

平 成 元 年 度

# 土 木 研 究 所 講 演 会

## 講 演 集

平成2年2月2日

建設省土木研究所

Copyright © (1990) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

平成元年度

# 土木研究所講演会 講演集

企画部企画課

## 要 旨

本資料は、「平成元年度土木研究所講演会」の講演内容をまとめたものである。この講演会は、土木研究所が実施している調査研究の成果や最近の土木技術に関する話題、動向などを各方面に紹介することを目的として、毎年1回開催している。

キーワード：土木研究所講演会

## 目 次

### 革新的な下水処理プロセス

ーバイオフォーカスWTについてー ..... 新下水処理研究官 京 才 俊 則 ... 1

魅力のある河川整備 ..... 河 川 部 長 青 木 佑 久 ... 23

### 特別講演

財団法人日本気象協会常務理事

「地球規模の環境問題」 ..... 管 理 本 部 長 関 口 理 郎 ... 63

岩盤斜面の変形と崩壊 ..... 地 質 官 桑 原 啓 三 ... 65

### コンクリートダムの合理化施工

(RCD工法)について ..... ダ ム 部 長 下 村 周 ... 79

最近の交通事故の動向と対策 ..... 道 路 部 長 柴 田 正 雄 ... 97

道路橋に関する2, 3の問題 ..... 構 造 橋 梁 部 長 佐 伯 彰 一 ... 115

# 革 新 的 な 下 水 処 理 プ ロ セ ス

## ーバイオフィォーカスWTについてー

新下水処理研究官 京 才 俊 則

# 革新的な下水処理プロセス—バイオフィォークスWTについて—

## 1. はじめに

建設省は、総合技術開発プロジェクトのひとつとして「バイオテクノロジーを活用した新排水処理システムの開発」（通称、バイオフィォークスWT）を5ヵ年計画で、昭和60年度より開始した。バイオフィォークスWTは、バイオテクノロジーを活用して、次に掲げる現在及び将来の下水処理の問題を解決しようとするものである。

1. 省エネルギー，低コスト
2. 省スペース
3. 高度な処理水
4. 有価資源の回収
5. 容易な維持管理
6. 有用微生物の発見

バイオフィォークスWTには下水道分野と浄化槽分野があり、土木研究所は前者を表1に示す課題に分けて実施してきている。本文は、バイオテクノロジーを下水処理に適用するうえでの基礎的な研究から、実用化の可能性が高い技術の開発まで、上記8課題の研究をまとめたものである。

表1 バイオフィォークスWTの研究開発課題（土木研究所担当）

- |                          |
|--------------------------|
| 1. 排水処理に係わる微生物バンクに関する研究  |
| 2. 遺伝子操作の処理微生物への適用に関する研究 |
| 3. 微生物の固定化方法に関する研究       |
| 4. 下水処理用バイオリアクターに関する研究   |
| 5. 污泥処理用バイオリアクターに関する研究   |
| 6. 水質計測用バイオセンサーに関する研究    |
| 7. 前処理用固液分離装置に関する研究      |
| 8. 新下水処理システムに関する研究       |

## 2. 排水処理に係わる微生物バンクに関する研究

近年、自然環境における微生物学は急速に進歩している。排水処理に関しても有用な微生物学的知見が多く得られているが、これらの内容が専門的なため、多くの衛生工学に関係する技術者はこれらの知見を十分活用することが難しい状況にある。本研究は、微生物学的研究の成果を排水処理技術へ適用するためのもので、実務的な微生物バンクの技術的な整備指針を明らかにしようとするものである。

本バンクは、情報バンクと保存バンクから成る。情報バンクでは排水処理に関係のある微生物の

微生物学的、生態学的情報をまとめたデータシートを集積する。保存バンクは通常の微生物保存バンクである。保存バンクには、情報のバンクの全ての菌株が保存されるとは限らず、他機関のバンクで保存されていないものを保存するものである。他機関に保存されている菌株については、情報バンクのデータベース上に保存機関名を記載する。

情報バンク 個々の菌株の微生物学的情報は、ほとんどの場合純粋培養系から得られたものである。しかし排水処理における微生物学的現象の多くは細菌、原生動物及び他の微生物から成る混合培養系で観察されている。純粋培養系で得られる結果はしばしば混合培養系で得られる結果と異なるため、排水処理システムへ微生物学的知見を適用することが困難であった。情報バンクは個々の菌株の生態学的特性を取り扱うことによって、この問題を解決しようとするものである。また、全ての菌株は下水道との関わりによって分類される。現在までにバンクに26の細菌が登録されている。

### 3. 遺伝子操作の処理微生物への適用に関する研究

排水処理に改良微生物を適用するにあたって幾つかの技術的課題があるが、有用な遺伝的性質、遺伝情報の安定性という課題には3つのレベルがある。

一つは、遺伝子のある微生物細胞に入れた場合その細胞内でその遺伝子が安定に活性を保ち、保持される事である。これには、例えばプラスミドベクターによって遺伝子のある微生物に導入し組換え微生物を作った場合に、このプラスミドが宿主に生理的に安定に保持される事も含まれよう。これをここで遺伝情報の生理的安定性と呼ぶことにする。

二つめは、有用な遺伝情報が生理的に安定であったうで、その微生物がある処理系において他の微生物との種間競争や捕食などの相互作用によって数が減少せず、個体群が安定にそこに維持されることで、これを遺伝情報の生態学的安定と呼ぶことにする。

最後に、生態学的に安定であったうで、その有用な性質を持った微生物がそれ自体から生じ得る有用な性質を失った変異体にとって代られない安定性が必要である。これは、有用な性質を失った同種の遺伝型の個体との種内競争に敗れるか否かということであるから、正確には、一種の生態学的な安定性である。しかし、突然変異の出現とその増加が無視し得ない進化的時間幅の生態学的安定性であるので、生態学的時間幅での生態学的安定性と区別して特にこれを進化的安定性と呼ぶことにする。

本研究では、二番目と三番目の安定性、即ち、生態学的安定性と進化的安定性に焦点を当て、改良微生物を排水処理に適用する為の技術的問題についての基礎的研究を行なった。

実験方法 実験には、*Escherichia vulneris* JCM1688, *Escherichia blattae* JCM1650, *Enterobacter cloacae* JCM1232, *Enterobacter aerogenes* JCM1235, *Citrobacter freundii* IF012681, *Citrobacter freundii* IF013539, *Citrobacter freundii* IF013545 を用いた。これらの細菌で長期間にわたる植え継ぎ培養を行い、各細菌個体群の適応度に係わる生態的特性（比増殖率及び分散性）及び生理、生化学的特性などの変化を調べた。

実験結果と考察 実験結果の例を図1, 2に示す。結果は次のようにまとめられる。

- a. 細菌固定群の適応度は或る系において適応度のより高い突然変異体の出現により次第に高

まった(図1)。 b. しかしこの増加はやがて限界値に収束した(図1)。 c. 限界値に収束した細菌の適応度値は突然変異誘発(NTG処理)による遺伝的攪乱に対し安定であった。 d. この限界値は種によって異なる。同種であっても株間で異なる場合があった(図1)。 *C. freundii* の場合のように株によって異なる場合があった。 e. 遺伝的に同一な細菌(即ち、クローン)は同じ限界値を持つ。 f. 異なる限界値に達した個体群(異なる種)を混合培養し両個体群密度の変化を調べた結果、値が高い方の個体群が残り低いほうは消滅した(図2)。

以上の実験的解析により細菌の生態的特性は種内競争をとおして遺伝的に変化し得ることがわかった。更に、増殖率(この実験系では適応度の近似値)の変化は種によって異なる値に収束し安定することがわかった。このようなことから排水処理系に改良微生物を適用するにあたっては、導入する微生物を自然界から分離するによせ、あるいは実験室で遺伝子工学的手法によってつくるにせよ、より適応度の限界値の高い種あるいは株を用いることが重要である。

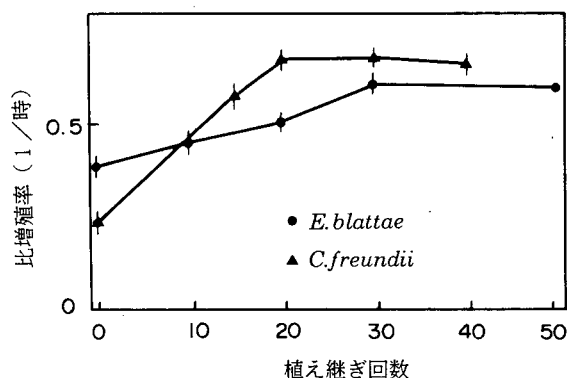


図1 連続植え継ぎ培養(単独培養)から分離した *E. blattae* と *C. freundii* IFO13545の比増殖率の変化

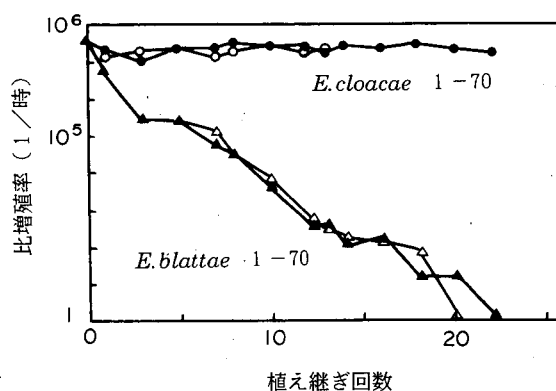


図2 *E. blattae* と *E. cloacae* の混合培養系における個体群密度の変化

## 4. 微生物の固定化方法に関する研究

排水処理及び汚泥処理バイオリアクター内に微生物を固定化することによって、リアクター内微生物の高濃度化、あるいは、特定汚濁物質除去のための有用微生物をリアクター内に大量に保持することが可能となる。本研究では結合固定化法、包括固定化法、自己固定化法の3種類の固定化方法について実験的検討を行った。結合固定化法は、担体表面に微生物を付着させ固定化する方法、包括固定化法は、高分子材料で作られるゲルの微細な格子構造内に微生物を包括する方法、自己固定化法は、微生物自身の作用を利用して固定化する方法である。

### 4.1 結合固定化法

担体の望ましい形状や材質はリアクターの種類によって異なる。リアクターは固定床型と流動床型に、また好気性と嫌気性に分類される。

#### 4.1.1 固定床用結合固定化担体

好気性処理用 ゆるやかな曝気のもとで人工下水を供給し、8種類の材質に付着する微生物量の比較を行った。その結果、材質間で付着微生物量に差は見られるものの、3ヶ月後には、どの材質にも十分な量の微生物が付着した。比表面積の大きな担体は、微生物を高密度に保持することができるが、閉塞がおこりやすいため定期的な洗浄が必要である。担体径が1 cmより小さい担体には、ろ過機能があるため処理水中の浮遊物は少ないが、担体の洗浄が必要となる。一方、担体径が大きい場合には、担体の洗浄を必要としない反面、処理水中に浮遊物が流出するため、リアクター後段での固液分離が必要となる。

嫌気性処理用 嫌気性処理に使用する担体の比較実験を行った結果、多孔質担体のガス発生量が平滑な表面の担体よりも多く、多孔質担体の方が平滑担体よりも嫌気性細菌の付着に適していることが示された。また、嫌気性処理では曝気がないため、好気性処理に比べて液の混合が不十分となることから、担体形状は水の流れを分散させ、水と担体との接触頻度が高くなるようなものが望ましい。

#### 4.1.2 流動床用結合固定化担体

好気性、あるいは嫌気性下で、異なる担体に付着する微生物量の比較を行った。表2に結果を示す。同じ好気性条件下においても、担体径の小さい珪砂(B)の方が、珪砂(A)よりも付着微生物量、リアクター内全微生物量ともに多かった。また、珪砂(B)と(C)の比較に示されるように、好気性微生物の方が、嫌気性微生物よりも担体への付着量が多かった。嫌気性条件下では、珪砂よりもゼオライトへの微生物の付着性が良好であった。ポリプロピレンペレットは比重が小さいことから、最小の攪拌強度で流動化が可能であった。合成樹脂フォーム材は体積の約90%が30~100  $\mu\text{m}$ の気孔で構成されるため、多くの微生物を保持した。この他、粒状活性炭、セラミック多孔体は、耐摩耗性に問題があった。

表2 流動床用固定化担体の比較

| 担体       | 大きさ<br>(mm) | 比重<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 運転条件 | 付着生物量<br>(mg・VSS/g・担体) | リアクター内全生物量<br>(g/ℓ) |
|----------|-------------|----------------------------|------|------------------------|---------------------|
| 珪砂 (A)   | 0.2 - 0.3   | 2.65                       | 好気   | 40                     | 4.4                 |
| 珪砂 (B)   | .074 - 0.15 | 2.65                       | 好気   | 1,200                  | 12                  |
| 珪砂 (C)   | 0.09 - 0.25 | 2.63                       | 嫌気   | 3.5                    | 0.8                 |
| ゼオライト    | 0.35        | 1.98                       | 嫌気   | 10 - 30                | 10 - 20             |
| ポリプロピレン  | 2 - 5       | 1.03                       | 好気   | 26                     | 3.8                 |
| 合成樹脂フォーム | 1 - 2       | 1.3                        | 好気   | 95 - 150               | 4.3 - 6.7           |

## 4.2 包括固定化法

包括固定化材料として、ポリビニルアルコール (PVA)、アクリルアミド (ACAM)、ポリエチレングリコール (PEG) について検討した。

### 4.2.1 ポリビニルアルコール (PVA)

PVA-ホウ酸法 本法は、PVAと活性汚泥の混合液を飽和ホウ酸溶液中に滴下させ、PVA-ホウ酸の格子中に活性汚泥を包括固定化するものである。固定化には、以下の条件が適当であった。PVAと活性汚泥の混合液におけるPVA濃度：7.5～10%，活性汚泥濃度：80～90 g/ℓ，飽和ホウ酸とPVA・活性汚泥混合液の接触時間：24時間。包括固定化された活性汚泥の呼吸速度は、培養初期は低いものの10日後には初期の3～4倍に増加した。

PVA-冷凍法 本法は、PVAと活性汚泥の混合液を冷凍してゲル化させるもので、微生物に有害な架橋剤やホウ酸などを用いないため、固定化微生物の残存活性の高い方法である。冷凍温度は-20℃が適当であり、これ以下の温度で冷凍してもゲル強度は増加しなかった。PVA濃度については、15%濃度のペレットの呼吸速度が22.5%のそれより高く、また10%濃度ではゲルの強度が大幅に低下したことから、15%が適当であった。

### 4.2.2 アクリルアミド (ACAM)

ACAMは比較的安価であり、包括固定化に用いられる代表的な高分子材料であるが、モノマーが微生物に対して毒性を有しており、固定化操作により微生物活性が損なわれることがある。

寒天-ACAMモノマー法 本法は、寒天により微生物を固定化した後、ACAMモノマーを浸透・重合させて、ゲル強度を増加させる方法である。ACAMモノマーの量が多いと微生物活性が低下し、モノマー量が少ないとゲル強度が低下する。最適ACAM濃度は、約7.5%であった。

ACAMモノマー法 本法は、ACAMモノマーと活性汚泥の混合液に架橋剤と重合促進剤を加えてゲル化させる方法である。ACAMモノマーの最適濃度は約15%であった。なお、架橋剤濃度の変化は微生物活性に影響を与えなかった。

### 4.2.3 ポリエチレングリコール (PEG)

PEGによる包括固定化法は、硝化細菌の包括固定化のために開発された方法である。固定化後の硝化細菌の活性は、本法によるものが、メラミンやウレタンを用いて固定化したものよりも、5

倍以上も高かった。また、馴養後の呼吸速度は、他の材料の約2倍で $1,100\text{mg}-\text{O}_2/\ell\cdot\text{時間}$ であった。これは、アンモニアの担体への取り込まれやすさを示すアンモニア分配係数が、PEGでは他の材料の2～5倍あったことによる。

### 4.3 自己固定化法

本法では、固定化は微生物自身の作用により行われる。緩やかな攪拌を伴った上向流式の汚泥床型バイオリアクターにおいて、汚泥の返送を行わずに、自然に高密度の汚泥の粒が形成される。自己固定化法を用いた4つのプロセス、すなわち、2つの上向流式嫌気性汚泥床 (Upflow Anaerobic Sludge Blanket:UASB)法、好気性上向流式汚泥床 (Aerobic Upflow Sludge Blanket:AUSB)法、及び多段反転流式バイオリアクター (Multi-stage Reversing-flow Bioreactor:MRB) について研究を行った。

#### 4.3.1 UASB法

下水処理用 水温 $10\sim 25^\circ\text{C}$ 、線流速 $5\sim 6\text{ cm}/\text{分}$ 、水理学的滞留時間 $6\sim 9$ 時間の条件下で、浮遊物濃度 $10\text{ g}/\ell$ の嫌気性汚泥床が形成された。6ヶ月の馴養後に直径 $1\text{ mm}$ ほどの自己造粒汚泥が形成されたが、この自己造粒汚泥は基本的に、高濃度有機性排水を処理するUASB法にみられるものと同様であった。

汚泥熱処理分離液処理用 嫌気性汚泥床が、流入水 $\text{COD}_c$   $5,000\text{mg}/\ell$ 、温度 $35^\circ\text{C}$ の条件下で形成された。造粒汚泥は、直径が $0.5\sim 2\text{ mm}$ 、沈降速度が $1\sim 5\text{ cm}/\text{s}$ であり、*Methanothrix*と思われる微生物が優占種であった。

#### 4.3.2 AUSB法

本法ではリアクターを好気性に保つため、図9に示すように、排水を加圧純酸素と接触させ、流入水のDOを $50\sim 70\text{mg}-\text{O}_2/\ell$ に高めている。自己造粒汚泥の直径は数mmであった。造粒条件は調査中である。

#### 4.3.3 MRB

MRBは排水中の有機物除去のため、新しい微生物相互作用を利用する処理法である。

MRBの原理 図3にMRBのフローシートを示す。流入水は一段目の下向流式曝気槽の上部から流入する。ここには浮遊物は滞留しない。次の槽は、曝気のない上向流式生物反応槽である。生物反応槽には、上向流速よりも速い沈

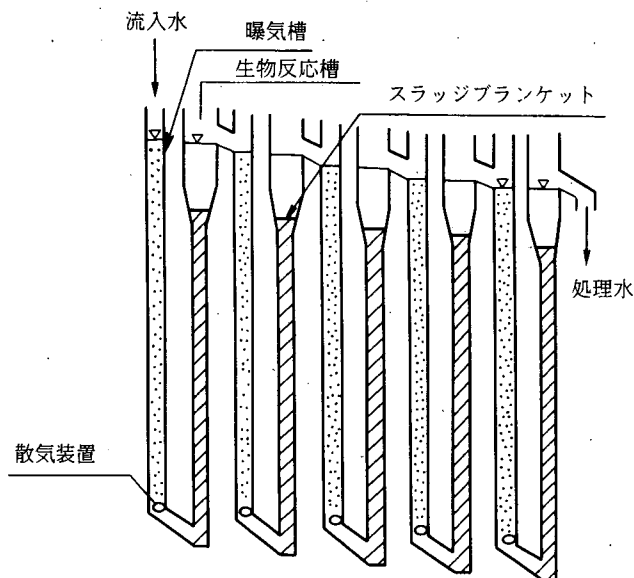


図3 MRBのフローシート

降速度をもつ浮遊物が滞留する。以下の槽は同様の組み合わせとなっている。

一次処理下水をMRBに供給して処理を行った。最初は、第一生物反応槽に嫌気性汚泥が蓄積し、次第にその汚泥は第二、第三生物反応槽にも運ばれ、やがて、図4に示すように、自己造粒汚泥が形成された。第三槽まで自己造粒汚泥の汚泥床が形成されると、ある程度有機物の除去された下水が流入する第四、第五生物反応槽は好気性になり、好気性汚泥床が形成された。

MRBにおける汚泥自己造粒の機構 ほとんどの自己造粒汚泥は、図4に示すように白い薄膜で覆われており、その薄膜は、図5に示されるような糸状細菌で構成されていた。この糸状細菌は、イオウ粒を細胞内に有し、特徴的なすべり運動をすることにより、*Beggiatoa* と同定された。自己造粒汚泥の内部は黒く、嫌気的であった。平板培地で硫酸還元菌を計数したところ、 $10^8$  個/g-ssであった。

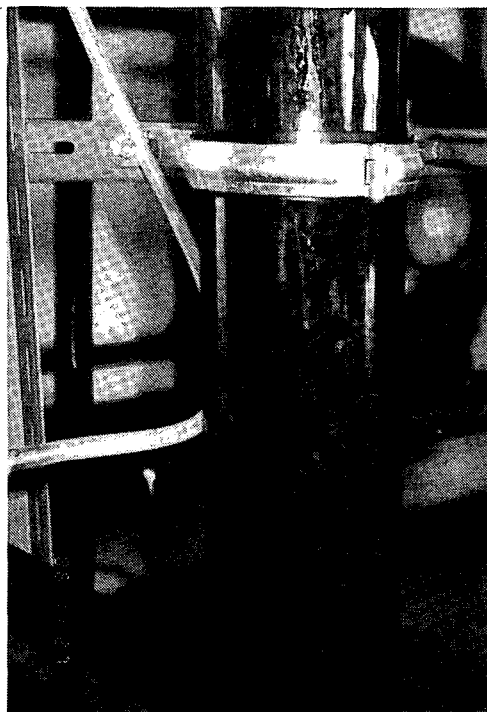


図4 自己造粒汚泥

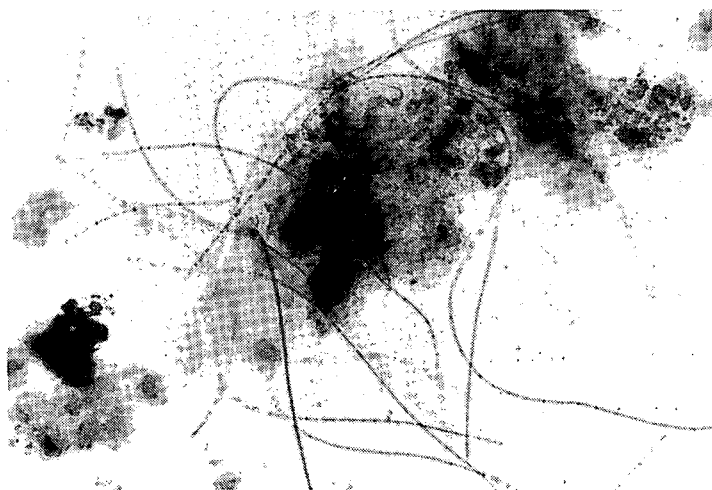


図5 自己造粒汚泥の表面

MRBでは、酸素供給はほとんど微生物の存在しない曝気槽で行われるが、曝気槽のDOは飽和濃度以上になることはない。一方、生物反応槽には高濃度の汚泥が蓄積しているため、流入水中に十分な有機物が存在する場合には、曝気槽で供給された酸素は急速に消費される。その結果生物反

応槽では、硫酸還元細菌が成育できる嫌気的環境となる。

図6は硫黄還元細菌、硫黄酸化細菌としての *Beggiatoa*、及び他の嫌気性細菌の相互関係をまとめたものである。排水中の有機物の一部は自己造粒汚泥内部に透過し、嫌気性加水分解菌により、酢酸、プロピオン酸等の有機酸に分解される。硫酸還元細菌はこの有機酸を利用し、排水中の硫酸根を還元する。この反応により生成した硫化水素は、自己造粒汚泥の表面を通過して、外部の排水中へ透過していく。反応槽内への酸素供給は前段の曝気槽の供給酸素量のみに限定されているが、自己造粒汚泥の表面に成育する微生物は、酸素と接触する機会に恵まれている。これら好氣的呼吸を行う微生物のうち、

硫酸還元細菌により生成された硫化物を酸化する硫黄酸化細菌は、有機物を酸化する細菌に較べ、はるかに速い酸素利用速度を示すため、生物反応槽に供給された酸素のほとんどは、微好気性の硫黄酸化細菌に利用されるものと考えられる。*Beggiatoa* はこのような環境に最も適した微生物であり、自己造粒汚泥の表面に薄膜状に増殖し、嫌気性汚泥を包むようにして自己造粒汚泥を形成する。

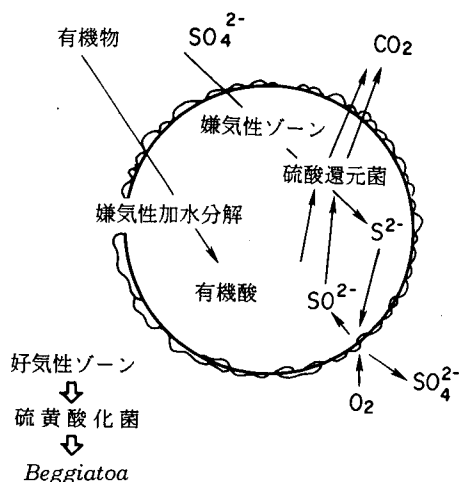


図6 自己造粒汚泥中の生物学的相互作用

## 5. 下水処理用バイオリアクター開発

わが国では現在、地方中小都市で下水道の計画、建設が盛んに行われている。地方中小都市においても下水処理場の用地に限界があるケースが多い。更にこれらの都市では、十分な熟練技術者を確保することは困難である。一方、多くの自治体で、将来下水処理場の更新、改善を行わなくてはならない。この場合処理能力の増強、又は栄養塩類や難分解性有機物の除去能力の向上が求められよう。

下水処理用バイオリアクターの開発は、主として微生物の固定化技術を用いることによって、これらの要求に答えようとするものである。簡易な維持管理、リン、難分解性有機物の除去等の目標の他、3つの開発目標が掲げられている。a. 標準のプロセスと比べリアクターの滞留時間を1/2～1/10に短縮する、b. 標準のプロセスと比べ処理に要するエネルギーを1/2に、汚泥発生量を1/2にする、c. 生物学的窒素除去用リアクターの滞留時間を6～12時間に短縮し、既存の処理場での窒素除去を可能にする。第一の目標は主に好気性バイオリアクターの開発によって達成されよう。嫌気性バイオリアクターの開発は第二の目標を狙っている。第三の目標は窒素除去に関与する微生物を固定化することにより達成されるであろう。

合計23種類の下水処理バイオリアクターが土木研究所と民間会社等との共同研究で、パイロットプラントを用いて開発されている。

## 5.1 好気性バイオリアクター

13種類の好気性バイオリアクターが開発されている。これらは、固定床型、流動床型、スラッジブランケット型の3種類に分類される。

**固定床型** 図7は開発中の固定床型バイオリアクターシステムの一例である。流入水はろ過装置を通ったのち好気性ろ床の上部より流入する。下水は充填材表面の生物膜により浄化され、固定物はろ過機能により除去される。好気性ろ床については日本や海外で実験規模又は実施設での運動経験があるが、本システムの特徴は、好気性ろ床の目詰まりを防ぐため、流入水中の固定物濃度は低い方が望ましいことから好気性ろ床前に生下水をろ過していることである。運転条件と処理成績を表3に示す。

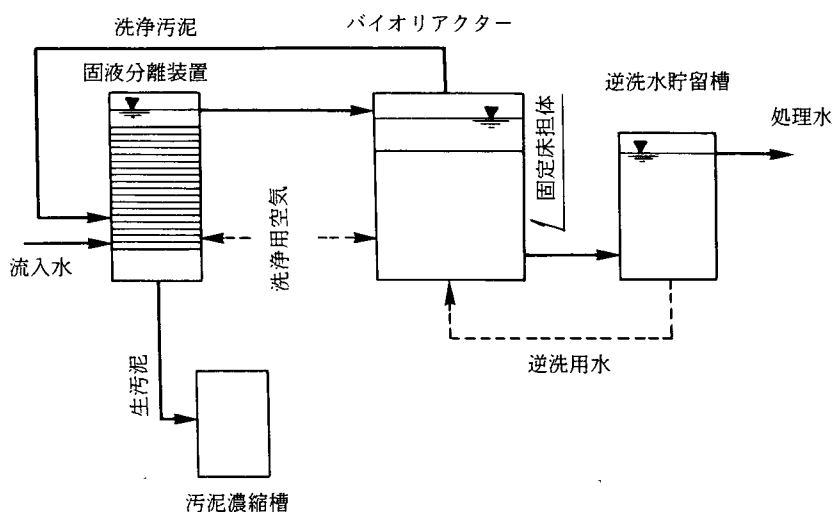


図7 好気性固定床バイオリアクターのフローシート

表3 固定床好気性バイオリアクターの運転条件と処理成績

| 運転条件     |                            | 31   |  | 50   |  | 70  |  |
|----------|----------------------------|------|--|------|--|-----|--|
| 線流速      | m/day                      |      |  |      |  |     |  |
| 水理学的滞留時間 | hr                         | 1.65 |  | 1.01 |  | 0.7 |  |
| BOD容積負荷  | kg-BOD/m <sup>3</sup> ・day | 1.1  |  | 1.5  |  | 2.3 |  |

| 処理成績  |      | 流入水  |     | 処理水  |     | 流入水  |  | 処理水  |  |
|-------|------|------|-----|------|-----|------|--|------|--|
| SS    | mg/ℓ | 42   | 4   | 39   | 4   | 35   |  | 4    |  |
| BOD   | mg/ℓ | 72   | 6   | 62   | 9   | 69   |  | 11   |  |
| T-K-N | mg/ℓ | 28.8 | 4.1 | 27.1 | 5.7 | 24.1 |  | 11.1 |  |
| T-P   | mg/ℓ | 2.8  | 1.9 | 2.2  | 1.5 | 2.1  |  | 1.5  |  |

流動床型 微細な砂，スラグ，粒状活性炭，プラスチック，包括固定化法に用いるポリアクリルアミドやポリエチレングリコールなどが流動床用の担体として用いられている。解決すべき課題として担体と下水の分離がある。リアクター流出水中の固形物は一般的に薄く，沈降性は悪いので，その固液分離は必ずしも沈殿に適していない。担体を流動化する方法も課題の1つである。軽く，微細な担体は流動化に適するが，その種のものは下水との分離に難がある。図8は開発中の好気性流動床形バイオリアクターの一例である。担体はスクリーンで分離できる，径3～5mm，比重約1.0のプラスチック製である。固液分離は二段ろ過で行われる。表4に運転条件と処理成績を示す。

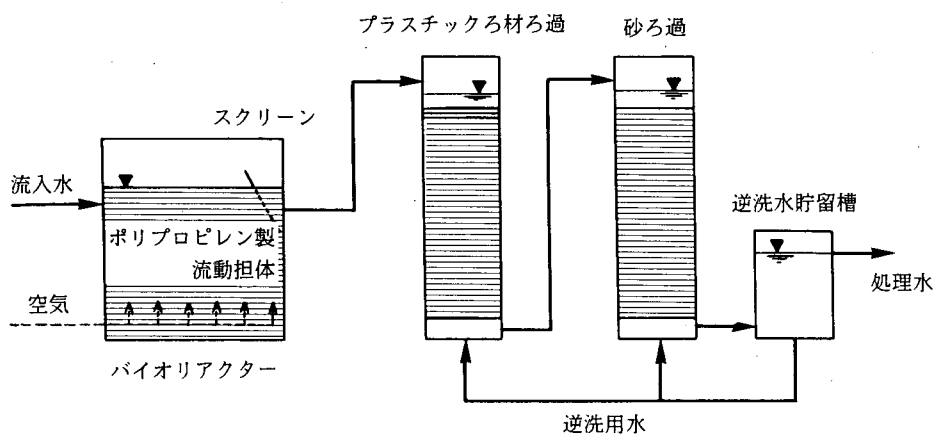


図8 好気性流動床バイオリアクターのフローシート

表4 好気性流動床バイオリアクターの運転条件と処理成績

| RUN              |               | 1    | 2    | 3    |
|------------------|---------------|------|------|------|
| 運転条件             |               |      |      |      |
| リアクターの水理学的滞留時間   | hr            | 2.0  | 2.0  | 4.0  |
| プラスチックろ材ろ過の水面積負荷 | m/day         | 80   | 80   | 53   |
| 二層ろ過の水面積負荷       | m/day         | 161  | 161  | 115  |
| 処理成績             |               |      |      |      |
| T-BOD mg/ℓ       | 流入水           | 138  | 91.9 | 132  |
|                  | プラスチックろ材ろ過処理水 | 20.6 | 16.0 | 17   |
|                  | 二層ろ過処理水       | 9.4  | 11.1 | 9.1  |
| S-BOD mg/ℓ       | 流入水           | 44.3 | 47.0 | 44.7 |
|                  | プラスチックろ材ろ過処理水 | 10.9 | 9.5  | 8.5  |
|                  | 二層ろ過処理水       | 8.0  | 8.0  | 6.3  |
| SS mg/ℓ          | 流入水           | 109  | 40.1 | 102  |
|                  | プラスチックろ材ろ過処理水 | 10.1 | 7.5  | 6.7  |
|                  | 二層ろ過処理水       | 3.2  | 2.6  | 2.2  |

スラッジブランケット型 開発中の好気性スラッジブランケット型リアクターのフローシートを図9に示す。流入水は加圧酸素タンクに流入する。当該タンクの流出水は50～70mg/ℓのDOを含んでおり、上向流式リアクターの下部へ流入する。運転開始から数週間後に好気性汚泥のペレットがリアクター内に形成された。運転条件と処理成績を表5に示す。自己造粒のメカニズムは、現在のところ不明であるが、沈降性の良好な汚泥が1年間保持されている。

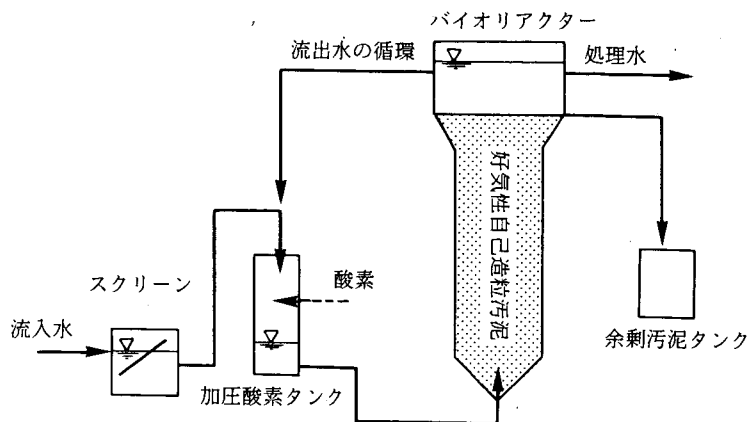


図9 AUSB法のフローシート

表5 好気性スラッジブランケット型バイオリアクターの運転条件と処理成績

| 運転条件        |       |       |
|-------------|-------|-------|
| 水理学的滞留時間    | hr    | 1.72  |
| 流出水の循環比     |       | 1.57  |
| リアクター内の上向流速 | m/day | 125   |
| 流入水DO       | mg/ℓ  | 63    |
| 処理水DO       | mg/ℓ  | 4.8   |
| 処理成績        |       |       |
| 水温          | ℃     | 14.4  |
| T-BOD       | mg/ℓ  | 112.6 |
| S-BOD       | mg/ℓ  | 42.4  |
| SS          | mg/ℓ  | 91.3  |
| T-N         | mg/ℓ  | 30.9  |
| T-P         | mg/ℓ  | 2.7   |
|             |       | 1.8   |

## 5.2 嫌気性バイオリアクター

6種類の嫌気性バイオリアクターが開発されている。これらのリアクターも固定床型、流動床型、スラッジブランケット型の3種類に分類される。嫌気性処理の処理水はBOD20mg/ℓという二次処理の基準を多少上回ることが多いことや、腐食や悪臭の原因となる硫化物を含んでいるため後処

理を必要とする。開発中のほとんどの後処理プロセスは、曝気のためのエネルギーを必要とする好気性生物処理法であり、省エネを目標とした開発に問題を提起している。

**固定床型** 固定床の担体としては不織布、サドル型セラミック、モール状プラスチックが用いられている。図10は開発中の固定床型嫌気性バイオリアクターの例である。高濃度の嫌気性汚泥によって、最初沈殿池越流水の嫌気性処理を8時間以下で達成できる。

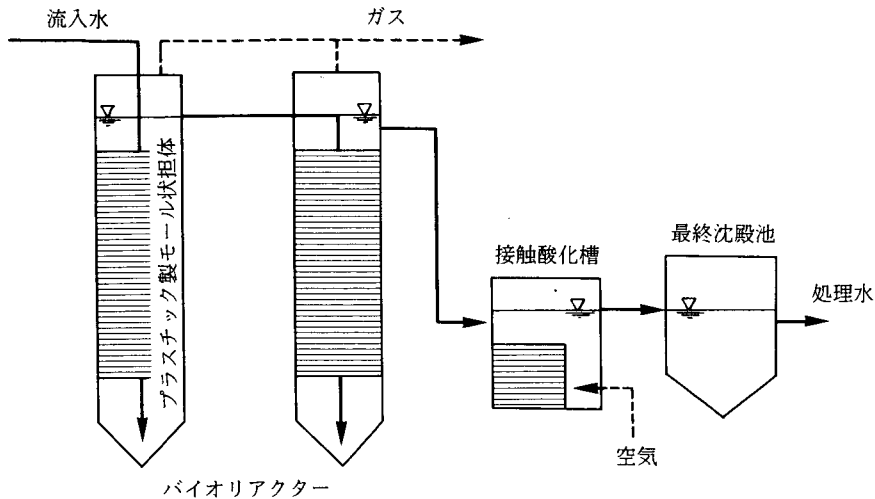


図10 嫌気性固定床バイオリアクターのフローシート

**流動床型** 粒径0.5mmの微細なゼオライトを担体として用いる嫌気性流動床が開発された。フローシートを図11に示す。担体の流動化のために流出水の循環が必要であり、循環比は担体の流動化速度に依存する。滞留時間は3時間であるが、循環のためのエネルギーを必要とする。処理水中の硫化水素は真空中で脱気される。

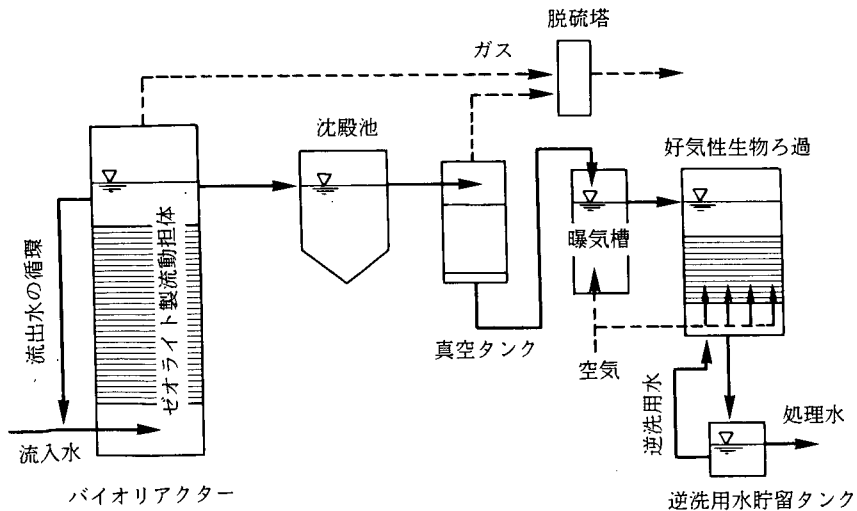


図11 嫌気性流動床バイオリアクターのフローシート

スラッジブランケット型 図12に示す上向流式嫌気性スラッジブランケットリアクター（UASB）の都市下水の処理への適用に関し開発している。嫌気性消化汚泥を種汚泥として投入後、6ヶ月の運転を経て嫌気性微生物のペレットが形成された。嫌気性処理水は、微細な浮遊物を捕捉するスポンジをろ材とする改良形散水ろ床で処理される。表6に運転条件と処理成績を示す。このシステムは水の循環や散気装置を必要としないため、流入水と処理水の間に十分な水位差がある場合には、省エネ型システムとなる可能性がある。

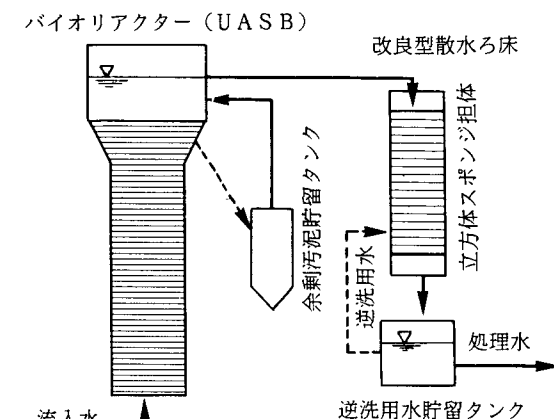


図12 UASBと改良型散水ろ床のフローシート

表6 嫌気性スラッジブランケット型バイオリアクターの運転条件と処理成績

| 運転条件            |      |        |         |            |
|-----------------|------|--------|---------|------------|
| リアクターの水理学的滞留時間  |      | hr     | 8       |            |
| 改良型散水ろ床容積換算滞留時間 |      | hr     | 2       |            |
| 水温              |      | ℃      | 13～16   |            |
| 処理成績            |      | 流入水    | UASB処理水 | 改良型散水ろ床処理水 |
| BOD             | mg/l | 71～111 | 24～40   | 7～17       |
| SS              | mg/l | 45～99  | 8～15    | 2～7        |
| 硫化物 as S        | mg/l | —      | 6～8     | 0          |

### 5.3 多段反転流式バイオリアクター

前章で述べた自己造粒汚泥は、上向流速144m/dayの反応槽内に保持することが出来た。プロトタイプのMRBでその処理効率を調査した。プロトタイプMRBの運転条件、処理成績を表7に示す。流入水中のBODは多少低いが、処理水質は標準的な活性汚泥法のそれと変わらない。水理学的滞留時間は、最終のBVにおける固液分離も含んで4.5時間である。MRBは、標準活性汚泥法に比較して、消費エネルギーの削減、汚泥発生量の低減、最終沈殿池が不要などの多くの可能性

を有している。

表7 プロトタイプMRBの運転条件と処理成績

| 運転条件               |                            | 沈殿都市下水 |  |
|--------------------|----------------------------|--------|--|
| 流入水                |                            |        |  |
| BOD容積負荷（全容積に対して）   | kg-BOD/m <sup>3</sup> ・day | 0.42   |  |
| BOD容積負荷（反応槽容積に対して） | kg-BOD/m <sup>3</sup> ・day | 0.73   |  |
| 水理学的滞留時間           | hr                         | 4.5    |  |
| 曝気槽における溶存酸素濃度      | mg / ℓ                     | 5～9    |  |

| 処理成績         |        |        |       |       |        |
|--------------|--------|--------|-------|-------|--------|
| 生物反応槽段数      | 1      | 2      | 3     | 4     | 5      |
| T-S mg / ℓ   | 21,000 | 14,600 | 8,900 | 5,900 | 14,000 |
|              | 流入水    |        | 処理水   |       |        |
| BOD mg / ℓ   | 80     |        | 14    |       |        |
| D-BOD mg / ℓ | 50     |        | 9     |       |        |
| SS mg / ℓ    | 30     |        | 4     |       |        |

#### 5.4 窒素除去バイオリアクター

菌体の固定化方法として、結合固定化法と包括固定化法を用いたパイロットプラントによる開発を実施している。

**結合固定化法** フローシートの例を図13に示す。リアクター容積は1.37m<sup>3</sup>で、粒径0.2mm~0.3mm、比表面積1.5m<sup>2</sup>/gの珪砂がリアクター容積の8%添加されている。本プラントは、連続流入で、曝気と曝気停止時間がそれぞれ15分間の間欠曝気で運転されている。曝気時のDO濃度は2~3mg/lとした。処理水T-Nは図14に示すように8~15mg/lであった。処理水NH<sub>4</sub>-Nは約2mg/l、NO<sub>3</sub>-Nは約8~10mg/lであった。このことは、窒素除去率を更に高めるには、脱窒反応を促進させる必要のあることを示している。リアクター内のMLVSSは7,000~9,000mg/lであった。MLVSSの約90%は珪砂に付着していた。これはリアクター中の生物量を高濃度化するのに珪砂が有効であることを示している。

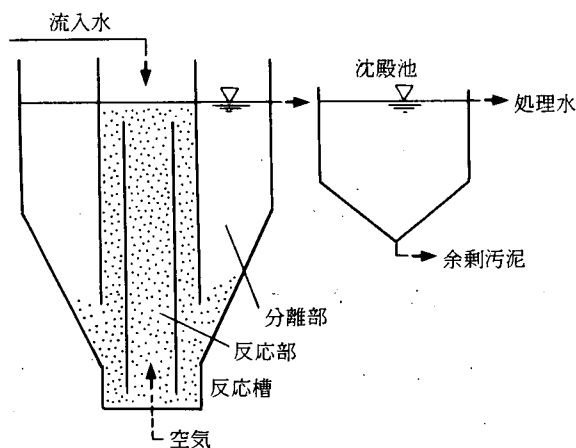


図13 バイロットプラントのフローシート

以下の点が、このプロセスを改善するのに必要であ  
ろう。a. 曝気時間と曝気停止時間の最適比 b. 曝  
気時間とDO濃度 c. DO供給と担体流動に必要な  
曝気量 d. リアクター流出中の浮遊物の除去。

包括固定化法 フローシートを図15に示す。硝化・  
脱窒運転をしている下水処理場の活性汚泥をポリエチ  
レングリコールで包括固定したペレットを硝化槽容量  
の7.5%投入した。脱窒反応のための他栄養性細菌の  
包括固定化は、特段の効果が認められなかったので、  
他栄養性細菌は浮遊汚泥のままとした。実験条件、実  
験結果を表8、図16に示す。処理水BOD、TN、S  
は、それぞれRun-1(HRT 8時間)において、  
10、7、7mg/lであった。これらの値は当時の水温  
が10~12℃であったことを考えれば、満足できるもの  
である。Run-1に続くRun-2ではHRTを8  
時間から6時間に短縮した。そのとき処理水のBOD、  
TNはそれぞれ20mg/l、10mg/l以下であった。

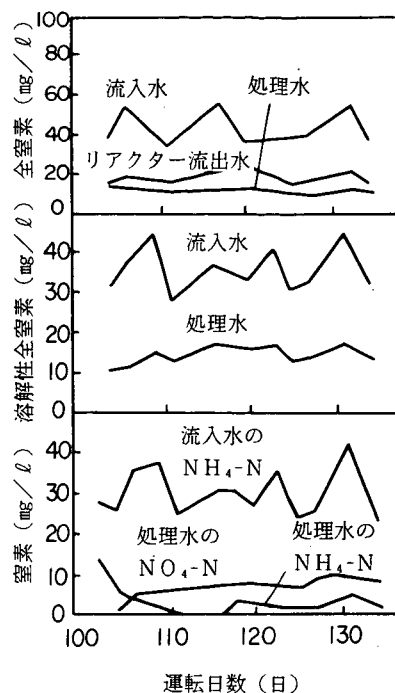


図14 窒素の除去

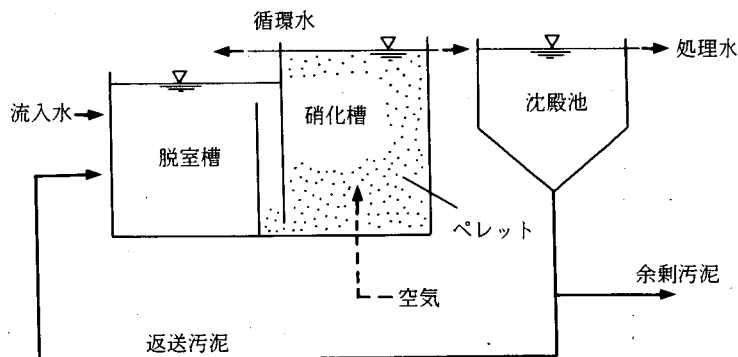


図15 パイロットプラントのフローシート

表8 実験条件

|                          | RUN-1 | RUN-2 |
|--------------------------|-------|-------|
| 流入水量 (m <sup>3</sup> /日) | 31.5  | 42    |
| 生物処理全滞留時間 (hr)           | 8     | 6     |
| 硝化槽滞留時間 (hr)             | 4.8   | 3.6   |
| 脱窒槽滞留時間 (hr)             | 3.2   | 2.4   |
| 硝化槽容積に対するペレット投入率 (V/V%)  | 7.5   | 7.5   |
| 送風量 (Nm <sup>3</sup> /日) | 200   | 230   |
| 循環比 (%)                  | 300   | 300   |
| 汚泥返送比 (%)                | 40    | 40    |

本プロセスを実用化するには今後、以下の点を検討しなくてはならない。a. ペレットの寿命  
b. 実際の処理場への適用にあたって必要となる大量のペレットの製造方法 c. 廃棄コストも含めたペレットのコスト。

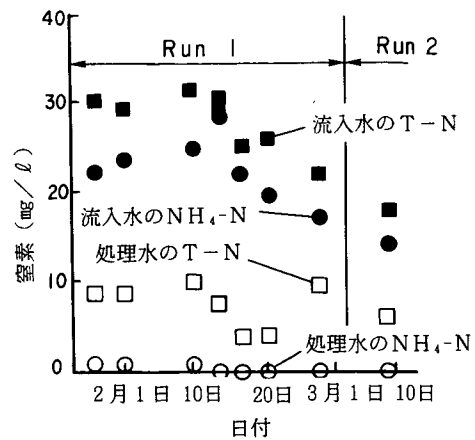


図16 窒素除去成績

## 6. 汚泥処理用バイオリアクターの開発

2つの開発目標を定めて、嫌気性消化法を開発している。消化日数を10日以下に短縮することと、既存の標準的なプロセスに対して1.5倍以上の消化ガスの回収ができるよう汚泥の分解率を向上させることである。これらを達成するために、供給汚泥の可溶化と嫌気性消化に関与している微生物の結合法による固定化について調査している。

供給汚泥の可溶化、特に余剰汚泥の可溶化が消化の制限因子になっていることが知られている。本研究では、汚泥の可溶化を促進させる微生物や酵素が見い出せなかったため、研究の方針を物理、化学的な方法を用いることに変更した。現在、以下の3つの方法について調査している。

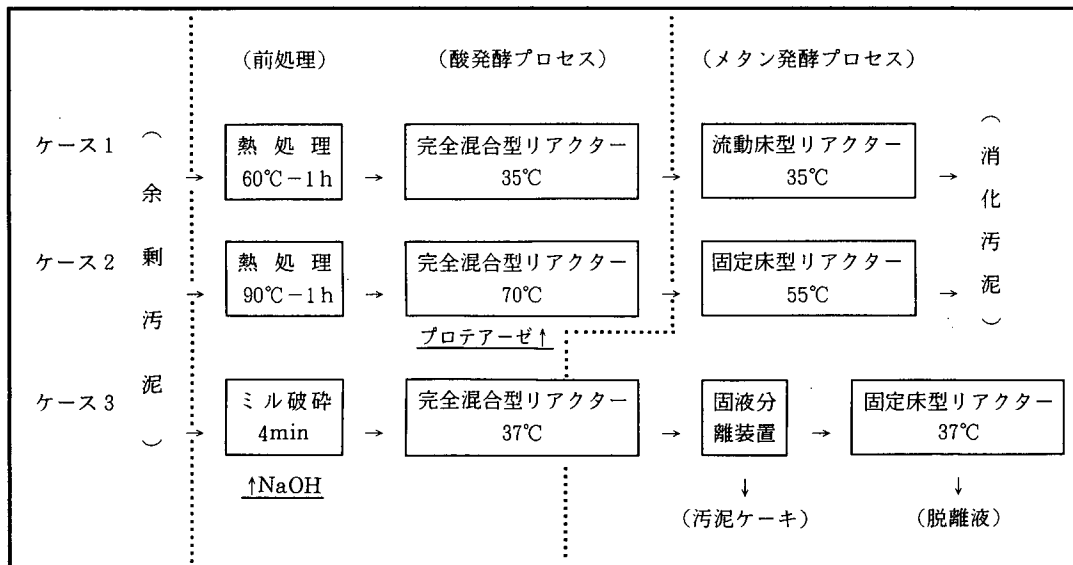


図17 汚泥処理用嫌気性バイオリアクターパイロットプラントのフローシート

a. 余剰汚泥に可性ソーダを0.05N添加して、ミルで破碎する方法。 b. 余剰汚泥を60℃で1時間熱処理する方法。 c. 余剰汚泥を90℃で1時間熱処理し、酸発酵過程でプロテアーゼを添加する方法。

汚泥処理用の固定化担体は、汚泥の粘性が高いことや高濃度の浮遊物が存在していることから汚水処理用のそれとは異なる。現在は、固定化担体にセメントボールを用いた流動床タイプのリアクターと、セラミック担体を用いた固定床タイプのリアクターについて調査している。これらの可溶化法や固定化法は共同研究で実施されている、図17に示す3種のパイロットプラント実験に適用されている。

## 7. 前処理用固液分離装置の開発

バイオフィーカスWTにおいて開発されている全ての下水処理用バイオリアクターは、微生物の固定化手法を採用している。このようなリアクター、特に固定床式のリアクターでは、流入下水中の浮遊物によるリアクターの目詰まりが懸念される。また、溶解性有機物は浮遊性有機物より、微生物による分解速度が早いいため、粒径の大きい粒子を除去することによって、リアクターの処理をより効果的に行うことができる。このため、リアクター流入水の浮遊物濃度を低下させるための装置を開発してきている。

### 7.1 流入水中の成分の粒度分布

生下水中の浮遊物の粒度と成分の関係を調査した。図18に結果の例を示すが、浮遊成分の除去により生下水中の汚濁物が大幅に減少することがわかる。なお、生下水中の全BODに占める浮遊性BODの割合は、窒素やリンにおいて浮遊性成分の占める割合よりも大きい。

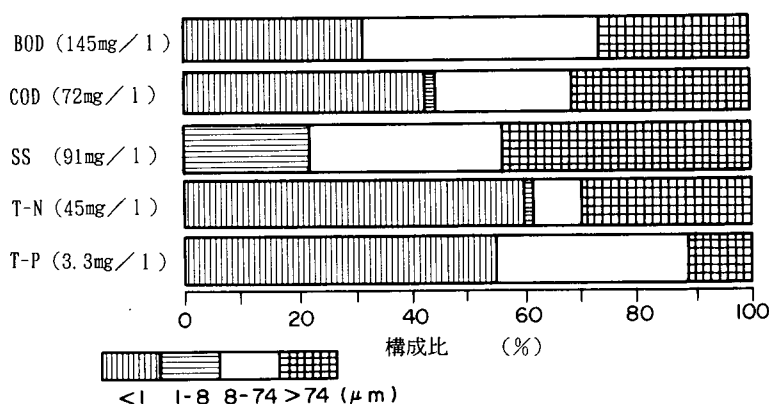


図18 生下水中の汚濁成分の粒径別分布例

### 7.2 浮遊性TOCの生分解性

浮遊性TOCの生分解性を好気性の場合と嫌気性の場合について調べた。図19は好気性の結果で

あるが、両者共に、粒径が $1\mu\text{m}$ 以上の浮遊性TOCは、粒径が $1\mu\text{m}$ 未満の溶解性成分よりも初期分解速度が小さい。

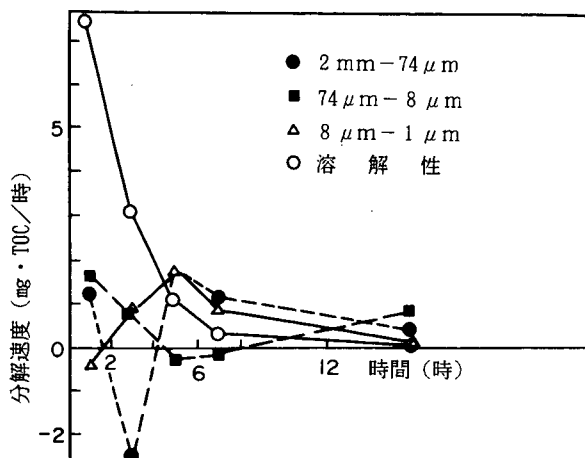


図19 粒径別TOC生分解率（好気性）

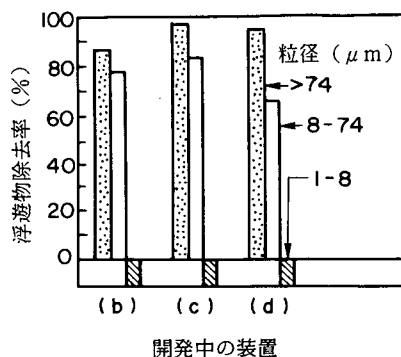


図20 開発中の固液分離装置の浮遊物除去例

### 7.3 前処理用固液分離装置

以下の5種類の前処理用固液分離装置を民間企業との共同研究等によって開発している。a. 上向流式沈殿法, b. 浮上ろ材によるろ過法, c. 特殊メディアによるろ過法, d. 高速生物凝集と傾斜板沈殿法, e. 上向流移動床式ろ過と下向流固定床式ろ過の組み合わせによる2段ろ過法。図20は, b., c. およびd. の各法における浮遊物除去の例である。これらのプロセスでは、流入下水中の $8\mu$ 以上の粒子の除去率は80%以上であった。しかし、 $8\mu$ 以下のSSは除去が困難であった。

## 8. 水質計測用バイオセンサーの開発

酵素や微生物等の生体材料を測定対象物質の識別素子として使うバイオセンサーをBOD、アンモニア性窒素、有機酸用に開発している。

### 8.1 バイオセンサーの水質測定原理

開発中のバイオセンサー三種には、酸素電極に装置できるよう薄い膜状に固定化され好気性微生物が使われている。微生物電極が基質を含む水溶液に浸されると基質は生物膜内に拡散を始める。もし微生物膜内の微生物がその基質を同化できるなら、生物膜内のDOを消費し、その結果酸素電極の電流は減少するが、数分たつと酸素消費速度は、生物膜への酸素の拡散速度と釣り合う。このため、電極電流値は定常となる（ピーク電流値）。微生物電極を基質溶液から取り上げ、基質を含まない溶液に漬けると、酸素消費速度は内生呼吸レベルに低下する（ベース電流値）。ピーク電流値とベース電流値の差として表わされる酸素消費速度はある範囲で基質濃度に比例する。

計測システムのフローチャートを図21に示すが、微生物電極はフローセルに装着され、アンプと

AD変換器を経由してマイクロコンピュータ（CPU）に電流（信号）を送る。標準液と試料は検量線作成と測定時にフローセルに注入される。フローセル内のDOはほとんど飽和状態であり、フローセルは一定温度に維持するために恒温水槽に入っている。

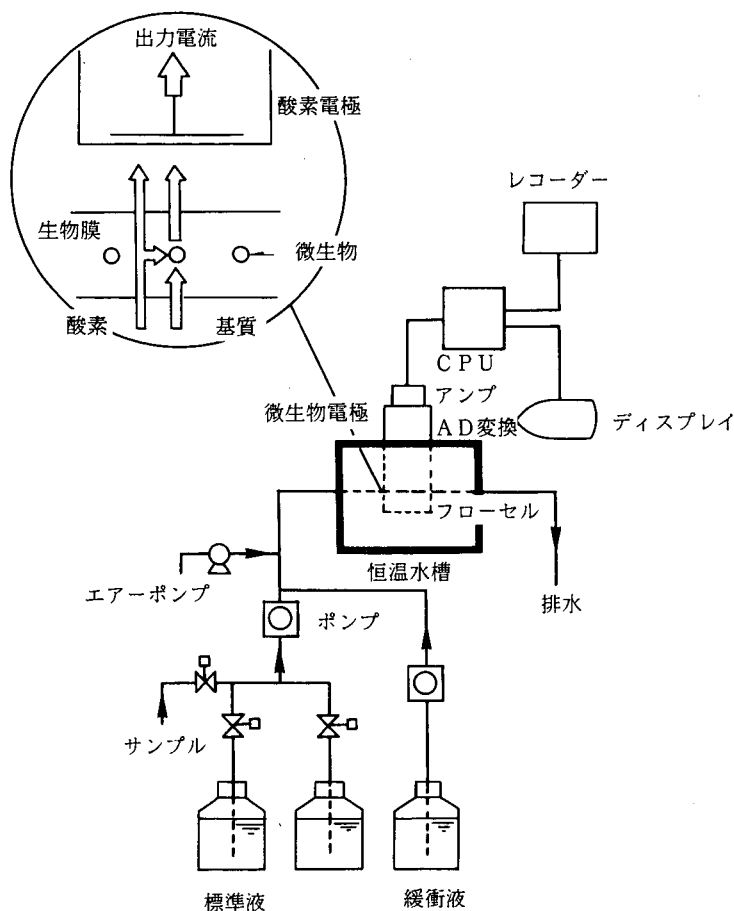


図21 バイオセンサー計測システムの概要

## 8.2 BODセンサー

土壌細菌群をPVAで固定化した膜を用いて生下水、二次処理水、汚濁した都市河川水数種類のサンプルをセンサーの測定値から求めたBODと手分析のBOD<sub>5</sub>との測定に供した。測定用の検量線にはグルコースグルタミン酸（GGA）溶液と合成下水を使用した。図22にセンサーBODと手分析BOD<sub>5</sub>の関係を示す。

生下水の場合は十分な出力電流値が得られ、センサーBOD値は、手分析値にほぼ近い値が得られた。しかし、二次処理水や河川水の出力電流値は小さく、センサーBOD値は手分析BODよりも極めて低い値となった。生物的な処理をうけたサンプルはこのBODセンサーを使った短時間の測定では、感知するのが困難と思われる。現在このような難分解性有機物を含むサンプルに対する識別能力の改善に関し検討している。

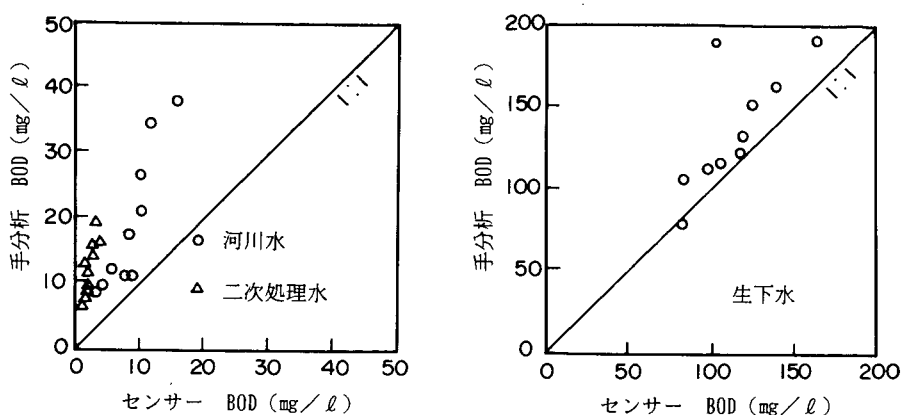


図22 センサーBODと手分析BOD

### 8.3 アンモニアセンサー

多孔質アセチルセルロース膜の間にアンモニア酸化細菌の *Nitrosomonas europae* を固定化し、アンモニアバイオセンサー用生物膜とした。図23に示す如く  $10\text{mg}/\ell$  以下のアンモニア性窒素と出力電流値の関係は線形である。固定化した生物量の増加とともに、測定できる濃度の上限値は低下するが、解析度は向上する。この計測システムでは、サンプル注入後、ピーク電流値に達するまでに7～8分、サンプル注入停止後ベース電流値に戻るまでに7～12分必要である。

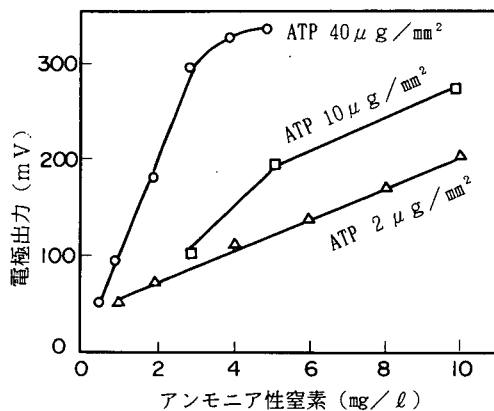


図23 アンモニア性窒素とセンサー出力値

### 8.4 有機酸センサー

酵素の *Trichosporon brassiae* を識別素子として使っている。この酵母は2枚の多孔質メンブレンフィルターの間に固定化されている。この生物膜は酸素電極とガス透過性テフロン膜の間にはさみ込まれている。微生物電極が有機酸溶液に浸されると生物膜内で酵母はガス化した有機酸を資化し、酸素を消費する。 $600\text{mg}/\ell$  以下の酢酸濃度と出力電流値の間には、図24に示すように線形性が認められた。サンプル中のpHが3より高くなると出力電流値は減少するため、サンプルのpHは3より小さく保たなければならない。

他の有機酸に対する本センサーの感度を調べた結果、各々異なる感度ではあるが酢酸の他に蟻酸、n酪酸、プロピオン酸を感知した。しかし、乳酸、酒石酸、コハク酸は感知しなかったことから、

有機酸の混合液から全有機酸濃度を求めることは困難であることが分かる。現在、維持管理性のチェックのため、実際の消化槽で試験を行っている。

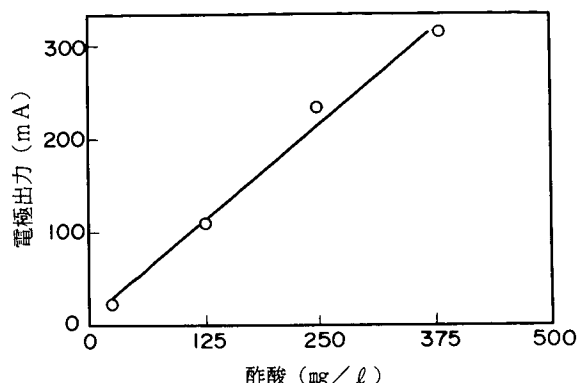


図24 酢酸を用いた場合の有機酸センサーの検量線

## 9. 新下水処理システム開発

前節までに述べたように、微生物バンク、遺伝子操作のような基礎的な研究に加え、バイオフィーカスWTでは、下水処理、汚泥処理用バイオリアクター、固液分離装置、バイオセンサーの研究開発を行っている。本課題では、これらの個々の開発研究を総合化して、新しい下水処理プロセスを提案しようとしている。表9は、パイロットプラント研究の結果をもとに、提案しようとしている新下水処理システムである。

表9 バイオフィーカスWTで提案される新下水処理システム

- |                       |
|-----------------------|
| a. 省エネルギー型下水処理システム    |
| b. 省面積型下水処理システム       |
| c. 窒素除去用下水処理システム      |
| d. 窒素・リン同時除去用下水処理システム |
| e. 小規模下水用下水処理システム     |

省エネルギー型下水処理システムの終局的なシステムとしてエネルギー自立型下水処理システム（図25）が考えられている。生下水中の浮遊物の大部分は、効率型固液分離装置で除去される。二次処理に要するエネルギーは次の2つの方法で大幅に削減される。ひとつは、二次処理に流入する下水の汚濁負荷が下がるとともに、溶解性成分に比べ分解速度の遅い浮遊性成分が少なくなること、もうひとつは省エネ型の下水処理バイオリアクターを導入することである。汚泥の嫌気性消化においては、余剰汚泥に比べ消化ガス発生ポテンシャルの高い一次汚泥が増えるとともに、創エネ型のバイオリアクターを用いることにより、消化ガスとしてのエネルギー回収量が増加する。このシステムの開発のキーポイントは効率型固液分離装置の消費エネルギーをいかに削減できるかである。

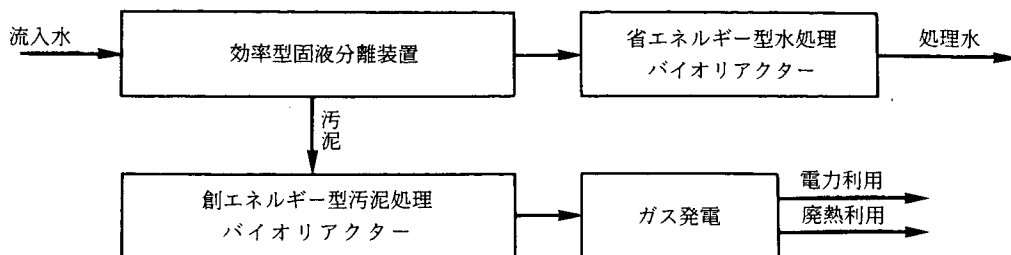


図25 エネルギー自立型下水処理システムの構想

## 10. おわりに

バイオフィーカスWTは下水処理を改善するとともに、より良く理解するために、広くバイオテクノロジーを下水処理に適用しようとする研究開発プロジェクトであるため、極めて基礎的な研究から、応用的な研究までを包含している。このため、バイオフィーカスWTの結果も、将来の研究課題を特定するものから、現状技術を打破する可能性のある実際に適用できる技術まで幅の広いものとなる。

# 魅力のある河川整備

河川部長 青 木 佑 久

## 魅力のある河川整備

### 1. 河川環境の捉え方

昭和56年12月河川審議会は、「河川環境管理のあり方について」を建設大臣に答申した。その中で、河川環境とは、人間を主体とし、その生活環境を形成しているものであり、「人間をとりまく河川にかかわる生活環境」と定義している。治水も利水も人間の生活環境の形成に重要な役割を果たしているが、答申では、狭義の河川環境として、「水と空間との統合体である河川の存在そのものによって人間の日常生活に恵沢を与えているもの」として定義を付け加えている。

すなわち、治水と利水が河川の流水の流下機能に係わるものであるのに対して、河川環境は人間生活に内面的、文化的、精神的に影響を与える水と空間の一体となった河川の存在そのものである。とし、河川環境は河川に存在する水と空間がそれぞれ形成する水環境、空間環境の両要素をもって構成されている、としている。

このようなことから、河川環境に係わる技術的な課題を議論する際には、存在する河川と河川環境の主体となる人々との関連に注目することが重要となってくる。

河川と人々との係わり合いは長期間にわたるものであり、人々の河川から受ける影響とそれに対する反応は一過性でもなく単純でもない。河川には、水流、生態系、構造物のような物理的な存在と、歴史・文化のような社会的な存在とがあり、一方、河川と係わりあう人々には、心理的な部分と環境的な部分とがある。

河川と人々との係わり合いの過程は、大きく分けて、河川環境の認知過程と社会的環境の形成過程とに分けられよう。河川環境の認知過程とは、五感によって知覚された河川からの刺激が心理的・環境的フィルターを通して人々の内面に河川環境として形成される過程を言い、社会的環境の形成過程とは、認知過程を経て、河川の物理的な存在の性格付けや対応が認定され、地域を代表する象徴的な価値が見出され、人々の集団のなかに新たな習慣、伝統、文化などの社会的な存在が付加されていく過程を言う。言い換えれば、河川環境と係わり合いを持つ人々は、河川の存在から刺激を受けて反応し、その反応から新たな河川環境を創造していく、という循環的な関係のなかに生きている、と言えよう。

さて、このような河川環境に対し、河川管理者は治水・利水と全体として調和のとれるようにこれらを管理する必要がある。このような適正な河川環境管理のために河川管理者は河川環境管理基本計画を立案しなければならない。建設省の直轄河川では昭和63年度末において54河川策定済みでそれ以外についても平成元年度中に策定の予定である。また今後、都道府県管理の河川について策定される予定である。

河川環境管理の基本計画は、水環境の管理と河川空間の管理との二つから構成され、それぞれ次の事項について定めるものとされている。なお、両者は全体として十分に調和のとれたものでなければならない。

## イ. 水環境の管理

水量および水質の総合的管理に関する基本構想、水量および水質の監視、ダム、導水路等河川管理施設の管理、取排水施設等許可構造物の管理ならびに水環境のための事業の実施に関する計画、流域における下水道整備、排水規制等水環境に関連のある各種の施策との調整に関する方針等の水環境の管理に関する基本事項

## ロ. 河川空間の管理

河川空間の適正な保全と利用に関する基本構想、河川空間の整備のための事業の実施に関する計画、河川工事および許可工作物設置に当たって河川空間の管理上配慮すべき事項、都市計画等周辺地域における河川空間に関連のある各種の施策との調整に関する方針等の河川空間の管理に関する基本事項

# 2. 河川空間環境の整備手法

## 2.1 水辺空間への期待と利用状況

昭和61年7月総理府広報室国政モニターの「河川と流域住民の係わりについて」の意識調査では、望ましい河川の姿として「豊かできれいな水が流れる川」が80%でトップ、順に「緑があり、自然と親しめる川」75%、「子供が安心して遊べる川」59%、「周囲の景観と調和した川」38%の順となっている（図-2.1.1）。また河川をどのように利用したいと思うかについては「野鳥や昆虫の観察など自然とのふれあいの場として」32%、「水辺や河原を利用して水とたわむれることのできる場として」22%、「芝を中心とした多目的利用の場として」19%の順となっている。

このように人々は「美しい景観」「清い水」「自然の豊かな河川」「水遊びができる河川」を望み、また、それらとのふれあいを望んでいることがわかる。このような人々の情緒的欲求の充足に基づいた河川環境整備づくりが望まれるわけである。また河川はその地域のシンボルとなり、地域の文化形成の軸となるものであるから、河川の歴史や文化への着目が重要となる。というか河川環境の整備とはその地域の文化のあらわれであり、文化造りといっても過言ではないだろう。

これをまとめると河川の空間整備のテーマは次のようになる。

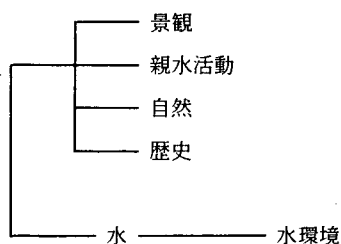


図-2.1.3 河川空間整備のテーマ

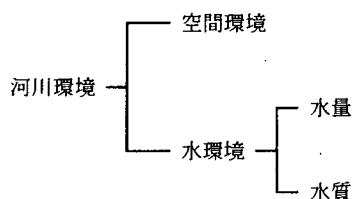


図-2.1.4 河川環境の構成

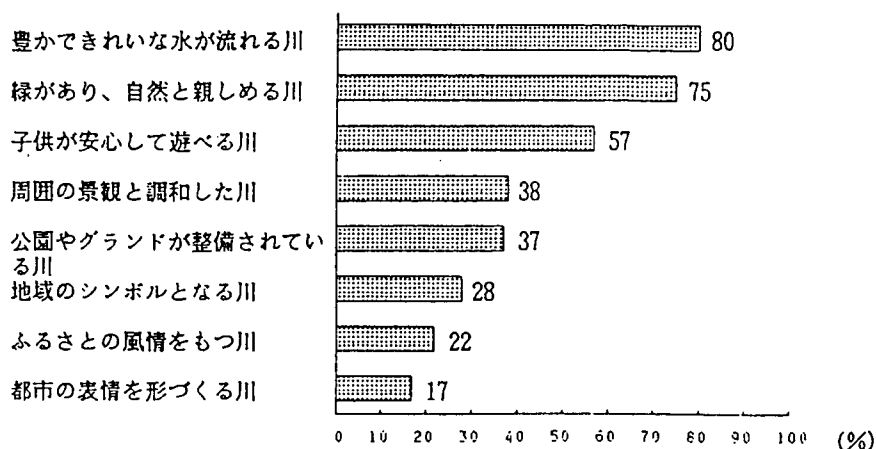


図-2.1.1 望ましい河川の姿

#### 河川の利用意向

Q. 河川をどのように利用したいと思うか。(図-16)

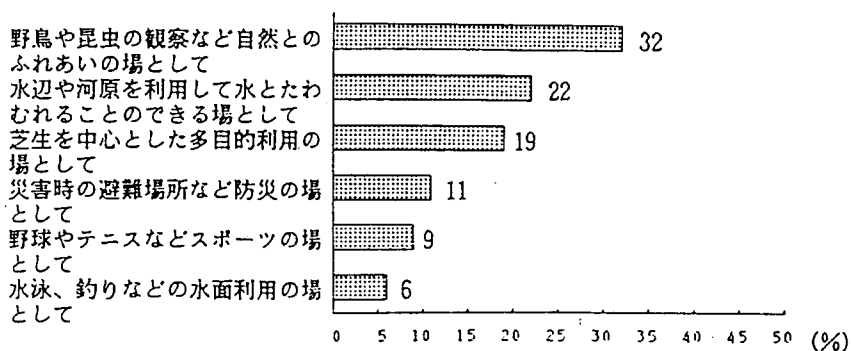


図-2.1.2 河川利用意向

## 2.2 具体的な利用状況からみた河川環境整備の基本方針

河川における利用状況は、次のように分類される。まず、生活空間として日常的に利用される場合（散歩や子供の水遊び）非日常的なレジャー空間（水遊び、水泳、キャンプ）の場合と通勤や買い物の際にほとんどの場合横断時にちらりと見る空間としての場合に大別できる。これらは河川の環境整備を考える場合には基本となる利用の仕方である。例えば日常的な河川の利用の仕方として

は馬見ヶ崎川の例をあげることができる。山形市東北部を流下する馬見ヶ崎川は、山形市付近で流域面積140km<sup>2</sup>、流路延長23.2kmの県管理の河川である。山形市緑町に位置する馬見ヶ崎川高水敷に設けられたせせらぎは、馬見ヶ崎川都市計画公園事業の中で、山形市が施工したもので周辺には、スポーツ施設も整備されている。このせせらぎは近傍の人に非常に高い頻度で利用されている。

調査は6/12(金), 6/19(金), 6/23(火), 6/24(水), 6/25(木), 6/26(金), の午後に訪れたグループの代表者に対して聞き取り調査を行った。

利用者と住居との距離で見ると河川から1km以内の所からきている人が約1/3を占め、5km以内で見ると約80%にも及ぶ。延べ人数は310人。49グループである。1グループ当たりの人数は平均約6人であるが20人以上でくるグループと5人以下の小数でくるグループに分かれる。

年間に訪れる回数は100回以上のグループが49グループ中9グループもあった。その活動内容を見てみると、あるグループは、小学生男子の4人組で、自転車で20～15分の所に所在し、春は虫とり(約15回)、夏は毎日水遊び、秋は川虫取り(約5回)、年間計110回来ると回答している。別の1グループは男性3人、女性2人の老人グループでゲートボールに春～秋まで雨天を除く毎日という回答である。その他スポーツの練習に来る小学生、サッカーの練習に来る高校生、犬のさんぽに来る女性、学童保育の児童たちの散歩のグループでこれらはほとんど毎日この施設を利用している。また年間20回以上利用しているグループは25グループと全体の半分以上に及ぶ。

これらの人々の代表的な利用内容は季節により異なり一年中色々な形で利用されている。

春：散歩、水遊び、虫とり、スポーツ

夏：水遊び

秋：芋煮会、虫とり

冬：そり遊び、スキー

このように年間を通じて色々な活動が可能なのが頻度の高い利用を促している要因のように思われる。

レジャー空間として利用されている例として那珂川があげられる。那珂川は、その源を栃木県那須岳に発し、各支川をあわせ、山間地から平地を流下して水戸市内に至り太平洋に注ぐ、流域面積3,270km<sup>2</sup>、幹線流長150kmの一級河川である。水戸市内の下国井の水質調査地点で昭和61年のBODは年平均0.9、年最高1.5ときわめて清例である。調査の対象としたのは、37～38km地点の那珂川大橋周辺の左右岸に広がる砂州である。この地点は関東の嵐山と呼ばれ風光明媚なところであるがそれほど著名な観光地ではない。

調査は8月2日(日)および8月11日(火)に行った。8月2日は前々日、前日に降雨が見られ、河川は増水し、水が濁り、水温も低かった。14時の気温23.4度、水温20.9度と夏にしては涼しい一日であった。一方、8月11日は快晴で、12時には気温は30度をこえ、水温も25度をこえる暑い日であった。

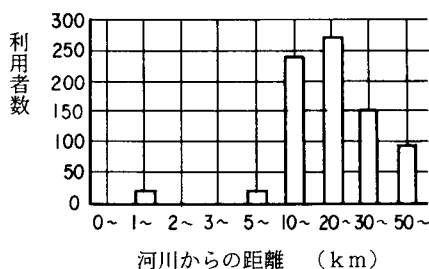
まず8月2日休日には、ピーク時に那珂川大橋の右岸および左岸に広がる砂州に約740名の人が集まっていた。

聞きとりを行ったグループ数は43（計590人、大人389人、子供201人）である。この人数はピーク時の人出に対して、約80％にあたる。1グループあたりの人数は13.7人と馬見ヶ崎川に比べて2倍以上となっている。気温が低く流れが速かったため水遊びをしている人はきわめて少なくキャンプ、魚釣り、バーベキュー等を行っていた。また年1回訪れる人がほとんどであった。

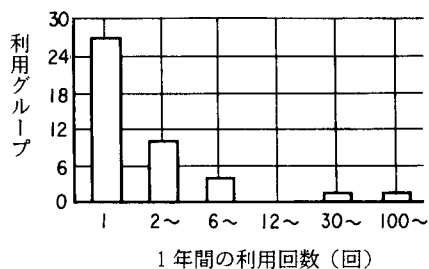
どこから来たか距離別にまとめると、20～30km付近（水戸市がこの範囲に入る）から来ている人が最も多く全体の45％と約半数をしめた。10km未満のところから来ている人は39人でアンケートを行った人の7％に満たない。また50km以上離れた遠方から来ている人が92名、県外から来ている人が27名となり両者をあわせる約20％にも及ぶ。

同様のことを8/11の平日に行った調査よりみても、12時頃、約200名の人出が観測された。休日の約半分である。聞き取り調査を行ったのは22グループ（計170人）である。1グループあたりの人数は7.7人と休日の約半分であった。

河川からの距離についてみると、平日においても10km以上遠くから来ている人が90％をこえ、多くの方が水戸周辺から訪れていた。休日の調査結果と同様の結果となった。年間に訪れる回数をみてもやはり年1回の方が圧倒的に多い。ちなみにこの日に行われていた活動のほとんどが水際近傍での水遊びであった。



図－2.2.1 河川からの距離と利用者数  
(那珂川・8/2)



図－2.2.2 年間の利用回数

この遠方から多くの方が訪れているという結果は、先述の馬見ヶ崎川の結果と大きく異なっている。御前山周辺の砂州が広域的な魅力をもっていることを示している。8月2日の日は水遊びができなかったが、水遊び・水泳のできる河川であることが美しい景観とともに大きな魅力となっている。ただし、ここに来ている人々のほとんどが年に1回しか来ない人である。すなわち日常的な遊び場としてではなく、非日常的なレジャーの場として利用されている。



写真-2.2.1 馬見ヶ崎川, せせらぎ公園

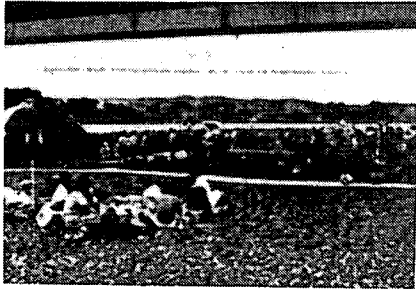


写真-2.2.2 利用状況

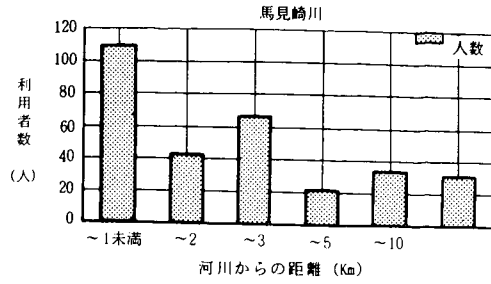


図-2.2.3 年間利用回数

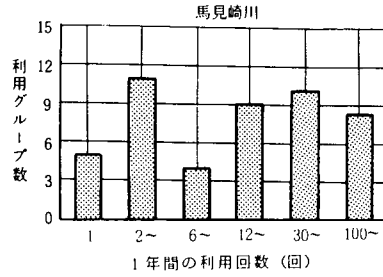


図-2.2.4 河川からの距離と利用者数

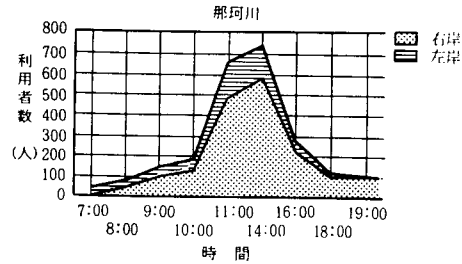


図-2.2.5 利用者数の時間による変化

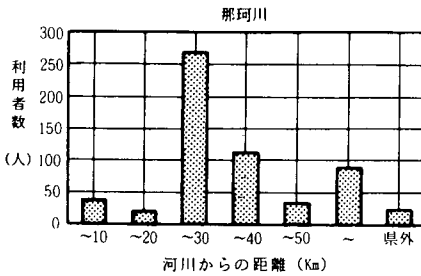


図-2.2.6 河川からの距離と利用者数 (8月2日)

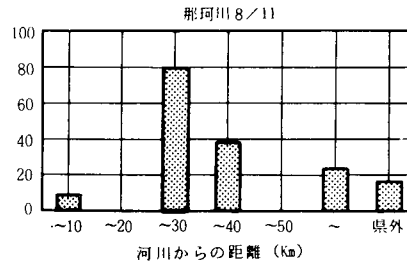


図-2.2.7 河川からの距離と利用者数 (8月11日)

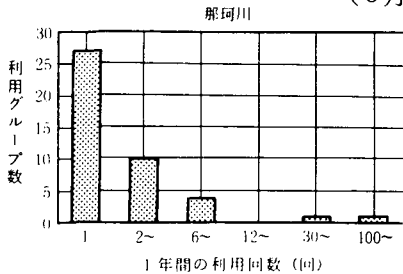


図-2.2.8 利用回数

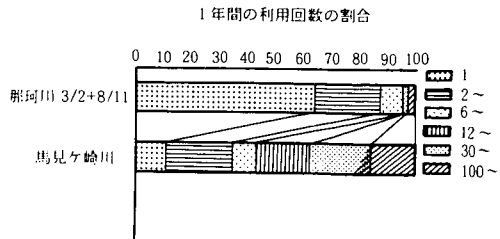


図-2.2.9 1年間の利用回数の割合の比較

これら3つの利用形態からみた河川環境整備の基本方針を以下の4つに分類する。

表－2.2.1 親水活動と環境整備の考え方

- |                                              |
|----------------------------------------------|
| ①地域の顔としての水辺……………景観が重要で街の顔となる水辺<br>(主として都心部)  |
| ②生活空間としての水辺……………日常的頻繁に利用される水辺空間<br>(主として住宅地) |
| ③レジャー空間としての水辺…広域的な非日常的な魅力を持つ水辺空間<br>(主として郊外) |
| ④防災空間としての水辺……………超日常的利用(主として都市部)              |

①は地域の都市の顔としての水辺であり、その水辺の利用者はその地域あるいはその都市の住民であり、必ずしもその沿川の人ばかりでない。その水辺は地域のシンボルとなることが要請され、多くの人は頻繁にその河川と接するが、その1回の時間が短くその河川を横切る時に接することが多い。また水辺には食事をするのできるレストランやその他の施設がある。

②は生活空間としての水辺で、その利用者の大半は沿川の住民であり、河川にふれあう頻度はとても高い。

③はレジャー空間としての水辺であり、その利用者の大半は河川から離れた所に住む。非日常的な空間である。

④は防災空間としての水辺であり、都市部でのオープンスペースとして注目されるべき空間である。

このように整備しようとする河川が、どのような位置付けで整備すべきかを明瞭にしなければならない。

## 2.3 地域と一体になった河川整備

### 1) 地域の顔としての河川の整備

地域・都市の顔としての河川はシンボル性を持ち、多くの人が交流を深める場である。河川環境整備の経済的効果も大きなものが期待でき、かなり大胆な整備が可能である。大都市中心部の河川は自ずとこのような性格を持ち、休息空間として、レジャー空間として種々の活動が可能なような整備が重要である。

#### 例1：隅田川

隅田川は江戸の時代から市民に親しまれてきた河川である。両国の花火大会、隅田公園の桜、向島の芸者、浅草、深川、佃島、屋形舟と今も昔の人情、風情を感じさせる河川である。

現在の隅田川は、度重なる洪水や高潮の水害から都市を守るため防潮堤が築かれている。これらの防潮堤は結果として人々を川から遠ざけ、隅田川のイメージを水路的な固いものになっている。こ

これらのことは隅田川を東京の川として生まれてくる子供たちや訪れる人々に伝える時のマイナスの要素となっている。

来るべき21世紀に向けて、隅田川を再び甦らせるべく東京都はマイタウン東京構想の中に、隅田川の東部地域を川の手ゾーンとし、緩傾斜型堤防、スーパー堤防整備事業により、堤内地と川を連続的につなげ水辺の復活を試みている。

写真－2.1は、大川端地区における緩傾斜型堤防の実施例であり、沿川に容易に人が近づけるように配慮されている。この地区は今のウォーターフロント開発の走りでもあり話題性もあったため、都民の目を再び隅田川に向けさせる良いきっかけとなっている。

水辺の再生は、治水上の安全度をさらに高めかつ水辺を市民に視覚的、感覚的に開放することにより行われることが隅田川のスーパー堤防事業の事例により理解できる。

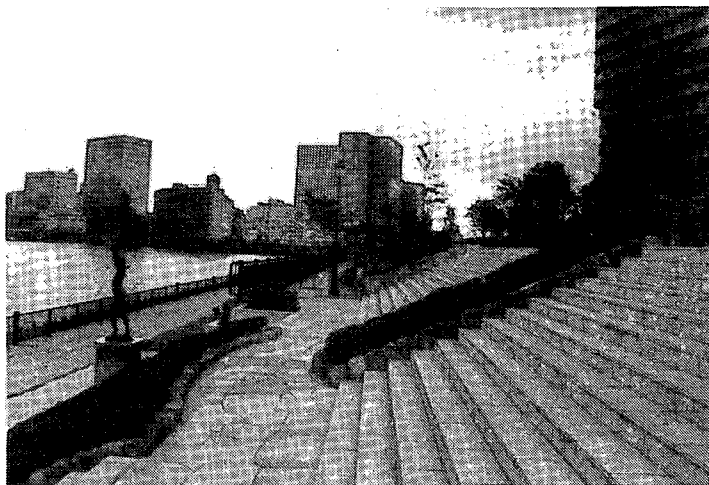


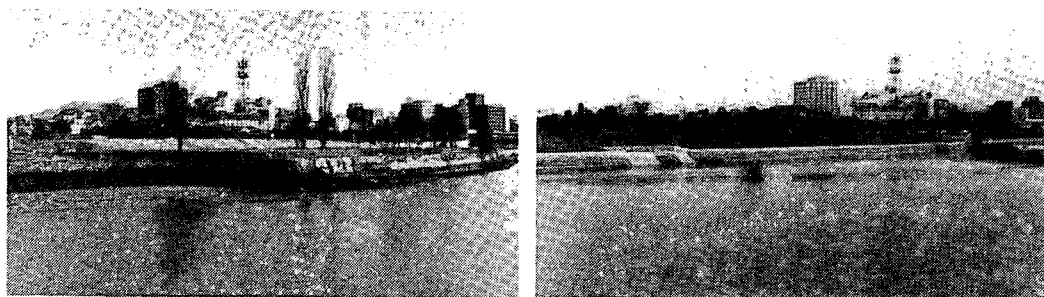
写真 大川端・佃公園（緩傾斜堤防）

## 例2：太田川

広島市は太田川より形成されたデルタ地形上にあり、太田川の派川群が都市の骨格を形づくっている。そのため広島市の人々は太田川に対する思い入れも深い。広島市は業務の中心都市であるがそれと同時に世界初の被爆都市で国際的な都市であり訪れる人も多い。市民や訪れる人々に目もつきやすく、これらの人々に広島市のイメージの1つとして認識されていると思われる。

太田川の河川整備に際しては、太田川の42ゾーンのイメージ調査を行い、景観の分類、景観から受ける河川のイメージを評価してそれに基づいた計画が立案された。本川基町地区の沿川には広島城、中央公園、市民球場、原爆ドーム、平和公園があり、広島市の観光の中心、また市民の憩いの中心となっている。ここの護岸設計は護岸と川、水際線に親水象徴性をいかに持たせるかに主眼を置いたもので、小段の心理実験等を通じ、デザインの客観性を持たせることを行った。

太田川のこれらの試みは、河川の整備に人々の川に対するイメージというソフトな要素を加え、護岸改修は水面と堤内の都市構成要素のつながり部分であるという認識の基に、太田川により多くの人々の意見を取り入れたということは有意義な試みであったと思われる。



(a)やや上流地点からの改修前の状況(北村真一撮影) (b)空鞘橋上流右岸からの対岸の眺め(1981年3月竣工,北村真一撮影)

写真 護岸改修による景観の比較( (b)のほうが景観的にまとまって一体感がある)

## 2) 住宅地の河川の整備

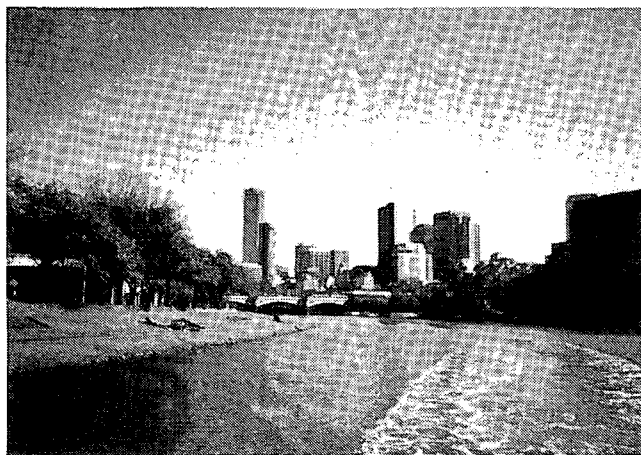
住宅地の河川は生活環境の中で日々接する河川であり利用者はほとんどが周辺の住民である。毎日見、触れるものであって、さりげない風景、安全で水辺に触れやすい形状、日々行われる散歩やジョギングとしての利用等の配慮が重要である。日本ではあまり例は多くなく、昔日の城下町の細流などが日本の原風景としての生活環境の中の水辺であろうか。

例：メルボルン市（オーストラリア）ヤラ川

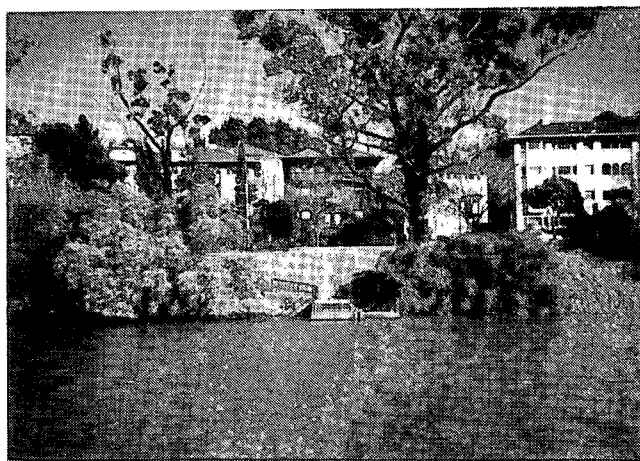
ヤラ川はメルボルンの中心を流れる川であるが、沿川に緑が多く河岸段丘状は住宅街となっている。冠水頻度の高い地域は公園として整備され、冠水頻度の低い段丘上は住宅地で、ヤラ川の河岸は緩いスロープを持ち、堤内地と一体的に整備されている。市民は河岸で寝転んだり、散歩したり、水面ではカヌー等で遊ぶ。



ヤラ川周辺の風景とメルボルン市内、遠くにポートフィリップ湾



メルボルンは英国風の強い土地柄でミニロンドンといった感じ。英国風の建物が多く、川边には公園が多い。



ヤラ川周辺は高級住宅街であり、段丘上に家を持ち、川边には船着き場を持つ



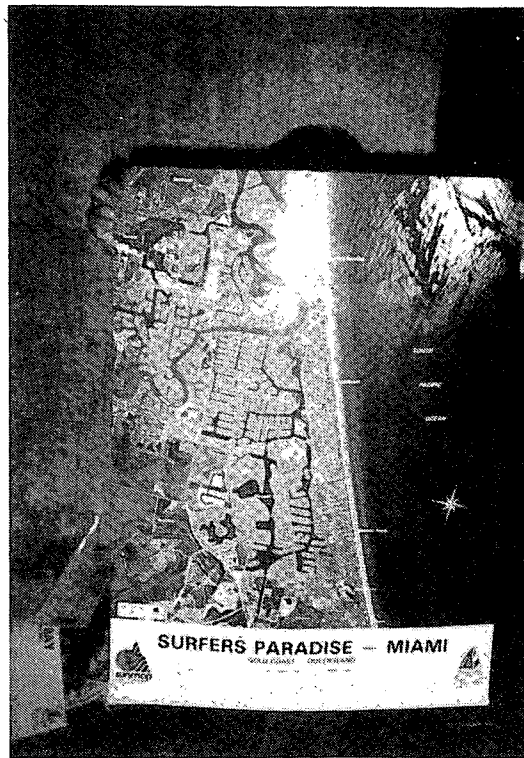
水面ではカヌー等で遊んでいる人もいる

### 3) リゾート・レジャーの場としての河川

広域的な魅力のあるリゾート・レジャーの場としての河川の整備は、日本では木曾三川河川公園が代表例であるが、あまり事例は多くない。各地に観光やなやキャンプ施設あるいは水郷地帯の観光地は見られるが、日本においてはまだまだ十分に河川の魅力を利用しているとは言い難く、これからというところであろうか。

例：ゴールドコースト（オーストラリア）サーファーパラダイス

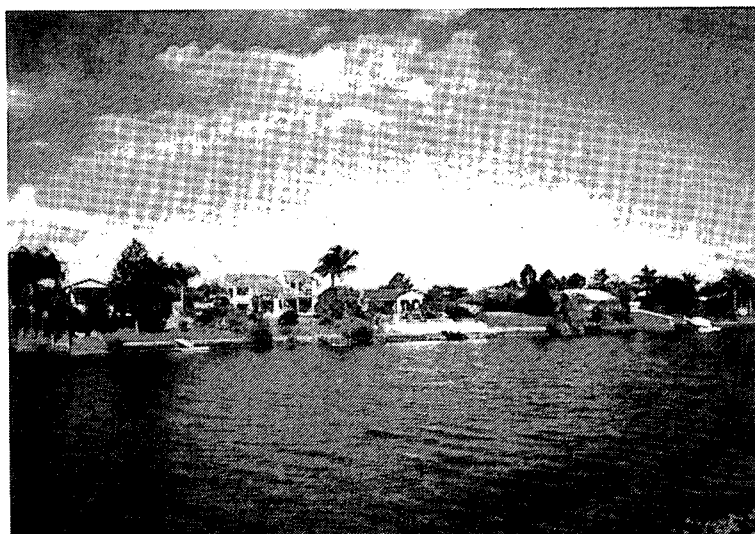
ゴールドコーストの中心サーファーパラダイスはオーストラリア最大のリゾートエリア。ここはオーストラリアの金持ちの別荘地と言われるが、その開放的な雰囲気は若者にとっても大きな魅力となっている。住宅地は運河を中心として形造られており、水辺沿いの各戸にはボート乗り場があって、水と緑に囲まれた良好でリッチな生活環境が創出されている。



このリゾート地には裕福で定年後の生活をエンジョイする人が多い。この人達は運河のように掘り込んだ水路沿いの住宅で生活している。



なぜ、運河のまちになったかという、昔は湿地帯で土地がなく、運河を開掘したその土でかさ上げして土地を造ったということらしい。



運河沿いに家があり、運河に面しては各戸がボートとボート乗り場を持っている。

#### 4) 防災空間としての河川の整備

過密化する都市部にあっては、災害時の避難場所、避難道路、物資輸送路、延焼の緩衝帯等の空間として河川の持つ広大なオープンスペースの重要性は、今後ますます増加していくものと思われる。通常時の利用に加えて災害時の利用も可能な整備が重要である。

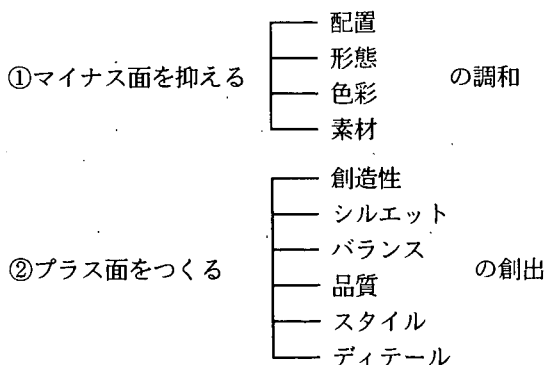
## 2.4 景観の整備

景観整備は、その河川の持つ治水上の役割りおよび計画対象地の持つ景観の特色を十分に尊重して行う必要がある。整備の方向としては河川構造物の計画対象地への影響から考えて大きくわけて①マイナス面を抑える②プラス面をつくるの2つの方向が考えられる。計画対象地が持つ景観価値の程度から整備の方向を整備すると概ね表-2.4の通りであるが、いずれにしても対象地の景観の特色を十分に把握することが景観整備への第一歩である。

表-2.4.1 計画対象地の景観価値と整備の方向

| ケース                             | 整備の方向                                                                    |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 計画対象地に景観価値あり<br>(自然公園、歴史的町並みなど) | 対象地に景観的に従属すべし<br>↓<br>マイナス面をできるだけ抑える                                     |
| 計画対象地の景観価値普通<br>(最も一般的)         | ・主対象と調和させる<br>↓<br>マイナス面を抑える<br>・主対象とのコントラストによる新テーマをつくる<br>↓<br>プラス面をつくる |
| ・計画対象地の景観価値なし<br>(つまらないところ)     | ・新たな景観テーマをつくる<br>↓<br>プラス面をつくる                                           |

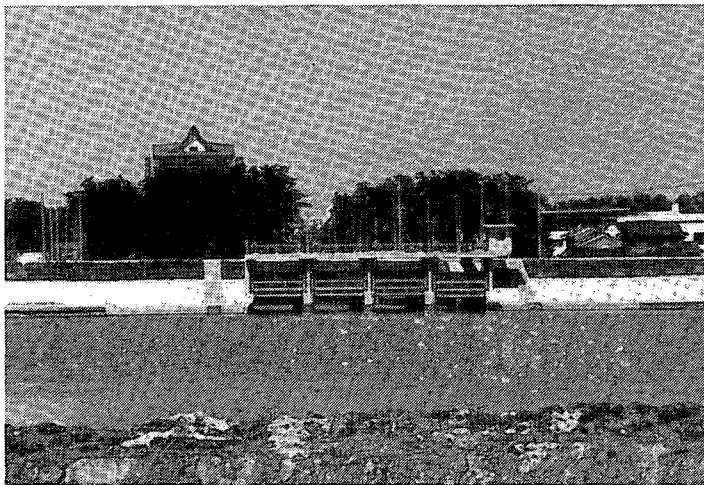
対象地の景観特性が明らかとなり、その整備方向が定まれば、景観整備に際しての留意点が自ずと明らかになってくる。河川構造物の景観設計を行う場合には、一般的には次のような点に配慮すれば良い。①のマイナス面を抑える事項については多くの事例があるが、②のプラス面については事例が少なくここでは①を中心に概説する。ただし治水上の制約等で以下にあげる全ての配慮事項が実現可能なわけではないことを付記しておく。



# 1) マイナス面を抑える場合の考え方

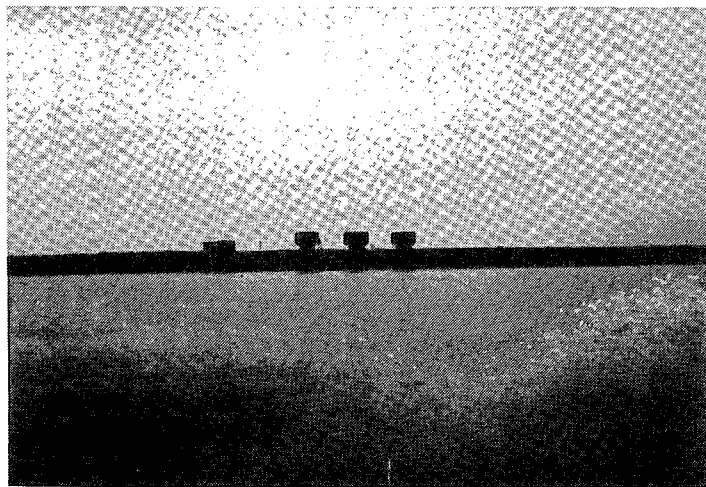
## ①配置

可能であれば周囲に適切な空間がとられているか、周囲の広さに合ったスケールを持っているかなどに配慮し、配置による調和を図る。



写真－2.4.1

空間性：背景が市街地景観の場合であっても、水門の背後に樹木が植えられ、建築群との間に緩衝帯が形成されると違和感がなくなっている事例である。

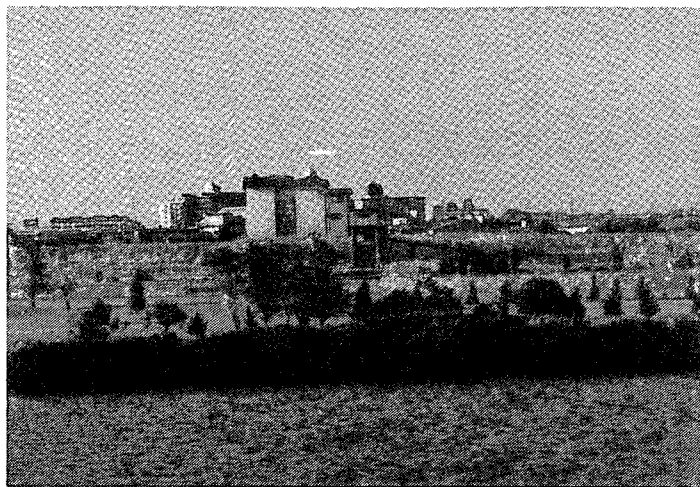


写真－2.4.2

スケール感：河口周辺のような茫然とした広がりのある場所では、大柄な水門でも風景となり得る。

## ②形態

立地する位置の周辺の地形や土地利用を考慮しこれと調和するよう工夫する。また付帯する施設や名称看板についても周囲の景観や建物との調和が保たれるように配慮する。



写真－2.4.3 市街地における機場

背景となる周囲の建築物群に溶け込むようなデザインとなっている。



写真－2.4.4 ヴォールト屋根

外部階段は、マイナス要因となることが多く、この事例では内部化してある。

## ③色彩

周辺景観との明度、彩度との関係に配慮することが望ましい。護岸自体の明度と目立ち度との関係を見ると、護岸の明度が高くなるにつれて目立つ率が高くなる傾向が見られ、護岸の明度60を境に圧倒的に目立ち始める。これは一般に護岸周辺にある植物の明度が低いためである。風景の中で

の「地」と「図」の分岐点はおおよそ明度に関しては60前後となっている。

表-2.4.2 明度と護岸の目立ち方

|         |                |    |    |    |    |         |    |    |    |    |     |
|---------|----------------|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|-----|
| 護岸の目立ち方 | 明度が高くなるにつれて目立つ |    |    |    |    | 圧倒的に目立つ |    |    |    |    |     |
| 明度      | 0              | 10 | 20 | 30 | 40 | 50      | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |

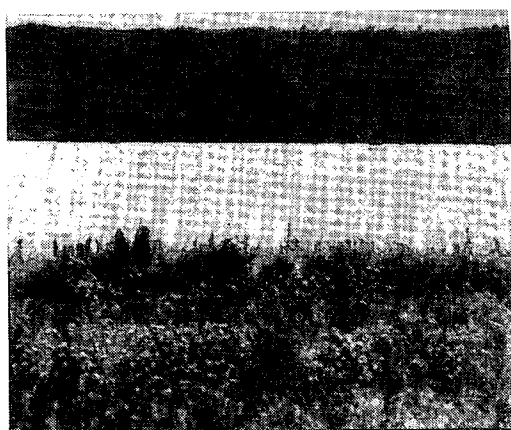


写真-2.4.5 明度85

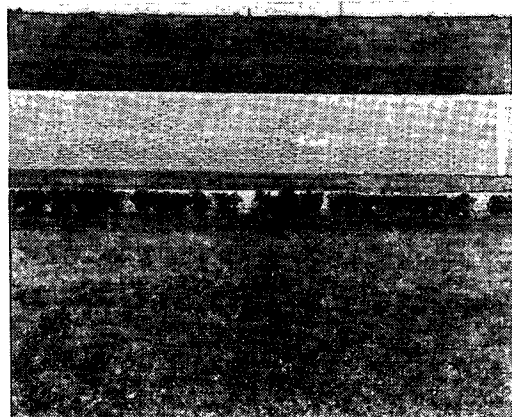


写真-2.4.6 明度63

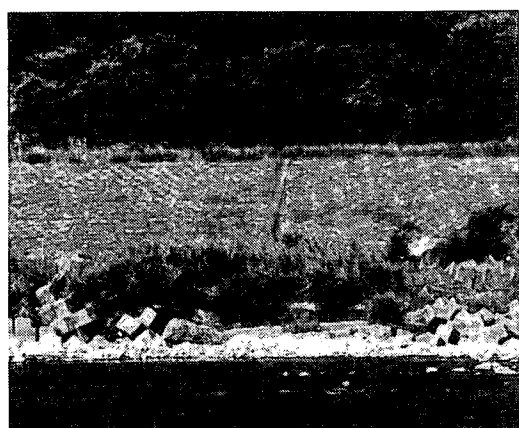


写真-2.4.7 明度51



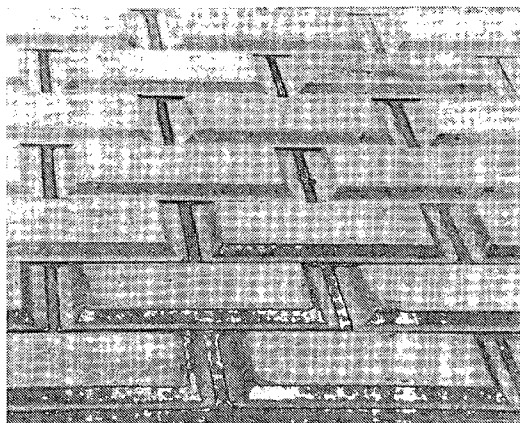
写真-2.4.8 明度44

#### ④素材

素材1個1個が判別でききる近距離内では、材質感が見え方に大きな影響を与える。周囲の風景になじませるためには自然石を採用することができれば有効である。一般にコンクリート素材の問題点は、均一で単調な見え方をする点であり、自然界の中では均一で一様なものは存在しないことから、周囲と馴染むことが困難となっている。コンクリート素材も表面処理や色彩等に配慮すれば、自然石の良さに近づけることが可能である。

表－2.4.3 素材としてのコンクリートと自然石の比較

| 要因     | コンクリート   |              | 自然石<br>(割れ玉) |
|--------|----------|--------------|--------------|
|        | 現場打ち     | ブロック         |              |
| 表面の状況  | 平滑で均一    | 凸型、凹型の変化はある  | 凸凹で変化がある     |
| 明 度    | 高 い      | 凹凸による陰影でやや低い | 低 い          |
| 色      | 白っぽく一定   |              | 多様な色で変化に富む   |
| 入手の容易さ | 手に入りやすい  |              | 産地により限定される   |
| 施 工    | 一定の基準による |              | 技術が必要        |



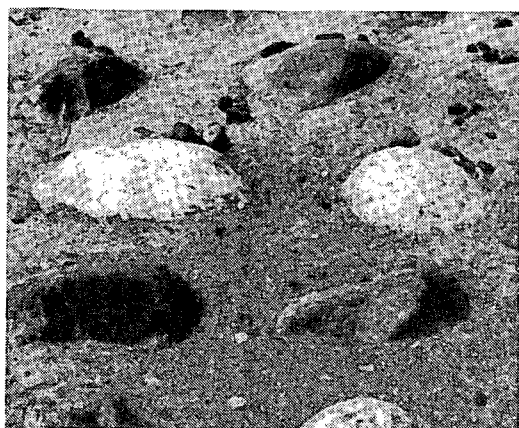
写真－2.4.9

コンクリートブロック：距離10m



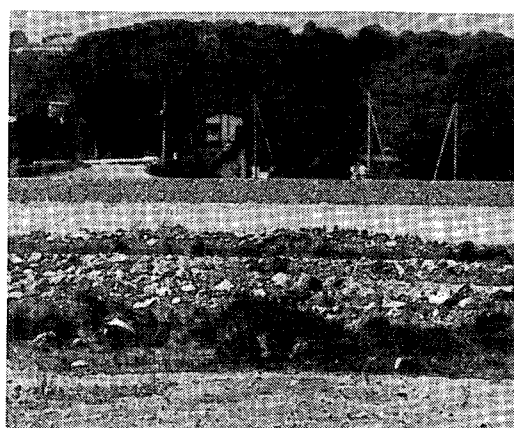
写真－2.4.10

コンクリートブロック：距離300m



写真－2.4.11

自然石：距離10m



写真－2.4.12

自然石：距離300m

## 2) マイナス面を抑えた事例

### ①北上川，盛岡市

材木町護岸と呼ばれる石積みは，歴史的・景観的価値が高いとして，市の保存建造物に指定されている。色彩，素材の調和に配慮した低水護岸



## ②宮川, 愛媛県

改修区間に神社があり, 橋梁は石造りの太鼓橋となっている。改修に際しては橋梁の表面は石張りとし, 護岸も石積みとして形態, 素材の調和を図っている。



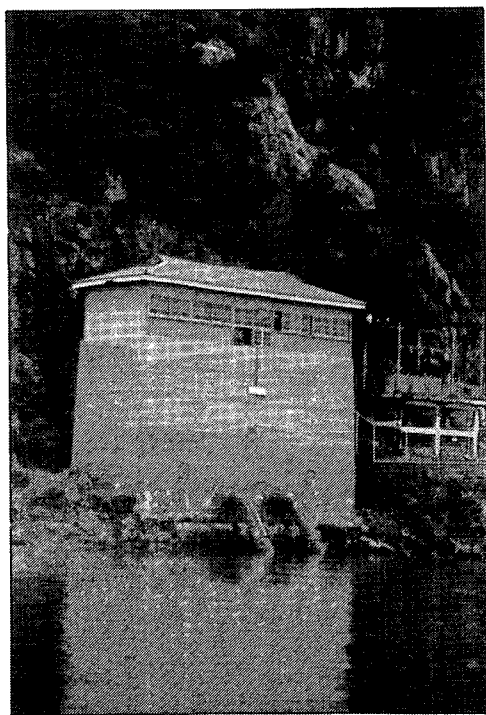
a) 改修前の橋梁と護岸



b) 改修後の橋梁と護岸

## ③錦江, 韓国

紅葉の美しい溪谷に設けられたポンプ場。建屋の上に屋根を設け, 外壁に彩色することにより, 周辺景観との調和を図っている。



#### ④巴波川, 栃木

巴波川周辺は蔵の町といわれ、蔵等歴史的な建造物が残っている。町のイメージアップをねらって、昔の写真を参考にして当時の川を模した護岸、柵、根継ぎ等がデザインされた。水が汚いのが難点。



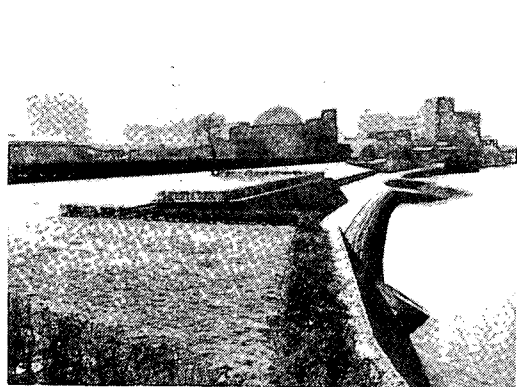
#### 3) プラス面を造った事例

##### ①太田川, 広島

基町地区は平和公園、中央公園、都市業務地区に接する市の重要な位置を占め、景観および親水性の演出が強く要請された。太田川全体のイメージアップ、広島城を景観テーマに取り込んだ個性的空間の創出性をねらって、親水性、現護岸の石の再利用、水制工の保存再生等も勘案してデザインされた護岸。



(a) 改修前の状況 (北村真一撮影)



(b) 空梢橋から下流左岸 (1980年3月竣工, 北村真一撮影)

## 2.5 親水活動を促進するための整備

本節では、河川における親水活動を整理し、親水活動の現状やより親しみやすい河川を創造するための試みの事例を紹介する。また、環境護岸を整理し、水理的に合理的な階段護岸の設置手法について最近の研究成果を報告する。

### 1) 人間活動と河川への接し方

古来より稲作を中心とした農耕社会を基盤に発展を遂げた我が国においては、信仰活動、生活活動、生業活動、社会活動、創作活動、教育活動、レクリエーション活動など、人々の暮らしと水・川とが広く深く関わってきており、全国各地に独特で多様な水文化を形成してきた。近代にいたり、工業化、都市化など社会経済機構の急速な変化に伴い、河川における人間活動の目的、内容も変遷し、舟運・信仰活動・生活活動が衰え、社会活動やレクリエーション活動が盛んになっている。

表 は河川における人間活動を活動目的ごとに整理したものである。

また、茨城県那珂川の砂州付近の実態調査から、水深、流速によって幼児、小学生、大人で利用の空間分布が異なることがわかる（図-2.5.1）。

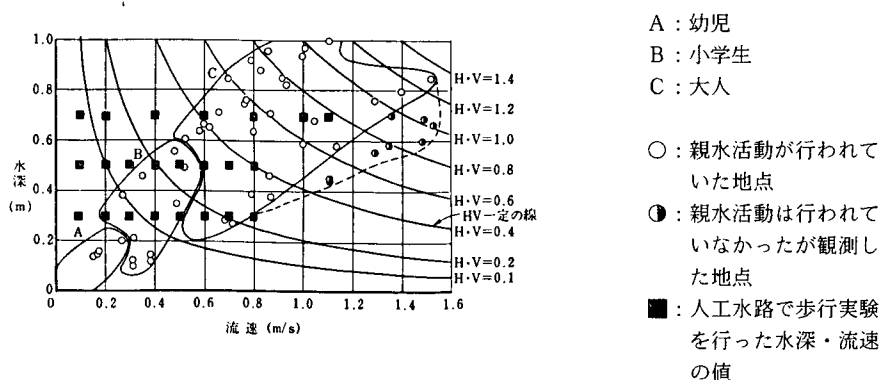
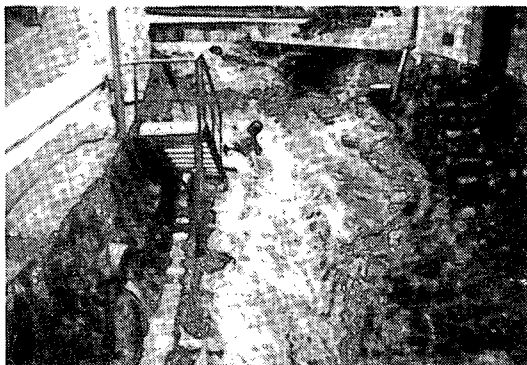


図-2.5.1 水深、流速と親水活動の関連性

表-2.5.1 人間活動と河川への接し方

| 活動場所<br>河川への<br>接し方 |        | 陸 上 部     |    |    |          |    |                | 流 水 部       |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|---------------------|--------|-----------|----|----|----------|----|----------------|-------------|---------------------|--------------------|-----|------------|----|----|-----|---|---|
|                     |        | 水に<br>近づく | 見る | 採る | 運動<br>する | 遊ぶ | 催し<br>物を行<br>う | (野菜・<br>養魚) | (育てる<br>水・魚・<br>貝等) | (育てる<br>草花・<br>魚等) | ふれる | (人・<br>舟等) | 見る | 運ぶ | 貯める |   |   |
| 活動目的                |        | 活 動       |    |    |          |    |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
| 信仰                  | 蟻螂流し   | ○         | ○  |    |          |    | ○              |             |                     |                    |     | ○          |    |    | ○   |   |   |
|                     | 流しびな   | ○         | ○  |    |          |    |                |             |                     |                    | ○   |            |    |    | ○   |   |   |
|                     | 川せがき   | ○         | ○  |    |          |    |                |             |                     |                    | ○   |            |    |    | ○   |   |   |
|                     | 水神祭    | ○         | ○  |    |          |    | ○              |             |                     |                    | ○   | ○          |    |    | ○   |   |   |
|                     | 七夕     | ○         | ○  |    |          |    | ○              |             |                     |                    | ○   | ○          |    |    | ○   |   |   |
|                     | どんど焼き  |           |    |    |          |    | ○              |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
| 生活                  | 芋煮会    | ○         | ○  |    |          |    | ○              |             |                     |                    | ○   |            |    |    |     |   |   |
|                     | 水洗い    | ○         |    |    |          |    |                |             |                     |                    | ○   | ○          |    |    |     |   |   |
|                     | 家庭菜園   | ○         |    |    |          |    |                | ○           | ○                   |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | 農耕地    | ○         |    |    |          |    |                | ○           | ○                   |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | 牧草地    | ○         |    |    |          |    |                | ○           | ○                   |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | 漁労     | ○         |    |    |          |    |                | ○           | ○                   |                    |     |            | ○  |    |     |   |   |
| 産業                  | 工芸     | 染色（友禅流し）  | ○  |    |          |    |                |             |                     |                    |     |            | ○  |    |     |   |   |
|                     | 運輸     | 舟運        | ○  |    |          |    |                |             |                     |                    |     |            | ○  |    |     | ○ |   |
|                     |        | いかだ流し     | ○  |    |          |    |                |             |                     |                    |     |            | ○  |    |     | ○ |   |
|                     |        | 貯木        | ○  |    |          |    |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   | ○ |
|                     | 観光     | 舟下り       | ○  |    |          |    |                |             |                     |                    |     |            | ○  | ○  |     | ○ |   |
|                     |        | 渡し        | ○  |    |          |    |                |             |                     |                    |     |            | ○  | ○  |     | ○ |   |
|                     |        | 鵜飼        | ○  | ○  |          |    |                |             |                     | ○                  |     |            | ○  |    |     | ○ |   |
| スポーツ                | 水泳     | ○         |    |    | ○        |    |                |             | ○                   |                    |     | ○          |    |    |     |   |   |
|                     | ボート    | ○         |    |    |          |    |                |             |                     |                    |     | ○          | ○  |    | ○   |   |   |
|                     | 野球     |           |    |    | ○        |    |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | サッカー   |           |    |    | ○        |    |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | ラグビー   |           |    |    | ○        |    |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | バレーボール |           |    |    | ○        |    |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | テニス    |           |    |    | ○        |    |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | ゲートボール |           |    |    | ○        |    |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | ゴルフ    |           |    |    | ○        |    |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
| レクリエーション            | 魚とり    | ○         |    |    |          |    |                |             | ○                   |                    | ○   | ○          |    |    |     |   |   |
|                     | 魚釣り    | ○         |    |    |          |    |                |             | ○                   |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | 水遊び    | ○         |    |    |          | ○  |                |             |                     |                    | ○   | ○          |    |    |     |   |   |
|                     | どろんこ遊び | ○         |    |    |          | ○  |                |             |                     |                    | ○   | ○          |    |    |     |   |   |
|                     | ピクニック  |           | ○  |    |          | ○  |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | キャンプ   | ○         | ○  |    |          |    |                |             | ○                   |                    | ○   |            |    |    |     |   |   |
|                     | スポーツ観戦 |           | ○  |    |          |    |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | 凧あげ    |           |    |    |          | ○  |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | 花火     |           | ○  |    |          |    | ○              |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | 野草つみ   |           |    | ○  |          |    |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | 昆虫採集   |           |    | ○  |          |    |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | 自然鑑賞   |           | ○  |    |          |    |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | 散策     |           | ○  |    | ○        |    |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | ジョギング  |           | ○  |    | ○        |    |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
| レクリエーション            | サイクリング |           | ○  |    | ○        |    |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |
|                     | ドライブ   |           | ○  |    |          |    |                |             |                     |                    |     |            |    |    |     |   |   |

・川と人々との係わり方の事例

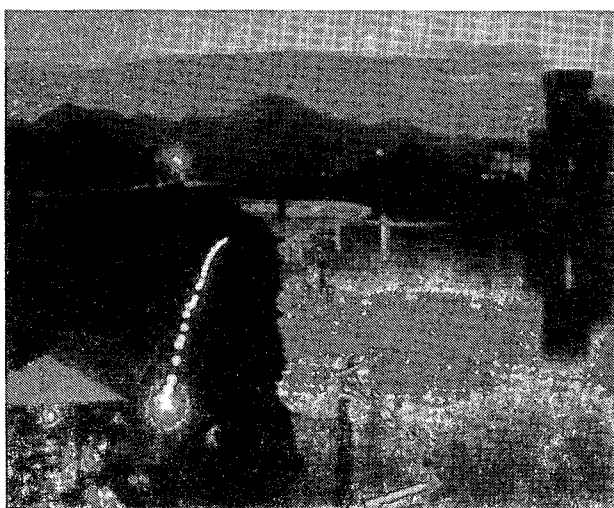


洗濯（郡上八幡）雑排水専用の水路を流れる。



別当川で川めしを食する。

・まつり



灯ろう流し（丸子川）



宵まつり 写真：津島市提供  
津島市天王まつり

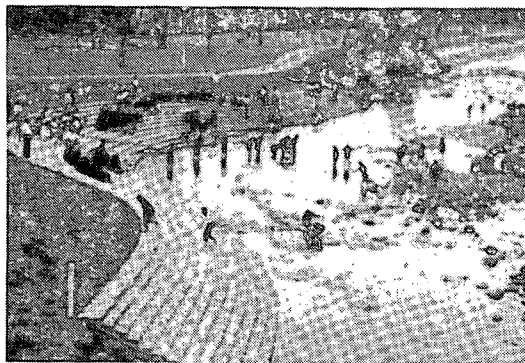


川渡り神輿祭  
出典 「ふくおか」 福岡県

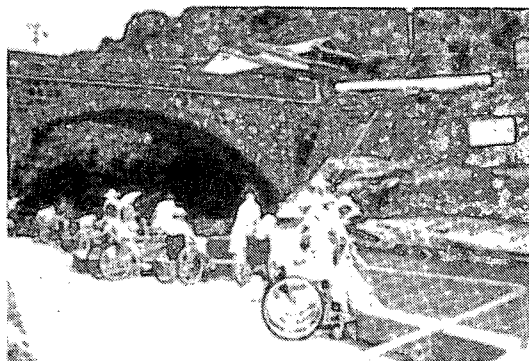
## 2) 親水施設の例

事例：河川との触れあいを増すための階段工，川に近づける工夫，せせらぎなどの施設作りが行われている。

- ・厚寒別川 自然石を使って階段工を施工し，河川との触れあいをます。



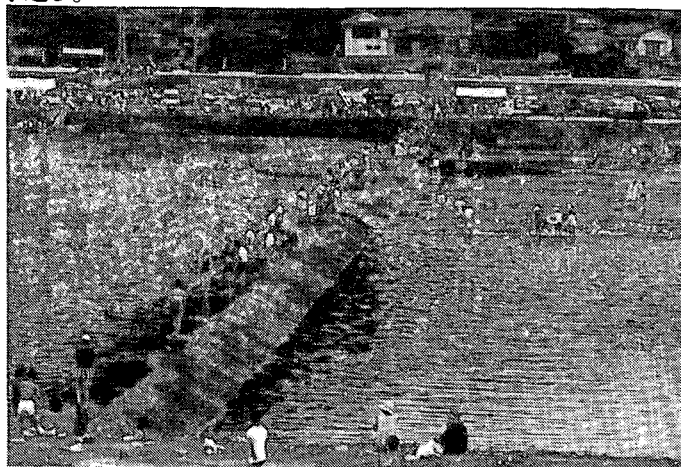
- ・佐々川 体の不自由な人やお年寄も川にづけるように整備されている。



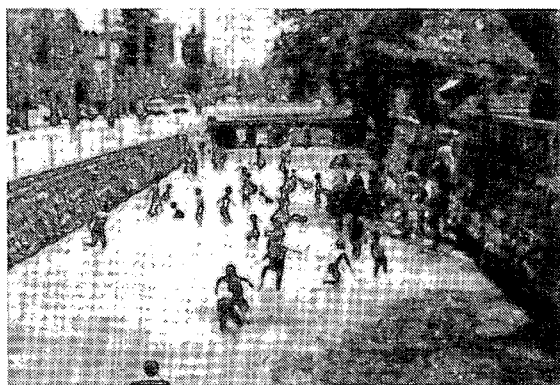
- ・千代川の流しびな護岸。



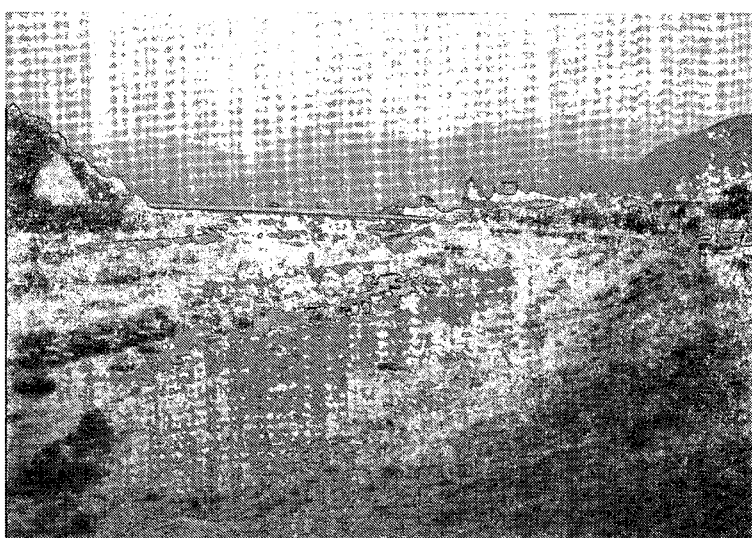
番匠川床止めでの水遊び。



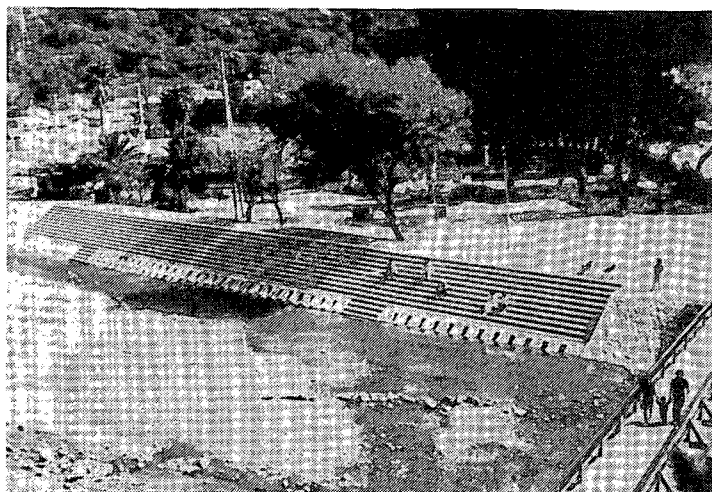
多布施川階段工付近の水遊び。



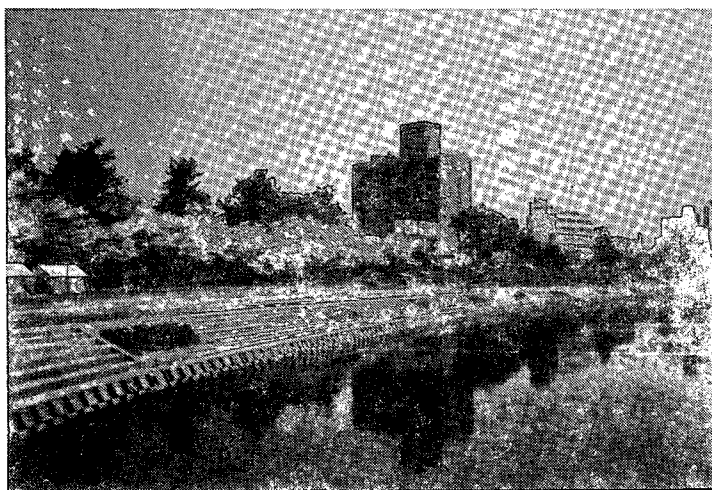
・山形県馬見ヶ崎川の例である。本川とは別に親水水路を自然的に整備している。よく人が集まる  
ところである。



- ・静岡県山川の階段護岸である。公園と隣接している。



- ・愛知県乙川の護岸で、階段護岸、魚巢ブロック、法枠植栽が組合っている。



### 3) 環境護岸の分類

環境護岸は図-2.5.2のように分類される。

親水・河川利用護岸とは、河川に触れたり近づきやすくなるよう護岸を階段状に切り下げたり、法面が緩勾配になっている護岸をいう。階段護岸はもっとも代表的な環境護岸であり、施工例もきわめて多い。これには高水護岸として観覧席護岸と称するものや、低水護岸として船着き場を兼ねたものも含まれる。緩勾配護岸はおおむね5割勾配以上と考えてよい。流しびなを行いやしくしたもの等がある。この他、テラスを設けたテラス護岸もここに含まれる。

生態系保全護岸のうち魚類保全護岸とは、現状ではほとんど魚巢ブロックのことと考えられる。魚巢ブロックは階段護岸と併用して設置されることも多い。魚類以外の保全を目的としたものには、ホタル保全護岸や植生保全護岸、野鳥保全護岸がある。

景観保全護岸のうち緑化護岸はブロック自体あるいは法枠工の一部に植物が生えるように工夫されたものである。修景護岸には自然石を用いたもの、鉄平石をはったもの、カラーブロックやタイルを用いたもの等がある。

ちなみに、環境護岸以外の環境施設として、じゃぶじゃぶ池、親水水路、河川プールやマリーナ等が挙げられる。

また、伝統的な法覆工のひとつである蛇籠工法は、鉄線の腐蝕や石材・石工の不足等の問題はあ  
るが、生態系の保全や景観にとってはおおむね良好で、環境機能が高いと再認識されている。一種  
の環境護岸として今後注目されるであろう。

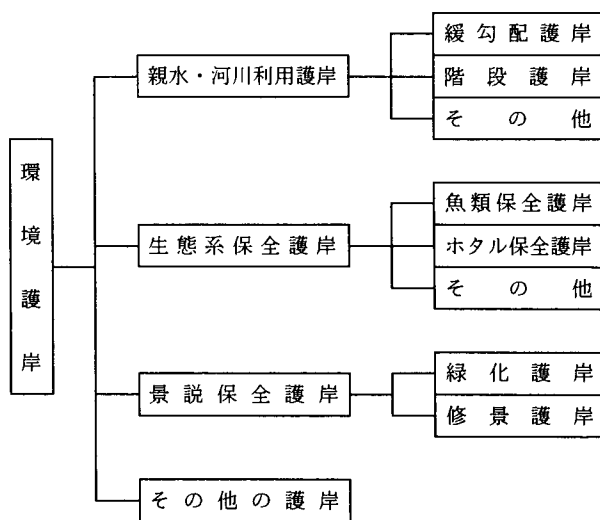


図-2.5.2 環境護岸の分類

#### 4) 水理的に合理的な階段護岸の設計の考え方

##### (1) 階段護岸の水理的問題点

景観や親水性に配慮した階段護岸をスポット的に配置すると、流量が大きい洪水時には局所的に水位が上昇したり、流れの中にはくりや渦が生じる場合がある。水理的問題点は次の3つに集約される。

- ①流れの局所的変化に伴う階段部の水位上昇に対して安全かどうか
- ②階段部の損失増加による上流の水位上昇に対して安全かどうか
- ③底面せん断力の変化による局所洗掘・堆積現象に対して安全かどうか

以下、水理学的にこれらの現象を説明する。なお、ここでは階段護岸は比較的規模の小さい河川に設置される場合を考えている。

##### イ) 階段部の水位上昇

図-2.5.4は直線水路の一部に「入隅」型に階段護岸を設置した場合の流況、水位縦断およびエネルギー水頭の模式図である。このような階段形状では、急拡、急縮部ではそれぞれはくり域が形成される。はくり域の渦によりエネルギーが損失され、その分水位は上がる。

階段部分では、急縮部のせきあげおよび損失に加え、断面積が増大することにより平均流速が小さくなり、速度水頭が減少し、水位が上昇する。この現象は比エネルギー

$$E = h + u^2 / 2g$$

$h$  : 水深,  $u$  :  $x$  方向の平均流速

が一定であるとすれば、流速が小さくなるとそれを補うために水位が上昇するということで理解できる。

##### ロ) 階段部の上流の水位上昇

急拡、急縮部の損失に加え、階段部の摩擦損失水頭も考慮しなければならない。この両者から階段部の上流側の水位も高くなるのが一般的である。

一般に、底面摩擦による損失は次式で表わされ、径深が小さいほど、水頭損失は大きくなる。

$$dh_L / dx = n^2 \cdot u^2 / R^{4/3}$$

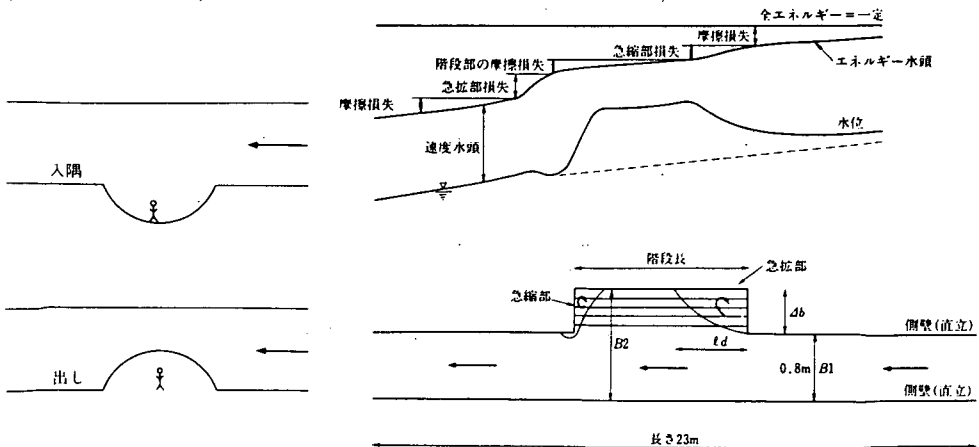


図-2.5.3 「入隅」と「出し」の概念図

図-2.5.4 一般的な階段護岸

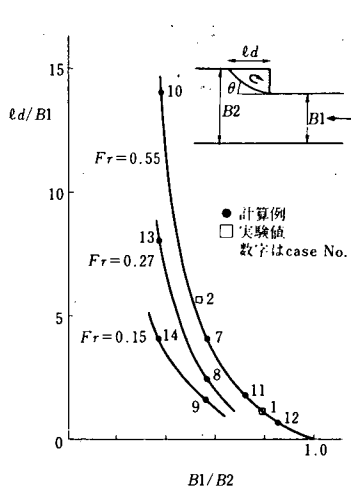


図-2.5.5 はくり域の大きさ  $\ell d / B1$  と  
水表面の拡大率  $B1 / B2$  関係

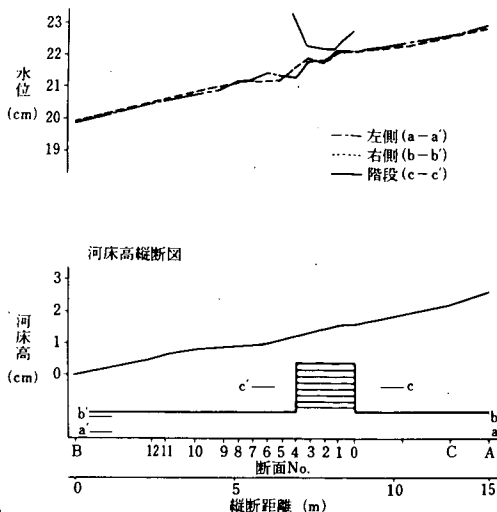


図-2.5.6 水位縦断面図 (実験ケース3)

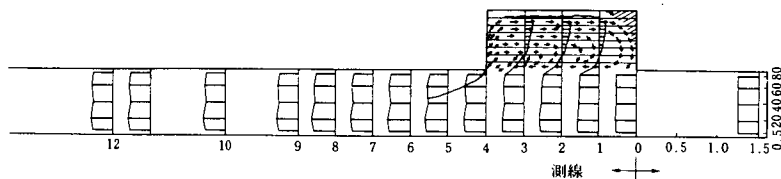


図-2.5.7 流況図 (実験ケース7)

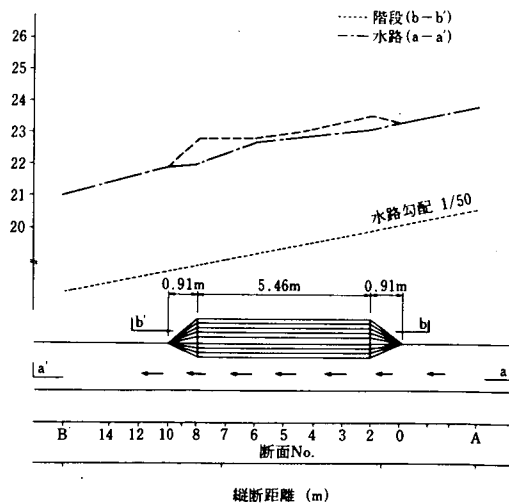


図-2.5.8 水位縦断面図 (実験ケース4)

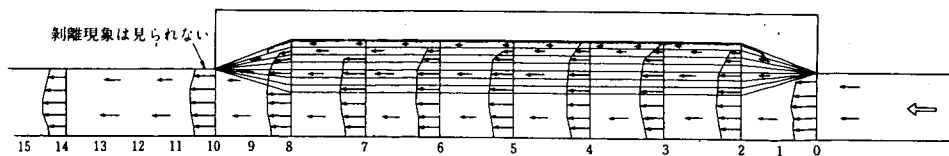


図-2.5.9 流況図 (実験ケース4)

ここに $h_L$ は水頭損失、 $n$ はマンニングの粗度係数、 $R$ は径深である。階段部で粗度や径深が矩形断面と異なるので底面摩擦の変化は複雑となり、一概に階段護岸部で摩擦損失が大きいとは限らないが、摩擦損失の大きい区間が長く続く場合には上流部の水位上昇量は大きくなる。

一般に、急拡・急縮部の形状損失と底面の摩擦損失で失うエネルギーは、上流で水位を増すことによって補われ、階段部上流側ではこれら損失から水位は上昇する。

#### ハ) 局所洗掘・堆積現象

階段護岸の位置により、平均流速や水深が変わると底面せん断力も変化する。底面せん断力 $\tau$ は、次式で表わされる。

$$\tau = g n^2 \cdot u^2 / h^{1/3}$$

水深が小さく流速が大きいところでは、局所的に $\tau$ が大きくなり局所洗掘や深掘れなどの現象を生じることになる。また、水位が上がって平均流速の小さい所では、せん断力も小さくなり堆積傾向となる。

なお、流線が曲がることにより生じる二次流についても砂移動現象は起こる。階段護岸を設置することで生じる余分な河床変動は避けなければならない。

階段護岸を設置する際には、以上の水理現象等を検討し、問題点を解決するべく合理的な設計手法をとらねばならない。

### (2) 合理的な階段護岸の検討

#### イ) 一般的な階段護岸

基本的な「入隅」型の階段護岸を設置した場合の水位縦断面図、流況図は図-2.5.4に示した。

急拡部のはくり域は大きく、大きな渦を一つ描く。一方急縮部のはくり域は小さいがそこではせき上げが生じ、急縮部出口右岸側で水位が落ち込む。

階段部では速度水頭が5～7割減少し、階段のない区間の水深の1割2割程度水位が上昇する。また、階段の上流は階段部の損失を補うよう下流側に比べ水位が高い。

#### ロ) 急拡部のはくり現象

急拡部のはくり域の大きさは、流れの水理量や幾何形状により異なる。実験および計算結果から、はくり域の大きさを表す $l_d/B_1$ と水表面の拡大率 $B_1/B_2$ の関係を描くと図-2.5.5の通りとなる。

#### ハ) 合理的な設置手法の基本的考え方

現地に階段護岸を設置する際には、階段部と階段の上流部のどちらが水位に余裕があるか、局所洗掘等の河床変動はどうなるか、建設用地はどの程度あるのか等について総合的に検討して最適な護岸構造とする必要がある。

階段護岸の位置に伴う水理的な弱点を抑える基本的な対策をまとめると次の通りである。

- ・階段護岸長を一渦がはいるよう短く作る。一渦の大きさは階段護岸の水面幅、フルード数等の関数になり、階段護岸長は一渦の長さ $l_d$ の $1/2 \sim 3/4$ 程度が良い(図-2.5.6, 図-2.5.7)。

- ・はくりを抑え、局所的な水頭損失を小さくするよう適切な「すりつけ」を施し、渦の発生を可

能性を小さくする。このとき「すりつけ」や無理のない「曲がり」とすることで洗掘・堆積現象をある程度緩和できる。

- ・断面積の増減による平均流速の変化と径深の変化の兼ね合いを考慮し、平均流速や径深を縦断方向にあまり変えずに階段護岸を設置する（図-2.5.8～9）。この際、水位縦断を事前に予測する必要がある。

なお、一般的な階段護岸も川幅が大きいと局所的な水位上昇等の水理的弱点は相対的に小さくなる。径深の大きい階段部が長い場合には摩擦損失が小さくなるので、かえって階段上流部の水位上昇を抑えることにもなり、適応可能性は十分にある。

## 2.6 多自然型河川の整備

河川空間は都市内の数少ない自然的な空間であり、空間の質の多様性、多素材、多孔質、変化に富むなど多様な環境を有する多自然の河川は、多くの生物が生息できる空間である。

ところが治水・利水の必要上から河川の多様な空間が均一化・単純化する方向へと変わる場合がある。単一化・均一化した環境になじむ生物もいるが、従来の環境に適応してきた生物の多くは単純化された環境は好まない。ここでは単純化された空間を多様性のある空間、つまり多自然型の空間を創出した事例を紹介する。ただし、ここで紹介する事例は内外で実施・検討されているものであるが、治水、利水との整合を図りながら、多自然型の河川をいかにして創造していくかは、今後の研究課題であり、当所で鋭意研究中である。

### 事例1 水制により河岸空間に変化を創った例

水制に土砂が付き、滞水域（ワンド）が形成された空間に生物が生息する。

木曾川



## 事例２ 直線水路に瀬・淵を作り多様な空間とした例

直線区間に段差を作り流れに変化を持たせるとともに、淵には魚巢ブロックを設置し河岸に空間を作る。魚巢ブロックは、魚類の生活場所・隠れ場所となる。

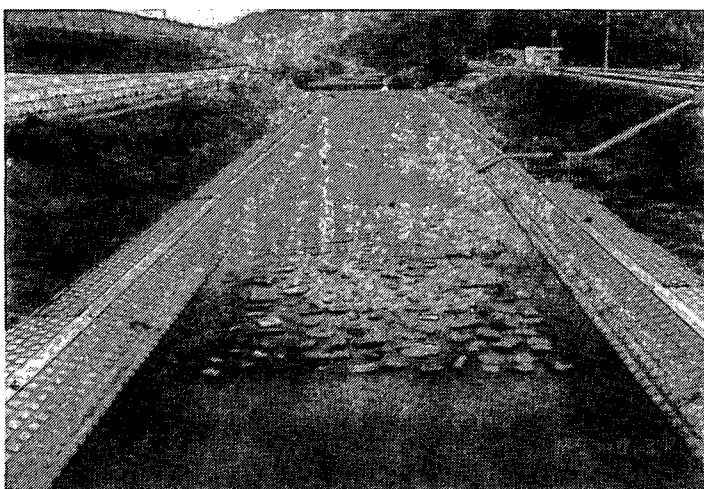
長野県農具川



## 事例３ 直線水路に巨石を投入した例

直線水路で一様化した流れに変化を持たせるため、巨石を投入したものである。平瀬化した河床が淵の機能も持つようになり、付着藻類も多くなったため、アユの生育が良くなった。

茨城県花園川



#### 事例4 ホタルが育つ空間を作った例

河川改修の際、ホタルの保全を目的とした整備を行なった。ホタルの生育に必要な土、植物、餌を取り込んで整備したため、ホタルが自棲するようになった。

山口県一の坂川



#### 事例5 河岸にStone gabion をおいた例（イギリス）

河岸に置かれたStone gabion は、それ自体が魚類などの生物の生活空間となるだけでなく、流れに変化を持たす機能も期待している。

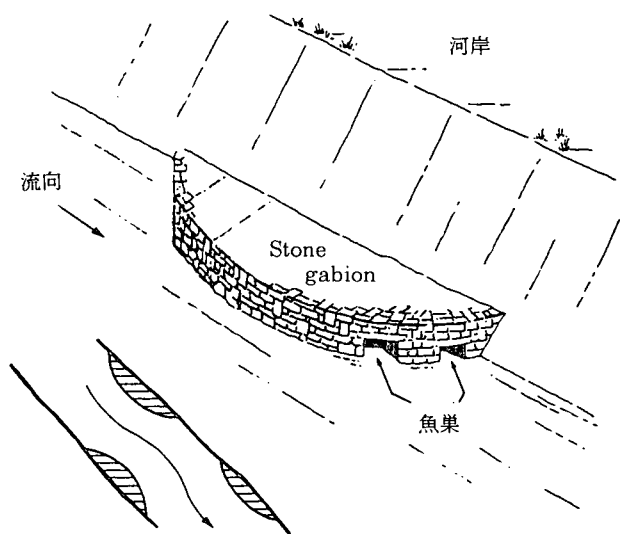
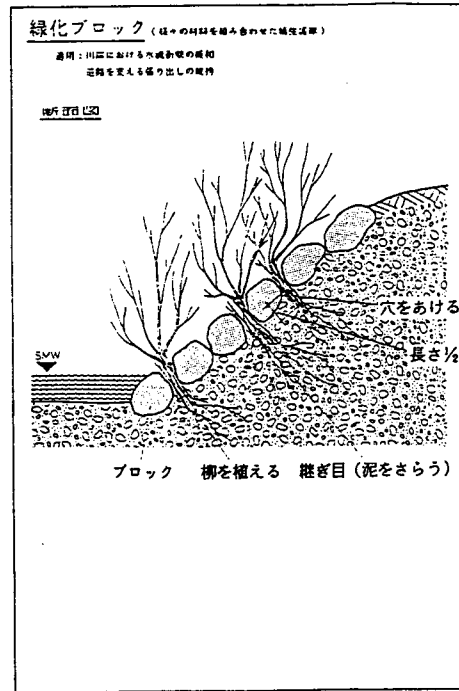


図-2.6.1 Stone gabion により流れに変化を持たせる

(出典：Habitat Modification and Freshwater Fisheries,  
Jons S Alabaster, Butterworth)

### 事例6 河岸に柳を植えた例

河岸に植生を施すことで、魚類にとっては仔稚魚の生活空間、隠れ場所となり、河岸を利用する水生昆虫が生育できる。



### 事例7 流路の蛇行・死水域を作った例

直線水路で流れ、河床が一様であったものを、流水を蛇行させ巨石を投入し、変化を持たせる。さらには死水域で多様な流れを作ったものである。これにより、さまざまな流速、水深、河床材料を好む生物が生息するようになる。

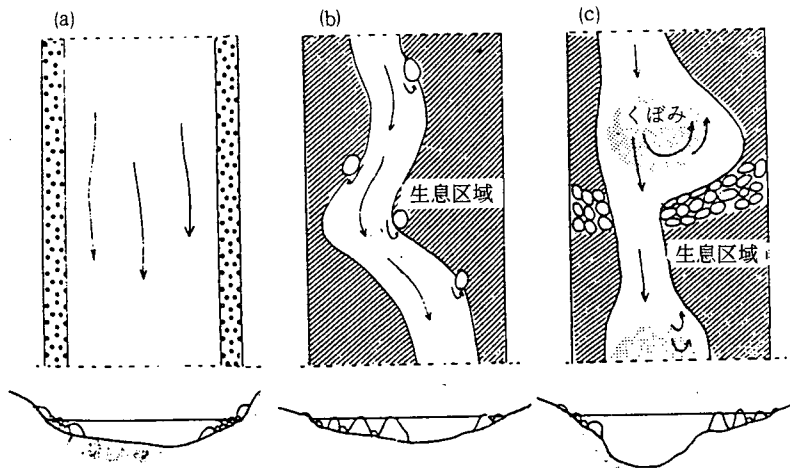


図-2.6.2 水路形態図 (a) 修復前のでこぼこのない状態, (b) 生息のための改修, (c) 保護とスポーツフィッシングのための修復, 矢印は流向を示している  
(出典: The Restoration of Rivers and Streams, James A. Gore, Butterworth)

## 2.7 歴史的構造物

水辺空間の構成要素の一つに、河川内あるいは河川周辺に現存する歴史的な構造物が挙げられる。歴史的な構造物とは近世以前から大正・昭和前期頃までに建造された水門、堰、閘門、堀、水制、橋梁等である。

人々は太古から川とともに生活し川の水を利用するとともに、水を治めることを試みてきた。川そのものが生活に密着したものである。ゆえに、川に構造物を設置する場合には、治水・利水の機能の確保とともに、美観・景観にも重点がおかれていた事例もみられるに違いない。少なくとも大正時代まではそうであったと言われている。それらの構造物はその時代の要請とともに建造され、その当時の人々の英知を集約したものであろう。それらの構造物の機能・工夫・素材等は現代まで引き継がれているものも多い。たとえば、構造物の素材は主に石、木材、レンガ等があったが、昨今古い素材の復活、あるいは類似した素材の開発が叫ばれているほどである。

これに対し、歴史的な構造物あるいは伝統的な治水工法は現代の河川整備にそぐわないものもある。しかしながら、長い年月を経て現在までなお残されている構造物は数多くの建造されたものの中から自然に選択されたもの、すなわち遺産とも言えるものである。今後の河川環境・河川景観の整備に際し、古い賢いことをたずね求め、そこから新しい知識・見解を学びとる温故知新は非常に重要かつ有効であろう。

### ①豊川の燈明台

豊川の河口前芝村の堤防上に燈明台が建設されたのは寛文8年（1668）のことであった。前年吉田藩主の乗った船が三谷沖で強風にあい、方角がわからなくなり破船した。その状況から燈明台があればこうした災難は避けられたであろうと考えられ、この付近を通る船のため、また港への標識として建設されたのである。

光の届く距離は約9kmにも達した。現在は伊勢湾台風の後、昭和41年（1966）に修理復元されたものであり、愛知県史跡に指定されている。

古めかしさと全体の風景との調和が高く評価されている。歴史的な構造物を保存することは、スポット的な広場あるいはランドマーク、すなわち河川景観にアクセントを与えるものとして有効である。



豊川の燈明台

## ②中島川の眼鏡橋

中島川的眼鏡橋は、1634年（寛永11年）興福寺の中国僧により架設されたといわれ、その後の幾度かの水害に耐え、現在もお長崎市民の生活道路として利用されている。

眼鏡橋は中島川の石橋群の中で代表的な橋であり、その歴史と架設の経緯（中国友好の記念碑的橋）と美しさから、国の重要文化財にも指定されている。

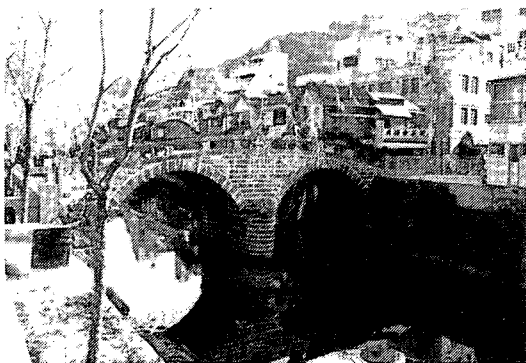
昭和57年の長崎大水害において、一部損壊し、流下能力の阻害要因として、保存について論議されたが、眼鏡橋を慕う長崎市民や県内外の人々の強い要望をうけ、新たに分水路を施工し、流下能力の問題を解決することにより、現位置での復元がなされた。中島川的眼鏡橋のよさは、その形の美しさや歴史的な価値もさることながら、市民の生活の橋としていまなお使われ、市民に愛されていることからでてくるものと思われる。

## ③船頭平閘門

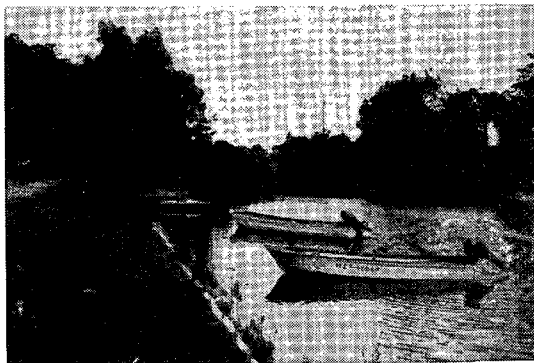
船頭平閘門は、木曾三川の分流工事による物資の輸送の不便さを解決するために1902年に建設されたものである。

現在船頭平閘門は船頭平公園の中に存在する。公園から有名な千本松原や遠くの山々を眺めることができ、また春は桜の名所である他、一年中付近の自然を訪ねる人が多く、格好のレクリエーションの場所となっている。公園内の閘門は美しいレンガ造りであり、流水や周囲の石積み護岸、樹木等と調和し、多くの人が散策にくる場所である。人々は80年も前に造られた閘門を見学して、治水・利水の歴史を学ことができる。

船頭平閘門は周辺の木曾三川に関する歴史的構造物（例えば治水神社・胸像等）と併せた公園整備がなされており、環境的なポテンシャルは高い。木曾川と長良川の接合点、公園内のスポット的広場として人々に利用されるとともに、往時の治水・利水を偲ぶことができ、河川環境整備の中心ともなり得る重要な構造物である。



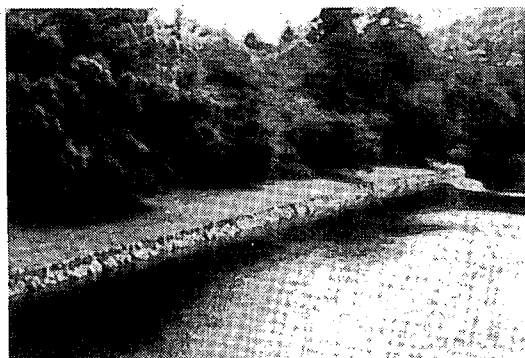
中島川的眼鏡橋



船頭平閘門

#### ④周辺の歴史的情緒と自然的雰囲気との調和を図った例

伊勢神宮の横を流れる河川を、歴史的情緒を損なわないように、また周辺に自然がたくさん残されているため、石積みの護岸とした（五十鈴川）。



五十鈴川 周辺の歴史的情緒と自然的雰囲気との調和が図られている。（三重県）

### 2.8 河岸等の植樹基準（案）について

河川は川と緑が一体となり良好な環境が形成されている。しかし一方で洪水の流路であることに  
より河道の樹木は治水上厳しく管理されている。近年水と緑のオープンスペースとしての水辺の役  
割への期待はより一層高まっており、植樹基準（案）の改訂に対する要望も増大している。平成元  
年4月1日に基準（案）の一部改正が行われ、特に遊水池において阻害ボリュームに相当する代替  
容量を確保すれば、一般の公園並みに高木を密生させることが可能となった。一方特に今回の一部  
改正では、河道の高水敷および湖沼の前浜については、全く手を加えられていない。特に、高水敷  
における植樹については残されている技術的研究課題が多く、今後試行を通じて、洪水時の河川管  
理上の問題等について検討を進め、基準としての確立を図る方針である。

土木研究所においても河川周辺の樹木について3年ほど前より研究中である。図-2.8.1は河  
川周辺の樹木の検討項目について整理したものである。また図-2.8.2は昭和61年8月上旬の台  
風10号出水中における久慈川の流速ベクトル図と倒伏、非倒伏樹木の関係を示した。このような樹  
木における出水後の樹木の状況調査等を行い、今後の改訂に向け技術的な課題について鋭意検討し  
ている。

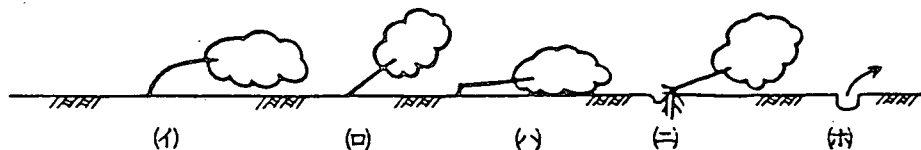


図-2.8.1 樹木の倒伏分類



写真-2.8.1 (イ) しなった状況



写真-2.8.2 (ハ) 幹が折れた状況

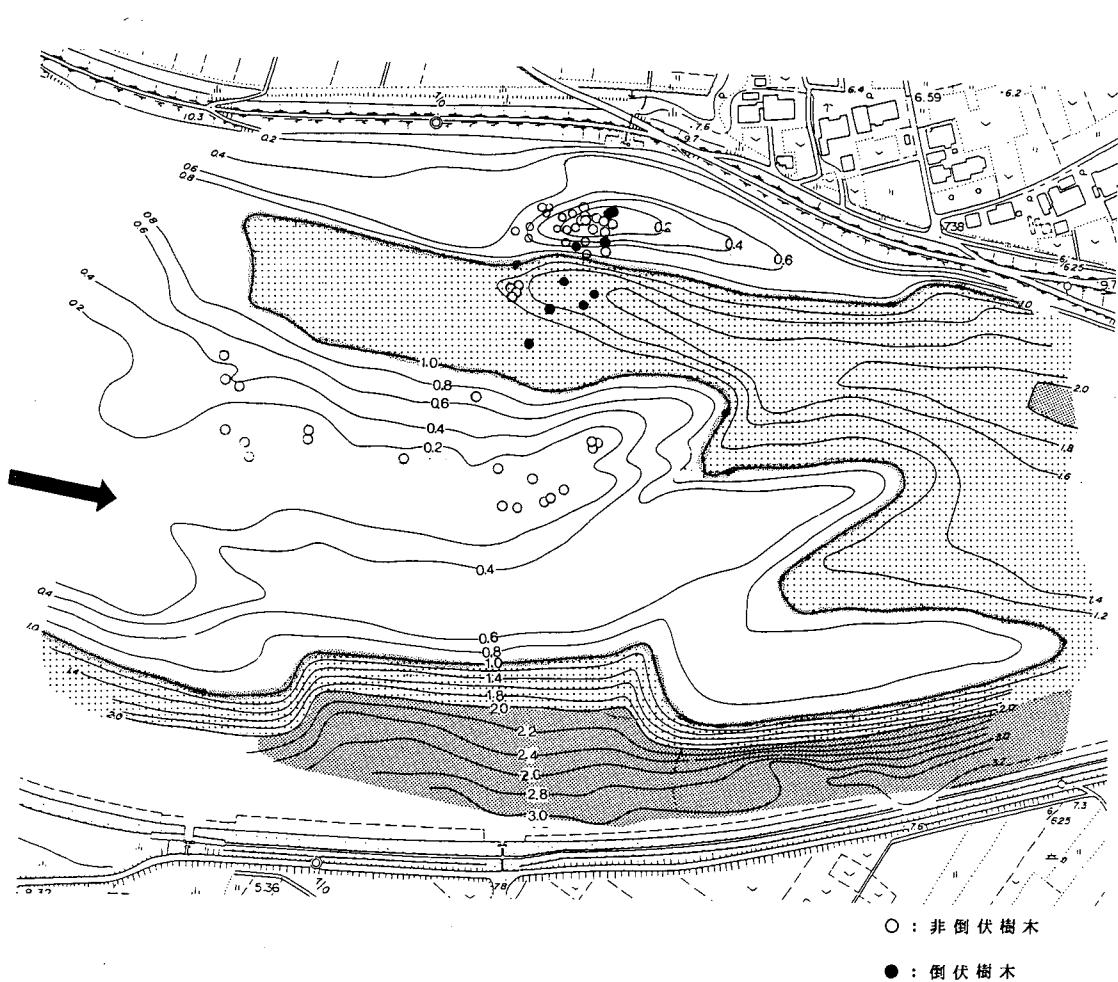


図-2.8.2 等流速線図

### 3. 水環境管理の課題

現在、河川環境管理基本計画は、河川空間環境管理に係わる基本的事項について策定を進めており、策定状況は平成元年3月現在で54河川である。残る一級水系は、ほぼ全て今年度中に策定する予定であり、今後、水環境管理に係わる基本的事項について策定と推進を図る必要がある。特に近年、水需要の増大や河川に排出される汚濁負荷量の増大などに伴い、水量・水質などに少なからぬ問題が発生し、その保全と回復が望まれており、水環境管理の重要性が再確認されているところである。

しかし、水環境管理計画を立案する際、技術的に解決しなければならない課題も多く、平成元年度、2年度の2年間にわたり、建設省河川局河川計画課および土木研究所を中心に「水環境管理に関する研究」が建設省技術研究会の指定課題として設定され鋭意研究中である。

図-3.1に水環境管理計画の一般的な構成を示した。この計画ではまず、水量の見通し、水質の見通しなどを踏まえ水環境の基本構想について述べる。その基本構想のもとで管理目標となる目標水量・目標水質を設定する。次に、改善のための事業の実態、流域において関連のある施策との調整などの項目について述べる。この指定課題の中では管理目標の設定が中心的な課題となっている。

河川砂防技術基準(案)計画編の中で流水の正常な機能を維持するための流量を舟運、漁業、景観、塩害の防止、河口閉塞の防止、河川管理施設の保護、地下水位の維持、動植物の保存、流水の清潔の保持、水利流量などを総合的に考慮して定めると記述してある。これらの中で、従来特に定量化が困難な項目が漁業、景観、動植物の保護の3つである。この3項目は河川環境と直接強い結び付きがある。このうち、漁業と動植物の保護は生態系の保全としてまとめることができる。また近年、河川空間はウォーターフロント、リバーフロント空間として脚光を浴び、今後人々はますます水辺との触れ合いを求めてくるものと思われ、親水活動の観点から水環境を考慮することも重要と思われる。したがって、生態系の保全、景観、親水活動の3つの観点から水量を検討する必要がある。

水質については人の健康及び生活環境を保全する上で、維持されることが望ましい基準として環境基準が設定されている。環境基準の遵守は当然のことであるが、さらに先の3つの観点からの評価も必要となろう。

以上から研究では、生態系の保全、景観および親水活動の3つの項目について、水量及び水質の管理目標設定を目的とした検討を主として行っている。

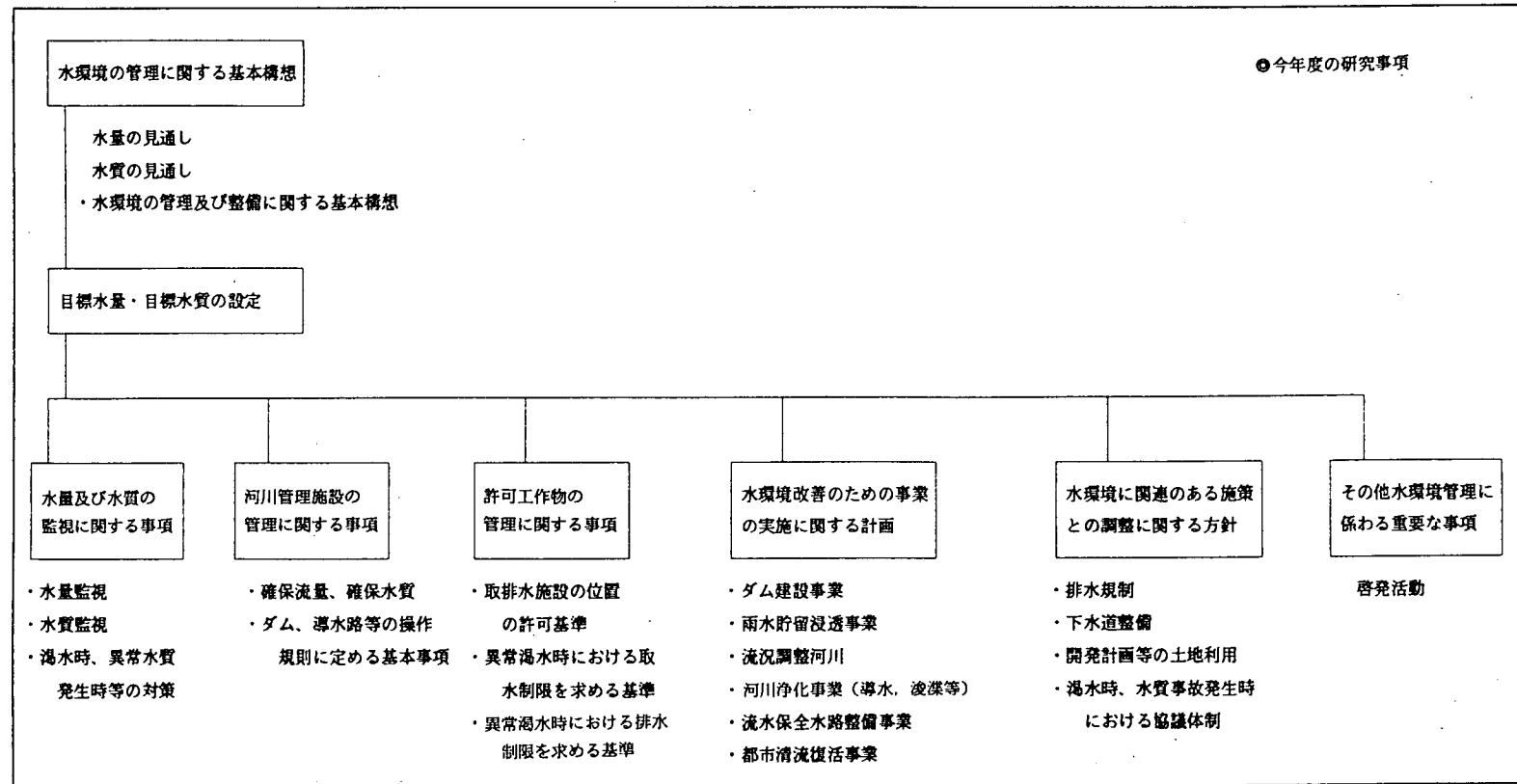


図-3.1 水環境管理基本計画のフロー

特 別 講 演  
「地球規模の環境問題」

財団法人日本気象協会常務理事  
管理本部長

関 口 理 郎

——— ヌ                      七 ———

—— ヌ      七 ——

# 岩盤斜面の変形と崩壊

地質官 桑原啓三

# 岩盤斜面の変形と崩壊

## 1. はじめに

ニュートンはリンゴが落ちるのを見て万有引力を発見した。高い所にあるものは、時間軸を問わない限り、位置エネルギーを下げるように必ず低い所に移動し、より安定化する方向に向かう。一見極めて堅硬で安定しているように見える岩盤斜面も同様である。長期間の風化進行によって安定を損ない、変形や破壊を生じて移動する、すなわちマスムーブメントを生じる。岩盤斜面の変形・崩壊のうち、落石、崩壊、トップリング等の運動は破壊を主とし、突発的で極めて急速である。一方、サッキング（クリープ）、重力滑動等の主として変形を主体とした動きの極めて遅いものがある。土砂地盤のようなある程度の前駆現象があり、動きもそれほど早くないようなものは地すべりを除けば少ない。岩塊の移動が極めて急速であるか、あるいは計測に耐えないほど緩慢なものであるか両極端であるために、岩盤の変形と崩壊（マスムーブメント）についての研究は、多くの人が問題視している割には余りなされていないのが実状である。

本文では、この様な点を踏まえて岩盤斜面の変形・崩壊（マスムーブメント）の形態にはどのようなものがあるかを中心に述べ、また割れ目崩壊の解析法について紹介するものである。

## 2. 岩盤斜面の変形・崩壊形態

岩盤斜面がより安定化しようとするとき、岩盤斜面の変形・崩壊（マスムーブメント）の形態には図-1に示すように、落石、崩落、トップリング、平面崩壊、くさび崩壊、円形崩壊、地すべり、サッキング（クリープ）、重力滑動（ナップ）等がある。

### 2.1 落石

落石は、日本道路協会「落石対策便覧」によると、岩盤の割れ目が拡大し、岩塊や礫が剝離したり、表層堆積物、火山噴出物、固結度の悪い砂礫層の中の岩塊、玉石、礫が表面に浮きだして斜面より落下する現象をいう、としており、さらに落石は個数で表現できる程度の少量のものを言うとして崩壊と区別している。同様に、岩盤の滑落（崩落）との境界は明瞭ではなく、個数表現のできるものが落石で、体積表現するものが滑落と呼ぶべきものであろう。

### 2.2 滑落（崩落）

滑落は落石の大きなもので、すべり面がなく、岩塊がマスとして急激な速度で潜在節理、層理、片理等から剝離、落下するものである。力学的には落石と同じ現象であるが、規模が $10^2 \sim 10^3 \text{ m}^3$ オーダーと大きく、岩種的には柱状節理の発達する熔岩、熔結凝灰岩、凝灰角礫岩、硬質砂岩、花崗岩等の岩盤に顕著にみられる。前駆現象は全く無いかあるいはあっても本崩壊のかなり前であることが多く、前駆現象として捉えられない。1987年北海道層雲峡で発生した岩石滑落がこれに類し、図

運動の形態

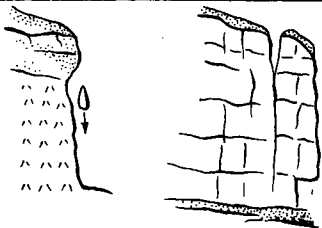
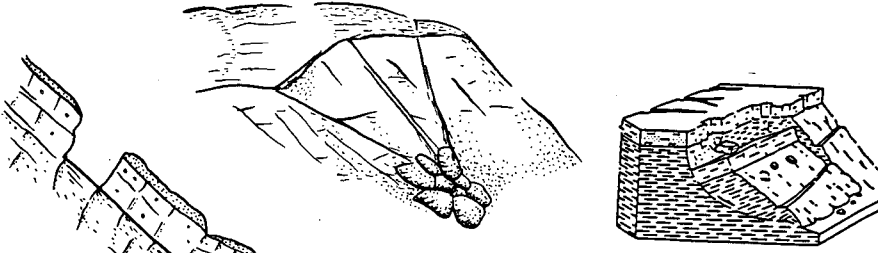
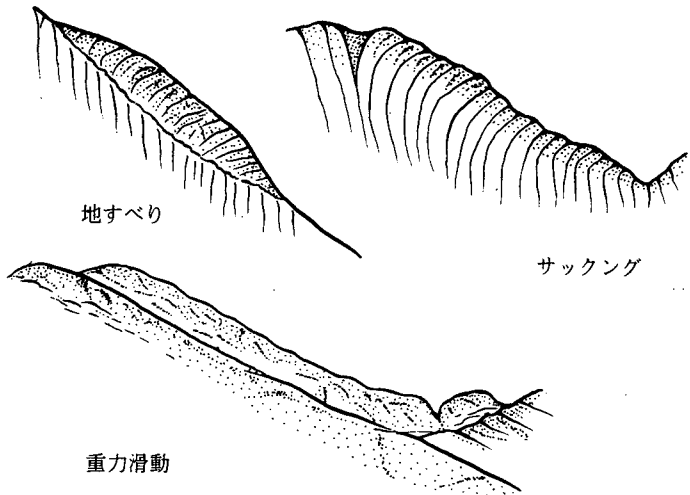
|        |                                                                                                                      |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 崩落     |  <p>落石      滑落</p>                  |
| トップリング |                                     |
| すべり    |  <p>平面崩壊      くさび崩壊      円形崩壊</p> |
| 流動     |  <p>地すべり      サッキング      重力滑動</p> |

図-1 岩盤斜面移動形態の類型

— 2 に示すように、層雲峡熔結凝灰岩が幅20m、奥行き 5 m にわたって柱状節理にそって剝離、落下した。

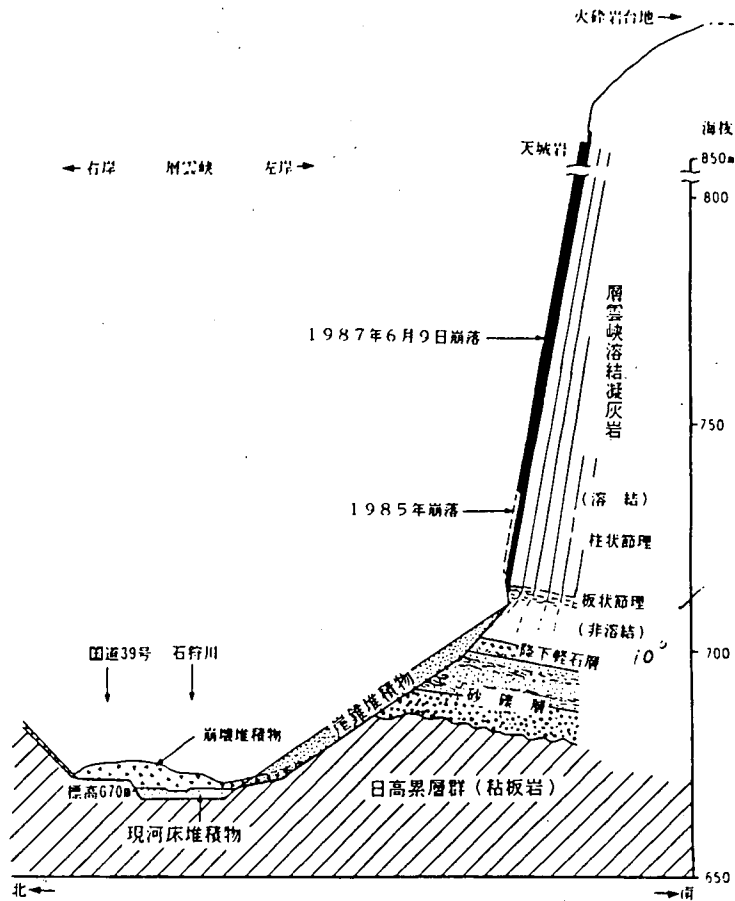


図-2 層雲峡の地質断面図

### 2.3 トップリング

岩盤斜面において急傾斜受け盤をなす岩塊または岩柱が重力の作用で頭の部分が倒れるように回転しながら破壊するもので、一般に小規模であるが、戸板山の崩壊のように大規模なものも存在する。トップリングは柱状節理の発達する熔岩、熔結凝灰岩等に多く見られるが、関東ロームの直立崖等でも乾燥亀裂によって生じることがあり、その破壊形式にはたわみ性トップリング、ブロックトップリング、2次的な作用でできるトップリング(図-3)がある。

後述するクリープ変形によるものもトップリングと呼ばれることがあるが、トップリングがクリープに比べ運動速度が早いこと、トップリングは回転中心に回転角が変わらないのに対し、クリープは回転角が変わることなど運動様式が異なることから両者は区別される。

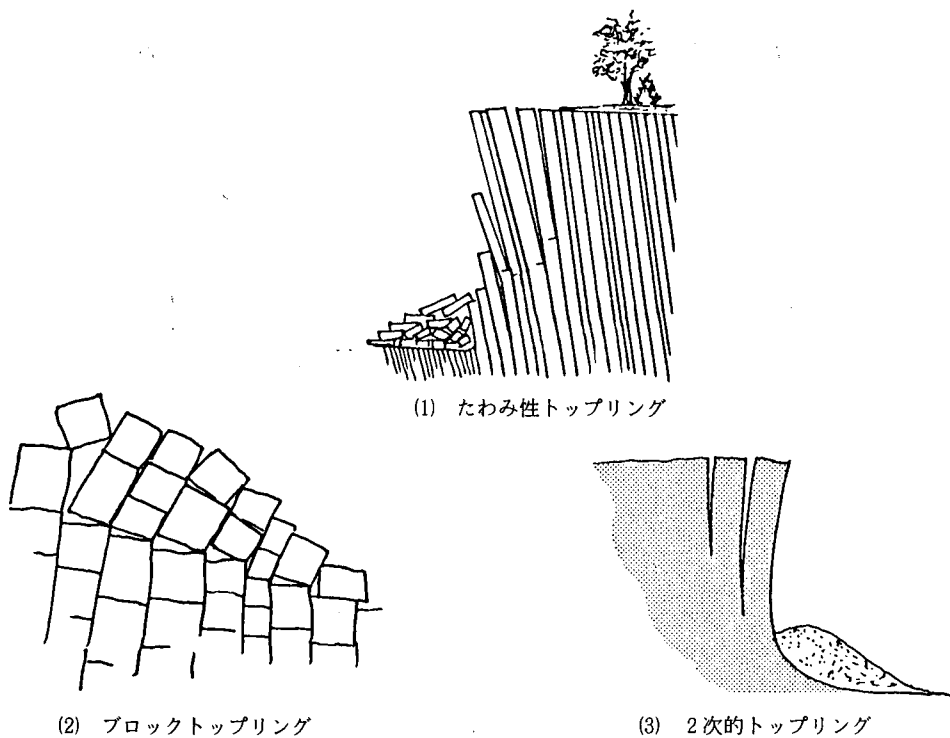


図-3 トップリング

## 2.4 平面崩壊（平面すべり）

平面崩壊(図-4)は、層理面、節理面等の不連続面が斜面に平行かそれに近く斜面より緩く（流れ盤）かつ内部摩擦角より大きいときに生じる。岩盤崩壊ではこのタイプと次のくさび崩壊タイプが最も多い。この崩壊は、すべりに対して無視できる程度の抵抗しか持たない解放面がすべり岩塊の両側に存在する必要がある、実際には図-7に示すような1面または2面が遊離面となる場合に生じる。

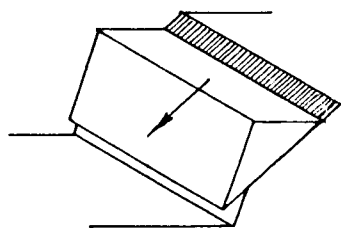


図-4 平面崩壊

## 2.5 くさび崩壊（交線すべり）

くさび崩壊(図-5)は、岩盤が3方向の割れ目系または不連続面で構成されているとき、その内2面をすべり面、他の1面が遊離面となる場合である。一般にはこれらの分離面が、図-5のように、斜面の肩を横切り、分離面の交線にそってすべるものが多い。崩壊規模は $10^2 \sim 10^3 \text{ m}^3$ オーダーであるが、 $10^2 \text{ m}^3$ オーダーのものが多い。平面崩壊も同規模である。

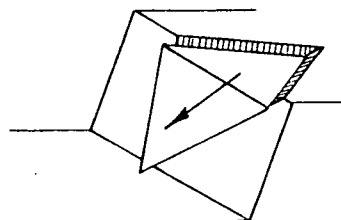


図-5 くさび崩壊

## 2. 6 円形崩壊（スランプ）

土砂斜面における円弧すべりと同様の崩壊で、岩盤の場合は岩盤中の割れ目の発達が著しいとき、風化して岩盤の強度が著しくて易化したとき等斜面を構成している岩盤が均質であるときに主に生じる。また硬岩よりなる岩盤で浸食量の大きい谷では新鮮な岩盤中にオープンクラックを形成して円形崩壊（岩盤地すべり）を生じることがある。

## 2. 7 地すべり

円形崩壊とはほぼ同様な形態をとるが、崩壊土塊の形成は次に述べるサッキング（クリープ変形）、重力滑動に伴う表層の緩みによって生じ、緩み土塊の一部がすべり面を形成して崩壊するものである。南アルプスの地すべりあるいは大崩壊と呼ばれているものは大部分がこれに類すると思われる。

## 2. 8 サッキング（クリープ）

サッキング Sucking（クリープ）はいわゆる $10^7 \text{ m}^3$ 以上の巨大崩壊に属するもので、巨大崩壊の中には1888年磐梯山の水蒸気爆発に伴う大崩壊（ $1,210 \times 10^6 \text{ m}^3$ ）、1978年伊豆大島近海地震による稲取付近の土塊の移動（幅 $2 \times$ 奥行 $5 \text{ km}$ ）、1984年長野県西部地震による御獄山の大崩壊（ $34 \times 10^6 \text{ m}^3$ ）、1586年天正地震による帰雲山の大崩壊（ $2.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ）、1500年頃から崩壊を始めた大谷崩れ（ $1,200 \times 10^6 \text{ m}^3$ ）、七面山の大崩壊等様々の形態のものがある。巨大崩壊の地質的特色としては第四紀火山岩の比高の大きい急崖に多いこと、火山岩を頂部に乗せる第三紀層に多いこと、四万十帯のように第四紀起伏量の大きい山地に多いこと、第四紀断層等活構造に関連したものが多いこと等が上げられる。

この内、二重山稜（図-6）と呼ばれる山頂部に地割れ地形を形成するような変形あるいは変形に伴うような大崩壊をサッキングと呼ぶことにする。

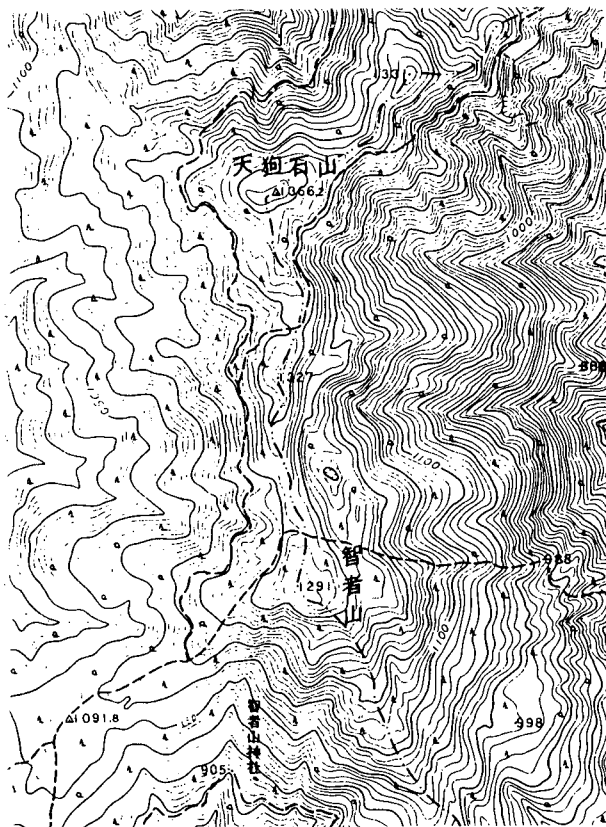


図-6 二重山稜

智者山の字の所は谷で、その両側は尾根になっている。図中央に陥没地形がある。

gravitational gliding あるいは gravitational spreading もこれに含まれることもあるが、これらは次に述べる重力滑動に含まれ、一般には明瞭なすべり面を形成しないクリープ変形によって生じたものを言う。また 2.7 で述べた地すべりはこの変形に伴う小規模（全体の変形に対して）な表層近くで生じているものである。その意味では七面山の崩壊等はここで言うサッキングのごく一部の現象が生じているものに過ぎない。

## 2.9 重力滑動

緩い傾斜を持ったすべり面（デコルマ）にそって岩体が移動するナップの一部は重力の影響によって滑動する gravitational gliding あるいは gravitational spreading により形成され、移動速度は極めて遅く、幅は数100mから100kmを越すものまで存在する。デコルマ面の上位の岩塊は著しく褶曲していることがある。

この他、重力による大規模な移動形態としては、ブロック移動、上部岩塊の重量による下部層の“絞り出し”等の現象があるが、ここでは述べない。

## 3. 変形・崩壊の発生機構

2で述べた岩盤の崩壊・変形は概ね2つのグループに分けられる。1つは落石、滑落、トップリング、崩壊等の破壊グループであり、もう1つはサッキング、重力滑動等の変形グループである。

### 3.1 破壊グループ

六面体を形成するような3方向の割れ目系を有する岩盤の斜面は、割れ目系で作られる3つの面によって構成される。3つの面は節理、層理、片理、断層等の地質学的不連続面であり、その強度は岩石自体の強度に比べ著しく小さく、その面は平滑で、注目する岩塊中で完全な広がりを持ち、岩石自体の変形および破壊がない（剛体）とすると、図-7に示すようなすべりのタイプが考えられる。図-7において、 $Z_i$  は安定な状態であり、 $Z_{ij}$ 、 $Z_{jk}$ 、 $Z_{ki}$  は2面すべりすなわちくさび崩壊を、 $Z_{i,j}$ 、 $Z_{j,k}$ 、 $Z_{k,i}$  は一面すべりすなわち平面崩壊を示している。そして  $Z_{i,j,k}$  は面を利用しない落石あるいは滑落を表している。すなわち、落石、滑落は割れ目（潜在割れ目）の付着力のみで安定を保っており、風化の進行に伴い、付着力が減少し、岩石の重量バランスが崩れた場合崩落する。

一方、平面崩壊、くさび崩壊は不連続面の摩擦力によって安定を保っており、不連続面の内部摩擦角  $\phi$  と滑動力によって安全率が求まる。すなわち、図-8においてすべり岩塊の重量ベクトル  $W$  が底面幅の中にあるときすべりを生じることになり、そのときの岩塊の安全率は、

$$F_s = \frac{CA + W \cos \phi \cdot \tan \phi}{W \sin \phi} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi}$$

で求めることができる。

| タイプ  | $Z_0$           | $Z_i$          | $Z_k$          | $Z_j$          | $Z_{ik}$    | $Z_{jk}$    | $Z_{ij}$    | $Z_{ijk}$ |
|------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| モード図 |                 |                |                |                |             |             |             |           |
| 接触面  | 安定<br>$i, j, k$ | 交線滑り<br>$j, k$ | 交線滑り<br>$i, j$ | 交線滑り<br>$i, k$ | 平面滑り<br>$j$ | 平面滑り<br>$i$ | 平面滑り<br>$k$ | 浮上り<br>無し |
| 開放面  | —               | $i$            | $k$            | $j$            | $ik$        | $jk$        | $ij$        | $ijk$     |

図-7 破壊グループのすべりタイプ

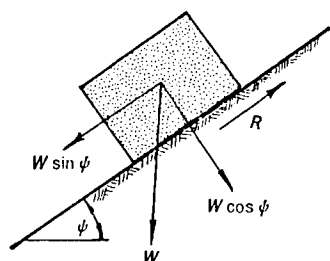


図-8 平面すべりモデル

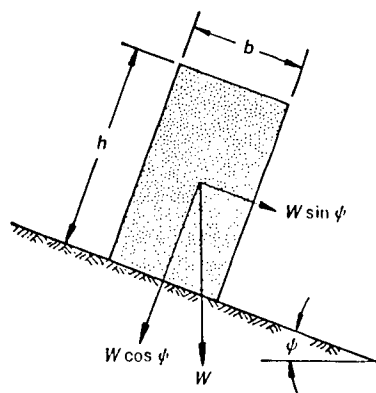


図-9 斜面上のブロック

岩柱が転倒するトップリングは、図-9に示すように、ブロックが高くて細い場合、岩柱の重力ベクトル $W$ が底面 $b$ の外側に出る場合に生じる。このときの安全率は、

$$F_s = \frac{\frac{b}{2} W \cdot \cos \phi}{\frac{h}{2} W \cdot \sin \phi} = \frac{b}{h} \cot \phi$$

で表される。

このトップリングの発生する条件は、図-10に示すように、斜面の傾斜角 $\phi$ 、ブロックの内部摩擦角 $\phi$ およびブロックの高さ $h$ と幅 $b$ との関係によって一義的に決まる。すなわち、

- ①  $\phi < \phi$  および  $b/h > \tan \phi$  : 安定領域
- ②  $\phi > \phi$  および  $b/h > \tan \phi$  : すべり領域

③  $\phi < \phi$  および  $b/h < \tan \phi$  : トップリング領域

④  $\phi > \phi$  および  $b/h < \tan \phi$  : すべりとトップリングがともに発生する領域  
(実際にはトップリングが生じる)

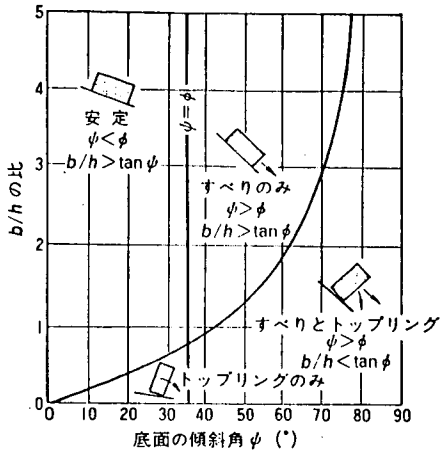


図-10 斜面上のブロックのすべりと  
トップリングの条件

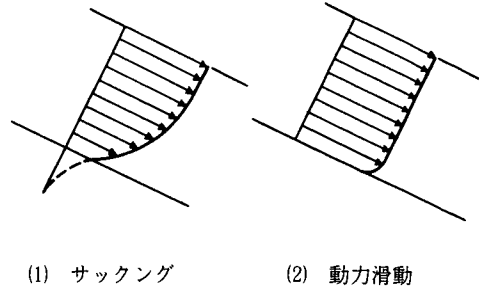


図-11 移動速度の分布

### 3.2 変形グループ

落石、トップリング、崩壊が不連続面の幾何学的な関係と強度に依存しているのに対し、ここで言う地すべり、サッキング、重力滑動は、地層岩体の重力による変形とそれに続く崩壊、すなわち粘弾性モデルで表れるような変形・崩壊過程を示す。地すべりは明瞭なすべり面を持ち、すべり面より上の土塊がほぼ一体となって移動する。サッキングは明瞭なすべり面を有せず(図-11(1))、移動速度が極めて遅く、サッキングの最終過程ではすべり面を形成し、移動速度は速くなり、劇的な移動速度を示す(Vajont valleyの崩壊)こともある。

重力滑動はデコルマ(大すべり面)を境界に図-11(2)に示すような移動速度分布を取るが、その移動速度はサッキングと同様極めて遅い。

## 4. 岩石斜面安定解析法

落石、平面崩壊、くさび崩壊等に安定を検討するためには一般に三次元問題を二次元問題として解析するウルフのネットを用いたステレオ解析が行われる。

### 4.1 ステレオ投影法

ウルフのネットは次のようにして投影される。すなわち、ある単位球を考え、三次元的平面はこの球の中心を通るとし、その平面と球の下半球との交線を上半球の極より赤道面上に投影する(図-12)。その赤道面上の投影線は大円を描く。面をウルフネット上で点として表すには、球の中心で面の垂線と下半球との交点を上半球の極より赤道面上に投影する。すなわち、ウルフネット上で

は常に大円と面の極との角度は $90^\circ$ を保つ位置にある。一方、ある平面の垂線より角度 $\alpha$ の円錐の投影は、ウルフのネット上で面の極より角度 $\alpha$ を持つ小円で示される。小円は球の中心を通らない面と球との交線を赤道面上に投影したものである。

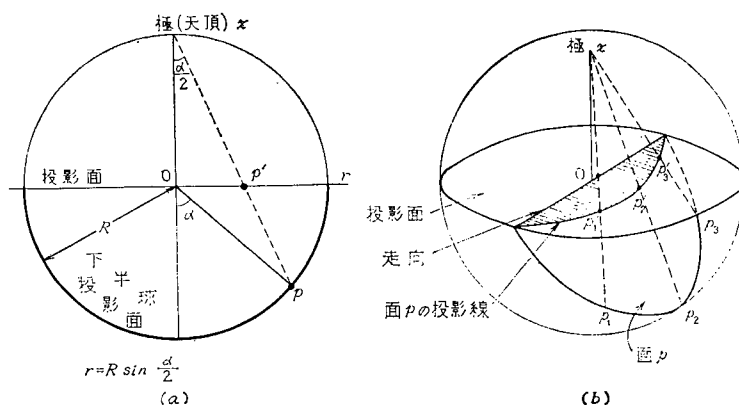


図-12 ウルフの投影法

#### 4.2 ステレオネットによる解析

図-7で示したブロックの安定解析について最も簡単な平面崩壊を用いて述べる。斜面が節理、層理等の平面ですべる場合、平面の傾斜は斜面の傾斜より緩い必要がある。ステレオネット上では、図-13に示すように、平面を表す大円は斜面を表す大円の外側になければならない。換言すれば、図-14に示すように、斜面の極は平面の描く大円の基円との交点 $p_1$ と $p_1'$ と、平面の極 $P_1$ を結ぶ大円 $p_1 P_1 p_1'$ の外側になければならない。

この場合でも平面には摩擦が作用しているため、必ずしも不安定といえず、すべるためにはすべりブロックはすべり面の摩擦角（粘着力相当のものは無視する）を越える作用力を持つ必要がある。これはステレオネット上ですべろうとする作用力は平面の極を中心として描かれる摩擦小円（半径 $\phi$ …すべり面の摩擦角）の外側にある必要がある。すなわち、ブロックの作用力 $W$ は、ブロックの重力のみであるとすると、基円の中心に表示され、図-14の場合すべり面の極を中心として描かれる摩擦小円の外側に存在するので不安定である。

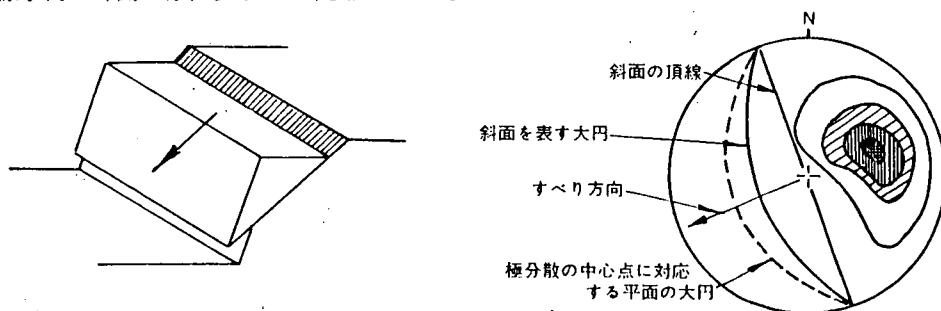


図-13 平面崩壊のステレオ表示

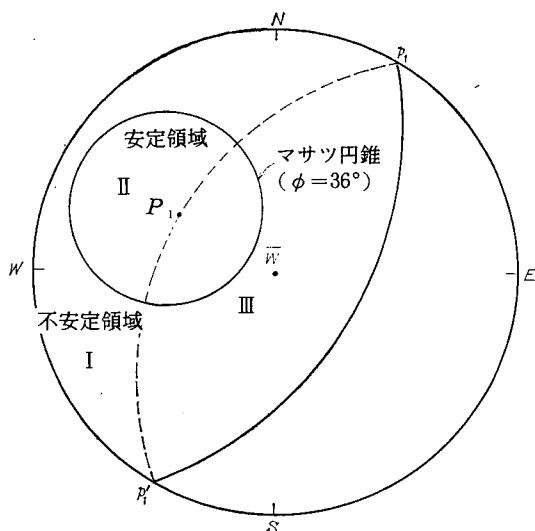


図-14 平面崩壊のステレオ表示（極表示）

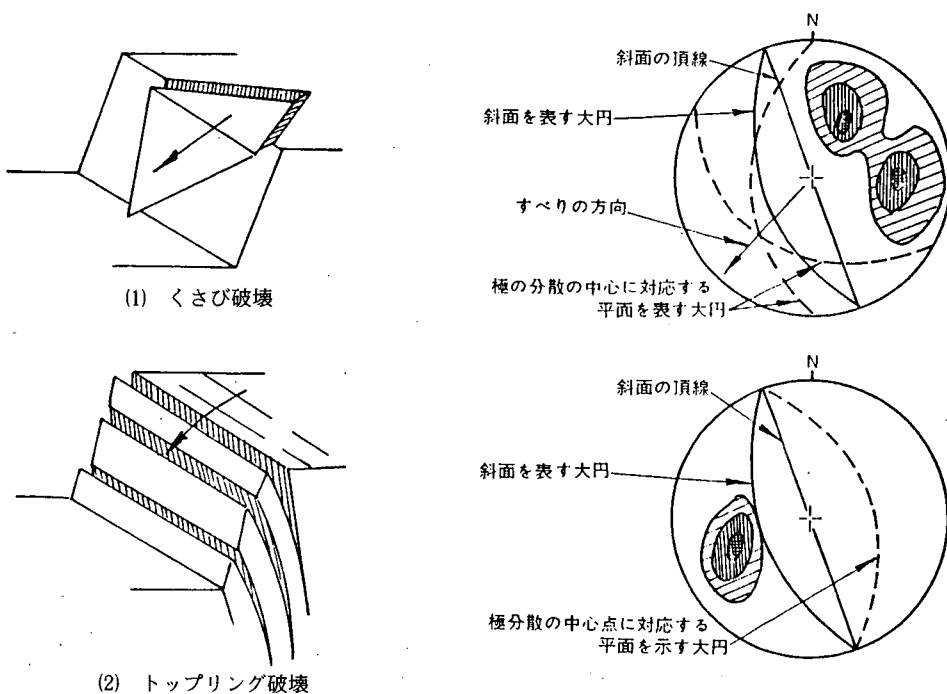


図-15 斜面崩壊とステレオ表示

すなわち、I 不安定な領域、II 十分な摩擦があれば安定な領域、III 摩擦なしでも安定な領域に区別することができる。

同様に、くさび崩壊の場合は、図-13に対応した図で示すと、図-15(1)に、トップリングの場合

は(2)に示すように表示される。

図-7に示した3面が遊離面となる場合、すなわちトンネルでの落盤、斜面での落石・滑落（厳密にいうとオーバーハング部での）は、図-16に示すように、基円の中心すなわち重力の方向が割れ目系  $i, j, k$  を表す大円に囲まれた領域に含まれるので、発生する危険がある。（天井、オーバーハングの場合は斜面の場合と逆向き、すなわち大円の内側が危険側となる。天井の場合は基円が天井面を表し、その外側が被り側、基円の内側が自由空間を表す。）

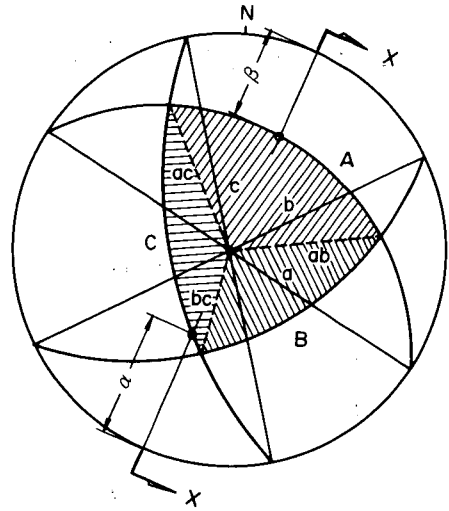


図-16 落盤のステレオ表示

#### 4.3 安全率の求め方

すべりブロックの安全率は、粘着力、間隙水圧等がない場合、すべり面の摩擦角  $\phi$ 、すべりブロックの作用力の方向（重力の方向）とすべり面との法線との交角を  $\phi$  とすると、

$$F_s = \tan \phi / \tan \phi$$

で表され、 $\phi$  と  $\phi$  はステレオ投影で簡単に求められる。

粘着力、間隙水圧等が加わると次のようになる。すなわちブロックが図-17に示すように  $j$  面上ですべると判定された場合、 $R$  をブロックの頂点に平行移動する。 $R$  を  $j$  面に正射影したベクトル  $A$  がブロックの滑動する方向と大きさを表している。したがって、平面崩壊における安全率は次式で求めることができる。

$$F_s = \frac{(\bar{R} \cdot \bar{n}_j) \tan \phi_j + S_j C_j}{|\bar{A}|}$$

ここで、

$$|\bar{A}| = (\bar{A} \cdot \bar{A})^{\frac{1}{2}} = \{ \bar{R} \cdot \bar{R} - (\bar{R} \cdot \bar{n}_j)^2 \}^{\frac{1}{2}}$$

$\phi_j$  :  $j$  面のマサツ角

$C_j$  :  $j$  面の粘着力

$n_j$  :  $j$  面からブロックの外側に向う単位ベクトル

$S_j$  :  $j$  面の面積

図-18で示されるようなくさび崩壊の場合も、同様に次のように求められる。

$$Fs = \frac{a_i \tan \phi_i + a_j \tan \phi_j + S_i C_i + S_j C_j}{a_{ij}}$$

ここに,

$a_{ij}$  : すべりブロックのすべり方向  $I_{ij}$  方向の方向成分

$a_i$  : すべりブロックの  $n_i$  方向成分

$a_j$  : すべりブロックの  $n_j$  方向成分

$S_i$  :  $n_i$  面の面積

$S_j$  :  $n_j$  面の面積

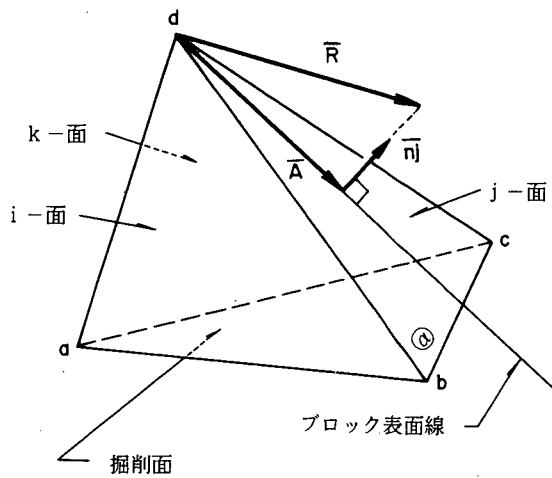


図-17 平面崩壊

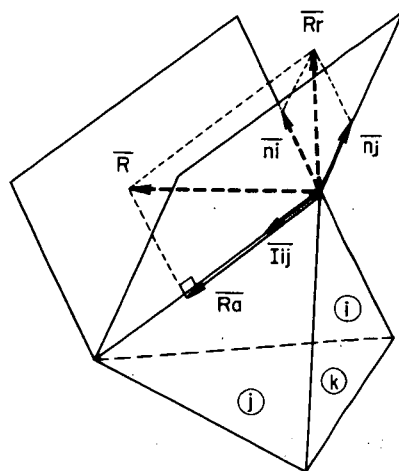


図-18 くさび崩壊

## 5. おわりに

今まで述べてきたように、岩盤の崩壊は岩盤の節理系を極めて単純にモデル化し、極めて単純な力学要素によって解析することができる。しかし、岩盤の変形・崩壊は本来安定した岩盤が長い年月の間の風化の進行によって、岩盤中の潜在クラックの顕在化、岩石自体の強度低下、水の浸透量の増加等を生じて、不安定化し発生するものである。したがって、岩盤の変形・崩壊は不明なことが多く、これを解明していくためには多くの課題が残されている。岩盤に関する課題だけでも、例えば、

- ①岩盤の風化の進行とそれに伴う物性の変化
- ②岩盤中の割れ目の発達状況
- ③割れ目性状の長期経時変化
- ④割れ目の表面形状による力学特性の変化
- ⑤岩盤中の割れ目系への水の浸透
- ⑥応力解放による岩盤性状変化

の様なものがあり、どれ一つ取ってもこれらは一朝一夕では解決できない。さらに今後より一層多方面からの研究が推進されることを期待するものである。

## 参考文献

- 東北地方建設局：地形による山地地盤調査法，昭和54年3月  
土質工学会：キーブロック受託研究委員会報告書，平成元年3月  
小野寺・吉中訳：フックブレイ岩盤斜面工学，朝倉書店  
赤井・川本・大西訳：グッドマン不連続性岩盤の地質工学，森北出版  
山田・渡・小橋：地すべり・斜面崩壊の実態と対策，山海堂  
木村敏雄：地質構造の科学，朝倉書店  
大西・谷本訳：グッドマンわかり易い岩盤力学，鹿島出版会  
応用地学研究会：応用地質学，国際科学振興財団  
P. LONDE, G. VIGIER and R. VORMERINGER: Stability of Rock Slopes. A Three Dimensional Study. A.S.C.E., J.S.M.F.Div., pp235-262, 1969  
K.W.John: Graphical Stability Analysis of Slopes in Jointed Rock. A.S.C.E., J.S.M.F. Div., pp497-518, 1968  
桑原啓三・久楽勝行：岩石のり面の安定解析法，土木技術資料，pp133~139, 1973  
安江朝光：ベクトルによる岩質の斜面の安定解析，第5回土質工学研究発表会，pp563~565, 1970  
U. Zischinsky: On the Deformation of High Slopes, Proc. 1st Congr. Int. Soc. Rock Mech., pp179-185, 1966

# コンクリートダムの合理化施工 (RCD工法)について

ダム部長 下 村 周

# コンクリートダムの合理化施工（RCD工法）について

## 1. はじめに

RCD（Roller Compacted Dam-concrete）工法は、コンクリートダムの施工における経済性の追求、工期の短縮、汎用機械施工による省力化等を目標に、貧配合超硬練りのコンクリートを振動ローラで締固めるもので、建設省が世界に先がけて開発した画期的なダム技術である。この工法により島地川ダム（中国地建）、大川ダム（北陸地建）、玉川ダム（東北地建）が既に完成し、現在4ダムで本体RCD部分の施工を完了し、4ダムにおいて本体施工中である。この他RCD工法による打設を計画しているものは12ダムに及んでいる。RCD工法は、コンクリートの打設工法のみならずダム技術全般にわたり、技術発展をもたらしている。このRCD工法の現況と今後の課題について述べる。

## 2. 河川総合開発事業の現況と課題

建設省では、治水対策、水需給のひっ迫に対処する水資源開発のための河川総合開発事業を全国で行っており、直轄、公団、補助の建設省所管事業では、昭和63年度までに完成したダムは305ダムにのぼり、また、平成元年度事業実施箇所は342ダムに及んでいる。

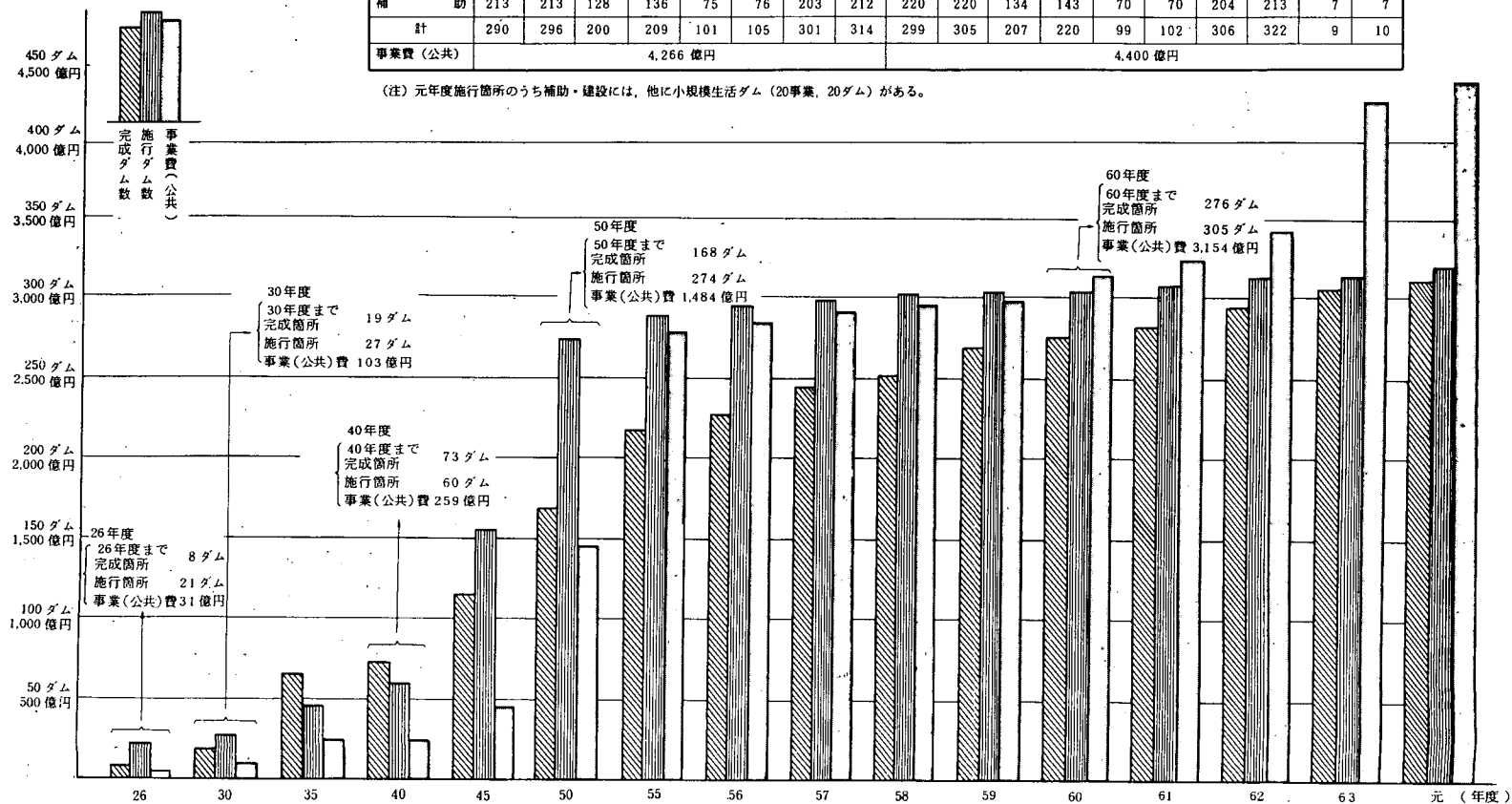
河川総合開発事業の推移は図-1のようである。事業数、事業費ともに昭和40年～50年代にかけて急増している。これは洪水調節、水資源開発、発電等の多目的のダム建設の要請が強くなって来たためと考えられるが、さらに最近においても、水害と渇水被害が頻発しており、これらに対処するためのダム事業の要請は益々強くなるものと考えられる。これらの状況のもとに直面する主な課題としては、

- ①ダム数の増加に伴ない地形、地質条件の厳しい地点でのダム建設が多くなって来ており、地質等の条件に適合するダム技術の開発が必要である。
- ②事業数の増加に伴ない、予算を有効に使い事業効果を出すため、経済的な、工期をより短縮したダム建設を目指す必要がある。
- ③昭和63年度末における管理ダム数が305ダムであり、さらに毎年10以上のダムが完成している。21世紀初頭には600近い管理ダム数となるものと考えられる。このため「管理しやすいダム」を目標に、調査、計画、設計、工事各段階において、ソフト面、ハード面ともに充実したダム建設を目指す必要がある。
- ④管理ダムにおける環境問題が増加している。水質問題では濁水の長期化、富栄養化等があり、貯水池の水理特性の把握、富栄養化発生機構の解明等の調査研究、並びにその対策の確立が急務となっている。また、堆砂問題では地域差があるが、ダムの機能確保のため重要な問題となっており、恒久的、抜本的な対応策の検討が必要となっている。

等があり、これら課題を乗り切っていくための技術開発にかかる期待は大きい。

| 区 分       | 昭 和 63 年 度      |     |                |     |     |     |     |     | 平 成 元 年 度       |     |               |     |    |         |     |     |     |     |
|-----------|-----------------|-----|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|-----|---------------|-----|----|---------|-----|-----|-----|-----|
|           | 62年度まで<br>の完成箇所 |     | 63 年 度 施 行 箇 所 |     |     |     |     |     | 63年度まで<br>の完成箇所 |     | 元 年 度 施 行 箇 所 |     |    |         |     |     |     |     |
|           |                 |     | 建 設            |     | 実 調 |     | 計   | 建 設 |                 |     | 実 調           |     | 計  | 完 成 予 定 |     |     |     |     |
|           |                 |     | 事業数            | ダム数 | 事業数 | ダム数 |     | 事業数 |                 |     | ダム数           | 事業数 |    |         |     | ダム数 | 事業数 | ダム数 |
| 直 轄 ・ 公 団 | 77              | 83  | 72             | 73  | 26  | 29  | 98  | 102 | 79              | 85  | 73            | 77  | 29 | 32      | 102 | 109 | 2   | 3   |
| 補 助       | 213             | 213 | 128            | 136 | 75  | 76  | 203 | 212 | 220             | 220 | 134           | 143 | 70 | 70      | 204 | 213 | 7   | 7   |
| 計         | 290             | 296 | 200            | 209 | 101 | 105 | 301 | 314 | 299             | 305 | 207           | 220 | 99 | 102     | 306 | 322 | 9   | 10  |
| 事業費（公共）   | 4,266 億円        |     |                |     |     |     |     |     | 4,400 億円        |     |               |     |    |         |     |     |     |     |

（注）元年度施行箇所のうち補助・建設には、他に小規模生活ダム（20事業、20ダム）がある。



図－1 河川総合開発事業の推移

### 3. 合理化施工の背景

RCD工法発展の背景としては、

- ①ダム基礎岩盤の地質条件が厳しい箇所が多くなり、ダムの安定性を確保するためのダム体積が増加の傾向にある。
- ②地形条件から堤頂長の長いダムが増え、ダムの体積が増加の傾向にある。
- ③人件費の上昇に伴ない、アーチ式ダムや中空重力式ダムのように構造設計面での工夫により堤体積を削減し、経済性を追求することが困難になって来ており、このため施工面の工夫によりダムの経済性を追求することが必要となって来た。

こと等が考えられる。これらの状況から、

- イ 省力化を目指し、機械化施工を図る。
- ロ 汎用性の高い機械を用いて効率化を図る。
- ハ ダムサイトの特性に応じた施工法の開発を行う。

こと等を目標にし、ダム本体工事の経済性、工期の短縮、省力化のためのコンクリートダムの施工の合理化が、緊要の課題となって来た。

昭和20年代から現在までの年代別ダムタイプを比較してみると表-1のようになる。各年代を通じて重力式ダムが多いが、その中で昭和20~40年代にかけてアーチ式ダム、中空重力式ダムが計画され建設されていたことがわかる。また、40年代からロックフィルダムが急増している。これらからもダム建設における状況の変化がよみとれる。

表-1 タイプ別ダム数比較表

| ダム<br>タイプ<br>着手年代 | G            | A          | HG       | R           | G+R       | 計            |
|-------------------|--------------|------------|----------|-------------|-----------|--------------|
| 昭和20年代着手          | (41)<br>41   | (5)<br>5   | 0        | (2)<br>2    | 0         | (48)<br>48   |
| 昭和30年代着手          | (46)<br>47   | (12)<br>12 | (5)<br>5 | (1)<br>1    | (2)<br>2  | (66)<br>67   |
| 昭和40年代着手          | (123)<br>193 | (4)<br>7   | (1)<br>1 | (30)<br>56  | (5)<br>9  | (163)<br>266 |
| 昭和50年代着手          | (19)<br>121  | 0          | 0        | 32          | 2         | (19)<br>155  |
| 昭和60年代着手          | 65           | 1          | 0        | 11          | 0         | 77           |
| 計                 | (229)<br>467 | (21)<br>25 | (6)<br>6 | (33)<br>102 | (7)<br>13 | (296)<br>613 |

( ) 内数は、既完成ダム数

フィルタイプダムではダムサイト周辺の自然材料を、大型機械により大量に移動させ、広いヤードでダム本体を築造するものであり、特に機械化施工による省力化、コストの低減が図られている。洪水調節を主体とした建設省所管ダムの場合には、洪水処理のための施設が大規模になるため必ずしも有利になるとは言えないが、外国の例では、フィルタイプダムが増えて来ている。

従来工法によるコンクリートダムでは、バッチャープラントで練られたコンクリートを、ケーブルクレーンで運搬し、型枠で区切られたブロックに打設するため、複雑な工程と人手に頼る部分が多く含まれている。合理化施工では、この複雑な工程と人手に係る部分をフィルタイプダムの利点を取り入れ改善し、経済性、省力化、工期短縮を目指すものである。

フィルダム、コンクリートダムでの施工を比較すると次のとおりである。

#### フィルダム

材料の採取 → 運 搬 → まき出し → 締固め → 表 層 処 理  
(ショベル) (トラック) (ブルドーザ) (ローラ) (レーキドーザ)

#### コンクリートダム

材料の採取 → 運 搬 → 骨材・コンクリート製造 → 運 搬 →  
(ショベル) (トラック) (ケーブルクレーン等)  
敷 均 し → 締 固 め → 養 生 → 打継目処理  
(ブルドーザ) (バイブレータ)

### 4. RCD工法による合理化施工の経緯

前述のような背景のものに建設省において1974年に「コンクリートダム合理化施工検討委員会」が設置され、合理化施工の検討がなされた。その結果、貧配合超硬練りコンクリートを振動ローラで締固める工法—RCD工法—が提案され、1976年に大川ダムの上流仮締切り(10,000 $\text{m}^3$ )で試された。そして各種の試験施工を経て、1978年9月島地川ダム(H=89m, 堤体積317,000 $\text{m}^3$ , 中国地方建設局)において、世界ではじめて堤体コンクリートが振動ローラによって締固められた。そして島地川ダムは1980年コンクリート打設を完了した。1979年7月には大川ダムのマツ部(北陸地方建設局, マツ部体積300,000 $\text{m}^3$ )でも施工され、続いて新中野ダムの嵩上げ工事に際して減勢工(13,000 $\text{m}^3$ )の打設にも用いられた。そして1983年9月玉川ダム(東北地方建設局, H=100m, 堤体積1,154,000 $\text{m}^3$ )に適用され、この大規模ダムにおいてRCD工法の優秀性を立証した。

そしてその後、美利河ダム(北海道開発局), 真野ダム(福島県), 白水川ダム(山形県), 朝日小川ダム(富山県)では、本体コンクリート打設を完了しており、道平川ダム(群馬県), 境川ダム(富山県), 神室ダム(山形県), 朝里ダム(北海道)で施工中である。その他、竜門ダム(九州地方建設局, H=99.5m, 堤体積コンクリート部844,000 $\text{m}^3$ , フィル部208,000 $\text{m}^3$ ), 宮ヶ瀬ダム(関東地方建設局, H=155m, 堤体積2,200,000 $\text{m}^3$ ), 月山ダム(東北地方建設局, H=125m, 堤体積1,450,000 $\text{m}^3$ )等十数ダムにおいてRCDによる施工が予定されている。これらダムの概要を表-2に示す。

表-2 RCD工法によるダム

| ダム名  | 所管     | 堤高<br>(m) | 堤頂長<br>(m)        | 堤体積<br>(m <sup>3</sup> ) | 打設工期       | コンクリート運搬方式                                        |
|------|--------|-----------|-------------------|--------------------------|------------|---------------------------------------------------|
| 島地川  | 中国地建   | 89        | 240               | 317,000                  | 78.9~80.8  | 固定ケーブルクレーン                                        |
| 大川   | 北陸地建   | 75        | 406.5             | 900,000                  | 79.7~80.8  | ダンプトラック<br>マット部 300,000m <sup>3</sup>             |
| 新中野  | 北海道    | 74.9      | 248               | 276,400                  | 80.5~80.10 | ダンプトラック<br>減勢工基礎部 13,000m <sup>3</sup>            |
| 玉川   | 東北地建   | 100       | 441.5             | 1,154,000                | 83.9~87.6  | インクライン                                            |
| 美利河  | 北海道開発局 | 40        | 1,480<br>Conc 910 | 870,000<br>Conc 360,000  | 84.7~88.9  | ダンプトラック                                           |
| 真野   | 福島県    | 69        | 239               | 218,000                  | 85.6~87.6  | インクライン                                            |
| 白水川  | 山形県    | 54.5      | 367               | 315,000                  | 85.10~88.6 | ダンプトラック                                           |
| 朝日小川 | 富山県    | 84        | 260               | 350,000                  | 86.5~88.6  | ダンプトラック                                           |
| 朝里   | 北海道    | 73.9      | 390               | 484,000                  | 87.10~     | ダンプトラック                                           |
| 道平川  | 群馬県    | 70        | 300               | 346,000                  | 88.3~      | インクライン                                            |
| 境川   | 富山県    | 115       | 297.5             | 712,000                  | 88.5~      | インクライン                                            |
| 神室   | 山形県    | 60.6      | 257               | 298,000                  | 88.7~      | インクライン                                            |
| 布目   | 水公団    | 72        | 322               | 370,000                  | 88.2~88.9  | ダンプトラック<br>固定ジブクレーン<br>本体下部 110,000m <sup>3</sup> |

RCD工法による施工法では、貧配合超硬練りのコンクリートを振動ローラで締固める工法であるが、コンクリート運搬方法に各ダムの特徴を持っている。バッチャープラントから打設位置までのコンクリート運搬方法は、ダムサイトの地形、ダムの規模、仮設備の配置等で異なり、それぞれダムの特性に応じたものとなっている。コンクリートの堤外運搬は、固定ケーブルクレーンによる方法、インクラインによる方法、ダンプトラックによる直送方法、ベルトコンベアによる方法等があり、代表的なものを、図-2に示す。

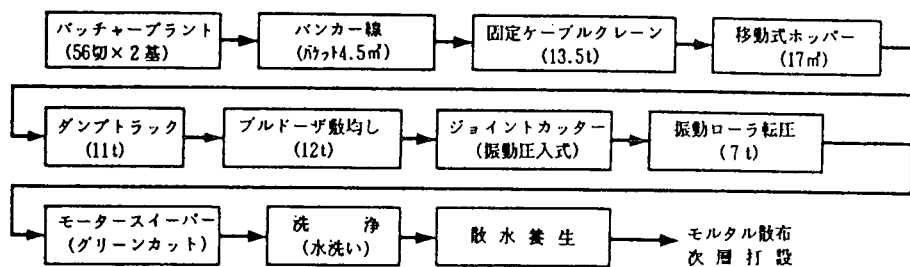
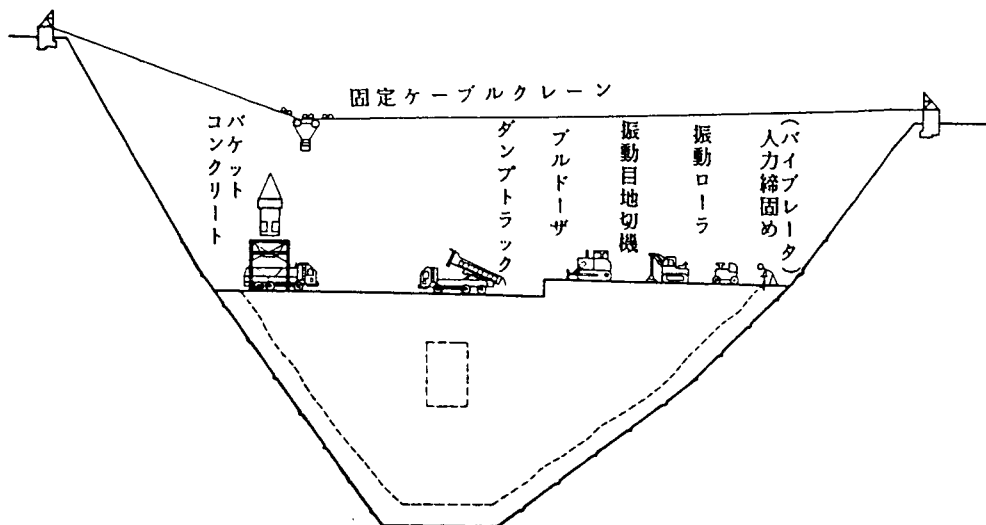
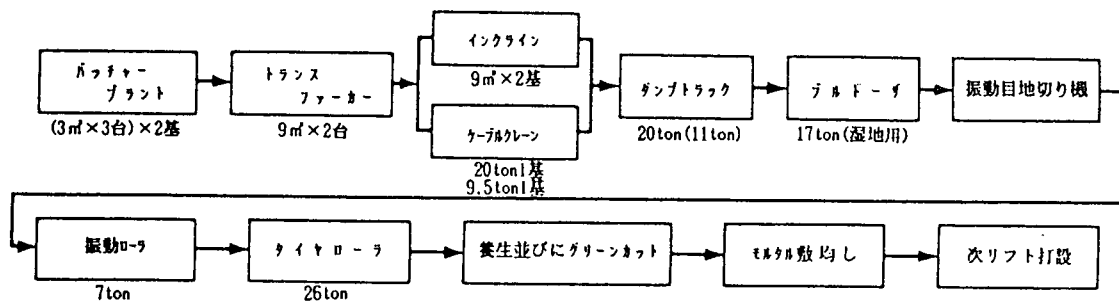


図-2.1 固定ケーブルクレーンの例 (島地川ダム)



運搬打設概要図

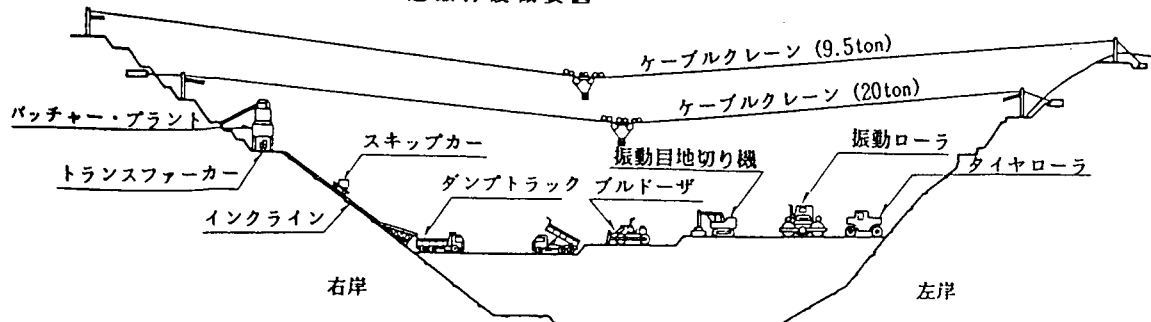


図-2.2 インクラインの例 (玉川ダム)

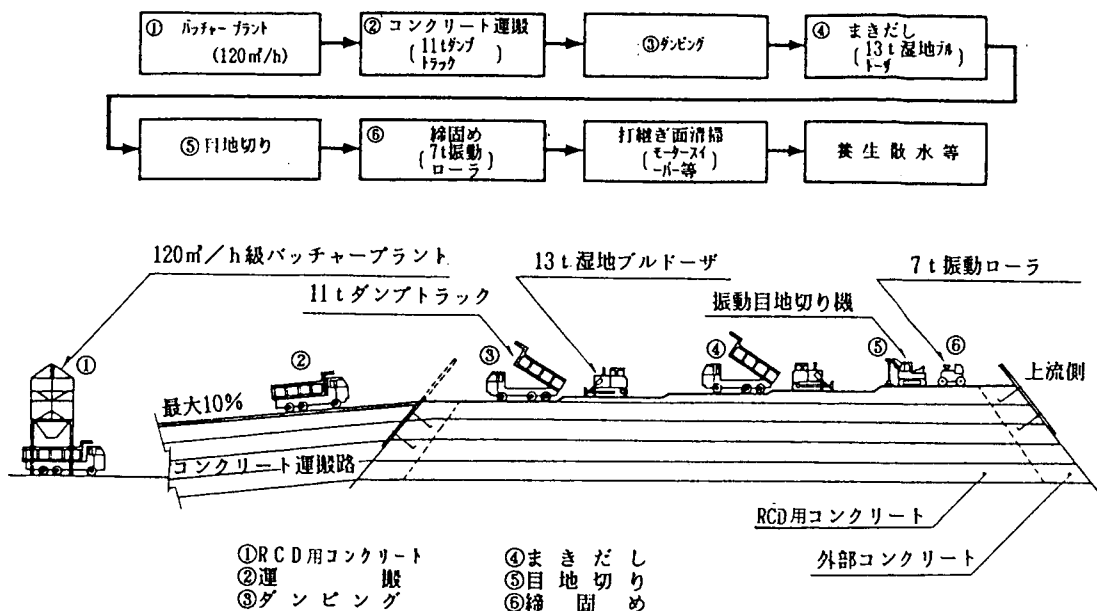


図-2.3 ダンプトラック直送の例 (美利河ダム)

## 5. RCD工法の特徴

RCD工法及びRCD用コンクリートの主な特徴は次のようなものである。

- ① RCDコンクリートの単位セメント量は、120～130kg/m³程度、単位水量は、95～105kg/m³程度、細骨材率は30～32%程度である。
- ② コンクリートの運搬は、汎用機械を使用することを原則とし、バッチャープラントから堤体までは、ダムサイトの特性を考慮して適切な運搬方法を採用するとともに、堤体内はダンプトラックによって行うのが標準的である。
- ③ コンクリートの打込みは、全面レヤ方式を基本とする。
- ④ 縦継目を設けず、横継目をコンクリート敷均し後15m間隔に振動目地切り機を用いて設置する。
- ⑤ コンクリートは、ブルドーザによって一層18～27cm程度の薄層撤き出しを行い、振動締固め後の1リフトの高さは50～75cmが標準である。
- ⑥ コンクリートの締固めは振動ローラによって行う。
- ⑦ 打継目の処理は、表面清掃を行い、モルタルを敷き均す。
- ⑧ 上下流面外部コンクリートには、従来通りのコンクリートを打設する。

### 5.1 RCDコンクリートの配合

RCDコンクリートは、振動ローラによって締固められるため、またRCDコンクリート上を機械類が走行するため超硬練りとなっている。また温度応力の発生を極力おさえるため、セメント量

を少なくし、セメントとフライアッシュで120～130kg/m<sup>3</sup>程度、フライアッシュの混入率は20～30%の貧配合となっている。骨材の最大粒径は、骨材の分類を考慮し80mmの場合が多いが、従来コンクリートと同様150mmでも好結果を得ているダムもある。s/aは30～34%で砂分が多く、締固めやすい配合となっている。また、0.15mm以下の微粒分が砂分に対して10%程度混入している方が振動ローラによる締固めに適している。RCDコンクリート配合例を、表-3に示す。

表-3 RCDコンクリートの配合例

| ダム名  | 堤高<br>(m) | 堤体積<br>(千m <sup>3</sup> ) | 最大<br>寸法<br>(mm) | VC値<br>(秒) | 空気量<br>(%) | 単位水量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 単位結合材量<br>(kg/m <sup>3</sup> )<br>C+F | フライアッシュ<br>混入率(%)<br>F/(F+C) | 水・結<br>合材比<br>(%) | 細骨材<br>率(%) | セメント種類          |
|------|-----------|---------------------------|------------------|------------|------------|------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|-------------------|-------------|-----------------|
| 島地川  | 89.0      | 317                       | 80               | 15±10      | 1.5±1      | 105                          | 130                                   | 30                           | 80.8              | 34          | 普通<br>ポルトランド    |
| 新中野  | 74.9      | (13)                      | 80<br>150        | 20±10      | 1.5±1      | 95<br>90                     | 120                                   | 30                           | 79<br>75          | 34<br>32    | 中 庸 熱<br>ポルトランド |
| 大 川  | 75.0      | (300)                     | 80               | 15±10      | 1.5±1      | 102                          | 120                                   | 20                           | 85                | 32          | 中 庸 熱<br>ポルトランド |
| 玉 川  | 100.0     | 1154                      | 150              | 20±10      | 1.5±1      | 95                           | 130                                   | 30                           | 73                | 30          | 中 庸 熱<br>ポルトランド |
| 美利河  | 40.0      | (360)                     | 80               | 15±8       | 1.5±1      | 90                           | 120                                   | 30                           | 75                | 30          | 中 庸 熱<br>ポルトランド |
| 真 野  | 69.0      | 218                       | 80               | 20±10      | 1.5±1      | 103                          | 120                                   | 20                           | 85.8              | 33          | 中 庸 熱<br>ポルトランド |
| 白水川  | 54.5      | 315                       | 80               | 20±15      | 1.5±1      | 102                          | 120                                   | 20                           | 85                | 31          | 中 庸 熱<br>ポルトランド |
| 朝日小川 | 84.0      | 350                       | 80               | 20±10      | 1.5±1      | 94                           | 120                                   | 20                           | 78                | 32          | 中 庸 熱<br>ポルトランド |
| 朝 里  | 73.9      | 484                       | 80               | 20±10      | 1.5±1      | 103                          | 120                                   | 20                           | 85.8              | 30          | 中 庸 熱<br>ポルトランド |
| 道平川  | 70.0      | 346                       | 80               | 15±10      | 1.5±1      | 95                           | 120                                   | 20                           | 79.2              | 31          | 中 庸 熱<br>ポルトランド |
| 境 川  | 115.0     | 712                       | 80               | 20±10      | 1.5±1      | 100                          | 130                                   | 30                           | 76.9              | 32          | 中 庸 熱<br>ポルトランド |
| 布 目  | 72.0      | 370                       | 150              | 20±10      | 1.5±1      | 95                           | 120                                   | 35                           | 79                | 27          | 中 庸 熱<br>ポルトランド |
| 神 室  | 60.6      | 298                       | 80               | 20±10      | 1.5±1      | 103                          | 120                                   | 20                           | 85.8              | 32          | 中 庸 熱<br>ポルトランド |

RCDコンクリートのコンシステンシーの測定は、VC試験機から求められるVC値によって示される。VC試験は、図-3、表-4に示すように、モールド内のまだ固まらないコンクリートに上載荷重をのせて振動させ、コンクリート表面にペーストが浮き上がるまでの秒数をVC値として表現するものである。

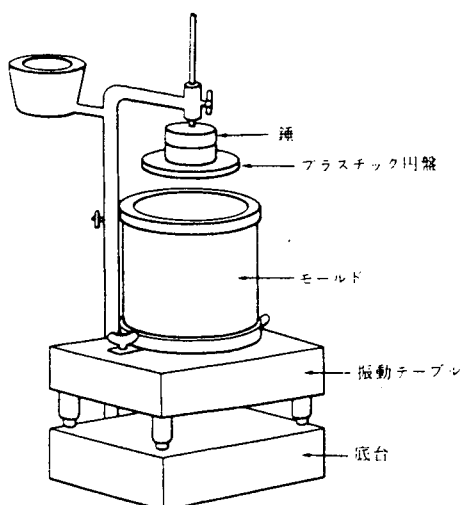


図-3 VC試験機（小型）

表-4 試験機仕様

| 部 品   | 項 目   | 仕 様      |
|-------|-------|----------|
| 振 動 台 | 振 動 数 | 3,000rpm |
|       | 振 幅   | 1.0mm    |
| 容 器   | 内 径   | 24(48)cm |
|       | 内 高   | 20(40)cm |
| 錘     | 質 量   | 20kg     |

( ) は大型試験機

RCDコンクリートの配合設計の手順は次のようになる。

- ① 単位水量を定める。
- ② 水セメント比を考慮しながら単位セメント量を定める。
- ③ 細骨材率を定める。
- ④ 必要な試験により所要のワーカビリティ並びに強度が得られることを確認する。

単位水量を定めるには、実際に使用する骨材を用いて、VC試験を行い、単位水量とVC値との関係より所定のVC値（標準VC試験機を用いた場合20秒）が得られるよう定める。RCDコンクリートのセメント量（C+F）は、所要のワーカビリティ、強度、並びに単位重量が得られる範囲内で、出来るだけ少なくする。単位水量と単位セメント量との比と強度との関係から、セメント量が求められるが、コンクリート中に十分なペースト量を確保するための量として、 $120\text{kg}/\text{m}^3$ 以上とするのが一般的である。さらに求められた単位水量、単位セメント量に対し、VC値が最小となるような $s/a$ を求める。図-4、5、6に、単位水量とVC値、密度、圧縮強度の関係を、図-7に細骨材率とVC値の関係を示す。<sup>1)</sup>

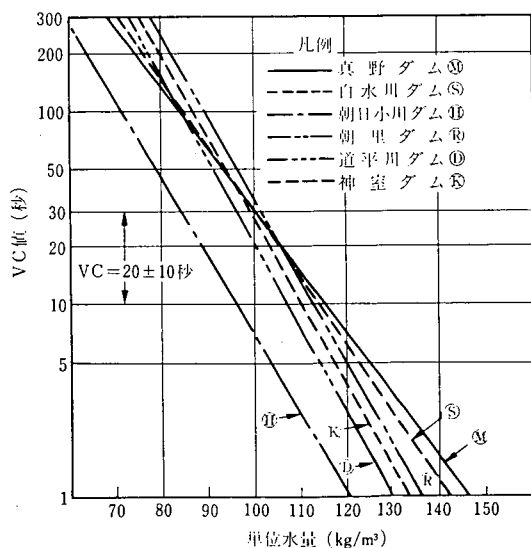


図-4 単位水量とVC値

- 真野ダム⑩
- 白水川ダム⑤
- 朝日小川ダム⑪
- 朝里ダム⑫
- 道平川ダム⑬
- 神室ダム⑭

(線上の記号は示方配合)  
の単位水量を表す

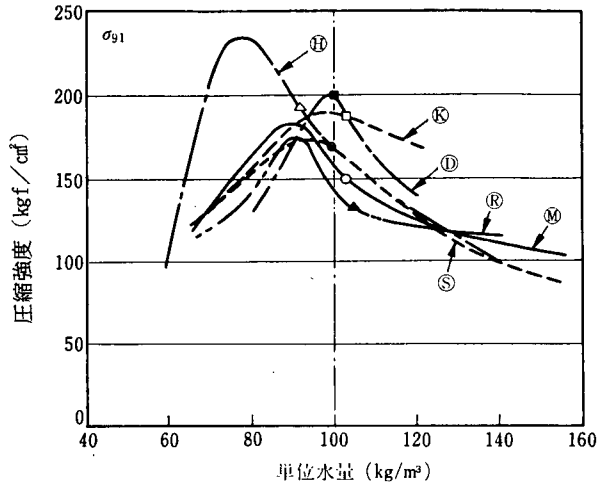


図-5 単位水量と圧縮強度

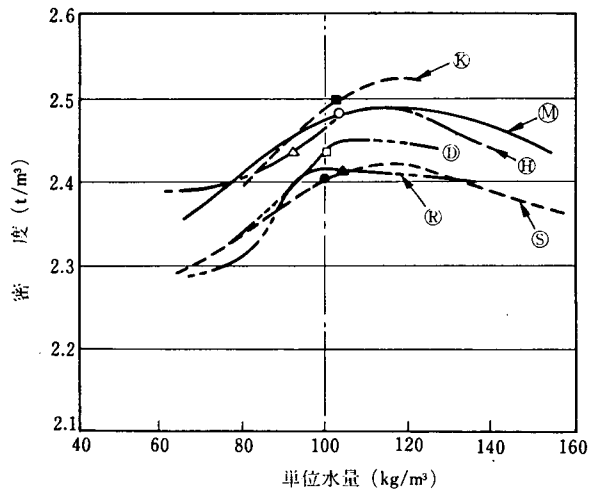


図-6 単位水量と密度

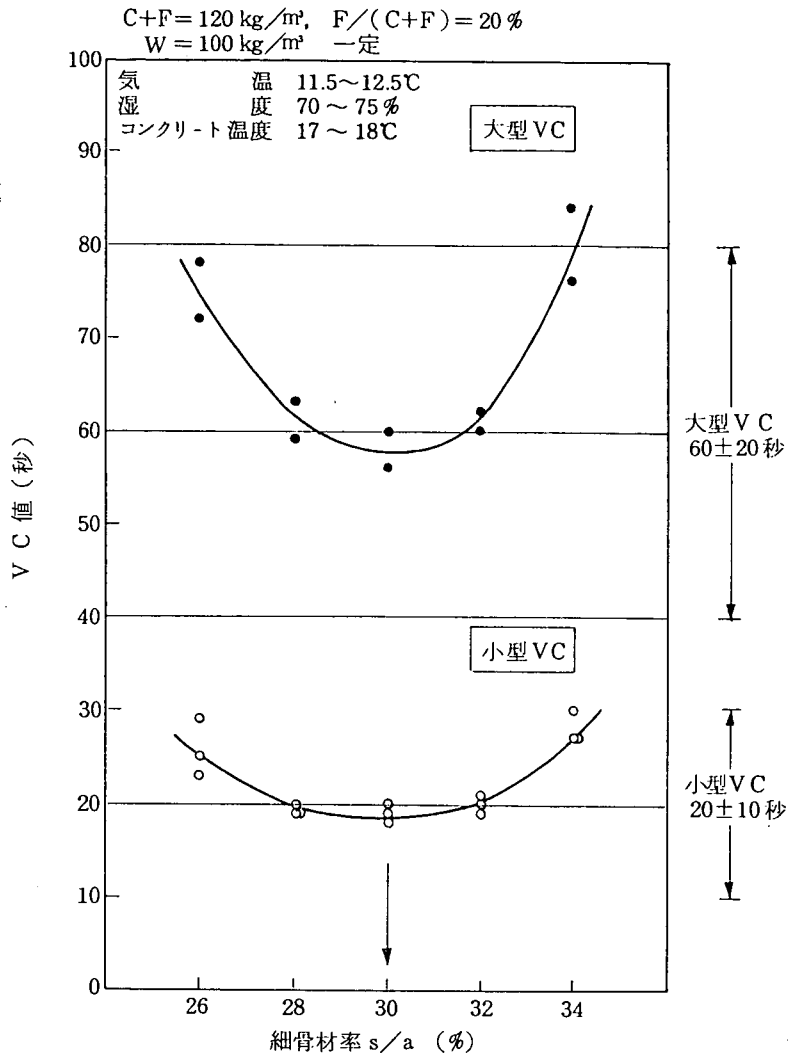


図-7 細骨材率とVC値

コンクリートの性質に関連するファクターとして、単位水量、セメント量、細骨材率、VC値等があるが、この他にRCDコンクリートの性質を示すものとして、ペーストによる細骨材空隙充填率( $\alpha$ )とモルタルによる粗骨材空隙充填率( $\beta$ )がある。ここに

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{\text{コンクリート } 1 \text{ m}^3 \text{ 中のペースト容積}}{\text{コンクリート } 1 \text{ m}^3 \text{ に用いる細骨材の空隙容積}} \\
 &= \frac{W + (C + F) / \rho_{C+F}}{(1000 / W_{s0} - 1 / \rho_s) S}
 \end{aligned}$$

$$\beta = \frac{\text{コンクリート } 1 \text{ m}^3 \text{ 中のモルタル容積}}{\text{コンクリート } 1 \text{ m}^3 \text{ に用いる細骨材の空隙容積}}$$

$$= \frac{W + (C + F) / \rho_{C+F} + S / \rho_s}{(1000 / W_{GO} - 1 / \rho_G) G}$$

ここで、W, C + F, S, G : 各材料の単位量 (kg / m<sup>3</sup>)

$\rho_{C+F}, \rho_s, \rho_G$  : セメント, 細骨材, 粗骨材の比重

$W_{SO}$  : 振動台で締固めた表乾状態の細骨材の単位容積重量 (kg / m<sup>3</sup>)

$W_{GO}$  : 振動台で締固めた表乾状態の粗骨材の単位容積重量 (kg / m<sup>3</sup>)

RCDコンクリートの配合においても、当然骨材の空隙を完全に充たすためのペースト及びモルタルが必要であり、 $\alpha$ ,  $\beta$ がともに1以上の値とする必要がある。これまでの例では、 $\alpha$ は1.1以上、 $\beta$ は1.2以上の値がとられている。一方、VC値はRCDコンクリートに振動を与えた場合に、ペーストが表面に浮いてくる秒数であり、ペースト及びモルタルと骨材の空隙との相関に密接につながりを持っていると考えられる。これまでのRCD施工の例から標準VC値で20秒程度の値をとっておれば、結果的には $\alpha$ ,  $\beta$ が1以上の余裕を持った値となることが確認されている。<sup>2)</sup>

## 5.2 コンクリートダムにおける温度応力

ダムコンクリートでは、コンクリートの冷却に伴う収縮によって、その変形が拘束されるとコンクリート内部に引張応力が生じ、温度ひび割れが生じる。これを防ぐために、セメント量の低減、低発熱セメントの使用、打上り速度の制限、パイプクーリング、ブレードクーリングの実施、縦継目、横継目の設置等が行われている。RCD工法では、施工方法等の関係から縦継目を設けない。このため全面レア打設のための設計理論が必要となる。温度応力は拘束の状況から、外部拘束、内部拘束の二つに分かれる。外部拘束は体積変化が基礎岩盤などの境界条件によって拘束される場合をいい、内部拘束は均一でない体積変化が起こり、その体積変化量の差によって互いに拘束される場合をいっている。

コンクリート内のある点において発生する温度応力の大きさは、一般に

$$\sigma_i = R_i E_c \alpha \Delta T$$

であらわされる。

ここに、 $\sigma_i$  : コンクリート内の各点に発生する温度応力

$R_i$  : コンクリート内の各点に対応する外部拘束度

$E_c$  : コンクリートの弾性係数

$\alpha$  : コンクリートの熱膨張係数

$\Delta T$  : コンクリートの温度降下量

である。

これまで温度応力の考え方としては、外部拘束として岩盤拘束を考え、岩盤拘束度Rは、コンクリートと岩盤の弾性係数の比によって定まるものとし、温度規制は経験的な要素も加味し、プロッ

ク長Lに対する規制温度の目安を求め温度規制計画を考えていた。

その後、RCD工法の研究がなされ、外部拘束度の大きさは、コンクリートブロック長さLによって直接きまるのではなく、ブロックの高さHと長さLの比によって定まることがわかった。これはH/L理論と呼ばれ、RCDダムでの温度規制の考え方の根拠となった。RCDダムでは、コンクリートの打設が全面レアで規則的、迅速に行われることから、コンクリートの冷却は、実用上コンクリー

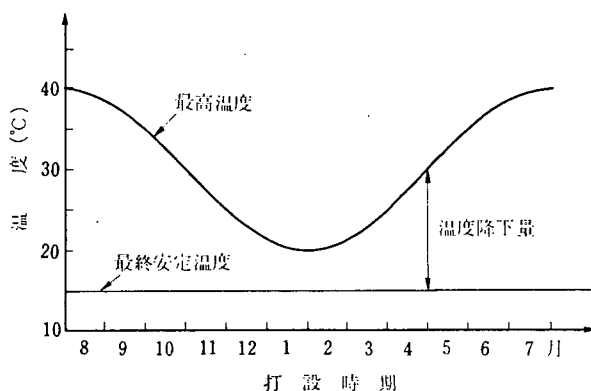
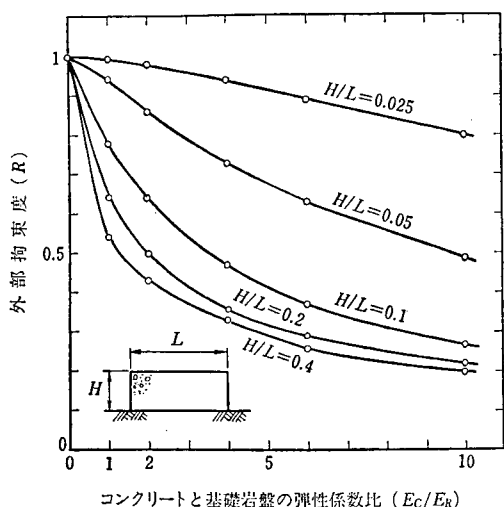


図-8 着岩面における外部拘束度の大きさ 図-9 打設時期と最高温度、最終安定温度の関係

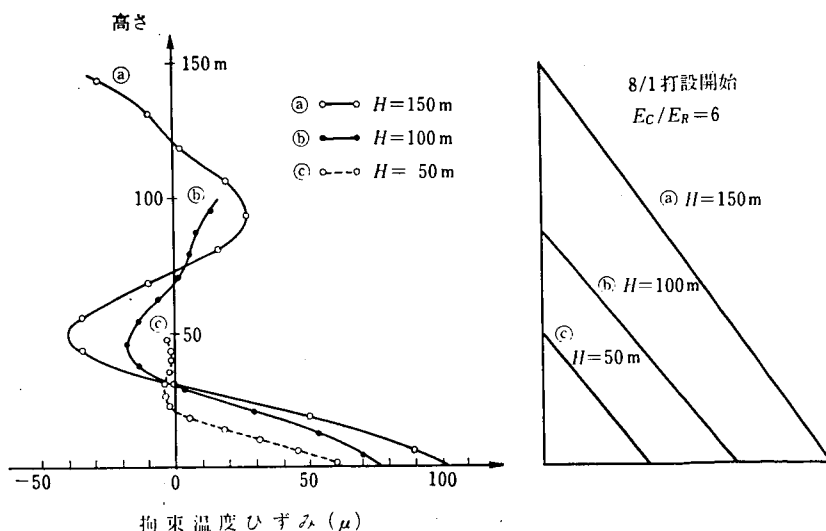


図-10 ダムの規模（堤高）と堤体内部（各層中央部）の拘束温度ひずみの分布の関係

トの打設終了後に生じると考えられる。従って、 $H/L$ が確保され、RCDダムにおける長大レアは温度ひびわれを生じることなく打設することが出来るとされている。<sup>2) 3)</sup>

RCDダムの温度応力の解析については、拘束度マトリックスを用い、コンクリートの引張強度に対するひずみ量（拘束温度ひずみ）の形として求められる。計算例を、図-9、10に示す。これらから拘束温度ひずみは、堤高、打設開始時期等と密接に関連しており、施工計画に対する配慮が必要である。

### 5.3 コンクリートの運搬方法

RCD工法における大きな特徴は、コンクリートの運搬方法にある。従来工法（柱状ブロック工法）では、運搬方法は、ケーブルクレーン（走行路式、軌索式）、ジブクレーン（自走式、固定式）、タワークレーン等のクレーン類によるものが大部分である。RCD工法では、ダンプトラックによる直送、固定ケーブルクレーンとダンプトラックの組合せ、インクラインとダンプトラックの組合せ、ベルトコンベアとダンプトラックの組合せ等変化に富んでいる。いずれも、地形、ダム規模、ダム形状等からダムサイトにもっとも合った運搬施設が選定されている。<sup>4) 5)</sup>

ダム規模とコンクリート運搬施設の関係を見ると（表-2、図-11）、ダム高が中ぐらいあるいは低いダムで、両岸の地形が比較的緩やかで、運搬路の設置が容易なサイトでは、ダンプトラックによる直送が採用されている。ダム高が大きく、地形が急峻な場合には、インクラインとダンプトラック、固定ケーブルクレーンとダンプトラックの組合せが適している。この他ベルトコンベアによる運搬は、これまでダムの減勢工、洪水吐、本体の一部等で試験的に実施され、好結果が得られている。RCD工法の効率化を求める上からも、より連続打設に近いベルトコンベア工法は、ダム規模、地形等により柔軟に対応出来る利点を持っており、今後大いに期待出来るものと考えている。<sup>6)</sup>

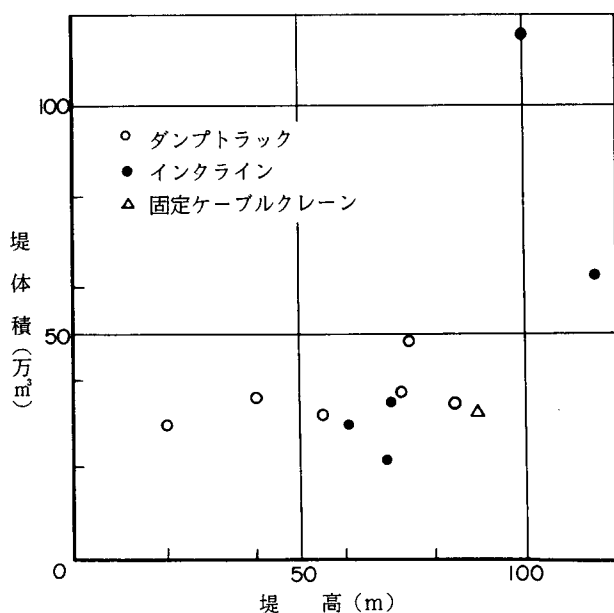


図-11 ダム規模とコンクリート運搬方式

## 6. R C C工法との比較

R C C (Roller Compacted Concrete) 工法は、アメリカにおいて開発された工法で、フィルダムの施工技術の利点をとり入れ、工費の節減と工期の短縮が最重点に考えられている。最初に Willow Creek ダムで、1982年に適用され、極端に貧配合超硬練りのコンクリートを、ダンプトラックまたはベルトコンベアにて運搬し、ブルドーザー、フィニッシャー等で敷き均し、振動ローラで締固める工法で、これまでに表-5に示すような施工例がある。

表-5 R C C工法によるダム

| ダ ム 名               | 高さ<br>(m) | 堤体積 (m <sup>3</sup> )<br>(R C C部) | 完成年  | コンクリート運搬方式            |
|---------------------|-----------|-----------------------------------|------|-----------------------|
| Willow Creek ダム     | 52        | 170,000                           | 1982 | ベルトコンベア+スクレーパ、ダンプトラック |
| Winchester ダム       | 21        | 24,500                            | 1984 | スクレーパ直送               |
| Middle Fork ダム      | 38        | 42,100                            | 1984 | ベルトコンベア+ホイロード         |
| Galesville ダム       | 51        | 160,800                           | 1985 | ダンプトラック直送             |
| Monksville ダム       | 46        | 221,000                           | 1986 | モータスクレーパ、ダンプトラック直送    |
| Upper Stillwater ダム | 87        | 1,070,000                         | 1987 | ベルトコンベア+ダンプトラック       |

施工法の概観はR C D工法と似たところもあるが、内容的にはR C D工法と異なった考え方になっている。

日本におけるR C D工法によるダムは、従来からのコンクリートダムの設計条件に基づいたもので、質的に何ら変わるものではない。R C C工法ダムでは、R C C工法ダムのみに限られたことではないが、我国の基準にくらべて低い安全率で設計されている。特に横継目は全く設けないかまたは極く一部に設けているのみである。そのため温度応力対策として、骨材に対するプレクーリングを実施する等打込み温度の低下を図っている。

R C Cコンクリートの配合例は、表-6のようである。C+Fが極端に少ないのが特徴である。中で Upper Stillwater ダムではフライアッシュとセメントの量が逆転している。

打設スピードは、リフト高30cmの連続打設を行い、日当り1~4リフトとなっている。また、グリーンカット、敷モルタルは省いており、打設スピードを早める努力がみられる。その他骨材は、堤体掘削岩、河床砂礫等を洗浄せずに使用している。そして下流面は型枠なしで施工している。いずれも経済性、施工性を考慮したもので、Willow Creek ダムで工期、工費とも従来工法の約1/3となったと言われている。しかし、これらのダムでは、本体上下流につながるクラックの発生、漏水等が報告されており、最近の Elk Creek ダムでは、R C D工法の考え方を一部とり入れている。<sup>4)</sup>

表-6 R C Cコンクリートの配合

| ダム名                 | Gmax<br>(mm) | C<br>(kg) | F<br>(kg) | C+F<br>(kg) | W<br>(kg) |
|---------------------|--------------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| Willow Creek ダム     | 76           | 47        | 19        | 66          | 107       |
| Winchester ダム       | 75           | 104       | 0         | 104         | —         |
| Middle Fork ダム      | 76           | 71        | 0         | 71          | 77~95     |
| Galesville ダム       | 76           | 53        | 36        | 89          | 72        |
| Monksville ダム       | 76           | 62        | 0         | 62          | —         |
| Upper Stillwater ダム | 38           | 77        | 170       | 247         | 107       |

## 7. 今後の課題

R C D工法は画期的な工法として、確実に発展しつつあるが、解決していかなければならない課題も多くある。経済性、工期の短縮、省力化等の追求のために今後の努力が必要である。課題としては、

- ①放流設備、堤内構造物等施工を考慮した構造設計
- ②最適運搬方法の選定
- ③打設速度の向上
- ④堤頂部付近の打設方法の検討
- ⑤振動締固め機械の開発
- ⑥コンクリート材料の検討
- ⑦上下流面コンクリートの検討

等が考えられる。

## 8. おわりに

R C D工法は、ダム施工技術のみならずダム技術全般にわたって技術の進展をもたらした。また、本体工事の安全性、ダムサイトの環境面においてもその有利性が認められている。今後残された課題にとり組み、施工例も増えてくれば、従来工法をしのぐものとなる可能性もある。より良いR C D工法をすすめていく努力が必要である。

## 参考文献

- 1) 志水茂明・柳田力：RCD工法における大型供試体試験，ダム技術，No.26，1988。
- 2) 廣瀬利雄・永山功：RCD工法における温度規制の設計法，ダム技術，No.26，1988。
- 3) 糸林芳彦・志水茂明・山内彪・永山功：RCD工法によるコンクリートダムの設計の現状と課題，大ダム，No.128，1989。
- 4) 鈴木徳行・志水茂明：RCD工法とRCC工法との特性について，土木学会論文集，第403号，1989。
- 5) 竹林征三：ダムの合理化施工技術について，日本ダム協会・ダム技術センター：RCD工法施工講習会テキスト，1989。
- 6) 建設省中国地方建設局島地川ダム工事事務所：島地川ダム工事誌，1982。

## 最近の交通事故の動向と対策

道路部長 柴 田 正 雄

## 最近の交通事故の動向と対策

わが国の交通事故の死者数は、昭和63年には13年ぶりに1万人を越し、平成元年においてはさらに急激な増加を示しており、10月末で既に死者数は8,998人と昨年同期に比べて7.3%も増加している。

かつて交通事故は昭和30年代から40年代前半にかけ、高度成長の煽りを受けて急増し、昭和45年をピークに死者数は16,765人までに達した。昭和41年に始まった交通安全事業法に基づく2次にわたる交通安全事業3箇年計画が功を奏して頭打ちとなり、46年以降は減少の傾向に転じた。昭和45年には、交通安全対策基本法が制定され、これに基づく総合交通安全施設整備事業5箇年計画がはじまり、昭和54年には、死者数を半減させるに至った。

その後、走行台キロの伸び等により、交通事故死者数は微増してきたが、昭和62年から63年にかけてはこれまでに比べて著しい伸びを示しており、平成元年も前年同様急激なペースで死者数が増加しており、今後の動向が憂慮される事態となっている。

このような緊急の事態に対し、建設省では「交通安全緊急実行計画」により、事故分析と安全事業の一体となったシステムづくりを行ない、効果的な安全事業の推進に取り組んでいるところである。

今回は、「事故増加の実態とその背景」、及び「その対策、特に交通安全緊急実行計画の内容」、について紹介する。

現在のような交通事故非常事態の下において、関係各位において少しでも交通事故の防止に役立てていただくため、未だ研究過程の段階のものも含めて発表させていただく。

### 1. わが国の交通事故の推移

図-1に、交通事故件数、死者数、死亡事故件数の推移を示す。

事故件数については昭和44年、死者数及び死亡事故件数については昭和45年がピークである。

この後の交通安全事業5箇年計画により全事故件数は昭和52年に64%、死者数及び死亡事故件数については昭和54年に50%まで減少した。しかし、その後は昭和62年まで漸増しており、昭和62年から63年にかけては死者数及び死亡事故件数が前年比で約1割も増加している。

図-2は自動車走行台キロの伸びを示しているが、これまでの事故件数の伸びがほぼこれに一致していることから、事故件数の伸びは交通量の伸びによるものと解することができる。参考のため、図-3に全事故と死亡事故の事故率（1億走行台キロ当たりの事故件数）を示す。全事故に関しては昭和55年以降はほぼ一定の事故率となっている。一方死亡事故については、昭和62年まで順調に事故率が低下していたが、昭和62年から63年にかけて増加している。

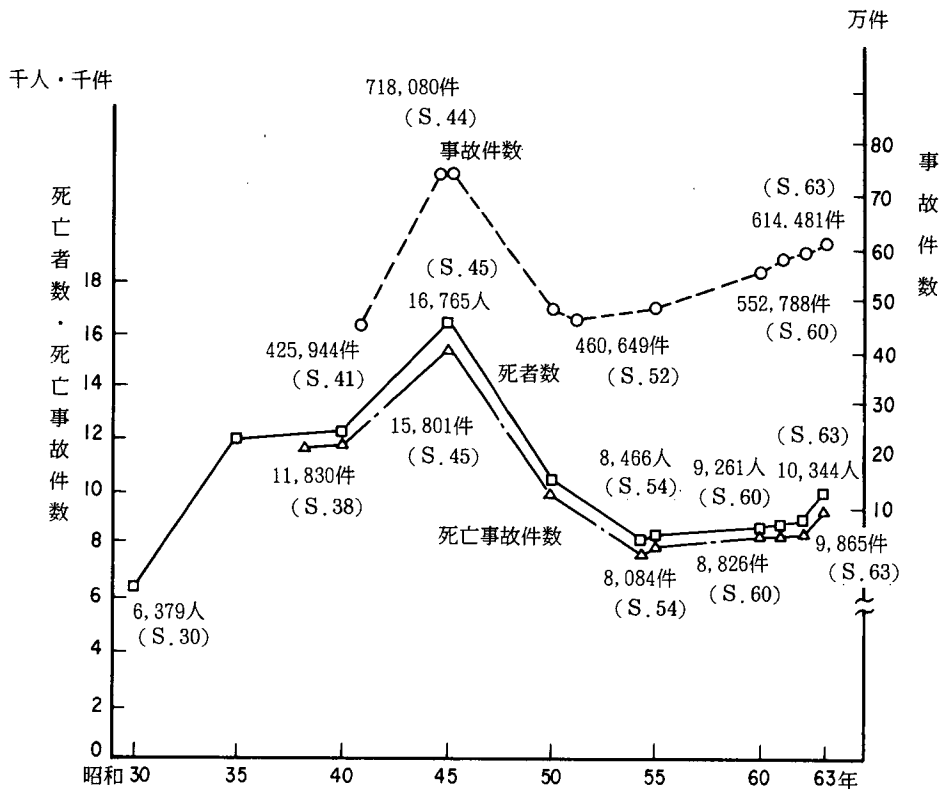


図-1 事故件数、死者数、死亡事故件数の推移

警察庁交通局監修「交通統計」による

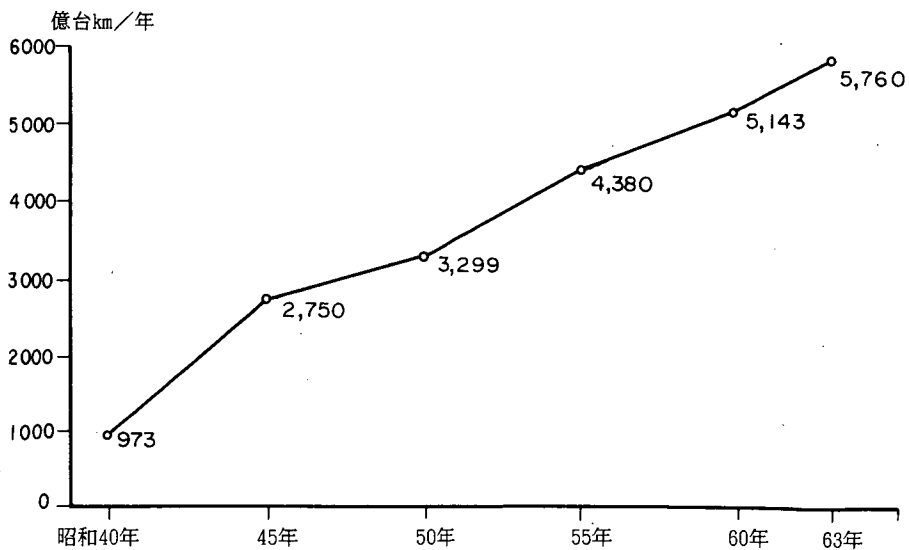


図-2 自動車走行台キロの推移

運輸省統計資料、建設省「道路交通情勢調査」より推計

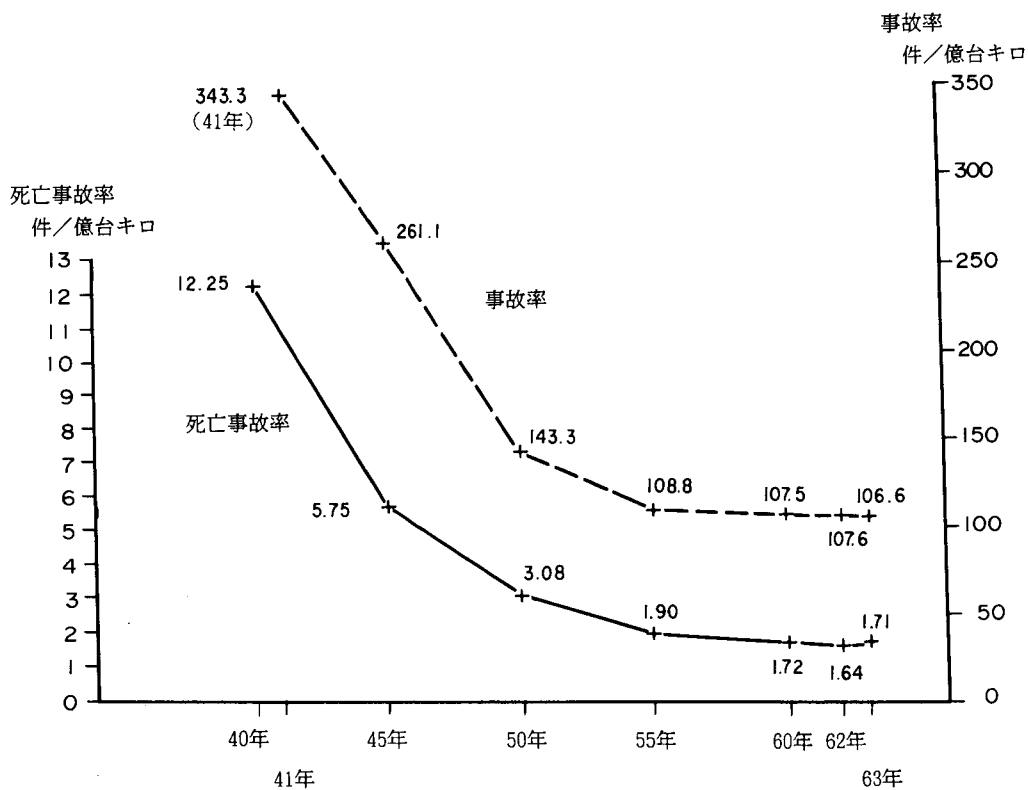


図-3 事故率，死亡事故率の推移

運輸省統計資料，建設省「道路交通情勢調査」，警察庁交通局監修「交通統計」による

## 2. 近年の事故の特徴

### 2.1 夜間事故と死亡事故の増加

全事故件数の推移は，走行台キロの伸びと関係が深いと述べたが，昼夜別のそれぞれの推移についても同様のことが言える。

図-4 は昼夜別事故件数の推移，図-5 は昼夜別走行台キロの伸びだが，概ね同じ様な経過をたどっている。これらを見ると，夜間の伸びが昼間の伸びに比べ，かなり高いことが判る。この背景を説明する状況の変化としては，ひとつには貨物輸送の定時性確保のための地方部幹線道路における夜間走行の増加，もうひとつには生活時間の変化などが考えられる（図-6）。

いづれにしても，今後夜間の交通量が増加していくことは変わらないものと思われ，しかも夜間の事故率が昼間よりも1割以上も高いことから，夜間事故の防止対策がうまく行なわれるか否かによって，今後の事故件数の推移が左右されるものと思われる。

なかでも，死亡事故について見ると，図-7 に示されるように昭和55年から昼夜別の件数が逆転し，昭和55年を100とした場合昭和63年で昼間が106，夜間が130と夜間の死亡事故件数の伸びが著

しい。夜間の事故は表-1に示すように致死率（死亡事故件数／全事故件数）が高く、夜間の事故が増加することにより全事故件数の増加以上に死亡事故が増加している。走行台キロ当たりの夜間の死亡事故件数（夜間の死亡事故率：図-8

表-1 昼夜別致死率（昭和63年）

|     | 死傷事故件数<br>① | 死亡事故件数<br>② | 致死率<br>②／① |
|-----|-------------|-------------|------------|
| 夜 間 | 188,714     | 5,520       | 2.93 %     |
| 昼 間 | 425,767     | 4,345       | 1.02 %     |

参照）は、各種安全対策の結果、昭和62年までは減少傾向をたどって来たが、夜間の走行台キロの伸びに抗しきれない状況で、図-7にあるように夜間の死亡事故件数の増加を押えるには至らなかった。

このように、近年の交通事故の大きな特徴として、夜間事故の増大と、それを反映しての死亡事故の増加が挙げられる。

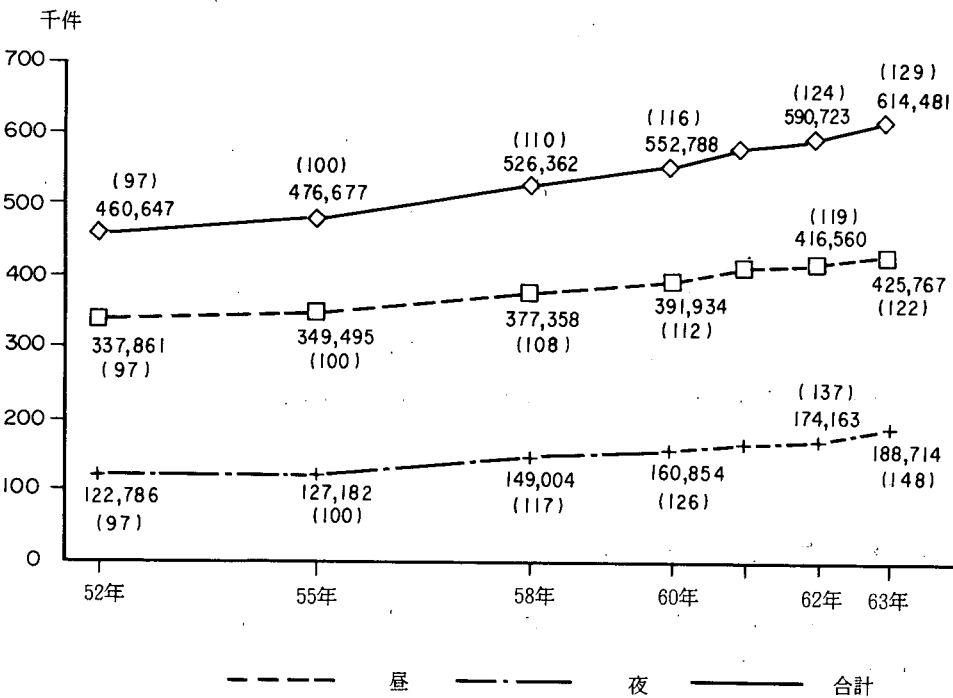


図-4 昼夜別事故件数の推移  
警察庁交通局監修「交通統計」による

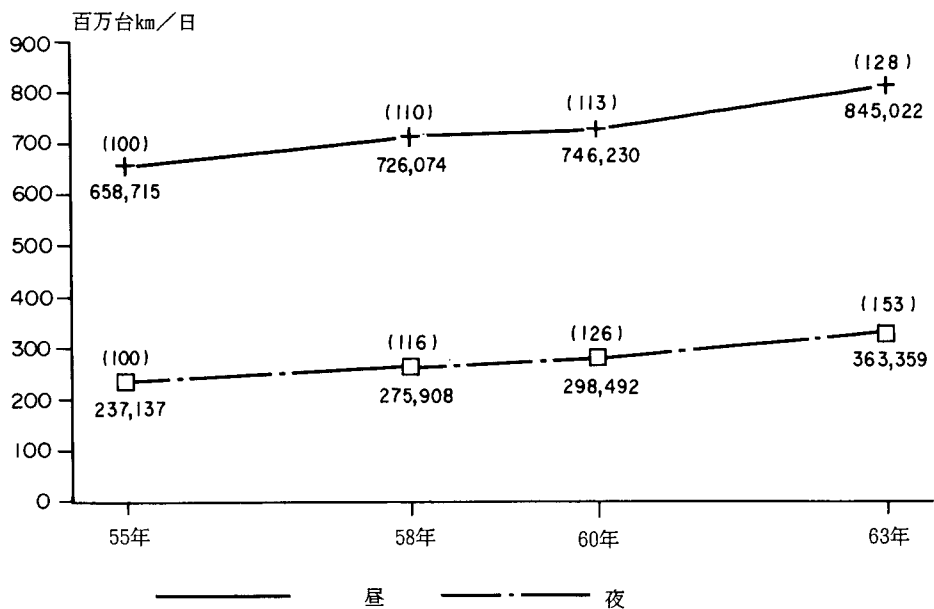
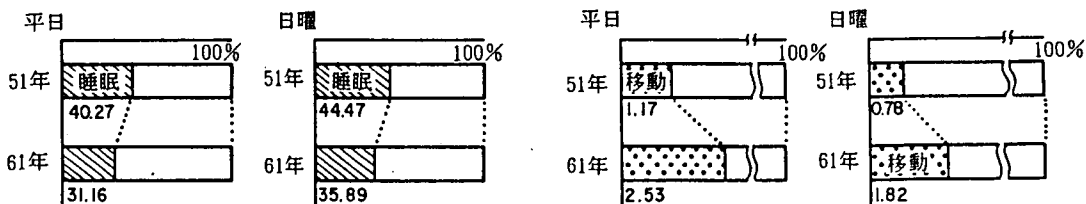


図-5 昼夜別走行台キロの推移

建設省「道路交通情勢調査」による

午後10時30分に睡眠をとっている人の割合の変化

午後10時30分に移動している人の割合の変化



- 注 1 総務庁「社会生活基本調査報告」(昭和51年10月及び61年10月調査)による。  
 2 「平日」とは、月曜日から金曜日までである。  
 3 「移動」には、配達人等の仕事のための移動は含まれない。

図-6 夜間活動の活発化

総務庁「社会生活基本調査報告」による

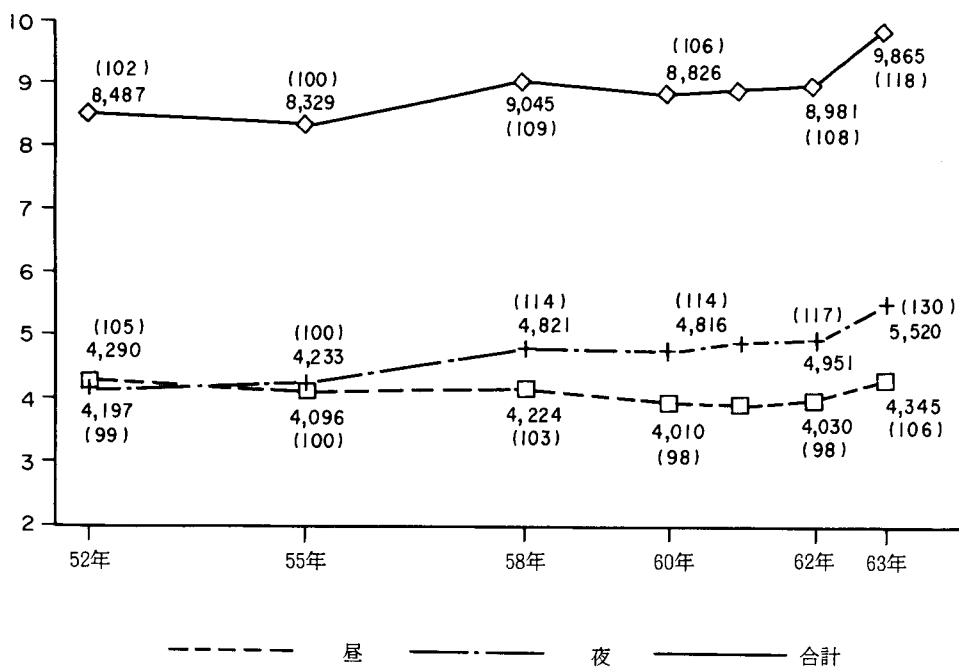


図-7 昼夜別死亡事故件数の推移

警察庁交通局監修「交通統計」による

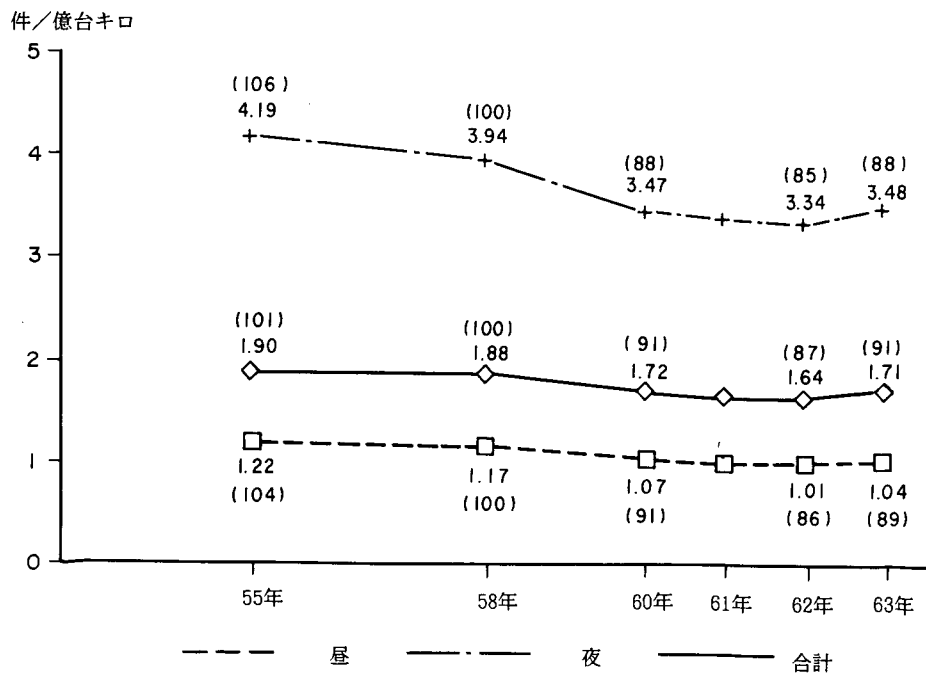


図-8 昼夜別死亡事故率の推移

運輸省統計資料，建設省「道路交通情勢調査」，警察庁交通局監修「交通統計」による

### 2.3 週末の死亡事故の増加

木曜日から日曜日にかけての週末で、死亡事故件数の伸びが大きい（図-9）。週末2日制の進展等により、余暇活動が活発化しているためであろうか。図-10は総理府が行なったアンケート調査の結果であるが、国民の意識の上でもレジャー・余暇生活に対するウェイトの置き方が、近年非常に高まっている。このような背景を受け、普段ハンドルを握らない週末ドライバーや、道不案内な観光目的のドライバーが増加して、死亡事故増加の原因になっている可能性がある。

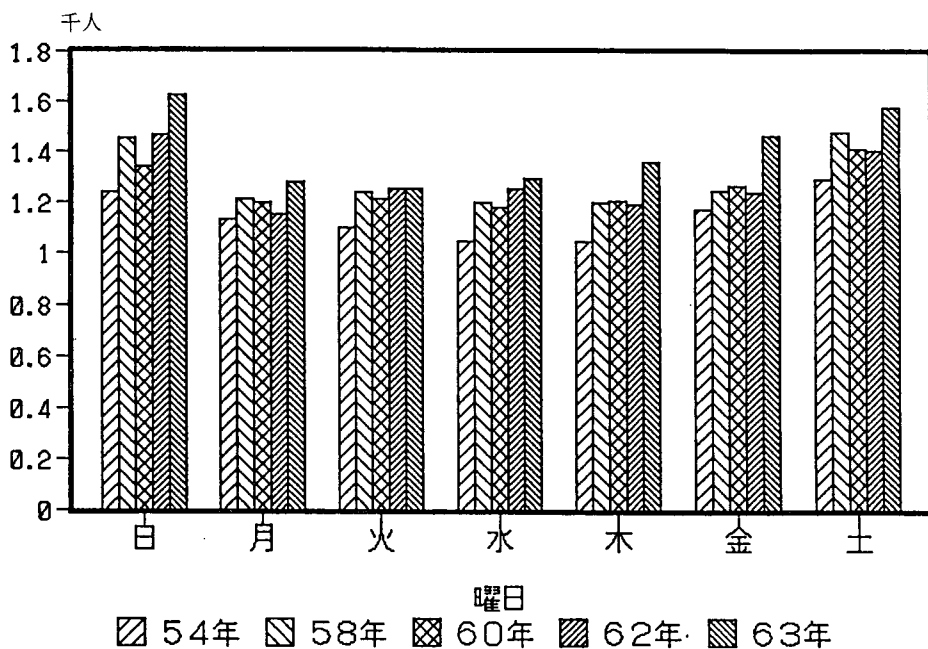
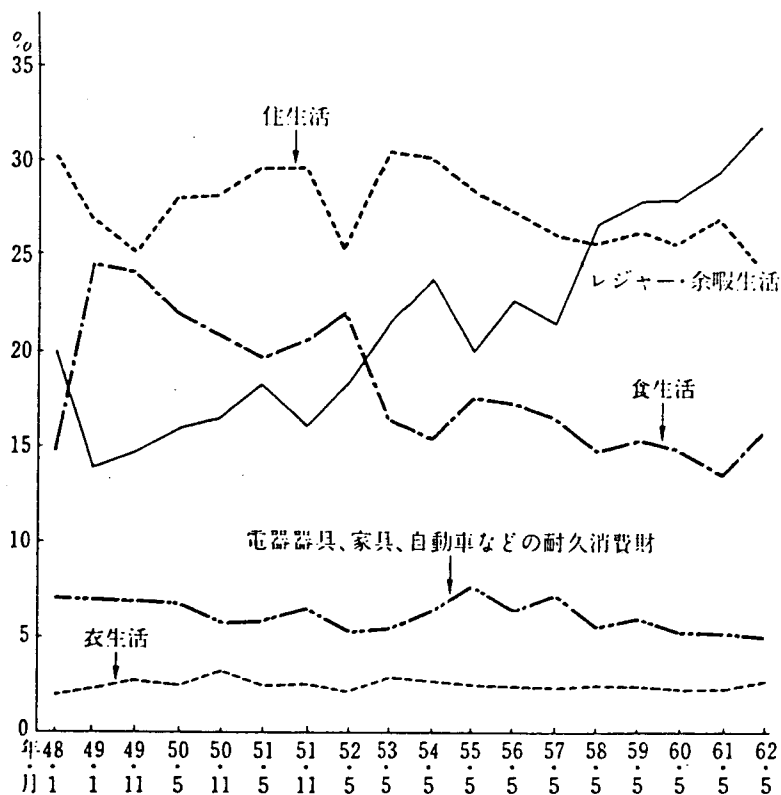


図-9 曜日別死亡事故件数  
警察庁交通局監修「交通統計」による



- (備考)
1. 総理府「国民生活に関する世論調査」による。
  2. 「今後、生活のどのような面に力を入れたいと思うか。」という問に対する回答である。

図-10 今後の生活の力点はレジャー・余暇生活

国民生活白書（昭和63年度版）より

## 2.4 若者、高齢者の死者数の増加

10代後半から20代の若者及び70才以上の高齢者の死者数の増加が著しい（図－11）。

状態別でみると、10代後半から20代では自動車・自動二輪車乗用中が、70才以上では自転車乗用中・歩行中が大部分を占めている（表－2）。15才以下の学童等の死者数は順調に減少しており、通学路対策等の安全対策が功を奏したと思われる。

表－2 年齢別・状態別死者数

|         | 14才以下 | 15～19才 | 20代   | 30代 | 40代   | 50代   | 60代   | 70才以上 | 合 計    |
|---------|-------|--------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|--------|
| 自動車乗用中  | 94    | 571    | 1,151 | 525 | 515   | 494   | 257   | 112   | 3,719  |
| 自動二輪乗用中 | 29    | 755    | 592   | 78  | 34    | 50    | 56    | 33    | 1,627  |
| 原付乗用中   | 8     | 250    | 84    | 60  | 90    | 157   | 126   | 157   | 932    |
| 自転車乗用中  | 127   | 37     | 34    | 35  | 79    | 168   | 200   | 381   | 1,061  |
| 歩 行 中   | 272   | 31     | 84    | 138 | 349   | 479   | 507   | 1,107 | 2,967  |
| そ の 他   | 2     | 0      | 3     | 1   | 5     | 5     | 10    | 12    | 38     |
| 合 計     | 532   | 1,644  | 1,948 | 837 | 1,072 | 1,353 | 1,156 | 1,802 | 10,344 |

出典：警察庁交通局監修「交通統計」

表－3 年齢別人口あたり死者数

|                 | 14才以下 | 15～19才 | 20代   | 30代   | 40代   | 50代   | 60代   | 70才以上 | 合 計    |
|-----------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| ①人口（万人）         | 2,475 | 968    | 1,619 | 1,914 | 1,767 | 1,548 | 1,046 | 890   | 12,226 |
| ②交通事故死者数        | 532   | 1,644  | 1,948 | 837   | 1,072 | 1,353 | 1,156 | 1,802 | 10,344 |
| 人口あたり死者数<br>②／① | 0.21  | 1.70   | 1.20  | 0.44  | 0.61  | 0.87  | 1.11  | 2.03  | 0.85   |

①総務庁資料（昭和62年）

②表－2の合計欄を再掲

高齢化社会は、図－12で示すように急激に進展しつつあり、一方で表－3に示すように年齢別人口当たりの死者数も、70才以上をとると平均値の2倍以上であり、表－4に示すように直接事故を引き起こした第1当事者の年齢層別事故率も、60才以上において高い数値を示していることから、高齢者の安全対策が、今後ますます重要になって行くと思われる。

表－4 年齢別（1当自動車運転中）死亡事故件数

| 年齢階級    | ①死亡事故件数 | ②走行台キロ<br>（億台キロ） | 死亡事故率<br>（①／②） |
|---------|---------|------------------|----------------|
| 10才～19才 | 754     | 46.7             | 16.14          |
| 20才～29才 | 2,476   | 1,150.9          | 2.15           |
| 30才～39才 | 1,320   | 1,847.8          | 0.71           |
| 40才～49才 | 1,148   | 1,534.0          | 0.75           |
| 50才～59才 | 801     | 897.6            | 0.89           |
| 60才以上   | 403     | 245.8            | 1.64           |
| 合 計     | 6,902   | 5,760.0          | 1.20           |

①警察庁交通局監修「交通統計」

②建設省資料より推計

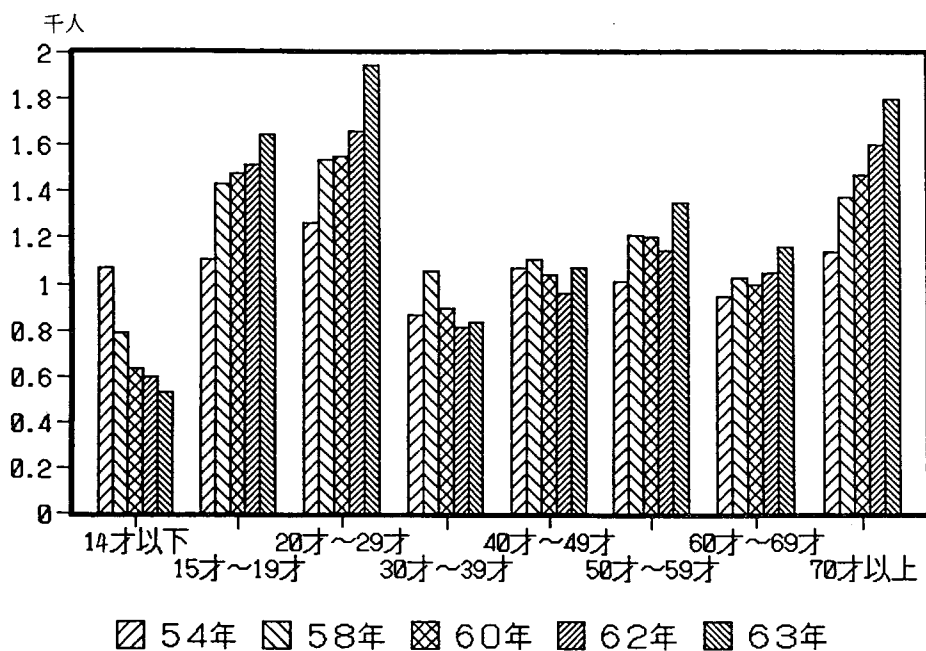


図-11 年齢別死者数の推移  
警察庁交通局監修「交通統計」による

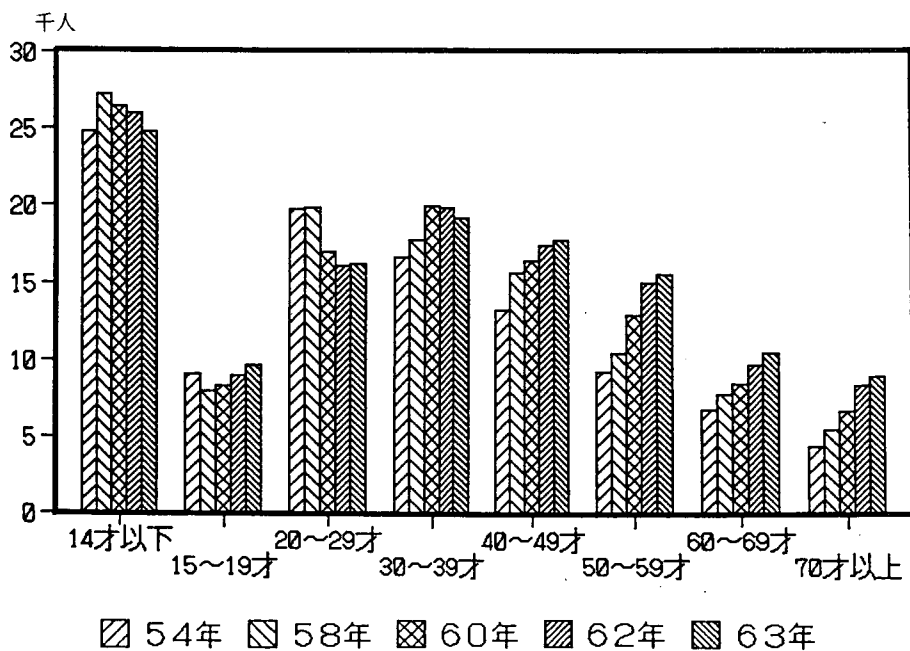


図-12 年齢別人口の推移  
総務庁資料

### 3. 昭和62年以降の死亡事故の急増

昭和62年までの事故増加の要因は、走行台キロの伸びによるところが大きく、事故率、死亡事故率はそれぞれ横這いないしは減少してきたが（図－3）、昭和62年から昭和63年の死亡事故の急増は、事故率の増加も伴っており、何らかの危険要因が増大しているものと思われる。

#### 3.1 昭和62年から63年にかけての死亡事故の特徴

昭和62年から63年にかけて、死亡事故は9.8%増加した。この増加の要因を探るために、様々な角度から分析し、増加の著しい項目を検討することとする。

##### ①昼夜別（図－13）

夜間の死亡事故件数が11.5%増加している。

##### ②地形・道路形状別（図－14）

交差点の死亡事故の増加が著しい。特に、市街地よりも非市街地、昼間よりも夜間にその傾向が強く、非市街地の交差点では夜間の死亡事故が17.8%も増加している。

##### ③事故類型別（図－15）

伸び率が高いのは、車両相互事故（昼夜とも）で、その次が、夜間の人対車両事故である。

##### ④道路種類別（図－16）

高速道路（高速国道及び自動車専用道路）における伸びが最も著しく、昼間で47.1%，夜間で28.6%の高い伸び率を示している。

その次が、夜間の一般国道で、13.7%である。

##### ⑤車種別（表－5）

率の上で大きな伸びを示しているのは、大型貨物などであり、数量的にも率の上でも伸びているのが普通乗用車と軽自動車である。

##### ⑥考察

以上、特に死亡事故の増加が著しい部分を取りまとめると、以下のとおり。

- ・昼間よりも夜間
- ・市街地よりも非市街地
- ・単路部よりも交差点
- ・車両相互事故、その次が、夜間の人対車両事故
- ・幹線道路（高速国道、一般国道等）
- ・普通乗用車、軽自動車、大型貨物など

さらに詳細なクロス集計を行なわなければ厳密な解釈はできないが、以上の項目から想像される

表－5 死亡事故の増加が著しい車種（第1当事者）  
（昭和63年）

| 車 種     | 死亡事故件数 | 伸び率（％） | 増分  |
|---------|--------|--------|-----|
| 大 型 貨 物 | 106    | 19.8   | 21  |
| 普通自動車   | 3,844  | 12.4   | 476 |
| 軽 自 動 車 | 1,125  | 16.5   | 186 |

出典：警察庁交通局監修「交通統計」

事柄として、

- ・夜間、地方部、車両単独事故、幹線道路、大型貨物などのキーワードから、輸送の定時性確保のための夜間長距離輸送の増加。
- ・週末事故の増加、非市街地、交差点、乗用車・軽自動車などのキーワードから、休日交通の土地不案内なドライバー、未熟ドライバーの増加

などが挙げられる。

加えて、近年の経済活動の活発化がドライバーが目的地に急ぐ感情を促し、シートベルトの着用率の低下や「急」のつく運転など、運転マナーの悪化などを招いている可能性がある。

これらは今後仮説として検証しなければならない。

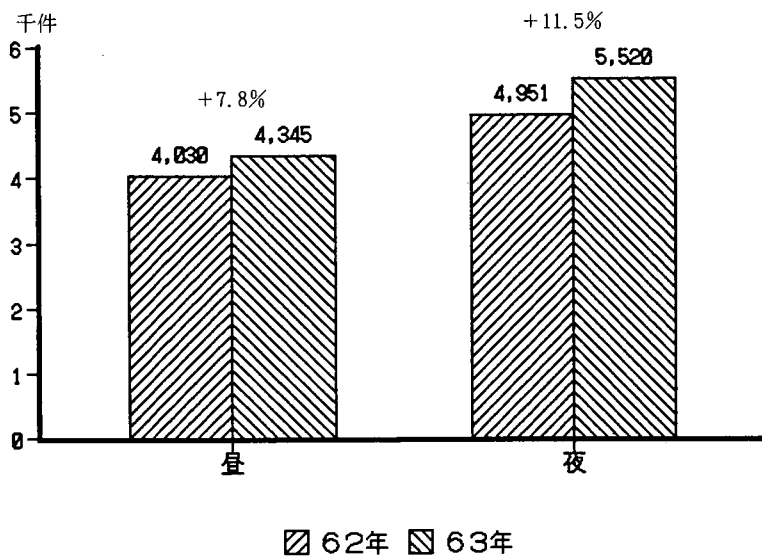


図-13 昼夜別死亡事故件数 (S. 62 ~ 63)

警察庁交通局監修「交通統計」による

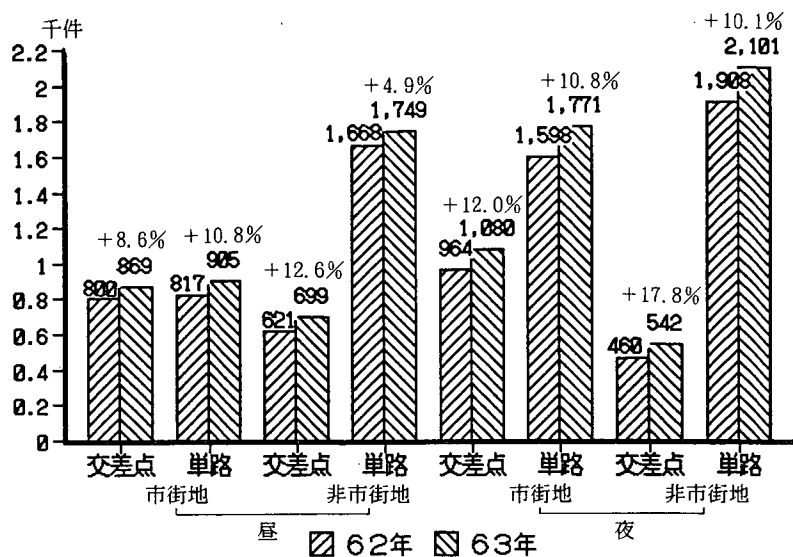


図-14 地形，道路形状別死亡事故件数 (S. 62 ~ 63)

警察庁交通局監修「交通統計」による

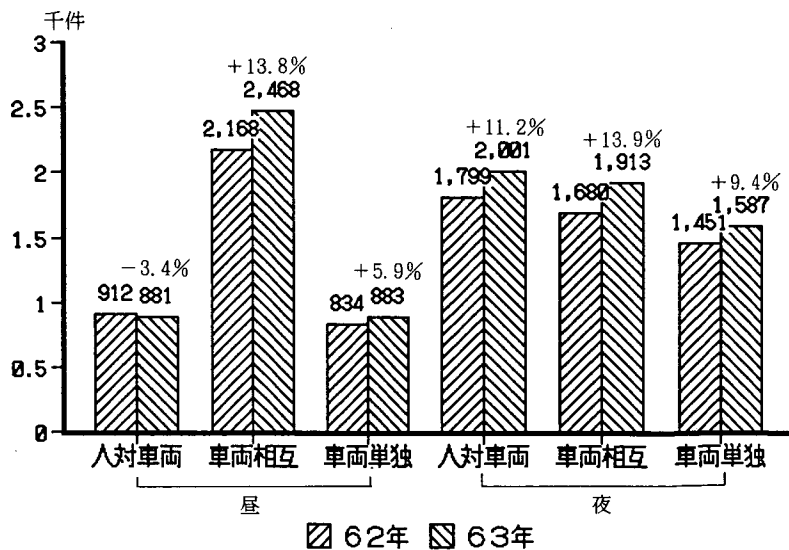


図-15 事故類型別死亡事故件数 (S. 62 ~ 63)

警察庁交通局監修「交通統計」による

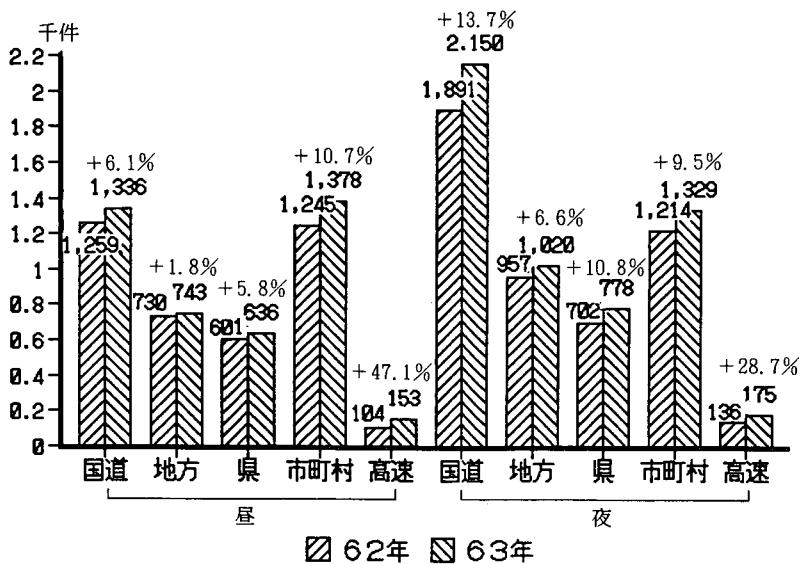


図-16 道路種類別死亡事故件数 (S. 62 ~ 63)

警察庁交通局監修「交通統計」による

### 3.2 平成元年度の死亡事故の増加

昭和62年から63年にかけて急激に増加した交通事故死者数は、平成元年にはいっても依然として伸び続け、平成元年10月末現在で8,998人と、昨年同期に比べ7.3%も増加している。

平成元年の事故の特徴としては、相変わらず

- ・夜間及び週末の死亡事故が増え続けている
- ・自転車対車両事故、車両相互事故が増加している
- ・高齢者の死者数が増加している

状況で、大まかに見れば、昭和62年から63年にかけてのトレンドをそのまま維持しているといえる。

### 4. 交通事故の防止対策

昭和63年の交通事故急増に事態の重大性を受け止め、建設省は昭和63年より交通安全緊急実行計画を実施している。

さらに、平成元年においても増加し続ける交通事故死者数をくい止めるために、平成元年11月28日に、水野総務庁長官より「交通事故非常事態宣言」が出され、同日付で建設省に事務次官を本部長とする交通対策本部が設置された。

この動きのなかで、各道路管理者は、平成元年度中に行なうべき危険箇所点検による緊急対策、

及び平成2年度からの安全事業を対象とした交通安全緊急実行計画を実施中である。

交通安全緊急実行計画は、

- ①事故データベースの作成（調査Ⅰ）
- ②統計的事故データ分析による事故多発区間の抽出（調査Ⅱ）
- ③現地調査による危険箇所の特定と、個々の事故原因の究明による安全対策の検討（調査Ⅲ）
- ④事業実施と事後評価による効果の把握（調査Ⅳ）

から構成され、合理的に事故多発箇所の特定、原因の究明及び対策案の検討を行ない、効果的な安全事業を実施し、また、その効果を検証するものである。

ここでは、現場の方で交通安全対策を計画あるいは実施する際に関連の深い②と③の考え方について解説することとする。

## 5. 調査Ⅱ－事故多発区間の抽出と分析

事故データベースをマクロ的に処理し、事故多発区間の抽出と分析を行なう。

### 5.1 事故多発区間の抽出

事故多発区間は、今年度の調査においては延長1kmを調査単位区間とし、100mずつ移動させて調査単位区間内の事故件数、事故率を調べ、後で述べる指標によりランキングを行なった。また、調査単位区間の起終点付近に危険箇所が存在する場合を想定し、隣接する前後の区間が、調査対象とするか否かのボーダラインレベル以上の事故件数、事故率を有する場合最大900mまで取り組むこととした（すなわち抽出される事故多発区間は1.0～2.8km）。

本来、事故多発区間の抽出においては、事故発生確率を交通量、道路の基本構造（車線数等）などの説明変数により導く統計分析モデル式を用いるのが理想的である。モデル式により導かれた事故率に比べ、ある区間で実際に起った事故の事故率がある水準以上に大きい場合、その区間を事故多発区間とするのである。

しかし、今年度までの緊急実行計画においては、作業時間の短縮と、現場での理解度を高めるために、極力簡単な指標によりランキングを行ない、ワースト区間を抽出することとした。

最も基本的な指標としては、単位延長あたりの事故件数(N)、走行台キロあたりの事故件数（事故率 $=N/Q$ 、Qは年間交通量）などがある。このうちNは、交通安全事業の目的のひとつが事故件数を減らすことにあることから、最も直接的な指標と言えるが、一般に交通量が多くなると危険度が一定でもNは増加するので、単純にNを危険度の指標とすることはできない。また、 $N/Q$ は、「ある車が1km走る間に事故に合う可能性」とみることができ、直接的に道路の危険度を示す指標としてとらえることができるが、一般に交通量が少なく、事故件数も少ない道路では、事故発生の偶然性が事故率に大きく作用するため、事故率の高い区間が出現しやすくなる傾向がある。

昭和63年度においては事故率 $N/Q$ を用いて危険区間を抽出したが、上記の問題を踏まえ、平成元年度においては、 $N + k \cdot N/Q$ （ $k = \sigma_N / \sigma_{(N/Q)}$ ： $\sigma_i$ はiの標準偏差）を用いることとした。この指標の趣旨は、交通量の変化による指標値の変動を軽減し、事故件数Nと事故率 $N/Q$

を同じ重み付けで評価しようとするものである。この際、合計の指標値が高くとも、事故件数又は事故率の一方が極端に小さい区間は、危険区間とは特定し難い。事故率が極端に少ない場合は単に交通量が多いがために事故件数が多くなっている場合であり、特に危険度が高いという訳ではない。また、極端に事故件数が少ない場合は、対策をとっても事故件数の減少効果が期待できなくなるとともに、データ数が少ないことから事故率が偶然その年だけ高くなったのか、真に危険なのかが判定し難い。

このため、実際の作業のなかでは、事故件数又は事故率の一方が極端に小さい区間は、危険区間の選択対象から、当初から外すことにしている。

また、同様の趣旨の指標として、 $\sqrt{N \cdot N/Q}$  があるが、有効性については、来年度以降の作業のために、統計分析モデルとあわせて検討しておきたい。

## 5.2 事故多発区間における事故データ分析

5.1で紹介した指標値は、当該区間の事故危険度であるが、事故の危険要因の中には、大きくわけて、道路管理者が対応しうるものとそうでないものがある。したがって、事故多発危険区間として挙げられた区間がそのまま道路管理者として緊急に対策を講ずるべき区間になるとはかぎらないので、当該区間の事故データ分析により、多発した事故を、道路管理者がとり得る対策により減少させることができるかどうかを検討しなければならない。

図-17は、各安全事業と事故データ項目の関係を示したもので、ここに掲げるデータ項目のうち特化しているものと安全事業のメニューを比較すると、道路管理者としてとるべき安全対策の方向が想定される訳である。また、当該区間に死亡事故が1～2件でもあれば、特に慎重に検討する必要がある。

また、参考のため死亡事故及び夜間事故についてもワーストランキングを行っている。

なお、飲酒、暴走などのドライバーの重過失を含む事故データは、道路管理者がとる安全対策の対象外として、分析対象から外す方が妥当である場合が多い。

|                 | 休日・土曜 | 夜間 | 年齢 <small>注)</small> |       |    | 路面状態 |    |    |    | 当事者種別 |    | 事故類型   |      |    |      |      |    |    |    |    |    |      |    |    |      | 通行目的 |  |  |
|-----------------|-------|----|----------------------|-------|----|------|----|----|----|-------|----|--------|------|----|------|------|----|----|----|----|----|------|----|----|------|------|--|--|
|                 |       |    | 0～15才                | 65才以上 | 小計 | 湿潤   | 凍結 | 積雪 | 小計 | 大型    | 二輪 | 自転車対車両 | 人対車両 | 小計 | 車両相互 |      |    |    |    |    |    | 車両単独 |    | 観光 | ドライブ | 小計   |  |  |
|                 |       |    |                      |       |    |      |    |    |    |       |    |        |      |    | 正面衝突 | 追越追抜 | 小計 | 左折 | 右折 | 小計 | 合計 | 路外逸脱 | 合計 |    |      |      |  |  |
| 事故件数            |       |    |                      |       |    |      |    |    |    |       |    |        |      |    |      |      |    |    |    |    |    |      |    |    |      |      |  |  |
| 全事故件数           |       |    |                      |       |    |      |    |    |    |       |    |        |      |    |      |      |    |    |    |    |    |      |    |    |      |      |  |  |
| 全事故件数に対する割合     |       |    |                      |       |    |      |    |    |    |       |    |        |      |    |      |      |    |    |    |    |    |      |    |    |      |      |  |  |
| 母集団における平均化      |       |    |                      |       |    |      |    |    |    |       |    |        |      |    |      |      |    |    |    |    |    |      |    |    |      |      |  |  |
| 特化の判定           |       |    |                      |       |    |      |    |    |    |       |    |        |      |    |      |      |    |    |    |    |    |      |    |    |      |      |  |  |
| ①夜間歩行者事故対策事業    |       | ●  |                      |       |    |      |    |    |    |       |    |        |      | ●  |      |      |    |    |    |    |    |      |    |    |      |      |  |  |
| ②夜間車両事故対策事業     |       | ●  |                      |       |    |      |    |    |    |       |    |        |      |    |      |      |    |    |    |    |    | ●    |    |    |      |      |  |  |
| ③車線逸脱事故対策事業     |       |    |                      |       |    |      |    |    |    |       |    |        |      |    |      |      | ●  |    |    |    |    |      |    |    |      |      |  |  |
| ④路外逸脱・工作物衝突対策事業 |       |    |                      |       |    |      |    |    |    | ●     |    |        |      |    |      |      |    |    |    |    |    | ●    |    |    |      |      |  |  |
| ⑤高齢者等歩行者事故対策事業  |       |    |                      |       | ●  |      |    |    |    |       |    |        |      | ●  |      |      |    |    |    |    |    |      |    |    |      |      |  |  |
| ⑥二輪車事故対策事業      |       |    |                      |       |    |      |    |    |    |       | ●  |        |      |    |      |      |    |    |    |    |    |      |    |    |      |      |  |  |
| ⑦交差点事故対策事業      |       |    |                      |       |    |      |    |    |    |       |    |        |      |    |      |      |    |    |    |    | ●  |      |    |    |      |      |  |  |
| ⑧ウィークエンド事故対策事業  | ●     |    |                      |       |    |      |    |    |    |       |    |        |      |    |      |      |    |    |    |    |    |      |    |    |      | ●    |  |  |
| ⑨路面・気象対策事業      |       |    |                      |       |    |      |    |    | ●  |       |    |        |      |    |      |      |    |    |    |    |    |      |    |    |      |      |  |  |

注) 年齢、当事者種別下段の数値は第2当事者の件数

図-17 安全事業と事故データ項目の関係整理表

## 6. 調査Ⅲ－危険箇所の特定、危険要因の究明、安全対策の検討

### 6.1 危険箇所の特定

平成元年度の実行計画においては、土木研究所で、

- ① 5.1 で述べた事故多発区間のワーストランキング結果
- ② 事故多発区間内の100m区間ごとの事故件数分布
- ③ 事故多発区間内の事故内容分析結果

を準備し、各道路管理者に配布した。

各道路管理者は、これらを参考に危険箇所を特定し、事故多発危険箇所診断カルテを作成することとしている。

### 6.2 危険要因の究明と安全対策の検討

平成元年度としては、事故多発危険箇所診断カルテという様式を作成し、順次記入することにより、分析を行ない、これにもとづいて対策を検討することとしている。

危険要因の究明と安全対策の検討の留意点、即ちカルテ記入に当たっての留意点は、

- ① 当該地点で起きた事故一件一件の内容と原因の確認
- ② これらの事故原因と道路構造の関係
- ③ これらの事故原因と交通流との関係

について、①については事故1件毎の事故データから、②、③については詳細な現地観測から、ミクロ的な視点で検討することである。現地調査に当たっては、交通流の錯綜現象などから危険要因の分析を補強すると、いっそう正確な分析が可能となる。

診断カルテの作成から安全対策の提案に至る詳細なマニュアルを現在作成中である。

## 7. 緊急実行計画の今後の方向

緊急実行計画の趣旨は、調査と事業がタイアップした効果的な事業の実施を図ることであり、今後継続的に行なわれる予定である。

今回詳しくは紹介しなかった調査Ⅳは、実施した安全事業の効果を測定するもので、主に事前事後の事故件数の比較を中心に行なう。

これらのデータが蓄積される中で、安全事業の定量的効果、あるいは効果的な安全施設の設置方法について検討が行なわれる予定であり、この成果が調査Ⅲ等に反映されることにより、いっそう効果的な事業の推進が期待される。

## 道路橋に関する 2, 3 の問題

構造橋梁部長 佐 伯 彰 一

## 道路橋に関する 2, 3 の問題

### 1. はじめに

社会的、経済的な基盤の一つとしての道路の整備に伴って、道路橋のストック量も増大し、また、今後も増大の一途をたどるものといえる。道路橋においても、従来のどちらかといえば建設中心の時代から維持管理中心の時代に移行しつつあるように考えられる。このような観点から、現在の大きな課題は道路橋をいかに維持管理していくかということであり、また、新しく橋を建設する場合においても、耐久性のある橋、維持管理がしやすい橋ということを最重点におくべきと考えられる。これらの課題の具体的なものには、鋼橋の腐食、コンクリート橋の塩害・アルカリ骨材反応、床版の破損、伸縮継手の改善あるいは橋梁の連続化、耐震、補修補強法……など種々考えられるが、ここでは、その中の1つである道路橋の疲労損傷、道路橋の耐荷力について述べることにしたい。

### 2. 疲労損傷

表-1は道路橋に生じた主な疲労損傷のをまとめたものである。従来、道路橋における疲労損傷として下路ランガー橋の吊材、上路アーチ橋の支柱、プレートガーダー橋の桁端切欠き部などでの発生が報告され、どちらかといえば特殊な形式の特殊な構造部分の問題と考えられがちであった。しかしながら、近年一般的な形式の橋梁で一般的に用いられる構造部分にも疲労損傷が見られるようになってきた。疲労損傷の発生には、作用する応力の大きさ（振幅）とその繰返し作用回数とが大きく影響する。近年の自動車の数および重量の増大も無視できないが、わが国の道路橋は戦後架換えられたものが多く、特に溶接橋は、疲労という面から見れば、応力の繰返しの洗礼を受けていなかったために損傷が発生せず、それがそれほど問題にならなかった原因とも考えられる。現在までに報告されている道路橋の疲労損傷は、主として橋梁の二次的な部材や局所部分に生じており、落橋という重大事故につながるものではない。しかしながら、今後予測される繰返し回数の増大を考えると、今まで軽視しがちであった疲労という問題に、十分な認識と配慮が必要と思われる。以下、数例の疲労損傷を構造的な面から紹介する。

#### 事例 1. プレートガーダー橋の主桁と対傾構および横桁との取合い部

近年、道路橋にみられるようになった疲労損傷に、図-1に示すプレートガーダー橋の主桁と対傾構あるいは主桁と横桁との取合い部の損傷がある。取合い部の構造は様々であるが、図-2はその構造と発生した疲労損傷の代表的な例である。①は横桁を主桁に取付けるために、横桁のウェブに設けた切欠き部に発生したクラックである。また、②は、主桁のスチフナーと横桁のウェブを連結するリベット孔から発生したクラックである。③は、主桁のフランジとスチフナーの溶接部に発生したもの、④はスチフナーのスカラップの中央から、⑤は主桁のウェブとフランジのすみ肉溶接の趾端でウェブに生じたクラックである。また、⑥は主桁のウェブとスチフナーの溶接に沿って生じたクラックである。①～⑥のクラックは、すべてが1つの取合い部に生じるのではなく、これら

のうちの1つあるいは2つ以上が組合わされて生じている。しかし、一般には、④、⑤、⑥は、③のクラックが進展し、フランジとスチフナーとの縁が切れた後に発生している。

表-1 疲労損傷事例

| 橋梁形式              | 損傷状況                                                                                                                                                      |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| プレートガーダー          | 横桁および対傾構と主桁の取り合い部において疲労クラック発生。発生箇所は、<br>1)垂直補剛材と主桁上フランジの溶接部。<br>2)横桁の上下フランジの切欠き部<br>3)対傾構を取付けるガゼットプレートと上、下弦材の溶接部                                          |
| 鋼床版箱桁             | ダイヤフラムを構成する水平リブのフランジと垂直リブの交差部からクラック発生。水平リブのフランジとウェブの溶接に沿って主桁ウェブ付近まで進展。                                                                                    |
| ランガー桁橋            | 端横桁および桁端に近い横桁と主構との取り合い部において、横桁上フランジとウェブの溶接部、横桁を取付けるコネクションプレートの溶接部に疲労クラック発生                                                                                |
| プレートガーダー          | 桁端の主桁切欠き部において下フランジとウェブの溶接部に疲労クラック発生                                                                                                                       |
| 下路ランガー桁<br>下路ローゼ桁 | 風により吊り材が激しく振動し、支間中央付近の吊り材に疲労クラック発生。発生箇所は、<br>1)吊り材取付け部の補剛けた上フランジ溶接部<br>2)吊り材(I断面)上下端部付近の断面変化部に溶接止端<br>3)吊材上下端部のガゼットプレート部のリベット孔周辺<br>4)鋼管斜材を取付けるガゼットの溶接部   |
| 上路アーチ<br>中路アーチ    | 1)アーチクラウン部付近における、垂直材を補剛桁およびアーチリブに取付けるためのガゼットプレート溶接部に疲労クラック発生。一部は補剛桁ウェブに進展。<br>2)垂直材上の補剛縦桁ウェブの下フランジ部切欠き部から疲労クラック発生。<br>3)縦桁を支える横桁とアーチリブウェブとの取付け部に疲労クラック発生。 |
| プレートガーダー<br>鋼床版箱桁 | 支承部のソールプレートの隅肉溶接止端部に疲労クラック発生。一部は主桁下フランジを貫通しウェブに進展。                                                                                                        |
| プレートガーダー          | 支点部における横構取付けガゼットプレートの回し溶接部および支点上垂直補剛材溶接部に疲労クラック発生。                                                                                                        |
| 鋼床版箱桁             | 鋼床版縦リブ(バルブプレート)と横リブの交差部において横桁側溶接止端部に沿って疲労クラック発生。                                                                                                          |
| 鋼製T型橋脚            | 貫通したはりの下フランジと、柱のフランジおよびウェブのグループ溶接部に疲労クラック発生。溶接欠陥が主原因。                                                                                                     |
| 下路単純トラス           | 横桁と縦桁の取り合い部において、縦桁ウェブの上下フランジ切り欠き部から疲労クラック発生                                                                                                               |
| 鋼床版箱桁             | 1)ダイヤフラム、主桁のウェブおよび下フランジとの間に取り付けられているコーナープレート溶接部に疲労クラック発生<br>2)鋼床版デッキプレートとウェブの間に取り付けられたコーナープレートの溶接部に疲労クラック発生。                                              |

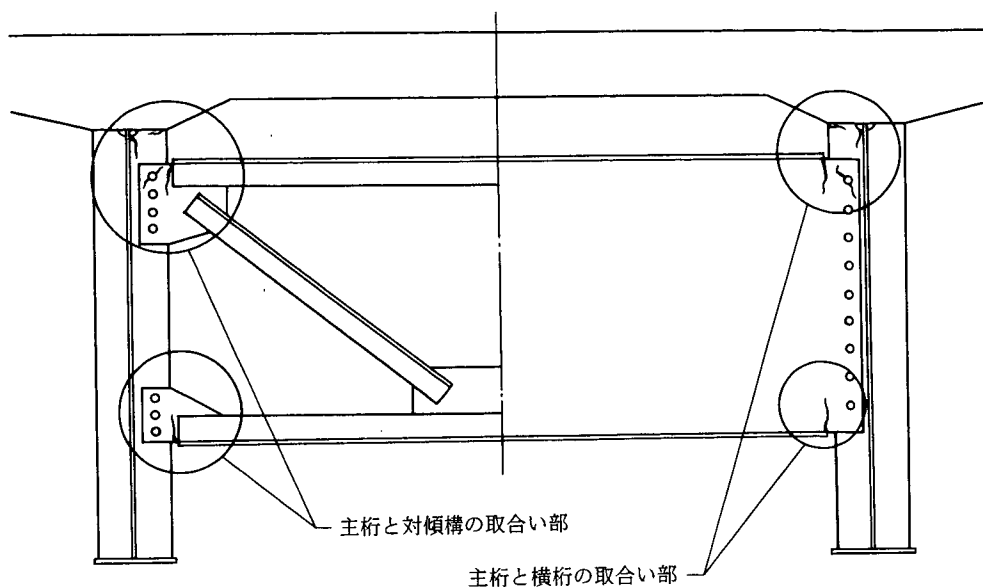


図-1 主桁と対傾構および横桁との取合い部に発生したクラック

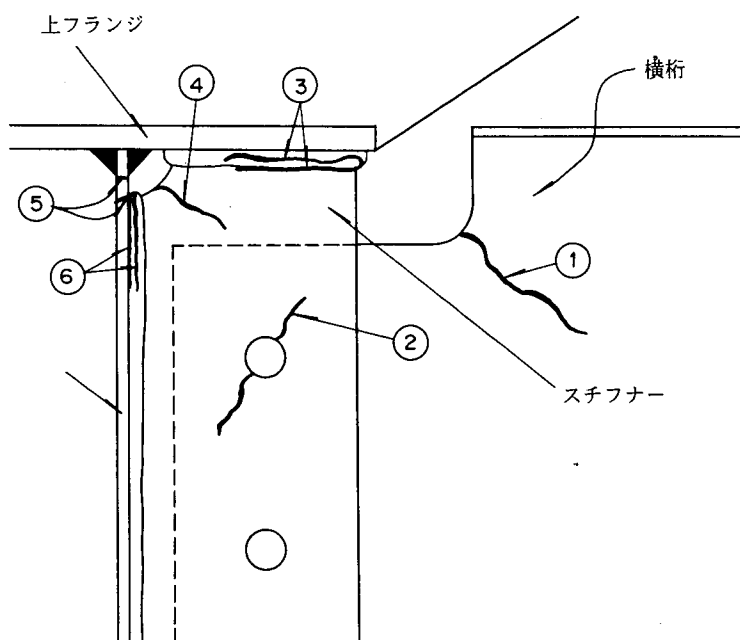


図-2 主桁と横桁との取合い部のクラック (例)

以上の疲労損傷は、それが直ちに落橋につながるものではない。しかしながら、この損傷は、主桁相互の連結の度合を低下させ、橋全体の剛性を低下させることになり、徐々にであろうが床版等

の損傷を招くことになる。また、先に示したクラック⑤のように、橋の主体である主桁にまで損傷が進展していくおそれがある。

さて、このような疲労損傷が生じた原因を設計の面から考えると、まず、取合い部における横桁の曲げモーメントの問題があげられる。従来、耳桁と横桁との取合い部では、主桁（耳桁）に横桁から作用する力はせん断力のみであり、曲げモーメントは作用しないものと考えて設計していた。

これは、横桁が主桁のウェブの板面に直角に取付くため、ウェブの面外の変形によって横桁端部は自由に回転できる、あるいは図-3の(a)のように主桁全体が回転すると考えられていたことによる。しかしながら、調査してみると横桁端部では、回転がそれほど自由でなく、せん断力だけが作用するいわゆる単純支持状態ではなく、曲げとせん断力が作用する固定支持に近いことが判ってきた。すなわち、取合い部のウェブには、垂直スチフナーが取付けられ、かつスチフナーの上端は上フランジに溶接されている。したがって、横桁端部は、板（ウェブ）が面外曲げを受けて曲るといった単純な構造ではなく、上端をフランジで拘束されたスチフナーで補剛された構造となっている。また、主桁全体の回転の面からみると、主桁の上端は床版によって固定され、下端は横構によって拘束されており、回転は自由ではない。

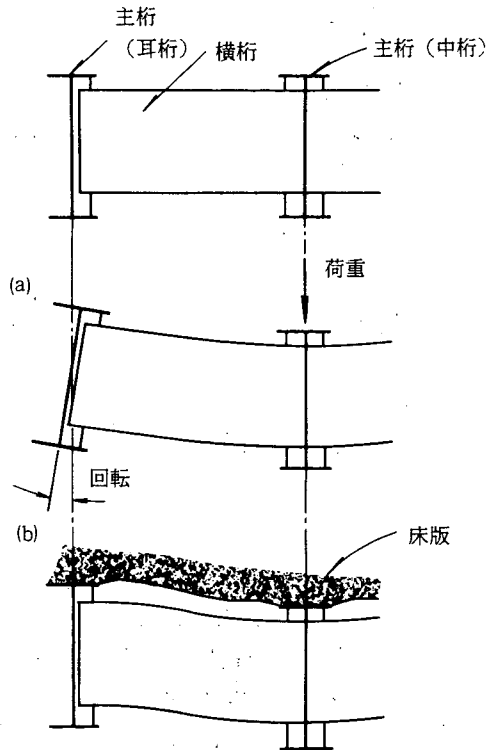


図-3 主桁の挙動

以上から明らかなように、横桁端部は、回転自由な支持構造でなく、回転を拘束された支持構造となっており、せん断力は勿論のこと曲げモーメントも作用し、その構造はこの両者が作用することを前提としなければならない。

また、上述したウェブ面外変形が自由になる構造として、図-2に示したクラック③が進展し、スチフナーが上フランジで拘束されなくなった状態をあげることができる。この場合、板が比較的自由に変形し得るのは、スチフナーで補剛されていないスカラップ部分である。この部分が短い場合は、疲労損傷が生じやすい板面外への局所的な変形が起こることになる。その結果がクラック⑤といえる。板の面外変形が可能な部分の長さを大きくして変形を許し、作用する曲げモーメントを小さくすることも考えられなくはないが、一般に板面外の変形が生じる構造は、疲労損傷が発生しやすいことを考えると、このような構造は基本的には避けるべきであろう。

以上、耳桁との取合い部について記したが、中桁との取合い部にも同じような疲労損傷が生じて

いる例がある。図-4の(a)はその1つの構造の例で、図-5に示すようなクラックが発生している。勿論、この取合い部では、図-4の(c)のように、横桁は連続桁として設計されており、横桁についていえば曲げモーメントが十分伝達される構造となっている。しかしながら、横桁の上フランジ上に設けられたスチフナー相当部分は、床版に固定されており、構造は連続桁というより図-4の(b)のラーメン構造に近いものと考えられる。図-5の損傷部はこのラーメンの脚に当る部分であり、大きな曲げが作用する可能性が大といえる。この他、床版は車両の载荷によってたわみ、主桁の上フランジ上で回転しようとする。しかし、この回転が拘束されているため、上フランジに図-6に示すような反力が生じる。このような力の繰返しも、図-2、5の疲労損傷の原因ともいえる。

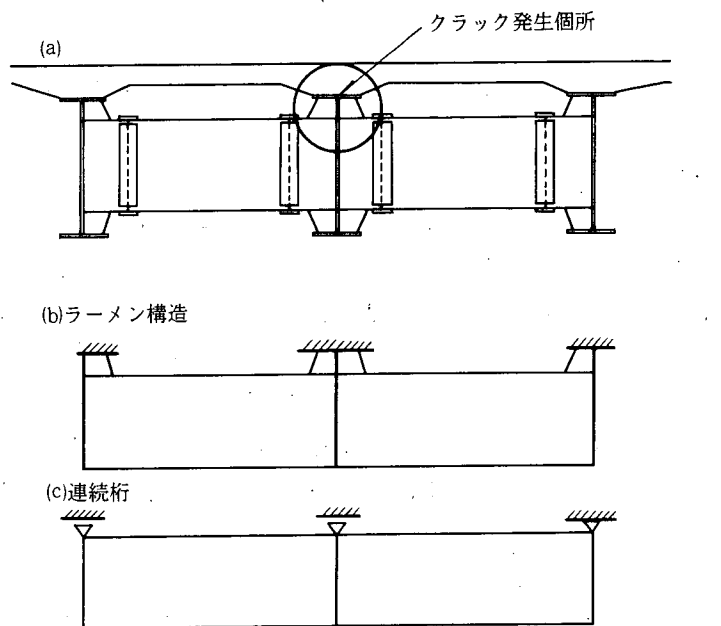


図-4 横桁構造と解析モデル

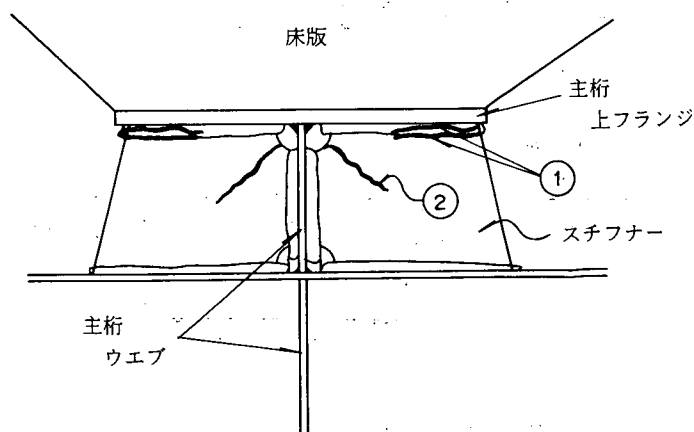


図-5 主桁と横桁との取合い部のクラック（例）

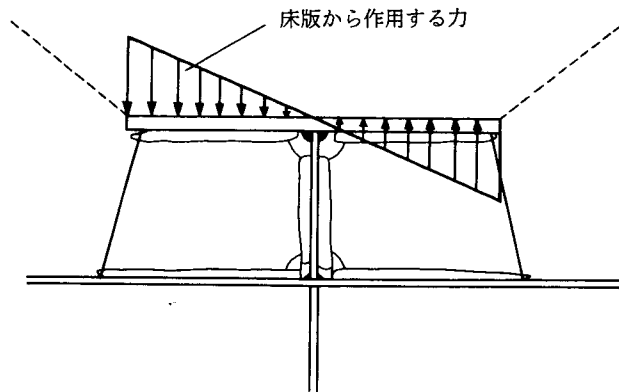


図-6 床版のたわみによってフランジに作用する力

### 事例2. 鋼床版箱桁橋の横リブ

この事例は、鋼床版箱桁橋の横リブに疲労損傷が生じたものである。この橋梁の断面は図-7に示すとおりであり、橋軸方向8mピッチで、図-7の(a)ダイアフラム部の構造が設けられ、それらの間には、1.6mピッチで(b)中間横リブの構造が設けられている。(a)では、上側に設けられた横リブで自動車荷重を伝達すると同時に、フランジおよびウェブに沿って設けられた鋼板は、箱形状を確保するためのダイアフラムの役目をしている。このため、これらの鋼板には、剛性を大きくするため、フランジが取付けられている。一方(b)の中間横リブ部では、ダイアフラムの役目はなく、ウェブに沿って取付けられている鋼板は垂直スチフナーとして設けてあり、フランジはない。

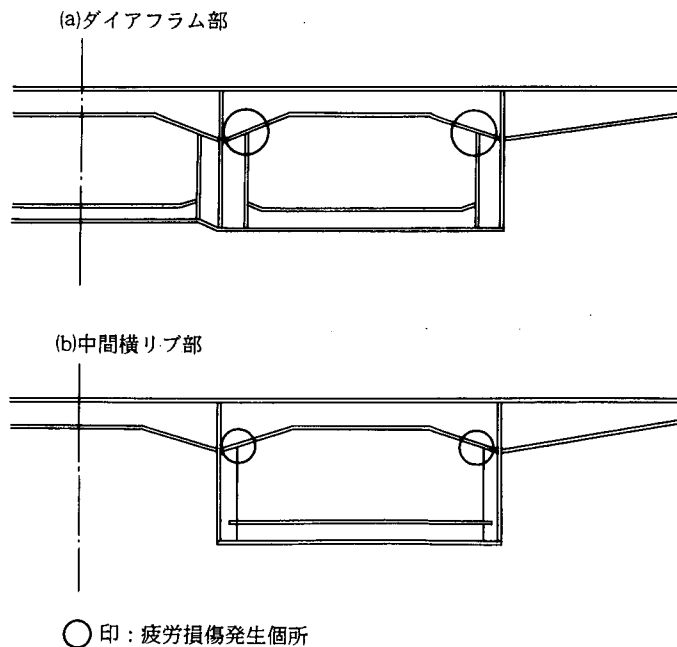
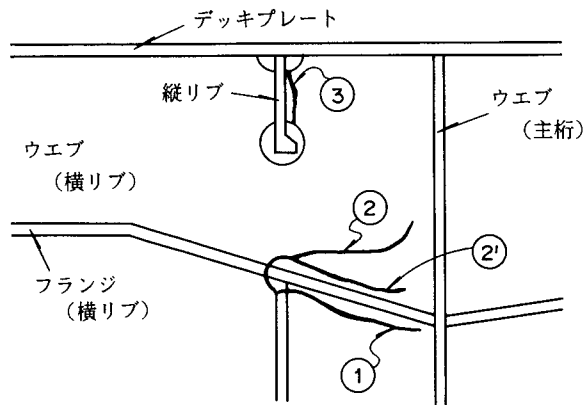


図-7 鋼床版箱桁橋の断面

図-8は、上記(a)および(b)部の隅角部に発生した疲労クラックである。ここで特に興味を引かれるのは、(a)部の損傷度合いが(b)部に比較して大きなことである。

さて、この橋のような構造の横リブ、すなわち、図-9(a)の構造の横リブの設計では、(b)に示すような連続桁と仮定する場合が多い。この妥当性を検討するために、(c)のような連続桁で解析してみた。すなわち、主桁のウェブに相当する個所を剛な支点とし、さらにウェブに沿って取付けた部材のフランジに相当する個所にバネ支承を設けた連続桁である。(1)はその解析結果の代表的なものである。 $K=0$ の場合はバネ支承がない場合、すなわち、(b)の連続桁を意味する。また、 $K=\infty$ はバネ支承の代りに剛な支承を設けた場合に相当する。(2)は実橋の応力測定結果から曲げモーメントを求めた値である。これらを比較していえることは、中間横リブ部では $K=0$ 、ダイアフラム部では $K=\infty$ に、それぞれほぼ合致することである。つまり、中間横リブ部では、(b)のような連続桁と仮定することは妥当であるが、ダイアフラム部では、(c)のバネ支承部に剛な支承があると仮定すべきであるといえる。

(a)ダイアフラム部



(b)中間横リブ部

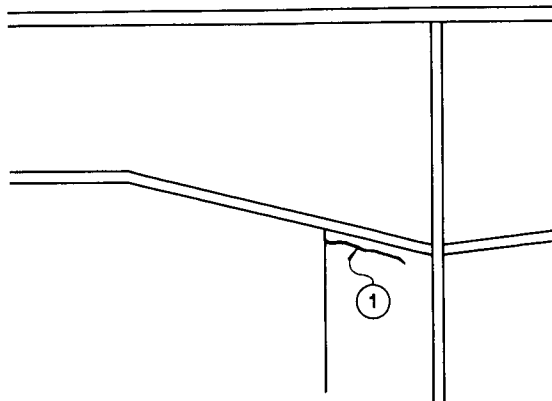


図-8 横リブに発生したクラック

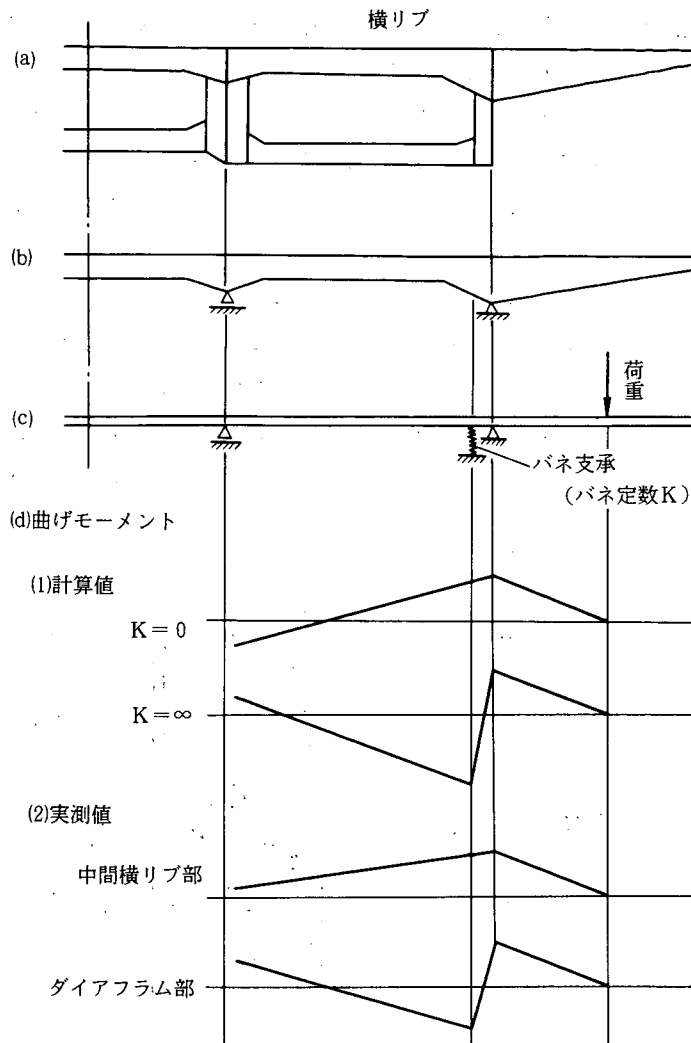


図-9 横リブのモデル化と曲げモーメント

ダイアフラム部のウェブに沿って取付けられた部材のフランジは、本来の目的は剛性を大きくするために設けたものであり、いわゆる応力部材として取付けたものではない。しかしながら、目的は別にして、取付けた部材に応力が作用し、その影響を無視できないことも多分にあり、このような場合は力が伝達できるような構造にしておく必要がある。この場合、ディテールとしては、フランジを横リブのウェブに沿って上端のデッキプレートまで伸ばしておく必要があったといえよう。

### 事例3. トラス橋の横桁取付け部

道路橋の疲労損傷は、自動車1台の繰返し载荷による床組の損傷など局部的な挙動に起因しているのが一般的である。ここで記す疲労損傷は、損傷の発生個所が局部的であり、発生の要因が部分的なディテールにも関係しているが、挙動自体は橋梁全体であるという点で、他の疲労損傷と性格

を異にしている。

この橋は図-10に示す曲弦ワーレントラス橋である。床組は図-10の平面図に示すように、縦桁と横桁とで構成されており、縦桁は横桁の上に設けられているのではなく、横桁の中に組込まれた構造となっている。また、大きな特徴は、床版がすべて縦桁および横桁の上フランジに打おろされていることである。

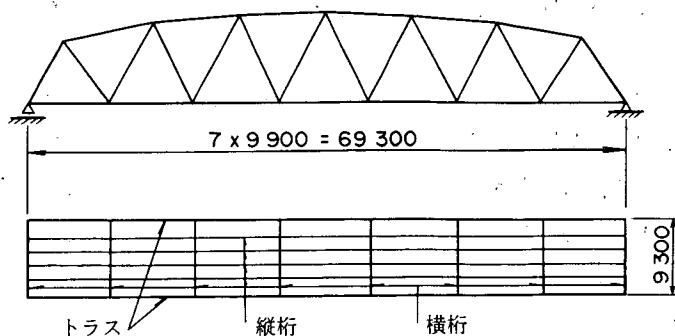


図-10 トラス橋一般図とその床組

疲労損傷は、横桁の両端のトラス取付け部に生じており、図-11に示すように横桁のフランジとウェブを接合するすみ肉溶接に沿うクラック（水平クラック）と横桁をトラスに連結するため、トラスの斜材用ガセットに溶接されているコネクションプレートに溶接に沿って生じた鉛直方向のクラック（鉛直クラック）である。一般には、このようなクラックは、床組として挙動の中で生じる。この橋梁は、図-10に示すトラス3連からなっているが、この3連についてクラックの進展度（長さ）を調べたのが図-12であり、いずれも橋中央部分の横桁では進展度が小さく、若干の例外はあるにしても両端の方へ行くにしたがって、進展度が大きくなっている。床組としての挙動であれば、このような1つの傾向を示さない。図-13は、支間中央に総重量23.6tのトラックを載荷した場合の端横桁の橋軸方向の変位である。これから判るように、端横桁の他の箇所は、両端のトラス取付け部に比較して、橋軸方向に大きく変位している。これは横桁に橋軸方向すなわち面外方向の力が作用していることを示している。図-14は荷重の載荷位置によって、前述の横桁の面外変形（ $\delta_0 - \delta_1$ ）がどのように変化するかを測定した結果である。面外変形は、荷重を径間中央に載荷した場合が大きく、載荷位置が両端に移動するにしたがって小さくなっている。

横桁が取付けられているトラスの下弦材には、荷重の載荷によって主トラスとしての引張力

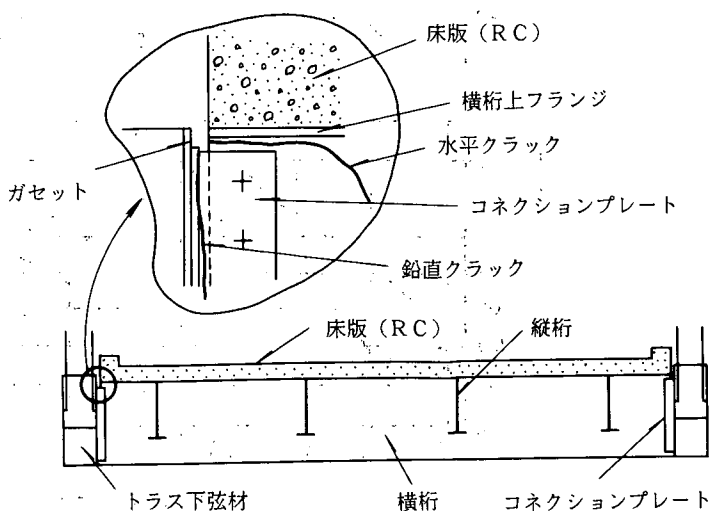


図-11 床組構造と疲労損傷

が作用し、これに伴って伸びる。この伸びは各載荷状態の曲げモーメント図の面積に比例するが、図-12の曲線はこれに近似している。一方縦桁は床組であり、このような伸びはない。したがって、先に述べた横桁の面外変形は、荷重載荷によるトラス下弦材の伸びと縦桁の伸びの差によるものといえる。

今まで建設されたトラス橋では、この橋梁と同じような床組構造となっているものも少くない。このような橋梁では常に横桁を面外方向に変形させるような力が作用しており、疲労損傷が発生する可能性もなくはない。しかしながら、他の橋とこの橋梁との大きな差は、横桁のトラス取付け部の極く近傍まで横桁の上フランジ上に床版が打おろされている点である。このために横桁の全体的な面外変形が拘束され、取付け部に局部的に大きな変形が生じ、顕著な疲労損傷が生じたものと思われる。

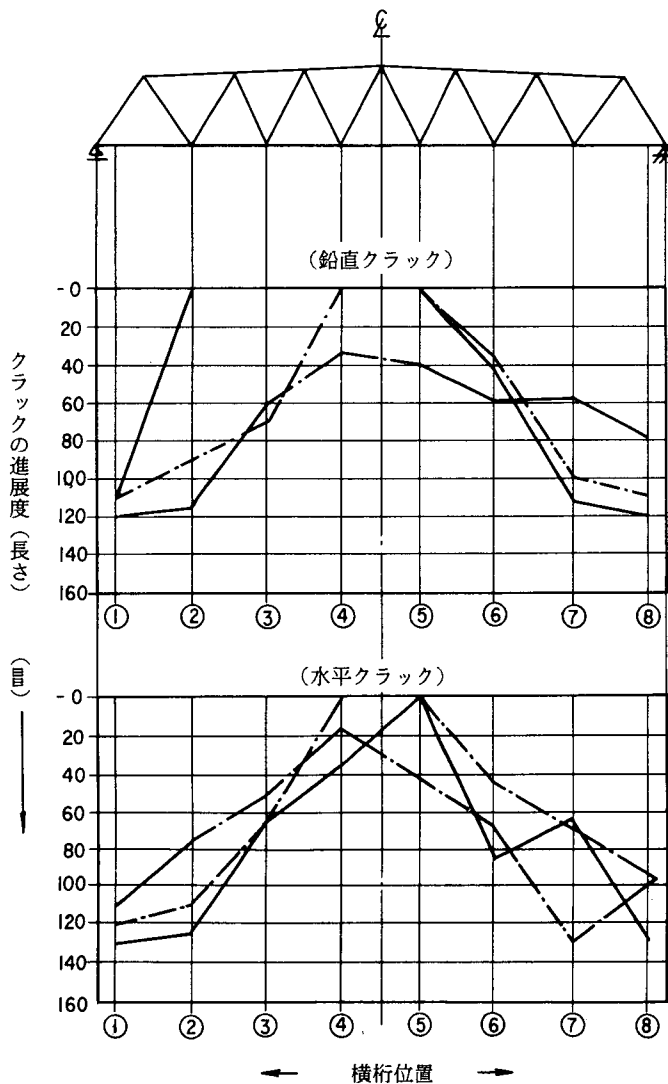


図-12 横桁の位置とクラックの進展度 (トラス3連)

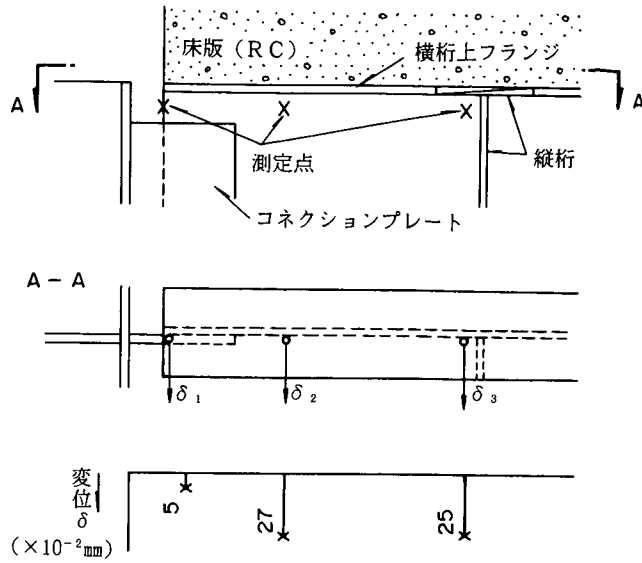


図-13 端横桁の橋軸方向の変位

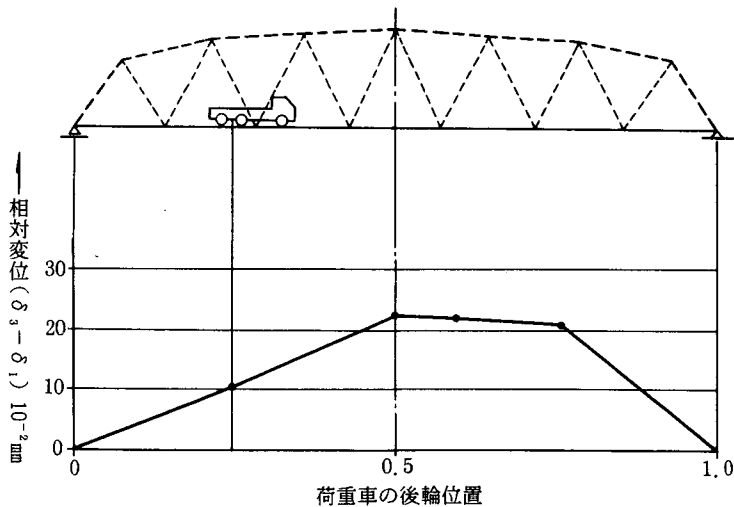


図-14 端横桁における橋軸方向の相対変位

### 3. 既設橋と道路橋示方書

既設橋の安全性の照査は、橋梁の補修補強を含めその維持管理を行う上で欠かせない事項である。この場合、何を照査基準とするかは明確されてはいないが、一般には新設の道路橋の基準である道路橋示方書が用いられる。勿論、道路橋示方書の適用を否定するものではないが、技術的あるいは経済的にみてそれが非常に困難な場合、道路橋示方書に準拠することに疑問なしとしない。

わが国の道路橋は内務省令、道路橋示方書等の設計基準に基づき設計がなされてきているが、これら設計基準は明治以来9回にも及ぶ改訂をみている。

それぞれの設計基準はその時代における新設橋梁の整備水準を示しているものと考えてよい。例えば、設計自動車荷重に着目すれば、現時点で新設される橋梁は大正年間に比べ約2倍の荷重の自動車を対象に設計するよう水準が引き上げられているといえる。

このようにそれぞれの設計基準は、時代時代の新設橋梁の整備水準に対する考え方を具体的な規定値として示してきたわけであり、基準の改訂に合わせて既存の橋梁の水準を引き上げる行為がなされなければ、ある時間的な1断面で全橋梁をながめると整備水準に対する考え方が異なる橋梁が混在することとなる。現在のところ、設計基準の改訂がなされた際、それ以前の基準で設計された橋梁を新しい基準に適合するよう手を加えるか否かについて明確な考え方は示されていない。

上記のような場合に、どのように対処するかの基本方針は多分に政策的な判断にかかわるが、以下のような考え方も一つの案として考慮すべきものとする。

①新設橋梁については、将来橋梁を取り巻く状況（大型車混入率、交通量等）がどのように変化しても、適用設計基準が背景とする整備水準を満足すべきものとする。すなわち、設計基準は、将来、予想される種々の状況のうち最もきびしい荷重条件（例えば、大型車混入率、交通量、等を予想する範囲で最もきびしくした状態）に対して定められていると考えられるが、このようなきびしい条件にない箇所に新設される橋梁にあっても設計基準に従うものとする。

②既設橋梁については、当該橋梁の有する交通条件等に対応して現行の整備水準を見直し、見直した水準を満足すればよいものとする。例えば、現行の整備水準が、道路橋示方書に規定されている活荷重 $L-20$ に耐えうる橋、であったとしても、ある橋梁が有している交通条件において $L-20$ の自動車の通行がまったく予想されない場合には、その水準を引き下げて考えることができよう。すなわち、既設橋梁は新設橋梁と異なり、交通条件等は箇所固有のものとして扱うことができるものとし、条件が変化する度に検討を行えばよいものとする。

道路橋示方書に規定された $L$ 荷重は線荷重と等分布荷重とから成るが、この荷重が実際の自動車の走行状態とどのような関係にあるかは、この荷重がモデル化されたものであるために推測するのがむずかしい。いま支間60mの橋梁において供用期間を50年としてその期間中に超過する確率が10%（非超過確率90%）であるような自動車の列は、大型車混入率が20%の場合渋滞が日に100回生ずる場所では $L-20$ 荷重の1.4倍程度の影響を与える（図-15）。

道路橋示方書では鋼部材に対して1.7の安全率を見込んでいるが、いま大胆な仮定を設けて活荷重に与えるべき安全率を1.4とすれば、 $1.4 \times (L-20\text{荷重})$ は前述したように大型車混入率が20%、渋滞回数が100回/日の場合には50年間で非超過確率が90%となる自動車列に等しい。いま供用期間50年、その間の自動車列の非超過確率90%をそのままにして交通条件の異なる場合を考えると、例えば大型車混入率20%、渋滞回数1回/日とすれば $L-20$ 荷重に与えるべき安全率は1.1となる。このように橋梁の耐荷力に対する安全性は交通条件に大きく左右される。

以上のことから、上述の仮定を是認するとすれば $L-20$ 荷重は50年の供用期間中に自動車列が90%の確率でこれを超過しないように設定したものであるといえる。このように道路橋示方書の設計

自動車荷重は橋梁を建設するにあたっての安全性の水準を定めているものであって、既設橋が安全かどうかを判定するためのものではない。

したがって既設橋の安全性を判定する場合、将来めざすべき安全性の水準を示す道路橋示方書の規定によることは必ずしも必要ではなく、個々の橋梁の交通条件に適合した照査活荷重を設定してもよいと考える。たとえば上記の例における渋滞回数1回／日の場合には渋滞回数100回／日の場合の1.1/1.4倍の照査荷重を用いてよいと考える。もちろん、この橋梁で交通条件が変わった場合はその都度新たな照査荷重を設定して照査すべきではある。

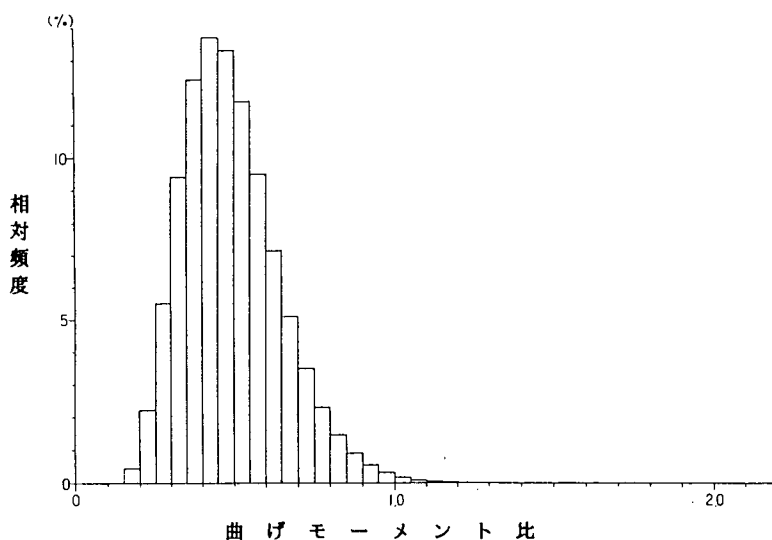


図-15 曲げモーメント頻度図

# 土木研究所講演会講演集

I S S N    0386-5878  
土木研究所資料第2822号  
平成2年2月(1990)  
企画部企画課

キーワード: 講演会

## 要 旨

本資料は、「平成元年度土木研究所講演会」の講演内容をまとめたものである。この講演会は、土木研究所が実施している調査研究の成果や最近の土木技術に関する話題、動向などを各方面に紹介することを目的として、毎年1回開催している。

郵便はがき

3 0 5 - □ □

41円切手を  
はって下さ  
い。

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

企画部企画課

行

No

配布先氏名

配布先住所

No

土木研究所資料第2822号 部  
(土木研究所講演会講演集)

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印