

第4章 作業計画・架線計画

4-1 作業計画の必要性と手順

(1) 作業計画の必要性

Point!

安全を確保し、効率的な架線集材を実施するため、作業計画の作成と周知が重要

架線集材の現場は、伐倒や集材、造材などといった作業工程が多岐にわたるだけでなく、使う機械も数種類に及びます。このため、各作業も同時並行や連携作業となることが多く、作業班全員が相互の作業内容を理解することが、安全を確保し、効率的な架線集材を実施するために必要となります。よって、作業班全員で現地踏査を行い、現地の状況に適応した作業計画や架線計画を作成し、周知することが重要です。



作業班全員で現地踏査



作業計画内容を作業班に周知

Point!

現地の状況に応じて定めた作業計画により作業を実施

労働安全衛生規則（以下、「安衛則」という。）では、主索を利用した索張り方式や集材木を空中に浮かせた状態での集材作業を「林業架線作業」、主索を利用しない索張り方式での地曳きによる集材作業を「簡易林業架線作業」と定義しています。

いずれの作業においても、作業者の危険を防止するために、あらかじめ当該作業に係る場所について、広さ、地形、地盤の状態や支柱とする立木の状態及び運搬する原木等の形状等を調査し、その結果を記録することが義務付けられています（安衛則第151条の124、152）。

また、これらの調査により知り得た現地の状況に適応する作業計画を定め、当該作業計画により作業を行わなければならないとされています。更に、作業計画には、下記の事項を記載すると共に、関係労働者に周知させなければならないことが定められています（安衛則第 151 条の 125、153）。

【林業架線作業・簡易林業架線作業での作業計画記載事項と周知事項】

対象事項	記載		周知
	林業架線作業	簡易林業架線作業	
支柱及び主要機器の配置の場所	○	○	○
使用するワイロープの種類及びその直径	○	○	○
中央垂下比	○		
最大使用荷重	○	○	○
機械集材装置の集材機の種類及び最大牽引力	○	○	
林業架線作業（簡易林業架線作業）の方法	○	○	○

※周知事項については林業架線作業・簡易林業架線作業共に同一

（２）労働基準監督署への届出

Point!

集材作業の内容に応じて、労働基準監督署への届出を実施

架線集材作業において、労働基準監督署への届出は、「機械集材装置を用いた集材方法」で、「原動機の定格出力が 7.5kW（約 10 馬力）を超える機械（安衛則第 85 条）」により集材作業を行い、「組み立てから解体までの期間が 60 日以上（安衛則第 85 条）」の場合に必要です。

一般的に、タワーヤード方式では、「組み立てから解体までの期間が 60 日以上」となるような集材作業が少ないため、多くのケースで届出が不要となることが考えられます。

(3) 作業計画の作成手順

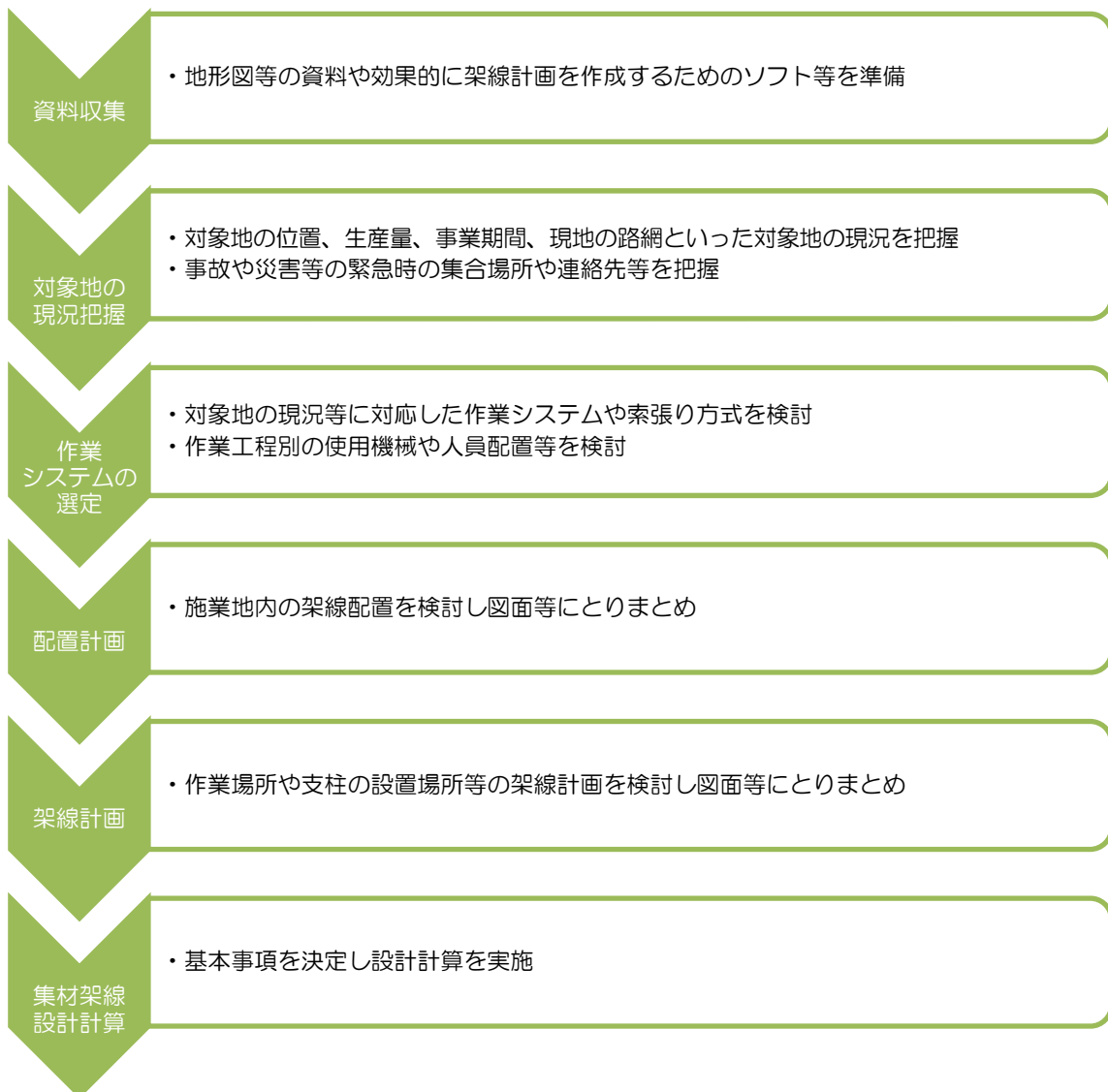
Point!

机上計画と現地踏査の結果を組み合わせ、作業システムや索張り方式、架線配置を検討

作業計画の作成に際し、最初に地形図等の資料を収集して、対象地の現況を把握するとともに、作業システムや索張り方式を選定し、使用する林業機械や人員配置を検討します。そして、施業地内の架線の張り替え位置等の配置計画と、土場やタワーヤード、先柱、中間支柱の設置場所に関する架線計画を作成します。

なお、作業計画には決められた様式はありませんので、計画作成や記録が必要な事項を記載する様式や、周知が必要な事項を現地に掲示する様式を作成して取りまとめます。

この作業計画により、作業の効率性や安全性が左右されますので慎重に計画を立てます。作業計画の手順は、概ね次のとおりです。



4-2 資料収集

(1) 作業計画作成に必要な資料

Point!

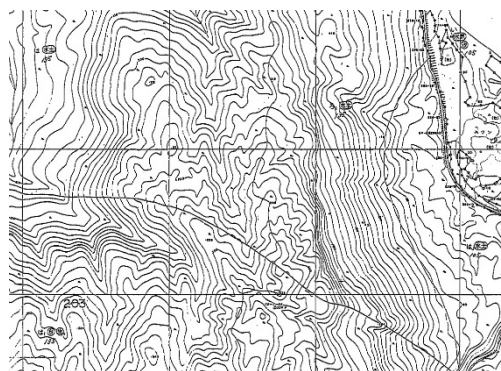
資料はダウンロード可能なものもあり、インターネットを有効利用して収集

架線集材を安全かつ効率的に実施するためには、対象となる森林の地形や林況等について十分に把握する必要があり、そのために必要な資料の収集を行います。資料によっては、閲覧やダウンロードが可能なものもあることから、インターネットを利用して収集します。

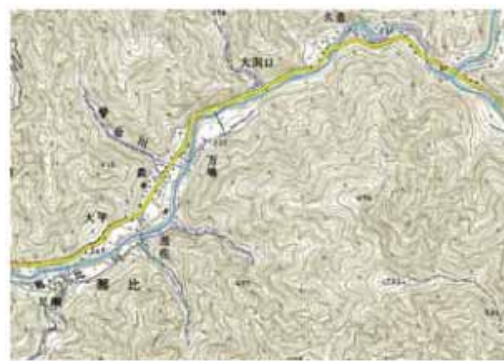
ア 森林基本図・地形図

森林基本図は、等高線間隔5mまたは10m、縮尺1/5,000の地図です。主に森林計画を立案する際などに使用されており、都道府県庁や市町村役場などで購入することができます。この図面により、具体的な作業計画を検討します。また、伐採現場や土場、支柱等の位置を記入し、机上計画や現地踏査、森林所有者への説明等に利用します。

地形図は、国土交通省国土地理院発行の等高線間隔10m、縮尺1/25,000の地図です。地図専門店や書店等での購入や、インターネットで閲覧することも可能です。この図面には、森林基本図よりも広範囲の地形や既設道が記載されており、その把握のために利用します。



森林基本図 (1/5000)

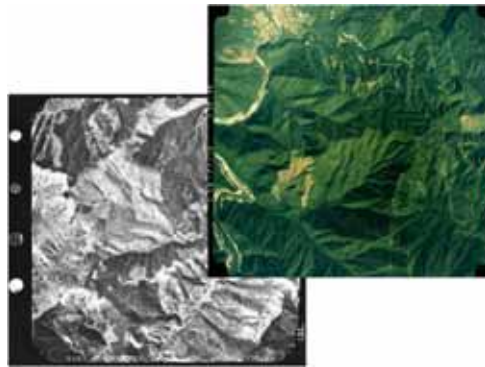


地形図 (1/25000)

イ 空中写真

林野庁や都道府県が森林計画を立案するために撮影しているものや、平野部を中心とした国土地理院撮影のものがあり、作業計画の作成に当たって、立木の状況や森林作業道等の図面に反映されていない情報の把握に利用できます。

入手方法としては、空中写真の取次店等から購入することができます。また、インターネットで閲覧することも可能です。



空中写真（モノクロ・カラー）

ウ 数値標高モデル（DEM）

数値標高モデルは、一般的にDEM（Digital Elevation Model）と呼ばれており、建物や樹木などを取り除いた地面の形状や標高値等の情報を得ることができます。

国土地理院のホームページからダウンロードできる10mDEMは、主に1/25,000地形図の等高線データ等を基に作成したものであり、日本全国のDEMを入手できます。このほかに、実際の微地形を正確に再現できる航空レーザー測量により作成された、高解像度DEMもあります。

また、航空レーザー測量や空中写真から、計測した樹冠など表層の高さとDEMを比較し、樹高を推定することで、支柱を選定するための資料として利用できます。

(2) 作業計画作成におけるソフトウェア

Point!

様々なソフトウェアを用いて効率的な作業計画を作成

収集した資料は、現地調査のほか集材架線設計計算や配置図の作成に利用します。様々なソフトウェアと組み合わせて使用することで、効率的な作業計画の作成が可能です。

ア 地理情報システム (GIS)

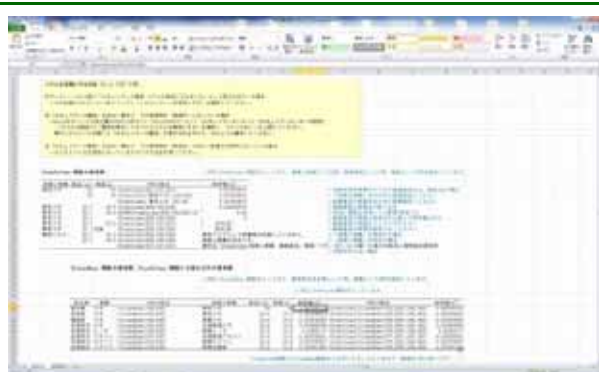
地理情報システム、通称GIS (Geographic Information System) は、基本図や空中写真、DEM等の収集した資料と現地調査で得られた情報を組み合わせて表示するだけでなく、伐区の面積や作業状況の管理といった森林管理に利用するほか、支間距離や支柱の高低差等の算出や縦断図の作成等が可能であるため、設計計算に使用する基礎情報の把握に効果的です。インターネットから無料でダウンロードすることにより利用できます。

このほかに、インターネット上で地形図や写真を表示できるwebGISもあります。

イ 幹材積計算プログラム

国立研究開発法人森林総合研究所で開発された「幹材積計算プログラム」は、林野庁計画課監修「立木幹材積表 (東日本編・西日本編)」(1970年) に収録されている83種類の材積表に対応しており、地域・樹種・胸高直径・樹高から立木幹材積表の掲載値とほぼ同じ幹材積を算出できます。現地調査の結果から、単木の重量や出材量を推定するときに利用できます。

なお、このプログラムは、国立研究開発法人森林総合研究所のウェブサイト (<http://www.ffpri.affrc.go.jp>) からダウンロードできます。



幹材積計算プログラム

提供：国立研究開発法人森林総合研究所

(3) 作業計画作成にかかる主な測定機器

Point!

デジタル測定機器を用いて、縦断図の作成や支柱の位置計測などを容易に実施

作業計画の作成に当たっては、支柱等の位置、斜面や索の勾配や角度、また距離や高さなどを計測する必要があります。デジタル測定機器を利用することで計測の簡易化が可能となります。

ア 携帯用ハンディ GPS

全地球測位システム、通称GPS (Global Positioning System) は、人工衛星から発信される情報から現在位置を把握するシステムです。携帯用ハンディGPSに地形図等の情報を取り込み使用することで、初めての現場であっても、林内で自分の位置を把握できるだけでなく、踏査した結果を記憶させ、GISに挿入することができるので、伐区の境界や支柱の位置等の図面への挿入が容易となります。



携帯用ハンディ GPS

イ デジタルコンパス

デジタルコンパスでは、測定器から目標物まで、または目標物から他の目標物までの距離や傾斜角、方位角等を瞬時に測定することができます。タワーヤーダの架設作業で重要となる主索とガイラインの方向などを把握することができます。



デジタルコンパス

4-3 対象地の現況把握

Point!

作業計画のためだけでなく、作業者の危険防止のためにも対象地の現況把握が重要

対象地の現況把握では、伐区の境界や立木の状況、伐区内の樹種や径級別の分布等を確認し、目標とする出材量を設定すると共に、作業計画を検討するために必要な、伐区の地形傾斜、既設道の状況や路網作設の可能性、岩石地等の障害物の有無といった項目について確認します。この調査で得られた情報は、任意の作業計画書や森林基本図（1/5,000地形図）等に記入します。

なお、安衛則では、集材機の転落、地山の崩壊、支柱の倒壊等による労働者の危険を防止するため、対象地の広さ、地形、地盤の状態等、支柱とする立木の状態及び運搬する原木等の形状等を調査し、その結果を記録しておかなければならないとされています（第151条の124、152）。

調査項目	目的
伐区の境界	誤伐防止、横取り方法の検討
立木の状況	樹種別材積を把握し出材目標量を設定 樹種・樹高・直径から立木重量を推定 支柱として利用可能な立木の検討
伐区内の径級分布	径級別に荷掛量を検討 伐出方式（全木、全幹、短幹）の検討
地形・傾斜	路網作設の可能性把握 作業システム及び索張り方式の選定 架線配置の検討 中間サポートの必要性の検討
既設道等の状況	タワーヤード及び器材の搬入方法の検討 タワーヤードの設置場所・土場の検討 市場への運搬ルート・方法の検討 作業システム及び索張り方式の選定 架線配置の検討
障害物等の留意点確認	岩石地や沢の有無による架設・撤去方法の検討 砂防ダム等の構造物による集材注意箇所の確認

4-4 作業システムの選定

Point!

路網整備の状況による大型車両走行の可否と集材距離から、作業システムを選定

作業システムは、集材に使用する機械の搬入だけではなく、市場への材の運搬も考慮した公道を含む路網規格や集材距離を左右する路網密度といった路網整備の状況、路網作設の可能性、更に作業間の連携等を考慮して検討します。

作業システム選定の目安としては、大型車両の走行の可否や集材距離により、概ね以下のように区分されます。また、作業システムを選定した後に、具体的な使用機械や架設・撤収作業を含む人員配置も検討します。

大型車両の走行※	集材距離	作業システム	留意事項
○	600m以上	集材機	<ul style="list-style-type: none"> • 1回の架設で大量の材を搬出できる索張り方式を選定 • 1日の集材量を考慮した広い土場を確保 • 架設、撤収、集材作業の効率化を図るため森林作業道の作設を検討 • 高性能搬器や人工支柱の利用も検討
○	100m～600m	大型・中型 タワーヤーダ (主索型)	<ul style="list-style-type: none"> • 大型タワーヤーダの場合は搬入する一般道の状況を確認 • 道路敷を土場とした利用も検討 • 集材機を利用する場合は600m以上と同様の考え方
×	(樹高+10m程度) ～300m	小型タワーヤーダ (主索型・非主索型)	<ul style="list-style-type: none"> • 4トントラック程度が走行可能な路網を整備できれば効率的 • 非主索型のタワーヤーダは最大集材距離を確認 • フォワーダ等による小運搬が必要 (林業専用道のような道で作業する場合は不要)
×	(樹高+10m程度) ～100m	スイングヤーダ	<ul style="list-style-type: none"> • 作業場所を考慮した路網により機械設置や小運搬を効率化 • フォワーダ等による小運搬が必要 (林業専用道のような道で作業する場合は不要)
×	樹高+10m以下	グラップルや 地曳ウインチ等 (車両系)	<ul style="list-style-type: none"> • フォワーダの走行距離が長い場合は長距離架線と組み合わせを検討

※ 大型車両とは 10 t 積トラック程度を想定

※ タワーヤーダは主索等の巻込量が異なることから集材距離に対応できる機種か検討が必要

(1) 路網とタワーヤードの組み合わせ

Point!

整備可能な路網や既設道の規格等により、機械の組み合わせが異なる

タワーヤードを使用する際には、路網整備の可否が、作業の効率性や稼働率を高めるためのポイントになります。

車両の走行だけを想定した縦断勾配が急な路網では、タワーヤードで効率的な作業を行うことが難しいと考えられるため、路網を新たに整備する場合は、縦断勾配や作業スペース等を考慮したタワーヤードの設置や集材作業（設置方法等については、第5章を参照）を想定した路網とします。

路網作設の留意点

- ・ タワーヤードを設置できる縦断勾配
- ・ ガイラインを固定するため立木を残した線形
- ・ 路上を造材や積み込み作業、土場として使用できる環境の確保
- ・ 木材運搬用のトラックの作業場所（積み込み・方向転換等）の確保
- ・ 集材距離などを考慮した、必要最小限の路網密度となる線形
- ・ 作業の効率性を考慮した、上げ荷集材を想定した線形

路網整備が可能な現場であっても、既設道の状況によっては、タワーヤードの搬入が困難な場合もあるので、搬入経路の幅員や曲線半径、橋梁等の確認が必要です。

タワーヤードは、機種により重量や移動方法等が異なり、走行・搬入可能な路網の条件が異なります。路網との組み合わせによって、採用可能な規格のタワーヤードを選定します。



小型タワーヤードの使用を想定した路網



大型タワーヤードの使用を想定した路網

ア 林業専用道と大型・中型タワーヤードの組み合わせ

Point!

集材・造材から直接トラックへの積み込みを行う効率的な作業が可能

林業専用道等の大型トラックが走行できる路網の利用や整備が可能な場合には、大型・中型のタワーヤードと高性能搬器を用いた生産性の高い作業システムの検討が可能です。

運材との連携については、路上で造材を行った後に、材の移動や小運搬を挟まずに、トラックに付属したグラップルローダ等で直接トラックに積み込む作業が可能です。



グラップルローダ付トラックでの積み込み

イ 森林作業道と小型タワーヤードの組み合わせ

Point!

荷下ろし場所に集材木が集積し、集材作業が中断しないような対策が必要

縦断勾配が緩やかな森林作業道を整備可能な場合には、小型タワーヤードを用いた作業システムの検討が可能です。

一般的に、小型タワーヤードは集材距離が短く、荷下ろし場所に集材木が集積されやすいため、集材作業が中断しないような対策が求められます。

例えば、荷下ろし場所からグラップル等で集材木を移動させてから造材し、フォワーダ等を利用して小運搬を行い、大型トラックへ



フォワーダによる小運搬

積み替えて運材します。フォワーダの走行距離が長くなる場合や急な縦断勾配の区間がある等により走行速度を抑えなければならない場合等では、造材した丸太が滞留してしまうことから、造材した丸太を仮置きできる作業スペースを確保することが重要です。

この他に、荷下ろし場所から大型トラックへ積み替え場所まで近い場合は、グラップル等で集材木を移動させて、ある程度集積されてから一度に造材する方法等も考えられます。

(2) 効率的な機械の組み合わせ

Point!

全工程の処理能力を最大限に活かす、最低限の人数による作業システムの構築を図る

架線系作業システムのうち、特にタワーヤードとプロセッサを組み合わせる場合には、造材作業の速度が集材作業の速度を上回ることが多く、プロセッサの稼働率が低下し易い傾向にあります。プロセッサの高い能力を最大限に活かすためには、先行伐倒の実施や伐倒人数の追加、半自動運転やラジコン式自動荷外しフックの使用等による効率的な集材を検討します。

また、集造材の連携を図る場合に、道路上の限られたスペースで造材する際は、造材した丸太が滞留しないようにトラック等で運搬して、常に造材スペースを確保することが重要です。

各作業間の連携によって、待ち時間を極力減らし、機械稼働率を高めることで、より高い生産性の実現を目指します。

機械の組み合わせ例

作業	伐倒	集材	造材・積載	運搬	セット
日数	1日目	2日目・3日目			計3日間
人員	3人	1人	1人	1人	3人/日 (延9人)
使用機械	チェーンソー 3台	タワーヤード 1台	プロセッサ 1台	トラック 1台	重機・車両 3台
時間当たり 生産性	15m ³ /時 (24本/時)	7.5m ³ /時 (6回/時)	6m ³ /時 (18本/時)	6m ³ /時 (0.5回/時)	4m ³ /時
一日当たり 生産性	90m ³ /日 (144本/日)	45m ³ /日 (36回/日)	36m ³ /日 (108本/日)	36m ³ /日 (3回/日)	24m ³ /日
労働生産性	30m ³ /人日 (48本/人日)	45m ³ /人日 (36回/日)	36m ³ /人日 (108本/日)	36m ³ /人日 (3回/日)	8m ³ /人日

注：1日の主作業の生産時間を6時間とした場合の、3日間の主作業の生産性を上記に示す。
 作業システムにおける各工程の潜在的な最大処理能力ではなく、生産性の実績値とする。
 伐倒の生産性における本数は立木本数を、造材・積載の生産性における本数は短幹本数を示す。
 造材の生産性は、歩留まりを8割とした場合の値を示す。

初日に、先行伐倒を3人で行って90m³を処理し、翌日に、半自動運転が可能なタワーヤードとプロセッサの組み合わせにラジコン式自動荷外しフックを併用し、2人1組で全木集材と造材（歩留まり率=80%）を並行して行うことで、36m³の短幹材を生産。造材した短幹材は、直接トラックに積み込み運搬。これを3日目も繰り返すことにより、8m³/人日の生産性を確保（架設・撤収を除く）。



(3) 索張り方式の選定

Point!

タワーヤードと搬器の組み合わせにより、施業条件に合った索張り方式を選定

集材方向（上げ荷・下げ荷）で必要な作業索の本数が異なるなど多少の違いはありますが、タワーヤードや搬器の構造とその組み合わせ等により、利用可能な索張り方式が決まります。このため、伐採方法（間伐・小規模皆伐・皆伐）やそれに応じた横取り方式（人力型・機械型）の違い等を考慮し、最も効率的となる索張り方式や想定する積荷荷重に対応できるタワーヤードと搬器の組み合わせを検討します（各種索張り方式については、第2章2-3を参照）。

なお、タワーヤードと搬器の組み合わせを検討する際は、タワーヤードの牽引力や搬器の重量等を考慮しないとそれぞれの機械の性能を十分に発揮できないことがあるので注意します。



中型タワーヤードと自動繫留搬器の組み合わせ



大型タワーヤードと自走式搬器の組み合わせ

4-5 配置計画

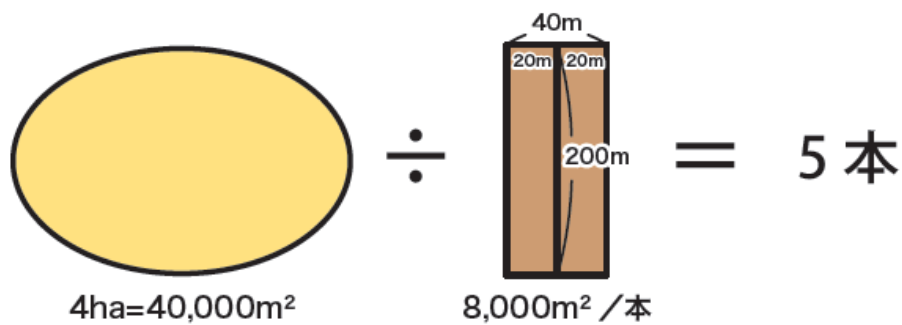
(1) 索張り本数の推定

Point!

必要な索張り本数を推定して、それを目安に配置計画を検討

対象とする施業地において、架線の配置を検討する際には、以下の簡略化したモデル式を用いて目安となる索張り本数を推定し、求められた索張り本数に近づくように、配置計画を検討します。

$$\text{伐区面積} \div (\text{索長} \times \text{横取り距離} \times 2) = \text{索張り本数}$$



索張り本数の計算例

(2) 配置パターンの選定

Point!

路網の位置や地形傾斜などを勘案して、集材効率の良い配置パターンを検討

架線は、斜面方向に沿った配置を基本とします。ただし、地形傾斜や路網整備の状況などによっては、斜面方向に斜めの配置や放射状の配置も検討することになります。

地形図等の等高線や現地踏査等から地形を読み取り、架線の間隔を考慮しながら、作業効率の良い大まかな架線の配置パターンを選定します。なお、間伐で横取りする際、荷掛けフックの誘導を人力で行う索張り方式の場合では、採用する配置パターンにより、残存木に与える影響や集材作業の効率が大きく異なります。

ア 斜面方向に沿った配置

Point!

斜面方向に沿った配置を基本とし、下げ荷では滑落物への安全対策を実施

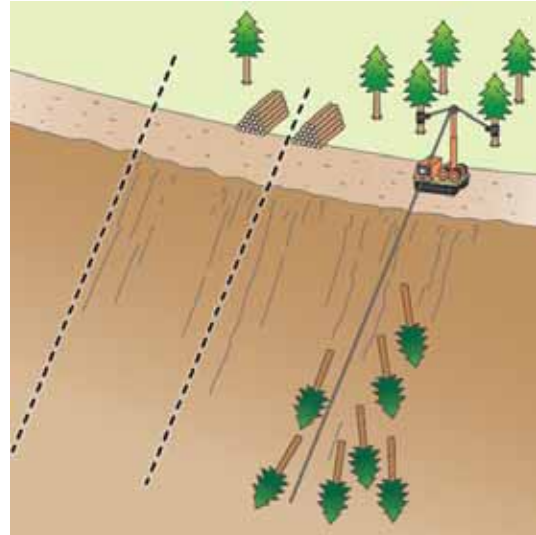
(ア) 架線の配置

等高線に沿って整備された路網からの集材に適しており、適用箇所が多く、架線の両側で同じ方法による横取り作業が可能のため、斜面方向に沿った架線の配置を基本とします。

しかし、地形傾斜が急になるほど、横取りの際に集材木が斜面の下方に転がり易くなるため、間伐の場合には、残存木の保護に細心の注意が必要です。

下げ荷では、傾斜が急なほど、架線の斜面直下のタワーヤードや作業員が、滑落する材や落石などの危険に晒されます。このような場合は、支柱を用いて主索を曲げる方法を検討します。

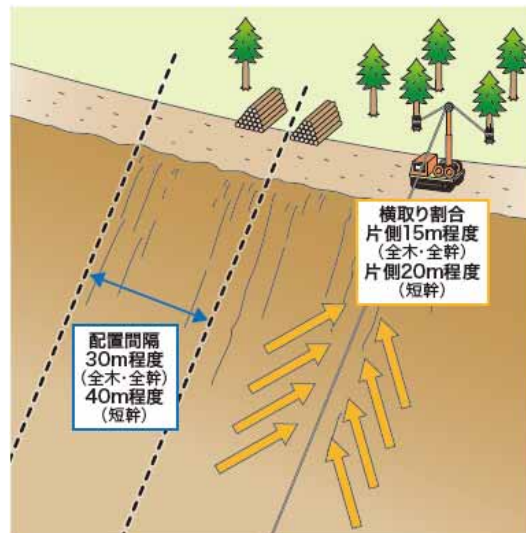
ただし、主索の内角が鋭角になり易いため、強固な立木やガイライン等の確保が必要です（主索を曲げる方法は、第4章4-6(3)アを参照）。



(イ) 配置間隔と横取り方向

急傾斜地で横取りする場合は、残存木への配慮が必要なことから、横取り角度を小さくし、斜面方向に沿うようにします。しかし、荷掛け者の負担が増加し、効率的な作業が難しくなることから、横取り距離を短くするため、配置間隔が狭くなります。

また、横取り距離が長くなるほど作業時間は長くなることから、全木・全幹では片側15m（架線間隔30m）程度、短幹では片側20m（架線間隔40m）程度を基準とし、伐倒後の材長も考慮して検討します。



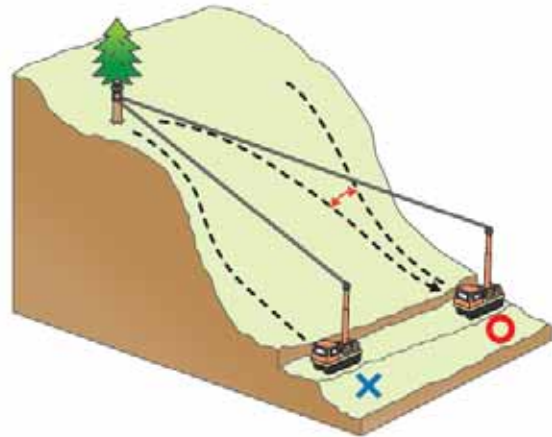
イ 斜面方向に斜めの配置

Point!

谷側の横取りが容易になるが、宙吊りによる集材等の主索下の残存木保護対策が必要

(ア) 架線の配置

35度を超えるような急傾斜地では、斜面方向に沿った架線の配置にすると、間伐での横取りで残存木の保護が難しくなります。そこで、斜面方向に斜めの配置にし、主索より谷側の横取り方向を斜面方向に沿うようにすることで、横取りでの残存木の保護を容易にすることが可能です。また、主索の勾配を緩やかにできるほか、下げ荷集材の場合には滑落物がタワーヤード等に直撃する危険性を低減することも可能です。

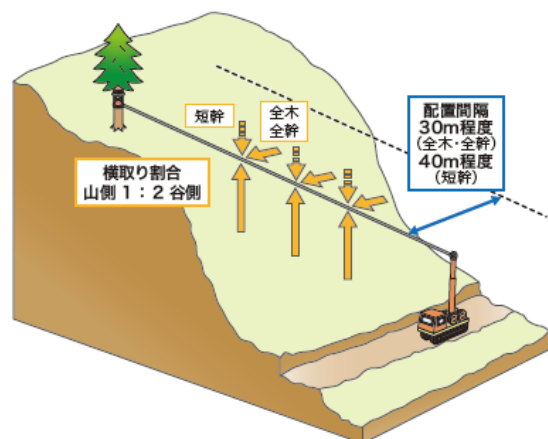


ただし、主索を斜面方向に斜めに張るため、地曳き集材の場合、主索下で集材木が斜面の下方に転がり易くなるため、間伐の際は犠牲木の設定や搬器の徐行運転等による残存木への配慮が必要となります。したがって、十分な架線高を確保した宙吊りでの集材が求められます。それが困難な場合は、十分な伐開幅の確保や先山造材による短幹集材等を検討します。

(イ) 配置間隔と横取り方向

主索より谷側は、斜面方向に沿うように横取りするため、効率的な作業が可能となります。山側の場合、安全性を考慮し、斜面横方向に伐倒して引き込むため、残存木の保護対策が必要になります。また、先山造材で短幹にしてから横取りする場合は、鳶口などを用いて人力で主索下まで引き寄せます。

斜面方向に斜めの配置では、山側の横取りは手間がかかるほか、材が滑落しやすく危険なため、山側と谷側の横取り距離の比率は1:2を目安とし、山側を短めに設定します。



ウ 放射状の配置

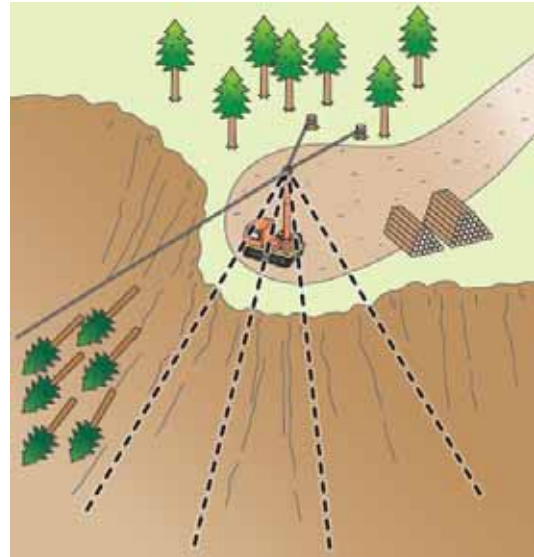
Point!

タワーヤードの設置場所が限定される場合や小規模皆伐等で効果的

(ア) 配置パターン

タワーヤードの設置場所が限定される場合は、タワーヤードを移動させることなく、ガイラインの角度を調整して張り替える放射状の配置にすることを検討します。この場合、先柱等を作設し直すことになるため、主索の方向に応じ、ガイラインを適切な方向に設置が可能か確認することが必要です。

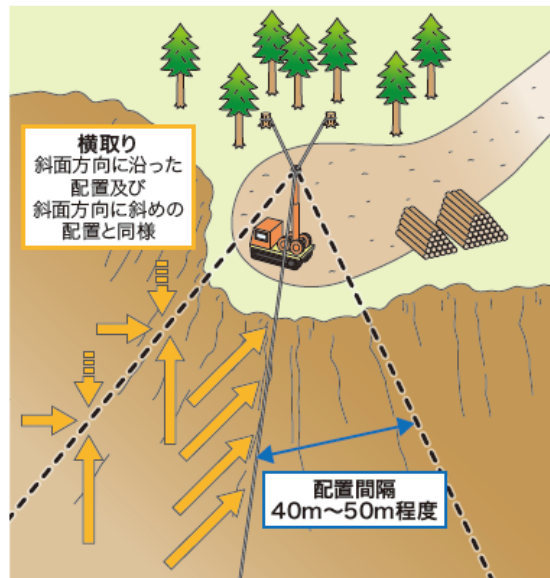
この配置は、残存木の保護に注意を払う必要のない小規模皆伐や斜面方向の影響を受けにくい平坦に近い場所にも適しています。



(イ) 配置間隔と横取り方向

主索と地形の状況によって、斜面方向に沿った配置と斜面方向に斜めの配置になると考えられることから、それぞれの配置パターンに応じた横取りを行います。

集材距離が長くなるほど配置間隔が広くなるため、集材の効率性を考慮し、先山の主索アンカーの間隔が、40～50m程度となるように配置します。



4-6 架線計画

(1) 架線計画の留意点

ア 立木・根株の選定

Point!

直径だけでなく、根張りの状況や経年変化等を考慮して選定

スギ・ヒノキの根株の直径による強度を参考に、支柱やアンカーとして利用する立木や根株はできるだけ大径木を選定します。大径木を選定できない場合は、添え木による補強や埋め込みアンカーの作設等を検討します。

また、根張りの状態によっては、大径木であっても張力がかかったときに倒れてしまうため、根張りが発達したものを選定します。一般的に支柱やアンカーに適しているのは、アカマツ等の深根性の樹種です。浅根性のヒノキは地際に根が張るため、十分に根張りの状況を確認する必要があります。また、山腹斜面の場合は、根張りが谷側に発達し、均等にならず、根こそぎ倒れてしまう危険性があるので、ガイドライン等による対応が必要です。

根株は、いずれ枯損・腐朽して強度が低下するため、伐採後の経過年数を考慮して選定します。一般的に、腐朽したもの、伐倒から2年以上が経過した根株は使用を避けます。

根株の直径 (cm)	根株強度の目安 (tf)
15	1.0
20	2.0
25	3.0
30	4.5
35	6.0
40	8.0

※スギ、ヒノキの生きた木の根株の直径から根株の強度を推定する目安
 ※根株強度 (tf) = 0.005 × 根株直径 (cm)²

イ ガイラインの設置

Point!

支柱にかかる張力の大きさと方向を想定しガイラインを設置

タワーや中間支柱、先柱等にかかる張力は、各所で屈折する主索や作業索の内角の大小により異なり、内角が小さいほど、大きい張力がかかります。

タワーのガイラインについては、タワーヤードの機種ごとに本数や構造が異なるため、機種ごとに規定された、主索とガイラインのなす角度の範囲内でガイラインを設置します（タワーのガイラインについては、第5章5-3（3）を参照）。

先柱等のガイラインについては、前方角と後方角の大きさやサドルブロック等に係る張力を考慮し適切な方向・角度で設置します（支柱のガイラインについては、第5章5-5（1）を参照）。

ウ 各種ロープの巻き込み量

（ア）リードロープの巻き込み量

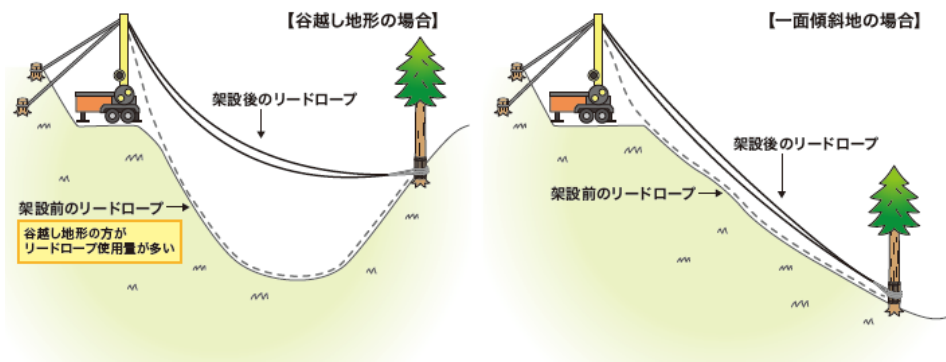
Point!

タワーから先柱まで歩く距離の2倍以上の巻き込み量が必要

使用するタワーヤードが、検討している集材距離に対応できるかを判断するためには、まず、リードロープの巻き込み量と引き回しで必要となる距離を比較して検討します。

リードロープは、架設時に地面を這う状態から張力を加えるため、引戻索を不要とする索張り方式を採用する場合、タワーから先柱まで歩く距離の2倍の長さが必要です。また、谷越し地形では、一面傾斜地に比べてより長い巻き込み量が必要となります。

下げ荷集材を行う場合等で、ブロックを介して作業索を使用する場合は、作業索を張り巡らせるために必要な距離を含んだ巻き込み量が必要になります。



(イ) 主索・作業索の巻き込み量

Point!

アンカーへの固定に必要な距離等を考慮し、巻き込み量に余裕が必要

主索の巻き込み量は、先柱ではなく主索を固定するアンカーまでの距離の長さが必要です。また、作業索の巻き込み量は、張り巡らせるためのブロックを介した距離の長さが必要です。

主索や作業索はいずれも、リードロープを介して引き回すため、張力を加えた場合のリードロープの垂下量も考慮した十分な長さを確保します。

エ 必要資器材の情報共有

Point!

必要資器材リスト等により、作業班全員で規格や使用量、使用場所を共有

作業システムの検討や配置計画・架線計画の作成に際しては、架設・撤収・集材作業に必要な資器材を選定します。使用するタワーヤードやプロセッサ等の重機、主索や作業索等の規格と使用量、各支柱で用いるガイドブロックやガイドライン等の器材、支柱の補強や盤台作設に必要な機械といった必要資器材を決定します。

資器材の種類や数、配置等のリストを作成し、作業班全員で共有することが、架線作業の中でも重労働とされる器材の運搬作業を効率的に行う上で重要です。

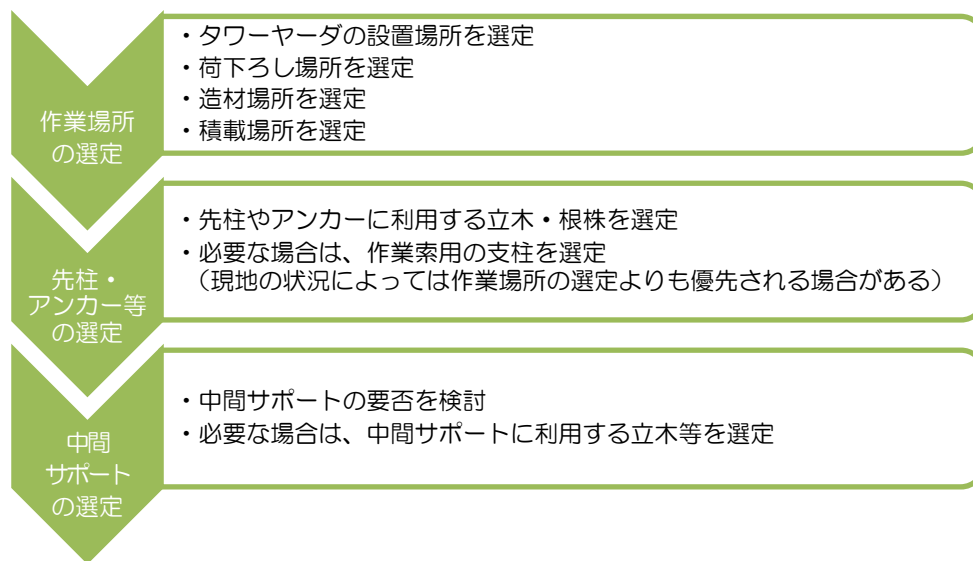
(2) 架線計画の手順

Point!

一本一本の架線配置が現場に適応できるか検討

配置計画で検討した一本一本の架線配置について、タワーヤードの設置や荷下ろし後の作業場所、先柱・アンカー等の選定、中間サポートの選定といった架線計画を検討します。

各架線における適切な設置場所や支柱等の確保の可否により、検討した配置計画が現場に適応できるか検討し、必要に応じて調整を行います。



(3) 作業場所の選定

Point!

荷下ろしから造材・積載までの作業場所は、タワーヤード設置場所に隣接させる

路網規格等の現場条件によっては、別々の場所に設定せざるを得ない場合もありますが、タワーの設置に加えて、集材木の荷下ろし、造材・仕分け、大型トラックへの積み込みを行う作業場所の位置は、可能な限り全てを隣接させることが、作業の効率を高める上で重要です。

架線計画では、タワーヤードのガイドラインアンカーとなる立木や根株の確保が困難な場合が多いため、初めにタワーヤードの設置場所を選定します。



複数の工程が隣接した作業場所

ア タワーヤード設置場所の選定

Point!

路網と架線の交差位置に設置し、必要に応じて架線配置の変更や元柱の作設を検討

タワーヤードは、路網と計画した架線が交差する場所で、適切な位置にガイラインを固定できる場所に設置します。配置計画により検討した、タワーヤードの設置予定の場所に立ち、設置場所の縦断・横断勾配等を確認し、タワーを水平に設置できるか確認します。そして、ガイラインの設置方向と固定位置を確認し、立木の有無等によりガイライン用アンカーを確保できる可能性を判断してから、具体的にガイライン用アンカーとなる立木等を選定します。

設置場所を検討する際は、下記のような項目を考慮します。

タワーヤード設置場所の検討項目

- ・ ガイラインを固定するための十分に強固なアンカーを確保できる
- ・ ガイラインと主索のなす垂直・水平方向の角度を適切に確保できる
- ・ 機体重量や、主索とガイラインの下方合力に耐え得る路体支持力を確保できる
- ・ アウトリガーを展開する広さと、それを支持する平らな接地面がある
- ・ 他の車両の通行が必要な場合は、通行の支障が出ない対策が可能である
- ・ 集材木や岩石等の滑落物に対する安全性を確保できる
- ・ 特に荷下ろし場所付近で、十分な架線高を確保できる
- ・ タワーヤードと荷下ろし場所が離れている場合は、双方の視認性を確保できる
- ・ 無線操作が可能な、電波の届く範囲内にある

上記に示すタワーヤード設置場所の検討項目を満たすことが困難な場合は、架線の配置を変更するか、もしくはタワーヤードを少し離れた位置に設置し、主索を大径のガイドブロックを介して1箇所当たり 150° 程度の内角で数箇所において屈折させることにより対応することを検討します。



イ 荷下ろし場所の選定

Point!

作業の効率化や滑落物への危険回避が可能な広い場所を選定

荷下ろし場所は、タワーヤードで引き寄せた集材木をスリング等から取り外す場所のことで、路網が架線と交差する位置、もしくは交差位置の道端に設定します。

荷下ろし場所を検討する際は、下記の項目を考慮します。

荷下ろし場所の検討項目

- ・ 荷下ろしした集材木を造材や移動するために旋回させ易い、十分な広さがある
- ・ 上げ荷集材では、滑落防止柵や横木の設置などにより、材の滑落防止や方向転換といった効率的な作業を行うための適切な措置を実施できる
- ・ 下げ荷集材では、可能な限りのり面直下を避けるが、やむを得ず、のり面直下とした場合は、のり面の上方の斜面に横木を添える等により、材や岩石等の滑落物による危険を回避できる



横木による材の方向転換（上げ荷）

のり面直下を避けた荷下ろし場所（下げ荷）

ウ 造材場所の選定

Point!

作業の効率化や滑落物への危険回避が可能な広い場所を選定

造材場所は、荷下ろしした集材木を造材機械で直接掴んで造材し、一時的に造材木を集積する場所なので、荷下ろし場所と隣接する路上に選定します。また、皆伐や放射状の架線配置では、一箇所に大量の集材木・造材木が発生するため、より広い場所が必要になります。なお、使用する運材車両の積載量や台数、搬出頻度により、造材場所に集積される材の集積量が異なることから、必要な広さが異なります。

造材場所を検討する際は、下記のような項目を考慮します。

造材場所の検討項目

- ・ 荷下ろし場所に隣接する
- ・ 造材木を一時的に集積できる場所を確保できる
- ・ 造材木や造材機械の重量に耐え得る十分な路体支持力を確保できる
- ・ 造材機械の旋回移動、造材木の仕分けやはい積、枝条の整理等の作業が安全で効率的に行える、広く水平な場所を確保できる
- ・ トラック等へ造材木を積み込むための十分な広さを確保できる
- ・ プロセッサ等の造材機械で、元口側から造材可能な位置関係を確保できる



荷下ろし場所に隣接する造材場所



十分な広さの仕分け場所

荷下ろし場所から離れた位置にしか造材場所を確保できない場合には、グラップル等による集材木の移動が必要になるため、作業効率が低下してしまいます。

このため、効率的に集材木を移動できる幅員及び曲線半径を有する路網を確保すると共に、複数のフォワーダ等を利用する場合は待避所を設けます。また、可能な限り近くにトラックへの積み替え場所を設置する等の対策を講じます。

エ 積載場所の選定

(ア) 造材場所での大型車両への積み込み

Point!

路網の整備や拡幅を検討し、造材場所で大型トラックへの積み込みを実施

林業専用道のような路網で作業を行う場合は、造材を経て集積された材を、その場で大型トラックに積載するため、積載場所は造材・仕分け場所に設定することを基本とします。可能な限り造材場所において、トラックの付属グラップルローダ等による直接大型トラックへの積み込みを行います。また、効率的な運材を行うためには、運材車両を後進で運転する距離を短くすることが重要です。

(イ) 小運搬車両への積載と大型トラックへの積み替え

Point!

市場等への運搬距離により積み替えと直送を検討

造材場所が大型トラックの進入が不可能な路網上にある場合は、大型トラックの進入が可能な土場までフォワーダ等の車両により小運搬してから積み込みを行う必要があります。小運搬する距離が長くなると造材場所に集材木が溜ってしまい集材作業が停滞するので、複数のフォワーダ等の車両を用いる等の対策が必要となります。また、運搬先が近ければ、そのまま小・中型トラックで直接運搬することも検討します。

路網拡幅について

タワーヤードでの集材作業を想定し、路網を整備する際には、尾根部や比較的傾斜がなだらかな箇所等で、所々路網の一部を拡幅することにより、タワーヤードの設置や造材・仕分け、積み込み場所としてだけでなく、運搬車両の方向転換やすれ違い、資材置き場などの様々な用途に用いることができる。



尾根部の路網を拡幅した方向転換地点



ふとん箆を用いて拡幅した路網

(4) 先柱・アンカーの選定

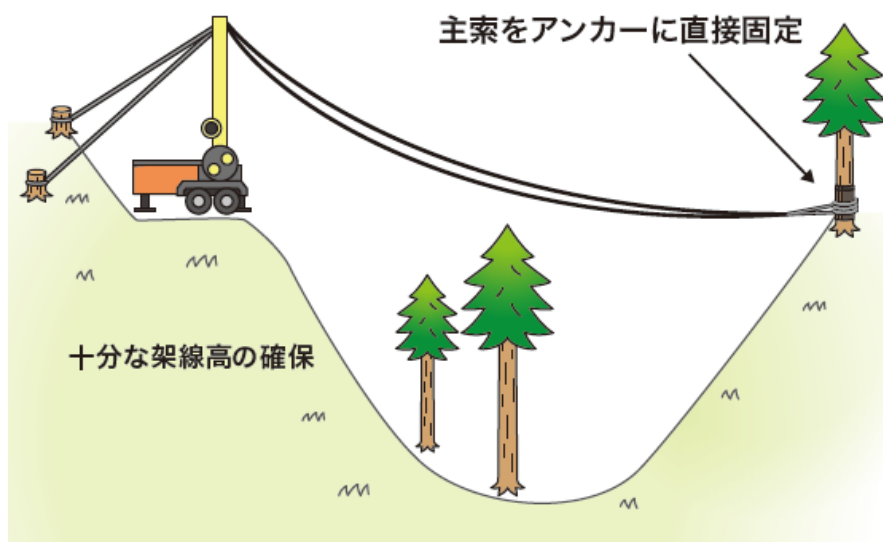
ア 先柱の要否

Point!

谷越しに架設して、主索をアンカーに直接固定することを検討

先柱は、架線高の確保を目的として、主索を立木の高い位置に吊るしたサドルブロックを介してからアンカーに固定するために作設するものです。

したがって、アンカーの近くで集材を行わず、十分な架線高を確保できれば、主索を直接アンカーに固定することで、先柱が不要になり、作設にかかる手間を省くことができます。



イ 先柱の選定

Point!

十分な強度を持つ立木を、アンカーやガイラインを固定する立木や根株と併せて選定

集材範囲での架線高が不足しており、先柱が必要な場合には、計画した架線上に十分な強度を持つ立木を選定します。また、先柱の周辺にアンカーやガイラインを固定できる適切な立木や根株が存在するかを確認します（先柱作設の詳細は、第5章 5-5(1)を参照）。

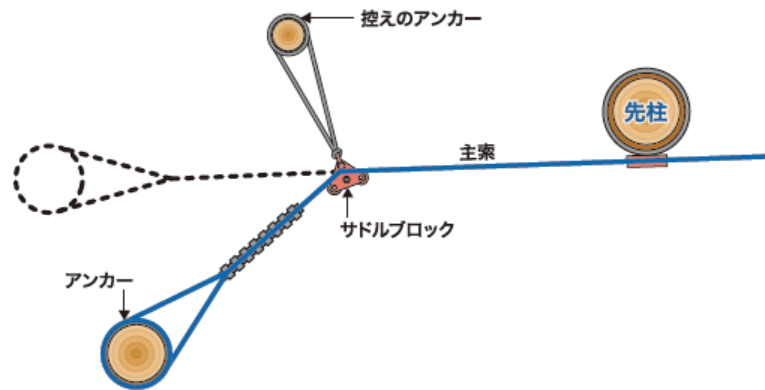
ウ アンカーの選定

Point!

主索を固定するアンカーは、主索の張力に対応できる立木等を主索の延長線上に選定

主索を固定するアンカーは、主索の延長線上に、主索の張力に対応できる大きさの立木等を選定します（立木・根株の選定については、第4章 4-6 (1) を参照）。また、先柱を作設する場合には、先柱における主索の内角が小さくならないように、先柱からの距離や作設の高さを考慮して選定します。

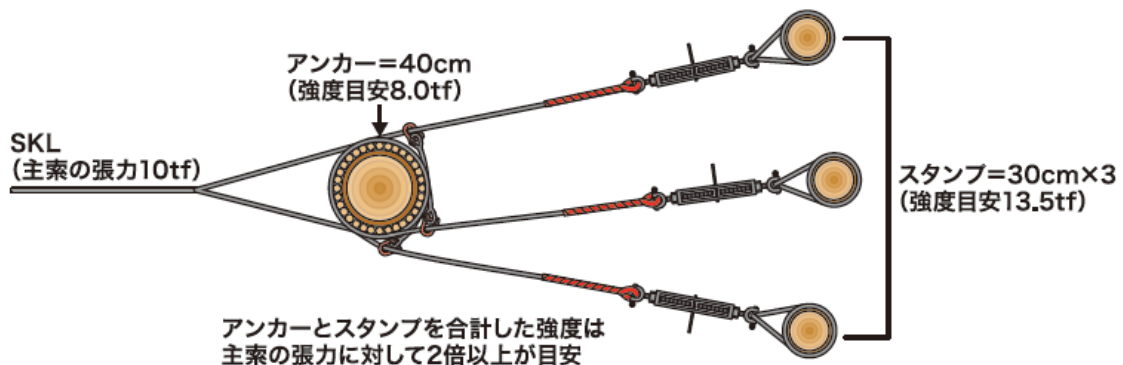
アンカーに利用できる立木等が主索の延長線上にない場合は、控えのアンカーを作り、サドルブロック等を使って調整します。この場合、控えのアンカーは十分な強度のあるものにします。適当な立木等が確保できない場合には、埋め込みアンカーや打ち込みアンカーなどの、人工アンカーの作設を検討します。



Point!

アンカーとスタンプ等の強度の合計が、主索の張力の2倍以上となることを目安に選定

主索の張力に対応できる立木等の選定が困難な場合は、添え木やアンカーラインで補強します。アンカーラインを固定するスタンプ等は、アンカーに用いる立木等との強度の合計が、主索の張力の2倍以上となることを目安に選定します。



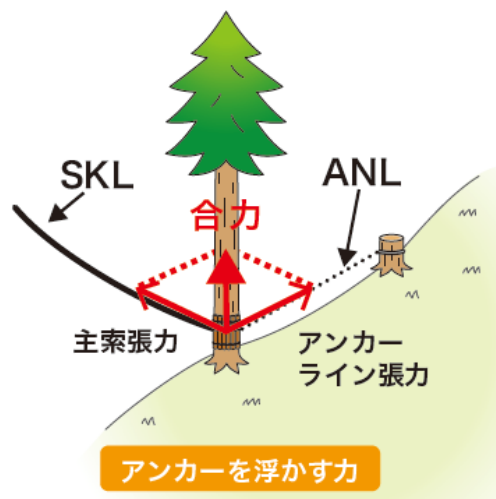
Point!

主索とアンカーラインにかかる合力やそれぞれの張力の方向に注意

主索アンカーを補強するためのアンカーは、主索の張力とアンカーラインの張力からなる合力等の方向に注意して設置します。

例えば、上げ荷集材や谷越し地形等で、斜面の立木等を主索アンカーとした場合、補強用のアンカーは主索アンカーよりも高い場所に固定することがあります。この場合、主索とアンカーラインの合力が上方に働くことにより主索アンカーを浮き上げようとする力が働きます。また、アンカーラインを主索アンカーとなる立木の上方に取り付けた場合、立木の上部と根元に逆方向の力が働き、主索アンカーとなる立木を倒そうとする力が働きます。

対策として、主索アンカーとなる立木を抑える方向に張力がかかるよう、添え木や補強用のアンカーを追加する方法があります。また、搬器の位置によっては、主索の角度が変わるので、集材範囲から搬器の走行範囲を考慮し、必要に応じて補強用のアンカーを追加します。



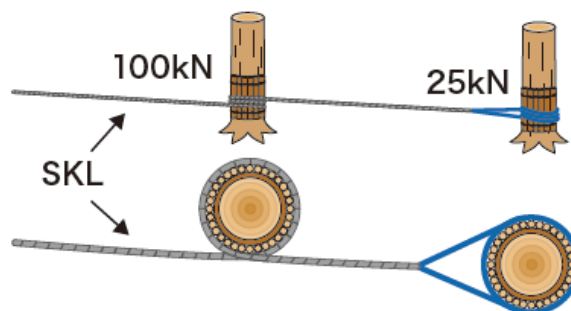
Point!

複数のアンカーで固定し、アンカーにかかる張力を低減

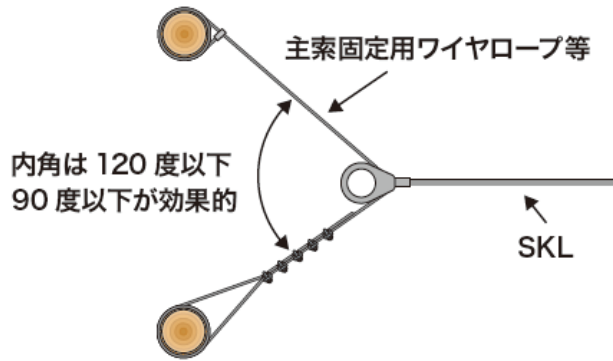
短時間で架設・撤収を繰り返すタワーヤードを用いる場合は、複数のアンカーで主索を固定する方法によりアンカーにかかる張力を低減させることができます。

主索延長線上に複数のアンカーを設置して張力を分散する場合は、主索を手前のアンカーから順番に巻きつけてから固定することで、2番目のアンカーにかかる張力は、最初のアンカーにかかる張力の1/4程度に抑えることができます。

この方法は、巻きつける位置が直線になる方向に主索を直接巻きつけて固定します。このほかに、ラウンドスリングを巻きつけてから、主索と連結して固定する方法もあります。なお、主索を張り上げる時に、ラウンドスリングがねじれないような対策を講じる必要があります。

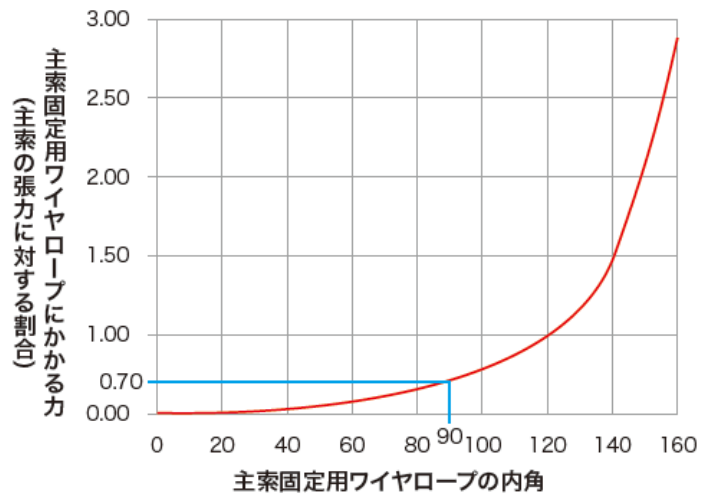


2箇所のアンカーを設置して張力を分散する場合は、アンカーを繋いだワイヤロープ等と主索を固定するガイドブロックがなす内角の大きさによってアンカーにかかる張力が異なります。また、この時に使用するガイドブロックは、主索の張力に耐え得る強度の高いものを使用します。



この内角が 90° の場合は 7 割程度に抑えることができ、内角が小さくなるほどアンカーに掛かる張力も小さくなり、最大 5 割まで低減することができます。なお、内角が 120° を超えると主索の張力よりも大きい張力がかかるので注意が必要です。このため、内角が 90° 以下になるような位置にアンカーを設置すると効果的です。

この方法は、アンカーにかかる張力を想定し、その張力に対応できるワイヤロープやガイドブロック等の資材が多く必要になるため、作業に手間がかかりますが、アンカーの位置や個数によって、主索の張力を分散することができるため、大きな立木が無い急傾斜の人工林で間伐を行う場合等に適していると考えられます。



Point!

主索等を固定するアンカーの揺れ等を確認し、不安を感じる場合は補強用のアンカー

補強用のアンカーは、主索アンカーだけでなくガイドライン用アンカーを補強する場合にも同じように用います。主索やガイドラインの張力とアンカーとして使用する立木の大きさから、補強用のアンカーを選定します。なお、先柱や主索及びガイドライン用のアンカーは、架設後の試運転だけでなく、集材作業中も揺れ等を確認することにより、危険と感じた場合は、補強用アンカーを追加する等の対策を講じることが重要です。

(5) 引戻索用支柱の選定

ア 搬器走行のための引戻索用支柱

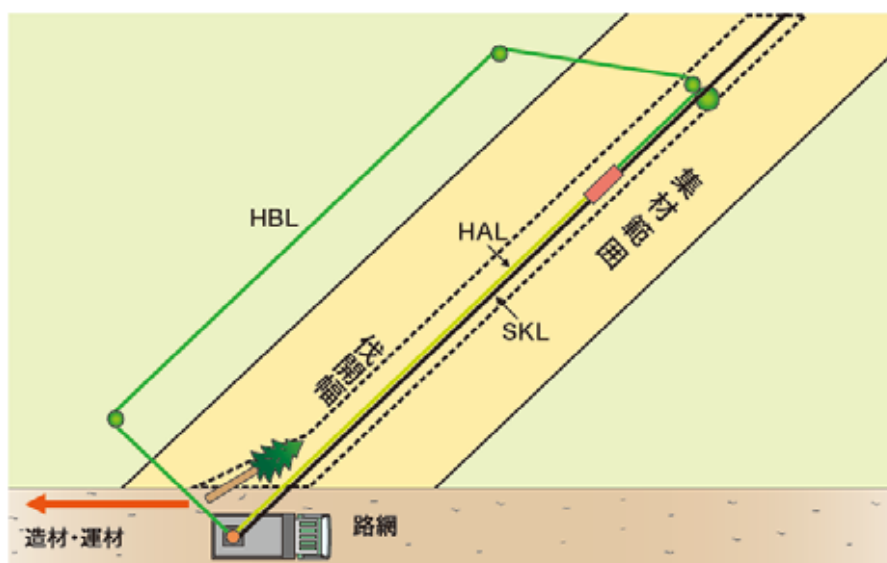
Point!

基本的に引戻索の支柱は、横取り範囲より外側に選定

索張り方式や集材方向によっては、搬器を先山側に走行させるため、引戻索を利用する場合があります。このため、引戻索を張るための支柱とそれらのガイラインを固定するための立木や根株が必要となります。

基本的に引戻索を張るための支柱は、架線に沿った横取り範囲より外側に選定します。また、タワーヤードと先柱の間は、主索と平行になるように引戻索を引き回すことから、先柱に引戻索を固定することも可能です。その場合は、主索と引戻索の両方の張力に耐え得る強度を持つ先柱が必要になります。そのような先柱が確保できない場合には、先柱に近接した位置に支柱を選定します。

なお、搬器の構造によっては、引戻索が搬器の中を通過して先柱で折り返すことができるものもあり、その場合は、引戻索用の立木等は不要です。



イ 横取りのための引戻索用支柱

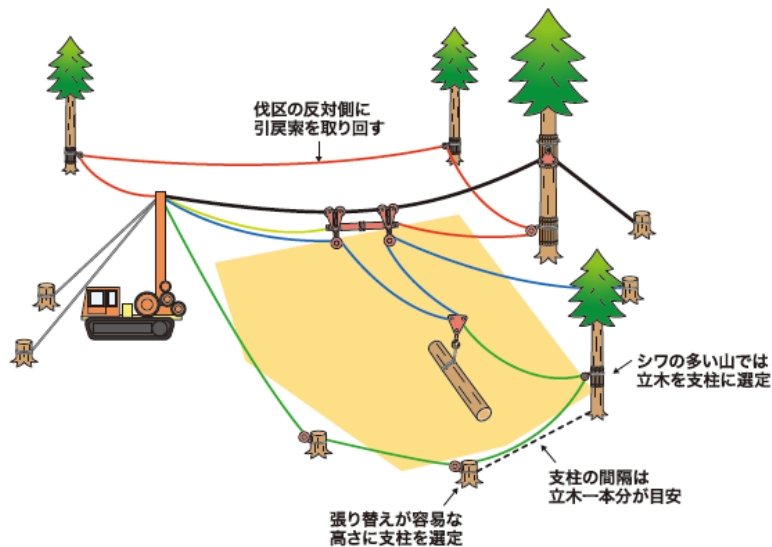
Point!

横取り区域の林縁部に、集材木の樹高を目安とした設置間隔で選定

5 胴式タワーヤーダの場合は、横取りのための引戻索の支柱が必要です。

横取り区域の林縁部に、集材木の樹高を目安とした設置間隔のもと、支柱を選定して、引戻索を張り巡らせます。

横取り作業は、引戻索を架け替えながら行うため、取り付け易い高さにガイドブロックを固定しますが、横取りする区域にシワが多く、横取りする材が引っかかるような地形の場合には、高い場所にブロックを取り付けられる支柱を選定します。



(6) 中間サポートの選定

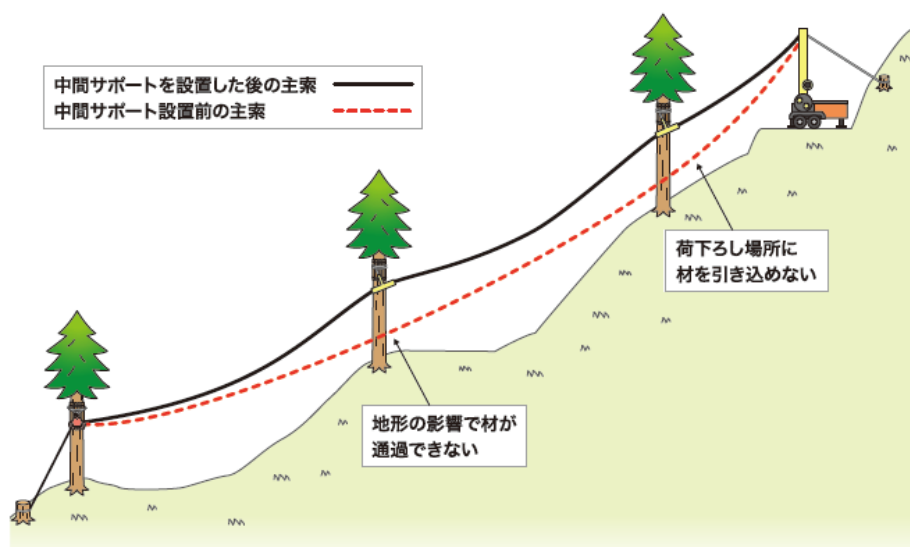
Point!

タワーヤードの性能を最大限に生かすためには、中間サポート設置の検討が必要

中間サポートの作設には手間がかかることから、生産性を高めるためには、可能な限り中間サポートを必要としない配置計画・架線計画の立案が求められます。

しかし、タワーヤードは、設置場所が林道端に制限されることやタワーの高さが10m程度であること等から、十分な架線高が確保できないことがあります。この場合、集材時の搬器の走行速度が制限されることや横取りの角度や距離が限定され、横取り場所から主索下に引き寄せる際の集材木の旋回が困難になるなど、効率的な集材作業を行うことができません。

搬器の走行速度が速く、牽引力が大きいといったタワーヤードが持つ本来の性能を発揮させるとともに、1線当たりの出材量を増加させるためにも、中間サポートの設置を検討する必要があります。



ア 要否の判断

Point!

先柱を用いても必要最低限の架線高が確保できなければ、中間サポートを作設

タワーヤードの設置場所と先柱等の位置を選定した段階で、地形図から作成した縦断面図などにより、その支間の地形の凹凸を読み取り、暫定的な垂下比を基に架線の線形を想定します。そして、荷吊り方法によって異なる必要な最低架線高やその架線高を確保するための必要支柱高を把握し、その必要支柱高での先柱の作設が不可能な場合には、中間サポートの設置が必要です。なお、中間サポートは、架線高が最も不足している場所に設置します。

ただし、中間サポートが3箇所以上必要と判断された場合は、やむを得ない場合を除き、架設・撤収に手間がかかり、全体的な生産性の著しい低下を招くため、架線配置の再検討を行う必要があります。

最低架線高の目安

吊り上げによる集材… 吊り荷材長+搬器 2m+予備 2m
 二点吊りによる集材… 吊り荷直径+搬器 2m+予備 2m
 地曳きによる集材 … 吊り荷直径+搬器 2m+予備 1m

必要支柱高の目安

平面地… 最低架線高+垂下量（負荷索時）
 凹面地… 最低架線高+垂下量（負荷索時）－ 凹高
 凸面地… 最低架線高+垂下量（負荷索時）+ 凸高
 ※凹高とは、凹面地において、タワーと先柱の設置位置を結ぶ直線から、
 凹面地で最も低い位置に引いた垂下線の長さ（地形のへこみの深さ）
 ※凸高とは、凸面地において、凸面地で最も高い位置から、
 タワーと先柱の設置位置を結ぶ直線に引いた垂下線の長さ（地形の膨らみの高さ）

イ 支柱と種類の選定

Point!

縦断面図上で推定した場所で、必要とする高さの立木を選定し、作設方式を決定

中間サポートの設置が必要な場合は、支間の縦断面図から架線高が最も不足している地点を中心に設置場所を選定し、その位置での必要支柱高が確保できるように中間支持器を設置します。そして、設置場所付近の立木の直径や樹高、主索までの距離を考慮し、使用する立木を選定すると共に、中間サポートの種類を選択します。中間サポートは、代表的なものとして、L型、M型、N型（ガルゲン）、I型の4種類があり、地形等の諸条件に応じたそれぞれの特徴を考え、架線上に設置します（中間サポートの詳細は、第5章 5-5(2)を参照）。

4-7 集材架線設計計算

(1) 設計計算の必要性

Point!

索張り方式により安全係数が異なる

タワーヤーダなどの架線集材機械を用いて、主索型の索張り方式により、宙吊りや地曳きによる集材を行う場合は、機械集材装置に区分されます。また、非主索型の索張り方式により、地曳きによる集材を行う場合は、簡易架線集材装置に区分されます（用語の定義については、参考資料2を参照）。



機械集材装置（主索型の索張り方式）



簡易架線集材装置（非主索型の索張り方式）

これらの作業の安全を確保するため、ワイヤロープは、安衛則第151条の130及び156で規定された安全係数（以下、「規定値」という。）以上の強度を持つものを使用しなければなりません。なお、簡易架線集材装置における規定値は、非主索型の索張り方式で原木等の一部が地面に接した状態で運搬するために用いられるものであることを考慮し、全て4.0とされています。

ワイヤロープの用途	安衛則で規定された安全係数（規定値）	
	機械集材装置	簡易架線集材装置
主索	2.7	—
作業索（荷上索を除く）	4.0	4.0
荷上索	6.0	4.0
ガイライン	4.0	4.0
台付けロープ	4.0	4.0
スリング	6.0	4.0

Point!

設計計算により安全係数を求めて規定値と比較

実際に使用するワイヤロープが規定値を満たすか判断するには、使用するワイヤロープの破断荷重の値と、設計計算により推定した最大張力の値から安全係数を求め、その安全係数と規定値と比較します。

$$\text{安全係数} = \frac{\text{ワイヤロープの破断荷重}}{\text{設計計算で求めたワイヤロープにかかる最大張力}}$$

また、設計計算により、使用するワイヤロープの種類や最大使用荷重、原索中央垂下比が決定されるため、作業計画を立案するためには、労働基準監督署長への届出の有無とは無関係に設計計算を行う必要があります。

Point!

設計計算で求められた張力で主索を張り上げて、安全係数を確保

主索の張り上げ作業において、計器類やモニター等でドラムの張力を確認し、設計計算で求められた主索の最大張力になるよう調整することで、使用するワイヤロープが安全係数を満たした状態になることから、安全な作業を行うことができます。



主索ドラムの圧力計等



タワーヤードに搭載されているモニター

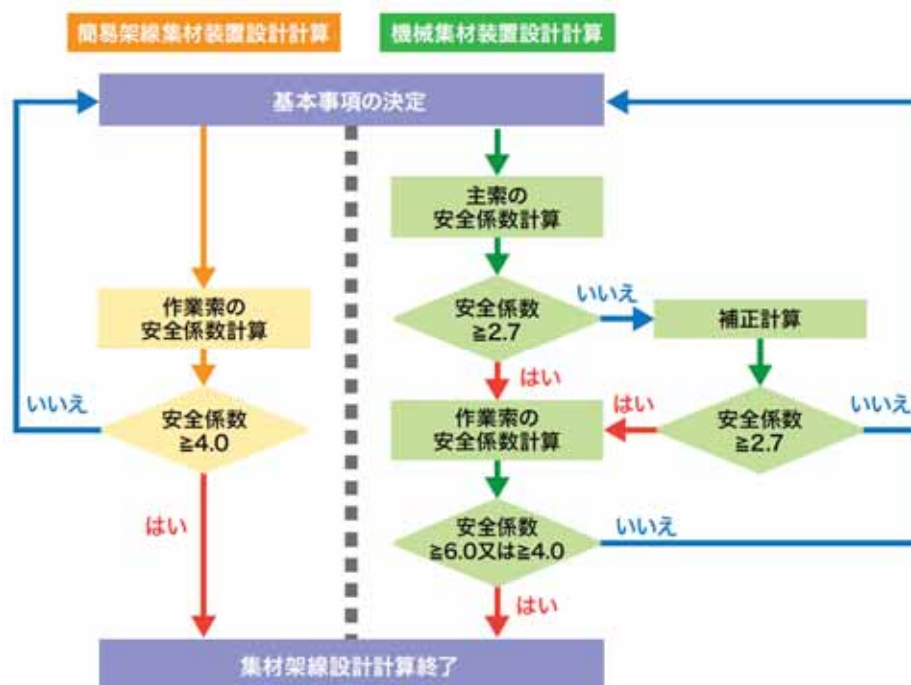
(2) 設計計算の手順

Point!

基本事項を決定してから、索張り方式に応じて設計計算を実施

最初に地形条件等の基本事項を決定してから、索張り方式に応じて設計計算を行います。機械集材装置の場合、主索・作業索の順に安全係数を計算します。また、主索の安全係数については、弾性伸長等の補正計算を行います。なお、中間サポートを用いる場合は、各支間で主索及び作業索の安全係数を求めます。

簡易架線集材装置の場合、使用する作業索の用途に応じて安全係数を計算します。



Point!

安全係数が低い場合は、原索中央垂下比や積荷重量を変更

設計計算で求めた安全係数と規定値を比較して、使用する全てのワイヤロープが規定値よりも上回る種類のものを使用しなければいけません。

タワーヤード等では、架設・撤収を繰り返しながら作業を行うため、安全係数が規定値よりも下回る場合は、例えば、架設の状況に応じて原索中央垂下比や積荷重量を調整したりします。

(3) 機械集材装置での設計計算

ア 基本事項の設定

基本事項とは、機械集材装置の設計計算を行うために必要な条件のことで、架線計画で検討したタワーヤードの設置場所や地形条件から中央垂下比や使用ワイヤロープの規格等を設定します。

基本事項とは

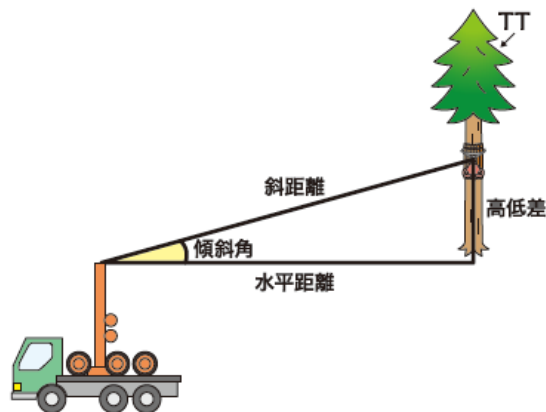
- ・地形条件
- ・原索中央垂下比
- ・使用するワイヤロープ
- ・設計荷重
- ・最大巻上揚程
- ・補正計算に必要な項目

(ア) 地形条件

Point!

傾斜角と水平距離、高低差と水平距離、傾斜角と斜距離のいずれかを把握

測量結果や支柱等の位置を記入した地形図を基に、支間の斜距離や水平距離、傾斜角及び支柱の高低差を求めます。なお、傾斜角と水平距離、高低差と水平距離、傾斜角と斜距離のいずれかを把握すれば、その他の値は計算で求めることができます。



地形図で把握できる高低差と水平距離から傾斜角と斜距離を算出

【計算式】 傾斜角 = \arctan (高低差/水平距離)、斜距離 = $\sqrt{(\text{高低差}^2 + \text{水平距離}^2)}$

【計算例】 高低差15m 水平距離200mの場合

傾斜角 = \arctan (15/200) = 4.2892 ≒ 4度

斜距離 = $\sqrt{(15^2 + 200^2)} = 200.56 ≒ 201\text{m}$

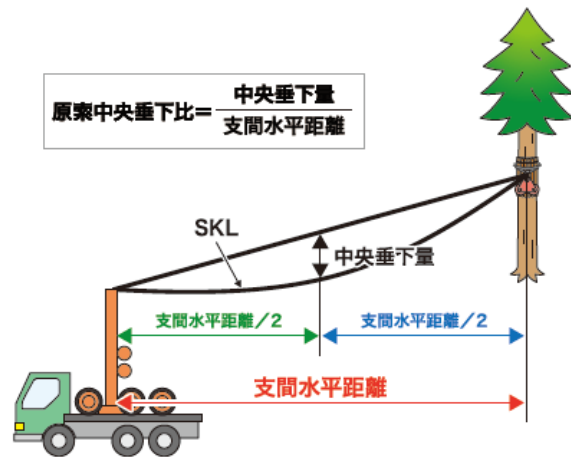
(イ) 原索中央垂下比

Point!

主索を用いた索張り方式の場合、適切な原索中央垂下比（0.02～0.06）を設定

機械集材装置の場合、主として主索を用いた索張り方式での作業が行われます。

主索は、張り上げるとその自重でたわみ、曲線を描きます。主索のたわみ量は、強く張ると小さくなり、弱く張ると大きくなります。荷重による負荷のかかっていない主索（無負荷索）の支間中央のたわみ量（中央垂下量）と支間の水平距離との比率を「原索中央垂下比」と呼び、索の緊張度を示す基本の数値としています。



架線集材では、原索中央垂下比は0.02～0.06（0.03～0.05が望ましい）を用いることが多く、現場に応じた適切な値を選定することが重要です。

垂下比が小さいほど、強い力で張り上げることになるので、吊り上げることができる積荷重量が少なくなりますが、架線が高く張り上がり、索のたわみ量が少なくなることから搬器の走行抵抗が低くなるので、集材作業が効率的に行うことができます。逆に垂下比が大きいと、積荷重量は多くなりますが、索のたわみ量が多くなるため、架線高が低くなります。また、搬器の走行抵抗も高くなるので集材作業が非効率になることが考えられます。

垂下比	積荷重量	架線高	搬器抵抗
小さい	少ない	高い	低い
大きい	多い	低い	高い

(ウ) 使用するワイヤロープの規格

Point!

使用するワイヤロープの破断荷重や単位質量等の規格を確認

作業計画で選定した索張り方式に応じて、使用するワイヤロープの種類や直径を決定し、破断荷重や単位質量を確認します。また、これらの規格は、カタログやワイヤロープの購入時に付属している試験成績表等から確認することができます。

IWRC6×P・WS (26)				
ロープ径 mm	断面積 mm ²	破断荷重 kN		概算単位質量 kg/m
		普通より・ラングより		
		裸・めっき	裸	
		B種	T種	
10	53.2	76.3	82.7	0.453
12	76.6	110	119	0.652
14	104	150	162	0.887
16	136	195	212	1.16
18	172	247	268	1.47
20	213	305	331	1.81
22	257	369	400	2.19
24	306	439	476	2.61
26	359	516	559	3.06

※東京製網総合カタログより

IWRC6×P・WS (31)、IWRC6×P・WS (36)					
ロープ径 mm	断面積 mm ²	破断荷重 kN		概算単位質量 kg/m	備考
		普通より・ラングより			
		裸・めっき	裸		
		B種	T種		
10	53.5	77.4	83.8	0.465	IWRC6×P・WS (31) のみ
12	77.0	111	121	0.669	
14	105	152	164	0.911	
16	137	198	215	1.19	
18	173	251	271	1.51	
20	214	309	335	1.86	
22	259	374	406	2.25	
24	308	446	483	2.68	
26	362	523	566	3.14	

※東京製網総合カタログより

(工) 設計荷重

設計荷重は、搬器を介して主索にかかる荷重のことで、使用する作業索重量、空搬器重量及び積荷重量の合計です。また、作成された作業計画によって、それぞれの重量が異なりますので注意します。

$$\text{設計荷重} = \text{作業索重量} + \text{空搬器重量} + \text{積荷重量}$$

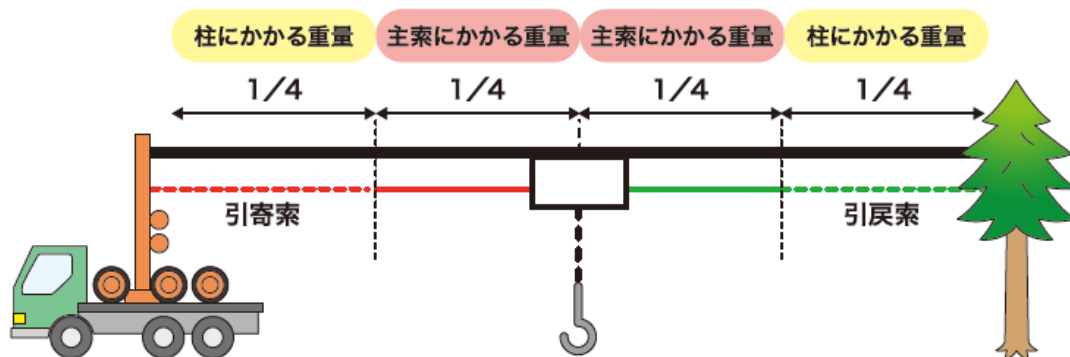
(索張り方式や支間斜距離で異なる) (搬器やスリングの個数などで異なる) (立木の大きさや伐出方式により異なる)

【作業索重量】**Point!**

索張り方式により、主索にかかる作業索の重量は異なる

索張り方式に応じた主索にかかる作業索重量は、各索の単位重量（ $9.8 \times$ 単位質量）に、張り上げたときに主索に重量がかかる支間長内の見込み量（割合）を乗じて求めます。

巻上索内蔵型搬器を用いた場合、搬器が支間の中央にあるとき、引寄索や引戻索のように支間の片側に張られている索は斜距離の1/4を乗じます。

**主索にかかる作業索の見込み量（巻上索内蔵型搬器の場合）**

【計算式】 各作業索の重量 = 斜距離 \times 見込み量 \times 単位重量
 作業索重量 = 各作業索の重量の合計

【計算例】 斜距離 200mの場合
 引寄索重量 = $200\text{m} \times 0.25 \times$ 単位重量
 引戻索重量 = $200\text{m} \times 0.25 \times$ 単位重量
 作業索重量 = 引寄索重量 + 引戻索重量

【空搬器重量】

Point!

使用する搬器やスリング、内蔵型巻上索により、空搬器の重量は異なる

空搬器重量は、作業計画で選定した索張り方式に合わせて、使用する搬器のほか、搬器に内蔵されている巻上索、燃料、油脂類、スリングなどの重量を合計して求めます。

また、搬器の重量は、カタログ等から求めることができますが、仕様により異なることがあります。

【搬器《例》】

区分	重量 (kg)	備考
欧州の自走式搬器	1170	巻上能力3000kg (巻上索80m、12mm)
日本の自走式搬器	535	巻上能力1500kg (巻上索75m、10mm)
巻上索内蔵型搬器	850	巻上能力4000kg (巻上索100m、12mm)
自動繫留搬器	410	巻上能力3000kg (蓄積油圧式)
自動繫留搬器	690	巻上能力3000kg (機械油圧式)

※巻上索が内蔵されている場合は、そのワイヤロープの重量も追加

【スリング《例》】

区分	重量 (kg)	備考
ワイヤロープ	1,494	6×24 10mm 3m (細工前4.5m)
ラジコン式自動荷外しフック	1.6	1個

【積荷重量】

Point!

材積から積荷となる材の重量を推定

積荷重量は、立木の大きさや樹種、伐出方式（全幹、全木、短幹）により異なります。集材架線設計計算では、その架線で利用される最大の重量とします。

積荷となる材の重量は、搬出対象となる立木の材積に比重を乗じたものになりますが、現場で簡単に重量を想定する場合は立木の比重を1として考え、全幹の場合は幹材積の値を、全木の場合は、重量に枝葉を含むため、幹材積を1.3倍した値を、短幹の場合は、末口自乗法で求めた材積を目安として、積荷重量を推定し荷掛けの本数を検討します。

(オ) 補正計算に必要な項目

Point!

補正計算により、実際の状況に近い安全係数を求めることができる

作業中に搬器や積荷に衝撃が加わること（衝撃係数）のほかに、荷重をかけた場合にワイヤロープが伸びること（弾性伸長）や主索に負荷をかけた場合に支柱が若干内側に移動（支点変位）することで、主に主索の張力を減少させる現象が発生し、主索のたわみ量が変わります。

このため、これらの要因についての補正計算を行い、主索のたわみ量を求め、このときにかかる最大張力（補正最大張力）から安全係数を求めることで、現実に近い状態の安全係数を求めることができます。補正計算に用いる係数等の項目は、現地の状況に応じて設定します。

【衝撃係数】**Point!**

材を吊り上げて搬器を走行させる等の作業で発生する衝撃の補正

衝撃係数は、材を吊り上げて搬器を走行させる等の作業で発生する衝撃を、設計荷重の重量増加に換算して計算するものです。補正計算を行う場合は、設計荷重のうち、空搬器重量と積荷重量の合計に衝撃係数を掛けます。その係数は、通常0.2～0.3の値を使用します。

なお、補正計算を行わない場合は、主索の張力を減少させる現象についての補正を行わないため、より安全な側に計算することになるので、衝撃係数を0として計算しても構いません。

$$\text{設計荷重} = \left[\begin{array}{c} \text{空搬器重量} \\ + \\ \text{積荷重量} \end{array} \right] \times \frac{\text{衝撃係数}}{(1+0.2\sim 0.3)} + \text{作業索重量}$$

【弾性伸長】

Point!

ワイヤロープに張力を加えた場合の伸びを補正

弾性伸長とは、ワイヤロープに張力を加えた際に、ワイヤロープが伸びて垂下量が大きくなることです。負荷時のワイヤロープの弾性伸長率から、補正係数を求めて補正します。

最初に、使用するワイヤロープの弾性係数及び断面積から、張力差1kN当たりの弾性伸長率を求めます。

そして、負荷時と無負荷時の最大張力差に張力差1kN当たりの弾性伸長率を乗じて負荷時のワイヤロープ弾性伸長率を求め、傾斜角、原索中央垂下比から弾性伸長補正係数を算出して補正します。

【支点変位】

Point!

負荷時にサドルブロックの位置が支間の内側に移動する量を補正

支点変位とは、負荷時にサドルブロックの位置が支間の内側に移動することにより、垂下量が大きくなることです。支点変位率から補正係数を求めて補正します。

負荷時にサドルブロックの位置が支間の内側に移動する量（支点変位量）と斜距離から支点変位率を求め、原索中央垂下比等から補正係数を算出して補正しますが、実際には、支点変位量の測定は困難なため、支点の状況により0（主索を直接固定）～0.0005の支点変位率を定めて補正します。

（カ）最大巻上揚程

Point!

横取り距離を含んだ主索から地表までの最大距離を求める

荷上索や巻上索の安全係数を推定するために、横取り距離を含んだ主索から地表までの最大距離（最大巻上揚程）を求め、主索付近まで材を引き寄せるために必要なワイヤロープの重量を把握します。これは、森林基本図等から地形を読み取って推定します。

イ 設計計算の考え方

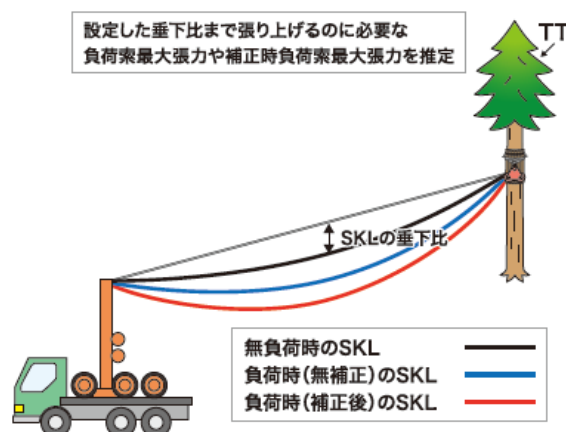
(ア) 主索の安全係数計算

Point!

設定した垂下量まで張り上げるための最大張力を求め、安全係数を算出

タワーヤードで主索を張り上げると、主索は、その重量と設計荷重を含めた全荷重によりたわみ、曲線を描きます。

このときに、主索の垂下量（たわむ量）を設定し、最大張力（負荷索最大張力）を設計計算で求めることにより、主索の安全係数を算出することができます。



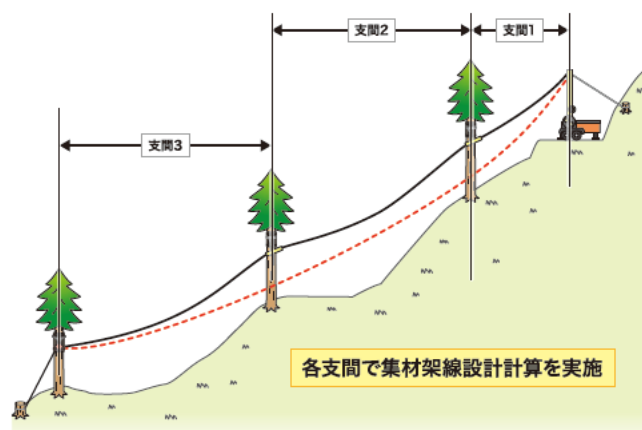
(イ) 中間サポートを用いた場合の安全係数計算

Point!

中間サポートを作設する場合は、各支間で計算を実施

中間サポートを用いた場合、主索にかかる張力は、支間で分割され、各支間中間点で大きくなります。また、搬器が中間サポートを通過する瞬間は、搬器と積荷の荷重をサポートが支えます。

これらのことから、各支間でそれぞれ設計計算を実施し、主索及び作業索の安全係数を求めて、規定値を上回るかを確認します。



(ウ) 作業索の安全係数計算
【引寄索や引戻索の安全係数】

Point!

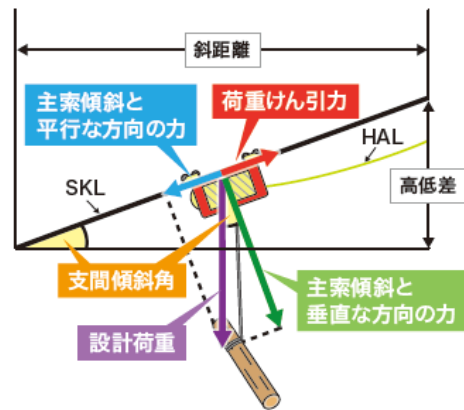
作業索の安全係数は、荷重牽引力から求める

索張り方式に応じた各作業索の張力を計算し、安全係数を求めるためには、最初に搬器を主索上において走行と停止させるために必要な、主索傾斜と平行な方向の力に釣り合う力である荷重牽引力を求めます。搬器を移動させるための作業索については、荷重牽引力から安全係数を求め、規定値を満たすかを確認します。

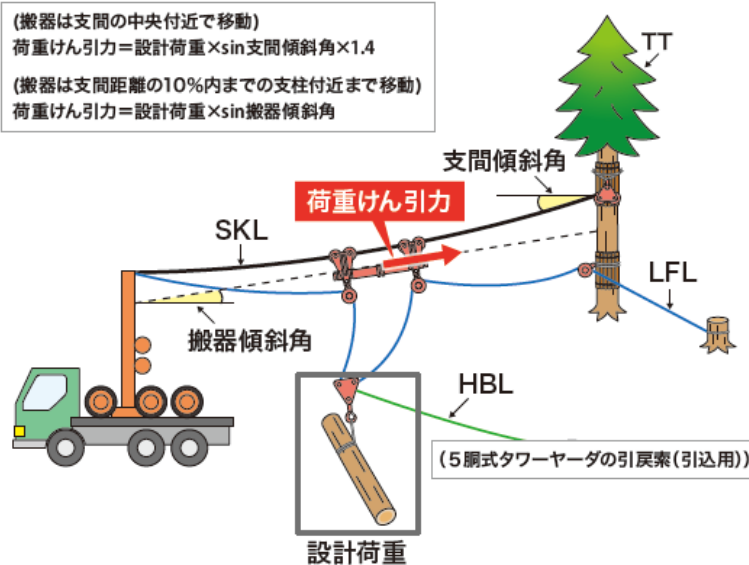
荷重牽引力は、搬器や積荷重量といった重量（設計荷重）を主索傾斜と平行な方向の力（搬器等を引き下ろそうとする働き）と主索傾斜に垂直な方向の力（搬器を押しつける働き）に分解して求めます。これを求めるためには、支間傾斜角を用いた簡易な計算方法がありますが、搬器の傾斜角は搬器の位置により異なるので、搬器が上部支柱の支間長 10%以内に接近する場合は、支間傾斜角より搬器の傾斜角が大きくなることから、別途計算が必要となります。

また、5胴式タワーヤーダのように機械型の横取りを行う場合は、引戻索（引込用）が搬器の傾斜方向とは異なる方向に引っ張られます。このため、引き込まれる角度による張力増加量を1.4倍程度と見なして張力を求めます。

荷重けん引力=主索傾斜と平行な方向の力
設計荷重×sin支間傾斜角×1.4+設計荷重×高低差/斜距離×1.4



(搬器は支間の中央付近で移動)
荷重けん引力=設計荷重×sin支間傾斜角×1.4
(搬器は支間距離の10%以内までの支柱付近まで移動)
荷重けん引力=設計荷重×sin搬器傾斜角



【荷上索や巻上索の安全係数】

Point!

スリングや積荷の重量とワイヤロープの重量を引き上げる力が最大張力

タワーヤードによる集材作業では、スリングや積荷の重量と、主索から地表までの最大距離（最大巻上揚程）のワイヤロープの重量を引き上げる力が、荷上索や巻上索にかかる最大張力となります。

また、5胴式タワーヤードで、2本のワイヤロープを使って引き上げる場合の荷上索の張力は、ロージングブロックが動滑車となるので、通常の半分の張力となります。

荷上索や巻上索は、この最大張力から安全係数を求め、規定値を満たすかを確認します。



(4) 簡易架線集材装置での設計計算

ア 基本事項の設定

Point!

ワイヤロープの用途に応じた荷重の最大値を求める

簡易架線集材装置の設計計算を行うために必要な基本事項は、使用するワイヤロープの種類とワイヤロープの用途に応じた荷重の最大値で、ワイヤロープにかかる荷重の実測値を用いても差し支えありません。

(ア) 引寄索

集材する原木等の最大重量、搬器の重量、支間斜距離間の引寄索の重量及びバックテンションを合計した値を用います。バックテンションとは、簡易架線集材装置の索張り方式で、作業索を張り上げた際に、引戻索と搬器との結合部に発生する力で、集材する方向とは反対方向にかかる力のことです。バックテンションの把握が難しい場合は、集材する原木等の最大重量の0.5倍の値を用いることとします。

$$\text{設計荷重}_{\text{(引寄索)}} = \frac{\text{支間斜距離間}}{\text{引寄索重量}} + \text{空搬器重量} + \text{積荷重量} + \text{バックテンション}$$

(イ) 引戻索

集材する原木等の最大重量、搬器の重量及び支間斜距離の引戻索の重量を合計した値を用います。ただし、下げ荷集材で、障害物を避けるために、一時的に集材する方向とは反対方向へ短距離移動させる場合には、集材する原木等の最大重量の2倍の値、搬器の重量及び支間斜距離間の引戻索の重量を合計した値を用います。

$$\text{設計荷重}_{\text{(引戻索)}} = \frac{\text{支間斜距離間}}{\text{引戻索重量}} + \text{空搬器重量} + \text{積荷重量(下げ荷の場合は2倍)}$$

(ウ) スリング

1本のスリングで荷掛けする場合は、集材する原木等の最大重量の値を用います。

$$\text{設計荷重}_{\text{(スリング)}} = \text{積荷重量}$$

イ 設計計算の考え方

Point!

使用するワイヤロープの破断荷重をワイヤロープの用途に応じた荷重の最大値で除する

簡易架線集材装置は、集材木を吊り上げると、機械が転倒するおそれがあり、非常に危険なので、非主索型の索張り方式で原木等の一部が地面に接した状態で運搬するために用いられます。このため、集材木の大きさや斜面傾斜角の違い等を考慮しながら、張力を調整して、地曳きによる集材作業を行うことになります。

このことから、簡易架線集材装置の設計計算では、原索中央垂下比を用いず、使用するワイヤロープの破断荷重とワイヤロープの用途に応じた荷重の最大値から、安全係数を求めます。

$$\text{安全係数} = \frac{\text{ワイヤロープの破断荷重}}{\text{ワイヤロープの用途に応じた荷重の最大値}}$$

(5) 計算方法

Point!

パソコンを用いて簡単に設計計算を実施

張り替えに応じて計算をする必要があることや設計計算には決められた様式が無いこと等から、パソコンに基本事項を入力するだけで主索及び作業索の安全係数を計算できるようにすると容易に設計計算を行うことができます。こうすることで、地形が変わった場合や垂下比及び設計荷重等の条件を変えた場合の計算結果を容易に比較できるようになりますので、タワーヤードによる作業計画・架線計画の作成を効率的に行うことができます。