

## 複エンドレス式集材架線の静力学的問題

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者	堀, 高夫 加藤, 元之
巻/号	60巻3号
掲載ページ	p. 108-112
発行年月	1978年3月

## 短 報

## 複エンドレス式集材架線の静力学的問題\*

堀 高夫\*\*・加藤元之\*\*\*

## I はじめに

ここで問題とした複エンドレス式集材架線(以下 DE 式架線と略称)は、図-1 に示すように、軌索、荷上げ用ドラムを内蔵した特殊搬器(アベックキャリア)、搬器走行用のエンドレス索(以下 RE 索と略称)、搬器内蔵の荷上げドラム駆動用エンドレス索(以下 LE 索と略称)等より成るものである。この架線による集材は通常、アベックキャリア・エンドレス集材と呼ばれ、とくに民間に普及しており、また最近一部国有林においても、間伐・択伐における集材用として注目されつつある。

この架線の原型は約 20 年前に開発され、林試式またはダブル・エンドレス式として知られており、その力学的問題に触れた報告もいくつかある(3, 4)。しかしこの問題については、定索長形式のエンドレス索の複雑な面を考慮した検討はなされていない。

筆者らは、静力学的理論計算値に基づいて、この架線の力学的特性を明らかにすることを試みたが、この報告では、この架線に固有の問題として、RE 索・LE 索の張力に関する問題について、おもに述べる。

## II 計算の概要

図-1 は DE 式架線を模式化して示したものであるが、以下において使う諸記号は、この図に示されている。この架線の搬器において、荷上げドラムは、LE 索を巻き掛けた駆動シープと一定の速比で連動するが、ここでは、荷を上げ下げする際の荷上げ索の速度  $v$  と LE 索の速度  $v_{LE}$  との比 ( $1: I_G$ ) を減速比と呼ぶ。なお、簡単のため、左右の支点 A, B および搬器位置の点 C は、軌索・RE 索・LE 索の 3 者について共通であるとする。

計算のプログラムは、支間条件 ( $l, \alpha$ ) および RE 索・LE 索の張回し区間の状況、軌索・RE 索・LE 索の単位長索自重 ( $p, p_R, p_L$ )、同原索垂下比 ( $s, s_R, s_L$ )、負荷条件 ( $k$ : 荷重位置係数,  $P=P_C+P_L$ : 搬器荷重,  $P_C$ : 空搬器の重量,  $P_L$ : 吊荷の重量)、減速比 ( $1: I_G$ )、

軌索・RE 索・LE 索の単位張力当り弾性伸長率 ( $\lambda, \lambda_R, \lambda_L$ ) などを与え、静力学的条件および軌索・RE 索・LE 索それぞれの定索長条件を満たすように、これらの索の上下部支点張力 ( $T_{MB}, T_{MA}$ ), ( $T_{RB}, T_{RA}$ ), ( $T_{LB}, T_{LA}$ )、ならびに荷重点垂下量  $f_P$  等を決定するものである。なお、支点・エンドレス索の誘導滑車等の変位はないものとし、また搬器の車輪およびドラムならびに滑車類の抵抗はないものとした。

計算方法は、ケーブルウエイ式架線(以下 CW 式架線と略称)について文献(3)に示したものと原理的に同じであり、仮想索モデルによる近似解法と、この近似解から出発し、諸条件を厳密に満足する解を求めるための精密解法とを用意した。

仮想索モデルによれば、RE 索の搬器位置における上部・下部の張力差は、近似的に次式で与えられる。

$$\Delta T_R \doteq P \{ \sin \alpha - P_L / I_G \cdot P - 4 s' (1-2k) (1+r+n) \cos^3 \alpha / G \} \quad (1)$$

$$\text{ただし} \begin{cases} r = (p_R + p_L) / p \\ n = P / u \cdot p: \text{荷重比} \\ G = \{ (1+r^2) + 12k(1-k)n(1+r+n) \}^{1/2} \\ s' = s \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_c \\ \epsilon_0: \text{軌索の弾性伸長に対する垂下比補正係数} \\ \epsilon_c: \text{修正係数(文献(3)参照)} \end{cases}$$

LE 索については、搬器位置における上部・下部の張力差が、厳密に

$$\Delta T_L = P_L / I_G \quad (2)$$

となることはいうまでもない。

DE 式架線は、CW 式架線に LE 索が加わったものであり、この索があるために RE 索の張力差  $\Delta T_R$  は(1)式のように、いわゆる荷重けん引力  $\Delta T_E$  から LE 索の張力差  $\Delta T_L$  を減じたものとなる。近似解法においては、張力差  $\Delta T_R$  および  $\Delta T_L$  と搬器位置に応じて、RE 索・LE 索の張力がそれぞれ定まるものであり、具体的な計算方法は、文献(1)に示したものと同じであるから、その詳細については省略する。

この報告では、集材機を下方に置いて下げ荷で集材を行なう場合を考え、支間長  $l=200\sim 800\text{m}$ 、支間傾斜角

\* Takao HORI & Motoyuki KATO: Mechanics of the logging cable crane with a hoisting carriage operated by two endless lines

\*\* 名古屋大学農学部 Fac. of Agr., Nagoya Univ., Nagoya 464

\*\*\* 現勤務先: 秋田営林局 Akita Reg. For. Office, Akita 010

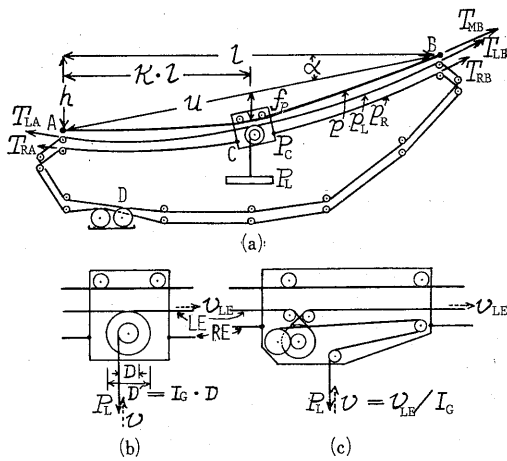


図-1. 複エンドレス式集材架線およびその搬器  
(a) 全体模式図 (b) 搬器 (c) アベックキャリア

$\alpha=0^\circ\sim 30^\circ$ , 搬器荷重  $P$  および軌索の原索垂下比  $s$  の値を, 軌索の安全率が1号A種ロープではほぼ3.0程度, 最大荷重点垂下量  $f_P$  がほぼ  $u \times 0.05$  程度となるように選定した場合の計算値を使った。

図2~6は,  $l=400\text{m}$  についての計算結果の一部を示したものである。これらの図において, 実線は近似解法による算定値を連ねたものであり, \*, ×等の印は精密解法による算定値をとったものである。このように近似解法はきわめて良好な算定値を与えるものである。なおこれらの計算例について, RE索・LE索の張回し区間の条件は同一とし, 左張回し区間はなく, 右張回し区

間は, 水平距離150mの4区間より成るものとした。各区間の高低差は,  $\alpha=0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$  に対して, それぞれ下方より  $(-10, 0, 0, 10)\text{m}$ ,  $(-3, 18, 18, 37)\text{m}$ ,  $(17, 36, 37, 56)\text{m}$ ,  $(37, 57, 58, 78)\text{m}$  等とした。索の弾性伸長率は  $\lambda=0.65 \times 10^{-6}/p$  (1/kg),  $\lambda_{R,L}=0.76 \times 10^{-6}/p_{R,L}$  (1/kg) とした。

III 考 察

DE式架線ならびにCW式架線について, 諸索の張力および荷重点垂下量等の搬器位置  $h$  による変化状況を比較検討した結果, ①RE索・LE索の張力について, DE式架線に固有の問題があること, また, ②DE式架線において, LE索の索自重・索張り強度の大きさがRE索の張力に対してほぼ無関係であること, また逆にRE索の索自重・索張り強度の大きさがLE索の張力に対してほぼ無関係であることがわかった。したがって以下において, RE索の張力問題とLE索の張力問題を, 別個に検討することとした。

なお, 軌索の張力  $T_{MB}$  および荷重点垂下量  $f_P$  に關しても, 図-2, 3(c)に見られるように, エンドレス索の索張り  $s_R, s_L$ , 索自重  $p_R, p_L$  の大小によってこれらは増減し, DE式架線ではエンドレス索が2本あるから, その影響はCW式架線と比較して大きくなる。しかし, この問題は実用上さほど重要ではなく, またDE式架線に固有のものではないから, ここではとりあげない。

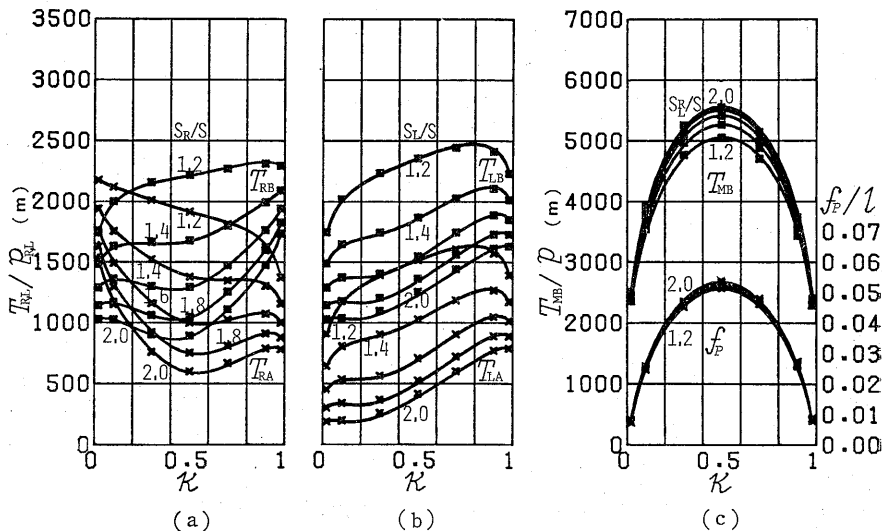


図-2. 諸張力および荷重点垂下量の荷重位置による変化状況 (1)

ただし,  $l=400\text{m}$ ,  $\alpha=20^\circ$ ,  $s=0.032$ ,  $p_R/p=0.25$ ,  $p_L/p=0.36$ ,  $I_G=3.0$ ,  $P_L=750 \times p$ ,  $P_C=100 \times p$   
(a) RE索張力 (b) LE索張力 (c) 軌索張力および荷重点垂下量

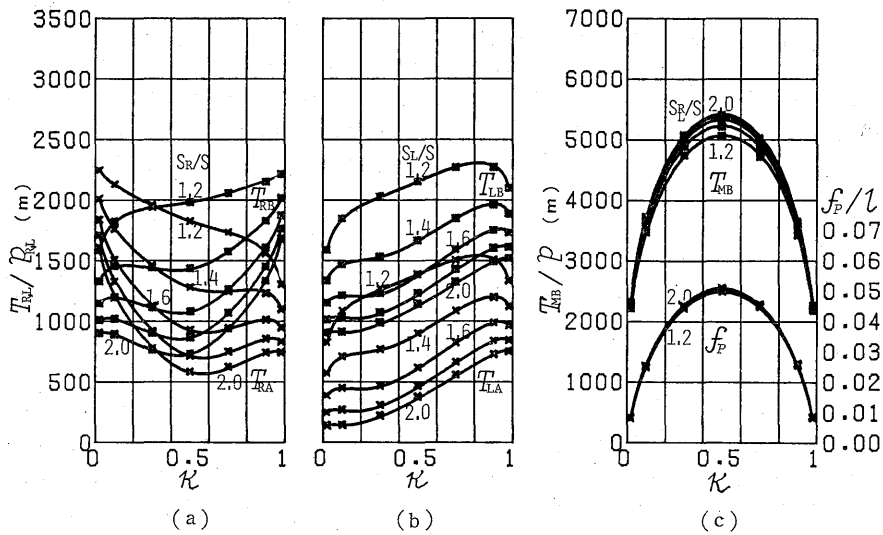


図-3. 諸張力および荷重点垂下量の荷重位置による変化状況 (2)  
 ただし、 $\alpha=10^\circ$ ,  $l_L/l=0.18$ ,  $I_G=6.0$ , その他の諸条件は図-2と同じ  
 (a) RE 索張力 (b) LE 索張力 (c) 軌索張力および荷重点垂下量

1. RE 索張力に関する考察

CW 式架線と、これに LE 索を付加した DE 式架線とについて、両者の搬器位置による張力変化状況を比較すれば、両者の間に著しい違いがある。これは、搬器位置における張力差が前記のように異なるので、当然のことである。そこで (1) 式において

$$\sin \alpha' = \sin \alpha - P_L / I_G \cdot P \quad (3)$$

と置き、傾斜角  $\alpha$  なる DE 式架線の RE 索の張力と、傾斜角が (3) 式で定まる  $\alpha'$  に等しく、その他の諸条件が同一の CW 式架線のエンドレス索の張力とを比較した結果、両者の張力変化状況がほぼ等しいことがわかった。これは、(1) 式 { } の第 3 項が、LE 索の有無によってそれほど大きく変わらないことによるものである。なお、図-2, 3 の計算例では  $\alpha'$  の値はそれぞれ  $2.7^\circ$ ,  $1.5^\circ$  であり、両者の図 (a) はともに、 $\alpha=0^\circ$  の CW 式架線のエンドレス索の張力変化状況と大差ないのである。

CW 式架線においては、支間長が過大な場合を除けば、支間傾斜角  $\alpha$  が小さければ、エンドレス索の索径を軌索索径の 1/2 ぐらいとし、その索張り  $s_R$  を標準値 (1.2~1.3)  $\times s$  程度とすれば、エンドレス索張力に関してまったく問題がない。しかし傾斜角が大きく、 $\alpha=20\sim30^\circ$  程度となれば、エンドレス索張力の最大値が増大するとともに最小値が減少するため、この索の張力を過大・過小ならしめないように索張り  $s_R$  を選定することが困難となる (1, 2)。

このことは、DE 式架線については、支間傾斜角  $\alpha$  を

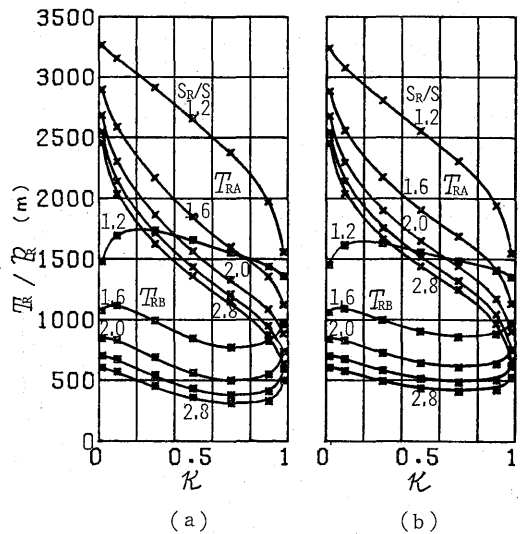


図-4. RE 索張力の荷重位置による変化状況 (1)

ただし、 $I_G=3.0$ ,  $\alpha=0^\circ$ ,  $Q=l \cdot p_R$ ,  $d=0.1 \times l$ , その他の諸条件は図-2と同じ  
 (a) 緊張装置なし (b) 緊張装置付き

$\alpha'$  と読み換えて、そのまま成り立つ。したがって、RE 索張力に関しては、 $\alpha'=0^\circ$ , すなわち、

$$\alpha_{opt} = \sin^{-1}(P_L / I_G \cdot P) \quad (4)$$

が最適の支間傾斜角となる。

なお、CW 式架線では  $|\alpha| \leq 10^\circ$  程度であれば、エンドレス索張力に関してほとんど問題がない。したがって DE 式架線においても、 $\alpha$  が  $\alpha_{opt}-10^\circ \sim \alpha_{opt}+10^\circ$  の範

間であれば問題がない。この範囲は、 $P_L \doteq P$ とみなせば、 $I_G=3.0, 6.0$  に対して、大まかに、 $\alpha_{opt} \doteq 20^\circ, 10^\circ$  であるから、それぞれ  $\alpha=10 \sim 30^\circ, \alpha=0 \sim 20^\circ$  となる。

図-4 (a) は、 $I_G=3.0$  に対して  $\alpha=0^\circ$  における RE 索の張力変化状況を示したものである。これは  $\alpha' = -17^\circ$  であり、下部支点張力が過大となるおそれがあるから、 $s_R$  をかなり大きくすることが必要であろう。この場合に、文献(2)に述べた、重錘  $Q$  と水平支間  $d$  とより成る緊張装置を、集材機と右張回し区間との間に入れ、 $T_{RB}$  の過小値をある程度除去することができる(同図 (b) 参照)。

図-5 (a) は、 $I_G=6.0$  に対して  $\alpha=30^\circ$  における RE 索の張力変化状況を示したものである。これは  $\alpha' = 21^\circ$  であり、この場合に上部支点張力が過大となるおそれがあるから、 $s_R$  を大きくし、前記のような緊張装置を、集材機と左支点との間に用いるのが適当であろう(同図 (b) 参照)。

なお、実際の  $I_G$  の値は、搬器荷上げドラムによる荷上げ索の巻取り径によって左右され、この巻取り径は、索の巻込み量によって変化し、素巻き径  $D_0$  と満巻き径  $D_1$  とでは、かなりの違いがある。いうまでもなく、素巻き状態の  $I_G$  を  $I_{G0}$  とすれば、満巻き状態の  $I_G$  は、 $I_{G1} = I_{G0} \times (D_0/D_1)$  となるが、 $I_{G0}, I_{G1}$  のいずれに対しても、RE 索張力に関して問題がないような支間傾斜角の範囲は、前記のような単独の  $I_G$  に対するものよりも

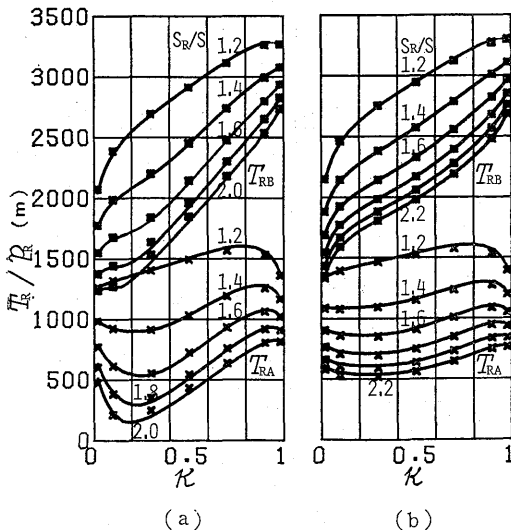


図-5. RE 索張力の荷重位置による変化状況 (2)  
ただし、 $I_G=6.0, \alpha=30^\circ, Q=l \cdot p_R, d=0.1 \times l$  その他の諸条件は図-3と同じ  
(a) 緊張装置なし (b) 緊張装置付き

狭くなる。たとえば、 $I_{G0}=6.0, I_{G1}=3.0$  であれば、問題のない支間傾斜角は、 $\alpha=10 \sim 20^\circ$  程度となる。

2. LE 索張力に関する考察

搬器位置  $k$  による LE 索張力の変化状況は、図-2, 3 (b) に見られるように、RE 索張力のものと比較して単純である。すなわち、集材架線における通常の支間使用範囲である  $k=0.1 \sim 0.9$  の範囲においては、LE 索張力は  $k$  の増加とともにほぼ単調に増加し、 $s_L$  が著しく過大でない限り、この間に著しい極小値が現われない。これは、この索の張力差  $\Delta T_L$  が、きわめて大きい値をとるにもかかわらず、一定値に保たれていることによるのであろう。またこの  $\Delta T_L$  が支間傾斜角  $\alpha$  に無関係であることから推察できることであるが、 $\alpha$  が変わっても、LE 索張力曲線は、その位置が多少上下するだけで、曲線の概形はほとんど同じである。また索張り  $s_L$  を変えれば、この曲線の位置は当然上下し、その概形も多少変わるが、しかしこの場合に、この曲線の平均的な傾斜  $\bar{m}$  は、ほぼ一定している。

この傾斜については、張回し区間がない場合に関する近似的な考察により、傾斜こう配  $\bar{m}$  の概算式として

$$\bar{m} \doteq P_L / I_G \cdot p_L \quad (5)$$

を導くことができる。この式は単純な割に、良い算定値を与える。

LE 索の上下支点張力の差については、

$$\Delta T_L \doteq (T_{LB} - T_{LA}) / p_L = P_L / I_G \cdot p_L + h \quad (6)$$

なる関係が厳密に成り立つ。したがって、図-2, 3 (b) において、 $T_{LB}$  の曲線は  $T_{LA}$  の曲線を、(6) 式で定まる  $\Delta T_L$  だけ上方へ移したものとなる。

ここで、LE 索の最大・最小の許容張力を  $T_{L0}, T_{L0}$  としたとき、LE 索の張力がほぼ  $T_{L0} \sim T_{L0}$  の範囲内にはいるための条件式を、(5), (6) 式より導くことができる。たとえば  $T_{L0} = 2,500 p_L$  (3号A種ロープで安全率6に相当)、 $T_{L0} = 500 p_L$  とすれば、

$$P_L / I_G \cdot p_L + h / 2 \leq \sim 1,000 \text{ m} \quad (7)$$

であれば、LE 索張力がほぼ (500~2,500)  $p_L$  の範囲内にはいるような、索張り  $s_L$  を見いだすことができる。(7) 式の左辺の値が小さいほど、索張り  $s_L$  の選定範囲が広がる。(7) 式左辺において、 $P_L / I_G \cdot p_L$  が支配的な項であるから、吊荷の重量に応じて  $I_G \cdot p_L$  の値を適切に選ぶことが、実用上、一つの重要な問題となる。図-2, 3 において、図 (b) は後者がわずか下位にある程度で、両者にほとんど違いがないのは、 $I_G \cdot p_L$  の値が等しいからである。

なお、実際に (7) 式を適用するに際して、 $I_G$  の値として、満巻き径に対する  $I_{G1}$  を用いるべきことはいうまで

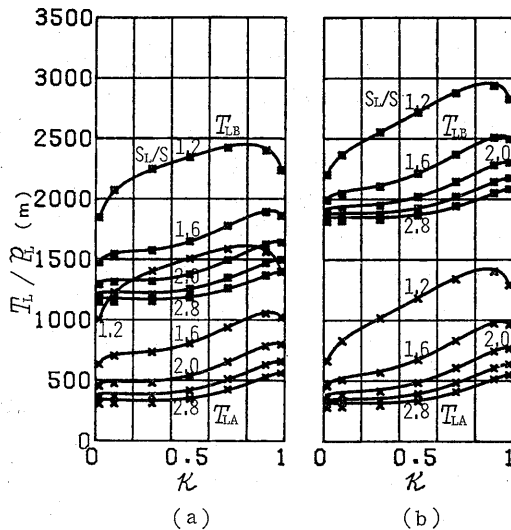


図-6. LE 索に対する緊張装置の効果

ただし、 $I_G=3.0$ ,  $Q=l \cdot p_L$ ,  $d=0.05 \times l$ ,  $p_L$  以外の諸条件は図-2 と同じ

(a)  $p_L/p=0.36$  の場合 (b)  $p_L/p=0.18$  の場合

もない。

LE 索の最大・最小張力  $T_{Lmax}$ ,  $T_{Lmin}$  については、(5) 式と同様に張回し区間がない場合に関する近似的な考察により、次の概算式を導くことができる。

$$T_{Lmax, min} = \frac{u \cdot p_L}{8 s_L} \{1 + (\tan \alpha \pm 4 s_L)^2\}^{1/2} \pm P_L / I_G \quad (8)$$

この式は、誤差が  $(200 \sim 300) \times p_L$  程度になることもあるが、LE 索張力が過大・過小とならないような索張り  $s_L$  を選定する場合の試算に、利用できるものと思う。

LE 索に対しても、前記の緊張装置の使用はきわめて有効である。すなわち、(7) 式の左辺が過大な場合に、索張り  $s_L$  を比較的大きくし、適当な諸元 ( $Q$ ,  $d$ ) の緊張装置を、下部支点と集材機との間に入れることによって、LE 索の張力を適切な範囲におさめることができる。図-6 (a) は、図-2 の計算例において、( $Q=l \cdot p_L$ ,  $d=0.05 l$ ) なる緊張装置を使った場合の、LE 索張力の

変化状況を示したものである。同図 (b) は極端な計算例であり、 $I_G=3.0$  に対して  $p_L=0.18 p$  であるから、(7) 式の左辺は  $1.462m$  であるが、この場合でも、 $s_L=1.6 s$  とし、緊張装置の使用により、LE 索張力をほぼ  $(500 \sim 2,500) p_L$  の範囲におさめることができる。緊張装置がある場合には、(5), (8) 式は成り立たないが、(6) 式がそのまま成り立つことはいうまでもない。

#### IV あとがき

以上のように、DE 式架線においては、RE 索・LE 索の張力問題が固有のものであり、RE 索の張力問題から、減速比  $I_G$  の値に応じた支間傾斜角の適切な範囲が定まり、また LE 索の張力問題から、吊り荷の重量および  $I_G$  の値に応じて、適切な索自重  $p_L$  の値が定まる。このような問題に対して、(3)~(8) 式が役立つものとする。なお、(4) 式で与えられる  $\alpha_{opt}$  に相当するものは、一般に分岐傾斜角として知られているものである。

この研究は、南星の森貞氏より、同社のリモコン集材機に関する説明書をいただいたことがきっかけとなって始めたものであり、ここに同氏に対し謝意を表する次第です。

なお、この報告は、筆者の一人加藤が研究生として在学中に行なった研究を骨子として、掘が取りまとめたものである。また、この研究において、数値計算は名古屋大学大型計算機センターを利用して行なった。

#### 引用文献

- (1) 堀 高夫・加藤元之：集材架線におけるエンドレス形式の作業索の張力に関する理論的研究。日林誌 59: 52~58, 1977
- (2) 堀 高夫・嶋崎 省・加藤元之：エンドレス索緊張装置の張力調整効果。日林誌 59: 382~384, 1977
- (3) 上田 実：岩原式エンドレス集材装置。林業機械化情報 47: 1~6, 1956
- (4) 山脇三平・岩原健雄・石井邦彦・高樋孝一：2 胴エンドレス・ケーブルクレーンによる集材。林試研報 108: 47~65, 1958

(1977 年 10 月 20 日受理)