

昭和52年度

土木研究所講演会

講演集

昭和53年3月3日

建設省土木研究所

目

次

1. 地域計画に関する研究の動向	建設省大臣官房 政策課建設専門官 岩 松 幸 雄	1
2. 土木における高分子材料の利用の現状と問題点	化学研究室長 蒔 田 実	19
3. 下水処理水の再利用についての水質面よりの検討	下水道部長 柏 谷 衛	45
4. 道路と環境に関する諸問題	道路部長 金 安 公 造	73

地 域 計 画 に 関 す る 研 究 の 動 向

建設省大臣官房
政策課建設専門官

岩 松 幸 雄

地域計画に関する研究の動向

建設省大臣官房政策課建設専門官 岩 松 幸 雄

1. 地域計画の概念

まず地域計画の概念を規定することからこの稿を起こそう。地域計画という言葉は「地域」と「計画」の2つの概念から構成されている。

「地域」は、計画の対象とする空間の広がりの中で、一般には、国土の全域であったり、東北地方や関東地方といった地域であったり、都道府県であったり、むつ小川原や苫小牧東部といった地域であったり、地方生活圏・定住圏といった地域であったりし、そこでの計画はそれぞれ、国土計画・地方計画・都道府県計画・(狭義の)地域計画・地方生活圏計画などと呼ばれている。これらの地域は何らかの形でひとつのまとまりのある空間的広がりであると考えられており、公共事業をはじめとする諸施策がそこに投入されることになる。たとえば国土や都道府県・市町村等は行政区画そのものであって、そこを対象としたひとまとまりの行政が永続的に行なわれるし、むつ小川原や苫小牧東部は大規模プロジェクトの効果・影響を直接的に受けるひとまとまりの地域である。また、地方生活圏は、通勤通学や買物・商圏等である程度クロードされた地域として捉えられている。

一方、「計画」は、欲求の充足をめざした現在の行動指針であって、計画意図と計画手段から基本的に構成されている。地域計画の計画意図は、計画が根ざす価値基準によって異なるが、たとえば第三次全国総合開発計画では、「歴史的、伝統的文化に根ざし、人間と自然との調和のとれた安定感のある健康で文化的な人間居住の総合的環境を計画的に整備すること」としている。他方、

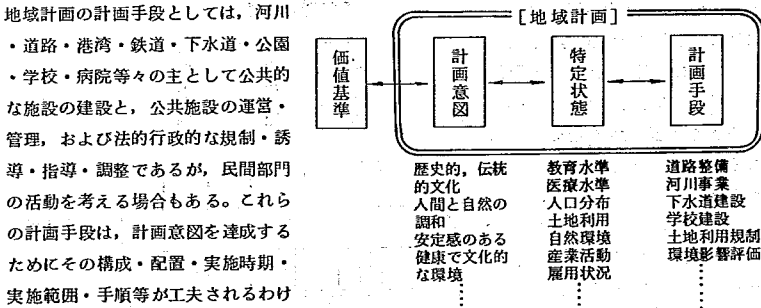


図-1 地域計画の構成

地域計画の計画手段としては、河川・道路・港湾・鉄道・下水道・公園・学校・病院等々の主として公共的な施設の建設と、公共施設の運営・管理、および法的行政的な規制・誘導・指導・調整であるが、民間部門の活動を考える場合もある。これらの計画手段は、計画意図を達成するためにその構成・配置・実施時期・実施範囲・手順等が工夫されるわけであるが、意図と手段の対応をより具体的に把握するために、人口分布や土地利用状況、自然環境等の計画実施による変化状態を介してこの対応が把握されることが多い。

2. 地域計画は上位計画なのか？

ところで地域計画は、しばしば上位計画であるといわれる。そして地域計画の下位に河川・道路・

住宅・下水道等の部門別の事業計画がくる、といった捉え方がなされる。しかし、こうした捉え方は果たして現実に即しているだろうか。また、そう捉えることで果たして弊害が現われないだろうか。

部門別事業のひとつである道路事業を例にとってみよう。道路には、国土幹線自動車道・国道・地方道・街路など種々の機能の異なるものがあるが、これらはいずれも、人と物質の輸送という目的のもとに周到なネットワークが組まれねばならない。これはあたかも酸素や養分を運ぶという目的のもとについて血管が樹枝状に体内に配置され、神経系統が体内の情報伝達のために体系的な整備がなされているのと似ている。すなわち、道路事業計画をはじめとする部門別事業計画は、循環器系統や神経系統の整備のように、特定の目的の達成を目ざし、国土や体内全体にわたって、統一的体系的な整備がなされるわけである。

一方、地域計画は、その舞台をある地域に限定して、多くの部門にわたる事業整備を行なうことにより、総合的な地域づくりを目ざすものといえる。これはあたかも「手」の設計に似ている。手は、血管や神経・筋肉等がうまく組み合わされて、ひらく、とじる、ものをもつ、といった運動のできる部分となっているのである。

ところで、手や足の設計と、循環器系統や神経系統の設計のいずれが上位か、と問われても誰も答えるすべをもたない。循環器系統や神経系統（の機能）を前提にして、手や足の大きさ・形状・果たすべき役割を決めることもできるし、その逆も可能である。

地域計画と部門別事業計画との関係もこれと全く同様である。たとえば、都道府県計画は、国家的・地方的な観点から入ってくる各部門の事業を前提とし、当該都道府県内で整備可能な部門別事業を制約条件として、その性格づけや土地利用、環境整備の内容等が検討されなければならないだろう。逆に、各部門の事業計画は、国土計画・都道府県計画・地方生活圏計画といった種々の階層の地域計画を前提として、それぞれの地域の特性に見合ったものが検討されなければならない。

2種類の性格の異なる計画が、相互に相手の計画を前提にしつつ自己の計画を策定するということは、双方の間で双方の都合のよい形に調整できることを示唆している。現に、地域計画の作成には各部門からの意見が出され、各部門の事業計画の作成には、各地域の意見が生かされる。

計画間の調整は、何も地域計画と事業計画の間に限られるものではな

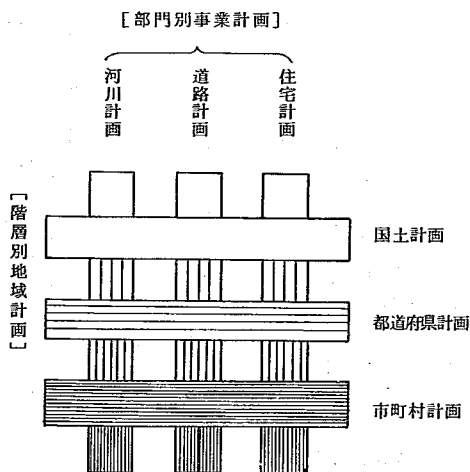


図-2 階層別地域計画と部門別事業計画

い。市町村計画を集めれば都道府県計画と整合し、都道府県計画を集めれば国土計画と整合するというふうに、階層間の地域計画が相互に調整され、整合のとれたものにならないといけない。また、河川・道路・住宅といった事業計画相互の間にも、同一の地域で展開されるからには調整がとれていなければならない。

これらの調整の暁には、各階層の地域計画を横系、各部門の事業計画を縦系とする統一のとれた美しい図柄の国の全体像が織り上げられることであろう（図-2参照）。

さて、以上の論議によって地域計画を部門別事業計画の上位計画とみる見方を否定したわけであるが、ここでいまひとつ、各階層の地域計画の間で、上位・下位の区別をすることのおかしさを指摘しておこう。絵画にたとえていうならば、国土計画はデッサンであり、都道府県計画や市町村計画は彩色であるといえよう。すなわち、国土計画は国の姿の大筋を描き、都道府県計画や市町村計画ではそれに彩色を施して細部を緻密に仕上げていく作業であるといえる。したがって流れは、まずデッサンを描き、その後に細部を仕上げるということになるが、細部の仕上げ次第では、当初のデッサンのイメージとは大きく異なるものができ上がることもあろう。つまり、都道府県や市町村等のミクロスケールの現象がマクロスケールの現象を左右することがしばしば起こり得るということであって、「画竜点睛」のやり方によっては、それまで描いてきた竜に生命が与えられることもあり、死んでしまうこともあるということである。

この意味では、現在の国土総合開発計画の作成状況は不完全なものとなっている。すなわち国土総合開発法は国土総合開発計画という一つの名のもとに、大小4つの計画を総合的に1個の体系として作成し、これに基づき矛盾なく地域開発に関する施策が実施されるべきという姿勢を打ち出している。4つの計画とは、①全国について内閣総理大臣が作成する全国総合開発計画（法第7条）、②都府県がそれぞれ作成する都府県総合開発計画（法第7条の2）、③密接な関係を有する二以上の都府県の区域にわたる地域について関係都府県が協議により作成する地方総合開発計画（法第8条）、④資源の開発が十分に行なわれていない地域などについて、関係都府県と内閣総理大臣が作成する特定地域総合開発計画（法第10条、法第10条の2）、を指している。しかし、全国すべての都府県は、総合開発計画的な内容と名称の総合計画を、入念な作業により数次にわたって作成しているにもかかわらず、いづれも国総法にもとづく法律上の計画とはしていない。同様に地方総合開発計画も全く作成されていない。わずかに特定地域総合開発計画が、電力開発と食料増産等を目的としたTVA方式による北上川、只見川、天竜川等の開発のため昭和20年代末から昭和30年代にかけて作成されているにとどまっている。

国総法では、国の立場、都府県の立場等を十分に調整し、より広い総合性、より強い実行性を意図して、階層的に4種の計画を考えたにもかかわらず、国によって2種の計画が作成されるにとどまっており、単にデッサンを示して国の目標設定を広く世に問う効果のみに終わっているのが現状である。

3. 階層的な地域計画と部門別事業計画の整合的策定

地域計画と各部門の事業計画が整合性をもって整備されなければならないということを前章で述べたが、現実には、それぞれの地域で各事業の均衡がとれているとは限らない。総理府において、

昭和47年1月と昭和52年2月に「社会資本の整備に関する世論調査」を実施して、各種社会資本に関する人びとの満足、不満足の状態を調べているが、その両時点における不満足の種類と整備水準の関連を整理したのが表-1である。

表-1 社会資本整備の現状と満足度

不満がある(%)	地 区	整備指標(単位)	整備水準
63	町内の道路	市町村道改良率(%)	昭和47年 50/51
56		市町村道舗装率(%)	18.3 22.8
51	幹線道路	一社国道改良率(%)	83.8 86.7
37		一社国道舗装率(%)	90.4 92.9
33		都道府県道改良率(%)	50.8 57.6
33		都道府県道舗装率(%)	57.8 73.7
43	バスや市内電車	都会バス停留所(百万人当り)	2 853
41		新幹線開通延長(km)	676 1 069
33	国鉄や私鉄・地下鉄	複線化率(在来線)(%)	24.2 25.8
29		電化率(在来線)(%)	31.9 36.7
26		幼稚園数	11 564 13 108
29	幼稚園から大学までの教育施設	小学校数	24 325 24 652
26		中学校数	10 686 10 751
26		高等学校数	4 810 4 946
19		大学(短大を含む)数	889 933
18	社会教育施設	公民館施設数(箇所)	昭和47年 11 752
38		図書館施設数(箇所)	昭和47年 917
37		保育所定員(千人)	1 358 1 670
38	福祉厚生・医療関係施設	老人保健施設定員(千人)	90 120
46		人口1万人あたりの病院病床数(床)	103 104
40		都市人口あたり面積(m ²)	2.9 3.6
32	公園・緑地・体育・レクリエーション施設	1人あたり平均緑地	昭和47年 5.56
33		住宅	昭和47年 5.61
28	ごみ処理	家庭系ごみ焼却処理率(%)	45.4 57.8
23		郵便局数	21 408 22 043
23	下水道	総人口普及率(%)	18.5 24.6
20		単位面積あたり敷設管延長(km)	1 062 970
53	幹線交通体系の整備や治山・治水対策	空港ジェット化率(%)	24.6 27.1
44		新幹線開通延長(km)	676 1 069
		新幹線開通延長(km)	867 2 022
		洪水防犯率(%)	昭和47年 52.1
		治水対策施設整備率(%)	昭和47年 11.3

注:

- ① ○—昭和52年2月「社会資本の整備に関する世論調査」(総理府調査)による。
 ② ×—昭和47年1月「社会資本の整備に関する世論調査」(総理府調査)による。

これによると、町内道路・バス・公園・治水施設等に不満が集中しており、諸施設間の整備水準の不均衡が目立っている。また、下水道や学校施設のように整備水準が上昇しているにもかかわらず、より良好な施設を求める意識の上昇速度のほうが大きいのか、不満度が上昇している。

このようなアンケート調査の結果は、アンケート対象者のごく身のまわりにみられる状況をベースにしたものであって、国土的な観点、地方的な観点からみた社会資本整備の不均衡状態とは異なるところもあるが、社会資本整備の方向を考えると重要な手がかりを与えるものであろう。

各市民や市町村・都道府県の立場からみた社会資本整備の不均衡状態のみにもとづいて国土に展開する各部門の事業計画を作成するのでは不充分さを免がれないだろう。各部門の目的に応じた統制のとれた社会資本整備の方向が見出されなければならない。

上述の議論から次のようなことが帰結できよう。すなわち、各部門の事業計画は、それぞれの機能の国土における効率的な充実を目指す「進軍ラップ」であり、各階層の地域計画は、均衡ある地域整備を行なうための各部門の事業計画策定者の「共通の論議の場」だと特徴づけることができる。

4. 地域計画策定の議論

地域計画を策定するためには、種々の論議にもとづかねばならない。それらのうち代表的な論議を列挙すればつぎのような事柄が上げられるだろう。

- ① 計画にもとづく価値基準・計画意図の設定
- ② 計画手段の選定
- ③ 計画をとりまく環境条件の規定
- ④ 計画の実施により得られる効果・影響の把握

これらそれぞれの論議の特徴について記述していくこととする。

(1) 価値基準・計画意図の設定

いつの時代においても、地域計画の究極的な目的は、その時代時代に特有な価値基準に照らして、最適な形態や構造をもつように国土を創造していくことにあるといえよう。

近代におけるわが国の国土計画の歴史をたどってもそれらが立脚する価値基準の歴史的変遷は著しいものがある。昭和15年に示された国土計画設定要綱には、国土防衛・日本民族の増強・高度工業の飛躍的拡充・食糧の充実確保・輸送力の強化といった目標が掲げられていた。

終戦直後の混乱期から抜け出し、荒廃した国土を保全し、復旧しつつ、国土と資源の積極的かつ効率的な利用を図ろうとして、国土総合開発法が制定されたのは昭和25年のことであった。

昭和35年に策定された国民所得倍増計画では、それ以前の経済計画が目指してきた電力・鉄鋼・造船といった基幹産業の生産力拡充と、石油化学・自動車・電子工業等の産業振興による国際競争力の強化という政策課題を引き継ぎつつ、発展する産業の地域的展開を日本列島のどこに受け入れるか、そして、当時の政策上の課題であった地域格差の是正と大都市の過密是正を、産業の地域的展開を軸としてどのように進めてゆくか、という問題意識のもとに「大太平洋ベルト地帯構想」が打ち出された。

この問題意識は、国総法成立以来12年目に作成された全国総合開発計画（昭和37年）に引き継がれ、新産業都市や工業整備特別地域の建設が進められたが、この頃から、産業開発と並行して

生活環境の問題が開発上の課題として認識されるに至ったことは注目してよいであろう。昭和39年12月に決定された中期経済計画では、生活面の後進的部門である住宅と生活環境施設の拡充にある程度重点が移された。

引き続く経済成長は、大都市における生活環境の悪化、若年労働力の大量の流出による過疎地帯の発生などの深刻な地域問題をひきおこした。ここで日本の開発課題は徹底した再検討を余儀なくされ、未来志向型の発想を基礎とし、昭和60年における国民生活の変貌、経済活動の発展を予測した上で、この将来変化に対応する大胆な国土開発の構想として、昭和44年、新全国総合開発計画が策定されるに至ったのである。

この間、公害の防除、住環境の整備が重点的な政策課題として取り上げられていたが、昭和40年代後半に至ってわが国をとりまく内外情勢は急激な転換を示した。通貨の多国間調整や、わが国の国際通貨の黒字基調の定着と、一段と深刻化する公害環境問題・物価問題がそれであり、ドルショック・オイルショックを契機として経済成長は減速に転じ、大きな曲がり角に到達した。一方、国民の考え方にも大きな変化がみられ、公共事業の遂行に対しても地域の人々の反発を誘発する例が多くなりようになった。

昭和52年11月4日に閣議決定された第三次全国総合開発計画は、新全総の方向を受け継ぎながら、人間居住の安全性をいっそう重視しようという今日的価値基準に見合せて定められたものといえよう。

このように国土計画の意図は、きわめて目まぐるしい変遷を見せたわけであるが、そこには時代の価値観の変遷に対する従順ともいべき呼応がみられる。計画意図の変遷は、国土防衛から国土復興、産業基盤整備へと重点が推移するのみならず、公害の防除、住環境の整備、有限な国土資源の有効利用といった新たな意図を次々と付け加え、単一計画意図から多次元計画意図へと変遷した。

ところで、時代の価値観の変遷を予測することは社会経済状態の予測に比して格段に困難であり、いまだその成功例を見ない。社会経済条件の変化を予測することが可能であるとしてもきわめて難しいといえる。というのは、価値観醸成の基盤ともいべき自然・社会・経済的環境条件と、そこに住み育くまれた人々のもつ価値観との間に、論理的な対応関係を見出すことができないからであって、時代の価値観の変遷を予測できないことが、地域計画がその策定後たちまち陳腐化してしまう一つの理由となっている。

それにもまして、それぞれの時代にどのような価値基準をとり上げて計画の策定をすべきか、という問いに対して論理的で普遍性をもった答を準備することはさらに困難であり、不可能と断言して差し支えがなかろう。時代に迎合した価値基準をとり上げることを悪いと決めつけることもできず、将来を見くすために現在の価値基準を無視することを良しとするわけにはいかないだろう。

価値基準と計画意図に関するいま一つの論点は、たがいに相異なる国の立場と府県の立場・市町村の立場・市民の立場を如何に調整するかという方法論である。これらの立場の相違は、それぞれが立脚する価値基準の相違にもとづくものであり、結果的に利害の不一致を招くことになり、このままでは、矛盾のない体系としての国土総合開発計画を形成することは不可能である。

一般に、異なる価値基準にもとづく2つの計画を調整し、総合して1つの計画にまとめ上げるには2種類の方法が考えられる。第一の方法は、説得（説法）によって他の価値基準を一方の価値基

準に同一化させることにより2つの計画の統一をはかるものである。ところで、われわれにはいずれの価値基準がより優れ、より普遍的であるかを定める手だてではなく、わずかに時の社会通念である「公共の福祉優先」だとか、「総論賛成各論反対というのは利己的だ」といった主張を論拠にして説得できようが、その絶対的の正しさが論理的・科学的に証明されることはない。

第二の方法は、両者の価値基準を前提とし、その相互の歩み寄り（妥協）により、ひとつの価値基準を作り上げ、それに立脚する計画をまとめ上げることである。この場合、ある計画の実施にもなつて両者が受ける利害得失の状況や、トレード・オフ関係を示すことは計画技術上不可能ではなく、両者の妥協点を探索するための重要な資料となり得る。さらに、両者の価値基準のどちらをどの程度のウェイトをもって重視するのかという点が量的に明示されるならば、両者にとって最適な妥協点を見出すことも、計画技術上、望めないことではない。ただし、両者の価値基準の間の合理的なウェイトづけを行なう方法が存在するわけではない。この第二の方法の典型的なケースは、強圧的・暴力的に相手の価値基準を無視して、自己の計画を押しつける場合であり、必ずしもこうしたケースを否定できるものではない。

このように、価値基準と計画意図の問題は、その時代推移を予測し、採るべき価値基準を設定することにしろ、立場の相異なる価値基準を統合してひとつのものにまとめあげることにしろ、論理的・科学的なアプローチのできない事柄が多く、その多くを行政担当者の判断に委ねざるを得ない。

(2) 計画手段の選定

わが国の三次にわたる全国総合開発計画でとられた計画手段をふり返ってみよう。第一次の全国総合開発計画で採られた手法は「拠点開発方式」とよばれ、新産業都市や工業整備特別地域の建設を主軸として産業の地域的展開をはかろうとしたものであった。新全国総合開発計画では、明治以降に発展してきた国土利用の仕組みでは、とうてい将来に予測される変化に対応できないと認識し、「大規模開発プロジェクト」の推進をその開発戦略としてあげた。第一のタイプのプロジェクトは、新たな情報・交通・輸送のネットワークの建設を、第二のタイプとしては、工業・エネ

表-2 地域開発関係諸法

国土計画的な法律

国土総合開発法（昭25）・国土利用計画法（昭49）

土地利用規制に関する法律

建築基準法（昭25）・都市計画法（昭43）

工業再配置促進法（昭47）

地方ブロックの開発計画に関する法律

北海道開発法（昭25）・東北開発促進法（昭32）

北陸地方開発促進法（昭35）・中国地方開発促進法（昭35）

四国地方開発促進法（昭35）・九州地方開発促進法（昭34）

沖縄振興開発特別措置法（昭46）

大都市圏の整備に関する法律

首都圏整備法（昭31）・近畿圏整備法（昭38）

中部圏開発整備法（昭41）

拠点開発的な法律

新産業都市建設促進法（昭37）・工業整備特別地域整備促進

法（昭39）・低開発地域工業開発促進法（昭36）

後進地域の振興に関する法律

過疎地域対策緊急措置法（昭45）・山村振興法（昭40）・豪

雪地帯対策特別措置法（昭37）・離島振興法（昭28）

ルギー・流通等の大規模な機能集積地の建設を、第三のタイプとして、都市開発など環境整備のプロジェクトを構想した。新しい技術体系と国土経営によって、国土全域に開発可能性を拡大しようとしたものといえるであろう。

第三次全国総合開発計画においては、大都市への人口と産業の集中を抑制し、一方、地方を振興し、過密過疎問題に対処しながら、全国土の利用の均衡を図りつつ、人間居住の総合的環境の形成を図るという方式「定住構想」が選択された。新全総においては生活圏を地域開発の基礎単位として設定したにもかかわらず、その整備が立ち遅れ、計画の意図した目的を達成できなかったことに鑑み、新たに三全総では、高度な教育・医療・文化機能の政策的な再配置を盛り込んでいる。また、国土資源の制約を乗り越えるため、豪雪地帯や海洋等のフロンティアに生活・生産の場（定住空間）を拡大しようとし、その研究開発投資に重点をおくとともに、食糧とエネルギーの確保についても多くの紙数がさかれている。

ところで、地域計画の手段の選定に関しては、大別して3種の論議がなされる。一つはどのような種類の行動を計画手段として採り上げ得るかという議論であり、二つは技術的・社会的・財政的に実現可能な計画手段であるかという議論である。三つ目は、計画意図の達成に対して効果的な手段かどうか、弊害をとまなわない計画かどうかという議論であるが、これについては（3）節で詳述しよう。

第一の議論、すなわち、計画手段として採り上げ得る行動の種類と範囲については、計画の実施主体である政府・地方公共団体等が法的・行政的・技術的に遂行し得る行動に限定されるのであって、1章に示した社会資本整備と法的行政的な規制・誘導・指導・調整措置等から成っている。いうまでもなくわが国は自由主義経済体制をとっており、公共部門と民間部門の間には一定の境界線が引かれているわけであるが、公共部門から民間部門への移行や、逆の民間から公共への移行等は、効率性・公平性・公共の福祉といった観点から慎重かつ大胆な検討が必要であろう。また研究開発部門への投資による技術革新により、計画手段のパラエティーを拡大する努力が必要である。

計画手段がこのように公共部門の範疇と技術的限界とによって限定されているとしても、その種類はきわめて多く、それらの組み合わせによって地域に配置・展開される姿は無数に考えられよう。一般には、過去に採られた計画手段が手段検索の対象となり、ややもすると典型的な計画意図に対して、類型化された手段を対応づけるという固定的・画一的なパターンが形成されがちであるが、実用的手段についての知識の体系的拡充整備により、地域特性に応じた合理的で個性的な開発パターンが追求されなければならない。

第二は、計画手段の実現性についての議論である。公共投資の財源は、一般財源と目的税による特定財源、および運賃・料金にもつく財政投融资、受益者負担金等であるが、これらは、租税政策や運賃料金政策の設定と経済成長、および施設利用者の見通しに大きく左右されるところから、財政的な実現可能性を見きわめることはかなり困難ではあるが重要な検討である。技術的な実現可能性は、本四架橋や新幹線建設のように先端をゆく大規模プロジェクトにおいて特に重要性をもつ。また近年とくに重視されている事項として社会的な実現可能性がある。地域計画には、一般市民・地域住民・利用者・費用負担者等々の多くの利害関係者がおり、それらの人々の同意が得られなければ計画の遂行ができないことが多い。補償制度の充実や環境影響評価の制度化の動きは、この面

での実現性の向上を目指すという側面もある。労働力や建設資材の調達能力も実現性に関わる重要な要因のひとつとなる。

(3) 計画遂行による効果・影響の予測

きわめてバラエティーに富んだ地域計画の手段の中から、実現可能性という観点によってふるいにかけてられた計画案は、引き続いて計画意図の達成に対してどの程度の効果・影響をもっているのかという点についてのふるいがかけられることになる。

しかしながら、地域計画手段が発揮する効果・影響の予測手法は、いまだきわめて未発達段階で低迷しているといわざるを得ない。それはひとえに、計画手段の実現とそれによって生起する効果・影響との関係について、論理的・科学的に納得のゆく法則性が見い出されていないことに起因している。地域計画学が、水理学や構造力学と比して決定的に欠如している点をつぎのように表現することができよう。

①力学では、主として質量保存則とNewtonの運動法則により物体や流体の状態を予測できる。一方、地域計画学では、質量保存則に対応して、財貨・サービス、資金、資産、人口などの収支式を合理的に示すことは可能であるが、運動法則に対応して、人口や工場の移動、財貨・サービスの流通を普遍的に示し得る法則性が見い出されていない。

②力学では、状況を単純化した実験によって理論の実証や、経験則の発見をすることができるが、地域計画学では単純化した状況のもとで実験を行なうことは不可能であり、過去の事象の観察以外にはすべがない。さらに、たとえ実験ができたとしても、観察対象は人間活動であり、再現性が得られるという保証はない。

地域計画学における上記2点の特徴は、水文学における確率統計的な降雨現象の把握と相通じるものがあるが、次の点で相違が現われる。

①水文学では多くの場合、降雨現象を人間活動から独立した現象と見ている。したがって降雨現象のみを考察対象として取り上げればよいが、たとえば、人口移動は公共施策や経済活動・生活環境等との関連で把握しなければならず、すべての要素が時々刻々変化していることから取扱いは非常に困難である。

②降水の観測データは、既に数十年から百年に及ぶものが蓄積され、その観測方法も一定しているが、地域計画に関するデータは、蓄積がきわめて少なく、データのとり方も一定していない。

こうした点で地域計画に関する研究は、経済学とかなり似通った立場に立たされているが、経済学以上に研究とデータの蓄積は貧弱である。

このように、地域計画手段の実施による効果・影響の計測・予測はきわめて困難であるが、さらに困難であるのは、計画の実施時点で予期し得なかった思いがけない現象（派生現象）が生ずることである。所得倍增計画は、その実施に伴って思わぬ消費者物価の高騰を招いたし、新全総計画では、その発表に伴って急激な地価の高騰を促し、国土利用計画法の制定（昭和49年）によってようやく鎮静した。また昭和30年代から40年代にかけての環境問題の統廃も計画の実施が招いた予期せざる問題であったに相違なく、環境影響評価の整備等によってこれを解決しようとする努力が今なお続けられている。

こうした派生現象の発生は、計画の実施によって影響の及ぶ要因があらかじめ落ちなく網羅され、

どの程度の影響が予測されるか、どのような措置が効果的に対応できるか、が充分に検討されれば未然に防除することも不可能ではない。

(4) 環境条件の把握と予測

地域計画をとりまく社会的・経済的・財政的・自然的な環境条件の推移を把握し、その将来を予測することは、価値基準と計画手段の設定においても、また計画の効果・影響の予測においても基礎となる重要な事項である。ことに従来の地域計画手法の中では、気候条件・地形地質条件・自然生態系の状態といった自然条件と、地域社会の歴史的伝統的な文化やいわゆる地方色を明示的に表現し、その特徴を生かすという努力がきわめて少なく、往々にして全国画一的な計画手法がとられがちである。

また、環境条件の予測の中で、昨今その影響が大きく、かつ予測の難しいものは、国際情勢の変動である。ドルショック、オイルショック、国際通貨不安等はまだ記憶に新しいが、これらを予測する有効な手だては今のところ誰も持たない。

さて、(1)から(4)にかけて、地域計画の計画論上の議論の論点を概観してきたわけであるが、これからの論理的・科学的な研究の積み重ねによって答の出る（可能性のある）問題と、時の情勢をにらみつつ政治的な判断をしなければならない問題を分けて見るとつぎのようになる。

①政治的判断を要する事項……計画で採り上げるべき価値基準を設定すること、および各階層の地域計画間と地域計画・事業計画間の調整をとること。

②論理的・科学的なアプローチによって答の出せる事項……計画の環境条件の予測を行なうこと。バラエティーに富んだ計画手段を提示し、その実現可能性を確認すること。計画の実施にともなう効果・影響を派生現象も含めて予測すること。

5. 地域計画作成のための計量モデル

ここでは、地域計画の作成にあたって論理的・科学的なアプローチにより答の出せる事項につき、その方法論を考察しよう。

まずはじめに地域計画の論議の中でも重要な位置を占める経済予測手法について概観する。

①積み上げ方式……国民総支出の構成項目別に個人消費・民間設備投資・在庫投資・政府支出・輸出入などの各予想値を、統計的指標の動向、予想統計ならびに簡単な計量経済学的モデルを適宜利用して推定し、これらの結果を集計して国民総生産の予測値や次年度の経済成長率などを導出する方式であり、昭和35年に作成された所得倍增計画を含めてこれ以前の経済計画はすべてこれによっていたといつてよい。経済自立五カ年計画（昭和30年）に用いられたコルム方式もこれに属するものであり、その方法は、人口推計から就業者を推定し、これに1人あたり国民総生産額を乗じて国民総生産の予測を行ない、つぎにこれに対応する総支出を、資本係数・消費性向・輸入依存度などの推定値を利用して投資・消費・輸出入の規模などを予測するものである。

この方式によると、比較的簡単に経済予測ができる反面、変数間の整合性をとることがむずかしい。また、種々の代替案の効果を比較・検討することも難しい。

②計量経済学的モデルによる予測……消費関数や投資関数などの行動方程式、生産関数のような技術方程式、税制などを示す制度方程式、国民総生産の定義を示す定義式から経済構造を表わす方

程式体系を作成し、過去のデータにもとづいて各方程式のパラメータを推計する。つぎに方程式の変数を、政策変数、外生変数、内生変数に分類し、政策変数には各時点での政策を、外生変数には各時点の予測値を、内生変数には初期時点の値を入れ、逐年的に内生変数のたどる過程を予測する。

③産業連関分析による予測……消費・投資・輸出などの構成項目ごとに

各産業部門の最終需要を予測すると、投入係数表を用いて産業間取引や各産業部門の生産額を予測することができる。長期予測の場合には投入係数の変化に配慮しなければならない。

昭和39年に策定された中期経済計画以降の経済計画は、②と③の予測方式を並行的に用いてきた。中期経済計画で用いられた計量経済モデルは中期マクロモデルとよばれ、43本の連立方程式からなり、政策変数として政府消費、政府投資、振替所得、社会保険費、官公事業剰余、個人税、間接税、法人税率、全国銀行平均貸付金利を用い、外生変数として、世界貿易、世界工業品輸出価格、輸入物価、総人口、労働力人口の5個を考えた。

これら計量経済モデルと産業連関分析モデルによる予測を可能としたのはコンピュータの登場によるところが大きい、その利点としてつぎのような事項が上げられる。

①変数間の整合性が保たれること……積み上げ方式では多くの項目の予測が独立に行なわれ、最後にそれらが集計されるが、この場合、各項目の予測事項相互の整合性が確保されにくい。計量経済モデルでは、各変数間の関係を方程式体系で規定しているので、少なくとも内生的に計算される部分は整合がとれている。

②外生変数の各種の想定にもとづいてシミュレーションを行ない、世界貿易や国際通貨が経済に及ぼす影響を検討することができる。

③数種の政策変数の組み合わせによる計画案を作成し、シミュレーションを行なうことにより、計画案のもつ効果・影響を比較検討することができる。

④計画と実績との乖離が変数ごとに明きらかになるので、客観的なフォローアップを行なうことができ、逐次モデルの改良を積み重ねて行くことが可能となる。

その後、中期マクロモデルは改良されながら後の経済計画の作成に用いられているが、これと並行して、計量経済モデルと産業連関分析モデルを連動させ、需要面と供給面の整合性が保てる形のモデル(COSMO)が作成され使用されている。

表-3 わが国の経済計画

名 称	作成 年度	計画 期間	経済成長率(%)		計 画 手 法
			計 画	実 績	
経済復興計画(1次)	23	5年	8~17	—	物動計画
“(2次)	24	5	7.2~12	—	“
自立経済計画	26	3	4.3~5.4	7.3	“
(32年経済表)	28	5	—	7.1	“
経済自立5カ年計画	30	5	5.0	8.5	コルム方式
新長期経済計画	32	5	6.5	10.6	想定成長率法
所得倍増計画	35	10	7.2	9.8	“
中期経済計画	39	5	8.1	11.2	計量経済モデル
経済社会発展計画	42	5	8.2	10.0	“
新経済社会発展計画	45	5	10.6	5.3	“
経済社会基本計画	48	5	9.0	—	“
昭和五十年代前期経済計画	50	5	6.25	—	“

経済予測方法としては、この他に、景気動向指数（DI）等の統計的指標を用いる短期的な予測手法や、企業や家計の予想や計画を体系的にアンケートして予測に利用する予想統計の利用等があるが、ここでは詳述しない。

さて、わが国の経済計画の策定手法は、今、概観したように、経済理論の充実・経済関係データの整備・コンピュータの発達といった要因に支えられて、積み上げ方式からその主流をすでに、計量経済とI-O分析にもとづく計量モデルに移行し終えている。

一方、ふりかえって地域計画の策定手法の現状を眺めれば、その大半は、積み上げ方式と同様の手法がとられている。その概略のフローは、まず、産業活動の規模を想定し、雇用労働人口を予測し、それにもとづいて全人口を予測して、産業と人口を受け容れるために必要な社会資本整備の規模が決定されるというものが多くのように思われる。こうしたフローから考えてもわかるように、この方式では、社会資本整備を計画通りに行なったとしても、当初に想定したような産業と人口がはりつくといった保証はどこにもなく、計画意図の達成にふさわしい計画が否か、より効果的な計画があるか、といった検討は行ないようがない。

こうした積み上げ方式による地域計画手法を脱し、計量モデルを用いた地域計画の作成を行なおうとする動きが最近ようやく目立ちはじめた。ここでは、土木研究所システム課で開発途上にある地域計量モデルを紹介しながら、その展望と問題点を探ってみよう。

公共事業をはじめとする政府施策が地域社会に及ぼす効果・影響は、種々の空間的スケールで現われる。たとえば、公共事業費の投入による国民総生産の上昇は、国家的スケールで把握される。

道路建設による交通や物資流動形態の変化、ひいては地域経済構造の変化は、地方・都市スケールにおいてはじめて把握できることである。道路周辺に新たに立地する住宅や事業所の分布状況、および、沿道でひき起こされる排気ガスや騒音被害の状況は、数十ないし数百メートルのスケールで把握できよう。このように種々の空間的スケールで現われる公共事業の効果・影響は、すべての事項にわたって計測・予測した上で総合的に評価し、計画案の優劣を判断し、より良い計画の策定がなされなければならない。土木研究所システム課では、表-4に示すような3種のスケールについてのモデルを作成し、多様な効果・影響を探る努力を続けている。たとえば、首都圏における社会資本整備は、首都圏内のみその効果・影響が現われるのではなく、国全体の過密・過疎状態に重要な影響をもつことから、このような3種のモデルによる解析が必要とされるわけである。モデルは、全国を対象とした地域マクロモデル、北海道・東北・関東・北陸・中部・近畿・中国・四国・九州の各地方を対象とした地域メソスケールモデル、各地方生活圏を対象とした地域ミクロモデルから成っているが、ここでは、地域マクロモデルの概要を示す。

地域マクロモデルは、建設事業が全国および9地方に及ぼす影響を把握しようとするものであり、建設省所管事業の投資総額と、その地域配分（たとえば都市部重点投資か、地方部重点投資か）、および事業別配分（道路に集中投資するか、水資源関係に重点をおくか）を変えた場合に経年的にどのような差違が地域の生産面・生活面に生ずるかを推測することが可能である。

地域マクロモデルの基本的な構成は図-3に示す通りである。政府部門は公共投資政策を入力する部門であり、これによる道路資本ストックの増加や地方間時間距離・交通量の変化が道路部門で表わされる。水資源部門では水資源関連資本ストックの増加や水需給の変化を表わす。一方、生産

表-4 建設事業インパクトを把握・予測する3つのモデル

モデル	対象項目(例)	対象地域スケール	摘 要
地域マクロモデル	国民総生産 地方別総生産 地方間人口移動 地方別民間投資 地方別交通需要 他	全国を対象とし、 北海道・東北・関東・ 北陸・中部・近畿・中 国・四国・九州の9地 方に分割	特別研究「地域計画策定手 法に関する研究」(昭和 49～51年)によって一 応完成
地域メソ スケールモデル	生活圏別総生産 生活圏毎人口推移 生活圏毎住宅立地 生活圏間物資流動 生活圏間通勤人口 他	各地方を対象とし、こ れを地方生活圏単位に 分割	重点研究「建設事業が地域 社会に与えるインパクトに 関する研究」(昭和52～ 55年)によって開発中 であり、現在近畿地方を対象 としている。
地域ミクロ モデル	沿道産業立地 沿道住宅立地 沿道大気汚染状態 沿道騒音状態 沿道地価推移 他	各地方生活圏を対象と し、これを数十ないし 数百メートルメッシュ 単位に分割	道路事業調査費「道路整備 が地域に与えるインパクト に関する調査」(昭和52 ～56年)によって主と して道路によるインパクト把 握を目的に行なっている。

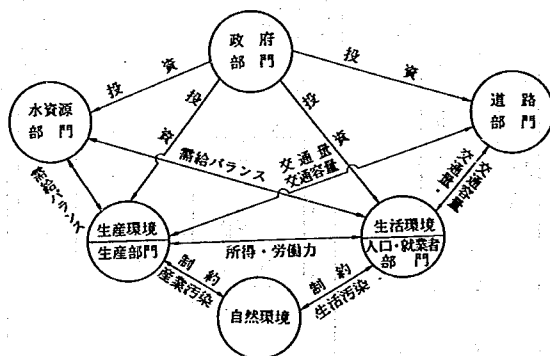


図-3 地域マクロモデルの基本構成

部門においては、各産業（10部門）ごとの生産額や民間設備投資の動向が表現されるが、これには公共投資額や公共資本ストックが影響を与えることはいうまでもない。人口や就業者の移動は、雇用状況・生活環境・所得格差等によって支配され、これは人口・就業者部門で取り扱われる。最後に、地方ごとのマクロ的な自然環境の推移が自然環境部門で扱われる。

地域マクロモデルのフローチャートは、図-4に示す通りである。このモデルの特質を列挙して

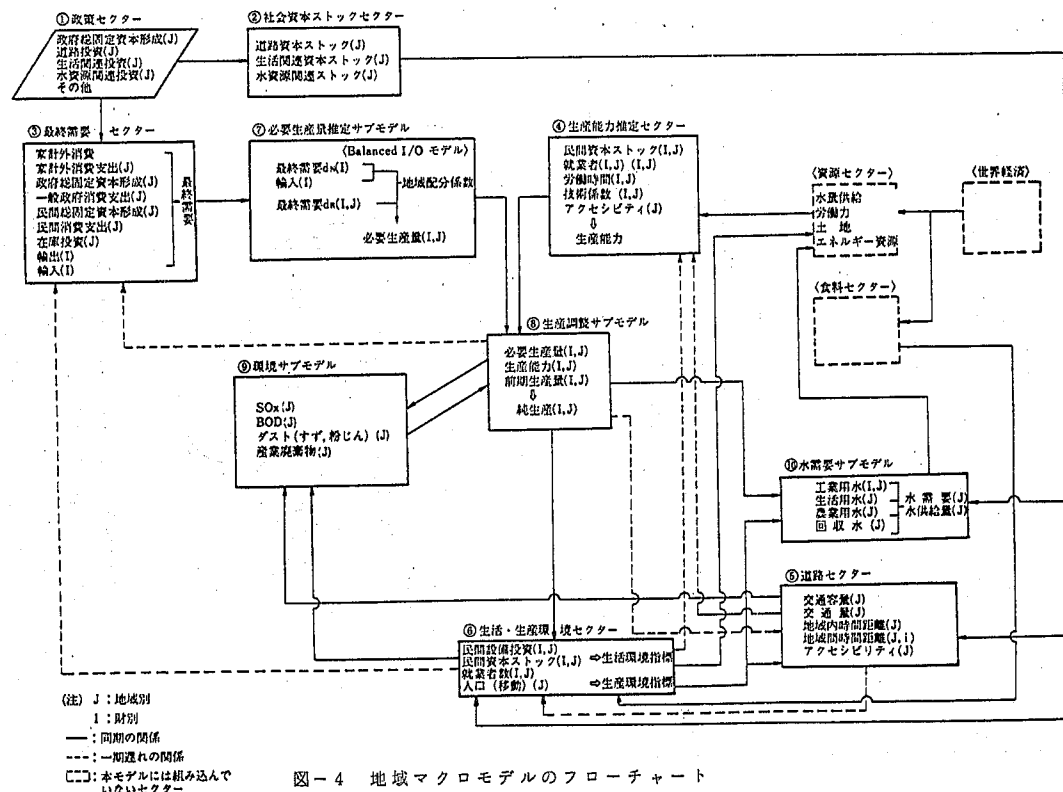


図-4 地域マクロモデルのフローチャート

みよう。

①計量経済手法と産業連関分析手法（Balanced I-O手法）によって各地方の生産額を推計し、ポテンシャルモデルによって産業と人口の地方間移動を表現している。この他の関係は、重回帰分析手法によっている。

②公共投資の影響をフロー量とストック量によるものに分けて表現している。

③需要面から定まる必要生産量をBalanced I-O手法によって推定し、生産関数から定まる供給能力との調整によって現実の生産量を定める（生産調整サブモデル）。

④道路ストックによる効果は、道路混雑度の減少、地方間及び地方内時間距離の減少、各地方のアクセシビリティの向上、といった因果連鎖を介して、民間設備投資の増加、人口の地方間移動という結果を生み出す。

⑤水資源ストックによる効果は、水需給の緩和をもたらすが、それが民間設備投資や人口移動に与えるであろう影響はモデルには組みこまれていない。今後の課題として残されている。

⑥地方におけるマクロな環境変化を表現できる。

以上が地域マクロモデルの概要であるが、地域メソスケールモデルも構造的には同様のものを考えている。地域ミクロモデルは、各地方生活圏を数十ないし数百メートルメッシュに分割して個々のメッシュの土地利用の変化や環境状態の変化、“暮らしよさ”の推移を把握しようとするものであり、地域に展開する面的な変化をディスプレイ装置を用いて表示することも考えている。

6. 地域計画は日々管理する必要がある！

表-3には、わが国経済計画の変遷をまとめている。この表からわかることは、各経済計画がその計画期間に比していずれも短命であるということであり、計画された経済成長率と実績との意外に大きな乖離がその原因らしいということである。ところで、経済計画を短命に終わらせ、計画値と実績値を乖離させた真の原因は、今まで述べてきたところから自ずと明きらかであろう。

①価値観の変遷にともなう計画の陳腐化。

②世界貿易等の外的条件の予測値との乖離。

③計画実施にともなう効果・影響の予測精度の低さ。

④物価高騰や環境問題等の予期せざる派生現象の発生による挫折。

⑤計画の実施順序・実施事項について、計画と実績とが異なることによる影響。

こうした議論は、地域計画についてもそのままあてはまる。

このように、計画は、完成したその日に命を終えるといっても過言ではなく、新たな計画が策定されるまでは、現実とは遊離した計画が遂行されることになる。

こうした状態は決して好ましい状態ではなく、この章での、地域計画を日々管理せよ、という主張の大きな拠り所となっている。これまで述べてきたように、地域計量モデルは、理論面においても、データ整備の面においてもやっとスタートが切られたばかりの幼稚な段階にあるが、合理的・合目的な地域計画策定の有力な武器となり得る可能性を秘めており、短期的な予測ならばある程度の精度を得ることも可能である。

こうした現状を踏まえて、ここに、

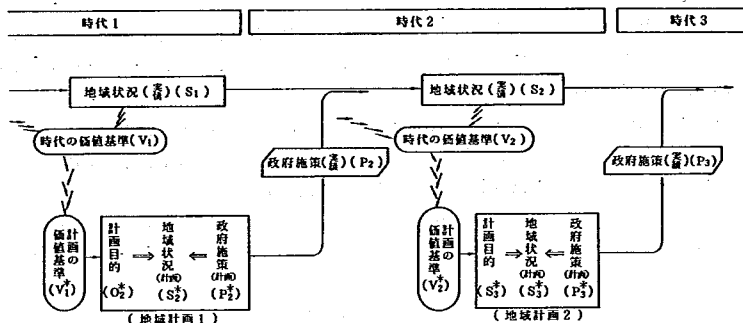


図-5 地域計画の変遷

『それぞれの地域において、その地域計画を日々管理せよ。それぞれの地域には、地域計量モデルを常設し、日々の地域の情報を収集整備しつつ、モデルの改良を積み重ね、質のよい地域計画を作成し続けよ。』

という提案をするのである。

1970年代以降、すでに多くの地域計量モデルが作成されてきた。しかし、その多くが、本四モデルや東京湾岸横断道路モデルがそうであるように、ある特定のプロジェクトの効果・影響を把握しようとして作成されたものであり、そのプロジェクトが終われば、フォローアップもなされずに消滅してしまうという運命をもっていたといえよう。しばしば、地域計量モデルのようなモデルは、正しいかどうかの実証がなされない、という主張がなされるが、これは、モデルが完成した翌日から実証期間が始まることを忘れた議論であって、こうしたフォローアップのないモデルはいくつ作っても進歩の少ないひとりよがりな陥る恐れが大きい。

先に示した提案では、国・地方・都道府県・生活圏といったそれぞれの地域で、地域計量モデルを常設し、その管理を日々行なうことを述べている。その効用は、一石三鳥である。

①各時点で、時宜に即した地域計画を得ることができ、均衡のとれた地域の発展をはかることができる。

②各時点で、実績値が刻々と得られ、そのデータをモデルにフィードバックすることにより、モデル精度の改良がはかれる。

③データの体系的な蓄積が可能である。

ことに、第3の効用は重要な意義を秘めている。現在、国民経済の測定については、新SNA (A System of National Accounts) への移行が進められている。これは、国民経済を映す経済統計として、国民所得統計・産業連関表・資金循環勘定・国際収支表・国民貸借対照表の5つがあり、ストックからフローまでの国民経済を包括的にカバーしているが、従来、これらの統計

相互間には部門分類等で整合性がなく作成年次もバラバラであった。そこで今回、これらの整合性をとり、国際比較もできるような国民経済勘定体系への移行が行なわれつつあるわけである。現在、地域経済に関しては、このように体系だった統計はなく、5年に一度の9地域間産業連関表と農林センサス、3年に一度の事業所統計調査、2年に一度の商業統計、毎年出される工業統計、府県民所得統計等があるが、これらの間の整合性は必ずしもとれていない。ただし、経済関係データは整備されている方であり、他の項目についてはきわめて限られたデータしか利用に供されていない。現在行なわれている地域メッシュデータや国土基本図の整備、パーソントリップ調査や物資流動調査の体系的実施がまたれるところである。と同時に、地域計量モデルの側から、どのような体系のデータ整備が必要かを明らかにしていく必要があろう。

参 考 文 献

- 1) 永井・岩松・吉川・五十嵐：土木計画学の領域と構成，土木学会編土木計画学シリーズⅡ，技報堂，昭和51年1月。
- 2) 岩松・吉川：公共事業の計画策定手法に関する研究（Ⅰ）——計画マトリックス法と地域マクロモデルを中心にして——，土木研究所報告第150号の1，昭和52年11月。
- 3) 経済審議会経済計画基本問題研究委員会編：日本の経済計画，昭和44年6月。
- 4) 経済審議会計量委員会編，計量委員会第4次報告，昭和48年11月。
- 5) 福地崇生：地域経済学，有斐閣双書，昭和49年8月。
- 6) 金子・三木：地域開発計画の話，日経文庫，日本経済新聞社，昭和46年4月。
- 7) 国土庁編：第三次全国総合開発計画，昭和52年11月。
- 8) 経済企画庁総合計画局：地域連関計量モデルによる地域構造変化の予測，昭和49年3月。
- 9) 牧野昇編：国土計画と地域経済，鹿島出版会，昭和49年11月。
- 10) 建設省道路局：道路投資の規模・地域配分に関する分析，昭和51年3月。
- 11) 日本経済新聞：国民経済をどう測るか，新SNA，昭和53年1月～2月。

土木における高分子材料の利用の現状と問題点

化学研究室長 蒔 田 実

土木における高分子材料の利用の現状と問題点

化学研究室長 蒔 田 実

1. ま え が き

近年の化学工業は、数々の新しい高分子材料を生み出してきた。これらは、我々の衣食住はもち論、生活のあらゆる部分に利用されており、現在の我々の生活は、これらの合成高分子材料（以下単に高分子材料と略す）なくしては考えられないまでになっている。高分子材料は従来の材料に比べて、i) 成形が自由で加工性が良い、ii) 軽量で強靱、iii) 耐水性、耐湿性、耐食性、絶縁性に優れている、iv) 工場での大量生産が可能である、等の特長をもっている。

土木においては、土、岩石、木材等の天然資材ならびに鋼材、セメント、アスファルト等の材料が用いられているが、土木技術の高度化と多様化ならびに土木に対する社会的要請の質的变化にともなって、より性能の優れた材料が必要とされるようになってきた。そこで、土木の各分野で、従来の土木材料の欠点を補う補助材料として、あるいは新しい特性を利用した新材料として、高分子材料の利用開発がさかんにおこなわれている。

ここでは、土木における高分子材料の利用の現状の概略を紹介し、次いで特に高分子材料の積極的な利用がはかられている代表的なものとして、舗装材料、防錆・防食材料および地盤注入材料についての利用開発の現況および問題点についてやや詳しく、筆者なりに取りまとめたところを紹介する。

2. 土木における高分子材料の利用の現状

高分子材料は、土木のいろいろな分野で、いろいろな形で利用されている。すでに可成り実用的に利用されているものもあれば、試験的に利用し、その利用開発を進めている段階にあるものである。ここでは、広く土木の各分野で利用されている、あるいは利用開発が進められている高分子材料について、列挙してみた。

2.1 道路への利用

a 舗装材料

- | | | | |
|------------------|---|--------------|---|
| i) 耐流動・耐摩耗舗装 | { | パッチング
貼 付 | ゴム入りアスファルト |
| ii) 薄層舗装、橋面舗装 | | | 樹脂（熱可塑性）入りアスファルト |
| iii) すべり止舗装 | | | エポキシ樹脂入りアスファルト |
| iv) カラー舗装 | | | エポキシ樹脂 |
| v) 舗装用目地材 | { | 目地板
注入目地材 | ゴム（粉末）入りアスファルト（シート） |
| | | | ゴム発泡体
ゴムアスファルト、ポリサルファイド、ポリウレタン
ゴムガスケット（成形品） |
| vi) コンクリート舗装用養生剤 | { | 養生膜
散布剤 | 塩化ビニル、ポリエチレン（フィルム） |
| | | | 油脂・樹脂（乳剤） |

vii) コンクリート舗装用		ポリエチレン (フィルム)
路盤紙		メラミン樹脂加工クラフト紙
b 安全施設		
i) 案内・警戒標識	{ 板	FRP (ガラスセイン+ポリエステル)
	{ 表面シート	ABS, ポリカーボネイト, アクリル
ii) 反射鏡	{ バックボード	FRP, ABS
	{ 鏡面	アクリル, ポリエステル, ポリカーボネイト
iii) 支柱		{ 塩化ビニル, ABS, ポリエチレン (鋼管の被覆)
		{ エポキシ, アクリル, メラミン (鋼管の塗装)
iv) 視線誘導標	反射体	アクリル, ポリカーボネイト, スチロール
v) 道路紙	{ チャッターバー	アクリル, ポリカーボネイト
	{ ロードマーカー	アクリル, ポリカーボネイト
vi) カラーコーン		塩化ビニル, ゴム
vii) ガードレール		エポキシ, ナイロン (鋼板の粉体塗装)
viii) レーンマーク		アクリル, 石油樹脂
2.2 橋梁への利用		
a 防錆塗装		フタル酸樹脂, 塩化ゴム, フェノール樹脂
		エポキシ, ウレタン
b 橋面舗装		ゴム入りアスファルト, 樹脂入りアスファルト
		エポキシアスファルト, エポキシ樹脂
c 伸縮装置	{ めくら目地等	ゴムアスファルト (注入目地材), ゴム (ストッパー)
	{ ユムジョイント方式	ゴム (成型品), エポキシ (モルタル)
d 排水設備	{ 排水マス	
	{ 排水管	塩化ビニル
e コンクリート床版等の補修	{ 板	FRP (ガラスセイン+ポリエステル)
	{ 注入・接着	エポキシ
	{ モルタル	エポキシ
f 海底岩盤不陸の修整		ゴム (スポンジ)
2.3 トンネル (共同溝) への利用		
a 防水材	{ 防水シート (壁工背面・中間)	塩化ビニル, EVA, ゴム
	{ 吹付材	ポリエステル
	{ 止水板	塩化ビニル
b 裏込め材		セメント, 薬液注入材
c 風管	{ 加工布	ビニール, ナイロン, ビニロン
	{ 加工板	FRP (ガラスセイン+硬質塩化ビニル)
d 沈埋トンネル接合部		ゴムガスケット (NR, CR)
e 補修樋・カバー		塩化ビニル, ポリエステル

2.4 河川、河岸への利用

a 水門、可動堰

i) 防錆・防食材料

ii) ラバーダム

b 堤防

i) のり面保護

ii) 洗掘、漂砂防止

iii) 湧・漏水防止

c 止水矢板

2.5 砂防、山腹工への利用

a 砂防ダム 天端保護工

b 落石防護棚、防止網

c 植生工

i) 吹付(結合材養生剤)

ii) マット張

iii) 袋工

d のり面保護枠

2.6 地盤処理への利用

a 排水材

i) ドレーン材(ペーパー、サンド(袋))

ii) 暗渠排水材

b 敷網工用材(透水注シート)

c 地盤注入用薬液

2.7 下水道への利用

a 下水管

b 曝気槽フタ及びダクト

c 硝化槽等内面ライニング

2.8 その他

a コンクリート構造物(製品)への利用

ポリマーセメントコンクリート

レジンコンクリート

(橋梁の塗装と同じ)

ゴム(CR)+ナイロン(補強)

ポリエチレン、塩化ビニール
ポリプロピレン、塩化ビニリデン
ビニロン、テトロン、ナイロン
(シート、マット、織布、不織布)

塩化ビニル

ポリエステル、エポキシ(レジンモルタル)

ビニール、塩化ビニル(被覆)

ウレタン、ポバール、酢酸ビニール
(種子、肥料etc)
尿素樹脂(種子、肥料、有機質土、セメント
etc)

ポリプロピレン、ビニール(種子、肥料)

ポリエチレン(網袋-種子、肥料、土壌)

塩化ビニル、ポリエチレン+ポリプロピレン

ポリエチレン+ナイロン(成型品)

塩化ビニル(多孔質)、ポリエチレン(網袋)

ポリエチレン

ポリエステル、ポリプロピレン、ビニロン、
ナイロン

水ガラス(アクリルアミド、尿素・ホルマリン
初期、縮合物、ウレタン)

FRP(ガラスセニイ+ポリエステル)

塩化ビニル

FRP

タールエポキシ

SB Rラテックス、ポリアクリル酸エステル

ポリエステル、エポキシ、ポリウレタン、フラ

- ポリマー含浸コンクリート } ンポリスチレン, ポリメタクリル酸メチル
(ブロックマンホール, 耐食性パイル等)
- b コンクリート用型枠 { ポリウレタン (合板の表面処理)
FRP (")
ABS (硬質)
- c 土砂飛散防止材 ビニール (エマルジョン)
- d 凝集沈殿剤 (土木工事に伴う廃水処理) ポリアクリルアミド

3. 舗装材料としての利用と問題点

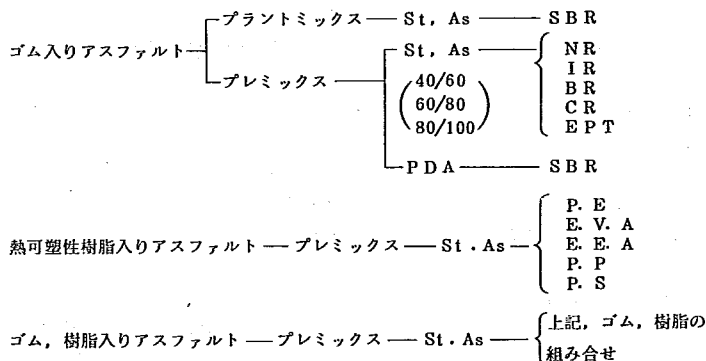
現在, 我が国の道路舗装は90%以上がアスファルト舗装となっている。アスファルト舗装は施工が容易で, 舗設後早期に供用開始できること, 地盤の変形に追従し易く段階施工が出来ること, 舗設後の地下工事等においても取こわし補修が容易であることなどにより, 広く利用されてきた。しかし, 近年の交通量の増大, 車輛の大型化にともなう, アスファルト舗装の流動あるいはスパイクタイヤ, タイヤチェーンなどによる損耗が著しく, 従来の舗装の寿命が確保できなくなっており, より性能の優れた舗装が必要とされるようになってきた。他方, 交通の安全管理面から交通事故の多発する箇所等においてはより安全な舗装が必要とされるようになってきた。

このようなアスファルト舗装に対する新しい要求を満たすため, アスファルトの性質を改善するためあるいはアスファルトにかわる新しい舗装材料として, 高分子材料の利用開発に関する検討が進められている。

3.1 改質アスファルト

3.1.1 改質アスファルトの種類

高分子材料をアスファルトに添加して, その性質を改善することがおこなわれているが, 改質の方法および用いられる高分子材料の代表的なものとしては, 次のようなものがある。これらは, いずれも, 従来のアスファルトと同様に, 骨材と加熱混合して創設されるもので, 一部のものはかなり実用的に, またあるものは試験的に実際の道路に使用されている。



熱硬化樹脂 入りアスファルト $\left\{ \begin{array}{l} \text{プラントミックス} \\ \text{ブレミックス} \end{array} \right\}$ St, As エポキシ樹脂

3.1.2 アスファルトの改質の効果

アスファルトは感温性の高い材料で、低温では硬くて脆くなり、高温になるとやわらかい粘性流体状になるため、アスファルト舗装はもともと、寒冷時にはクラックを生じ易く、温暖時には流動を生じ易い性質をもち、これが舗装としての欠点になっている。高分子材料をアスファルトに添加し、その性質を改善することは、すなわち、アスファルトのこのような感温性を鋭くすることにあると言える。

各種の改質アスファルトが実際に市販されており、実際にも使用されているが、アスファルトの改質の効果については必ずしも定まった評価がなされていない。そこで、今までに明らかにされているデータをもとに、アスファルトの改質の効果について、筆者なりにその概略を取りまとめると、次の様になる。

図-1に、ストレートアスファルトにSBRラテックスを添加した時の粘度～温度曲線を示した。この結果から明らかなように、SBRラテックスを混入することにより、40℃以上ではストレートアスファルトの粘度が高まることが判る。舗装の最高温度と考えられる60℃においては、約1500 PのストレートアスファルトがSBR 5%および10%の混入で、およそ7000, 15000 Pとなり、

温暖時の耐流動性に対する改善効果が期待できることが判る。アスファルト舗装をする時の加熱混合温度および締め固め温度はそれぞれ粘度が約1.5 Pおよび約2.5 Pとが最適とされている。したがってSBRを混入して粘度の高く

なった改質アスファルトでは、ストレートアスファルトに比べてずっと高温で加熱混合し、締め固めなければならないことになり、作業性の点で劣ることが判る。すなわち、図-1の例ではストレートアスファルトでは160℃で混合すればよいものが5%のSBR添加アスファルトでは210℃程度に加熱しなければならない。このような施工性の点から、SBRを10%以上も添加する

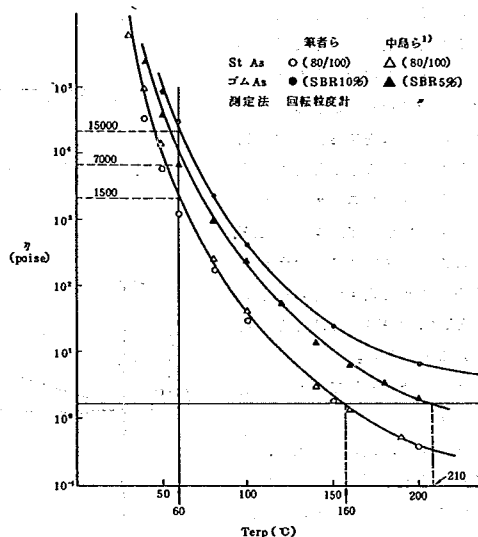


図-1 ゴム (SBR) 入りアスファルトの粘度～温度

ことは従来通りの施工法では実質的に不可能になることが判る。

感温性を鈍くすることは、高温時の耐流動性のみならず、低温時の脆性の改善にも効果があると期待される。図-2に、ゴムおよび樹脂のアスファルトの軟化点およびフラース脆化点に及ぼす影響についての測定例を示す。添加量が増すにしたがって、軟化点は上昇し、図-1の粘度が増大する結果を裏付けている。しかし、フラース脆化点は、SBRの10%添加を除いては一般に大した変化はなく、10%程度の添加量では添加の効果はほとんどないことが判る。

また、高分子材料の添加は、アスファルトの骨材に対する粘着力、把握力を向上させることが期待されるが、図-3にタフネス、テナシティーに及ぼす影響を示す。ゴム(SBR, CR)の添加はタフネス・テナシティーを増大させる効果が得られるが、樹脂(EVA, EEA)はほとんど効果のないことが判る。

3.1.3 混合物としての改質の効果

アスファルトの改質の効果は、混合物に対してどう影響するか。代表的な試験結果を、図4~7に示す。

アスファルト自体の改質効果では、耐流動性の改善を期待させるが、図-4のホイールトラッキングの試験結果は、混合物にしてもゴム(SBR)の添加の効果が顕著であることを示している。図-5は、各種の改質アスファルトの混合物のホイールトラッキング試験結果を示したもので、

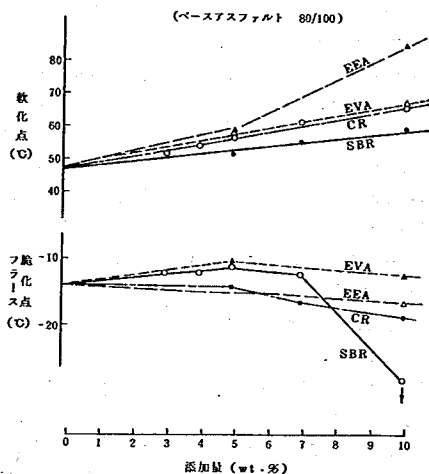


図-2 軟化点、フラース脆化点に及ぼす改質材影響²⁾

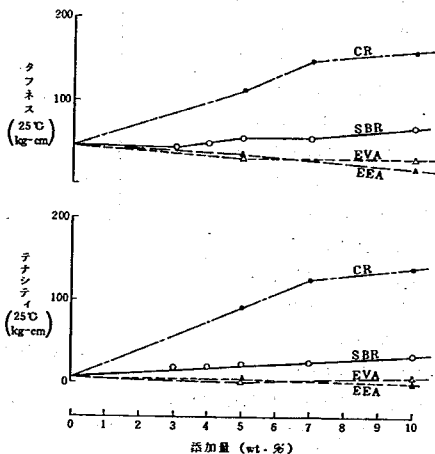
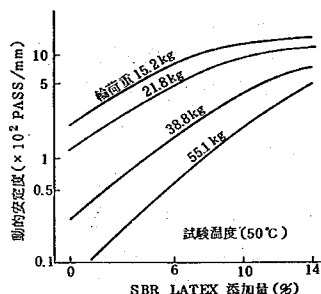
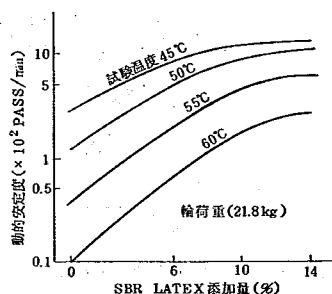


図-3 タフネス・テナシティーに及ぼす改質材の影響²⁾



(a) 動的安定度に対する輪荷重の影響



(b) 動的安定度に対する温度の影響

図-4 ホイルトラッキング試験結果に及ぼす SBR の影響³⁾

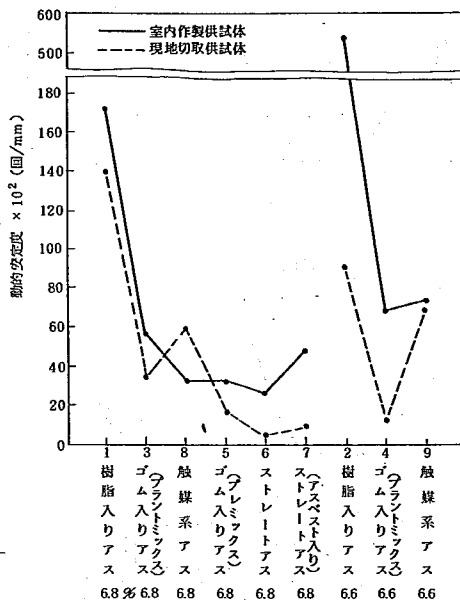


図-5 各種改質アスファルトのホイルトラッキング試験結果⁴⁾

改質アスファルトの種類によってかなり差があり、樹脂入りアスファルトが著しい効果を示した反面、ゴム入りアスファルトではその効果が僅かなものもあることを示している。

アスファルトの低温時のすりへり抵抗に対する改質効果については、図-6, 7は、ゴムアスファルトの種類による差が著しく、耐すりへりに対して可成りの改善効果のあるものと、全く効果がなくかえってすりへり量の増大するもののあることを示している。なお、これらの結果は、ゴムの種類のみならず、ベースとなるアスファルトの性状にも大きく影響されていることを予想させる。図-8は、曲げ強度の最高になる温度

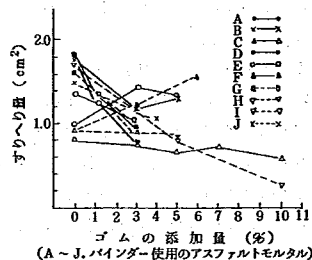


図-6 ラベリング試験結果に及ぼすゴムの影響⁵⁾

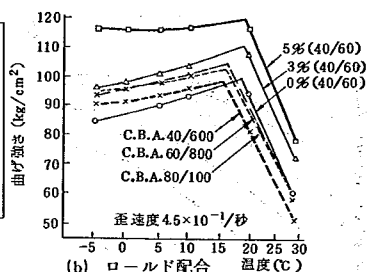
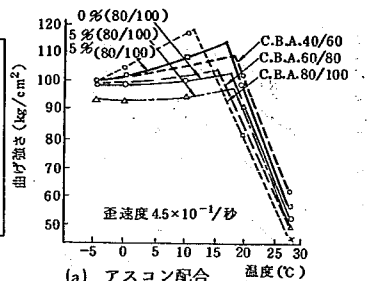
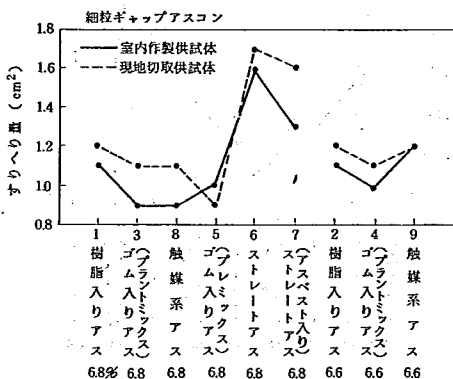
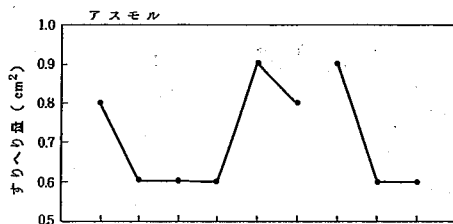


図-8 曲げ強さに及ぼす SBR の影響⁶⁾

図-7 各種改質アスファルトのラベリング試験結果⁴⁾

(脆化点)は、ゴム (SBR) の添加量によってあまり変化しないことを示し、図-2 と同様の結果を示している。しかし、脆性領域 (脆化点以下の温度) での曲げ強度にゴムの添加の効果があり、アスファルトの低温性状の改善に効果ある結果を示している。

3.1.4. 試験舗装

改質アスファルトの実用的な性能を評価するための試験舗装が実施されているが、現在のところ改質アスファルトの効果についての評価は様々で定まったものがない。図-9、10 は土木研究所で実施した岡部および宮野木の試験舗装の結果で、岡部の試験舗装の8ヶ年の結果 (図-9) では、ゴムアスファルトの舗装は、わだち掘れ量が小さく、ゴムによる改質の効果を一応示しているが、宮野木の2年間の結果 (図-10) では、横断凹凸量はゴム入りアスファルトの区間とストレートアスファルトの区間でほとんど差がない結果を示している。図-11 は、北海道の土木試験所で実施した光珠内の試験舗装の2ヶ年間の結果を示す。冬期のわだち掘れ (すりへり) の進行には、アスファルトの種類による差が大きく、樹脂入り及び1部のゴム入りアスファルトには改質の効果が見られる。しかし、夏期のわだち掘れ (流動) は供用後の夏にはかなり進行するものの、アスファルトの種類 (触媒アスファルトを除いて) による差はあまりなく、2年目の夏期にはその進行はか

なり鈍化する結果を示している。

3.2 舗装用エポキシ樹脂

材料

3.2.1 エポキシ樹脂

エポキシ樹脂は、その分子内にエポキシ基 ($\text{CH}_2-\text{CH}-\text{O}$) をもつものの総称で、いろいろな分子構造をもつものがある。その代表的なものとして、次のような分子式をもつビスフェノール A / エピクロールヒドリン型と呼ばれるものが

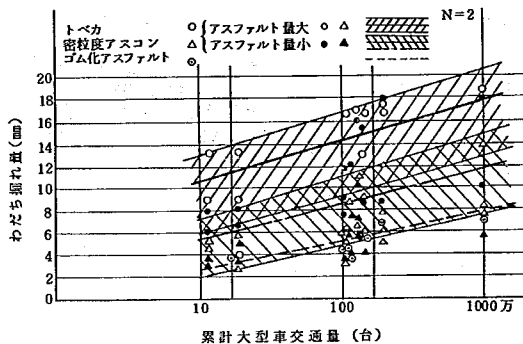


図-9 岡部試験舗装の結果⁷⁾

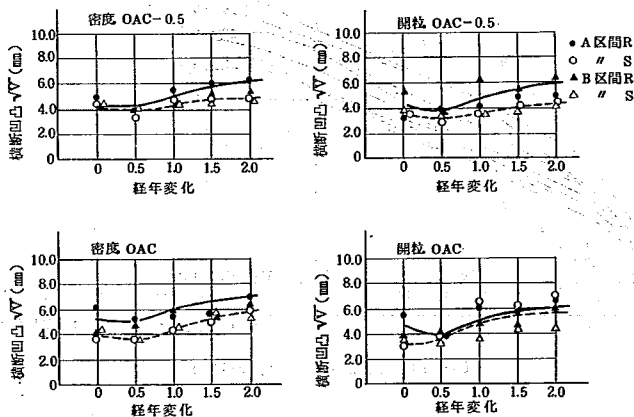
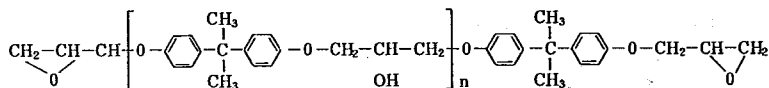


図-10 宮野木試験舗装結果⁸⁾

良く知られている。



n が変わることによって分子量の異なるものが出来るが、現在市販されているものの代表的なものを表-1に示す。

エポキシ樹脂は、それに各種の硬化剤を作用させて、種々の樹脂を作ることが出来るが、代表的

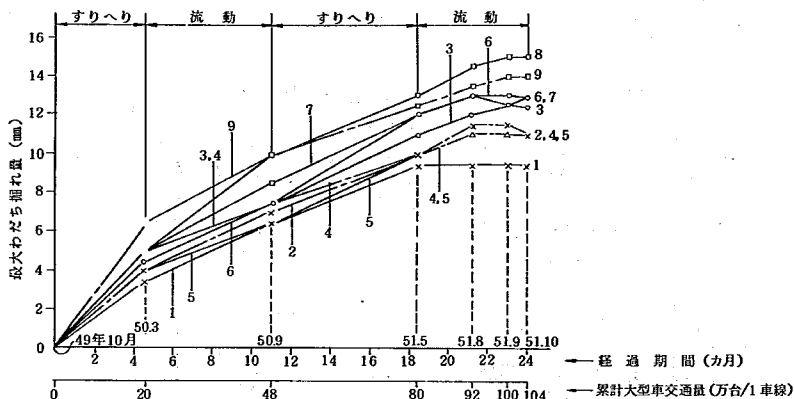
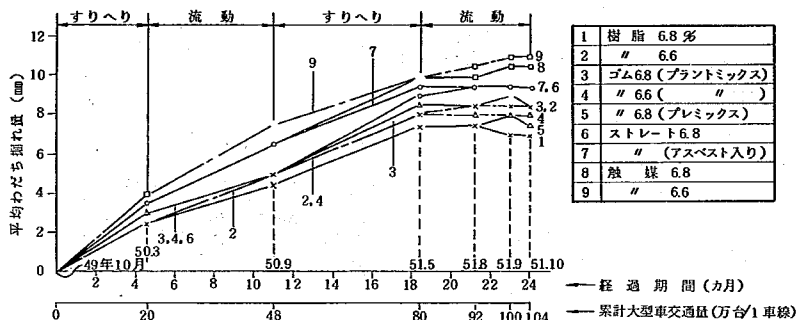


図-11 光珠内試験舗装の結果⁴⁾

硬化剤の種類を表-2に示す。一般には主剤と呼ばれるエポキシ樹脂に硬化剤を作用させるだけでなく、目的に応じてさらに各種の助剤を組み合わせ、使用されることが多く、通常、エポキシ樹脂の配合には、次のものが用いられている。

主剤	エポキシ樹脂 (表-1, その他)
硬化剤	アミン等 (表-2, その他)
反応性希釈剤	エポキシ基をもった希釈剤
非反応性希釈剤	エポキシ基をもたない希釈剤
充填剤	タルク、石英粉等
樹脂変性材	○ エポキシ基とともに硬化する他の樹脂 ○ 硬化剤として作用する樹脂

表-1 ビスフェノールA/エポクロロヒドリン型

市販エポキシ樹脂の種類⁹⁾

nの平均値	分子量 (概略)	融点(°C)	エポキシ当量 (平均)
0.10	360-380	液 状	185
0.15	370-400	"	193
0.21	380-420	"	200
0.30	390-450	"	212
0.60	460-560	"	256
1.80	770-1,000	60-75	435
2.20	850-1,100	60-75	480
5.50	1,750-2,050	90-105	1,000
14.40	4,000-5,000	125-135	2,000
16.00	5,000-8,000	145-155	3,330

表-2 エポキシ樹脂の硬化剤

1	脂肪族単純アミン
2	アミンアダクト
3	ポリアミド樹脂
4	芳香族アミン
5	アミン予備縮合物
6	複合アミン化合物
7	アミン塩、アミン塩錯化合物
8	有機酸とその無水物
9	有機酸無水物予備縮合物
10	尿素、メラミン樹脂
11	アニリン、ホルムアルデヒド樹脂
12	多価フェノール

○硬化剤とは関係なく硬化物中で物理的な結合状態にあるもの

3.2.3 舗装用エポキシ樹脂

交通事故の防止対策として、交差点、急勾配の坂、急カーブ、地下鉄工事現場上の覆工板など、スリップを起し易い場所で、エポキシ樹脂（常温硬化型ニート工法）が用いられている。また、最近では橋面舗装など薄層舗装に用いるエポキシ樹脂（加熱混合用）の研究開発が進められている。舗装用エポキシ樹脂が、アスファルトと基本的に異なる点は、熱を加えることによって硬化が促進され樹脂化することにしてあり、一度硬化したものは、再び加熱しても再混合できるような流体状にはならない点にある。

舗装用エポキシ樹脂（ニート工法用）は、現在多くの種類のものが市販されているが、その配合によって、アスファルト変性エポキシ樹脂、タール変性エポキシ樹脂および変性エポキシ樹脂（瀝青分を含まない）に大別される。舗装用エポキシ樹脂の基本的な性質については従来あまり明らかにされていないが、土木研究所で実施した研究結果から、およそ次の事が明らかにされている。

(1) 引張試験における応力～歪

図-12に種々温度における引張試験の応力～歪曲線の代表的な例を示す。低温時には少い歪で応力が急激に増大し、破断する典型的な脆性破壊を示し、高温時には僅かな応力の間に歪みが著しく大きくなり破断する典型的な延性破壊を示し、その中間の温度領域では、金属にも似た降伏点をもった破壊を示す。このように舗装用のエポキシ樹脂は温度によって極めて異なった挙動を示すため、それが供用される温度領域全般についての性状を把握することが必要である。

(2) 引張強度および伸びの温度依存性

各種の舗装用エポキシ樹脂の引張試験における破断時の強度と伸びの温度による変化を図-13、14に示す。一般的な傾向として、引張強度は低温時には大きい、ある温度で急激に低下し、高温時には非常に小さくなる。伸びは低温時には小さいが、強度の急激に変化する温度領域でピークを示し、更に高温になると再び小さくなる。また、低温時の強度と伸び、これらが急激に変化する

温度およびその時の伸びなどは舗装用エポキシ樹脂の種類によって大きく異なる。

(3) 動的性質の温度依存性

舗装用エポキシ樹脂は、それが供用される温度範囲において機械的性質が大きく変化するため、舗装用エポキシ樹脂の性能を明らかにするには、供用温度の全

範囲にわたってその性質を測定する必要がある。広い温度範囲にわたる性質を簡便に測定する方法に動的試験がある。図-15に各種エポキシ樹脂の代表的なものについての動的性質の温度依存性を示した。いずれも低温時には動的弾性率は大きくほぼ一定し、ガラス状態にあるが、温度が上昇するとやがて弾性率は急激に低下し、ガラス転移領域を経て、更に高温になると弾性率は低いままほぼ一定し、ゴム状態になる。なお、動的弾性率は速度にも依存し、速度を速くすることは、温度を低下させるのと同様の効果があり、速度と温度の等置換算性のあることが明らかにされている。舗装用エポキシ樹脂（常温硬化型ニート工法用）の動的試験結果と実用的な性能については必ずしも明らかにされていないが、ガラス転移領域にいま1つの転移（2次転移）のあるもの、ガラス転移温度が低く、転移領域の中の広く、ゴム状態領域の動的弾性率が 10 kg/cm^2

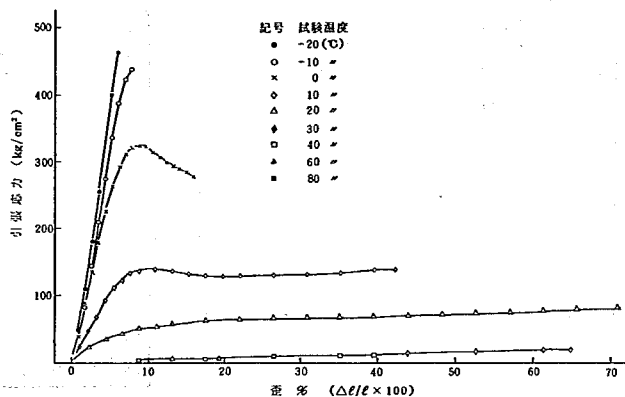


図-12 舗装用エポキシ樹脂の引張応力～歪曲線¹⁰⁾

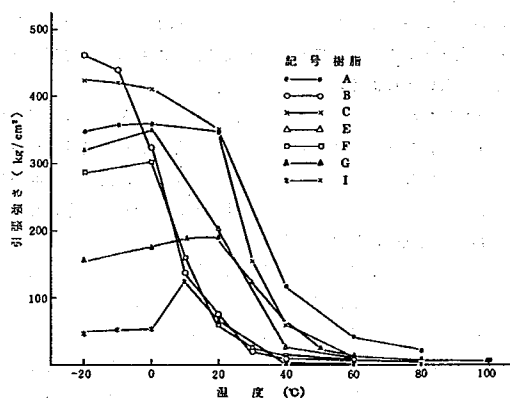


図-13 舗装用エポキシ樹脂の引張強さの依存性¹¹⁾

のオーグにあるものが性能的に優れていると考えられる。

動的試験は必ずしも一般的ではないが、この種材料の性能を評価するには J I S 規格のプラスチック材料に関する試験 (20℃ の引張試験) のみでは不十分で、少なくとも -10℃ 以下、20℃ および 60℃ における引張強度および伸びとから供用温度範囲全般にわたる性質を推定する必要がある。

舗装用エポキシ樹脂 (常温硬化型ニート工法) については、筆者らは表-3 の規格 (案) を提出している。

3.3 今後の問題点

(1) アスファルトの改質材の基本的性状と改質効果並びにその適用限界の究明 (改質に適したアスファルトの選定)

(2) エポキシ樹脂の配合組成 (施工条件を含む) と舗装材料としての適用性の究明 (新材料の開発)

(3) 目的に応じた改質アスファルトおよび舗装用エポキシ樹脂の配合設計と施工法の確立

4. 防錆, 防食材料としての利用と問題点

近年、鋼材が土木の構造用材料として多量に使用されるようになってきたが、鋼材は腐食しやすいと言う本質的な弱点をもっている。したがって、鋼構造物が目的とする耐用年数の間その機能を果たすためには、防錆, 防食対策が不可欠となる。土木構造物は一般に耐用年数が非常に長期にわたるため、現状ではそれを維持するための防錆, 防食上の補修の手は省けないが、あまりひんばんな補

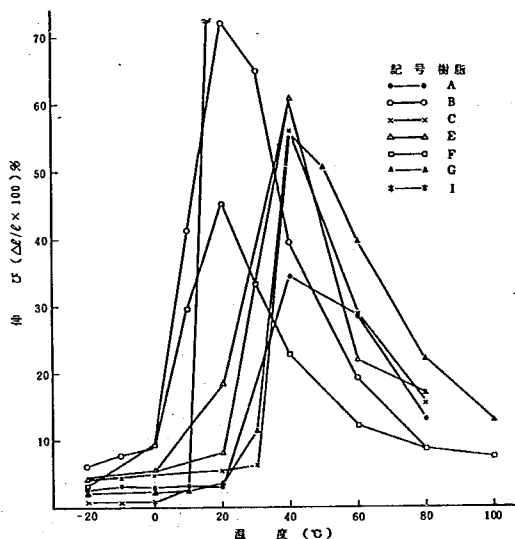


図-14 舗装用エポキシ樹脂の伸びの温度依存性

表-3 舗装用エポキシ系樹脂材料 (ニート工法用) の品質の標準 (案)¹⁰⁾

試験温度 (°C)	引張強さ (kg/cm ²)	伸 び (%)	試験方法
-10	200 以上	3 以上	J I S K-6911 供試体は、 201 で 7 日 間養 する
20	50 以上	15 ~ 100	
60	5 以上	10 ~ 50	

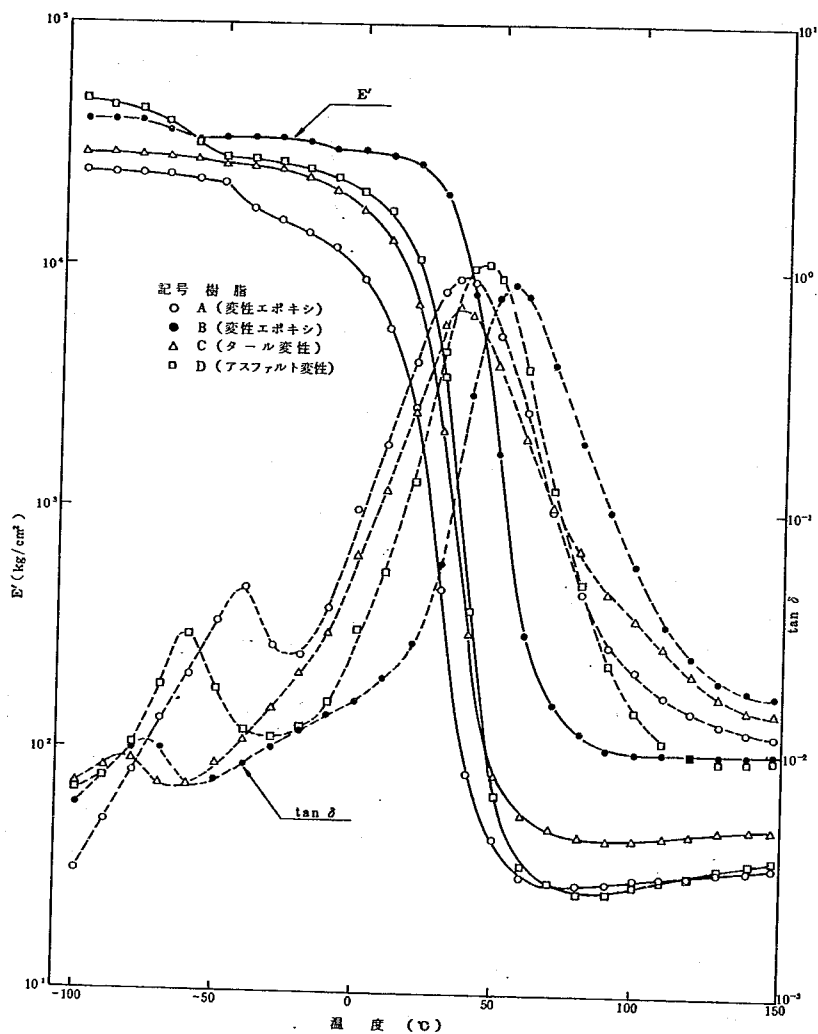


図-15 舗装用エポキシ樹脂の動的性質¹²⁾

修は極めて不経済であり、また資源的にも決して得策ではない。そこで、最近では、出来るだけ長期の寿命を確保できる防錆、防食方法として高分子材料の積極的な利用がはかられている。また、近年、腐食環境の極めて厳しい海洋環境に各種の土木構造物の建設が計画され、海洋環境に適用できる新しい防錆防食材料の研究開発が進められ、高分子材料の利用が検討されている。

4.1 鋼構造物の防錆塗料

4.1.1 環境と腐食性

鋼材の腐食は、それがおかれる環境によって大きな影響を受ける。我が国の代表的な地域での鋼材の腐食量の調査結果の1例を表-4に示す。この結果からも明らかな通り、海岸地域は海塩粒子

表-4 日本各地における鋼材の腐食量¹³⁾

(単位 mdd)

地域	地 区 名	腐食量	地域	地 区 名	腐食量	地域	地 区 名	腐食量
内 陸 地 域	5 帯 広	4.0	海 岸 地 域	4 輪 島	6.4	工 業 地 域	12 釜 石	10.7
	36 " "	5.3		35 " "	6.8		28 北九州	13.4
	3 高 山	4.5		19 松 江	7.2		14 広 畑	14.3
	38 " "	4.9		22 小 樽	8.0		29 東 京	15.1
	20 長 野	5.1		24 新 潟	11.0		7 " "	23.0
	16 旭 川	5.8		34 直江津	11.5		30 " "	30.7
	15 山 形	6.6		32 高 知	6.1		27 尼 崎	15.6
	37 塩 原	6.9		18 宮 崎	7.3		9 " "	23.2
	17 彦 根	7.1		2 枕 崎	7.3		26 名古屋	18.2
43 奈 良	8.3	33 " "		8.7	10 室 蘭		18.3	
地 域 平 均 値	13 相模原	11.5		23 仙 台	8.3	8 川 崎	26.2	
	39 上 野	15.3	1 御前崎	9.1	6 " "	31.5		
			31 " "	11.5	41 鶴 見	32.8		
			21 松 山	9.7	地 域 平 均 値		21.0	
			40 潮ノ坪	11.5	全 地 域 平 均 値		12.6	
			42 伊良湖	11.7	数 値 の り(σ)		7.7	
			25 和歌山	12.1				
			11 足 摺	24.1				
			地 域 平 均 値		9.9			

の影響が大きく、また工業地域は汚染空気の影響を受け厳しい腐食環境となっている。また、土木研究所が東京湾で実施した調査結果では、東京湾における鋼材の腐食量は大気中で約0.8mm/年に達し、瀬戸内海(岩屋沖)の3倍にも相当し、海中では約0.3mm/年で瀬戸内海の潮流の激しい個所に相当する腐食量を示し、海底泥層中では約0.1mm/年と一般土中の2倍の腐食量がありその上孔さの傾向を示すことが明らかにされ、東京湾など工業地域に隣接した海域は極めて厳しい腐食環境にあることが明らかにされている。

したがって、鋼構造物の防錆防食にはそれが設置される環境に最も適した対策を講ずる必要がある。

4.1.2 塗料の構成と種類

一般的な防錆防食材料として塗料がある。塗料は次のような材料が配合され、構成されている。

展色剤 (ビヒクル)	{ 油 脂 天然樹脂 合成樹脂 }	主成分	} 塗膜として 残るもの
顔 料			
可 塑 剤	{	造膜時の 助成分	
ドライヤー			
界面活性剤			
溶 剤			
希 釈 剤			

古くは、展色剤に油脂、天然樹脂等が専ら用いられていたが、近年は、より長期の耐久性のある塗料とするため合成樹脂を用いたものが多く開発されている。

現在、市販されている合成樹脂系塗料には次のものがある。

フタル酸樹脂塗料	下, 中, 上塗用	{ JIS K 5621 ~ 5627 (2種) JIS K 5516 (合成樹脂調合ペイント)
フェノール樹脂塗料	{ ジンクロメート 中, 上塗 M10 中, 上塗 アルミニウム 上塗	HBS K 5516 " K 5601 JIS K 5492
塩化ゴム系塗料	中, 上塗	{ JIS K 5638 (鋼船外板用) HBS K 5602
	(塩化ゴム, 塩素化ポリエチレン, 塩素化ポリエチレン)	
エポキシ樹脂塗料	{ 亜鉛末 下塗 着色顔料 中, 上塗	HBS K 5605 " K 5606
ポリウレタン樹脂塗料	中, 上塗	HBS K 5608
タール, 樹脂塗料	下, 中, 上塗	{ JIS K 5664 (エポキシ) HBS K 5610 (")
	(エポキシ, ポリウレタン)	HBS K 5611 (ウレタン)

4.1.3 塗装系の種類と適用性

防錆のためには、各種の塗料を塗り重ねて塗装され、この塗料の組み合わせを塗装系と呼ぶ。腐食環境に応じて適した塗装系を選定することが重要だが、現状は必ずしもこのような配慮がなされていないことも多い様である。一般的に言えば、環境別に表-5の塗装系を用いるのが良いと考えられている。

4.2 海洋鋼構造物の防食材料

海洋環境と一口にいても、海上部、飛沫帯、干満部、海中部および海底部ではそれぞれ腐食性が異なる。これらの環境における鋼材の腐食量は一般に図-16になることが知られている。

海洋環境のなかでも飛沫帯、干満帯は最も腐食条件が厳しいと同時に、このような箇所では、潮汐、波浪の影響を受けて維持補修が極めて困難であり、この部分の防食法の適否は構造物全体の寿命を左右することになる。飛沫帯、干満帯に適用できる防食法として次のものが考えられる。

1. 塗 装

表 - 5 各種塗装系とその適用

塗装系	前 処 理	工 場 塗 装	現 地 塗 装	適 用
1	1種ケレン エッチングプライマー	鉛円さび止 (1種, 2種)	(鉛円さび止) / 長油性フタル酸樹脂系	一般環境
2	"	鉛系さび止	(鉛系さび止) / 長油性フタル酸樹脂系	"
3	"	" / フェノール樹脂系 M10	長油性フタル酸樹脂系	" " 工場～現地塗装の 間隔が長期の場合
4	"	" "	塩化ゴム系	汚染環境や海岸地域のように比較的 腐食性の大きい場所
5	1種ケレン ジンクリッチプライマー	塩化ゴム系	"	3の場合と同じ
6	1種ケレン	厚膜型ジンクリッチペイント / 塩化ゴム系	"	海上, 海岸地域の長期防錆用
7	1種ケレン ジンクリッチプライマー	エポキシ樹脂	ウレタン樹脂	"
8	プラスト SIS, Sa 2.5	厚膜型 / エッチング / フェノール樹脂系 ジンクリッチ / グラ / 脂系ジンク / フェノール ペイント / イマー / クロメート / M10	塩化ゴム系	" 工場～現地塗装の間 隔の長期の場合
9	1種ケレン	厚膜型 / フェノール樹脂系 ジンクリッチ / ジンククロメート / エポキシ ペイント / 樹脂	"	" 上塗まで工場で塗装すれば 没水部, 飛沫帯でも可
10	1種ケレン エッチングプライマー 又はジンクリッチプライマー	タールエポキシ樹脂		箱桁内面や直射日光の当たらない箇所 没水部にも可
11	1種ケレン ジンクリッチプライマー	厚膜型ジンクリッチペイント		鋼床版下面で, アスファルト舗装に対す 耐熱性を要する場合, 継手接合面
12	"	エポキシ樹脂	フェノール樹脂 系M10 / 上塗	" 接合部外面

2. 有機質ライニング
3. 無機質ライニング
4. 金属溶射
5. 低合金系耐海水鋼及び犠牲鉄板
6. 耐食性金属材料

従来は、これらの防食法のうち、鋼構造物それ自体に腐食シロを見込む方法、犠牲鉄板を巻く方法あるいは塗装による防食方法がとられていたが、従来の方法では数年間の耐用年数しか保証できないものが多く、長くても防食寿命を10年程度とする例が多かった。したがって、恒久性な海洋鋼構造物には、より長期の耐用年数のある新しい防食技術の開発が必要とされている。土木研究所で

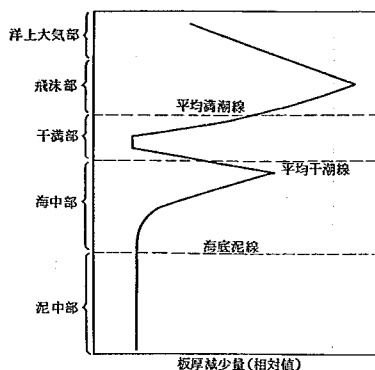


図-16 海水中におけるシートパイルの腐食形態図(Kure Beach, 5年)

は、海洋開発に関する研究の一環として、このような環境に適用できる新しい防食材料の開発に関する研究を進めてきた。この結果、中間的なながら、各種防食法の代表的なものについて表-6の結果が得られている。

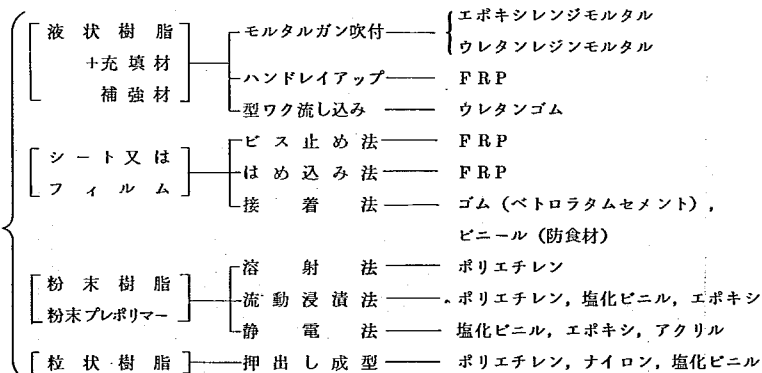
4.2.3 高分子材料を用いた防食法

高分子材料を用いた防食法としては、塗料および有機質ライニングがあるが、その内容として次のものがある。

(1) 塗装

厚膜型ジンクリッチペイント + { タールエポキシ樹脂塗装
(無機および有機) { エポキシ樹脂塗装

(2) 有機質ライニング



飛沫帯、干満帯に適用するには、いずれの防食法もすべて工場で施工することが原則となる。構造物の型状、目的とする耐用年数、美観上の制限、設置される環境、などに応じて適正なものを選択する必要があるが、いずれもその実用性についてはなお研究途上にあり、今後の研究成果を期待

表-6 代表的な防食法の特徴¹⁶⁾

防 食 系	代 表 的 な 仕 様 例			長 所	短 所
	防 食 材 料	被膜厚さmm	施 工 法		
塗 装	厚膜型無機ジンクリッチ ペイント+タールエポキシ	0.70	塗 装	○施工が容易で、補修しやすい ○美装効果が大きい（エポキシ） ○防食効果の割りに経済的である ○実績が多い	○長期の防食は期待できない ○衝撃に弱い （クロスの併用により改善される）
	厚膜型無機ジンクリッチ ペイント+エポキシ	0.45			
	厚膜型有機ジンクリッチ ペイント+タールエポキシ	0.70			
	厚膜型有機ジンクリッチ ペイント+エポキシ	0.45			
有 機 質 ラ イ ニ ン グ	エポキシ系レジンモルタル	5	塗 装	○耐久性、耐衝撃性に富む ○施工が比較的容易である	○施工管理に注意を要する
	ポリエチレン	5	押 し 出 し	○工業的に大量生産可能で安価である	○管以外への適用は難しい ○黒色に限定される
無 機 質 ラ イ ニ ン グ	セメントモルタル	100	型 枠	○使用実績が多い	○現地施工以外は難しい ○衝撃に弱い
	鋼製型枠+セメントモルタル	型枠10 セメント モルタル200	型 枠 （二重管）	○特に耐久性がすぐれている	○現地施工に限られる ○高価である
金 属 溶 射	アルミニウム溶射+封孔処理	0.15	溶 射	○防食効果の割りに経済的である	○施工管理に注意を要する ○干満帯での使用には注意を要する
低合金系耐海水鋼および犠牲鉄板	低合金系耐海水鋼	—	構造材として使 用	○耐用年数に応じた設計が可能である	○適用が限定される
	犠牲鉄板	12	巻 き 付 け	○衝撃に強い	
耐 食 性 金 属 材 料	チタン	0.5	ク ラ ッ ド	○耐食性が特にすぐれている	○高価である ○適用が限定される ○異種金属接触腐食に注意を要する
	モネル	2	巻 き 付 け		
	ステンレス（耐海水性）	4			

しなければならない。

4.3 今後の問題点

- (1) 海洋および沿岸など腐食条件の厳しい環境における構造物の種類および目的に応じた防錆、防食法の選定（新材料の開発）
- (2) 電気防食の設計法（防食材料との組み合わせ）の確立
- (3) 防錆、防食に関する維持補修基準の確立（着色塗料の選定を含む）
- (4) 無公害型塗料の開発
- (5) 防錆、防食に関する検査法の確立

5. 地盤注入材料としての利用の現状と問題点

薬液注入工法は、直接的で有効な地盤改良工法であり、比較的簡便に、小規模にも実施できるなどの利点のため、近年都市内の土木工事を中心にさかんに利用されるようになってきている。薬液注入で最も古くおこなわれた方法は水ガラス溶液と塩化カルシウムを別々に注入する方法（Joo-hsten 法）でその後水ガラスにセメントを加えその上澄液を注入する方法（Jühde 法）がおこなわれるようになった。我が国ではこれらの方法に加え、我が独自の方法として水ガラス溶液にセメント懸濁液を加える方法（LW法、国鉄特許）がおこなわれ、以後水ガラス溶液をゲル化させる各種の工法が開発されると同時に新しい薬液として各種の高分子系薬液が開発され実施されるようになった。

しかし、昭和48年～49年に薬液注入工事による地下水汚染事故が発生し、にわかに薬液注入工事による環境汚染の問題がクローズアップされた。昭和49年7月に「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針」（建設事務次官通達）が出され、以後の薬液注入工事はこの暫定指針にもとづいて実施されるようになり、原則として、水ガラス系薬液以外の薬液は使用されないようになった。暫定指針により種々の優れた特性をもった水ガラス系以外の高分子系薬液の使用が制限されたため、従来の各種薬液と同等の性能をもち、かつ公害を生じない新しい薬液の開発、公害を生じないような注入工法の開発および、薬液の環境中での挙動および公害を生じないようにする環境監視に関する研究が現在積極的に進められている。

5.1 薬液の種類

従来用いられていたものを含め薬液の主なものを分類すると次のものがある。

(1) 水ガラス系薬液

- i) 懸濁液型 セメント、ペントナイト、高炉スラグ、石こう、炭酸カルシウム
- ii) 溶液型 ○炭酸塩を含むもの ○リン酸を含むもの ○その他無機塩類（アルミン酸ソーダなど）を含むもの ○グリオキザールを含むもの ○その他有機物（ガンマブテルラクトン等）を含むもの

- (2) アクリルアミド系薬液 アクリルアミドモノマー（主剤）+架橋剤+助剤など
- (3) 尿素系薬液 尿素・ホルマリン初期縮合物（主剤）+硫酸
- (4) ウレタン系薬液 プレポリマー（主剤）
- (5) リグニン系薬液 リグニンスルホン酸塩（主剤）+硬化剤

5.2 各種薬液の特性

5.2.1 地盤への浸透性

薬液が地盤へ浸透しやすいか否かは薬液の粘度に依存する。薬液の初期粘度およびゲル化過程における粘度変化の代表的な例を図-17に示す。初期粘度が小さく、ゲル化直前まで初期粘度を保ち、ゲル化時間になって急激に粘度が上昇するものが理想的でこの点でアクリルアミド系が最も優れている。図-18は直径5 cm の円筒形の容器に砂をつめたものに一定圧力(1 kg/cm²)になるまで注入したときの浸透固結範囲を示したもので、薬液によってはゲル化時間を長くとした場合に逆に浸透性が悪くなるようなものもあり、これは配合条件(ゲル化時間の調整のため)によってゲル化が不安定になるためであり、ゲル化の安定性が浸透性に大きく影響することがわかる。図-19は薬液の主剤濃度の初期粘度に及ぼす影響を示したものであり、水ガラス系薬液も主剤濃度を低くすれば粘度は尿素系と同程度にはなるが、後述するように強度が小さくなりすぎるため、浸透性を良くするための実用的な方法とはならない。

5.2.2 薬液による固結土の強度

標準砂を各種薬液で固結したものの一軸圧縮試験結果の代表的な例を図-20に示した。尿素系は一軸圧縮強度も変形係数も最も大きく、水ガラス系は硬化剤の種類によって大変巾のあることがわかる。一軸圧縮強度

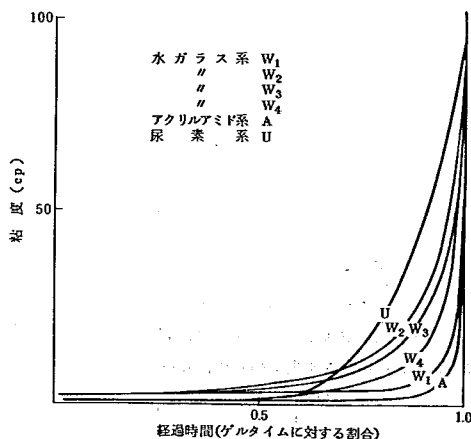


図-17 各種薬液のゲル化過程における粘度変化¹⁷⁾

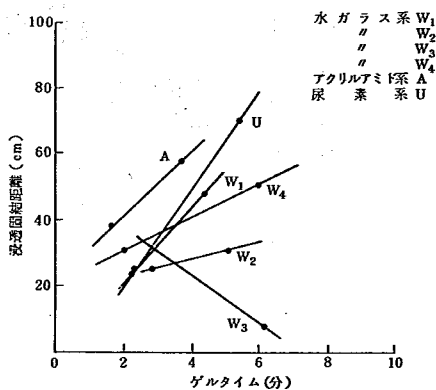


図-18 モールドにおける各種薬液の浸透固結距離¹⁷⁾

が及ぼす主剤濃度の影響を図-21に示した。水ガラス系薬液は特に、有機系の硬化剤を用いた場合に主剤濃度を大きくすることによって一軸圧縮強度を大きくすることが出来る。図-22はさらに水ガラス系薬液の強度を増大するために開発した、新しい硬化剤を配合した場合の結果を示したもので、一軸圧縮強度を20 kg/cm^2 以上にすることも可能である。

5.3 注入工法の種類

薬液を地盤中に注入する方式には、大別して図-23の3通りがある。

また、地盤中での注入管の形式によって、図-24の注入工法がある。。

薬液注入工法は、地盤の沈下防止、支持力増強、開削およびシールド工事における止水、パイピング現象の防止、ヒー

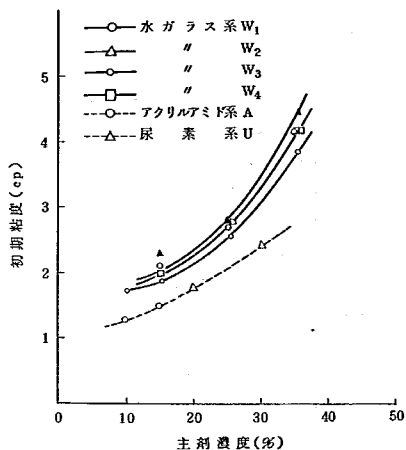


図-19 各種薬液の主剤濃度と初期粘度¹⁷⁾

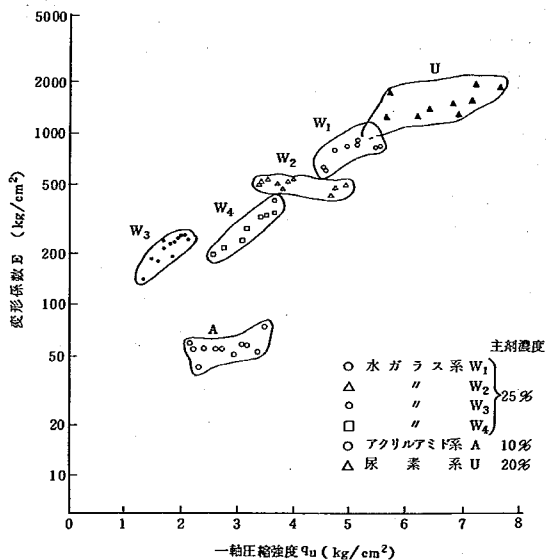


図-20 各種薬液の一軸圧縮強度と変形係数¹⁷⁾

ピンク防止、圧気作業における漏気防止など種々の目的に用いられる。これらの工事において、最も目的に適した注入薬液と注入工法を選定する必要がある。と同時に、周囲の環境条件に応じて、環境汚染を生じさせないための配慮が不可欠である。

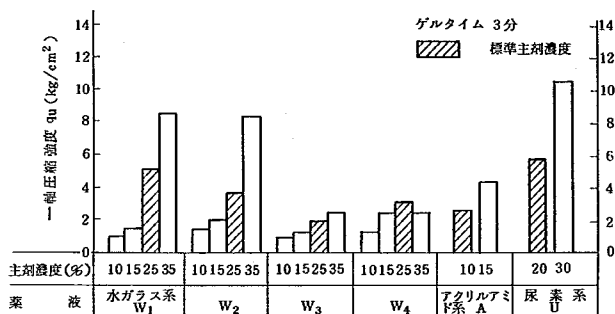


図-21 一軸圧縮強度と主剤濃度 17)

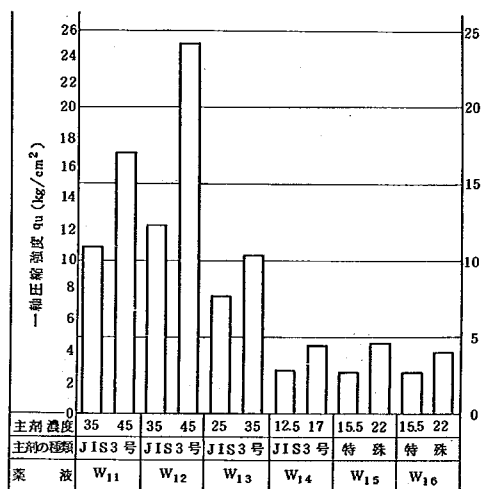


図-22 固結土の強度 (中性および高強度用水ガラス系薬液) 18)

5.4 今後の問題点

- 1) 注入目的および地盤条件に適した薬液注入材料および工法の選定
- 2) 薬液注入工法における注入効果の測定法の確立と施工管理方法の確立
- 3) 薬液の地盤中での挙動の究明と監視方法の確立

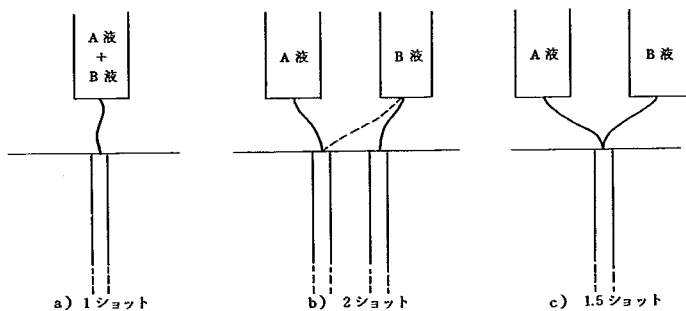


図-23 注入方式の種類

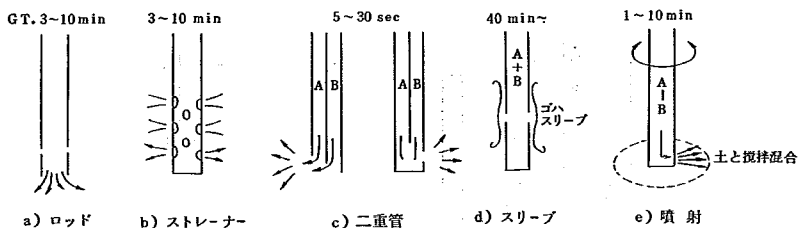


図-24 注入管の種類

参 考 文 献

- 1) 中島, 上島; 石油学会誌 Vol. 16, No 4 P. (1973)
- 2) 日本道路協会; 本州四国連絡橋舗装基準調査報告書 (昭和50年3月)
- 3) 菅原, 金野, 広田; 第10回日本道路会議一般論文集 (昭和46年)
- 4) 岩崎, 久保, 熊谷; 第20回北海道開発局技術研究発表資料 (昭和52年2月)
- 5) 南雲, 小島, 坪内; 第12回日本道路会議一般論文集 P. 263 (昭和50年)
- 6) 中島, 上島, 森吉, 菅原; 第9回日本道路会議一般論文集 P. 139 (昭和44年)
- 7) 月成, 谷本, 川原; 土木技術資料 Vol. 16, No 4 P. 27 (1974)
- 8) 南雲, 小島, 加藤; 土木技術資料 Vol. 16, No 1 P. 30 (1974)

- 9) 橋本邦之繼；エポキシ樹脂（日刊工業新聞社）昭和44年
- 10) 蒔田，坂本；第31回建設省技術研究会報告（昭和52年度）
- 11) 蒔田，坂本，吉村；土木技術資料 Vol. 17, No. 2 P. 3（1975）
- 12) 蒔田，坂本，吉村；建設省道路事業調査費報告書（昭和51年度）
- 13) 陸上鉄骨構造物防食研究会；防食技術 Vol. 22, No. 3（1973）
- 14) 日本道路協会；鋼橋塗装便覧
- 15) H. A. Humble；Corr. Vol. 5, No. 9（1949）
- 16) 柳田，蒔田，森；土木研究所資料 No. 1235（昭和52年3月）
- 17) 建設省総合技術開発プロジェクト 昭和50年度研究開発概要報告書（昭和51年8月）
- 18) 建設省総合技術開発プロジェクト 昭和51年度研究開発概要報告書（昭和52年8月）

下水処理水の再利用についての水質面よりの検討

下水道部長 柏 谷 衛

下水処理の再利用についての水質面 よりの検討

下水道部長 柏谷 衛

1. まえがき

下水処理水の再利用には、間接再利用と直接再利用とがある。間接再利用とは、下水処理水が河川、水路、あるいは湖沼、貯水池（河川等を経由する場合を含む）に放流され、河川水、湖沼水などと混合、希釈された後、再び取水、利用されることである。大きな河川では上流から下流まで河川水は反復利用されているし、あるいは流域が開発された湖沼、貯水池で湖水を利用している場合には、程度の差こそあれ、間接再利用が行なわれているわけである。最近、アメリカのカリフォルニア州などで高度処理した処理水を地下圧入または浸透させて、それを井戸でくみ上げて飲料水として利用しているが、これも新しい形の間接再利用である。

直接再利用とは下水処理水を河川、湖沼などの媒体を通さずに、工場、住宅、農地、山林などに送水して利用することである。この場合には表流水、地下水の取水量を減らすことができるほか、表流水の水質汚濁を軽減させる効果がある。淡水の不足が著しいイスラエルでは国内の下水処理水の60%以上が灌漑用水として再利用されている。

わが国の下水処理水再利用の歴史は、昭和20年代の東京都三河島下水処理場の再生紙工場への供給に始まっている。当時三河島下水処理場ではその処理水を急速汚濁した後、工場に供給していた。その後、地盤沈下などの原因から地下水の揚水が制限されるようになり、東京都では本格的な下水処理水の工業用水化を計画し、昭和39年から江東工業用水道が給水を開始している。

下水処理水を事務所、住宅などの雑用水として供給するための調査研究は昭和45年頃から開始されている。この種の調査研究は、国、地方公共団体、公団、民間企業などが広い範囲にわたって行なっており、数多くの報告書が発行され、実用化実験も実施されている。

このほか、下水処理水の土壌散布、森林散布などの実験も各地方建設局などで広く行なわれてきており、将来の水資源として位置付けするためのデータが集められている。

下水処理水の再利用に類似するものとして、工場内での工場排水の再利用がある。石油化学、製鉄、金属加工、パルプ製紙など多くの工業の分野での再利用が行なわれてきた。また、工場内で生ずる水洗便所、食堂などの排水を処理して、水洗用、工業用などの目的に使用している例もかなり多い。これらも下水処理水の直接再利用と同様の効果が期待できる。

本文では、下水処理水の直接再利用に焦点をしばって、それを水質面ならびに下水処理の面から考察し、その将来を展望することとした。

2. 再利用の分類

現在までに、わが国ならびに諸外国において、下水処理水の再利用が実際に、あるいは実験的に行なわれてきた分野について、これを用途別に分類すると下記のとおりである。

灌漑用（畑地、牧草地、芝生と造園、森林、水田）

工業用（冷却、ボイラー補給、プロセス、雑用）
観光、リクリエーション用（人体非接触、人体接触）
魚類飼育用（虹鱒、鱒、バス、ミンノーなど）
家畜飼料（牛、馬、豚、羊と山羊、鶏など）
生活用（非飲料、飲料水補給用）
その他（消火、工事、道路散水）

これらの中には、わが国でも実際に、あるいは実験的に行なわれてきたものもあるし、まだ、未だ実験例すらないものも含まれている。

現在までに、わが国で実際に、あるいは実験的に行なわれてきたものとしては、灌漑用（芝生と造園、森林、水田）、工業用（冷却、ボイラー補給、プロセス、雑用）観光、リクリエーション用（人体非接触）生活用（非飲料）、その他（消火、道路散水）などが挙げられる。これらの中では工業用、生活用（非飲料）についての実施例、実験例が多く、数多くの調査研究報告書がまとめられてきた。

世界各国のうち、下水処理水の再利用はとくに乾燥地帯あるいは亜乾燥地帯に多く、アメリカ、メキシコ、南アフリカ、西南アフリカ、オーストラリア、イスラエル、イギリス、インド、パキスタン、イランなどの諸国で数多くの実施例、実験例がある。

アメリカでは、灌漑用（畑地、牧草地、芝生と造園）、工業用（冷却、ボイラー補給、プロセス）観光、リクリエーション用（人体非接触、人体接触）、魚類飼育用、家畜飼料、生活用（非飲料）その他についての実施例が数多く報告されてきている。アメリカでの再利用の件数は南西部、西部に圧倒的に多く、例えばテキサス州では149の下水処理場、カリフォルニア州では138の下水処理場において灌漑用を主とする下水処理水の再利用が行なわれており、再利用水量は1974年現在で全処理水量の2%となっている。

メキシコでは灌漑用、工業用、リクリエーション用についての実施例がある。特に北部にある同国最大の工業都市モンテレイでは工業用として下水処理水を多目的で使用しており、工業用としての再利用は世界的に有名である。

南アフリカ、ナミビアの都市ウィンドフークは飲料水補給の生活用水として供給した唯一の実例である。この高度処理施設は1968年に市の上水道給水量の約1/3を分担していた。この処理水の下水道への補給は1970年に中止され、さらに大規模な高度処理施設が建設されている。

イスラエルでは約40の下水処理場の処理水が灌漑用として再利用され、さらに34の下水処理場の処理水は地下水の涵養に使用されている。処理水の再利用比率は1963年に55%、1967年に67%、1971年には87%に達していると報告されている。^{1) 2)}

その他の諸国でも灌漑用、工業用を主体とした再利用が行なわれている。インド、パキスタンなどでは生下水は無処理のままで再利用が行なわれてきているが、乾燥地帯のために、これによって伝染病の発生が認められたという事例はほとんどないようである。イランでは将来にわたって農業生産の100%自給を目標に、水資源計画の中で下水処理水および工業排水の灌漑用としての再利用も考慮されている。とくにテヘラン、イスファハン、アフアーズなどの大中部都市の郊外では、下水処理水および工場排水が灌漑用として有効に利用されようとしている。³⁾

3. 灌漑用としての再利用

生水または処理水は灌漑用水として世界中で広く再利用されている。前章にて述べたように、乾燥地帯に位置する国々では、生水または処理水は肥料的価値を有する貴重な水資源であり、実用上は何んらの障害なく再利用してきた。

インド西部、パキスタンでは開きよで集められた生水をポンプアップして畑地に送水している。この地域では高温で乾燥しており、水分は地下浸透するか、あるいは蒸発し、地表面に堆積した生下水中の有機性固形物は急速に分解されるので、健康上の障害もほとんど生じていない。

南アフリカ、イスラエルなどでは下水は滞留時間1ヶ月以上の酸化池で処理されたうえ、灌漑用水として再利用されている。例えば、テルアビブの下水処理水はケネブ砂漠の灌漑用水として100 km以上もパイプ輸送されている。イスラエルでの実績によれば、下水処理水再利用による灌漑面積は約2,500ha、再理用水量は96,000 m³/日であり、耕作用作物の灌漑用に約50%、柑橘用樹木の灌漑用に約20%、牧草の灌漑用に10%が使用されている。

アメリカで灌漑用に再利用されている下水処理水の量は、年間 290×10^6 m³に達しており、中規模以上の処理場132箇所、小規模処理場205箇所が灌漑用として再利用している(1971年現在)。灌漑用として再利用している処理場の処理の程度は大部分が散水汙床法を主とした2次処理を行なっているが、1次処理水(沈殿のみ)を灌漑用として再利用している箇所も25%程度存在する。3次処理として、汙過、あるいは凝集沈殿を汙過を行なっているケースは約10箇所程度である。1次処理水はいずれの農作物の灌漑用としても再利用されているが、これは2次処理を行なう処理費を節約する目的で灌漑用に用いられているためである。このようなことから灌漑用として処理水を供給している下水処理場の44%は河川等への放流口を全く有していないといわれている。

アメリカの場合、河川への放流は厳しい排水基準によって、高度は2次処理が要求されてきており、都市として排水基準の達成が可能な高度な2次処理のための施設の築造、運転を行なうよりは1次処理、あるいは処理水質が余り良好ではない高速水汙床法などの処理を行なって灌漑用として再利用した方が経済的との考え方に基づいている。また、処理水の利用者の例では淡水を全灌漑期間を通じて必要量が確保できない場合が多く、下水処理水は水量的に安定した供給源との考え方がある。このように、両者の利益が共通した地区において灌漑用としての再利用が行なわれてきた。アメリカで灌漑用に再利用している下水処理場の54%は何んらかの業績の工場排水を受入れて家庭下水と共に処理しているものであり、中には全受入れ下水量の30%以上が工場排水というケースも存在する。工場排水の種類としては製紙、紡績、洗濯、金属加工、写真、食品(食肉、果実、野菜加工、乳製品)などがある。表-1はアメリカにおける灌漑用再利用の作物の種類と処理場数処理レベルを示したものである。¹⁾

灌漑のための水質は、作物の品質に与える短期的影響、土壌の性質による長期的影響、収穫物利用上の潜在的影響など、数多くの因子によって定められている。⁴⁾ 表-2はアメリカのEPAによって提案された畑地等の灌漑用水中に含まれる汚濁物の一般的な制限値を示したものである。しかし、この制限値は、種々の理由からアメリカで余り受入れられていないようである。なぜならば、土壌中に浸透した処理水中の含有物質の濃縮の度合は、気候、土壌条件、灌漑方法、排水方法、作物の種類によって大巾に異なるからである。表-2に示されてある数多くの種類の重金属類につい

表-1 アメリカにおける灌漑のための下水処理水再利用
のリスト¹⁾

作物の種類	処理施設の数*	処理のレベル (施設数の%)		
		一次処理	二次処理	三次処理
穀物類	17	23	77	0
とうもろこし類	11	36	64	0
野菜類	6	14	86	0
果実類	12	18	82	0
綿花類	26	29	71	0
飼料類	51	24	73	3
牧草類	34	20	71	9
芝生と造園	47	9	70	21

表-2 アメリカ環境保護庁 (EPA) によって提案された
灌漑用水中の汚濁物質の制限値¹⁾

成分名	すべての土壌に連続的に 使用される用水の場合 (mg/ℓ)	細組成の中性土とアルカリ 土に対して短期間**使用さ れる用水の場合 (mg/ℓ)
<u>重金属類成分</u>		
アルミニウム	5.0	20.0
砒素	2.0	10.0
ベリリウム	0.1	0.5
硼素	0.75	2.0
カドミウム	0.01	0.05
クロム	0.1	1.0
コバルト	0.05	5.0
銅	0.2	5.0
弗素	2.0	15.0
鉄	5.0	20.0
鉛	5.0	10.0
リチウム	2.5	—
マンガン	0.2	10.0
モリブデン	0.01	0.05
ニッケル	0.2	2.0
セレン	0.02	—
<u>細菌類</u>		
大腸菌群数	1,000 / 100 ml	
<u>化学的成分</u>		
PH	4.5 - 9.0	
全溶解性物質 (TDS)	5,000	
<u>除草剤成分</u>		
Dalapon	0.2 μg / ℓ	
TCA	0.2 μg / ℓ	
2,4-D	0.1 μg / ℓ	

(註)

** 「短期用の使用」とは20年程度の期間使用することを意味する。

てみた場合、重金属類を固定するか、吸収するかは土壌の能力、土壌条件によって複雑に変化することが知られている。鉱物質および（または）高い粘土含有量を有する土壌（細組成土）は砂性土よりも金属イオンを含有する大きな親和力を有する。また、土壌のPHが7.0よりも高い場合には、その土壌は重金属類を保有する能力が増加するなど変化してくるからである。⁵⁾

灌漑用としての下水処理水の再利用が広く行なわれているカリフォルニア州では、灌漑用水の水質について、ナトリウム含有率、全溶解性物質〔TDS〕、硼素、塩化物、硫酸塩の基本的な5成分の基準値を示している（表－3参照）。⁵⁾ 過剰なナトリウムは土壌中のカルシウムやマグネシウムと置換されることにより、耕土を浅くし、土壌の透水性を低下させるほか、アルカリ度の増加によって植物の生長を阻害する。過剰のTDSは作物の水分摂取を制限したり、阻害したりする土壌の浸透性に影響を与える。塩分は植物の同化作用に毒性を与えるほか、土壌構造、浸透性、酸素の透過量を変化させる。植物の種類によって耐性となる塩分濃度は変化することが知られており、これは電気伝導度〔EC〕で測定、表示されている。

表－3 基本的5成分の標準値⁵⁾

成 分 名	分 類 *				
	適 当		限 界		不適当
	低	高	低	高	
ナトリウム(%)**	0	60	60	75	75
T D S (mg/ℓ)	0	700	700	2,100	2,100
硼 素 (m / ℓ)	0	0.5	0.5	2.0	2.0
〔半耐性植物〕					
塩 化 物 (mg/ℓ)	0	177	177	355	355
硫 酸 塩 (mg/ℓ)	0	960	960	1,920	1,920

(註)

* 分類は土壌、気候、灌漑方法など多くの条件での多くの植物に適用される。

** 次式により計算される。

$$\frac{(\text{Na})}{(\text{Na} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K})} \times 100$$

この電気伝導度は土壌中に測定されたものをいう。すなわち、低位塩類耐性植物は $\text{EC} \times 10^3 \leq 4$ 、中位塩類耐性植物は $4 \leq \text{EC} \times 10^4 \leq 12$ 、高位塩類耐性植物は $\text{EC} \times 10^3 \leq 12$ を意味しているが、これらの各位塩類耐性植物の中でも植物の種類によって相当の変化があることが知られている。硼素は比較的低い濃度で植物に大きな障害をもたらすことが知られている。一般に果実樹は硼素濃度に対して過敏であり、野菜、穀物は半耐性または耐性に属している。

人または動物が消費する作物の灌漑用水の許容細菌数については、大腸菌群数についてのガイドラインが1968年に内務省水質汚濁防止局によって提案されている。⁷⁾ それによると、細菌中の大

腸菌群数の月間平均値は100 mℓ当り5,000を越えず、糞性大腸菌群数は100 mℓ当り1,000を越えてはならないことが要求されている。しかし、実際には、このガイドラインは守られていないようである。とくにゴルフコースの灌漑用に下水処理水を再利用するカリフォルニア州の基準は極めて厳格なものであり、100 mℓ当り23まで低下するよう塩素消毒を行なうことが要求されている。

今まで述べてきた再利用に関する水質基準やガイドラインを、わが国の下水処理場の処理水にあてはめてみた場合、表-3に示した基本的5成分は海岸近くに立地した下水処理場を除いてはほとんど問題はない。これはわが国の河川等から得られる淡水の水質が軟水であり、これを上水道および工業用水道の水源として使用しているためである。海岸近くに立地している下水処理場では、管きょへの浸透水が海水を含んでいたり、或る種の事業場や工場で海水を使用していることから、塩素イオンとして500 mg/ℓを越えることがあり、ナトリウム含有率、TDSおよび塩化物濃度が限界値を越えることになる。

表-2に示した種々の重金属成分の中には、わが国の下水道への受入れ許容基準として基準値が定められていないものもあるし、基準値が緩いために金属加工工場、電気部品工場などからの多量の排水を受入れている下水処理場ではややオーバーしている例があるかも知れない。しかし、すでに述べたように、表-2に示された数値は^P土壌条件、植物の種類によっては超過が可能なものであり、限定された条件下ではわが国の大部分の下水処理水は畑地などの灌漑のために使用可能と考えて差支えないものと考えられる。

大腸菌群数について、わが国の下水処理場放流水は1 mℓ当り3,000以下を基準にしている。このため、人または動物が消費する作物やゴルフコースの灌漑用として使用する際には、消費設備全体の改善を含めての検討が必要となろう。

わが国でも下水処理水の再利用は田地を主として、細々ながら古くから行なわれてきた。これらは耕作者の要望によって、都市が下水処理場放流水の1部を好意的に分水、導水してやっていたものであり、現在まで続いて行なわれているものもあるが、これに関してデータ収集が行なわれてきたものは見当たらないのは残念である。

農林省が昭和45年に作成した「農業用水基準」は農業水利を水質汚濁から守るために作成したものであり、それまでに比較的資料が整っていた水稲に焦点をあててまとめられている(表-4参照)。⁸⁾ この基準は昭和45年4月に閣議決定された「水質汚濁に係る環境基準の基本方針」設定の際の資料としても用いられたものであり、環境基準値とかなり似かよったものである。この中で全窒素を1 mg/ℓとしていることが尾を引いて、下水処理水の再利用をさまたげて来ている。水稲の被害の程度と窒素濃度との関係については、土壌条件などによって異なると考えられるが、表-5に示す調査結果が公表されている。⁹⁾ これによれば、全窒素が3 mg/ℓ以下でアンモニア性窒素が皆無であれば、やや過繁茂となっても収量減はないとのことである。下水処理水を水田稲作の灌漑用水として使用する際の問題点は窒素濃度であり、将来の窒素除去技術の進歩によっては、下水処理水の稲作灌漑用に再利用することも可能とみられる。

最近、わが国では下水処理水の農業利用についてのデータ収集が各所で行なわれてきている。住宅公団では住宅団地の下水処理場からの放流水が灌漑用水路に流入することにより、稲作に被害を

表-4 農業用水水質基準

項 目	濃 度
PH	6.0 ~ 7.5
COD	6 mg/ℓ 以下
浮遊物	100 mg/ℓ 以下
溶存酸素	5 mg/ℓ 以下
全窒素	1 mg/ℓ 以下
導電率	0.3 mΩ ⁻¹ /cm 以下
重金属 (ヒ素)	0.05 mg/ℓ 以下
(亜鉛)	0.5 mg/ℓ 以下
(銅)	0.02 mg/ℓ 以下

表-5 水稻の被害の程度と用水の窒素濃度との関係¹⁹⁾

被害の程度	生育収量への影響	全 窒 素 [mg/ℓ]	アンモニア性窒素 [mg/ℓ]	ネスラー反応
0	まったくなし	1 以下	な し	—
1	やや過繁茂	1 ~ 3	な し	—
2	過繁茂, ときに収量減	3 ~ 5	少 量	+
3	収 量 減	5 ~ 10	中 量	++
4	収 量 激 減	10 以上	多 量	+++

与えていることに鑑みて、水田数アールを借り受けて調査を行なってきた。¹⁰⁾ また熊本市では、将来稲作用の灌漑用水が不足することから下水処理水の再利用に着目して昭和51年度から試験圃場12アールにより、下水処理水と河川水との混合割合をかねて実験を行なってきた。¹¹⁾ この実験は昭和55年度まで継続されることが予定されている。熊本市の実験は市の農林課が将来の灌漑用水不足を下水処理水の利用によって補うことで、いわゆるユーザーが積極的にすすめている実験であり、その成果に大きな期待をかけている。

建設省では河川局が中心となって、下水処理水の陸地還元に関する実験を各地建で実施してきている。これらの実験は担当工事事務所と大学とがタイアップして行なわれて来ているものである。

近畿地建ではし尿処理水の山腹沃化調査、下水処理水の林・草地還元、下水処理水およびし尿処理水の水田還元などの諸実験が京都大学、滋賀県立短期大学の協力を得て実施されてきている。¹²⁾ これらの調査では、水質、植生、土壌の調査が行なわれてきており、ともに将来の再利用に対して明るい見透しを与えている。

中国地建では砂丘地における灌漑利用の実験が鳥取大学の協力によって行なわれており、下水処

理水が畑地灌漑の水資源および肥料源としての可能性、効果について、さらに砂丘をフィルターとした場合の水質面での影響を調査している。¹³⁾この調査は昭和49年度から実施されており、ライシメータおよび実験圃場での試験が中心となっている。この調査では、砂土、火山灰土壌、沖積土壌（水田土壌）および第三紀層について、下水処理水中の成分のうちのアンモニア性窒素、リン酸、加里、カルシウム、マグネシウム、ナトリウム、塩素などの吸着を明らかにしている。また、処理水中の窒素と化学肥料中の窒素を植物への吸収の点から比較検討しており、化学肥料よりも処理水を用いる方がすぐれた生育、根の伸長を示したと報告している。

四国地建では処理水を林地等に散布したときの土壌、植生、地下水水質・水量に与える影響を香川大学の協力を得て、ライシメータ、実林地を用いて実施している。¹⁴⁾この調査で注目されるのは、処理水の散布によって地下水の水質に変化しやすい成分と変化し難い成分とがあることが見い出されており、これらを分類していることである。調査結果によれば、マンガン、鉄、CODなどは変化しやすく、ナトリウム、マグネシウム、カルシウム、塩素イオン、アルカリ度は変化し難いと報告している。また、綿密な土壌微生物の調査が進行しており、処理水散布前後についての細菌類、酵母類、かび類の分類が行なわれている。

関東地建での調査は埼玉県農業試験場の協力を得て水田稲作について圃場による実験が行なわれてきている。この調査は、処理水のみ、処理水1/2希釈水、水道水のみ、水道水窒素添加の4種類について少量減水（1日30mm程度）と多量減水（1日60mm程度）の8ケースについて実施されており、¹⁵⁾すでに述べた熊本市での実験と類似している。昭和50年度および51年度の実験では収量順位としては、1/2処理水>水道水窒素添加>水道水のみ>下水処理水のみとなっており、熊本市での実験成績と類似した成績が得られている。さらにこの調査では、水稻の生育後期にN¹⁵を用いての追跡調査を実施しており、玄米と他の部位とのN¹⁵の含有割合を求めている。

このように、わが国における最近の下水処理水再利用の調査研究の数は非常に多くなってきており、すでにいくつかの注目される成果が得られている。願わくば、これらについて総合的な調査研究のまとめが行なわれ、下水処理水の灌漑用としての再利用の基準化が行なわれることが望まれる。

下水処理水を灌漑用に再利用したときの健康に対する影響は、スプレー灌漑を行なったときに大きいといわれている。風によって送られるエアロゾル中の病原菌の量が意外に多いことが実証されている。下水処理水中の病原菌としてよく知られているものには、病原性細菌として *Vibris Cholerae*, *Salmonella typhi*, *Salmonella typhimurium* などがあり、ウィルスとして *Poliovirus*, *Coxsackie virus*, *Enteric Cytopathogenic human orphan virus* (ECHO) などが挙げられている。生下水中のウィルス濃度は理論的最大値として7000/ℓといわれており、¹⁶⁾ また他の報告では17,000~62,800 PFU/ℓといわれている。活性汚泥処理を行なうことによって、*Coxsackie virus* は99.97%, *Poliovirus* は92%が除去されるほか、塩素滅菌を行なうことによって、全ウィルスの92~95%が除去されると報告されている。¹⁷⁾ 活性汚泥処理後塩素滅菌した下水中には、約5,000 PFU/ℓのウィルスが含まれており、これらをスプレー散布したときの水滴中に含まれるウィルス含有の確率は、1μの1粒の水滴では0.0003×10⁻⁴, 5μの1粒の水滴では0.33×10⁻⁴, 10μの1粒の水滴では2.6×10⁻⁴, 50μの1粒の水滴では328×10⁻⁴といわれている。¹⁸⁾ これらは決して安全でないことを意味しており、

今後十分に検討していかなければならない問題であろう。

4. 工業用としての再利用

アメリカのボルチモアにあるベツレヘム製鉄会社のスパローズポイント製鉄所は、1942年以降平均して $454,200 \text{ m}^3$ /日の下水処理水を再利用している世界最大の最利用施設である。この下水処理水の供給先はボルチモア市のバックリバー下水処理場であり、2次処理として散水汙床法と活性汚泥法を併行して運転している中級処理の処理場である。この処理場の処理水の平均水質は BOD 46 mg/l , SS 44 mg/l , TDS 450 mg/l , ナトリウム 75 mg/l , PH 7.0, リン酸塩 12 mg/l , 硝酸イオン 4 mg/l , 大腸菌群数 5×10^6 といわれており、水質的に余り良好なものとはいえない。

ベツレヘム製鉄会社では、この処理水の1部を沈澱処理し、他の処理水と合せて貯水池に送水し冷却用水およびプロセス用水として使用している。処理水の水質は製鉄会社の一過性冷却用水などの利用には不適当なものでない。特定の利用先としては、炉の冷却、ガス洗浄、鉄鉄の冷却、スプレイ冷却、機械回転部の冷却、密閉した熱交換器やベヤリングの冷却、プロセスの温度制御、スケール除去系統、水輸送系統、防火設備、空調設備、輸送車輛の洗浄などである。同社は下水処理水のほかに約 $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ /日の海水混合の河川水を取水しているが、これらを下水処理水に転換すべく計画中のことである。¹⁾

このように下水処理水を一過性の冷却用水として使用する場合には、水質が余り良くない2次処理水のみでも十分であることが判明している。循環型の冷却用水システムは、熱交換器を出た水はクーリングタワーやスプレーボンドで冷却し、繰返し使用するので、良好な水質の水が要求される。循環型システムの冷却水として基本的な事項は下記のとおりである。¹⁾

- ・ 熱交換器の表面にスケールを形成させない。
- ・ 冷却システム内の金属類に腐蝕を生じさせない。
- ・ スライム形成微生物を生長させる栄養塩類を供給させない。
- ・ 過剰の泡を形成させない。
- ・ クーリングタワーの木質を腐蝕させない。

アメリカでの経験として、循環型冷却システムの補給水の水質としては、次のものが適当だといわれてきた。

PH 6.9 - 9.0 (望ましくは 6.8 - 7.2)

硬度 CaCO_3 として 130 mg/l (望ましくは 50 mg/l 以下)

TDS 500 mg/l 以下 (実際には $1,650 \text{ mg/l}$ で使用している例もある)。

塩素イオン 500 mg/l 以下

SS 25 mg/l 以下 (望ましくは 10 mg/l 以下)

BOD 25 mg/l 以下 (望ましくは 10 mg/l 以下)

MBAS 2 mg/l 以下

アンモニア 4 mg/l 以下 (望ましくは 1 mg/l 以下)

リン酸塩 1 mg/l 以下

カルシウム 50 mg/ℓ以下

鉄, マンガン, マグネシウム 0.5 mg/ℓ以下

硫酸塩 50 mg/g以下

重碳酸塩 24 mg/ℓ以下

硫酸塩 200 mg/ℓ以下

下水を処理して循環型冷却システムの補給水を製造する場合、わが国の下水の性状からみると、3次処理そのものは必要となるが、それほど困難をとまなうものではない。3次処理としては金属塩凝集剤を用いた凝集沈殿とろ過が必要となる。問題となるのはアンモニアであるが、2次処理を丁寧に行なうことにより、下水中のアンモニアの硝化を行なうことによりアンモニアは硝酸塩に転換できる。この際、下水の全アルカリ度 150 mg/ℓ 以下の場合にはアルカリ剤の補給を要する場合が多い。通常行なわれている活性汚泥処理ではアンモニアの硝化は考慮されていないため、2次処理水中にアンモニアが相当量残留する。このような場合、不連続点塩素処理によってアンモニアを除去するが、この際多量の塩素注入とPH制御を必要とする。2次処理段階においてアンモニアの硝化が行なわれていれば、処理水の塩素要求量は極く僅かなものとなり、循環型冷却システムの良質な補給水が比較的安い費用で得られることになる。

下水処理水はボイラー補給水としても使用されている。ボイラーには低圧ボイラーと高圧ボイラーとがあり、ともに工場側による付加的処理によって再利用されている。図-1は低圧ボイラーおよび高圧ボイラーの双方の補給用水を下水の2次処理水から生産しているアメリカ、テキサス州オデッサ市のエルパソ物産会社の社内での処理のフローシートである。低圧ボイラー補給水はリン酸塩と浮遊物の除去および軟化によって得られる。高圧ボイラー補給水はさらに強塩基型イオン交換装置でカチオンを除去することによって得られている。この補給水の総硬度は0 mg/ℓであり、カルシウムとマグネシウムは全く含まれていない。

また、同州ルボック市の南西部公共サービス会社では図-2に示すように逆浸透装置、カチオン交換装置、弱塩基型アニオン交換装置、強塩基型アニオン交換装置、混合床イオン交換装置を用いて、アルカリ度、総硬度、TDS、カチオン系およびアニオン系物質がほとんど0 mg/ℓの下水処理水を製造し、高圧ボイラー補給水として使用している。この水は高圧ボイラーでの使用において蒸留水よりも優れた水質である。

下水処理水は鉱山会社のプロセス用として使用されている例はアメリカ、オーストラリア、メキシコなどに見受けられる。この場合には水質の要求度も低く、余り問題とならない。先きに述べたボルチモアのベツレヘム製鉄会社でも、受入れた下水処理水の1部はそのままプロセス用水として使用している。銅鉱石の精練の際には、プロセス用水は無機物を多量に含んでいても問題は無いが、酸、有機泥分、スライム、石油類を含んでいてはならないとされている。これは鉱石の浮上分離の際に鉱石の比重を変えることにより、分離がうまく行なわれなくなるためである。

わが国は下水処理水を工業用に再利用している世界で有数の国の1つである。その実例は東京都江東地区、川崎市、名古屋市、大阪市（休止中）、北九州市における市（都）営工業用水道である。その処理法は東京都、名古屋市、大阪市においては2次処理水を凝集沈殿、急速ろ過、塩素滅菌しており、川崎市および北九州市においては単に塩素滅菌したのみで工場等に給水している。表-6

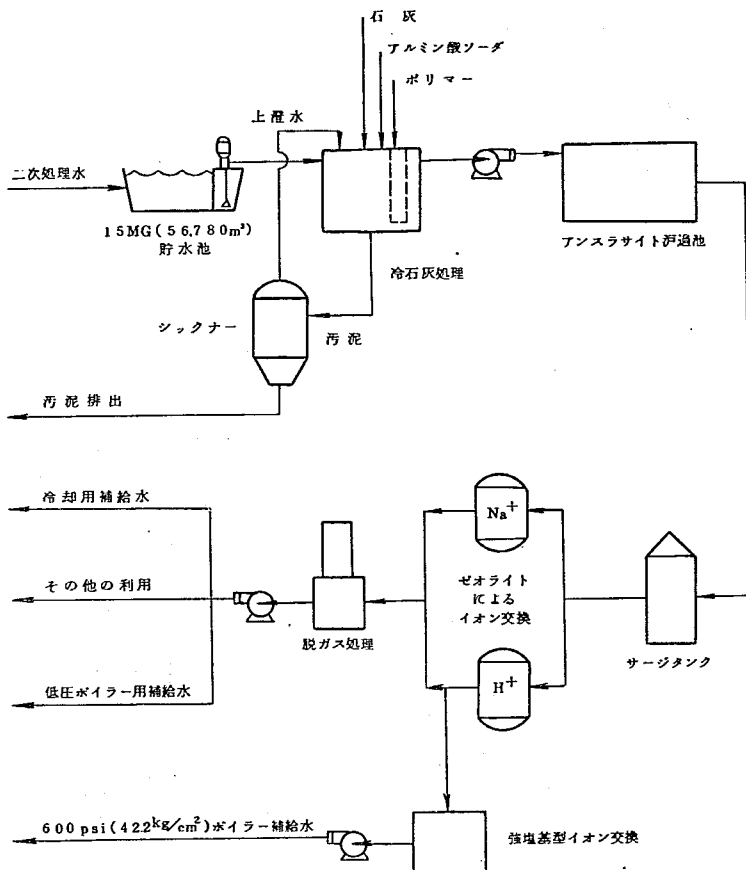


図-1 テキサス州オデッサのエルパソ物産会社再利用のための処理施設¹⁾

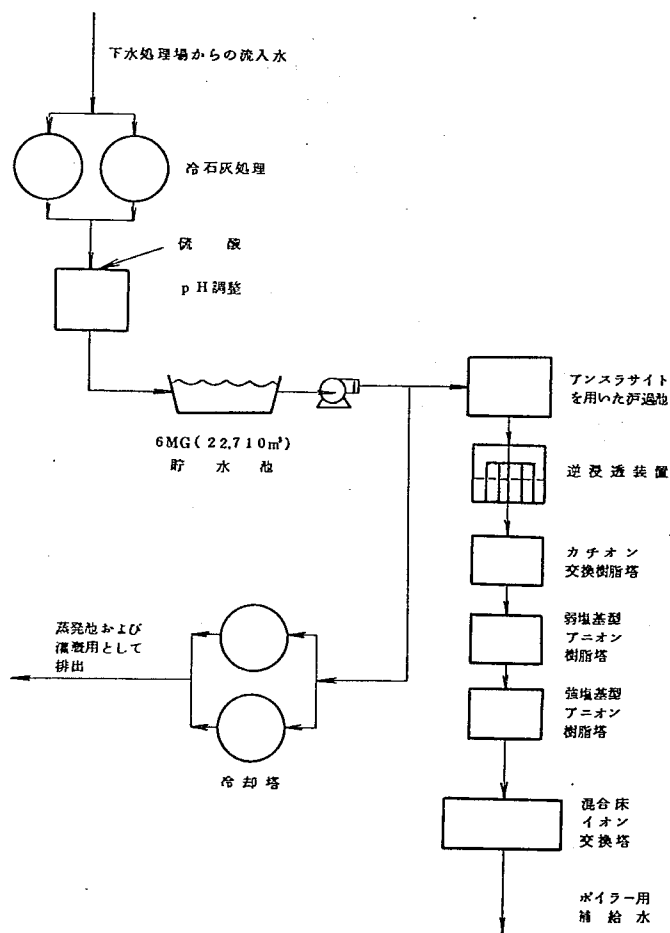


図-2 テキサス州ルボックの南西部公共サービス会社における
下水再利用のための処理施設¹⁾

は業種別の給水量、用途別内訳を示したものであり、多種類の業種に使用実績を有する点では世界的に有名である。

表-6 給水量の業種別、用途別内訳表(昭和45年7月末現在)¹⁹⁾

業 種	工場数	給水量 [m ³ /日]	用 途 別 水 量 [m ³ /日]						
			冷 却	洗 淨	製品処理	原 料	温 調	汽 缶	そ の 他
化学工業	45	39,915	25,897	12,320	15	100	683	0	900
鉄 鋼 業	30	20,621	15,651	2,515	1,538	200	410	0	307
金属工業	31	11,495	5,722	4,858	32	19	75	2	787
食品工業	12	3,630	2,867	593	60	0	0	60	50
ゴム工業	19	3,273	2,683	535	0	0	0	0	55
皮革業	163	12,456	0	12,456	0	0	0	0	0
製紙業	4	9,139	200	4,512	2,750	1,677	0	0	0
繊維業	15	2,690	405	1,630	350	10	0	0	295
ガス供給業	2	2,500	1,500	700	200	0	0	0	100
そ の 他	18	2,677	410	1,698	150	100	17	0	302
計	339	108,396	55,335	41,817	5,095	2,106	1,185	62	2,796
用途別水量の給水量 に対する百分率[%]		100	51.0	38.6	4.7	1.9	1.1	0.1	2.6

各都市の工業用水道によって供給される水の水質基準はかなりおおまかなものであり、有機物や栄養塩類に対しての基準値は示されていない。たとえば、東京都工業用水道条例第17条による供給水質の基準は下記のとおりである。

水 音 27℃以下

濁 度 15度以下

P H 5.8～8.6

塩素イオン 1,500 mg/ℓ以下

鉄イオン 0.7 mg/ℓ

東京都の場合には、とくに塩素処理がスライム発生防止、衛生上の観点から重要視されており、配水池で0.5～1 mg/ℓ、管末給水栓水で0.1～0.5 mg/ℓの残留塩素があるよう塩素注入が行なわれている。¹⁹⁾

わが国における下水処理水の工業用としての再利用は表-6に示したように多くの業種に使用されており、その用途も非常に多いが、各工場において受水した下水処理水にどのような付加的処理をほどこして利用しているかは余り明確にされていない。

5. 観光、リクリエーション用としての再利用

アメリカのカリフォルニア州は淡水が不足していることから、下水処理水を3次処理してこれをリクリエーション用として用いている3ヶ所の下水処理場がある。

このうち、タホ湖沿岸にある南タホ公益事業組合の3次処理施設はわが国でも非常に有名であり、1968年から運転している。ここではリン除去のための石灰凝集沈澱と再炭酸塩化、窒素除去のためのアンモニアストリッピング（現在は主として不連続点塩素処理によってアンモニアを除去）、浮遊物除去のためのミックスメディアによる急速濾過、溶解性有機物除去のための粒状活性炭吸着、滅菌のための塩素処理の5段階の3次処理施設が運転されており、この処理水をインデアンクリーク貯水池に送水し、リクリエーションと灌漑のために使用している。

インデアンクリーク貯水池は70%が3次処理水、30%が雨水流出水である。3次処理水と湖水との栄養塩類の1969年4月から1971年3月までの調査結果は表-7に示すとおりである。²⁰⁾すなわち、

- i) 3次処理水ではアンモニア性窒素の濃度が高いが、湖内では硝化が進行している。
- ii) 3次処理によってリンは99%除去されているが、それでも貯水池は富栄養の領域にある。
- iii) 全体的にみて、湖水の無機窒素は増加傾向、無機リン酸塩は減少傾向にあるが、季節変動が大きい。

表-7. 南タホ公益事業組合下水処理場の3次処理水とインデアンクリーク貯水池湖水の栄養塩類濃度の比較²⁰⁾

(単位: $\mu\text{g}/\ell$)

栄養塩の形態	1969年4月～1970年3月		1970年4月～1971年3月	
	3次処理水	湖水	3次処理水	湖水
全 窒 素	19,253	7,241	20,468	8,065
有機性窒素	647	909	525	906
アンモニア性窒素	17,942	3,439	19,711	3,810
亜硝酸性窒素・硝酸性窒素	664	2,893	232	3,349
無機リン酸塩 (P)	148	51	119	27
オルトリン酸塩 (P)	126	37	86	14

同貯水池では、湖水水質の安定度を知る目的で貧栄養性の魚種紅鱒の放流試験を行ってきたが、この放流試験は1968年の夏期および秋期には失敗したが1969年と1970年には成功している。1971年の冬期には約20 cmの厚さに張りつめた氷が急激に融けて、氷中の栄養塩類が解放され、湖水中のアンモニア濃度が増加したため、湖内の5～10%の魚類が斃死している。現在、この貯水池は水泳が許可されており、かつ優れた鱒の釣り場としてリクリエーションのために利用されている。

カリフォルニア州ロスアンゼルス郡衛生組合ではランカスターにある第14下水処理場の処理水を郡立アポロ公園のシンボリック存在の3池から成る人工湖に供給している。この人工湖は1973年から一般に開放されており、魚釣り、ボート遊び、などに利用されているが、釣られた魚は最終の

テスト結果が判明していないため食用には供されていない。

この第14下水処理場は酸化池から成るもので、当初は酸化池の水質改善策を見いだすために3次処理の研究が行なわれ、現在運転を行なっている前塩素処理、アルミニウム塩による凝集沈澱、急速砂過、塩素消毒から成る3次処理システムが提案された²¹⁾。人工湖に供給される水質は厳しい水質基準が設けられており、この基準を達成しない限り、人工湖には供給されないシステムとなっている。表-8には酸化池流出水、3次処理水および湖内供給水の水質要求度を示してある。魚類

表-8 カリフォルニア州ランカスター第14下水処理場の
処理水の水質とその要求量²¹⁾

成 分 名	オキシディン ンボンド流出水 (1971年12月)	三 次 処 理 水 (1971年12月)	湖内供給水 水質要求量
濁 度 (J T U)	23.0	1.5	3-10
リン酸イオン (mg/l)	29.0	0.25	0.1-0.5
P H (mg/l)	9.15	6.15	6.5-7.0
B O D (mg/l)	5.8	0.4	5-10
C O D (mg/l)	149.0	35.0	45-75
D O	12.4	12.4	7-15
藻類の個体数	200,000	—	—
大腸菌数 (MPN)	150,000	—	0-22
温 度 (°C)	34.0	38.0	10-30
S S (mg/l)	25.0	5.0	10
T D S (mg/l)	560.0	544.0	500-650
アンモニア性窒素 (mg/l)	1.1	1.0	0.1-15.0
有機性窒素 (mg/l)	8.6	1.7	1.0-3.0
硝酸性窒素 (mg/l)	1.8	1.9	1.0-4.0
全 窒 素 (mg/l)	—	—	3-20
全アルカリ度 (mg/l)	227.0	65.0	74-140
硬 度 (mg/l)	69.0	68.0	85-110
硼 素 (mg/l)	1.06	0.74	0.8-1.4
ナトリウム (mg/l)	—	153.0	—
残留塩素 (mg/l)	—	3.4	0.5-2.5
炭酸ガス (mg/l)	—	68.0	1
A B S (mg/l)	0.1	0.0	7-15
フ ッ 素 (mg/l)	—	1.7	—
カルシウム (mg/l)	—	61.0	—
塩素イオン (mg/l)	—	85.0	—
硫酸イオン (mg/l)	—	65.0	—
全重金属類 (mg/l)	—	0.53	—

の飼育は1971年春から始められており、毎月平均して2～3 cm ずつ生長している。1971年12月に湖内に放流された鱒は2年後に捕獲したとき46～61 cm に生長していたという。¹⁾

カリフォルニア州サンティ郡用水組合は1961年以来、下水処理水をリクリエーション湖に流入して公衆に利用させるため、潜在的な健康障害の防止についての研究を行ってきた。その結果、伝染病の発生に関する障害は全くないことが実証されている。この下水処理場は2次処理として活性汚泥法を採用しており、3次処理として酸化池、浸透池による処理を行ない、塩素消毒をしたうえ、4池直列に連結した人工湖に流入させている。現在のところ、この人工湖での水泳は禁止されているが、水泳プールには、この下水処理水をさらに凝集沈殿、濾過、塩素消毒したうえ供給している。サンティでの研究のうち特記されるものにウィルス残存量の研究がある。この研究報告によれば、酸化池と地下浸透による処理によってバクテリアとウィルスの除去は極めて効果的に行なわれているという。

カリフォルニア州では水質汚濁防止局がリクリエーション用の水質について表-9のような一般的な基準を設けている。⁶⁾ 下水処理水を再利用している南タホ下水処理場およびロスアンゼルス郡

表-9 リクリエーション用に推奨されている水質⁶⁾

成 分 名	水と接触する場合		ボート遊びおよび 美 観	
	注意すべき 閾 値	制限閾値	注意すべき 閾 値	制限閾値
大腸菌群 (100ml 当りMPN)	1,000 *	#		
下水源とみられる肉眼で見える物質	無	無	無	無
ABS [洗剤] (mg/l)	1 *	2	1 *	5
SS (mg/l)	20 *	100	20 *	100
浮上油およびグリース (mg/l)	0	5	0	10
エマルジョン化した油およびグリース (mg/l)	10 *	20	20 *	50
濁度 (シリカスケール・ユニット)	10 *	50	20 *	+
色度 (標準コバルトスケール・ユニット)	15 *	100	15 *	100
臭 気 閾 値	32 *	256	32 *	256
PH の範囲	6.5-9.0	6.0-10.0	6.5-9.0	6.0-10.0
温 度 (最大°C)	30	50	30	50
透明度 (セッチ デスク、フィート)	—	—	20 *	+

(註)

* この値は一連の20サンプルのうちの20%を越えないか、連続した3サンプルが越えることのないもの。

排泄物による汚染は明らかであるが、伝染病的な証拠を基にして定めた制限値はない。

(注意すべき値とは人々が注意し始め、多分不満を云うレベルである。制限閾値は表流水がリクリエーション用として使用するのを妨げられるレベルである)

+ 表流水が使用を妨げられるような濃度はない。

下水処理場の場合には、ラホトン地区の水質汚濁防止部によってこれを上回る水質基準が設定されており、この基準は厳格に遵守されてきている。表-10にその基準値を示す。また、下水処理

表-10 南タホおよびランカスターにおける水質要求度¹⁾

成 分 名	南 タ ホ お よ び ランカスター	南 タ ホ	—
	ラホントン地区 水質汚濁防止部	アルビン・カウンティ	連邦公衆衛生局 飲料水基準
濁 度 (J T U)	3-10	5	5
P O ₄ (mg/ℓ)	0.1-0.5	要 求 せ ず	—
PH	6.5-7.0	6.5-8.5	6.0-8.5
B O D (mg/ℓ)	5-10	< 5	—
C O D (mg/ℓ)	45-75	< 30	—
D O (mg/ℓ)	7-15	—	4-7.5
藻 類 (mℓ当りの数)	0-10,000	—	—
大腸菌群数 (100mℓ当りMPN)	0-22	適切な消毒	1
温 度 (°C)	10-30	—	—
S S (mg/ℓ)	10	< 2	—
T D S (mg/ℓ)	500-650	—	500
アンモニア性窒素 (mg/ℓ)	0.1-15.0	—	—
有機性窒素 (mg/ℓ)	1.0-3.0	—	—
硝酸性窒素 (mg/ℓ)	1.0-4.0	—	4.5
全 窒 素 (mg/ℓ)	3-20	—	—
全アルカリ度 (mg/ℓ)	74-140	—	—
硬 度 (mg/ℓ)	85-110	—	—
M B A S (mg/ℓ)	2-4	< 0.5	—
硼 素	0.8-1.4	—	—
S A R (mg/ℓ)	5-7	—	—
残留塩素 (mg/ℓ)	0.5-2.5	—	—
C O ₂ (mg/ℓ)	1	—	—
A B S (mg/ℓ)	7-15	—	0.5

(註) * カリフォルニア州ではリクリエーション湖に供給する下水処理水の水質基準は地区の水質汚濁防止部によって定められる。

水に含まれる重金属濃度は表-11に示すように、飲料水基準を大巾に下廻っているものである¹⁾

わが国では大阪市が大阪城の堀に下水処理水を供給している。この処理水は直接濾過を行なったの水のみであり、BODが10mg/ℓを下廻っている以外は2次処理水とはほとんど変わらないものと考えられる。下水処理水を観光やリクリエーションの目的に再利用するのはわが国では今後の課題となるが、過去のアメリカでの研究と実証運転の結果によって、この分野での再利用は水質面からみて、極めて明ると考えられている。

表-11 レクリエーション湖で用いられている下水処理水中の重金属濃度¹⁾

(mg/l)

成 分 名	南タホ公益事業 組合下水処理場	ランカスター 下水処理場	サンティ郡用水 組合下水処理場	U.S.PHS 飲料 水基準(最大値)
砒 素	< 0.005	0	0	0.05
クロム (6価)	< 0.0005	0	0	0.05
銅	0.0116	0.04	0	1.0
鉄	< 0.0003	0.22	0	0.3
マグネシウム	0.002	0.03	—	0.05
セレンウム	< 0.0005	0	—	0.01
銀	0.0004	—	—	0.05
亜 鉛	< 0.005	0.24	0	5.0
ブ ロ ム	0.065	—	—	—
ウ ラ ン	0.0015	—	—	—
コバルト	0.00022	—	—	—
セ レ ン	0.000006	—	—	—
水 銀	< 0.0005	—	—	—
ルビジウム	0.010	—	—	—
スカンジウム	0.000001	—	—	—
アンチモン	0.00044	—	—	—

6. 魚類飼育用としての再利用

下水処理水または処理中の下水を用いて魚類飼育を行なっている例は、イスラエル、アメリカ、アジア諸国、ヨーロッパ諸国などに数多く見受けられる。とくに、イスラエルとアジアおよびヨーロッパの数ヶ国では下水処理用のラグーンを用いて養魚を行なっている。

下水中で飼育できる魚種は水質によって当然変わってくるが、鯉、なまず、ミンノー、ブルーギル(まなぼう類)、小口バス(すずき類)は溶存酸素が十分に存在すれば、1次処理水中で十分生存できる耐性を有する。2次処理水、3次処理水と順次水質が改善されてくるに従って高級魚が飼育できるようになり、高度に浄化された3次処理水では虹鱒の飼育も可能であることが実証されている。

前章にて述べたレクリエーション湖についてみると、2次処理水を主として地下浸透処理したサンティの湖沼群では、ブルーギル、なまず、大口バス、サンフィッシュ、虹鱒などをその水質に応じて放流、飼育している。酸化池の水を凝集沈澱、濾過したアポロ公園のレクリエーション湖では、バス(すずき類)、なまず、サンフィッシュ、鱒などを飼育している。また、南タホ公益事業組合下水処理場の数段階から成る高度処理施設の処理水を受けているインデアンクリーク貯水池では、虹鱒を放流し、効果を挙げている。

魚類の飼育についての最も重要な要素は魚類の生存を保証する溶存酸素の存在である。下水処理

水中には有機物が多かれ少かれ残留しているので、その有機物の好気性分解によって溶存酸素は減少することになる。このため、魚類の飼育に際しては、必要に応じて溶存酸素を補給する設備を設けている。

下水中に含まれているアンモニアは魚類の生育に対する有害成分である。魚類に対するアンモニアとアンモニウム塩の毒性は、水中で解離しない水酸化アンモニウムが直接関係するといわれている。このため、PHが中性からアルカリ性に移行するに従って非イオンのアンモニア濃度が増加することになるので、その毒性も増加する。

オクラホマ州立大学での調査によれば、PHが7.4から8.0に変わっただけで、アンモニアの毒性は200%増加したと報告されている。また、魚類に対するアンモニアの毒性に関する別の調査では、その毒性は溶存酸素の濃度が低い場合に著しく増加することが見出されている。これは、低い溶存酸素レベルにおいて、魚類が排泄した炭酸ガス濃度が減少し、エラの表面と接触している水のPHが上昇し、水酸化アンモニウムによる毒性が増加するためとの説明が加えられている。¹⁾ 表-12はいくつかの水質のパラメータについての一般的な制限濃度を示している。

7. 生活用（非飲料）としての再利用

有名な観光地であるアメリカ、アリゾナ州のグランドキャニオン村では観光シーズンである5月から9月にかけて水が不足することから、下水処理水を水洗便所、洗車、灌漑、建設用などの非飲料の用途に供給している。この再利用施設が最初に建設されたのは1926年といわれており、3次処理施設、送水施設の1部は1972年に改良されている。

このグランドキャニオン村での下水処理水の再利用は、活性汚泥処理水を砂ろ過し、塩素消毒した簡易なものである。その処理水の水質の平均値は下記のとおりである。

BODおよびSS	10 mg/ℓ	PH	6.9-7.2
TDS	615 mg/ℓ	塩素イオン	200 mg/ℓ
残留塩素	5 mg/ℓ	大腸菌群数	0

すなわち、常に残留塩素を5 mg/ℓに維持することによって、衛生上の安全性を維持すると同時に、その強烈な塩素臭は人々に対してその使用についての注意をうながしている。

下水処理水の非飲料生活用水としての再利用は、アメリカよりも日本において注目されてきており、数多くの調査研究が行なわれてきている。とくに日本住宅公団では、各種の基礎的な調査、住宅団地でのデモンストレーション実験を含めて、広範囲な調査研究を実施してきている。²²⁾ 住宅公団での調査報告では、家庭内での非飲料の使用水量を次のような3種類に分類している。

第Ⅰ類 散水、水洗便所、洗車等の用途、使用率20%

第Ⅱ類 清掃、洗濯等の用途、使用率28%

第Ⅲ類 手洗、風呂、プール等の用途、使用率32%

そして、とりあえず再利用を計画している第Ⅰ類の用途についての水質基準（クライテリア）として、表-13を提案している。このクライテリアは水質的にみて、グランドキャニオン村で再利用されている下水処理水よりもやや優れた水質になっているが、残留塩素が0.2 mg/ℓ以上と低いのは気になるところである。すなわち、最低量が処理施設出口において維持されていたとしても、再利用

表-12 魚類の生存のために必要な水質の暫定的な基準値¹⁾

成 分 名	閾 値 濃 度 *
	淡 水
T D S (mg/ℓ)	2,000 #
電気伝導度 μ mhos/cm @25℃	3,000 #
最大水温 (℃)	34
鮭科の魚類に対する最大水温 (℃)	23
PHの範囲	6.5-8.5
最小 D O (mg/ℓ)	5.0 ⁺
浮上性油脂 (mg/ℓ)	0
エマルジョン化した油脂 (mg/ℓ)	10 #
洗剤 (A B S) (mg/ℓ)	2.0
遊離・アンモニア (mg/ℓ)	0.5 #
砒 素 (mg/ℓ)	1.0 #
バリウム (mg/ℓ)	5.0 #
カドミウム (mg/ℓ)	0.01 #
遊離・炭酸ガス (mg/ℓ)	1.0
遊離塩素 (mg/ℓ)	0.02
6価クロム (mg/ℓ)	0.05
銅 (mg/ℓ)	0.02 #
シ ア ン (mg/ℓ)	0.02 #
沃 素 (mg/ℓ)	1.5 #
鉛 (mg/ℓ)	0.1 #
水 銀 (mg/ℓ)	0.01
ニッケル (mg/ℓ)	0.05 #
フェノール化合物 (フェノールとして) (mg/ℓ)	1.0
銀 (mg/ℓ)	0.01
溶存硫化物 (mg/ℓ)	0.5 #
亜 鉛 (mg/ℓ)	0.1

(註)

* 閾値濃度は魚類の生存に有害でない正常な値である。これらの数値を越えない水は動物系および植物系のいずれにも適切な棲息地である。

数値は如何なる20個の連続した試料のうちの20%を越えないか、如何なる3個の連続した試料が越えてはならないものである。他の数値は決して越えてはならないものである。サンプリングの頻度は明記されるべきである。

+ 溶存酸素濃度はすべての期間のうちで20%は5.0 mg/ℓ以下とならないようにすべきである。2.0 mg/ℓを下廻ってはならない。

(備考) : 最近のデータによれば、酸素圧力の変化率が重要な因子であり、下水によって汚染された水が毎日生ずるD Oの変化は疑わしき基準値に5.0 mg/ℓを与えている)

表-13 日本住宅公団の報告書で提案されている生活用
(非飲料)の再利用水の水质基準値²²⁾

項 目	基 準 値	項 目	基 準 値
臭 気	不快臭を発しない	BOD ₅	10 mg/ℓ 以下
色 度	10 度以下	リン酸イオン	0.5 mg/ℓ 以下
濁 度	5 度以下	陰イオン活性剤	1.0 mg/ℓ 以下
T D S	500 mg/ℓ 以下	大腸菌群数	検出されないこと
S S	5 mg/ℓ 以下	一般細菌数	100個/ml 以下
PH	5.8 - 8.6	残留塩素	0.2 mg/ℓ 以上
G O D Mn	高い場合 低い場合		
	20 mg/ℓ 以下 10 mg/ℓ 以下		

の末端においては全く零になり、逆に大腸菌群が検出される恐れがあることが懸念される。

わが国の生活用水(非飲料)としての再利用についての特色は、住宅公団が分類した第Ⅱ類、第Ⅲ類の用途についても、その水质面からの検討を綿密に行なってきたことである。²³⁾²⁴⁾²⁵⁾ 第Ⅰ類から第Ⅲ類にわたる広い範囲の再利用がもし可能となれば、生活用水の80%は下水処理水によってカバーできる可能性が残されている。

この水质を生み出す水処理技術は、従来の数多くの調査研究によって確立してきつつある。問題はそれを受入れる住民の意識の問題である。

カリフォルニア州で実施されてきた研究は、下水処理水の再利用に対する公衆の態度についてまとめている。²⁶⁾

この報告によると、下水処理水を再利用することについての反対は、一般的にみて個人的な接触の見込み、または範囲に依存している面が大きい。飲料以外の生活用水としての再利用では、芝生の灌漑や水洗便所での利用では僅かに4%の反対、家庭での洗濯での利用は20%が反対している。また、飲料としての利用では55%、すなわち過半数が反対している。

この調査は水の乏しいカリフォルニア州での調査であり、したがって非飲料の生活用水としての再利用では約80%が賛成または肯定というように住民の理解の程度も高くなっている。わが国でも同種の調査が計画されているが、過去に水不足の経験をもっていないわが国の住宅団地の住民がどのような回答をするだろうか。

いずれにせよ、生活用(非飲料)としての再利用については、わが国は世界有数の再利用の調査研究の実施国であり、今後その傾向は持続されると考えられる。

この問題について、最も関心の深い日本住宅公団では、すでに東京都清瀬団地で実験、調査を行ない、その結果を参考として千葉県芝山団地で試行建設を行なっている。²²⁾ また、昭和52年度からは建設省と共同で奈良県平城ニュータウンで広範囲の再利用についての実験を開始した。この調査は再利用に関する水质基準、施設基準、管理基準、経済性、社会的受入れ条件について行なわれることになっている。²⁷⁾ また、厚生省でも雑用水道に関する調査研究が行なわれてきており、雑用水道の用水源としては主として下水または下水処理水が対象とされている。この報告書の中で雑用

水の用途となっているのは、水洗便所、冷却用補給水、洗車用水、散水用水（芝生、樹木）、消火用水、融雪用水、清掃用水、リクリエーション用水などとなっており、再利用目的を広い範囲でとらえている。²⁶⁾

わが国での生活用（非飲料）としての再利用は、工場、事業場、あるいはビル内での循環利用を目的としても行なわれてきている。日本道路公団もパーキングエリア、サービスエリア内の水洗便所等への再利用について大きな関心を示しており、中国道上月P.A. および美東S.A. 東北道の那須S.A. では、昭和50年頃より再利用が行なわれてきている。

生活用としての再利用についての問題点の1つは、その処理コストの高いことにある。例えば、日本住宅公団の芝山団地の処理場では、2次処理（長時間エアレーション法）した後、凝集沈殿、急速濾過、オゾン処理、残留オゾン処理、活性炭吸着の5プロセスを3次処理として付加している。この設備に加えて衛生設備、電気設備とそれらの維持管理費が必要となる。また、現在のところでは再利用可能な用途は限られており、住民1人当りの再利用水量は50ℓに過ぎない。このため、再利用水の単価は建設費の減価償却分300円/m³、維持管理費60円/m³、合計360円/m³となっている。²⁷⁾ すなわち、再利用水のコストは現在のところ非常に高いといわざるを得ない。将来の問題としては、如何にして3次処理プロセスを簡略化して処理に要するコストを低下させるか、あるいは高度な3次処理プロセスを設置して良好な水質を得、これを基礎に再利用可能な用途を増やしていくかのいずれかを選定していかなければならないであろう。

このように、わが国の生活用（非飲料）としての下水処理水の再利用は数多くの関心がもたれて研究が実施されているが、アメリカおよび南アフリカ連邦での興味は下水処理水から飲料水を直接に製造することにある。

1960年代後半から始まった南アフリカ連邦での一連の研究、ならびに最近におけるアメリカでの組織的な研究はこれらのことを裏付けている。これらの国々では一足飛びに下水処理水の飲料水としての再利用に向う可能性を秘めている。もしもこれが可能になれば、非飲料としこの下水処理水再利用のもつデメリット すなわち、クロスコネクションの問題、二重配管にともなう不経済性などの問題も解決されることになる。

8. 生活用（飲料水）としての再利用

南アフリカ連邦、ナミビアのウィンドフークは1968年10月から1970年12月まで下水から飲料可能な生活用水を生み出して、ダムからの淡水と混合して水道水として供給していた唯一の例である。しかし、1971年の初頭に既存の下水処理施設への流入負荷量が処理区域の拡大にともなって増加し、このため水質的に満足できかねる状態になってその使用を一時中止している。

ウィンドフークのガンマムス下水処理場は図-3に示すフローシートを有し、設計処理量は4,000 m³/日となっている。ここで生産される処理水は上水道給水量の平均で13.4%、最高で約28%を構成していた。その処理水（すなわち、上水道に補給される3次処理水）の水質は表-14に示すとおりである。この水質を世界保健機構（WHO）の飲料水水質基準と比べてみると、ウィンドフークの3次処理水は、色度、TDS、COD_{cr}、ABSで「望ましい基準（Max. Acceptable Conc.）」を越えているが、「承認しうる基準（Max. Allowable Conc.）」以内には入っ

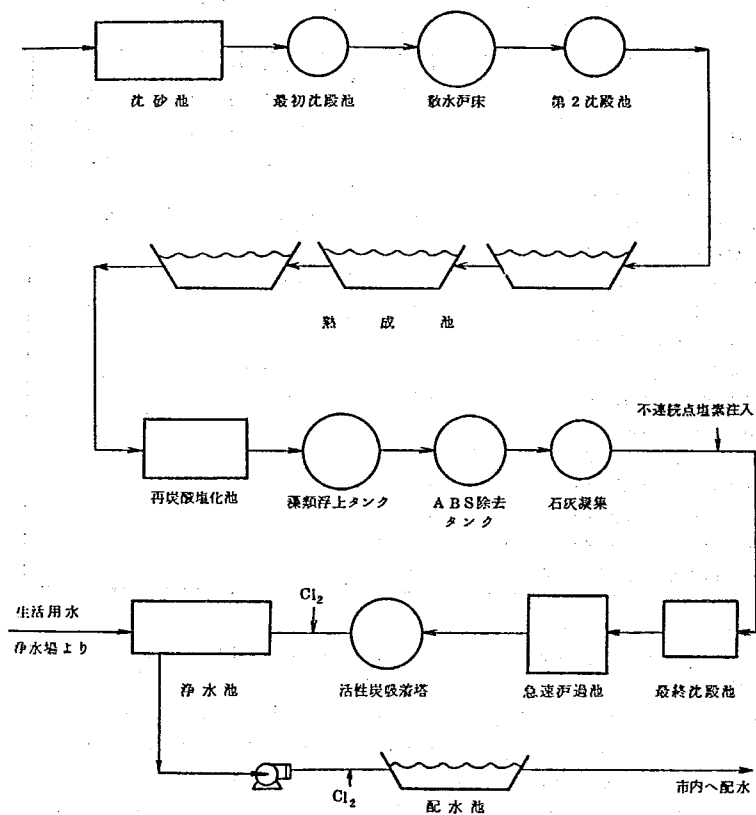


図-3 南アフリカ連邦ウィンドフークのガンマムス
下水処理場のフローダイヤグラム¹⁾

表-14 南アフリカ連邦ウィンドフークの下水処理場の3次処理
水質とWHO飲料水基準値との比較¹⁾

項 目	ウィンドフーク 3次処理水質	W H O 飲料水基準値	
		「望ましい」	「承認しうる」
PH	7.8	7.0-8.5	6.5-9.2
色 度 (mg/ℓ)	8	5	50
濁 度 (mg/ℓ)	4	5	25
T D S (mg/ℓ)	540	500	1,500
硫酸イオン (mg/ℓ)	125	200	400
塩 化 物 (mg/ℓ)	62	200	600
硝酸イオン (mg/ℓ)	9	—	45
アンモニア性窒素 (mg/ℓ)	0.2	0.5	—
ケルゲル窒素 (mg/ℓ)	0.5	1.0	—
O O D _{cr} (mg/ℓ)	14	10	—
B O D ₅ (mg/ℓ)	0.3	6	—
A B S (mg/ℓ)	0.7	0.5	1.0
ナトリウム (mg/ℓ)	76	—	—
カリウム (mg/ℓ)	19	—	—
リン酸塩 (mg/ℓ)	0.016	—	—
大腸菌群数 (個/100ml)	0	—	—

ている。

この水質はダムを水源とする飲料水と混合されることにより、「望ましい」水質に改善されている。^{1) 29) 30)}

1972年以降、アメリカでは下水処理水の飲料水としての再利用の研究に大きな関心が払われるようになってきた。この直接の動機は、アメリカ西南部のユタ、カリフォルニア、アリゾナ、ニューメキシコ、ネバダなどの諸州が頼りにしているコロラド河では、すでに水消費量が自然供給量の60%を越えたことに端を発している。1975年3月に連邦政府、水道協会、水質汚濁防止連盟が中心となって、飲料水としての再利用をすすめるための研究委員会が発足している。この研究委員会では次の6項目についての広い範囲の討議が行なわれている。³¹⁾

- ・ 下 水 処 理
- ・ 処理の信頼性と水質管理
- ・ 無機汚濁物質に伴う健康の影響
- ・ 有機汚濁物質に伴う健康の影響
- ・ 汚染微生物に伴う健康の影響
- ・ 社会経済的影響

研究委員会では、各分野の専門的立場から討議が行なわれてきているが、とくに社会経済的立場からの見解として、一般大衆に対して現在でも下水処理水が混合した飲料水を飲んでいるのだとい

う事実を知らしめる公衆教育が必要だと述べられている。この事実を一般大衆が正しく理解することができるになれば、直接再利用も彼らに受入れられるようになるのではないかとことをこの委員会参加者は考えたようである。いずれにしても、飲料水としての直接再利用ができるまでに10年から15年の期間が必要であり、このために今から組織的な研究をやっていくのだというのが、環境保護庁の考え方である。

アメリカの南部、あるいは西部の都市でも将来の水不足に対処するための研究を実施している。例えば、テキサス州ダラスでは2020年には水消費量が淡水供給量を上廻ること、年間の降水量と蒸発量が等しく、現在でも毎年60日は水不足に悩まされることから、下水処理水の飲料水としての再利用の研究を続けてきている。³²⁾ この研究では下水から飲料水を製造する下水処理システムとして、下記のものを提案されている。

スクリーニングと沈砂 → 最初沈澱池 → 硝化まで行なう活性汚泥法 → 高PHでの石灰凝集沈澱 → 再炭酸塩化 → 急速濾過 → 活性炭吸着2段処理

この処理法では、有機物、微生物・細菌類のほか、重金属類の除去にも効果があることが見いだされており、保健衛生局(PHS)による飲料水基準(1972年改訂)に十分適合する結果が得られたと報告されている。このような種々の調査研究の積み重ねは、下水処理水の再利用の究極の目的である飲料水としての再利用の研究発展のために大きな貢献をなすことであろう。

9. あとがき

下水処理水の再利用に関する過去ないし現在行なわれている調査研究の成果について述べてきた。これらについて、技術的に全く確立されたという分野もないことはないが、概していえば、まだ研究を実施していかなければならない分野は非常に多いということである。

とくに、下水処理水は分解し難い有機物、重金属類、病原性微生物などを含むため、再利用に対しては人間は勿論のこと、家畜、農作物についても潜在的な生長または健康阻害、生物濃縮など長期間にわたる地道な研究が必要である。この点、わが国のこれまでの多くの研究は必ずしも満足できる状態に置かれてはいなかったのではないかと考えている。

下水処理水の再利用について、衛生工学面からの最も基本的な研究はいわゆる3次処理を含めての下水処理の研究である。再利用では水質の長期的安定性が問われることになるため、それを可能ならしめる水処理プロセスの選定、システムとしての構成を考えていかなければならない。この際、処理に要するコスト、運転方法の難易、安全性などに対する十分な検討と配慮が必要となる。とくに、処理に要するコストは高度成長時代には軽んぜられる傾向にあったが、再利用のための下水処理に要するコストはできるだけ低いものでなければならないのは当然である。これらの面でも長期的な展望をもつ永続的な研究開発の実施が必要となっている。

参 考 文 献

- 1) Schmidt G. J. & Clements III, E. V. : Demonstrated Technology and Research Need for Reuse of Municipal Wastewater, EPA-670/2-75-038 (1975)
- 2) Middleton, F. M. : International Activities in Wastewater Reuse, Procee-

- ding of the Second National Conference on Complete WATEREUSE, AChE, p22 (1975)
- 3) Frederiksen, H.D. & Frickson, J.A. : Irans Approach to Maximizing Effectiveness of a Critical Resources, Proceedings of the Third National Conference on Complete WATEREUSE, AChE, p 26 (1976)
 - 4) Environmental Protection Agency : Water Quality Criteria, Draft Report (1973)
 - 5) Stone, R & Merrell Jr, J.C. : Significance of Minerals in Wastewater, Sewage & Industrial Wastes, 30-7 (1958)
 - 6) California State Water Resources Control Board : Water Quality Criteria, Publication No 3-A (1971)
 - 7) Federal Water Pollution Control Administration : Water Quality Criteria (1968)
 - 8) 用水廃水便覧編集委員会編 : 用水廃水便覧, 改訂 2 版, 丸善 p 76 (1973)
 - 9) 関東地方建設局企画部企画課 : 汚水再利用基礎調査報告書 (陸地灌水を主体として) (1973)
 - 10) 日本住宅公団 : 住宅団地における処理水の稲作に及ぼす影響等調査報告書 (1973)
 - 11) 熊本市農林課 : 公共下水道処理水実用化試験調査結果 (1976) および公共下水道処理水の農業用水実用化試験設計書 (1977)
 - 12) 近畿地方建設局, 琵琶湖工事事務所 : 二次処理水の山地還元による山腹沃化調査報告 (事業調査) および都市下水の陸地還元に関する調査研究 (II), (1977)
 - 13) 中国地方建設局, 鳥取工事事務所 : 都市下水の再利用に関する研究——砂丘地におけるカンガイ利用 (1976) および都市下水の再利用に関する調査 (概要) 会議資料 (1977)
 - 14) 四国地方建設局, 四国技術事務所 : 昭和 51 年度下水再利用調査報告書 (1977)
 - 15) 関東地方建設局企画部 : 陸地還元に関する打合せ資料 (1977)
 - 16) Clarke, N.A. et al : Human Enteric Virus in Water, Source, Survival and Removability, Advances in Water Pollution Research edited by Eckenfelder Jr., W.W., Macmillan, p 523 (1964)
 - 17) Mack, W.N. et al : Enterovirus Removal by Activated Sludge Treatment, W.P.C.F. 32-10 p 1133 (1962)
 - 18) Davis, M.L. : Potential for Infection from Wastewater Spray Aerosols, Proceedings of the Second National Conference on Complete WATEREUSE, AChE, p 1251 (1975)
 - 19) 岩井, 加藤, 左合, 野中編 : 廃水・廃棄物処理——廃水編, 講談社サイエンティフィック p 487 (1977)
 - 20) Porcella, D.B., et al : Response to Tertiary Effluent in Indian Creek Reservoir, J.W.P.C.F. 42-11 p 2148 (1972)
 - 21) Dryden F.D & Stern, G : Removated Water Creates Recreational Lakes,

- Environmental Science & Technology, 2-2, p. 268 (1968)
- 22) 日本住宅公団建築部土木課, 総合試験場: 住宅団地における中水道方式の開発研究, (その1) 調査研究期報 Vol. 51, (その2) 同, Vol. 52, (その3) 同, Vol. 53, (その4) 同, Vol. 54 (1976~1977)
- 23) 近畿地方建設局企画課: 住宅団地に関する水高度利用調査報告書 (1972)
- 24) 近畿地方建設局, 大阪府: 事業所用水の排水利用計画調査 (その1) 報告書 (1976)
- 25) 近畿地方建設局, 神戸市: 事業所用水の排水利用計画調査 (その2) 報告書 (1976)
- 26) Bruvold, W.H. & Ward, P.E.: Using Reclaimed Wastewater—public Opinion, J. W. P. C. F. 44-9 p. 1690 (1972)
- 27) 日本下水道協会: 下水処理水の循環利用技術調査委員会資料 (1952)
- 28) 日本水道協会: 昭和51年度厚生省委託費による雑用水道技術指針に関する調査研究報告書 (1972)
- 29) Stander, G. J. & Funke, J. W.: Direct Cycle Water Reuse Provides Drinking Water Supply in South Africa, Water & Wastes Engineering, May 1969
- 30) Clayton A. J. & Pybus, P. J.: Windhoek Reclaimed Sewage for Drinking Water, Civil Engineering, Sept. 1972
- 31) English, J. N., Linstedt, K. D. & Bennett, E. R.: Research Required to Establish Confidence in the Potable Reuse of Wastewater, Proceedings of fourth U. S. - Japan Conference on Sewage Treatment Technology, U. S. EPA p. 616 (1975)
- 32) Petrasek, A. O. Jr & Rice, I. M.: Water Reuse Research, Proceedings of the Third National Conference on Complete WATERREUSE, AChE, p. 556 (1976)

道路と環境に関する諸問題

道路部長 金安公造

道路と環境に関する諸問題

道路部長 金安公造

まえがき

最近、新聞・テレビで「環境アセスメント」あるいは「環境影響評価」などという言葉を見聞きすることが多い。これらの言葉の定義は、あまり明確ではないが、表-1のように、用語の解釈、概念規定をしている例もある¹⁾。

表-1 環境影響評価および関連用語の概念規定一覧¹⁾

	用 語	用 語 の 解 釈 , 概 念 規 定
和 文	環境アセスメント	① 環境庁が昭和49年度以前に用いていた時の意味は、英文のEIAとはほぼ同じ意味。 ② 昭和50年度以降は、次の「環境影響評価①」と同義語と解釈される。 ③ 現在、環境庁以外で一般に採用されている用法では、英文のEA②と同じ意味。
	環境影響評価	① 環境庁が昭和50年度以降採用し始めた用語で、上記の「環境アセスメント①(=EIA)」にその「制度面」も加ったものとする解釈。ただし、この場合「中間報告」**で第1部環境の現況とあるように、英文のEA①の概念も含まれていると思われる。 ② 一般に、または一部に、これを米国のEIAと等価概念と考えることもある。
	その他の関連表現、用語	たとえば、環境影響事前評価、総合事前調査、環境影響総合評価などがみられるが、それぞれの定義を求めて解釈、概念規定することが必要である。*
英 文 (基 準)	Environmental Assessment (EA)	① 環境計画(Environmental Planning)の一環として行われる環境および環境質の評価で、これに影響する人間行為がそこで行われたか否かは問題としない。 (環境容量の概念と関連すると思われる) ② 漠然とした用法や一般に用いられるときは、環境に関する評価(アセスメント)ほどの意。
	Environmental Impact Assessment (EIA)	種々の人間行為によってもたらされる環境インパクトのうち人の健康および福祉に係わる影響の確認、予測、およびその解釈、情報伝達交換などによる評価。

* ここで述べている解釈は、米国のNEPAおよび関連文書での用法、さらに「SCOPE 5」の報告書(R. E. Munn (Ed.): "Environmental Impact Assessment: Principles and Procedures", SCOPE-WISE, Toronto, Canada (1975)の概念規定に依っている。

** 中央公害対策審議会・環境影響評価小委員会：「環境影響評価の運用上の指針(中間報告)」, 昭和49年6月。

用語の概念は重要なことであるが、それはともかく、公共事業を実施する場合に、周辺の環境に重大な悪影響を与えることがないように、事前に十分調査することは重要なことである。昭和47年6月、「各種公共事業に係る環境保全対策について」が閣議決定され、その後、昨年5月、環境影響評価法案」の第80国会への提出を見送ることが報ぜられ、また同年7月、通商産業省は「発電所の立地に関する環境影響調査及び環境審査の強化について」を、建設省は「環境影響評価推進委員会設置願」を、それぞれ発表し、所管事業に係る環境影響調査の強化あるいは環境影響評価の推進を明かにした。

このような情勢において、「環境影響評価」に関して、土木研究所の果たす役割も、ますます重要なものとなるであろう。ここでは、制度について、アメリカおよびイギリスの実態を紹介し、また今後の道路計画における環境影響調査に関して、研究の方向などを考察する。

1. 環境影響評価制度の例

1) 概 説

「環境影響評価」を一般的な法律によって制度化している国としては、アメリカ、スウェーデン、フランスなどがある²⁾。一方、イギリス、西ドイツでは、一般的な法律を制定しようとする動きはなく、これまでの既存の法体系の中で実質的な対応を行っている³⁾。

このように、制度化に対して対照的なアメリカとイギリスを例として、環境影響評価制度について述べる。

2) アメリカにおける制度の概要

1969年の国家環境政策法（NEPA：National Environmental Policy Act）の制定によって、制度は確立されている。その内容は、多くの文献によって広く紹介されているので、ここではそのごく概要を示す。

a 概 要

アメリカにおいては、1960年代の中ばから、わが国同様に各種開発に伴う自然環境への影響が各地で顕在化し、社会問題となってきた。1969年には、人類とその環境との間の生産的な調和を促進する連邦政策を採択する環境政策宣言を基本とする環境アセスメント制度、すなわち国家環境政策法の成立のはこびとなった。

この法律は、概念的な規定のみが定められたにすぎず、具体的な環境アセスメントの実施に関する事項については、環境審議会（CEQ：Council on Environmental Quality）および各省庁において作成されるガイドラインに委ねられ、これらのガイドラインと一体となってこの制度が構成されることになった。この制度の基本的なポイントは、連邦の政策行為のうち環境に関し、広く、重大な影響を及ぼすものについても、あらかじめ環境アセスメント評価書（EIS：Environmental Impact Statement）の作成義務が与えられたこと、および、この評価書を公衆縦覧し、また、公聴会を行ういわゆる一般公衆参加の義務づけを行ったものである。

しかし、このうちの一般公衆参加については、アメリカには古くから直接民主主義の土壌

があり、この制度が成立する以前においても、ダム、高速道路などの公共事業実施にあたって、実態的には、一般公衆参加が一部行われている現況にあった。また一方、公衆参加に関する法制度としても、1967年の情報公開法(Freedom of Information Act of 1967)および1964年の行政手続法(Administrative Procedure Act of 1964)として整備されており、政府の行政行為に対する公衆参加の社会的ルールが確立している。勿論、国家環境政策法の公衆参加の手続きはこれらの二つの法律によって支えられているのである。

このように、環境問題に対する社会的ニーズを背景にこの公衆参加ルールの上に醸成されたこの制度も、1970年1月の施行以来アセスメント手続施行に伴い、政府部内および社会一般にも各種混乱を生じ、CEQおよび各省庁は、問題解決のため努力を重ね、制度実施のための体制づくりはもとより、法制度およびガイドラインの改正を重ねながら現在に至っている。

b 手順のフロー

手順のフローは図-1に示すとおりである。

c 連邦補助道路計画マニュアル(抜粋)

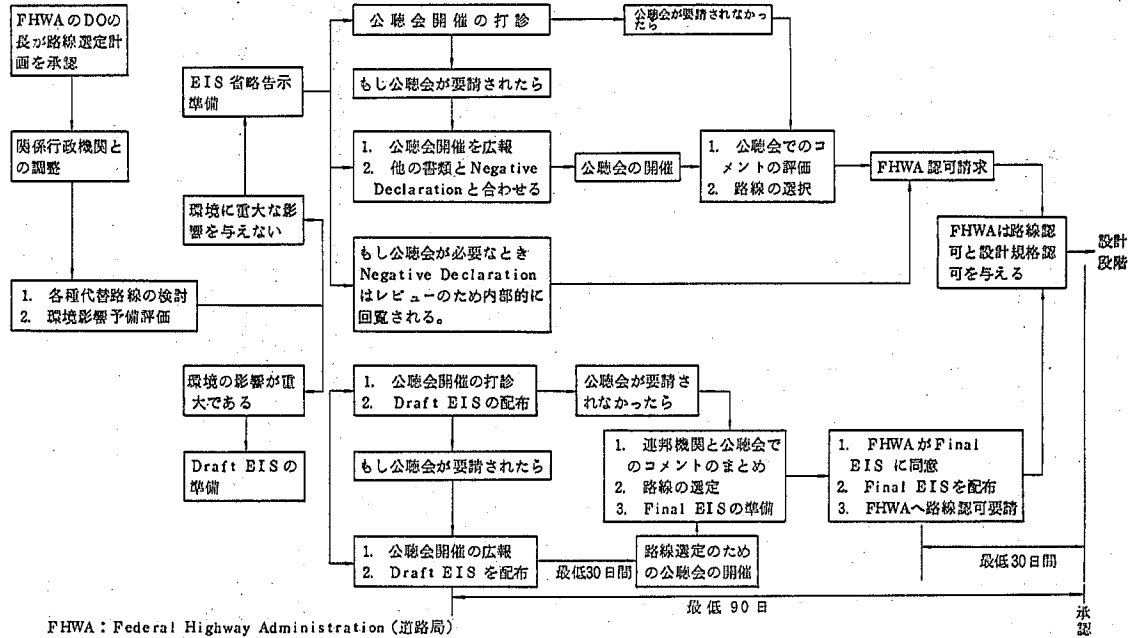
◎ 計画事業、代替案および社会・経済・環境に関する記述

- (1) 路線の位置、標準的構造、延長(新設および既設路線について)
- (2) 交通量の資料、車線数
- (3) 代表的な道路用地巾、出入制限(既設および計画道路について)
- (4) 横断縦断線形、インターチェンジの位置、立体交差、構造規格
- (5) 既設施設の不足、当該計画事業が州、地区、地域社会に与える開発利益、当該道路とその地域における全輸送需要との関係など計画の根拠
- (6) 交通安全上の効果、または当該道路が建設されない場合のマイナス効果
- (7) 当該計画の立案にあたって検討された技術的、社会的、経済的調査の概要
- (8) 計画の経緯と現状および道路建設の予定時期
- (9) 周囲の地形の概要
- (10) 雇用、税収入、財産価値などに関連する経済要因表
- (11) 町、湖、川、山、史蹟、ランドマーク施設、開発地、主要道路など周囲の自然および文化上の特性、および調査に関連するその他の特性
- (12) 周辺地域の人口、開発状況、人種構成等についての概要
- (13) 一般住民に対し環境影響についての理解を助けるため周辺の見取図、詳細な地図、写真、設計図その他の視覚に訴える資料を用いること
- (14) 宗教、保健および教育施設、公益事業、消防その他の緊急サービスを含む公共施設やサービス
- (15) 道路の外観等の景観、共同開発や空間の多目的利用に関するもの

◎ 土地利用

その地域に関する計画の展望および現状を記述するとともに、当該計画と土地利用、関係地方自治体が定める公共施設計画、政策、規制との関係を検討すること。できれば当該計画で影響を受ける地域内の土地利用の現状と計画(地図によるのが望ましい)およびその他連邦政府

図-1. アメリカにおける環境影響評価制度の手続き (FHWA Guideline)



FHWA: Federal Highway Administration (道路局)
DO: Division Office (地方分局)
EIS: Environmental Impact Statements (環境影響評価書)

に係る計画に関して検討すること。

各計画間に矛盾や不整合がある場合には、それらの調整の余地および十分に調整できない場合においても事業の実施を行う場合にはその理由を記すること。

② 計画事業が環境に与える影響

当該計画が実施に移された場合に環境上予想される重要なプラスおよびマイナスの影響を記述するものとする。

環境項目の重要度および影響の程度は、当該事業計画の性質、規模、位置により異なるものである。たとえば、絶滅寸前の鳥獣にとっては生棲地に対する環境は極めて著しいであろうが、沢山いる鳥獣の生棲地に対しては、同じであっても影響はたいしたことにならないであろう。

(1) 道路は土地開発の促進、従来と異った様式の社会的、経済的活動といった内接的活動（二次的活動）を刺激したり誘因したりするだろう。

二次的活動は地域社会の既設施設や諸活動への影響、新たな施設や諸活動の誘因、あるいは自然条件の改変という形で、しばしば道路の建設に伴う影響よりも、もっと著しい影響を与えることもある。たとえば、新しい道路の建設に伴う人口および地域の発展に対する影響などが、その一例である。

予想される二次的活動に伴う影響については、EISで評価、検討しておくものとする。

(2) 道路に隣接する地域に及ぶ直接的（一次的）影響については、それが地域、または地域社会の全体に対し、著しい場合に記述するものとする。個々の比較路線、構造との対比の形で計画事業の実施によって起り得るであろう著しい影響を述べるとする。

この場合、以下に列挙した要因、事項に対し起るであろう影響を含めるものとする。

(a) 自然、生態、景観的資源への影響

当該計画事業の実施に伴う自然、生態、および景観的資源に対する著しい影響の概要および適切な公衆、政府機関との相談（コンサルテーション）の概要を記す。自然資源への影響への一例としては、ある事業がエネルギー資源の消費におよぼす影響がある。

(b) 移動および家族への影響

移転補償の概要、企業等の移転を記述するものとする。この場合、住宅関係機関との協議変更、住宅移転計画に関する情報を含むものとする。

地域の視察により得られたり、容易に利用出来る二次的情報源や地域的社会的な情報源から得られる下記のような情報を記述するものとする。

すなわち、移転すべき世帯数およびその家族の特徴（たとえば少数グループ、所得レベル、不動産保有状況、老人、大家族）地域社会の公共施設からの分離や、隣接住宅からの分離などといった地域分断、移転が必要となる地域、および住宅、移転すべき企業およびそれが経済や地域社会におよぼす一般的影響、移転についての記述、および移転することになる家族に対し家族の規模に応じて提供できる代替住宅の量、特殊な場合における移転相談についての記述、当該地域社会に対する影響に関して、地方公務員、社会的機関、住民グループと行った協議の結果。

(c) 社会的影響

当該事業計画により生ずるであろう著しい社会的影響について記述を行う。

下記のもの、職場、学校、教会、公園、病院、買物および地域社会サービスへのアクセスの観点から、重要な問題となり、特別の配慮をする必要がある事項の例である。

- | | |
|--------------|-----------------|
| 1. 老人 | 2. 学童・生徒 |
| 3. 公共輸送機関利用者 | 4. 障害者 |
| 5. 文盲者 | 6. 非運転者 |
| 7. 歩行者 | 8. 自転車利用者 |
| 9. 低所得者 | 10. 人種的・宗教的グループ |

(d) 大気質

1. 当該道路の部分の大気質に及ぼす影響、用いた予測手法、大気汚染規制担当機関との協議内容の概要およびできうならば第三者検討機関 (Indirect Source Review Agency) との協議の概要、大気汚染規制機関からの意見、あるいは第三者検討機関からの意見、当該計画とその代替案との関連についての州道路局等の見解。
2. 40 CFR 51, 18 により必要とされる場合には、望ましい計画案を第三者検討機関に提出するものとする。

第三者検討機関が 40 CFR 51, 18 の規定に基づく手続として当該道路の部分が大気汚染防止計画に反することになること、あるいは国の大気質環境基準の達成または干渉することになると認める場合は、当該 BIS の承認を得る目的のため連邦道路局に提出してはならない。

(e) 騒音

もし道路交通騒音が著しい場合には、予想される騒音問題についての検討、予測に関する諸資料の概要を記述する。

概要には下記の事項を含めるべきである。

1. 影響を受ける活動の数と種類についての情報
2. 影響の程度 (デシベル)
3. 騒音低減に資する対策について
4. 当該計画で取り入れようとする騒音対策
5. 解決策が見い出せない騒音問題

⋮
(中略)
⋮

(f) 工事中の影響

工事中のマイナスの影響は、一般に長期間にわたる影響よりは重要ではないだろう。しかし、必要な場合には BIS は工事に関連する著しい影響 (とくに大気、騒音、水質についての) について記述するものとする。

また、場合によっては対策が環境や借用地への影響に及ぼす効果についても記述するものとする。

- (3) マイナスの影響を防止または軽減するため通常とりうる施策、および必要に応じて、それらの施策の費用や効果についての検討を含めるものとする。

この検討には予想される問題を解決し、または最小化するための妥当な施策の全てを含め、その施策について、それぞれ長短を付するものとする。

◎ 代替案

- (1) 環境の質を向上し、環境の悪影響を全部または一部回避しうるのである代替案に関する詳細な記述を含むものとし、必要に応じて、地図その他の参考資料を添付するものとする。このような代替案として、例えば位置や設計を変えること、提案されている行為を行わないこと、行為を延期すること、サービス・レベルをおとすこと、施設（車線・設計）を縮少すること、公共輸送を増減すること等があげられる。
- (2) 代替案によるプラスとマイナスの効果やコストについては、提案された道路の環境やその環境影響の程度に応じて記述されるべきである。この節における環境影響に関する記述は、その行為に伴う地域の環境への影響、とくにその代替案自体による著しい影響に関する記述を含むものとする。
- (3) Draft EISにおいては、すべての代替案が考慮されており、また特定の代替案が公聴会の結果によって州道路局等によって選択されるということを示すものとする。Final EISは、この選択された代替案について用意されることになる。

◎ 避けられない悪影響

水質汚濁、騒音、大気汚染、生態系に対する損害、健康の脅威、望ましくない土地利用パターン、少数グループへの影響等避けられない環境への悪影響が要約されることになる。これらはいずれも上記の各項において確認されたもので、いろいろな施策を講じてもおお、容認できるレベルにまで影響の程度を減少できないようなものである。

d 運用と反省

以下は、1976年3月、CEQのR. W. Peterson 委員長が、「EISに関する連邦政府機関70の6年間の経験の検討」と題する報告書の中から運輸省に係るものを抜粋したものである⁴⁾。

- (1) 1975財政年度に作成したEISの数（連邦道路局所管）：約2,500件
- (2) 政府機関別のCEQに提出されたDraft EIS：1970(61), '71(1,293), '72(674), '73(432), '74(360), '75(229)
- (3) Draft EISの作成に要した時間：平均10ヶ月（5～16ヶ月）
- (4) Draft EIS→Final EISまでの期間：平均12ヶ月
- (5) 終結したNEPA関連訴訟（1975年6月現在）：総件数 88
- (6) 係争中のNEPA関連訴訟（ " ）： " 69
- (7) EIS作成のコスト（1974財政年度）：36,500,000ドル（約8,760百万円）
- (8) 連邦政府の意思決定に及ぼしたEISプロセスの影響の事例

内務省（DOI）

連邦政府の政策決定に及ぼしたEISプロセスの初期の影響としては、800マイルのアラスカ横断パイプライン（TAP）に関する内務省の第二次草案EISおよび最終EISがあげられ

る。このプロジェクトの環境面からの集中的審査が、重要な設計変更、その他の日常業務および建設技術の改善を促したという点で、関係者すべての意見は事実上一致している。

内務省はこの他にも、次にあげるような数多くの場面でNEPAおよびEISプロセスを効果的に活用し、その政策決定を左右してきた。即ち、OCS 借地からの一定地域の除去、石炭および油頁岩の採掘に関する規則の改善、ジェット航空機のグランドテートン国立公園上空への立入禁止等である。

最近内務省では、バーストウ(Barstow)とラスベガスの間にある土地管理局の用地を横断する第8回(1974年)150マイル・オートバイレースに関し、広範な観点からのEISを作成した。他方、土地管理局は、そのレースを許可したが、レース後の環境分析を集中的に行った。この二つの分析により、1975年11月に計画された第9回年次レースは予想される環境影響のため中止されることとなった。

内務省のもうひとつのEISの例としては、土地管理局と林野局が作成し、1975年6月に最終EISとして公表されたものがある。それはフロリダ州のオセオラ国有林における2万5千エーカーにおよぶ磷酸塩採掘権貸与の提案に関するEISである。このEISに促されて、米国地質調査局による2カ年の調査が完了するまで、貸与の決定を延期するという長官決定が1975年秋に出された。大気清浄化法第309条に従い、貸与は認められるべきでないというEPAのCEQに対する早くからの勧告も、同様にこのEISに基づいたものであった。CEQの審査も、内務省に対して類似の勧告を促した。

原子力委員会(ABC)

前原子力委員会による放射性廃棄物の処理に関する二つの主要な提案——ひとつはカンザス州リヨンズ(Lyons)におけるもの、もうひとつはサウスカロライナ州サバナ川におけるものだが——これらはAECによって環境影響が不確定であると明かにされたために、そして同委員会のEISプロセスを通じて実施された公開分析の結果により、取消されるところとなった。

エネルギー研究開発局(ERDA)

業務上発生した放射性廃棄物の処理に関するAECのプログラムEISのドラフトによると、地上貯蔵施設が暫時的解決をもたらすものとして最も適当であると結論されていたが、1975年初頭、ERDA(AECの二つの後継機関のうちのひとつ)はこのEISの批判を再審査した。そして、NEPAおよび公衆の利益からして、新たなプログラムを通じてこの問題を別角度から見ることによって最適の満足が得られる筈であるとの結論が得られ、ERDAは貯蔵施設の予算要求を撤回するに至った。

原子力規制委員会(NRC)

AECのもう一つの後継機関であるNRCは、核物質誤用に対する強力な防衛措置開発の明確な基礎としてAECによる核反応器に関するEISならびにプルトニウム再循環計画に対するNRC自身のEISを使用した。前AECと同様に、NRCの反応器認可理事会は、EISを認可決定プロセスに組み入れ、そしてこの環境作業の結果として多数の事例においてプロジェクト決定を修正した。

工 兵 隊 (GOE)

工兵隊においては、12件以上の提案プロジェクトに関して、それらが環境面で大きな被害をもたらすことが訴訟によってではなく、NEPAプロセスを通じて明らかになったため、その作業を放棄ないし停止することを決定した。また、11件のその他のプロジェクトは環境分析が完了するまで停止されている。さらに工兵隊は、NEPA およびEIS 要求により、多数プロジェクトについて認可取消しを勧告したり、ある場合には修正を行った。こうした行為によって、実質的かつ相当の環境上の便益が広範にわたってもたらされたが、これは金銭では計り得ないものである。

運 輸 省 (DOT)

同様に、DOT では、1970年以降において、EIS プロセスの結果として、またDOTの帰属能力と環境上の悪影響を回避するという同省の決定の結果として、数10件の主要高速道路および空港のプロジェクトが修正ないし撤回されたと推定している。ワシントン D. C. へのI-66号線の延長を拒否するコールマン長官の決定は最近の一例である。かかるプロジェクト決定の社会的便益を計算することは困難であるが、それによって節約された資金が税金を使うのにより一層ふさわしいような輸送プロジェクトに利用可能となったということとも言えよう。

国 防 省 (DOD)

DOD内においては、EISは上述の工兵隊のケースのほかにも、多数のプロジェクト決定に影響を与えている。例えば、空軍省はエルジン(Elgin)空軍基地にNEPA プロセスを適用し、連邦、州、地方自治体から出された勧告を軍用の住宅開発および既存の自然と文化の資源保護に取入れた。海軍省は環境の悪化が懸念されたことを理由に、大西洋岸の演習場区域の立地を変更した。また、陸軍省ではEIS プロセスを活用して、多数の非軍用事プロジェクトに影響を与えている。

3) イギリスにおける制度の概要

a 道路計画における環境保全と参加

1. 道路計画における環境保全

道路の計画立案および設計に当たっての環境への配慮は都市高速道路委員会(UMC) 報告(1972年7月)がとくに強調し、具体的に配慮すべき事項を提言しており、政府白書「開発と補償——住民優先」(1972年10月)は同報告を政府の方針に一致するものとして確認している。したがって、UMC 報告の提言は、現在、新しい幹線道路計画(特に都市内)の立案に当り指針として機能しているものと推測される。その概要は次のとおりである。

① 従来、都市内道路は道路およびこれを利用する交通の必要性の観点からのみ計画される傾向があったが、都市内幹線道路の計画は全体的な都市計画の中核を構成するものであり、道路計画立案および設計は都市農村計画の法定手続(すなわちStructure PlanとLocal Plan)の中へ統合して、一体的に行われるべきである(この趣旨は1972年環境省通達56/72号により実現された)。

② 都市内幹線道路の計画・設計に当たっては、沿道住民の利害を自動車利用者の利害と同等の

比重をもって扱うべきであり、いいかえれば直接コストや走行便益だけでなく、間接的なコスト（沿道に対する環境影響等）についても同様に評価すべきである。なお、このため、環境影響の把握測定法および環境影響を含めた費用効果の計量的評価手法を開発する必要がある。

- ③ 道路計画設計にあたっては、道路建設と沿道地域の整備とを同時一体的に実施することにより、環境影響の防止を図ることが肝要であり、具体的には次の措置を講ずべきである。なお、これら措置を行う目安としての騒音基準は屋外 L 10 18 時間で 70 dB(A) 以下に設定すべきだとし、65 dB(A) ならコスト的に可能と示唆していたが、その後土地補償法等により 68 dB(A) と定められた。

ア 防音壁、築堤等の防護施設の設置、空地の確保等を行うこと。

イ 地域分断による被害を防止するために安全かつ便利な歩道および歩行者利用施設を設置または再配置すること。

ウ 場合によっては、道路騒音等から周辺地域を守る障壁としての機能をもつ沿道開発（倉庫、特別に設計された住宅の立地等）を計画すること。

エ 幹線道路の建設は通過交通の排除によって地域の環境改善に資するが、これが最大になるような措置（最寄りの街路へのアクセスの改善、駐車場の整備、空地の設置等）を道路建設と平行して行うこと。

オ 幹線道路沿道のコミュニティ改善（道路わきまたは高架下の空地利用等）を道路建設に関連づけて行うこと。また、調整工事（前庭の切りとり等に対する補償工事）が早期に行われるべきこと。

カ 交差点は特に大きな障害を生むので、その規模、角度等に特に配慮すること。

なお、以上のような沿道の環境整備保全のための費用は道路建設費の一部として取扱わなければならない。

- ④ 補償は、③のような恒久的改善措置によっても被害を回避できない場合にのみ行われるべきである。補償的措置としては、環境悪化地価減の補償、防音工事の負担、土地の買取り等を考慮すべきである。

2. 道路計画手続における住民参加

(1) 法定手続

法定手続は 1959 年道路法に定められている。

- ① 幹線道路、特殊道路（主として自動車専用道路）等について新設・改築その他一定の管理行為を行うときは、道路管理者たる大臣または地方庁は道路命令（Highway Order）または計画（Scheme）を作成する。地方庁は命令または計画について大臣の認可を要する（法 719、13、20 条等）。

- ② 道路管理者は、①に先立って命令案または計画案を作成し、新聞紙に次の事項を公告する（1959 年法別表 1）、

ア 命令または計画の一般的效果

イ 命令案または計画案および付属図面の閲覧・期間（6 週間以上）、閲覧場所

ウ 閲覧期間に反対意見のある者は、大臣あて意見を述べることができる旨

- ③ 道路管理者は、公告の写し、命令案または計画案の写しおよび付属図面を特定の関係行政機関（他の道路管理者、河川管理者、地方議会、公益事業者等）および特定の個人（アクセスが不可能となる所有者および占有者）に送付する（1959年法別表1）。
- ④ 道路管理者は、②、③のほか命令案または計画案について所要の公表措置（説明会等）をとる（1971年道路法14条）。
- ⑤ 反対意見のある者は大臣に対し意見書により閲覧期間内に意見をのべることができる。意見には、その理由を付さなければならない。路線変更を求める意見に対しては、大臣は意見を述べた者に対し、代るべき路線を明示すべきことを求めることができる（1971年法14条）。
- ⑥ 大臣は、必要に応じ（④の者から反対意見があるときは義務的に）、地方聴聞会（local inquiring）を開催する。聴聞会は1972年地方行政法250条の定めるところにより、審査員（inspector）が主催する。聴聞会は、公開しなくてもよいが、通常公開される。
- ⑦ 大臣は、反対意見および審査員の勧告を考慮して、命令または計画を、修正なしでまたは適切な修正を加えて作成しまたは認可し、これを公告する（69年法付表1）。
- ⑧ 反対の者は、公告後6週間以内に違法または手続の瑕疵を理由としてHigh Courtへ提訴できる（同上）。

(2) Public Consultation

以上のような法定手続よりも早期に、道路管理者が計画を実質的に確定する段階で住民の意見を反映させるべきだと主張が強まり、1973年環境省通達30/73「道路計画における住民参加」において、Public Consultation 制度が採用された。これは、代替路線または代替案の検討が行われる新設または改築の事業を対象とし、法定手続に入るための代替案の選定段階で行われる（但し、F/S調査を行う大規模な新設の場合は計画線を選定するときにも行う）。

- ① まず、手続の流れを明かにする事前公表（advance publication）を行う。ここでは、Consultation statement（CS）の公表日（通常1～2週間後）、展示会（public exhibition）の日（さらに1～2週間後）、公衆が意見を述べる期間（CSから6週間以上）を明かにする。
- ② CSを公表する。これには、次の記述がなされる。
 - ア 計画を必要とする交通需要に関する基礎資料
 - イ 代替路線または代替案の概要、費用、効果
 - ウ 技術的仕様（ジャンクションの位置形態、車線数その他）
 - エ 切土または盛土の位置
 - オ その他（影響をうける人および移転する人の数、広汎な環境影響、予測騒音レベル、環境対策等）
- ③ CSの公表は、次の方法で行われる。
 - ア 新聞、ラジオ、テレビの利用

イ 関係人（環境保全、自然保護団体を含む）への配布

ウ 地方自治体への送付

エ 展示会の開催

オ 公共図書館および地方自治体庁舎での詳細資料の閲覧

④ 何人も環境省に意見を述べるができる。環境省は計画案の決定上意見に配慮する。

⑤ 環境省は、提出された意見の概要および計画案決定に至った理由を公表する。

以下、さらに技術的な詳細調査設計を行ったのち、前記法定手続へ移行する。

この手続により、道路計画に要する期間は従来の5年程度から7~10年を要するようになったとのことである。なお、いわゆる環境アセスメントについて法律上の明文の規定はない。政府関係者の言によれば、計画調査およびpublic Consultation において、実質的に総合的事業評価が行われているとのことである。

b 道路管理者の障害防止対策

1. UMC報告および72年政府白書

前述のようにUMC報告の骨子は、都市内幹線道路の建設に伴う有害影響を防止するために、道路管理者には沿道環境の整備保全のために広汎な権限と責務を、沿道住民には一定以上の環境被害に対する救済措置請求権を与えるとするものであった。そして具体的に制度的改善を要する点として次のように提言している。

ア 道路管理者に、道路建設に伴う沿道環境の維持改善に必要な土地を任意または強制的に取得できる権限を与えること。これには、緩衝建築物(barrier housing)の設置または、沿道環境改善のための開発事業に用する土地も含むものとする。

イ これに伴い計画侵害(planning blight)の範囲を拡大し、道路予定地内だけでなく、一定の沿道土地についても道路管理者の買取り義務を認めること。

ウ 屋外の予測騒音レベルが一定基準をこえるときは、道路管理者は防音工事費用の負担する義務を負うべきこと。その基準は70dB(A)以下とし、常時見直されるべきこと。なお、道路管理者には、上記義務の対象となる建物以外についても防音費用を負担する裁量権を与えること。

エ 道路管理者に、特に障害を生ずるおそれのある沿道土地を合意により買収する裁量権を与えること。

オ 建設中に生ずる被害についても、土地買収、代替住宅の提供、防音費用負担の権限を道路管理者に与えること。

カ 公共事業の補償の範囲を広げ、道路建設に伴う沿道土地の価値減も補償すること。

キ 以上の措置に伴う費用は国の補助の対象とすること。

次に1972年政府白書「開発と補償——住宅優先」は、上記のUMC報告の提言を道路以外の事業を含めて全面的に採用したほか、公共事業に係る損失補償について、その名称の示すように住民優先の観点から多岐にわたる政策表明を行っている。これらはいずれも1973年土地補償法により制度化されている。

2. 1973年土地補償法

1973年土地補償法は、新設または改築される道路によって生ずる環境影響を除去緩和するため、道路管理者に広汎な権限および義務を与えている。この法律は、次の5章よりなる。

① 第1章「公共施設の利用により生ずる地価減の補償」

土地を収用されない者およびコモロウによりニューサンスに関する訴訟を提起できない者に対して、公共施設による地価減を補償する。

② 第2章「公共施設により生ずる影響の軽減」

公共施設による環境被害をうける者に対する仮住居費用の支払い、環境被害の防止のための事業または土地取得に関する道路管理者の権限の附与、および家屋の防音工事を定める。

③ 第3章「公共事業による移転者に対する利益付与規定」

公共事業により家屋等を移転する者に対し、家屋喪失手当、農業損失手当、迷惑料等の支払い、地方住宅当局による代替住宅の提供等を定める。

④ 第4章「強制取得」

土地強制取得に対する補償評価、補償金支払い時期等を改善する。

⑤ 第5章「計画損失(planning blight)」

計画損失(計画が定められたことによる地価減等の損失)に対する法的措置を改善する。

この中で、道路管理者の沿道環境対策に関係するのは第1章および第2章である(なお、土地補償法の運用については環境省通達73/73がある)。

(1) 沿道環境整備のための道路管理者の権限

① 環境保全に係る土地取得

ア 道路管理者は、新設または改築された道路(計画中を含む)の存在または使用が沿道におよぼすマイナス影響を緩和させるため、道路区域外の土地を強制的または協議により取得できる(22条1項)。この土地取得は道路が供用開始される前に着手されなければならない。なお、この規定は1971年10月17日以降に供用開始される道路について適用される。

イ 道路管理者は、

(a) 道路の建設工事、または

(b) 新設改築された道路の使用(供用開始前または供用後1年以内に限る。)

により重大な被害をこうむる土地または資産を任意で取得できる(22条2項)。この規定は、1971年10月17日以降に供用開始される道路に適用される。

② 環境保全事業の実施

道路管理者は、道路の建設、存在または使用によって沿道に生ずるあらゆるマイナス影響を緩和させ、環境を保全するため、その所有に属する土地(道路上を含む)または①により取得した土地において、必要な事業を行うことができる(23条)。

事業内容としては、

ア 遮音壁、遮音築堤、緑地の設置、植樹等、および

イ 環境改善のための沿道土地の開発または再開発である。

③ 沿道土地利用に関する協定

道路管理者は、沿道の土地所有者と、当該土地の利用に関する協定を締結することができる(24条)。この協定には、植樹、樹木の維持等規制または強制される行為の内容、費用負担等を定めることとされ、これによって、道路管理者は土地を取得しなくても沿道で様々な環境対策を行うことができる。

④ 建設工事の仮住居費用の支払い

道路管理者は、建設工事により一時的に重大な障害をこうむる隣接地住民に対し、仮住居に必要な適正費用を支払うことができる(28条)。

(2) 家居の防音工事

土地補償20条およびこれに基づく1973年騒音遮断法は、一定レベル以上の道路交通騒音を受ける居住用建築物について、所有者の防音工事請求権および道路管理者の義務を定めている。

① 基準値

防音工事が行われる基準騒音値は、

ア 供用開始後15年間の予測最大交通量の下で

イ 建物の入口において、1dB(A)以上の騒音上昇を生じ、その結果騒音レベルが68dB(A) L_{10} (6時～24時の18時間)以上となるとときである(規則1.3条)。騒音レベルの決定は、実測(道路に面する窓から外側1mで測定)または一定の予測式による予測によって行う。

② 道路管理者の防音義務または権利

ア 道路管理者は、1972年10月16日以降供用開始される道路の新設または車線増を伴う改築により、沿道の建物の騒音が基準値をこえる(こえると予想される)ときは、当該住宅について自ら防音工事を行い、またはそれに要する費用を助成しなければならない(規則3条)。

イ 道路管理者は、次の建物については、自ら防音工事を行い、またはそれに要する費用を助成することができる。

(a) 1969年10月17日から1972年10月16日までの間に供用された道路の新設改築により、または1969年10月17日以降、路線変更された道路により、騒音が基準値をこえることとなった建物

(b) アの要件に該当するが手続が未済のため、まだ防音義務が発生していない建物

(c) アの要件に該当する住民と建築前面(ファサード)が連結している建物(以上規則4条)。

(d) 道路建設工事の騒音により、かなり長期にわたり影響をうける隣接の建物(規則5条)。

③ 不適格建築物

②は、強制買収命令の出ている建物、強制執行のかかる可能性がある建物、取こわし命

命または閉鎖命令の出ている建物、クリアランス地域内の建物、供用開始後に初めて人が入居した建物等には適用されない（規則7条）。

④ 防音工事の仕様

仕様としては、二重窓、必要な場合は二重扉（もしくは遮音性能を有するよう改良された一重扉）、補助的換気装置、特定方向に面した窓に取りつける板すだれ（日光が強すぎる場合）である（規則9条）。

⑤ 手順

ア 道路管理者は、供用開始後6ヶ月以内に基準値をこえる建物を示す地図、またはリストを縦覧する（規則6条）。供用開始前に縦覧を始めることもできる。

イ 道路管理者は、地図またはリストの縦覧後該建物の居住者の防音工事の提案をする。家主または居住者は供用開始後1年以内までに、道路管理者に防音工事をしてもらうか自ら実施して助成金をうけるかを明かにして、提案に承諾することができる。

ウ 道路管理者が工事をする場合は居住者との協議により着工日取り等を定める。

エ 居住者が自ら工事をする場合は、見積り書を提出し、助成金交付決定後12ヶ月以内に仕様に合うように工事を完了し、検査を経たのち、助成金が支払われる。なお、助成金は、実際に要した額または道路管理者が自ら工事をした場合に要したであろう額のいずれか少ない額とする。

⑥ 実施状況

以上の防音工事の実施状況は明らかでないが、これによって都市における道路建設は25%のコストアップとなり、1974年においてその経費は、新規分600万ポンド、週及適用分1200万ポンドと推定されている。

(3) 公共事業による地価減に対する補償

公共事業（既存施設の物理的変更または利用の変更を含む——道路の場合、新設、車道の位置、幅員、路面高の変更）の供用による騒音その他の物理的要因（騒音・振動・悪臭・煙霧・ばい煙・光害・固形または液状物質の流入）により、物件の価値が減価したときは補償が支払われる（1～19条）。

この補償制度はイギリス特有のものであり、イギリス以外の各国は裁判所で損害賠償判決があった場合以外に、一般的に補償することは考えていない。

① この補償を受けうる資格は

ア 所有者が土地を自ら占有していること。

イ 住宅地若しくは農地であること、または課税評価額が2250ポンド以下であること。

ウ 当該事業が、道路またはニューサンスに関する法的訴えができないとされている事業であること。

エ 当該事業が1969年10月17日以降供用されたものであること。

② この補償は、公共事業により土地を収用されない人を対象としたものである。土地を収用される人は通常の収用補償によることとなり、別途土地補償法において補償算定基礎の改善が図られている。

- ③ 補償額が50ポンド以下の場合は補償金は支払われない。
- ④ 公共事業により当該物件に受益が生じた場合には、受益額相当分は補償額から差し引かれる。
- ⑤ 補償の請求は、供用開始の年から3年目までにしなければならない。

4) わが国における現状

前述のとおり、わが国においては一般的な法律によって制度化されていないが、実質的な環境影響評価は進められている。すなわち、建設省では、省内に設けられた「環境影響評価推進委員会」は、所管事業に係る環境アセスメントの実績を総点検し、事業類型、地域特性に応じた技術的指針をとりまとめ、指針がまとまり次第、「環境影響評価実施要領」（仮称）を策定して、地建および関係公団を通じて環境影響評価を組織的に実施していくこととしている。

昨年7月、運輸省および建設省は、本州四国連絡橋公団に対して、本州四国連絡橋（児島・坂出ルート）に係る環境影響評価に関して、技術指針を示し、環境調査の実施および調査結果の地域住民への周知および意見の聴取の措置を指示した。

技術指針の目次は参考-1のとおりであり、これを補完するもの実施細目が定められており、詳細な手順が示されている。

これらに基づいて、本州四国連絡橋公団では、参考-2に示す目次から成る環境影響評価書案を作成し、昨年末、関係県内で縦覧、説明会を開催し、地域住民の意見を聴取し、最終の環境影響評価書を取りまとめ中である。これまでに提出されている意見は、騒音、振動等の生活環境に係るもの、自然環境に係るもの、工事中の環境問題の外、手続、路線の選定、道路など直接環境に係りのないことを含まれており、道路建設に関する広い範囲の内容にわたっている。

2. 今後の研究

昭和45年千葉支所道路部に交通安全研究室が新設され、それまで道路研究室が担当していた道路交通騒音に関する試験調査を本格的に実施した。翌46年同部に交通環境研究室が新設され、騒音の外に大気汚染、道路交通振動等の生活環境に係る項目と併せて道路のり面緑化等の自然環境に係る項目について、関連する研究室、新潟試験所および地方建設局等と協同して、調査研究を進めてきている。

また、環境アセスメントの制度化の情勢を踏まえ、道路計画の事前評価手法の開発、住民の道路に対する意識調査等を行うとともに、関係公団と協同して、広く内外の資料を収集した。

しかしながら、道路の環境に関する調査研究は未だ歴史も浅く、蓄積も少ない。残された研究課題も多く、今後一層の努力が望まれる。

（終）

参 考 文 献

- (1) 後藤典弘：環境評価の多様性，環境情報科学5-4，1976.
- (2) 大塩敏樹：わが国の環境行政と環境アセスメント，土木学会土木計画学研究会編：土木計画学講習会テキスト，昭和50年9月。
- (3) 日本道路公団：欧米における環境アセスメント調査報告書，昭和52年11月。
- (4) (財)公害対策協力財団：米国の環境影響評価制度——6年間の運用と反省——環境問題資料No.2，1977年1月。

参考-1. 本州四国連絡橋（児島-坂出ルート）に係る環境影響評価技術指針

目 次

第1部 一般的事項	1
1. 環境影響評価の実施手順	1
2. 環境影響評価の対象領域	1
3. 環境要素の分類	1
第2部 現況調査	2
1. 環境要素の抽出	2
2. 現況調査方法	2
2-1. 生活環境に係る環境要素	2
2-1-1. 大気質	2
2-1-2. 水質	2
2-1-3. 騒音	2
2-1-4. 振動	2
2-1-5. 地盤沈下	3
2-2. 自然環境に係る環境要素	3
2-2-1. 地形・地質	3
2-2-2. 植生	3
2-2-3. 動物	3
2-3. 自然景観	4
第3部 予測および評価	5
1. 予測，評価項目の抽出	5
2. 予測および評価の考え方	5
3. 予測方法	5
3-1. 生活環境に係る環境要素	5
3-1-1. 大気質	5
3-1-2. 水質	5
3-1-3. 騒音	5

3-1-4. 振 動	5
3-1-5. 地盤沈下	5
3-2. 自然環境及び自然景観に係る環境要素	5
4. 環境保全目標	5
4-1. 環境保全目標の概念	5
4-2. 生活環境に係る環境保全目標の設定	5
4-2-1. 大 気 質	5
4-2-2. 水 質	6
4-2-3. 騒 音	6
4-2-4. 振 動	6
4-3. 自然環境及び自然景観に係る環境保全目標の設定	7
第4部 環境影響評価書	8
1. 環境影響評価書目次(案)	8
2. 環境影響評価書の概要	8

参考-2. 本州四国連絡橋(児島-坂出ルート)環境影響評価書案要約

第1編(現況及び完成後)

— 目 次 —

第1章 事業の概要と意義	3
1節 地域の概況	3
2節 交通・輸送の概況	6
3節 事業の必要性と効果	7
1. 交通・輸送の改善	7
2. 産業経済の発展と社会生活圏の拡大	8
3. 海上交通の円滑と安全	8
4節 事業の概要	9
1. 一般国道30号・本四備讃線、共用部の計画概要	9
2. 計画の経緯	17
(1) 経 緯	17
(2) 路線の選定	18
(3) 代替案の検討——トンネル案	22
第2章 環境に及ぼす影響	23
1節 環境要素の抽出	23
2節 環境の現況	24
1. 自然環境の現況	24
(1) 地形・地質	24
(2) 水 象	26

i 河川・湖沼	26
ii 海 域	26
(3) 気 象	27
(4) 生 物	28
i 陸 域	28
(i) 植 物	28
(ii) 動 物	29
ii 海 域	30
(5) 自然景観	30
(6) レクリエーション	31
(7) 学術的保護対象の現況	32
2. 生活環境の現況	34
(1) 大 気 質	34
(2) 水 質	38
i 陸 水	38
ii 海 水	40
iii 赤 潮	42
(3) 騒 音	43
(4) 振 動	43
(5) 地盤沈下	43
(6) 関連道路	44
3 節 環境に及ぼす影響の予測と評価	46
1. 自然環境	46
(1) 影響要因	46
(2) 環境保全目標	48
(3) 影響予測及び評価	49
i 地形・地質	49
ii 植 物	49
iii 動 物	49
2. 自然景観	50
(1) 自然景観	50
(2) レクリエーション	50
3. 生活環境	51
(1) 大 気 質	51
(2) 水 質	57
(3) 騒 音	58
i 道 路	58

ii 鉄 道	60
(4) 振 動	64
i 道 路	64
ii 鉄 道	65
(5) 低周波空気振動	67
(6) 地盤沈下	69
(7) 関連道路への影響	69
(8) 海中橋脚の設置	72
第3章 環境保全対策の検討	74
1. 学術的保護対象の保全計画	74
2. 景観保全計画	74
(1) 保全地域と保全水準	74
(2) 修景の方針	75
(3) 橋梁景観対策	75
3. 生活環境保全計画	76
(1) 総合的対策の推進	76
(2) 大 気 質	76
(3) 水 質	77
(4) 騒 音	77
i 道 路	77
ii 鉄 道	77
(5) 振 動	78
i 道 路	78
ii 鉄 道	78
(6) 低周波空気振動	78
(7) 地盤沈下	78
(8) 関連道路関係	79
4. 環境管理計画	79

第2編 (工 事 中)

目 次

第1章 概 要	83
第2章 道路単独部	84
1節 工事概要	84
1. 計画概要	84
2. 施工法の概要	85
3. 施工法の選定	85
2節 環境に及ぼす影響	86

1. 環境要素の抽出	86
2. 環境に及ぼす影響の予測と評価並びに対策	86
第3章 鉄道単独部	88
1節 工 事 概 要	88
1. 計画概要	88
2. 施工法の概要	89
3. 施工法の選定	89
2節 環境に及ぼす影響	90
1. 環境要素の抽出	90
2. 環境に及ぼす影響の予測と評価並びに対策	90
第4章 道路・鉄道共用部	93
1節 工 事 概 要	93
1. 計画概要と施工計画方針	93
2. 工事数量及び工事工程	94
2節 施 工 計 画	95
1. 海中部下部工	95
2. 島しょ部等下部工	95
3節 環境に及ぼす影響	97
1. 環境要素の抽出	97
2. 環境に及ぼす影響の予測と評価並びに対策	98
(1) 下部工工事	98
(2) そ の 他	102
(3) 工事安全対策	110
第5章 密接関連事業	111
第6章 工事中の環境管理計画	111