ダムサイト法面における在来木本類の播種および表土を用いた緑化対策の事例

野口 宏¹⁾・高橋陽一²⁾・宇田友紀子³⁾・中西 収³⁾・松井宏光⁴⁾

1) 独立行政法人水資源機構 hiroschi_noguchi@water.go.jp

2) 前 財団法人水資源協会

3) 株式会社環境総合テクノス

4) 松山東雲短期大学

摘要：愛媛県四国中央市にある水資源機構富郷ダムは2001年の管理開始にあわせて、1995～98年にダムサイト掘削法面に、緑化施工を実施し、2007年で9～12年が経過した。急勾配法枠内には、遷移の進行により在来植生に置き換わることを期待して、外来草本、外来マメ科低木と在来木本類の種子を混播した厚層基材吹付工法で施工し、法面小段部及びコンクリートダム堤体と下流側法面の接続部（フーチング）には、当時としてはまだ例が少なかった森林表土採取・撒出し工法を採用した。以降継続してコドラート、植生図等の追跡調査を実施してきた結果、種子の混播組成の違い等の影響が徐々に明らかになってきたので2008年までのデータを踏まえて報告するとともに、今後の岩盤の露出した急斜面等での植生管理に関する課題についてとりまとめた。

キーワード：ダムサイト、厚層基材吹付、森林表土撒出し、潜在自然植生、在来木本類

1. はじめに

切土法面における緑化工法としては、外来草本類、外来マメ科低木類、在来木本類の播種による早期緑化が近年試みられてきた²⁾。イタチハギ等のマメ科低木群落については、早期緑化後、遷移の進行とともに衰退し、在来植生に置き換わっていくことが期待される一方で、遷移が停滞するだけでなく、侵略的な分布拡大の報告がある等、最近では外来マメ科低木類による弊害に関する議論も多く行われるようになってきた。しかし、経済的にも安価で防災能力にも優れているマメ科低木類を法面の緑化植物として利用しつつ、形成される群落が有する問題点を改善し、自然回復緑化にも適用できる技術を確立することは、生物多様性が法面緑化においても求められる今日における重要な課題である^{1,3)}。

富郷ダム(愛媛県四国中央市、図-1)は、瀬戸内海(燧灘)までは北に10 km 足らずだが山脈で隔てられて東流し、吉野川に

合流する銅山川(河口まで約130 km)に建設されたが、周辺は金砂湖県立自然公園に指定されており、ダム事業地周辺では自然環境に配慮した緑化が求められてきた。

1995～98年に、富郷ダム建設によって出現した急斜面において、外来草本類、外来マメ科低木類と在来木本類の種子を混播した厚層基材吹付工法、また、傾斜の緩やかな法面小段部およびダム下流フーチング部では、自然環境に配慮して森林表土を利用した緑化工を施工し、9～12年が経過しているが、この間、追跡調査を継続的に実施した結果、遷移が停滞しているタイプから進行しているタイプまで、種子の混播

図-1 富郷ダムの所在地

図-2 植栽ゾーン配置と永久コドラート位置 (上方が北、下流)

組成の違い等により成立する植生が異なること等が確認された。今回その調査結果について報告するとともに、今後の植生管理に関する課題についてとりまとめた。

2. 施工の概要

厚層基材吹付工及び森林表土撒出し工の施工範囲を図-2に示す。南北の標高 800 m 級の山脈の間の狭隘な地域で、ダム建設のため緑色片岩を基岩に橄欖岩の貫入した硬い岩盤を 40～70° の急勾配で切り取った、右岸法面が西向き、左岸法面が東向きの標高約 400～500 m の範囲の斜面である。年間降水量は約 2,500 mm、年平均気温は約 13℃で、冬季には最大 30 m/s 程度に及ぶ強い局地風がある。

2.1 在来種の木本類を主体とした厚層基材吹付工

富郷ダムのダムサイトは、地形が急峻なため基礎工としてコンクリート法枠を施工し、法枠内に 3～7 cm の厚さで厚層基材吹付工を施工した。緑化工の目標植生としては、第 1 段階として岩盤緑化（吹付工）により在来先駆種（ヌルデ等）による緑化を図り、第 2 段階で潜在自然植生であるツガ、アラカシ、アカマツ、イロハモミジ、ケヤキ等が混生するウラジロガシ林に移行していくことを期待した。緑化工は、以下の 3 タイプにゾーン分けした。

- ・森林植生を目標とする掘削法面上部（タイプ 1）
- ・景観を重視したダム天端道路付近法面（タイプ 2）
- ・河川周辺植生を目標とする掘削法面下部（タイプ 3）

導入種の主構成木は在来種のヌルデ、ネムノキ、ヤマハゼ、アキグミ、ウツギ、ノイバラ、ムラサキシキブ、ヒサカキ、ネズミモチ、アセビ、ムベの 11 種とし、タイプ 1 はこのうちの 5 種、タイプ 2 は 6 種、タイプ 3 は 8 種とし、早期緑化の役割を期待した外来種の低木はイタチハギ、草本はカモガヤ（オーチャードグラス）、ネズミムギ（イタリアンライグラス）の 2 種とした。導入種とその割合は表-1 に示すとおりと

表-1 吹付タイプ毎の配合種子とその割合

タイプ(施工年)		1(1995)	2(96～97)	3(97～98)
在来種	中・落	ネムノキ	—[—]	—[—]
		ヌルデ	10[2.38]	10[2.38]
		ヤマハゼ	20[3.13]	—[—]
		ムラサキシキブ	—[—]	—[—]
	中・常	ヒサカキ	20[3.13]	30[0.84]
		ネズミモチ	30[7.50]	—[—]
	低・落	ウツギ	—[—]	80[0.45]
		ノイバラ	—[—]	30[2.59]
		アキグミ	—[—]	10[0.55]
	低・常	アセビ	5[0.03]	5[0.03]
	草本	ムベ	—[—]	10[2.60]
	外	低・落	イタチハギ	30[0.40]
来種		草本	カモガヤ	18[0.02]
			ネズミムギ	50[0.12]
				50[0.12]

発生期待本数(本/m²) [配合量(kg/m²)]

中: 中高木, 低: 低木, 落: 落葉, 常: 常緑

し、各タイプの目標植生に応じて種とその種子の配合率を設定した。種子の配合率は単位面積当りの発生期待本数と発芽率から算定した。外来種は在来種との競合を避けるため、配合率を低く設定した。

2.2 森林表土を利用した緑化工

自然環境への配慮と緑資源の有効利用の観点から、森林表土を用いた緑化手法を検討し、1997 年度に施工した。ダムサイトから約 2 km 上流のダム水没予定地内の広葉樹林を伐採した跡地から表土を撒出すことにより、潜在自然植生を復元することを目標とした。第 1 段階として埋土種子（コナラ林構成種）による緑化を図り、第 2 段階で潜在自然植生である、ツガ、アラカシ、アカマツ、イロハモミジ、ケヤキ等が混生するウラジロガシ林に移行していくことを期待した。

採取した表土を仮置きし、転圧しないよう注意して厚さ 20 cm 程度に右岸法面小段部とポケットを階段状に連ねたフーチング部に撒出した。フーチング部では、撒出し後イヌツゲのみ植栽し、右岸法面小段部は撒出しのみでそのほかの手は加えていない。

森林表土採取地は、ヒノキ植林の伐採跡地に再生した若齢林で、確認された植物は、木本 26 種、草本 6 種であった。確認種は以下のとおりである。

木本類：ウラジロガシ、アラカシ、ヤブツバキ、コナラ、コシアブラ、ヤマウルシ、リョウブ、マルバアオダモ、アオハダ、ソヨゴ、ヒノキ、シロモジ、ノリウツギ、コバノミツバツツジ、ネジキ、ナツハゼ、ヤマツツジ、スノキ、ヒサカキ、チャノキ、アセビ、イヌツゲ、サルトリイバラ、ヤブコウジ等

草本類：ススキ、ネザサ、ワラビ、シシガシラ、ヤワラシダ、ヒカゲノカズラ

3. 調査内容

緑化工が施工された翌年の 1998 年度に、植生の遷移状況を把握するため永久コドラートを 11 区設置した。これは、図-2 中に示している。1998 年～2007 年の 9 年間、毎年夏季（7 月）に、群落組成調査を行った。群落組成調査では、コドラート内の植生について階層区分するとともに、各階層で群落高、植被率、優占種、構成種および被度・群度等を記録した。厚層基材及び土壌等の厚さや水分の状態、その他調査日の状況も記録している。

調査区は、タイプ 1、タイプ 2、タイプ 3 が各 3 調査区、および表土撒出し区（①法面小段 ②フーチング部）の計 11 区である。各調査区の概要は以下のとおりである。

厚層基材吹付工のタイプ 1 の 3 調査区は、ダムサイト斜面上部の法面に設定されており、調査区の傾斜は 40～65°、調査区合計面積は 43 m²、2005 年度時点の平均土壌厚は 10 cm である。タイプ 2 の 3 調査区は、ダムサイト斜面中部の法面に設定されており、調査区の傾斜は 40～50°、調査区合計面

表-2 吹付けタイプ/表土撤出し別群落構造推移

2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年
タイプ1・No.1(イタチハギ群落)・18 cm・40°・1995年施工						
イタチハギ						
1.6[90]	2.5[100]	2.5[100]	2.5[100]	2.5[80]	3.0[80]	2.5[90]
ネズミモチ						
0.9[50]	1.2[80]	1.4[90]	1.4[90]	1.2[100]	1.0[50]	1.2[50]
タイプ1・No.29(イタチハギ群落)・5 cm・45°・1995年						
イタチハギ						
1.6[90]	2.0[100]	2.2[100]	2.2[100]	2.5[100]	2.8[50]	2.8[80]
ススキ						
1.3[50]	1.4[70]	1.1[70]	1.1[40]	1.3[70]	1.4[80]	1.5[60]
タイプ1・No.32(イタチハギ群落)・5 cm・65°・1995年						
イタチハギ						
—	—	1.1[20]	1.2[30]	1.2[20]	1.2[40]	1.5[70]
ヤマハゼ						
0.8[50]	1.1[70]	0.8[50]	0.8[60]	0.8[50]	0.8[60]	0.8[30]
タイプ2・No.5(ヌルデ群落)・15 cm・45°・1996~97年						
ヌルデ						
1.6[90]	2.0[100]	2.0[100]	2.0[100]	2.0[10]	1.8[10]	1.8[40]
ツクサ カモガヤ						
0.5[10]	0.4[50]	0.8[40]	0.8[40]	0.8[50]	1.2[70]	1.2[70]
タイプ2・No.21(イタチハギ群落)・15 cm・50°・1996~97年						
イタチハギ						
1.2[50]	1.2[80]	1.4[90]	1.4[90]	1.4[60]	1.4[80]	1.6[90]
ススキ カモガヤ						
0.8[10]	0.5[40]	1.0[40]	0.8[50]	0.8[40]	0.6[40]	0.8[40]
タイプ2・No.33(ヌルデ群落)・15 cm・40°・1996~97年						
ヌルデ アキグミ						
3.0[100]	3.0[100]	3.0[100]	3.0[100]	3.5[100]	3.5[50]	3.8[60]
ススキ						
1.4[100]	1.4[60]	1.3[60]	1.5[30]	1.5[50]	1.5[100]	1.5[95]
タイプ3・No.14(ヌルデ群落)・10 cm・70°・1997~98年						
ヌルデ						
—	1.5[30]	1.6[80]	2.5[100]	2.5[60]	2.5[60]	2.7[80]
ヌルデ カモガヤ						
1.2[40]	0.4[40]	0.6[5]	0.5[5]	0.5[10]	0.5[10]	0.8[20]
タイプ3・No.36(ヌルデ群落)・10 cm・45°・1997~98年						
ネムノキ						
1.2[80]	1.5[80]	2.5[100]	2.5[100]	3.0[60]	3.0[80]	3.4[80]
ムラサキシキブ カモガヤ ノイバラ						
0.5[50]	0.7[50]	0.8[30]	0.8[30]	1.0[40]	0.8[20]	1.2[50]
タイプ3・No.44(ヌルデ群落)・8 cm・45°・1997~98年						
ウツギ						
—	—	2.0[20]	2.0[30]	2.5[30]	2.5[40]	2.5[50]
ノイバラ カモガヤ						
1.4[20]	1.4[50]	0.6[30]	0.6[20]	0.8[30]	1.2[40]	1.2[60]
表土撤出し(小段)・No.24(ススキ群落)・20 cm以上・0°・1997年						
2007年まで低木は確認されず						
ススキ						
1.6[100]	1.8[100]	1.8[100]	2.0[100]	1.8[100]	2.0[100]	2.5[100]
表土撤出し(フーチング)・No.48(ネムノキ群落)・20 cm・0°・1997						
ネムノキ						
—	—	2.3[20]	2.5[30]	3.0[60]	3.5[60]	4.0[80]
ススキ						
1.6[100]	1.8[100]	1.6[100]	1.6[100]	1.6[40]	1.6[60]	1.6[60]

上段: タイプ・コドラート(群落)・基盤岩からの土壌厚(基盤からの吹付材・堆積物厚さ)・法面勾配・施工年(現地観測値は2005年)
 中段: 各年の低木層の優占種/群落高(m)[植被率(%)]
 下段: 各年の草本層の優占種/群落高(m)[植被率(%)]

積は31 m², 2005年度時点の平均土壌厚は15 cmである。タイプ3の3調査区は, ダムサイト斜面下部の法面に設定されており, 調査区の傾斜は45~70°, 調査区合計面積は15

m², 2005年度時点の平均土壌厚は10 cmである。森林表土を利用した緑化工の2調査区は, ダムサイト右岸法面上部の小段と, 下流フーチング上に設けたコンクリート樹に各1調査区が設定されており, 調査区の傾斜は0°, 調査区合計面積は24 m², 2005年度時点の平均土壌厚は20 cm以上である。

4. 結果と考察

表-2 にコドラートごとに低木層と草本層に分けて優占種, 群落高, 植被率の推移を示す。また, 写真-1 に左岸全景の施工後と現在の対照写真を示す。

4.1 吹付工タイプ1

施工後12年が経過しており, 群落高は2.4 m(1.5~3.0 m), 上層植被率70~90%の低木状である。2003年以降, 群落高は横ばい状態である。

上層の植被率がNo.1, No.29では2004年度まで100%と高かったが, 2005年以降は50~90%と低下しているのは台風の影響による倒伏等と考えられる。下層にはネズミモチ, ススキ, ヌルデといった在来種が優占しており在来構成種へ遷移が進行する可能性はあるが, イタチハギが優占し続けている上層は今後選択的伐採等の検討が必要になるとと思われる。

4.2 吹付工タイプ2

施工後10~11年が経過しており, 群落高は2.4 m(1.6~3.8 m), 上層植被率40~90%の低木状である。2001年以降の群落高は横ばい状態である。上層で優占しているのはヌルデ, アキグミ, イタチハギで, 外来種が優占する割合はタイプ1より少ない。No.33の上層のアキグミは群落高が3.5 m, 植被率100%と生育良好であったが, 2006年度は倒伏もあり植被率60%と衰退傾向にある。吹付けた厚層基材の中だけで根が広がっており, 当初期待したように根が地盤に侵入しておらず, もともと土壌厚が薄い(10 cm程度)ところに, 2004年の夏季の降水量不足, 秋季に相次いで訪れた台風による土壌流失等に耐え切れず倒木したと見受けられた。アキグミの根系は浅根型であり, 岩盤に侵入しにくいことも考えられることから, アキグミ衰退後は, ヌルデに遷移していくような植生管理を検討する必要があると思われる。

4.3 吹付工タイプ3

施工後9~10年が経過しており, 群落高は2.9 m(2.5~3.4 m)の低木状である。2003年以降, 群落高は横ばい状態である。上層で優占しているのはネムノキ, ノイバラ, ノリウツギであったが, 2006年度にNo.44でイタチハギが優占しているのが確認された。下層では2003年まで外来種のカモガヤが優占していたが, 2004年以降はノイバラ, オトコエシ, ススキ, ムラサキシキブ等の在来種が優占しており, 今後在来構成種への遷移の進行が期待できる。

4.4 表土撤出し区

施工後9年が経過しており, 群落高は3.3 m(2.5~4.0 m)である。No.24は低木が確認されないままの状態であるが,

写真-1 ダムサイト左岸下流側の状況（左：1999年7月22日

右：2007年7月11日）

No.48 はの群落高は着実に増加している。上層で優占しているのはネムノキで、下層で優占しているのはススキである。外来種の優占種は確認されておらず、今後も在来種への遷移の進行が期待できる。

5. まとめ

吹付け種であるイタチハギ、カモガヤは、早期緑化の役割を達成した後は、在来木本類に遷移していくことが望ましい。しかし、ネズミモチ等は2004年度をピークとして衰退傾向にあり、在来種が優占していたコドラートにおいても再び外来種のイタチハギが優占し始める等、一部に遷移の後退も発生しており、気候や土壌・岩盤の状態等の影響と考えられるが、勾配、方角、地盤状況等の地形、地質条件や風況、風速、日照、湿度等の気象条件等との関係はまだ十分解明されていない。ただ、安定的な植生のために確保すべき土壌厚の最低限度は、10 cm 程度ということが確認された。

これまでの継続したモニタリング調査により、岩盤の露出しているような急傾斜の法面において順調に生育する可能性のある植生は、根系形態が中間型～深根型の本木であることが示唆され、今後、ダム建設現場近傍等の同様の条件の場所で本木を導入する際には、根系型にも配慮することが必要と考えられた。

今回は示せなかったが、配合種子に含まれない在来の侵入

種が次第に殖えていく様子についても吹付けタイプ別、種別、階層別に植生率の整理を試みており機会を改めて紹介できたらと考えている。

現在の公共事業の仕組みでは、植生について目的意識を明確にして十分な戦略をもって施工することは意外と難しく、先輩諸氏の努力もあって継続したモニタリングデータの揃っている富郷ダムのダムサイトは貴重な事例と考えている。当地での調査、解析を継続し、緑化工法や種子の選択や、竣工時点で終わらせない経過観察のポイント(永久コドラートの設置等)や積極的な植生管理方法の検討、試行などを通じ、今後の類似事業実施の一助となれば幸いである。

引用文献

- 1) 愛媛県建設研究所(2000)「郷土種による樹林化工法(植生基材吹付)」技術必携, 149 pp.
- 2) 吉田 寛(2002)厚層基材吹付工による木本植物の混播技術に関する研究, 日本緑化工学会誌, 27(4): 594-604.
- 3) 吉田 寛・森本幸裕(2005)法面緑化における中国産コマツナギと常緑広葉樹の混播効果に関する研究, 日本緑化工学会誌, 31(2): 269-277.

(2008. 7. 18 受理)