

# 土工を主とした林道設計の自動化 に関する研究

小林 洋 司<sup>(1)</sup>

Hiroshi KOBAYASHI : A Study on Automatic Processing in  
Forest Road Design Mainly Concerning the Earthwork

**要 旨**：最近わが国の林道建設事業の増加は著しいものがある。これらは林業の基盤整備を目的としていることはいうまでもないが、さらに自然保護、林地保全、景観保持等の面からの技術的要求も多く、林道技術はますますその重要性和多様性を加えつつある。

本報告は現在林道技術者の行なっている林道設計について、省力化および合理的設計方法の観点から検討を加え、電子計算機を中心とした情報機器を用いてその自動化を試みたものである。すなわち、自動化に対して数学モデルによる定式化をおこない、設計の標準化あるいは最適手法により主として平面線形、縦断線形、土工横断面の決定等を試みたものである。平面線形については設計因子を分析し、とくに曲率半径と接線交角との間に法則性を見出し、縦断線形については計画勾配の決定、横断面については最適土工横断面の決定方法を見出した。さらに実施測量データをもとに、このプログラムによる設計を行ない、現地設計例と比較し、土工を中心とした林道設計の電子計算機を用いた自動化が、よく当初の目的を達成できることをたしかめた。

## 目 次

1. 序 論	2
1. 1 概 説	2
1. 2 研究目的および方向	2
1. 3 自動設計に関するこれまでの研究	3
2. 林道設計と自動設計	5
2. 1 林 道 設 計	5
2. 2 林道設計と自動化	6
2. 3 林道設計自動化のあらまし	7
3. 林道設計の電算プログラムにおける解析手順および理論	8
3. 1 平面線形の決定	8
3. 2 縦断線形の決定	14
3. 3 土工横断面の決定	17
3. 4 最適土工横断面図	20
4. 林道設計の電算プログラム	24
4. 1 プログラムの流れ図	24
4. 2 電算プログラム	30
4. 3 プログラムデータの書き方	31
5. 電子計算機による林道の設計例	31
5. 1 予定路線の概要と計算方法	31
5. 2 平面線形の計算結果	32
5. 3 縦断線形の計算結果	34
5. 4 横断面図および土工数量計算結果	35
5. 5 林道設計の自動製図	37

6. 結 論	41
摘 要	42
文 献	43
Summary	45
付 表	47

## 1. 序 論

### 1. 1. 概 説

最近、一般土木をはじめ工業方面でも電算機利用を前提とした最適設計、自動設計、自動製図の開発研究がさかんになってきた。一方、林道事業における事業量の増加は、林業の基盤整備という要請から著しいものがあり、さらに低規格な林道あるいは作業道の作設要請も一般林道を上まわる傾向にある。このような情勢の下で林道の技術的業務を考えてみると、その内容は調査、計画、路線の選定、測量、設計、施工、管理等多岐にわたっており、とりまとめには多くの日数と労力を必要とするが、林道技術者はこれらすべてについて技術的な判断をくだし、情報を処理して業務を遂行しなければならない責務がある。特に、近年における林道の技術的要請は、林業内部からくる高密度路網のような低コスト道路、あるいは幹線林道のような高性能な道路、それに社会的要請からくる自然保護、林地保全、景観保持等の道路に対する要求が多様多岐にわたっており、技術者に負わされる任務の重要性と多様性はますます大きくなってきている。このような林道独特の困難性と今後の事業量の増大、さらに熟練した林道技術者の不足を考えあわせたとき、これら作業技術の抜本的な改善、改良、省力化、合理化を今や考えざるをえない段階にきていると思われる。

このような傾向は工学系統についてもいわれており、設計業務に関する自動設計の研究開発が一層さかんになってきた。この自動設計の意図するところはつぎの3点である<sup>14)</sup>。

- 1) 設計の迅速な処理。
- 2) 設計者を単調でめんどろな計算や製図から解放し、その能力経験をより高い次元の仕事、すなわち創意と高度な判断を必要とする仕事に向けることを可能にすること。
- 3) 設計されたものから得られる利益 (merit) を最大にする解、すなわち最適解としての設計諸元を求めること。

筆者は、林道事業の設計業務面で、特に以上の点が多く期待できると思われたので、この自動設計に関する研究を試みた。

自動設計とは、具体的には電子計算機を用いて、設計過程の諸元決定をプログラムにより自動化することで、本研究は設計の定式化、最適化を数学的理論展開によって行なおうとするものである。

なお、本研究に用いた計算機は、すべて農林研究センターを通じて、TOSBAC 3400, HITAC 8500 である。お世話になった當場経営部川端幸蔵技官はじめ指導員の方々、事務担当の各位に対して謝意を表わすものである。また、本研究を進める上で指導助言を賜った福田光正林道研究室長、山脇三平機械科長はじめ多くの方々、貴重な設計資料を提供下さった民有林、国有林の林道担当の多数の方々、とりまとめに当たって、図面、資料の整理作成にご援助いただいた志茂鈴子氏にあわせて謝意を表わすものである。

### 1. 2. 研究目的および方向

一般道路における自動設計は各方面で試みられている。その詳細は次節にゆずるが、これらをそのまま林道に応用することは不可能であり、またこれらについてもいまだ開発途上にあるといえよう。本研究の主目的は、林道事業における技術管理面での機械化、合理化、省力化で、具体的には林道設計業務に電子計算機を導入し、業務の迅速な処理を行なうこと、製図や単純業務を機械化すること、設計そのものの精度を上げること、より最適な設計手法を開発することである。

林道の設計に関する業務を大別すると、空中写真あるいは地形図上で通常行なわれる概略設計、すなわち予備設計と本格的踏査、現地測量データにもとづいて行なわれる実施設計に分けられるが、電子計算機を用いての自動設計も、この両設計にいずれはふれることにしている。この場合、おのずと双方の設計に用いられる地形データの入手方法、解析方法は異なるのである。林道設計の電算化に当たって、今回は後者の実施設計について、その技術向上、省力化、精密化を目標に行なった。すなわち概略設計を終え、実施測量の時点よりの設計を電子計算機で行なうということである。

さらに具体的に述べれば、通常林道技術者の長年の技術経験と勘が駆使されて一つの林道設計が行なわれるものであるが、この設計諸元の決定される過程を、電子計算機の論理的判断によって合理的かつ自動的システムティックに決定するわけで、この定式化と理論究明も本研究の目的である。

この設計過程のシステムロジックを究明するに当たって、特に次のことを留意した。

- 1) 林道構造規程および設計基準に該当したものであること。
- 2) 作設費を最少にすること。
- 3) 走行性は林道の範囲で、できるだけ良好であること。
- 4) 平面、縦断面、横断面のおのおのが相互にシステムティックに関連調和していること。
- 5) 設計されたものが土木技術的に満足していること。

### 1. 3. 自動設計に関するこれまでの研究

電子計算機は、1946年ペンシルバニア大学の ECHERT と MANCHLY により初めて作られて以来、急速に進歩をとげた。その歴史を述べるまでもないが、電子計算機を用いる自動設計では、光学関係において複雑な数式解法に電子計算機を用い、技師が何か月もかかって計算を行なったレンズの設計例があるほか、回路設計など多くの工学分野で盛んに自動化がすすめられている<sup>19)</sup>。土木分野でも、このような試みはすでにかなり多くの人によって試みられてきた。

まず構造解析に対しては、1950年代はじめに航空機構造力学の研究者達により、高次の不静定航空機構造が応力法によって解析された。その後、計算機の急速な発達とあいまって、計算機による骨組構造物の解析に関するプログラムが、アメリカを中心として開発され、複雑な構造物をより精度よく解くことが可能になった。1962年秋に、S. J. FENVES イリノイ大学教授 (1962~1963 MIT 客員教授) 指導のもとに平面トラス、平面ラーメン、格子構造物、立体トラス、立体ラーメンの5タイプの骨組構造物を解くための設計言語 STRESS (Structural Engineering System Solver) が開発された<sup>20)</sup>。また、1964年には IBM と MIT の共同研究によって立体骨組構造解析が寸法、断面形状、荷重条件、境界条件を入力するだけで解かれるプログラム FRAN (Frame structural Analysis) の完成を見た。FRAN は変位法に基づいたマトリックス構造を行なうもので、2,000 節点、15,000 部材から構成される立体構造の解材能力がある。この FRAN は IBM 7090 または IBM 7094 用に作られたもので、200 元ないし 400 元連立一次方程式がコアの中で解かれるといわれる<sup>21)</sup>。最近アメリカにおいて、構造解析用プログラムとして Wright

Patterson, Air Force Base で開発された Format II は 2,000 元連立一次方程式, また NASA によって開発された SAMIS は, 10,000 元連立一次方程式まで解く能力をもっているといわれる<sup>14)</sup>。

土木関係の電子計算機システムは, 何といても 1967 年末から順次 IBM のプログラムライブラリーとして公表され, 実用に供された ICES (Integrated Civil Engineering System) があげられる<sup>15)22)36)</sup>。これはマサチューセッツ工科大学 (MIT) の土木工学科で開発されたシステムで, その名が示すとおり土木工学の諸分野の設計, 計画, 調査, 解析などを総合的に処理するため開発されたものである。このシステムは, 膨大なプログラムからなる一つのプログラム集団で, 広い意味で, 大きな一つのプログラムライブラリーにはいるし, また一方, 一つのソフト・ウェアともいうことができる。すなわち, 技術者の問題を直接処理する目的言語のようなものである。たとえば, Fortran というコンパイラ言語が技術計算に使いやすいように, 機械語の時代より格段の進歩があったが, これと同様に, 土木技術者をより計算機に近づけようということのみである。ICES の開発は C. L. MILLER を中心に 1965 年 8 月 IBM・System/360 の導入とともに本格的に始められ, IBM, マサチューセッツ州公共事業局, 公共道路局, フォード財団などの援助をうけ総額 300 万ドルを費やして完成されたものである<sup>15)22)38)</sup>。この中で特に, 道路関係は ICES ROADS (Roadway Analysis and Design System) で一つのサブシステムを構成し, 道路の路線選定および設計に関連する問題を解くために用いられる<sup>1)96)</sup>。さらにその内容は比較路線の平面縦断線形の設定, 比較路線についての建設費, 用地費, 構造物の位置決定および費用, 排水施設の設計と費用, 道路使用者費用, 自動車走行シミュレーション道路の維持費その他を算出し, 運転者にとって快適な設計であるか, あるいは地形と調和しているかなどの検討を加え, 最適路線選定の自動的決定を行なうことを目的としている。しかし, 現在のところ全面的に実用可能なものとなっていないようである。以上がこのプログラムに関することであるが, わが国における一般道路への適用についても, 度量衡や設計慣習の違い, 地形の急峻さから問題があると聞いている<sup>1)18)</sup>。

そのほか, 海外の研究ではデジタルテレンモデル (Digital Terrain Model) を中心にスウェーデン, フランスなど一部の国では実際の設計に用いられている<sup>11)16)</sup>。またソビエトの KEYFETS, フィンランドの方法などもある。

わが国における自動設計の研究は主として, 東大生産技術研究所の丸安・中村を中心に行なわれている。この研究のうち道路関係について概説すれば, 空中写真から数値地形モデルを作成し, これをもとに概略設計を行なうが, 平面線形では座標値の算出と調整計算 (クロソイド曲線等), 縦断線形ではこの選定をダイナミックプログラミングによって試みている。正方形格子の数値地形モデルと, 多項整次式による数値地形モデルを用い, ヘルマート変換などによる内挿法によりデータを処理している<sup>9)10)</sup>。

現場における設計の積算関係あるいは, 構造物の技術計算に電算機を用いた例はかなりみられ, 農業土木では農地局設計課の例<sup>2)</sup>, 一般土木における構造物特に橋梁設計の標準化, 構造解析, 応力計算, 自動設計に関する例がある。自動製図については国鉄, 建設省, 一部の民間業者において, 標準設計あるいはこの類形的な設計が実用化されたものの, なお多くの点で現地適用に問題があるようである<sup>38)</sup>。

一方, 林業土木の設計関係における電子計算機利用開発は, 林道の土積数量計算の電算化<sup>35)42)</sup>, 治山ダムの自動積算<sup>34)34)</sup>, 治山ダムの温度応力計算<sup>37)</sup>等がある。林道路線設計のプログラムは現在, 森林開発公団でもはじめられている<sup>41)</sup>。

## 2. 林道設計と自動設計

### 2.1. 林道設計

工学における設計は、ある動機に対して技術者の創意工夫により、性能等必要な条件を満足させ、かつ経済性の高い諸元 (design parameter) を見出す過程と考えられるが<sup>1)</sup>、林道設計もこの原則により行なわれている。そこで、現在行なわれている林道設計の技術的側面を概説し、その問題点、技術的改良点、将来望まれる方向について検討を加え、電子計算機による林道設計の足がかりとする。

林道の事業量が年々飛躍的に増大するにつれて、設計積算のあり方が次の点から問題になってきた<sup>29)</sup>。

- 1) 設計積算の妥当性を確保する必要
- 2) 設計積算技術者の不足
- 3) 設計積算の多様性と困難性

妥当な設計積算とはどういうものであろうか、妥当な設計はある程度期待できるとしても妥当な積算はなかなか困難で、手近かな設計について考えても、林道設計の基本的考え方手順は一応林道規程、林道設計基準、あるいはこれらの運用通達等に示されているものの、基本原則となると判然としていない。そこで、この原則はつぎのように要約できよう。

- 1) 適正な工事計画……合理的な路線計画、適正な構造、規格、規模、合理的な工法。
- 2) 安全な設計……力学的安全性、耐久性、通行車両に対する安全規模。
- 3) 合理的な設計……経済的工法、施工法を考えた設計、明確な精度の高い測量設計。

これらについて各技術者は頭の中で計算と判断、試行錯誤によって決定していくが、多くの工事を短い期間で設計するには長い経験と知識を必要とし、この原則にそうことは現状の技術者不足の折から不可能になってくる。また多種多様の社会的要求、材質の多様性などからくる技術そのものの高度化により、林道設計技術自体がますます多面化、精密化してきている。このような林道設計全般の諸作業における問題解決には、現状の作業仕組あるいは方法を変えることはもちろん、抜本的な技術開発導入が必要と思われる。そこで考えられることは、技術の機械化であり、電子計算機を用いての自動設計であろう。

林道設計の作業を概略すれば Fig. 1 のとおりであるが、さらに各作業の技術的側面を略記すれば次のようになるであろう<sup>19)25)32)39)</sup>。

#### 2.1.1. 予備調査・計画・予備設計

ある期間における経営計画、森林基本計画その他から林道の利用区域、性格、おおよその単価などが策定され、大体の路線位置がわかり、その林道の全体計画が決定される。次に、机上において空中写真、地形図を用い図上で構造物の位置、路線通過地点を決め、切り取り土質の推定を行ない、工事費を概算して年次別工事計画の作成が終了する。

#### 2.1.2. 現地踏査

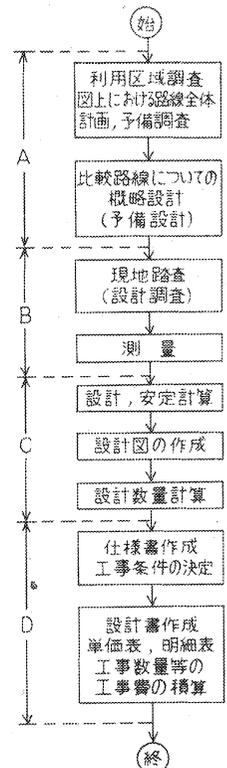


Fig. 1 林道設計の諸作業  
Works of the forest  
road design.

図上で決められた路線に従い、現地調査を行ない、通過地点の地形条件、地質条件あるいは構造物の位置などとともに、構造物が少なくすむ地形で、岩石切取りが少なく排水もよく、さらにもっとも合理的な集材搬出可能な箇所を選ぶ。なお、1本の路線が不十分な場合は、比較路線として2～3本を選定し、路線の概略中心線をしるす。さらに一般に省略されることが多いが、踏査によって決定された路線についてハンドレベル、コンパスなどを用い概略の測量を行ない、予測図の作製を行なう。

### 2. 1. 3. 本測量

これは、平面測量、縦断測量、横断測量、構造物の測量に大別されるが、設計図面作製、工事費算定の最終的測量であり、高精度が要求されるので厳密に行なわれる。平面測量は中心線測量とも呼ばれ、交角点(L.P.)の設定、測距、測角により曲線が設定される。縦断測量においては高低差がレベルを用いて測られる。

### 2. 1. 4. 設計と図面の作製

本測量の結果は図面に表わされ、林道の設計はこの図面をもとに行なわれる。作業は単純作業から設計という高度の技術的判断まで幅広く、かつ林道設計の主流をなす作業となる。たとえば、横断面では各断面ごとに地盤線から土工基面、さらに断面の計算など路線全体にわたり、その数はキロメートル当たり100断面ぐらいになる。縦断面は、測量結果から得られる縦断面図について、路線としてもっとも理想的な勾配の線形を検討し、図面上に計画線を挿入する。この計画線は各測点の地盤高、横断面の形状を検討し、切取盛土高、切取盛土量、計画勾配まで理想に近い線形で、かつもっとも経済的な計画線を、縦断面図で表現しなければならない<sup>80)</sup>。これは林道技術者の頭の中で技術的検討がなされ、いわゆる経験的技術がもっとも駆使される。これをもとに設計数量から工事数量まで計算され、工事費が決定される。

### 2. 1. 5. 設計書の作製

設計書は工事積算の内容を明示するとともに、個々の工事に使用される材料の質、規格、寸法を規定し、これらの材料の使用量および工事方法等について、その全ぼうを明示したものである。したがって、工事が請負の場合には設計書が予定価格の積算書となるものである<sup>81)</sup>。積算は前にもふれたが、妥当な積算となるとなかなか困難で正確には不可能に近いが、できるだけ現実の施工に近い形をとることが要望される。

## 2. 2. 林道設計と自動化

林道設計全般に、省力化あるいは自動化を目的とし、電子計算機を導入するに当たり今回は Fig. 1 のもっとも技術者の手のかかる設計、設計図面の作製、設計数量計算までのCの部分について電算プログラム化を試みた。それは一つに、技術の定式化あるいは数量化によってかなり合理的、経済的に行なえる部分で、かつこの決定が林道設計全般にわたって影響を与える。またこの作業は、いわゆる林道技術の主流であり、もっとも多くの時間と労力を要する部分で、ここに自動設計を試みるのは、もっとも効果が期待できると考えられる。その他の各作業について電子計算機導入の可能性を検討すれば、おおむね次のようになる。

### 2. 2. 1. 予備調査から概略設計まで

前に述べたとおり、これらの作業は机上で行なわれるため、もっとも電子計算機導入が有利と考えられる。通常空中写真、地形図を中心に行なうため、これを単に数値データ化して電子計算機により概略設計までを行なうにしても、さほど効果は期待できない。一般高速道路における、空中写真を利用した路線選定の研究が2, 3みられる<sup>82)</sup>。林道では概略設計を省略する場合があるが、今後の問題として電子計算機

により合理的、迅速に概略設計を行なう方法を開発し、路線の現地踏査の前に概略設計を行なうことが、最適の路線を選ぶ場合に特に必要と思われる。

### 2. 2. 2. 木 測 量

この作業は、設計の地形データ入手ということであるから、機械化あるいは省力化は空中写真測量で置き換える可能性はあるが、現状についてすぐ利用するには精度の点で問題があり、今後の空中写真測量技術の開発研究に期待したい。また、各方面で開発研究されている数値地形モデル<sup>16)20)</sup>の利用も、将来考えられるであろう。

### 2. 2. 3. 設計書の作製

積算と称される部分で最終的な工事費を算定する。電子計算機により自動的に行なう方法は、各方面とくに現場で試みられつつある<sup>2)</sup>。しかしこの作業の仕組、考え方はその部局、時代によりまちまちで、設計のような合理的、妥当性というものが画一的にどこまで期待できるかについては疑問である。

## 2. 3. 林道設計自動化のあらまし

林道設計における電子計算機を用いた自動化の流れ図を示せば Fig. 2 のようになる。この考え方は、いかに工事費を経済的に行なうかを土木技術的問題と合わせ検討し、各仕事は一つのサブシステムとし、それらを含めたものがトータルシステムとして相互に関連をもっている。各項目についてのおおよその考え方を次に述べる。

### 2. 3. 1. 平面の考え方

従来の平面測量における中心線設定の方法は、まず交角点 (IP 点) での角度を測り、曲線表等によりその地点の曲率半径を地形、隣接 IP 点との関連を考慮しながら定め、延長を計算して測点を定める。電子計算機を用いた中心線設定の方法はまず IP 点を中心とし、起点より追加距離 (20 m あるいはこれ以下の距離) ごとに測点を設定し、この測点の縦横断測量をし、これをデータとして電子計算機内でカーブ計算、測点の修正を行なう。これは、現地測量の手間を簡単にしようというねらいである。この平面測量は IP 間距離と交角法による角度を測量し、他の方位角、内角、外角は電子計算機により求め、さらに IP 点の曲率半径をその地点の交角あるいは地形をもとに決定し、他の測点 BC, MC, EC 点あるいは測点修正などすべて電子計算機内で行なう。図化は各測点の座標値のデータを計算により求めて行なう。この過程で計算された値は、これにつづく計算に自動的に受け継がれていく<sup>6)</sup>。

### 2. 3. 2. 縦断面の考え方

林道の縦断面における計画線を決定することが本研究の主テーマの一つである。これは林道設計の土工に関する経済性あるいは技術的問題、走行性等すべての問題に対して大きな要因と考えられる。特に林道にとって、コストに与える影響が、一般道路に比して制限勾配内の範囲が広いため大きい。したがって、技術的にも施工、維持に関する影響が大きい。走行性の縦断計画勾配との関係は種々のデータがあり、一

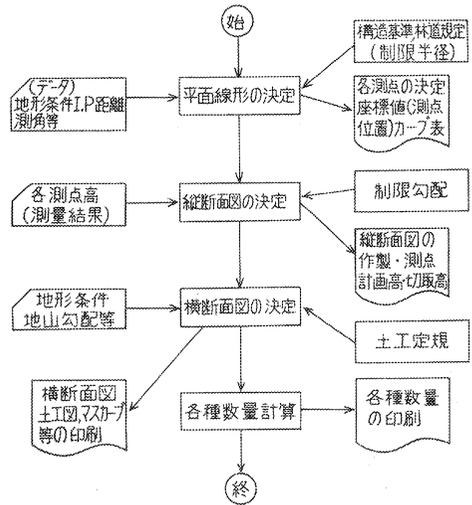


Fig. 2 電算機による林道設計の流れ図  
Flow chart of the forest road design  
with a use of electronic computation.

般道路では特に問題が多いようで、平面との関連も検討されている<sup>26)</sup>。しかし、林道の設計速度は20 km/h前後であり、走行性との問題は少なくむしろ、縦断計画勾配は工事費の点にもっとも影響が大きい。施工法、技術的要素を考慮に入れ、本システムの目的として経済的メリットを最大にする点、具体的には土工量を最小にすること、あるいは切取量と盛土量を流用区間内でバランスを取ることを検討した<sup>7)</sup>。

2. 3. 3. 横断面の考え方

横断面における土工面の設計は、道路完成後の路面維持にもっとも影響を及ぼし、また設計の上でも、平面、縦断面といえども、横断面の形状を無視しては行なえない。特に切取高、盛土高、地形との関連性の上で、構造物の造成あるいは工費の増大、路面維持、安全性等に影響する。そこで、これらの関連性を考究し、構造上最適とする土工断面が考えられるのではないかという点で、検討を試みた。具体的には地形と工費、土工量、構造物の関連などを検討し、標準化を試みた。問題は単独の土工横断面はこういった考え方において最適とする解が存在するが、これのみで土工基面を決定することはできず、隣接あるいはある区間の横断面のすべては相互にそれぞれ影響し合い、この問題は縦断面にまで影響を及ぼす。この点については横断面とのフィードバックにより解決策を試みた<sup>8)</sup>。

3. 林道設計の電算プログラムにおける解析手順および理論

林道設計全般の電算化の相互の関連性および概略は前述したので、ここではこれら理論の根拠と解析の手順を示す。

3. 1. 平面線形の決定

3. 1. 1. 設計資料の分析

Table 1. 平面線形の標準化に用いた調査林道  
Outline of the forest roads used on standardizing alignment

林道名	所管	場所	延長 幅員(S) 最小半径(R)	作設年	林道の性 格	IP地点 における 最大傾斜	同平均 傾斜	IPの 数	縦断の 最急勾配
白音林道	北海道 浦幌林務署	北海道 白糠町	$l = 3,130\text{m}$ $S = 4.0\text{m}$ $R = 15\text{m}$	昭和43年 より 昭和44年	自動車道 1級 峯越連絡 林道	$0^\circ \sim 45^\circ$	$16.6^\circ$	54	$0 \sim 12\%$
大金田 道	東京営林局 高萩営林署	茨城県 高萩市	$l = 770\text{m}$ $S = 4.0\text{m}$ $R = 10\text{m}$	昭和46年 施工	自動車道 1級	$0^\circ \sim 45^\circ$	$32.2^\circ$	29	$0 \sim 10\%$
茂木千々 線林道	長崎県 長崎市	長崎県 長崎市	$l = 1,760\text{m}$ $S = 4.0\text{m}$ $R = 12\text{m}$	昭和39年 施工	自動車道 2級 (2号林道) 峯越連絡 林道	$0^\circ \sim 47^\circ$	$20.1^\circ$	33	$0 \sim 10\%$
岩尾林道	東京営林局 天城営林署	静岡県 湯ケ島町	$l = 1,844.79\text{m}$ $S = 3.6\text{m}$ $R = 10\text{m}$	昭和45年 46年施工	自動車道 2級	$0^\circ \sim 38^\circ$	$24.7^\circ$	62	$4.5 \sim 10\%$
内野林道	東京営林局 高萩営林署	茨城県 高萩市	$l = 2,580\text{m}$ $S = 4.0\text{m}$ $R = 10\text{m}$	昭和44年 施工	自動車道 1級	$0^\circ \sim 47^\circ$	$22.3^\circ$	61	$0 \sim 10\%$
ヌッケベ ツ林道	北海道 浦幌林務署	北海道 白糠町	$l = 4,650\text{m}$ $S = 4.0\text{m}$ $R = 15\text{m}$	昭和46年 施工	一般幹線	$0^\circ \sim 44^\circ$	$21.6^\circ$	49	$0 \sim 10\%$
合計			$l = 14,734.79\text{m}$				$22.28^\circ$	288	

平面線形の決定要素の主な設計因子は交角と IP 間距離, 曲率半径であるが, 前者 2 要素はすでに予測と本測量の時点で決定され, 設計の電算化は曲率半径の決定とその因子の計算が主たるものである。ここでの, 林道の平面幾何構造を決定する場合の主流は, 曲率半径  $R$  を決定することで, その方法として多数の設計資料を分析集積し, 平面線形の設計方法の標準化を試みた。林道技術者の設計した数多くの設計図書をもとに, その中にある手法を標準化し電算プログラムすることである。

資料は民有林から国有林, 地理は北海道から九州, 地形は平坦地から急傾斜地まで詳しくは Table 1 に示すとおりの広範囲のものを集計した。

一般道路および高速道路の曲率半径設計のための式は, 平均走行速度, 片勾配, 路面の摩擦係数により算出されるが<sup>49)</sup>, 林道の場合は, ほとんど多くが山岳地に建設されるため, 地形的, 経済的な制約のため決定される曲率半径は一般道路と異なった要素に支配される。林道の路線線形を規制する因子の中に曲率半径および曲線長があり, 曲線長が長くなれば曲線の設置上あるいは施工上, 走行の面でも見とおしがわるくなり, おのずと制約されるであろう。

そこで, 先の資料により林道の路線線形等特に曲率半径 ( $R$ ) を形づくる因子がどんな値を示し, また分布するかを調べた。因子については次に示すものである。

- 1) 接線交角 (中心角) (Intersection Angle),  $IA$
- 2) 外接長 (Secant Length),  $SL, ES$
- 3) 接線長 (Tangent Length),  $TL$
- 4) 曲線長 (Curve Length),  $CL$
- 5) 曲線中心の斜面傾斜 (Gradient of the ground surface),  $\alpha$
- 6) 曲率半径 (Radius of curvature),  $R$

各因子のヒストグラムは Fig. 3 のようになり, これは標準偏差 ( $\sigma$ ) の 0.5 単位ずつ平均値を中心に

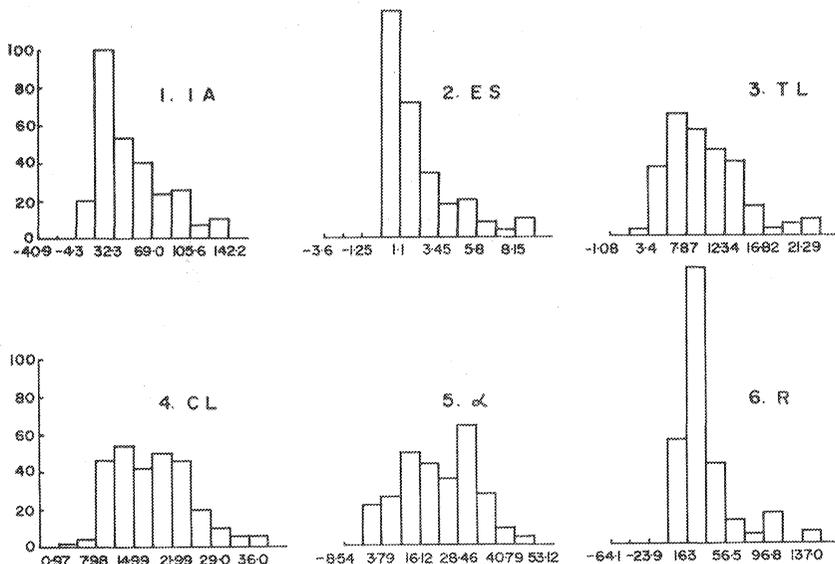


Fig. 3 平面線形の設計因子の分布  
Distribution of the design factors in the alignment.

Table 2. 平面線形の設計因子と平均値その他  
Design factors in the alignment and its mean

番号	設計因子	平均値	標準偏差	変動係数	歪度	尖度
①	接線交角( $IA$ )	50.6°	32.63°	72.3%	1.18	0.85
②	外接長( $ES$ )	2.27m	2.35m	103.4%	2.04	5.05
③	接線長( $TL$ )	10.11m	4.47m	44.3%	1.01	1.14
④	曲線長( $CL$ )	18.49m	7.01m	37.9%	0.66	0.36
⑤	斜面傾斜 ( $\alpha$ )	22.29°	12.33°	55.3%	-0.04	-0.73
⑥	曲線半径 ( $R$ )	36.43m	40.22m	110.4%	6.51	64.25

-2.5 $\sigma$  から 2.5 $\sigma$  まで区分したものである。Table 2 は上述の因子の平均値, 標準偏差, 変動係数, 歪度, 尖度を示した。

3. 1. 2. 各設計因子相互の関係

電算プログラムにより, 曲率半径を自動的に与えられたデータにより決定させるため, 先に上げた設計因子間の関係について追求し,  $R$ 半径決定の方法を標準化した。Table 4 は各因子間の相関行列であり, \*\*は 1% の危険率で有意であることを示しているが, これらのうち 6) 曲率半径 ( $R$ ) に注目すると, 相関の高いものは 1) 接線交角 ( $IA$ ) と 2) 外接長 ( $ES$ ) である。3)  $TL$ , 4)  $CL$  は 2)  $ES$  と同様に  $R$ 半径と外角によって, 一義的に決定される因子であることを考えた場合,  $R$ を決定するには 1) 接線交角  $IA$ , 2) 外接長  $ES$  のどちらかを選ぶのが適切であろう。

さらに Table 4 の 1. 外角 ( $IA$ ) について注目すると,  $ES$ ,  $TL$ ,  $CL$  と高い正の相関, 5. 地盤傾斜 ( $\alpha$ ) と 6. 曲率半径  $R$  については負の相関を示し, 外角が大きくなれば,  $ES$ ,  $TL$ ,  $CL$  は大きくなること, 地盤傾斜が大きくなると外角は小さくなり, 半径 ( $R$ ) が大きくなると外角は小さくなることを示している。地形因子としてのカーブ地点の地盤傾斜と, 半径 ( $R$ ) との相関はあるといえなかったが, 他の

Table 3. 平面線形の設計因子の偏差平方和・積和行列  
Matrix of corrected sum of square and cross product of the design

I	J=1. $IA$	J=2. $ES$	J=3. $TL$	J=4. $CL$
1. $IA$	0.3809903D 06	0.1401761D 05	0.2660293D 05	0.3823792D 05
2. $ES$	0.1401761D 05	0.1569711D 04	0.2500246D 04	0.3160992D 04
3. $TL$	0.2660293D 05	0.2500246D 04	0.5683003D 04	0.8543021D 04
4. $CL$	0.3823792D 05	0.3160992D 04	0.8543021D 04	0.1394557D 05
5. $\alpha$	-0.2713342D 05	-0.2022428D 04	-0.4024694D 04	-0.6474186D 04
6. $R$	-0.1072049D 06	-0.7775545D 04	-0.1437292D 03	0.7524072D 04

Table 4. 平面線形の設計因子の相関行列  
Correlation matrix of the design factors in the alignment

I	J=1. $IA$	J=2. $ES$	J=3. $TL$	J=4. $CL$
1. $IA$	1.0000000	0.5732013**	0.5717203**	0.5245890**
2. $ES$	0.5732013**	1.0000000	0.8371127**	0.6756091**
3. $TL$	0.5717203**	0.8371127**	1.0000000	0.9596313**
4. $CL$	0.5245890**	0.6756091**	0.9596313**	1.0000000
5. $\alpha$	-0.2115176**	-0.2456192**	-0.2568875**	-0.2637947**
6. $R$	-0.2562249**	-0.2895242**	-0.0028127	0.0939937

外角あるいは  $ES, TL, CL$  の平面線形因子の間には相関があることが解る。

3. 1. 3. 電算プログラムにおける曲率半径  $R$  の決定方法

林道の平面線形設計の場合、IP 点の位置は現地踏査により決定するから、残る設計は曲率半径  $R$  をあてはめ設置することで、従来、林道技術者が現地でいろいろな条件を考えて決定してきた。しかし、これを電算プログラムにより自動的に決定するには、何らかの根拠にもとづいた理論式により決めなければならない。データとしての因子の数は、測定の作業量を考えるとできるだけ少ない方がよい。ここでは標準化による方法で、地形因子の IP 地点の地盤傾斜と外接長  $SL$ 、外角により半径  $R$  との関係を標準化し、 $R$  の決定方法を究明した。

外角を  $\alpha$ 、曲率半径を  $R$ 、曲線長  $CL$ 、外接長を  $SL$  とすれば、 $R$  との理論的關係は

$$R = CL / \alpha \dots\dots\dots (1)$$

$$R = SL / \{(\cos \alpha / 2)^{-1} - 1\} \dots\dots\dots (2)$$

となる。 $R$  を設定する場合、外角  $\alpha$  は既知であり、現地に  $SL$  の長さを想定することが可能であるならば、それは (2) 式より  $R$  を決定できる。

ここで、 $SL$  を想定しないで  $R$  を設定することを試みた。先に分析したデータをもとに、IP 地点の地盤傾斜と外角を、 $R$  に対して次の 4 つの方法により標準化を行なった。

- 1) 半径 ( $R$ ) を外角と IP 地点の地盤傾斜の 2 因子による重回帰により回帰させる。
- 2)  $R$  に対し外角を一次回帰させる。
- 3)  $R$  に対し外角を二次回帰させる。
- 4)  $R$  に対し外角を高次元回帰させる。

そこで、外角を  $\alpha$ 、地盤傾斜を  $\beta$  とすればこれらの回帰式は (3) から (6) 式のごとく表わせる。またこれらと  $\alpha$  と  $R$  の関係を表わせば Fig. 4 のごとく表わせる。先の資料によって求めた値と、これらの

$$R = a + b \cdot \alpha + c \cdot \beta \dots\dots\dots (3)$$

$$R = a + b \cdot \alpha \dots\dots\dots (4)$$

$$R = a + b \cdot \alpha + c \cdot \alpha^2 \dots\dots\dots (5)$$

$$R = a \cdot \alpha^b \dots\dots\dots (6)$$

factors in the alignment

J=5. $\alpha$	J=6. $R$
-0.2713342D 05	-0.1072049D 06
-0.2022428D 04	-0.7775545D 04
-0.4024694D 04	-0.1437292D 03
-0.6474186D 04	0.7524072D 04
0.4319187D 05	0.1277339D 05
0.1277339D 05	0.4594859D 06

当てはめの良さの目安として残差分散  $S^2 = \sum (R_i - \hat{R}_i)^2$  を示せば Table 5 のようになり、これから、(6) 式による当てはめがもっとも望ましいことがわかる。この (6) 式によって、外角に対する曲率半径 ( $R$ ) について標準化をすれば Table 6 のようになる。高速道路および一般道路においては、道路交角と曲線長の関係等が視覚的効果の面で道路構造令に規定されているが<sup>4)</sup>、林道の構造についての研究の中で、各交角に対する最小曲線半径の規準値が示された<sup>5)</sup>。ここで、Table 6 で示された値は、林道の交角 (外角) に対する標準的なもので、最終的には電算プログラムによって (6) 式により曲率半径が決定される。

J=5. $\alpha$	J=6. $R$
-0.2115176**	-0.2562249**
-0.2456192**	-0.2895242**
-0.2568875**	-0.0028127
-0.2637947**	0.0939937
1.0000000	0.0906712
0.0906712	1.0000000

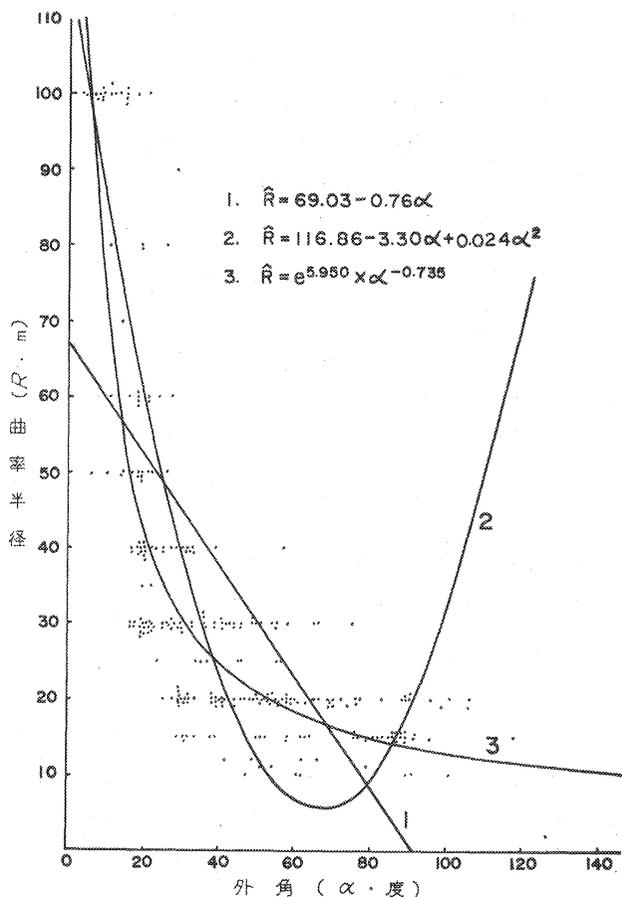


Fig. 4 曲率半径 ( $R$ ) と外角 ( $\alpha$ ) の関係  
Relation between radius of the curvature ( $R$ ) and the exterior angle ( $\alpha$ ).

Table 5. 曲率半径 ( $R$ ) に対する回帰式と残差分散  
Regression for the radius of the curvature ( $R$ ) and sum of squares from regression

	回 帰 式	$S = \sum (R_i - \hat{R}_i)^2 / N$
①	$R = 72.037 - 0.776 \alpha - 0.109 \beta$	1231.18
②	$R = 69.030 - 0.762 \alpha$	1232.88
③	$R = 116.86 - 3.302 \alpha + 0.024 \alpha^2$	948.85
④	$R = e^{5.950} \cdot \alpha^{-0.735}$	627.94

Table 6. 外角 ( $\alpha$ ) に対する標準の曲率半径 ( $R$ )  
Standard radius of the curvature ( $R$ ) for the exterior angle ( $\alpha$ )

接線交角 ( $\alpha$ )	150°	120	90	55	30	20	17	14	11	8	7	5
曲率半径 ( $R$ )	10m	12	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100

3. 1. 4. その他の平面線形因子の決定方法

曲率半径が決定されれば、その他の曲線に関する設計因子が計算され、これらは他の因子によってチェックされなければならない。たとえば、隣接の曲線と重ならないことは、接線長  $TL_i$  と  $TL_{i-1}$  との和は  $D_i$  より小さく、かつ  $TL_i$  と  $TL_{i+1}$  との和は  $D_{i+1}$  より小さくなければならない。さらに制限半径以上の大きさの半径でなければならない、こうした Fig. 5 で示されるような一連の作業は、プログラムで自動的に行ない各 IP に関する曲線表が完成され、曲線設定の場合のデータとされる。

作図のために各測点についての座標値を求める必要があり、これは基準の測点の座標値を与えることによって求まる。

$IP_i$  点の座標値 ( $X_{IP_i}$ ,  $Y_{IP_i}$ ) は (7) 式の

$$\begin{cases} X_{IP_i} = D_i \times \sin AHO_{i-1} + X_{IP_{i-1}} \\ Y_{IP_i} = D_i \times \cos AHO_{i-1} + Y_{IP_{i-1}} \end{cases} \dots (7)$$

ようになり  $BC_i$ ,  $EC_i$  点について同様に

$$\begin{cases} X_{BC_i} = (D_i - TL_i) \times \sin AHO_{i-1} + X_{IP_{i-1}} \\ Y_{BC_i} = (D_i - TL_i) \times \cos AHO_{i-1} + Y_{IP_{i-1}} \end{cases} \dots (8)$$

$$\begin{cases} X_{EC_i} = TL_i \times \sin AHO_i + X_{IP_i} \\ Y_{EC_i} = TL_i \times \cos AHO_i + Y_{IP_i} \end{cases} \dots (9)$$

$MC_i$  の座標については  $AN_i \geq 180.0$  のとき、 $Z_i = 180.0 - AN_i/2.0 + AHO_i$ ,  $AN_i < 180.0$  のとき  $Z_i = AHO_i - AN_i/2.0$  として

$$\begin{cases} X_{MC_i} = SL_i \times \sin Z_i + X_{IP_i} \\ Y_{MC_i} = SL_i \times \cos Z_i + Y_{IP_i} \end{cases} \dots (10)$$

Fig. 6 のように測点 ( $STA_j$ ) はカーブ上にとられていない。これを  $STA'_j$  に移設し、起点からの追加距離 ( $STA_j$ ) を修正しなければならない。Fig. 6 のように移設すれば、たとえば  $STA_{j+1}$  が  $BC_i \leq STA_{j+1} \leq BC_i + TL_i$  のとき  $XX = STA_{j+1} - BC_i$ ,  $XB = R/XX$ ,  $\beta = \tan^{-1}(XB)$ ,  $L_i = R \times \beta$  とすれば  $STA_{j+1} = BC_i + L_i$  となり、 $STA_j$  が  $BC_i + TL_i < STA_j \leq BC_i + 2TL_i$  のときは  $XX = BC_i + 2TL_i - STA_j$ ,  $XB = R/XX$ ,  $\beta = \tan^{-1}(XB)$ ,  $L_i = R \times \beta$  となり  $STA'_j = BC_i + L_i$  となる。 $STA_j$  が  $BC_j$  よ

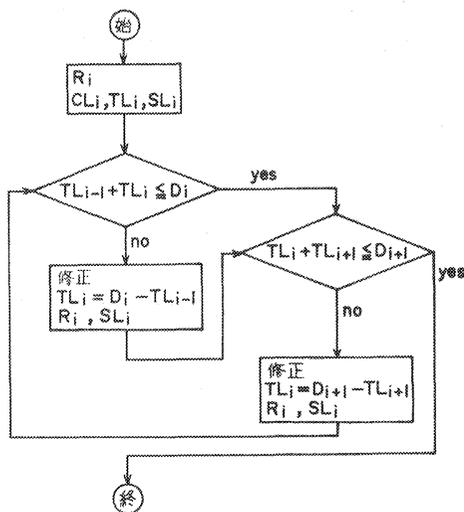


Fig. 5 曲率半径 ( $R$ ) の修正  
Flow chart of correcting radius of the curvature ( $R$ ).

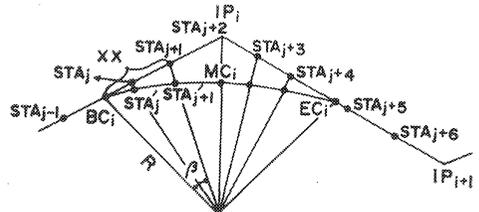


Fig. 6 平面における測点の修正  
Correcting position of the stations in the alignment.

り小さいとき、あるいは  $EC_i$  より大きいとき修正の必要はない。

$EC_i, MC_i, BC_i$  について、測点として起点からの添加距離として表現すれば次のようになる。

$$\begin{cases} BC_i = EC_{i-1} + D_i - (TL_i + TL_{i-1}) \\ EC_i = BC_i + CL_i \\ MC_i = BC_i + CL_i / 2 \end{cases} \dots\dots\dots(11)$$

各測点の座標値は  $STA_j$  が  $EC_{i-1}$  より大きく、 $BC_i$  より小さいとき、 $T = STA_j - EC_{i-1} + TL_{i-1}$  とすれば (12) 式のようになり  $STA_j$  が  $EC_i$  と

$$\begin{cases} X_{STA_j} = T \times \sin AHO_{i-1} + X_{IP_{i-1}} \\ Y_{STA_j} = T \times \cos AHO_{i-1} + Y_{IP_{i-1}} \end{cases} \dots\dots\dots(12)$$

$BC_i$  の間にあるときは  $B = (STA_j - BC_i) / 2R_i$ ,  $RL = 2.0 \times R_i \times \sin B$ ,  $AN_i \geq 180$  のとき  $A = AHO_{i-1} + B$ ,  $AN_i < 180$  のとき  $A = AHO_{i-1} - B$  とすれば (13) 式のごとくなる。 $STA_j$  が  $EC_{i-1}$

$$\begin{cases} X_{STA_j} = RL \times \sin A + X_{BC_i} \\ Y_{STA_j} = RL \times \cos A + Y_{BC_i} \end{cases} \dots\dots\dots(13)$$

より小さいときあるいは  $EC_i$  より大きいときは、次の段階で求められる。

### 3. 2. 縦断線形の決定

#### 3. 2. 1. 計画勾配決定の概要

林道の縦断線形は走行性、安全性はもちろん、施工面における工費の点あるいは維持管理の費用に対して大きく影響を及ぼす。一般道路および高速道路における縦断線形は、走行性の面が主体に考えられ、おのずとその制限勾配は小さい値をとり、速度、乗り心地、視覚効果等の要素が強くとり入れられる。林道においては工費の点での制約が大きいため、縦断線形も走行性よりは地形因子に支配される。この点が一般道路との大きな違いである。林道の縦断面図の計画勾配設計に一般に行なわれている方法は、概括的に計画線をなるべく切り取りと盛土の土量がほぼ平均され、最急勾配より緩となるように決定している<sup>26)</sup>。そこで、こういった長い経験と高度の林道技術を要する現場技術の決定方法を検討し、定式化を試み、電算プログラムにより自動的に最適な線形を決める方法を理論的に追求した。具体的には次の項目について検討し、定式化を行ない、電算プログラム化を行なった。

- 1) 切取、盛土の土量を平均させる。
- 2) 土量の流用はできるかぎり短い距離内で行なう（工費の面から）。
- 3) 制限勾配内で、極端な線形はさける。
- 4) 各測点における切取高、盛土高はある高さ以内とする。
- 5) 最終目標として制限条件を満足し、かつ工費が最小となるように平面あるいは横断も考慮した線形であること。

以上を目的として、自動的に電算プログラムにより林道の縦断面における計画勾配を決定する方法を要約すれば、

- 1) 最小自乗法による三次元回帰により全線の線形を決定する。
- 2) 同じく一次回帰により決定し、折れ点は a : 各切取高、盛土高の自乗和の最小の区間とする。b : 切取、盛土高の制限内で最長の距離とする。
- 3) 縦断面図の切取断面積と盛土断面積が等しくなるように決め、折れ点は制限内で、かつ切取高、盛

土高の制限内で最長の距離とする。

4) 横断面図より決定された、最適の計画高をもとに計画勾配を決定する。

3. 2. 2. 最小自乗法による三次回帰を全線にわたり行なう

林道の計画高を決める場合の基本として、切取量と盛土量を平均化することを基本にし、切取、盛土断面は切盛高の自乗に比例する<sup>17)</sup>と考えれば、計画高を決める場合、各測点ごとの切取高、盛土高の自乗和を最小とすように決めればよい。具体的には測点距離  $x_i$  と地盤高  $y_i$  と最小自乗法により、三次曲線と一次直線に回帰させこれを計画線とした。三次曲線をあてはめる場合は、回帰曲線を (1) 式とし、起点から終点までの測点を  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_n, y_n)$  とし、(1) 式より (2) 式を作る。これより

$$\hat{y} = A + Bx + Cx^2 + Dx^3 \dots \dots \dots (1)$$

$$\begin{cases} A + Bx_1 + Cx_1^2 + Dx_1^3 = y_1 \\ A + Bx_2 + Cx_2^2 + Dx_2^3 = y_2 \\ \dots \dots \dots \\ A + Bx_n + Cx_n^2 + Dx_n^3 = y_n \end{cases} \dots \dots \dots (2)$$

正規方程式 (3) 式を求める。

$$\begin{cases} nA + \sum xB + \sum x^2C + \sum x^3D = \sum y \\ \sum xA + \sum x^2B + \sum x^3C + \sum x^4D = \sum xy \\ \sum x^2A + \sum x^3B + \sum x^4C + \sum x^5D = \sum x^2y \\ \sum x^3A + \sum x^4B + \sum x^5C + \sum x^6D = \sum x^3y \end{cases} \dots \dots \dots (3)$$

(3) 式より係数  $A, B, C, D$  を求める。計画高  $\hat{y}_i$  は (1) 式より求まる。これと、地盤高  $y_i$  との差  $\epsilon_i$  (4) 式が求める切取高あるいは盛土高となる (Fig. 7 参照)。

$$y_i - \hat{y}_i = \epsilon_i \dots \dots \dots (4)$$

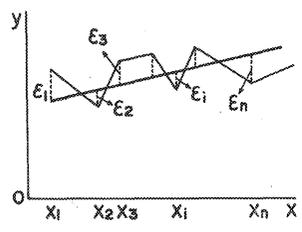


Fig. 7 縦断面における計画線決定の理論  
Theory in the design of longitudinal slope in the profile.

3. 2. 3. 最小自乗法による一次回帰の場合

一次回帰による場合は前例と同様に、各測点  $x_i$  と  $y_i$  について計画高を求めるが、初期計画高を  $b_0$ 、計画勾配を  $a$  とすれば求める計画線は (5) 式のように表わせる。

$$\hat{y} = ax + b_0 \dots \dots \dots (5)$$

これを最小自乗法により  $G = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum \epsilon_i^2$  を最小とする  $a$  を求める。すなわち、 $G$  を微分すると  $a$  は (6) 式ようになる。

$$a = (\sum x_i y_i - b_0 \sum x_i) / \sum x_i^2 \dots \dots \dots (6)$$

この場合全区間単一の勾配であることは土量の流用、地形の起伏などから考えられず、同一勾配の取り

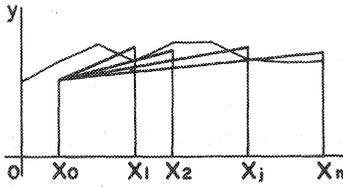


Fig. 8 縦断面の同一計画勾配区間の決定

Selection of the sections with same longitudinal slope in the profile.

得る区間について決定しなければならない。そこで、同一勾配の区間としてはブルドーザの流用距離、車両の走行を考慮地形に合った区間を電算機により選択させ、決定することを試みた。Fig. 8のごとく測点 ( $X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n$ ) までの何種類かの区間距離  $l_1, l_2, \dots, l_j, \dots, l_n$  について、切取り、盛土高の2乗和(推定分数)の  $m$  当たりの量(7)式により求め、この最小の区間を選び、この区間の勾配が最も切盛が小さく地形に合った望ましい勾配である。

$$S^2 = \sum \varepsilon_i^2 / l_j = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 / l_j \dots\dots\dots (7)$$

あるいは、切取高、盛土高の制限を与え、 $S_1 \sim S_2$ 、この範囲で最長の距離を選ぶ方法も行なった。

$$S_1 < y_i - \hat{y}_i < S_2 \dots\dots\dots (8)$$

3. 2. 4. 積分法による勾配の決定

縦断面図において、ある区間について、切取断面と盛土断面が等しくなるように計画勾配を決定すれば、もっとも切取と盛土がよくバランスのとれたものとなるようと考え、定式化を行ない電算プログラム化を行なった。

Fig. 9 のように基準の測点からの距離を  $x$ 、地盤高を  $z$ 、計画高を  $y$ 、計画勾配を  $a$ 、切取高を  $f$ 、切取断面積を  $F$ 、 $i$  番目の測点を  $(x_i, y_i)$  とし、測点  $x_1$  より  $x_n$  までの区間について、それぞれの  $x$  における値は(9)、(10)、(11)式のごとく  $x$  の関数として表わされる。

$$z = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} x + \frac{y_i \cdot x_{i+1} - x_i \cdot y_{i+1}}{x_{i+1} - x_i} \quad (i=1, n-1) \dots\dots\dots (9)$$

$$y = a \cdot x + b_0 \dots\dots\dots (10)$$

$$f = z - y = \left( \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} - a \right) x + \left( \frac{x_{i+1} \cdot y_i - x_i \cdot y_{i+1}}{x_{i+1} - x_i} - b_0 \right) \quad (i=1, n-1) \dots\dots\dots (11)$$

Fig. 9 における切取断面  $F$  は、(11) 式の  $f$  の  $x$  について  $x_1$  より  $x_n$  までの区間を積分することにより求まる。

そこで、(11) 式において  $A_i = (y_{i+1} - y_i) / (x_{i+1} - x_i) - a$ 、 $B_i = (x_{i+1} y_i - x_i y_{i+1}) / (x_{i+1} - x_i) - b_0$  とおけば、 $f = A_i x + B_i$  となり区間  $x_1$  より  $x_n$  までの総切取断面  $F$  は以下のようなになる。

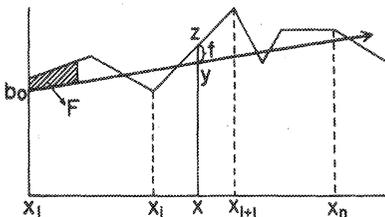


Fig. 9 積分法による縦断計画勾配の決定

Design of the longitudinal slope with a use of integration.

$$\begin{aligned} F &= (CA - BA) = \int_{x_1}^{x_n} f dx = \sum_{i=1}^{n-1} \int_{x_i}^{x_{i+1}} f dx \\ &= \sum_{i=1}^{n-1} \left\{ (A_i x + B_i) dx \right\} = \sum_{i=1}^{n-1} \left[ \frac{A_i}{2} x^2 + B_i x + C \right]_{x_i}^{x_{i+1}} \\ &= \sum_{i=1}^{n-1} \left\{ \frac{A_i}{2} (x_{i+1}^2 - x_i^2) + B_i (x_{i+1} - x_i) \right\} \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

ここで  $CA - BA = 0$  とする計画勾配  $a$  を求めるわけであるが、まず  $B_i$  は定数として扱えるので、 $A_i$  について  $(y_{i+1} - y_i) / (x_{i+1} - x_i) = a_i'$  とすれば  $A_i = a_i' - a$  となり、さらに(12)式について  $B_i' = B_i (x_{i+1} - x_i)$ 、 $C_i' = (x_{i+1}^2 - x_i^2)$  とすれば、(12)式は次のように変形でき

る。

$$F = \sum \left\{ \frac{1}{2} (a_i' - a) \cdot C_i' + B_i' \right\}$$

$$= \sum \left\{ \frac{1}{2} a_i' \cdot C_i' - \frac{1}{2} a \cdot C_i' + B_i' \right\} \dots \dots \dots (12')$$

したがって、 $F=0$  とする計画勾配  $a$  の値は、(12') 式より

$$a = (\sum a_i' C_i' + 2 \sum B_i') / \sum C_i' \dots \dots \dots (13)$$

(13) 式により計画勾配が計算され、もとの式にもどせば (13') 式ようになる。

$$a = \left\{ \sum_1^{n-1} (y_{i+1} - y_i) (x_{i+1} + x_i) + 2 \sum_1^{n-1} (x_{i+1} y_i - x_i y_{i+1} - b_0 x_{i+1} + b_0 x_i) \right\} /$$

$$(x_n^2 - x_1^2) \dots \dots \dots (13')$$

### 3. 3. 土工横断面の決定

#### 3. 3. 1. 概 略

従来行なわれている林道の土工横断面の設計方法を概略述べれば、まず横断測量の結果に基づいて地盤の形状を図に示し、縦断面図より求めた切取および盛土高を基に施工基面を描き、路肩より土質工種に依り、切取、盛土、石積、擁壁等の法を入れ、切取および盛土断面積、芝付、石積、擁壁等の数量を調べ修了する<sup>27)</sup>。これら一連の作業は比較的単純でありながら、林道設計の業務の中で大きなウエイトを占めていることは論をまたない。そこで当然、この作業を電算機を用いて機械化、省力化が試みられているが、その多くは計算過程の電算化が多い。そこで、上記工程の自動化を考えその流れ図を示せば、Fig. 10 のようになる。

林道の土工横断面図の設計のシステム化をすすめるに当たり、著者は林道設計の中で次のことを目的とした。

- 1) 地形因子のデータの把握は問題があるが、従来の測量方法の改良を含めて横断測量方法の簡略化を行なう。
- 2) 土工横断面における施工基面あるいは法勾配、法止工等の設計を合理的かつ自動的に電算機を用いて行なう。
- 3) さらに諸設計数量の計算の電算プログラム化を行なう。
- 4) 土工横断面の設計結果を自動的に作図する電算プログラムを開発する。

#### 3. 3. 2. 従来行なわれている方法の電算化

前述した一般に行なわれている設計方式の、電算機により行なえる部分の計算の電算プログラム化で、林道事業示方書<sup>29)</sup>の方式をそのまま電算プログラム化したもので、過去に2、3の実施例があるが<sup>35)42)</sup>、たとえば土量についても平均断面積と区間距離の積により求めることで、これは後の計算にもこのまま用いられる。これはいうまでも

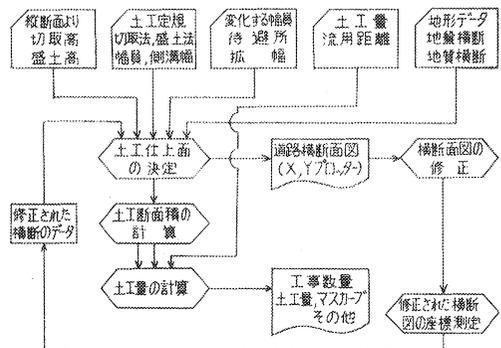


Fig. 10 電算機による土工横断面設計の流れ図  
Flow chart of the design in the road cross section with electronic computation.

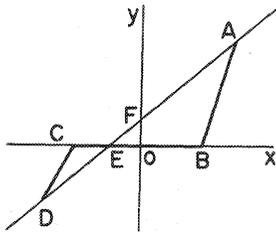


Fig. 11 土工横断面図  
Road cross-section view.

なく、それぞれの局、県によって計算の方式が異なる。この場合の土工設計は技術者が行なう。

3. 3. 3. 土工横断面図のモデル化

電子計算機によって、自動的に土工横断面を設計させる電算プログラムを開発することは、前述の方法をさらに進めて、土工横断面の設計とその諸数量計算から製図までを行なわせる方法で以下に述べる。

土工横断面図を模式的に示すと Fig. 11 のとおりで、各点を断面積および設計のため X-Y 座標値として表わした。まず道路施工路面の中心を原点 (O) に置き、右に右側道路幅員をとった路肩 (B) をとり、Bより所定の法勾配と地盤線の交点 (法頭) を A とする。同じように C 点法尻 (法頭) D, 路線の地盤中心 (F), 路面と地盤の交点を E とする。それぞれの座標値は (x, y) と表現される。

次に座標値を求めるのであるが、地盤線は模式的に表わしたため路線を中心に単一の勾配で表現した。これは詳細設計の段階で修正できること、また林道の場合一般道路に比べ幅員が狭いこと、計算を単一化しやすいこと、空中写真のデータを用いやすい等によりこの表現法を用いた。その他の因子についての変数名とその値による意味は Table 7 のように表わせ、Fig. 11 の地山 (AD), 法 (CD), (AB), 施工基面 (BC) は (1) 式より (4) 式まで表わせる。

$$-ax + y = v \dots\dots\dots (1)$$

$$\rho_1 x - y = \rho_1 l_1 \dots\dots\dots (2)$$

$$\rho_2 x - y = \rho_2 l_2 \dots\dots\dots (3)$$

$$y = 0 \dots\dots\dots (4)$$

Fig. 11 の各点 A, B, C, D, E, F の座標値は上式によって計算され、(5) 式のように表わされる。

$$\begin{cases} Ax = (v + \rho_2 l_2) / (\rho_2 - a) \\ Ay = (v \rho_2 + a \rho_2 l_2) / (\rho_2 - a) \end{cases} \quad \begin{cases} Bx = l_2 \\ By = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} Cx = l_1 \\ Cy = 0 \end{cases} \dots\dots\dots (5)$$

$$\begin{cases} Dx = (v + \rho_1 l_1) / (\rho_1 - a) \\ Dy = (v \rho_1 + a \rho_1 l_1) / (\rho_1 - a) \end{cases} \quad \begin{cases} Ex = -v/a \\ Ey = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} Fx = 0 \\ Fy = v \end{cases}$$

以上の座標値をもとに土工横断面図の設計計算を行なう。

Table 7. 土工横断面図における変数の表現法  
Expression of variables in the road cross section

	正 (+)	負 (-)
a (地盤勾配)	右 上 り	右 下 り
v (切取盛土高)	切 取 高	盛 土 高
$\rho_1$ (左 法)	盛 土 法	切 取 法
$\rho_2$ (右 法)	切 取 法	盛 土 法
$l_1$ (中心線より左路幅)	—	負
$l_2$ (中心線より右路幅)	正	—
pl (拡 幅)	右側拡幅	左側拡幅

3. 3. 4. 土工横断面図の電算プログラムによる設計

電算プログラムによって自動的に土工横断面図を設計し、諸数量を計算するためには、与えられたデータによりタイプに分けて考える必要がある。そこで土工横断面図を模式的に Fig. 12 のごとく 1 型：盛土だけの型、2 型：切取だけの型、3 型：片切片盛で左側が盛土の場合、4 型：同じく右側が盛土の場合、の 4 つの型に分ける。この方法はまずあらかじめ、土工定規のデータ、道路幅員、切取、盛土法

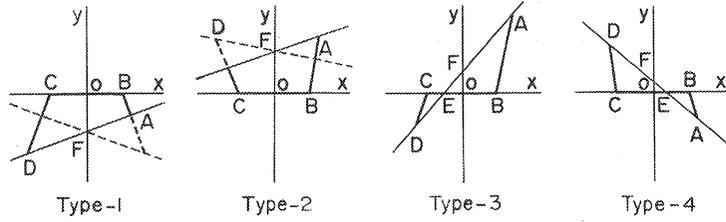


Fig. 12 土工横断面の標準の型  
Standard types of the road cross-section.

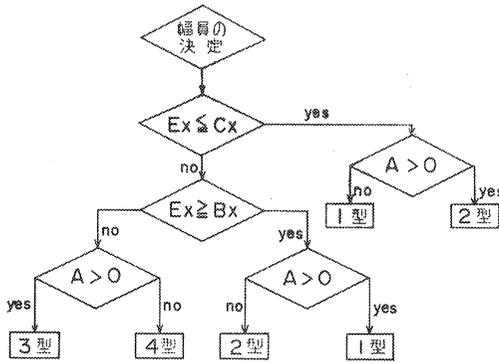


Fig. 13 土工横断面図の型の分類  
Classification of types of the road cross-sections.

Table 8. 土工横断面図の型による各因子の値  
Value of each factor in the road cross-section type

タイプ (N)	1	2	3	4
側溝 (SOK)	0.0	2.0	1.0	1.0
左側法勾配 (ROUL)	+GB	-GC	+GB	-GC
右側法勾配 (ROUR)	-GB	+GC	+GC	-GB
左路肩座標 (SL)	AL 1+SDD	AL 1	AL 1+SDD	AL 1
右路肩座標 (SR)	AL 2-SDD	AL 2	AL 2	AL 2-SDD

勾配, 擁壁法勾配を与えて, 各測点ごとに地山勾配のデータ, 切盛高により上記4つの型に分ける。具体的には測点ごとにまず(5)式より  $Ex, Bx, Cx$  を求め, Fig. 12 からわかるように  $Ex, Bx$  を比較し,  $Ex$  が  $Bx$  より大きい場合で地山勾配 ( $a$ ) が正の場合は1型,  $a$  が負の場合は2型,  $Ex$  が  $Cx$  より小さく  $a$  が正の場合は2型,  $a$  が負の場合は1型,  $Ex$  が  $Bx$  と  $Cx$  の間にあり  $a$  が正の場合には3型, 負の場合は4型にそれぞれ測点の横断土工の型が分類される (Fig. 13 参照)。次に, これにしたがって側溝数あるいは法勾配の値は, 型にしたがって Table 8 のごとく決まる。なお, GB, GC, SDD, AL 1, AL 2 は土工定規からの盛土, 切取法勾配, 側溝上幅, 側溝を含んだ左および右法尻座標値を示す。

以上により決定された法勾配は, 地山勾配よりゆるい場合には Fig. 12 からわかるように地盤と交わらずに, いわゆる法が止まらない場合が起りうる。この場合には何らかの法止工を施工しなければならない。こういった擁壁の設計の有無, 設計までをも電算プログラムした。

### 3. 3. 5. 諸設計数量の電算プログラム

以上各因子の値が計算され, タイプに分けられると座標値が決定される。Fig. 12 の ABCD の面積 (SS), 三角形 ABE の面積 (SA), 同じく CDE の面積 (SB) とすれば, それぞれの面積は (5) 式か

Table 9. タイプ別による切取, 盛土区分  
Classification between cut and fill among the different types

タイプ (N)	1	2	3	4
切取断面積 (CA)	0.0	SS	SA	SB
盛土断面積 (BA)	SS	0.0	SB	SA
切取法長 (CL)	0.0	AB+CD	AB	CD
盛土法長 (BL)	AB+CD	0.0	CD	AB

らの各座標値をもとに (6) 式から (8) 式によって求まる。

$$SS = \{ |(Ay+Dy) \times (Ax-Dx)| - |(Ax-Bx) \times (Ay-By)| - |(Cx-Dx) \times (Dy-Cy)| \} / 2.0 \dots\dots\dots (6)$$

$$SA = |(Bx-Ex)Ay| / 2.0 \dots\dots\dots (7)$$

$$SB = |(Ex-Cx)Dy| / 2.0 \dots\dots\dots (8)$$

法長 (AB), (CD) は (9), (10) 式により求まる。

$$AB = \sqrt{(Ax-Bx)^2 + Ay^2} \dots\dots\dots (9)$$

$$CD = \sqrt{(Cx-Dx)^2 + Dy^2} \dots\dots\dots (10)$$

これら値についての切取, 盛土の区分は Fig. 12, Table 8 からわかるように, 型により Table 9 に示すような値をとる。

土工数量計算の手順は前述した示方書にもとづいた方法によった。林道の土工設計の中で数量計算も多くの時間を要するが, なお, 各測点ごとにおける横断土工図の作製はさらに時間を要する。したがって, 土工横断の自動設計においても, この横断面図の作製までを行なった。また, 土工数量計算結果のマスクアップ図の作製についても行なった。

上述の横断面における各点は座標値として表現したので, この値を図点に表わし, それを相互に線で結ぶことにより作図が可能である。印字装置であるライプリンタにより図化を試みた。また, 電子計算機の付属機のXYプロッタ, あるいは自動製図機に対しての電算プログラムをも作製した。

### 3. 4. 最適土工横断面図

#### 3. 4. 1. 最適土工基面の決定

縦断面の計画高あるいは計画勾配を決定する場合に, 横断面の形状を無視しては行ないえず, また横断面だけでももちろん行なえない。この両者あるいは平面線形をも含め相互に関連して, 一つの林道としての設計が完成される。現場におけるこの考え方は, 技術者個人の能力により, 個々の横断面図を検討し, その上で隣接との関連を考分析検討し, 縦断計画勾配を決定している。

自動設計における電算プログラムにおいては縦断計画高の決定に当たり, 各測点ごとの横断面図に着目し, 個々の横断面図のデータをもとに, そこにおけるもっとも適切とする土工基面を設計し, そのときの切取あるいは盛土高をその測点における最適の切盛高とした。ここでは, 各測点における最適とする土工基面の決定に対する考え方について述べる。まず Fig. 14 のような横断面図を考えてみた場合, 工費の面あるいは作設後の路面にとってもっとも望ましい状態は, 盛土と切取土がバランスがとれていることである。つまり Fig. 14 のように切取断面を SA, 盛土断面を SB, 流用率を K1 としたとき  $SA = K1 \cdot SB$  とする切盛高 (v) を求めることである。まず 3. 3. で述べた座標値, その他の符号を用いて, 各値を

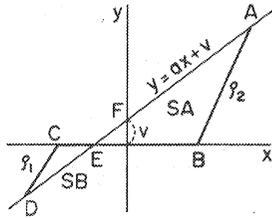


Fig. 14 切取と盛土のバランスのとれた土工横断面図  
Road cross-section with a balance between cutting and banking.

計算すれば (1) 式から (6) 式までのようになる。

$$SA = (Bx - Ex) \cdot Ay / 2 \quad (1)$$

$$SB = (Cx - Ex) \cdot Dy / 2 \quad (2)$$

$$Ay = (\rho_2 \cdot v/a + \rho_2 \cdot l_2) / (\rho_2/a - 1) \quad (3)$$

$$Dy = (\rho_1 \cdot v/a + \rho_1 \cdot l_1) / (\rho_1/a - 1) \quad (4)$$

$$Ex = -v/a \quad (5)$$

$$Cx = l_1, \quad Bx = l_2 \quad (6)$$

ここで (3), (4) 式を (5), (6) 式により  $Ex, Bx, Cx$  を用いて変形すれば

$$Ay = \frac{\rho_2 \cdot v/a + \rho_2 l_2}{\rho_2/a - 1} = \frac{v/a + l_2}{\frac{1}{a} - \frac{1}{\rho_2}} = \frac{-Ex + Bx}{\frac{1}{a} - \frac{1}{\rho_2}} \quad (7)$$

$$Dy = \frac{\rho_1 \cdot v/a + \rho_1 l_1}{\rho_1/a - 1} = \frac{v/a + l_1}{\frac{1}{a} - \frac{1}{\rho_1}} = \frac{-Ex + Cx}{\frac{1}{a} - \frac{1}{\rho_1}} \quad (8)$$

ここで  $K2 = \frac{1}{a} - \frac{1}{\rho_2}$ ,  $K3 = \frac{1}{a} - \frac{1}{\rho_1}$  とおき (1), (2) に代入し整理すれば,

$$SA = \frac{1}{2} \cdot \frac{(Bx - Ex)^2}{K2}, \quad SB = \frac{1}{2} \cdot \frac{(Cx - Ex)^2}{K3} \quad (9)$$

$SA = K1 \cdot SB$  に (9) 式を代入すると

$$(Bx - Ex) = \pm \sqrt{\frac{K1 \cdot K2}{K3}} \cdot (Cx - Ex) \quad (10)$$

$K4 = \pm \sqrt{\frac{K1 \cdot K2}{K3}}$  とおき,  $Ex$  について解けば

$$Ex = \frac{K4 \cdot Cx - Bx}{K4 - 1} \quad (K4 \neq 1) \quad (11)$$

$K4$  については  $Ex$  が (12) の範囲にはいる値を採用する。したがって切取高 ( $v$ ) は (5) 式より (13) 式のように求まる。

$$Cx < Ex < Bx \quad (12)$$

$$v = -Ex \cdot a \quad (13)$$

したがって, 最適とする土工横断面図の形が求まる。

さて, 切取と盛土がバランスをとることが望ましいが, 地盤傾斜の関係から非常に法長が長くなってしまふ場合が生ずる。これは路面, 路体の安全に望ましくない。そこで, 上述で決定された土工断面において法長が  $KL$  より大きくなった場合には, 法長は安定のある長さ  $KL$  にとめることが望ましく, この時の切盛高はより適切である。そこで, この切盛高 ( $v$ ) を求めればよい。Fig. 15 において, (14), (15)

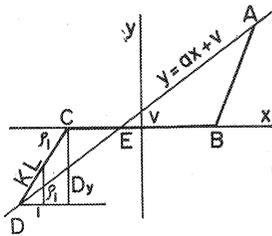


Fig. 15 法長 (KL) に対する切盛高 (v)  
Heights of cutting or banking for the  
slope length (KL).

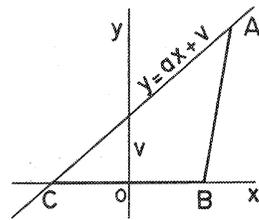


Fig. 16 全切の場合の切取高 (v)  
Cutting height for all cutting.

式となり  $Dy$  の値が求まり、(4) 式から、このときの切盛高 (v) は (16) 式のように求まる。同様にして  $a$  が負の場合には (17) 式になる。

$$-KL/\sqrt{1+\rho_1^2} = Dy/\rho_1 \dots\dots\dots(14)$$

$$Dy = -\frac{KL}{\sqrt{1+\rho_1^2}} \cdot \rho_1 \dots\dots\dots(15)$$

$$v = Dy \times (1 - a/\rho_1) - a \cdot l_1 \dots\dots\dots(16)$$

$$v = Ay \times (1 - a/\rho_2) - a \cdot l_2 \dots\dots\dots(17)$$

さらにもう一つの例として地盤傾斜が急峻なる場合、盛土がきかない場合が考えられる。この場合、通常、擁壁などの土止工を施すが、工費の面では盛土を作らず、切取だけで路面をもたせることがより適切であると考えられる。この場合の切取高(v)は全切とするのがもっとも適切と考えられる。地盤傾斜(a)が正の場合は Fig. 16 のようになり、地盤線が  $Cx$  と一致したときの  $v$  であるから、地盤線の式 ( $y = ax + v$ ) に  $Cx$  の座標値 ( $l_1, 0$ ) を代入して (18) 式のようになり、同様に  $a$  が負の場合は (19) 式のようになる。

$$v = -a \cdot l_1 \dots\dots\dots(18)$$

$$v = -a \cdot l_2 \dots\dots\dots(19)$$

林道の場合、単独に横断面図をみた場合通常考えられないのであるが、土止擁壁などの構造物を作ることがより工費的に安いという場合を除いて、最適とする土工横断面の形状をまとめれば Fig. 14; 切取、盛土の変化率を考慮したバランスのとれ、しかも盛土法長が一定の値  $KL$  (たとえば 5m) を越えない形, Fig. 15; 盛土が可能であるがその法長が  $KL$  を越えたため、法長を  $KL$  として決定された形, Fig. 16; いわゆる盛土のきかない横断面で全切により地山に路面をのせた方がよい形、の 3 種になるが、これらはいずれも、盛土法と地盤傾斜の関係から決まってくる。

3. 4. 2. 平面路線変更 (修正) への応用

前述により求められた最適土工横断面の考え方を、平面の路線変更 (修正) に用いてみよう。この路線変更 (修正) とは路線選定の場合と、一度選定の終わった後に行なう路線変更の場合があるが、この場合に横断面の形状によりどのくらい左右に移動すればよいかを、前述した最適土工横断面の考え方を応用してその移動距離を求め、路線をいかに移動したら最適の路線が決定されるかを検討し、電算プログラム化した。つまり平面において、路線を移動することにより、最適な線形を得ようという試みである。

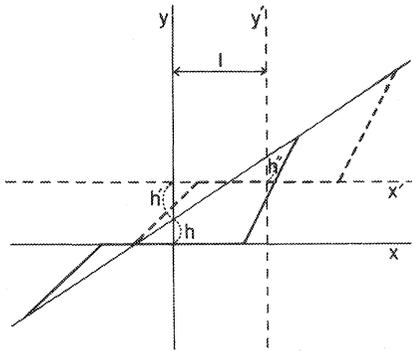


Fig. 17 横断面における路線の変更  
Correction of the center in the cross-section.

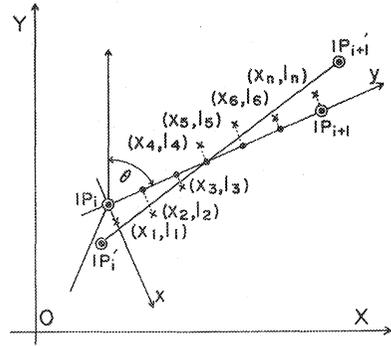


Fig. 18 平面図における路線変更 (修正)  
Correction of the route in the alignment.

そこでまず、横断面図データから先の手法により、測点の最適とする切取、盛上高を求め、Fig. 17 のようにこれを  $h$  とする。縦断面図より決定された切盛高を  $h'$  とする。そこで、この  $h$  と  $h'$  が等しくなることが望ましく、このためには  $h=h'$  となるように、Fig. 17 のようにセンタ  $y$  を  $y'$  に移動すればよく、このときの移動距離 ( $l$ ) が求める値である。

このようにして各測点 ( $x_i$ ) ごとにその測点における移動距離  $l_i$  が求まる。この ( $x_i, l_i$ ) を座標値として図に表わせれば、Fig. 18 のようになる。そこで、この新しい測点の座標の連続 ( $x_1, l_1$ ), ( $x_2, l_2$ ), …… ( $x_n, l_n$ ) を  $IP_i$  と  $IP_{i+1}$  の間について一次回帰させ、これを変更路線とした。

このようにして各 IP ごとに一次回帰式を求め、つぎにこの交点を新しい変更路線の IP 点にするわけで、この新しい IP 点の座標値を求める。それには Fig. 18 のように、IP 間を  $y$  軸にした座標系を基本座標 ( $X, Y$ ) に変更する。

まず変更路線を (20) 式とし、この変換を (21) 式変換マトリックスにより求めると、それは (22) 式のようになる。

$$y = A_1 x + B_1 \dots\dots\dots (20)$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \text{ (変換マトリックス)} \dots\dots\dots (21)$$

$X = x \cos \theta - y \sin \theta$ ,  $Y = x \sin \theta + y \cos \theta$  となり、これを (20) 式に代入して整理すれば、

$$y = \frac{A_1 \cos \theta - \sin \theta}{A_1 \sin \theta + \cos \theta} x + \frac{B_1}{A_1 \sin \theta + \cos \theta} \dots\dots\dots (22)$$

この場合  $\theta$  は方位角である。 $A_2 = (A_1 \cos \theta - \sin \theta) / (A_1 \sin \theta + \cos \theta)$ ,  $B_2 = B_1 / (A_1 \sin \theta + \cos \theta)$  とすれば、(22) 式は  $y = A_2 x + B_2$  となり、これをさらに基本座標 ( $XIP_i, YIP_i$ ) だけ平行移動する。それには  $x = X - XIP_i$ ,  $y = Y - YIP_i$  を代入し整理すると (23) 式のようになる。

$$y = A_2 \cdot x + B_2 - A_2 \cdot XIP_i + YIP_i \dots\dots\dots (23)$$

$A_3 = A_2$ ,  $B_3 = B_2 - A_2 \cdot XIP_i + YIP_i$  を代入すれば

$$y = A_3 \cdot x + B_3 \dots\dots\dots (23')$$

各 IP 間ごとに (23) 式を求め、変更 IP 点は交点として求める。 $IP_i$  についての (23') 式の  $A_3 = AIP_i$ ,

$B_0=BIP_i$ ,  $IP_{i+1}$  について  $A_0=AIP_{i+1}$ ,  $B_0=BIP_{i+1}$  とすれば, それぞれ (24), (25) 式のようになり, 交点を求めれば (26), (27) 式ようになる。

$$y=AIP_i \cdot x+BIP_i \dots\dots\dots(24)$$

$$y=AIP_{i+1} \cdot x+BIP_{i+1} \dots\dots\dots(25)$$

$$x=(BIP_{i+1}-BIP_i)/(AIP_i-AIP_{i+1})=XXIP_i \dots\dots\dots(26)$$

$$y=AIP_i \cdot XXIP_i+BIP_i=YYIP_i \dots\dots\dots(27)$$

Fig. 18 における変更後の測点の旧測点よりの移動距離 ( $yl_i$ ) は, (20) 式にそのときの  $xl_i$  を代入して, (28) 式により求まる。

$$yl_i=A_1 \cdot xl_i+B_1 \dots\dots\dots(28)$$

このときの修正地盤高 ( $SHSOKU$ ) は (29) 式, 修正切盛高 ( $AAS_i$ ) は (30) 式のようになる。

$$SHSOKU_j=A_i \cdot yl_i+HSOKU_j \dots\dots\dots(29)$$

$$AAS_j=SHSOKU_j-DEH_2_j \dots\dots\dots(30)$$

以上により変更路線についての IP, 測点, 地盤高, 切盛高の値が求まる。

### 3. 4. 3. 縦断面の計画勾配決定への応用

最適土工横断面の考え方によって決定された切盛高を  $v$  とすれば, その測点だけを考えた場合の望ましい計画高がおのずと決まってくる。望ましい計画高 ( $HY$ ), 地盤高 ( $HSOKU$ ) とすればそれは (31) 式のように求まる。

$$HY_i=HSOKU_i-V_i \dots\dots\dots(31)$$

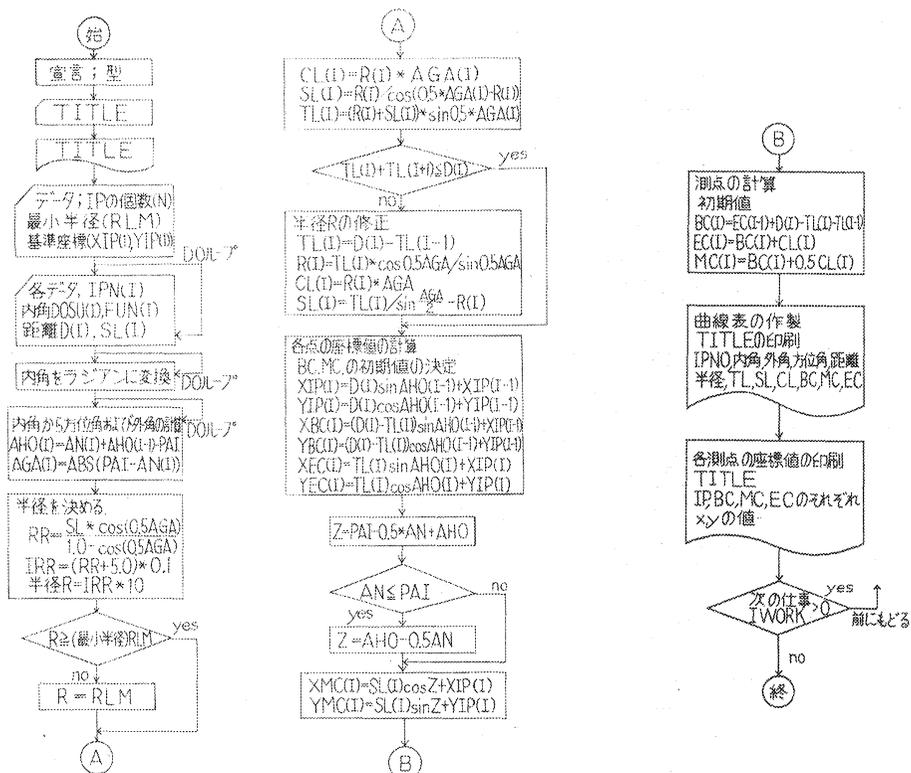
したがって, 計画線はできるだけこの計画高に合うように計画勾配を決定すれば, 3. 2. で考えた地盤高そのものをデータとして用いるより, より適切である。つまり 3. 2. 節で行なった方法について, この計画高を地盤高のデータとして用いればよい。

## 4. 林道設計の電算プログラム

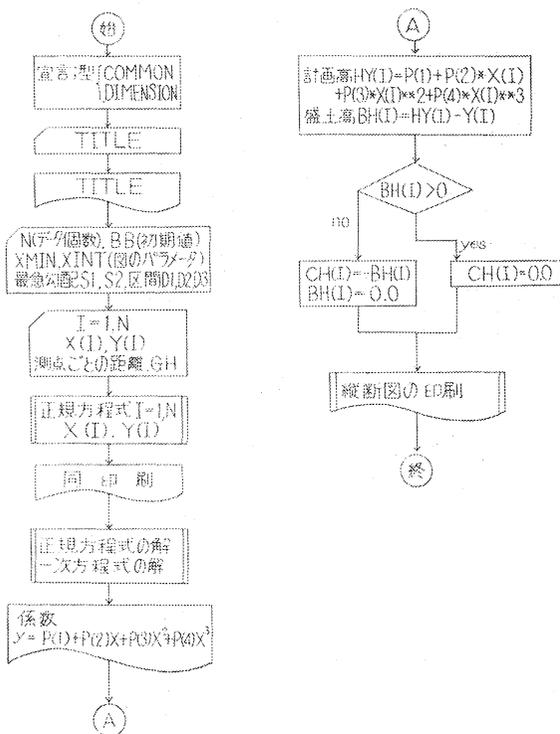
### 4. 1. プログラムの流れ図

これまで林道設計を電子計算機により, 自動的に行なう上での基本的考え方理論について論じてきたが, これを具体的に電子計算機によって行なうためには, プログラムに書き表わさねばならない。その上ではじめて林道設計を, 電子計算機を用い自動的に行なうことが可能である。部分的には一部記載したが, 章の各節で述べたことを, 電子計算機のプログラムに従って全体的に流れ図により示す。

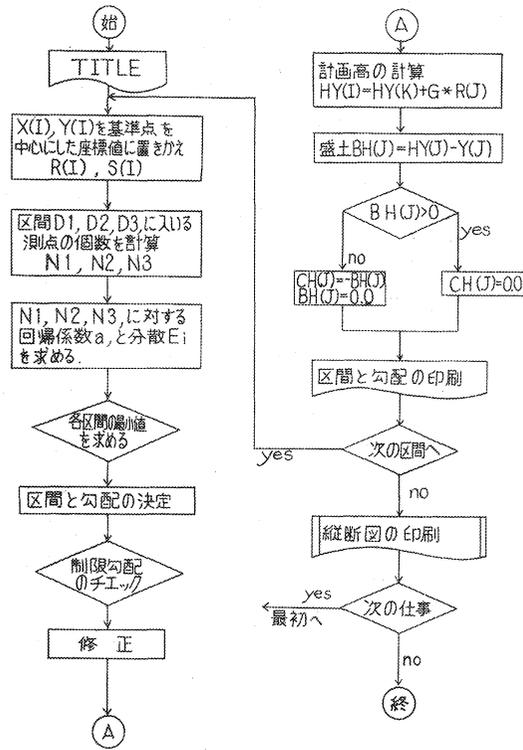
#### 4. 1. 1. 平面線形の決定



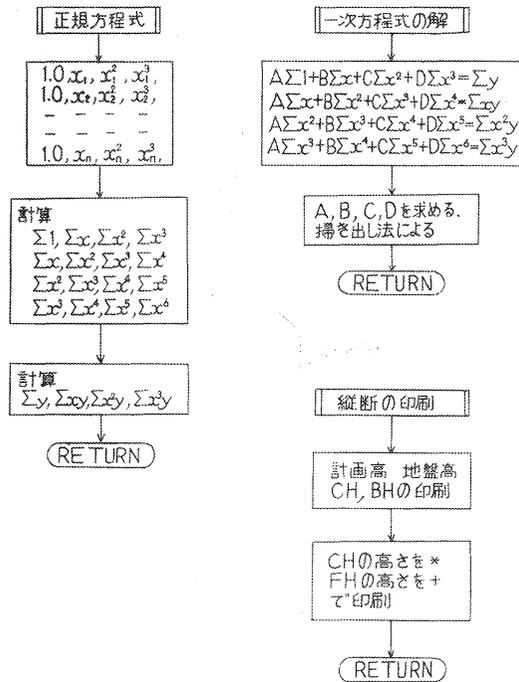
4. 1. 2. 縦断面の決定 (三次曲線回帰による場合)

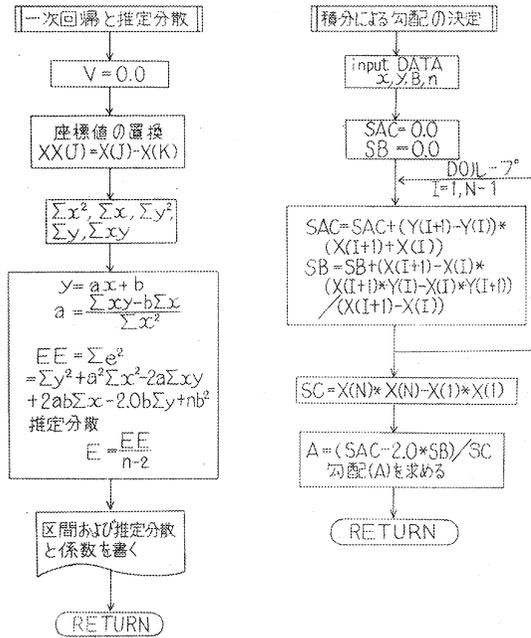


[一次回帰による場合]

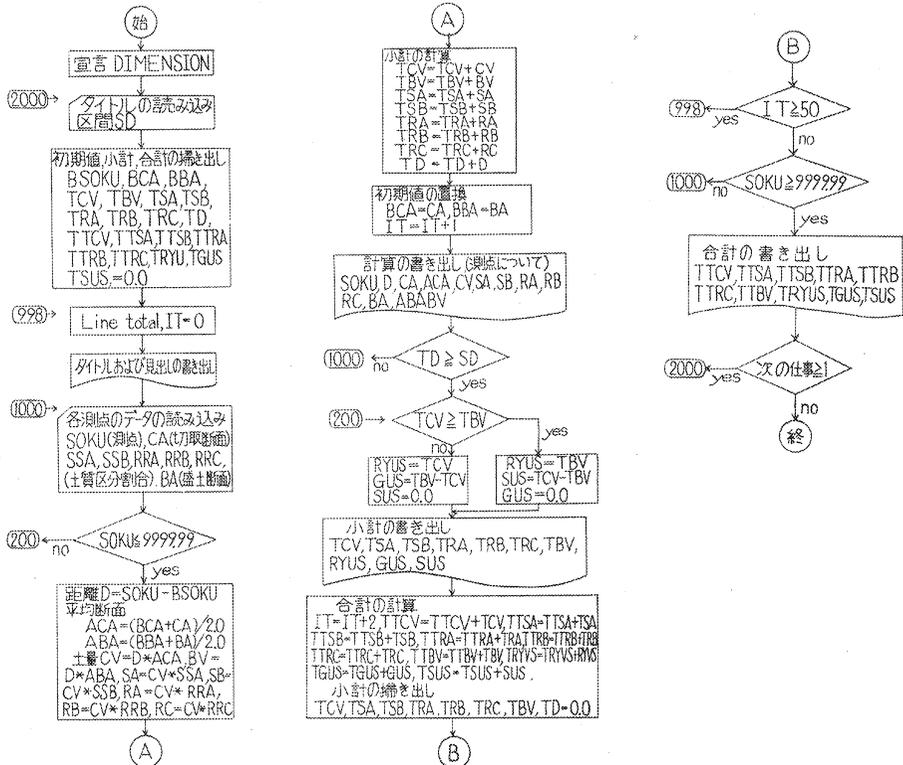


[副プログラム]

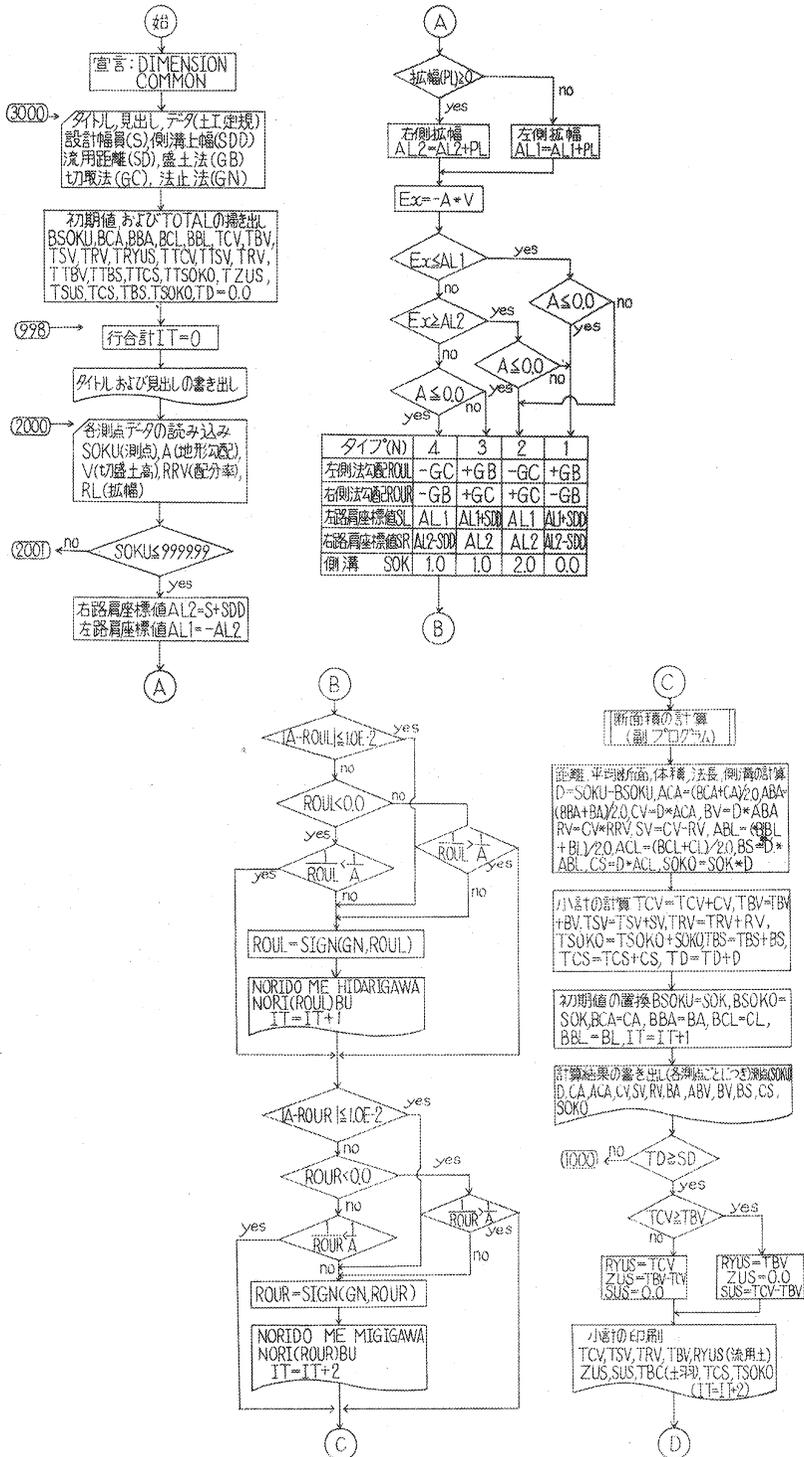




4. 1. 3. 土工横断面図および土工数量計算

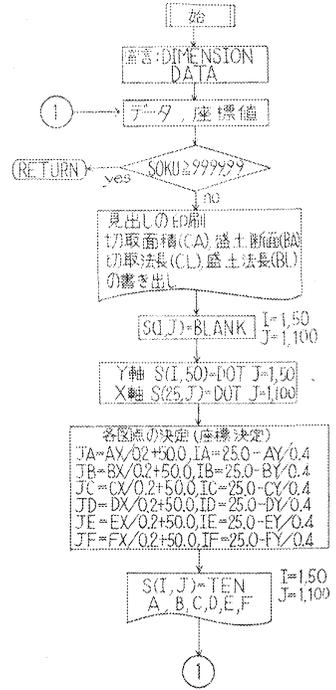
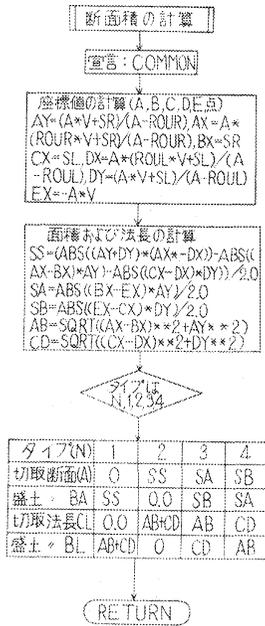
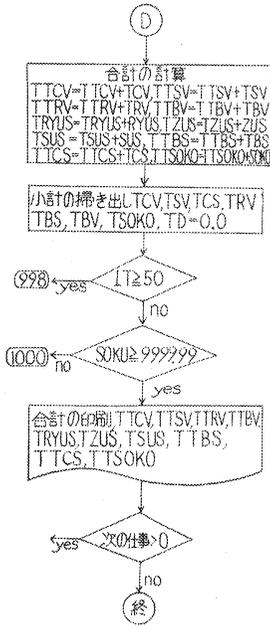


4. 1. 4. 土工横断面の設計および断面積の計算を含む土積計算

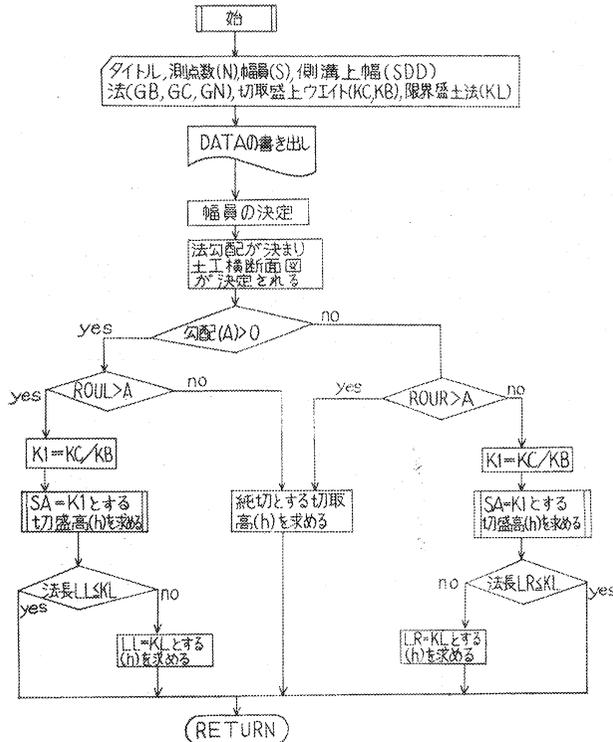


〔副プログラム〕

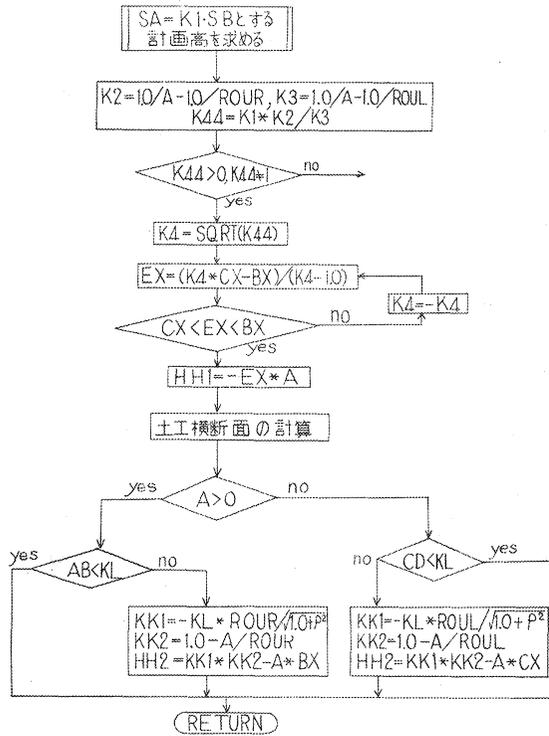
〔横断面図の図化〕



4. 1. 5. 最適横断面の決定



[副プログラム]



4. 2. 電算プログラム

以上の流れ図に従って電算プログラムした。各作業別に付表プログラムリストに示す。なお各作業と

DATA SHEET  
林道設計総合プログラムデータ WRITTEN BY H. Kobayashi PAGE \_\_\_\_\_ OF \_\_\_\_\_

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	*****	HAKUON RINDOU	*****	HOKKAIDOU	BY H. KOBAYASHI	----	(AA)(DD)																		
	15.0	8.0	100.0	100.0																					
	(R1)(D)	(DOL)(D)	(XIP)(D)	(YIP)(D)																					
	18	(A1)																							
		40.1	0.1	0.0																					
	2	269.	30.	33.40																					
	3	(IPNO)	90.	(DOSKD)38.	(FUNI)158.62																				
	18		180.	0.	36.76																				
		73	(N2)																						
			(SOKUJ)	(HSOKUJ)																					
	1	0.0	166.84	200.0	5.0	0.0																			
	2	10.0	169.88	7.0	0.0	0.0																			
	3	(STANG)	20.0	171.20	22.9	(AD)0.0	(PLJ)0.0	(RRV)0.0																	
	73		806.71	222.97	2.54	0.0	0.0																		
		(M1)	5	(M2)	10																				
			(HYI)																						
	106.23	0.12	(S1)	0.09	(S2)																				
	2.0	(S)	0.5	(SD)	0.0	(SD)	1.0	(GB)	0.8	(GC)	0.3	(GN)													
	11.1	(H)	10.0	(IND)	0.2	(INT)																			

Fig. 19 データの書き方  
How to write input data.

Table 10. データとして用いた変数とその意味  
Explanation of variables of the data

記号	説 明
AA(I)	林道名, 地名等のタイトルで何を書いても可, 1カラムに1を入れる。
RLM	平面線形に関するデータ, 最小半径である。
DOLM	平面線形に関するデータ, 曲線半径を与える限界の角度でこれ以下は三角カーブ。
XIP(1), YIP(1)	平面線形の座標計算のための基準となる起点の (X, Y) の座標値。
N1	IP 点の数, Iタイプである。
IP No.	IP のナンバーをしるし, 便宜上つけ変数とはならない。
DOSU(1), FUN(1)	交角法による角度で度と分を別々に与える。
D(I)	IP 間距離, m単位である。
N2	測点の数, Iタイプ。
STANO.	測点のナンバーで, 便宜上つけ変数とはならない。
SOKU(J)	起点からの距離, m単位。
HSOKU(J)	測点についての地盤高, m単位。
A(J)	測点についての地盤勾配, 割分単位。右下りのとき負, 右上がりのとき正。
PL(J)	幅員の拡幅, 右側拡幅のとき正, 左側のとき負, m単位。
RRV(J)	土質割合, 岩の割合。
M1, M2	縦断勾配決定のときに用いられる区間選定の範囲を示す, Iタイプ。
HY(1)	縦断計画高の決定の場合の起点の計画高, m単位。
S1, S2	縦断勾配決定の場合のコントロールカードで制限勾配の最大, 最小を示す。
S	これより横断面のコントロールデータで土工定規の標準幅員の 1/2 の値を示す, m単位。
SDD	同じく側溝の上幅を示す。
SD	流用盛土の計算に用いられる流用区間を示す。これより大きい値は運搬盛土である。
GB, GC, GN	土工定規における盛土法勾配, 切取法勾配, 法止法勾配を示す。
F	これよりマスカーブ作製のためのデータでこれは流用係数である。
XINT	マスカーブ図における体積についての一単位の値を示す。
YINT	同じく切取高, 盛土高の一単位の値を示す。
IWORK	計算が一組の場合は 0, その他の場合は 1 以上を書く, Iタイプ。

も, 一度電子計算機に計算したものを記載した。

#### 4. 3. プログラムデータの書き方

林道設計に関する総合プログラムデータの書き方は, Fig. 19 のとおりである。各変数の意味および注意すべき点は, Table 10 のようである。路線についての測量を必要とするデータで, この値を与えるのみで全設計が行なわれる。

### 5. 電子計算機による林道の設計例

#### 5. 1. 予定路線の概要と計算方法

以上述べた考え方にしたがって組み立てられた林道の総合設計プログラムにより, 実際の林道の予定路線を電子計算機により設計を行なった。もちろん, プログラムの開発途中においては, 数多くの設計事例を計算しかつ比較検討し, プログラムを修正改良してきたのであるが, それを総合したシステムのプログラムとした場合の検討, あるいは部分的な問題などを主として述べたい。

2章において述べたとおり, この今回のプログラムは図上選定, 予備調査, 本測量を終えた実施設計の

自動化を目的としている。したがって、測量データをそのまますぐに用いることが可能で、現地においてもこのプログラムを直接用いることができる。この例でも、実際の測量データをもとに計算を行なうのものであり、何路線かについて計算したのであるが、その中の一路線を中心に計算結果を示す。

この路線について概略を述べれば、著者も現場で測量設計の一部を担当した北海道中川郡音別町の道有林浦幌林務署管内の林道、白音林道第 1 工区である。全体延長 3,130 m、第 1 工区 880 m の峰越え幹線林道で、ヘアピンカーブを持った曲線の多い線形の林道で、いわゆる通常の突込み型の典型的な林道ではなく、路線の選定、勾配のとり方などかなり現場でも苦労した路線である。このため、電子計算機の結果が最上であるかどうかは議論があるが、これを含めて考察を加える。データは現場の設計に用いた測量データそのもので、各項目については Fig. 19, Table 10 に示した。データの注意すべき点は構造規準としての制限半径、制限勾配、土工定規に関するいわゆるコントロールデータで、この値の取り方は細心の注意を払うべきで、値によってかなり設計結果が異なったものになる。本例についても、何とおりかの値を計算したが、このうちの一つの例について示す。これらの値により計算された設計結果は、逆に現場の設計技術者の参考となることもできる。こういった意味をも含め、実施設計の平面から縦断面、横断面、土積数量計算、それにマスカブまでの総合プログラムを完成した。以下各作業別にアウトプットを中心に、現場における設計図面あるいは設計数量計算書を比較しつつ考察、検討する。

### 5. 2. 平面線形の計算結果

平面線形のデータは各 IP の内角と IP 間距離でこれのみを用い、曲線の設置とまたその設置のためのデータを求め、上述したプログラムにより合理的な線形を設計することである。この平面線形の主要 IP の路線修正も各測点の横断面データをもとに行なった。曲率半径の決定は先に上げた 2 方法のうち、推定の SL を与えて計算する方法は現場の設計に近い現地の地形に合った値が得られ、ほとんど問題がないと思われる。他方、標準値をもとに曲線半径を与える方法は、データが内角のみで行なうことを考えれば、一応現場の設計と比較して成功したと思われる。電子計算機により決定された曲線表を Fig. 20 に、現場

Table 11. 現場で設計された曲線表 (白音林道)  
Curve table designed in the field

IP No.	内 角	外 角	距 離	半径(R)	TL	SL	CL	BC	MC	EC
1	269°30'	89°30'	33.40m	20m	19.83m	8.16m	31.24m	13.57	29.19	44.81
2	90°38'	89°22'	158.62	15	14.09	6.10	23.40	169.51	181.21	192.91
3	94°03'	85°57'	32.08	15	13.98	5.50	22.50	196.92	208.17	219.42
4	262°00'	82°00'	83.36	15	13.04	4.88	21.47	275.76	286.50	297.29
5	267°30'	87°30'	28.21	15	14.36	5.77	22.91	298.04	309.50	320.95
6	199°20'	19°20'	36.81	40	6.81	0.58	13.50	336.59	343.44	350.09
7	117°00'	63°00'	75.72	15	9.19	2.59	16.49	409.81	418.06	426.30
8	104°45'	75°15'	28.79	15	11.56	3.94	19.70	434.34	444.19	454.04
9	160°30'	19°30'	56.00	40	6.87	0.59	13.61	491.63	498.44	505.24
10	268°39'	88°39'	75.13	15	14.65	5.97	23.21	558.85	570.46	582.06
11	268°30'	88°30'	33.4	15	14.61	5.94	23.17	586.29	597.88	609.46
12	91°55'	88°05'	83.95	20	19.34	7.82	30.75	659.44	674.84	690.21
13	107°17'	72°33'	41.83	20	14.68	4.81	26.32	698.02	710.68	723.34
14	266°37'	86°37'	75.54	15	14.14	5.61	22.68	770.06	781.40	792.74
15	238°21'	58°27'	28.40	15	8.39	2.19	15.30	798.61	806.26	813.91
16	215°40'	35°40'	38.28	30	9.59	1.51	18.68	434.15	843.49	852.83
17	93°36'	86°24'	38.28	15	14.09	5.58	22.62	892.51	903.82	915.13
18	180°00'	0	0	0	0	0	0			

で行なわれた曲線表を Table 11 に示した。Fig. 21 と Fig. 22, Fig. 23 の座標位置は、後にのべる XY プロッタのデータとして用いるためで、この場合には磁気テープ等にかかれる。

***** HAKUON RINDOU *****		HOKKAIDOU		BY H.KOBAYASI									
***** KYOKUSEN - HYD *****													
IPNO.	NAIKAKU	GAIKAKU	HOOKAKU	KYORI-D	HANKEI-R	T.L	S.L	C.L	B.C	M.C	E.C	MEMO	
1	40.00	40.00	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
2	249.30	89.50	129.50	33.40	15.0	14.87	6.12	23.43	18.53	30.25	41.96		
3	90.38	89.37	40.13	158.62	15.0	14.84	6.10	23.40	170.88	182.57	194.27		
4	94.3	85.95	-45.82	32.08	15.0	13.98	5.59	22.50	197.34	208.79	220.04		
5	282.0	82.00	36.16	81.36	15.0	13.04	4.88	21.47	276.39	287.12	297.86		
6	267.30	87.50	123.68	26.21	15.0	14.36	5.77	22.91	298.67	310.12	321.57		
7	199.20	19.33	143.02	36.81	60.0	10.22	0.86	20.25	333.00	343.93	354.05		
8	117.9	63.00	90.02	75.72	28.1	17.23	4.86	30.91	402.32	417.78	433.23		
9	104.48	75.25	4.77	26.79	15.0	11.56	3.94	19.70	433.23	443.08	452.93		
10	160.30	19.50	-14.73	96.00	60.0	10.31	0.88	20.42	487.06	497.27	507.48		
11	268.39	88.65	73.92	75.13	15.0	14.65	5.97	23.21	557.65	569.26	580.86		
12	268.39	88.65	162.41	33.49	15.0	14.61	5.54	23.17	585.09	598.87	608.26		
13	91.55	88.08	74.33	83.95	15.0	14.51	5.87	23.06	663.09	674.62	686.15		
14	107.17	72.72	1.61	41.33	37.1	27.32	8.97	47.11	686.15	709.70	733.25		
15	266.37	86.62	88.23	75.54	15.0	14.14	5.61	22.68	767.33	778.67	790.01		
16	238.21	58.35	146.58	28.40	25.5	14.26	3.71	26.01	790.01	803.01	816.02		
17	215.40	35.67	182.25	38.28	40.0	12.87	2.02	24.90	827.17	839.62	852.07		
18	180.0	0.00	182.25	36.76	0.0	0.00	0.00	0.00	875.96	875.96	875.96		

Fig. 20 電算機によって決定された曲線表

The curve table designed with electronic computation.

***** HAKUON RINDOU *****		HOKKAIDOU		BY H.KOBAYASI					
***** IP, BC, EC NO ZAHYOTI *****									
IP	IP-X	IP-Y	BC-X	BC-Y	MC-X	MC-Y	EC-X	EC-Y	
1	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	
2	121.469	125.586	111.911	114.195	122.029	119.490	123.943	116.128	
3	243.865	24.692	232.418	34.128	243.314	30.764	253.427	36.034	
4	264.542	49.219	255.534	38.534	259.047	48.946	254.520	58.959	
5	204.743	107.316	214.114	98.229	209.621	107.726	212.461	117.841	
6	221.417	130.086	212.940	118.496	222.425	124.410	233.366	122.122	
7	252.048	109.671	243.543	115.339	251.455	109.043	258.196	101.508	
8	297.601	49.186	287.236	62.948	299.383	53.707	314.568	52.173	
9	325.954	54.178	314.568	52.173	323.045	56.833	326.915	65.700	
10	330.606	109.984	329.750	99.710	329.730	109.908	327.984	119.955	
11	311.498	182.644	315.224	168.475	316.687	179.697	325.574	186.703	
12	343.676	191.922	329.636	187.874	340.872	186.685	348.091	177.993	
13	369.039	111.895	364.656	125.724	371.827	117.058	383.007	115.813	
14	409.315	123.193	383.007	115.813	402.241	128.713	410.084	150.505	
15	411.443	198.702	411.045	184.569	415.418	194.738	425.576	199.139	
16	439.829	199.579	425.576	199.139	438.121	196.284	447.683	187.676	
17	460.912	167.528	453.825	178.369	458.968	167.086	460.407	154.770	
18	459.471	130.897	459.471	130.897	459.471	130.897	459.471	130.897	

Fig. 21 電算機によって決定された平面の曲線の設計因子の座標値

Coordinates of the design factors of the curvature calculated with electronic computation.

***** HAKUON RINDOU *****		HOKKAIDOU		BY H.KOBAYASI	
***** SOKUTEN NI KANSURU DATA *****					
NO.	STA.	GRAND H.	MOVE.	X.	Y.
1	0.00	166.84	0.00	100.00	100.00
2	10.00	169.88	0.00	106.43	107.66
3	20.00	171.20	0.07	112.91	115.27
4	30.25	171.72	6.12	122.03	119.49
5	42.16	171.97	0.00	133.10	116.00
6	62.21	171.03	0.00	148.57	103.25
7	72.21	167.27	0.00	156.28	96.89
8	82.21	166.06	0.00	164.00	90.53
9	91.21	164.11	0.00	170.95	84.80
10	102.21	169.84	0.00	179.43	77.80
11	112.21	171.55	0.00	187.15	71.44
12	122.21	171.29	0.00	194.87	65.08
13	134.21	172.72	0.00	204.13	57.45
14	142.21	171.07	0.00	210.30	52.36
15	152.21	168.70	0.00	218.02	46.00
16	162.21	172.07	0.00	225.73	39.64
17	171.72	172.32	-0.92	233.08	33.61
18	181.94	172.57	-5.27	242.68	30.72
19	182.57	172.57	-6.10	243.31	30.76
20	193.53	175.96	-0.02	252.93	35.48
21	200.48	177.21	-0.29	257.20	40.95
22	208.79	180.26	-5.50	259.05	48.95
23	220.63	179.37	0.00	254.10	59.37
24	229.63	178.68	0.00	247.65	65.64
25	238.47	179.33	0.00	243.32	69.85
			0.00	236.14	76.82

Fig. 22 電算機によって決定された平面における測点の座標位置  
Coordinates of the stations calculated with electronic computation.

```

***** HAKUON RINDOU ***** ROSENEN SYUSEI BY H.KOBAYASI
*** SYUSEI ROSEN ***
IP-NO. DD(I) AAN(I) AAHD(I) AAGA(I) XXIP(I) YYIP(I) AIP(I) BIP(I)
1 0.00 71.59 71.59 71.59 100.00 112.87 0.00 0.00
2 16.73 230.51 122.10 50.51 115.87 118.16 0.33 79.58
3 148.09 83.68 25.78 96.32 241.33 39.47 -0.63 190.83
4 9.68 113.47 -40.75 66.53 245.54 48.19 2.07 -460.25
5 78.94 271.70 50.95 91.70 194.01 107.99 -1.16 333.13
6 25.61 239.81 110.76 59.81 213.90 124.13 0.81 -49.41
7 40.79 212.26 143.02 32.26 252.05 109.67 -0.38 0.00
8 75.72 117.60 80.62 62.40 297.60 49.19 -1.33 0.00
9 14.81 118.64 19.26 61.36 312.21 51.60 0.17 0.00
10 57.26 144.73 -16.02 35.27 331.10 105.66 2.86 -842.11
11 82.02 272.11 76.09 92.11 308.47 184.50 -3.48 1259.13
12 25.64 247.76 143.85 67.76 333.36 190.66 0.25 108.13
13 70.20 109.75 73.60 70.25 374.77 133.97 -1.37 647.00
14 33.89 108.92 2.51 71.08 407.28 143.54 0.29 23.65
15 58.07 271.25 93.77 91.25 409.83 201.55 22.78 -9135.89
16 30.07 232.81 146.56 52.81 439.83 199.58 -0.07 0.00
17 38.28 -76.57 -109.99 256.57 460.91 167.63 -1.52 0.00
18 1.53 180.00 -109.99 0.00 459.47 167.10 0.36 0.00
    
```

Fig. 23 電算機により修正した路線  
Correction of the route in the alignment  
with electronic computation.

5. 3. 縦断線形の計算結果

縦断面における計画勾配の決定方法については 3. 2. で述べたとおり、要約すれば①最小自乗法による三次元回帰による方法、②同じく一次回帰による方法、③積分によって縦断面の切取、盛土断面の等しい勾配を決定する方法、④最適切盛高を利用する方法、であるが、①については前にも発表したとおり、林道については好ましくないということであった。④については②の方法と合わせて用いることにしている。そこで、②と③の方法、それに現場で行なわれた縦断線形の白音林道のデータの電子計算機の結果を Fig. 24 に示す。図における A は②による方法、B は③による方法、C は現場の技術者の行なった計画線である。A は④によって行なったものであるが、白音林道の場合には、直接地盤高を用いて決定された計画線とさほどの違いはなかった。しかし、地盤傾斜の急なところは影響が出ると思われる。ここには示さなかったが、②による方法のみ注目しても、制限勾配の値によって全体の線形に影響がで、かなり変化することがわかった。この例における③による方法の折れ点の選択方法は、制限の切取、盛土高の範囲で最長の区間とした。いずれの方法についても特徴があり、細部の細かい面など多少の不都合がある場合があるが、コントロール・カードを注意して選べば地形に合った合理的な設計が得られる。Fig. 25 は縦断勾

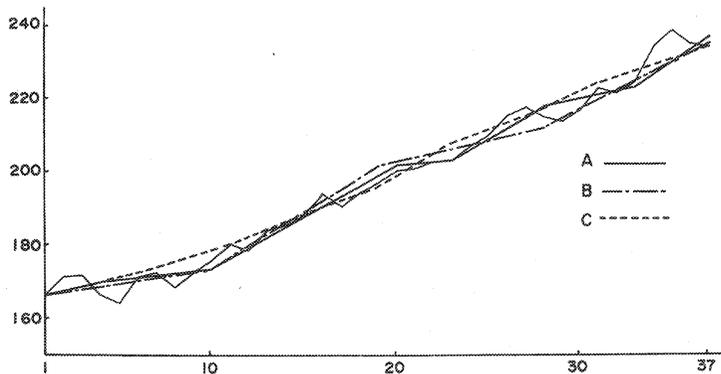


Fig. 24 最適横断面を用いた一次回帰(A), 積分法(B)と現場設計(C) 別による縦断線形  
Longitudinal alignment with three methods.

FROM	HAKUON RINDOU	TO	HOKKAIDOU	BY H.KOBAYASI	GG=	
FROM 1	TO 5	E=	0.13359	GG=	0.14679	
FROM 1	TO 6	E=	0.26798	GG=	0.10326	
FROM 1	TO 7	E=	0.02416	GG=	0.06193	
FROM 1	TO 8	E=	0.81866	GG=	0.03657	
FROM 1	TO 9	E=	1.01859	GG=	0.01635	
FROM 1	TO 10	E=	0.92148	GG=	0.01994	
FROM 1	TO 11	E=	0.88023	GG=	0.02545	
FROM 1	TO 12	E=	0.81954	GG=	0.02795	
THE OPTIMUM SECTION IS FROM 0.00 TO 42.16 AND THE GRADE IS 14.68 PERCENT.						
FROM 5	TO 9	E=	0.07676	GG=	-0.17492	
FROM 5	TO 10	E=	0.59363	GG=	-0.12568	
FROM 5	TO 11	E=	1.00305	GG=	-0.08857	
FROM 5	TO 12	E=	1.12222	GG=	-0.06740	
FROM 5	TO 13	E=	1.24208	GG=	-0.04850	
FROM 5	TO 14	E=	1.20482	GG=	-0.04102	
FROM 5	TO 15	E=	1.09558	GG=	-0.04052	
FROM 5	TO 16	E=	1.10393	GG=	-0.03341	
THE OPTIMUM SECTION IS FROM 42.16 TO 91.21 AND THE GRADE IS -10.00 PERCENT.						
FROM 9	TO 13	E=	0.40971	GG=	0.11465	
FROM 9	TO 14	E=	0.43861	GG=	0.08988	
FROM 9	TO 15	E=	0.60989	GG=	0.05901	
FROM 9	TO 16	E=	0.52454	GG=	0.05783	
FROM 9	TO 17	E=	0.46438	GG=	0.05610	
FROM 9	TO 18	E=	0.41374	GG=	0.05468	
FROM 9	TO 19	E=	0.41185	GG=	0.05387	
FROM 9	TO 20	E=	0.40882	GG=	0.05878	
THE OPTIMUM SECTION IS FROM 91.21 TO 193.53 AND THE GRADE IS 5.88 PERCENT.						

Fig. 25 電算機による縦断勾配と区間の決定過程  
Design of the longitudinal slope and selection of the sections with electronic computation.

NO.	STA.	GRAND H.	FORMATION H.	BANKING H.	CUTTING H.	GRADE
1	0.0000	166.8400	166.8400	0.0000	0.0000	14.6788
2	10.0000	169.8800	168.3079	0.0000	1.5721	14.6788
3	19.9953	171.2031	169.7751	0.0000	1.4281	14.6788
4	30.2459	171.2919	171.2797	0.0000	0.0122	14.6788
5	42.1618	171.9700	173.0289	1.0589	0.0000	-10.0000
6	62.2118	171.0300	171.0238	0.0000	0.0061	-10.0000
7	72.2118	167.2700	170.0238	2.7539	0.0000	-10.0000
8	82.2118	166.0600	169.0238	2.9639	0.0000	-10.0000
9	91.2118	164.1100	168.1239	4.0139	0.0000	5.8779
10	102.2118	169.8400	168.7704	0.0000	1.0696	5.8779
11	112.2118	171.5500	169.3582	0.0000	2.1918	5.8779
12	122.2118	171.2900	169.9460	0.0000	1.3440	5.8779
13	134.2118	172.7200	170.6514	0.0000	2.0686	5.8779
14	142.2118	171.0700	171.1216	0.0516	0.0000	5.8779
15	152.2118	168.7000	171.7094	3.0094	0.0000	5.8779
16	162.2118	172.0700	172.2972	0.2272	0.0000	5.8779
17	171.7209	172.3233	172.8561	0.5328	0.0000	5.8779
18	181.9432	172.7540	173.4570	0.7029	0.0000	5.8779
19	182.5747	172.7829	173.4941	0.7112	0.0000	5.8779
20	193.5283	175.9517	174.1379	0.0000	1.8138	15.0000
21	200.0000	177.1870	175.1806	0.0000	2.0064	15.0000
			176.4276	0.0000	2.1500	15.0000
			178.2029	0.0000	1.1671	15.0000
				0.8729	0.0000	

Fig. 26 電算機により決定された縦断面に関する結果  
Output list about designs in the profile calculated with electronic computation.

配と同一勾配の区間を選定される過程を示したもので、不偏分散の小さいものから、勾配が制限内に入るものが選ばれる過程を示した。Fig. 26 は決定された縦断の計画高および切取、盛土高を示す。Fig. 27 はラインプリンタにより作成された縦断面図である。

#### 5. 4. 横断面図および土工数量計算結果

電子計算機による土工横断面図の土工基面の設計方法は、3章で述べたとおりである。プログラムのアウトプットを中心に説明する。データは各測点における地形データ、縦断面における計画勾配の決定により求められた切取高、盛土高、その他拡幅、土質割合のデータ、さらには平面において修正された測点間距離等である。最初に行なわれるのが横断面において、上記データにより計算機内で自動的に行なわれる

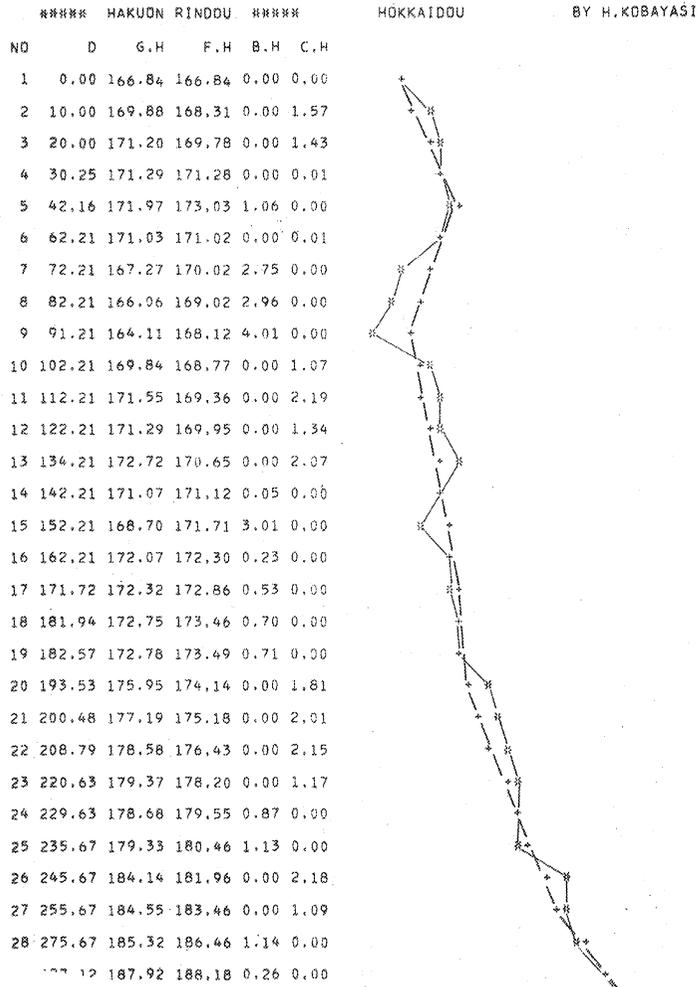


Fig. 27 ラインプリンタによる縦断面図  
Profile drafted with a line printer.

土工基面の設計で、Fig. 28 はこの結果をラインプリンタによって描いた土工横断面図の一例である。数式化によりかなりモデル化されているが、断面積の計算、法長の計算から図面化まで、当初の目的とする省力化に一応成功している。Fig. 29 は土工横断面図について、電子計算機内での設計結果からの断面積と、現場設計による断面積を対比させて示したもので、ほぼ  $A=B$  とみなせるであろう。

この土工横断面の設計結果をもとに土工数量計算が行なわれる。この結果を示したのが Fig. 30 電子計算機による土積数量計算表で、土質別切取量、総切取量、盛土量、流用盛土、純盛土、捨土、土羽数量、切取面数量、側溝延長が計算される。計算の行なわれる方式については前にも述べたとおり、現場によって異なるがここでは東京営林局における方式<sup>30)</sup>を用いた。流用盛土とは運搬距離 20 m 以内の移動による盛土量である。さらにこれら土工数量計算結果をもとに、土質変化率を用いて、マスカープの計算を行ない、かつラインプリンタにより図面にも表わした (Fig. 31)。

```

***** HAKUON RINDOU ***** HOKYAIDOU BY H.KOBAYASI
***** FIGURES OF ROAD CROSS SECTION *****
STA. 10.50 M
CUTTING AREA = 10.68M**2
BANKING AREA = 0.00M**2
CUTTING-SLOPE LENGTH = 4.69 M
BANKING-SLOPE LENGTH = 0.00 M
    
```

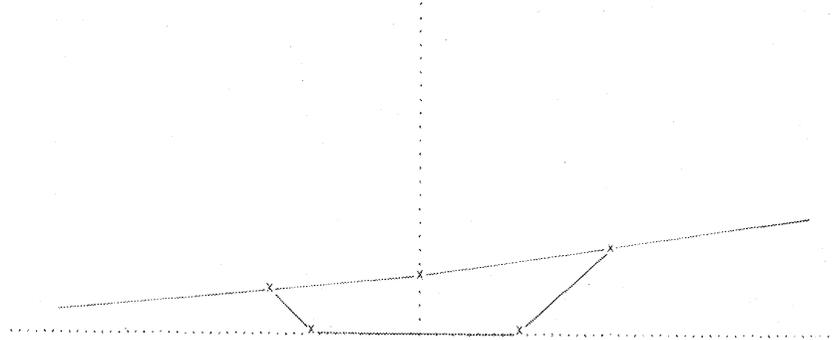


Fig. 28 ラインプリンタによる横断面図  
Road cross-section drafted with a line printer.

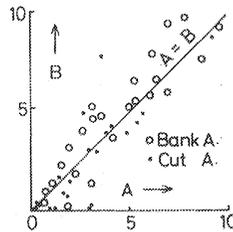


Fig. 29 現場設計による土工断面積(A)と電算機  
による土工断面積(B)の対比  
Relation between road cross-section area designed  
in the field (A) and road cross-section area  
designed with electronic computation (B).

### 5. 5. 林道設計の自動製図

#### 5. 5. 1. 林道設計における自動製図の意義

一般土木はもちろん林道設計においては、とくに2章で述べたごとく、測量設計全体の作業の中で製図に労される人手はかなりの部分を占め、全体の設計作業はすべて図面と関連の上で検討されている。従来の作業のなかでも試案を作ったり、検討したりする手段としてあるいは設計の最終結果として、図面は不可欠なものであり、この図は完成後、施工技術者に渡される。このように林道設計の図による表現は重要な手段で、設計を電子計算機で行なう場合も、図の表現は省略するわけにはいかない。その上、製図作業は高い熟練度と時間を要する作業である。

設計を電子計算機により行なう場合に、図面を手で行なったのでは設計の機械化のメリットは半減する。人手をかいくることなく、これを機械で行なうことが自動製図である。さいわいにして、この種の機械は電子計算機の周辺装置として開発されている。自動製図による利点を上げれば、次のようになる<sup>18)</sup>。

- 1) きわめて迅速に自動的に製図を行なうことができる。特に、設計計算が電子計算機により行なわれ

***** HAKUON RINDOU *****				HOKKAIDOU		BY H.KOBAYASI										
NO.	STA.	DIS. CUTTING		VOLUME	SOIL	BANKING			RYUYODO	JUNMORI	SUTEOO	DOHA	KIRIMEN	SOKKO		
		AREA	AREA			ROCK	AREA	AREA								
1	0.00	0.00	0.14	0.00	0.0	0.0	0.01	0.00	0.0			0.0	0.0	0.0		
2	10.00	10.00	10.68	54.1	54.1	0.0	0.00	0.01	0.1			0.1	23.7	15.0		
3	20.00	10.00	9.21	99.4	99.4	0.0	0.00	0.00	0.0			0.0	43.7	20.0		
4	30.25	10.25	0.27	4.74	48.6	0.0	0.13	0.06	0.7			1.1	22.3	15.4		
5	42.16	11.92	0.00	0.13	1.6	1.6	0.0	5.60	2.86	34.1		21.1	1.7	6.0		
SHOKEI		42.16			203.7	203.7				34.8	34.8	0.0	168.9	22.3	91.4	56.3
6	62.21	20.05	0.73	0.36	7.3	7.3	0.0	0.46	3.03	60.7		40.6	8.2	10.0		
7	72.21	10.00	0.00	0.36	3.6	3.6	0.0	21.75	11.11	111.1		51.5	4.1	5.0		
8	82.21	10.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	22.42	22.09	220.9		94.2	0.0	0.0		
SHOKEI		40.05			11.0	11.0				392.6	11.0	381.7	0.0	186.3	12.2	15.0
9	91.21	9.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	35.91	29.17	262.5		99.2	0.0	0.0		
10	102.21	11.00	7.71	3.86	42.4	42.4	0.0	0.00	17.96	197.5		70.3	22.0	11.0		
11	112.21	10.00	15.75	11.75	117.5	117.5	0.0	0.00	0.00	0.0		9.0	51.0	20.9		
12	122.21	10.00	14.21	15.00	150.0	150.0	0.0	0.00	0.00	0.0		0.0	52.5	20.0		
SHOKEI		40.00			309.9	309.9				460.0	309.9	150.1	0.0	169.5	125.5	51.0
13	134.21	12.00	33.83	24.02	288.3	288.3	0.0	0.00	0.00	0.0		0.0	86.0	24.0		
14	142.21	8.00	2.90	18.37	146.9	146.9	0.0	0.59	0.29	2.4		3.2	46.5	12.0		
15	152.21	10.00	0.00	1.45	14.5	14.5	0.0	23.49	12.04	120.4		52.6	7.9	5.0		
16	162.21	10.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.99	12.24	122.4		52.3	0.0	0.0		
SHOKEI		40.00			449.7	449.7				245.1	245.1	0.0	204.6	108.2	140.4	41.0
17	171.72	9.51	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	2.64	1.82	17.3		12.4	0.0	0.0		
18	181.94	10.22	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	4.12	3.38	34.6		20.5	0.0	0.0		
19	182.57	0.63	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	4.06	4.09	2.6		1.4	0.0	0.0		
20	193.53	10.95	18.79	8.50	93.1	93.1	0.0	0.00	2.03	22.3		12.0	44.7	11.0		
21	200.48	8.95	14.18	15.59	108.4	108.4	0.0	0.00	0.00	0.0		0.0	48.4	13.9		
22	208.79	8.31	18.71	16.45	136.7	136.7	0.0	0.00	0.00	0.0		0.0	53.2	16.6		
SHOKEI		46.58			338.1	338.1				76.7	76.7	0.0	261.4	46.2	146.3	41.5
23	220.63	11.84	7.58	13.15	155.6	155.6	0.0	0.00	0.00	0.0		0.0	63.0	23.7		
24	229.63	9.00	0.00	3.79	34.1	34.1	0.0	5.37	2.68	24.2		16.7	16.2	9.0		
25	235.57	6.04	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	6.25	5.81	35.1		22.4	0.0	0.0		
26	245.67	10.00	16.00	8.00	80.0	80.0	0.0	0.00	3.13	31.3		18.6	31.9	10.0		
27	255.67	10.00	7.06	11.53	115.3	115.3	0.0	0.00	0.00	0.0		0.0	48.9	20.0		
SHOKEI		46.88			385.0	385.0				90.5	90.5	0.0	294.5	57.8	159.9	62.7
28	275.67	20.00	0.00	3.53	70.6	70.6						60.8	34.1	20.0		
29	287.12	11.45	1.11	0.56								52.5	9.7	5.7		
30	303.39	16.27	0.00										2.8	0.0		

Fig. 30 電算機による土積数量計算表

Table of mass calculation calculated with electronic computation.

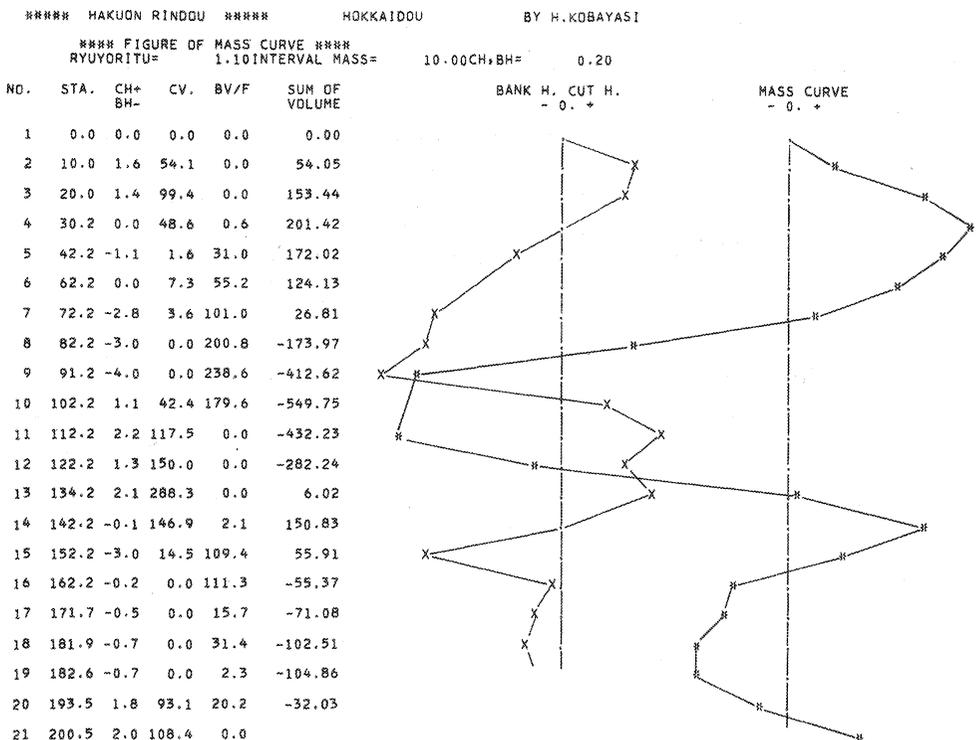


Fig. 31 電算機によるマスカープ図

Mass curve calculated with electronic computation.



る場合は、ただちに磁気テープなどにより、製図に用いられるデータをアウトプットすることができる。こうすることにより、設計から製図まで一貫して自動的に処理することが可能となる。

2) 設計過程の電子計算機と設計者のコミュニケーションが容易になる。設計計算の結果が、数字や文字が列挙されるよりグラフや図にした方が理解しやすい。

3) 解析的幾何線形の作製を得意とし、人手で行なうと誤差を生じやすいような精密な計算による図形、たとえば構造物、平面線形等の設計図面を正確に描くことが可能である。

### 5. 5. 2. 林道設計における自動製図の方法

一般的に、電子計算機を用いての図面の処理の方法として述べれば、費用的にも、時間的にももっとも安く、かつはやいラインプリンタの文字記号を用いて図面を作る方法と、電子計算機の計算した座標値を磁気テープ等へ書き出し、これをもとに作図する XY プロッタと、これとはほぼ同じ原理で、もっと精度の高い自動製図機を用いる方法とがある。そのほかに電子計算機とオンラインに結ばれ、ライトペンとブラウン管による図形の対話が可能なディスプレイ装置があるが、わが国ではまだ工業界全般的にも、一部を除いて実用の域にほど遠い<sup>40)</sup>。

今回の林道設計の電子計算機による設計の自動製図の方法として、Fig. 27, Fig. 28, Fig. 31 の縦断面図、横断面図、マスカープをラインプリンタを用いて描いた。これらの図面のうち、その目的として縦断面図、マスカープについては十分と思われる。横断面図についてはいくぶん精度的に問題であり、また前者についても人手によって補うことに若干難点がある。しかしいずれにしても、電子計算機により計算された値を、高速に同時に印刷することはかなりの利点である。

デジタル XY プロッタによる林道設計の自動製図の作図の原理は、ラインプリンタにより行なう方法とはほぼ同じで、今回の電子計算機により計算された座標値をもとに、プログラムの制御により作図される。この場合、先にもふれたが電子計算機とオンライン、オフラインの形があり、オフラインの場合は磁

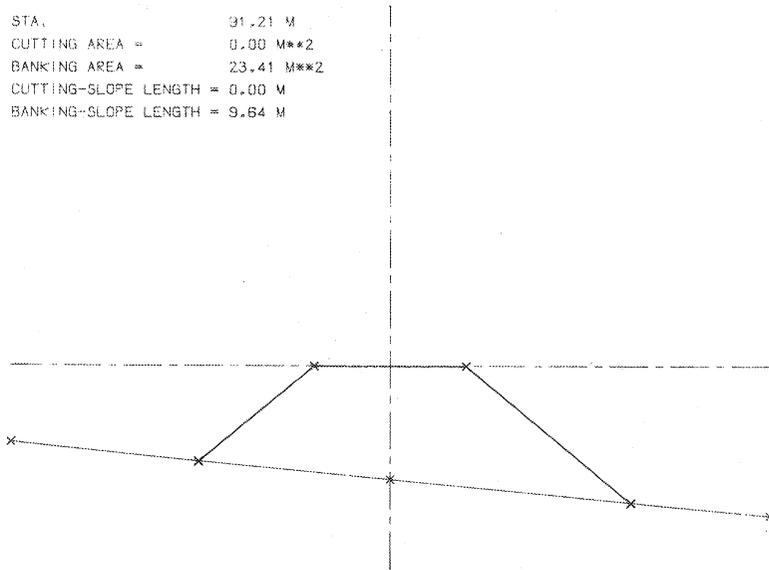


Fig. 33 デジタル XY プロッタによる林道横断面図  
Forest road cross-section drafted with a digital XY-plotter.

気テープによりデータの受け渡しを行なう。Fig. 32 は XY プロッタにより書いた林道の平面図であり、コンタなど地形に関する図もデータを与えれば可能である。Fig. 33 は同じく横断面図の例である。比較的単純に書いているが、これに擁壁などの構造物あるいは路盤工も挿入可能である。林道設計の横断面図は 100 も 200 も作らねばならないが、このプログラムによるとすべて機械により作図が可能で、省力の点にかなりのメリットがある。

## 6. 結 論

林道の効用が多様化し、目的も開発のみならず、林業のもつ機能性の多面化とあいまって、ますます、その必要性が叫ばれ、年々 20% の増加を示している。これにともない作設技術に対する要請も、ますます多様性をましてきている。このことはとりもなおさず、林道測量設計における林道技術者の技術の高度化が要望されている。しかし一方、現実に熟練林道技術者の不足を考えたとき、これらの解決に、何らかの技術管理面における技術改革ともいうべきものを必要とするであろう。このことが本研究の主たる目的であった。

そこで、電子計算機による林道設計、特に実施設計の一連の作業に関する総合自動化プログラムを開発するにあたり、わかったことあるいはかなり期待のもたれる項目は次のとおりである。

- 1) 自動設計が現在各方面で開発されつつあるなかで、これがかかなり林道の設計分野にも期待がもてること。
- 2) しかし、一般土木方面の自動設計について、海外および国内の研究を検討するに、林道の設計にそのまま応用することは難しいこと。
- 3) 電子計算機を用いての自動設計、つまり設計の機械化に対して、現場的林道設計全般を検討するにかなりの可能性があること。
- 4) 平面線形の林道設計資料を分析するに、平面設計因子の値の分布 (Fig. 3)、相互の関連 (Fig. 4, Table 4) に一つの法則性と、平面線形決定要素である曲率半径 ( $R$ ) の標準的決定方法を見出した。
- 5) 曲線および測点についての設置データを、電子計算機により正確に計算できるため、従来の平面測量方法の簡便化が可能である。
- 6) 従来技術者が土量の流用や切盛のバランスを、経験と勘で考えながら縦断計画線の決定に当たってきたが、これを電子計算機を用いて具体的、科学的根拠にもとづいた各種数学的方法により、合理的な縦断計画線を自動的に決定できた。
- 7) 土工横断面について、数学モデル的に定式化し、土工基面の設計と断面積等の各種設計数量計算をプログラム化した。また、地形横断面に関するデータをもとに、最適とする土工横断面の決定と、これを応用して縦断、平面の線形を決定させるプログラムをも開発した。
- 8) 平面図、縦断面図、横断面図、マスカープの自動製図、つまり人手をかいすることなく図面を作製するプログラムを開発した。
- 9) 一連的林道の総合自動設計プログラムにより、現場のデータをもとに設計し、現場的林道担当者の設計と比較するにかなりの実用化が期待できた。

このように、少なくとも林道技術者の手をわずらわす多くの設計諸作業を、電子計算機で行なうことが可能である。なお、今後解決しなければならない点、改良すべき点、問題となる点を上げると、本方式は

内業における実施設計が主であったが、その他、予備調査、予測、路線選定、現地測量についての機械化も今後必須のことと思われること、また地形データの入手についても、地形図あるいは空中写真測量によりいかに行なうかの研究も必要とすること、実用化に当たっては、構造物との関連およびそのものの設計手法について、導入電子計算機の種類、現場の体制をも合わせてさらに検討を要すること等である。

### 摘 要

林道の測量設計作業全般にわたって見ると、調査、計画、踏査、予測、本測量、設計、設計図面の作製、設計数量計算、工事数量計算、設計書の作製と、多くの業務にわたりその作業とりまとめに多くの日数と経費を必要とし、それを、いわゆる経験的土木技術をもとに、多くの情報を処理しなければならない。そこで、電子計算機利用を前提とし、科学的合理性を基礎にした最適設計、自動設計、自動製図の開発研究が必要と思われ、この研究は林道の測量から設計までをシステム化し、これらに電子計算機を導入し、自動設計から自動製図までを総合的に行なうことを目的として、上述の業務の中で、特に林道技術者をもっとも技術と労力を要する、本設計から設計図面の作製、設計数量計算までの一連のプロセスについて注目し、電子計算機による自動化を試みたものである。

1章において、この研究のとり上げた背景と自動設計について概説し、一般研究と一般土木のハイウェイの自動設計、特に MIT の C. L. MILLER を中心とし、開発した ICES ROADS 等の海外の研究と最近の日本における研究を中心に検討した。

2章では、現場林道担当者により行なわれている林道設計の問題点を上げつつ、その作業について全般に概略記した。その上で電子計算機により林道設計を自動化するにはどうしたらよいかを考察し、本研究についての足がかりについて述べた。またその他の作業の電子計算機を用いた自動化の可能性について検討した。

3章では本研究の主題である電算プログラムにおける解析手順を理論展開した。平面線形の決定方法で、多数の設計例について分析し、平面設計因子の分布およびその相互の関係について一つの法則性をみい出し、曲率半径  $R$  の決定方法の最上の式として(1)式が適切であった。

$$R = a\alpha^b \dots\dots\dots(1)$$

$R$ : 曲率半径,  $\alpha$ : 外角,  $a, b$ : 定数

座標位置、設計因子の計算式についても求めた。

縦断面における計画勾配の決定方法について、次の4方法を検討し、それぞれ特徴を記した。

- 1) 最小自乗法による一次回帰による決定。
- 2) 同じく三次回帰による方法。
- 3) 積分法による計画勾配の決定。
- 4) 最適土工横断面を用いた決定方法。

土工横断面において省力化を主体とした目的で、土工横断面を数学的に(2)式から(5)式までのようにモデル化し、設計から断面積、法長の計算等の設計数量計算を行なうべくプログラムを開発した。土工

$$-ax + y = v \dots\dots\dots(2)$$

$$\rho_1 x - y = \rho_1 l_1 \dots\dots\dots(3)$$

$$\rho_2 x - y = \rho_2 l_2 \dots\dots\dots(4)$$

$$y=0 \dots\dots\dots(5)$$

横断面の設計について、切取量・盛土量のバランスが取れた最適とする土工基面の決定方法を考え、理論的に追求した。これを応用した路線の修正方法、あるいは縦断計画勾配についても検討を加えた。

4章については、以上の考え方にしたがっての電算プログラムおよび流れ図を示した。また変数の意味、データの与え方、注意すべき点をも述べた。

5章では本研究により開発されたプログラムにより、現場で用いられたデータをもとに計算し、その結果を現場設計と比較しつつ考察した。特に縦断面図における計画勾配の決定される過程の中で、方法による違い、コントロールデータによる違いについて検討を加えた。林道設計における自動製図の考え方とその手法についても概説し、作成例を上げ実用性について考察した。

以上述べたように、今後解決しなければならない点もあるが、林道設計全般に電子計算機を用いた自動設計の実用化が、かなり期待できることがわかった。

## 文 献

- 1) 市川義博・森 康男：土木工学用電子計算システム (ICES) の概要—COGO, ROADS を中心として—, 建設コンサルタンツ協会大阪支部建設技術資料センター, p. 4, (1970)
- 2) 一川保夫：電子計算機による積算システム, 農業土木学会誌, 38, 2, 82~88, (1970)
- 3) 上飯坂 実・南方 康・伊藤幸也：林道の構造に関する研究, 日林誌, 50, 9, 274~284, (1968)
- 4) 笠松 清・中村貢治・田浦秀春：空中写真と電子計算機の組合せによる最も経済的な路線選定の研究 (I), 写真測量, 2, 2, 8~14, (1963)
- 5) 笠松 清・中村貢治・田浦秀春：空中写真と電子計算機の組合せによる最も経済的な路線選定の研究 (II), 写真測量, 2, 4, 1~6, (1963)
- 6) KASPER, H. : Photogrammetry and Electronic Computing in Highway Engineering "Strasse and Verkeler", NOS, 10, 11 (1958)
- 7) 小林洋司：林道設計における自動化の研究 (I)—合理的縦断勾配決定の検討—, 第81回日林講, 358~359, (1971)
- 8) 小林洋司：林道設計における自動化の研究 (II)—平面線形および土工横断面の検討—, 第82回日林講, 308~310, (1972)
- 9) 丸安隆和・中村英夫：航空写真と電子計算機による道路路線の計画および設計の一方法について, 生産研究, 15, 1, 8~14, (1962)
- 10) 丸安隆和・中村英夫：航空写真と電子計算機による道路路線の設計法, 土木学会論文集第106号, 15~32, (1964)
- 11) 丸安隆和・中村英夫・河野 彰・小川亜夫・村井俊治：土木構造物の自動設計・自動製図, オーム社, 163~164, (1969)
- 12) ……………：前掲書, 11), p. 336
- 13) ……………：前掲書, 11), 360~363
- 14) 丸安隆和・中村英夫・村井俊治・若林芳夫：土木構造物の自動設計, 土木学会誌, 52, 8, p. 20, (1967)
- 15) MILLER, CHARLES L. : General Description of ICES COGO I. Dept. of Civil Engineering, MIT, (1966)
- 16) …………… & LAFLAMME R. A. : The digital terrain model-theory and applications. Photogrammetric Engineering, 29, 3, (1966)
- 17) 三宅重亮・山本仁志：林道土量計算の精度, 第80回日林講, p. 367, (1969)

- 18) 森 康男・市川義博：土木工学用電子計算システム (ICES) の紹介 (I)，高速道路と自動車，**7, 3, p. 5, (1969)**
- 19) 名古屋営林局，林道事業執務提要 (設計編)，p. 589, (1966)
- 20) 中村英夫・村井俊治：Digital Terrain Model, 生産研究，**20, 8, 28~33, (1968)**
- 21) 日本 IBM K. K. : FRAN 説明書，83 pp.
- 22) 日本 IBM K. K. : ICES 説明書，16 pp.
- 23) 日本 IBM K. K. : STRESS 説明書，40 pp.
- 24) 小原 功・土居寿郎：コンピュータと設計業務，治山，**16, 7, 4~8, (1971)**
- 25) 荻原貞夫・加藤誠平監修：林業土木ハンドブック，千代田出版 K. K, 990 pp., (1968)
- 26) —————：前掲書，25)，p. 402
- 27) —————：前掲書，25)，p. 404
- 28) 大塚勝美・木倉正美：道路の線形設計，技術書院，93~143, (1971)
- 29) 林業土木研究会：林業土木の設計と積算，林土連研究社，p. 10, (1970)
- 30) —————：前掲書，29)，p. 74
- 31) —————：前掲書，29)，p. 79
- 32) 林野庁：林道必携，530 pp., (1959)
- 33) Roos, DANIEL, ed. : ICES System, General Description, Dept. of Civil Engineering, MIT., Cambridge, Mass., (1967)
- 34) 酒井紀夫・小林清美：電子計算機利用による治山設計の自動積算について，治山，**15, 2, 7~14, (1970)**
- 35) 久島 亘：電子計算機による土工数量計算の一考察，第 4 回林道研究会発表論文集，林道研究会，101~104, (1969)
- 36) SUHRBIER, JOHN H. : ICES ROADS I A General Description, Dept. of Civil Engineering, MIT. (1968)
- 37) 鈴木隆司：コンピュータによる治山ダムの温度応力計算プログラムについて，治山，**5, 3, 10~19, (1970)**
- 38) 田島二郎：標準化と省力化，土木学会誌，**50, 11, p. 39, (1970)**
- 39) 東京営林局：土木執務必携 第一編 林道事業示方書，276 pp., (1965)
- 40) 中修鑑一：設計能率化の手法，日刊工業新聞社，p. 142, (1970)
- 41) 上田千秋：電算機導入による林道設計，昭和 46 年度林道研究発表会講演資料，林道研究会，6~16, (1971)
- 42) 柳沢素夫：林道設計における土積量の自動計算，日林誌，**54, 3, 85~91, (1972)**
- 43) 吉本 彰：道路工学幾何構造編，学献社，274 pp., (1966)
- 44) —————：前掲書，43)，111~116

**A Study on Automatic Processing in Forest Road Design  
Mainly Concerning the Earthwork**

Hiroshi KOBAYASHI<sup>(1)</sup>

Summary

The technical works on survey and design of forest road consist of many kinds of business-like tasks, i. e. investigation, plan, preliminary survey, main survey, design, drafting, calculations of design volume and works volume, making specifications, etc. It takes much time and money to do these works. And it must be done with what is called experimental civil engineering.

According to the present state of technical development, it is necessary to develop optimum designs, automatic designs and automatic draftings with electronic computation on the basis of scientific rationality. The purpose of this study is to systematize the works from survey to design of forest road, to calculate it with electronic computation and to do it synthetically from automatic design to automatic drafting. The author took note of a through process particularly from the main design to drafting and calculation of design volume, which account for most of the engineer's labour in the above mentioned forest road works, and he tried to do it by automatic process with electronic computation.

In Chapter 1, the outline of the background of this study and of automatic design is described. The automatic design of highway, ICES ROADS developed by C. L. MILLER in MIT mainly and its recent studies in Japan are discussed.

In Chapter 2, the outlines of the ordinary forest road design and its problems are described, and how to design forest roads automatically with electronic computation is discussed. A clue of this study is explained and how to do other works by the same method is examined.

In Chapter 3, the theories of forest road design program analysis, which are the main contents of this study, are described. In the design of horizontal alignment, many samples of forest road designs are analyzed. The distributions of the alignment factors and relation among them are investigated, and the rule of them established.

Best formula for the design of radius of curvature in the alignment is equation (1).

$$R = a \cdot \alpha^b \dots \dots \dots (1)$$

$R$ : Radius of curvature in the alignment.

$\alpha$ : Exterior angle.  $a, b$ : Constant.

The method of calculating coordinates in the alignment is indicated.

As regards the design of longitudinal slope in the profile, the following four methods are discussed:

- 1) Method of linear regression with a least squares method.
- 2) Method of cubic regression with a least squares method.
- 3) Method of integration.
- 4) Method using the optimum road cross section.

In the design of road cross-section, whole road cross-section is expressed in formulas

---

Received November 30, 1972

(1) Forest Mechanization Division

from equation (2) to (5) for the purpose of simplifying and of labour saving.

$$-ax + y = v \dots\dots\dots (2)$$

$$\rho_1 x - y = \rho_1 l_1 \dots\dots\dots (3)$$

$$\rho_2 x - y = \rho_2 l_2 \dots\dots\dots (4)$$

$$y = 0 \dots\dots\dots (5)$$

$a$  : Gradient of the ground surface.

$v$  : Cutting height or banking height.

$\rho_1, \rho_2$  : Gradient of right or left slope.

$l_1, l_2$  : The width of the road on the right or left side.

The formulas for calculating design volume of cutting section area, banking section area and length of the slope are also indicated. On the road cross section the optimum designed section is theoretically formularized. By using this method, the horizontal alignment can be corrected and the longitudinal alignment can be designed.

In Chapter 4, programs and flow charts as above mentioned solutions are expressed and how to give input data to an electronic computer and meaning of variables are indicated.

In Chapter 5, a certain forest road was designed by the program developed in this study. Particularly in the design of longitudinal slope, it became obvious that differences of the method or of control data affected the whole design. The outline of deliberation and methods of the automatic drafting in forest road design are also indicated and can be taken as suitable for practical application.

As described, it is practicable that we apply the automatic design with electronic computation to the forest road design. But problems to be solved are to apply this to the preliminary design and location of the forest road, and to develop a simple method for getting the data on the terrain.

〔付 表〕

電 算 プ ロ グ ラ ム リ ス ト

1) 平面線形の計算

```
1      PROGRAM H7766
2 C
3 C ** AUTOMATIC DESIGN FOR FORESTROAD BY H.KOBAYASI
4 C
5      COMMON AA(20),N,SOKU(100),HSOKU(100),A(100),PL(100),RRV(100),
6          V(100),YL(100)
7      10 CONTINUE
8      CALL HEIMEN
9      CALL JUDAN
10     CALL DODAN
11     READ(5,100) IWORK
12     100 FORMAT(I10)
13     IF(IWORK.GT.0) GO TO 10
14     STOP
15     END
16
17 C
18 C ** PLAN DESIGN CALCULATION **
19 C
20     COMMON AA,N2,SOKU,HSOKU,A,PL,RRV,V,YL
21     DIMENSION AA(20),DOSU(50),FUN(50),G(50),H(50),D(50),AN(50),AHD(50)
22     1      ,AGA(50),TL(50),R(50),CL(50),SL(50),BC(50),CM(50),EC(50)
23     2      ,XBC(50),YBC(50),XMC(50),YMC(50),XEC(50),YEC(50),XIP(50)
24     3      ,YIP(50),SOKU(100),A(100),PL(100),YL(100),XSOKU(100)
25     4      ,YSOKU(100),HSOKU(100),RRV(100),V(100)
26 C
27 C
28 C
29     READ(5,100) (AA(I),I=1,20)
30     100 FORMAT(20A4)
31     READ(5,200) RLM,DOLM,XIP(1),YIP(1)
32     200 FORMAT(8F10.0)
33     WRITE(6,202) RLM,DOLM,XIP(1),YIP(1)
34     202 FORMAT(1H1,4HRLM=,F10.2,10X,5HDOLM=,F10.2,10X,3HX1=,F10.2,10X,
35     1      3HY1=,F10.2)
36     READ(5,300) N1
37     300 FORMAT(B110)
38     DO 1 I=1,N1
39     READ(5,400) DOSU(I),FUN(I),D(I)
40     400 FORMAT(10X,7F10.0)
41     WRITE(6,402) I,DOSU(I),FUN(I),D(I)
42     402 FORMAT(1H ,I5,2F10.0,F10.2)
43     1 CONTINUE
44     READ(5,300) N2
45     DO 2 J=1,N2
46     READ(5,400) SOKU(J),HSOKU(J),A(J),PL(J),RRV(J)
47     WRITE(6,404) J,SOKU(J),HSOKU(J),A(J),PL(J),RRV(J)
48     404 FORMAT(1H ,I5,5F20.2)
49     2 CONTINUE
50 C
51 C
52 C
53     PAI=3.14159265
54     DO 3 I=1,N1
55     C=DOSU(I)+FUN(I)/60.0
56     AN(I)=C*PAI/180.0
57     3 CONTINUE
58 C
59     AHD(1)=AN(1)
60     AGA(1)=AN(1)
61
62     DO 4 I=2,N1
63     AHD(I)=AN(I)+AHD(I-1)-PAI
64     AGA(I)=ABS(PAI-AN(I))
65     4 CONTINUE
66 C
67     TL(1)=0.0
68     R(1)=0.0
69     CL(1)=0.0
70     DO 5 I=2,N1
71     TT=DOSU(I)
72     IF(DOSU(I).GT.180.0) TT=360.0-DOSU(I)
73     IF(ABS(180.0-TT).GT.DOLM) GO TO 50
74     R(I)=0.0
75     CL(I)=0.0
76     TL(I)=0.0
77     SL(I)=0.0
78     GO TO 5
79     50 CALL HYOUR(TT,TT5)
80     IRR=(TT5+5.0)/NO.1
81     R(I)=IRR*10
82     IF(R(I).LE.RLM) R(I)=RLM
83     CL(I)=R(I)*NAGA(I)
84     SL(I)=R(I)/COS(0.5*AGA(I))-R(I)
85     TL(I)=(R(I)+SL(I))*SIN(0.5*AGA(I))
86     51 IF(TL(I-1)+YL(I).LE.D(I)) GO TO 52
87     TL(I)=D(I)-TL(I-1)
88     52 TL(I+1)=RLM*SIN(0.5*AGA(I+1))/COS(0.5*AGA(I+1))
89     IF(TL(I)+TL(I+1).LE.D(I+1)+1.0E-3) GO TO 53
90     TL(I)=D(I+1)-TL(I+1)
91     GO TO 51
92     53 RR=TL(I)*COS(0.5*AGA(I))/SIN(0.5*AGA(I))
93     IF(ABS(R(I)-RR).LE.1.0E-1) GO TO 5
94     R(I)=RR
95     CL(I)=R(I)*NAGA(I)
96     SL(I)=TL(I)/SIN(0.5*AGA(I))-R(I)
97     5 CONTINUE
98 C
99 C
100     SOKUTEN NO KETTEI
101
102     BC(1)=0.0
103     CM(1)=0.0
104     EC(1)=0.0
105 C
106     DO 61 J=1,N2
107     YL(J)=0.0
108     61 CONTINUE
109
110     DO 6 I=2,N1
111     BC(I)=EC(I-1)+D(I)-TL(I)-TL(I-1)
112     CM(I)=BC(I)+0.5*CL(I)
113     EC(I)=BC(I)+CL(I)
114 C
115     DO 66 J=1,N2
116     IF(SOKU(J).LE.BC(I)) GO TO 66
117     IF(SOKU(J).GE.BC(I)+TL(I)) GO TO 65
118     XY=SOKU(J)-BC(I)
119     XB=XY/R(I)
120     BTA=ATAN(XB)
121     YV=R(I)*NBTA
122     SOKU(J)=BC(I)+YV
```

土工を主とした林道設計の自動化に関する研究 (小林)

```

121      GO TO 64
122      65  IF(SOKU(J).GE.BC(I)+2.0*TL(I)) GO TO 62
123      XX=BC(I)+2.0*TL(I)-SOKU(J)
124      XB=XX/R(I)
125      BTA=ATAN(XB)
126      YY=R(I)*BTA
127      SOKU(J)=EC(I)-YY
128      64  IF(AN(I).GE.PAI) GO TO 63
129      YL(J)=R(I)-SQRT(R(I)*R(I)+XXXXX)
130      GO TO 66
131      63  YL(J)=SQRT(R(I)*R(I)+XXXXX)-R(I)
132      GO TO 66
133      62  SOKU(J)=SOKU(J)-2.0*TL(I)+CL(I)
134      66  CONTINUE
135      6  CONTINUE
136 C
137 C      SOKUTEN ZAHYO NO KEISAN
138 C
139      XBC(1)=XIP(1)
140      YBC(1)=YIP(1)
141      XMC(1)=XIP(1)
142      YMC(1)=YIP(1)
143      XEC(1)=XIP(1)
144      YEC(1)=YIP(1)
145      DO 7 I=2,N1
146      XIP(I)=D(I)*SIN(AHO(I-1))+XIP(I-1)
147      YIP(I)=D(I)*COS(AHO(I-1))+YIP(I-1)
148      XBC(I)=(D(I)-TL(I))*SIN(AHO(I-1))+XIP(I-1)
149      YBC(I)=(D(I)-TL(I))*COS(AHO(I-1))+YIP(I-1)
150      XEC(I)=TL(I)*SIN(AHO(I))+XIP(I)
151      YEC(I)=TL(I)*COS(AHO(I))+YIP(I)
152 C
153      Z=PAI-0.5*AN(I)+AHO(I)
154      IF(AN(I).LE.PAI) Z=AHO(I)-0.5*AN(I)
155      XMC(I)=SL(I)*SIN(Z)+XIP(I)
156      YMC(I)=SL(I)*COS(Z)+YIP(I)
157 C
158      DO 7 J=1,N2
159      IF(SOKU(J).LT.EC(I-1)) GO TO 77
160      IF(SOKU(J).GE.EC(I)) GO TO 77
161      IF(SOKU(J).GE.BC(I)) GO TO 76
162      T=SOKU(J)-EC(I-1)+TL(I-1)
163      XSOKU(J)=T*SIN(AHO(I-1))+XIP(I-1)
164      YSOKU(J)=T*COS(AHO(I-1))+YIP(I-1)
165      GO TO 77
166      76  XL=SOKU(J)-BC(I)
167      BT=XL/R(I)*0.5
168      RL=2.0*HR(I)*SIN(BT)
169      RA=AHO(I-1)+BT
170      IF(AN(I).LE.PAI) RA=AHO(I-1)-BT
171      XSOKU(J)=RL*SIN(RA)+XBC(I)
172      YSOKU(J)=RL*COS(RA)+YBC(I)
173      77  CONTINUE
174      7  CONTINUE
175 C
176 C      KEKKA NO INSATU
177 C
178      WRITE(6,100) (AA(I),I=1,20)
179      WRITE(6,500)

```

```

180      500 FORMAT(1H0,40X,26H***** KYOKUSEN - HYD *****/1H0,5HIPNO.,10H NAI
181      1KAKU,10H GAIKAKU,10H HOOIKAKU,10H KYORI-D,10H HANKEI-R,
182      25H T.L,5X,3HS.L,7X,3HC.L,7X,3HB.C,7X,3HM.C,7X,3HE.C,7X,4HMEMO/)
183      DO 8 I=1,N1
184      G(I)=180.0*AGA(I)/PAI
185      H(I)=180.0*HAO(I)/PAI
186      WRITE(6,600) I,DOSU(I),FUN(I),G(I),H(I),D(I),R(I),TL(I),SL(I),
187      1      CL(I),BC(I),CM(I),EC(I)
188      600 FORMAT(1H,15,F7.0,F3.0,3F10.2,F5.1,6F10.2)
189      8  CONTINUE
190 C      SOKUTEN ZAHYO NO INSATU
191      WRITE(6,100) (AA(I),I=1,20)
192      WRITE(6,700)
193      700 FORMAT(1H0,35H***** IP,BC,EC NO ZAHYOTI *****/1H0,5H IP,
194      1      6X,4HIP-X,6X,4HIP-Y,6X,4HBC-X,6X,4HBC-Y,6X,4HMC-X,6X,
195      2      4HMC-Y,6X,4HEC-X,6X,4HEC-Y/)
196      DO 9 I=1,N1
197      WRITE(6,800) I,XIP(I),YIP(I),XBC(I),YBC(I),XMC(I),YMC(I),XEC(I),
198      1      YEC(I)
199      800 FORMAT(1H,15,8F10.3,
200      9  CONTINUE
201 C
202      WRITE(6,100) (AA(I),I=1,20)
203      WRITE(6,900)
204      900 FORMAT(1H0,45H***** SOKUTEN NI KANSURU DATA *****/1H0,
205      1      5H NO.,6X,4HSTA.,10H GRAND H.,5X,5HMOVE.,8X,2HX.,8X,2HY.)
206      DO 10 J=1,N2
207      WRITE(6,1100) J,SOKU(J),HSOKU(J),YL(J),XSOKU(J),YSOKU(J)
208      1100 FORMAT(1H,15,5F10.2)
209      10  CONTINUE
210      RETURN
211      END
212
213 C      SUBROUTINE HYOUR(X,RA)
214      HYOUJUN KA SARETA HANKEI
215      P1=0.4E-7+(X-162.0)*(0.14038E-7+(X-166.0)*(0.3706E-8+(X-168.0)
216      1      *0.5412E-9))
217      P2=0.4E-2+(X-130.0)*(0.41E-4+(X-145.0)*(0.123E-5+(X-155.0)*P1))
218      RA=15.0*(X-80.0)*(0.2+(X-105.0)*P2)
219      RETURN
220      END

```

2) 縦断線形の計算

```

220      SUBROUTINE JUDAN
221 C
222 C ** PROFILE DESIGN CALCULATION BY H.KOBAYASHI
223 C
224      COMMON AA,N,SOKU,HSOKU,A,PL,RRV,V,YL
225      DIMENSION SOKU(100),HSOKU(100),HY(100),BH(100),CH(100),AA(20),
226      1 X(100),Y(100),BBH(100),GRADE(100),A(100),PL(100),
227      2 RRV(100),V(100),YL(100)
228 C
229 C ** READING TITLES AND DATA **
230 C
231      100 FORMAT(20A4)
232      READ(5,200) M1,M2
233      200 FORMAT(8I10)
234      READ(5,300) HY(1),S1,S2
235      300 FORMAT(8F10.0)
236      DO 1 I=1,N
237      HSOKU(I)=HSOKU(I)+YL(I)/A(I)
238      1 CONTINUE
239 C
240 C ** DECIDING LONGITUDINAL SLOPE BY A LEAST SQUARES METHOD **
241 C
242      K=1
243      WRITE(6,100)(AA(I),I=1,20)
244      5000 DO 2 I=K,N
245      II=I-K+1
246      X(II)=SOKU(I)-SOKU(K)
247      Y(II)=HSOKU(I)-HY(K)
248      2 CONTINUE
249 C
250      IF(M1,GE,N-K+1) GO TO 41
251      IF(M2,GE,N-K+1) M2=N-K+1
252      T=1.0E+10
253      G=0.0
254      NT=0
255      DO 3 I=M1,M2
256      CALL KAIKI(I,X,Y,E,GG)
257 C * TESTING
258      IJ=K-I-1
259      WRITE(6,31) K,IJ,E,GG
260      31 FORMAT(1H,4HFROM,15,5X,2HTO,15,20X,2HE=,F20.5,10X,3HGG=,F20.5)
261 C * TESTING
262      IF(T.LE,E) GO TO 3
263      T=E
264      NT=I
265      G=GG
266      3 CONTINUE
267      GO TO 42
268      41 NT=N-K+1
269      CALL KAIKI(NT,X,Y,E,G)
270 C *
271      WRITE(6,31) K,N,E,G
272 C *
273      42 K1=K+NT-1
274 C
275      IF(G,GE,S1) G=S1
276      IF(G,LE,S2) G=S2
277 C
278      DO 4 I=K,K1
279      J=I-K+1
280      GRADE(I)=G*100.0
281      HY(I)=HY(K)+G*X(J)
282      BBH(I)=HY(I)-HSOKU(I)
283      IF(BBH(I)) 61,62,62
284      61 CH(I)=-BBH(I)
285      BH(I)=0.0
286      GO TO 4
287      62 CH(I)=0.0
288      BH(I)=BBH(I)
289      4 CONTINUE
290 C * TESTING
291      GP=100.0*G
292      WRITE(6,63) SOKU(K),SOKU(K1),GP
293      63 FORMAT(1H0,27HTHE OPTIMUM SECTION IS FROM,F15.2,5X,2HTO,F15.2,5X,
294      1 16HAND THE GRADE IS,F15.2,5X,8HPARCENT.//)
295 C * TESTING
296      K=K1
297      IF(K,LT,N) GO TO 5000
298 C
299 C FIGURES OF THE PROFILE
300 C
301 C *
302      WRITE(6,100)(AA(I),I=1,20)
303      WRITE(6,51)
304      51 FORMAT(1H0,7X,3HNO.,11X,4HSTA.,7X,8HGRAND H.,3X,12HFORMATION H.,
305      1 5X,10HBANKING H.,5X,10HCUTTING H.,10X,5HGRADE)
306      DO 5 I=1,N
307      WRITE(6,52) I,SOKU(I),HSOKU(I),HY(I),BH(I),CH(I),GRADE(I)
308      52 FORMAT(1H,110,6F15.4)
309      V(I)=-BBH(I)
310      5 CONTINUE
311 C *
312      WRITE(6,100)(AA(I),I=1,20)
313      CALL INT(N,HSOKU,BIG,SMALL,R)
314      XMIN=SMALL-5.0
315      XINT=(R+5.0)/80.0
316      CALL PROFIL(XMIN,XINT,N,SOKU,HSOKU,HY,BH,CH)
317      RETURN
318      END
319      SUBROUTINE INT(N,X,BIG,SMALL,R)
320      DIMENSION X(100)
321      BIG=X(1)
322      SMALL=X(1)
323      DO 40 I=1,N
324      IF(BIG-X(I)) 10,40,20
325      10 BIG=X(I)
326      GO TO 40
327      20 IF(X(I)-SMALL) 30,40,40
328      30 SMALL=X(I)
329      40 CONTINUE
330      R=BIG-SMALL
331      RETURN
332      END

```

3) 土工横断面の決定とその他数量計算

```

333 SUBROUTINE KAIKI(N,X,Y,E,A)
334 DIMENSION X(100),Y(100)
335 WZ=0.0
336 WS=0.0
337 W0=0.0
338 DD=0.0
339 I=1,N
340 WZ=X(I)*X(I)
341 WS=X(I)*Y(I)
342 W0=X(I)*W(I)
343 10 CONTINUE
344 A= WZ/W2
345 EE=M*ARAKW2-2.0*ARW5
346 FEEZ/XIN)
347 RETURN
348
349 SUBROUTINE PROFIL(XMIN,XINT,N,X,Y,HY,BH,CH)
350 C ** DRAWING FIGURES OF THE PROFILE. **
351 C
352 DIMENSION A(120),X(100),Y(100),HY(100),BH(100),CH(100)
353 DATA STAR/1HR/,PLUS/1H+/,BLANK/1H /
354 C
355 WRITE(6*,100)
356 DD 10 I=1,N
357 DD 20 J=1,120
358 A(I)=BLANK
359 L=35.5*(Y(I)-XMIN)/XINT
360 A(I)=STAR
361 A(L)=PLUS
362 WRITE(6*,200) I,X(I),Y(I),HY(I),BH(I),CH(I),(A(J),J=36,120)
363 200 FORMAT(1H0,13,3F7.2,2F5.2,85A1)
364 10 CONTINUE
365 RETURN
366 END
367
368
369 SUBROUTINE OODAN
370 C ** DESEIN CALCULATION OF ROAD CROSS SECTIONS BY H.KOBAYASHI **
371 C
372 C
373 COMMON AA,N,SKUK,HSOKU,A,PL,RRV,V,YL
374 INTEGER NTYPE
375 DIMENSION AA(20),SKUK(100),SOKU(100),A(100),V(100),RRV(100),PL(100),ROUL(100)
376 1)ROUR(100),SOK(100),SOKO(100),NTYPE(100),CA(100),BA(100),CL(100),
377 2BL(100),ACA(100),ABA(100),ABL(100),ACL(100),DSOKU(100),CV(100),BV(
378 3100),BS(100),CS(100),RV(100),SV(100),RYUS(100),SJUN(100),SUS(100),
379 4AX(100),AY(100),BX(100),BY(100),CX(100),DX(100),DY(100),EX
380 5(100),FX(100),FY(100),FY(100),HSOKU(100),YL(100),ASOK(100)
381 C
382 C * READING DATA AND TITLES.
383 C
384 100 FORMAT(20A4)
385 READ(5,200) S,SDD,SD,GB,GC,GN
386 200 FORMAT(8F10.0)
387 300 FORMAT(8I10)
388 C * VARIOUS TYPES OF ROAD CROSS SECTIONS.
389 C
390 C
391 DD 2 I=1,N
392 BX(I)=SDD*6
393 CX(I)=BX(I)
394 FY(PL(I), 22,22,21)
395 21 BX(I)=BX(I)+PL(I)
396 DD 20 J=1,20
397 CX(J)=CX(I)+PL(J)
398 EX(I)=A(I)+V(I)
399 IF(EX(I).LE.CX(I)) GO TO 24
400 IF(EX(I).GE.BX(I)) GO TO 25
401 GO TO 25
402 24 IE(A(I)) 31,31,32
403 25 IF(A(I)) 34,34,33
404 26 IF(A(I)) 32,32,31
405 31 ROUL(I)=GB
406 ROUR(I)=GB
407 CX(I)=CX(I)+SDD
408 BX(I)=BX(I)-SDD
409 SOK(I)=0.0
410 NTYPE(I)=1
411 GO TO 2000
412 32 ROUL(I)=GC
413 ROUR(I)=GC
414 SOK(I)=2.0
415 NTYPE(I)=2
416 GO TO 2000
417 33 ROUL(I)=GB
418 ROUR(I)=GB
419 CX(I)=CX(I)+SDD
420 SOK(I)=1.0
421 NTYPE(I)=3
422 GO TO 2000
423 34 ROUL(I)=GC
424 ROUR(I)=GC
425 BX(I)=BX(I)-SDD
426 SOK(I)=1.0
427 NTYPE(I)=4
428 GO TO 2000
429 C
430

```

```

430 C CHECKING ON SIDE SLOPES
431 C
432 2000 IF ABS(A(I)-ROUL(I)),LE,1.0E-2) GO TO 44
433 IF ROUL(I) < 1.61E-2
434 41 IF (I=0/ROUL(I)) LT,1.0/A(I)) GO TO 47
435 GO TO 44
436 42 IF (I=0/ROUL(I)) GT,1.0/A(I)) GO TO 49
437 44 ROUL(I)=SIGN(GN,ROUL(I))
438 IF ABS(A(I)-ROUR(I)),LE,1.0E-2) GO TO 54
439 IF ROUR(I) < 1.51E-2
440 51 IF (I=0/ROUR(I)) LT,1.0/A(I)) GO TO 59
441 GO TO 54
442 52 IF (I=0/ROUR(I)) GT,1.0/A(I)) GO TO 59
443 54 ROUR(I)=SIGN(GN,ROUR(I))
444 59 CONTINUE
445 C R CALCULATING COORDINATES OF ROAD CROSS SECTIONS
446 C
447 C
448 AV(I)=(A(I)*RV(I)+BX(I))/(A(I)-ROUR(I))
449 AX(I)=(A(I)*ROUR(I)+RV(I)+BX(I))/(A(I)-ROUR(I))
450 BY(I)=0
451 CY(I)=0
452 DX(I)=(A(I)*ROUL(I)+RV(I)+CX(I))/(A(I)-ROUL(I))
453 DY(I)=(A(I)*RV(I)+CX(I))/(A(I)-ROUL(I))
454 EX(I)=0
455 FX(I)=0
456 FY(I)=0
457 SS=(ABS(CX(I)+DY(I))*AX(I)-BX(I))-ABS(CX(I)-DX(I))/2.0
458 SA=ABS(AX(I)-EX(I))*AY(I)/2.0
459 SB=ABS(AY(I)-CY(I))*BX(I)/2.0
460 AB=SBRT((AX(I)-BX(I))2+AY(I)2)
461 COSGR((CX(I)-DX(I))2+BY(I)2)
462 NN=NTYPE(I)
463 GO TO (110,120,130,140),NN
464 110 CA(I)=20.0
465 BA(I)=55
466 SL(I)=40.0
467 GO TO 240*CD
468 120 CA(I)=55
469 BA(I)=40.0
470 CL(I)=AB*CD
471 BL(I)=0.0
472 GO TO 2
473 130 CA(I)=5A
474 BA(I)=5B
475 CL(I)=AB
476 BL(I)=CD
477 GO TO 2
478 140 CA(I)=5B
479 BA(I)=5A
480 CL(I)=CD
481 BL(I)=AB
482 2 CONTINUE
483 C** CALCULATIONS OF EATH VOLUME AND OTHER VALUES.
484 C
485 C
486 C
487 C
488 DD 3 I=2*NN
489 DSOKU(I)=SOKU(I)-SOKU(I-1)
490 ACL(I)=(CL(I)+CL(I-1))*NO.5
491 ASDK(I)=(SOK(I)+SOK(I-1))*NO.5
492 ACA(I)=(CA(I)+CA(I-1))*NO.5
493 ASA(I)=(SA(I)+SA(I-1))*NO.5
494 ABL(I)=(BL(I)+BL(I-1))*NO.5
495 3 CONTINUE
496 DSOKU(I)=0.0
497 ACA(I)=0.0
498 ASA(I)=0.0
499 ABL(I)=0.0
500 ACL(I)=0.0
501 ASDK(I)=0.0
502 DD 4 I=1*NN
503 CV(I)=DSOKU(I)*ACA(I)
504 BV(I)=DSOKU(I)*ASA(I)
505 BS(I)=DSOKU(I)*ABL(I)
506 CS(I)=DSOKU(I)*ACL(I)
507 SOKO(I)=DSOKU(I)*ASOK(I)
508 RV(I)=CV(I)+RV(I)
509 SV(I)=BV(I)+SV(I)
510 4 CONTINUE
511 C # PRINTING
512 WRITE(6,100)(AA(I),I=1,20)
513 WRITE(6,500)
514 500 FORMAT(I10,2HD,3X,4HSTA,2X,4HDIS,14HC U T T I N G ,22X,13HB A
515 J N K I N G,22X ,2X,6HSHUTEDG,6X,4HDOORA,1X,7HKIRI,REN,2X,5HSDKKD,1H ,
516 21,6X,2X,4HAREA,1X,5HAREA,2X,6HVOLUME,4X,4HSD,14X,4HROCK,12X,4HAREA
517 3,1X,5HAREA,12X,6HVOLUME,1X,7HRVOLUME,1X,7HJUNNGRI )
518 C ** SUMMING UP EACH VALUE.
519 C
520 TDS=0.0
521 TCV=0.0
522 TSV=0.0
523 TRV=0.0
524 TRV=0.0
525 TBS=0.0
526 TCS=0.0
527 TSOKO=0.0
528 KI=0
529 DI=5 I=1*NN
530 DS=DS+DSOKU(I)
531 TDS=TD+DSOKU(I)
532 WRITE(6,500) BA(I),ASA(I),BV(I),SS(I),CS(I),SOKO(I)
533 600 FORMAT(I11,13F7.2,3F6.2,3F8.1,2F6.2,F8.1,24X,3F8.1,F7.1)
534 I=I+1
535 TCV=TC+CV(I)
536 TRV=TR+BV(I)
537 TSV=TS+SV(I)
538 TRV=TR+RV(I)
539 TBS=TB+BS(I)
540 TCS=TC+CS(I)
541 TSOKO=TSOKO+SOKO(I)
542 IF(TDS*GE,SD) GO TO 62
543 IF(TCV*GE,SD) GO TO 62
544 GO TO 5
545 62 KT=KT+1
546 IF(TCV*GE,TBV) GO TO 64
547 RVUS(KT)=TCV
548 SJUN(KT)=TBV+TCV
549 SUS(KT)=0.0
550

```

```

551 GO TO 66
552 64 RYUS(KT)=TBV
553 SJUN(KT)=0.0
554 SUS(KT)=TCV-TBV
555 66 WRITE(6,700) TDS,TCV,TSV,TRV,TBV,RYUS(KT),SJUN(KT),SUS(KT),TBS,
556 TCS,TSOKO
557 700 FORMAT(1H,6HSHOKEI,2X,FB,2,12X,3FB,1,12X,6FB,1,F7.1/)
558 IT=IT+2
559 IF(IT.LT.50) GO TO 68
560 WRITE(6,100)(AA(J),J=1,20)
561 WRITE(6,500)
562 IT=0
563 68 TDS=0.0
564 TCV=0.0
565 TSV=0.0
566 TRV=0.0
567 TBV=0.0
568 TBS=0.0
569 TCS=0.0
570 TSOKO=0.0
571 5 CONTINUE
572 C
573 DD 6 I=1,N
574 TDS=TDS+DSOKU(I)
575 TCV=TCV+CV(I)
576 TSV=TSV+SV(I)
577 TRV=TRV+RV(I)
578 TBV=TBV+BV(I)
579 TBS=TBS+BS(I)
580 TCS=TCS+CS(I)
581 TSOKO=TSOKO+SOKO(I)
582 6 CONTINUE
583 TRYUS=0.0
584 TJUNS=0.0
585 TSUS=0.0
586 DD 7 J=1,KT
587 TRYUS=TRYUS+RYUS(J)
588 TJUNS=TJUNS+SJUN(J)
589 TSUS=TSUS+SUS(J)
590 7 CONTINUE
591 WRITE(6,800) TDS,TCV,TSV,TRV,TBV,TRYUS,TJUNS,TSUS,TBS,TCS,TSOKO
592 800 FORMAT(//1H,7HSHOKEI,1X,F9.2,12X,3FB,1,12X,6FB,1,F7.1)
593 C
594 C ** FIGURES OF ROAD CROSS SECTIONS AND MASS,CURVE.
595 C
596 DD 8 I=1,10
597 CALL FIGUR(AA,SOKU(I),CA(I),BA(I),CL(I),BL(I),AX(I),AY(I),BX(I),
598 1 BY(I),CX(I),CY(I),DX(I),DY(I),EX(I),EY(I),FX(I),FY(I))
599 8 CONTINUE
600 C
601 CALL MASSC(AA,SOKU,CV,BV,V,N)
602 C
603 RETURN
604 END

```

```

605 SUBROUTINE FIGUR(AA,SOKU,CA,BA,CL,BL,AX,AY,BX,BY,CX,CY,DX,DY,EX,
606 1 EY,FX,FY)
607 C
608 C DRAWING ROAD CROSS SECTIONS
609 C
610 DIMENSION S(50,100),AA(20)
611 DATA BLANK/1H,/,DOT/1H,/,TEN/1HX/
612 WRITE(6,100)(AA(I),I=1,20)
613 100 FORMAT(26A4)
614 WRITE(6,200) SOKU
615 200 FORMAT(1H0,51H***** FIGURES OF ROAD CROSS SECTION *****
616 1 /1H0,4HSTA.,16X,F10.2,3X,1HM)
617 WRITE(6,300) CA,BA,CL,BL
618 300 FORMAT(1H0,15HCUTTING AREA = ,5X,F10.2,4H**2/1H ,15HBANKING AREA
619 1= ,5X,F10.2,4H**2/1H ,22HCUTTING-SLOPE LENGTH =,F9.2,3X,1HM/1H ,
620 22HBANKING-SLOPE LENGTH =,F9.2,3X,1HM)
621 C
622 DD 10 I=1,50
623 DD 20 J=1,100
624 S(I,J)=BLANK
625 20 CONTINUE
626 10 CONTINUE
627 DD 30 I=1,50
628 S(I,50)=DOT
629 30 CONTINUE
630 DD 40 J=1,100
631 S(25,J)=DOT
632 40 CONTINUE
633 C
634 JA=AX/0.2+50.0
635 IA=25.0-AY/0.4
636 JB=BX/0.2+50.0
637 IB=25.0-BY/0.4
638 JC=CX/0.2+50.0
639 IC=25.0-CY/0.4
640 JD=DX/0.2+50.0
641 ID=25.0-DY/0.4
642 JE=EX/0.2+50.0
643 IE=25.0-EY/0.4
644 JF=FX/0.2+50.0
645 IF=25.0-FY/0.4
646 C
647 IF(JA.LE.0) GO TO 41
648 IF(JA.GT.100) GO TO 41
649 IF(IA.LE.0) GO TO 41
650 IF(IA.LE.50) S(IA,JA)=TEN
651 41 IF(JB.LE.0) GO TO 42
652 IF(JB.GT.100) GO TO 42
653 IF(IB.LE.0) GO TO 42
654 IF(IB.LE.50) S(IB,JB)=TEN
655 42 IF(JC.LE.0) GO TO 43
656 IF(JC.GT.100) GO TO 43
657 IF(IC.LE.0) GO TO 43
658 IF(IC.LE.50) S(IC,JC)=TEN
659 43 IF(JD.LE.0) GO TO 44
660 IF(JD.GT.100) GO TO 44
661 IF(ID.LE.0) GO TO 44
662 IF(ID.LE.50) S(ID,JD)=TEN
663 44 IF(JE.LE.0) GO TO 45
664 IF(JE.GT.100) GO TO 45
665 IF(IE.LE.0) GO TO 45
666 IF(IE.LE.50) S(IE,JE)=TEN

```

4) 最適土工横断面の決定

```

667 45 IF(JF.LE.0) GO TO 46
668 IF(JF.GT.100) GO TO 46
669 IF(IF.LE.0) GO TO 46
670 IF(IF.LE.50) S(IF,JF)=TEN
671 46 CONTINUE
672 DO 50 I=1,50
673 WRITE(6,500) (S(I,J),J=1,100)
674 500 FORMAT(1H ,10X,100A1)
675 50 CONTINUE
676 C
677 WRITE(6,600) AX,AY,BX,BY,CX,CY,DX,DY,EX,EY,FX,FY
678 600 FORMAT(1H ,12F9.3)
679 RETURN
680 END

681 SUBROUTINE MASSC(AA,SOKU,CV,BV,V,N)
682 C
683 C ** FIGURE OF MASS CURVE FOR FORESTROAD DESIGN BY H.KOBAYASI
684 C
685 DIMENSION SOKU(100),CV(100),BV(100),V(100),AA(20),T(100),A(120),
686 1 BVV(100)
687 DATA STAR/1HX/,DDT/1HX/,BLANK/1H /,PDINT/1H./
688 READ(5,100) F,XINT,YINT
689 100 FORMAT(8F10.0)
690 C
691 WRITE(6,200)(AA(I),I=1,20)
692 200 FORMAT(20A4)
693 WRITE(6,300) F,XINT,YINT
694 300 FORMAT(1H0,10X,30H*** FIGURE OF MASS CURVE ***/1H ,9X,10HRYUYORI
695 +TU=F10,2,14HINTERVAL MASS=F10,2,6HCH,8H=F10,2 /1H0,2X,3HNO.,
696 1 3X,4HSTA.,2X,3HCH+,3X,3HCV.,2X,4H BV/F,4X,6HSUM OF,17X,
697 2 7HBANK H.,1X,6HCUT H.,15X,10HMASS CURVE/1H ,14X,3H BH-,16X,
698 3 6HVOLUME,22X,6H- 0. +,19X,6H- 0. +)
699 C
700 T(1)=0.0
701 BVV(1)=0.0
702 DO 1 I=2,N
703 BVV(I)=BV(I)/F
704 T(I)=T(I-1)+CV(I)-BVV(I)
705 1 CONTINUE
706 DO 2 I=1,N
707 DO 21 J=1,120
708 21 A(J)=BLANK
709 K=90.5+T(I)/XINT
710 L=65.5+V(I)/YINT
711 IF(K.GE.121) GO TO 24
712 IF(L.LE.40) GO TO 24
713 A(K)=STAR
714 24 IF(L.GE.121) GO TO 26
715 IF(L.LE.40) GO TO 26
716 A(L)=DDT
717 26 A(65)=PDINT
718 A(90)=PDINT
719 WRITE(6,400) I,SOKU(I),V(I),CV(I),BVV(I),T(I),A(J),J=41,120)
720 400 FORMAT(1H0,15,F7.1,F5.1,2F6.1,F10.2,80A1)
721 2 CONTINUE
722 RETURN
723 END

185 SUBROUTINE TSEC
186 C
187 C ** SAITEKI DANMEN NO TAKASA ** BY H.KOBAYASI
188 C
189 REAL KB,KC,KL,K1,KHSOKU,KH
190 DIMENSION SOKU(100),HSOKU(100),A(100),KHSOKU(100),AA(20),PL(100),
191 1 KH(100),BX(100),CX(100),RQUR(100),RDUL(100)
192 COMMON AA,N,SOKU,HSOKU,A,PL,KHSOKU
193 C **
194 502 FORMAT(20A4)
195 READ(5,504) S,SDD,GB,GC,GN,KC,KB,KL
196 504 FORMAT(8F10.0)
197 DO 150 I=1,N
198 A(I)=1.0/A(I)
199 150 CONTINUE
200 C ** DATA NO KAKIDASI **
201 WRITE(6,502) (AA(I),I=1,20)
202 WRITE(6,602) N,S,SDD,GB,GC,GN,KC,KB
203 602 FORMAT(1H0,6HDATA SU =,110/1H ,70H FUKUJIN * SOKKOU * MORIDO *
204 1 KIRI * YOUHEKI CUT--K* BANK--K/1H ,8F10.2)
205 WRITE(6,604) (I,SOKU(I),HSOKU(I),A(I),PL(I),I=1,N)
206 604 FORMAT(1H0,50H NO. STA. G,H. JIAMA. KAKUF./
207 1 (1H ,110,4F10.2))
208 WRITE(6,502) (AA(I),I=1,20)
209 C **
210 DO 2 I=1,N
211 BX(I)=S
212 CX(I)=-BX(I)
213 IF(PL(I)) 11,11,13
214 11 CX(I)=CX(I)+PL(I)
215 GO TO 15
216 13 BX(I)=BX(I)+PL(I)
217 15 IF(A(I).LT.0.0) GO TO 24
218 22 RDUL(I)=+GB
219 RQUR(I)=+GC
220 BX(I)=BX(I)+SDD
221 IF(RDUL(I)-A(I).LT.0.01) GO TO 222
222 K1=KC/KB
223 A2=A(I)
224 RQUR3=RQUR(I)
225 RDUL4=RDUL(I)
226 CX5=CX(I)
227 BX6=BX(I)
228 221 CALL OPTH(K1,A2,RQUR3,RDUL4,CX5,BX6,KL,H)
229 GO TO 4
230 222 H=-A(I)*CX(I)
231 WRITE(6,223) H
232 223 FORMAT(1H0, 34HKONO DANMEN WA ZENGIRIGA YOI H= ,F20.5)
233 GO TO 4
234 24 RDUL(I)=-GC

```

土工を主とした林道設計の自動化に関する研究(小林)

```

235 ROUR(I)=-GB
236 CX(I)=CX(I)-500
237 K1=KB/KC
238 A2=A(I)
239 ROUR3=ROUR(I)
240 ROUL4=ROUL(I)
241 CX5=CX(I)
242 BX6=BX(I)
243 IF(ROUR(I)-A(I),LT,0.01) GO TO 221
244 H=-A(I)*BX(I)
245 WRITE(6,223) H
246 4 CONTINUE
247 KHSOKU(I)=HSOKU(I)-H
248 KH(I)=H
249 2 CONTINUE
250 WRITE(6,502) (AA(I),I=1,20)
251 WRITE(6,609)(I,SOQU(I),HSOKU(I),KHSOKU(I),KH(I),A(I),PL(I),I=1,N)
609 FORMAT(1H0,70H STA,NO, STA, GRAND-H, FM,H, CUT-H,
253 1GRAND-G, ADD-H,/(1H ,I10,6F10.2))
254 RETURN
255 END

256 SUBROUTINE DPTH(K1,A,ROUR,ROUL,CX,BX,KL,HH1)
257 REAL K1,K2,K3,K4,KL,K44,KK1,KK2,KLB
258 K2=1.0/A-1.0/ROUR
259 K3=1.0/A-1.0/ROUL
260 K44=K1*K2/K3
261 IF(K44,LT,0.0) GO TO 3000
262 IF(K44,EQ,1.0) GO TO 3000
263 K4=SQRT(K44)
264 EX=(K4*CX-BX)/(K4-1.0)
265 IF(EX,LE,CX) GO TO 10
266 IF(EX,GE,BX) GO TO 10
267 HH1=-EX*H
268 GO TO 20
269 10 K4=-K4
270 EX=(K4*CX-BX)/(K4-1.0)
271 IF(EX,LE,CX) GO TO 3100
272 IF(EX,GE,BX) GO TO 3100
273 HH1=-EX*H
274 20 WRITE(6,102) A,BX,CX,EX,HH1,K4
275 102 FORMAT(1H0,48HSA=SB TO SURU HH1 GA KIMARU A,BX,CX,EX,HH1,K4 WA,
276 1/1H , 6F20.5)
277 C ** NDRINAGA ND CHECK **
278 AX=(HH1+ROUR*BX)/(ROUR-A)
279 AY=(ROUR*HH1+A*ROUR*BX)/(ROUR-A)
280 DX=(HH1+ROUL*CX)/(ROUL-A)
281 DY=ROUL*(HH1+A*CX)/(ROUL-A)

```

```

282 AB=(AX-BX)**2+AY**2
283 CD=(CX-DX)**2+DY**2
284 SA=(BX-EX)**2/ABS(K2)
285 SB=(CX-EX)**2/ABS(K3)
286 WRITE(6,104) SA,SB,AB,CD
287 104 FORMAT(1H ,40H SA, SB, AB**2 CD**2/1H ,4F10.2)
288 KLB=KL**2
289 IF(A) 30,30,32
290 30 IF(AB,LE,KLB) GO TO 4000
291 KK1=-KL*ROUR/SQRT(1.0+ROUR**2)
292 KK2=1.0-A/ROUR
293 HH2=KK1*KK2-A*BX
294 GO TO 3200
295 32 IF(CD,LE,KLB) GO TO 4000
296 KK1=-KL*ROUL/SQRT(1.0+ROUL**2)
297 KK2=1.0-A/ROUL
298 HH2=KK1*KK2-A*CX
299 GO TO 3200
300 3000 WRITE(6,302) K44,A,ROUR,ROUL,CX,BX
301 302 FORMAT(1H0,42H A DR ROUR,ROUL NO ATAIGA MATIGAI **H K44=,6F10.3)
302 RETURN
303 3100 WRITE(6,304) BX,EX,CX,K1,A,ROUR,ROUL
304 304 FORMAT(1H0,25H EX NG ATAIGA OKASII BX =,F20.5, 5HEX= ,F20.5,
305 1 5H CX =,F20.5/1H ,4F10.2)
306 RETURN
307 3200 WRITE(6,305) KL,HH1,HH2
308 305 FORMAT(1H0,37H NDRINAGA GA KL D KOETA KL,HH1,HH2 WA,3F20.5)
309 HH1=HH2
310 4000 RETURN
311 END

```

5) 積分法による縦断勾配の決定

```

153 SUBROUTINE SEKI(N,X,Y,A)
154 DIMENSION X(100),Y(100)
155 C **
156 SAC=0.0
157 SB=0.0
158 N1=N-1
159 DO 10 I=1,N1
160 SAC=SAC+(Y(I+1)-Y(I))*(X(I+1)+X(I))
161 SB=SB+(I+1)*Y(I)-X(I)*Y(I+1)
162 10 CONTINUE
163 SC=X(N)*X(N)-X(1)*X(1)
164 A=(SAC+2.0*SB)/SC
165 C **
166 RETURN
167 END

```