

土木研究所資料第1261号

土 木 設 計 論

土木設計論

昭和52年3月

昭和52年3月

建設省土木研究所企画部システム課

建設省土木研究所企画部システム課

土木研究所資料第1261号

土 木 設 計 論

昭和52年 3 月

建設省土木研究所企画部システム課

序

本冊子は、従来、手法中心で残余のものを経験と勘に頼ることの多かった土木構造物の設計行為を 土木計画論までさかのぼって 設計の位置づけを行ない、その構成を明らかにするとともに目的論的な設計法の展開を試みたものである。もちろん、本研究は、これによってすべて完結しているわけではなく、むしろ設計論および設計法に関する研究の足がかりをつかんだにすぎないともいえよう。しかし、あえてまとめた所以は、土木計画および土木設計に関する研究のシステム化が急がれる社会的背景を考慮して 大方の関心を呼び、この分野に関する論議の問題提起になればと考えたからである。

なお、本冊子の大半は すでに何らかの形で発表したものを 上記の観点から再構成したものであり、共同研究に負うところも多い。すなわち、第2部は、筆者の前任である永井靖郎博士を中心に共同研究の一環として45年、46年度に土研システム課で行ったものであり、その後、京都大学吉川教授や北海道大学五十嵐教授にも討論に参画いただいて、土木学会編土木計画シリーズⅡの一部として既に発表したものである。また、第3部および第4部もその一部は前記シリーズに上掲しており、今回の執筆に当り 第3部第2章を加筆し、第4部を再構成した。第5部も昭和48年から昭和50年までシステム課の研究テーマとして行なったものを再構築したものである。

本冊子の執筆に際しては さまざまな形で共同研究を行なって来た方々（主として各部の末尾に挙げた参考文献で筆者と共同発表の方々）から直接、間接の御示唆をいただいたことを付記し、以上の方々にここに深甚の謝意を捧げたい。

“77年春

土木研究所企画部システム課長

工学博士 岩 松 幸 雄

梗概

土木構造物の設計は、従来より構造力学による力学的安全性の理論的解析を中心に行われ、その他の補完は、土木技術者集団の文化の華ともいふべき、示方書・基準類と、設計者の構造物設計に関する知識経験を援用して行われてきた。したがって熟達した設計者は、それでも十分に事業目的や環境に適合する成果を得ることも可能であつたろうし、また、そこでは力学的安全性の確認以外の評価は、潜在的に行なわれていたといえよう。

本冊子では、それ等の熟達した設計者が潜在的に行なっていたであろう部分をも顕在化し論理的な展開を行なうために、土木計画論までさかのぼって設計の位置づけを行ない、その構成を明らかにするとともに、目的論的な設計法を実例によって展開しようとするものである。

したがって本文は土木計画策定に関する論議をトータルシステムとして、その論議過程における土木設計の位置づけと、設計行為の主軸である対応規制の構造について考察するとともに、現行設計の実態を基点として、より計画意図と整合のある設計法の若干の提案まで5部で構成されている。

第1部は、目的論的な土木計画および土木設計に関する従来の研究のレビューと、本冊子の目的とするところについて記述した。

第2部においては、土木計画をある環境のもとで欲求の充足をめざした現時点における行動指針であり、この行動指針は意図と手段との一義的な対応関係によって記述されるとした。また、土木計画の策定過程を土木計画論として論議の展開を行なった。このような計画論は目的論的な目的論的計画論と呼ばれている。

ところで、このような土木計画の策定過程では、欲求充足と手段とを直接に対応・検証することは不可能であり、本文においても計画意図・期待状態・出現状態等の中間記述空間を設定して理論の展開を行なった。

また、土木計画論を“欲求の充足の状態を記述するシステム”として、その集合論的な取り扱いを行なった。

土木計画論は、記述空間の設定およびその対応規定に関する論議であるが、この対応規定のうち手段寄りの因果論モデルによって対応規定を行なう部分を〈土木設計〉と位置づけた。そして、土木設計とは〈設計条件と具体的構造物を設計法によって一義的に対応づける一つのシステム〉であると定義した。ここで設計条件は欲求充足記述から価値モデルによって射影された期待状態記述の一部と、構造物が建設される地先の環境条件の一部とから構成されるとした。

第3部では、第2部で定義した土木設計をシステムとしてとらえ、その主軸的作業である対応規制について、まずその実態を考察するとともに、ついで集合論を中心とする理論的考察を行なった。

設計の論議は設計条件の記述元になにをとるかによって、その態様が異なってくる。そこで、こ

ここでは、土木計画論と整合させるために環境条件のうち、風荷重や地耐力等は構造物諸元記述空間から、出現状態記述空間への設計法という写像（設計計算モデル等）を規定する条件とし、また、居住地域か、工場地域かなどを示す地域区分のような環境条件は出現状態記述空間と設計条件記述空間との適合検証を規定するものとして、設計条件からはずして取り扱った。

第4部では、現行の力学的設計の実態的意義とともに前記の空間設定や設計法という写像を可能にする設計示方書・基準類についてまず考察した。そして設計条件、設計法、および初期値が設計されたのち、一連の設計行為の中の一作業モジュール的な部分を〈単位設計〉と名づけて以後の比較設計、自動設計、そして標準設計等の各種設計法の考察に利用した。

第5部では、第4部までの土木計画論、土木設計そして現状の設計行為に関する論議を踏まえて目的論的な設計法の提案を試みた。すなわち、土木計画論をトータルシステムとしてとらえ、その観点からの設計法のあり方と、種類について考察したのち、その中で現在実行に移されていない2種の設計法について提案するものである。

まず第2章では、PC桁橋の設計アウトプットデータをサンプルに統計処理した簡単で工学的精度も容認し得る回帰式による設計法を提案した。

ここで提案する設計法は精度が良いとはいえないが、簡潔さを特長とする統計処理による設計法である。この設計法は結局、熟達した設計者の判断の内容を詳細に分析するということをその内容としている。熟達した設計者は設計のキーポイントとなる設計諸元について多くの条件から経験的に極めて正確に推定することができる。

ここで提案する統計処理による設計法も、いわば過去の設計データを分析して極めて簡略な形でキーポイントとなる構造物諸元を算定式によって設定し、それを中心に他の設計諸元も数値として設定する簡単な設計システムでいわば先述の直接設計法のサブシステムである。したがって卓上計算機での設計も可能であるとともに、図化は、パターン化して表示するようになっている。

ついで第5部第3章では力学的安全性のほかに耐久性、経済性および環境適合性（景観、騒音、振動）を評価項目とする評価を考慮した設計法を提案した。

これらの評価項目の概念を具体的な数値に表現するために、次のような評価指標を設けた。

- ① 安全性 → 部材の破壊確率
- ② 耐久性 → 鋼板の材質と塗装周期
- ③ 経済性 → 鋼重
- ④ 環境適合性

振動性状 → 自動車走行による橋梁振動速度

騒音 → 騒音レベル（着目点の）、被害者数

景観 → 景観レベル

総合評価を行なう場合には各評価項目の関係は重みによって表現されるが、本システムでは外生化し、設計担当者（建設省の工事事務所の係長クラス）のアンケート結果を処理した重みの平均値を目やすとして示した。

また現状では論理的な総合評価を行なうには、無理があるが、ここでは、耐久性における塗装費および材料費、騒音における遮音壁の建設費および防音補償等のようにすべて費用に換算して総合評価を可能にした。

なお、設計例は国道16号線、千葉県君津郡袖ヶ浦町長浦跨線橋について、現況の計画情報と環境情報による場合と、それ等を変動させた場合について行なっている。

以上、本文は熟達した設計者は従来も潜在的には行なっていたであろう土木計画論と整合ある評価に関する設計条件を組み込んだ設計法を土木設計の設計行為の中で顕在化あるいは技術化するために土木計画論までさかのぼって理論化を試みようとしたものである。

しかし評価という価値モデルを援用する行為には、定量的に扱うには未だその方面の学問の進展を待つべき不確定部分も多く、したがって、常に結論は新しい課題を提供することになるが、その過程で分析にはさまざまな手法が展開されることにもなり、研究自体の密度も高まっていくものと考えられる。そして本論もその第一歩となるものと信ずる。

目 次

第 1 部	緒 論	1
第 1 章	従来の研究の展望	1
1・1	土木計画学に関する従来の研究	1
1・2	目的論的な土木設計に関する従来の研究	6
第 2 章	本研究の目的と内容	10
第 2 部	土木計画論と土木設計	15
第 1 章	土木計画と土木計画論	15
1・1	「意図」と「手段」の一組の対応としての土木計画	15
1・2	土木計画の手段	17
1・3	土木計画論の定義	18
1・4	土木計画論の各局面	18
1・5	土木計画論の領域規定	22
第 2 章	土木計画論システムの論理的構造	24
2・1	土木計画論におけるシステムの本質	24
2・2	土木計画論におけるシステムの輪郭	25
2・3	広義の土木計画論システムの集合論的取り扱い	26
2・4	狭義の土木計画論システムの集合論的取り扱い	29
2・5	欲求充足記述空間の形態	32
2・6	手段記述空間の形態	37
2・7	対応射影の形態	38
第 3 章	土木計画論における土木設計	42
3・1	土木設計の一般的定義	42
3・2	土木設計の領域と一般的構造	43
第 3 部	土木設計における対応規制	51
第 1 章	土木設計における対応規制の実態	51
1・1	設計条件と構造物諸元	51
1・2	設計法としての対応規制の実態	52
第 2 章	土木設計における対応規制の論理的考察	54
2・1	構造物諸元と出現状態記述元との対応規制	54

2・2	出現状態記述元と設計条件記述元との適合検証	57
第4部	現行設計の実態についての一考察	61
第1章	現行設計行為の実態的意義	61
第2章	対応規制の主軸としての示方書・基準類	64
第3章	現行の各種設計法に関する考察	69
3・1	単位設計と比較設計	69
3・1・1	単位設計	69
3・1・2	比較設計	70
3・2	自動設計と標準設計	71
3・2・1	自動設計	72
3・2・2	標準設計	77
第5部	土木計画論との整合性を考慮した構造物設計法	81
第1章	土木計画論と整合する設計法の必要性和分類	81
1・1	土木計画論と整合する設計法の必要性和意義	81
1・2	目的論的な設計法の分類	83
第2章	回帰式による主要構造物諸元の指定を中心とする設計法 — PC 桁橋を例とした計画論からみた力学的統計設計法の 提案(その1)	85
2・1	PC 桁橋の主要な構造物諸元算定式について	86
2・1・1	桁高算定式の提案	86
2・1・2	桁高算定のための提案式の検討	90
2・1・3	桁高算定式の設定	93
2・1・4	主ケーブル本数の算定式	94
2・2	PC 桁橋の現状データを処理した回帰式による設計システムについて	95
2・2・1	算定式による以外の構造物諸元の設定	95
2・2・2	PC 桁橋の直接設計システムのプロセス	95
2・2・3	直接設計システムによる設計例	97
2・2・4	累積設計と直接設計との材料比較	109
2・2・5	桁高制限に対する本システムの適用性について	109
2・2・6	図化システムのパターン化	110

第 3 章 評価要素を設計条件とする設計法

ー プレートガード橋を例とした計画論と

整合性を考慮した土木設計法(その2)	111
3・1 評価を考慮した設計法について	111
3・2 評価の内容および重みづけ	113
3・2・1 評価指標	113
3・2・2 評価関数	115
3・2・3 重みづけ	118
3・2・4 総合評価	119
3・3 設計法の骨格と設計例	120
3・3・1 直接設計法のメインルーチンフローチャート	121
3・3・2 各評価モデル式	122
3・3・3 演算例	159
結 語	188

第1部 緒 論

我われの祖先は生活を安全に快適に送るために、そして時には個人の権力の象徴として、さまざまな構造物を築造したと考えられる。そしてそれらの技術化が科学の源泉となったことも伝えられているとおりであろう。

20世紀後半における物理学の進展は、やがて生物化学、人文科学、社会科学と呼ばれるものに大きな影響を及ぼし、これらの科学分野の飛躍的な発展が期待されている。と同時に、今日我われが行なう建設事業にも従来のストレス・ストレインを主軸とする物理科学系中心から、これらの諸科学の成果を合成したようないわゆるインターデシプリナリィ な、あるいはプロブレム オリエンテッドな事業遂行が望まれている。

ここでは、上記の認識から行なわれたと思われる目的論的な計画論、および目的論的な土木設計に関する従来の研究についてレビューするとともに、本論のめざすところについてもその概要を記述する。

第1章 従来の研究の展望

我われ人類の祖先は、河川や溪谷を大地と同じように歩いて渡りたい、あるいは、水害や土砂災害等から生命、財産を守りたいという素朴な欲求を実現するために有史以前から、土木構造物を建設してきた。そして、それらを建設するための技術活動は、あらゆる技術活動の中で最も古くから営まれていたであろうことは想像に難くない。当時、その建設に当って先人達がどのように計画し、どのように設計していたかは知る由もないが、我われが知識・経験として力学的設計法を得たのは比較的最近である。

構造物設計法の主軸モデルとして力学の導入は近代の他の科学と同じく、決定論的な因果律から出発して組み立てられ、そして経験によって知られていた構造物の破壊に対する不確定性は安全率という概念で設定され、経験を基に数値化された。そして、力学を主軸モデルとする構造計算は材料力学としても材料や部材の理論的解析を可能にし、初期の線形弾性理論から、更に近年の塑性論の発達によって、極限設計法という新しい力学的設計法まで発展した。他方、経験による総合的判断で設定していた安全率に対しても、確率論の構造設計への応用によって、信頼性理論等による理論解の道が開かれてきた。

これら一連の力学的安全性に関する理論の研究は、構造物の建造が職人の勘と経験のみで比較的近年まで行われていたことを考えれば、いかに評価しても評価し過ぎることはない。しかしながら、土木構造物が不特定多数の利用者を対象に公共施設として建設され、そして経済力の拡充にあわせて、いわゆる価値観の多様化時代を迎えた現状では、力学的安全性の理論的解析のみでは事業実施が困難になって来たことも事実である。すなわち、現今における欲求の多様化、価値観の変化の動向を受けて土木計画論における意図の鮮明化、すなわち、構造物の機能・効果に対する注目の顕在化によって、特殊な場合を除いて強固で安全な構造物諸元を求めることと同様に、要望にこたえる機能・効果を発揮する構造物諸元を求めることが重視される傾向が生じている。

したがって、ここでは本冊子のめざすところに従って、以下に土木計画論および土木設計論の領域と構成に関する従来の研究の展望を試みる。

1・1 土木計画学に関する従来の研究

わが国で土木計画学という名称が公式に登場したのは、1958年に京都大学工学部土木工学教室にこの名の講座が誕生したときであろうが、それ以前にも土木工学の各分野ごとに様々な計画に関連した研究は進められていた。

そこで、土木計画学について体系的に論ずる場合、土木計画学を<土木計画の学>ととらえる立場

と、＜土木の計画学＞と考える立場とでは、そのアプローチの仕方に若干の相異が生ずる。前者は、土木の各分野の計画学、たとえば河川計画、道路計画、港湾計画、鉄道計画等における学問的接近をはかる立場であり、いわば従来の土木工学の内側からの接近といえよう。また、後者は、計画学に主体を置き、そこから土木工学を総合して計画の策定を考える立場である。もちろん、両者とも経済・社会的要素も加味して計画は進展することは論を待たない。

本文では、第2部において欲求の充足あるいは目的達成のために土木技術をもってするものを土木計画と定義するために後者の立場から理論の展開を行なっている。したがって、ここでもまず、目的論的計画論の諸特性についての従来の内外の研究のレビューを行なったのち、土木計画学研究委員会の活動を中心に土木計画学の従来の研究の展望を行なう。

計画に関する定義は種々の側面から数多くなされているが、目的論的計画論において、まず、FunkとWagalls¹⁾は「計画とはある目的を達成するために必要であるか、または役に立つと信じられる多くの手段または連続的な段階の組織的な配列のことである」といっている。これに対して、経営学の権威P. F. Drucker²⁾は「計画とは、未来のことに関する現在の意志決定である」と端的に定義しているが、ここで強調されていることは、現在の行動に対する人間の意志の問題としてとらえていることである。心理学者のDoob³⁾も計画を人間活動の現れとみて、「計画とは、個人またはその集合体がある社会において、ある目的を達成するための発見である。」と定義した。

目的論的計画論においては、計画をなにを実現しようとするのかという目的とそれを実現するための手段の体系と定義されているが、加納⁴⁾は、その著書「計画の科学」で目的と手段との関係を図-1・1のように表現している。

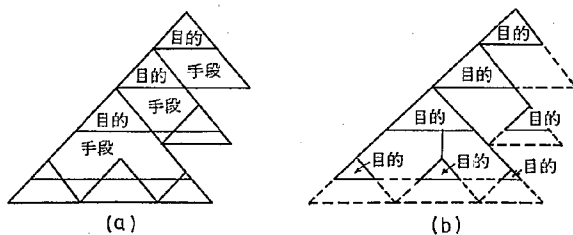


図-1.1 目的と手段との関係

この図のように、同一段階で目的と手段は重なりあっているから、手段の側面を省略すると、目的だけの数珠つなぎのようにみえる。それが図-1・1(b)であり、目的連鎖を表わしている。

また加納は、計画の要素を主体、対象、目的、手段、構成の5要素に分類し、それらの位置づけも行っている。

一般にオペレーション・リサーチにおいては、目的は意志決定者から与えられたものとして、所与として考える傾向が強いのに対して、システムズ・アナリシスにおいては目的の検討や再編成をも重要な課題と考え、何を目的とすべきか、何を問題とすべきかという根源的なところから分析が発出する。この目的あるいは問題の明確化について、S. L. Optner⁵⁾は問題の分類を2種類あげており、その一つは、定形の問題 (well-structured problem) と非定形の問題 (ill-structured problem) に分ける方法であり、他の一つは定量的問題、定性的問題および定量的属性と定性的属性の双方を含む混合問題 (mixed problem) に分ける方法である。一般に土木計画論にかかわる問題の多くは混合問題であるといえようし、定形化を行なうことが困難場合が多い。

次に、問題解決のため、あるいは目的達成のための手段についてであるが、目的を達成するための手段として選択の対象となる代替案は、多くの場合、一つとは限らず、いくつもある。Optnerによれば代替案は2種類ある。一つは、機能の代替案 (functional alternative) であり、他の一つは、活動の代替案 (operational alternative) である。つまり、代替案には、何をなすべきか (what to do) についての代替案といかになすべきか (how to do) についての代替案とがあるといえよう。これは一つの可能な分類ではあるが、しかし、計画論システムの分析においては what と how の双方を考慮した代替案を設計しなければならないのが普通であろう。

次に、土木計画学の従来の研究について、土木学会土木計画学研究委員会の活動を中心に展覧する。土木計画学研究委員会は土木学会に1966年8月に設置され、その目的を「土木計画のあるべき姿、その問題点を検討し、あわせて計画に関する調査、研究等を行なうこと」としている。そして、翌67年1月を第1回に毎年1月に土木計画に関する調査・研究の成果をもとに土木計画学シンポジウムが行なわれている。ここではそのシンポジウムにおいて発表された論文の中から本論文と関係あるものを選択的にレビューを試みる。⁶⁾

つまり、第1回土木計画学シンポジウムは1977年1月31日に「土木計画のあり方と基礎理念」なるテーマで行なわれた。その中で土木計画を八十島は土木技術と、加納は公共投資と、吉川は環境と、北川は国土・地域計画との関連で、そして佐々木は現象解析を通したシステム問題としてとらえており、また五十嵐は動機、目標、手法、結果の総合的観点より見るべきとしている。概括的にいえば、以上が先に示した<土木計画学>的に土木計画をとらえているのに対し、佐田、石原、毛利、山本、多谷および天野はむしろ<土木計画の学>的なとらえ方といえよう。すなわち、佐田は施工計画の、石原は防災計画の、毛利は交通計画の、山本は環境衛生計画の、多谷は都市鉄道計画の、そして天野は交通施設投資のそれぞれの側面から土木計画をとらえる立場である。

土木計画のあり方については、八十島は土木計画と土木技術の交互作用について述べるとともに、社会経済的知識の参加の重要性を指摘している。

加納は計画の要素を主体、対象、目的、手段、構成の5要素に分類し、公共投資を例にそれらの位置づけを行なっていると同時に、経済社会部分と工学部分の有機的統一のための方法論を確立することの重要性を指摘している。

吉川は加納と同じく計画を5要素に分類するとともに、分析、評価、統合という手続過程を経て土木計画をシステムの問題として取り扱うことの可能性を提唱し、このための手法としてオペレイションリサーチが有効であるとしている。

佐々木は計画対象の現象の不確定性を解明するために計画基礎数理の役割について指摘している。

五十嵐は、土木哲学の必要性を提唱するとともに、目的の重要性を強調し、目的と手法との取り違えた計画のあることに警鐘をならしている。

石原は、計画の策定にあたって、科学的知識によって問題を多角的にとらえ、それらを調整し、総合的観点から十分な検討を加え、合理的、経済的であって、しかも、社会に幸福をもたらすことを目的としなければならないとともに、その策定は弾力的でなければならないと指摘している。

鈴木は計画の段階を①構想計画、②設計計画、③施工計画、④維持管理計画とし、このうち、構想計画が特に重要であるとしている。すなわち、人間→欲望→予備計画までの道程において、土木計画のあり方や基本理念が決定されると考えている。そして、土木計画に要求されるものとして、①するどい将来への洞察力、②機能と複雑な要素を組織化し秩序化していく論理性、③人間成長の基盤の推進、④土木技術の総合、⑤豊かな表現力の5項目をあげている。

長尾は、土木計画の存在価値を証する必要条件として①必要性の認識、②目的の認識、③願望と行為の合目的性をあげている。また、その策定のための必要条件として、①目的・立場の吟味、②環境調査およびその現象の解析、③施設・機能のメカニズムの解明（手段の出現状態）④合目的な評価基準の設定と評価の計量化をあげている。

また、米谷は第1回シンポジウムをまとめる立場から土木計画を策定するに当って特に留意する事項として、計画の機能、効用、経済性、確実性および弾力性をあげている。

次いで第2回土木計画学シンポジウムは、「需要予測と計画目標設定」、第3回のそれは「土木計画における計量化」のテーマで行なわれた。ともに前回のまとめとしての発表を行なっているが、第3回のシンポジウムプロシーディングにおける計画学研究委員会幹事会の「土木計画の考え方」についてのまとめは圧巻である。すなわち、「土木計画の考え方」について①定義と目的、②要素と構成、③分類、④方法、⑤手法、⑥問題点について解説したのち、長尾、吉川、五十嵐、毛利、鈴木、天野、加藤等による土木計画の考え方の上記6区分に対するコメントの概要一覧表があって、各人の主張が明らかにされている。

以降の土木計画学シンポジウムも第4回が「システムフローとしての土木計画学」、第5回、第6回が「土木計画の評価システム」、第7回、第8回が「環境問題と土木計画学」、第9回が「代替案評価の理論と実際」等のテーマで行なわれているが、本文の第2部の理論の展開には参考になったが、

直接の関連はないとの判断から、レビューは省略する。なお、第10回は1976年1月に「誕生10周年を迎えた“土木計画学”（土木計画学原論を中心として）」というテーマで行なわれたが、筆者も企画、発表者の1人であったこと、内容の必要部分の本論文に転載していること等からここではレビューから省略する。

1・2 目的論的な土木設計に関する従来の研究

1・2・1 構造物の設計について

人類が社会生活を営みはじめて以来、土木構造物は数多く構築されてきたが、古代～中世社会においては、土木構造物の構築行為は権力者の力の象徴であり、構造物の存在自体が設計の意図であったとしても、現在における安全性、あるいは経済性の概念を明確に意識していたかは疑わしい。

もっとも、彼等は身近にある材料を利用して、それまでの経験の積み重ねにより、適切に組み合わせ、要求される機能を保持するように構造物を設計し、かつ結果として安全性、あるいは経済性の要求に対処していた。

近代の鉄鋼材料の大量生産、セメント工業の発達、あるいは力学の発展により、土木構造物は、人間社会の自然に対する領域の拡大要求に従って、より困難な条件の下にその建設が要求されるようになり、このため土木構造物の設計では、安全性の検討が第一義に考えられることになり、その流れは現在にも及んでいると言える。

もっとも、今までにも土木構造物の設計にたずさわってきた人達は、設計にあたって安全性以外にも、土木構造物が具備すべき評価項目として種々な項目をあげている。

たとえば、奥村・八十島⁷⁾は

「橋は、その強さ、美しさ、経済性を考えて、その場所に適した最も有利な条件を選ばなければならない。」

秋元泰輔⁸⁾は

「道路構造物は道路の一部として、交通を安全にかつ快適に通過させる使命を有している。したがって、構造物として力学的に十分な強度と剛性を持つことが必要であり、構造の各部分が釣り合いのとれた安全度をそなえ、耐震的であり、耐久性をもち、さらに経済的で美観にすぐれたものであることが必要である。」

とのべている。ここに示されている設計の概念は公共のものである土木構造物を設計する場合の理念としては申し分ないものであろう。しかしながら、構造物の設計における評価因子の取り扱いについては、安全性の検討が主たるものであり、その他の因子の検討については量的なものは示されていない。

また、村上永一⁹⁾は、土木構造物を設計するにあたって考慮すべき因子として、次の5つをあげている。

- ① 合目的性
- ② 安全性
- ③ 施工性
- ④ 経済性

⑤ 環境との調和

①の合目的性は機能性という概念であろう。さらに、これらの因子のうち、①と②の因子は土木構造物の生命であり、これらが満足されると同時に、他の因子をバランスよく配分することが必要としている。

同様に、河野通之¹⁰⁾は、

構造物の設計の主たる要素として、

安全性、施工性、保守性、美観、公共性

をあげ、構造諸元の決定式として、

建設費+維持補修費 → 最も経済的

を示している。

彼等は設計において考慮すべき因子について明確な考え方を示しているが、その因子間の関係あるいは重みづけについては示しておらず、設計の概念としては前2者と変化したところはない。

以上、見てきたように 過去において土木構造物の設計に対する概念について記述されたものは、設計において考慮すべき因子をあげてはいるが、その因子の最も有利な組み合わせを選ぶことが設計で必要とされるとの記述にとどまり、それら因子間の相互の関係、個々の因子の量的取り扱い等について述べたものはなく、いずれも安全性を第一義に、その他の評価因子については経験あるいは、設計行為の繰り返しによって検討する設計が示されている。

したがって、極言すれば、これらにおいて示されている構造物の設計の概念は、所与の機能性を有する構造物の安全性を検討することと言えよう。

近代における土木工学の発展は、物性の解明と そのより高度な専門分野の追求に大部分が費やされてきたと言っても過言でなからう。ごく最近になって構造物と環境との関係について研究が始められているが、その蓄積はまだまだわずかと言える。

したがって、過去における構造物の設計についての概念が、安全性を第一義にしてきた事は当然であるし、そのこと自体が人類社会に対して果してきた役割をどれほど評価しても評価しすぎることはない。しかし、一般には安全性、機能性、施工性、経済性、あるいは環境適合性といった設計において考慮すべき因子は互いに独立でなく、相互に関連しあうものである。したがって、今後の環境と構造物との間の作用についての研究等、各因子についての研究の発展にしたがって、構造物の設計において安全性と環境適合性、あるいはその他の因子間の具体的な取り扱いが問題となてこよう。すなわち、土木工学の各専門分野における内容の高度化とともに、それらの研究成果を手段として具体的な構造物を生み出すべき設計という場において、それらの手段の間の相互作用を規制する概念が現段階においては定性的な状態におかれており、その定量的な概念の導入が今後必要とされることは想像に難くない。

1・2・2 評価因子より見た構造物の設計について

構造物の設計因子としての力学的安全性より見た設計については、1・2・1において述べているように、今までの構造物の設計が安全性を中心にした設計であるため、数多く研究されてきている。

しかし、その他の因子、たとえば、耐久性、環境適合性等の因子より見た設計については、研究成果はあまりあがっていないのが現状であろう。

ここでは、橋梁の設計について、それらの因子についての研究の2、3を紹介し、それらの設計に対する考え方について考察してみたい。

(1) 耐久性について

首都高速道路公団は、「首都高速道路の点検・補修に関する調査・研究報告書」1974 において、

橋梁の塗り替え周期は、保守費と償却費の和が最小になるような塗り替え周期が最適であるとしており、周期Tの決定式として次式を与えている。

$$C = C_f + C_p + C_s = F/t + m \{ P(t \cdot T) \} / T + n \{ 1/s(t \cdot T) \} / T$$

ここに、F；塗装費用

C_f；年間塗装費

t；橋梁使用期間

P；素地金属の腐食移度を表わす関数

C_p；素地調整年間経費

S；耐用年数を表わす関数

C_s；年間償却費

m, n；定数

$$\partial C / \partial T = 0$$

T；塗替え周期

この考え方は、安全性と耐久性とを別個に考えており、その定量的な取り扱いには評価されるが、従来の設計の概念に対して何らの変化を与えるものではない。

(2) 景観について

中村良夫¹¹⁾は

「土木構造物に対する計画・設計過程において、なんらかの景観の配慮がなされること自体が例外的であったが、最近では、環境保全の一環として美しい自然景観に合致した設計を行なわねばならないという要請が強くなってきており、構造物の景観を考慮するための手段の開発がかなりなされてきている」と述べ、その手段について2・3の例を紹介しているが、設計に対する積極的な量的アプローチ、たとえば安全性あるいは経済性との関係についての総合的な検討は見うけられない。

(3) 振動について

小堀・梶川¹²⁾は

過去の橋梁の動的安定性についての研究が力学的、あるいは材料強度的に行なわれてきた点を指摘し、構造物の振動が構造物以外におよぼす影響（たとえば人間への影響など）を考えるべきであるとしている。そして橋梁の振動による人間への影響は、主観的反応と、生理的反応に分類

され、そのうち、主観的反應はかなり状況によって変るとしても、橋梁の振動はできるだけ小さくするよう設計において努力を払うべきであるとしている。その値は振動速度の目標値として 1.7 cm/s を与えている。

ここでは振動の規制値として定量的に示されており、これによって橋梁の形式、構造諸元の選択に対して、他の評価因子との関係が明確ではないが、定量的なものとして規定される端緒として評価できよう。

第2章 本研究の目的と内容

我われ土木技術者の行動は、一般的にはある環境のもとである目的のために土木構造物を建設することに帰着する。そして、そこで建設される構造物は世代体制を越えた将来にわたって機能することが一般に求められ、それらは計画、設計という我われの行為の中で理論の展開が行なわれるべきものであろう。

前章で述べたように計画論一般についても、また土木計画論についても最近その理論的アプローチは数多くの人が行なっている。

他方、構造物設計法についても一連の構造力学に関する研究は成岡昌夫博士の著書「構造力学要論」にも示されているように相当の蓄積があり、その結果、力学的安全性について理論的解析を可能にした。また、力学的安全性のみならず景観を考慮した構造物設計法¹¹⁾や橋梁設計における振動速度の目標値の設定¹²⁾等を行なった研究も最近行なわれつつあることも前述のとおりであるが、それらは他の評価要素も組み込んだ形での取り扱いでなく、個別的な評価要素による設計法にとどまっている。

また、計画と整合性のある設計も見あたらず、それぞれは別々なプロセスとして扱われている。

そこで本文では、土木設計を土木計画論システムのサブ・システムとして位置づけ、計画論から付与される評価を組み込んだ土木設計の展開を試みようとするものである。すなわち、目的論的な土木計画論の中での目的論的な土木設計の領域と構成を論議するとともに評価を組み込んだ設計法を行なおうとするものである。

そして本文は、土木計画策定に関する論議をトータルシステムとして、その論議過程における土木設計の位置づけと設計行為の主軸である対応規制の構造について考察するとともに現行設計の実態を基点としてより計画意図と整合のある設計法の若干の提案まで5部で構成される。

第2部では、土木計画の策定に関する論議の一般的構造と、土木計画論を一つのシステムとして把握し、その論理的展開を行なうとともに、土木計画の策展過程の一部として土木設計の位置づけや、その一般的構造についても考察する。すなわち土木計画論を欲求充足記述空間と、その欲求を満たす手段の記述空間の設定および両記述空間の一義的対応を求めるための論議と設定したのち、土木設計を土木計画策定過程の一環としてとらえ、その一般的構造について考察し、本文の目指す役割と位置づけを明確にすることを試みた。

第3部では、本論の対象である土木設計法について、その実態および理論的考察を行なったが、なかんずくその主軸である設計条件と構造物諸元、および両空間の一義的対応を目指すための対応規制について論述した。土木設計は、特定の設計条件を特定の設計法という射影法によって具体的構造物と対応づけ、特定の具体的構造物を指定する行為であるが、一般に設計行為の中では設計条件は与件として取り扱う。とはいえ、構造物諸元の初期値を設定したのち、因果律によるモデルを主軸として出現状態を記述する設計法は、設計条件とは相互補完の関係にあり、条件空間にない記述元につい

て設計法を発動しても無意味であろうし、また、設計法の拡張は設計条件の拡張がなければ意味をなさない。本文では、その対象が土木設計であり、設計条件の拡張、明示は第2部で記述した計画意図と期待状態との対応規制に関することとして研究の対象から除外し、第5部で構造物設計に関する若干の力学的以外の条件を選択的に付加して設計法の拡張を行なった。したがって第3部では設計条件および構造物諸元を与件とし、その一義的対応を求める設計法に関係する事項について、その実態と理論的取り扱いを中心に論述している。

第4部では現行の力学的設計の実態的な意義とともに、限られた設計条件と力学的演算のみで設計を可能にする主軸的規範である設計示方書、基準類についてまず考察し、ついで現行の各種設計法、つまり一連の設計行為の中の一作業モジュールとしての単位設計と、それに対位する形の単位設計を素材群として目的に最的なものを導出する比較設計について、そして自動設計と標準設計についても考察を行ない、第5部を展開するための基点とした。すなわち、現在の土木設計のほとんどは限定された設計条件と力学的モデルを主軸モデルとした厳密な演算で行なわれているが、その演算成果が土木計画論からみて、どのような実態的意義をもつのかについてまず考察した。ついで、そのような特定の状況のもとで具体的構造物を指定する行為である設計法を可能にする主軸的規範である設計示方書、または設計基準と呼ばれるものが、何を記述し、何を保証しているのかについても考察した。またどのような設計法によるにしても、そのアルゴリズムが設定され、基準類が整備されれば、所要の条件が与えられてから具体的構造物を指定するまでの設計過程には設計担当者の判断が必要となる局面は少いといえる。そこでその一連の設計行為のなかの一作業モジュールともいべき部分を<単位設計>と名付けてその位置づけを試みるとともに、複数個の単位設計の出力を入力として、目的に最も適合度のよい構造物を導出する一連の行為としての比較設計について言及した。また、土木設計と電子計算機とのかわりあいでは発生した自動設計とともに、対応モデルを意識することなしに設計条件から構造物を検索によって直接指定する標準設計についても記述した。

第5部ではここまでの土木計画論、土木設計、および現状の設計行為に関する論議を踏まえて、目的論的な設計法の提案を試みた。すなわち、土木計画論をトータルシステムとしてとらえ、その観点からの設計法のあり方と種類について概観したのち、その中で現在実行に移されていない2種の設計法について提案するものである。価値観の多様化、都市化現象、住民参加等々の言葉で代表される事業実施をとりまく社会的環境は、それが道路の一部分である橋梁建設事業に限ったとしても力学的設計の理論解を主軸とする従来の設計法では事業の必要性の根拠とするには弱く、したがって事業の円滑な実施も困難な状況にあるといえよう。塑性論や信頼性理論等を駆使するまでに進展した、力学的設計法は構造物の物理的存在性の確認のためには有力な武器であることは論を待たない。しかし、類例も多く、破壊の例もあまりない一般的な構造物では、厳密な理論による物理的存在性の確認の努力をむしろ土木計画論でいう他の期待状態の記述元との適合性の確認に回ることがより有効であるといえよう。もともと現行の設計法では多くの場合、力学的法則性をその主軸にすえているが、力学

的要因のみで具体的構造物のすべてが一般的に指定されるわけではなく、設計担当者の知識経験および
集団の知識経験の集約たる示方書・基準類を介して種々の要因を含んだ設計の完成はなされるものと
いえよう。したがって、我われが知識経験をもとに総合勘案して対応を求める設計の部分を実在化する
形で取り扱った設計法が第3章に提案する設計法であり、そのために膨大な力学計算を省力化する
ために提案する設計法を第2章に記述した。

そこで第2章では、PC桁橋の設計データをサンプルに統計処理した簡単で工学的精度も容認し得
る回帰式による設計法を提案した。また、第3章では力学的安全性のほか耐久性、経済性および環
境適合性（景観、騒音、振動）を評価項目とする評価を考慮した設計法を提案する。とくに本設計法
の提案に関する研究のアプローチは実態を調査することによって問題点を摘出し、それらを整理する
ことによってモデル化を行ない、そのモデルによって得られた結果を実橋と対応することの繰り返し
で行なった。

参考文献

- 1) Funk and Wagalls : New standard English Dictionary of English Language, 1927
- 2) P. F. Druker (現代経営研究会訳) : 新しい社会と新しい経営, ダイヤモンド社, 1927
- 3) L. W. Doob : The Plan of Men, Yale University Press, 1940
- 4) 加納 治郎 : 計画の科学, 経済往来社, 1963
- 5) S. L. Optner : Systems Analysis for Business and Industrial Problem Solving, Prentice Hall, 1965
- 6) 土木学会土木計画学研究委員会編 : 第1回~第10回土木計画シンポジウム・プロシーディングス 1977~1976
- 7) 奥村, 八十島 : 土木工学通論, 技報堂.
- 8) 秋元 泰輔 : コンクリート橋の設計, 理工図書, 1963
- 9) 村上 永一 : 土木構造物設計とは何か, 土木学会誌 Vol. 57 No. 7, 1972
- 10) 河野 通之 : 構造設計の概念, コンクリートライブラリー No. 34, 土木学会, 1972
- 11) 中村 良夫 : 景観設計における評価に対する考え方, 土木学会誌 Vol. 57 No. 7, 1972
- 12) 小堀, 梶川 : 橋梁振動の人間工学的評価法, 土木学会論文報告集 No. 230, 1974

第2章 本研究の目的と内容

我われ土木技術者の行動は、一般的にはある環境のもとである目的のために土木構造物を建設することに帰着する。そして、そこで建設される構造物は世代体制を越えた将来にわたって機能することが一般に求められ、それらは計画、設計という我われの行為の中で理論の展開が行なわれるべきものであろう。

前章で述べたように計画論一般についても、また土木計画論についても最近その理論的アプローチは数多くの人が行なっている。

他方、構造物設計法についても一連の構造力学に関する研究は成岡昌夫博士の著書「構造力学要論」にも示されているように相当の蓄積があり、その結果、力学的安全性について理論的解析を可能にした。また、力学的安全性のみならず景観を考慮した構造物設計法¹¹⁾や橋梁設計における振動速度の目標値の設定¹²⁾等を行なった研究も最近行なわれつつあることも前述のとおりであるが、それらは他の評価要素も組み込んだ形での取り扱いでなく、個別的な評価要素による設計法にとどまっている。

また、計画と整合性のある設計も見あたらず、それぞれは別々なプロセスとして扱われている。

そこで本文では、土木設計を土木計画論システムのサブ・システムとして位置づけ、計画論から付与される評価を組み込んだ土木設計の展開を試みようとするものである。すなわち、目的論的な土木計画論の中での目的論的な土木設計の領域と構成を論議するとともに評価を組み込んだ設計法を行なおうとするものである。

そして本文は、土木計画策定に関する論議をトータルシステムとして、その論議過程における土木設計の位置づけと設計行為の主軸である対応規制の構造について考察するとともに現行設計の実態を基点としてより計画意図と整合のある設計法の若干の提案まで5部で構成される。

第2部では、土木計画の策定に関する論議の一般的構造と、土木計画論を一つのシステムとして把握し、その論理的展開を行なうとともに、土木計画の策展過程の一部として土木設計の位置づけや、その一般的構造についても考察する。すなわち土木計画論を欲求充足記述空間と、その欲求を満たす手段の記述空間の設定および両記述空間の一義的対応を求めるための論議と設定したのち、土木設計を土木計画策定過程の一環としてとらえ、その一般的構造について考察し、本文の目指す役割と位置づけを明確にすることを試みた。

第3部では、本論の対象である土木設計法について、その実態および理論的考察を行なったが、なかんずくその主軸である設計条件と構造物諸元、および両空間の一義的対応を目指すための対応規制について論述した。土木設計は、特定の設計条件を特定の設計法という射影法によって具体的構造物と対応づけ、特定の具体的構造物を指定する行為であるが、一般に設計行為の中では設計条件は与件として取り扱う。とはいえ、構造物諸元の初期値を設定したのち、因果律によるモデルを主軸として出現状態を記述する設計法は、設計条件とは相互補完の関係にあり、条件空間にない記述元につい

て設計法を発動しても無意味であろうし、また、設計法の拡張は設計条件の拡張がなければ意味をなさない。本文では、その対象が土木設計であり、設計条件の拡張、明示は第2部で記述した計画意図と期待状態との対応規制に関することとして研究の対象から除外し、第5部で構造物設計に関する若干の力学的以外の条件を選択的に付加して設計法の拡張を行なった。したがって第3部では設計条件および構造物諸元を与件とし、その一義的対応を求める設計法に関係する事項について、その実態と理論的取り扱いを中心に論述している。

第4部では現行の力学的設計の実態的な意義とともに、限られた設計条件と力学的演算のみで設計を可能にする主軸的規範である設計示方書、基準類についてまず考察し、ついで現行の各種設計法、つまり一連の設計行為の中の一作業モジュールとしての単位設計と、それに対位する形の単位設計を素材群として目的に最的なものを導出する比較設計について、そして自動設計と標準設計についても考察を行ない、第5部を展開するための基点とした。すなわち、現在の土木設計のほとんどは限定された設計条件と力学的モデルを主軸モデルとした厳密な演算で行なわれているが、その演算成果が土木計画論からみて、どのような実態的意義をもつのかについてまず考察した。ついで、そのような特定の状況のもとで具体的構造物を指定する行為である設計法を可能にする主軸的規範である設計示方書、または設計基準と呼ばれるものが、何を記述し、何を保証しているのかについても考察した。またどのような設計法によるにしても、そのアルゴリズムが設定され、基準類が整備されれば、所要の条件が与えられてから具体的構造物を指定するまでの設計過程には設計担当者の判断が必要となる局面は少いといえる。そこでその一連の設計行為のなかの一作業モジュールともいべき部分を<単位設計>と名付けてその位置づけを試みるとともに、複数個の単位設計の出力を入力として、目的に最も適合度のよい構造物を導出する一連の行為としての比較設計について言及した。また、土木設計と電子計算機とのかわりあいでは発生した自動設計とともに、対応モデルを意識することなしに設計条件から構造物を検索によって直接指定する標準設計についても記述した。

第5部ではここまでの土木計画論、土木設計、および現状の設計行為に関する論議を踏まえて、目的論的な設計法の提案を試みた。すなわち、土木計画論をトータルシステムとしてとらえ、その観点からの設計法のあり方と種類について概観したのち、その中で現在実行に移されていない2種の設計法について提案するものである。価値観の多様化、都市化現象、住民参加等々の言葉で代表される事業実施をとりまく社会的環境は、それが道路の一部分である橋梁建設事業に限ったとしても力学的設計の理論解を主軸とする従来の設計法では事業の必要性の根拠とするには弱く、したがって事業の円滑な実施も困難な状況にあるといえよう。塑性論や信頼性理論等を駆使するまでに進展した、力学的設計法は構造物の物理的存在性の確認のためには有力な武器であることは論を待たない。しかし、類例も多く、破壊の例もあまりない一般的な構造物では、厳密な理論による物理的存在性の確認の努力をむしろ土木計画論でいう他の期待状態の記述元との適合性の確認に回ることがより有効であるといえよう。もともと現行の設計法では多くの場合、力学的法則性をその主軸にすえているが、力学

的要因のみで具体的構造物のすべてが一般的に指定されるわけではなく、設計担当者の知識経験および
集団の知識経験の集約たる示方書・基準類を介して種々の要因を含んだ設計の完成はなされるものと
いえよう。したがって、我われが知識経験をもとに総合勘案して対応を求める設計の部分を実在化する
形で取り扱った設計法が第3章に提案する設計法であり、そのために膨大な力学計算を省力化する
ために提案する設計法を第2章に記述した。

そこで第2章では、PC桁橋の設計データをサンプルに統計処理した簡単で工学的精度も容認し得
る回帰式による設計法を提案した。また、第3章では力学的安全性のほか耐久性、経済性および環
境適合性（景観、騒音、振動）を評価項目とする評価を考慮した設計法を提案する。とくに本設計法
の提案に関する研究のアプローチは実態を調査することによって問題点を摘出し、それらを整理する
ことによってモデル化を行ない、そのモデルによって得られた結果を実橋と対応することの繰り返し
で行なった。

参考文献

- 1) Funk and Wagalls : New standard English Dictionary of English Language, 1927
- 2) P. F. Druker (現代経営研究会訳) : 新しい社会と新しい経営, ダイヤモンド社, 1927
- 3) L. W. Doob : The Plan of Men, Yale University Press, 1940
- 4) 加納 治郎 : 計画の科学, 経済往来社, 1963
- 5) S. L. Optner : Systems Analysis for Business and Industrial Problem Solving, Prentice Hall, 1965
- 6) 土木学会土木計画学研究委員会編 : 第1回~第10回土木計画シンポジウム・プロシーディングス 1977~1976
- 7) 奥村, 八十島 : 土木工学通論, 技報堂.
- 8) 秋元 泰輔 : コンクリート橋の設計, 理工図書, 1963
- 9) 村上 永一 : 土木構造物設計とは何か, 土木学会誌 Vol. 57 No. 7, 1972
- 10) 河野 通之 : 構造設計の概念, コンクリートライブラリー No. 34, 土木学会, 1972
- 11) 中村 良夫 : 景観設計における評価に対する考え方, 土木学会誌 Vol. 57 No. 7, 1972
- 12) 小堀, 梶川 : 橋梁振動の人間工学的評価法, 土木学会論文報告集 No. 230, 1974

第 2 部 土木計画論と土木設計

我われの「何々したい」という欲求とそれを充足するための手段とが一對になった行動指針を一般に計画と呼び、またその計画をアウト・プットする過程の論議および複数個の計画を対比・検討する論議を計画論と呼ぶ。

ここでは、土木的手段（施設の設置およびその機能に関する規定等）によって欲求の充足をはかる“土木計画”と“土木計画論”を概念的に区別して、その概要を第1章に論述し、ついで第2章では土木計画論を一つのシステムとして把握し、取り扱うと共に、土木計画論なる集合を定義して論議の展開を試みた。

また、第2部は本冊子の導入部であることから、第3章では、土木設計を土木計画の策定に関する論議の一環として位置づけ、土木設計に関する論議の展開の領域および一般的な構成について記述した。

第1章 土木計画と土木計画論

本章では欲求の充足を目指した現時点における行動指針である「土木計画」と、その策定過程の論議である「土木計画論」について述べる。

1・1 「意図」と「手段」の一組の対応としての土木計画

土木計画は、先述のように、現状に対する不満の改善のための欲求の充足を目指した現時点における行動指針である。この行動指針には、欲求を充足するための行動の目的を示す部分と、具体的な行動内容を指定する部分が含まれている。

本論文ではこのうち、行動の目的を示す部分を計画の「意図」、具体的な行動内容を指定する部分を計画の「手段」と呼ぶ。

たとえば「自動車交通を快適、安全、確実かつ経済的に運行させ、交通による地域の開発をはかるとともに地域の生活環境の劣化を防止したい。」という欲求に対する計画意図、計画手段を例示すると図-2・1のようになる。

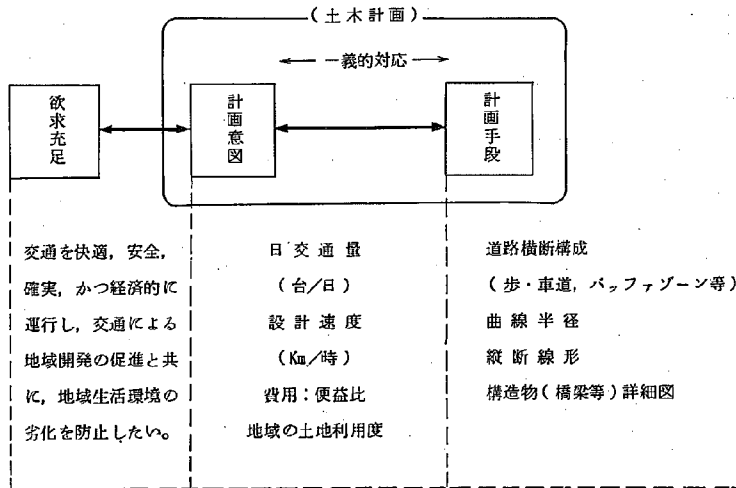
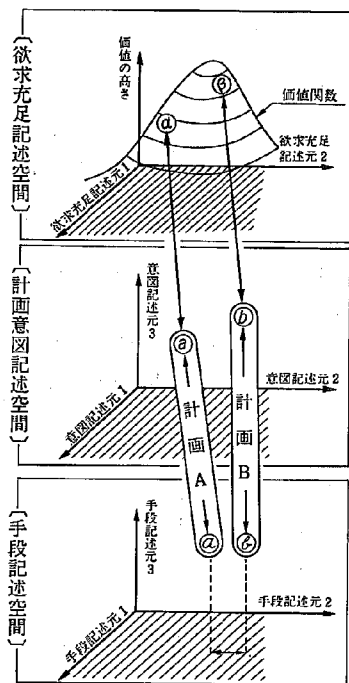


図-2.1 土木計画



図一 2.2 意図と手段の一組の対応としての土木計画

この意図と手段との対応関係は、本来、計画当事者の意識活動の範囲内の事柄であって、その行動指針としての意義を支えるに充分な確信が得られている限り、必ずしも客観的な真実性を必要とするものではない。しかし、現実の土木計画の場合、そのほとんどが公共的な計画であることから、社会的合意の獲得のためには目的合理性と科学的合理性の双方の裏付けが要求される。

これらの意図と手段との間には、一義的な対応関係がある。もっと正確に言えば、一義的対応関係のある一組のものだと計画担当者の意識の中では考えられているべきであろう。そして、手段が少し異なっていると、これに対応し計画意図も異なったものとなり、したがってもとの計画とは別の計画と考える必要がある。つまり、計画の策定過程でのアウトプットである個々の代替案も土木計画であると同様に、それらの代替案の中の最適と結論づけたものも土木計画である。

また欲求の充足、計画意図、計画手段は、一般に複数の記述元を用いて記述されるので、個々の欲求、意図、手段はこれらの記述元によって張られる空間中の一点として表示される。

図一 2・2 に示すように手段記述元 2 の大きさがわずかに異なっただけでも、その手段に対応する計画意図は異なったものになり、当然のことながら、充足される欲求も異なる。

このように、個々の手段（手段記述空間中の一点）はそれに対応する意図（意図記述空間中の一点）と一義的に対応づけられており、それぞれが一組となって計画を形造っている。

1・2 土木計画の手段

同じ欲求から発する計画でも、その具体的行動を示す手段記述の部分に土木的手段が主流を占めるものを土木計画と呼ぶのであるが、そこで土木計画においていかなるものを「手段」とするかといえ、一般には土木施設等の建設・運営とこれに関連する行為の実施であると考えられよう。

「土木施設」は切土・盛土・掘削等の地形変更等をも含む構築物であり、「建設」は土木施設の設置・除去・改善等を含み、「運営」は土木施設の維持・補修・管理・操作等を含む。「関連行為」は調整・交渉等の業務、法令・規則等の制定改廃、慣行、風習等の是正、広報・宣伝等の徹底などを含み、「実施」の概念には実施範囲・時期・期間・実施の方法等の必要事項が含まれるといえよう。

このような手段の表示の仕方はきわめて多様であり、たとえば設計図書を用いて表示したり、方式や規格について呼称を用いて示したり、機能・特性によって表示したり、あるいはまた、個々の作業手順をフローチャート等を用いて表示することもある。また、手段実現の前提となる事業の資金量（予算額）・執行態勢・技術力・労働資材量等で把握することもある場合がある。いずれの表現方法をとるにしても、計画を現時点における行動指針とする以上、計画の手段は、現時点にとるべき行動を他の行動と区別して明確に規定できるだけの具体性をもって把握され、記述されていなければならない。したがって、いずれの表現方法をとるかは、周囲に類似の手段があるかないかといった条件や、その計画が概略的な段階における計画か、あるいはかなり詳細な事柄を検討する実行計画であるのかといった事情、ときの欲求充足記述の精度等を勘案して決めるべきものといえよう。

つまり、次に述べる土木計画の策定過程の論議である土木計画論の実質が多段階で展開されているように、手段記述の様式もまた、図-2・3に示すように計画の段階、その他によって異なるのが通常である。

計画論上の位置	意図表示 ← → 具体的手段表示				
	行動の結果生ずべき施設の機能・規格	行動の結果生ずべき施設の種別・規格	行動の結果生ずべき施設の形状・構造・材料表	行動の内容・方法・手順	具体的な作業
事例	交通容量 (TL-20) 耐震強度 耐用年限 供用開始 年月日 供用可能風速	一等橋・二等橋 三層四級の道路 路側トラス橋 PC橋 プレート・ガ ーケー橋 斜張橋 吊橋	設計図 (材料表) 仕様書 契約書	工程管理図 機械設備配置 図 資材搬入計画 図 品質管理図表 資金運用計画 図 労務管理図	Aは〇月〇日 XからY材 を運搬する。 Bは工場です 法どりをす CはY材1と IIを貯蔵する。 Dは工場E と協力して仮 組準備をする。 作業員名 作業方法 日時・場所
対応規制法	<職能的手法> <設計法>		<施工計画・管理手法> <制度・組織・常識・慣習>		

図-2.3 手段記述の各種様式

1・3 土木計画論の定義

土木計画の策定過程における論議を「土木計画論」と呼ぶことは先述の通りである。この論議は結論とすべき土木計画の選択に関する論議であり、また個々の土木計画（代替案）の実質・性状を吟味し、それぞれの差異を明らかにし、それぞれの優劣を対比する論議でもある。

ところで、土木計画論の展開、つまり計画の策定過程は計画担当者のある種の「見通し」と「価値判断」とにより導かれる。計画が「未来に関する現在の意志決定（P.F. Druker）」であり、あるいは先述のように行動の指針として未来の行動を想定するものである以上、ある種の見通しの上に立つことは当然であろう。

これは、どのような手段が欲求を充たすだろうか、ある手段の実施がどのような状態を生み出すだろうか、そのような状態がどの程度、欲求を充たすだろうか、といった見通しであり、こうした見通しは計画当事者のもつ知識・経験を基盤とした推論の集積として求められる。そして、それぞれの推論が固有の仮説と認識法を前提として成立しているので、見通しが正当であるか否かは基盤となった知識（情報）の正当性と推論の方法、および総合の方法の正当性、とくに前提とした仮説群の採択の正当性によって支えられることになる。ところで、ここで要求される見通し、推論などの正当性は、土木計画が社会（人間集団）の合意を必要とすることから、その正当性を合意の普遍性に求めるとすれば、結局、「目的合理性」と「科学的合理性」とによって保持されることになる。

他方、土木計画が欲求の充足を目指した行動指針であることから、計画の策定過程において提案されるさまざまな行動指針に対し、それらが欲求を充足するの否かという価値判断・優劣の判定が行なわれるのも、また当然のことであろう。ところが、計画当事者が下す価値判断が正当であるか否かについての論議には、より多くのはるかに困難な問題が含まれている。この価値判断は、計画当事者のもつ知識・経験を基盤とするものであるが、同時に、計画当事者に固有な機会的要因のほか、人生観・世界観・社会理念・倫理規範などのような、必ずしも論理的な解明・取り扱いになじまないものもこれに参画するのであって、同一の知識・経験を基盤としても、またたとえ同一人であっても、必ずしも同一の価値基準が構成されるわけではなく、これらのものが参画する事項の正当性について合理的に論ずることは今なお至難なことといえよう。したがって、土木計画の策定過程における論議を論理的に添付けて説明しようとすれば価値判断が当を得たものであったか否かという論議を行なうことには大きな困難が伴ない、計画当事者の価値判断基準を与件として扱う配慮が必要であろう。土木計画論に関する論理的考察はこの点に関しておのずから限界があるといえよう。

1・4 土木計画論の各局面

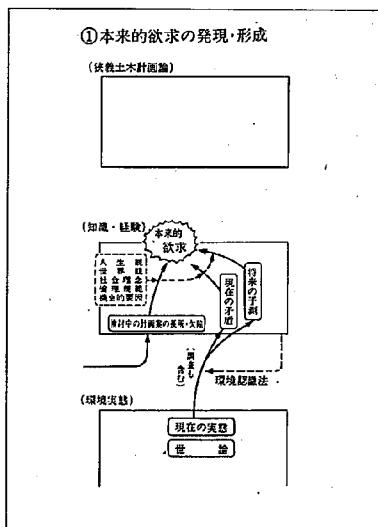
前述のように土木計画論を限定したとしても、なお、①個々の具体的土木計画の策定過程にかかわ

る個々の具体的土木計画論、および②これら個々の具体的土木計画論の総称としての土木計画論があり、さらに③個々の具体的土木計画の総称としての土木計画の一般的な策定過程にかかわる土木計画論であろう。

本論文では、後の設計論との関連性から②の個々の具体的土木計画論の総称たる「土木計画論」を中心に述べる立場をとる。

ところで、土木計画の策定過程において具体的にどのような論議が行なわれているのであろうか？ここでは、以後の設計論の導入部として計画の策定過程の局面を次のように大別し、その概要についてふれるにとどめる。

- ① 本来的欲求が発現・形成する局面
- ② 手段を検索する局面
- ③ 欲求の充足記述から手段記述までの対応を設定する局面
- ④ 適合性の検証を行なう局面
- ⑤ ディジション・メーカーを行なう局面



図－2.4 土木計画論の一局面(その1)

呼ぶのは、つぎに現われる欲求充足記述に対して本来的であるから、そう呼んだままであり、この段階では、この本来的欲求を充足する手段があるか否かはまだ明らかではなく、未だ漠然としているといえよう。

① 本来的欲求が発現・形成する局面

これは計画当事者が、災害が多発している状況や、交通が混雑し、多くの人々が迷惑をこうむっている状況を見聞きし、地域住民の生の声を聞くことによって、自らの人生観・世界観・社会理念・倫理規範等に照らし、現在の状態に矛盾を感じ、「災害を防除して地域を守りたい」、「交通混雑を解消し、地域の発展をはかりたい」といった欲求をもつに至る過程を指している。この欲求は現在の矛盾を感じて発現するばかりでなく、将来の問題発生を予測することによっても発現する。さらには、現在検討を行なっている計画について、その欠陥を知ることにより、よりよいものにしたいという形で欲求のあり方に変化が起ることも多い。これらの欲求を「本来的欲求」と

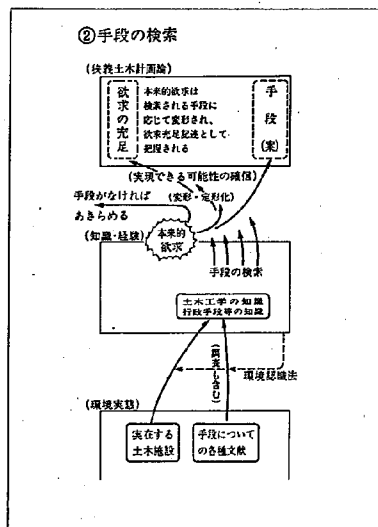


図-2.5 土木計画論の局面(その2)

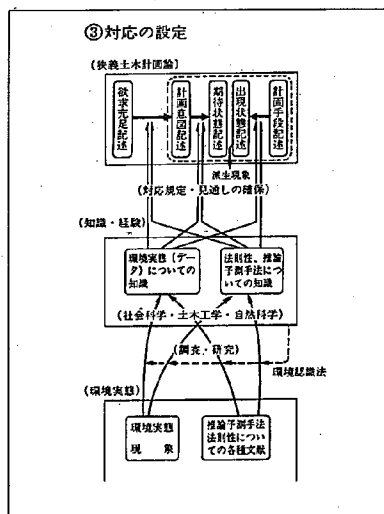


図-2.6 土木計画論の局面(その3)

ところで、この本来的欲求の発現過程は前項の価値判断のところで述べた通り、論理的な説明がきわめて困難な部分である。

② 手段の検索を行なう局面

本来的な欲求を充足するためには、どのような手だて・方策が有効であるかを求める過程である。これには現在実存する土木施設や、さまざまな行政手段等についての知識、すなわち、土木工学をはじめとする種々の知識が投入されるわけであるが、このとき、検索された手段によってどのような欲求が充たされるかが、つぎの対応・適合検証という過程を通じて徐々に明らかとなり、結局、欲求充足記述は当初の本来的欲求から変形され偏倚したものになっていくわけである。ところで、この過程で欲求を充たせそうな手段が見い出せない場合には、この欲求の充足はあきらめられることとなる。

③ 対応の設定を行なう局面

今起記されている欲求を充たすには、どのような手段を考えればよいのか、今考えている手段によって、どの程度欲求が充たされるのかを明らかにするために、欲求充足記述と手段記述の間の対応関係を明示する過程である。しかし、この間の対応関係を一度に明示するのは困難であるため、通常、手段を実施した場合に出現する状態、計画意図に対する期待する状態等の中間記述を設け、それぞれの間の対応記述を設定していくことになる。

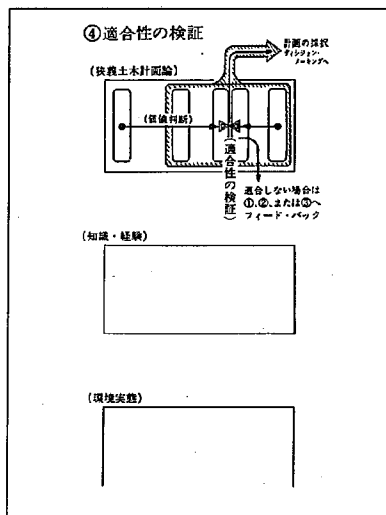


図-2.7 土木計画論の一局面(その4)

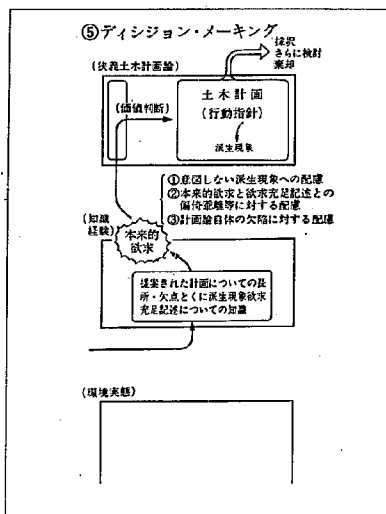


図-2.8 土木計画論の一局面(その5)

この対応関係は、環境実態に関する調査や、諸現象に見い出される法則性に関する研究に基いて規定される。この過程においては欲求の充足、計画意図、状態、計画手段を明示するために記述元が選定され、それぞれの記述の間の対応関係がこれらの記述元を用いて明示される。こうした対応関係に必ずしも一般的必然性があるわけではなく、計画当事者の意識の中でのみ形成されている対応づけも数多くあろう。このとき、手段を実施した場合に出現する状態の中に、計画意図記述、または欲求充足記述との対応がない状態(今取り上げている欲求に関係のない状態)が含まれていることが明らかにされよう。これは、派生現象とよばれ、ディシジョン・メイキング、アセスメント等における検討対象となり、これに対応する欲求の形成を促すこともある。

④ 適合性の検証を行なう局面

ある手段を実施した場合に出現する状態が、果して今、期待している状態であるか否かを検証するために、状態記述の各記述元ごとに双方からの一致・適合性が調べられる。これが適合すると、欲求充足記述、計画意図記述、状態記述、手段記述のそれぞれがただ一つ明示され、一つの計画(案)が出力されてディシジョン・メイキングの対象とされる。適合しない場合には、欲求の充足のレベルを引き下げるか、他の手段を探索するか、またはこの計画をあきらめるかのいずれかの道をとることになる。

この適合性の検証断面は状態記述にのみおかれるものではなく、手段記述や欲求充足記述に検証断面のおかれる場合もあり、また複数の検証断面がおかれる場合もある。

⑤ ディレクション・メーカーを行なう局面

適合性の検証された計画を実施に移す前に、実施の是非、再検討の要・不要について、計画当事者の直観的・主観的な判断を下したり、目下検討中の計画に修正を求める局面であり、つぎのような事例について判断が下される。

- 1) 意図しない派生現象に対する配慮
- 2) 本来の欲求と欲求充足記述との偏倚・非違等に対する配慮
- 3) 計画論自体の欠陥に対する配慮

この判断には、論理的な説明のできない部分もしばしば含まれるが、これが計画論の地位を左右するわけではない。

土木計画の策定過程における論議が主としてどのような局面で行なわれるかを①から⑤にわたって順に概括的な説明を加えてきたわけであるが、土木計画論は必ずしも①から順を追って展開されるばかりではなく、数多くのフィード・バックや繰り返しが行なわれたり、同時に並列的に論議が展開されるのが普通である。

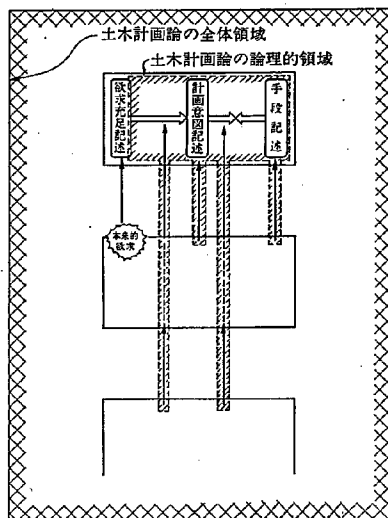
1・5 土木計画論の領域規定

土木計画論が展開される領域は、前述のように極めて広汎におよんでいる。今、この領域を「土木計画論の全体領域」と呼べば、このような「全体領域」は土木計画を策定するための不可欠な範囲を示すものであるが、その領域はいかに広く、しかも、個人・集団における欲求の生成過程、環境認識、知識、経験の実態などに関する事項は、現段階では必ずしも理論的な検討、取り扱いになじまない性格をもっている。したがって現実の土木計画論において、論理性、科学性を重視した論議を展開しようとするれば、どの局面でこうした論議が不能なのか、どのような議論が理論的な取り扱いになじまないのか、を当初から明確にし、理論的な取り扱いが可能な範囲を限定しておき、他は与件として扱う必要がある。ここでは、土木計画の全体領域の内側に、合理的・科学的な論議が展開できるためのより限定された「論理的領域」を考えることができよう。

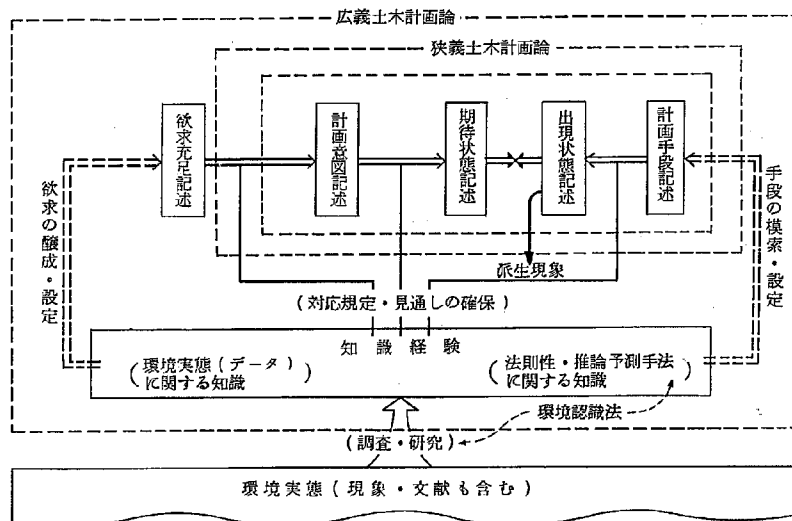
この論理的領域は図-2・10に示すように「狭義土木計画論」とも呼ぶが全体領域からは、欲求の形成過程、欲求充足記述の設定過程、機会的な環境認識過程、機会的な知識・経験の増殖・忘却過程等が除外されることになる。

そして、個々の具体的な土木計画論は「土木計画論の全体領域」にひとつの軌跡を描くことになる。

なお、各記述空間の設定および空間相互の対応検証に関する一般的な記述は、設計に関する後章に譲ることとした。



図一 2.9 土木計画論の全体領域と論理的領域



図一 2.10 広義および狭義土木計画論

第2章 土木計画論システムの論理的構造

すでに述べたとおり、土木計画論は数多くの記述とそれらの間の対応関係からなる複雑な構成を有しており、これを一つのシステムとして把握し取り扱うことが可能であって、これまでとりたててシステムという言葉は用いなかったが、システム的な観点から土木計画論を記述してきたわけである。本章では、土木計画論と一体化して取り扱ってきたシステムの部分にとくに焦点をあて、システムの本質と特徴を探るとともに、あらためてこの観点から土木計画論を見なおすことにしたい。

また、今までに展開してきた土木計画論の内容は、数多くの具体的な個々の土木計画論に共通する普遍的な特質に注目し、その概要を記述したものである。これはすなわち、土木計画論という集合を定めて、その要素である個々の具体的な土木計画論に共通する属性を見出したということであり、さらにいうならば、すべての具体的な土木計画論に共通する属性を見出すことによって、一般的な土木計画論なる集合を定義し、その領域を規定したといえよう。また、ここでは、このように一般化された土木計画論に対して集合論的な記述も行ない、¹⁾ 前章までの論議を簡潔に整理することを試みる。

2・1 土木計画論におけるシステムの本質

土木計画論におけるシステムの本質を捉えるには、土木計画論と密着して記述してきた今までの説明から土木計画論に固有なものを分離するのが早道であろう。まず、計画・欲求充足・意図・手段とといった言葉は土木計画論に固有なものとして完全に除外してよく、欲求・価値観・知識経験・環境実態等の概念はそれなりに内容は検討し、抽象化する必要があろう。したがって、土木計画論に固有なものでなく、しかもその骨格を形成している概念としては、元・空間・属性・対応・射影・抽象・捨象・設定・構成・展開・環境・規制等が残ることになる。

このようにシステムはきわめて抽象的な概念であるが、これはシステムがもともと代名詞的な概念であることに起因している。すなわち、ごく特殊な場合を除いて裸のシステム自体が目的観をもち、それに基づいた論議が行なわれることはまれである。一般には“〇〇システム”として“〇〇”のもつ目的観に基づいて論議が展開されるのが普通であり、＜システム＞自体には、事象または事物を明確に認識・把握し、考察や論議の位置づけと役割を明確に表現することが求められているのにすぎないといえよう。

土木計画の策定にあたって展開される論議の輪郭を、システムの言葉を用いて記述するとつぎのようになるであろう。

- ① 事象または事物を認識し、論議し、記述するためのシステムの全体領域（全体空間）を規定し、同時にそのシステムの環境を規定する。

② 全体領域（全体空間）の認識・論議を深めるために、事象・事物のもつ属性の違いに応じて部分空間をいくつか設定する。

③ 各々の部分空間について論議し認識するために、他の部分空間との対応関係を求める。

④ これらのために各空間に属する元、元として抽象・捨象する方法、元の属性、空間および元相互の対応づけを行なうための射影・変換の方法、射影・変換を規制する条件等について検討・論議を行なう。

これらの検討・論議を要約すれば“全体的および部分的な個々の空間の設定と、これら相互の射影・変換を、対象事象（土木計画論）に帰属する目的観に従って実施すること”がその本質ともいえるものとなっている。

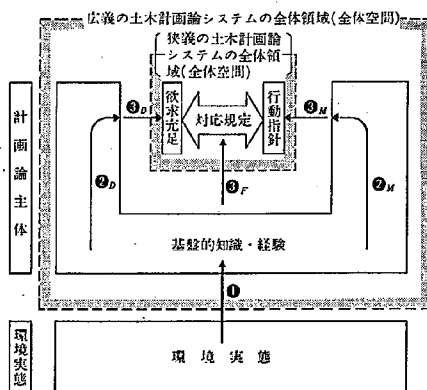
この場合、これらの論議に対し高度の論理性が要求されることが多い。この要求は、システムの本質からすればきわめてかけ離れたものであるにもかかわらず、対象事象に帰属する目的観により重視されているものであって、このために具体的システムでの論議に対して数学的成果の導入を図ったり、あるいは具体的システムを論理系として完成されている数学体系へ転写して、そのなかで論議が展開されることになる。土木計画論においても、“社会集団への説得性を高め、手段の実現性と存在性についての確信を得るため”という土木計画論の目的観に従ってそのシステムに論理性が要求されている。

2・2 土木計画論におけるシステム輪郭

土木計画論をある種のシステムとして眺めれば、その本質は“欲求の充足の状態を記述するシステム”すなわち“欲求はいかに充足されるかを表示するシステム”であるといえよう。

土木計画論が結論を得て完結するまでには大別して

- ① 計画論主体が、それをとりまく環境を認識して知識・経験を集積する過程
- ②D 計画論主体の知識・経験に、その固有な本性と情感とを作用させて本来の欲求を醸成する過程
- ②M 欲求充足をめざして知識・経験から行動の指針を模索する過程



図—2.11 広義土木計画論システムと狭義土木計画論システム

③D本来的欲求を特定化し、記述する過程

③M具体的行動指針を特定化し、記述する過程

③ このために欲求充足と行動指針を知識・経験により意識的に対応づける過程等の諸過程が存在することになる。

土木計画論システムの全体領域（全体空間）を、これらの諸過程のうちどの部分と考えるかは、我われのもつ問題意識の所在によって決定すべきことであろう。すなわち、その一つは上記全過程を土木計画論システムの全体領域と考える考え方であり、もう一つは③D、③M、③Fの諸過程のみによって土木計画論システムが構成されているとみる考え方である。第1の考え方を広義土木計画論システムと呼び、第2の考え方を狭義土木計画論システムと呼べば、その概要は図-2・11および表-2・1のような形で示すことができる。すなわち広義の土木計画論システムは狭義の土木計画論システムをサブシステムとして内包している。

表-2・1 土木計画論システムの輪郭

	システムの全体領域	システムの環境	システムの入出力	システムの特徴
広義の土木計画論システム	土木計画の策定のための論議をも含めた計画論主体のもつ知識・経験の全体	計画論主体をとりまく環境（社会、自然・技術……）	入力：計画論主体が時々刻々認識し、獲得する知識・経験 出力：最終過程の結論としての土木計画	論理的説明が困難な①、②D、②M等の過程が含まれている
狭義の土木計画論システム	土木計画を策定するために行なわれる論議の全体	計画論主体のもつ基盤的な知識・経験の全体	入力：本来的欲求と土木計画の策定のための論議に投入される知識・経験 出力：個々の過程で作成される土木計画	論理的な説明が可能な過程のみからなっている

2・3 広義の土木計画論システムの集合論的取扱い

ひとまず、狭義の土木計画論システムの内部はさておいて、広義の土木計画論システムの概要を表示してみよう。広義の土木計画論システムの全体領域は、計画論主体のもつ知識・経験とそれを活用した認識・論議・思索などの活動の全体に合致する。いま計画論主体のもつ基盤的な知識・経験をK、計画論主体をとりまく環境をE'、土木計画の策定のための論議内容をPとしよう。また、計画論主体の活動はある集合から他の集合への写像として表わすことができ、計画論主体の環境認識活動をg、論議・思索活動をhとしてみるとつぎのようなことがいえよう。

(a) 計画論主体が認識の対象とする環境Eは、計画論主体をとりまく環境E'の一部にすぎないから

$$E \subset E' \quad (2 \cdot 1)$$

である。ところで、環境実態も認識の対象となる環境も時々変動するものであるから、時期 t なる添字をつけて示すと、 t 期において式 (2・1) は

$$E^t \subset E'^t \quad (2 \cdot 2)$$

となる。

- (b) 計画主体の環境認識活動は、認識対象とする環境から環境認識法 g なるフィルタを介して新たな知識・経験を獲得することだ、と規定することができる。環境認識法 g は、計画主体のもつ知識・経験の状態や行動様式等の機会的な要因によって左右されるので先程と同じく g に時期 t なる添字をつけて示し、時期 t における環境認識に基づく知識・経験の増加を $(\partial K^t)_g$ で示すと、これは

$$(\partial K^t)_g = g^t(E^t) \quad (2 \cdot 3)$$

のように表わすことができる。

- (c) 計画論主体の知識・経験は、環境認識活動のほか計画論主体の論議・思索活動によっても増加する。これらの活動は、時期 t における知識・経験を基盤として、思考様式 h なるフィルタを介して新たな知識・経験を再構成することだといえる。思考様式 h は計画論主体に固有な理念・倫理規範等にも左右され、機会的な要因によっても左右されるので同じく添字 t をつけて示し、時期 t における論議・思索活動に基づく知識・経験の増加を $(\partial K^t)_h$ で示すと、これは

$$(\partial K^t)_h = h^t(K^t) \quad (2 \cdot 4)$$

のように表わすことができるであろう。これとは別に忘却や意識的な知識・経験の抹消によって知識・経験は減少する。こうした活動を f で示すと

$$(\partial K^t)_f = f^t(K^t) \quad (2 \cdot 5)$$

のようになる。

- (d) 土木計画の策定に関する論議・思索活動は上記活動の一部であって、これに対して添字 p をつけて示すと、時期 t における土木計画の策定に関する論議・思索活動に基づく知識の増加は

$$(\partial K^t)_{hp} = h_p^t(K_p^t) \quad (2 \cdot 6)$$

となり、それ以外の論議・思索活動(添字 o をつけて示す)

$$(\partial K^t)_{ho} = h_o^t(K_o^t) \quad (2 \cdot 7)$$

とは区別して扱う必要がある。ここに $(K_o U K_p) \subset K$ である。

- (e) 計画論主体のもつ知識・経験の時期 t における変動は一般に上述の諸活動の関数として表わされるが、つぎの時期 $(t+1)$ における知識・経験の全体 K^{t+1} を直観的に表示してみると

$$K^{t+1} = \{K^t \cup (\partial K^t)_g \cup (\partial K^t)_{hp} \cup (\partial K^t)_{ho} - (\partial K^t)_f\} \quad (2 \cdot 8)$$

のようになるであろう。すなわち時期 $(t+1)$ における知識・経験は、環境認識活動、土木計

面の策定に関する論議・思索活動およびそれ以外についての論議・思索活動のそれぞれに基づく知識の増加と、時期 t における知識・経験との和集合から忘却や抹消による知識・経験の減少を差引いたもの（差集合）として表わされることになる。

(f) 計画論主体の環境認識活動のなかには、

“土木計画論の構成のためという目的をもって意識的に環境の実態を探る調査・研究”と“計画論主体に固有な偶然的機会や個性的な認識法の制約を受ける一般の認識・体験”が混在しており、＜調査・研究＞の占める位置づけを数多くの計画論のなかに共通的に見出すことは困難であって、前者は後者の補充的な役割を果たすにすぎない。

環境認識活動を表わす対応関係 g には、土木計画論の合理性を高めるために、つぎのような事項が期待されている。

① g の定義域である認識対象環境 E が土木計画論の展開のために十分な広がりをもっていること（見落としのないこと）。

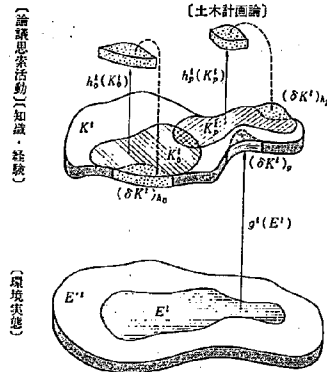
② 認識対象環境 E の実態と、これが転写されて増加した知識・経験 $(\delta K^t)_g$ との間には不当な偏倚が混入せず、環境実態の本質が適確に把握されること。

対応関係 g はその定義域をも含めて計画論主体の知識・経験による制御をうけており、上記①、

②の事項も計画主体の意識的な努力により、かなり改善されるものである。

(g) 土木計画の策定に関する論議・思索活動 h_p のうち、本来的欲求の発現・形成過程（②D）と、本来的欲求を特定化し記述する過程（③D）とは、計画論主体のもつ知識・経験 K を前提に考えたとしても、それによって制御されるべき対応関係（これを h_{p_n} と記せば $h_{p_n} \subset h_p$ である）が論理的に定まらず、結果的に計画論主体のもつ知識・経験と、そ淵に由来する本来的欲求や欲求充足記述との間の対応性を論理的に説明することが困難だ、ということは再三述べてきたとおりである。

(h) これに対して、行動指針を模索する過程（②M）、欲求充足と行動指針を対応づける過程（③F）、および行動指針を記述設定する過程（③M）は、計画論主体のもつ知識・経験 K を前提にして考えれば、それによって制御される対応関係（これを h_{p_l} と記せば $h_{p_l} \subset h_p$ である）を論理的な形で設定することが可能であり、結果的に、計画論主体のもつ知識・経験とそれ



図一 2.12 広義土木計画論システムにおける情報の入出力

に由来する行動指針や対応記述との間の対応性を論理的に説明することが可能である。

- (i) 土木計画の策定論議の成果 P_t は時々刻々集積されていくが、それを直観的に示してみると

時期1における論議成果

$$P_1 = (\partial K^1)_{hp} - (\partial K^1)_f$$

時期2における論議成果

$$P_2 = \{(\partial K^2)_{hp} \cup P_1\} - (\partial K^2)_f$$

時期tにおける論議成果

$$P_t = \{(\partial K^t)_{hp} \cup P_{t-1}\} - (\partial K^t)_f$$

時期Nにおける論議成果

$$P_N = \{(\partial K^N)_{hp} \cup P_{N-1}\} - (\partial K^N)_f$$

(2・9)

のように表わせよう。

ところで、計画策定論議の終了時期Nは土木計画が策定された時点と規定することができようが、その開始時期1を規定するのは少々困難である。これはすなわち、いま注目している土木計画の策定開始時点であるから、その土木計画が実際に策定できるだけのすべての論議内容を包含する時点にまでさかのぼる必要があるだろう。しかし、これらの論議にはその土木計画に直接寄与するものや、最終的には廃棄される論議、さらには間接的な影響を与える論議等が混在しており、論議の開始時点については様々な考え方をとることが可能であろう。

2・4 狭義の土木計画論システムの集合論的取り扱い

ここでは、土木計画の策定論議の全体Pを狭義土木計画論システムの全体領域として捉えなおし、その内部の様子を記述してみよう。

- (a) 狭義の土木計画論システムの全体領域Pには、その内部に部分空間をいくつか見出すことができる。欲求充足の内容を記述する空間を欲求充足記述空間、手段の内容を記述する空間を手段記述空間、計画の意図を記述する意図記述空間、計画を実施したときに想定される状態を記述する状態記述空間がそれぞれである。ここでは欲求充足記述空間と手段記述空間との間に位置するいくつかの記述空間をまとめて中間記述空間と呼ぶことにする。意図記述空間、状態記述空間はそれぞれ中間記述空間の一つである。
- (b) 今後の論議の便宜上、記号を表-2・2のように定めておこう。それぞれの記述空間は、いくつかの記述元によって張られている。この記述元は計画論の展開に伴って増減し、変動することはいうまでもない。計画の策定にあたって提案され、論議される事柄は、それだれの記述空間に特定の領域または点として写し出されることとなり、他の提案・論議と比較され、その是非が検討されたりする。

表-2・2 土木計画論システムの表示記号

	記述空間	記述元	記述	定義域	値域
欲求充足記述	D	$d_1, d_2, \dots, d_l$	$d^k = d^k(d_1, d_2, \dots, d_l)$	dD, ddi	vD, vdi
J番日の中間記述	JL	$J_{l_1}, J_{l_2}, \dots, J_{l_m}$	$J_l^k = J_l^k(J_{l_1}, J_{l_2}, \dots, J_{l_m})$	$J_d L, J_{di}$	$J_v L, J_{vdi}$
意図記述	I	$i_1, i_2, \dots, i_n$	$i^k = J_i^k(i_1, i_2, \dots, i_n)$	dI, ddi	vI, vdi
状態記述	S	$s_1, s_2, \dots, s_o$	$s^k = s^k(s_1, s_2, \dots, s_o)$	dS, dsi	vS, vsi
手段記述	M	$m_1, m_2, \dots, m_p$	$m^k = m^k(m_1, m_2, \dots, m_p)$	dM, dmi	vM, vmi

(注) 各記述はその記述空間内において点または領域として示される。

- (c) 中間記述空間は、欲求充足記述空間または欲求充足空間に近い側の中間記述空間との対応を持たない記述元を含めて張られていることが多い。このような記述元により記述される状態・現象は派生現象と呼ばれる。すなわち中間記述空間 JL は、一般に欲求充足記述空間または欲求充足記述空間に近い側の中間記述空間との対応をもつすべての記述元が張る部分空間 JL' と、その他のこれらと対応をもたない記述元が張る記述空間 $J\bar{L}$ との直積空間だといえる。

$$JL = JL' \times J\bar{L} \quad (2 \cdot 10)$$

ここに、 $J\bar{L}$ は提示され、論議されて記述される派生現象の全体を写し出す空間だといえよう。これらの部分空間における記述は

$$\left. \begin{aligned} JL: J_l^k &= J_l^k(J_{l_1}, J_{l_2}, \dots, J_{l_h}, \dots, J_{l_n}) \\ JL': J_l^k &= J_l^k(J_{l_1}, J_{l_2}, \dots, J_{l_h}) \\ J\bar{L}: \bar{J}_l^k &= \bar{J}_l^k(J_{lh_1}, J_{lh_2}, \dots, J_{l_n}) \end{aligned} \right\} \quad (2 \cdot 11)$$

のように表わされる。

- (d) 各記述空間相互の対応は写像によって規定される。いま、任意の2記述空間を PL , QL 、記述空間 PL の記述から記述空間 QL の記述を求める写像を f としてみよう。すなわち

$$f: PL \rightarrow QL \quad (2 \cdot 12)$$

である。この写像はその裏づけとなる知識・経験の相違から2種類のものに大別できる。一つは価値の同等性を認めたりえでの写像であって価値モデルと呼ばれ、計画当事者の属する社会の文化によって規定されるものである。他の一つは因果律を表現する写像であって現象モデルと呼ばれ、計画当事者を取りまく環境条件についての知識に基づいて規定されるものである。

- (e) 現象モデルまたは価値モデルとしての写像は、計画当事者の知識・経験の蓄積により徐々にその表現が普遍化・一般化していくのが普通であるが、これは写像 f の定義域の拡大と精度の向上

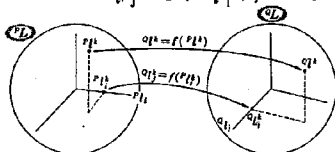
として捉えることができる。ここに、そのプロセスの典型的な例を示してみよう。

- ① 個々の事像 (k) の観測によって得られる成果は、一方の記述空間 PL の一点としての記述 P_l^k と、他方の記述空間 QL の一点としての記述 Q_l^k の対応として把握されることが多い。

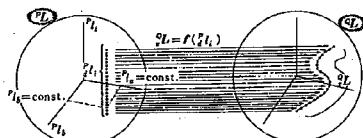
$$Q_l^k = f(P_l^k) \quad (2.13)$$

またときには、一方の記述 P_l^k の一記述元 P_{li} の値 P_l^k と、他方の記述 Q_l^k の一記述元 Q_{li} の値 Q_l^k との間の対応のみが把握されている場合もある

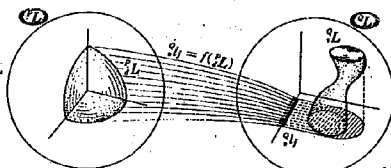
$$Q_l^k = f(P_l^k), \text{ ただし } P_{li}^k = \text{const} (a=1, 2, \dots, a \neq i) \quad (2.14)$$



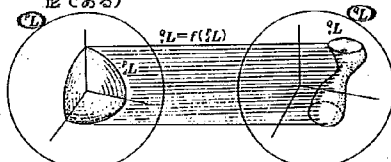
- ② 二記述の対応が知られている場合
(観測成果はこの形で得られる)



- ③ 一方の記述空間における一記述元の変化と他方の記述空間における記述の変化の対応が知られている場合 (実験・分析成果はこの形で得られる)



- ④ 一方の記述空間における記述の変化と他方の記述空間における一記述元の変化の対応が知られている場合 (土木計画論で実用的な対応はこの形である)



- ⑤ 一方の記述空間における記述の変化と他方の記述空間における記述の変化の対応が知られている場合 (観念的な表現形態である)

図-2.13 2記述の対応の表現

この場合の写像 f の定義域は一点 P_l^k に限定されているので、これらの成果をもとにして、写像 f の一般化を図るのは至難の技であり、つぎの②, ③のような形で観測事例をシステマチックに増加させることが望まれる。図-2.13 では図示の簡略化のため3次元により表示している。

- ② 科学的な実験・分析手法等によって得られる対応は、一方の記述空間 PL において P_{li} 以外の記述元を固定し、 P_{li} のみを変化させた場合の他方の記述空間 QL の記述の変化として把握されることが多い。たとえば梁について他の条件は一定とし、荷重のみを増加させた場合に、応力・ひずみ等を計測すればこの形の写像が得られる。いま P_{li} の定義区間を P_d^i とし、 QL における値域を Q_d^i とするとつぎのように表わせる。

$$Q_d^i = f(P_d^i)$$

$$\text{ただし } P_{li}^a = \text{const} (a=1, 2, \dots, a \neq i)$$

$$(2.15)$$

- ③ 実際の土木計画論で用いられる

対応は②の型の対応をもとにして理論的な解析を行ない、一方の記述空間 P_L と他方の記述元 Q_L の間の関係として表現されたものが多い。いま P_L の定義域を P_L 、 Q_L の値域を Q_L とするとつぎのような形で表わされる。

$$Q_L = f(P_L) \quad (2.16)$$

- ④ 一方の記述空間の定義域における記述 P_L と、他方の記述空間の P_L に対応する記述の全体 Q_L (Q_L における値域)を対応づける関係が知られている場合には、これを

$$Q_L = f(P_L) \quad (2.17)$$

と表現することが可能であるが、こうした表現は多分に観念的であり、現実にはほとんどありえないといえる。実際には③の型の対応をいくつか組合せて両記述空間相互の対応を求めている。

- ⑤ 土木計画論における写像の特質は論議が展開されている限り、全射でもなく単射でもないといえよう。すなわち、いま欲求充足記述空間 D から手段記述空間 M への写像を f と考えてみよう。

$$f : D \rightarrow M$$

このとき、土木計画論の論議が続いている限り、 f は全射ではない。というのは、あらゆる欲求に対応する手段を見出すことはできず、したがってあらゆる欲求を満たすことができないからである。また、土木計画論の論議が続いている限り f は単射ではない。というのは、ある欲求を満たす手段は必ずしも一つとはいえないからである。

土木計画論は、満たすことのできない欲求充足記述を排除して f を全射な写像に改変すること、提案される手段の相違を明確に表示できる欲求充足記述元を新たに設定し、 f を単射な映像に改変する努力によって展開されていくのだともいえよう。

- (g) いま検証を行なう中間記述空間を J_L 、この空間における手段記述側からの射影を $J_L M'$ (出現状態記述)、この空間における欲求充足記述側からの射影を $J_L D$ (期待状態記述)とすると、適合性の検証とはつぎのことが成立しているか否かを調べることだといえよう。

$$J_L D \supseteq J_L M' \quad (2.19)$$

- (h) 土木計画論の結論である土木計画は意図と手段が一義的に対応している。これは、意図記述を I^k 、手段のうち意図と対応のある記述部分を $m^{k'}$ とすると

$$I^k = f(m^{k'}) \quad (2.20)$$

なる全単射な写像 f が見出されたということを意味する。

2.5 欲求充足記述空間の形態

設定された欲求充足記述が表示される欲求充足記述空間の形態は、計画論システムの形態・内容を

支配するもっとも根幹的な事項である。欲求充足記述空間において記述されるべき内容は、"どのような欲求が充足されることになり、それがどのように評価されるのか"であって、異なった欲求は欲求充足記述空間上にそれぞれ異なった位置を占め、それらの相互関係を明示できるものでなければならず、必然的に欲求充足記述空間は多数の元によって張られるべきものと考えられる。すなわち、その記述元を $d_1, d_2, \dots, d_i$ によって示すと、欲求充足記述空間 D は

$$D = d_1 \times d_2 \times \dots \times d_i \quad (2.21)$$

なる直積空間として捉えることができよう。

しかし、土木計画の策定論議に対しては"達成が可能でしかもできるだけ望ましい欲求充足記述を誤りなく、かつ効率的に探索すること"が求められている。そのため、その構成や運営が非常に困難であり、実効の少ないことが多い多変数関数および多元的な記述をそのまま取扱うことを避けて、もとの欲求充足記述空間のある部分空間をいくつか適当に選び出し、このなかの欲求充足記述をより少数の元からなる空間へ射影し、これらの低次元空間において集中的な論議を行なうことにより、もとの多元的な欲求充足記述空間の特質を把握したりして、望ましい欲求充足記述を探索しようとする努力が広く一般的に行なわれているのが実情である。

もちろん、このことは後述するように、計画の結論を導く全過程において特定の少数の元に着目し、他の元に関する事項を無視していることを意味するものではない。計画の策定作業のある時期を固定して捉えればその作業を規定し、その作業で着目されている欲求充足記述元は少数である。しかもほとんどの場合、それは1個であることが多いということである。言い換えれば計画の策定にあたっては多元的な欲求充足記述空間を、1次元空間の集合によって置き換えて表示し、作業過程の進展に伴って検討の対象とする1次元空間をつぎからつぎへと乗り移っていく手法がよくとられると考えられる。このとき欲求充足の評価は1変数関数によって行なわれることはいうまでもない。

いま、多元的な欲求充足記述空間を D 、 D の性質を探るために設けられる各1次元空間のうち第 i 番目のものを ${}^iD$ 、 D において ${}^iD$ に射影される部分空間領域を $d_i D$ 、 D から ${}^iD$ への写像を ${}^i f$ 、 ${}^iD$ における $d_i D$ の値域を ${}^i D$ とすると図-1.14 に示すように

$${}^i D = {}^i f (d_i D) \quad (2.22)$$

なる射影が $i = 1, 2, \dots$ について行なわれることになる。この射影は、一般に単射ではないが、 D における部分空間領域 $d_i D$ の設定法や、写像 ${}^i f$ の設定法によっては単射にすることも可能である。

この場合問題となるのは"本来、多元的かつ広範な欲求充足記述空間を、1次元空間の集合として置換し、表示するとともに

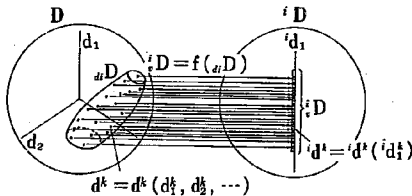


図-2.14 多次元空間から1次元空間への写像

計画策定作業の進展に伴い乗移っていくべき1次元空間を指定し、配置する方法”であって、この方法の設定いかんによっては、計画の策定作業の効率性が左右されたり、計画論の結論である計画自体が異なったものとなる可能性を多分に含んでいる。すなわち、この問題を言い換えると

- ① それぞれの1次元空間 ${}^1D$ の記述元 ${}^1d_i$ としてなにを選定すべきか。
- ② それぞれの1次元空間 ${}^1D$ において取り扱う欲求充足 ${}^1d_k$ を多元的な欲求充足記述空間 D のどの部分から射影してくるか。
- ③ 計画策定作業の進展に伴いそれぞれの1次元空間 ${}^1D, {}^2D, \dots, {}^{i-1}D$ において検討された成果を活用してつぎの ${}^iD$ の①、②の事項をどのように決定するか。

といったことになる。

ここで道路計画の例をあげてみよう。いま、その動機が交通を快適、安全、確実かつ経済的に運行することにより地域の福祉の向上をめざすことであり、あわせて交通による地域の生活環境の劣化を防止し、建設費を妥当なものにおさえることとし、これらの内容が欲求充足記述ないしは計画意図記述を構成していくものと考えよう。

説明の簡略のために、ある計画担当者が上記の要因だけをとりあげ、道路が地域社会に与える効果 B については大きいほどよく、生活環境の劣化と建設費 C については小さいほど有利であると考え、

$$\alpha B - \beta e - \gamma c \rightarrow \max \quad (2 \cdot 23)$$

の最大化に努力を傾けようと考えているとする。ここに目的関数の各項のウェイトは第1項、第2項、第3項の順に小さくなると考えているものとする。

この場合、計画者はおそらくつぎのような手順で作業を進めることになる。

- ① まず、各路線ごとに幅員構成と B との関係を調査し、 B が最大となるように路線と幅員構成を決める。
- ② ①の路線と幅員構成のものについて、さらに環境対策を考え、バッファゾーン等による e の変化を調査し、 e が最小となる環境対策を求めて全体の幅員構成を定める。
- ③ その路線でその幅員構成の道路をつくるとして、 c が最小になるように道路の構造諸元・施工法を定める。
- ④ ここで、 $(\alpha B - \beta e - \gamma c \rightarrow \max)$ の検証を行なうため、①の B が第2位、第3位のものについて①→③の過程をフィードバックして行なう。
- ⑤ 以上により路線、幅員構成および建設費の概略の定まったものについて建設費の尺度を拡大し、その微差を対象に構造諸元、施工法の詳細を決定する。

さて、このような作業過程における欲求充足記述空間の形態はどのようなものであろう。もとの多元的な欲求充足記述空間 D の形態は表-2・3のとおりである。

表-2・3 3次元欲求充足記述空間(道路計画の一例)

$D = d_1 \times d_2 \times d_3$	
d_1	B
d_2	e
d_3	c

表-2.4 1次元欲求充足記述空間の連鎖(道路計画の一例)

作業手順 i	iD に射影される D の領域 $d_i D$	iD の記述元 $i d_i$	写 像 $i f$
①	すべての路線および幅員構成の組み合わせからなる代替案の欲求充足記述を含む領域 $d_1 D = d_1 \times d_2 \times d_3$	$^1 d_1 = d_1 = B$	$d_1 D$ に含まれるすべての欲求充足記述の d_1 座標への射影
②	$d_1 D$ における代替案の欲求充足記述のうち、 B が最大な代替案の欲求充足記述のみを含む領域 ($d_2 - d_3$ に平行な平面)	$^2 d_1 = d_2 = e$	$d_2 D$ に含まれるすべての欲求充足記述の d_2 座標への射影
③	$d_2 D$ における代替案の欲求充足記述のうち、 e が最小な代替案の欲求充足記述のみを含む領域 (d_3 に平行な直線) $d_3 D = d_3 \quad d_1 = (B) \max = \text{const.}$ $d_2 = (e) \min = \text{const.}$	$^3 d_1 = d_3 = c$	$d_3 D$ に含まれるすべての欲求充足記述の d_3 座標への射影
④	① → ③ のフィードバック		
⑤	$d_3 D$ における代替案の欲求充足記述のうち (c) が最小のものを含む直線 $d_3 D$ のある区間 $d_5 D$ 微小区間 $d_5 D \subset d_3 D$	$^5 d_1 = d_3 = c$	$d_3 D$ に含まれるすべての欲求充足記述の拡大された d_3 座標への射影

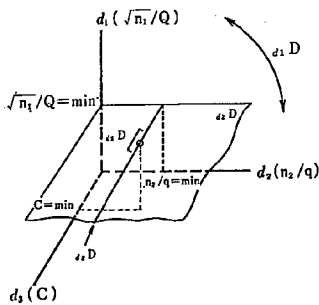


図-2.15 欲求充足記述空間
(ダム計画例)

計画の策定作業においては、この3次元の欲求充足記述空間 D から、表-2.4 および図-2.15 に示すような部分空間領域 $d_i D$ に注目し、これに含まれる欲求充足記述を1次元記述空間 iD に射影して、その特質を把握することになる。

このようにして探索される欲求充足記述は、たとえ後になって多元的な欲求充足記述空間に射影されうるものであっても、もともと iD に射影された1次元的な記述であって、その記述に関して同時に他記述元による記述を変化させ

ることが許されないことから、このような計画論システムの欲求充足記述空間はつぎのような1次元的な形態をしていると考えることができよう。

① ${}^1D \rightarrow {}^2D \rightarrow \dots \rightarrow {}^iD \rightarrow \dots$ なる1次元記述空間の連鎖系として示される。

② 各時点て異なった1次元空間 ${}^iD$ をもつ。

ここで“土木計画論は各時点ごとに独立した別個のものである”と考えれば②の形態、また“展開していく土木計画論はある程度ひとまとまりのものとみなせる”と考えれば①の形態、として考えることもできる。

また、道路計画の例で示したフィードバック手法は、多次元空間を低次元空間の連鎖として表示することの不便を補う有効な手法である。

以上、実際に設定・運用されることの多い1次元空間連鎖型のものを軸に欲求充足記述空間を特徴づける要因について述べてきたが、2次元空間、3次元空間の実用も否定されるわけではなく、理論的には純粋な多次元空間で記述した欲求充足記述空間を考えることもできる。さらに各種の低次元空間の連鎖によって欲求充足記述空間の形態が規定される場合にも、特定の低次元空間 ${}^iD$ からの他の特定の低次元空間 ${}^jD$ へ移行する際には記述元や(もとの多次元空間における)記述領域が変わる場合とともに、それぞれが変わらない場合も考えられる。

この意味で欲求充足記述空間は多数の型に分類することが可能であり、その基準をあげるとつぎのようになる。

A: 空間の次元に関する分類

A_1 : 1次元記述空間

A_2 : 2次元記述空間

A_3 : 3次元記述空間

A_n : n 次元記述空間

B: 空間移行時の様式に関する分類

$B_{0,0}$: 空間の移行を行なわないもの

$B_{0,1}$: 空間の移行時に記述元のみが変化するもの

$$\begin{pmatrix} d_i D = d(i+1) D \\ i d_j \approx i+1 d_j \end{pmatrix}$$

$B_{1,0}$: 空間の移行時に記述領域のみが変化するもの

$$\begin{pmatrix} d_i D \approx d(i+1) D \\ i d_j = i+1 d_j \end{pmatrix}$$

$B_{1,1}$: 空間の移行時に記述元・記述領域ともに変化するもの

$$\begin{pmatrix} d_i D \approx d(i \ 1) D \\ i d_j \approx i \ 1 d_j \end{pmatrix}$$

C: フィードバック機構の有無に関する分類

C₀: フィードバック機構をもたないもの

C₁: フィードバック機構をもつもの

先程の道路計画をこの分類に合わせてみると

C ₁ { A ₁ - (B _{1,1}) → A ₁ - (B _{1,1}) → A ₁ } - (B _{1,0}) → A ₁				
④	①	②	③	⑤

のような形で表わすことができる。

2・6 手段記述空間の形態

手段記述空間の設定の実態も、計画論システムの形態・規模等を特色づけるものとして重要である。この手段記述空間の設定の実態は、計画担当者の土木技術に関する知識・経験とその計画論システムに関する見識および技法の巧拙によって大きく左右される。

手段記述には、他と区別して間違いなくその手段を指し示す必要があることから、手段記述空間の記述元と記述精度が規定される。すなわち、手段記述空間の記述元としては、施設の位置・配置・構造系・材質・諸元・施工時期・施工順序等の施設の設置に必要なすべての情報を記述し、識別できるものが要請され、その結果、多数の元が参画する多次元空間が構成されることになる。

ところで、手段記述空間の記述元は、施設の種類ごとの異質性がきわめて大きいために施設の種類のに応じて異なるものが多い。したがって異種の施設を同一空間に併記しようとするれば、それぞれの種類の施設に特有な記述元をすべて抽出し、それらすべての記述元による手段記述空間を構成することが必要である。 α という種類の施設に特有な記述元を $m_1, m_2, \dots, m_f$ (これにより張られる空間を ${}^{\alpha}M$ と表わす)、 β という種類の施設に特有な記述元を $m_{f+1}, \dots, m_i$ (これにより張られる空間を ${}^{\beta}M$ と表わす)、両種の施設に共通な記述元を $m_{i+1}, \dots, m_p$ (これにより張る空間を ${}^0M$ と表わす)とすれば、両種の施設を併記するための手段記述空間 M は

$$M = {}^{\alpha}M \times {}^{\beta}M \times {}^0M = m_1 \times m_2 \times \dots \times m_f \times m_{f+1} \times \dots \times m_i \times m_{i+1} \times \dots \times m_p \quad (1.24)$$

なるP次元空間として構成されることになる。もちろん、 α あるいは β なる種類の施設のみを記述する空間 ${}^{\alpha}M$ 、 ${}^{\beta}M$ はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} \alpha M &= \alpha^e M \times e M = m_1 \times m_2 \times \cdots \times m_f \times m_{f+1} \times \cdots \times m_p \\ \beta M &= \beta^0 M \times e M = m_{f+1} \times m_{f+2} \times \cdots \times m_i \times m_{i+1} \times \cdots \times m_p \end{aligned} \right\} \quad (2.25)$$

のように表わされるわけであって、それぞれは空間Mの部分空間になっている。

それぞれの手段記述は、上記のような手段記述空間M内に1点、あるいは数点の集合として示されることになる。しかし、これらの点の分布はきわめて特徴的であり、 α なる種類の施設は $\beta^0 M$ の各記述元の値はすべて0、 β なる種類の施設は $\alpha^0 M$ の各記述元がすべて0となるわけで $\alpha^0 M$ と $\beta^0 M$ の各記述元が同時に0以外の値をもつような点は存在しないことになる。

すなわち、手段記述空間は一つの手段記述が複維で多次元的であるのに加えて、種々の手段をいくつも併記する必要からきわめて多次元的となるが、一方、それぞれの手段記述は、手段記述空間内の限られた部分(αM , βM 等の各施設に固有な部分空間)にのみ点として示されることになるわけである。

このようなことから、手段記述空間の形態はつぎのような分類を行なうことができる。

a: 手段として記述される土木施設および関連行為の種類について

- a_1 : 施設および関連行為が1種類だけのもの
- a_2 : 施設および関連行為が2種類だけのもの
- $\vdots$
- a_n : 施設および関連行為がn種類だけのもの

b: 記述の内容・精度について

b_0 : 当初、記述のないもの

(注) 状態空間に記述される現象がとくに手段(施設または関連行為)を限定しなくてもきわめて容易に得られる場合、手段記述空間を未設定のまま状態空間で代表させて計画論を進め、状態空間において結論的な記述を得てから、対応すべき施設を得るために手段記述空間を最終段階で限定的に設定することがある。

b_1 : 設定された状態空間の記述と直接対応し、関連をもつ諸元だけで記述するもの

b_2 : 以上のほかに、状態空間との対応がないものをも含め、施設・関連行為の諸元のすべてを記述するもの

2.7 対応・射影の形態

欲求充足記述空間と手段記述空間との対応・射影の形態も、計画論システムの形態を特色づけるものとして重要である。従来、これによる計画論の特色づけは、様ざまな手法やモデルの濫により、むしろ強調されすぎてきたきらいがあるが、これはすでに特徴をもって設定されている欲求充足・手

段両空間の対応規制にかかわる事項であるので、往々にしてこれらが欲求充足記述空間等の設定形態を規制することがあるにしても、計画論システムの特徴づけにとっては、本来あくまでも二次的な役割を果たすものといえる。

この対応・射影の形態の特徴は

- ① 設定される中間空間の配置・構成、特にその水準と比重のあり方
- ② 中間空間 相互間の射影手法の特質

2・7・1 中間空間の配置構成

一般に欲求充足空間と手段記述空間との対応は、両空間から始まってつぎつぎと設定された中間空間に射影を進め、適当な空間上において両者からの像の適合性を検証することにより求められるわけであるが、何段階の射影・変換を行なおうとも、もとの空間における像が保持されていなければならないことから、中間空間の配置と記述元の構成には十分に留意する必要がある。

すなわち、射影を繰返す過程において、多様な部分空間に分割して記述されることはあっても、ある段階の同一水準に属する空間によって、もとの空間の像が保持されていなければならない、何段階の射影、変換が行なわれようとも、各段階において記述元の変換、統合、あるいはその増減、消費等について厳密に意識されている必要がある。したがって、計画論システムを運営し考察する者は常に、両記述空間の対応が何段階の射影過程をもっているのか、各段階にどのような中間空間が配置・設定されているのか、さらにそれぞれの作業・操作がどの水準のどの空間に関するものであるかを把握し、熟知している必要がある。

このような中間空間の構成・配置は、対応・射影が要求される両空間の性質に対して、我われが現実にはどのような射影技術ないしは対応規制上の知識をもっているかにより左右される。このことから、これらの中間空間は往々にして我われのもつ射影手法の知識の単位にあわせて構成されがちである。たとえば、桁の構造諸元と外力との対応射影を求めるにあたっては、外力状態に関する記述は力学的法則についての知識を介してその主要部分が内部応力を記述する中間空間に一度射影され、さらに各材の許容応力度の知識を介して構造諸元の記述に対応づけられるというふうに、基盤となる知識に応じて中間空間が適宜配置されている。また、対応・射影を行なうにあたって地域を区分したり、時間を分割することによって中間空間をいくつかの部分空間に分割し、射影技術に合致する形で構成を確定する努力が行なわれる。たとえば水害の状態を記述するにあたって、氾濫区域をいくつかのブロックに分割し、それぞれの水害状態を求め、必要に応じてその合計をとるなどの方法がとられる。

現実の計画論システムでは、上記の中間空間の配置、構成に関する型のほかに、それぞれの中間空間の取扱以上の重みの問題もシステムの形態を特徴づけるものとなろう。論理的構成のうえでは、その存在が不可欠な中間空間であっても、その計画論の具体的特質によってそれらが結論の誘導に果たす役割は必ずしも大きなものになるとは限らない。このような中間空間はシステムを実際に運営する

際には前提を設けて捨象されることもあろうし、便宜的に簡略化した取り扱いを行なうこともあろう。さらに、このような計画論に固有な本質的な比重のあり方に加えて、システムの構成・運営上の手法・能力の実態からする制約・配慮が必要である。我われのもつ射影技術には限度があり、なかでも多次元空間の直接的取り扱い、多次元的に配置された複数の空間の同時並列的な操作は非常に困難なものであり、システムとして正当に取り扱える中間空間の構成・配置は結果的にきわめて限られたものとなる。

以上のことから、現実の計画論システムに組み込まれる中間空間には、その計画論に固有の性格とその構成・運営上の技術的制約とによる二重の重みづけが行なわれる。したがって、実際の計画論システムの多くは中間空間の比重に着目して、主軸系列と傍系列とに分けられ、その周囲に配慮、勘案事項等を配するような構成をとるものとなり、いわゆる概略計画、詳細計画等の概念も空間の配置、構成上の相違ではなく、その比重の置き方、重視する空間領域の差異を表わしているものが多いといえよう。

2・7・2 射影手法の特質

射影手法の特質は、計画論に要求される事柄と、計画担当者の技術水準とを反映するものとなるが、ごく概括的にはつぎの分類によって特徴づけられよう。

- ① 価値モデルか、現象モデルか
- ② 目的論的モデルか、因果論的モデルか
- ③ 決定論的モデルか、確率論的モデルか

すなわち、①によっては2記述間の対応関係が価値上の同等性を示すものであるのか、因果律に基づく必然性を示すものかが類別されるし、また②によっては2記述間の対応関係をいずれの向きに求めているのか、そして検証断面との位置関係はどうなっているのかが類別される。さらに③によっては2記述間の対応関係の基盤となる環境認識の立場が類別されることになる。射影手法の分類については、学問やテクニックの名を冠したさらに詳細なものを考えることも可能であるが、際限のないものとなるのでここでは省略する。

計画論システムにおける対応・射影の形態は、以上のことからつぎのように類別できよう。

(1) 中間空間の配置・構成に関する分類

$A_{n_1-n_2-\dots-n_m}$ 欲求充足記述から手段記述まではm段階の射影が行なわれ、第1段階では n_1 、第2段階では n_2 、……、第m段階では n_m 個の部分空間に分割して像が求められるもの。

(2) 射影手法の特質に関する分類

α_1 : 価値モデル	α_2 : 現象モデル
β_1 : 目的論的モデル	β_2 : 因果論的モデル
r_1 : 決定論的モデル	r_2 : 確率論的モデル

δ_i : 水理モデル, 構造力学モデル, 交通工学モデルなど

個々の2記述間の射影手法の特質は($\alpha_i, \beta_j, r_k, \delta_l$)によって規定される。

第3章 土木計画論における土木設計

土木計画論は欲求充足記述と手段記述の設定およびその間の対応規制に関する論議であることは前記のとおりであり、この一義的対応を求めるために種々のモデルが適用される。本章では手段とその実施による出現状態との対応を求める作業を土木設計と位置づけ、あるいは定義し、その論議の展開される領域および一般的な構造についても記述する。

3・1 土木設計の一般的定義

土木計画論は欲求充足記述と手段記述の設定およびその間の対応規制に関する論議であり、この対応規制のために種々のモデルが適用されることについては前記したとおりである。たとえば、欲求充足と期待状態との対応規制には価値モデルとしての社会科学的なモデルが多用されるし、手段と出現状態との対応規制には現象モデルとしての自然科学的なモデルが用いられることが多い。土木計画論において実用される対応規制法には多様なものがあり、計画論構成において、もっとも手段寄り位置し(図-2.17⑥および図-2.18)、自然科学的なモデルを用いる対応規制法の代表例として、〈土木設計〉をあげることができよう。すなわち、河川事業計画や道路事業計画をはじめとする種々の土木事業計画では、特定の土木構造物の具体的な指定をめざしてその論議が構成・展開されるが、この土木構造物の具体的な指定手続きは〈土木設計〉とよばれ、従来の土木工学における多くの成果はこの手続きの確立に貢献してきたと言っても過言ではなからう。

土木設計(計画論における対応規定)なる手続きを通じて特定の土木構造物を具体的に指定するためには、他のものと区別してその構造物を指定するのに必要な情報と、それらに基づいて一つの構造物を指定する道程が必要であり、一般に前者の情報を〈設計条件〉、後者の道程の内容となる方法を〈設計法〉と呼んでいる。この意味で土木設計は、〈設計条件と具体的な土木構造物とを設計法によって一義的に対応づける一つのシステム〉であり、優れた設計成果を得るためには土木構造物と設計法に関する正確で豊富な知識・経験の蓄積と、広範で適確な検索能力とが必要であり、従来の土木工学が主としてこれらの拡充・整備をめざしたことも意義のあることといえよう。

土木事業は土木構造物の具体的な指定がなければ実施に移せないことから、土木設計は土木事業にかかわる計画論システムのなかできわめて重要なサブシステムとしての位置づけが与えられるが、その領域はなにを設計条件として採用するかによって大きく左右されることになる。たとえば、設計条件を欲求充足記述にとれば土木設計に関する論議は土木計画論の全体領域に及ぶが、通常は物理的・力学的な状態記述が設計条件として選定されることから、土木工学として蓄積された技術的知識を主軸とする物理的・力学的手法の及ぶ範囲のものとして、おのずからその領域が定められているといえよ

う。このように土木設計システムは土木計画システムにおける一つのサブシステムを構成するが、同時にその権限的性格をもって、計画論における同様な論議ができることになる。

ところで、土木構造物を欲求充足との対応において具体的に指定するためには、同時にまたは前もって施工方法や工程、管理方法などが検討されねばならず、これらは決して独立に検討できるものではないことに留意すべきである。施工方法と工程を考えないで構造物の形状を定めるのは不可能であり、管理方法を想定してその機能を論議することなしに施設諸元を定めることもできない。往々にして土木設計では、これらが暗黙の前提となっていることが多いが、それだけに心すべき事項といえよう。

3・2 土木設計論の領域と一般的構造

土木設計は、特定の設計条件を特定の設計法によって具体的構造物と対応づけ、特定の具体的構造物を指定するものであるが、土木計画論では構造物諸元等は手段記述空間に、設計条件に相当する状態記述は中間空間に記述されていることから、土木設計を論ずる土木設計論は、土木計画論のなかの“手段記述空間と状態記述を行なう中間空間との対応規制”に含まれる。

すなわち、図-2.16に示すように、土木計画論では欲求の出現に応じて手段に関する知識が動員され、欲求充足の可能性のある土木的手段が検索され、手段記述空間に記述・設定されて、欲求充足との適合・対応の関係が論じられる。

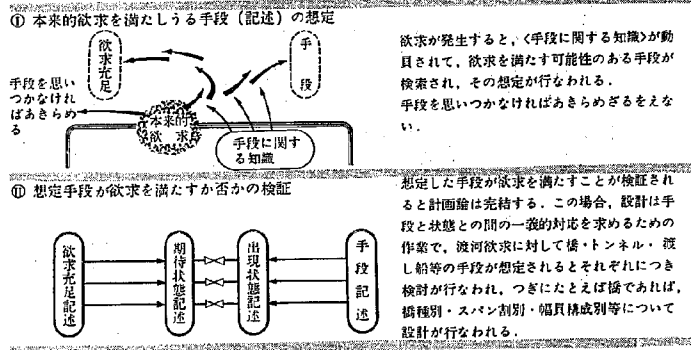


図-2.16 土木計画論の展開の概略

この対応関係の確定，すなわち設定した手段が欲求充足を満すものであることの検証の完了によって計画論は完結するのであるが，設計はこのうち欲求充足を写した状態記述（設計条件）と手段記述との一義的対応を完成する作業部分として計画論に参画する。

図-2.17は設計作業の内容の模式である。設計作業は，まず取り扱う要素や尺度を定め，それらについて検討を開始するときの値（初期値）を想定することから始まる（図A）。すなわち，設計には設計条件（目的とする状態記述と目的を達成すべき環境についての状態記述の2種からなる）と手段（構造物等）の3種の状態諸元量が関係するが，いずれもきわめて複雑でそのすべての量を扱うことは至難である。しかも設計法の主軸となる各種の法則が，比較的少数の要素からなる特定環境下の2記述の対応則として得られていることが多いことから，これらの設計法に適合し，効果的設計成果が得られるよう3種の状態諸元量のなかから適性を備えた少数の要素・尺度を選定してその初期値を慎重に定める必要がある。たとえば，単純にみえる橋梁を例にとっても，その全体を規定するのに必要な諸元はほとんど無数にあり，設計にあたって力学的設計法を用いるには，そのなかから力学的性

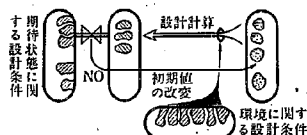
④ 設計条件と手段記述における初期値の設定



設計は手段と状態との対応づけを行なうもので，実際には，

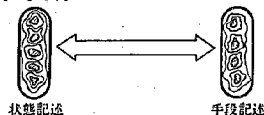
- ① 期待状態に関する設計条件，および
 - ② 調査に基づいて環境に関する設計条件を設定するとともに，
 - ③ 手段に関する初期値を仮定する。
- なお，初期値の仮定には設計方法の確定が前提となっている。

⑤ 設計の開始（初期値の変更，期待状態との検証）



手段初期値と環境に関する設計条件を入力として設計計算を行ない，どのような状態が現われるかを出力したうえで，期待状態に関する設計条件との適合性を判定する。適合しなければ，〈手段初期値〉を改変して再度設計計算を繰返す。

⑥ 設計行為による肉づけ



上記過程の結論に基づき，設計計算では取扱いなかった手段諸元を期待状態に照らし合せて検討し，手段記述を完成して設計を完了する。

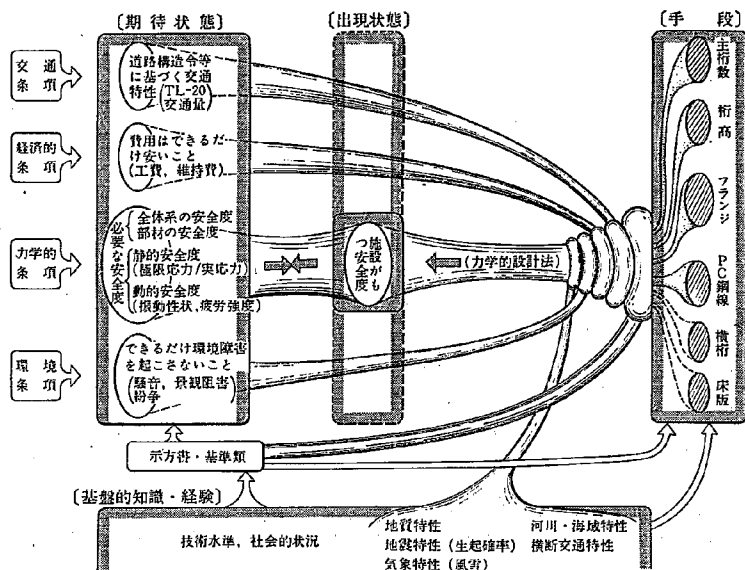
図-2.17 設計の各種局面の概略

状を支配する諸元を選び出し、それぞれに効率的に結論に到達できるよう配慮した特定の値（初期値）を想定しなければならない。同様に、設計条件（目的状態、環境状態）についても、設計法を介して先に選定した手段諸元とかかわりをもつことになる諸元のなかから有効に扱えるものを限定し、それに適切な値を与えて用いることになる。橋梁の力学設計の場合、設計対象となる手段諸元は、橋種、構造系、径間、幅員構成、部材形状、材質等である。設計条件のうち目的状態諸元としては可能交通量、耐荷性能、耐用性能等が環境状態諸元としては地耐力、気象状態量、地震荷重・風荷重の想定値等があげられよう。

設計条件と設計する構造物等の諸元（初期値）が定まれば、その構造物の諸元がもたらす状態を推算し、その推算値が設計条件とした目的状態と一致するまで構造物諸元の初期値に微修正を加えながら反復試算して、結果的に設計条件に適合した構造物諸元を求める（図⑧）。この推算過程を設計計算と呼ぶが、現実には比較的少数の元からなる対応法則を主軸とするものが多く、この段階で演算の対象からはずされている既設定の初期値は、環境状態諸元とならんで対応演算を実質的に規制する（条件を形成する）ものとして参画することになる。たとえば、非合成プレートガーダー橋の主桁構造諸元の設計計算段階では、設計条件となる目的状態（許容交通耐荷力等）と環境状態（風荷重、地震荷重等）のほかに、既設定の初期値（スラブや高欄等の死荷重等）が重要な演算条件の規制要因となる。

選定された手段諸元について特定の（主として力学的な）設計法を用いて設計計算が行なわれても、その演算結果によって定められるものは手段（構造物等の）諸元の一部にすぎず、完全な形で特定の手段を指定するためには、残りの必要な諸元をなんらかの方法で定めなければならない（図⑨）。すなわち、十分な設計計算が行なわれたとしても、その結果によって定められるものは、手段諸元のうち設計条件として選定された目的状態の出現に関係するものだけであって、たとえそれらが、与えられた設計条件に照らして特定の手段（構造物等）を識別し指定するのに十分なものであるにしても、多くの場合、現実の手段として具体的な形を与え、間違いなくつくりあげていくためのものとしてはなお不十分であり、他の多くの諸元について具体的な値、形状等を補完していく必要があろう。橋梁の例では、通常の力学的設計法で定められる力学的構造諸元のほかに、高欄の形状、伸縮継手の構造・形状から、塗装の色調に至るまでの決定がなければ具体的に特定のものを指定し、間違いなく建造することができないであろう。

橋梁設計の例を用いて設計条件、設計対象構造物諸元および設計計算手法が定められてから後の設計作業の特質を模式的に示したのが図-2.18である。



図一.2.18 設計計算段階における各要素の位置づけ (橋梁設計の例)

これらの諸量と手法とは、手法の存在を前提に諸量が選ばれ、諸量に応じた手法が開発される関係にあって、いずれが先とは断じたいが、いずれにしても設計が論じられる段階では、諸量ごとにそれを決定すべき手法が用意されていると考えてよい。

一般に橋梁等の構造物の設計法は、力学的法則を主軸とするいわゆる力学的設計法であり、これによって定められるものは、構造物の力学的な性状諸元ということになる。力学的法則は、特定の条件下における2種の力学的記述の対応関係を示すもので、厳密に力学的法則による限り力学的記述による目的状態および環境状態を条件として、力学的記述による構造物諸元を対応づけ、決定できるにすぎない。いずれにしても、複数元の目的状態記述と複数元の構造物諸元記述からなる設計の場合、まれに少数の元を束ねた状態で扱うことができることがあるにしても、ほとんどの場合、各記述元ごとに逐一設計計算を行なって対応関係を求める作業を反覆して、結果的に構造物諸元を定めていく手法がとられよう。構造物設計の主要部分である構造物の力学的諸元決定の局面を、P.C桁橋を例に図示したのが図一.1.18であり、構造物の力学的諸元は、技術的知識・経験の集積である基準類をはじめ、力学条項以外の期待状態の各条項を規制条件として、期待状態の力学条項に対応づけられている。この場合、構造物諸元から出現状態を演算により求めるのは容易であるが、逆の演算は通常不定解になることが多い。したがって一般には、構造物諸元から出現状態を求めてそれが期待状態と一致する

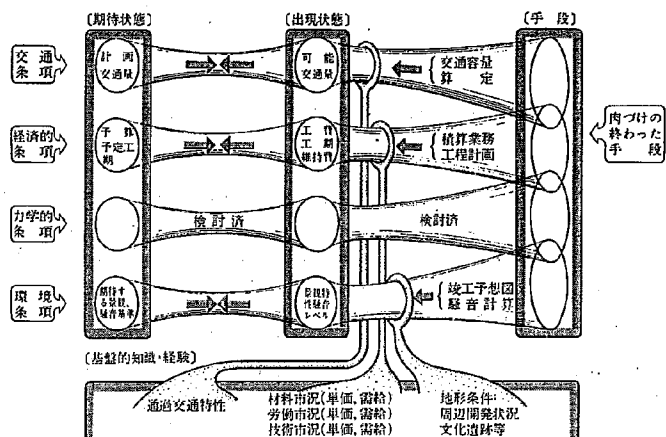
という検証を得てから対応を完成させる手法、すなわち、算出される出現状態（たとえば実応力）が期待状態（たとえば許容応力）に一致するまで構造物諸元に微修正を加えながら試算を繰返す試行法がとられることになる。この試算作業はときとして膨大なものとなる。この場合、一般に条件となる期待状態はある特定値として与えられるよりも、特定された範囲にはいることとして与えられることが多い。出現状態の算出には、設計計算による決定対象以外の構造物諸元の初期値も規制条件として参画するが、これらの諸元も結果的には、設計計算において検証対象にはとりあげられていない期待状態記述との対応によって制約を受けるものになるので、初期値の設定には経験に基づく種々の配慮が必要となる。したがって、同種の設計計算に関して多数の実績・経験をもち今後にも多くの設計が予想される構造物については、その経験を織込んだ固有で具体的な初期値の設定法と設計計算法を準備して用いるのが効率的であろう。

実在するいろいろな構造物に固有の設計法、設計仕様書、標準示方書等は、この目的のために多くの実績、経験の積みあげから検討・準備されたものであり、その実績はものによってかなりの過不足があるにしても、

- ① 用いるべき対応法則（力学モデル等）を具体的演算手順を伴って規定する。
- ② 目的状態と環境状態に則して検討すべき構造物等の諸元とその初期値の範囲を指定する。
- ③ 対応演算の結果から定められない構造物等の諸元について、それを定める方法あるいはその値等を規定し、具体的構造物等の指定に必要な諸元体系を完成する方法を指定する。

等の内容からなり、その指示に従って作業を進めることによって一応の設計結果が得られるものとなっている。このことは、固有の設計法、示方書等の果たす役割が、本来膨大な作業を要するうえ、時として発散したり、不定となったりして容易に求められない＜目的状態とそれをもたらす構造物等（手段）諸元の対応＞を、比較的容易に一応満足できる程度に求めることができるようにするための実用的なルール・規則であることを示す。したがって、このことから、固有の設計法、示方書等の内容が純粋に科学的理論のみに支えられるものではなく、過去の事例に対する配慮や時の社会の選好、市場・経済の実情・動向等にかかわりをもつある種の流儀的なものとならざるをえないことが理解されよう。たとえば、多くの構造物の設計示方書に記載されている部材や材料等の規格・品質等に関する規定は、当該時点・当該地域における工場生産や市場価格等の実情に対する配慮を前提として定められていることであろう。

このように、土木設計は固有の設計法・示方書等に基づき、その指示に従うとしても、また独自にできる限り多数の構造物諸元について、できる限りの多数の目的状態記述との対応からその値を定め、残余の諸元についてもなんらかの方法により、これを定めることによって完成されなければならない（図-2.19）。



図一2.19 設計の検証段階における各要素の位置づけ (橋梁設計の例)

参 考 文 献

- 1) 野口 宏：トポロジー —基礎と方法— 日本評論社，1971
- 2) 建設省土木研究所企画部：土木計画とそのシステム，土木研究所資料第694号，1971
- 3) 岩 松：土木計画論，土木研究資料第971号，1975
- 4) 吉川和広：土木計画とOR，丸善，1969
- 5) 永井，岩松，吉川，五十嵐：土木計画学シリーズⅡ，土木計画学の領域と構成，土木学会編，
1976
- 6) Funk and Wagnalls：New Standard English Dictionary of English
English Language，1927
- 7) P. P. Druker（現代経営研究会訳）：新しい社会と新しい経営，ダイヤモンド社，1927
- 8) L. W. Doob：The Plan of Men，Yale University Press，1940
- 9) 加納治郎：計画の科学，経済往来社，1963
- 10) S. L. Optner：Systems Analysis for Business and Industrial Problem
Solving，Prentice Hall，1965
- 11) 土木学会土木計画学研究委員会編：第1回～第10回土木計画シンポジウムプロシーディングス，1977～1976

第3部 土木設計における対応規制

土木設計は、設計条件と具体的構造物とを設計法によって一義的に対応づける一つのシステムであると捉えることができるが、この対応づけに関してはきわめて多様な問題が介在している。たとえば、設計法は多くの場合、力学的法則性をその主軸に据えているが、力学的要因のみによって具体的構造物が一義的に指定されるわけではなく、知識・経験の集約たる示方書・基準類等を介して、種々の要因が、その一義的対応に参画する。ここでは、こうした土木設計における対応規制の実態をとらえ、まず、設計条件と構造物諸元の各記述空間の設定について述べ、その両記述空間の対応規制の実態について考察する。

ついで、土木設計をシステムとしてとらえ、その対応の実態について集合論を中心とする理論的な考察も行なう。

第1章 土木設計における対応規制の実態

1・1 設計条件と構造物諸元

“土木設計の成果の良否は、具体的構造物等に関する知識の豊富さ、設計法の適否、および設計条件の適否に左右されるもの”であるが、このうち、設計条件と設計法には以下に述べるような相互補完の関係がある。

図-2.17で示したように設計条件には、計画の目的によつて設定されるものと、計画をとりまく環境条件によつて設定されるものがある。ここで問題となるのは、この設計条件がきわめて限定された要因のみについて設定されていることである。たとえば、目的として期待状態記述に関して設定される設計条件は、力学モデルを中心とする設計行為に参画しうるもののみに限定されており、同様に環境条件に関して設定される設計条件も、我われが認知しえたもののなかから同様な理由で限定されたものとなっている。したがって設計条件のみから具体的構造物を一義的に対応づけるのは事実上不可能である。数少ない元からなる設計条件が表わす状態を満たすような具体的構造物は、おそらく唯一ではなく、存在性が確認される限り数多くのものがありうることであろう。たとえば、同一の荷重を支えることのできる桁の諸元は無数の組合せが考えられ、安全率の幅を限定したとしても無数にあることには変わりないであろう。

ところで、これら無数の構造物の設置によつて出現する状態は、それぞれ異なったものとなることはいうまでもない。設計条件によつて指定されたある一定の資格（たとえばある荷重に耐えうるという資格）を共通してもつのは、それぞれに異なる機能を発揮することであろう。しかも、それらの機能に関しては、設計条件としての明示がなくとも、それぞれに期待状態との対応があり、その差異が識別されて、より価値の高い手段が選択されるべきなのである。

このように、設計条件には期待状態のうちの一部の元しかとりあげられておらず、これのみから一義的に具体的構造物を指定するのは不可能であり、また不適切でもあるので、現実の設計法には、これを救済する措置として、いくつかの方法が考えられているわけである。

すなわち、一つは、設計条件として明示されていない期待状態との対応を設計者の判断に委ね、力学モデルでは求められない諸元の決定や初期値の設定にその経験を生かす方法であり、他の一つは、示方書や基準類を制定して、きわめて一般的にはあるが、設計条件にとりあげられていない状態との対応の一義性を確保するための規制条件として役立たせようとする方法である。以下にこれらの方法の特質について論述しよう。

1・2 設計法としての対応規制の実態

手段記述と手段の実施によって出現する状態記述の対応を求める行為が設計行為のほとんどであり、この2記述の間の領域に設計論が位置することは前述したとおりである。すなわち、一般に設計は与件としての設計条件に対応して設計諸元（または初期値）を設定することに始まり、ついでそれらの諸元ごとに個別設計法による出現状態を求め、それらと設計条件との対応検証を行ない、その結果適合性が確認されれば設計行為は終了する。もし、両者に乖離が認められる場合には、手段諸元に微修正を加えてフィードバックされ、一連の設計行為が繰返される。

ここで注意すべきは、構造物諸元と出現状態との対応を求める際に諸々の条件や要因が、その対応を可能ならしめるために、あるいは規制を行うべく参画することである。図-2.18でも明らかなように、力学的モデルを主軸とする一般的な設計法では、示方書・基準類等を中心とする規制が行なわれ、期待状態に記述された他の記述元がこれに影響を及ぼし、さらに手段を実施する近傍の環境特質が対応規制として参画する。またある種の構造系の場合は、現に設計対象としている構造物諸元以外のものが規制条件として参画することもある（たとえば、非合成プレートガーダー橋の主桁の設計時には床版の諸元が一つの前提条件となる）。

いま、矩形断面のコンクリート柱を例に単位設計における対応の特質について選択的に考察してみよう。ここで、柱高 h は与件とし、材の強度（破壊） σ 、弾性係数 E を固定とし、断面を a 、 b で表現する。この場合、手段諸元 a 、 b の設定によって想定される力学状態の記述のうち、柱の支えうる最大荷重 P （衝撃等 $\neq 0$ ）をとりあげれば、一応、 $P=f_p(a, b; h, \sigma, E=Const)$ となる。この対応を具体的に確定するためには、特定の物理モデルの設定と実験的研究による σ 、 E の設定（実質的には期待値的な扱いによる）とが必要であり、通常のモデル設定では $[a, b, h, \sigma, E]$ から $[P]$ への対応は多対一、その逆射影は一对多対応となる。まず、図-2.18に従って力学モデルによる設計を行なうとして、水平横断方向の材質が均一、 h 、 σ 、 E を既知固定量として与え、Hooke（フック）の法則を主軸とする静的弾性力学モデルと長柱における不安定現象にEuler（オイラー）のモデルを適用すると、軸方向耐力と断面諸元との間に下式による対応関係が設定できる。

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= ab\sigma, \\ P_2 &= \frac{\pi^2 a^3 b}{48 h^2} E, \\ P_3 &= \frac{\pi^2 a b^3}{48 h^2} E, \end{aligned} \right\} \quad (3 \cdot 1)$$

$$P = \min(P_1, P_2, P_3), \quad (3 \cdot 2)$$

このように設定された断面諸元（構造物諸元）によって出現する状態は、記述元 P については上式

によって求められるが、逆の射影、すなわちPが与えられてもPから断面諸元を求めることは一対多対応となり、唯一のものを指定できないことに注意する必要がある。

つぎにこの施設設備による経済条項の状態記述を図-2.19にしたがって行なうとして、その状態記述元として所要工事費Cをとりあげる。仮にコンクリート容積と表面積(型枠面積)とに比例するとすれば、

$$C = C_1 a b h + 2 C_2 (a h + b h) \quad (3 \cdot 3)$$

で表わされる。

実際の設計では、上記設例のように状態記述元が1個ではありえず、多元であるので、図-2.19に示すように各条項ごとにいくつかの元についての出現状態記述を求め、それらと期待状態記述元のそれぞれと適合検証を行なう、という手順で設計は行なわれる。その場合、対応に乖離がみられ、手段記述諸元に修正を加えて、フィードバックにより一連の設計行為が再びまた行なわれるとしても、最初に行なわれるのは力学的モデルによる安全度条項(力学条項の検証)であるのが普通である。安全度条項の適合性が検証されたのちに、経済条項、交通条項、環境条項等について(たとえば最適化手法の一つである単一変数変化法等を用いて)その対応がとられることになる。また対応を求める(設計)作業が発散しないようにルール(設計法)と規制条項とを記述したものが示方書、基準類であるといえよう。

第2章 土木設計における対応規制の理論的考察

手段記述空間と手段の実施によって出現する状態記述空間を設計法という射影法によって対応づける行為が土木設計の主軸的作業であることは前述したとおりである。つまり、一般に設計は与件としての設計条件に対応すると、設計者が認識した構造物諸元記述空間の各記述元の値（各諸元の初期値）の設定に始まり、次いで各構造物諸元ごとに個別設計法という射影法によって設計条件の記述元と相対峙する形（ディメンジョンも同じ）で出現状態記述空間を形成し、設計条件と出現状態の両記述空間の各記述元相互の対応検証を行い、各記述元間の適合性が確認されれば設計は終了する。

もし、記述元相互に乖離が認められる場合には、構造物諸元記述空間にフィードバックして関係ある構造物諸元を微修正して、関係する出現状態の記述元に射影を行なって適合性の確認がなされるまで一連の設計行為が繰り返される。

設計の論議は、設計条件の記述元に何をとりかによって、その態様が異なったものとなる。そこで、本章では土木計画論と整合させるために風荷重や地耐力等は構造物諸元記述空間から出現状態記述空間への設計法という写像を規定する条件として設定して一連の設計行為の理論的展開を試みた。

2・1 構造物諸元と出現状態記述元との対応規制

土木設計の対応規制そのものである構造物諸元記述空間 M と、その構造物を建設することによって諸元から出現する状態記述空間 S の空間設定および両空間の射影法について図-3.1の模式図を参考に考察する。まず、構造物諸元記述空間 M は構造物の各記述元で張られている。たとえばプレートガード橋であれば、主桁の断面や材質、床版の厚さや鉄筋量とともにそれらの材質……等々の数値を伴った記述元で構成されている。

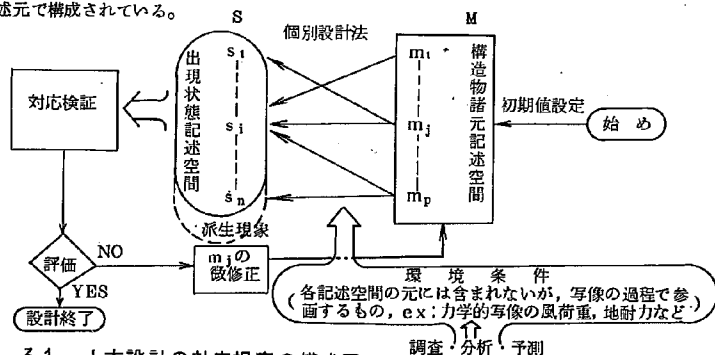


図-3.1 土木設計の対応規定の模式図

次に出現状態記述空間 S には設計条件記述空間 S_0 のすべての記述元が含まれ、それ以外の元と共に空間 S を張っている。たとえば設計条件の記述元 S_{0i} が許容応力度 (Kg/cm^2) であれば許容応力度法なる写像 f_i の値域 s_i は実応力度 (Kg/cm^2) である。

構造物諸元記述空間 M から出現状態記述空間 S への写像 F は全射でも単射でもない。つまり同一力学的性能をもった構造物諸元 m_j (たとえば主桁) は、種々の寸法や材質の組み合わせによって無限に存在するとともに、いかなる組み合わせによっても実現不可能な状態もまた存在する。この写像 F は構造物の建設地先の環境に支配される。たとえば力学的安全性を左右する交通量、風力などや、環境適合性 (騒音、大気汚染等) に関連する風向・地形等がその一例である。先に出現状態記述空間 S は設計条件記述空間 S_0 の記述元以外の元によっても張られていることを記したが、これらの元には設計者が予期しない派生的現象を表現する元も含まれている。

一般に設計法といわれる写像 F は、数多くの個別設計法 f_i で構成されている。これら個別設計法に用いられる関数 f_i の多くはある特定の出現状態記述元 s_i の動向を複数の構造物諸元の関数として表現するものである。たとえばプレートガーダ橋の力学的状態 (s_i) は、主桁・横桁・ブレイシング・床版等々の諸元 ($m_a, m_b, \dots, m_l$) の関数 f_i として表現される。現在までの設計法に関する研究はこれらの関数 f_i の精度を上げることと、関数に取り込まれるべき構造物諸元 m_l の数を増すことに専念しており、出現状態の多様な側面が検討できる設計法を開発すること (i の項目数を増やすこと) は、今後の研究に待たれるところである。

次に構造物諸元記述空間 M と出現状態記述空間 S との対応規制について、今までの論議を簡潔に整理するために集合論的な記述を試みる。

図-3.1 に土木設計の対応規制の全体図を示す。構造物諸元記述空間 M と出現状態記述空間 S の対応関係は、写像 F を用いることにより、集合論的に次のように表わされる。

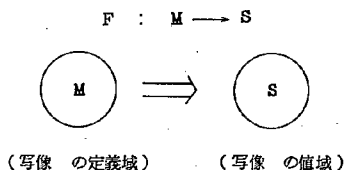


図-3.2 $M \rightarrow S$ の写像

同様に、出現状態記述空間 S と期待状態記述空間 S_0 の対応は、次のようになる。前述のように期待状態記述空間に含まれない要素を派生現象 S' とよび、対応規制以外の方法により、議論する必要がある。なお、 S と S_0 との関係の詳細は次節にゆずるがそこでは派生現象は省略して取り扱った。

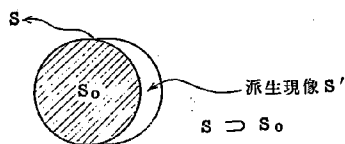


図-3.3 SとS₀の関係

図-3.2の関係を第1部の第2章を参照しながら以下に記述する。

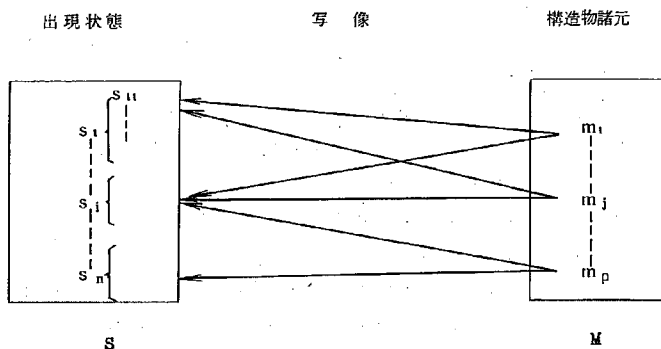


図-3.4 1対多の対応関係

上図の関係を式で示すと、次のようになる。

$$s_i = f_i(m_a, \dots, m_d, \dots, m_\ell) \dots \dots \dots (3.4)$$

ここで、 $a < d < \ell$ であるとともに $a, \dots, d, \dots, \ell$ としては s_i と関係する全ての諸元に対応する添字で、 $1, 2, \dots, j, \dots, p$ とは異なり $m_\ell \leq m_p$ である。

f_i としては、力学的設計における写像の場合のように支配方程式 (governing equation) がある場合、過去の事例から両者の対応をつける回帰式による場合などが考えられる。前者は理想化された状態を考えるもので、この場合の写像は適用範囲が広い。しかし、理想化に際して切り捨てた事柄の影響について注意を払う必要がある。

一方、後者は、種々の係数を過去の事例から定めるために、環境条件の影響も全て含んだ総合的な

写像である。ところが、この場合の写像 f_i は適用範囲が狭いという特徴をもっている。

図 3.1 に示したように、出現状態と期待状態の対応がうまくいっていない場合には、構造物諸を変化させて再び設計を行なう。 M の変化による S の変化は、上式を展開することにより知ることができる。

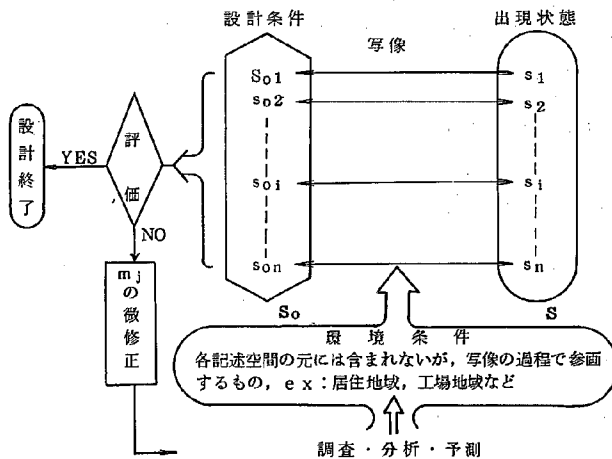
$$s_i = \alpha_0 + \sum \alpha_q m_q \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

$$q = a, \dots\dots d, \dots\dots \ell$$

ここに α_0, α_q は Taylor 展開した時の係数である（これについては 2.2 節参照）。

2・2 出現状態記述元と設計条件記述元との適合検証

設計行為の一環として、前節に続いて本節では、出現状態記述空間と、設計条件記述空間との対応検証について、図— 3.5 を参照しながら参考する。定義域 S と値域 S_0 とは集合論でいう“関係”である。したがって、出現状態記述空間 S と設計条件記述空間 S_0 が張る元と同じ元が含まれており、それぞれが同じディメンションで表現されているので、両者の一致、または乖離状態がこれら両者を照合することによって検証される。たとえば、設計条件記述空間に設計供用年数 50 年、つまり通常の維持補修で 50 年間供用に耐え得ることの記述元があれば、出現状態記述空間にも設定した構造物諸元 m_j が、環境による制約を受けて ℓ 年後に使用限界状態になる（写像される）ことを記述する元（ m_j からの像）があるようなものである。



図— 3.5 土木設計の適合検証の断面

なお、図-3.5では、 S 、 S_0 ともに取り扱い上、元 s_1 、 s_0 は集合族的な表現とし、構造物諸元による属性は省略した。

そこで、適合検証は、対応する元毎に $(s_{0i}-s_i)$ または s_i/s_{0i} をパラメータとして総合的に行なうのが原則であろう。その理由は前節の図-3.1にみるように、出現状態記述 S の1つの元の乖離によるフィードバック（逆写像ではない）で構造物諸元 m_j を改変した場合、出現状態の複数の出現状態記述元 s_i が変化する。もちろん各元相互の重要度の違いと、構造物諸元の改変の対象となる諸元によって、あるいは、改変のしかた（断面か材質か、断面の高さか幅かなど）によって、その出現状態の変化量の鋭敏性に違いがあるために、フィードバックによって、一率に構造物諸元の改変が行なわれるわけではない。つまり設計者は、重要度が高いと認知する出現状態への鋭敏性の高いと認知する構造物諸元を動かして効率的な設計を行なうべきは論を待たない。

土木設計を土木計画論の一環としてとらえると、設計成果の評価は当然のこととして計画に委ねられるか、または計画を意識しながら部分的に行なうかであろう。その場合、総合評価の値は元 s_{0i} と s_i の差または比をパラメータとして、元それぞれの全体からみた重要度係数および元それぞれが影響を受ける環境条件（社会的環境が主体）による係数との積の総和の形（式-3.10）で示めされよう。そして計画の評価が、そうであるように、結果的には、その成果の最終評価は、その手段で欲求が達成できるか、否かといったようなyes, noの二者択一の形で行なわれよう。したがって、総合評価の値はできれば1つのディメンションで表現することが望ましい。そこで第5部、第3章の例では、環境に関するものもその対策費といった形にして、金額で表示した。

以上の論議をより簡潔にするために、次に集合論的な取り扱いで表明することを試みる。

ある設計条件に対応して（写像 F を介して）出現状態が定まる。この S と設計条件 S_0 の差または比によって設計諸元の妥当性を検討する。その妥当性を示す関数を F_V とすると

$$F_V = F_V(s_1, \dots, s_i, \dots, s_n, \dots, s_{01}, \dots, s_{0n}) \dots (3.6)$$

と表わすことができる。

もし、 F_V が設計条件と出現状態の差から定まるとすれば、

$$F_V = F_V[(s_{01}-s_1), \dots, (s_{0i}-s_i), \dots, (s_{0n}-s_n)] \dots (3.7)$$

と書くことができる。 $s_{0i}-s_i=t_i$ とすると、

(3.7)式は次のようになる。

$$F_V = F_V(t_1, \dots, t_i, \dots, t_n) \dots (3.8)$$

これをある状態 $(\bar{t}_1, \dots, \bar{t}_i, \dots, \bar{t}_n)$ でTaylor展開すると、次のようになる。

$$F_{v1} \doteq F_{v1}(t_1, \dots, t_i, \dots, t_n) + \underbrace{\sum_{i=1}^n F_{v1}' t_i(\bar{t}_i)}_{\text{Const.}} (t_i - \bar{t}_i) \quad \text{Const.}$$

ただし、 $F_{v1}' t_i$ は F_{v1} を t_i で微分することを示す。

$$\left. \begin{aligned} F_{v1}(\bar{t}_1, \dots, \bar{t}_i, \dots, \bar{t}_n) &= A \\ F_{v1}'(\bar{t}_i) &= a_i \end{aligned} \right\} \quad \text{とおくと,}$$

$$F_v \doteq A + \sum_{i=1}^n a_i t_i = A + \sum_{i=1}^n a_i (s_{oi} - s_i) \dots \dots \dots (3.9)$$

なる目的関数 F_v と設計条件 s_{oi} と出現状態 s_i の差 ($s_{oi} - s_i$) 間の線形関係式を得る。

しかし、(3.9) 式は次の条件のもとでのみ成立することに注意する必要がある。

$$\left| s_{oi} - s_o \right| \ll 1 \quad \dots \dots \dots (3.10)$$

(3.6) 式をもとにして論理的に (3.9) 式を導いた。しかし、(3.6) 式の F_v は環境条件によつて変化する。したがつて、(3.6) 式の係数 (定数) A, a_i は環境条件によつて変化するものもあることは明らかであるが、大部分は、期待状態記述空間の各記述元の重み (Weight) であることを示している。

参 考 文 献

- 1) 野口 宏：トポロジー —基礎と方法— 日本評論社，1971
- 2) 岩松，藤田，工藤：PCげたの施工実態調査とその解析，土木研究所資料第1008号，
1975
- 3) 中村，岩松，工藤：PC単純Tげた橋の自動設計方式に関する研究，土木研究所報告
139号の3，1970
- 4) 永井，岩松：道路構造物の標準設計および自動設計システム，道路，1971.7.
- 5) 岩松幸雄：設計あれこれ —現行設計法についての自省，橋梁と基礎，Vol. 9, No. 7,
1975
- 6) 岩松，藤田，工藤：ポストテンション方式PC単純Tげた橋の設計の直接化に関する研究，
土木研究，所資料第1007号，
- 7) 岩松幸雄：土木計画論：土木研究所資料第971号，1975
- 8) 永井，岩松，吉川，五十嵐：土木計画学シリーズⅡ，土木計画学の領域と構成，土木学会編，
1976

第4部 現行設計の実態についての一考察

昭和45年度、建設省の委託に基づいて日本道路協会に設けられた道路橋技術基準調査特別委員会が作成した道路橋技術基準(案)の1-4, 設計供用年数の項に「橋の設計供用年数は50年を目標とする。ただし交換、補修が容易な部材、構造の一部についてはこの限りでない」とあるように、土木構造物のほとんどは世代・体制を越えて機能すべく設計すべきものである。したがって、その期間の経済社会活動の予測を行ない、利得の増大や損失の防止に関することを設計条件とすべきであるが、現実にはあらゆる事項に加えて必要な代表事項をとりあげて設計条件の設定を行ない、特定の対応モデルを介してキー・ポイントとなる施設諸元を規定し、他の諸元についてはなんらかの傍系的手法を用いてこれを補完する方策がとられているのが実情である。

ここでは、これらの実態的意義とともに、設計条件記述と構造物諸元記述との対応関係を規制する主軸的規範である示方書、基準類についても考察する。また現行の各種設計法、つまり一連の設計行為のなかの一作業モジュールとしての単位設計と、それに対位する形の単位設計を素材群として、目的に最適なものを選定する比較設計について、そして自動設計と標準設計についても考察する。

第1章 現行設計行為の実態的意義

現実の土木設計のほとんどは、物理的法則性（主として力学モデル）を主軸としてその作業が組み立てられているので、ここではそのような設計法、すなわち力学的设计法について考察する。

いうまでもなく、力学モデルは物理的因果関係を示す現象モデルであつて、その記述するものは特定環境下における2種の力学的状态記述の対応関係であるので、土木計画における意図と手段との対応を規定する土木設計に関しても、この力学モデルによってその対応を論ずる限り、そこで取り扱える意図および手段は、ともに力学的状态あるいはこれに関連する諸元で記述されたものに限られることになる。すなわち力学的设计法では、その主軸モデルによって本来の意図の全体を把握・処理できるわけではなく、その力学の側面に限られ、同様に手段もその全記述ではなく、その力学の形状構造諸元が取り扱えるだけである。このことから、主軸モデルとは別に力学の以外の多くの諸元を、意図の非力学の側面を勘案しながらなんらかの方法によつて補完設定して、全体の形状構造諸元を完成する必要がある、このために各種の伝統的设计法・示方書等を用いる必要が生ずることになる。すなわち、現実の力学的设计法においては、主軸となる力学モデルを介して求まる諸元だけでは手段（となる施設等の）諸元の全体は定まらず、別に多くの必要な諸元を他の観点から定めて補完することが要請されるわけである。したがって、たとえ力学モデルが完全なものであったとしても、さらに意図の力学の以外の側面（社会・経済・環境・美観といった側面）についての、なんらかの多分に便宜的な傍系的方法（たとえば経験の集積である設計基準・示方書類）を利用して具体的な補完作業が行なわれ、これによつてはじめて全体の諸元が定まり、設計が完了することになる。

現実の力学的设计法が土木計画論に果たす役割や意義に関して、とくに今後の土木設計論の拡充に關係の深い問題点としてつぎのような事項があげられよう。

＜力学モデルの演算は、実態としてなにをどこまで保証するか＞

まず、力学モデルを理論的に厳密化することができるので、厳密なモデルを用い精度の高い演算を行なうことによつて、理論的にはきわめて厳密に施設諸元を指定することができる（理論的厳密性は保証できる）が、このことによつてただちにそのモデルの記述する力学的状态が、現実には生ずる力学的状态と厳密に一致することが保証されるわけではないといわざるをえない。

すなわち、厳密な力学モデルの保証する力学的状态の厳密性は、抽象化したモデル設定のための仮説・条件のすべては整っていることを前提として成立しているものであつて、現実にはこれらの仮説・条件のすべてが実現しているという保証があるわけではない。したがって、そのモデルが記述する力学的状态が実現しているという保証は与えられていない。

たとえば、橋梁を非合成単純梁やピン結合のトラスなどの力学の構造系としてモデル化した場合、それらのモデルについて厳密な演算を行なうことによつて、与えられた形状諸元、荷重状態、環境条件等のもとにおける各部材の応力状態、およびこれに許容応力等を与えて得られる施設の構造形状諸

元などをきわめて厳密に求めることができるが、①現実の橋梁が果たして純粋な非合成単純梁やピン結合のトラスであるかどうか、②荷重状態が与えたとおりであるか、③各部材の性状（質・量ともに）がモデルに用いたものと一致しているかどうか、などに関する保証の精度が一般的にいってきわめて悪いことから、通常はモデルによる厳密な演算精度にもかかわらず、現実の橋梁の各部材応力等がモデルによる記述と一致する保証はおろか、モデルによる記述をもとに橋梁各部の実応力について論述することにさえ不安が残るのが実態であるといえよう。いうまでもなく、現実の橋梁が純粋なピン結合のトラスであったり、非合成単純梁であったりする可能性はまずありえないし、構造・部材の形状・寸法・材質が厳密に指定どおりの出来形である確率も皆無に近い。さらに与えられた厳密な荷重条件と実際に荷重される外力の実態との格差、許容応力の設定に用いる統計的操作や判断基準の信頼性等々を考えあわせると、現行の土木設計に用いる力学モデルとその演算の意義は、現にその施設に生じている力学的状態を記述する能力にも疑問があり、その施設の破壊状態ないしはそれに至る過程の力学的状態の記述としての資格も十分ではないので、施設の強度的余裕・安全率等を正確に記述し厳密な保証を与える役割も完全に果たせるわけではなく、かろうじて通常の場合壊れずに存在しうるような施設諸元について応分の余裕を含めたいうでの見当を与えるという程度のものになってしまおう。

したがって、このような力学的設計法では、その主軸である力学モデルの演算の実態的意義は、まず普通では壊れずに存在しうるような力学的構造物としての施設諸元の概略値（厳密な理論モデルによる所要諸元の解であるにしても）を与えるだけのものであって、別に他の多くのむしろその力学モデルにとり込まれていない観点・手法などからする諸元指定の助けを借りる補完作業が加わらなければ（実際の諸元指定の多くを他に求め、そして多分に流儀的な特定の設計法・示方書等の助けを借りなければ）、施設の全体の諸元を具体的に指定する設計作業を完了できないものといえよう。

＜力学モデルの演算の結果より、実質的に重要なものがありはしないか＞

さらに重要な問題は、土木設計を含めて土木計画論の主要な課題は、欲求充足のためにもっとも価値の高い手段を指定することであって、計画意図には本来的に施設の設置等による利害・損得にかかわるもの（たとえば経済性、利便性、景観性、環境保全性、特々）が含まれていることから、当然手段についてもこれらの機能・効果に関係する施設諸元が重要なものとして取り扱われるべきである。したがって、設置した施設の物理的存在性（力学的安全性、しいて対応づければ機能発揮の確実性に連なる）は、たとえそれが施設による機能効果の発揮の前提として重要なものではあるにしても、発揮すべき機能・効果の質・量に関するものの重要性にとって替わるものではありえないといえる。

一般に橋梁や堤防などの主要な日常的土木施設は、ややもすると安全に存在することが自体によって目的が果たされているかのように思われがちである。もちろん安全に存在しうることが第一の前提条件ではあるが、それらの目的・設置意図は、あくまでも生活に関する利得の増大や損失の防止であって、施設の存在自体でないことは明らかである。したがって、当然その設計条件（期待状態）は、施設設置による機能・効果の質・量、確実性等にかかわるすべて（たとえば有効性、確実性、経済性、

利便性、環境適合（景観・自然保護）性など）を含めたものでなければならない。

これらの施設は、これらを利用するあるいはそれと利害の関連をもつ人びとのためのものであり、第一義的には橋梁は交通を円滑に促し、堤防は水害を防ぐものであって、それらがどのような力学モデルを想定して論ずればどのような力学的状態にあるといえるかといったことは、それらを利用する人びとにとってはまず関心のないことである。しかもそれらの力学モデルによる厳密な演算の成果が、その施設の物理的な存在性を見当づけにとどまって、その人びとの最大の関心事に対してなにも確実な保証を与えないとすれば、個々の施設を抽象化した力学モデルによって厳密に演算することを主軸とした力学的設計法は、計画論上の本来的意義から乖離した不効率なものになってしまう。いたずらにより厳密な力学モデルを開発使用することは、学術的興味は別として、現実には職能的技術集団内での見掛けの優劣論議に終わるおそれがあり、それがそのまま計画論上優れた施設を設計することにはつながらないことを銘記すべきである。

ここで問題としたいのは、土木設計の本来的使命が意図と手段の適合を図り目的にかなった（機能をもつ）施設の諸元を求めることにあるとすれば、いわゆる力学モデルを主軸とする現在の力学的設計法は、施設の物理的存在性の裏づけや、用いる力学的状態記述の解明に偏りすぎていて、その本来の使命にかかるべきものの多くを、必ずしも合理的とはいえないものを含む慣例や流儀、あるいは経験的な各種の基準や示方書類に委ねすぎているのではないか、という懸念が指摘されることである。

いうまでもなく、施設の物理的存在性（力学的安全性）を確かめることは第一義的に重要である。しかし、ごく特殊なもので時代の先端技術を駆使すべき施設を除いて、一般的で類例の多い日常的施設の多くのものについては、その物理的存在可能性を確かめる（壊れないことの見当をつける）ことは類例に照らすだけでも比較的容易に行なわれるように思われる。したがって、今さら一橋ごとに抽象的モデルによる厳密な演算はいらないように思われるし、現今では物理的存在可能性よりも社会的な実現可能性などのほうがより重大な意義をもっているようにも考えられよう。河川堤防は河川の特質と防護地の重要性、および投入可能な工事費などからほぼその施設諸元が定められるし、橋梁は（応力状態によってではなく）道路の一部として線形、幅員、路面、デザインなどによって快適な交通を利用者にサービスすべき施設である。これらのことは、土木計画論に占める土木設計の使命を考えると、その設計条件が決してその施設の物理的な強さに関するものではなく、当然壊れないことを前提とはするが、さらにその他の側面、すなわち壊れない施設の発揮すべき機能・効果におかれるべきことを意味しており、実際に設置された施設に対しては、その諸元指定の手続き（設計法）のいかんを問わず、現に発揮する機能・効果について評価を受けるものであることを示している。

第2章 対応規制の主軸としての示方書、基準類

ここで橋梁設計の場合を例に考察すると、その概要は図-4.1のような模式図で把握できよう。この図において、特定の諸元をもつ一つの具体的橋梁（下端に示す）の設置を想定し手段空間の記述を確定すると、その橋梁の建設と存在に随伴する多くの属性が一義的に定められよう（下から2層目に示す）。これらの属性の列記による記述は、その橋梁の出現、存在そのものを言い換えたものといえるが、特定の橋梁の出現、存在を完全に記述するためにはほとんど無数の属性記述を行なう必要があり、これらを代表的な有限個の有効な記述元に置き換えるためには、識別、分類、物性、法則性等にかかわる我われの知識・経験のもっとも基盤的部分がすでに投入されている必要がある。我われは通常、橋梁の設置をこれらの属性の出現、存在として捉えるのであって、ここでは橋の物理的存在（力学的安全性）自体に関するもの、橋の機能に関するもの、橋の建造に関するもの、に大別される属性を例示したが、現実にはさらに多様な細分化された属性記述がとりあげられよう。

ついで、我われはこれらの属性をもつ橋梁が建設された場合に、どのような現象・状態が生じするかを想定するために特定の現象モデルを構成する。この現象モデルの構成には、我われの物理学、経済学等の知識が動員され、環境状況の想定には自然環境、社会環境に対する知識・経験が投入される。このような操作によって具体的な橋梁の設置から置き換えられた多数の属性記述は、これらの現象モデルと作用環境（下から3層）とを介して橋梁の出現、存在がもたらす特定の状態の記述（下から4層）を決定することになる。言い換えれば、我われはその知識経験を通じて、特定の諸元を有する具体的な橋梁の出現、存在がその橋梁に固有な特定の状態を出現させることを知っているものであり、少なくとも我われの生活に関係する状態の出現を通じて橋梁の設置をみているといえる。

（注）上記関係において計画・設計活動を離れても、自然・社会環境における必然的現象として特定の橋梁設置が特定の状態を出現させる事実を肯定することができるが、この肯定すべき事実と、属性把握、モデル設定、環境想定等による計画論上の構成が導くものとの適合性に関する論議は、計画論システムに投入された知識・経験の内容、実質に関する事項として把握すべきことである。

このような観点から、橋梁設計成果に対する我われの論議（たとえばその必要性の有無、適否、優劣の検討、その橋梁に課すべき要件の設定等のすべて）は上記の状態記述（第4層の水準）で行なわれるべきものであり、この第4層記述と設計条件記述空間でもある第5層記述空間との一義的適合検証が設計の最終段階に位置し、また設計作業と計画策定作業との内部的結接点でもあることから、この状態記述空間が計画論で重視される理由が理解されよう。

以上のことから、設置すべき具体的橋梁の諸元は、我われの欲する状態を実現させるための手段として、これらの期待する状態記述（設計条件）との一義的対応が得られるまで、諸元の微修正により決定されるものであり、十分に論議された設計条件となる状態記述と、研究され確定されている公知公認の射影技術（設計法）との存在が不可欠であるはずのものとなろう。

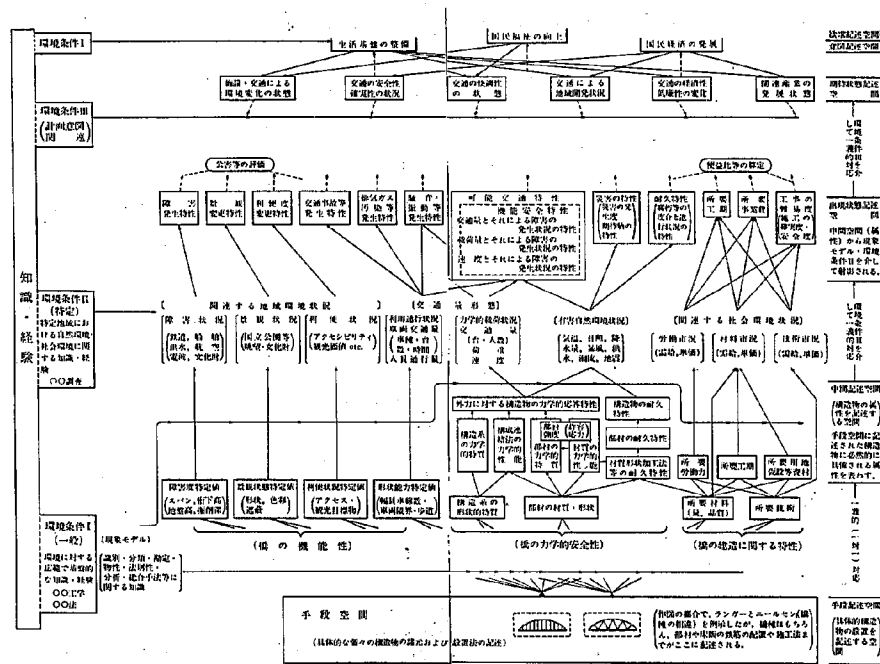


図 4.1 土木計画論における設計の位置づけ (道録橋設計例)

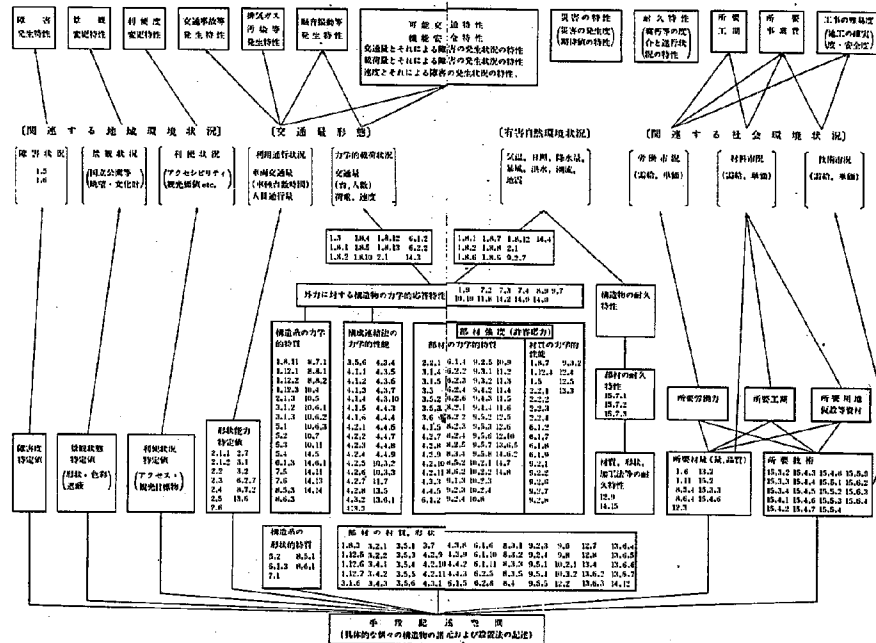


図 4.2 道路橋設計作業において「道路橋設計示方書」の各条項が言及する領域

橋梁の場合、その具体的設置を完全に記述するのに必要な諸元の数は無数にあって、これらを確定するためには同様に無数の状態記述（設計条件）とそれらから諸元を設定する射影手法とが必要であり、これらがともに完備されない状況下では、具体的橋梁諸元の決定は不可能なはずであるといえよう。

しかしながら、現実には橋梁設計者が橋梁諸元を求めることは可能である。しかも橋梁の幅員、等級等の規格の配慮、若干の地理的な環境の設定、および橋種、概略形状等の多分に任意的な設定などを基盤として、以後、自動的ともいえる演算操作と常識的ともいえる担当者の判定とからなる過程によって、とにかく特定の構造諸元を有する具体的橋梁を結論づけることができることは、後に単位設計（図-4.3）に関して述べるとおりである。その可能性を支えている原動力は、制定されている各種の示方書・基準類であり、方向づけるものは具体的橋梁構造諸元とそれがもたらした状態との対応関係について設計者のもっている知識・経験であるといえよう。

橋梁設計における代表的示方書である「道路橋示方書」（日本道路協会：昭和48.2）を例にとり、その各条項の記述事項を図-4.1に位置づけてみると図-4.2のようになる。

この位置づけは厳密なものではなく問題の多いものではあろうが、そのほとんどが橋梁の力学的属性に対する制限・規制、それらの属性による力学モデルの構成・取扱いに関する規定、およびモデルに作用すべき力学的環境の指示・設定に集中しているといえよう。

このことは、この示方書を用いる橋梁設計では、橋梁を限定された力学的属性について把握し、設定された力学的環境下における物理的存在として論議してもよいものとみていることを示している。したがって、このような力学的存在性の可否の確認を軸とした設計法によって得られる結論が、果たして橋梁として十分なものであるか否か、またその橋梁の設置によって出現する状態が満足すべきものであると考えてよいか否かについては大きな問題の残るところである。

言い換えれば、このような示方書は、それによって結論づけられた具体的橋梁が、示方書におけるその種の記述の有無にかかわらず、その設置によって生ずべき状態のすべてについて、それが満足すべき状態となるはずであることを必ずしも保証しておらず、その適用にあたってはその点に関する配慮が必要であることを意味している。

一方、示方書においては なによりもまず、その示方書による構造諸元決定の妥当性の確証が得られている必要があり、要求されている状態の記述から結論づけられるもののすべてに代えて、その示方書の指示する方法によって求められるものを採ることの妥当性の確認、すなわち、設計法に取り込まれないで省かれた状態記述に対するあらゆる配慮がなんらかの方法によって裏打ちされていることが要請されるといえよう。

現在の「道路橋示方書」が、この要請を完全に満たしているとするには問題があろうが、実態としては、この点に関するかなりの配慮が各条項の背後に組み込まれている。たとえば部材の形状、材質等の指示条項は、その橋梁に課される役割や時の鋼材生産需給市況に基づいてなされる経済性、

等に関する状態記述の想定との適合に対する配慮を前提とするもので、応力状態記述等の力学的な論理性の拡充、追求だけからでは決して導けない条項である。

一般に、設計示方書の各条項は、設計法の主軸となっている理論モデルについてその論理性を拡充、発展させて結論の誘導を容易にするために準備されたものと思われがちであり、事実その種の記述を含むこともある。しかし、その本質はむしろ主軸理論モデルによる結論誘導に対して、意図を反映すべき重要な条件でありながら主軸モデルの記述対象外におかれた出現状態記述を配慮して制限、規制を加える、という役割を果たしていることにある（図-2.18参照）。橋梁の示方書条項でも、それが発動される必要性は、主軸モデルに記述される力学的状態以外の条件記述への配慮を設計結果に導入することによって、その形式も力学モデルを軸とする設計法を規制して、それらの条件記述を満たす結論（構造諸元等）が得られよう、とくに工夫されているものであるといえる。

いずれにしても、条件とする状態記述から、忠実にそれらをもたらし構造物を求める射影の完全な実施がほとんど不可能な実情を考えれば、たとえこれらの示方書になお問題があるにしても、示方書等に支えられた特定の設計法に関する記述はきわめて重要かつ不可欠のものであって、その実質的効用の大きさははかり知れないものがあり、その改善、整備に努力を傾注すべきであるといえよう。

第3章 現行の各種設計法に関する考察

土木設計が設定された条件を入力とし、設計法によって結果を出力する行為だとしても、その過程において、一作業モジュールとして位置づけできる部分、あるいはルーチン・ワークとしてその作業を標準化ないしは自動化し易い部分と、そのルーチン・ワークの出力を素材群として目的に最適な手段を選定する行為とに分けられよう。ここでは、前者を設計行為のモジュールという意味から単位設計と呼び、後者を比較設計として現行設計を下敷に記述を試みる。

また、電子計算機の普及はその大型化、処理の高速化とも相まって、構造物設計の殆んどが電子計算機による自動設計となっている。そこで本章の後段では、設計業務の省力化のために行なわれている自動設計および建設省制定土木構造物標準設計とについてその効果や限界等について考察する。

3・1 単位設計と比較設計

3・1・1 単位設計

現実の設計は、構造物等の種別ごとに固有の工夫を伴った形式に基づいて行なわれており、その過程・内容について一般的に論ずることは困難である。しかし、その実質は①計画論にいう期待状態と環境実態の一部とを設計条件の設定のための主要入力とし、②知識・経験の集積たる個別の設計法ないしは仕様書等を対応モデルと演算方式を指定するための入力とし、③成果となる設計図書の作成のための補充知識を仕様書および経験等に仰ぐ一つのシステムとして考えることが可能である。このうち、①の入力条件が単純に設計作業が行なえるような特定のものに限定され、②、③の方法も明確に指定されたうえで、演算等の作業によって設計図書が完成するまでのひとまとまりの作業過程を<単位設計>と名づけると、これは一連の設計行為のなかの一作業モジュールと位置づけることができる。図-4.3は、この単位設計の計画論における位置づけと、そ

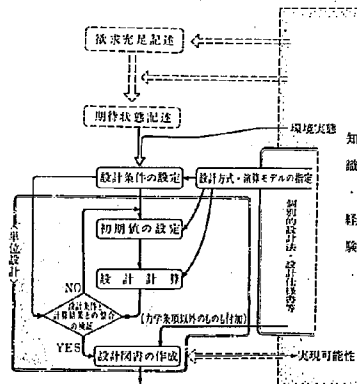


図-4.3 単位設計

の骨格的フローを示すものであるが、その具体的内容は様ざまであり、とくに土木設計の場合、公共的構築物として社会的合意の獲得、科学的合理性、経済性、設計作業能力等に関する制約を伴い、これらに関して多くの問題が提起されるといえる。

3・1・2 比較設計

単位設計が前記3種の入力を前提として、設計図書を出力する作業過程だとしても、一般には1回の単位設計によって計画または設計の成果たる具体的構造物を指定することは、現行の土木設計法の実態からいって困難であろう。その理由は、一般に設計条件として入力されるものには期待状態記述のうちの一部の元しか含まれておらず、それに基づき単位設計を介して得られる手段が、果たして期待状態記述の他の元に関する事項を満足しているか否か、についての保証が必ずしも得られないからである。これは単位設計を構成する設計法がもつ一つの欠陥ではあるが、設計条件を拡大すると設計作業量が膨大となり、現実問題として設計行為が不可能となることから致し方ないことであろう。したがってこの欠陥を補うために<比較設計>が実施されることになる。これは、複数の設計条件から単位設計を介して複数の手段諸元を求めたうえで、これに基づく出現状態を推算し、期待状態にもっとも適合のよい手段を選定する一連行為である。

このように比較設計が意図記述空間ひいては期待状態記述空間と手段記述空間との対応の一義性を求めるために複数の単位設計をパーツとしたトータルな極値を求める。つまり期待状態にもっとも適合度の高い手段を選ぶ一連の行為だとしても、その極値を求める方法には担当者の流儀や特質によりつぎのようなものが考えられよう。

- ① 熟達した設計者が行なうような場合で、期待状態に適合する構造物を相当な精度で想定し、その想定を検証のために単位設計を行ない、しかる後にトータルとしての極値を求める。この場合、構造物は適確に想定されているので収束は早い。しかし、構造物の想定を個人的な知識・経験や勘に頼らないためには相応の技術の標準化が必要であろう。
- ② 期待状態と1期前の単位設計による出現状態との乖離を縮めようような設計条件を再設定して単位設計を行ない、また、その出現状態と期待状態との乖離を次期の設計条件に組み入れて、だんだん極値に近づける方法である。この方法では、それまで条件になかった記述元の取り込みも可能であり、設計に対する安定性、信頼性の向上に資する効果は大きい。しかし、初期条件の設定次第では収束は必ずしもよくない。
- ③ 条件空間の各記述元ごとの価値コンターの極値は知っていて、各記述元の間の相関がわからないような場合に、条件空間の記述元の価値コンターの位置をそれぞれ変化させながら、組合せによる設計条件を設定し単位設計を行なって複数の解を求め、しかる後にトータルとしての極値を求める方法である。この方法は理論的には想定しても、手段実施による出現状態を期待状態からくる設計条件で完全に記述できない以上、あるいは派生現象の取り扱いの問題もあって、現実には困難

であろう。

3・2 自動設計と標準設計

どのような対応モデルを用いるにしても、完成された特定の対応モデルと整備された基準類等からなる特定の設計法による限り、所要の設計条件が与えられてから構造物の具体的諸元の指定を完了するまでの設計過程には、当事者の判断が必要となる局面はきわめて少ないといえる。とくに、類例が多く定形化された構造物について、吟味された対応モデルと経験が積みあげられた周到な基準類が完備されている場合の設計では、与えられた設計条件に対して対応モデルによって所要の精度の演算を行ない、必要な基準条項を調べてその指示に従えば、ほとんど単純作業の連続として構造物諸元の検証が完了できることも多い。このような設計作業に関する限り、その対応モデルと基準類を内容とするプログラムを用い、設計条件を入力、構造物諸元の指定を出力として、その全体を電算機に処理させることも可能であろう。

すなわち、対応モデルと基準類からなる設計法では、この両者を完成した形に特定化することによって、設計条件と構造物諸元の対応関係が完全に特定化されることになる。類例が多く、設計頻度の高い構造物の設計に関しては、この性質を利用してあらかじめ対応モデルと基準類の整備・特定化などの準備をしておく、繁雑な作業の反覆を避けて、比較的容易にかつすみやかに設計を完了することができるようになる。

この準備には、基準化、自動化、標準化の3段階が考えられ、それぞれ下記のようなものとなる。

① 設計の基準化

対応モデルおよび基準類を完成した形で特定化して、設計条件と構造物諸元との対応関係を設定する段階、つまり設計アルゴリズムを特定化して固定する段階であり、一般には文、数値、式、図表等で表わしている。この段階ではモデルの理論的・実務的な優劣の検討、示方書等の完全な整備等が行なわれ、基準化が完了すると設計は定形的な作業の連鎖として展開され、設計当事者の個人差による成果の優劣はほとんど解消する。

② 設計の自動化

基準化によって定形的作業の連鎖に展開できるようになった過程を具体的プログラムにして電算機にセット（または図表・マニュアルとして完成）する段階である。この段階ではプログラムの効率・精度上の安定性が検討され、自動化の完了した後は、設計条件を入力すると自動的（ないしは半自動的）に構造物諸元あるいは設計図等が出力される。とくに電算機によって全自動的に処理される設計行為を自動設計とよんでいる。

③ 設計の標準化

特定の設計法（対応モデル・示方書類）による類似の設計条件の設計作業が反覆して多数必要

となることが予想される場合、多数の設計条件に効率よく対処するために、あらかじめ標準的な設計条件に対する構造物諸元を求めておき、その標準の配置を適切に定めることによって、標準の近傍の一定範囲にある設計条件のものに対して、実用上その代表として考えられる標準の構造物諸元をとることができるように準備する段階である。この段階では、標準点の配置・密度、およびその定め方、たとえば設計条件について必要な領域を代表する標準点をとるか、構造物諸元について標準点をとるか、あるいはそれぞれに相互に対応する領域を求め、それぞれの代表点を対応点とみなして標準とするか、などの選定について実用上の効率・精度の観点から検討する必要がある。標準化が完了した段階では、設計条件が与えられれば、その条件を含む領域における標準点の構造物諸元をとることによって、対応モデルによる演算等を省いて実用上必要な精度で、その対応モデルを用いた設計法による設計結果を得ることができる。

この段階まで準備の進んだ設計は、設計条件を索引とする構造物諸元の集積として整備され、条件索引つき構造物諸元集（設計図・表集）として提示されたり、あるいは設計条件による検索プログラムを伴って（モデル演算プログラムをもたないで）電算機の記憶装置に収納されたデータの形をとることになる。実例としては、建設省制定土木構造物標準設計などがある。

本節では設計行為の合理化、省力化のために現在行なわれている自動設計とともに標準設計についても建設省制定土木構造物の制定業務の十数年の蓄積を基に考察を行なう。

3・2・1 自動設計

(1) 土木設計と電子計算

コンピュータが土木設計に導入されることになった動機は、その高速処理能力の故であった。そして従来、手のつけようもなかった大量な計算や資料を処理することにより、未知の知識体系を探ることも可能となったのである。しかし、コンピュータの役割はそれ自身の能力による役割に留まらず、電子計算するために要求される論理性が、我われ人間の考え方にも影響を与え得るというところにある。一般に電子計算するためには構造計算の例にも見られるように、決まりきった手順(algorithm)が要求される。したがって電子計算しようとする対象を何らかの形で、システムとして捉えなければならなくなる。そして、その対象をあるシステムとしてモデル化することにより、パラメータを変化させ、シュミレートできるところに電子計算のうまみがある。この場合、人間と機械との共同作業、つまりマン・マシンシステム(Man-Machine System)による作業になり、人間がモデルを作り、コンピュータを使ってシュミレートさせてみるわけである。ここで問題になってくるのは、いかにモデルが実物をシュミレートし得るかということであり、そこにモデル構造の決定に際して選択の基準、つまり人間にその評価基準が求められるわけである。

つまり、電子計算するためには何らかのモデルを与えなければならない。そして、モデルを与

えるために何らかの評価基準を持たなければならない。こうして人間が設定しなければならないものを機械が追い詰めてくることになるのである。したがって電子計算する場合に要求される論理性が、従来我われ人間が見逃していた設計過程における評価要素の明確化を要求することになる。このことは将来、我われ人間の経験的な思考過程さえも改革する要因となり得るかも知れないのである。そして、ここに電子計算の今後の役割が存在するといってもよい。

また、自動図化を含む設計業務全般にコンピュータが利用されるようになったのは、以上のような電子計算の役割のためばかりでなく、しかるべき社会的要請があったからであることも論を待たない。つまり、新経済社会発展計画等の政府機関出版物の統計資料にみる建設投資の伸び率を低めに見積もっても、年間投資額が100兆円を越えるのは10数年以内といわれ、それを支える技術者の不足のおそれも喧伝されているところである。

加えて、建設事業執行全般にわたって関係住民のニーズの多様化、環境問題などによるテクノロジーアセスメントの傾向は、発想の転換が求められており、設計部門においても設計業務の省力化のみならず、設計内容についても単に縦割的な掘り下げでなく、より広い総合システムの中で設計をとらえる要請があること等から、ルーチン・ワーク的な部分を代替し得る手段が望まれていた。

コンピュータは設計のツールとしても確かに有能であり、それだけに多くの設計者がその恩恵を受けられるような方策が望まれよう。ところが、設計が膨大な力学モデルによる計算の積み上げで組み立てられているものを正統とすれば、たとえ自動設計システムが完成しても大型のコンピュータを使える人のみがその恩恵を受けられることになる。そこで、大型コンピュータによる設計計算方式結果を処理することによって工学的にも有用で力学モデルを介しない設計計算式(第4部第2章)を提供すれば、中・小型のコンピュータによる自動設計も可能であり、またそのことで利用者の一層の拡大も図ることができよう。

もともと、構造物は設計のためにあるわけでもなく、力学モデルによる設計計算のみをいかに緻密に行なっても、それだけで最適設計になり得るものでない。例えば、橋梁の設計において、荷重項が大まかな仮定で決められていたり、力学モデルを構成する構造系の実物とのリニアリティの問題の扱いが粗雑であったり、また低抗項の中でも材料の品質、寸法の誤差が設計フィードバックされなかったりなどの場合は、いかに電子計算によっても、その抵抗項の応力計算のみ詳しく求めてみても、それは意味をなさないものとなろう。つまり、力学モデル自身、そしてそのアウトプットによる施工(質・量とも)などのそれぞれの実態と同じレベルで設計計算の厳密さも論じられるべきであらう。

次に電子計算するための前提であるプログラム開発のシステム化とその成果物の管理体制の整備問題がある。土木設計はその対象が公共施設であるために公知、公認の手法、または手順によることが要求される。しかし、公知、公認のものである設計示方書や指針は必ずしもそのアルゴ

リズムを規定していない。また、するものでもなかろう。となると、有用なプログラムを開発するためには前述の設計モデルの評価基準や設計のアルゴリズムを決めるために、相当の日時と有能なマンパワーを要することになり、現状のように各組織で勝手に開発することは国家的損失であり、システムティックな開発が望まれるところである。また、そのようにして開発された成果物は、なるべく多くの人に使わせるような管理体制が必要であろう。

(2) 土木構造物の自動設計

現在では土木構造物の設計は、対象の大・小、あるいはその適用範囲を問わなければ、そのほとんどが電子計算機を利用している。したがって、自動設計を抜いて土木設計は考えられないほどに一般化しているといっても過言ではない。

そこで、ここでは筆者の過去10年以上にわたる土木構造物の自動設計に関する研究を基に、その一般的事項について記述を試みる。もとより各種構造物にはその構造物の個別設計法があるように、それを自動化しても同様な問題点とその対策があり、それぞれの整理も行なったが、ここではあえて自動設計というよりグローバルな観点から次の10項目について考察を行なった。

① 土木設計の対象である構造物は一般に公共物であること。

したがって、公知・公認の設計アルゴリズムが要求されるが、建設省として制定するものは各個別構造物の自動設計プログラム開発ごとに各界の設計・施工の知識経験者による委員会制度によってqualifyを行なった。

② システムの適用範囲の明示

いかなるシステムもその適用には限界がある。したがって後述の利用や次の汎用性のためにも自動設計プログラムの開発時に適用範囲を設定し、十分なデバッキングを行なう必要がある。

③ 汎用性の大型化

任意多角形の求積プログラムがあれば円の面積でも工学的精度上は問題のないアウトプットが得られる。しかし、インプットデータの数、演算時間等の関係から一般には汎用求積プログラムで円の面積を求めることは問題があるように、プログラムの汎用化については問題が多い。また、土木構造物は多くの場合単一部材で単一方向からの負荷になる場合は少なく、したがって一つの構造物で複数個の設計方式あるいはモデルを駆使して設計する場合が多い。そのため土木研究所では、ブロック構造によるビルディングシステムとするために、設計計算モジュール（荷重分配係数の計算等）と図化モジュール（任意形に任意に斜線をひくプログラム等）を準備した。したがって利用者は、当該構造物に必要なモジュールまたはサブ・システムを呼び出して組み立て計算することになる（図-4.4）。

また、ハードシステムは入出力専用小形電子計算機を中心にコントローラおよび入力インターフェースにより大形電子計算機と磁気テープ、磁気ドラム、磁気ディスク（モジュール等収納）を介して情報の伝達を行ない、XYプロッタ、高速ファクシミリ受信機、ブラウン管デ

ディスプレイ等のアウトプット器機を制御するようになっている。

④ 適用言語と問題向き言語

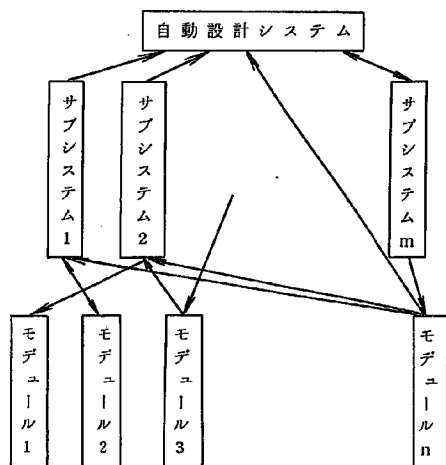
先述のように土木構造物の自動設計プログラムは、表-4.1のように大システムの場合が多く、したがって分担して開発することを考慮して、建設省ではブロック構造のあるALGOLを電子計算用語として定めた。しかし、その後プログラムライブラリの多いことや、JISとして制定されたこと等からFORTRANも利用しており、また計算機の大形化とも相まってPL/1への移行も検討中である。また問題向き言語について今までは利用するだけであったが、今後は開発にも意を用いたい。

⑤ 環境調査データとインプットデータの整合

地象、気象等の当該地先の自然環境調査データや労務、資材等の社会環境調査データと自動設計プログラムのインプットデータとの整合は、その設計システム全体から考えるべきである。それが力学的側面にのみ限ったとしても、土に接する構造物の場合、その調査指標からインプッ

表-4.1 土木研究所が開発した汎用自動設計システム一覧表

構 造 物		プログラムのステップ		入 力	出 力	
		設計プロ	図化プロ		計算書	図 面
ボックスカルバート	一 連	800	3500	約 20 個	4ページ	A1版 1枚
	二 連	2100		"	"	"
擁 壁	重 力 式	400	—	約 10 個	5ページ	—
	逆 T 式	800	2000	"	"	A1版 1枚
	控え壁式	1500	3400	"	"	"
下部工	橋 台	重 力 式	3000	10000	11~30個	8ページ A1版 3枚
		逆 T 式	3700	13300	13~40"	10 " "
		控え壁式	5000	17000	16~40"	14 " "
	橋脚(小判, 円形)		7000	18800	約 50 "	13 " A1版 4枚
上部工	ボステン単純T桁橋		10000	12000	" 30 "	20 " " 2"
	プレート単純T桁橋		2000	5600	"	4 " " 1"
	プレート中空桁橋		2500	11000	"	2 " " 2"
	プレートガーダー橋		38000	61500	約 50 個	50 " " 5"
	鉄筋コンクリート床版橋		1500	14400	" 20 "	15 " " 1"
基礎工	ニューマチックケーソン		10000	25000	60~92"	20 " 10~25"
	オープンケーソン		11500	26900	60~97"	20 " 10~20"
	くい(打込みくい)		1500	4800	約 60 "	5 " 1"
樋 門 ・ 樋 管		2000	12000	" 30 "	10 "	6~8 "



図－4.4 自動設計システム

トデータへの変換モデルの適用には苦勞するところである。したがって建設省ではプログラムの公開時には I/O 審査委員会によってこれらの問題解決に対処しようとしている。また、表－4.1 のケーソン基礎のプログラムのように入力データが 100 個近いものは一般に入力ミスに侵しやすい。

したがって我われは各データの感度分析により内成化を行ないその数をを減らすとともに、モデルの簡略化も同時に行なった。

⑥ 初期値設定

理想的な初期値の設定が行なわれれば、フィードバックの必要もなく設計計算時間の短縮となつて、経済的効果の向上になることは言うまでもない。そこで、筆者は第 5 部第 2 章で記述する回帰式による設計法を初期値設定に適用して効果をあげている。

⑦ 適用基準の変更とメンテナンス

土木構造物は世代、体制を越えて機能すべく設計し、施工し管理すべきであり、そのためには自然的、社会的環境の変化を未来にわたつて洞察する能力が要求される。ところが、我われは現在の環境についてすらその全貌を知ることは至難である。そのために設計の対応規制の規範である示方書、基準類はたとえば、道路標示方書にみるように制定後、毎年を経ずして改定になるばかりか、その中間で道路局長通達等に変更になり、ために自動設計プログラムのメンテナンスにも苦勞するところである。

加えて、開発担当者の転勤等が伴うと、たとえ当該プログラムのドキュメンテーションが完備されていたとしてもその対応は大変である。

⑧ 設計成果の表示

設計の成果は図面に表示するのが一般であるが、その図化作業過程で設計計算で算定し得ない諸元の設定も行なわれる。したがって、設計者は当該構造物の全般についての知識が要求されることになる。筆者等は、自動設計プログラムの開発時には必ず、全国の当該構造物の実態調査を行ない、その成果を踏まえて設計アルゴリズムの設定とともに適用範囲の設定、計算外数値の設定等を行なっている。

また、図化を含む自動設計の場合、その演算時間の大部分は図化のための座標計算が占めることになる。そこで筆者等は第5部第2章で述べるように専門家用として図化のパターン化を提案する。その理由は、我われ土木工学を専攻したものは、工事に際しては図面に書かれた数値を基に行なうはずであり、そのために実物の完全な縮尺図は不要と考えるからである。

他方、素人である地元住民説明用には、構造物の透視図と写真を合成したものを準備すべくその技術化について現在研究中である。

⑨ 自動設計成果の照査システム

膨大な設計計算書を見ただけで、その成果を疑うことの罪悪感を抱くむきもあると聞くが、それでも構造物設計が現在のように複雑で膨大な計算を要求する現行設計法では、そのチェックは大変である。したがって筆者等は第5部第2章で提案する回帰式または同様な手法でつくられるノモグラム等による設計成果の照査システムを提案すべく準備中である。

⑩ プログラム管理と利用体制

自動設計プログラムを開発しても、その利用の汎用化をはからなければ採算性からも、また省力化の面からも無意味である。しかし、その開発に有能なマン・パワーと多額の費用を要するために、その利用態勢は単純ではない。

建設省では表-4.1に示した自動設計プログラムは(財)国土開発技術研究センターに移管して一般の利用に供するとともに、その成果についての事業認可時等の行政審査は、次節の標準設計とともに行なわないとして、各行政機関の利用拡大をはかっている。

3・2・2 標準設計

近代における工業標準化は、1901年にイギリスの土木学会において型钢の標準化に関する討議が行なわれ、イギリスの規格BSを制定するきっかけを作り、このBSが国家的標準化の先鞭をなしたといわれている。当時橋梁や造船の技術者達がその都度自由なサイズを要求したので、長い工期とコスト高を招き、一般世論の指摘を受け、標準化について真剣に考えざるを得なくなった。この国家的標準化組織が発展して国際標準化機構ISOとなり、また各種の団体や社内規格が設けられるよう

になったといえよう。

このように建設技術は標準化発祥の分野であり、主要資材や二次製品については今日ほとんど規格化され、発注者も資材名と該当する規格名のみによって目的が達せられ、随時一定品質の製品を容易に得ることができるようになった。これが規格化されていないと仮定すると設計に際してどの程度の品質のものが製造でき、許容応力をいくらに定めるかを決め、品質、製法、納期などについて契約し、入手までに相当の時間を要するので、労力、時間、工費など多くの不便を感じなければならない。これらの資材は主として工場製品であって、ある定められた方式の下で大量生産が可能であり、規格化も容易であったが土木構造物は直接大地に作られること、そして環境条件が複雑であるために標準化することが困難であるという理由で標準化がうとんぜられ、過去の経験は非常に大切なこととされ、経験者は一般から尊重せられ、そこに到達するには自ら体験しなければならないという徒弟制度的な考えが支配していて標準化に反対していた向きもあり、この面では他の分野から次第に遅れ、取り残されてきた。しかし構造物を作ろうとする以上は、設計技術および設備や施工技術が構造物を築造するのに適合しているという見通しの上に立っており、同種の構造物でも1件ごとに技術が変わるはずはなく、同じような技術が繰り返し適用されている。繰り返しがある以上は標準化が可能であり、多品種少量生産の態勢を少しでも避けるために標準化を進めていくことが必要である。

実は技術の標準化は、規格を満足する製品を最も経済的に生産するための品質管理に役立つばかりでなく、問題点の発見を容易にするのでつぎの技術水準向上のための勘に頼らぬ手がかりを与えてくれるものであり、さらに技術の標準化を行なうことによって従来、単に手順を追えばすむ程度の段階で費していたいわばむだな時間や労力を、手順では表現できないような判断を要する重要な問題の解決や、技術水準向上のための思索や実験あるいは計画や管理の方に振り向けることを可能にしてくれるものである。

標準化とは、標準を設定し活用する組織行為をいう。ここでいう標準とは、物、言語、記号、方法等の人間生活にかかわる総てを対象とするのが普通であり、また意識的に標準を設定する場合は合理的であることが要求され、そのことが多くの人々による標準の活用につながる。

社会のあらゆるものについて標準を考える事はできる。しかし標準化によってもたらされる効果に比して、物事を標準に合わせる行為に要する負担の方が大きい場合には標準化の目的（能率増進、経済性の向上）に反する。趣味・嗜好に属するものについて標準化しても活用されない。一般の標準化の対象となるものは大量生産され、使用頻度の大きいものである。規格の内容についても標準化の目的と効果からみて、規格の対象に関する重要な項目のみにとどめるべきで、枝葉にわたる項目は規定する必要はない。たとえば、部分品の寸法を対象とする規格は、互換性に必要な主要寸法のみを規定すれば十分であろうし、手続きを対象とする規格などは、いたずらに詳細厳重で実行不可能な規定としない注意が必要である。

この見地より建設省においては、昭和30年代の前年から橋梁上部工について、土研橋梁研究室を

中心にその標準化を行なっていたが、現状のように組織的に行なわれるようになったのは、昭和39年度の技術管理組織が発足してからである。

以下建設省制定土木構造物標準設計を中心に、標準設計の概要について考察する。

まず、標準設計の作業の流れとして、利用頻度調査、図書・文献・設計書類の収集分析により、標準設計の予定構造物をリストアップし、土木構造物標準化部会（本省設置、部会長は土研所長）により作業項目の決定を行なう。それに従って、作業班（土研）標準化連絡会により原案を作成、審議する。この原案の審議にあたっては、学識経験者による委員会などにより、設計アルゴリズムの確立などを行ない、標準設計を普遍のおよび最適なものにする。このようにしてできたものが大臣報告、出版という手順により、標準設計図集となる。

次に、標準設計を作成するにあたりその基本方針として、①現場作業の単純化、②入手容易な資材の使用などを考慮し、設計のみならず施工・維持管理の省力化につながる設計となるように努力している。

また、標準設計の作業方法としては次の三通りが考えられる。

- ① 設計条件空間を部分空間に分割し、それぞれの代表値を求め、その代表値に対応する一つずつの施設を選定する方法
 - ② それぞれ設計条件と施設とを対応させ、その結果得られた施設空間から部分空間を形成し、その代表的な施設に射影しうる部分条件空間を設定する方法
 - ③ 先に施設空間の部分空間形成を行い、その部分空間に射影できる設計条件空間を設定する方法
- 現在、われわれが採用しているのは②の方法である。

標準設計はその適用において不特定の建設場所、不特定の施工者および監督者を対象として制定していること、および設計条件の一定範囲を代表する離散表示になっているために、場合によっては材料等が不経済になることもあるが、そのために標準化の意味が薄らぐものではない。

このようにして現在までに制定された建設省制定土木構造物標準設計は側溝、カルバート、よう壁、橋台、橋脚、ポストテンション方式RC単純T桁橋、プレテンション方式PC単純中空床版橋、活荷重合成単純プレートガーダ橋等、全24巻にわたっている。

また、本標準設計はルーズリーフ方式で青焼き可能な用紙に印刷してあり、現場説明、入札、施工等にあたってはその呼称番号の記入のみで、発・受注者間の図面の授受はなくした。その上、多少の条件の変更にも適用可能なように、図集のみでなく数値表（断面諸常数、実応力表等）、解説（適用および変更時の処理方法等）および手引（設計アルゴリズム等）より構成されている。

標準設計の作業は、一度作成すればよいというものではなく、技術の進歩、社会の要求の変化に伴って改訂作業を行なわなければならない。すなわち、改訂作業を中心としたアフターケアこそ省力化につながる本来の標準化作業といえよう。

参 考 文 献

- 1) 中村, 岩松, 工藤 : PC単純T桁橋の自動設計に関する研究, 土木研究所報告,
第139号の3, 1970
- 2) 岩松, 小池 : 自動設計システム, 土木技術資料 Vol.12. No.9. 1970
- 3) 岩松, 工藤 : 自動設計, 自動製図, 橋梁 Vol.6. No.8. 1970
- 4) 岩松, 工藤 : 設計の自動化, 土木施工 Vol.11. No.11. 別冊, 1970
- 5) 永井, 岩松 : 設計の省力化システムについて, 建設機械 Vol.8. No.7. 1972
- 6) 岩 松 : 論壇 "土木設計と電子計算", 橋梁 Vol.8. No.11. 1972
- 7) 岩松, 小池 : 建設省土木研究所における図形処理システム, 橋梁 Vol.8. No.11. 1972
- 8) 岩松, 工藤 : プレテンション方式PC単純Tげた橋の標準設計, 橋梁と基礎 Vol.6. No.9.
1972
- 9) 岩松, 工藤, 後藤 : 活荷重合成プレートガーダ橋の標準設計, 橋梁と基礎 Vol.7. No.4.
1973
- 10) 岩松, 藤田, 関 : 事業計画・設計の合理化, 土木学会誌 Vol.58. No.11. 1993
- 11) S. Iwamatsu, S. Kudo : Standard design of live load Composite
girder bridge using automatic design method, Annual Report
of Road 1973
- 12) 岩 松 : 橋梁設計のトータルシステムとしての合理化について
第11回 日本道路会議論文集第4部会, 論文番号501, 502. 1974
- 13) 岩松, ほか : ケーソンの自動設計, 橋梁と基礎 Vol.8. No.9. 1974
- 14) 岩松, ほか : プレテンション方式単純中空床版橋の標準設計, 橋梁と基礎 Vol.9. No.6.
1975
- 15) 岩松幸雄 : 土木計画, 土木研究所資料 第971号 1975
- 16) 永井, 岩松, 吉川, 五十嵐 : 土木計画シリーズⅡ, 土木計画学の領域と構成, 土木学会編
1976
- 17) 岩松, 平川, 山本 : ニューマチックケーソン基礎自動設計の合理化に関する研究 : 土木学
会論文報告集 No.257. 1977, 論文番号4-153

第5部 土木計画論との整合性を考慮した 構造物設計法

土木設計とは、設計条件に適合する具体的な諸元を指定することであり、欲求充足のための手段の策定の論議である土木計画論の重要な部分をなすものであることは前述のとおりである。したがって、土木設計の設計条件は（その計画のおかれる環境下で、設定された欲求充足を実現すること）にほかならず、本来はその欲求充足および環境状態に関するあらゆる事項が集約されたものであるべきであるが、現実の土木設計では実務上の制約から、あらゆる事項に代えて仮要な代表的事項をとりあげて設計条件の設定を行ない、特定の対応モデルを介して主要構造物諸元を規定し、他の構造物諸元についてはなんらかの傍系的手法を用いてこれを補完する方策がとられているのが実情である。すなわち、現実の土木設計では、限定された設計条件から特定の対応モデルを介して構造物諸元の一部を指定する主軸的作業（設定された構造物諸元の力学的検証作業）と、残余の設計条件を勘案しながら残余の構造物諸元をなんらかの方法で補完して全体を完成させる傍系的作業との二重の構成がとられており、前者には多くの場合、理論的な現象モデル（主として力学モデル）が用いられるのに対して、後者は多分に経験に依存する流儀的な示方書・基準類を用いながら類例を参考に行なわれている。

このような設計法をとるとすれば、主軸作業に用いる設計条件と対応モデルの選び方によって様々な設計法が存在することになる。また設計条件や対応モデルを設定すれば設計作業の自動化が可能である。しかし計画論上の設計成果の優劣は、対応モデルの種類や理論的厳密性にあるわけではなく、あくまでも計画論上の有効性（欲求充足への寄与）にあるので、さらに進んで、実績の多い構造物については現象的な対応モデルを排して、その設計条件と構造物諸元との対応を抽出し、これらを統計的に処理することによって設計条件から構造物諸元を直接求める回帰式による設計法（第2章で提案）、および各個別の構造物諸元の実態とそれと与えられている評価の実態とから、計画論上有効な構造物諸元を検索するような設計法（第3章で提案）も存在することが考えられよう。また、このような観点から、以下に現在考えられる各種の設計法について、その必要性と計画論上の意義などの考察を加える。

第1章 土木計画論と整合する設計法の必要性と分類

1・1 土木計画論と整合する設計法の必要性と意義

土木構造物は有史以前から存在していたが、当時その建設に当ってどのように計画し、どのように設計を行っていたかは知るよしもない。

第2部および第4部で記述したように計画や設計の成果の良否は、担当者の知識・経験によってきまると言っても過言ではない。つまり、図-4.3に見るように設計行為の各局面に知識・経験が関与する。しかし、我われが知識・経験として力学的設計法を得たのは、比較的最近である。当然、それ以前の設計、例えば長崎の石造アーチ等は、設計図はあったとしても力学的設計を行なった形跡はない。

構造物設計法の主軸モデルとして力学の導入は、近代の他の科学と同じく、決定論的な因果律から出発して組立てられ、そして経験によって知られていた構造物の破壊に対する不確定性は安全率という概念で設定され、経験を基に数値化された。そして、力学を主軸モデルとする構造計算は材料力学としても材料や部材の理論的解析を可能にし、初期の線形弾性理論から、更に近年の塑性論の発達によって、極限設計法という新しい力学的設計法まで発展した。他方、経験による総合的判断で設定していた安全率に対しても、確率論の構造設計への応用によって、信頼性理論等による理論解の道が開かれてきた。

これ等一連の力学的安全性に関する理論の研究は、構造物の建造がかつて職人の勘と経験のみで行なわれていたことを考えれば、いかに評価しても評価し過ぎることはない。しかしながら、土木構造物が不特定多数の利用者を対象に公共施設として建設され、そして経済力の拡充にあわせて、いわゆる価値観の多様化時代を迎えた現状では、力学的安全性の理論的解析のみでは事業実施が困難になって来たことも事実である。すなわち、現今における欲求の多様化、価値観の変化の動向を受けて土木計画論における意図の鮮明化、つまり、構造物の機能・効果に対する注文の顕在化によって、特殊な

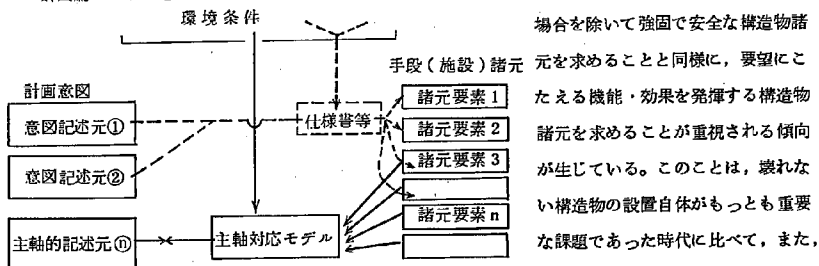


図-5.1 主軸的対応モデルを用いる設計法

主軸的対応モデルによって指定されるのは施設諸元の一部であり、他を補充して全部を指定するためには他の条件等を斟酌する仕様書等による必要がある。

便性、景観性、環境適合性、経済性から独立した省資源性等々へと土木設計における設計条件となるべきもの（計画意図の重視すべき要素・側面）のウエイトに変動があることを示している。

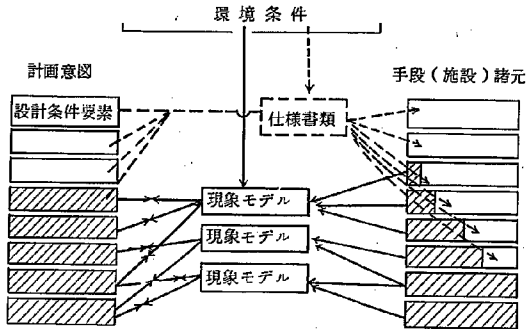
力学モデル以外にどのような対応モデルが実用化され、それを主軸とする設計法がどのような体系に整備されるかは未だ生成発展段階であり、名称を冠することに問題がないとはいえないが、経済性モデル、利便性モデル、審美性モデル、環境適合性モデル、省資源モデルなどを考えることができ、そのどれかを主軸モデルとし、他を力学的安全条項等も含めて示方書等に委ねる設計法を想定することもできよう。たとえば、類例が多くその力学的安全性に関して容易に推定が可能な通常の構造物については利便性モデル、審美性モデルなどが主軸的に扱われることの妥当性があるし、近時の環境アセスメント重視の動きは、環境適合性を計画論・設計法の主軸近くに据えるべきである、という主張の置き換えとも理解されよう。たとえば、横断歩道橋では便利で景観をよくすることが重要であり、河川の水門では所要の水利機能・操作性に加えて、魚族をはじめとする自然の保護・適合性が重視され、そのための構造物諸元の指定が問題であり、力学的安全性の調整・確認は現在の技術をもってすれば事後的（主要諸元決定後）に若干の諸元（部材断面・材質、鉄筋量等）の修正によって容易に可能となるであろう。

また、評価要素（設計条件）が多元化し主観的・心情的なものを増している現状からいえば、現象的対応モデルを用いる設計法においても、特定の設計条件だけを満たす特定の対応モデルを主軸とするのでは不十分であり、複数の設計条件を対象としてそれぞれに対応モデルを用いる、いわば複数の主軸構造を同時に満たすような多軸構成をとる必要がある。このような複数の主軸構造を内蔵する多軸構成では、各主軸構造の内容たる個々の現象的対応モデルの意義は諸元指定の分担役割に応じて低下し、かつ多軸構成に位置づけられたモデルの取り扱いがきわめて難解、煩雑なものとなろう。したがって、この設計法は従来の設計法の延長上にあつて現象的把握に優れており、今後とも開発・整備に努力を傾注する必要があるものであるが、比較的少数の枢要で明確な評価要素に限定して効率的なシステム手法を用いるなどの設計法上の研究が進展しなければ、その実用化はきわめて困難である。（図-5.2 参照）。

他方、評価要素（設計条件）と構造物諸元との対応関係の現象的把握と説明を省略して、その評価値と諸元値との直接対応関係を要因分析等の手法により統計的に設定して用いる設計法（統計的直接設計法）は、多数の実例ないしは想定例がある場合に可能なものであつて、比較的多数の評価要素に対処できるものであるが、諸元指定過程の現象的（物理的因果関係による）把握と説明が困難であり、とくに機能発揮の前提となる構造物の存在可能性（力学的安全性）などの必要条件についてはなんらかの確認を必要とするものとなろう。

このように、従来の設計法の延長上にこれを拡張して多数の現象モデルを用いる多軸構成の設計法の整備と、現象的対応モデルを排してなるべく多くの評価要因をとり込んだ統計的対応則を用いる統計的直接設計法の開発とは、ともに重要なものであると考えられるが、そのいずれをより重視した方

向に進むべきかは、土木計画論と土木設計の発展にとって今後の重要な課題になろう。



図－5.2 多軸構成現象モデルを用いる設計法（3軸構成の例）

1・2 目的論的な設計法の分類

第3部において設計条件と設計法（対応モデル）とは、相互補完の関係にあると記述したが、ここで土木計画論からみて設計法を分類すれば、目的論的な分類、つまり設計条件とその相互補完の関係にある対応モデルとによる分類になろう。本節では以上の観点による分類を行ない、各設計法について概説するとともに、第2章、第3章の位置づけも行なう。

(1) 対応モデルによる分類

標準設計のように対応モデルを意識することなく設計条件から直接構造物が指定される検索システムによるような場合を除いて、他の設計は両記述空間の対応を求めるためにモデルによるのが普通である。その場合、まず構造物設置による現象を因果律によるモデルとして組み込む設計法がある。代表例として現行の力学的設計法があげられる。

次に、類例の多い構造物の諸元と設計条件のそれぞれの組み合わせを一つのデータとして統計処理した回帰式を中心とする設計法があげられ、第5部、第2章で提案する設計法もこの1つである。

また、前節の後段で記述したように、対応モデルの数が単数か複数かによって主軸対応モデル（図－4.1）と多軸構成対応モデル（図－4.2）による設計法に分類される。

(2) 評価とモデルの形式からの分類

評価項目を設定し、その中の指標が対応モデルのパラメータになる場合と、決定論的に現在の設計法で良しとして評価を行なわない場合に分けられる。もし現状のデータ等が評価してあるも

のだとの解釈をとれば潜在的な評価方式といえよう。また、表-5.1の横欄は、モデルの形式についてデータ・バンクから検索モデル、統計モデルおよび現象モデルで構成した。ここで、データ・バンクからの検索モデルによる方式としては、データ（図面等のアナログデータも含む）を蓄積し、検索によって設計行為にかえることである。つまり、個々のデータは置き換えはしても未処理のまま蓄積されるので、設計行為の段階でも蓄積されたデータの範囲でしか適用できない。したがってデータとデータの間の値は必ずしも補償されない場合もある。なお、表-5.1の①が第5部の第2章に該当し、第3章は②の一部と③の一部よりなる。

表-5.1 評価-モデル形式による設計法の分類

モデル形式 評価	データ・バンクからの 検索モデル	統計モデル	現象モデル
評価を行わない (潜在的)	③ データ収集のみ (標準設計を含む現在の設計図集等がこれに該当する。)	④ 現状データによる決定論的モデル (土木学会論文報告集第258号の回帰式による設計法が該当する。)	⑤ 状態の予測のみのインパクトモデル (現状の力学的設計がこれに該当する。)
評価を行なう (顕在的)	⑥ あらかじめデータを評価してストアしておき、目的関数に沿ったデータの検索が可能	⑦ 同時モデルで指定される領域のうち、最適なもの導出が可能	⑧ 予測された状態の評価を行ない、フィードバック方式による最適解の導出が可能

第2章 回帰式による主要構造物諸元の指定を中心とする設計法

— P C 桁橋を例とした計画論からみた土木設計法の提案 (その1) —

電子計算機の普及と大型化に伴って、時代の先端技術を駆使する大型で特殊な構造のみならず、一般的で類例の多い構造物についても、高級な力学モデルによる膨大な設計々算を行なう傾向が生じている。

しかし、設計々算の精度の向上にもかかわらず、設計そのものの精度が本当に向上しているかについては疑問なしとしない。本来、設計々算の精度の向上は設計そのものの精度の向上につながるべきはずのものであろう。設計には、その力学的な側面だけに注目した場合でも荷重およびその載荷の不確実性、材料強度のばらつき、更に施工時の寸法誤差等の多くの誤差による不確実性をはらんでいる。これらの誤差の正確な評価は現状では極めて困難である。このような多くの不確実な誤差を容認した上で、設計々算にどれ程の精度を要求するかについては、設計全体の精度という観点から決定されるべきであろう。もし、設計全体の精度に比べて設計々算の精度が極度に高すぎる場合には、技術者は設計々算の精度向上に用いている努力を構造物の設置による機能・効果の質・量・確実性等にかかわること、たとえば経済性、利便性、環境適合（景観・自然保護）性、有効性、確実性等を含めたそれらの目的、設置意図との接近に向けられるべきかもしれない。

また、同様な観点からすれば、安全に存在しうることが第一義的に重要だとしても構造物の機能・効果の側面をも加味した設計が本来的な設計のはずであるが、それらを設計に組み込む場合の精度が力学的側面はどてない現在ではその全体の精度に見合った簡略な力学的設計々算の方法も開発されてしかるべきであろう。本設計法が以上のような問題の全てに対して解答を与えるものではないが、現状の設計の成果よりも少しぐらい精度が落ちて、もしその誤差が常に安全側であることが保証され、計算機の容量を気にすることなく、場合によっては卓上計算機でも処理可能な設計法が提示できれば有効に活用できるのではないかとこの観点から現在建設省で供用されているポストテンション方式 P C 単純 T 桁橋の自動設計プログラムのアウトプットデータをサンプルとして統計処理して回帰式によって主要構造物諸元を算定する簡略な設計システムおよびその設計例について以下に記述する。

ここで提案する設計法は、精度が良いとは言えないが、簡潔さを特長とする統計処理による設計法である。この設計法は、結局、熟達した設計者の判断の内容を詳細に分析するということをその内容としている。熟達した設計者は設計のキーポイントとなる設計諸元について多くの条件から経験的に極めて正確に推定することができる。

このような力学的安全性のみならず、機能的な側面も含めて条件から順射影的に主要な構造物諸元を指定する設計法を、従来の初期値設定の後、その変更（フィードバックによる）によって力学的安全性を確認する累積設計法に対してここでは直接設計法と呼ぶ。ここで提案する統計処理による設計法も、いわば過去の設計データを分析して極めて簡略な形でキーポイントとなる構造物諸元を算定式

によって設定し、それを中心に他の設計諸元も数値として設定する簡単な設計システムでいわば前述の直接設計法のサブ・システムである。

ところで、第2部でも記述したように計画論の展開は多種多様な記述元相互の対応射影を必要とする多段構造になっているが、それが道路事業計画に限っても同様であって、その代替案策定時に道路の一部である橋梁設計が、現在のように膨大な設計計算を要するようでは正確な計算は行なわないのが普通である。しかし、本設計法のように小型計算機で図化まで可能な簡略な設計システムの利用が可能になれば、道路計画の策定時に経済的な側面等から計画全体の成否を左右することの多い構造物の設計が、他の手段要素（例えば土工など）以上に簡単にそして明確に行なえるので便利であり、また計画全体の精度向上につながることも論を待たない。

他方、設計の面についても本設計法は、現在の力学的設計体系の成果をデータとするために、少なくとも現行の安全性の本質を失っていないので、そのまま実施設計としての利用も可能である。また、桁高算定式等に見られるように回帰式は筆算でも可能なほど簡単なので、設計の初期値設定や設計結果の検証に使うに便利であることも明白である。

2・1 PC桁橋の主要な構造物諸元算定式について

設計はその前段に行われる目的的条件および環境条件等の設定にはじまり、施工のための行動指針の一部である作図によって終る。したがって設計々算の精度を論ずる場合、設計条件の設定の精度、モデルの実荷重用時のレスポンスとの近似性、施工精度等との釣り合いで考えるべきで単に設定されたモデルのみによる厳密な計算を行うことにどれほどの意義があるかは疑問なしとしない。若干精度の悪いモデルであっても、もしその誤差が常に安全側であることが保証されていれば有効に活用することができるのではないかとこのことを検証するのが本章のテーマでもある。

本章では、ポストテンション方式PC単純T桁橋の設計データをもとにそのキーポイントとなる構造物諸元として桁高およびPC主ケーブルを取りあげ、それぞれの算定式を設定する過程について以下記述する。なお、その他の構造物諸元の設定については、2.2.1で述べる。

2・1・1 桁高算定式の提案

(1) 桁高の決定に参画する要素および組み合わせ

桁高の決定に参画する要素を無制限に抽出すると、相当数になるうが、ここでは最も寄与をしていると思われる要素として支間、幅員構成、主ケーブル本数および主桁本数を採用した。また、累積設計から得た桁高とそれに参画する要素の相関行列およびサンプルから要素の組み合わせを行なうと次のようなモデル式が想定される。

H : 桁高 (cm)	NPC : 主ケーブル本数 (本)
L : 支間 (m)	N : 主桁本数 (本)
W' : 本線幅 (m)	W : 本線幅 + 歩道幅員 (m)

表 - 5.2 重回帰分析の結果

係数 項目	切片 (a)	重回帰係数	平均値	標準偏差	相関係数	回帰係数	t 値
(1) L	-1190	0.9952	31.00	5.76	0.9781	0.732×10^1	25.85
(2) NPC			9.84	1.88	0.9628	-0.478×10^1	-7.07
(3) N			5.15	1.05	-0.0652	-0.1359×10^1	-1.66
(4) W/N			1.82	0.11	0.1646	0.554×10^2	20.08
(5) W/W			0.76	0.14	0.0145	0.1070×10^2	5.27
(6) W/L			0.31	0.09	-0.6631	0.573×10^1	0.45

以下、回帰係数の桁数の設定は、主桁高の誤差を 0.5 cm として、誤差伝播の法測によった。

2) 主成分分析

重回帰式が成立するに必要な条件は、説明変数の各々が独立であることであり、設定した説明変数間に独立性があるかを調べるために式 (5.2) について主成分分析を行ない、その相関行列を示せば、表 - 5.3 のとおりである。

表 - 5.3 相 関 行 列

(1)	1.0					
(2)	0.9856	1.0				
(3)	0.0	-0.0049	1.0			
(4)	0.0	0.0332	-0.0285	1.0		
(5)	0.0	-0.0047	-0.6539	-0.2856	1.0	
(6)	-0.6614	-0.6414	0.7013	0.1720	-0.5194	1.0

相関行列から L, NPC を除いては、各々の相関がそれ程高くない。したがって、重回帰分析するにあたって説明変数として取り扱うことは、回帰係数の精度上は問題がないと思われる。

表 - 5.3 および図 - 5.3 から L と NPC の相関は極めて高く、その結果から見る限りにおいてはどちらかの変数で代表させ得るが、ここでは、式の利用 (例えば PC ケーブルの増減) を考慮してそのままの形とした。なお、NPC については、2.1.4 項で説明する。

表 - 5.4 固有値と累積寄与率

主成分	固有値	累積寄与率
(1)	2.780	0.463
(2)	1.833	0.769
(3)	1.025	0.940
(4)	0.325	0.994
(5)	0.028	0.999
(6)	0.009	1.000

表 - 5.5 主成分の因子負荷量

	第 1 主成分		第 2 主成分		寄 与 率	第 3 主成分		寄 与 率
	固有ベクトル	因子負荷量	固有ベクトル	因子負荷量		固有ベクトル	因子負荷量	
	2.7803		1.8330			1.0245		
(1)	-0.4751	-0.7922	0.4427	0.5995	0.987	-0.0616	-0.0624	0.991
(2)	-0.4699	-0.7836	0.4478	0.6063	0.982	-0.0300	-0.0304	0.983
(3)	0.3406	0.5680	0.5064	0.6856	0.793	-0.3669	-0.3714	0.931
(4)	0.0909	0.1517	0.2082	0.2820	0.103	0.9239	0.9352	0.978
(5)	-0.3072	-0.5124	-0.5399	-0.7310	0.797	-0.0718	-0.0727	0.802
(6)	0.5785	0.9646	0.1096	0.1485	0.953	-0.0424	-0.0429	0.955

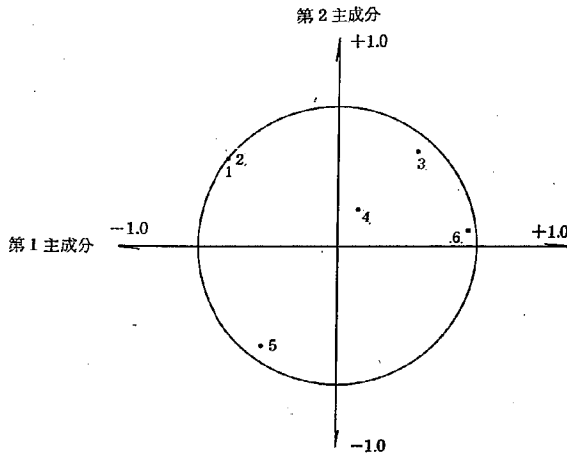


図 - 5.3 回帰式変数のグループ分け図

3) 分析結果による要素の整理

主成分分析の結果、つまり表-5.4の相関行列にみる対角要素と他の要素との関係、表-5.5の寄与率および図-5.3のグループ分け図の各変数の位置等から、当初設定した説明変数は同時に扱うことができる。ただし、LとNPCは表-5.3の第1行にみれるように極めて相関が高く実際にもNPCはLで説明可能であるが、ここでは、それぞれが主要な構造物諸元であることから別々の説明変数として取り扱った。

しかし、重回帰分析の結果によると、NとW/Lのt値が極めて小さく、回帰分析上有意でないとの判断から桁高算定式の説明変数からはずし最終的には以下の提案式を設定した。

$$H = f(L, NPC, W/N, W/W) = a + b \cdot L + c \cdot NPC + d \frac{W}{N} + e \frac{W}{W} \dots\dots\dots (5.3)$$

2・1・2 桁高算定のための提案式の検討

我われが橋梁設計で設計々算に先立って行う初期値設定の桁高の値は、支間の20分の1を目安とするように、この場合の提案式も線形の方がより我われの感覚にフィットしようし、利用面からも得策であろう。とはいえ、本来桁高算定に対して、各要素の指数がいくらの場合が最適かについての検討が必要であるとの認識から本項では線形および非線形重回帰分析による相対誤差で検証した。

その結果、線形重回帰分析による相対誤差は1.02493、非線形による相対誤差は1.00328となり、非線形にすれば式を複雑にするだけで、それによる適用範囲（支間20m～40m）内での卓越した有理性は見い出せなかった。したがって、桁高の算定式は線形によるものとした。その結果を以下に示す。

(1) 線形重回帰分析

前項2.1.1での検討結果をもとに提案式を線形で表わすと式5.3のようになり、その重回帰分析の結果は表-5.6である。

表-5.6 重回帰分析の結果（線形）

項目	係数	切片(a)	重相関係数	平均値	標準偏差	相関係数	回帰係数	t値
(1)	L	-1282	0.9952	31.00	5.76	0.9794	0.701×10^1	24.86
(2)	NPC			9.84	1.89	0.9641	-0.401×10^1	-4.65
(3)	W/N			1.84	0.12	0.1552	0.558×10^2	21.61
(4)	W/W			0.75	0.18	0.0152	0.116×10^2	9.32

○ 相対誤差 = 1.02% ○ 絶対誤差 = 1.64cm ○ 標準偏差 = 3.29cm

なお、線形重回帰分析の残差の例を表-5.7に示す。

表-5.7 重回帰分析(線形)による残差の一例

順	サンプルの桁高(cm)	推定値(cm)	絶対誤差(cm)	相対誤差(%)
26	120.00000	124.83831	-4.83831	-4.0
27	120.00000	122.20179	-2.20179	-1.8
28	120.00000	117.95518	2.04482	1.7
29	120.00000	115.52958	4.47042	3.7
30	120.00000	124.03767	-4.03767	-3.4
31	142.00000	139.48838	2.51162	1.8
32	131.00000	127.86683	3.13317	2.4
33	144.00000	141.81269	2.18731	1.5
34	138.00000	137.77004	0.22996	0.2
35	133.00000	132.05059	0.94941	0.7
36	152.00000	152.19150	-0.19150	-0.1
37	140.00000	140.01571	-0.01571	-0.0
38	136.00000	136.82414	-0.82414	-0.6
39	132.00000	131.95215	0.04785	0.0
40	130.00000	129.06454	0.93546	0.7
41	138.00000	138.86398	-0.86398	-0.6
42	136.00000	136.22746	-0.22746	-0.2
43	131.00000	131.98084	-0.98084	-0.7
44	130.00000	129.55525	0.44475	0.3
45	136.00000	138.06333	-2.06333	-1.5
46	149.00000	149.49992	-0.49992	-0.3
47	140.00000	137.87837	2.12163	1.5
48	151.00000	151.82423	-0.82423	-0.5
49	146.00000	147.78157	-1.78157	-1.2
50	140.00000	142.06213	-2.06213	-1.5
51	160.00000	162.20304	-2.20304	-1.4
52	147.00000	150.02724	-3.02724	-2.1
53	144.00000	146.83568	-2.83568	-2.0
54	140.00000	141.96369	-1.96369	-1.4
55	140.00000	139.07608	0.92392	0.7

(2) 非線形重回帰分析

非線形重回帰分析の要素の組み合わせ指数を式のように α , β , r と考えた。(但し、主ケール本数のみは考えない。)

$$H = a + b \cdot L^{\alpha} + C \cdot NPC + d \left(\frac{W}{N} \right)^{\beta} + e \left(\frac{W'}{W} \right)^r \dots\dots\dots (5.4)$$

そこで、式(5.4)の各指数を1を中心に増減量0.1ステップの全組み合わせについて解析し、最も重相関係数の高いケースの α , β , r を求めたが、その結果は式(5.5)および表-5.8に示すとおりである。

$$H = a + b \cdot L^{1.1} + C \cdot NPC + d \left(\frac{W}{N} \right)^{1.7} + e \left(\frac{W'}{W} \right)^{3.6} \dots\dots\dots (5.5)$$

(1)
(2)
(3)
(4)

表-5.8 重回帰分析の結果(非線形)

項目	係数	切片(a)	重相関係数	平均値	標準偏差	相関係数	回帰係数	t値
(1)	$L^{1.1}$	-60.0	0.9954	43.78	8.93	0.9793	0.464×10^1	25.63
(2)	NPC			9.84	1.89	0.9641	-0.456×10^1	-5.32
(3)	$\left(\frac{W}{N} \right)^{1.7}$			2.84	0.30	0.1563	0.2189×10^2	22.45
(4)	$\left(\frac{W'}{W} \right)^{3.6}$			0.44	0.35	0.0065	0.785×10^1	9.59

- 相対誤差 = 1.00%
- 絶対誤差 = 1.60 cm
- 標準偏差 = 3.21 cm

2・1・3 桁高算定式の設定

(1) 重回帰分析の残差による算定式の処理

先の重回帰分析の結果より桁高算定式は線形としたが、この線形重回帰分析から設定した提案式によって算定される桁高(H)は、当然のことながら残差を含む。そしてこの残差の処理方法については桁高算定式の利用方法によって、次のようなことが考えられる。

- ① 道路計画の縦断線形の設定や累積設計成果の桁高検証に利用するために平均値で処理する場合
- ② 累積設計の桁高の初期値設定に利用する場合は、累積設計の特質であるフィードバックで桁高は増加するので、小さな値が算定できるような処理方式
- ③ 条件から直接諸元を指定する直接設計として利用する場合は安全側と考えられる大きめの値が算定できるような処理方式

したがって、ここでは平均値および信頼区間より求める次の2方式について示す。

1) 平均値による回帰式

誤差分布は、正規分布と考えられ、平均値による回帰式は、誤差平均が0で正負の誤差率が等しいと考えられるので回帰式そのものである。つまり2.1.2項の(1)より次式のような。なお、各変数の単位は2.1.1項の(1)と同じである。

$$H = -1281.6 + 7.0/L - 4.0/NPC + 5.578 \frac{W}{N} + 15.16 \frac{W'}{W} \dots\dots\dots (5.6)$$

2) 信頼区間による回帰式

誤差分布は同様に正規分布と考えられるので、正負の残差が生じる。正規分布の性質から知られるように残差領域全体から求めると、95%信頼値では $\mu \pm 1.64\sigma$ 、97.5%の信頼値に対しては $\mu \pm 1.96\sigma$ の補正を行えばよい。平均値 μ は0、標準偏差値は2.1.2項の(1)より3.29cmとして式(5.6)に次の補正を行なう。

- ① 95%の場合 $0 \pm 1.64 \times 3.29 \pm \pm 5.40 \text{ cm}$
- ② 97.5%の場合 $0 \pm 1.96 \times 3.29 \pm \pm 6.45 \text{ cm}$

(2) 施工誤差による桁高算定式の考察

一般に物をつくる場合、それは設計寸法と多少異なって製作されるのが普通である。原則的には設計者は、現状の施工技術のレベルを認識して、その誤差を組み込んだ設計にすべきは論を待たない。

そこで、本研究でも筆者等が行なったPC桁の施工実態調査を基にその誤差が応力度にどう影響するか、またそのためには桁高算定式はどう補正すべきかについて検討したが、表-5.9であるが、桁高施工誤差の最大値をとっても先の残差による補正值におよばないこと、また、たとえ、考慮してもその影響は統計処理上あらわれないことから施工誤差による算定式の補正は省略

した。

表-5.9 PCボステン桁の誤差の統計量(絶対誤差)

断面 統計量	中 央 断 面							
	フランジ幅 B1	ウェブ幅 B2	下フランジ幅 B3	けた高 H1	フランジ高 H2	ウェブ高 H3	下ハンチ高 H4	下フランジ高 H5
最大値	14.000	20.111	10.667	34.000	9.667	5.333	8.667	18.667
最小値	-21.000	-5.556	-4.667	-25.667	-9.000	-20.333	-10.000	-1.500
平均値 μ	7.808	2.766	1.979	4.311	2.234	-0.300	0.538	1.644
不偏分散 σ^2	12.922	8.372	4.610	13.594	3.986	10.298	3.222	3.322
不偏標準 偏差 σ	3.595	2.893	2.147	3.687	1.996	3.209	1.795	1.823
歪 度	-1.958	2.326	0.468	0.458	-0.650	-3.174	-0.181	3.771
尖 度	13.886	13.204	4.516	21.621	8.879	6.792	8.089	26.649
データ量	456	431	458	457	431	453	432	431

(3) 桁高算定式の設定

回帰分析による残差および施工誤差による検討を行なったが、次の回帰式による直接設計システムのために桁高算定式は次のように設定した。

$$H = -122.76 + 7.0/L - 4.0/NPC + 55.78 \frac{W}{N} + 151.6 \frac{W'}{W} \dots\dots\dots (5.7)$$

2・1・4 主ケーブル本数の算定式

先の主成分分析の項で述べたように主ケーブル本数NPCと支間Lとは相関が強く、表-5.3に示すように相関係数は0.98521である。一般にもたとえば建設省制定土木構造物標準設計の1.3~1.7巻を見ても幅員はほとんど関係なくある支間毎(等ピッチでない)に主ケーブル本数は増加している。したがって、表-5.3 相関行列の結果等から主ケーブル本数の算定式の要素は支間のみとし、その一次結合として回帰分析を行なった。

(1) 主ケーブル本数と支間の回帰係数

$$NPC = a + b \cdot L$$

NPC: 主ケーブル本数 L: 支間 標準偏差: $\sigma = 0.32$

支間 (cm)	a	b	t 値	相 関 係 数	n
$2000 \leq L \leq 4000$	-0.155	0.32	69.93	0.9852	150

(2) 主ケーブル本数算定式の設定

上記回帰係数を代入すると主ケーブル本数の算定式は次式のように書ける。

$$NPC = -0.155 + 0.32 \cdot L \quad \dots\dots\dots (5.8)$$

式(5.8)に重回帰分析による残差補正值 r を加えて整理して式(5.9)を設定した。

$$r = 1.64 \cdot \sigma = 1.64 \times 0.32 \div 0.525$$

$$NPC = 0.370 + 0.32 \cdot L \quad \dots\dots\dots (5.9)$$

ここで L は実数であるが、NPCは整数としているので、小数点以下は切り捨てられて整数値となる。

2・2 PC桁橋の現状データを処理した回帰式による設計システムについて

前節2・1で設計のキーポイントとなる桁高と主ケーブル本数の算定式を提示したが、本節では、その他の構造物諸元の設定について記述するとともに、ポストテンション方式PC単純T桁橋の現状データを処理した回帰式による直接設計法のプロセス、その設計例および累積設計との比較について以下記述する。

2・2・1 算定式による以外の構造物諸元の設定

桁高および主ケーブル本数以外の構造物諸元については適用支間20～40m内では回帰分析しても意味がなく、一般に累積設計でも直接的に指定されている。本システムでも建設省制定土木構造物標準設計および建設省土木研究所の自動設計プログラムを参考に以下のように設定した。

(1) 主桁本数の設定

累積設計々算の結果や標準設計から幅員に対する主桁本数を処理して表-5.10のように設定した。

表-5.10 主桁本数と幅員の関係

支間 l (cm)	幅 員 W (cm)	主桁本数 N
2000 $\leq l \leq$ 4000	$750 \geq W$	4
	$950 \geq W > 750$	5
	$1200 \geq W > 950$	6
	$W > 1200$	7

W : 総幅員 (本線幅+歩道幅)

(2) 主桁断面寸法の設定

主桁断面を構成する諸要素のうち自動設計プログラム内で一定としている要素について分類すると、表-5.1.1のようになり、ここでもそれにならって設定した。

表-5.1.1 支間と主桁断面寸法の関係

支間 ℓ	項目
$2000 \leq \ell < 2500$ (cm)	B0 (cm)
$2500 \leq \ell < 3500$	16
$3500 \leq \ell \leq 4000$	18

支間 ℓ	断面要素	B	B2	T2	T3
$2000 \leq \ell \leq 4000$ (cm)		150 (cm)	50 (cm)	21 (cm)	20 (cm)

$$B3 = 0.5 \times (B - B0 - 54.0)$$

ただし、B0：ウェブ幅 B3：上フランジ張出し長 B：上フランジ幅

T2：下フランジハンチ高 B2：下フランジ幅 T3：下フランジ厚

(3) 横桁本数の設定

横桁はその間隔が10m以下になるように設定している。

(4) 床版の各諸元の設定

床版における床版厚、横締め間隔およびPC鋼線は、累積設計例から、次のように定めた。

$$\text{床版厚：} T = 18 \text{ cm} \quad \text{横締め間隔：} 50 \text{ cm} \quad \text{PC鋼線：} 12 \phi 5$$

(5) 横桁の断面寸法の設定

横桁のウェブ厚は、累積設計の場合、支間20m以上については一律25cmを用いている。したがって直接設計の場合も25cmとした。

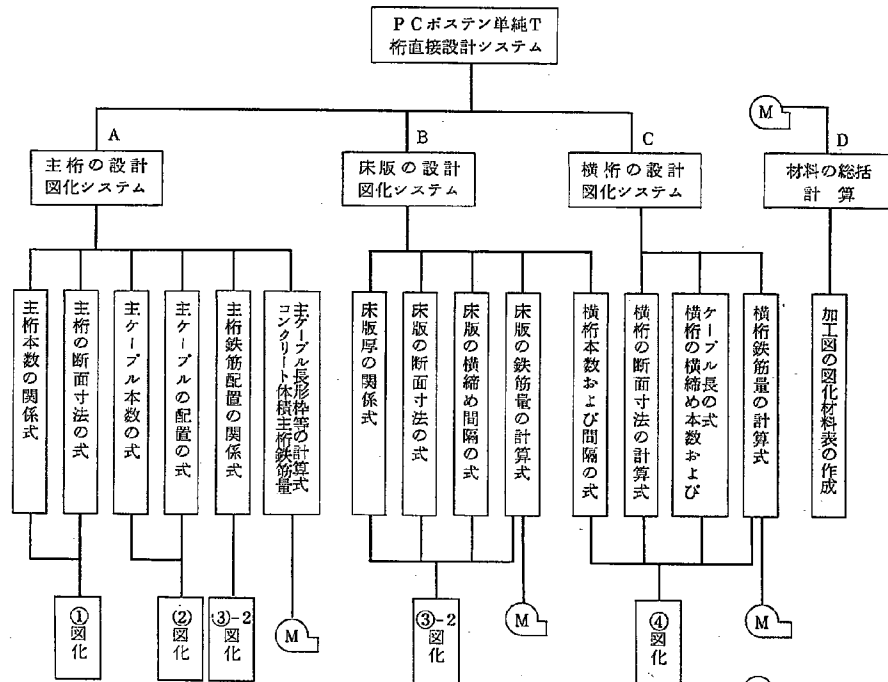
2.2.2 PC桁高の直接設計システムのプロセス

PC桁橋の現状設計データを処理した帰帰式による本設計システムは、従来の累積設計のモジュールとサブシステムとがからみ合った複雑なシステムを簡素化し、図-5.4に示すようにハイラルキ一構造のプロセスフローになっている。したがってインプットが簡単に逐次処理が可能なため、小型の電子計算機、物によっては卓上電子計算機でも図化を含む全システムの処理が可能である。なお図中で式と書いているのはプログラミング言語ALGOLというブール式も含む代入文のことである。

2・2・3 直接設計システムによる設計例

本直接設計システムのアウトプットは図面5枚で構成される。図-5.4のプロセスフローの図化①の部分に相当するアウトプットが図-5.5に、図化②が図-5.6、図化③-1および図化③-2が図-5.7、図化④が図-5.8、図化⑤が図-5.9に対応する。また、本設計例は、次の条件のものである。

支間：35m 総幅員：17m 斜角：90° 橋格：一等橋



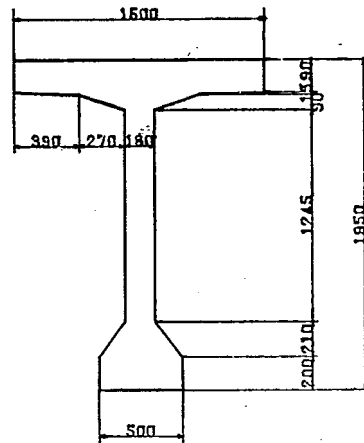
注) (M) : 磁気テープ

図-5.4 直接設計のプロセスフロー

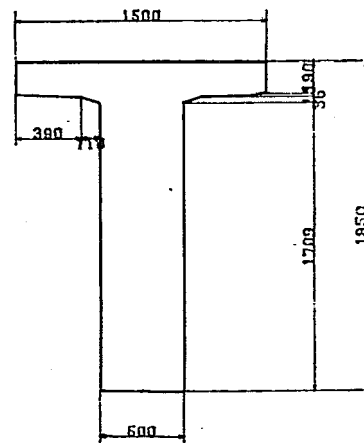
図-5・5 主桁断面寸法

断面図

中央断面



支点断面



設計条件

支 間	CM	3500
車 道 巾	CM	1300
歩 道 巾	CM	2x 200
総 幅 員	CM	1700
角 度		90
橋 格		1 等 橋
荷 重		L-20 T-20
型 式		T型 ポストテンション

端断面の諸定数

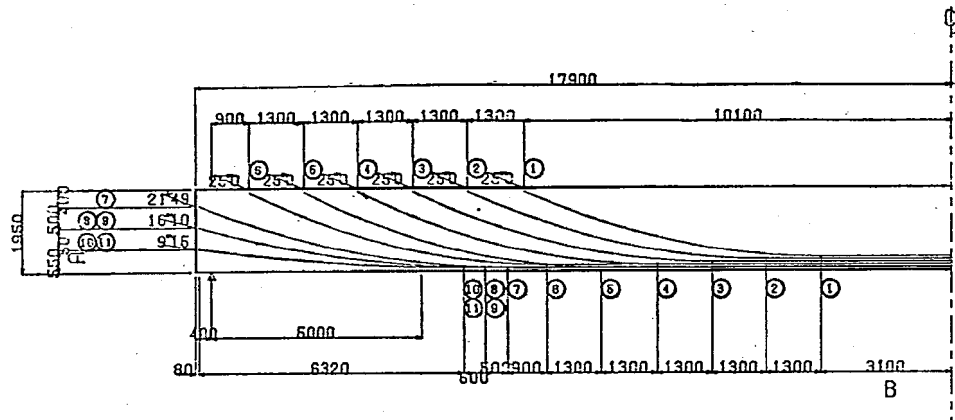
	単位	総 断 面
断 面 積	CM ²	11781.83
中立軸	上 縁	CM 82.44
	下 縁	CM -112.56
PC鋼材図心と中立軸との距離	CM	0.00
断面二次モーメント	x100 CM ⁴	437824
断面係数	上 縁	CM ³ 531054.62
	下 縁	CM ³ -388983.56
	PC鋼材図心	CM ³ 0.00
回転二次半径	CM	60.96
断面一次モーメント	CM ³	316720.18

中央断面の諸定数

	単位	総 断 面	純 断 面	PC鋼材換算断面	場所打ち換算断面
断 面 積	CM ²	7376.50	7201.60	7492.16	8314.86
中立軸	上 縁	CM 74.47	71.90	76.11	69.52
	下 縁	CM -120.53	-123.10	-118.89	-125.48
PC鋼材図心と中立軸との距離	CM	-106.03	-108.60	-104.39	-110.98
断面二次モーメント	x100 CM ⁴	354853	334714	367655	400669
断面係数	上 縁	CM ³ 476485.31	465539.68	483057.87	576342.25
	下 縁	CM ³ -294417.62	-271899.31	-309238.81	-319306.93
	PC鋼材図心	CM ³ -334681.43	-308201.93	-352192.68	-361025.43
回転二次半径	CM	69.36	68.17	70.05	69.42
断面一次モーメント	CM ³	232903.12	0.00	0.00	0.00

図-5・6 P C 鋼 線 配 置 図

PC鋼線曲げ上げ図



桁 高	195.0
-----	-------

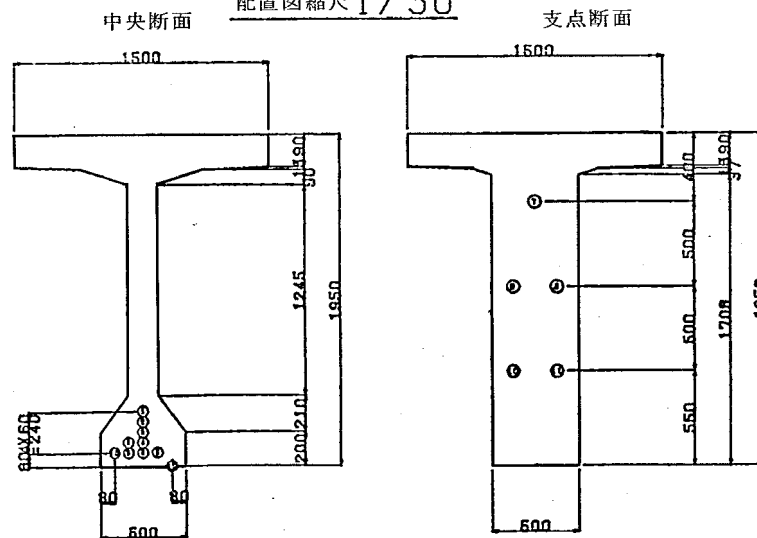
ケーブル曲げ上げ諸値

PCケーブル本数	11
曲げ上げ ケーブル数	6
端部定着 ケーブル数	5
曲げ上げ角	25.0
端部定着段数	3
定着間隔	50.0
A	55.0

ケーブル配置諸値

B	310.0
放物線水平長	700.0
上縁定着間隔	130.0

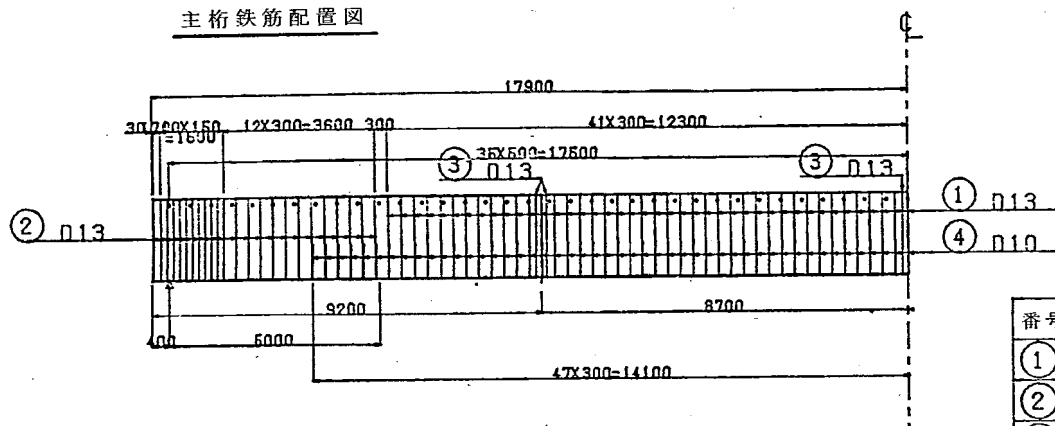
配置図縮尺1/30



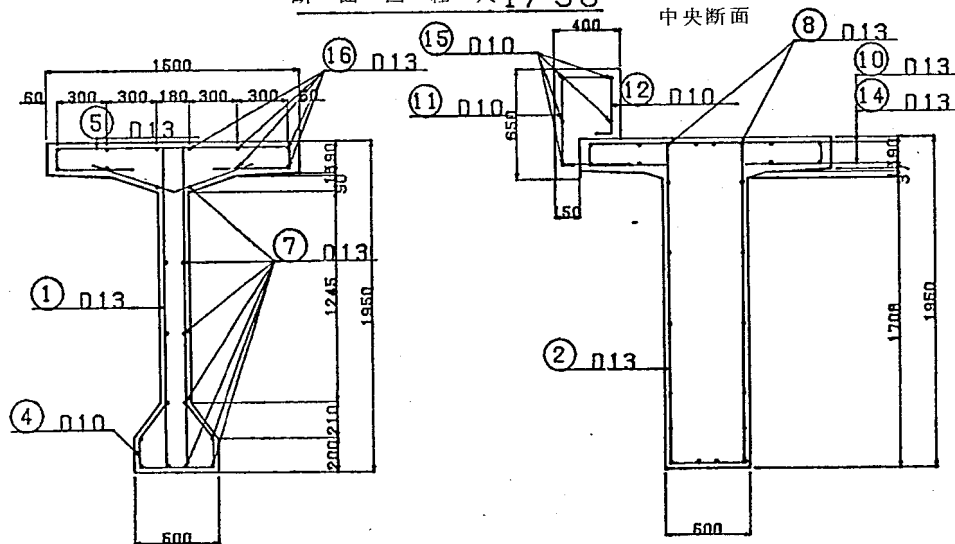
プレストレスング (パーシャルプレストレス)

番号	緊張 順序	緊張作業時応力		伸び (mm)	ケーブル長(mm)
		TON/Cable	kg/cm ²		
①	11	54.6	11813.2	111	20640
②	10	54.8	11874.5	125	23280
③	9	55.1	11935.9	139	25900
④	8	55.4	11997.3	153	28540
⑤	7	55.7	12058.7	167	31180
⑥	6	56.0	12118.6	181	33740
⑦	1	55.4	11996.0	193	36020
⑧	2	53.9	11682.2	190	35820
⑨	3	53.9	11682.2	190	35820
⑩	4	52.2	11299.5	188	35680
⑪	5	52.2	11299.8	188	35700

主桁鉄筋配置図

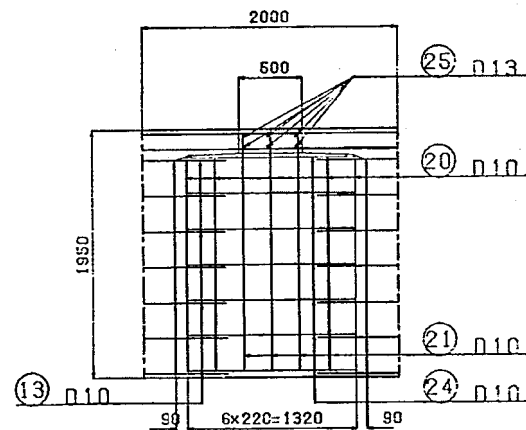
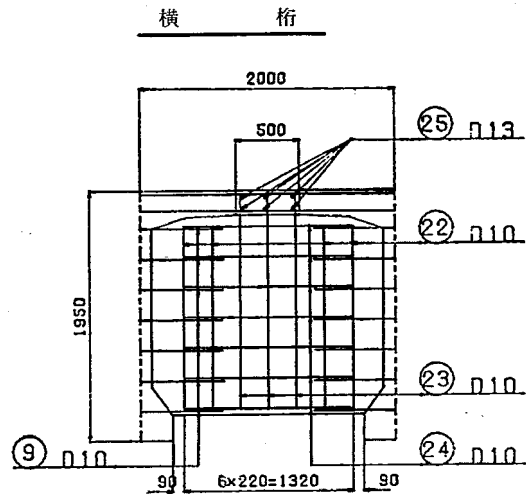


中央断面



番号	径	長さ(mm)	本数	単位重量 (kg/m)	1本当りの 重量 (kg)	重量(kg)
①	D13	4250	83	0.995	4.229	351.0
②	D13	4300	48	0.995	4.278	205.4
③	D13	4300	12	0.995	4.278	51.3
④	D10	2150	95	0.559	1.202	114.2
⑤	D13	2650	131	0.995	2.637	345.4
⑥	D10	1000	95	0.559	0.559	53.1
⑦	D13	36950	14	0.995	36.765	514.7
⑧	D13	5300	4	0.995	5.273	21.1
⑨	D10	900	70	0.559	0.503	35.2
⑩	D13	800	262	0.995	0.796	208.6
⑪	D10	700	121	0.559	0.391	47.3
⑫	D10	1650	121	0.559	0.922	111.6
⑬	D10	1300	70	0.559	0.727	50.9
⑭	D13	800	524	0.995	0.796	417.1
⑮	D13	36950	10	0.995	36.765	367.7
主 桁 鉄 筋 重 量			端 桁		2.633	
			中 桁		2.492	
⑮	D10	36950	10	0.559	20.655	206.6

図-5・8 横 桁 の 設 計



横 縮 プレ ス ト レ ッ シ ン グ (フ ル プ レ ス ト レ ス)

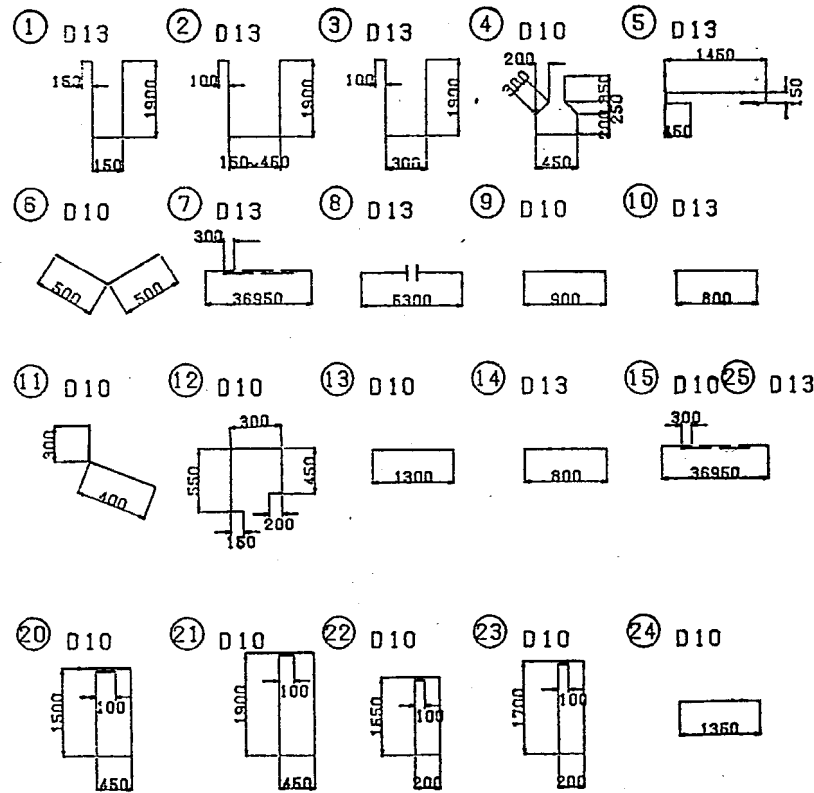
種 別	緊 張 作 業 時 応 力		伸 び (mm)	ケ ー ブ ル 長 (mm)	本 数	重 量 (kg)
	Ton/Cable	kg / mm				
横 桁	30.7	130.5	62	12400	5	114.6
床 版	30.7	130.5	87	13400	71	1758.2
合 計				1013400		1.873

鉄 筋 表

番 号	径	長 さ (mm)	本 数	単 位 重 量 (kg/m)	1 本 当 り 重 量 (kg/本)	重 量 (kg)
②①	D10	4000	48	0.559	2.236	107.3
②②	D10	4800	36	0.559	2.683	96.6
②③	D10	3600	24	0.559	2.012	48.3
②④	D10	3900	18	0.559	2.180	39.2
②⑤	D10	1350	420	0.559	0.755	317.0
②⑥	D13	36950	36	0.995	36.765	1323.5
合 計 重 量 (T)						1.932

図-5・9 鉄筋加工図・材料表

主桁・横桁鉄筋の加工図



横桁床版の材料表

種 別	仕 様	単位	1 連当り数量	摘 要
主 桁		本	7	
床 版	コンクリート	Spec = 300 kg/cm ²	m ³	48.6
	P C 銅 線	12 ^φ	t	1.873
	シ ー ス	φ 35	m	1013.4
	グ ラ ウ ト		m ²	0.976
	型 枠		m ²	218.5
	鉄 筋	SD30, D10 D13	t	1.932
橋 面 工	舗 装	車 道	m ²	322.2
		歩 道	m	143.2
	地 覆	コンクリート	m ³	55.8
		型 枠	m	109.5
		鉄 筋	t	0.207
	伸 縮 継 手			
支 承				

主桁材料表

種 別		仕 様	単位	1 連当り数量	
主	コンクリート	ck = 4 0 0 kg/cm	m ³	29.5	
	P C 鋼 線	1 2 ϕ mm 本	t	1.241	
	シ ー ス	ϕ 3 5	m ²	342.3	
	グ ラ ウ ト		m ²	0.544	
桁	型 枠	上突縁側面及び桁端面	m ²	16.0	
		横 桁 取 付 部	m	4.9	
		そ の 他	m	179.7	
	定 着 具	主ケーブル用	1 2 ϕ	個	22
		横 締 め 用	1 2 ϕ	個	76
	鉄 筋	SD 3 0	端 桁	t	2.633
		D10、D13	中 桁	t	2.492

2・2・4 累積設計と直接設計との材料比較

土木研究所で筆者等が開発した自動設計プログラムのアウトプットと本システムのアウトプットによる材料比較を表-5.12に示した。それに見る限り主要部材のほとんどが差はないと言えよう。

表-5.12 材 料 比 較

設計条件	支 間	3 5.0 m
	幅 員	9.0 歩道幅員(左)2m, (右)2m
	載 荷 重	1 000台/日 以下

種 別	単位	(A)累積設計	(B)直接設計	(B)-(A)	(B)/(A)
桁 高	cm	190	195	5	1.026
主 桁 本 数	本	7	7	0	1.000
P C 鋼 線 本 数	〃	11	11	0	1.000
コ ン ク リ ー ト	m ³	28.56	29.55	0.99	1.035
P C 鋼 線	t	1.25	1.24	-0.01	0.992
シ ー ス	m	344.69	342.32	-2.37	0.993
グ ラ ウ ト		0.55	0.54	-0.01	0.982
型 枠	上突縁側面 および桁端面	15.17	15.96	0.79	1.052
	横 桁 取 付	4.51	4.91	0.40	1.089
	そ の 他	158.48	179.73	21.25	1.134
定着具	主ケーブル用	22	22	0	1.000
	横 締 め 用	152	152	0	1.000
鉄 筋	端 げ た	2.65	2.63	-0.02	0.992
	中 げ た	2.51	2.49	-0.02	0.992

2・2・5 桁高制限に対する本システムの適用性について

P C 桁橋は同一支間のプレートガーダ橋に比較して一般に桁高は低いが、それでも環境条件で桁高が制限される場合がある。本節はこのような桁高制限に対して本システムの適用性について検討した事項について述べるが、まず結論から言えば、桁高制限の設計データを使っていないので適用には限界がある。本システムを簡潔に設定し得た理由の1つが桁高を除く主桁断面寸法、主ケーブル配置パターン等を固定化しているためでありそれらも変化させた場合は、帰帰モデルが極めて複雑となる。そこで主桁本数Nを増して桁高を低減することとして、現行の自動設計プログラムのアウトプットを比較したものが表-5.13である。この場合、上フランジ幅Bは150cmの制限をはずして、ある程

度自由に变化しうるように改良した。桁高を5cm毎にまるめるとすれば両者の差はほとんどなく、また桁高を制限しない場合との差は支間によって異なるが、10～20cm位の制限は可能である。

表-5-13 桁高制限の設計例

支 間 (L)	車道+歩道 (W)	車 道 (W)	主桁本数 (N)	主ケーブル本数 (NPC)	上フランジ幅 (B)	桁 高 (H)	
						累積設計	回帰式
22.0 ^(m)	12.50 ^(m)	8.50 ^(m)	8 ^(本)	7 ^(本)	135 ^(cm)	99	95.5 ^(cm)
24.0	9.50	7.50	6	8	140	109	108.3
26.0	9.50	9.50	6	8	140	121	119.2
28.0	9.50	7.50	6	9	140	131	132.4
30.0	8.50	8.50	6	9	130	141	140.3
32.0	10.50	6.50	7	10	145	144	149.2
34.0	13.50	7.50	8	10	145	171	172.7
36.0	9.50	7.50	6	11	140	179	180.4
38.0	7.50	7.50	5	12	140	184	189.0
40.0	10.50	6.50	7	13	130	192	193.2

2・2・6 図化システムのパターン化

本システムは先に記述したようにその第1目的は、類例の多い構造物の力学的設計業務の省力化を図ることであった。したがって、その利用の対象は計画または設計担当者、つまり、土木専攻の技術者である。

一般に土木設計の成果である図面によって物を建造する場合、我われは図面の線の長さをスケールアップして利用することではなく、図面に記入してある数値をもとに物を造り、検査を行なう。また、力学モデルによる数値的な理論解による自動設計でも、その設計計算と図化のための座標計算とは、後者が数倍のラン・タイムを要する。

そこで、簡略な設計計算式を中心とする本システムでは、その特長を生かすべく図化システムもパターン化を行ない、座標計算は省略した。

第3章 評価要素を設計条件とする設計法

一単純非合成鋼板桁橋を例とした計画論と整合を 考慮した土木設計法(その2)一

3・1 評価を考慮した設計法について

評価を考慮した設計法としては、1・2節において分類しているように、次の3方式がある。

- ① データバンク方式
- ② 統計モデル方式
- ③ 現象モデル方式

データバンク方式、あるいは統計モデル方式では、現実の設計例での評価値を用いるため、現実の設計法、すなわち、応力度法によって得られた諸元の範囲をこえることはできず、たとえば、安全性について言えば、その主桁剛度は、巾員、橋長、等級が与えられれば、一定値以上のものしか得られないことになる。したがって、設計法としては、現在の設計法の前提の下に、その諸元指定の計算手間を省略し、しかも、目標値にもっとも近い諸元を指定する計算法と言えよう。

現象モデル方式においては、現実の設計手法とは関係なしにその諸元を指定できる。したがって、論理的には、いろいろなvariationの橋梁の設計が可能になる。

しかしながら、現実の橋梁の製作、架設に必要なすべての構造諸元がすべて評価に関係づけられ、その値が定められる事は不可能であり、細部については、過去の構造の蓄積にもとづいて、決定的あるいは回帰分析により諸元を定めることが必要であろう。

したがって、本章の今後の展開は、現象モデル方式を中心にするとしても、それと統計モデル方式との混成方式による設計法となる。また、理論を展開するためのケース、スタディとして非合成鋼板桁橋を対象とした。

設計手法のメインルーチンの概要は次のとおりである。

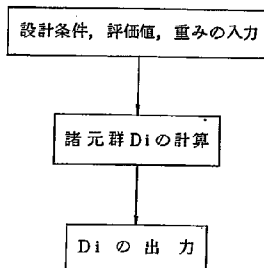
(1) 統計モデル方式

○前提条件

- (a) 各諸元と橋梁の物理的諸条件(支間長、巾員構成等)あるいは社会、環境条件(交通量、混入率、地域条件等)および評価が回帰式で示されている。

諸元群 $D_i = f(\text{設計条件, 評価 } V_j, \text{重み } \alpha_j)$

○ メインルーチン



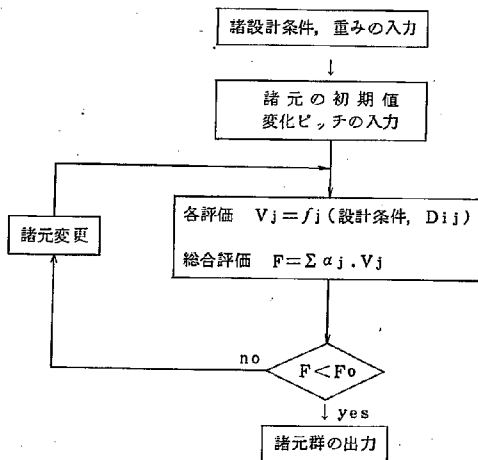
(2) 現象モデル方式

(a) 各諸元群と橋梁の物理的条件, 社会環境条件および評価がモデル式で示されている。

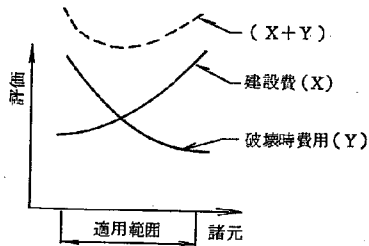
評価 $V_j = M_j$ (設計条件, 諸元群 D_{ij})

(b) 各評価に対する重みづけが既知 α_j

○ メインルーチン



。 諸元と評価の関係の一例（安全性）



3・2 評価の内容および重みづけ

3・2・1 評価指数

非合成鋼板桁橋に対する評価項目としては

- ① 安全性
- ② 耐久性
- ③ 経済性
- ④ 環境適合性

を考慮する。これらの概念を具体的な数値表現するために、各評価項目に対して指標を設定する。この指標は人間の価値判断を容易にする数値である。ここではその取り扱い上、次の評価指標を設定した。

- ① 安全性 → 部材の破壊確率
- ② 耐久性 → 鋼版の材質と塗装周期
- ③ 経済性 → 鋼重
- ④ 環境適合性
 - 振動性状 → 自動車走行による橋梁振動速度
 - 騒音 → 騒音レベル（着目点の）、被害者数
 - 景観 → 景観レベル

これ等は、あくまでも非合成単純鋼板桁橋を対象とした場合の評価項目および指標であり、他の構造物の場合には異なった項目および指標が選択されよう。

環境適合性のうち、騒音と景観については、単純桁を対象とした場合には、その橋梁諸元の変化に対して評価指標の変動は現在のところあまり認められない。これらは、たとえば、支間割が異なる場合、橋梁形式が異なる場合、あるいは使用材質が異なる場合にその値が変動する。

以下に各評価指標の有する具体的な意味を述べる。

(1) 安全性——破壊確率

部材の安全性は、作用力と抵抗力との関係で定まる。作用力および抵抗力は、確率事象であるので、部材の安全性も確率事象となる。構造物の供用の面より考えれば、現在用いられている材料の許容応力以上に作用力による応力が発生しても、必ずしも部材が破壊し、利用不可能になることはない。したがって、安全性について検討する場合には、部材の降伏に着目し、作用力(S)と抵抗力(R)との関係より、 $S > R$ になる確率、すなわち破壊確率(P_f)を求め、部材の安全性を評価せねばならない。もっとも部材はある耐用年数を考えた場合、 $S > R$ になる事象が1度存在してもすぐさま破壊(供用停止)するわけではなく、 $S > R$ の事象が繰り返されて、破壊に至る。したがって耐用年数期間中(T 年)に $S > R$ の事象が K 回発生して破壊すると仮定し、破壊確率は T/K 年間に $S > R$ が1回生ずる確率を求め、それを破壊確率と定義する。

(2) 耐久性——鋼板の材質と塗装周期(維持費)

構造物の耐久性は、その部材を構成する材料の経年的な変化に対する評価である。非合成鋼板桁の主要構成材料はコンクリート鋼板である。

床板の材料であるコンクリートは、過去のデータから判断するかぎり、その強度の低下は橋梁の耐用年数50年程度においては生じない。また、中性化の進行は鉄筋のかぶり厚を3cm程度有しておれば、問題となることはない。したがってコンクリートの耐久性については、ここでは省略する。

主桁の主材料である鋼板は、常に外気により腐蝕作用を受ける。

この鋼板の腐蝕作用により、主桁部材はその剛度を低下させる。したがって、鋼板の材質と塗装周期が与えられると、その腐蝕の進行速度より主桁剛度低下率が求められることになり、これによる破壊確率の増加が与えられることになる。

以上の考え方は現実の維持・管理態勢にそくしたものである。しかし、計画段階ではむしろ供用期間中の破壊確率の低下を考えることは望ましいことではなく、むしろ、破壊確率の低下がない状態を維持するのがあるべき姿であるが、ここでは一般的に考えて鋼材質と塗装周期を評価指標と考え、それにより安全性の低下は安全性の評価へフィードバックして考慮する。

(3) 経済性——鋼 重

省 略

(4) 振動性状——振動速度

振動性状は、自動車走行による橋梁の振動が歩行者に対して与える感覚の評価である。実験によれば、人間の振動感覚は振動速度でとらえることができる。

(5) 騒 音——騒音レベル(着目点の)、被害者数

騒音は道路上の自動車通過による発生騒音レベルが、着目点における距離減衰を経た騒音レベ

ル、およびその騒音レベルに対して付近住民が生理的あるいは心理的な被害を受ける割合、すなわち、被害者数で評価指標を表わす。

(6) 景観——景観レベル

景観レベルは、架橋地点付近の景色を、図形化し、その主要な構成要因（線形の形状、全体の色調等）により人間の受ける感覚を数値化したものである。

3・2・2 評価関数

評価指数は客観的な数値であり、そのままでは一般に評価されにくい。したがって、この指標をより具体的な同一のレベルにおける評価値で示す必要がある。この評価関数は、本文では価格表示によって表現する。したがって、環境適合性に対しては、かなり独断的な評価である。

次に各評価項目ごとに社会的費用の算出方法について説明する。

(1) 破壊確率——破壊時費用

橋梁が架設された場合においては、橋梁の破壊した場合の社会が受ける損失は、道路利用者の受ける利用費増（迂回することによる）と、道路管理者の受ける橋梁再建費とである。

破壊確率（ t 年間の） Pft

利用費増 C_u i : 資本の機会費用

橋梁再建費 C_r

とすれば、破壊時費用 C_f は、供用期間を T 年間として

$$C_f = \sum_{t=0}^T [Pft(C_u + C_r) / (1+i)^t + (1-Pft) \cdot Pf(T-t) \cdot (C_u + C_r) / (1+i)^{T-t}]$$

で算定できる。

..... (5・11)

(2) 鋼板の材質と塗装周期——塗装用維持費および破壊時費用

構造物を架設した場合の耐久性の評価関数は、耐用年数間における維持費、および材料の劣化による破壊時費用の増分を考える。

ここで C_p ; 1回当りの塗装費

i ; 資本の機会費用

T ; 供用期間

t ; 塗装周期

C_{ma} ; 鋼材材質によるエキストラ費（耐候性材使用の場合）

$n_0 = T/t$ の整数とすると、塗装用維持費と破壊時費用の計 C_m は次式で示される。

$$C_m = C_{ma} + \sum_{n=1}^{n_0} C_p (1+i)^{-n \cdot t} + C_f \quad \text{..... (5・12)}$$

(3) 鋼 重——初期工事費

経済性の評価関数は、架設に要する初期工費を考える。これには、材料費、製作費、運搬費および架設費を含むとして式(5・13)で表現する。

ここに C_{ma} ; 材料費

C_{mf} ; 製作費

C_t ; 運搬費

C_e ; 架設費

$$\therefore C_i = C_{ma} + C_{mf} + C_t + C_e \quad \dots\dots\dots (5 \cdot 13)$$

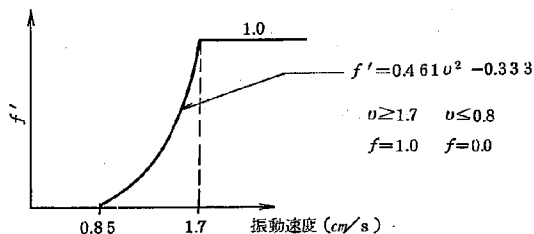
(4) 振動速度

自動車の走行による橋梁振動に対する歩行者の感覚の評価は橋梁を架設した場合における橋梁の固有の評価である。人体の振動感覚は、振動速度に関係し、今までの研究によれば、

明有感 $V_0 > 0.85 \text{ cm/sec}$

不快 $V_1 > 1.7 \quad "$

である。橋梁の機能として、歩行者に対して不快を感じさせることは、評価として最低である。



通常、設計においては、振動が大きくなる時には、その断面剛度を大きくして、振動速度が小さくなるように修正する。

経験式によれば、歩道設置のための費用は、次式で示される。

$$C_w = \frac{bw}{2 \cdot b} \cdot C_i \quad \dots\dots\dots (5 \cdot 14)$$

ここに C_i ; 橋梁工費,

bw ; 歩道巾員,

b ; 総巾員

したがって、歩行者が不快感を覚える場合には、歩道設置の意味がなくなると考え、次式のような評価式を設定する。

$$C = \frac{bw}{2 \cdot b} \cdot C_i (0.461 v^2 - 0.333) \quad \dots\dots\dots (5 \cdot 15)$$

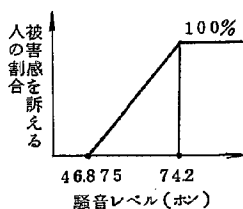
$$v \geq 1.7 \text{ cm/s} \quad C = \frac{bw}{2 \cdot b} C_i$$

$$v \leq 0.85 \quad C = 0$$

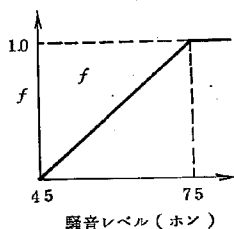
710

(5) 騒音レベル - 被害者数 - 補償費

騒音に対する人体の感覚は、その置かれた状況によって大きく変化する。騒音によって被害感を訴える周辺住民の調査結果によれば、同一騒音レベルに対しても被害意識が異なっている。



上図によれば、着目地域の騒音レベルを知れば、それに対する被害者数も知ることができる。最近の新幹線公害問題、あるいは建設省における自動車騒音に対する補償についての考え方は、ある一定騒音レベル以上（新幹線では80ホン、自動車騒音では、地域に応じた夜間の規制値騒音レベル以上70 or 75ホン）の地域について防音室工事費を負担しようとする方向にある。上記の考え方は規制値以下の場合に対しては無視しているので、評価としては不十分であろう。したがって、ここでは規制レベル以下の場合をも考えて、以下の評価式を用いる。



$$f(x) = \frac{1.0}{30} (x - 45) \quad (f(x) \leq 1) \dots\dots (5 \cdot 16)$$

$$C = C_p \cdot \eta(x) \cdot f(x) \dots\dots\dots (5 \cdot 17)$$

ここに C_p ; 防音室工事費 (1室当り)

$\eta(x)$; 被害者数

ここに騒音に対する補償費Cは遮音壁工事費 (遮音壁の高さ) との関係から判断されるものであり、両者の組合せの最適値が評価の対象に選ばれることになる。

(6) 景観レベル -

景観の評価は、橋梁を架設した場合としない場合における景観レベルの変化で評価されよう。また橋梁を架設した場合において景観レベルの高い地点に架橋することによって景観レベルが低くなる場合と、景観レベルの低い地点の架橋によって同一レベルだけ低くなる場合とではその評

価が異なる。したがって、評価関数 f は

$$f(L - L_0, L_0)$$

で表わせる。

ここに L_0 ; 架設しない場合の景観レベル

L ; 架設した場合の景観レベル

通常、橋梁の景観を考慮して橋梁の形状を変化させる場合、その経済的限度は工事費の約10%と考えられている。多くとも20%程度であり、それ以上になる場合には橋梁形式の変更が考えられる。換言すれば景観の価値として、その程度の評価が与えられていることになる。もっとも、この評価は、国立公園内等、特殊な地域によっては、さらに大きくなる。

以上より、ここでは通常の場所を対象として、次の評価式を用いる。

$$C_s = 0.1 \times C_i \cdot f(L - L_0, L_0) \\ = 0.1 \times C_i \times L_0 \times (L_0 - L) \times 10^{-4} \quad \dots\dots\dots (5.18)$$

ここに C_s ; 景観評価額

L_0, L ; 100点表示 $\left(\frac{L_0}{100} - \frac{L_0 - L}{100} \right)$

C_i ; 初期建設費

すなわち、 $L > L_0$ の場合は、景観評価額は便益として計上され、 $L < L_0$ の場合は費用増加となる。

3.2.3 重みづけ

各評価間の関係は、重みづけによって表現される。この重みづけは、橋梁の設置される環境によって異なるものであり、一率に表現できない。したがって、本システムでは、外生化して、設計者によってインプットすることになる。

建設省の工事事務所(5ヶ所)における各評価項目ごとのアンケート調査(技術系係長以上対象)によれば、以下の結果を得ている。(付属資料(2))

評価項目	安全性	耐久性	経済性	環境適合性		
				騒音	振動	景観
重み平均値	29.32%	23.18	22.00	9.97	8.13	7.40
標準偏差	10.04%	8.67	10.64	5.14	4.61	3.79

以上の結果より判断すれば、安全性、耐久性、経済性、および環境適合性という概念の有する重みは、標準偏差としてかなり大きなばらつきを示しているが、四者はほぼ等しい状態であり、環境適合性にかなりの重みが設計において考慮されるべきと考えられていることを示している。

本アンケート調査は、上記の6ヶの概念に対して、設計において考慮すべき心がまえ的な重みづけ

について調査したものであり、本論文の評価にそのまま利用できるものではない。先述のように、この重みづけは設計担当者が、架橋地点の状況に応じて、適時定めるものであろう。

重みづけをとくに考慮する場合は、

- 管理体制（道路の重要性）
- 周辺住民数
- 風致地区、国県立公園

等の状況を考えて、重みを決定すべきであろう。

重みづけを行なう場合、各評価の評価値は現段階においては下表のように、同一レベルにおける評価値とは言いがたく、

項 目	実 経 費	仮 想 費 用
安全性	再建費	利用者損失
耐久性	{ 塗装費 再建費	{ 美観損失 利用者損失
騒音	遮音壁工事費	{ 騒音評価値 美観損失
振動	_____	振動評価値
景観	_____	景観評価値
経済性	建設費	_____

したがって、ここでは各評価項目に対する重みづけは、上表の区別に対して、個別に考慮することにする。

3・2・4 総合評価

以上の評価関数および重みづけにより、総合評価は、次式で表わされる。

$$V = \sum_{n=1}^6 \alpha_n \cdot C_n \quad \dots\dots\dots (5 \cdot 19)$$

ここに α_n ; 各評価項目に対する重み

C_n ; 各評価関数（安全性、耐久性、経済性、騒音、振動、景観）

3・3 設計法の骨格と設計例

3・1節に述べたように、諸元と評価との間を結ぶ関係は、データバンク方式、統計モデル方式、および現象モデル方式の3方式がある。前2者は、現実に架設された橋梁の評価に基づいてアウトプットが得られることになっており、その関係を求めるためには、莫大な調査資料が必要である。

現段階では、それに要する調査資料が集積されていないため、本論文では、橋梁諸元と評価との関係を主として現象モデルで表わす方式を以下に示す。

橋梁の主要諸元と、評価項目との関係を、下表のマトリックスで表現する。

表-5・14 諸元と評価との関係

諸元 \ 評価	安全性	耐久性	経済性	騒音	振動	景観
床版	○	△	○			
主桁	○	○	○	△	○	○
横桁	△	○	△			
対傾構	△	○	△			
省	○	△	△			
伸縮継手		△	△	○		
高らん		△	△	○		○
排水		△	△			

○ ; 関係あり

△ ; やや関係あり

各諸元の、橋梁の機能に対するかわり合いに対する相対的な評価は、表-5・14に示す通りである。

一つの諸元はすべての評価項目に関係づけられることは必ずしもない。したがって、評価と諸元が1:1の関係で表わされる場合は本設計法においては細目の対象とし、したがって、ここでは構造物諸元を次のように選択した。

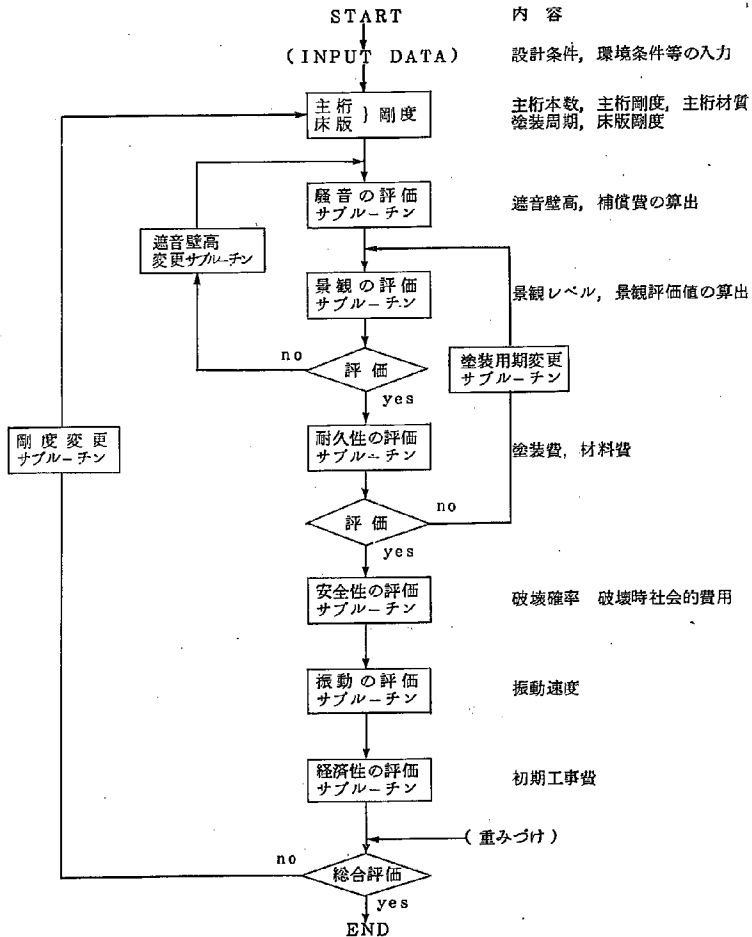
諸元	細目
床版	版厚、鉄筋量
主桁	桁高、断面係数、材質、主桁本数

高らん 壁高らん高

上記以外の諸元、たとえば、主桁構成、桁継手構造、横桁、および対傾構の構成等については、過去のデータによる回帰分析等の決定論的な手段によって求められるものと想定した。

3.3.1 直接設計法のメインルーチンフローチャート

モデル式を用いた直接設計法のメインルーチンフローチャートを下図に示す。



3・3・2 各評価モデル式

(1) 騒音の評価

A. 任意点の騒音レベル推定式

ある受音点の騒音レベルの中央値の推定は、無限に長い一直線上を音響パワーの等しい等指向性点音源と仮定される車が等速度で走っていると仮定する。

L_{50} ; 騒音レベルの中央値〔dB(A)〕

LW ; 一台の車から発生する騒音のA特性による平均パワーレベル〔dB(A)〕

$$= 85 + 0.2V + 10 \log(b_1 + 3.2b_2 + 16b_3)$$

b_1, b_2, b_3 , 3車種の場合の車種混入率

$$b_1 + b_2 + b_3 = 1.0$$

b_3 = 大型車, b_2 = 小型貨物, b_1 = 乗用車類

l ; 音源から受音点までの距離 (m)

d ; 平均車頭間隔 ($d = 10^3 V/Q$)

Q ; 交通量 (台/h)

V ; 速度 (km/h)

α_i ; 距離減衰の補正值〔dB(A)〕

α_δ ; 回折による " ["]

δ ; 行路差

$$L_{50} = LW - 8 - 20 \log l + 10 \log \left(\pi \frac{l}{d} \tanh 2\pi \frac{l}{d} \right) + \alpha_i + \alpha_\delta \quad \dots\dots (5.20)$$

行路差 δ は、図-5・10 によって、(5・21) 式で表わされる。

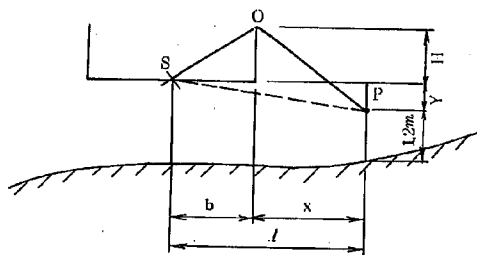


図-5・10 騒音の回折

$$\begin{aligned} \delta &= \overline{SO} + \overline{OP} - \overline{SP} \\ &= \sqrt{H^2 + b^2} + \sqrt{(Y+H)^2 + x^2} - \sqrt{Y^2 + l^2} \quad \dots\dots (5.21) \end{aligned}$$

距離減衰の補正は、図-5・11 を用いる。

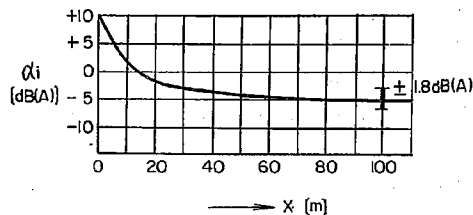


図-5.11 地上1.2mの点の騒音レベルの中央値を計算するときの補正値 α_i (高架)

さらに、回折による補正は図-5・12 を用いて計算する。

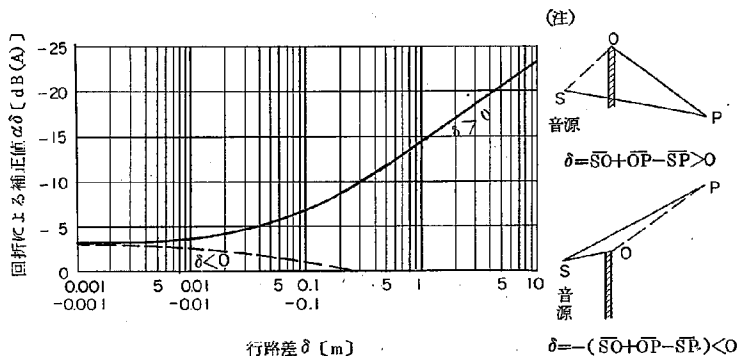


図-5.12 回折による補正値 α_d の計算図表

B. 騒音に対する意識

建設省土木研究所(千葉支所)が行なった「道路交通騒音に対する住民反応の計算解析」によれば、騒音レベル $L_{50}(24)$ に対する住民の被害意識は以下の通りである。

ここで、 $L_{50}(24)$ は24時間における騒音レベルの中央値である。

アンケート方法は「全般的にいて、道路からの騒音は、日常生活を営むうえで気になりますか」という問いかけの形式をとっており、これに対する答えとして、

- i) 非常に気になる。
- ii) かなり気になる。
- iii) あまり気にならない。
- iv) 全然気にならない。

の4ランクに分けて、解答を集め、このうち i) , および ii) の2つの解答を交通騒音に対する人間の「被害意識」と考え、横軸に $L_{50}(24)$ をとり、縦軸に「被害意識」をもつサンプルの割合(%) として示したものが図-5.13である。この図より、 $L_{50}(24)$ の各範囲ごとに折線で近似すれば、式(5.22)のようになる。

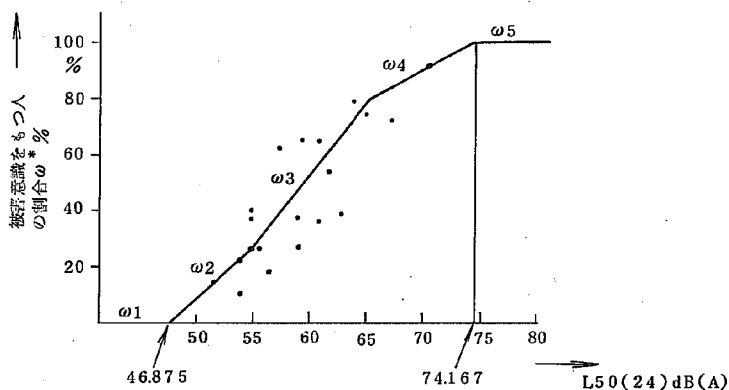


図-5.13 騒音と被害意識の関係

ω^* (%) :

$$\begin{array}{ll}
 L_{50}(24) < 46.875 & \text{に対し } \omega_1 = 0.0 \\
 46.875 \leq L_{50}(24) < 55 & " \quad \omega_2 = -150 + 3.2 \times L_{50}(24) \\
 55 \leq L_{50}(24) < 65 & " \quad \omega_3 = -260 + 5.2 \times L_{50}(24) \\
 65 \leq L_{50}(24) < 74.167 & " \quad \omega_4 = -78 + 2.4 \times L_{50}(24) \\
 74.167 \leq L_{50}(24) & " \quad \omega_5 = 100.0
 \end{array}$$

..... (5.22)

C. 騒音の評価

ここでは、i) において記した騒音レベル推定式で騒音レベルを求め、それを ii) における「被害意識」に結びつけ、適用することによって、ある道路周辺における(騒音レベル, 被害

者数)の一連の組み合わせを求め、騒音を評価する。

具体的な評価法は以下のとおりである。

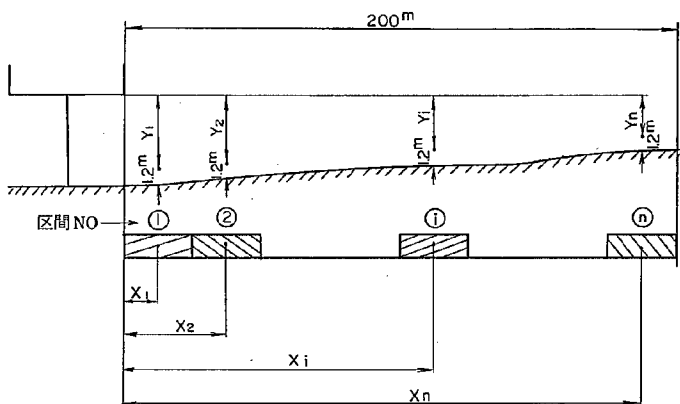


図-5.14 騒音解析モデル

上図に示したごとく、高架部橋断面方向を路線の左右それぞれ単位巾 b^m で n 分割する。

($b \times n = 200^m$)

また第 i 区間の代表位置 $X_i = \frac{1+2(i-1)}{2} b^m$ に対する路面と受音点の高低差を Y_i^m , 全橋長に対する i 区間の人口を P_i 人 と考える。

以上の状況に対して、所与の環境情報、計画情報、さらに遮音壁等のデータが与えられると、路線の左右別の各区間の騒音レベルとそれに対応する被害者数が求められる。

$$(L_{50i}, W \cdot P_i) \quad i=1 \sim n$$

したがって総被害者数 P^* は次式で求める。

$$P^* = \sum_{i=1}^n \omega_i P_i \quad \dots\dots\dots (5.23)$$

ここに ω_i ; i 区間の騒音レベル L_{50i} に対する被害意識割合

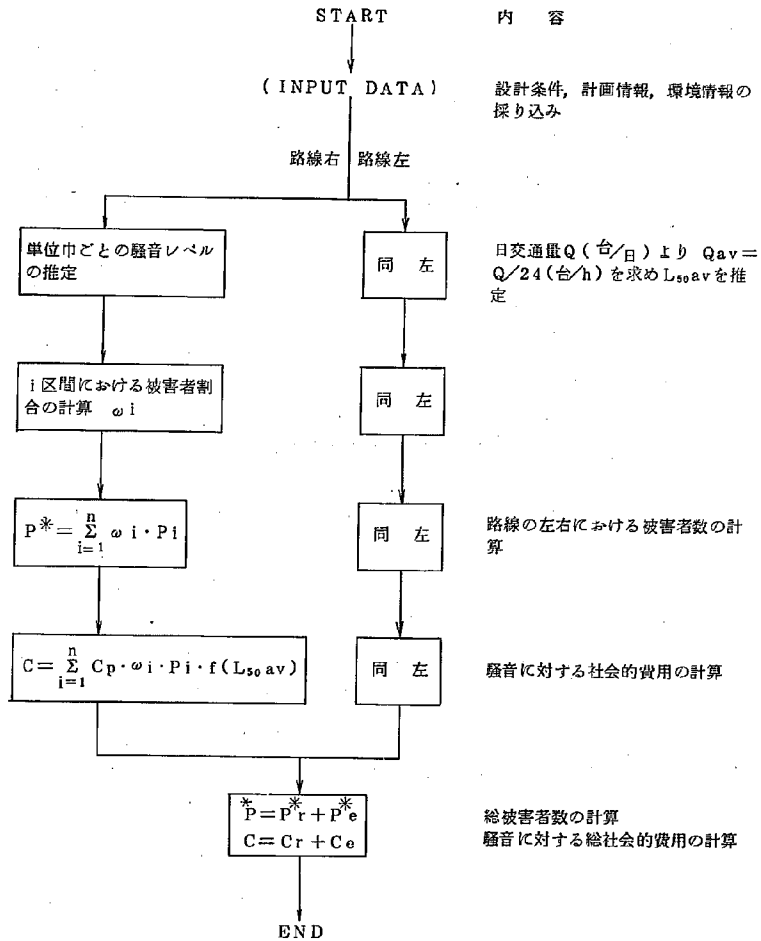
P_i ; i 区間の橋長にそっての人口

騒音の評価としては、上記の $(L_{50i}, \omega_i, P_i) \quad i=1 \sim n$ の結果を用いて、次式で表わすことができる。

$$C = \sum C_p \cdot \omega_i \cdot P_i \cdot f(L_{50i}) \quad \dots\dots\dots (5.24)$$

ここに $f(L_{50i}) = \frac{1.0}{30} (L_{50i} - 45)$

D. 計算フローチャート



(2) 景観の評価

A. 景観レベルの計算

景観を評価するために、架橋地点のもっとも見られる頻度の高い場所よりの画面をとり出し、その画面を構成している種々の要素を数値で採点する。この要素の分析方法、および採点方法についてはアンケート調査によって解明した。その詳細は付録に記載した。

モデル式は、次のとおりである。

$$\left. \begin{aligned} S &= \sum_{i=1}^5 S_i \\ S_i &= \sum_j \bar{S}_{ij} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5 \cdot 25)$$

ここに

S_i ; 画面構成要素 i の持つレベル

$\bar{S}_{ij}$; i 要素に対して、 j 成分の得点

(5・25) 式で表わす。各要素に対する得点は表-4・15 および表-5・16 に示す。

景観レベルは橋梁を架設する場合としない場合について求める。前者を S 、後者を S_0 とする。したがって景観の評価は、式(5・18)により、次式によって計算する。

$$C_s = C_i \cdot S_0 \cdot (S_0 - S) \cdot \times 10^{-5} \dots\dots\dots (5 \cdot 26)$$

ここに

C_s ; 景観に対する社会的費用

C_i ; 橋梁の初期工費

S ; 景観レベル (架設した場合)

S_0 ; " (" しない場合)

表-5・15 要素の構成とランクづけ

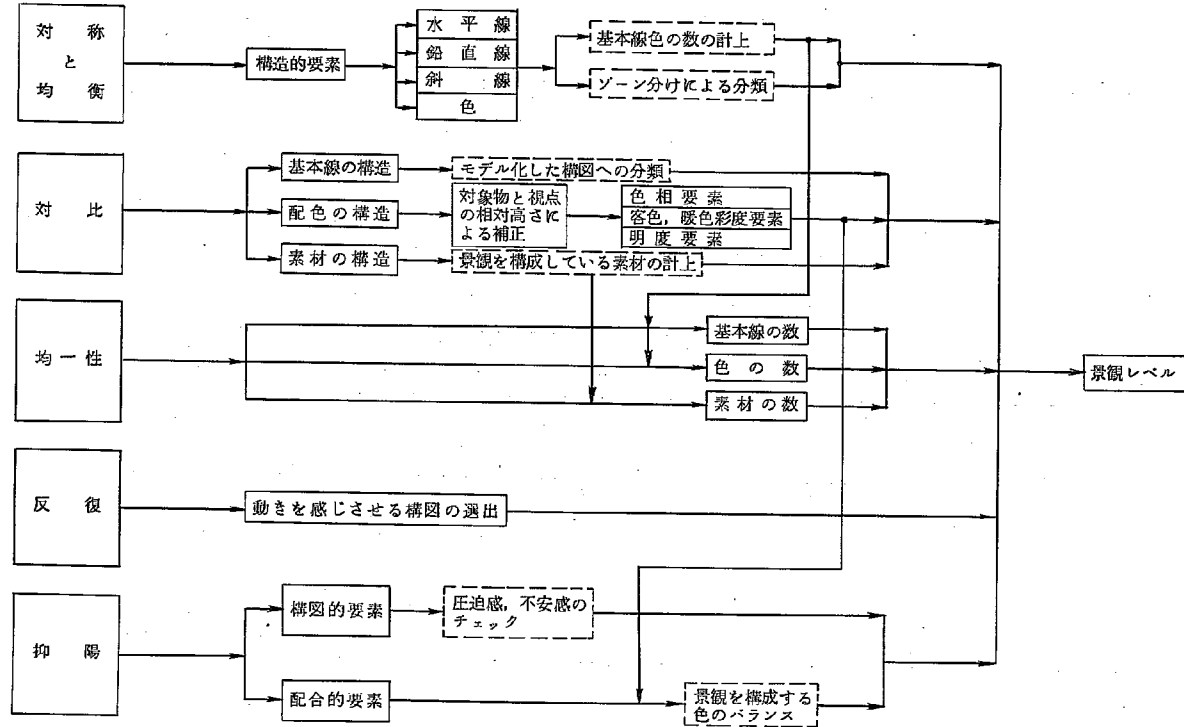
構成要素		要因		ラ　ン　ク　づ　け																																																							
対 称 と 均 衡	画面を安定する要素	安 定⇔不安定	中央鉛直軸、中央水平軸に対しての位置		<table><tr><th>ランク</th><th></th></tr><tr><td>水平線</td><td>A</td></tr><tr><td>鉛直線</td><td>B</td></tr><tr><td>斜 線</td><td>C</td></tr><tr><td>色※</td><td>D</td></tr></table>						ランク		水平線	A	鉛直線	B	斜 線	C	色※	D																																							
					ランク																																																						
水平線	A																																																										
鉛直線	B																																																										
斜 線	C																																																										
色※	D																																																										
対 比	画面と鮮明にする要素	明 瞭⇔不明瞭	1.基本線の構造 2.配色の " 3.素材の "	1. 基本線の構造 * <table><tr><th>ランク</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th><th>F</th></tr><tr><td>形</td><td>⊥</td><td>~</td><td>5</td><td>7</td><td>=</td><td>—</td></tr></table>						ランク	A	B	C	D	E	F	形	⊥	~	5	7	=	—	2. 配色の構造※ <table><tr><th>ランク</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr></table>			ランク	A	B	C																													
				ランク	A	B	C	D	E	F																																																	
形	⊥	~	5	7	=	—																																																					
ランク	A	B	C																																																								
均一性	画面を単純化する要素	単 純⇔複 雑	1. 基本線の数 2. 色の " 3. 素材の "	1. 基本線の構造 <table><tr><th>n</th><th>基本線</th><th>色</th><th>素 材</th></tr><tr><td>3</td><td>A</td><td>A</td><td>A</td></tr><tr><td>4</td><td>B</td><td>B</td><td>B</td></tr><tr><td>5</td><td>B</td><td>B</td><td>B</td></tr><tr><td>6</td><td>C</td><td>C</td><td>C</td></tr></table>						n	基本線	色	素 材	3	A	A	A	4	B	B	B	5	B	B	B	6	C	C	C	3. 素材の構造(ランク) <table><tr><th>素 材</th><th>人工空間</th><th>自然空間</th></tr><tr><td>植 物</td><td>A</td><td>A'</td></tr><tr><td>土</td><td>A</td><td>C'</td></tr><tr><td>岩 石</td><td>D</td><td>B'</td></tr><tr><td>金 属</td><td>B</td><td>B'</td></tr><tr><td>コンクリート</td><td>B</td><td>B'</td></tr><tr><td>アスファルト</td><td>C</td><td>D'</td></tr><tr><td>木 材</td><td>D</td><td>D'</td></tr></table>						素 材	人工空間	自然空間	植 物	A	A'	土	A	C'	岩 石	D	B'	金 属	B	B'	コンクリート	B	B'	アスファルト	C	D'	木 材	D	D'
				n	基本線	色	素 材																																																				
3	A	A	A																																																								
4	B	B	B																																																								
5	B	B	B																																																								
6	C	C	C																																																								
素 材	人工空間	自然空間																																																									
植 物	A	A'																																																									
土	A	C'																																																									
岩 石	D	B'																																																									
金 属	B	B'																																																									
コンクリート	B	B'																																																									
アスファルト	C	D'																																																									
木 材	D	D'																																																									
反 復	画面構成部分を繰り返し、方向性と立体感を与える要素	動 的⇔静 的	1.基本線の動きの有無	<table><tr><th>ランク</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr><tr><td>形</td><td>7</td><td>↘</td><td>↓</td><td>→</td></tr></table>						ランク	A	B	C	D	形	7	↘	↓	→																																								
				ランク	A	B	C	D																																																			
形	7	↘	↓	→																																																							
抑 揚	画面全体の調子をひきしめる要素	緊 張⇔弛 緩	1.強調するポイントの有無	<table><tr><th>※ ランク</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr></table>						※ ランク	A	B	C	D	E	※ 採点の手引きを参照してランクづけを行なうこと。																																											
				※ ランク	A	B	C	D	E																																																		

表-5・16 各要素の各ランクに与えられる得点

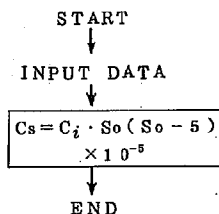
対 称 と 均 衡	ゾ ー ン 広								最 大 得 点
	ランク	A	B	C	D	1	2	3	
	得点	4	3	1	1	係数 1.0	0.5	0.0	25
対 比	基 本 線 の 構 造						配 色 の 構 造		14
	ランク	A	B	C	D	E	F		
	得点	5	4	3	2	1	0		
均 一 性	基 本 線 の 数						色 の 数		19
	ランク	A	B	C			ランク	A	
	得点	6	3	1			得点	7	
反 復	基 本 線 の 動 き						素 材 の 数		28
	ランク	A	B	C	D		ランク	A	
	得点	10	8	6	3		得点	6	
抑 揚	強 調 す る ポ イ ン ト の 有 無								14
	ランク	A	B	C					
	得点	14	7	0					

図-5・17 景 観 レ ベ ル 分 析 図

(主要素)



B. 計算のフローチャート



内 容

初期工費、架設する場合、しない

場合の景観レベル

(3) 安全性の評価

A. 破壊確率の算出

鋼板桁の破壊モードは床版と主桁を対象として考えると、経年変化による材料腐蝕あるいは疲労効果を総合して、

- a. 床版の曲げ破壊
- b. 床版のせん断破壊（パンチングシヤーを含む）
- c. 主桁の曲げ破壊
- d. 主桁の座屈破壊

等があげられる。現段階において、主に検討されるのは、上記の破壊モードのうち、

床版について曲げ破壊

主桁について " と座屈破壊

である。主桁フランジ、およびウェブの座屈については、その断面選定は設計計算において支配的ではなく、曲げ破壊の検討後、断面寸法の選択あるいはスティフナーの設置により処理されるものである。

以上の事柄より、本文では、安全性の評価指標たる破壊確率の算出は、主桁、および床版の両者に対して、曲げ破壊の事象のみを対象として論を進めることにする。

1) 床版の破壊確率

i) 作用曲げモーメント

鋼道路橋示方書によれば、無限連続板の曲げモーメントは、床版の支間中央において、次式で与えられる。

$$\begin{aligned}
 M_d &= \frac{\omega}{10} \cdot \lambda^2 \\
 M_e &= 0.8 (0.12 \cdot \lambda + 0.07) \cdot P
 \end{aligned}
 \quad \dots\dots (5.27)$$

ここに

ω ; 床版の単位面積当りの死荷重

λ ; 主桁間隔

P ; 車輪輪荷重

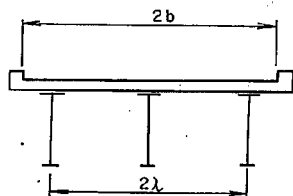


図-5.15 断面構成

実橋においては、輪荷重強度、輪荷重作用位置、および死荷重強度は、確定量でなく確率量である。

第26回建設省技術研究発表会における論文「自動車荷重頻度調査」によれば、

輪荷重作用位置 図-5・16

輪荷重強度 表-5・18

に示すとおりである。

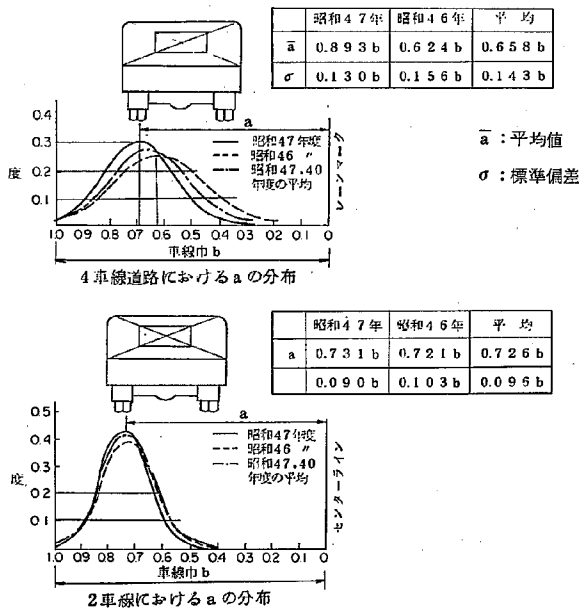


図-5.16 輪荷重作用位置

表-5・18 輪荷重強度分布

路線 番号	調査地点	順日	交通量 台/日	輪 荷 重 別 強 度 分 布										
				1 t 以上	3 t 以上	4 t 以上	5 t 以上	6 t 以上	7 t 以上	8 t 以上	9 t 以上	10t 以上	12t 以上	14t 以上
7	秋田市下北手	1	6070	284	112	715	357	287	252	133	112	69	018	0033
		2	6151	291	109	684	393	332	280	163	127	68	013	0016
		3	6091	306	114	671	389	328	264	164	117	677	011	—
16	埼玉県川越市	1	14998	638	151	971	579	307	143	071	031	013	005	003
		2	16851	612	154	979	621	360	184	085	030	015	004	001
		3	17745	637	159	980	638	—	174	065	024	006	001	—
19	岐阜県土岐市	1	8769	217	653	297	268	168	088	059	026	003	—	—
		2	7851	240	780	474	298	195	111	053	018	—	—	—
		3	7340	361	1290	779	552	364	233	136	078	019	007	001
2	山口県徳山市	1	14504	837	256	118	640	198	037	006	001	—	—	—
		2	13695	797	320	136	612	170	039	005	—	—	—	—
		3	13814	794	333	155	730	212	042	014	001	001	—	—

図-5・16および表-5・18に示されているように、輪荷重位置および輪荷重はかなり変動する量である。現行示方書による床版の曲げモーメントは、輪重として一等橋では8.0tの値を最大影響を与える支間に載荷した結果であり、上述の場合を考えると、その値は過大なる作用曲げモーメントの値を与えると考えられる。したがって、本文では曲げモーメントの値を、次に示す方式によって、てい減した。

(a) 表-5・18の輪荷重強度分布の実測データを用いて最小二乗法による指数分布のあてはめを行なう。すなわち $y = e^{-\lambda x}$ の形状パラメータ λ を決める。

(b) 床版の死荷重による支間中央の曲げモーメント M_D は

$$M_D = \frac{\omega}{10} \lambda^2$$

より求め、標準偏差 $\sigma_{MD} = \mu_{MD} \cdot V_{MD}$ より死荷重モーメントの正規分布形を定める。

$$f_{MD}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{MD}} e^{-\frac{(x-\mu_{MD})^2}{2\sigma_{MD}^2}} \quad (5.28)$$

(c) 活荷重による床版の支間中央曲げモーメントは先に一輪荷重による曲げモーメント

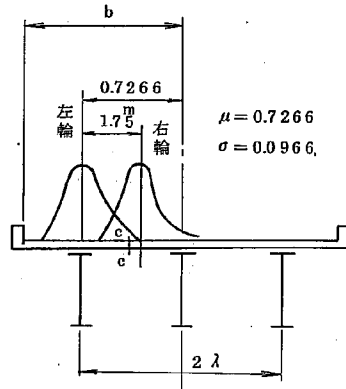
$$M_L = 0.8(0.12\lambda + 0.07)P \quad (\text{道路橋示方書})$$

次に、下図のごとく主桁位置と車輪作用位置との関係より、主桁間隔で支持された単純版の車輪荷重による発生曲げモーメントの平均値、およびその分散値を求める。

$$(\mu_M, \sigma_M)$$

さらに、主桁間隔 λ で支持された単純版の中央に P が作用した時の中央曲げモーメント $M_c = \frac{1}{4} P \cdot \lambda$ を計算し、曲げモーメントのてい波率 $\eta = \mu / M_c$ を算出する。

- (d) (c)で求めた η と M_c を用いて、截荷位置による低波率を考え活荷重モーメント $M_c = \eta \cdot M_c$ を求める。
- (e) 床版の耐用年数、日平均交通量、輪重分布 $S > R$ の回数から活荷重モーメントを極値分布(二重指数分布)に変換する。¹⁷⁾



$$n = \frac{\text{日平均交通量} \times 365 \times \text{年}}{K(S > R \text{ の回数})} \quad (5.39)$$

$$u = \log(n) / \lambda$$

$$\alpha = n \cdot \lambda \cdot \exp(-\lambda u)$$

$$f_{DE}(x) = C \alpha \exp(-\alpha(cx - u)) - \exp(-\alpha(cx - u)) \quad (5.30)$$

ただし、 $C = 1.0 / M_c$ を表わす。

- (f) (b)と(e)で求めた分布形より新しい分布形を次の式によって部材力の分布を求める。

$$f_{NS}(x) = \int_0^S f_{MD}(x) \cdot f_{DE}(S-x) dx \quad (5.31)$$

ii) 床版の終局抵抗曲げモーメント

AASHTOにおける終局耐力計算式を用いる。

$$Mu = \phi \left[(As - As') \cdot \sigma_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + As' \sigma_y \cdot (d - d') \right] \quad \dots (5.32)$$

$$a = (As - As') \cdot \sigma_y / 0.85 \cdot \sigma_c' \cdot b$$

$$\phi = 0.90$$

$$(As - As') / bd \geq 0.85 K_1 \cdot \frac{\sigma_c' \cdot d'}{\sigma_y \cdot d} \cdot \frac{6,300}{6,300 - \sigma_g} \quad \dots (5.33)$$

$$P - P' \leq 0.5 Pb$$

(5.33)式が満足されない場合には、次式を用いる。

$$Mu = \phi \cdot \left[As \cdot \sigma_y \left(d - \frac{As \cdot \sigma_y}{2 \times 0.85 \sigma_c' \cdot b} \right) \right] \quad \dots (5.34)$$

式(5.33)における K_1 は σ_c' の値によって変化する。

$$\sigma_c' \leq 280 \text{ Kg/cm}^2 \quad K_1 = 0.85$$

$$\sigma_c' > 280 \text{ Kg/cm}^2 \quad K_1 = 0.85 - 0.05 (\sigma_c' - 280) / 70$$

記号 A_s ; 引張鉄筋断面積

A_s' ; 圧縮 "

σ_y ; 鉄筋降伏応力度

σ_c' ; コンクリートの圧縮強度

d ; 圧縮縁より引張鉄筋図心までの距離

d' ; " 圧縮 "

$$P_b = \frac{0.85 \cdot K_1 \cdot \sigma_c'}{\sigma_y} \times \frac{6,300}{6,300 + \sigma_y}$$

$$P = A_s / bd$$

$$P' = A_s' / bd$$

作用力, および抵抗力における変動因子は,

作用力……輪重, 作用位置, 死荷重強度

抵抗力……鉄筋強度, コンクリート強度, 床版厚

等をそれぞれ考える。

作用力に対する死荷重強度の分散係数

$$V_D = 0.08$$

と仮定する。

抵抗力に対しては, 土木学会「コンクリートライブラリー 51号」より, 床版厚, および鉄筋強度に対して, 次を示すとおりである。

SD30 試験成績 (昭和48年度)

東京都建築材料検査所

種別 (mm)	D10	D13	D16	D19	D22	D25	D29	計
試験本数	33	42	48	73	65	35	3	299
不合格本数	1	0	0	6	1	0	0	8
不合格率 (%)	3.0	0	0	8.2	1.5	0	0	2.7
不合 格分 区 分 別								
Y	0	0	0	0	0	0	0	0
σs	1	0	0	0	0	0	0	1
σL	0	0	0	6	0	0	0	6
ε	0	0	0	0	1	0	0	1
降点 伏								
M (Kg/mm ²)	36.0	36.8	37.9	37.7	36.4	35.7	33.7	—
S·D (°)	1.5	1.6	1.3	2.7	2.3	1.7	1.5	—
引張 張さ								
M (Kg/mm ²)	52.8	54.0	57.0	57.4	56.0	54.6	53.0	—
S·D (°)	2.6	2.9	2.0	3.9	4.0	2.3	1.7	—
伸 伸								
M (%)	25.6	24.9	24.7	24.4	24.9	24.5	27.5	—
S·D (°)	2.6	2.8	2.1	2.5	2.8	2.3	6.7	—

注: 不合格区分は下記のとおりである。

Y : 降伏点 30 Kg/mm²未済のもの

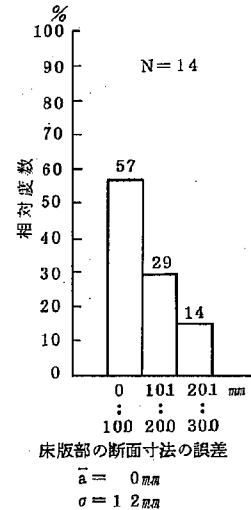
σs : 引張強さ 49 Kg/mm²未済のもの

σL : 引張差 63 Kg/mm²超過のもの

ε : 伸び率不足のもの

表-5・19 鉄筋強度および床版厚の分散値

コンクリート構造物の寸法誤差



コンクリート強度の分散値は、東京都建築材料検査所のデータより、設計強度210～270 Kg/cm²に対して、それぞれ以下の値を用いる。

表-5・20 コンクリート強度

σ_{ck} (Kg/cm ²)	$\sigma_{c'}$ (Kg/cm ²)	変動係数
210	246.0	0.0825
240	274.0	0.0963
270	298.0	0.0534

東京都建築材料検査所(昭和49年度)

II) 破壊確率

作用曲げモーメントの分布 $f_s(s)$ 、および抵抗曲げモーメントの分布 $f_r(r)$ はI)およびII)において求められる。

したがって、この両者による破壊確率は、

$$P_f = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} (f_r(r) dr) \cdot f_s(s) ds \dots\dots\dots (5 \cdot 35)$$

で求められる。

2) 主桁の破壊確率

I) 作用曲げモーメント

支間中央における曲げモーメントに着目する。

$$M_d = \frac{\omega_d}{8} \cdot l^2 \dots\dots\dots (5 \cdot 36)$$

ここに、 ω_d ; 1橋当り単位長当りの死荷重強度

l ; 支間長

車輛による活荷重曲げモーメントは、自動車荷重実態調査結果を利用して、その平均値および分散値を求めることにする。

$$M_L = \mu \cdot M_{es} (1 + i) \dots\dots\dots (5 \cdot 37)$$

ここに μ ; 図-5・17における M_Q/M_D

M_{es} ; 設計L荷重による橋全体の曲げモーメント

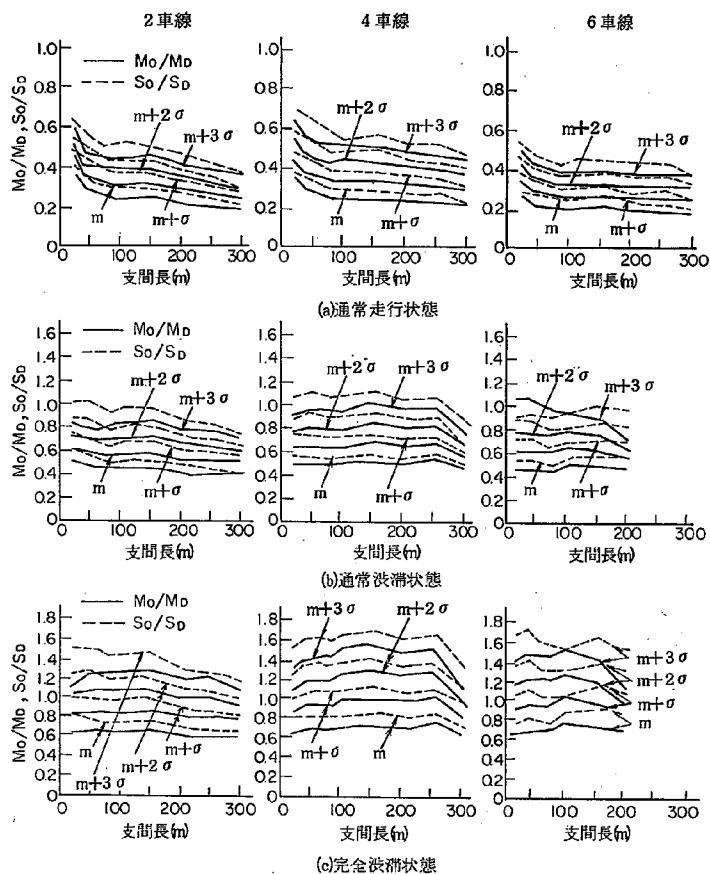
i ; 衝撃係数

歩行者(または群衆)による曲げモーメントは、明確な群集荷重がわからないこと、あるいは、それを考慮しても全体の作用モーメントに大差はない等の理由により省略する。

(5・36)および(5・37)式は、1橋当りのものであり、本文では主桁1本当りに対しては、主桁本数で M_d および M_e を除いて用いる。

主桁作用モーメントの変動は、主桁死荷重、および車輪荷重状態の両者について考慮する。

荷 重 (その2)



ここで

M_o : 実測曲げモーメント

S_o : 実測せん断力

M_D : 設計L荷重による曲げモーメント

S_D : 設計L荷重によるせん断力

m: 各調査地点における M_o/M_D 、 S_o/S_D の最大値の平均

σ : 各調査地点における M_o/M_D 、 S_o/S_D の標準偏差

図-5.17 荷重実態調査結果

式(5・37)による作用曲げモーメントは、

① 完全渋滞状態に対しては、渋滞回数1回に対して求められたもの。

② 通常走行状態に対しては、連行車列の発生回数

である。したがって、耐用年数 $t=50$ 年を考えた場合には、式(5・37)式による M_0 を次式で変換する。

$$N = A \cdot 365 \text{日} \times 50 \text{年} / K \cdots \cdots (5 \cdot 38)$$

ここに、 A ；渋滞に対しては1日に生ずる回数

通常状態に対しては $A = 12 \times 60 \text{分} / 0.36 \text{分} = 2,000$ 回

K ；作用曲げモーメントが抵抗曲げモーメントより大になる回数

$$1/N = \int_{u_1}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_0} e^{-(x-\mu_0)^2/2 \cdot \sigma_0^2} dx \cdots \cdots (5 \cdot 39)$$

ただし、(5・37)式による曲げモーメントの分布は正規分布とする。

したがって

$$\left. \begin{aligned} u &= \mu_0 + \sigma_0 \sqrt{2 \log N} - \sigma_0 \frac{\log \log N + \log 4\pi}{2 \sqrt{2 \log N}} \\ \alpha &= n \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_0} \cdot e^{-\frac{(u-\mu_0)^2}{2\sigma_0^2}} \end{aligned} \right\} (5 \cdot 40)$$

とおくことにより極値分布の分布関数 $F_{MS}(x)$ は、次式で表わされる。

$$F_{MS}(x) = e \times p [-e^{-\alpha(x-u)}] \cdots \cdots (5 \cdot 41)$$

II) 抵抗曲げモーメント

主桁の抵抗曲げモーメントとしては、上・下フランジのいずれかが、鋼材降伏点に達した時の値を採用する。

したがって、抵抗曲げモーメントは、次式によって求める。

$$M_r = \sigma_y \cdot I / y \cdots \cdots (5 \cdot 42)$$

ここに、 σ_y ；フランジ用鋼材の降伏点強度

I ；主桁の断面2次モーメント

y ；中立軸よりの縁端距離

抵抗曲げモーメントの確率分布は、鋼材の降伏点強度、および、主桁製作誤差による分散に対する影響は、鋼材の降伏点強度によるそれに比べて小さいので省略する。鋼材の鋼種ごとに対する降伏点強度に対する平均値および標準偏差を表-5・21に示す。

表-5・21 鋼種別強度(σ_y)

鋼 種	サンプル 数	テ ス ト 値 (Kg/mm^2)		
		メッシュ※	平 均 値	標準偏差
SS41	329	29.0	29.98	3.53
SM50YA	92	42.7	43.42	3.20
SM50YB	15	37.1	38.67	3.32
SM58	77	55.6	55.74	4.00

※対数確率紙への
プロットから求
めたもの

III) 破壊確率

主桁の破壊確率は作用力の確率分布 $f_{MS}(x)$ と抵抗力の確率分布 $f_{MR}(x)$ より、次式で計算する。

$$Pf = \int_0^{\infty} \int_0^s (f_{MR}(r) dr) \cdot f_{MS}(s) ds \dots\dots\dots (5 \cdot 43)$$

B. 構造物の破壊による社会的費用

1) 構造物の再建費用

主桁の破壊確率を Pfg 、および床版確率を Pfs とすれば、いずれも前節の計算によって求められる。

したがって、橋梁の耐用期間中の再建費用は、1橋当りの床版のみの工費を $C's$ 、1橋当りの工費を Cg とすれば、下式で表わされる。

$$Cr = C's \cdot Pfs + Cg \cdot Pfg \dots\dots\dots (5 \cdot 44)$$

2) 利用者の負担増としての社会的費用

利用者が受ける損失としては、う回路を利用することによる時間的、エネルギー的な損失であるとすれば、次式で表現できる。

$$C_{SO} = \{ V_A^1 \cdot M \cdot L^{1/4.0} + (V_T^2 \cdot L^2 / V_S + V_E \cdot L^2) Q \cdot (1 \times \alpha) \} \cdot T \dots\dots\dots (5 \cdot 45)$$

ここに、

C_{SO} ; 社会的費用(円)

V_T^i ; 時間価値($i=1$, 円/時・人, $i=2$, 円/時・台)

L^i ; う回路距離($i=1$ 歩行者, $i=2$ 車輛に対して)

V_S ; 走行速度(Km/h)

V_E ; 走行経費(円/Km, 台)

Q ; 交 通 量(台/円)

T ; 再建期間(日)

α ; サービス水準の低下率

M ; 歩行者数(人/日)

したがって、床版、あるいは主桁の破壊確率を考慮すれば、次のようになろう。

$$C_{SO} = C_{SOS} \cdot P_{fS} + C_{Sog} \cdot C_{fg} \dots\dots\dots (5 \cdot 46)$$

ここに、 C_{SOS} ; 床版破壊時の社会的費用

C_{Sog} ; 主桁 "

時間価値、あるいは走行経費は、文献(14)、および(20)より表-5・22に示す値を用いる。

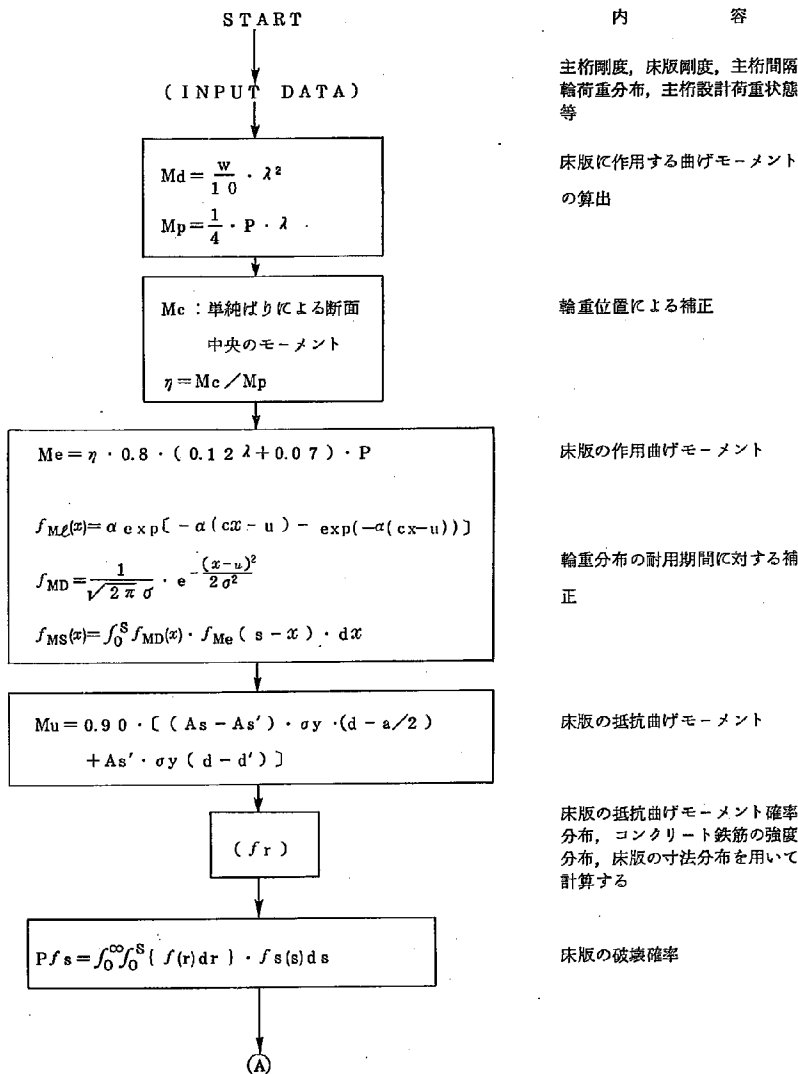
表-5・22 時間価値および走行経費

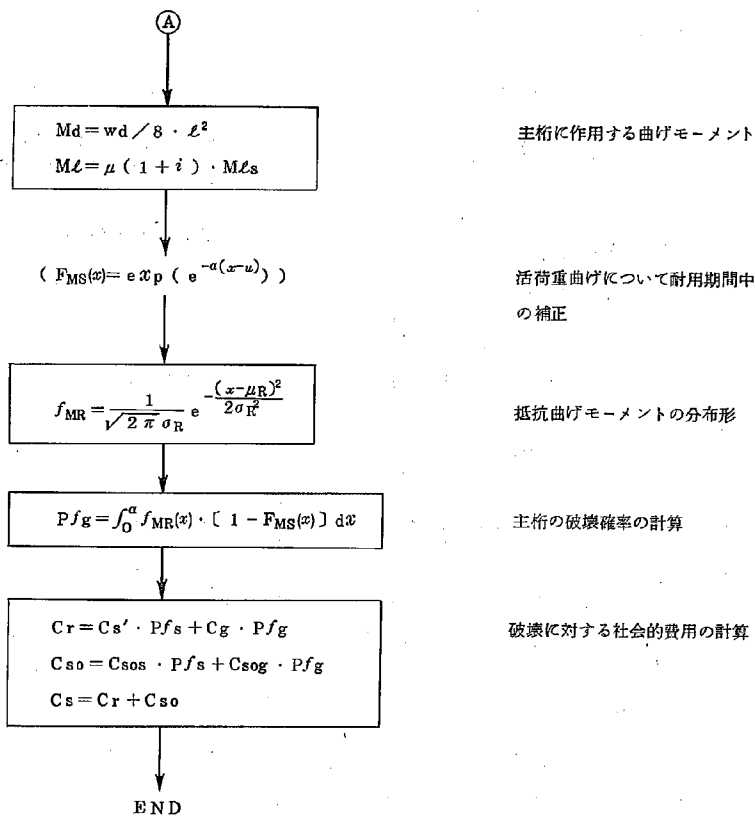
区 分	単 位	単 価	備 考
時 間 価 値	歩 行 者	円/時・人	4 5 0
	大型トラック	円/時・台	4 5 3.5 8 t 車 $m_a \times 50 \text{ km/h}$
	大 型 バ ス	"	5 7 2 観光 20% その他80% "
	小型トラック	"	453.5×0.7 3 1 7 2 t 車 "
	普 通 車	"	5 9 7.1 1,000cc "
走 行 経 費	大型トラック	円/km・台	1 4.4 0
	大 型 バ ス	"	1 9.6 3
	小型トラック	"	6.8 3
	普 通 車	"	6.2 5

以上より、安全性に対する評価、すなわち社会的費用は次式で示すことができる。

$$C_s = C_r + C_{so} \dots\dots\dots (5 \cdot 47)$$

C. フローチャート





(4) 耐久性

A. 鋼材の経年変化

鋼材の経年変化として、ここでは大気中で生ずる鋼材の腐蝕作用のみ考えることにする。鋼材の腐蝕量は鋼材の品質、一構造物内での部材位置、部材の自然的・人為的環境、防錆処置の程度等の複雑な要素の支配を受ける。これら各要因の影響を定量化することは、過去に数多くの研究がなされているが未だその定量化には問題なしとしない。以下に各要因についてその影響を述べる。

○鋼材の品質

橋梁の構造用鋼として一般的に用いられている鋼材は、現在次のとおりである。(道路橋

示方書より)

- (a) 一般構造用鋼 SS41, SS50
 (b) 溶接構造用圧延鋼 SM41~SM58
 (c) 溶接構造用耐候性熱間圧延鋼 SMA41~SMA58

上記の3種の鋼材に対して、錆の発生速度という面より区分すれば、(a), (b)は同一分類であり、結局普通鋼材と耐候性鋼材に区分される。

耐候性鋼材の特徴は、錆として形成される酸化被膜が、緻密で安定した性状を有していることであり、通常3年程度で錆の進行がいちじるしく減少し、安定した状態となる。

図-4・18に鋼種別の大気暴露試験結果を示す。

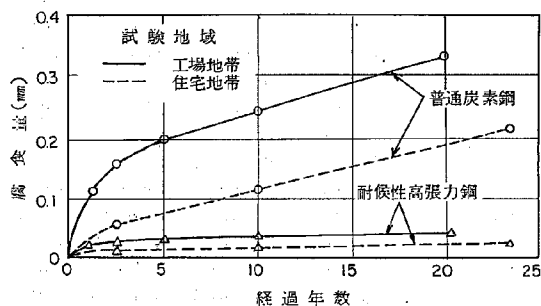


図-5.18 大気暴露試験結果 (JSSC 2 巻7号)

普通鋼の錆の進行速度は、初期の間を除くとほぼ一次関数で表わされることが特徴である。

図-5・18より、経過年数に対する錆の進行度合をごく大まかに示せば、次のようになる。

$$\text{耐候性鋼材 } y = a \text{ (mm)}$$

$$\text{普通鋼材 } y = bt + c \text{ (mm)}$$

t : 経過年数

○部材の自然的・人為的環境

橋梁が設置される環境は、自然的環境をとって考えると、海上・海岸・内陸・河川上・山岳等に大別されよう。さらに人為的環境を考えるとその組み合わせとしては莫大なものになる。それらの各々に対して、鋼の発錆の程度を考えることは、現段階では不可能であり、したがってここでは自然的・人為的環境の区分として次の4区分(陸上鉄骨構造物防食研究会)を用いる。

(イ) 太平洋沿岸地域

(ロ) 日本海 "

(ハ) 内陸地域

(ニ) 工業 "

表-5・23, 図-5・19に各地域区分に対する腐食の進行程度を示す。

表-5・23 各種鉄鋼材料の5ヶ年における地域別および全国平均浸食度〔mm/yr〕

No	地 域 別 鋼 種	太平洋沿岸地域 (御前崎 枕崎)	日本沿岸地域 (輪 島)	内 陸 地 域 (高 山 高 帯 広)	工 業 地 域 (川 崎 東 京)	全 国 平 均
1	キルド鋼(黒皮付)	0.020	0.0140.	0.010	0.048	0.023
2	キルド鋼(研 削)	0.017	0.012	0.008	0.059	0.024
3	リムド鋼(黒皮付)	0.022	0.016	0.010	0.062	0.028
4	リムド鋼(研削削)	0.018	0.014	0.009	0.056	0.024
5	含銅転炉鋼	0.016	0.013	0.008	0.044	0.020
6	50Kg/mm高張力鋼	0.016	0.011	0.009	0.058	0.024
7	60Kg/mm "	0.014	0.010	0.008	0.048	0.020
8	60Kg/mm "	0.016	0.012	0.009	0.056	0.023
9	80Kg/mm "	0.014	0.013	0.010	0.032	0.017
13	SUS21	0.00054	0.00063	0.00038	0.00079	0.00058
14	SUS27	0.000002	0.000002	0.000003	0.000019	0.000006
15	SUS32	0.000004	0.000005	0.000004	0.000012	0.000006
16	SUS35	0.000004	0.000003	0.000004	0.000010	0.000005
17	鋳鉄(FC-20)(鋳はだ付)	0.013	0.019	0.015	0.036	0.021
18	ノジュラー鋳鉄(")	0.012	0.010	0.009	0.038	0.017
19	ミーハナイト鋳鉄(")	0.023	0.020	0.018	0.043	0.026
20	鋳 鋼 SC-49	0.017	0.013	0.010	0.056	0.024
21	アルミ合金 52S	0.00007	0.00006	0.00006	0.00088	0.00027
22	" "	0.00006	0.00007	0.00004	0.00086	0.00026
W1	キ ル ド 鋼	0.018	0.013	0.009	0.058	0.024
W2	リ ム ド 鋼	0.020	0.014	0.009	0.058	0.025
W3	含 銅 転 炉 鋼	0.018	0.014	0.008	0.042	0.020
W4	50Kg/mm高張力鋼	0.017	0.012	0.009	0.060	0.024
W5	60Kg/mm "	0.015	0.012	0.010	0.053	0.022
W6	60Kg/mm "	0.016	0.012	0.009	0.054	0.023
W7	80Kg/mm "	0.015	0.014	0.010	0.036	0.019
W8	鋳 鋼 SC-49	0.014	0.011	0.009	0.041	0.020

図-5・19における腐食の進行度合を回帰分析した結果を表-4・23および図-5・20に示す。ここで腐食量 $g/2dm^2$ を mm に換算すれば

$$1g/2dm^2 = 0.0128mm$$

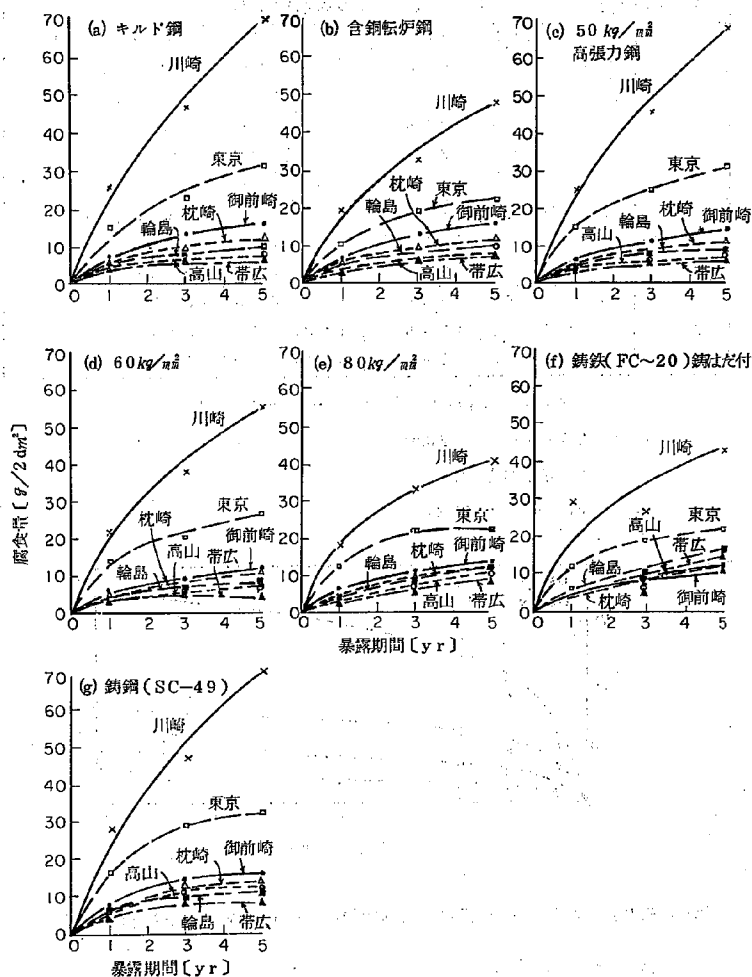


図-5.19 暴露期間に対する腐食量 (鉄鋼材料便覧より)

表-5・24 腐食量回帰分析結果(鉄鋼材料便覧より)

暴露地域	定数	β	t	暴露地域	定数	β	t
御前崎	β_0	-4.393	-2.44	帯広	β_0	-1.338	-2.49
	β_1	4.952	8.96**		β_1	2.015	12.20**
	β_2	6.407	2.84		β_2	2.250	3.33
札幌	β_0	-2.893	-2.16	川崎	β_0	-2.211	-1.73
	β_1	3.627	8.84**		β_1	2.074	5.28*
	β_2	5.120	3.06		β_2	2.808	1.75
高山	β_0	-0.4887	-1.10	東京	β_0	-5.332	-1.19
	β_1	2.001	14.72**		β_1	8.507	6.19**
	β_2	1.395	2.51		β_2	9.839	1.75
輪島	β_0	-2.126	-2.55	t(3, 0.05)=3.182, t(3, 0.01)=5.841 * 5%有意, ** 1%有意			
	β_1	2.942	11.49**				
	β_2	3.123	2.99				

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln x + \beta_2 / x \dots\dots\dots (5 \cdot 48)$$

ただし, Y; 腐食量 [g/2dm²]

x; 暴露期間 [月]

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$; 定数

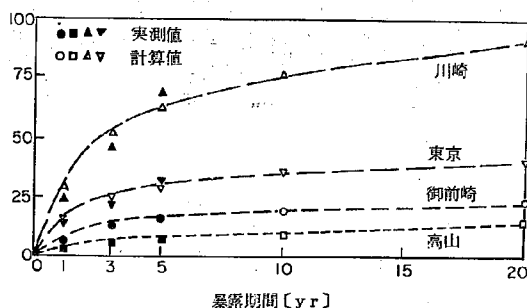


図-5.20 腐食量と暴露期間との関係(キルド鋼)(鉄鋼材料便覧より)

○防錆処理の効果

鋼板の防錆処理は種々の方式があるが、橋梁に対して通常用いられるものは油性ペイントによる処理である。

塗装被膜もまた大気による劣化作用を受ける。この被膜の劣化は自然的・人為的環境によって変化し、その変化の状態を図-5・21に示す。

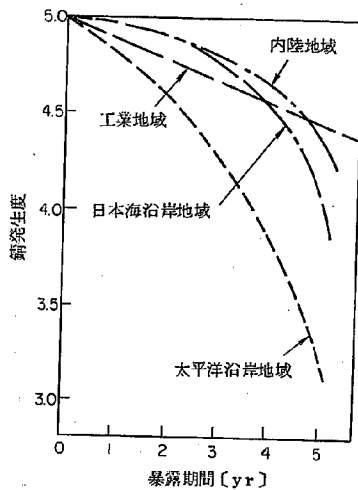


図- 5.21 暴露地域別防錆塗膜の錆発生進行状況
(鉄鋼材料便覧より)

(錆発生度の目盛は5～1の段階を設け塗膜状に異のないものを5とし、
全面に発生したもの(フクレも含む)を1とした)

防食という面より考えれば、被膜の有効期間は錆の発生割合を10%程度を目途とすれば
各地域区分に対して

内陸地域	4.5年
工業 "	4.0 "
日本海沿岸地域	4.0 "
太平洋沿 "	2.5 "

である。したがって、上記の期間ごとに塗装を繰り返して行けば錆の発生はないと考えら
れるが、これ以上の期間放置すれば表-5・24の回帰式によって腐食が進行することにな
る。

主桁フランジにおける任意の点の塗装の有効度合いは、図-5・21の結果を利用すると、
次式で表わされる。

$$\eta = \int_0^t f(t) dt / A \cdot O \times t \dots\dots\dots (5 \cdot 49)$$

ここに、 $f(t)$ は各地域区分に対応する銷銑生度合

t は t 年間の暴露期間

(5・49)式による計算結果を、以下の表に示す。

表-5・25 塗装被膜の有効度(η)

地域区分	塗 装 周 期 (年)		
	5	10	15
内 陸 地 域	0.948	0.602	0.401
日本海沿岸地域	0.933	0.525	0.350
太平洋 "	0.852	0.469	0.313
工 業 地 域	0.981	—	—

鋼材の腐食代は、表-5・25の結果を用いて次式で計算する。

$$y_{Tt} = (1 - \eta_T) \cdot y_{OT} \cdot n \quad \dots\dots\dots (5 \cdot 50)$$

ここに、 y_{OT} ；無塗装の場合の鋼材腐食代（ T 年間の）

η_T ； T 年周期の塗装に対する被膜の有効度

n ； t/T ，整数値

t ；経過年数

主桁の剛度低下は次式で計算する。

$$I_t = I_0 - 4h^2(bf + tf) \cdot y_{Tt} \quad \dots\dots\dots (5 \cdot 51)$$

ここに、 I_t ； t 年後の主桁剛度

h ；桁高

bf ；フランジ巾， tf ；フランジ厚

y_{Tt} ； T 年塗装周期で t 年後の鋼材腐食代

破壊確率の低下の計算は各塗装周期の最終時点で行ない、50年間について現在価値に変換して集計する。

B. 耐久性の評価

耐久性の評価は

- (1) 塗装費の50年間における現在価値の集計。
- (2) 破壊確率増に対する破壊時費用増分を現在価値に変換して集計する。破壊確率の増分は10年ごとに行い、50年間を考える。
- (3) 耐侯性鋼材においては、塗装はほとんど必要がないとされる。しかし、実際には美観等に

により塗装が行われているのが現状である。したがって、耐候性鋼材を用いる場合には、塗装費と耐候性鋼材使用による材料費増を評価値とする。

以上の手順で行う。

○ 塗装費

$$C_p = \sum_{k=1}^n C_p' / (1+i)^k \cdot T \dots\dots\dots (5.52)$$

ここに、 C_p' ；塗装費（円／回）

i ；金利

T ；塗装周期（年）

n ；50/ T

○ 破壊時費用増

$$C_f = C_f' \cdot \Delta P / T \dots\dots\dots (5.53)$$

ここに、 C_f' ；破壊時費用

$\Delta P / T$ ； T 年塗装周期の50年間の破壊確率増の統計

○ 耐候性鋼材費

$$C_m = \sum_{j=1}^3 C_j \cdot r_j \dots\dots\dots (5.54)$$

ここに、 C_j ；材質別エクストラ

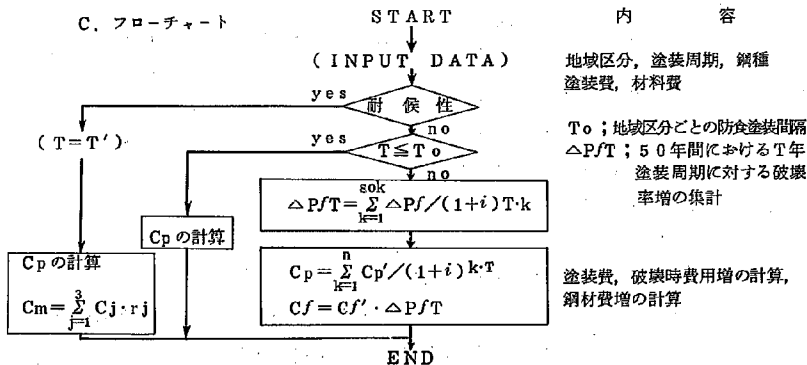
$j=1$ $C_j=5,200 \text{ Kg/t (SS41)}$

$j=2$ $C_j=7,800 \text{ " (SM50Y)}$

$j=3$ $C_j=9,100 \text{ " (SM58)}$

r_j ；材質別鋼重

C. フローチャート



(5) 振 動

A. 振動速度の算出

橋梁上を通過する車両による振動の性状に影響する要因としては、

- ① 車両の特性 重量、車両重体としての振動特性 (R・C)、車両速度
- ② 路面の特性 路面の凹凸、伸縮継手の形状、車線数
- ③ 橋梁の特性 支間、主桁振動特性
- ④ そ の 他 交通量、車両混入率

等である。これらの要因のすべてを考慮した橋梁の振動解は現在まだ得られていない。この解を論理的に求めることは、その規模から判断して非現実的であり、むしろ回帰分析によって解を求めることが現実的と考えられる。

現時点においては、回帰分析に必要な十分なデータがないので、本論文では次式によって橋梁の振動速度を算出する。ただし、この解は橋梁の橋面上をなめらかな集中力が等速で移動する場合の解であり、実際の振動速度に比べて多少小さめと思われる。

$$\begin{aligned}
 a &= (EIg/w)^{1/2} \\
 y &= \frac{2 \cdot g \cdot P \cdot \ell^3}{w \cdot \pi^3} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin i\pi x/\ell}{i^2(i^2 \cdot \pi^2 \cdot a^2 - v^2 \cdot \ell^2)} \cdot \sin i \cdot \pi \cdot v \cdot t/\ell \\
 &\quad - \frac{2 \cdot g \cdot P \cdot \ell^4 \cdot v}{w \cdot \pi^2 \cdot a} \cdot \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin i\pi x/\ell}{i^3(i^2 \cdot \pi^2 \cdot a^2 - v^2 \cdot \ell^2)} \cdot \sin i^2 \cdot \pi^2 \cdot a^2 t/\ell^2 \quad (5.55) \\
 \alpha^2 &= v^2 \ell^2 / a^2 \cdot \pi^2
 \end{aligned}$$

とすれば、次式が得られる。

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{2 \cdot P \cdot \ell^3}{E \cdot I \cdot \pi^4} \cdot \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin i\pi x/\ell}{i^2(i^2 - \alpha^2)} \cdot \sin i\pi v t/\ell \\
 &\quad - \frac{2P\ell^4 v}{EI\pi^5} \cdot \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin i\pi x/\ell}{i^3(i^2 - \alpha^2)} \cdot \sin i^2 \pi^2 a^2 t/\ell^2 \quad (5.56)
 \end{aligned}$$

ここで、P；移動集中荷重 (ton)

v；移動速度 (m/sec)

L；支間長 (m)

w；死荷重 (t/m)

E・I；主桁剛度 (t・m²)

g；重力加速度 (m/sec²)

車両の重量としては表-5・18における輪重分布の倍を用いる。橋梁の発生振動速度は、したがって輪重分布を考慮して、各輪重に対する振動速度の加重平均とする。

同一時刻に同一車線上を通過する車両数は、1車線当りの通常最大交通量を1,200台/時とすれば平均車頭時間間隔は3秒となる。車両速度を40~50Km/hとすれば、車頭間隔は約35~45mであり、プレートガーダーの適用支間20~50mに対しては1台/1車線とすれば良からう。

多車線(n車線)橋梁に対しては確率的に考えて、同一時刻に最大の影響を与える状態で車両が橋梁上を通過することはまれであるので、歩道橋における観測結果を利用して次式で振動速度を評価する。

$$\left. \begin{aligned} \beta^2 &= 1 + (n-1) \cdot V / 1,200 \leq n \\ \left(\frac{dy}{dt} \right)_n &= \beta \left(\frac{dy}{dt} \right)_{n=1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5 \cdot 57)$$

ここに、V; 時間当り交通量=0.12×日交通量(台/時・車線)
n; 車線数≤1,200台/時・車線

B. 評 価

橋梁の振動に対する人体感覚は、小堀、梶川(文献38)によれば、

- ① 人体の生理的な影響
- ② 人体の動的応答
- ③ 心理的反応

の3点について検討すれば良いとし、そのうち①、②については影響がほとんどないとしている。

③については、橋梁上の歩行者の感覚として次表の結果を得ている。

カテゴリー	振動速度(cm/s)
全く感じない	—
少し感じた	0.42
明らかに感じた	0.85
少し歩きにくい	1.70
大いに歩きにくい	2.70

以上の結果より、小堀、梶川は橋梁の振動速度として1.7cm/s以下に設計するのが望ましいとしている。

本文では橋梁の振動に対する評価として、橋梁の振動を明らかに感ずる限界0.85cm/s以上の振動速度が発生した場合に次の評価値を与える。

$$\left. \begin{aligned} 1.7 \text{ cm/s} \geq v \geq 0.85 \\ C = \frac{bw}{2b} \cdot Ci(0.461v^2 - 0.333) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5 \cdot 58)$$

$$v > 1.7 \text{ cm/s}$$

$$C = \frac{bw}{2b} \cdot Ci$$

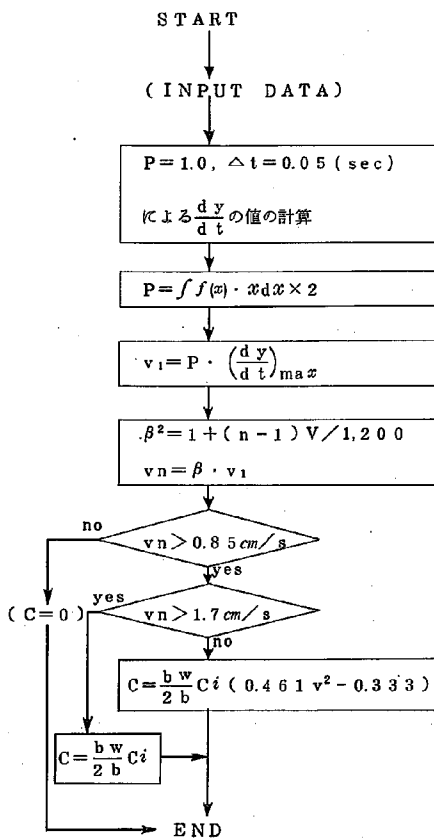
ここで, Ci ; 初期工費

b ; 橋梁巾員

bw ; 歩道巾員

v ; 振動速度

C. フローチャート



内 容

巾員, 支間, 設計速度, 交通量,
輪重分布, 主桁剛度, 巾員構成,
初期工費

単位荷重による0.05秒さざみ
による v の計算(中央断面)

輪重分布より軸重の加重平均
 $f(x)$; 輪重分布

最大振動速度の計算/1車線

n 車線に対する振動速度

振動評価値の計算

(6) 経済性

A. 材料数量の算出

○鋼重

主桁を対称断面とする。主桁剛度(I)およびウェブ高(h)が既知として次式が得られる。

$$I = bf \cdot tf (h + tf)^2 / 2 + \frac{1}{12} tw \cdot h^3$$

..... (5・59)

一方、ウェブ厚は桁高と材質により次式で与える。

SS41	$tw > h / 152$	}	(5・60)
SM50	$> h / 130$		
SM58	$> h / 110$		

で求める。さらにフランジ形状は、次の2式で求める。

$$(bf - tw) / 2 \cdot tf \geq 16.0 \text{ (5・61)}$$

支間 $\ell < 20 m$	$tw \geq 13 mm$	}	(5・62)
$20 \leq \ell < 25 m$	$\geq 16 mm$		
$25 \leq \ell < 30 m$	$\geq 19 mm$		
$30 \leq \ell < 35 m$	$\geq 22 mm$		
$35 \leq \ell < 40 m$	$\geq 25 mm$		
$40 \leq \ell$	$\geq 28 mm$		

したがって、次式よりフランジおよびウェブ断面積を得る。

$Af = bf \cdot tf$	}	(5・63)
$Aw = tw \cdot h$		

以上より、橋体工の鋼重は次式によって求める。

$$Ws = (Aw + 2 \cdot Af) \cdot L \cdot Ng \cdot \gamma \cdot (1 + \beta) \text{ (5・64)}$$

ここに、Ws ; 鋼重 (ton)

L ; 橋長 (m)

Ng ; 主桁本数

γ ; 中央断面積換算に対する換算率 = 0.867

β ; 対傾構, 横構等の割増率 = 0.15

○床版コンクリート, 鉄筋量, 型わく面積

(a) コンクリート体積

$$V = \{ (B_2 + B_3 + 0.6 + 0.4) \times d + 0.6 \times 0.25 + 0.4 \times 0.3 \} \times (L + 0.6) \times (1 + \delta) \dots\dots\dots (5 \cdot 65)$$

ここに, B_2 ; 車道巾員

B_3 ; 歩道巾員

d ; 規準床版厚

L ; 支間長

δ ; ハンチ等コンクリート割増率 = 0.10

(b) 鉄筋量

橋軸直角方向に対する必要鉄筋量 A_{ST} は次式で与える。

$$A_S = A_{ST} \cdot B \cdot (L + 0.6) \cdot (1 + \eta) \dots\dots\dots (5 \cdot 66)$$

ここに, A_S ; 鉄筋量 ton

A_{ST} ; 必要鉄筋量 ton/m/m

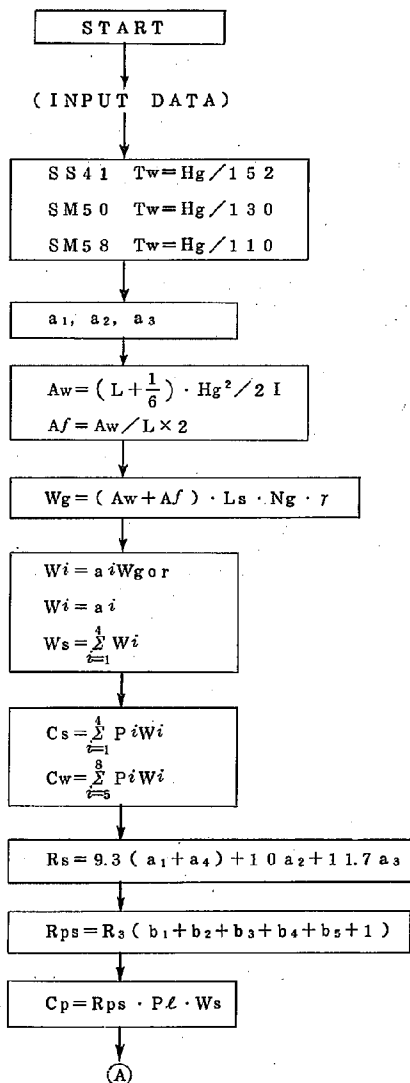
B ; 総巾員

η ; 配力筋・組立筋等増割率 = 0.70

(c) 型わく面積

$$A = \{ (B_2 + B_3 + 0.6 + 0.4) + (2d + 0.25 \times 2 + 0.3 \times 2) \} \times (L + 0.6) \dots\dots\dots (5 \cdot 67)$$

B. フローチャート



計画, 環境情報: 橋長, 巾員構成
設計速度, 環境区分
設計諸元: 主桁剛性, 桁高, 桁本
数, 床版厚, 鉄筋量, 遮音壁高,
材質

主桁材質別ウェブ厚の決定 (Tw):
桁高 (Hg)

主桁材質別割合の決定, 統計値:
(SS41 - a₁, SM50 - a₂,
SM58 - a₃)

主桁断面積: ウェブ (Aw),
フランジ (Af), 支間長 (L),
剛性 (I)

主桁数量: 橋長 (Ls)
主桁本数 (Ng), 主桁断面変化
による割引率 (γ)

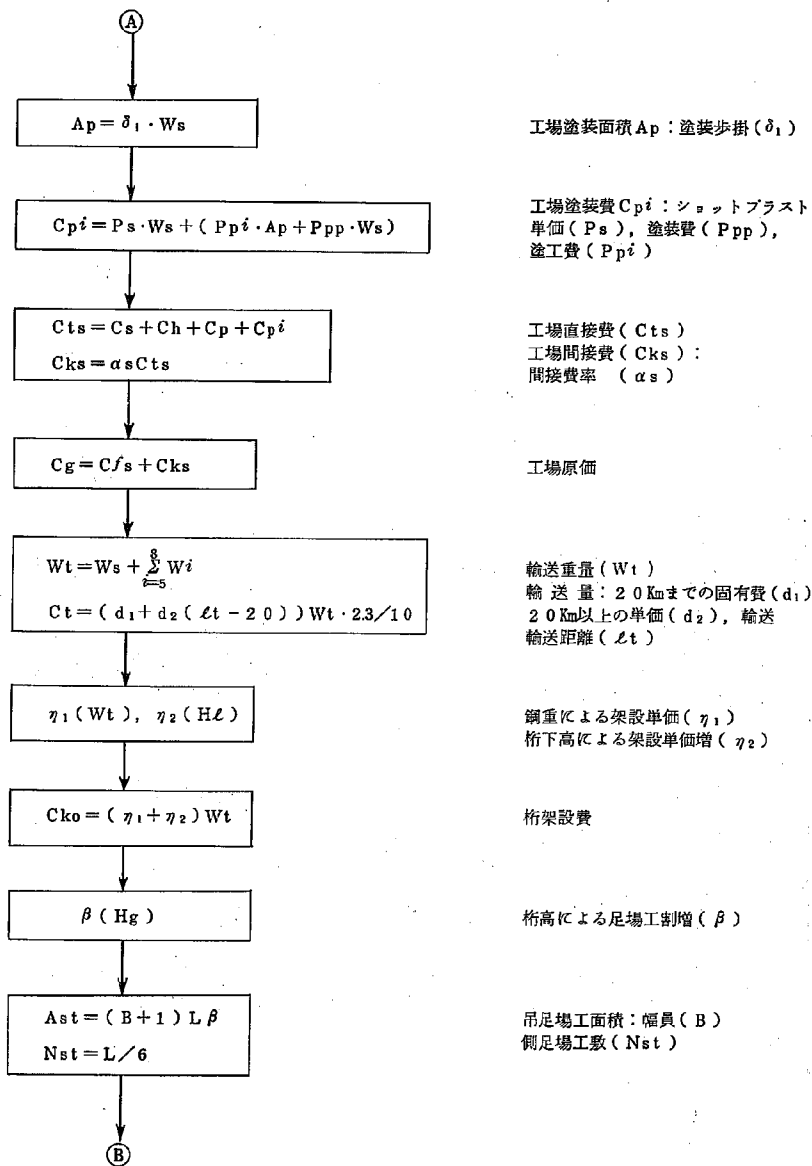
材質別数量: 形鋼類の割増率 (a₄)
沓割合 (a₅), 高欄長 (a₆),
伸縮継手長 (a₇), 排水装置割
合 (a₈)

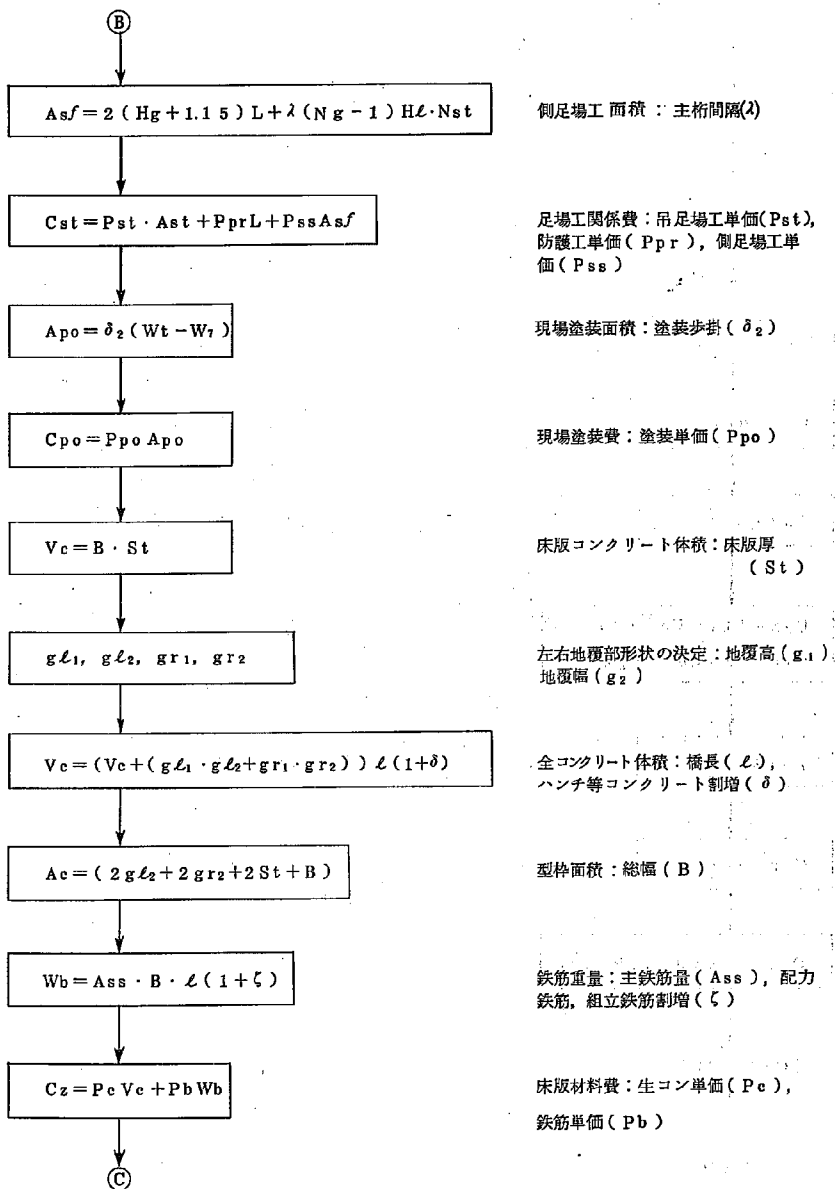
鋼材費: 材質別単価 (Pi)
製品費

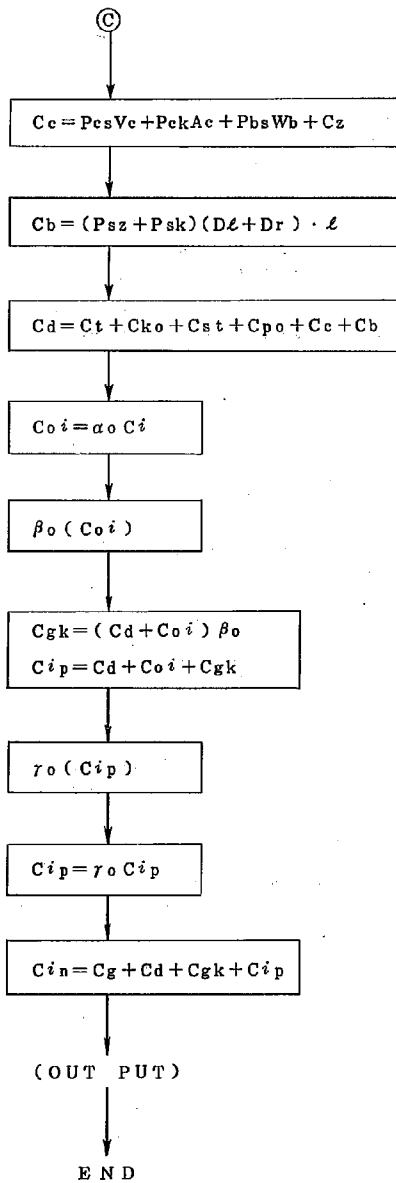
製作工数

製作工数の割増: 連数 (b₁),
鋼重 (b₂), 斜角 (b₃), 曲率
(b₄), 細部複雑さ (b₅)

製作費: 工場労務単価 (PL)







床版

床版工費：コンクリート打設費(P_{es})、
型枠損料(P_{ek})、鉄筋組立費
(P_{bs})

遮音壁工費：遮音壁材料単価(P_{sz})、
施工費(P_{sk})、遮音壁高左($D\ell$)
右(Dr)

直接工事費

現場間接費：間接費率(α_o)

現場管理費率

現場管理費

一般管理費率

一般管理費

建設費

3・3・3 演算例

(1) 対象橋りょう

演算例として、現在供用されている橋りょうを対象とする。千葉国道工事事務所管内、国道16号線君津郡袖ヶ浦町長浦跨線橋を例題とする。架設は昭和47年2月である。

長浦跨線橋は国鉄内房線の跨線橋であり、周辺環境は千葉臨海工業地帯から約3.5km、海岸線より1.5kmの位置にある。周辺は、臨海工業地帯の関係で宅地化が進行しており、5階建の団地(10棟)が建設されている。

交通量は昭和49年の測定では41,000台/日に達し、1車線1方向の橋りょうの容量としては現在限界に近い。将来の拡張を見こして、2車線増のための用地は確保されている。

一般的状況図、および位置図を図-12に示す。

この他に、交通量、環境条件が異なる例として、能代工事事務所の小繁沢跨線橋梁、および山口工事事務所の岡屋跨道橋をとりあげて諸元の試算を行なった。

(2) 計画・環境情報

計画交通量 40,000台/2車線=20,000台/1車線

交通混入率 大型トラック 0.26

小型トラック 0.14

大型バス 0.0

小型バス 0.0

普通車 0.60

}トラックとして扱う

歩行者 1,000人/日

土地利用 住居

環境区分 太平洋沿岸

迂回距離 車輛 3Km

人 0.5Km

サービス水準低下 0.45

現在人口

	距離(m)	0~50	50~100	100~150	150~200
左側	地形高(m)	5	10	20	25
	人口(人)	5	0	100	0
右側	地形高(m)	5	5	5	5
	人口(人)	500	0	0	0

輸送距離 40Km

景観レベル

	建設前	建設後(H・遮音壁高さ)			
		0m	1	2	3
左側	70*	56	49	47	45
右側	70*	56	49	47	45

*印仮定値

軸荷重分布(埼玉県川越市調査データ使用)

荷重強度	累積割合	荷重強度	累積割合
1t以上	0.629	8t以上	0.00737
3	0.1547	9	0.00283
4	0.09767	10	0.00095
5	0.06127	12	0.00032
6	0.03423	14	0.00025
7	0.01670		

社会的割引率 7%/年

(4) 設計条件

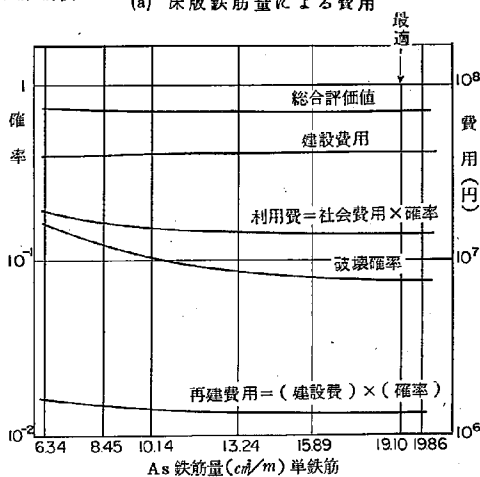
設計速度	60 km/時
車線数	1レーン/橋
支間長	24 m
幅員構成	車道 4 m (8 m)
歩道	0 (2 m) ()内2橋分
	2 m (2 m)
斜角	48°
曲率	∞
桁下高	5.7 m
製作速数	2連
初期値桁高	1.3 m
アスファルト厚	7 cm
渋滞回数	720回/日
使用限界主桁	1,000,000回 (S>Rの回数)
床版	300回 (")

(5) 単価

建設費用関係	50年10月建設物価版より算定
防音対策費	50万円/人
社会的費用関係	本文中に提示

(6) 安全性評価

(a) 床版鉄筋量による費用



(b) 主桁剛性による費用

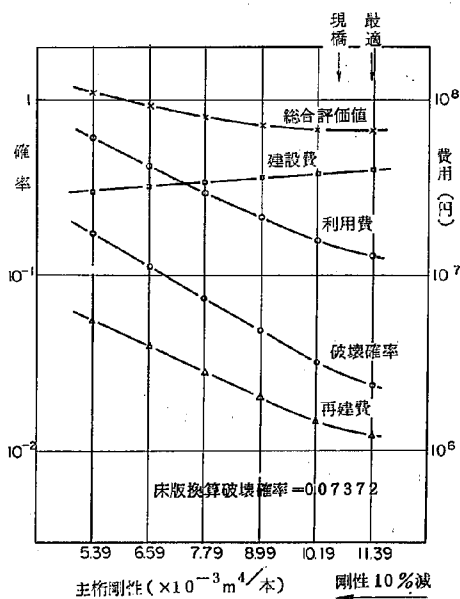


図 - 5.23

(c) 主桁剛性と利用費および再建費

$$\text{交通遮断日数(日)} = f(\text{橋長, 方向面積}) \times \text{確率} p f$$

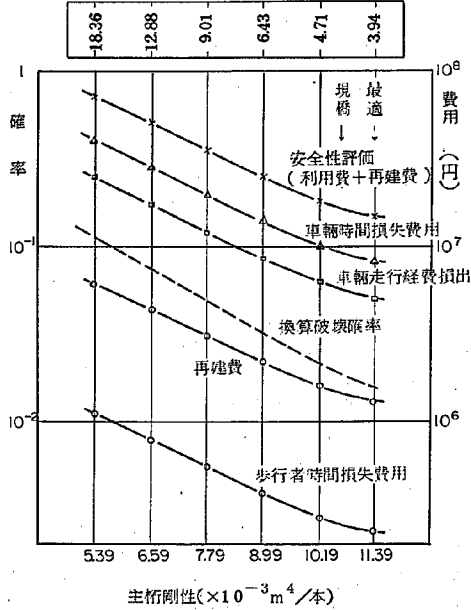


図-5.24

(7) 耐久性(腐食による影響)評価

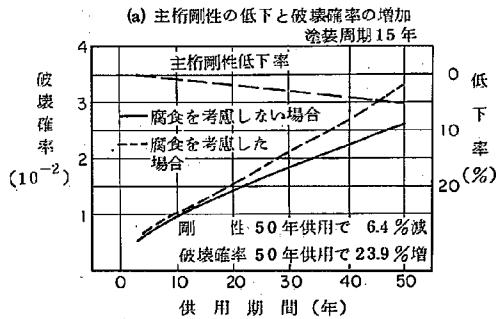


図-5.25

(b) 塗装周期と評価指標・評価値(50年間)

景観レベルは塗装の退色を考慮

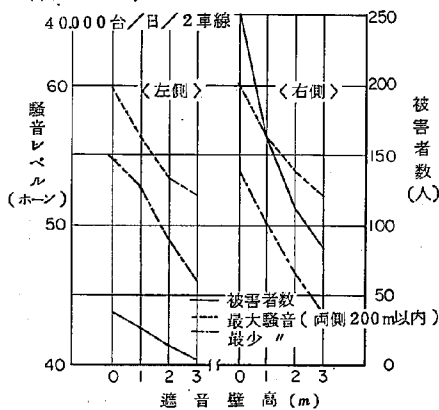
塗装周期	破 壊 確 率			塗 装 費	景 観		評価合計
	破壊確率	換算破壊増	破壊時費		レベル減	価値減	
5	0.02910	0.00361	142	3,457	0	0	3,599 (96.6)
10	0.03354	0.00545	215	1,410	4	80	1,705 (82.7)
15	0.03501	0.00435	171	791	7	148	1,110 (71.3)
年		年7%減価	$\times 10^3$ 円	$\times 10^3$ 円		$\times 10^3$ 円	$\times 10^3$ 円

注 利率7%/年

() 塗装費の占める割合%

(2) 騒音評価

(a) 騒音レベル, 被害者数



(b) 地形高, (人口)

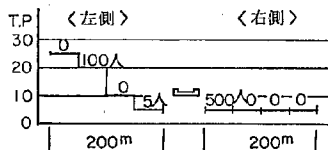


図-5.26

(b) 遮音壁高と評価値

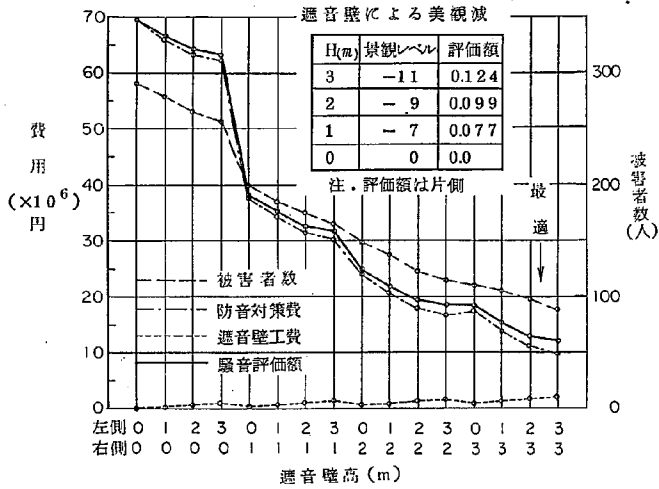


図-5.27

(9) 振動評価

(a) 主桁剛性による振動速度と評価値

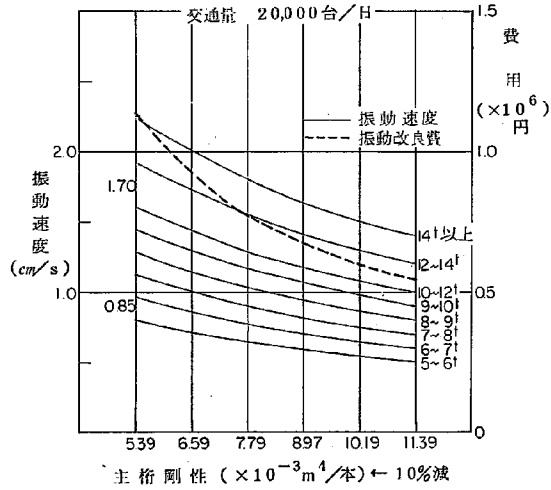


図-5.28

(2) 演算結果と考案

表-5・26に演算に対する計画・環境条件，設計条件を左欄に，また演算結果を右欄に示している。図-5・29は，演算結果を一般図作成プログラムによって作図したものである。入力情報は可能なかぎり現況にあわせて与えているが，輪荷重割合，歩行者数等は想定値を用いている。この結果と現況と比較してみれば，主要点は以下のとおりである。

i) 安全性

現橋	直接設計法（最適）	
主桁本数	4本	3
内格剛性	0.01066m ⁴	0.01267
主鉄筋量	15.89cm/m	13.24

全体的に剛度低下の傾向にある。とくに床版は輪重作用位置と主桁位置との関係で，現行示方書の床版剛度との差が大きく現われてくる様である。

ii) 耐久性

塗装劣化による腐蝕進行の速度は，本研究で用いた程度では評価総体にはほとんど影響をおよぼさない。この腐蝕の進行程度については，さらに検討が必要であろう。

iii) 騒音

現在の騒音対策のやり方であれば，本橋の付近で発生する騒音の程度では，問題外となっている。本研究では，騒音評価値と低騒音レベルより問題にしているため，評価値全体に占めるその割合がかなり大きくなっている。遮音壁高3.0mに制限したため，遮音壁工費と防音対策費の割合がバランスしていないが，この制限がなければ，両者がバランスする。

表-5・27および図-5・30は同一条件で主桁本数を4本とした場合の最適解の結果を示している。主桁本数の相異に対する評価の主要な相違点は破壊確率の低下，および建設費の上昇である。建設費の上昇は主として主桁鋼重の増によるものである。

表-5・28に，重みづけによる評価値の変化を見るために，間接的な評価値に対する重みを0.5にした場合を示している。破壊確率および振動速度の値が増加し，したがって主桁，および床版の剛度が低く選定されている。建設費の低下は約8%程度であり，全体的な影響としてはそれほど大きくない。

同様に，表-5・29は間接的な評価値の重みを1.5にした場合の結果であり，主桁の剛度は約25%増とかなり大きくなっており，したがって建設費の上昇は約20%となっている。

以上のごとく，重みづけのとり方によってその諸元の選定値はかなり影響を受けることになり，この重みづけに対する検討は今後必要となる。

表-5・30 交通量の変化による評価値の変化

交通量		5,000台/日	10,000台/日	20,000台/日
破壊確率	床版	0.04663	0	0.03520
	主桁	0.05836	0.02973	0.01803
塗装周期		15年	15年	15年
騒音レベル		48.36 H=2m, 3m	49.89 H=2m, 3m	54.69 H=3m, 3m
振動速度				
景観レベル		-16.7	-16.7	-17.7
鋼コンクリート体積		23.93t	30.88	33.38

交通量の相異によってかなり主桁重量が変化している。すなわち地域の交通状況に応じて本設計法がかなり敏感に反応していることを示していることがわかる。設計交通量としては時間的な累積効果を考える必要があるが、これについては今後の課題である。

表-5・31は小笠沢跨線橋についての演算結果である。長浦跨線橋と比較して、その主な相違点は日交通量の差であり、その結果主桁の破壊確率が増加している。また、当然のことながら周辺に人口が分布していないため、騒音遮音壁は0mとなっている。

表-5・32は岡屋跨道橋についての演算結果である。長浦跨線橋と比較すれば、設計条件は支間長の相違程度でほとんど変らない。演算結果は支間長の関係で使用鋼材としてSM58材を用いた設計となっており、主桁の破壊確率は約1/10に小さくなっている。破壊確率の増減は主桁剛度の増減と一次の比例関係にないため、支間、幅員との関連でその破壊確率が求められることになり、この理由で両者の確率値の差が生じたものであろう。

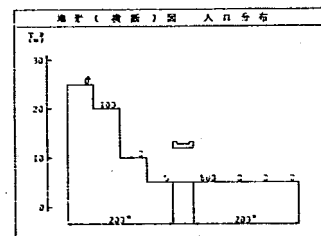
岡屋跨道橋の現橋は4主桁であり、本設計結果の3主桁と異なった結果を得ている。これは長浦跨線橋の場合においてもみられたことであり、その理由としては床版に対する設計曲げモーメントのてい減が、主桁位置と車道位置との関係で大きく与えられる結果、3主桁の方が有利と演算される結果となっている。

千葉' 長浦跨線橋

評價指標 · 評價值 · 設計幣元

出現狀態

	科	部	数
安全 性	研 究 費	円	8216
	社会員 欠損	円	24930
	旅 送 費	円	533
	施 設 費	円	6420
久	耐震性材面増額		
	増 額	円	1237
性	旅 送 位 点 費	円	5353
	し、の 費 上 工 費	円	22505
費	防衛対策 + 美観	円	13443
	旅 送 費	円	7302
民	工 場 原 価	円	22570
	商 工 費	円	244223
鴻	費		
	費 合 計	円	327818
性	費 合 計	円	457226



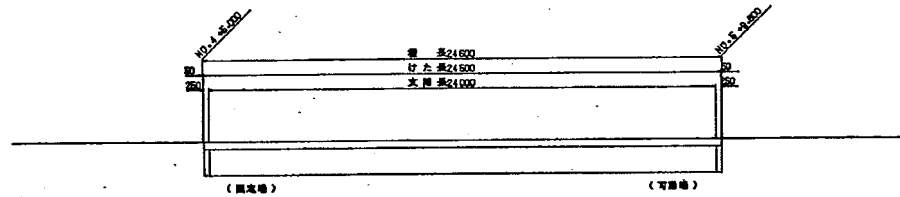
使用材料単価		仕作加工単価	
材 質	単 価	工 種	単 価
鋼 材			
SS41	円/kg 57272	上 場 溶 接	円/kg 1452
SS41G	円/kg 53355	尾 吊 溶 接	円/kg 571
SS41C	円/kg 53355	切 断 工	円/kg 575
サ・丸鋼	円/kg 74192	鋼 板 溶 接	円/kg 303
支 糸	円/kg 53130	鉄 工 工	円/kg 474+5
炭 焼 子	円/kg 〇	炭 粉 工	円/kg 4540
伸 縮 結 子	円/kg 〇	フロンリフト工	円/kg 9217
鋼 水 炭 酸	円/kg 〇	電 磁 溶 接 工	円/kg 754
コンクリート	円/m ³ 7550	シ ー ン 工	円/kg 1702
鋼 筋	円/kg 41002	防 腐 防 錆 工	円/kg 50302
シ ー ン 材	円/m ² 140		

設計 配 光 及 び 設計 寸 法				
機 体 部 分	コンクリート	mm 302		
	鉄 筋	mm 353C		
	鋼 筋	mm 3729		
	厚 度	mm 19C		
床	鉄 筋 量	AS 13-2403 AS' 6-9533		
	鉄 筋 径	mm 15		
	鉄 筋 ピ ッ チ	mm 150		
	等 厚 度	mm 70		
土 台	び た 厚 度	mm 3		
	び た 高	mm 130		
	び た 間 隔	mm 235		
	配 合	mm 125720		
		mm 143230		
	土 台	内	mm 10	
		び	ワエブ厚	mm 18
			上フアンジ厚	mm 10
			上フアンジ厚	mm 25
			下フアンジ厚	mm 553
外		下フアンジ厚	mm 24	
		ワエブ厚	mm 18	
		上フアンジ厚	mm 10	
		上フアンジ厚	mm 25	
た		下フアンジ厚	mm 553	
	下フアンジ厚	mm 24		
シ ャ 青 砂 底	mm 3			
	mm 3			

図-5・29

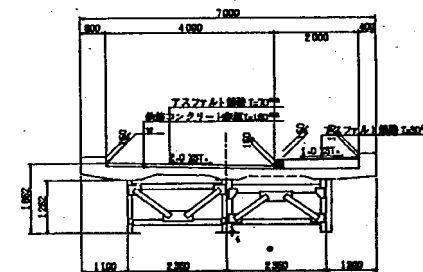
千葉 長浦跨線橋

側面図 縮尺 1:100

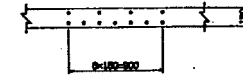


断面図 縮尺 1:50

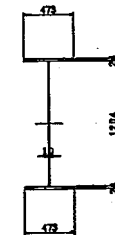
R-R



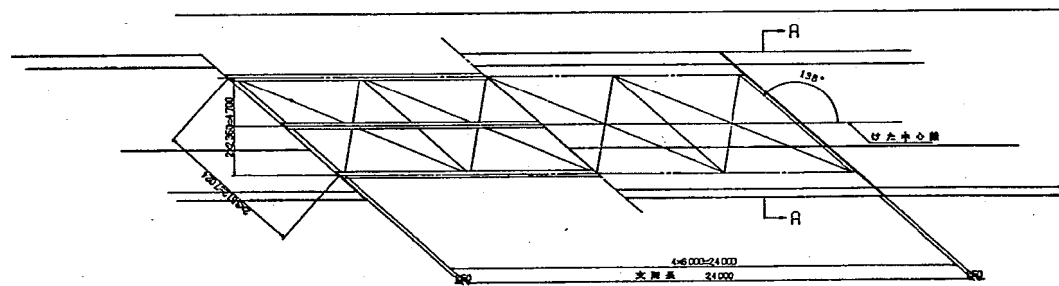
床版断面図 縮尺 1:20



主桁断面図 縮尺 1:20



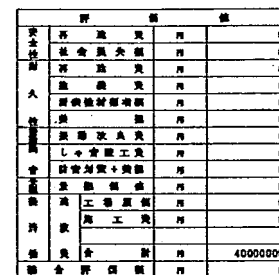
平面図 縮尺 1:100



千葉 長浦跨線橋

評價指標・評價值・設計點元

出現狀態

[illegible][illegible]

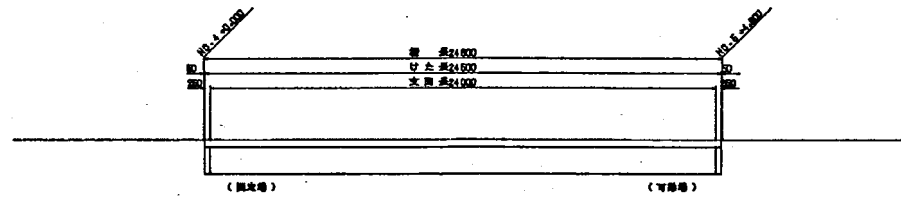
集 計				集 計			
費 用 材 料 集 計				集 計 集 計			
集 計 (円/人)	材 質	集 計	集 計	集 計	集 計	集 計	集 計
	5541	円/人	87272	71272	工 場 集 計	円/人	8340
	5550	円/人	89385	75385	民 生 集 計	円/人	1482
	5558	円/人	89385	78385	防 護 集 計	円/人	591
	部・人	円/人	74182	78182	個 人 集 計	円/人	978
文 書	円/人	58090		集 計	円/人	309	
集 計	円/人	0		集 計	円/人	47448	
集 計	円/人	0		コ ン ク リ ー ト	円/人	4840	
集 計	円/人	0		コ ン ク リ ー ト	円/人	9217	
集 計	円/人	0		集 計	円/人	784	
コ ン ク リ ー ト	円/人	7850		集 計	円/人	1700	
集 計	円/人	41000		集 計	円/人	50000	
集 計	円/人	140					

設計 優先及び設計手段			
時代的力	コンクリート	m ² /m ²	300
	鉄骨	m ² /m ²	3280
	鋼	m ² /m ²	2799
	木	m ² /m ²	15
	鉄管	m ² /m ²	15.0000
庫	鉄管	m ² /m ²	0.0000
	鉄管	m ² /m ²	16
	鉄管	m ² /m ²	126
	鉄管	m ² /m ²	70
	鉄管	m ² /m ²	4
血 び た	げ た 本 庫	m ² /m ²	130
	げ た 庫	m ² /m ²	167
	鋼	m ² /m ²	850400
	鋼	m ² /m ²	1118245
	ウエブ原	m ² /m ²	475
	上フワジ原	m ² /m ²	20
	上フワジ原	m ² /m ²	23
	下フワジ原	m ² /m ²	26
	下フワジ原	m ² /m ²	20
	ウエブ原	m ² /m ²	475
丹	上フワジ原	m ² /m ²	22
	上フワジ原	m ² /m ²	475
	下フワジ原	m ² /m ²	22
	下フワジ原	m ² /m ²	475
	下フワジ原	m ² /m ²	22
し や 管 庫 高	鋼	m ² /m ²	3
	鋼	m ² /m ²	3

図-5・30

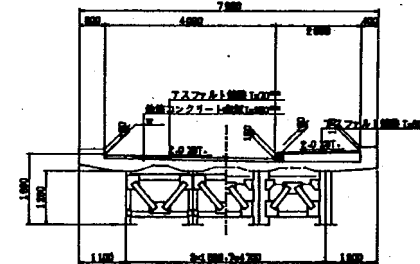
千葉 長浦跨線橋(現橋)

側面図 縮尺 1:100

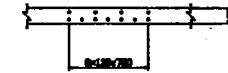


断面図 縮尺 1:50

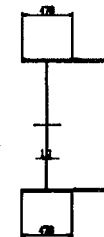
A-A



床版断面図 縮尺 1:20



主桁断面図 縮尺 1:20



平面図 縮尺 1:100

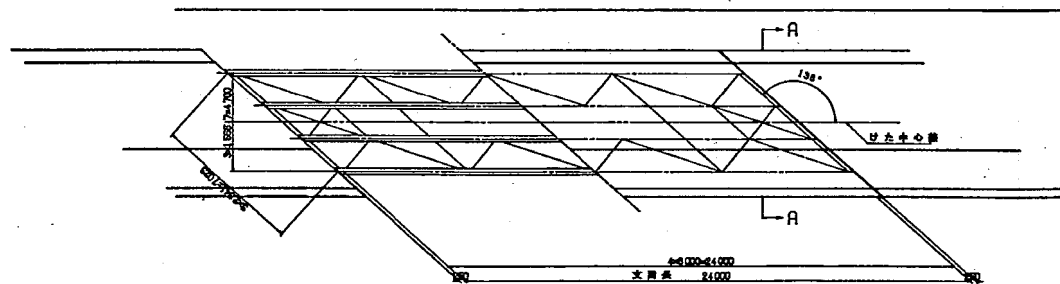


表-5・28

プレートガーダー橋直接設計

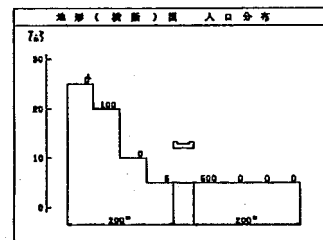
千葉 長浦跨線橋

計画環境情報・設計条件

計画環境情報	
計画道路	60
計画区分	太平洋沿岸
土地利用	商業
日交通量	10000
車道幅員	10.000
小車道幅員	0.250
大車道幅員	0.140
小車道幅員	0.000
大車道幅員	0.000
歩道幅員	0.800
歩道幅員	1.000
歩道幅員	3.0
歩道幅員	0.5
歩道幅員	0.07
歩道幅員	40.0

設計条件	
設計速度	TL-20
設計速度	1
設計速度	24,600
設計速度	0.000
設計速度	4,000
設計速度	2,000
設計速度	48'0"0"
設計速度	0
設計速度	2
設計速度	300
設計速度	1000000
設計速度	800
設計速度	1.0

評価ウェイト	
安全性	1.00 0.50
耐久性	1.00 0.50
環境性	1.00 0.50
経済性	1.00 0.50
社会性	1.00 0.50



計画環境情報	
計画道路	60
計画区分	太平洋沿岸
土地利用	商業
日交通量	10000
車道幅員	10.000
小車道幅員	0.250
大車道幅員	0.140
小車道幅員	0.000
大車道幅員	0.000
歩道幅員	0.800
歩道幅員	1.000
歩道幅員	3.0
歩道幅員	0.5
歩道幅員	0.07
歩道幅員	40.0

評価指標・評価値・設計費

期待状態

出現状態

期待状態	
安全性	0.00000000
耐久性	0.00000000
環境性	0.00
経済性	50
社会性	48,000
安全性	0
耐久性	0.8
環境性	0
経済性	0
社会性	0.00
安全性	0.0000
耐久性	0.0000

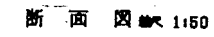
出現状態	
安全性	0.71007692
耐久性	0.84061012
環境性	18.45
経済性	15
社会性	51,004
安全性	55
耐久性	2.5
環境性	330
経済性	55
社会性	-10.70
安全性	28,847
耐久性	28,287

評価指標	
安全性	0
耐久性	0
環境性	0
経済性	0
社会性	0
安全性	0
耐久性	0
環境性	0
経済性	0
社会性	0
安全性	0
耐久性	0
環境性	0
経済性	0
社会性	0
安全性	0
耐久性	0
環境性	0
経済性	0
社会性	0

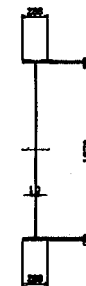
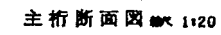
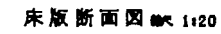
評価指標	
安全性	4102207
耐久性	27029712
環境性	102196
経済性	953781
社会性	0
安全性	123029
耐久性	1070011
環境性	100400
経済性	4900892
社会性	150009
安全性	9875418
耐久性	22817620
環境性	22800044
経済性	94300000

設計費元及び設計寸法	
コンクリート	300
鉄筋力	3680
鉄筋	3729
鉄筋	15
鉄筋	8.3350
鉄筋	19
鉄筋	290
鉄筋	70
鉄筋	4
鉄筋	130
鉄筋	158
鉄筋	891200
鉄筋	811014
鉄筋	10
鉄筋	309
鉄筋	17
鉄筋	388
鉄筋	17
鉄筋	10
鉄筋	430
鉄筋	19
鉄筋	430
鉄筋	18
鉄筋	2
鉄筋	3

能代 小繫沢跨線橋

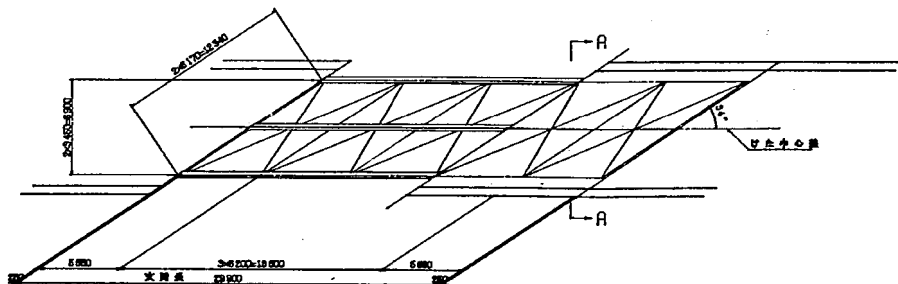


側面図 縮尺 1:150



項目	單位	數量	單價	金額
材料費	元	10.000	10.000	100.000
人工費	元	20.000	20.000	400.000
機械費	元	30.000	30.000	900.000
其他費	元	40.000	40.000	1600.000
合計	元	100.000	100.000	1000.000

平面图 比例 1:150



プレートガーダー橋直接設計

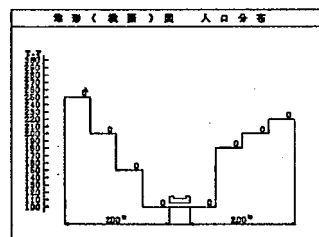
能代 小繫沢跨線橋

計 画 環 境 情 報 ・ 設 計 条 件

[illegible]

収 入 計 算 表		
期 間	種 別	TL- 20
年 度	種 別	2
種 別	種 別	30.000
種 別	種 別	0.000
種 別	種 別	0.000
種 別	種 別	0.000
種 別	種 別	34.000
種 別	種 別	0
種 別	種 別	1.700
種 別	種 別	1
種 別	種 別	300
種 別	種 別	100000
種 別	種 別	2000
種 別	種 別	1.0

評 価 ウ ェ ー ト		
	重 装	周 装
安 全 性	1.00	1.00
耐 火 性	1.00	1.00
通 風 性	1.00	1.00
振 動 性	1.00	1.00
美 観 性	1.00	1.00
経 済 性	1.00	1.00



		車		機		機		《昭和50年10月》	
		材 車 機		製作加工車機					
機 材 (円/ト)	材 質	円/ト	87272	71272	工場用機	円/ト	8840		
	3 X 4 1	円/ト	87272	71272	工場用機	円/ト	1482		
	3 X 5 0	円/ト	89365	76986	車 用 機	円/ト	691		
	3 X 5 8	円/ト	89365	76385	防 護 工	円/ト	978		
	3 X 7 0	円/ト	74192	78192	新 車 用 機	円/ト	309		
文 法	円/ト	880900		機 器 工	円/ト	47448			
高 價	円/ト	0		屋 外 工	円/ト	4840			
特 種 機 器	円/ト	0		コンクリート工	円/ト	9217			
排水設備	円/ト	0		築造設備工	円/ト	784			
コンクリート	円/ト	7880		し っ 土 工	円/ト	1700			
鉄 道	円/ト	41090		防 害 局 販 賣	円/ト	500000			
し っ 土 工	円/ト	140							

評價指標 · 評價值 · 設計萬元

期待狀態

[illegible]

出現狀態

資料	要 領 欄		数 値
	要 領	要 領	
金 額	金 額	金 額	0.0396180
	金 額	金 額	0.0319178
金 額	金 額	金 額	4.2
	金 額	金 額	4.1
金 額	金 額	金 額	50.67
	金 額	金 額	1.0
金 額	金 額	金 額	18
	金 額	金 額	12.0
金 額	金 額	金 額	40.37
	金 額	金 額	59.75

		評 價 值		值
大 學 生	開 通 費	月		0
	社 食 費 失 誤	月		0
	不 通 費	月		0
	通 費	月		0
	居 住 費 雜 費 有 關	月		0
	費	個		0
	通 費 失 誤	月		0
	シ ン 費 工 費	月		0
	通 費 失 誤	月		0
	不 通 費	月		0
大 學 生	工 費 原 價	月		10000000
	通 工 費	月		0
大 學 生	費	月		0
	費	月		0
大 學 生	費	月		0
	費	月		0

業種	業 種		業 種
	業 種	業 種	
人	社会福祉関係	用	75828
	社会福祉関係	用	1102225
	社会福祉関係	用	2378
	社会福祉関係	用	38301
	社会福祉関係	用	9012
	社会福祉関係	用	53646
業	社会福祉関係	用	18544
業	社会福祉関係	用	1069798
業	社会福祉関係	用	1020982
業	社会福祉関係	用	2076736
業	社会福祉関係	用	3292299

設計 部 門 及 び 計 算 手 数			
機 械 力 学	コンクリート	㎧/㎠	300
	鉄 筋	㎧/㎠	3780
屋 屋	鉄 筋	㎧	3729
	鉄 骨	㎧	22
	鉄 骨 梁	㎧/㎡	AS 16.0000
	鉄 骨 柱	㎡	16
	鉄 骨 ビーチ	㎡	125
主 体 土 木	鉄 筋 梁	㎧	50
	鉄 筋 柱	㎡	3
	鉄 筋 土 地	㎡	170
	鉄 筋 土 地	㎡	375
	鉄 筋 土 地	㎡	2239760
主 体 土 木	鉄 筋 土 地	㎡	2623424
	鉄 筋 土 地	㎡	8
	鉄 筋 土 地	㎡	571
	鉄 筋 土 地	㎡	24
	鉄 筋 土 地	㎡	571
	鉄 筋 土 地	㎡	24
	鉄 筋 土 地	㎡	28
	鉄 筋 土 地	㎡	575
	鉄 筋 土 地	㎡	28
	鉄 筋 土 地	㎡	575
し ず 音 機 器	鉄 筋	㎡	0
	鉄 筋	㎡	0

プレートガーダー橋直接設計

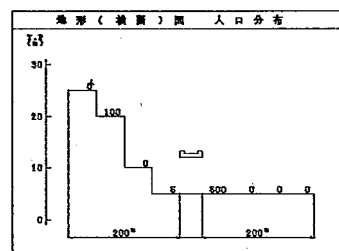
岡屋跨道橋

評價指標・評價值・設計諸元

出現狀態

貸主 姓名 住所	評 価 額		備 考
	被 達 率	只限 売却	
住居 八尾	売却 期 間	日	0.0352020
	売却 期 間	年	0.0163800
住居 八尾	売却 期 間	年	2.4
	売却 期 間	年	1
住居 八尾	売却 期 間	年	52.80
	売却 期 間	年	
住居 八尾	売却 期 間	年	0
	売却 期 間	年	
住居 八尾	売却 期 間	年	-17.0
	売却 期 間	年	35.54
住居 八尾	売却 期 間	年	28.29
	売却 期 間	年	

		評 價 值	
安 全 性 附	否 差 失 費	円	74855
	社会 失 額	円	773865
	否 差 失 費	円	8323
	添 装 費	円	69289
	耐震性材料等	円	
久	装 修 費	円	13784
	新 設 改 良 費	円	
性 能 最	加 工 費 配 工 費	円	226090
省 費	防音対策 + 換氣	円	1940301
	差 額 価 値	円	5121
装 修	工 事 原 価	円	
	施 工 費	円	
性 能			
	合 計	円	3683603
給 費	合 計 価 額	円	2692984



早 飯				午 飯			
使 月 材	料	早 飯	價	飯 作 高	工 早 飯	價	
鋼 材 (円/ト)	S S 4 1	円/ト	67272	71272	工 考 筋 鉄	円/ト	6840
	S M 5 0	円/ト	7 2 2	76365	工 考 筋 鉄	円/ト	1462
	S M 5 8	円/ト	9360	76365	防 壁	工/㎡	691
	形・丸鋼	円/ト	74162	76162	鋼 筋 足 巻	工/㎡	976
		円/ト	58090		鉄 筋 工	円/ト	309
文 庫	円/ト	0		夏 々 工	円/㎡	4748	
高 欄	円/ト	0		コンクリート工	円/㎡	4810	
外 装 漆 工	円/㎡	0		通 風 換 気 工	円/㎡	784	
保 水 漆 工	円/㎡	7650		し っ 普 壁 工	円/㎡	1707	
コンクリート	円/ト	41000		防 雨 防 風 費	円/ト	500700	
鉄 骨	円/ト	140					

設計圖元及び設計寸法						
降伏耐力	コンクリート			kg/cm ²	300	
	鉄筋			kg/cm ²	3680	
	鋼板			kg/cm ²	3729	
	厚さ			mm	15	
	鉄筋量			cm ² /m	A _S 15.9800	
	鉄筋割合			%	A _S 0.0000	
	鉄筋ピッチ			mm	D _F 16	
	鉄筋径			mm	125	
	鉄筋径			mm	70	
	げた本数			本	4	
主げた	げた高さ			mm	130	
	げた間隔			mm	155	
	屈曲性			mm ²	各 950400 全 1118245	
	内	ウエップ厚			mm	20
		上フランチ幅			mm	473
		上フランチ厚			mm	20
		下フランチ幅			mm	473
	外	下フランチ厚			mm	10
		ウエップ厚			mm	20
		上フランチ幅			mm	475
上フランチ厚			mm	22		
下	下フランチ幅			mm	475	
	下フランチ厚			mm	22	
	しき	高さ			mm	3
		幅			mm	3

参 考 文 献

- 1) 若松幸雄 : 設計あれこれ—現行設計法についての自省, 橋梁と基礎 Vol. 9, №7, 1975.
- 2) 若松幸雄 : 統計処理によるPC桁橋の設計に関する一考察, 土木学会論文報告集 №257, 1977. 論文番号4-154
- 3) 中村慶一 : 技術者のための統計解析, 山海堂 1965.
- 4) 林 毅 : 軽構造の理論とその応用下巻 pp.373 日科技連
- 5) M.Shinozak, T.Kobori : Fatigue Analysis of Highway Bridges
Proc. of JSCE NO.208 Dec. 1972 pp.137~148
- 6) 道路橋示方書, 同解説, 日本道路協会, 1973 pp.169~170, 413~422
- 7) 倉西 茂 : 鋼構造, 技報堂 pp.296~304
- 8) 國広哲男, 藤原 稔 : 道路橋の荷重係数設計法(1), (2)
土木技術資料 17-8, 17-9 1975.
- 9) 鉄骨鉄筋コンクリート設計資料作成に関する調査:
本四公団 建設コンサルタンツ協会 pp.189~206 1972
- 10) C. A. Cornell : Implementing Probability-based Structural Codes
ACI Pub. sp-31 pp.112~146 1971.
- 11) 自動車荷重頻度調査 第26回建設省技術研究発表会資料 pp.43~77 1972
- 12) 星谷 勝 : 確率手法による構造解析 鹿島出版会
- 13) C. A. Cornell : A Probability-Based Structural Code
J. of ACI, Dec. 1969, pp.974~985
- 14) 全国総合交通体系調査 建設省道路局 1975.
- 15) 鉄筋コンクリート設計法の最近の動向 土木学会 コンクリートライブラリー No.51 1975.
- 16) 西村 昭 : 鋼材の機械的性質のばらつきについて JSSC. Vol. 5 №48 1969.
- 17) 依田 浩 : 信頼性理論入門 朝倉書店 pp.31~34
- 18) Standard Specification for Highway Bridges
AASHO, 11th edition 1973. pp.80~82
- 19) 古沢広道, 田辺忠顕 :
繰返し荷重を受けるコンクリート構造物の設計に対する考察 その1, 2, 3
A.C.I. 215委員会報告 コンクリート工学
- 20) 車両の走行経費に関する基礎的調査 高速道路調査会 1973.

- 21) Harald Cramer : "Mathematical Methods of Statistics,"
Princeton University Press, Overseas Publications
Ltd., (Kaigai Shuppan Boeki K.K.) pp. 374~375
- 22) 国広哲男, 朝倉 肇 : 自動車列荷重からみた道路橋主橋の設計荷重
土木技術資料 15巻4号, pp. 3~7, 1973.
- 23) 日本鉄鋼学会, 日本金属学会編 :
鉄鋼材料便覧, 丸善, pp. 183~193 1967.
- 25) フジコルテン 橋梁マニュアル, 富士製鉄株式会社 pp. 31~48 1967.
- 26) 近藤泰夫 : コンクリート工学ハンドブック 朝倉書店 pp. 442~444
- 27) 小林, 松本, 前川 : コンクリートの劣化について
コンクリート工学, Vol 13, No 10, pp. 25~37 1975.
- 28) 石井聖光 : 道路交通騒音予測計算方法に関する研究(その1)
日本音響学会誌31巻8号 (1975)
- 29) 道路交通騒音評価に関する騒音実測および解析
建設省土木研究所千葉支所, 1975.
- 30) 道路交通騒音に対する住民反応の計算解析
建設省土木研究所千葉支所, 1976.
- 31) 遠藤晃賢 : 高架軌道からの騒音伝搬に関する考察
日本音響学会誌31巻5号 pp. 343~347 1975.
- 32) 金原 昭 : 道路構造と自動車騒音 その1
土木技術資料 13-1 pp. 32~35, 1971.
- 33) 自動車騒音と道路構造 道路騒音調査委員会
日本音響学会誌 26巻 2号 pp. 85~97, 1970.
- 31) 北村, 佐々木 : 自動車交通騒音の評価方法に関する基礎的研究(II)
日本音響学会講演論文集, pp. 245~250 1971.
- 35) 谷下市松, 渡辺 茂 : チモシエンコ工業振動学
東京図書 pp. 321~325
- 36) 小堀為雄, 梶川康男 : 橋梁振動の人間工学的評価法
土木学会論文報告書 No 230 1974.
- 37) 星谷 勝, 中根健一 : 橋の振動による心理的反応の理論的解析,
土木学会論文報告書 No 246 1976.
- 38) 小堀為雄, 梶川康男 : 道路橋の振動とその振動感覚
土木学会論文報告書 No 222 1974.

- 39) 村原, 石井 : 橋梁景観の評価について
第30回土木学会年次講演会講演概要 pp. 310~311
- 40) 篠原 修 : 土木構造物の景観に与える影響に関する研究
第30回土木学会年次講演会講演概要 pp. 308~309
- 41) 大智 浩 : デザインの色彩計画 美術出版社, 1975.
- 42) 太田, 河原 : 色彩と配色, あなたが作る色彩の本
グラフィック社, 1976.
- 43) 実用 today's Color/300 日本色彩社
- 44) 樋口忠彦 : 景観の構造 技報堂, 1975.
- 45) 建設工事標準歩掛 改訂版 財団法人建設物価調査会 1974.
- 46) 奥野忠一, 芳賀敏郎, 久米 均, 吉沢 正 : 多変量解析法 日科技建
- 47) A.H-S.Ang "Series of Lectures on structural Reliability and Probability
- Based Design ", Japan Society for the Promotion of Science . April
- June 1976.

結 語

土木構造物の設計は、従来より構造力学による力学的安全性の理論的解析を中心に行なわれ、その他の補充は土木技術者集団の文化ともいふべき方書、基準類と、設計者の構造物設計に関する知識経験を援用して行なわれてきた。したがって、熟達した設計者は、それでも十分に事業目的や環境に適合する成果を得ることも可能であつたろうし、また、そこでは力学的安全性の確認以外の評価は、潜在的に行なわれていたといえよう。

本冊子では、それ等熟達者が潜在的に行なっていたであろう部分をも顕在化し、論理的な展開を行なうために、土木計画論までさかのぼって、設計の位置づけを行ない、その構成を明らかにするとともに、目的論的な設計法を実例によって展開しようとするものである。そして、それ等の内容と成果は、すでに各部ごとに述べたが、ここにまとめて、それらのあらましを全体をとおして、以下に示す。

第2部においては、土木計画をある環境のもとで欲求の充足をめざした現時点における行動指針であり、この行動指針は意図と手段との一義的な対応関係によって記述されたとした。また、土木計画の策定過程を土木計画論として論議の展開を行なった。そしてこのような計画論が目的論的計画論の範ちゅうに属することも第1部ですでに述べたとおりである。この目的論的計画論でいう＜目的＞という概念と、第2部で展開する土木計画論において用いる＜欲求充足＞や＜計画意図＞という概念とはかなり似通ったものである。

ところで、このような、土木計画の策定過程では欲求充足と手段とを直接に対応、検証することは不可能であり、本文においても計画意図、期待状態、出現状態等の中間記述空間を設定した。そして、欲求充足および計画意図に記述してあることは、どういう状態を期待しているかを記述するところを期待状態記述空間とし、計画手段の実施によって、どういう状態が出現するのかを記述するところを出現状態記述空間とした。

また、土木計画論を“欲求の充足の状態を記述するシステム”として、その集合論的な取り扱いを行なった。

土木計画論は、記述空間の設定および、その対応規定に関する論議であるが、この対応規定のうち、手段寄りの因果論モデルによって対応規定を行なう部分を＜土木設計＞と位置づけた。そして、土木設計とは＜設計条件と具体的構造物を設計法によって一義的に対応づける一つのシステム＞であると定義した。ここで設計条件は欲求充足記述から価値モデルによって射影された期待状態記述の一部と、構造物が建設される地先の環境条件の一部とから構成されたとした。

第3部では、第2部で定義した土木設計をシステムとしてとらえ、その主軸的作業である対応規制について、まず、その実態を考察するとともに、ついで集合論を中心とする理論的考察を行なった。

設計の論議は、設計条件の記述元に何をとりかによって、その様相が異なってくる。そこで、ここでは、土木計画論と整合させるために環境条件のうち、風荷重や地耐力等は構造物諸元記述空間から、

出現状態記述空間への設計法という写像（設計計算モデル等）を規定する条件とし、また、居住地域か工場地域かなどを示す地域区分のような環境条件は出現状態記述空間と設計条件記述空間との適合検証を規定するものとして、設計条件からはずして取り扱った。

第4部では、現行の力学的設計の実應的意義とともに前記の空間設定や設計法という写像を可能にする設計示方書・基準類についてまず考察した。そして、設計条件、設計法、および初期値が設定されたのち、一連の設計行為の中の一作業モジュール的な部分を＜単位設計＞と名づけて、以後の比較設計、自動設計、そして標準設計等の各種設計法の考察に利用した。

第5部では、第4部までの土木計画論、土木設計、そして現状の設計行為に関する論議を踏まえて、目的論的な設計法の提案を試みた。すなわち、土木計画論をトータルシステムとしてとらえ、その観点からの設計法のあり方と、種類について考察したのち、その中で現在実行に移されていない2種の設計法について提案するものである。

まず、第2章では、PC桁橋の設計データをサンプルに統計処理した簡単で工学的精度も容認し得る回帰式による設計法を提案した。

ここで提案する設計法は、精度が良いとは言えないが、簡潔さを特長とする統計処理による設計法である。この設計法は結局、熟達した設計者の判断の内容を詳細に分析することとその内容としている。熟達した設計者は設計のキーポイントとなる設計諸元について多くの条件から経験的に極めて正確に推定することができる。

このような力学的安全性のみならず、機能的な側面も含めて条件から順射影的に主要な構造物諸元を指定する設計法を従来の初期値設定の後、その変更（フィードバックによる）によって力学的安全性を確認する累積設計法に対して、ここでは直接設計法と呼ぶ。ここで提案する統計処理による設計法も、いわば過去の設計データを分析して極めて簡略な形でキーポイントとなる構造物諸元を算定式によって設定し、それを中心に他の設計諸元も数値として設定する簡単な設計システムでいわば先述の直接設計法のサブ・システムである。したがって、卓上計算機での設計も可能であるとともに、図化は、パターン化して表示するようになっている。

ついで、第5部第3章では、力学的安全性のほかに、耐久性、経済性、および環境適合性（景観、騒音、振動）を評価項目とする評価を考慮した設計法を提案した。

これらの評価項目の概念を具体的な数値に表現するために、次のような評価指標を設けた。

- ① 安全性 → 部材の破壊確率
- ② 耐久性 → 鋼板の材質と塗装周期
- ③ 経済性 → 鋼重
- ④ 環境適合性
振動性状 → 自動車走行による橋梁振動速度

騒 音 → 騒音レベル（着目点の）、被害者数

景 観 → 景観レベル

環境適合性の具体例として、ここでは、振動、騒音、景観をとり上げたが、橋梁としての評価項目であり、他の構造物の場合は異なった項目が選択されよう。

この環境適合性のうち、騒音と景観については、単純術を対象とした場合には、その橋梁諸元の変化に対して評価指標の変動は現在のところあまり認められない。これらはたとえば、支間割が異なる場合、橋梁形式が異なる場合、あるいは使用材質が異なる場合等、いわゆる比較設計の場合にその値が変化する。

総合評価を行なう場合には、各評価項目の関係は重みによって表現されるが、本システムでは外生化し、設計担当者（建設省の工事事務所の係長クラス）のアンケート結果を処理した重みの平均値を目やすとして示した。

また、現状では、論理的な総合評価を行なうには、無理があるが、ここでは、耐久性における塗装費および材料費、騒音における遮音壁の建設費および防音補償費等のように、すべて費用に換算して総合評価を可能にした。

なお、設計例は国道16号線、千葉県君津郡袖ヶ浦町長浦跨線橋について、現況の計画情報と環境情報による場合と、それ等を変動させた場合について行なっている。

以上、本文は、熟達した設計者は従来も潜在的には行なっていたであろう土木計画論と整合ある評価に関する設計条件を組み込んだ設計法を、土木設計の設計行為の中で顕在化あるいは技術化するために土木計画論までさかのぼって理論化を試みようとしたものである。

しかし、評価という価値モデルを援用する行為には定量的に扱うには未だ不確定部分が多く、したがって、常に結論は新しい課題を提供することになるが、その過程で分析には様々な手法が展開されることにもなり、研究自体の密度も高まって行くものと考ええる。そして、本論もその第一歩となるものと信ずる。