

# 集材架線の最適架設位置に関する研究

大川畑 修・南方 康・上飯坂 実

A Study on the Optimum Planning of the Skyline Setting  
for the Cable Crane.

Osamu OKAWABATA, Yasusi MINAMIKATA and Minoru KAMIIZAKA

## はじめに

集材法は、現場の地形に応じて平坦地はトラクタ集材、急峻地は集材機集材の二つに大別されるのが普通であるが、周知のごとくわが国の林業地は急峻な山間部に多く、かかる地域において果す集材機集材の役割は、今後とも大きなものであることは間違いない。

したがって、集材機集材作業に関する多くの調査、研究がこれまでもなされており、すでに架線の設計、作業計画等に应用されているものも多い。集材地の地形を単純にモデル化した場合の横取り範囲の決定法<sup>4)</sup>、地形に応じた架線の架設位置の統計的傾向についての研究はその例である。しかし、架線の架設位置、張り替え本数および横取り範囲などを決定する場合には、架設地の地形的条件が非常に複雑であるために、実際には経験や勘にたよることが多く、非合理的な面もまだ数多く残されていると言えよう。

本研究は技術的にも経済的にも適切な集材作業計画を可能ならしむるために、集材作業の成否に關与する、極めて複雑かつ不規則な個々の地形条件を考慮しつつ、電算機を用いて、架線の最適位置、最適架設本数、横取り範囲等の決定を行うことを目的としたものである。

## 1. 架線の最適位置、最適架設本数決定のプログラミング

### 1-1 概 要

集材架線の位置、架設本数の最適計画を得るためには、地形を電算機に記憶させる必要があ

\* 東京大学農学部林学科

Department of Forestry, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.

るが、そのためには格子点法が最適であると考えられ、各格子点の標高値を入力データとして与え、この地形データを用いて、任意の架設位置に対する先柱設置の可否、伐区内各点の集材可能性の検討を行ない、集材に要する労働量を主たる評価因子と考へて、集材困難な地域を最も少なくするような架設位置および架設本数を決定しようとするものである。

それらの決定手順の概略を示すと図-1のようになるが、以下において個々のプログラム作成の内容を詳述する。

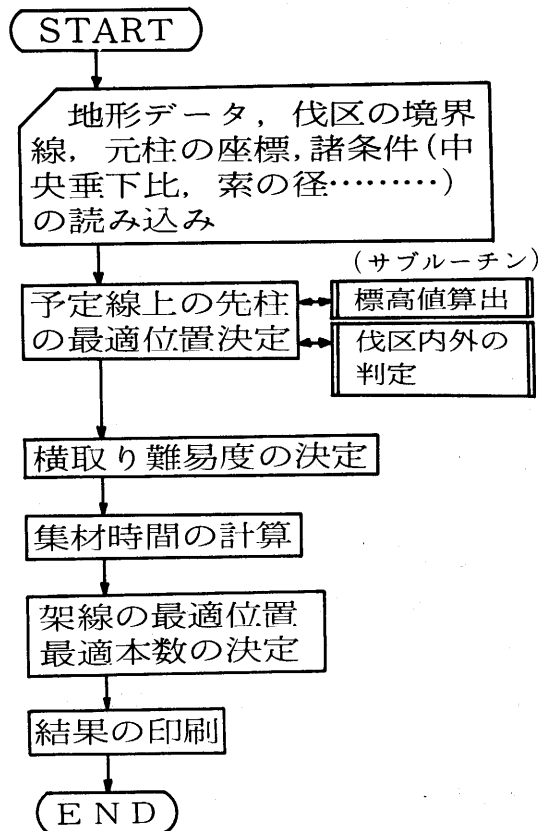


図-1. 架線の最適位置, 最適本数決定のプログラムの手順

Fig. 1. Simplified flow chart for determination of optimum location and number of cable crane.

## 1-2 地形モデルと地表面の標高

主索を地表に接することなく架設できるか否か、また横取り範囲がどの程度であるかは、地形に大きく左右されるので、電算機を用いてこれを検証するには、対象地の地形を数値で表わす必要がある。地形の数値化に関しては多くの研究があり、その主なものとしては、(i)地形をいくつかの断面の集まりとして表現する方法。(ii)格子を三角形状に組み、三角多面体として平面をもって近以する方法。(iii)地形図上の等高線を曲線として記憶する方法。(iv)格子を正方

形に組み、2次または3次曲面で近似する方法などがある。(i), (iii)の場合、各断面あるいは曲線の間地点の標高値算出に精度が欠け、(ii)の場合は精度的にあまり高いものを期待することはできない。ここでは3次曲面で近似<sup>5)</sup>させることにするが、その概要は次のとおりである。

まず地形図上において、対象伐区および元柱を含む地域を格子でおおい<sup>(注)</sup>、各格子点の標高値を読みとり、これを電算機に記憶させる。任意の点P(x, y)の標高値算出は以下のように行う。

図-2において、A, F, Bにおけるx軸方向の地形の傾き $T_1, T_2, T_3$ は、EABGを通る3次曲線の接線の傾きとして定めることが可能であり、同様に $T_4 \sim T_{12}$ も定めることができる。

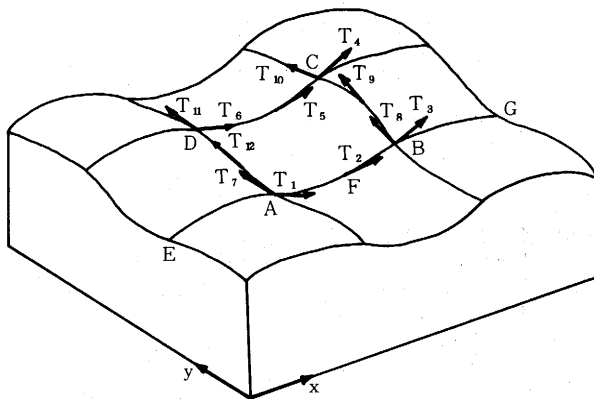


図-2. 各点におけるx, y方向の地形の傾き  
Fig. 2. Inclination of the surface of the ground for each point.

次にABCD内の地形面を3次曲面

$$Z=f(x, y)=a_1x^3+a_2x^2y+a_3xy^2+a_4y^3+a_5x^2+a_6xy+a_7y^2+a_8x+a_9y+a_{10}$$

によって近似するものとすれば、 $a_1 \sim a_{10}$ は曲面ZがA, B, C, Dを通り、しかもZを各点で偏微分した値、すなわち曲面Zのx軸およびy軸方向の傾きが、 $T_1 \sim T_{12}$ からずれる量を最小にするという条件のもとでの最確値として定めることができる。すなわち

$$S = \sum_{i=1}^6 \left\{ \frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial x} - T_i \right\}^2 + \sum_{i=7}^{12} \left\{ \frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial y} - T_i \right\}^2 + \sum_{j=1}^4 \lambda_j \{ f(x_j, y_j) - H_j \}$$

(注) 1:2,500~1:5,000の地形図が必要であるが、この場合、格子間隔は20~30mが適当であると考えられる。

ただし： $H_j \cdots A, B, C, D$ における標高値  
 を最小にするように $a_1 \sim a_{10}$ を定めればよく、したがって14元連立方程式

$$\frac{\partial s}{\partial a_k} = 0 \quad k = 1 \sim 10$$

$$f(x_j, y_j) - H_j' = 0 \quad j = 1 \sim 4$$

の解として $a_1 \sim a_{10}$ ,  $\lambda_1 \sim \lambda_4$ を求めることができる。ここで図-3のように各点の標高値を $H_1 \sim H_{12}$ と

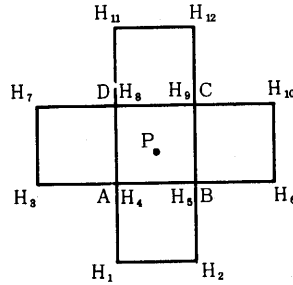


図-3. Pの標高値算出に必要な格子点の高度。  
 Fig. 3. Elevations at adjacent intersection points necessary for calculation of the elevation at point P.

すると、 $T_1 \sim T_{12}$ は $H_i (i=1 \sim 12)$ より求めることができ、さらにA, Cの座標が $(0, 0), (1, 1)$ となるようにあらかじめ座標交換をしておくと、 $a_1 \sim a_{10}$ は以下のようになる。

$$\begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \\ a_9 \\ a_{10} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -\frac{1}{12} & \frac{1}{4} & -\frac{1}{4} & \frac{1}{12} & -\frac{1}{12} & \frac{1}{4} & -\frac{1}{4} & \frac{1}{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & -\frac{1}{4} & \frac{1}{4} & -\frac{1}{4} & -\frac{1}{4} & \frac{1}{4} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{4} & \frac{1}{4} & 0 & \frac{1}{4} & -\frac{1}{4} & 0 & 0 & \frac{1}{4} & -\frac{1}{4} & 0 & -\frac{1}{4} & \frac{1}{4} \\ -\frac{1}{12} & -\frac{1}{12} & 0 & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & 0 & 0 & -\frac{1}{4} & -\frac{1}{4} & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{3}{8} & -\frac{5}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & -\frac{3}{8} & \frac{3}{8} & -\frac{1}{8} & 0 & 0 \\ \frac{1}{4} & -\frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & -1 & \frac{1}{4} & -\frac{1}{4} & -1 & \frac{3}{2} & -\frac{1}{4} & \frac{1}{4} & -\frac{1}{4} \\ \frac{3}{8} & \frac{1}{8} & 0 & -\frac{5}{8} & -\frac{3}{8} & 0 & 0 & \frac{1}{8} & \frac{3}{8} & 0 & \frac{1}{8} & -\frac{1}{8} \\ 0 & 0 & -\frac{7}{24} & -\frac{5}{8} & \frac{9}{8} & -\frac{5}{24} & -\frac{1}{24} & \frac{1}{8} & -\frac{1}{8} & \frac{1}{24} & 0 & 0 \\ -\frac{7}{24} & -\frac{1}{24} & 0 & -\frac{5}{8} & \frac{1}{8} & 0 & 0 & \frac{9}{8} & -\frac{1}{8} & 0 & -\frac{5}{24} & \frac{1}{24} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \\ H_5 \\ H_6 \\ H_7 \\ H_8 \\ H_9 \\ H_{10} \\ H_{11} \\ H_{12} \end{pmatrix}$$

なお、この方法を用いた場合の標高中等誤差は、中村・村井の報告によると、  
 格子間隔が10mの場合……………±0.54m  
 20mの場合……………±1.17m  
 30mの場合……………±2.38m

とされている。

### 1-3 区域の数値指定

#### 1-3-1 対象区域の数値化

計算の途中において、任意の地点が対象伐区内にあるのか、伐区外であるかの判定が必要になってくるので、まず伐区の境界線を記憶させる必要があるが、境界線は一般に不規則な曲線でできており、不規則な曲線をそのまま電算機に記憶させることは困難である。したがってどのような形で近似させて記憶するかが問題となり、その方法に関してもいくつか考えられるが、ここでは比較的簡単な方法として、いくつかの線分をもって近似することにする。すなわち、図-4に示すように真の境界線の原形をなるべく保つようにして、線分AB, BC, CD, ……で近

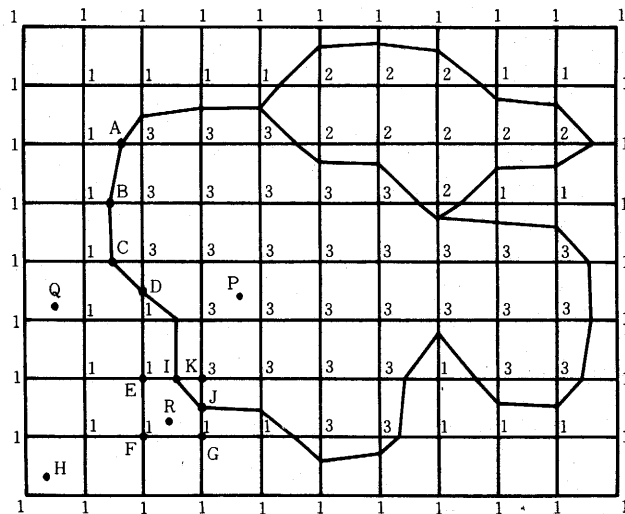


図-4. 伐区境界線と伐区内外の識別記号。

Fig. 4. Discriminating sign for computer program.

- 1 : outside of harvesting area.
- 2 : allowable area for tail tree setting.
- 3 : harvesting area.
- H : head tree.

似させていく。その際、A, B, C, ……は格子上にとり、A, B, C, ……の座標を記憶させておく。

次に伐区内にある格子点には識別記号として3を、伐区外の格子点には1を与えて、これも

同時に記憶させておく。また先柱を対象伐区内あるいは伐区境界線上に設置するよりも、伐区外に設置した方が架線を高く張ることが可能となり、集材を有利に行なえる場合も少くない。このように伐区外に先柱を設置した方が地形的に有利であり、さらに土地の所有関係等の面においても伐区外に設置することが可能な場合を考慮して、先柱設置場所の候補地として、記号2をもつ地域をあらかじめ定めておく。したがって先柱の最適位置は、伐区内またはこの候補地の中から選定されることになる。

### 1-3-2 区域の判別

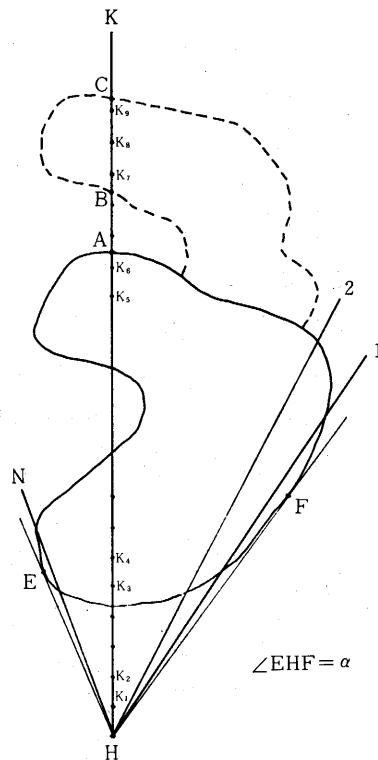
任意の点が伐区内にあるか否かは、その点を囲む4つの格子点の記号に基づいて決定できる。例えば、図-4における点Pのように、4つの格子点の記号がすべて3の時は、その点は伐区内にあり、Qのようにすべて1（または2）の時は伐区外にある。またRのように4つの記号が3および1（または2）の2種類（または3種類）で成り立っているときは、以下のように判定を行う。

まず、E、F、Gは伐区外の点であり、Kは伐区内の点であるから、線分EK、GK上には、格子と伐区境界線との交点I、Jが必ず存在する。I、Jの座標はあらかじめデータとして与えられているので、直線IJの式を算出することができる。伐区境界線を表わす直線IJに関して、Rが伐区内の点Kと同じ側にあればRは伐区内の点であり、反対側にあれば伐区外と判定することができる。また任意の点が2の地域内にあるか否かの判定も同様に行うことができる。

## 1-4 先柱の最適位置

### 1-4-1 用語の定義

以下の説明を進めていく都合上、各種用語の定義を次のように行う（図-5参照）。まず元柱Hが伐区外にあるものとし、Hより伐区を見込む挟角 $\alpha$ を算出する。次に $\alpha$ をN等分し、さらにこの等分された角の二等分線をHより計N本引き、これに1、2、……、K、……、Nと番号を与え、これらの線を“予定線”と呼ぶことにする。次に各予定線上に $K_1$ 、 $K_2$ 、……のような点を一定間隔にとり、これらの点を“地形点”と呼ぶことにし、地形点のうち、 $K_3$ 、 $K_4$ 、……、 $K_6$ のように伐区内にあるものを“集材点”と呼ぶことにする。ここで、各地形点の標高値は以後の計算でしばしば使用されるので、あらかじめ算出しておく。また点Aのように、伐区境界線と予定線の交点うち、Hより最も遠いものを“伐区境界点”と呼ぶことにする。



図一五．予定線および集材点

Fig. 5. Planning lines (1, 2, ..., N) and loading points ( $K_1, K_2, \dots$ ) at skyline. Broken line surrounds the allowable area for tail tree setting.

#### 1-4-2 予定線上における先柱の最適位置

先柱を伐区のかかなり内部に選定した場合には、先柱より遠方の区域の集材にはかなりの困難を伴うであろうから、一般的には先柱は伐区境界線上または伐区外に設置する方が適切であると思われる。しかし地形的条件からやむを得ない場合は、伐区内に設置することもあり得る。そこで、先柱の最適位置の決定を以下の手順に従って行うことにする（図一五）。

- ① まず伐区境界点Aに先柱を設置したとして、主索が地表に触れることなく架設されるか否かの検定を行う。この検定は、各地形点における主索の標高値および地表の標高値との差から簡単に行うことができる。
- ② 伐区外に先柱を設置することが可能な場合には、B,  $K_7, K_8, \dots, K_9, C$ の各地形点

において同様の検定を行い、これらの地点と伐区境界点とのうちで、最も架線を適切に張れるもの（適切な意味については1-4-3で述べる）を先柱の最適位置として決定する。

③ 伐区境界点または伐区外に架線を架設することが不可能な場合には、伐区内の地形点 $K_0, K_1, \dots$ の点で架線が張れるか否かの検定をこの順に行い、架線を架設することができる場合は、その地形点を先柱の位置とする。ただし、先柱をあまり伐区内部に設置することは先柱として不適当であるので、この検定はAから一定限度の範囲にとどめるものとする。

④ 以上の手順で検定を行っても架線を張れる地点がない場合には、予定線K上には架線を架設することは不可能であると判定する。

### 1-4-3 先柱の最適位置決定における問題点

一般に架線を高く張れば、物理的にはそれだけ集材作業は容易に行なえるようになる。したがって先柱の位置が適切であるということは、架線を高く張れるような位置とみなして差支えないと思われるが、この場合地形状態によって多少問題があるので、その点について言及しておく。いま図-6のように元柱Hが決定しており、先柱の候補がA, Bの2点ある場合、どちらがよ

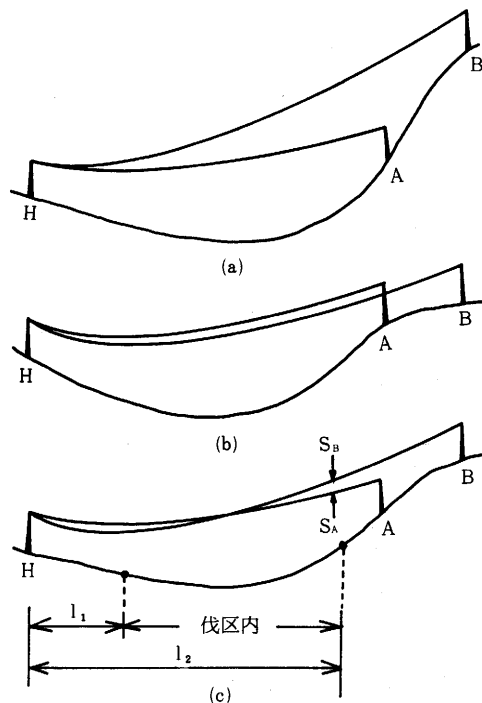


図-6. 適切な先柱の位置の選定。

Fig. 6. Selection of suitable point for tail tree

H: head tree

A, B: tail trees to be selected

$l_1, l_2$ : the shortest and the longest distance from head tree to the harvesting area on a planning line.



り適切であるかを判定するには次のように行なうものとする。

まず図一6の(a)の場合はBの方が、(b)の場合はAの方が先柱として適切であることは明白であるが、(c)のような場合も現実には起り得る。すなわち両主索 $S_A$ 、 $S_B$ が近似的に二次曲線 $y_A$ 、 $y_B$ を描くものとする、元柱近くでは $S_A$ の方が、先柱近くでは $S_B$ の方が高度の高い場合がでてくる。このような時には、A、Bのうちいずれが適切であるかは、単純には断定しがたい。そこで伐区上において、どちらかの方が高い部分が多く、しかも高低差が大きいかを表わす式

$$Y = \int_{l_1}^{l_2} (y_B - y_A) dx \dots \dots \dots (1)$$

を算出し、Yが正ならばBの方が、Yが負であればAの方が適切であることにする。

また主索を張った場合、どの程度の重量まで積載可能かは、主索の安全率を目安として算出することができるが、その重量を“限界積載量 ( $W_S$ )”と呼ぶことにする。上記の例でA、Bのいずれが適切であるかを論ずる時、両主索の直径および中央垂下比が等しいと仮定すると、スパンの長いBの方が張力が大になり、その結果Bの場合の限界積載量はAに比べて当然少なくなる。そこで両主索の高度と限界積載量の両方を合わせて考える必要があるが、両者を直接結びつけて比較することは困難である。したがって、ここでは以下のようにしてA、Bのうちいずれが適切であるかを判定することにする。

- ① Aの場合の限界積載量を算出する。
- ② Bの場合の限界積載量がAの場合と等しくなるような中央垂下比 (Aより大になる) を算出する。
- ③ 算出した中央垂下比を式(1)の $y_B$ に用いて、いずれが適切か判定を行う。

## 1-5 横取り難易度

一般に最大横取り範囲は主索から45°の範囲、あるいは主索直下より片側それぞれ50m前後といわれているが、実際には主索の高度以上の地点からの横取りを行うこともあり、また片側100m以上の横取りが行なわれることもめずらしくない。すなわち架線の地表からの高度や地形の状況によっては、かなり長距離の横取りも可能となってくる。また逆に小尾根の裏側の区域のように、主索にかなり近くても集材が困難な区域もある。このように地形の集材作業に及ぼす影響はかなり大きいと言えるであろう。

また一般に横取り距離が増大すれば、主索および作業索にかかる張力は増大し、横取り作業は困難になってくる。そこで伐区内のある地点の材を横取りする際の張力を算出し、主索および作業索の安全率に着目すれば、横取りの可否を判定することができる。また逆に、その地点において各索の安全率を満たす範囲内で、どの程度の重量の材まで吊上げ (または地曳) が可能であるかを算出することもできる。そこでここでは、その吊り上げ可能な (または地曳で動

かすことが可能な)材の重量の大小をもって横取りの難易度を表わすことにした。この場合、吊り上げた(または地曳で動かす)材を地形的障害を受けずに主索直下まで搬出できるか否かの検定が必要なことは言うまでもない。

ここでは架線を予定線K上に張る場合、集材点 $P_1$ について、横取りが可能か否か、またどの程度の材を1回に横取りできるかを決定していくことにする(図-7参照)。

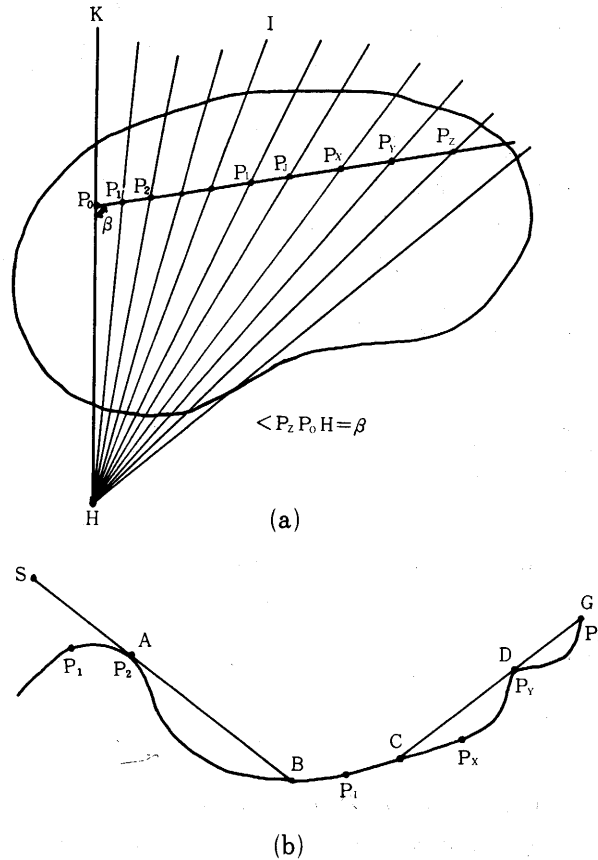


図-7. 横取り難易度の決定  
Fig. 7. Diagrams for judgement of the difficulty of skidding  
S: skyline  
G: guideblock

#### 1-5-1. 地形と横取りの可否

横取り作業は荷上索, 引戻索ともに地表に接しないように行うのが原則である。図-7の(b)において, AB間にある材は荷上索が地表に接触するので, 集材は困難になる。すなわち搬器からみて地形の影の部分(AB間)は集材困難な地域となる。影でない部分がすべて横取り可能というわけではないが, 横取りできる可能性があることになる。そこでまず,  $P_1, P_2, \dots, P_1, \dots$

の各点において、地形的にみた横取り可能性の可否を決定していくことになるが、その決定方法の概略は図-8に示すようなものとなる。

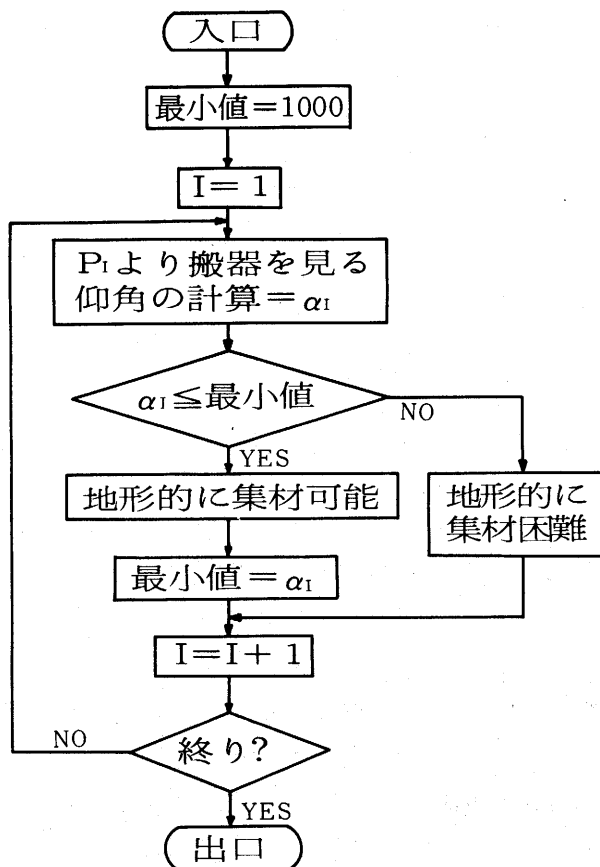


図-8. 地形的にみた横取りの可否の判定手順  
Fig. 8. Simplified flow chart for judgement of the possibility of skidding.

また図-7の(b)において、CD間にある材を集材しようとするとき、引戻索が地表に接触することになるが、このような場合にはガイドブロックを $P_Y$ ,  $P_X$ , ……と適切な位置まで移動させれば、この問題は解消する。

#### 1-5-2 張力と横取りの可否

ここでは索の安全率を目安として、積載可能な最大重量（限界荷重と呼ぶことにする）を求め、限界荷重をもとに横取りが可能か否かの決定を行う。

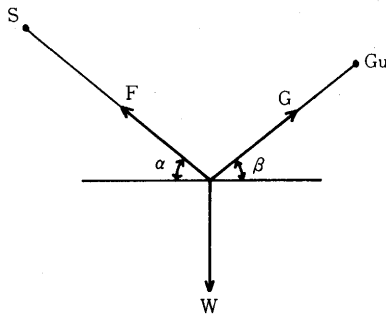
重量 $W$ の荷重を荷上索および引戻索で吊り上げた場合、条件を単純化するために

- ① 横取り時を通じて搬器の位置はかわらない。

② 作業索の重量は荷重に比べて充分小さい。という前提を設ければ、作業索は直線とみなしてさしつかえなく、荷上索および引戻索にかかる張力 $F$ ,  $G$ は次のごとく与えられる(図-9)。

$$F = \frac{W}{\sin\alpha + \tan\beta \cdot \cos\alpha} \dots\dots(2)$$

$$G = \frac{W}{\sin\beta + \tan\alpha \cdot \cos\beta} \dots\dots(3)$$



ここで荷上索にかけることのできる最大張力(破断強度を安全率で除した値)を $F_N$ とし、吊り上げることのできる最大荷重を $W_N$ とする、(2)式より

$$W_N = (\sin\alpha + \tan\beta \cdot \cos\alpha) \cdot F_N$$

を得る。

同様に、引戻索に関して吊り上げることのできる最大荷重 $W_H$ を算出する。 $W_N$ ,  $W_H$ ,  $W_S$ のうち最小のものが $P$ 点における吊り上げ可能な最大積載量( $W_A$ )となる。次に地曳で横取りを行う場合の最大積載量を算出し $W_G$ とする。

一般に材を空中に吊り上げて横取りするよりも、地曳で行う方が張力的には有利( $W_G > W_A$ )な場合が多い。しかし地曳集材の場合、材が搬出中に切り株や岩などに引っかかる恐れや、林地を攪乱し、稚樹に損傷を与える等の問題

があるので、できる限り地曳集材は避けるべきであろう。そこで、これらの点を考慮して $P_1$ 点での限界荷重 $W_1$ を以下のようにして決定することにする。

① 1回の集材で搬出する材の平均的な重量をあらかじめ推定し、この重量を標準荷重( $W_0$ )と呼ぶことにする。

②  $W_A \geq W_0$ の時、 $P_1$ 点では最大 $W_A$ の重量の材を空中に吊り上げて集材することができ、限界荷重を

$$W_1 = W_A$$

とする。

③  $W_A < W_0$ の時、まず地曳で横取りを行うのと、空中に吊り上げて行うのとどちらが有利であるかを比較し

(i)  $W_G \leq W_A$ の場合、地曳よりも空中に材を吊り上げる方が多くの材を搬出でき

$$W_1 = W_A$$

とする。

(ii)  $W_G > W_A$ の場合、地曳集材の方が有利であるが、地曳集材に伴う種々の弊害を考慮に入

図-9. 主索、ガイドブロック、荷重の位置に基づく作業索の張力  
Fig. 9. Relation between load and tension.  
S: skyline  
Gu: guide block  
W: weight of load  
F: tension on lifting line  
G: tension on haulback line

れて、標準荷重以上の材は積載しないことにし

$$W_I = W_G \cdots \cdots W_G \leq W_0 \text{の時}$$

$$W_I = W_0 \cdots \cdots W_G > W_0 \text{の時}$$

とする。

④ 計算上では標準荷重をはるかに越えた材の横取りが可能な場合でも、実際には木寄せに要する労力や現場待ち時間などからの制約を受けて、ある限度以上の材を集材することはかえって非効率となる。また逆に、計算上において、かなり少量の材ならば搬出できるような場合でも、材にはある程度の最低限の重量があるので、算出された数値がそれ以下ならば搬出は困難になり、計算値は実質上意味をなさなくなる。そこで、それ以上は積載しないという意味での上限値として $W_{MAX}$ を、またそれ以下では実質的に集材不可能であるという意味で下限値を $W_{MIN}$ としてあらかじめ定めておくことにし

$$W_I \geq W_{MAX} \text{ならば}$$

$$W_I = W_{MAX}$$

$W_I < W_{MIN}$ ならば、 $P_I$ での横取りは不可能とする。

### 1-5-3 地形的障害と横取りの可否

次に $P_I$ で吊り上げた（または地曳で動かす）材を地形的障害を受けることなく主索直下まで搬出できるか否かの検討を行うことにする。例えば、図一7の(b)のように $P_I$ で限界荷重の材を積載し搬出する場合、途中荷上索が地表 $P_2$ に接触するので、材の搬出が困難になることがある。この場合、 $P_I$ で積載する材の重量をあらかじめある程度減じておけば、横取りは可能となるであろう。そこで、どの程度の重量ならば主索直下まで搬出できるかを算出して、限界荷重を修正することが必要になる。修正の手順はかなり複雑ではあるが、その概略を示すと図一10のようになり、また基本的考え方は以下の通りである。

① 図一7の(b)のように、搬器からみて地形の影となる部分があるときは、 $P_I$ の材を主索直下まで搬出する際、荷上索が地表に接触しないためには、材は影の空間より上方（線分ABよりも上方）を通過しなければならない。そこで、材が線分ABよりも上方を通過する時の索の張力が安全率を満たすように、材の重量を算出し、 $P_I$ における限界荷重はそれ以下でなければならないとする。

② 図一7の(a)において、 $P_0, P_1, \cdots, P_1, \cdots$ を通る線を横取り線と呼ぶことにし、同一横取り線上において、主索より遠方にある地点の限界荷重は近い点のそれよりも大きくない。すなわち $P_0, P_2, \cdots, P_1, \cdots, P_1, \cdots$ における限界荷重を $W_1, W_2, \cdots, W_1, \cdots, W_J, \cdots$ とすると

$$W_1 \geq W_2 \geq \cdots \geq W_1 \geq \cdots \geq W_J \geq \cdots$$

となる。なぜならば、もし仮に $W_1 < W_J$  ( $I < J$ ) と仮定し、 $P_J$ より $P_I$ 上空（または地表上）ま

で $W_3$ の材を運搬してきたとすると、 $P_1$ から主索直下までは $W_1$ しか材を搬出できないので、 $P_1$ において $W_3 - W_1$ だけ材を降ろさなければならない。このような集材方法は現実にはとらないので、 $W_1 \geq W_3$ となる。

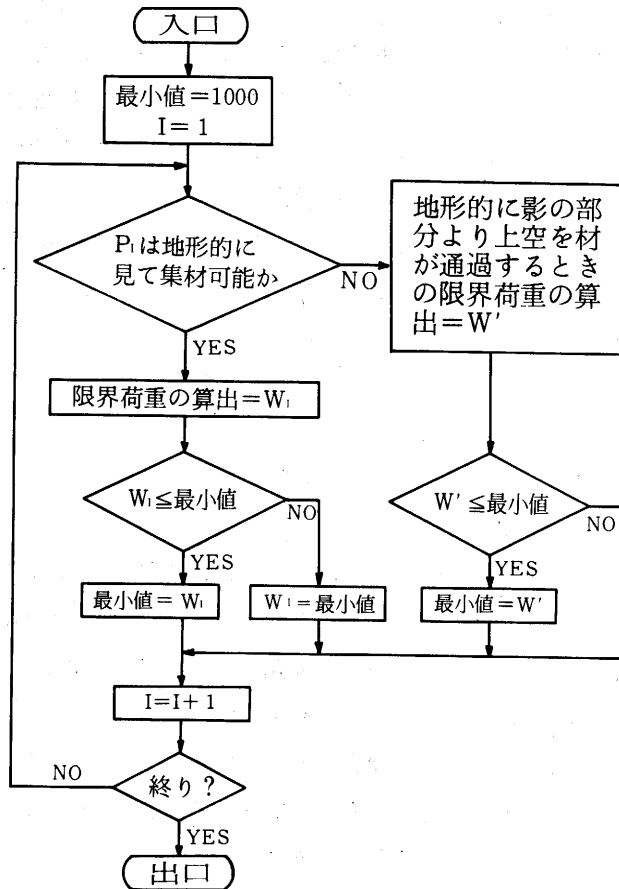


図-10. 限界荷重の決定と修正  
Fig. 10. Simplified flow chart for determination of critical load.

#### 1-5-4 横取り角度の選定

横取り線と主索のなす角度を $\beta$ とし(図-7の(a)),横取り角度と呼ぶことにする。実際の作業において横取り角度は、各集材点およびその周囲の地形的な状況に応じて、ある範囲内で人為的に適切に選定することができる。そこで、ここでは $\beta$ を一定として限界荷重を算出した後、 $\beta$ の値を変えて同様な方法で限界荷重を算出し、それらのうち最大のものを $P_1$ における限界荷重 $W_1$ とする。

以上述べた方法で伐区内のすべての集材点における限界荷重を、架線を予定線1~N上に張る場合について算出し、記憶しておく。

1-6 架線の最適架設位置・最適架設本数

架線の張り替え回数が少なければ、架線の架設、撤去に要する労力は少なくて済むが、一方集材作業は非能率的になり、また集材不可能な地域のでてくるおそれがある。また張り替え回数決定しているときは、最も能率的にかつ集材不可能な部分の面積を最小にするように架線の位置を決定しなければならない。そこでここでは以上の考え方に基づいて、架線の最適架設位置、最適架設本数を決定していくことにするが、架線をX (X=1, 2, ……)本張る場合の各々の架線の最適位置は、次のような評価関数Zに基づいて決定することにする。

$$Z = f(t_1, t_2, \dots, t_x) + C_0 \cdot g(t_1, t_2, \dots, t_x)$$

ただし、 $t_1, t_2, \dots, t_x$  : X本の架線の各々の存在位置を表わす変数

$f(t_1, t_2, \dots, t_x)$  : 各架線を $t_1, t_2, \dots, t_x$ に架設した場合、集材可能区域における材を集材するのに要する時間 (日)

$g(t_1, t_2, \dots, t_x)$  : 上記の場合の集材不可能な区域の面積 ( $m^2$ )

ここで $C_0$ は材を集材しない場合の損失を時間に換算する定数 (日/ $m^2$ )で、以下のように定める。

$$C_0 = \frac{R_i \cdot T_i}{N_i \cdot Z_i}$$

ここで、 $R_i$  : 材を集材した場合の $1 m^3$ 当りの利益で、材の山土場価格から伐出費用 (人件費は含まない) を差し引いたもの (円/ $m^3$ )

$T_i$  : 単位面積当りの蓄積 ( $m^3/m^2$ )

$N_i$  : 作業員1人当りの日当 (円/人・日)

$Z_i$  : 集材作業1セットにおける作業員の人数 (人)

Zを最小にするような $t_1, t_2, \dots, t_x$ を見出すことにより架線の最適位置を決定することができる。

1-6-1 集材指数

まず次のように伐区内の各集材点における“集材指数”を定め、これを用いて架線の合理的な架設位置を決定することにする (図-11)。いま、架線を予定線K上に張るものとし、予定線I上のJ番目の点 $P_J$ に $W_T$ の材があると考えた場合、 $W_T$ の材を土場Dまで搬出するのに要する時間 (日) を $T(K, I, J)$ とすると

$$T(K, I, J) = \frac{W_T}{W_I} \cdot C_T$$

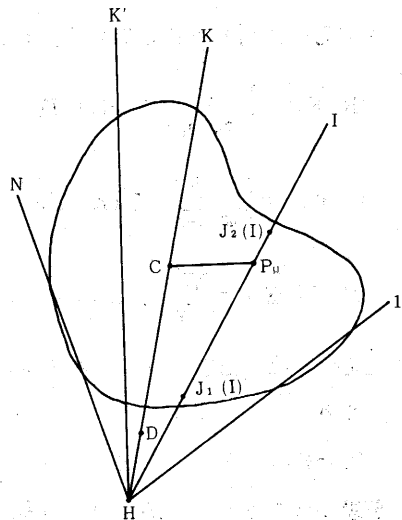


図-11. 架線の最適位置の決定  
Fig. 11. Determination of the optimum setting of skyline.

- $P_0$  : yarding point
- C : carriage
- D : landing
- H : head tree

となる。ただし $C_T$ はサイクルタイム（日）で、 $P_{IJ}C$ および $CD$ の距離から算出する値である。また $P_{IJ}$ が横取り困難な地点であるときは、集材不可能な場合に与える評価値として

$$T(K, I, J) = C_0 \cdot M_i, \quad M_i: P_{IJ}の受けもつ面積 (m^2)$$

を算出し、 $T(K, I, J)$ をこの場合の集材指数とする。

### 1-6-2 架線の最適位置

架線の架設本数が決定している場合には、架線の最適位置は各集材点における集材指数の合計を最小にするような位置となる。

#### ① 架線を1本張る場合の最適位置

架線を $K$ に張る場合の集材指数の合計は

$$Z = \sum_{I=1}^N \sum_{J=J_1(I)}^{J_2(I)} T(K, I, J)$$

となり、 $Z$ を最小にする $K$ が最適位置である。

#### ② 架線を2本以上張る場合の最適位置

まず、 $K, K'$ 上に架線を2本張る場合、対象区域を $K$ より右側、 $K'$ より左側、 $K$ と $K'$ の間に分けて考え、 $K$ より右側にある材は $K$ に集材し、その時の集材指数の合計を $R(K)$ 、 $K'$ より左側の材は $K'$ に集材し、その時の集材指数の合計を $L(K')$ とする。 $K$ と $K'$ の間にある材は $K$ と $K'$ のうち有利な方へ集材するとする。すなわち、 $T(K, I, J)$ と $T(K', I, J)$ を比較し、値の小さい方へ集材することにする。 $K$ と $K'$ の間の集材指数の合計を $M(K, K')$ とすると

$$R(K) = \sum_{I=1}^{K-1} \sum_{J=J_1(I)}^{J_2(I)} T(K, I, J)$$

$$L(K') = \sum_{I=K'}^N \sum_{J=J_1(I)}^{J_2(I)} T(K', I, J)$$

$$M(K, K') = \sum_{I=K}^{K'-1} \sum_{J=J_1(I)}^{J_2(I)} \langle T(K, I, J), T(K', I, J) \rangle$$

ただし、 $\langle A, B \rangle$ :  $A, B$ のうち小さい方を選ぶ演算子

となり

$$Z = R(K) + L(K') + M(K, K')$$

を最小にする $K, K'$ が2本の架線の最適位置である。

3本以上架線を架設する場合も同様な考え方で最適位置を決定することができる。

### 1-6-3 架線の最適架設本数

架線を $X$ 本張る（ $X-1$ 回張り替える）時に要する人工数を $D(X)$ とし、 $X$ 本張る場合の集材指数の合計を $Z'(X)$ とすると、最適本数は



$$V = Z'(X) \cdot Z_i + D(X)$$

ただし、 $Z_i$  : 集材作業1セットにおける作業員の人数 (人)

を最小にする  $X$  として決定できる。

## 2 プログラムの適用

ここでは、以上述べてきた方法に基づいて作成したプログラムを実際の林地に適用した結果について報告する。

適用地域として選定したのは東京大学千葉演習林内の林地 (図-12) であるが、この区域を

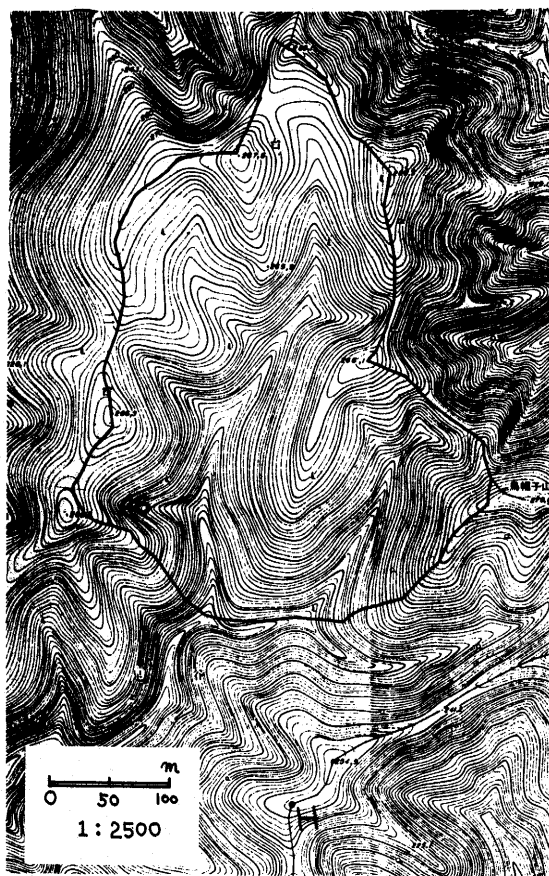


図-12. 試験地  
Fig. 12. Study area.

選定した理由は、比較的容易に信頼性の高い地形図を入手できたためである。図-12において実線の内部を伐区とし、元柱の位置を  $H$  とする。また、この伐区近くには、材の搬出に必要な林道はまだ作設されていないが、必要な地点まで作設されることを前提にした。計算に必要なデータとして、伐区内の  $ha$  当りの蓄積、索の直径、中央垂下比、各索の安全率等の条件を

与えて計算を行い、以下のような結果を得た。

### 2-1 架線の最適架設本数および最適架設位置

計算の結果、架線の最適架設本数は2本であることが判明したが、ここでは計算結果の検討を行うために、架線を1～3本張る場合の計算結果を出力し、各々の場合について架線の最適位置、横取りの難易性、伐出困難な区域等について考察を行っていくことにする。

#### ① 架線を1本張る場合

計算の結果、図-13に示すような位置が、架線の最適位置であった。先柱の位置が伐区内に

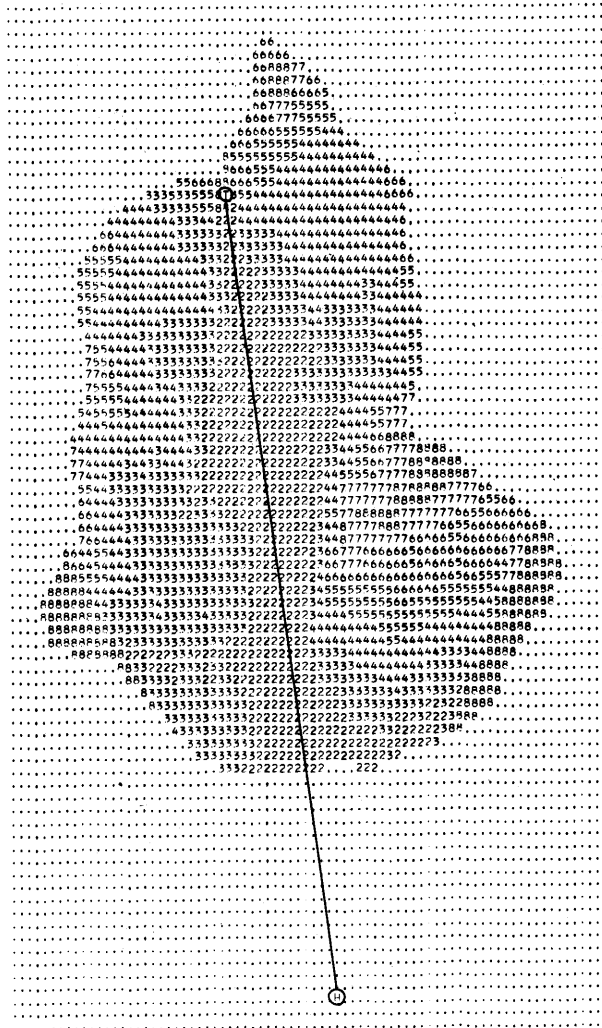


図-13. 架線が1本の場合の最適位置

Fig. 13. Optimum position of skyline for cable crane in case of one skyline.

あるのは、伐区境界線上に先柱を設置することが地形的に困難であったためである。また伐区

内の各点の数字は横取りの難易性を表わすもので、1が一番容易であることを示し、数が大きくなるほど困難性を増し、8の区域は横取りの不可能な区域となっている。伐区の右側に集材不可能な区域のあることが判るが、この区域は架線からみて小尾根の裏側の部分となっており、この区域の材を搬出するためには、架線の張り替えを行う必要のあることは容易に想像される。

② 架線を2本張る場合

この場合の最適位置は図-14に示す通りで、伐区内のほとんどの区域が集材可能であること

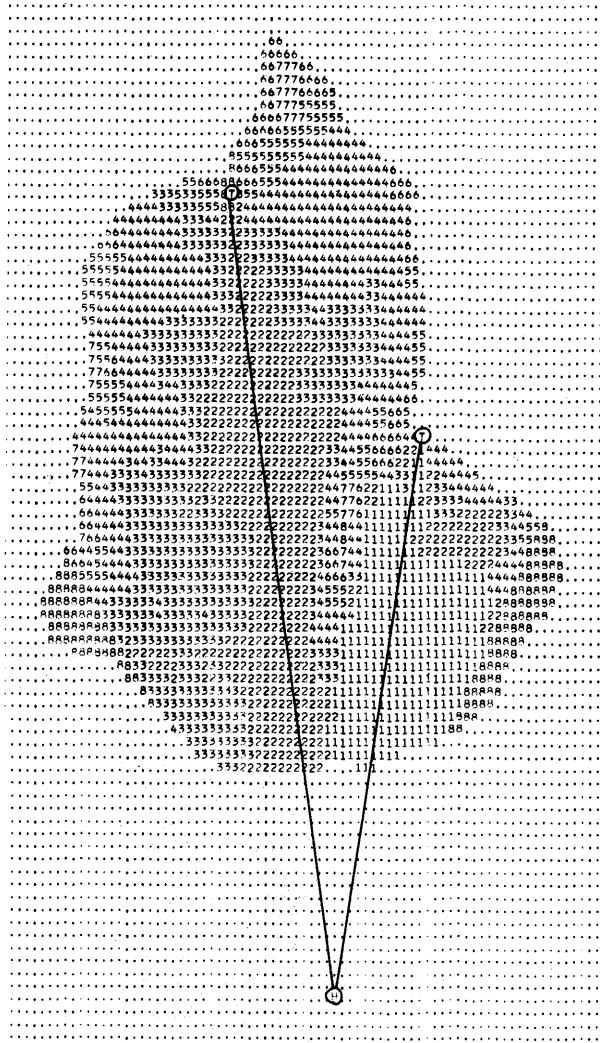


図-14. 架線が2本の場合の最適位置

Fig. 14. Optimum position of skyline for cable crane in case of two skyline.

が判る。また、材の伐倒方向の選定をうまく行えば、横取り困難な地域がさらに減少することは考えられる。

③ 架線を3本張る場合

最適位置は図-15に示す通りで、架線が2本の場合と比較して、張り替えに要する労力の割

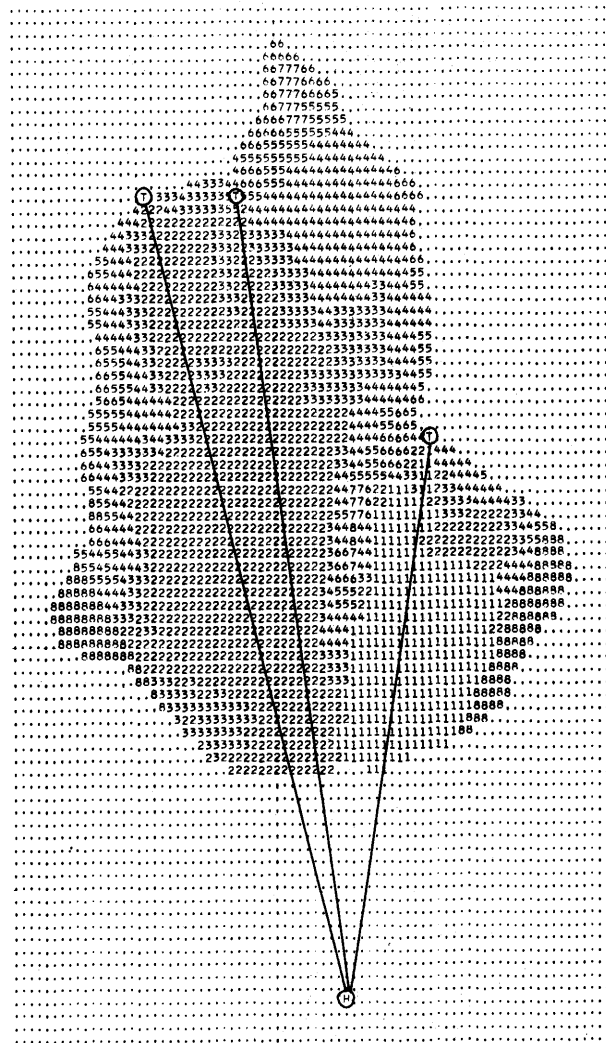


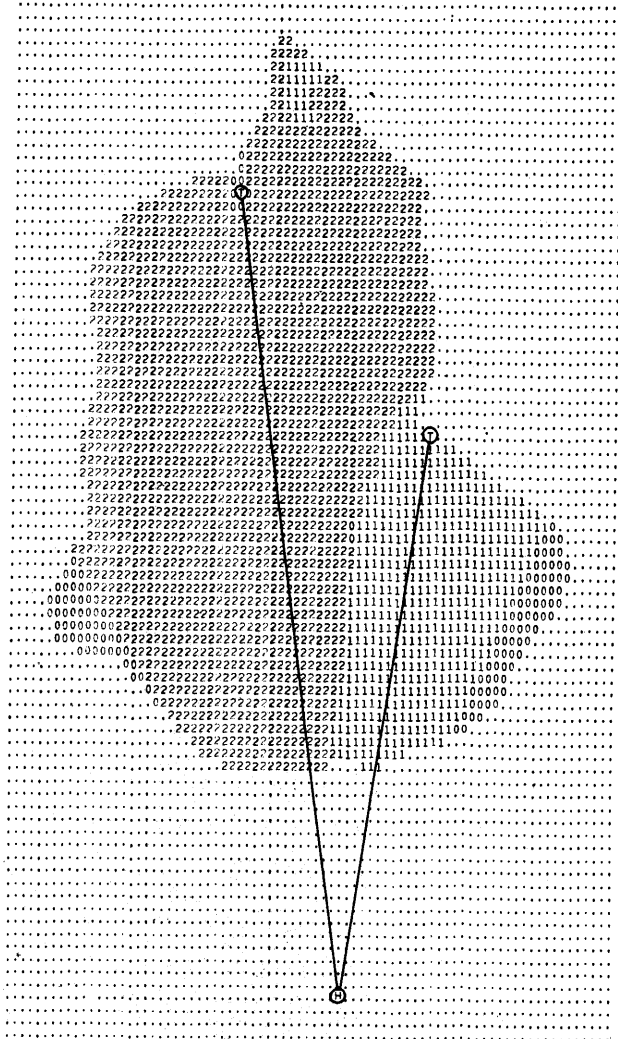
図-15. 架線が3本の場合の最適位置

Fig. 15. Optimum position of skyline for cable crane in case of three skyline.

には、集材の能率は上っていないことが判る。

2-2 各架線の受け持つ集材範囲

図-16は1で表わされる区域の材は右側の架線で、2で表わされる区域の材は左側の架線で



図一16. 各々の架線の受けもつ集材区域

Fig. 16. Yarding area for each skyline.

集材するのが適切であることを示している。この図によって伐区内の集材計画を合理的に決定することができる。

以上のプログラムのステップ数は約1,700,使用記憶容量は約300KWで, 計算機は東京大学大型計算機センターのHITAC 8700を使用し, 計算時間は約2分であった。

考 察

以上架線の最適架設位置, 最適架設本数の決定法について論述してきたが, その中で, 3の問題点のあることが明らかとなったので, その代表的なものについて述べてみる。

第1に、地形を3次曲面で近似する場合、とがった部分は丸味をおびて近似されるという点である。従って山腹及び尾根（とがった尾根は少い）の部分はかなりよく近似できるが、V字形をした谷は計算結果ではU字形となり、また小さな谷は計算上出てこないこともある。したがって集材機集材作業を対象とするときはよいであろうが、トラクタ集材作業を対象とするときにこの方法をそのまま用いるのは危険性があると思われる。

第2に、電算機を用いて計算を行う場合、既知の値として入力した定数（搬器の速度、張り替えに要する人工数等）の値によって計算結果が大きく左右されるのであるから、個々の現場に適したこれらの定数の適確な値を究明することも、今後の課題となるであろう。

第3に、本研究には正確な地図があることを前提としているわけであるが、精度の高い地図（航空写真を図化したものでも不正確なものが多い）の入手法というのも1つの課題となるであろう。

第4に、できうる限り正確な計算結果を得るために、なるべく実際の集材作業に則し、かつ理論的にも正確であることを目標に、プログラムの作成にあたって努力をしたわけであるが、止むを得ず簡略な方法をいくつか用いている点にも今後改良の余地がある。

たとえば、横取り時に主索は荷上索の張力をうけ、実際にはかなり水平あるいは垂直方向に移動するわけであるが、本プログラムにおいては、架線は常に先柱および元柱を含む鉛直平面内にあると仮定している。

また横取り時には、主索には鉛直および水平方向（主索に直角な方向と平行な方向）に張力分力が働くわけであるが、ここではこれらの合成張力が先柱および元柱を含む鉛直平面内にあり、しかも鉛直方向に働くものと仮定して、主索にかけることのできる張力を計算している。

今後は、以上述べた問題についてさらに研究し、理論面からの追求とともに、現地での実際の作業と計算結果とを比較した上で、どの点で、どの程度の相違を生じているのか、またその原因はいかなる点に基づくものであるかを解明していきたい。

#### 参考文献

- 1) 加藤誠平：林業用索道設計法。223pp, 金原出版, 東京, 1959。
- 2) 小山 悌：林業機械の作業工程に関する理論的研究, 1963。
- 3) 三品忠男・有馬孝昌：伐木運材の経営と技術。215pp, 地球出版, 東京, 1966。
- 4) 森岡 昇：架空線集材の集材区域と作業能率に関する研究。名大演報5, 1970。
- 5) 中村英夫・村井俊治：Digital Terrain Model 一地形の数値的表現の方法。生産研究20, 8, 1968。
- 6) 蔡東 壁：集材機による全幹および全木集材作業に関する研究。修論（未発表）, 1968。

## Summary

The end of the study is to determine the optimum location of the skyline for the cable crane by using the electronic computer (HITAC 8700) from the technical and economical point of view.

First of all, the topographic map, on a scale of 1:2500, including the harvesting area is prepared and matrix is laid out on the map.

The harvesting area can be approximately enclosed by tens of straight lines connecting boundary points, i.e. A,B,C, ..... (Fig. 4).

The configuration of the terrain surface is represented by the cubic curved face. So the elevation at any point in the area is computed on the basis of the elevation at adjacent intersection points.

Many lines are drawn from the head tree(H) through the harvesting area (Fig. 5). Those lines are assumed to be called "planning line". On each planning line, the possibility of setting the tail tree is examined. And if possible, the optimum point for the tail tree on the line is determined.

Then, the possibility of the timber yarding in lateral direction is examined in accordance with the configuration of the ground surface along the lateral yarding lines, and also the limiting load of one yarding operation from each point of the harvesting area is determined by calculating the tension of the skyline and operating lines.

The yarding time at every point can be calculated in accordance with the yarding distance and the limiting load in one yarding operation. The total required time of each planning line should be calculated as integration of the yarding time at every point in order to find the optimum skyline setting. The total required time for yarding operation is determined by the position of each tail tree. The optimum position of each skyline can be found as the position where the total required time for yarding is minimized.

The optimum setting number of the skyline is determined as the number to make the total required time for yarding and the time for replacing the skyline system minimize.

Figure 12 is a topographic map on a scale of 1:2500 on which the timber harvesting area and the position of the head tree are laid out. Figure 13,14 and 15 illustrate the optimum position of the tail tree(s) for one skyline setting, two and three respectively. The numeral values printed out by computer in Fig. 13, 14 and 15 show the difficulty of the yarding operation, e.g. 1:Very easy, 8:Very difficult.

Comparing the three cases, printer output tells that the optimum number of skyline setting is two settings. Figure 16 illustrates the yarding range of each skyline.