

タワーヤードの架設・撤去時間等に関する算出式*1

中山富士男*2 ・ 柱 敦史*3

I. はじめに

近年、民有林の小面積・間伐作業に適合する集材作業システムとして、短時間で容易に架設・撤去でき小面積林分や間伐林分において速やかに移動しながら効率的に集材することができるタワーヤードの有効活用が期待されている。

試験場報告(1)では、タワーヤードが一般の架線に比べて100分の1以下の時間で架設できることなど、その有利性について実証した。今回は、タワーヤードの架設・撤去作業等について、効率的な作業手順を組むために、主索式・非主索式などの作業形態別に、要素作業の全体構成や要素作業時間と作業条件との関係について分析し、全体作業時間を推定するための算出式を作成したので報告する。

II. 調査概況及び調査方法

主索式については、機種はコラー K303 (搬器はシェルパU)、索張り方式はスナビング式、作業員は4人(先山2人、土場2人)であり、タワーヤードの移動はスキッドT20で、搬器の移動はトラッククレーンで行った。調査は、平成9年11月の2日間に、始良町有林の集材跡地において、架設・撤去作業のみの調査を連続して8回行った。全て上方集材で、先柱は先山の谷から7~10m上がった所に架設した。(表-1、図-1)

非主索式については、機種はコマツHC30、索張り方式はランニングスカイライン式、作業員は3人(先山2人、土場1人)であり、タワーヤード本体がパワーショベル(車体重量が約12t)であるため自走可能で控え索は必要なかった。調査は、平成10年1月に出水市の梅田平国有林で5回、平成11年1月に高尾野町有林で3回、集材作業の調査と併せて行った。(表-2、図-2)

表-1 主索式の調査概況及び推定値比較

順番	土場	架設	作業条件			作業時間実測値				推定値
			先柱	架線	架線	移動	架設	撤去	移動	
			タイ	傾斜	距離	作業	作業	作業	計	
			ブ	(度)	(m)	(分)	(分)	(分)	(分)	(分)
1	3	B	166	18	14	29	23	4	56	55
2	2	B	153	19	14	22	24	4	50	55
3	1	B	106	21	17	36	16	4	56	58
4	3	A	159	20	51	25	16	5	46	45
5	2	A	127	21	14	19	16	4	39	40
6	1	A	92	24	17	18	16	3	37	37
7	3	A	159	20	41	20	17	6	43	45
8	2	A	127	21	14	21	31	3	55	56
平均			136	21	23	24	20	4	48	49

注1) 全て上方集材、3番のみ分離型、8番は最終片づけ含む
注2) 併走削減率(α)は、1~3番が0.2、4~8番が0.8

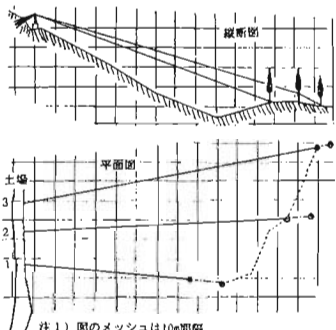


図-1 主索式の作業地概況

表-2 非主索式の調査概況及び推定値比較

順番	土場	架設	作業条件			作業時間実測値				推定値
			先柱	架線	架線	移動	架設	撤去	移動	
			タイ	傾斜	距離	作業	作業	作業	計	
			ブ	(度)	(m)	(分)	(分)	(分)	(分)	(分)
1	1	B	81	22	-	14	3	-	17	16
2	2	B	121	19	8	11	3	2	16	20
3	3	B	127	20	7	13	3	4	20	21
4	4	B	131	18	8	13	2	2	17	21
1	1	B	68	36	-	11	5	1	17	15
2	2	B	106	-20	-	19	5	6	29	30
3	3	B	95	-22	-	11	7	2	20	20
平均			104	22	8	15	4	3	19	20

注1) 1及び3のみ下方集材、2のみ分離型
注2) 併走削減率(α)は、1~1が0.9、2が0、3が0.7

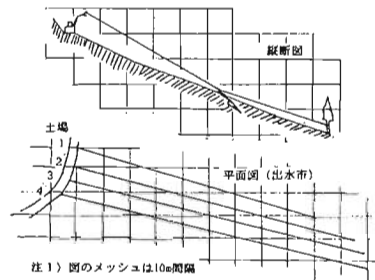


図-2 非主索式の作業地概況

*1 Nakayama, F. and Hashira, A. : An estimation formula for the construction and removal of a toweryarder

*2 鹿児島県林業振興課 Kagoshima Pref. Forest Promotion Division, Kagoshima 890-8577

*3 鹿児島県林業試験場 Kagoshima Pref. Forest Exp.Stn., Kagoshima 899-5302

全体の作業は、撤去作業、移動作業、架設作業の順に行われ、空間的には土場系統と先山系統の作業に分かれるので、それぞれの系統に測定員を1名ずつ配置して、作業の手順・時間を観測した。(図-4、5)

また架設・撤去作業等の作業形態は、いくつかに分類することができる。分類基準としては、主索式であるか非主索式であるかの別、上方集材であるか下方集材であるかの別、列状間伐や団地化と関連して、次の作業対象林分が比較的近くに連続して分布しているか離れて分布しているかの別(林分連続型と林分分離型の別)、先柱の架設が簡便であるかどうかの別(便宜上AからCタイプに分類、図-3参照)がある。

この調査では、まず主索式と非主索式に大別して要素作業の構成・序列や標準作業時間を調査・分析し、これに基づいて作業形態に応じた全体作業時間(Y)の推定式を作成した。

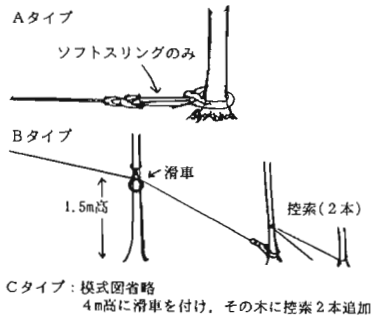


図-3 先柱架設タイプ別模式図

III. 結果と考察

(1) 主索式における作業手順の分析

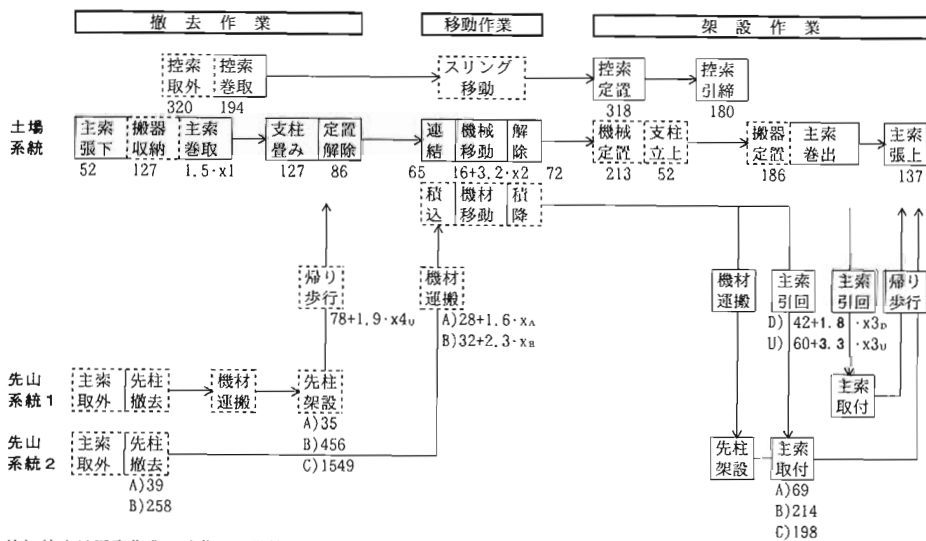
実際の作業を要素作業に分割して作業の流れをフローチャート(図-4)に整理した。これに沿って、作業の手順を説明し要素作業間の関係性を分析する。なお以下の記述において、フローチャートで使われている要素作業の略称に対応する説明をした場合は、必要に応じ該当する要素作業の略称を[]書きで示した。

撤去作業としては、土場系統すなわち作業路上の土場において、主索を下げ、搬器を収納し、主索を巻き取って、タワーを畳み[支柱畳み]、センターリガー等をゆるめて定位置に固定されていた状態を解除[定置解除]する。これと並行して、土場及び隣接する背後の林内においては、控え索を取り外して巻き取る作業が行われる。

この間に先山では、林分連続型の場合、先山系統1に沿って、先柱を撤去し、次の先柱まで機材を運搬し、先柱を架設してから土場に帰る。林分分離型の場合、先山系統2に沿って、先柱を撤去してから、先柱を架設することなく機材を土場に持ち帰る。

このような先山で先柱を撤去してから土場に帰り着くまでの過程を、特に先柱撤去等作業と呼ぶことにすると、この作業は上述した土場系統での撤去作業と概ね同じ時間数で同時並行して行われる。

移動作業としては、タワーヤードにスキッド(T20)を連結して、作業路上を次の作業ポイントまでスキッドにより牽引・移動し定位置まで誘導[機械移動]してから連結を解除する。これと並行して林分連続型の場合、隣接する林分において、控え索を立木に繋ぐためのソフトスリ



注) 枠内は要素作業の略称で、数値は秒単位の標準作業時間。点線枠は並走作業の発生可能領域。適応作業形態は、上方集材の林分連続型(先山系統1)及び林分分離型(先山系統2)

図-4 主索式(コラーK303)の架設作業等フローチャート

ングを次の作業ポイントまで移動[スリング移動]し、タワーを立てる位置や控え索を繋ぐ立木の位置を検討する。林分分離型の場合は、ソフトスリングを運搬車両等に積み込んで移動する。

先山系統の作業員は、移動作業が始まる前後に土場に到着しており、林分連続型の場合、ソフトスリングの移動等を分担し、林分分離型の場合、機材を運搬車両等に積み込み土場を移動することになる。

架設作業としては、センターリガー等を調整して定位に置かれたタワーヤードを水平に固定[機械定置]し、タワーを立ち上げる。これと並行して、隣接する林分では、控え索を繋ぐ立木を決定しソフトスリングをその立木に巻き付けておき、立ち上がったタワーから控え索を引き出してソフトスリングに繋ぎ[控索定置]、控え索を引き締める。次に搬器を定位置に置き、主索を巻き出す。

これに連動して、先山系統の作業員は、林分連続型の場合、主索を先柱まで引き回し[主索引回]、先柱に主索を取り付け主索の張り上げを土場に指示する。林分分離型の場合、先柱まで主索を引き回すとともに機材を運搬し、先柱を架設してから主索を取り付けて張り上げを指示する。いずれの場合も、作業員が土場まで帰り着く[帰り歩行]と架設作業は完了する。

このように作業の流れを見てくると、同一系統内の近接する要素作業と要素作業の間で、あるいは土場系統の撤去作業と先山系統の先柱撤去等作業の間で、同時並行して行われる可能性のある要素作業が存在していることが分かる。これらの作業を並走作業と呼ぶことにする。並走作業は、図-4では点線で囲んだ領域の要素作業で

発生する可能性が高く、実際に発生した並走作業の割合を並走削減率(α)とする。作業の開始から終了までの全体作業時間(Y)を積算する場合には、実際に発生した並走作業が除外される。

また要素作業の流れには必ず順番に行われる連続作業がある。全体作業時間(Y)は基軸となる連続作業の連鎖で構成される。主索式の場合、基軸となる連続作業は、土場系統における撤去作業、移動作業、土場系統と先山系統が連動して行われる架設作業の順に構成される。したがって先柱撤去等作業は、これに対する並走作業となり、全体作業時間から除外されることになる。

(2) 主索式での要素作業別・標準作業時間の分析

先柱の架設・撤去や主索の取付・取り外しについては、先柱の架設タイプ(図-3)に大きく依存していることから、それぞれのタイプごとに平均値を算出して標準作業時間とした。なお主索の取り外しについては測定値がなかった。(表-3)

土場系統の要素作業の多くは、土場が平坦で土場条件に大きな変動がないとすると、それぞれの平均値を標準作業時間と見なせる。(表-4)

主索巻き取り、機械移動等については、対応する作業領域の距離を説明変数として回帰分析により標準作業時間を算出した。(表-5)

なお、このようにして算出した標準作業時間は、フローチャート(図-4)の各要素作業にも記載した。ただし、主索式の主索引回しするとき、林地に障害物となる伐倒木がなかったため、これについては実際の作業環境で作業した非主索式の係数を使用した。

表-3 架設タイプ別の要素作業の平均作業時間

要素作業	先柱撤去		先柱架設			主索取付		
	A	B	A	B	C	A	B	C
データ数	5	3	5	3	2	5	3	2
変動係数	32	19	41	16	5	85	1	11
平均値(秒)	39	258	35	456	1549	67	214	198

表-4 要素作業別の平均作業時間(主索式)

作業区分	撤去作業						移動作業		架設作業					
	主索張下	搬器収納	支柱積み	定置解除	控索取外	控索巻取	連結	解除	機械定置	支柱立上	搬器定置	主索張上	控索定置	控索引締
データ数	7	7	9	8	8	6	8	8	7	6	7	8	4	4
変動係数	57	29	33	35	32	37	34	37	30	25	47	14	22	21
平均値(秒)	52	127	127	86	320	194	65	72	213	52	186	137	318	180

表-5 架線距離等により作業時間が決定される要素作業(主索式)

目的変数	主索巻取	機械移動	主索引回	主索引回	帰り歩行	機材運搬A	機材運搬B
説明変数	架線距離	移動距離	歩行距離	歩行距離	歩行距離	歩行距離	歩行距離
	X1	X2	下り X3 _o	登り X3 _u	X4 _o	X _A	X _B
データ数	8	8	7	7	6	5	3
重相関係数	0.55	0.81	0.89	0.58	0.83	0.97	0.99
定数項	-13	16	42	60	78	28	32
回帰係数	1.47	3.16	1.09	2.17	1.85	1.63	2.31

注) 帰り歩行は大部分が25~29度の登り傾斜である。

注) 機材運搬の歩行距離のX_A及びX_Bは、それぞれ架設タイプA及びBの場合に対応する。

(3) 非主索式における作業手順の分析

主索式の場合と同様に、作業の流れをフローチャート(図-5)に整理した。これに沿って作業の手順を説明し要素作業間の関係性を分析する。

撤去作業として、非主索式(コマツ HC30)の場合、控え索を張る必要がないので、土場系統においては、作業索を巻き取るだけでよく短時間で作業が終わる。

移動作業としては、パワーショベルであるタワーヤード本体が自走して移動するので、林分連続型の場合、特に短時間で移動が終わる。

一方先山の先柱撤去等作業は、主索式の場合と同様の作業内容であることから、むしろこの作業の方が時間を要し、先山の作業員が土場に帰るまでは、架設作業に着手できないことになる。

架設作業として、土場においては控え索を取る必要もなく引戻索を巻き出すだけでよい。

これに連動して、先山系統の作業員は、上方集材・林分連続型の場合、巻き出された引戻索を先柱まで引き回し先柱にこれを取り付けてから、引戻索の張り上げと搬器送りを土場に指示する。搬器が先柱に着いたら引戻索を搬器に取り付け[搬器取付]、作業索の張り上げを土場に指示し作業員が土場まで帰り着くと架設作業は完了する。下方集材・林分連続型の場合、引戻索を先柱まで引き回し、折り返し引戻索を土場まで引き回して搬器に取り付けると架設が完了する。林分分離型の場合には、土場から先柱への機材の運搬と先柱架設の作業が加わることになる。

このように見てくると、非主索式の作業手順の特徴は、主索式に比べて土場系統の作業が極めて簡略化されていることである。このため、むしろ先山系統が全体作業時間において大きな比重をしめることとなって、基軸となる連続作業は、先柱撤去等作業に続いて、土場系統と先山系統が連動して行われる架設作業の順に構成される。したがって今度は、土場系統における撤去作業や移動作業が並走作業となり、全体作業時間から除外されることになる。

(4) 非主索式での要素作業別・標準作業時間の分析

先柱の架設・撤去等については、主索式に準じるものと見なして省略した。

引戻索の取り付け等については、平均値を標準作業時間と見なした。(表-6)

引戻索巻き取り、機械移動等については、データ数が少なかったため回帰分析は行わず、対応する作業領域の距離で作業時間を割って平均速度等を算出し標準作業時間とした。(表-7)

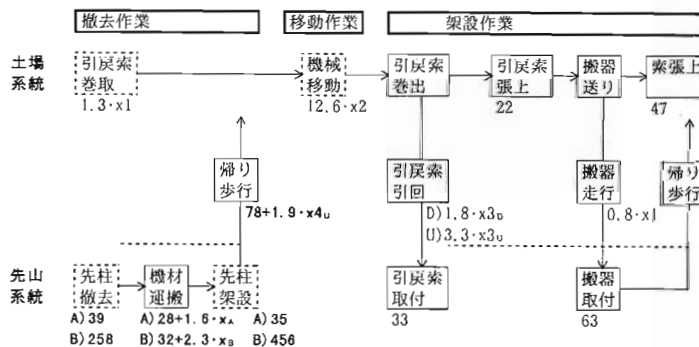
表-6 要素作業別の平均作業時間(非主索式)

要素作業	引戻索 取付	搬器 取付	引戻索 張上	索張上
データ数	5	5	3	8
変動係数	34	11	8	49
平均値(秒)	33	63	22	47

表-7 架線距離等により作業時間が決定される要素作業(非主索式)

目的変数	引戻索巻取	機械移動	引戻索引回	引戻索引回	引戻索引回	搬器送り
説明変数	架線距離	移動距離	歩行距離	歩行距離	歩行距離	架線距離
	X1	X2	下り X3 _o	登り X4 _u	折返 X3 _{oo}	X1
データ数	6	2	3	2	2	4
変動係数	21	15	5	3	4	31
平均速度(m/s)	0.75	0.08	0.55	0.31	0.44	1.29
平均係数(s/m)	1.33	12.60	1.82	3.25	2.28	0.77

注) 距離データが少ないため、速度の平均値を算出した。



注) 枠内は要素作業の略称で、数値は秒単位の標準作業時間。点線枠は並走作業の発生可能領域。太字数値は主索式のデータから準用。適応作業形態は上方集材・林分連続型。

図-5 非主索式(コマツ HC30)の架設作業等フローチャート

(5) 全体時間を推定する算出式の作成

フローチャート及び要素作業ごとの標準作業時間に基づき、撤去作業時間(Y1)、移動作業時間(Y2)、架設作業時間(Y3)、先柱撤去等作業時間(y1)及び全体作業時間(Y)を、作業形態・作業条件に応じて推定するための数式を作成した。作業形態としては、上述したとおり、主索式・非主索式の別、上方集材・下方集材の別等の様々な組合せがあり、全部で24通りの場合分けが成り立つが、今回は実際に測定した4通りの場合について数式を示す。作業条件としては、架線距離(X1)、タワーヤードの移動距離(X2)、主索等を引き回すときの歩行距離(下りはX3_D、登りはX3_U)、土場への掃り歩行のときの歩行距離(X4_U)、機材を運搬するときの歩行距離(先柱架設がA型するときX_A、B型するときX_B、C型するときX_C)があり、これらを説明変数に全体作業時間(Y)を推定する。

併走削減率(α)は、作業員の数やチームワーク、熟練度のほか、作業形態の難易度に依存しており、理論上0から1までの値を取りうるが、調査事例から判断して作業が困難になると0に近づく傾向がある。作業時間の実測値と推定値の適合性を高める値を検討すると、非主索式・下方集材・林分分離型では0.0、主索式・上方集材・先柱架設B型は0.2、非主索式・下方集材・林分連続型は0.7、主索式・上方集材・先柱架設A型は0.8、非主索式・上方集材・林分連続型は0.9が適当であった。

また各説明変数には、地形上の空間配置から次の関係が成り立つ。

$$X1 \approx X4_U \approx X3_D + X3_U$$

林分連続型の場合: $X_A \approx X2$ (X_B , X_C も同様)

林分分離型の場合: $X_A \approx 2 \cdot X1$ (X_B , X_C も同様)

[TYPE1 : 主索式・上方集材・連続型・先柱B型]

$$Y1 = 906 + 1.5 \cdot X1 - 447 \cdot \alpha$$

$$Y2 = 137 + (16 + 3.2 \cdot X2)$$

$$Y3 = 1086 + (42 + 1.8 \cdot X3_D) + (60 + 3.3 \cdot X3_U) + 214_B + (78 + 1.9 \cdot X4_U) - 451 \cdot \alpha$$

$$y1 = 258_B + (32 + 2.3 \cdot X_B) + 456_B + (78 + 1.9 \cdot X4_U)$$

$$Y = Y1 + Y2 + Y3$$

$$= 2539 + 3.4 \cdot X1 + 3.2 \cdot X2 + 1.8 \cdot X3_D + 3.3 \cdot$$

$$X3_U - 898 \cdot \alpha$$

[TYPE2 : 主索式・上方集材・分離型・先柱B型]

$$Y1 = 906 + 1.5 \cdot X1 - 447 \cdot \alpha$$

$$Y2 = 137 + (16 + 3.2 \cdot X2)$$

$$Y3 = 1086 + (32 + 2.3 \cdot X3_D) + (60 + 3.3 \cdot X3_U) + 456_B + 214_B + (78 + 1.9 \cdot X4_U) - 451 \cdot \alpha$$

$$y1 = 258_B + (32 + 2.3 \cdot X_B)$$

$$Y = Y1 + Y2 + Y3$$

$$= 2985 + 3.4 \cdot X1 + 3.2 \cdot X2 + 2.3 \cdot X3_D + 3.3 \cdot$$

$$X3_U - 898 \cdot \alpha$$

林分分離型の場合、機材運搬を伴うので、Y3における下りの主索引き回し部分の係数及び定数項は、機材運搬の係数及び定数項に変換した。また林分分離型になると、機材を土場まで上げ下げすることになるので労働負荷が増大し数式上の増加以上に作業時間は更に増幅すると考えられる。したがって、架設作業等を効率化するために、列状間伐や団地化の推進を図り林分連続型へ転換することが効果的であると言える。

ただし林分連続型と分離型の選択基準は解明できなかったが、仮説としては、作業対象林分間の距離が架線延長程度以内、標準的には150m程度以内のとき林分連続型の効果が発揮され、それ以上のとき林分分離型を選択すると考えられる。

[TYPE3 : 非主索式・上方集材・連続型・先柱B型]

$$Y1 = 1.3 \cdot X1$$

$$Y2 = 12.6 \cdot X2$$

$$Y3 = 165 + 1.8 \cdot X3_D + 3.3 \cdot X3_U + 0.8 \cdot X1 + (78 + 1.9 \cdot X4_U)$$

$$y1 = 714_B + (32 + 2.3 \cdot X_B) + (78 + 1.9 \cdot X4_U) - 714_B \cdot \alpha$$

$$Y = y1 + Y3$$

$$= 1067 + 4.6 \cdot X1 + 1.8 \cdot X3_D + 3.3 \cdot X3_U + 2.3 \cdot$$

$$X_B - 714 \cdot \alpha$$

非主索式では土場システムの作業時間(Y1及びY2)が短時間であって併走作業となり、先柱撤去等作業(y1)が基軸となる連続作業に組み込まれる。

表-8 作業形態別の推定値比較

TYPE	索張方式	集材方向	林分配置	先柱型	架線距離(m)	併走削減率	推定値(分)
1	主索	上方	連続	B	150	0.2	54
2	主索	上方	分離	B	150	0.2	65
3	非主索	上方	連続	B	150	0.9	24
4	非主索	下方	連続	B	150	0.7	26

[TYPE4 : 非主索式・下方集材・連続型・先柱B型]

$$Y1 = 1.3 \cdot X1$$

$$Y2 = 12.6 \cdot X2$$

$$Y3 = 143 + 2.3 \cdot X1 + 3.3 \cdot X1$$

$$y1 = 714_B + (32 + 2.3 \cdot X_B) + (78 + 1.9 \cdot X_{4U}) - 714_B \cdot \alpha$$

$$Y = y1 + Y3$$

$$= 967 + 7.5 \cdot X1 + 2.3 \cdot X_B - 714 \cdot \alpha$$

(6) 作業形態別の推定値比較

上述の(5)で定めた推定式により、架線距離150mの条件設定で、TYPE1からTYPE4までの作業形態別に推定値を算出すると表-8のとおりであった。

この試算から、全体作業時間を増大させる度合いを作業形態別に比較すると、主索式>非主索式、林分分離型>林分連続型、下方集材>上方集材となっており、現場の実態に即した推定結果になった。

また推定式による推定値と実測値を比較してみると、表-1、2のとおりであり、概ね近似した値を示した。

IV. まとめ

今回の報告で示したように、架設作業等のフローチャートを基盤にして、作業形態別にどのような要素作業の連鎖が基軸となる連続作業を形成するかを検討することにより、作業形態別の全体作業時間を推定する算出式を作成することができた。

この算出式や事例調査を踏まれて架設作業等の効率を比較すると次のようなことを述べることができる。

まず、林分分離型より林分連続型が作業効率が良いことから、作業形態を林分連続型に転換すること、すなわち列状間伐や団地化の推進を図ることが、架設作業等を効率化するために効果的であると言える。

集材方向については、下方集材より上方集材が作業効率が良く、架設作業等を効率化するためにも、上方集材

に適した路網の整備が必要とされていると言える。

また非主索式は主索式の半分以下の時間で架設作業等を行うことができ、森林組合を中心に本県での活用実績も増えてきていることから、今後、列状間伐の推進や路網の整備を活用条件として、非主索式の大幅な普及・活用が期待される。さらに将来的な段階では、より広範囲の地形や大径材に適用範囲を拡大し、なおかつ集材効率を高めるために、主索式の普及・活用が重要になると考える。

ただしこの調査には次のような課題も残されている。下方集材については今回十分な調査データを取ることができなかった。これに関連して、登りの索引き回し時間等については、説明変数として、単に歩行距離だけでなく索荷重が累積的に影響してくることから直線回帰は不適切であり、今回は距離が短い場合での暫定的な算定になった。また作業時間や労働負荷等の度合いに対応して休憩・検討等の時間をどの程度加算すべきか明らかにしたいが、作業員の体力や経験等も影響して算定を困難にしている。今回の調査では、実労時間の3~6%が休憩・検討等の時間であった。地形傾斜については、これに関するデータが不足しているため説明変数に取り入れることができなかった。並走削減率については、作業形態の難易度を主観的に判断して暫定的な数値を定めたものである。これらの課題については、今後調査データの蓄積に努め適正值等を解明していきたい。

この報告にはまだ不明な点や暫定的な要素も含んでいるが、この報告で示した作業フローチャートや算出式を、タワーヤードの架設・撤去作業等に関する全体的な構造を捉えるための見取り図として活用していただければ幸いである。

引用文献

- (1) 中山富士男：鹿児島県林業試験場業務報告, 46, 38~41, 1998