

# 見直そう！海岸前線林のクロマツ植栽本数

## ～クロマツ5千本／h a 植えへの挑戦～

庄内森林管理署 治山グループ一般職員 ○浅野智哉  
業務グループ一般職員 金田直幸  
業務グループ一般職員 火石明宏

### 1. はじめに

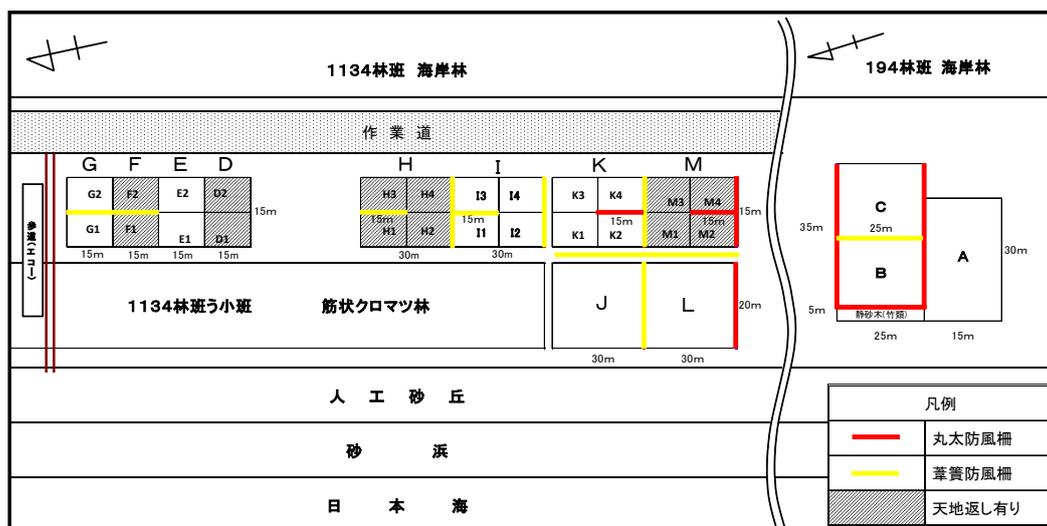
庄内海岸林は、山形県西部の日本海沿いに位置し、総延長34km、幅1.5～3km、面積約2,400haに及ぶ、全国有数の規模を誇る海岸林である。冬の日本海から吹き付ける強風や飛砂から後背地の農地や人家などを守り、穀倉地帯である庄内平野の防壁となっている。国有林は海岸林の最前線に約800ha所在しており、第二次世界大戦後、荒廃が進んだ海岸林に、人工砂丘や砂草地を造成して気象条件を緩和したのちに、クロマツを後方から漸次前方へ植栽し、今日まで保育作業や松くい虫被害防除などの、維持管理に努めてきた。国有林の海岸林の最前線は、汀線から前砂丘、砂草地を経た箇所であり、汀線からは80～200mほど離れており、前線林と前砂丘の間には一部に筋状のクロマツ林があるものの、大部分が未植栽地となっている。前線林は林齢が36～54年のクロマツ一斉林で、植栽時にはヘクタール当たり1万本だったが、厳しい気象条件のため、その後の保育作業を見合わせてきた。この結果、高密度で林齢の割には直径が細く、下枝が発達しないで枯れ上がった気象害に弱い形状の不健全な林分となっており、その健全化が大きな課題となっている。

このような状況を克服するため今回の研究は、前線林手前の未植栽地に植栽密度を従来の半分であるヘクタール当たり5千本の試験地を設け、これを健全な前線林に仕立てるための手法を探ることを目的とした。これにより植栽箇所については、植栽密度を疎とすることで下枝等が発達し、健在な前線林となるとともに、現在の前線林については、気象が緩和され施業や更新可能な林分となるという、2つの結果が期待出来ると考えた。

### 2. 研究の方法

図-1のとおり194林班と1134林班にAからMまで13箇所の試験地を設けた。試験地設定の考え方については、まず生育環境の違いにより、194林班にあるA～Cは砂丘が不安定で砂丘後方に筋状クロマツ林がないエリア、1134林班にあるD～Iは砂丘が安定しており砂丘後方に筋状クロマツ林があるエリア、J～Mは砂丘が安定しているが砂丘後方に筋状クロマツ林がないエリアを試験地として選定した。次に、砂丘が安定しているD～Mの試験地において、天地返し地拵を行うか否か、防風柵を設置するか否かにより、隣接同士で異なった試験地を選定した。

平成25年3月、全ての試験地にクロマツ5千本／h a 植えを実施し、6月、8月、10月及び12月の4回にわたり植栽木の活着率・樹高等について調査を行った。



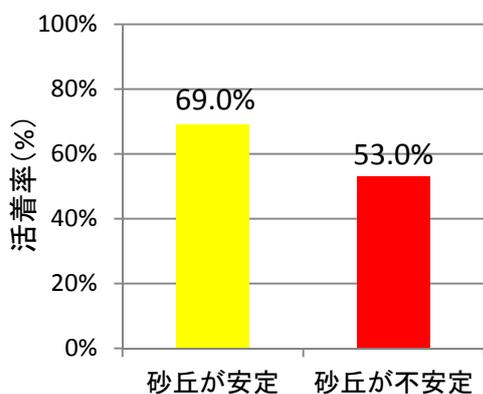
図－1 試験地の概略図

### 3. 調査の結果

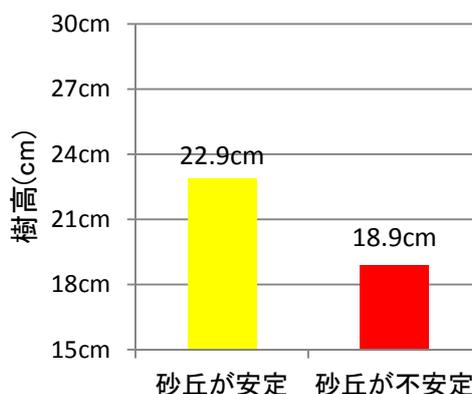
条件や施業方法の違いによる効果を検証する指標として、12月時点の活着率と樹高を用いた。本来、指標としては樹高よりも植栽時からの生長量がふさわしいと考えるが、植栽時の樹高を計測していなかったため、12月時点の樹高を指標として用いた。この2つの指標により、生育環境や施業方法の違いによる効果の検証を行った。

#### (1) 砂丘の安定性が植栽木に及ぼす影響

砂丘が不安定な箇所の試験地（A～C）と安定している試験地（J～M）の活着率と樹高について比較を行った。その結果、砂丘が安定している方が、活着率では16%、樹高では4cm上回った結果となった。（図－2、図－3）



図－2 砂丘の安定性の有無別の活着率



図－3 砂丘の安定性の有無別の樹高

#### (2) 筋状クロマツ林が植栽木に及ぼす影響

砂丘後方に筋状クロマツ林がある試験地（D～I）とない試験地（K、M）について比較を行った。その結果、前線に筋状クロマツ林が有る方が、活着率では11%、樹高では1.4cm上回った結果となった。（図－4、図－5）

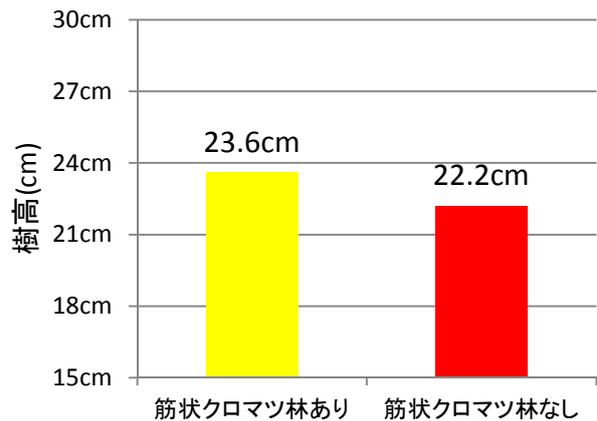
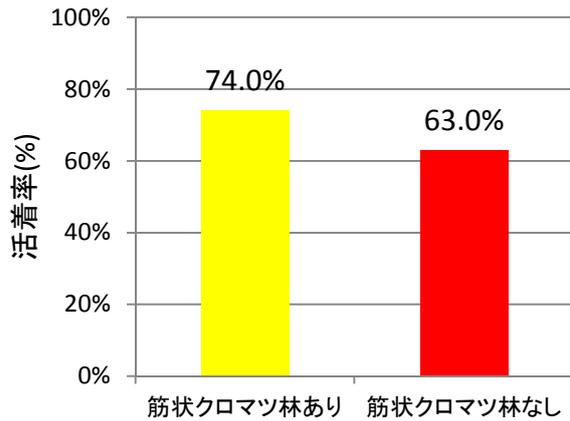


図-4 筋状クロマツ林の有無別の活着率 図-5 筋状クロマツ林の有無別の樹高

(3) 天地返し地拵えが植栽木に及ぼす影響

クロマツを植栽する前に天地返し地拵えを行った試験地 (FDHML) と地表の草木を刈っただけの試験地 (GEIKJ) について比較した。その結果、事前に天地返し地拵えを行った方が、活着率では31%、樹高では4.0cm上回った結果となった。

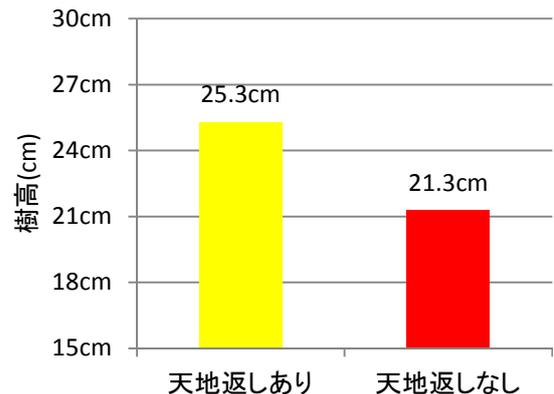
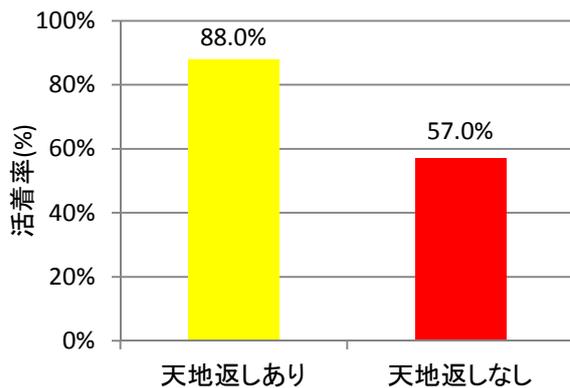


図-6 天地返し有無別の活着率

図-7 天地返し有無別の活着率

枯死した時期 (図-8) に着目すると、6月から8月にかけて枯死本数が急激に高まっており、海岸林の文献で、「植栽時に地被物を充分剥ぎとらなければ、競合する植物の蒸散作用によって枯れる。」<sup>(1)</sup>と先人が研究していたことを再確認することが出来た。

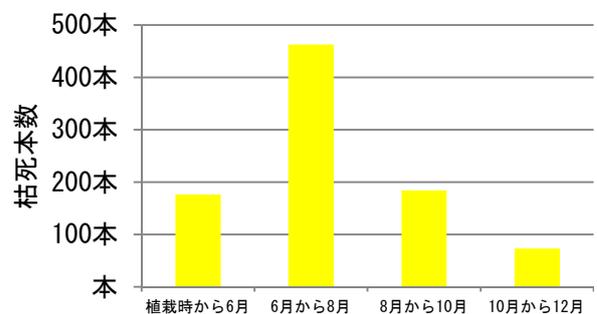


図-8 調査時期毎の枯死本数

(4) 防風柵の有無と種類が植栽木に及ぼす影響

丸太防風柵がある試験地（K4、M4）と隣接するない試験地（K3、M3）について比較したが、活着率、樹高とも際だった差が出ない結果となった（図-9、図-10）。

次に、葦簀防風柵がある試験地（F2G2H3I3）と隣接する無試験地（D2E2H4I4）について比較した。こちらも活着率についてはほとんど差がみられなかったが、樹高については防風柵を設置した方が2.9cm上回った結果となった（図-11、図-12）。

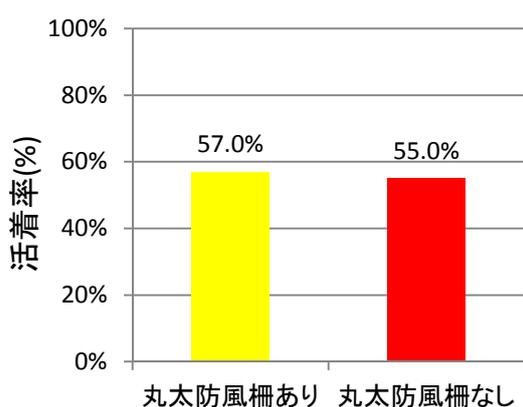


図-9 丸太防風柵の有無別の活着率

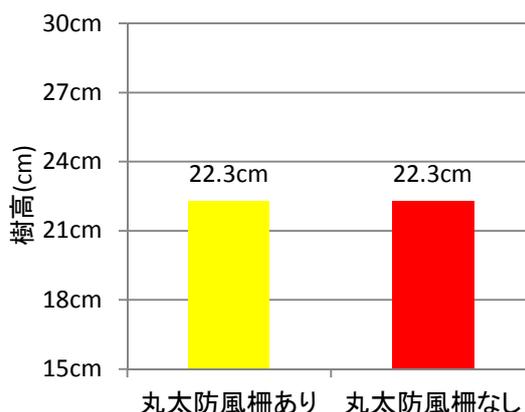


図-10 丸太防風柵の有無別の樹高

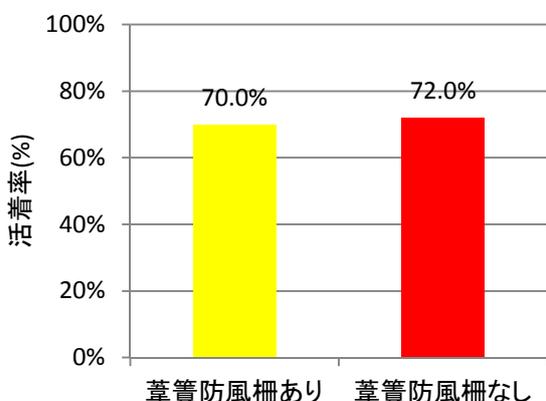


図-11 葦簀防風柵の有無別の活着率

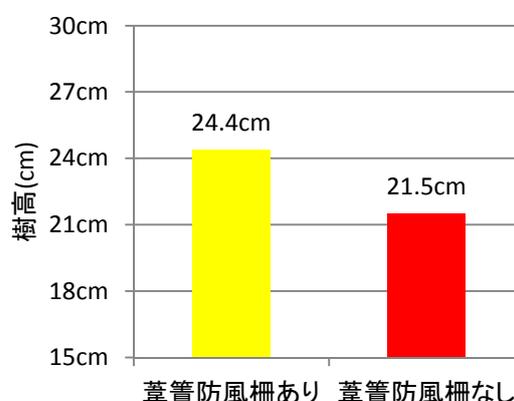


図-12 葦簀防風柵の有無別の樹高

4. 考察

以上の調査結果（表-1）から、活着の良否については地拵えの影響が最も大きく、砂丘安定性と筋状クロマツ林の存在も影響を与えることが分かった。一方、防風柵の存在は活着率にほとんど影響を与えなかった。

次に樹高について見ると、砂丘の安定性と地拵えの有無において樹高の差が最も大き

項目	活着率			樹高			
	有	無	比較	有	無	比較	
① 砂丘安定性	69 %	53 %	+16 %	22.9 cm	18.9 cm	+4.0 cm	
② 筋状前線林	74 %	63 %	+11 %	23.6 cm	22.2 cm	+1.4 cm	
③ 地拵	88 %	57 %	+31 %	25.3 cm	21.3 cm	+4.0 cm	
④ 防風柵	丸太	57 %	55 %	+2 %	22.3 cm	22.2 cm	-0.1 cm
	葦簀	70 %	72 %	-2 %	24.4 cm	21.5 cm	+2.9 cm

表-1 調査結果

くなくなった。

以上のことから、活着率を良くするためには競合する植物の存在を極力排除することが最も重要であることが分かった。また、成長を促すためには競合する植物の存在と強風の影響を極力排除することがともに重要であることが推察できた。

次に、砂丘が安定しており、筋状クロマツ林がある試験地（D～I）において、地拵えの有無、葦簀防風柵の有無別に4パターンのコスト計算を行った。コスト計算は下刈までのトータルコストとし、活着した1本当たりの経費を算出した（表-2）。この結果、地拵えを実施し、かつ葦簀防風柵を設置しない方法が最もコスト削減が図られることが分かった。また、この場合の活着率は95%であり、今後十分成林が期待できると考えられる。

項 目		葦 簀 防 風 柵					
		有			無		
地 拵	実 施	438	円/本	(86%)	399	円/本	(95%)
	未実施	570	円/本	(53%)	528	円/本	(57%)

注) 1. ( )は活着率

2. 地拵実施箇所は下刈回数5回、未実施箇所は下刈6回として計算した

3. コスト計算は、平成24年度単価を使用した

表-2 コスト計算

以上これまでの調査結果等から、①砂丘が不安定な箇所については、まず砂丘を安定させる必要があること②安定した砂丘後方に筋状クロマツ林がない箇所については、砂丘に近い箇所から順に植栽を進める方法が効果的であること③安定した砂丘後方に筋状クロマツ林がある箇所については、防風柵の設置は不要であり、天地返し地拵えを実施し植栽する方法が最も効率的で、かつ健全な成林が期待できることが分かった。

写真-1は、庄内海岸林において数少ない下枝が発達した健全な前線林で、将来的にはこのような林分に仕立てていくことが目標である。この前線林の樹高は5.5m程度であり、森林総研の「クロマツ海岸林の管理と手引きとその考え方」<sup>(2)</sup>によれば、この樹高に対する適切な残存本数は25百本となっている。



写真-1 下枝が発達した健全な庄内海岸林

今回設定した試験地はまだ1年の中で一番風が強くなる冬を越えておらず、強風や飛砂がどの程度移動し植栽木に影響を与えるか、この春先に引き続き調査を行い、これまで述べた考察が妥当かどうか再検証が必要である。また、将来的にヘクタール当たり25百本程度の健全な海岸林を仕立てるに当たって、ヘクタール当たり5千本の植栽本数が妥当かどうかについては、長期的な課題として今後検証していく必要があると考えている。

## 5. 参考文献

(1) 酒田営林署(1983): 海岸治山事業概要

(2) 森林総合研究所(2011): クロマツ海岸林の管理の手引きとその考え方

# ヒバ施業実験林資料の電子化に関する取組（最終報告）

東北森林管理局森林技術・支援センター 業務係長 ○木村 正彦  
森林技術専門官 岡浦 貴富

## 1. はじめに

東北森林管理局管内には日本三大美林といわれる青森ヒバ（ヒノキアスナロ）と天然秋田杉の2つが生育しており、その一つである青森ヒバについては、総蓄積の約82%が青森県の津軽半島及び下北半島を中心に分布している。大正15年当時青森営林局技師であった松川恭佐氏<sup>まつかわきょうすけ</sup>を中心に大正末期からヒバ林の調査研究を行い、昭和5年8月に「森林構成群を基礎とするヒバ天然林施業法」を確立した。この施業法を現地に適用し、継続的に森林の推移に関するデータを取りながら、その成果を明らかにすることなどを目的として昭和6年に津軽半島と下北半島にそれぞれヒバ施業実験林を設定した（図－1）。増川ヒバ施業実験林は、津軽半島の北部に位置し195.68 haの面積、また大畑ヒバ施業実験林は、下北半島の中央部に位置し221.94 haの面積を有している。実験林の具体的目標は主に3つあり、（1）森林構成群を基礎とするヒバ天然林施業法の経営的価値の実験、（2）最も集約的な施業林の目標、（3）森林構成群を基礎とするヒバ天然林施業法に関する各種研究の継続と完成であった。

当森林技術・支援センターには、東北森林管理局青森分局廃止時（平成16年3月31日）にヒバ施業実験林に関する各種調査票、図、写真及び計画書等の資料が移管された。実験林設定から約80年が経過した中で、当時からの資料が未整理であること及び一部資料については、紙及びインクが劣化していることが判明した。このため、これらの貴重な資料を保存し後世に引き継ぐことを目的として、平成20年から資料の電子化を開始し本課題に取り組んだ。



図－1 ヒバ施業実験林位置図

## 2. 取組方法

### （1）資料整理（予備作業）

電子化にあたっては、保存資料について把握することから始めた。その結果、資料等については、B5及びB4サイズが基本となっているが、作成年度によって造林実行簿や実行総括表は用紙サイズが規格外のものが相当数あること、また予想以上に劣化が顕著であることがわかった。年代により造林実行簿や実行総括表で用紙サイズに違いがあ

ることもわかった。

ファイルに綴じているものの多くはファイルの表紙の取り替えが必要で、表紙の補修をしながら再度ファイリングした。ファイルに綴じられていない資料については、年度別等にファイリングし整理した。

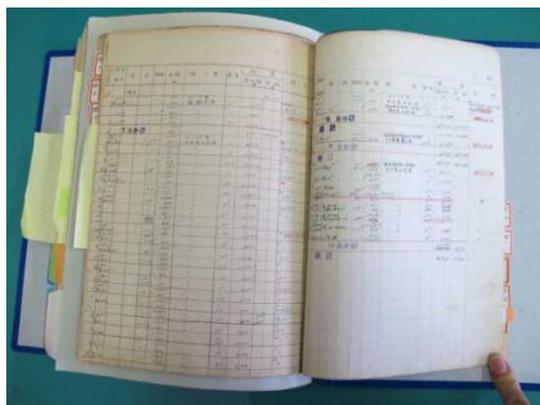
また、ヒバ施業実験林設定当時の貴重な林相図や土壌図等の図面類も多く存在していることが判明し、年度別等にファイリングし整理した。

## (2) スキャナによる電子化

### ①造林実行簿等

造林実行簿（図－2）、収穫実行総括表や径級別本数表等は紙媒体であることから、基本は判読がよりしやすいようにするためカラーで取り込みし、PDF形式で電子化した。なお、一部の資料についてはモノクロで電子化を行った。

また、規格外のデータについては、A4及びA3でのサイズで電子化を行い余白部分をトリミングした。



図－2 造林実行簿

### ②図面類

サイズが大きい林相図及び土壌図（図－3）等のような紙媒体の図面類は、大型スキャナによりカラーで取り込みしPDF形式やJPEG形式により電子化した。また、長い図面については、分割して電子化した。



図－3 林相図及び土壌図

### ③印刷されている写真

印刷されている写真（図－4）は、JPEG形式により1枚ずつ取り込み電子化し、余分な部分のトリミングを行った。写真によってはセピア色に変色しているものもあった。



図－4 昭和9年の写真

#### ④スライド及びネガフィルム

スライド及びネガフィルム(図-5)は、フィルムスキャナによりJ P E G形式で取り込み電子化した。1コマ当たりの取り込み時間が3分~5分かかるため、スライド等約1500枚を電子化するのに多くの時間を要した。スライド等はほとんどがモノクロであるが、一部カラーも含まれたが、その中にも色に変色してるものがあった。



図-5 スライド及びネガフィルム

### (3) 表計算ソフト等による電子データ化

#### ①データ入力

造林実行簿や収穫実行総括表等の実行データは年代による表記の変化や類似した資料がみられることから、それらを入力前に突合した。資料についてかなり詳細に検討した結果、戦前の実行データ類は、面積の表示が現在と違い小数点以下4桁表示であることや作業名が撫育(現在でいう「保育」と表示されているなど、現在とかなり表記の違いが多く事前の整理が重要なことがわかった。そのため戦前の資料は判読が難しいこと及び複数の資料との突合が必要なことから整理をするために多くの時間を要した。

そして上記の作業が完了した時点で、造林実行簿、収穫実行総括表や径級別本数表等の数値データは表計算ソフトに入力を行い、各種帳票や図式化するための表を作成して電子データとして保存した。

#### ②入力したデータの図式化

表計算ソフトに入力された情報を元に、実験林の林小班を区分け(色分け)した図や林相がわかる樹種別の径級別本数表グラフ等の作成を行った。

### (4) 図面類の複製

現存するものが1枚だけの貴重な紙媒体の図面類は、必要部数コピーをして複製を行った。これは、複製品を業務で使用するにより、元の資料の劣化や破損を防ぐことにもなると考えられる。

また、大きいものに関しては、コピーをつなぎ合わせて作成した。

## 3. 取組結果

### (1) 資料整理

事前の資料整理を行ったことで資料の全体像が把握できたことや、資料を分類し表紙の取り替えや取り付けを行ったことで、資料室で整理しやすくなった。それに加え、各々の資料に番号を付加し、資料整理一覧表も作成したことから、資料を探す手間が短くなった。

また、用紙類も補修したことで保存状態は良くなっていると考えている。

(2) スキャナによる電子化の結果

造林実行簿等の資料は、PDF形式で電子化したことにより、紙媒体の劣化等による調査データの消失の懸念がなくなった。また、それぞれ関連する資料について突合を行ったことで、設定時から現在までのデータの連続性がある程度確保されたものと考えている。今回表計算ソフトでいくつかの帳票を作成し、個々の数値データを整理したことで、今後各種グラフ等の作成や分析が容易にできるのではと考えている。

実験林に関するスライド、フィルムや印刷されている写真は約1500枚を電子化した。

電子化したものはプリントアウト(図-6)し、紙媒体でも確認できるようにした。

また、これら電子化した資料はパソコン上でも調査データや写真を確認できるようになり、紙媒体の資料を探す必要も少なくなった。



図-6 電子化した写真

(3) 表計算ソフト等による電子化の結果

①データ入力

造林実行簿は年度別小班別の植栽、下刈、つる切、除伐等の実行データを入力し、収穫実行総括表は年次別小班別のN・L別伐採本数及び伐採材積等の実行データを入力し帳票の作成を行い、電子データ化した(図-7)。また、作成した帳票を利用し、年度別の実行結果や林班別の実行結果等の複数の帳票の作成も行った。昭和45年以降の造林等の資料については、小班別の実行データが不明な箇所が多いことから、小班別での整理は難しく林班単位での整理をした。

径級別本数表については、ヒバと広葉樹に分けて入力(表の作成)を行い、同時にha当たりの径級別本数分布等の林相を把握できるグラフを作成した。また、年代別にも作成した。

昭和9年伐採履歴整理表 3林班 作業種 主伐 択伐

小班別	林相	面積	歩道	区	計	合計	本数	材積	備考
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
2	0.48	0.48	0.88	1.11	1.11	41.57	41.57		
3	0.00	0.04	0.78	1.09	1.09	54.45	54.45		
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
6	0.15	0.15	0.48	0.48	0.48	11.78	11.78		
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
合計	11.40	0.81	1.00	0.35	11.33	1.28	3.448	4.774	104.402

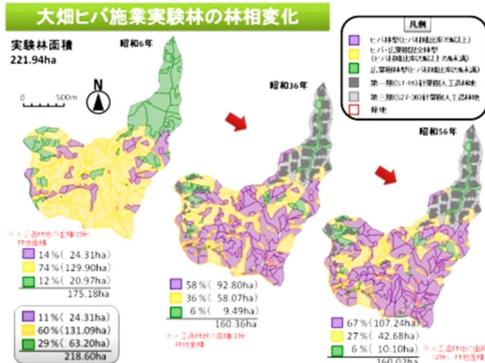
図-7 林小班別伐採履歴整理表

②入力したデータの図式化

入力データの図式化については、整理した小班別植栽本数を使い基本図に該当小班別に色分けして表示した図面を作成した。小班別蓄積及び小班別本数データを利用し、基本図に林相区分別に色分けされた林相図についても一部について作成した(図-8)。整理した各種本数データを使用して、林分の立木本数が設定当初から現在までどのように変化しているかわかる本数変化グラフを一部の小班で作成した。

#### (4) 電子化によって作成した資料

電子化した帳票等及びそのデータによって作成した図等は印刷し（図－9）、資料として保存し活用している。



図－8 大畑ヒバ施業実験林の林相変化



図－9 作成した帳票及び図等

### 4. 取組成果

#### (1) 電子（データ）化の成果

今回の電子化に伴い資料整理をしたことで、ヒバ施業実験林に関する造林事業や伐採事業等に関する詳細な施業履歴がわかった。整理した立木本数や蓄積データを表計算ソフトで帳票化、グラフや図式化等することで、今回新たに分析することができ、ヒバ施業実験林の設定当時から現在までの施業経過による林相などの変化を明らかにできた。

調査資料は劣化や損傷が顕著になってきていたため、それにより調査データ消失の恐れがあったが、電子化することによってそれを防ぐことができた。加えて、電子化したものを印刷すればいつでも紙媒体としての調査資料を復元可能である。これらにより貴重な資料を継続的に保存し、後世に引き継ぐことができると考えている。

また、電子化する際の資料整理をしたことにより、保存されている資料の全体像が把握できた。

#### (2) 成果の活用

今回、電子化した各種の資料については、ヒバ施業実験林での施業上有用な情報と考えられるので、増川ヒバ施業実験林を管轄する青森森林管理署及び大畑ヒバ施業実験林を管轄する下北森林管理署において、ヒバ施業実験林に関する説明会（図－10）を開催し、整理した帳票データや整理した図表により設定時から現在までの推移等を説明した。また、作成した関係資料及び電子データについても提供した。

今回整理した資料については、林業遺産としての価値もあると考えられることから、公表できる資料については、今後ホームページで閲覧できるように検討していくこととする。



図－10 説明会の様子

# 東日本大震災の教訓を踏まえた防潮堤の設計・施工について

宮城北部森林管理署 海岸防災林復旧対策事務所 ○宮下 崇 水村 年一

## 1 はじめに

東北地方太平洋沖地震によって発生した津波は、東北地方沿岸の海岸保全施設等に多大な被害をもたらし、当署管内の気仙沼地域においても、防潮堤等の治山施設が倒壊、流失、沈下の被害を受けた。

それらの復旧にあたっては被災状況や被災メカニズムから得られた教訓を踏まえた、あらたな防潮堤の構造設計が求められている。そこで本発表では、施設の復旧方針とそれに基づく構造物の設計および調査・解析方法において、従来の手法に加え、あらたに検討・実施した内容について整理し、今後の津波被害等に対応した防潮堤設計においての参考となることをねらいとした。

## 2 検討に至った経過 ～被災から復旧方針の決定まで～

### (1) 被害の状況

平成 23 年 3 月 11 日、三陸沖を震源とする東北地方太平洋沖地震が発生、それに伴う巨大津波により、東日本各地に甚大な被害がもたらされた。

こうした状況に対応するため、管内の気仙沼地区では、宮城県知事より要請を受け、国が代行して行う特定民有林直轄治山施設災害復旧等事業の 4 箇所（実線枠で表示）と、国有林野内直轄治山施設災害復旧事業の 4 箇所（点線枠で表示）、計 8 箇所、総延長約 4.4 k m、面積約 16.4ha において復旧事業を計画しているところである（図 1）。



図 1 計画箇所図（宮城県気仙沼市）

下の写真は計画箇所最北部に位置する、尾崎・千岩田海岸の被災状況である。防潮堤のほとんどが転倒・流失・沈下しており（写真 1）、背後の防災林においても全て流出してしまい、陸地だった場所まで浸水している状況が確認できる（写真 2）。



←  
写真 1



→  
写真 2

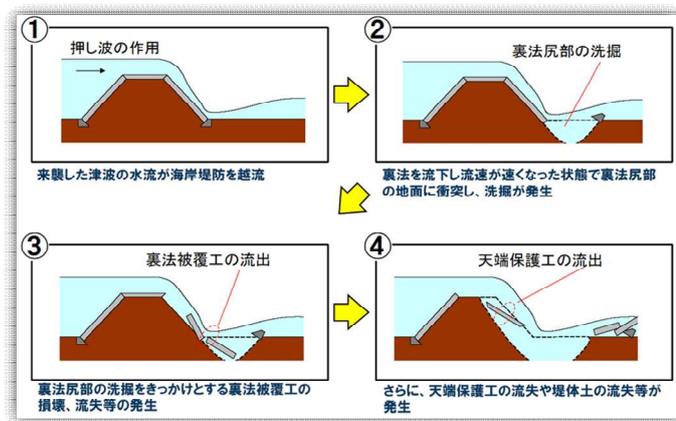
なお、他の 7 海岸においても同様の被害があり、早急な対策が必要となっている。

## (2) 復旧方針

### ① 被災のメカニズム（裏法尻部→裏法被覆部→天端被覆部の被害）

防潮堤は、波浪、高潮、津波等の侵入及び海岸の浸食を防止することにより、海岸防災林の基礎とすることを目的としている（治山技術基準解説〔防災林造成編〕）。

右の図は、今回確認された防潮堤の被災メカニズムである。越流した津波が裏法尻を洗掘し、それをきっかけに裏法・天端被覆部が流出した。さらに堤体土の流出が発生し、こうした防潮堤は津波の第2波、第3波に対しては、防災機能を発揮することができなかった。



出典：「海岸堤防等の被災状況分析」

海岸における津波対策検討委員会 第3回会議資料

### ② 中央防災会議等からの提言

こうした状況を受け、中央防災会議では、地震・津波対策に関する専門調査会を設置し、津波に対する基本的な方針を示した。

まず、今次のような千年に1度と言われる巨大で発生頻度のきわめて低い津波を「最大クラスの津波（レベル2津波）」とし、三陸津波やチリ地震津波など、数十年から百数十年に1度程度発生する津波を「頻度の高い津波（レベル1津波）」と区分し、レベル1津波に対しては、海岸堤防により、確実に津波から街を防御する、レベル2津波に対しては、住民の避難を軸とし土地利用や防災施設の整備など、ハード・ソフトを総動員する「多重防御」の考え方で減災するとした。

そして、海岸堤防については、津波が越流した場合でも施設の効果が粘り強く発揮できるような構造物を整備していくことが必要と示された。

この中央防災会議の提言に基づく「海岸における津波対策検討委員会」の方針を受け、宮城県では、防潮堤の高さを決定するための設計津波の水位の決定や、粘り強い構造の具体的な構造を示した。

そして、治山施設としての防潮堤の構造については、これらの提言・方針を踏まえて検討し、決定した（図2）。

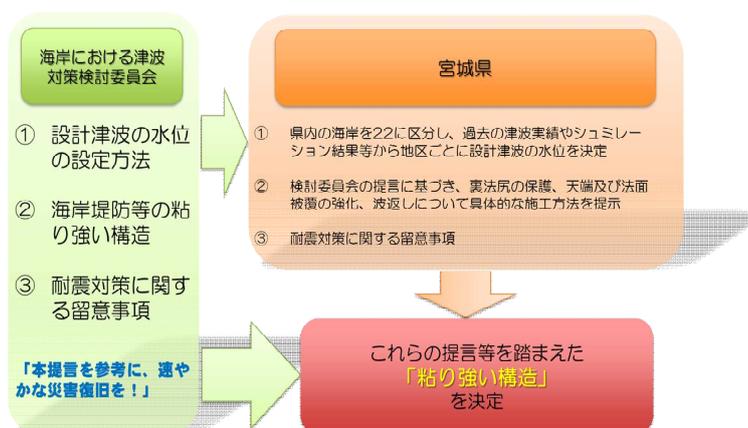


図2 構造決定のプロセス

## 3 検討の方法および結果 ～構造の設計と調査・解析～

### (1) 構造の設計

① 粘り強い構造

先に述べた、粘り強い構造とは、基本的な考えとして、施設の破壊・倒壊までの時間を少しでも長くする。あるいは、全壊に至る可能性を少しでも減らすことを目指した構造で、具体的には以下のような工夫を施すものである。

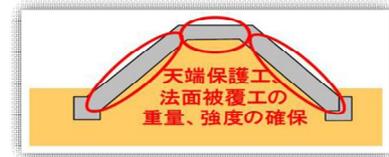
ア 裏法尻部の保護

越流した津波で最初に被害を受ける裏法尻部をコンクリート等で被覆し、洗掘に耐える構造とする。



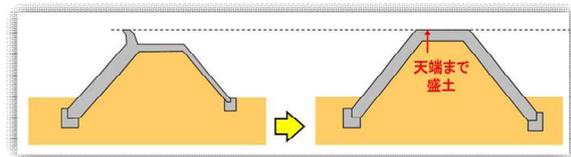
イ 天端・法面被覆工の増厚

従来行ってきた天端及び法面被覆工の重量や強度を上げ、津波の高速な水流でも流出しない構造にする。



ウ 波返し工の見直し

津波により倒壊等が確認された波返しについては、天端まで盛土し、前法、天端、裏法を一体とすることで構造を強化する。



宮城県土木部  
「東日本大震災公共土木施設等復旧方針」(H24.2) より抜粋

② 実際の施工例（野々下海岸治山工事）

ここで検討結果として、これらの構造を取り入れ、現在施工している野々下海岸について説明する(図3)。

防潮堤の高さは、

T.P.+9.8m で、その高さまで背後盛土をし、前法から法尻まで一体的な構造とした。

また、天端及び裏法被覆については従来20cm程度だったものを50cmに増厚し、被覆工をおこなった。

さらに、法尻の保護

については、止水矢板工を採用し、ある程度の洗掘があった場合でも法尻の侵食を防ぐ構造とした。

なお、止水矢板の有効長（打込長）は当該地域の被災状況（洗掘深1.5~2.0m）を考慮し、2.0mとした。

- 場所 宮城県気仙沼市野々下130外国有林346林班
- 工種 防潮堤工
- 構造 高さ T.P.+9.8m 延長 131.8m

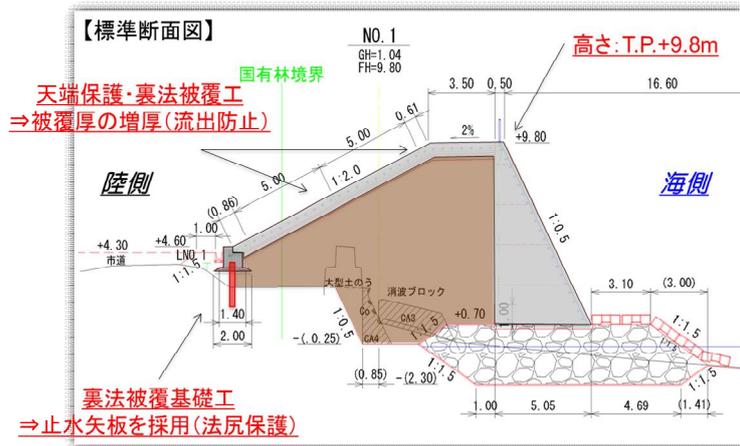


図3 野々下海岸治山工事 標準断面図

## (2) 調査・解析

### ① 基礎地盤の液状化現象

ここからは、施設の耐震設計を検討するための調査・解析について述べる。

本稿、被災状況の説明において、防潮堤が転倒・流失した状況をご覧頂いた（写真1）。ボーリング調査を行ったところ、そのような場所では、軟弱な粘性土や砂質土が基岩上に厚く堆積した「埋没谷」と呼ばれる地形が確認され、併せて液状化判定においても「地盤が液状化する可能性が高い」という結果が示された（図4）。

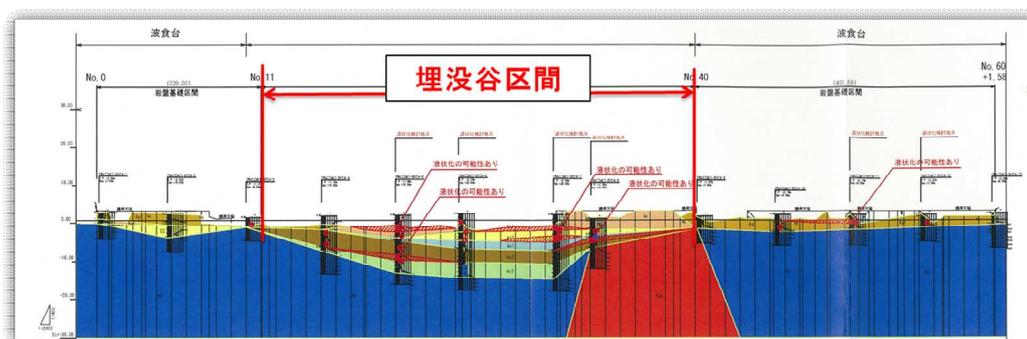


図4 地質断面図および液状化判定結果図

このように、防潮堤が倒壊・流出した場所と埋没谷の位置がリンクしており、地盤の液状化が倒壊・流失の一因であることが確認できる。

### ② 動的解析（シミュレーション解析）

このような、地盤の液状化の可能性が示された箇所については、今回、施設の耐震設計を検討するにあたり、より精度の高い、シミュレーションによる解析手法を導入した。

従来の設計では、設定した断面について、転倒・滑動および地盤支持力に対する安定計算を経て、断面を決定するが、耐震設計については、施設の規模が大きいものなどに限り、一定の地震動を考慮した安定計算をおこない、安定性を確認してきた。これはあくまで転倒・滑動に対する照査であり、施設の沈下については考慮されていない。

防潮堤は施設の目的から、地震動に対し、設計高を保持することが重要であるため、今回の耐震設計では従来の手法で決定した堤体断面に対し、最大クラスの地震動を想定したシミュレーションをおこない、施設の沈下量を含めた各種変位量を照査した。

解析のためのメッシュモデルは実際の土質試験等の結果を反映し、構築されているため、堤体や基礎地盤の変形、応力、ひずみ量を高精度で判定できる（図5）。

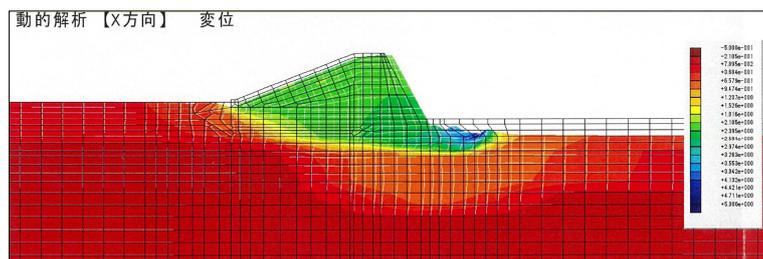


図5  
解析結果の一例  
(中央の突起が防潮堤)解

### ③

## 析結果

ここで検討結果として、前述した埋没谷区間において実施したシミュレーション解析について説明する。解析では現地盤上に施設を設置した場合と、地盤の液状化に対し、一定の条件で対策工を施した場合の変位量の比較をおこなった。

対策前の沈下量-44.7cm に対し、対策後は-18.4cm となり、地盤の沈下が抑えられたことが確認できた(図6)。

しかし、対策後においてもなお沈下が確認されることから、地盤改良の工法や改良率などのさらなる検討が必要であると考えられる。

対策工条件	
・改良工：	グラベルコンパクション工法
・改良率：	22.8%
・杭間：	1.3m (φ700mm)

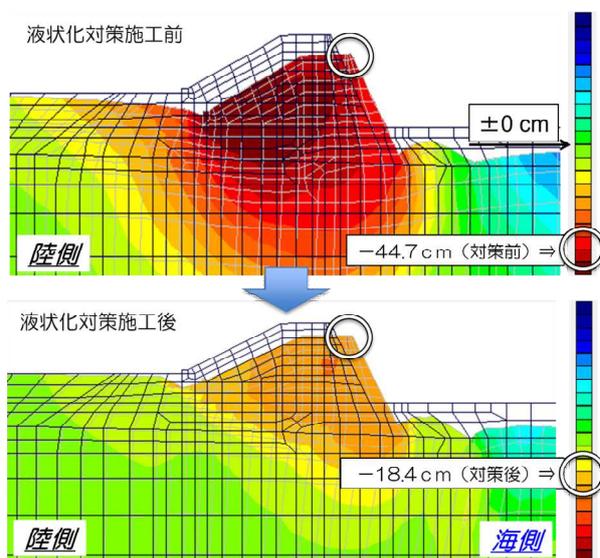


図6 地盤改良前後のシミュレーション結果 Y軸変位(沈下量)

## 4 考察および今後の取り組み

### (1) 地盤改良工法の検討

地盤改良の方法としては締固め工法、固結工法などが一般的であるが、それぞれ表のような工法・特徴がある。各海岸ごとに、現地にあった工法を検討するが、併せて、経済性、資材の供給、工期等を含めて総合的に判断することが必要となる。

改良方法	工法	特徴
締固め工法	グラベルコンパクション工法 ・軟弱土を一度引き抜き、砕石(グラベル)を投入しながら打ち戻し、砂杭を作成	○長所 ・実績が多く、信頼性が高い。 ・土質を問わず、あらゆる地盤に対応できる。  ×短所 ・良質な改良材(砕石)が必要であり、供給量の確認を要する。 ・振動、騒音による影響が大きい
	深層混合処理工法 ・軟弱土と安定材(コンクリート等)を攪拌混合し、所定の強度のパイ(杭)を作成	○長所 ・改良率を50%程度に抑えることができる。 ・施工効率が良く、工期短縮が可能。  ×短所 ・グラベルコンパクション工法より高価。 ・機械攪拌のため、構造物に密着した施工は不可能

表 地盤改良の主な工法と特徴



### (2) 今後の取り組み

今後は他の7海岸についても引き続き復旧事業を進めていくこととなるが、施工にあたっては関係機関との調整や地域住民の理解が必要不可欠となる。先の野々下海岸においては、集落迂回のための工事専用路の設置等について地域住民と話し合いを重ね、同意を頂くことができた。

同様に他の海岸についても、住民説明会等を通じ、懇切丁寧な説明を心掛け、早期の復旧に努めていきたい。

# 森林共同施業団地の取組を核とした民国連携の推進

山形森林管理署 業務グループ ○ 杉田 篤信  
森林技術指導官 小林 貞成

## 1. はじめに

森林・林業の再生は現在の林政の最重要課題であり、国有林もそれに貢献することが重要である。森林・林業の再生へ貢献するため ①低コストを実現する施業モデルの展開と普及 ②林業事業体の育成 ③民有林と連携した施業の推進 ④森林・林業技術者の育成 ⑤林業の低コスト化等に向けた技術開発 ⑥林産物の安定供給への取組を強化することが示されている（平成 25 年版森林・林業白書）。当署においては平成 24 年度から低コストを実現する施業モデルの展開と普及をはじめとして、着手可能な事項から順次取り組んでいる。このような中、国有林は平成 25 年度より一般会計化し、これまで以上に民有林と連携し一体的な施業を推進することとしており、当署においても、③民有林と連携した施業の推進に特に力を入れて、取組を進めることとした。

民有林と国有林の連携（民国連携）の一形態に森林共同施業団地（以下「団地」とする）がある。民有林と国有林は別々に施業を行うのが通常であるが、コストが高くつくだけでなく、場合によっては他方の土地の制約から路網の整備ができず、木材の搬出を行えないこともある。このような箇所では団地を設定すれば、民有林・国有林の一体的、計画的な路網整備の推進や、路網・土場等の相互利用が可能になり、その結果、施業の集約化によるコスト削減、山元への利益還元を図ることができる。当署はこの団地の設定に取り組み、それを端緒に、更なる民国連携を進め、山形県の森林・林業の再生に貢献することとした。

## 2. 方法

当署管内は山形県の村山地域（図 1）としている。この村山地域の関係機関・団体（山形森林管理署、山形県村山総合支庁、山形県森林研究研修センター、山形県林業公社、市町村、独立行政法人森林農地整備センター、山形県森林組合連合会、森林組合）を構成員に『村山地域森林施業集約化部会』を発足させた。平成 24 年 2 月に第 1 回の部会（図 2）を開き、趣旨説明を行うとともに、各関係機関・団体に施業予定箇所のデータ提供を依頼した。そのデータを基に施業予定箇所を明示した村山地域の森林施業図面（1/5 万）を作成した。これを資料に平成 24 年 4 月に第 2 回、平成 25 年 3 月に第 3 回の部会を開き、施業の集約化および団地の設定について意見交換を行った。

さらに、団地設定に先行して取り組んでいる仙台



図 1 山形県村山地域

森林管理署の現地検討会へ参加したり、庄内森林管理署の団地候補地の検討状況について説明を受けるなどして、情報収集を行った。

このような活動を踏まえ団地候補地の選定を進めた。選定は、国有林と民有林が近接し、路網・土場の相互利用等で互いのメリットとなる地域を条件に進めた。加えて、第3回の村山地域森林集約化部会において、「民有林の場合、所有者の森林面積が小さく集約化に多大な労力を要するため、まずは所有面積の大きい所で設定できる場所を選んではどうか」という意見が出されたことから、山形県林業公社の公社林を対象に、団地候補地を絞り込んだ。



図2 第1回村山地域森林集約化部会

### 3. 結果及び考察

#### (1) 大井沢地区での団地設定の検討

団地設定の第一候補となったのが、西川町の大井沢地区である(図1)。部会で作成した森林施業図面(図3)から、大井沢地区は国有林に隣接してまとまった公社林があり、団地候補地として有望視された。

しかし、実際に大井沢地区の現地踏査を行ったが、林齢の割に木の生長は遅れていた(図4)。民有林では補助金が適用されるか否かが重要となるが、森林環境保全直接支援事業という補助事業が適用されるには5ha以上の集約化した面積と、間伐の場合平均10 m<sup>3</sup>/ha以上の搬出が必要である。大井沢地区では木の生長が遅れ、補助金の採用条件を満たせない恐れがあり、林業公社が間伐対象から当面の間除外したことから、団地設定は見送ることとした。

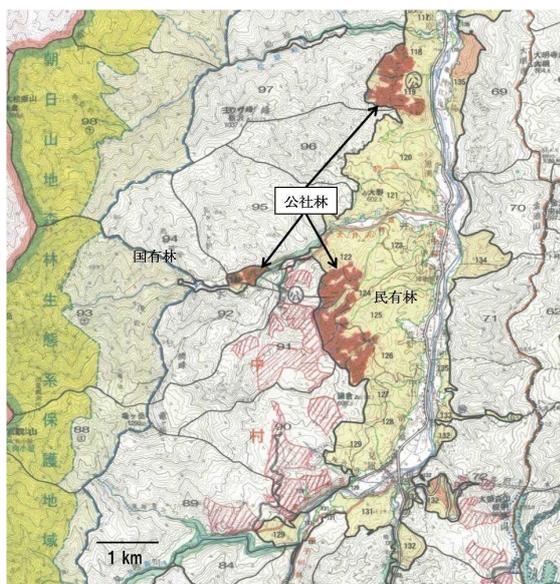


図3 大井沢地区の森林施業図面



図4 大井沢地区の現地踏査

### (2) 畑・田代・岩野地区での団地設定の検討

大井沢地区での経験を踏まえ、補助事業の適用条件を満たすことを考慮し、団地候補地の再検討を行った。その結果、寒河江市と村山市にまたがる畑・田代・岩野地区が対象に取り上げられた(図1)。この地区では平均10 m<sup>3</sup>/ha以上の搬出間伐が可能であり、さらに公社林以外の民有林も多く近接している(図5)ことから、今後団地を拡大する観点からも団地設定にふさわしいものであった。そこで、この地区において団地を設定することで話が進んだ。

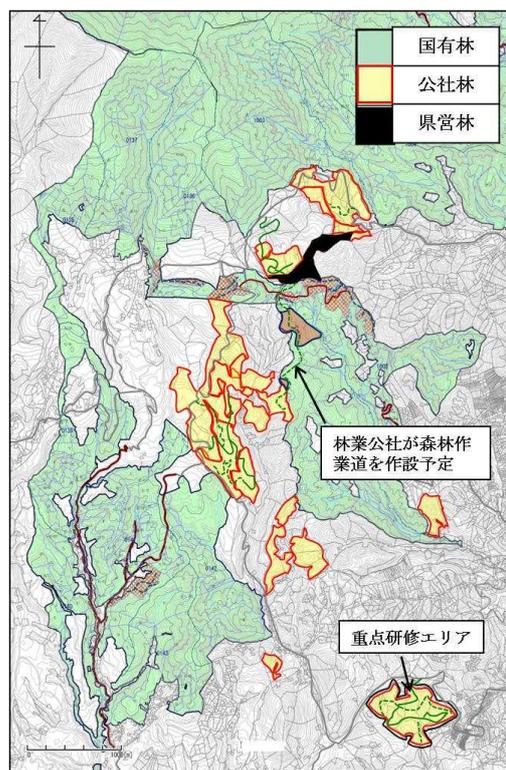


図5 畑・田代・岩野地区

### (3) 森林整備推進協定の締結と団地の設定

平成25年11月26日、山形県村山総合支庁と山形県林業公社、当署の三者で『村山地域森林整備推進協定』を締結し、団地を設定することとなった(図6)。協定の対象区域は今後の団地の拡大を見込んで村山地域全体(山形県管内全域)とし、団地は畑・田代・岩野地区に設定した。本協定は三者が連携、協力し、村山地域の団地化を推進させ、合理的な路網整備、効率的な森林施業の実施・普及に資することを目的とするものである。



図6 村山地域森林整備推進協定の締結

本団地での林業公社の事業は森林環境保全直接支援事業の対象となり、さらに山形県独自の補助率の嵩上げが行われている。

団地の所有形態別森林面積等の内訳は表1の通りである。なお、通常の団地設定では土地の所有者がその土地に係る路網を作設するが、本団地では林業公社が国有林内に森林作業道を作設することとしている(図5)。さらに山形県森林研究研修センターと連携して、民有林・国有林を通じた研修や現地検討会を実施し、普及活動に活用する場として、重点研修エリアを設けた点も特徴的である(図5)。

表 1 団地の所有形態別森林面積等

所有形態	面積 (ha)	森林整備面積 (ha)	路網延長 (m)	
			林道	森林作業道
公社林	176	58	0	4,940
県営林	12	0	0	0
国有林	1,054	45	0	6,100
計	1,242	103	0	11,040

#### (4) 考察

まず、団地設定に取り組む中で、団地候補地となり得る箇所が予想以上に少なく苦労した。国有林は私有林の奥地に所在するのが常で、国有林へのアクセスに私有林を通ることはあっても、国有林を通して私有林へアクセスすることは少ない。このため、団地設定でメリットが大きいのは国有林であることが多く、相互でメリットが生じる私有林と国有林が入り組んでいるような箇所はごく一部に限られていた。また、当署管内の国有林野施業実施計画期間は平成 26 年度までで、施業予定箇所が限定されていたが、本来協定締結は、相互の計画の始期に行うことが理想と思われる。本協定においては協定期間の延長を前提として締結している。

加えて、机上での想定と実際の現場の状況は異なり、大井沢地区での団地設定は見送った。畑・田代・岩野地区においても現地踏査は十分だったとは言いがたく、林業公社が現場を熟知していたことで助けられた。団地設定の候補地に挙がったらなるべく早期に現地に行き、林況や路網の状況等について確認すべきであった。

さらに、今回は三者のみの協定締結となってしまった。とりあえずは大規模所有者同士で締結を行ったが、他の森林所有者にも参加を呼びかける必要がある。今後は近接する森林所有者に参加を働きかけて行きたい。また、私有林への補助金制度についても知識と重要性への理解不足を感じた。しかし、今回の団地設定で、私有林の補助制度について理解を深めることができた点は良かったと思っている。

当署において今回が初めての団地設定であったが、関係者との合意形成や集約化をはじめ、解決すべき課題が多岐に渡ることを感じた。今回の経験を活かし、新たな団地設定を引き続き進める考えである。

#### (5) 団地設定後の取組

協定締結後、早速 12 月に森林組合と打ち合わせを行った (図 7)。施業予定箇所の掘り起こしや、森林所有者への働きかけによる団地の拡充、次期国有林野施業実施計画と森林経営計画の施業箇所のマッチングに向け取り組むことを確認している。



また、大江町の林研グループ：光林会とも打ち合わせを行い、大江町の道海地区（図1）での団地設定について検討した。既存の民有林林道（大瀬川左岸線）と、国有林林道（道海林道）をつなぎ合わせ、相互にメリットのある施業ができないか意見交換を行った（図8）。今後、林研グループと一緒に、図面上の検討を進めるとともに、融雪後は現地検討を行う予定である。

さらに重点研修エリアを活用し、民有林と国有林で連携して研修・現地検討会を行うこととしており、それに向けて現地踏査（図9）や山形県森林研究研修センターとの打ち合わせを行うなど、調整を進めているところである。

今回の団地設定で民国連携の貴重な足がかりができたと考えている。今後は森林所有者への働きかけによる団地の拡充や市町村森林整備計画・森林経営計画作成の支援、技術者の育成や事業体の育成等を行い、民国連携を発展させる考えである。これらの取組を通じ、低コスト施業の普及・定着化や林産物の安定供給等を構築し、山形県の森林・林業の再生に貢献したい。

図7 北村山森林組合との打ち合わせ



図8 大江町道海地区



図9 重点研修エリアの現地踏査

# 一点載荷試験による路盤の調査と検証

岩手南部森林管理署 業務グループ 一般職員 畑田 宏

## 1. はじめに

森林・林業再生プランでは、路網の整備を重点課題の一つと位置づけており、特に林業専用道の整備が必要とされています。

路網の作設には、経済性と耐久性の両立が求められており、現在、東北森林管理局では、コスト削減の観点から、上層路盤を転圧することで路盤材の縮減を図りつつ、耐久性のある路体を作る試みがなされています。

路盤材を縮減した場合でも、これまでの林道と同等の耐久性があるのかを検証するために、一点載荷試験による路盤の支持力および沈下量の調査を行いました。



写真1. 20cm 敷均し路盤



写真2. 10cm 転圧路盤

## 2. 調査方法

### (1) 耐久性に関する指標の検討

路網の耐久性に関する指標について検討をしました。車両の荷重や衝撃で道路が変形したり破壊されないことが重要と考え、現地で簡易に測定でき、分かりやすい指標として支持力と沈下量を用いることにしました。

### (2) 支持力と沈下量の調査方法

車両の重量は図1のように輪荷重として路盤にかかり、路床の支持力が反力として作用します。それによって、道路に沈下が生じます。

支持力簡易測定装置は、地盤工学会基準の平板載荷試験 (JGS 1521) をもとに、任意の一点の荷重とその時の沈下量を計測 (一点載荷試験方法) することにより、許容支持力を推

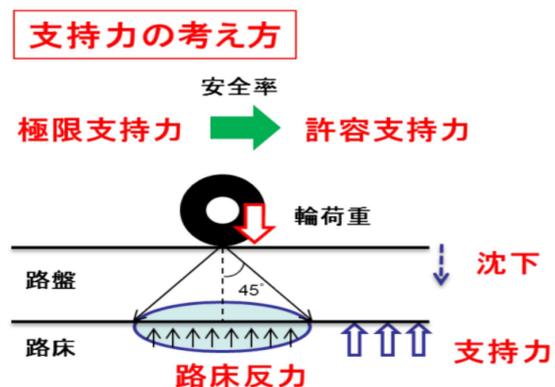


図1. 支持力と沈下量の模式図

定するものです。

本調査では、土力計（財団法人 林業土木コンサルタンツ技術研究所 JFEC-99.2）を用いました。土力計による計測は、軟弱な土質地盤および古い堆積地盤等の地山状態の地盤を対象としており、舗装を行わない林業専用道の路盤の調査に適していると考えました。



写真3. 調査に用いた土力計



写真4. 測定の様子

### (3) 調査箇所の概要

調査は、当署管内で平成25年度に新設した餅転林道で行いました。路盤材を縮減した新工法の路盤で、盛土箇所と切土箇所のそれぞれ2箇所、計4箇所計測しました。切土箇所は傾斜の急な箇所と緩やかな箇所、それぞれ2回ずつ計測を行い、盛土箇所は1箇所につき1回の計測を行いました。

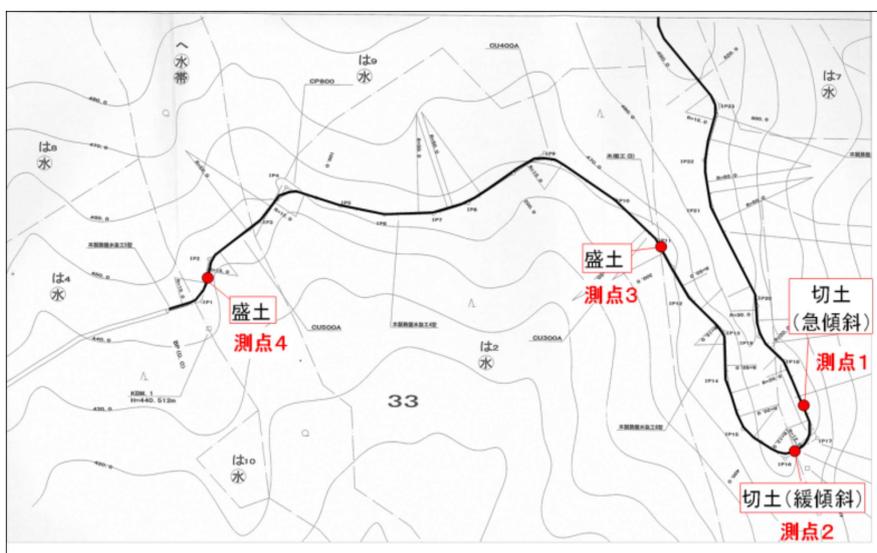


図2. 調査箇所（餅転林道）

### 3. 調査結果

調査の結果、新設箇所の沈下量は、最小値3.0mm、最大値9.0mmであり、許容支持力は最小値139kN/m<sup>2</sup>、最大値363kN/m<sup>2</sup>でした。また切土箇所と盛土箇所では、支持力が2倍以上異なる結果となりました。

切土箇所における沈下量の平均値は3.25mm、許容支持力の平均値は349.5kN/m<sup>2</sup>であり、砂利層の支持力(300kN/m<sup>2</sup>~600kN/m<sup>2</sup>)の範囲でした。傾斜による違いは、盛土箇所ほど見られませんでした。

盛土箇所における沈下量の平均値は8.00mm、許容支持力の平均値は155.0kN/m<sup>2</sup>となり、普通砂質層の支持力(100kN/m<sup>2</sup>~400kN/m<sup>2</sup>)の範囲でした。

盛土箇所における2箇所の沈下量の違いは、測定箇所の盛土高や盛土材料によるものと思われます。

表1. 沈下量および支持力の結果

土工種	測点	荷重 [kN]	沈下量 S [mm]	許容支持力 [kN/m <sup>2</sup> ]
切土 (急傾斜)	測点1	15	3	345
		15	3	345
切土 (緩傾斜)	測点2	15	3	345
		20	4	363
盛土	測点3	15	7	171
	測点4	15	9	139

表2. 土工種ごとの沈下量及び支持力

土工種	平均沈下量 [mm]	平均許容支持力 [kN/m <sup>2</sup> ]
切土箇所	3.25	349.5
盛土箇所	8.00	155.0

餅転林道 沈下量調査結果

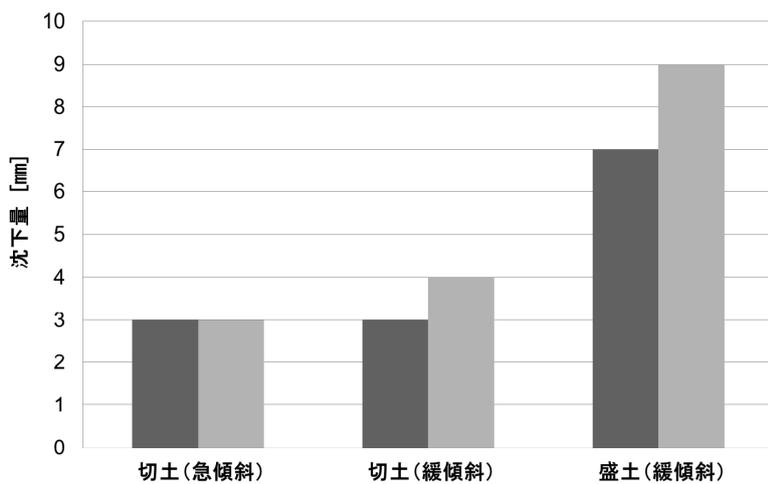


図3. 沈下量の調査結果

#### 4. 考察

今回の支持力の調査結果と道路橋の設計におけるトラックの輪荷重<sup>1)</sup>を比較検討しました。

道路橋の設計におけるトラックの輪荷重等は表3のとおりです。25 tトラックの単位面積当たりの輪荷重は、前輪および後輪ともに980kN/m<sup>2</sup>になります。

表3. 道路橋の設計におけるタイヤ荷重

橋の等級	荷重	総荷重W [kN]	前輪荷重 0.1W [kN]	前輪接地面積 [m <sup>2</sup> ]	後輪荷重 0.4W [kN]	後輪接地面積 [m <sup>2</sup> ]	m <sup>2</sup> 当たりの荷重 [kN/m <sup>2</sup> ]
1等林道橋	T-25	245	24.5	0.025	98	0.1	980
2等林道橋	T-14	137	13.7	0.025	54.9	0.1	550

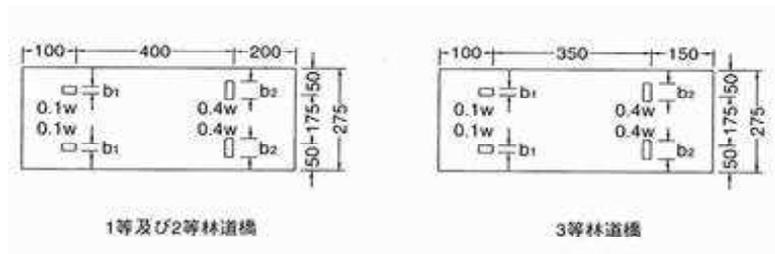


図4. 林道橋の設計におけるタイヤの荷重の考え方

餅転林道の切土箇所における許容支持力の平均値は349.5kN/m<sup>2</sup>ですが、極限支持力に換算すると1048.5 kN/m<sup>2</sup>（安全率 3）となります。極限支持力以上になると、土は破壊すると考えられます。餅転林道の切土区間では、25tトラックの単位面積当たりの輪荷重は、極限支持力より小さいので25tトラックは通行可能と考えられます。

盛土区間は極限支持力に換算すると465kN/m<sup>2</sup>になり、25tトラックの単位面積あたりの輪荷重を下回っています。そのため、路盤の支持力に関する調査事例や基準値についてさらに調べて検討しました。

路盤の支持力に関する基準については、セメントコンクリート舗装道路の路盤における設計基準がありました<sup>2)</sup>。この基準では、大型車交通量が1日100台未満の場合、地盤反力係数K<sub>s</sub>は15kg/cm<sup>3</sup>とされています。

地盤反力係数と支持力については、次のような関係にあります（道路の平板載荷試験 JIS A1215）。

$$K_s = \frac{P}{S}$$

K<sub>s</sub> : 地盤反力係数 (MN/m<sup>3</sup>)  
 P : 載荷圧力 (kN/m<sup>2</sup>)  
 S : 沈下量 (mm)

舗装道路の場合、沈下量が1.25mmの場合の載荷圧力を用いて地盤反力係数を算出します。地盤反力係数 15kg/cm<sup>3</sup>を単位換算し、沈下量1.25mmの場合の載荷圧力を算出すると、184kN/m<sup>2</sup>となります。これは、餅転林道の盛土区間の許容支持力と同じ程度です。

また、20tトラックを用いた埋設パイプラインの影響調査<sup>3)</sup>でも、平板載荷試験による路盤の支持力は159kN/m<sup>2</sup>となっています。

餅転林道の盛土区間の支持力は、以上の基準値や調査結果と同じ程度であり、盛土区間も大型トラックが十分通行できると考えられます。

## 5. 今後の課題

今回、調査を行った餅転林道において、路盤材の敷厚を20cmから10cmにすることで、工事価格で43万7000円のコスト縮減をします。

切土箇所の土質や盛土の高さなどに応じて、適切な転圧回数や路盤材の敷厚を検討することで、さらに経済性と耐久性を実現した林業専用道を作ることができると考えます。また、耐久性が高まることにより、維持修繕費も低減できると思われれます。

具体的には図5のように、盛土の高さや切土の土質区分に応じた施工基準を設けることをイメージしています。

盛土については、盛土の高さが高くなるほど転圧回数を増やし、碎石の敷厚も増やします。切土については、砂質土、粘性土、礫質土、岩塊・玉石の土質区分に応じて、転圧回数と碎石の敷厚を決定します。

このような路盤材の敷厚および転圧回数の施工基準を確立するためには、今後、より多くの箇所でデータを継続して収集する必要があります。

また、路盤材を縮減した林業専用道を、素材を積載したトラックがまだ走行しておらず、車両の走行による検証も必要です。

**イメージ図**

		1.0m 未満	2.0 ~3.0m	3.0 ~4.0m	4.0 ~5.0m
<b>盛土</b>	<b>盛土高</b>				
	<b>転圧回数</b>	2~3回	5~6回		なし
	<b>碎石敷厚</b>	10cm		15cm	20cm
<b>切土</b>	<b>土質区分</b>	S1	S2	S3	S4
	<b>転圧回数</b>	5~6回		2~3回	
	<b>碎石敷厚</b>	15cm		10cm	

図5. 土工種に応じた施工方法のイメージ

しかも、支持力簡易測定装置による調査には、バックホウが必要で時間もかかります。今後、複数の林道で調査を行いデータを収集するには、さらに簡易な調査方法も必要になると考えられます。

以上の課題に対して調査を進め、これまで積み上げてきた施工の実績や経験を、土質試験等によりデータ化して比較検討できるようになれば、現場に役立つものになると考えます。

#### 参考文献

- 1) 日本道路協会：平成23年林道必携（技術編）
- 2) 鹿島出版会：語り継ぐ舗装技術
- 3) 濱中 亮：車両輪荷重が舗装道路下の埋設管に及ぼす土圧の評価手法に関する実験的検討 土木学会舗装工学論文集 第14巻(2009)

# 主伐と植栽の一括発注による低コスト造林の基本モデルの開発

東北森林管理局 森林整備部 資源活用課 ○西村 祐  
森林整備課 奈良 一志  
技術普及課 岩間 由文  
資源活用課 入交 信太

## 1. はじめに

近年、木材価格の低迷が著しく、昭和55年には40,000円/m<sup>3</sup>であった杉中丸太の価格も下落の一途をたどり、平成25年には10,800円/m<sup>3</sup>とピーク時の3割以下になっている。このような状況においては、丸太を販売して得られる収入では育林経費をまかなうだけの収入が得られていない。そのため、手入れがされないまま荒廃した山が増加している。1齢級までにかかる費用は育林費全体の54%を占め、初期段階における林業の低コスト化が必要な状況にある。

現在日本の人工林資源は10齢級以上が51%以上を占め、資源の本格的な利用段階にある。平成25年10月に閣議決定された全国森林計画においては、主伐量の増加が計画されており、平成20年策定の計画量の1.6倍となっている。主伐量が増加する中で、伐採後の植栽・育林を適正に実行していくためには、事業の低コスト化が喫緊の課題である。

そこで、東北森林管理局では主伐と植栽を一括発注することにより（以下本事業を「一貫作業システム」と呼ぶ）、生産・造林事業における作業の効率化・省力化に取り組むこととした。なお、一貫作業システムは当局では初めての試みであり、導入するにあたっての問題点を洗い出すことが当面の課題である。

## 2. 研究方法

秋田森林管理署湯沢支署管内の国有林内（21林班と、と1、ろ1、ろ2小班）に試験区を設置し、平成25年8月～11月に事業を実施した。従来の作業は①伐採・造材、②地拵、③植栽の工期を各事業ごとに契約・実行していたが、本事業では上記の事業を一括して発注することにより、各事業を同時並行的に進行することができる。したがって伐採・搬出中に集材で用いたグラップルを地拵に活用したり、フォワーダを用いてコンテナ苗を運搬することによって、地拵・植栽のコストを大幅に省力できると考えられている。

また、植栽についてはコンテナ苗を活用した。コンテナ苗を利用するメリットとしては初期成長がよく、活着率が高く、さらには植栽が容易という点がある。一貫作業システムにおいては、通常は伐採に従事している作業員が普段は行っていない植栽を行うことになり、工期が通常よりも高くなってしまう。初心者にとっても植栽が容易であることは一貫作業システムにとっては大きなメリットである。

試験計画の全体の流れとしては、最初に伐採前林分で刈払を行い、作業道を開設し

た。その後、伐倒、造材・搬出、地拵、植栽のスケジュールで事業が進行した。

本研究では図1・2のと通りの試験区を設定した。地拵について、図1のとおり、作業道のそばで機械地拵を行い、機械が入れない箇所においては人力地拵を行った。植栽については図2のとおり、と小班・と1小班においては全てコンテナ苗を植栽した。ろ1・ろ2小班では小班を半分に分け、北半分にはコンテナ苗を、南半分には普通苗を植栽した。同一試験地において試験メニューを設定することによって、作業地間の環境要因の違いに左右されることなく、比較することが可能となった。本研究においては、現地において各工程の作業時間のモニタリングを行い、得られた作業時間から工期を算出し、地拵・植栽における作業の違いがもたらす結果について検討することとした。

### 3. 結果及び考察

#### (1) 地拵

ろ1小班の機械地拵は8.1人工、人力地拵は16.6人工となった(図3)。同様に、ろ2小班の機械地拵は4.3人工、人力地拵は13.0人工となった。このように、ろ1・ろ2小班両地点において、機械地拵の方が人力地拵と比較して工期が50%以上向上し、機械の優位性を示す結果となった。

#### (2) 植栽

ろ1小班のコンテナ苗では15.3人工、普通苗では19.7人工となった(図4)。同様に、ろ2小班のコンテナ苗では14.2人工、普通苗では14.8人工となった。と小班では11.6人工、と1小班では13.9人工となった。

ろ1小班・ろ2小班においてはコンテナ苗の方が普通苗と比較して工期が向上した。また、と小班・と1小班では小班がまとまっているので小運搬の負担が減り、ろ1・ろ2小班と比べると工期が低くなっていると考えられる。

本研究では、一貫作業システムを行うに当たって以下の3点をメリットとしてあげることができた。1点目は、機械地拵工期の結果から示されたとおり、生産事業に用いる機械を地拵に活用することによって、従来大きな負担となっていた地拵を軽減することができた。2点目として、従来は集材を終えた後、林内運搬車が戻るまでの時間は機械が稼働していなかったが、一貫作業システムにおいては待ち時間に積み込みを行うグラップルが枝条処理等を行うことができ、作業空白時間を短縮することができた。3点目は植栽結果から示されたとおり、コンテナ苗を用いることによって植栽に慣れていない作業員でも普通苗より簡易に実施することができた。このように一貫作業システムは大きな可能性を持っているが、作業環境によっては効率良く事業を行うことができない可能性もある。例えば急傾斜の斜面では機械を導入することができない場合もある。また本試験区のように伐区と林業専用道が近い場合、苗の運搬にフォワードを有効活用できないという問題もある。このような課題を踏まえつつ、今後実証を重ねることにより、技術の標準化を達成し、一貫作業システムに適した土地で行うことができれば、伐採～植栽の低コスト化が実現で

きると考えられる。

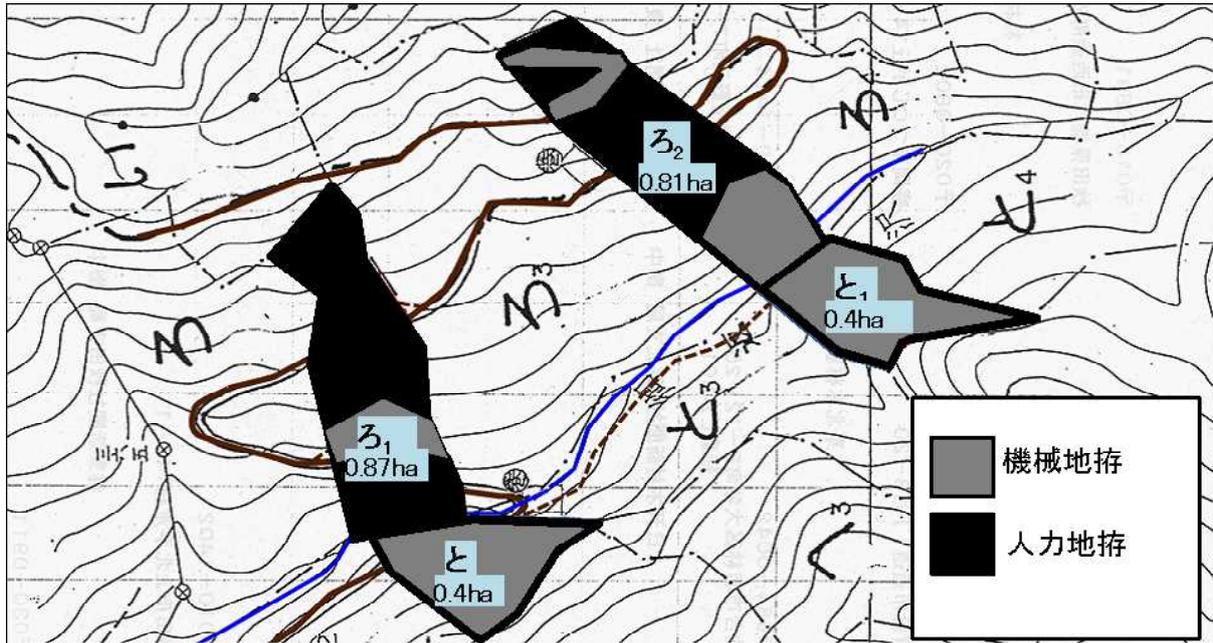


図1. 地拵の作業を示す図面

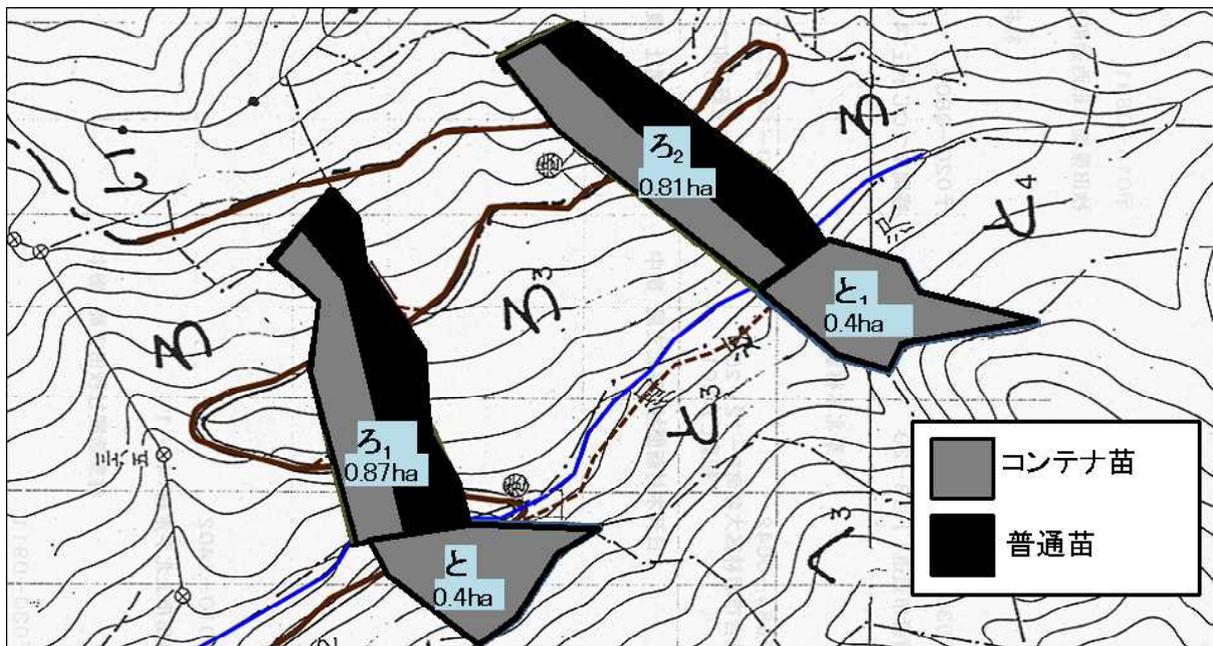


図2. 苗の種類を示す図面

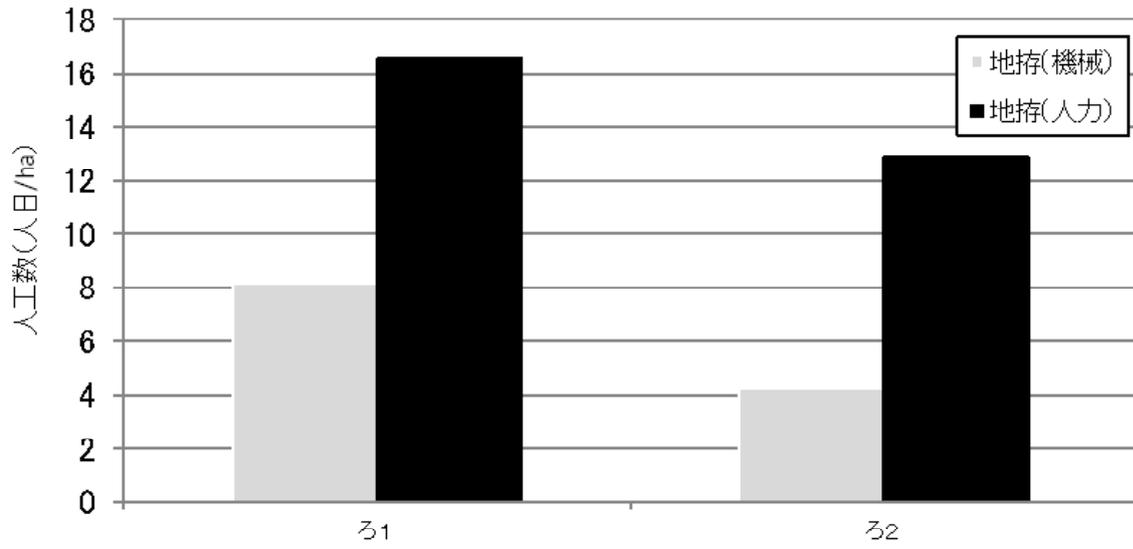


図 3. 地拵の作業工程

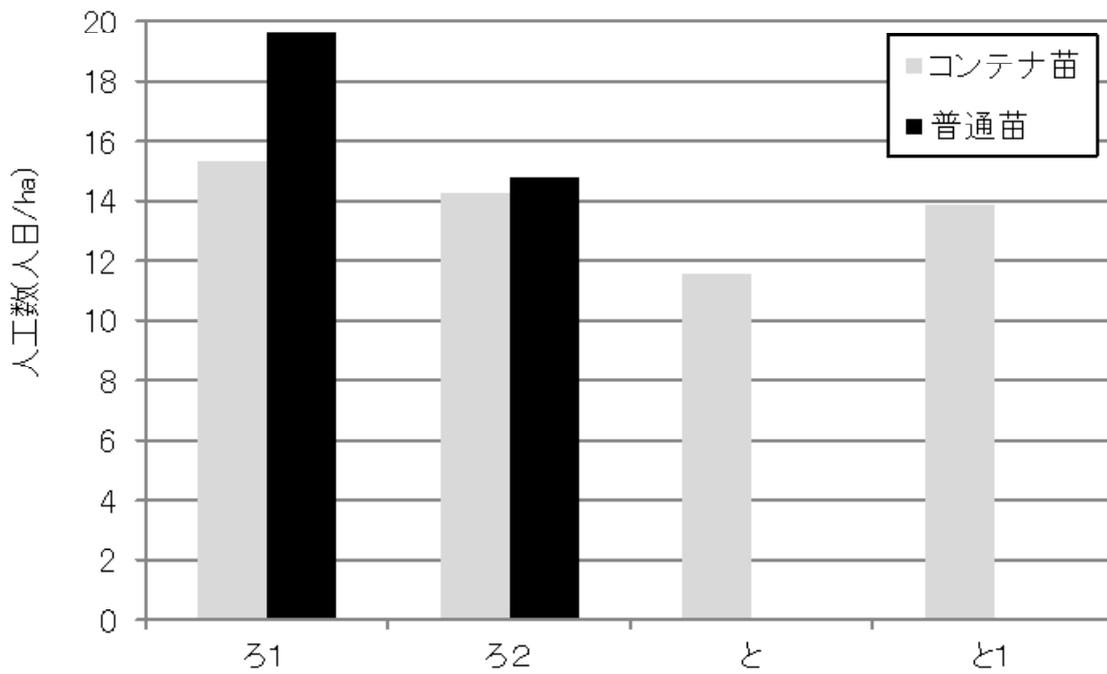


図 4. 植栽の作業工程

# 森林経営計画作成指導

秋田県北秋田地域振興局森づくり推進課 主査 小笠原 正太

## 1. はじめに

平成23年度に森林法が改正され、これまで実施されていた森林施業計画制度が大きく見直しになり、新制度として森林経営計画制度が平成24年度から新たにスタートした。当管内の旧森林施業計画制度の認定率は38.3%と、県平均の56.7%を大きく下回る状況で、施業の集約化のためには計画認定箇所の掘り越しが大きな課題となっていた。

そこで、新制度のスタートに伴う説明会や座談会等を通じ、制度の普及啓蒙に努めるとともに、新制度での計画認定率の向上を目的とした各種活動等を展開した。

## 2. 目標の設定

旧森林施業計画の認定状況と森林経営計画の認定目標については(表1)(表2)のとおりである。

### ・旧森林施業計画の認定状況(表1)

区 域	民有林面積	認定面積	認定率	備 考
秋 田 県	447,384 ha	253,625 ha	56.7 %	平成24年度版 秋田県林業統計抜粋
北秋田管内	76,514 ha	29,330 ha	38.3 %	

### ・森林経営計画の認定目標(表2)

区 域	平成24年度	平成28年度	平成32年度	備 考
秋 田 県	140,000 ha (31.3 %)	246,000 ha (55.0 %)	358,000 ha (80.0 %)	目標面積÷民有林 面積=目標率(%)
北秋田管内	13,773 ha (18.0 %)	29,000 ha (37.9 %)	61,211 ha (80.0 %)	

目標の考え方としては、5年間で旧森林施業計画のカバー率に近づけ、最終的には平成32年度までに国の目標と同じ民有林面積の80%とした。

## 3. 地区の概要

### (1) 北秋田地区の概要

秋田県の県北部に位置し、大館市・北秋田市・上小阿仁村の2市1村である。

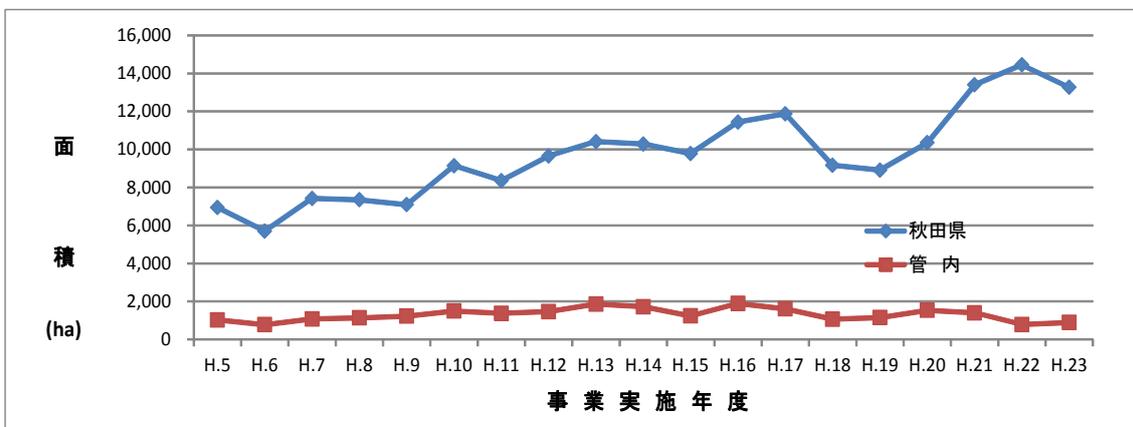
総面積は232,309haで森林の面積は190,543ha。森林率は82%と非常に高く、古くから林業を糧に生活していた人が多く暮らす地域である。又、森林面積の約60%は国有林で、過去には天然秋田スギの一大産地として知られていた。

### (2) 森林資源の状況

民有林面積は76,514haで、このうち人工林の31年生～50年生の森林面積は約26千ha、蓄積で約7,500千m<sup>3</sup>もの資源を抱えている。

### (3) 間伐実績

造林補助事業における平成5年度からの間伐実績については（図1）のとおりである。管内は年平均約900haで推移しており、上記の間伐対象森林面積26千haのうち約3.5%だけが毎年事業実施されている状況である。（図1）



#### (4) 保有山林規模別林家数

市町村別の林家状況については（表3）のとおりであり、1～5ha所有が全林家数の約81%と大半を占め、非常に小さい所有林家が多い。（表3）

	1 - 3	3 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 50	50 上	備考
大館市	1,615	297	188	79	27	12	7	面積 (ha) 林家 (戸)
北秋田市	1,708	489	396	207	35	29	17	
上小阿仁	194	54	31	12	7	2	2	
計	3,517	840	615	298	69	43	26	

#### 4. 取り組み状況

##### (1) 平成24年度

新制度の初年度は、市町村・森林組合担当職員への説明会（写1）や個別指導、各地区での座談会などを適宜実施した。認定実績については、平成24年度目標を18%としていたが、結果は9.5%と非常に低い実績となった。



(写1)

##### (2) 平成25年度

制度の普及啓蒙を引き続き徹底するため、説明会や個別指導、各地区での座談会等を強化して実施した。また、新規の取り組みとして、准フォレスターや普及指導員が地域の進捗状況を常に共有するためのミーティング（写2）や認定率の高い地区（地域振興局）の指導方法等をチェック（表4）、認定状況を森林GISにより管理することにより、各流域での属地計画作成への支援、森林組合担当者等へのアンケート調査（図2）などを実施して、現状の分析等に努めた。



(写2)

・認定率の高い他の地区の指導方法等を聞き取り調査 (表4)

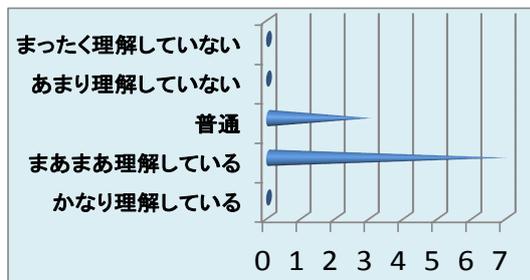
○説明会や座談会等を多数開催	○補助事業をちらつかせる
○役員会、理事会などで作成依頼	○自治会等から要望してもらうよう依頼
○徹底した個別指導の実施	○行政圧力 などなど

・計画書作成担当者へのアンケート調査 (図2)

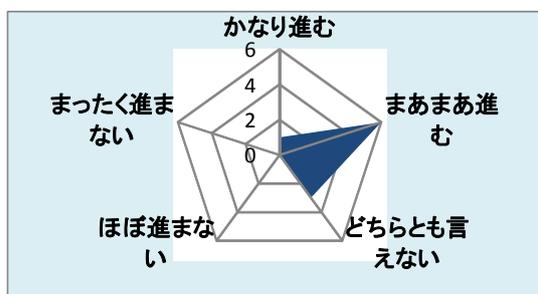
Q1 森林経営計画は必要ですか？



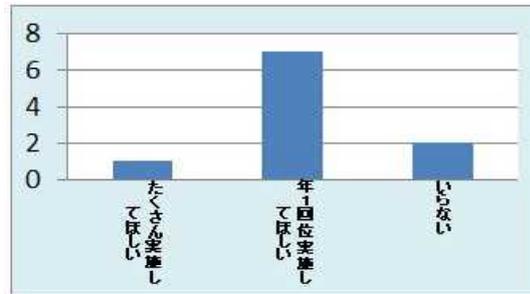
Q2 森林経営計画制度の理解度は？



Q3 認定箇所の間伐等は進むか？



Q4 今後の説明会等の開催は？



Q5 疑問及び意見等を自由記載

○森林経営計画が達成できなかった場合の補助金返還はどうなるのか。
○手入れの遅れた森林からの材はほんとうに使えるのか。
○成熟期の森林だけに目がいつているように見える。幼齢林の減少が心配。
○途中で認定要件等を変えないでほしい。所有者への説明と相違してくる。
○もっと、林家へ足を運び、意見や情報を伝えるべきである。

## 5. 成果

各種取り組みを実施した結果、平成26年1月末現在の実績は(表5)のとおりとなった。(表5)

	H24 目標	H28 目標	H24 実績	H25 実績	備考
秋 田 県	140,000 ha (31.3 %)	246,000 ha (55.0 %)	106,345 ha (23.8 %)	144,781 ha (32.4 %)	
北 秋 田	13,773 ha (18.0 %)	29,000 ha (37.9 %)	7,237 ha (9.5 %)	25,152 ha (32.9 %)	

県平均を超えることができ、旧森林施業計画の認定率38.3%へはあと一步となった。しかし、内訳として大規模所有者(市町村、財産区、生産森組等)の認定が主であることから、今後は小規模所有者の取り込みが急務である。

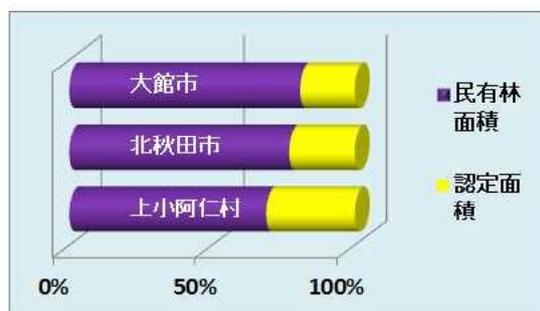
また、属人・属地別の認定状況は(図3)のとおりとなっており、属人が62%

を占めている。市村ごとの民有林に占める認定率は（図4）のとおりであり、特に大きな違いは見られなかった。

（図3）



（図4）



## 6. まとめ

### （1）見えてきた課題

認定率の向上に向けて、さまざまな取り組みを実施した結果、次の3つの課題が見えてきた。

1つめは、問題改善に意欲的な地区と興味のない地区がある。人や地区、地域での温度差が大きい。

2つめは、補助金依存型の思考がある。現状維持を望む森林組合担当者や事業者がある。

3つめは、准フォレスターや市村担当職員、森林施業プランナーの間でスキルや意気込みに温度差が大きい。

### （2）今後、取り組むこと

今後の取り組みの展開方法としては、上記課題を解決するため次の4つを柱に実施していくこととする。

- ・計画書作成への支援【強化】

説明会や座談会等を引き続き実施して、個々のスキル向上を目指す。また、重点地区やモデル地区を設定して、制度の普及啓蒙に力を入れる。

- ・情報の共有【強化】

森林施業プランナーや市村担当職員と、これまで以上の連携を心がけると共に秋田県フォレスター協議会を通して、民有林と国有林の連携も強化する。

- ・資源の有効利用【新規】

長期的・集約的な施業の実施により、主伐・間伐材の安定供給を図り地域の活性化を進める。また、路網の整備や機械化の見直しを図り、更なる生産コスト削減への手法を模索する。

- ・新たな担い手育成【新規】

地元高校生や若者に森林の魅力を呼びかけ、人材の活性化にも力を入れたい。

「安心・安全・所得向上・やりがい」のある魅力的な仕事にしていきたい。

以上である。新制度がスタートして、2年目でありまだまだ決定的な改善・指導方法等を模索しながらの取り組みとなるが、とにかく前に進みたいと思っている。

# ステレオ空中写真ペアを活用した、 効率的な林分材積把握システムの構築

岩手北部森林管理署 森林官 北山 勝史

## 1. はじめに

現在、広範囲に林分材積を把握するために、様々な方法が研究されています。空中から可視・不可視の光線あるいは、電波などで地表を走査するものが中心です。それらの方法の多くは、新たにコストを掛けて調査を行う必要があります。もし、既存の資料から広範囲に林分材積を把握することができれば、新たなコスト発生を軽減できるとともに、既存の資料の有効活用になると考え本研究に取り組みました。

研究に当たって、私が注目したのは2011年に波崎氏が発表した「空中写真の新たな活用の可能性～画像解析による林況調査～」という手法です。この手法では、衛星写真等から手作業により樹冠を強調し、パソコンで樹冠を検出しやすくした上で、樹冠と実測の胸高直径を対応させ材積を求めています。この手法の利点は既存の資料から追加コストを必要とせず行えることにあります。

この手法を基本として採用するにあたり問題となる点が二点ありました。一点目は手作業が含まれていることです。これは作業者によって精度のばらつきが出る恐れがあり、また時間がかかるため広範囲の処理を困難にしています。二点目は、作業工程の中で英語のソフトウェアを使用する必要があるため、だれでも手軽にできるものではないということです。これらの問題点を解消することにより、効率的な林分材積把握システムを構築できると考えました。

## 2. 研究方法

### (1) 手作業の自動化

手作業から自動化するにあたっての課題は通常、単一の画像を解析して樹冠を検出することは困難であるということです。波崎氏の研究の中でも画像解析を検討していましたが、誤検出が多かったことから手作業で樹冠を強調する作業を行っています。

そこで、樹冠の境界を検出するために高さ情報を利用します。業務で利用している写真には、オルソ化画像、衛星写真、ステレオ空中写真などがあります。写真の高さ情報は視差により発生します。そのためこれらの写真の視差の発生状態について確認します。

まず、オルソ化画像は地表をスキャナで走査して撮影していき、すべての地点で天頂から撮影したような写真を取得しています。このためオルソ化画像には視差が発生せず高さ情報を得ることは出来ません。

衛星写真では撮影範囲に対して、撮影距離が長いため撮影点が異なったとしても視差が極小となり高さ情報を得ることが出来ません。

ステレオ空中写真では一定のコースに従い、一定の間隔で撮影を繰り返すため視差が発生し、衛星写真と比較して撮影高度も低いため十分な量が確保されています。

実体視鏡などでステレオ空中写真をペアで見ることにより高さのある写真を見ることが出来ることから、ステレオ空中写真ペアは有効な資料であることがわかります。

これらのことから、高さ情報をもつ既存の資料として、ステレオ空中写真のペアを使用します。

## (2) 英語表記の解消

この手法ではImageJという画像解析ソフトを使用します。このソフトウェアは英語ですが、コマンドラインオプションをサポートしています。このため必要な機能をコマンドラインから呼び出し、バックグラウンドで処理することにより英語表記を回避することが出来ます。

## (3) 操作

パソコンで処理を行うため、ステレオ空中写真ペアをそれぞれ1,200DPIでスキャンしました(図-1)。空中写真をステレオ化するためには、左右画像の位置関係を正確に計る必要があります。このために次の4種類の操作を行います。

- ① 元画像の先鋭すぎる部分をぼやかす操作を行う(図-2)。
- ② 図-2から特徴を取り出す。
- ③ ②で取り出した特徴から位置関係を計る(図-3)。
- ④ 図-1を③で得た位置関係により正確に重ね、高さを計算する。

これらの操作により高さが異なる部分を樹冠の縁の部分として取り出すことが出来ます。

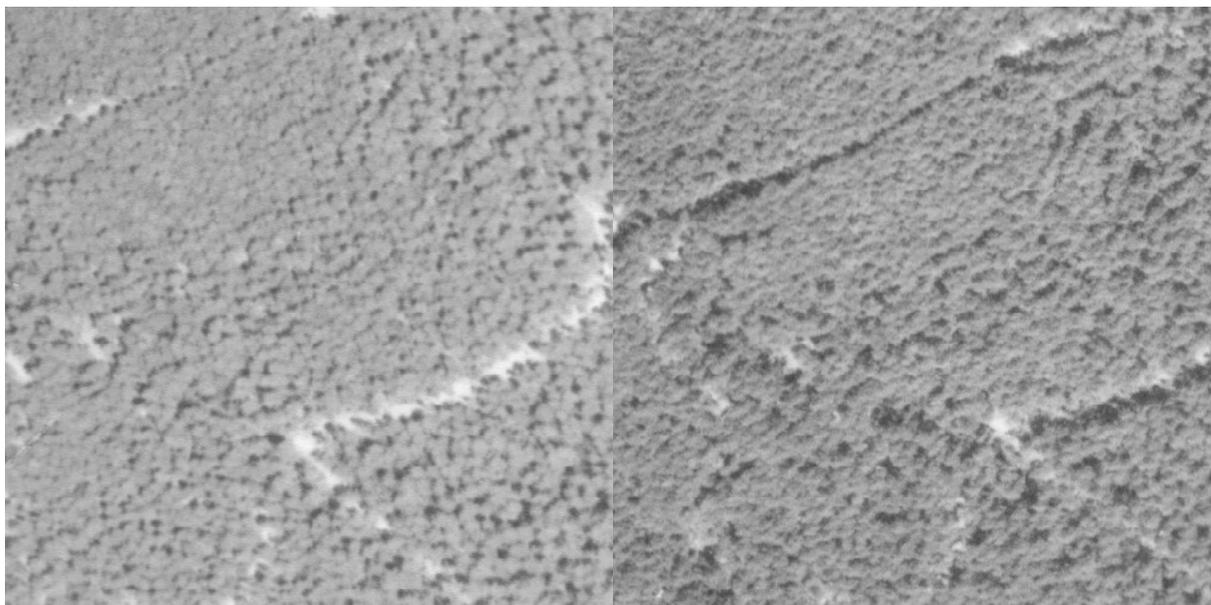


図-1 スキャンした元画像

各操作の処理内容として①では、適応的閾値処理を図-1に適用することにより範囲ごとに閾値で区切り、平滑化しています。これにより、画像の細かすぎる部分をぼやかしています。

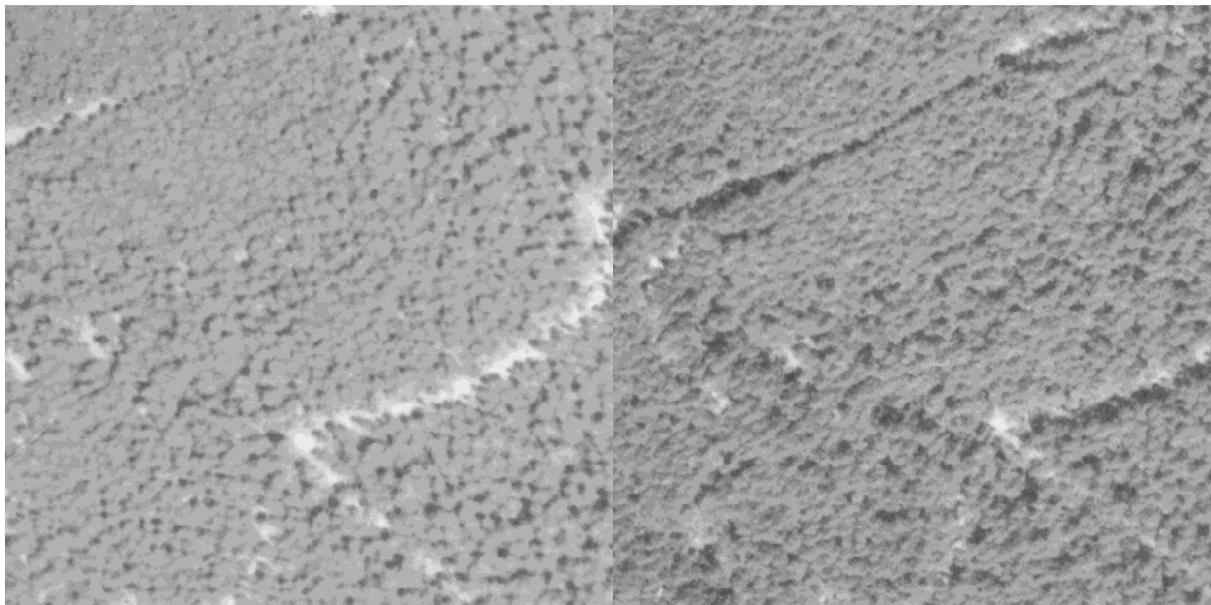


図-2 PyrSegmentation level:2 threshold1:40.0 threshold2:10.0

②では、行ったペア写真それぞれについて、SIFTにより特徴点を抽出します。森林の空中写真では樹冠が特徴点として大量に抽出されてしまうため、これを防ぐために①で平滑化の処理を行っています。

③では、②で抽出した特徴点を取捨し位置を決定します。②で検出した特徴点を点として、検出された特徴点の対応を線として表示してあります。期待通りに検出された場合は対応線が同じ長さの平行線となり、それらの平均を移動量として位置関係を決定することが出来ます。しかし本作業では期待する対応線を得ることが出来ませんでした。

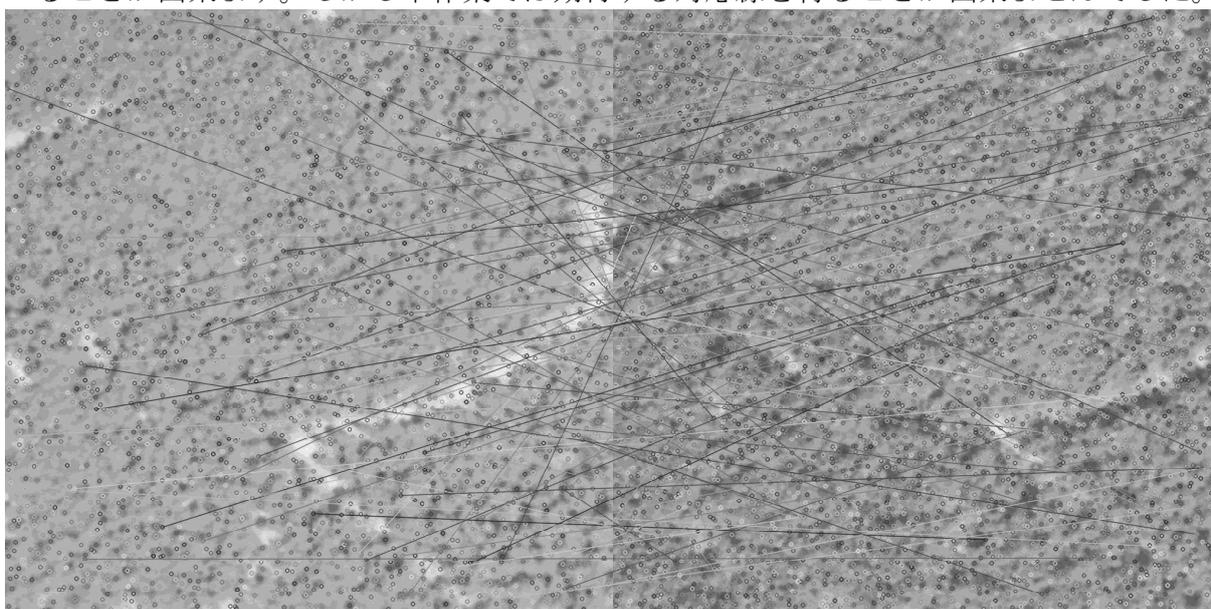


図-3 特徴点および対応付け

④ではまず、③で決定した位置関係を元に左右画像からそれぞれ30pix\*30pix程度ずつとりだします。それらをZ. Zhangの手法を用いてカメラキャリブレーションを行います。最後に、処理前後の画像からSURFにより画素の移動量を抽出し、移動量の多少から樹冠を検出することとしました。

各処理には、画像処理ライブラリであるOpenCVを利用しました。

④までで樹冠情報を得ることが出来るので、これを画像化しImageJにパラメータとして与え一連の処理とします。

しかしながら、これらの作業では③の過程で位置関係の検出が行えず、樹冠情報を得ることが出来ませんでした。これは特徴点の検出に失敗したためで、画素が不足しており、輪郭の検出に失敗したことによるものと考えます。

### 3. 結果及び考察

今回、検討した方法でステレオ空中写真ペアから、画像処理により高さを検出し樹冠を把握する方法について十分結果を得ることが出来ませんでした。

理論自体はステレオ空中写真の持っている能力をパソコンで置き換えるものなの実現可能だと考えています。それにもかかわらず結果を得ることができなかった原因として、写真に十分な解像度が無かったこと、画像処理はアルゴリズムの選択やパラメータの調整に経験を要するが、その経験が不足していたことが挙げられます。

本研究では十分な結果を得ることは出来ませんでした。研究過程のなかで検討した事項について考察を行います。

- (1) 当初検討したとおり樹冠を把握し、胸高直径と関連づけることにより材積の把握を行うことができます。
- (2) 平面の写真と比較して樹冠の段差が明瞭になることから、平面の写真では見つけることができない古い作業道等を発見する事ができます。現在空中写真で行われていますが、実体視鏡を使用せず手軽に行えるようになります。森林踏査を行う際に大変有効です。
- (3) 特殊な機材を使用せず、通常のパソコンのみで作業を行うことが出来ます。実際に業務で使用する場合に必要コストはソフトウェア作成のコストのみです。

今回、ステレオ空中写真ペアを活用した、効率的な林分材積把握システムの構築には至りませんでした。しかしながら、今回検討したステレオ写真という分野は、現在盛んに研究されている拡張現実などの技術でも活用されている分野です。また、低解像度の画像を補間して高解像度化する技術についても進歩を続けています。それらの技術を参考にして、これからも継続して研究していきます。

#### 参考

加藤正人, 『森林リモートセンシング第3版—基礎から応用まで—』, (株)日本林業調査会, 2010

J. パルデ J. ブウシヨン(大隈眞一訳), 『森林計測学—Dendrométrie—』, 東京計画学会出

版局, 1993

波崎卓巨, 『空中写真の新たな活用の可能性～画像解析による林況調査～』, 2011

使用

第9 二戸 第三次施行実施計画航空写真 (21. 4. 1～26. 3. 31) 2007年7  
月26日撮影 C16A-7, C16A-8

OpenCV 2.4.8

OpenCvSharp x64 2.4.8

Microsoft Visual Studio Professional 2013 Update 1