示す。枯死や移入により樹木の種類や数は変動する。2001年の調査においては, 各ブロック内の全樹木について調査を行なったが, 2007年の調査では各ブロックで2001年調査時の状況から同一と考えられる樹木について, 法面・小段計255本の樹木を選択し樹高と根元周囲長を測定した。

樹高の変化の一例として, 図-3に法面の常緑樹ウラジロガシの導入時の規格高と2001年および2007年各調査時の樹高, 図-4に小段の常緑樹シラカシの導入時の規格高と2001年および2007年各調査時の樹高をそれぞれ示す。

法面A, B, Cの順で樹高は増加し法面Dで減少するという傾向は2001年と2007年調査時において変わらなかった



施工直後



2001年3月調査時



2007年12月調査時

写真-3 法面の状況

表-2 法面・小段各ブロックの樹木数

法面	1995年の想定導入数(本)					2001年の調査樹木数(本)					2007年の調査樹木数(本)				
	A	B	C	D	計	A	B	C	D	計	A	B	C	D	計
落葉樹(ヤマボウシ、クリ、イヌシデ、エゴノキ)	90	90	210	210	600	28	38	113	93	272	3	10	0	3	16
常緑樹(アラカシ、アカガシ、シラカシ、ウラジロガシ、タブノキ)	300	300	600	600	1800	210	228	490	511	1439	36	53	21	25	135
移入種(ヌルデ、ウツキ)	-	-	-	-	-	33	18	7	2	60	1	1	0	0	2
計	390	390	810	810	2400	271	284	610	606	1771	40	64	21	28	153

小段	1995年の想定導入数(本)					2001年の調査樹木数(本)					2007年の調査樹木数(本)				
	A	B	C	D	計	A	B	C	D	計	A	B	C	D	計
落葉樹(コナラ、クリ、ヤマボウシ、イヌシデ、イタヤカエデ、エゴノキ)	15	15	54	45	129	10	10	34	26	80	7	4	12	10	33
常緑樹(アラカシ、シラカシ、タブノキ、ウラジロガシ、アカガシ)	30	30	88	88	236	28	32	77	83	220	21	3	21	23	68
移入種(ウツキ、アカマツ、ナワシログミ、ヤマボウシ、イタヤカエデ、クロマツ)	-	-	-	-	0	0	3	5	4	12	-	1	-	-	1
計	45	45	142	133	365	38	45	116	113	312	28	8	33	33	102

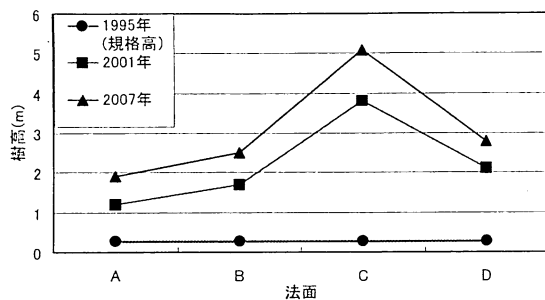


図-3 法面の常緑樹ウラジログシの樹高変化

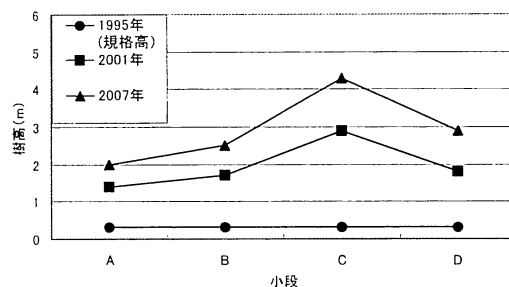


図-4 小段の常緑樹シラカシの樹高変化

た。小段についても同様な傾向であった。

また法面・小段それぞれ樹木別にみた2001年から2007年にかけての成長率を図-5および図-6に示す。比較的調査した樹木数の多い法面Bにおいては、2001年調査時と同様に落葉樹の方が常緑樹に比較して成長率が高い傾向にあった。法面Dは他と比較して成長率が小さい傾向も同様に見られた。常緑樹アカガシの法面Cでの調査樹木数は、2本しかなかったものの2本とも突出して成長率が高かった。2001年調査では、法面より小段の成長率が高かったものの、2007年の調査では、小段について落葉樹と常緑樹に大きな差は見られなかった。移入種のアカツの成長率400%は、法面・小段を通して最も高い値であった。

樹木の生育には水分が最も重要でありAブロックの樹木の成長が比較的低いのは、Aブロックの位置する標高が最も高くかつ勾配も大きいいため、上部からの降雨由来の浸透水が少ないためと考えられる。またDブロックの樹木の成長が勾配の等しいCブロックより劣るのは、CブロックよりDブロックの方がそれより上部のブロックの数が少なく、上部からの降雨由来の浸透水が少ないことによると考えられる。

落葉樹の方が常緑樹に比較して成長率が高い傾向がみられたが、2007年の調査では、小段について落葉樹と常緑樹に大きな差は見られなかった。小段は法面に比較して保水性が高い。そのため小段の樹木は法面のそれに比

べて1995年～2001年の初期の成長は早かった。しかしある程度成長後の2001年～2007年は、法面・小段の樹木の成長に大きな差は見られなくなったと考えられる。

(2) 樹木の二酸化炭素固定量

樹木の二酸化炭素固定量は、樹木の炭素量から評価される。そのためには幹だけでなく、枝葉や根も含めたバイオマスを推定する必要がある。また幹材積から幹の重量を求めるためには、容積密度（材比重）が必要となる。ここでは、独立行政法人森林総合研究所で使われている計算方法⁴⁾に従って、木ごとの容積密度、幹と枝葉・根の乾燥重量の関係からもとめられる拡大係数、および地下部・地上部比から（I）式に従い樹木の炭素量をもとめた。

樹木の炭素量＝幹材積×容積密度×拡大係数×（1＋地下部・地上部比）×炭素含有率（0.5） （I）

（I）式の幹材積は、各樹木の胸高直径と樹高から材積式⁵⁾を用いてもとめられる。ここでは2001年と2007年の調査対象とした樹木について、測定した根元周囲長から根元直径をもとめ、それを胸高直径とみなした。さらに、別に測定した樹高とあわせて材積式から幹材積を評価した。また容積密度、拡大係数、地下部・地上部比および炭素含有率は、独立行政法人森林総合研究所の資料

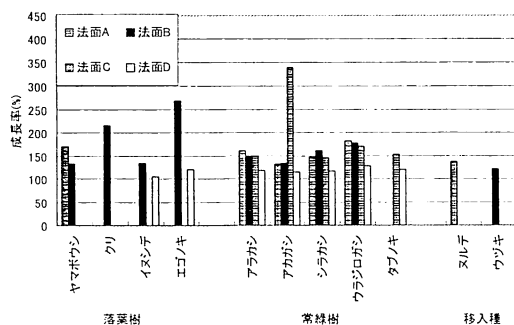


図-5 法面の樹木別の成長率

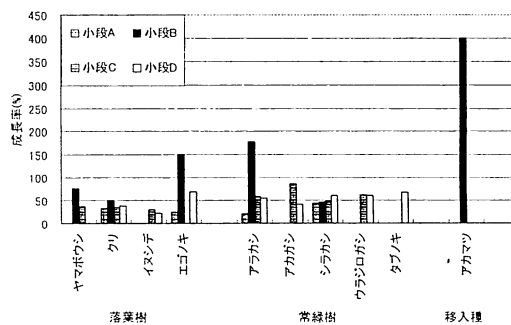


図-6 小段の樹木別の成長率

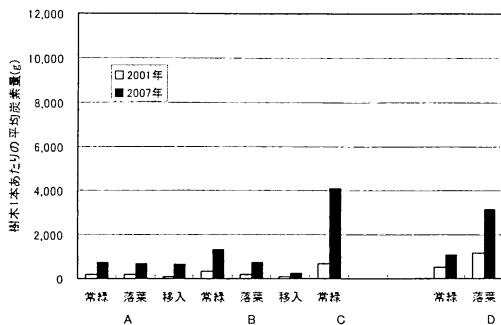


図-7 法面の樹木1本あたりの平均炭素量

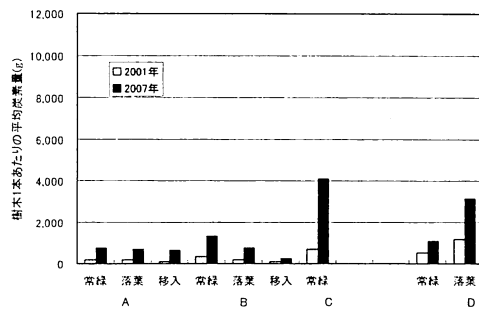


図-8 小段の樹木1本あたりの平均炭素量

4) を各樹木についてあてはめた。

図-7、図-8に法面・小段それぞれの樹木1本あたりの平均炭素量を示す。成長率と同様落葉樹の方が全体として常緑樹に比較して炭素量が多い。また小段の方が法面に比較して樹木1本あたりの平均炭素量が多い。このことは1995年～2001年の初期の成長率において、法面よりも小段が高いことを反映している。

表-3に常緑樹、落葉樹の平均炭素量と法面全体での二酸化炭素固定量を示す。二酸化炭素固定量は、2001年の調査結果²⁾から各樹木の当初導入本数に対する生存率を50%と仮定してもとめた。これより樹木1本あたりの二酸化炭素固定速度を計算した。その結果、常緑樹では1995年～2001年の6年間で0.29kg CO₂/本/年、1995年から2007年までの12年間では、0.58kg CO₂/本/年となった。一方、落葉樹1本あたりの二酸化炭素固定速度は1995年～2001年の6年間で、0.48kg CO₂/本/年、1995年から2007年までの12年間では、0.82kg CO₂/本/年であった。成長率の相違を反映して二酸化炭素固定速度は、常緑樹より落葉樹の方が大きかった。

さらに法面の全面積48,000m²から植栽面積あたりの二酸化炭素固定速度をもとめると1995年～2001年の6年間で0.23kg CO₂/m²/年、1995年から2007年までの12年間では、0.43kg CO₂/m²/年となった。

4. おわりに

これまでの調査により以下のことが示された。

- ・降雨由来の浸透水が、斜面上部より比較的多く供給される斜面下部において、樹木の成長率がよい。具体的には、法面・小段それぞれにおいてA, B, Cブロックの順で樹高は増加し、Dブロックで減少した。
- ・落葉樹よりも常緑樹の方が、成長率が高く樹木1本当たりの二酸化炭素固定速度も落葉樹の方が大きかった。
- ・1995年から2007年までの12年間の法面全体での単位面積あたりの二酸化炭素固定速度は、0.43kg CO₂/m²/年と推定された。

2007年の調査では、樹木と岩盤法面との安定性を評価するために樹木根系調査を併行して行なった⁶⁾。根系調査の結果は、樹木根系が地山である岩盤にも一部侵入しており、樹木の根が地山に定着しつつあることを示唆している。

法面の一部では、従来の種子吹き付け緑化工法で緑化した部分もある。樹木で緑化した部分と比べると緑被率も高く（写真-4）、本緑化工法による樹木の良い成長が確認できる。今後樹木がさらに生育するに従い樹木間の自然淘汰もおこり生態遷移が進行していくものと思われる。

表-3 常緑樹、落葉樹の平均炭素含有量と法面全体での二酸化炭素固定量

樹木名		本数	サンプル数	樹木1本の平均炭素含有量(g)		法面全体でのCO ₂ 固定量(t)*	
				2001年	2007年	2001年	2007年
常緑樹	アラカシ	13731	42	553.7	2012.1	14.0	50.7
	アカガシ	7554	32	385.9	2534.7	5.3	35.1
	シラカシ	12351	85	496.0	1586.5	11.2	36.0
	ウラジロガシ	3922	36	377.8	2053.0	2.7	14.8
	タブノキ	3203	8	324.6	844.2	1.9	5.0
	小計	40761	203	-	-	35.2	141.5
落葉樹	ヤマボウシ	1371	6	810.1	3211.2	2.0	8.1
	コナラ	6870	1	454.3	1792.9	5.7	22.6
	クリ	6180	15	1202.5	3603.4	13.6	40.9
	イヌシデ	4574	16	952.7	3177.6	8.0	26.7
	エゴノキ	3203	11	462.4	1818.4	2.7	10.7
	小計	22198	49	-	-	32.1	108.9
計		62959	252	-	-	67.3	250.4

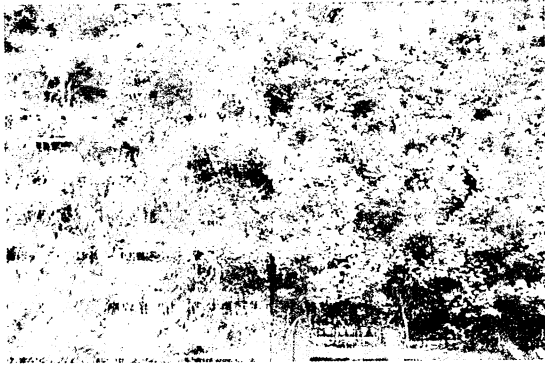


写真4 従来の種子吹き付け緑化工法による法面（左）と本緑化工法による法面（右）の状況（2007年8月）

謝辞：本調査を行うにあたり，国土交通省相模川水系広域ダム管理事務所の方々には大変お世話になった．ここに記して感謝の意を表す．

参考文献

- 1) 池田穰，山口修一，谷村大三郎：ポット苗樹木による法面緑化の経時変化，土木学会第 58 回年次学術講演会，VII-206,pp.409-410,2003.
- 2) 池田穰，山口修一：樹木ポット苗による緑化法面の経時変化，日本緑化工学会誌，29(4)pp.472-476,2004.
- 3) 建設省：斜面緑地の緑化工法「ハザマ式法面緑化工法」評価書，建設技術評価第 95210 号,1996.
- 4) 独立行政法人森林総合研究所：温暖化対応推進拠点 ホームページ,<http://www.ffpri.affrc.go.jp/research/ryoiki/ncw/22climate/ncw22-2.html>,2003.
- 5) 林野庁計画課編：立木幹材積表 東日本編，日本林業調査会,2007.
- 6) 今井久，山口修一，池田穰：樹木ポット苗による緑化のり面樹木根系調査，平成 20 年度砂防学会研究発表会,pp.122-123, 2008.