

ISSN 0386-5878
土木研究所資料 第2432号

昭和61年度

土木研究所講演会

講演集

昭和62年2月13日

建設省土木研究所

Copyright © 1987 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承認を得ずしてこれを行ってはならない。

昭和61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、「昭和61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

1. 地質をめぐる最近の話題

- 第四紀断層とその調査 — 地質化学部長 桑 原 啓 三 1

2. 「特別講演」フロンティア開発と建設

- 通信衛星の展望 — 日本通信衛星株式会社
代表取締役社長 神 谷 洋 33

3. バイオテクノロジー利用による新排水処理技術 下水道部長 安 藤 茂 35

4. 路車間情報システムについて 道路部長 榎 本 実 65

5. 土木構造物の震災復旧技術について 地震防災部長 岩 崎 敏 男 85

地質をめぐる最近の話題

—第四紀断層とその調査—

地質化学部長 桑 原 啓 三

第四紀断層とその調査

1. はじめに

本論では、最新の地質時代である第四紀に（表-1）に活動した断層は、一般に呼ばれている“活断層”という言葉は用いずに第四紀断層と呼ぶこととする。

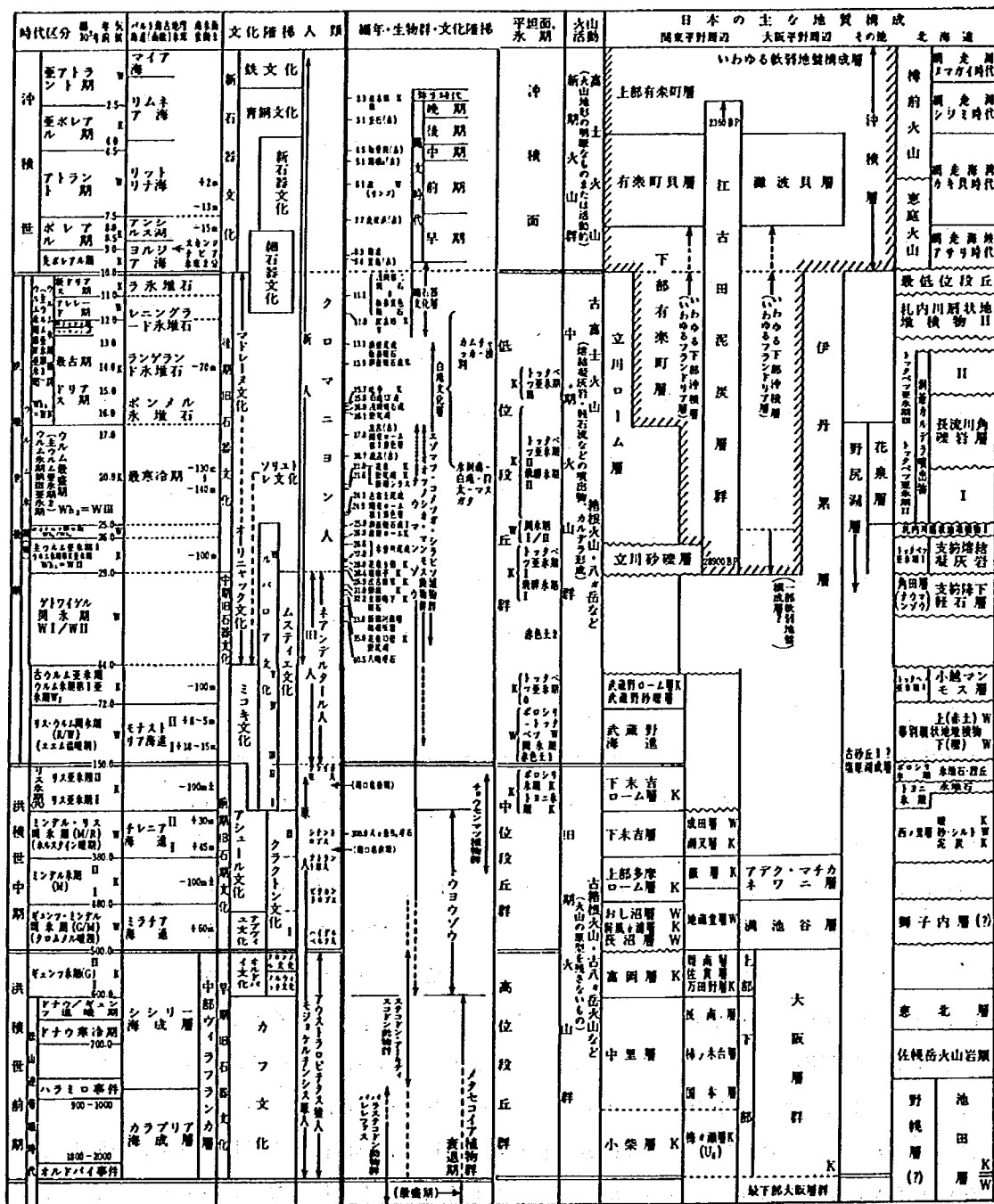
断層の種類の一つとして“活断層”というものがある。活断層の定義は、地学事典（平凡社¹⁾）によれば「最近に活動したことの断層。最近とは第四紀に動いた断層全てを包含することもあるし、明治以降に運動した断層に限ることもある」、また「日本の活断層（東京大学出版会²⁾」では「第四紀、つまり約200万年前から現在までの間に、動いたと見なされる断層」としている。さらに「日本の活断層」では、「活断層という言葉から受ける第1印象では、動きつつある断層と考えられがちであるが、例えば毎年動いているような断層は日本には殆ど存在しなく、いつか再び動くであろうと判断されるものを呼ぶのであって、現実に活動しているわけではない」としている。そして再び動くであろうという根拠として、日本に今まで認められた20前後の地震断層のほとんど全ては、活断層すなわち第四紀になんとか動いた断層に沿って現れており、地震断層が原則として活断層の再活動したものであることは、活断層というものが、将来も活動する可能性を示唆しているということを挙げている。

しかし、“活断層”というものは、定義でも分かるように、過去に動いたものであって必ずしも将来活動するとは限らない。例えば、断層の中には重力性の断層、火山活動にともなってカルデラを形成する断層、あるいは火山体の荷重沈下による断層等を含んでおり、これらの再活動性は極めて小さいものと思われる。

“活断層”は、前述のように、一般に最近の地質時代に活動し、将来も活動することが推定される断層とされているが、後段すなわち再び動くかどうかの判断は極めて難しいために、再び動くであろうという判断の目安として、前段すなわち近い過去に活動したかどうかで判断されている。近い過去とは、地質時代の1つの区切りである第四紀すなわち約200万年前とするのが多いようであるが、大塚のように明治以降に活動したことの断層、近畿地方土木地質図では約50万年前を1つの区切りとしている。また、第三紀中新世とか新生代に取ることもあり、定説はない。

再び活動するか否かについては、最近地震予知に関連して、測地による歪量の推定、弾性波速度の変化による地震発生の推定、岩石の初期応力測定による内部応力の推定などが行われている。しかしこれらも広い範囲で、歪量が集積しているのであって、ある特定の断層に結び付くものではなく、またこれらは研究の初期段階にある。また“活断層”ということばのイメージには、火山の方で使われていた活火山、休火山、死火山というイメージがあり、活断層イコール動きつつあるもの、すなわち日常的に動いているものという印象がある。現在、活・休・死火山と呼ばず、火山を活動性とその火

表一 第四紀對比表 (湊・井尻, 日本列島第3版, 岩波書店, 1974)



~~~~~:不整合 K:寒 W:暖

山が活動したときの被害の大きさから、A級、B級、C級とに分類されている。1979年従来死火山（広辞苑）とされていた御獄山が爆発したことから、比較的活動性の分かる火山でも、その活動性を判定することは難しい。

このようなことから第四紀（現在から約200万年前までの間）に活動した断層は、第四紀断層と呼ぶのが適当であろう。

第四紀断層が活動するとき、土木構造物に与える影響としては、地震動と地表面に生じる変位（ずれ）の2つがある。地震動の影響は構造物の耐震設計の問題に帰着し、重要な土木構造物では現行の耐震設計において適切に地震動を決定することにより対応しているので、本論では取り扱わないことにする。第2の地表面に生じる変位は、変位を生じる恐れのある断層に構造物が接しているかどうかによって左右される。

また構造物の寿命は $10^2$ 年のオーダーであるのに対して、日本に分布する断層の再活動性は、多くの調査研究の結果<sup>3),4)</sup>から、間欠的であり、A級と呼ばれる断層でも1000年に1回程度しか活動していない。

したがって、ある土木構造物を対象にした場合、その構造物の寿命中に変位による被害を生じるような活動の恐れのある第四紀断層は、断層の周期性をも考慮すると、構造物に接した断層で、ごく最近活動した断層かあるいは繰り返し活動している断層等限られているものと考えられる。

## 2. 断層の種類と地表への表れ方

### 2.1 断層の種類

断層は、地学事典<sup>1)</sup>によれば、「岩石の破壊によって生じる不連続面のうち、面に平行な変位のあるもの」とされ、また地学辞典<sup>5)</sup>（古今書院）によれば「岩石の破断面また破断の起こった狭い幅の帯で、その両側が相対的に変位したもの。断層の変位は並進運動と回転運動の両成分を含む」としている。

すなわち、断層は地殻応力、重力等自然の営力によって地層岩石が破壊によって生じた不連続面のうち面に平行な変位のあるもので、露頭がみられるもの、あるいは地質学的に推定されるものということになる。断層は、変位の大きさを問わず、破碎帯の有無を問わず、面に平行な変位があれば良いので、顕微鏡的規模のものも断層といえなくないが、土木工学では変位の小さなものあるいは幅の小さなものは一般に断層とは云わない。また局所的にみれば、地すべりのすべり面等も断層といえなくないが、一般には断層とは云わない。

断層にはずれの方向、形態等によって多くの呼び名があり、それらを示すと次のようになる。

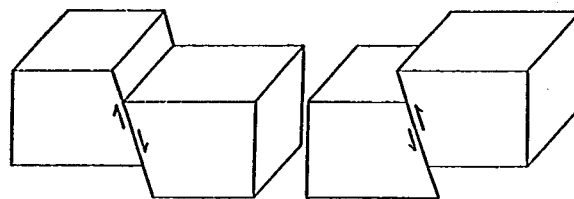
#### (1) 断層面の傾斜角による分類

土木の分野で最も良く用いられている分類法で、弱層としての断層のあり方を分類するもので、断層面の傾きにより鉛直断層、高角度断層、低角度断層、水平断層等と呼ばれる。それらは厳密な角度

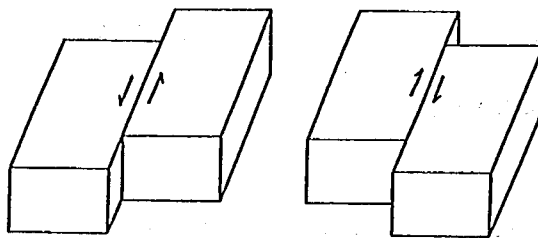
による分類法ではなく、概ね鉛直断層の場合は  $80^\circ$  以上のもの、高角度断層は  $60^\circ$  以上のもの、低角度断層は  $30^\circ$  以下のもの、水平断層は  $10^\circ$  以下程度のものを呼んでいるようである。

## (2) 断層面の傾斜角とずれの向きによる分類

この分類に属するものとして、断層の上盤が下盤に対して相対的にずりさがった断層を正断層、逆にずり上がったものを逆断層といい、逆断層で緩傾斜（一般に  $45^\circ$  以下）のものを衝上断層という。同様に横方向にずれたものを横ずれ断層といい、断層を挟んで相手側が相対的に右に動いたものを右横ずれ断層、左に動いたものを左横ずれ断層という。さらに断層面に垂直な軸を中心に相対的に回転したような断層を旋回断層あるいは回転断層をいう。（図-1）



b 正断層（左）と逆断層（右）



a 左ずれ（左）と右ずれ（右）の横すべり断層

図-1 断層のずれの向きによる分類<sup>6)</sup>

## (3) 断層面と地層面の関係による分類

地層面の走向と断層面の走向が平行な断層を走向断層といい、同様に傾斜と平行な断層を傾斜断層、これらと斜交するものを斜交断層という。より広域的な地質構造と平行関係にある断層を縦走断層、これと高角度で斜交する断層を胴切り断層あるいは横断断層という。また断層面と地層面とが一致する断層を層面断層といい、この場合、断層運動による地層のずれは見かけ上見られない。（図-2）実移動の方向によって、走向移動断層、傾斜移動断層ともいうことがある。

## (4) 断層群の形態による分類

冠断層は背斜しゅう曲の頂部付近に発達する正断層群のことで、地壘や地溝をつくるような断層のことである。共役断層は一つの三次元応力のもとで異なる2方向に発生した断層群で、岩石の圧縮試験の際に生じる破断面と同じものである。雁行断層は帯状の地域に雁行状に配列している断層群のこ

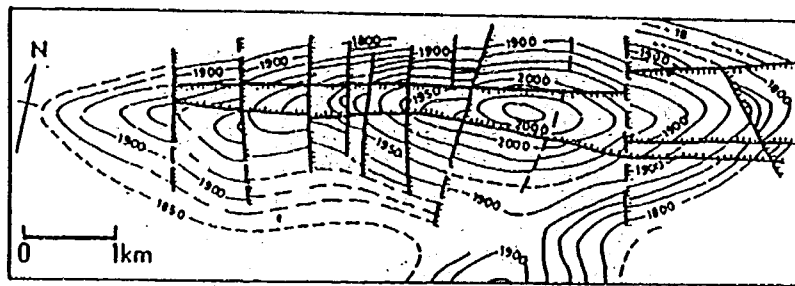


図-2 縦走断層と横断断層の例 (WISSER, 1960による)  
数字はフィート、ヒゲは落下例を示す

とである。(図-3)

#### (5) 生成時代による分類

ある地質時代を境にして、それより古いものを古期断層、新しいものを新期断層と云うが、ある地質時代には新第三紀が取られることが多い。また第四紀に活動した断層を従来活断層と呼んでいたが、本論では第四紀断層と呼ぶ。第四紀断層のうち、有史時代の地震にともなって活動した証拠のある断層を地震断層と呼ぶ。なお、第四紀に活動していない断層を地質断層と呼ぶこともある。

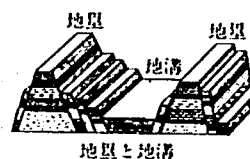


図-3 地盤と地溝<sup>1)</sup>

#### (6) その他の分類

その他多くの分類があり、例えば成因による分類として上盤が下盤に対しずり落ちた断層を重力断層、しゅう曲にともなって生じたしゅう曲断層、断層面の傾斜の著しく緩い押しかぶせ断層、海洋底の拡大を生じているような大構造を横断している断層をトランスフォーム断層という。

## 2.2 断層の地表への現れ

地震時に断層が生じたとき、地表あるいは地表付近に現れた地震断層の形態には種々のものがある。一般には前述の断層面の傾斜角とずれの向きによる分類で呼ばれ、縦ずれ断層、横ずれ断層と呼ばれる。地表では浸食活動が激しいためあるいは人為的な土地改変のために、断層運動で生じた断層崖は短期間に消滅してしまうことが多く、したがって縦ずれ断層は累積変位量が大きくないと発見しにくい。横ずれ断層は浸食作用を受けても変位した結果は残るので縦ずれ断層に比べると発見しやすい。

縦ずれ断層は、硬い基盤岩では断層形態を成すが地表近くの地層が新第三紀層や更新統(洪積層)のように十分固結していない地層ではせん断を伴わずに、図-4に示すようにとう曲(フレクチャー)の形態を取る。さらに基盤岩までの深度が深く断層の存在が分からない場合や断層が存在しない場合は活しゅう曲という形態を取る。

一般に断層は面として表現されるが、現実には現れた形としてはある幅を有している。すなわち断層



図-4 神戸市鈴蘭台における神戸層群のフレクチャー<sup>8)</sup>  
基盤岩の断層運動に伴って、被覆層である神戸層群がひきずられてきた構造である。

破碎帯の形を取り、断層面と断層面の間には破碎された断層内物質が存在するのが普通である。しかし、地震断層を観察すると、断層は正しく面を示すことが少なくない。これは1つは1回の断層運動による変位量がせいぜい数mで、ごく少ないことに起因していると思われる。(地質図に記入される断層は地質図上に変位を示さないと表せないことから、一般に数10m~数100m以上移動している。数m以下の変位であると節理等の割れ目として扱うことが多い。)もうひとつの原因としては、個々の地震断層を群としてみた場合、雁行配列(図-5)を成しており、個々の断層は大きな断層帯の中の1つを見ている可能性がある。このことは、深度分布、被害の分布等から推定される断層の方向と現地で観察される断層(面)の方向が必ずしも一致しないことから伺える。

1本の断層は、1つの断層(面)を形成するばかりでなく、このように複数の平行した断層線群を形成する。これは図-6のように地中深くでは1本の断層と思われるのに、地表近くで枝別れしたものと思われる。また同様にいくつかの断層線群が集まって1つの断層帯を成すことがあり、これは1

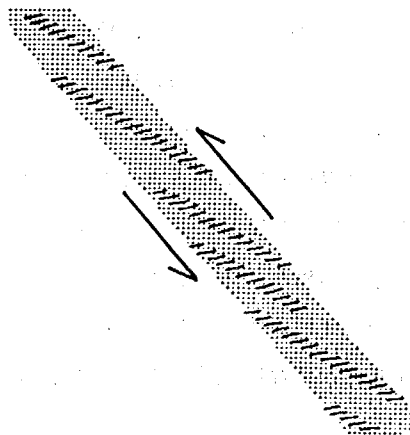


図-5 地割れの二重雁行配列

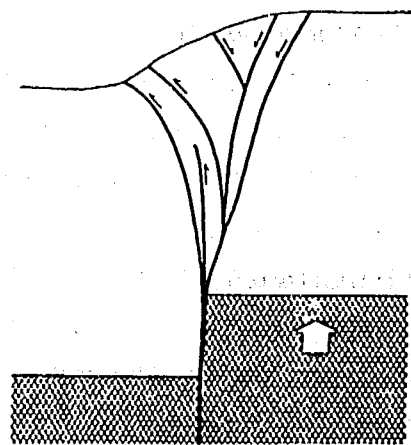


図-6 基盤の上昇に伴う断層  
(Tsuneishi, 1978)

つの応力条件下で形成されたとと思われる。(ここでいう断層線群、断層帯は本論のみに用いる。)

1974年伊豆半島沖地震の時の石廊崎断層は空中写真上のリニアメントから数10m離れており、また1978年伊豆大島近海地震の時の稲取断層は伊豆急行下田線稲取トンネル内では3本見られ、その幅は図-7に示すように約300mであった。このようなことから断層は必ずしも空中写真上から判読される線状模様上にはなくまた群と呼ばれる程度の幅を持って地表へ現れるものと考えられる。

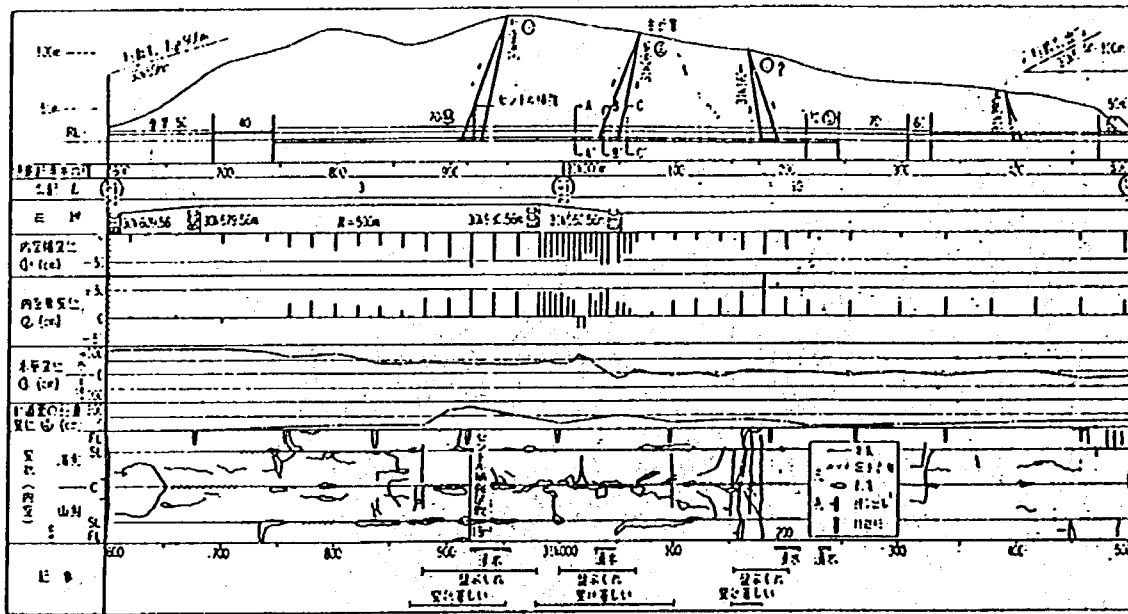


図-7 稲取トンネル縦断面図および被災状況図

いわゆる構造線と呼ばれる大断層は、この様な断層の集合であると考えられ、例えば常願寺川上流付近で観察される跡津川断層は、花こう岩と段丘れき層が接する花こう岩側において数100mの破碎帯が存在している。

### 2.3 地震断層による被害分布

いうまでもなく大地震が発生すると被害を生じる。その被害の分布形態は地震毎にある特徴を有している<sup>9)</sup>。1978年伊豆大島近海地震時には斜面崩壊が多発し、その数はおよそ620箇所にとんだ。その地域分布を示すと図-8に示すようになる。同図は4km<sup>2</sup>中に含まれる崩壊箇所数を等崩壊線数で示しており、また同時に余震分布(図中 黒丸、地震研究所資料による)と村井・金子による断層・リニアメント分布を併記している。この図によると、本地震による崩壊分布は限られた狭い範囲に集中して発生し、崩壊多発地域は余震分布とはほぼ一致し、特に本地震による地震断層稲取断層(図中太線 筆者推定)に沿う線上に多い。またこの崩壊多発地は基石の転倒状況から推定した最大加速度

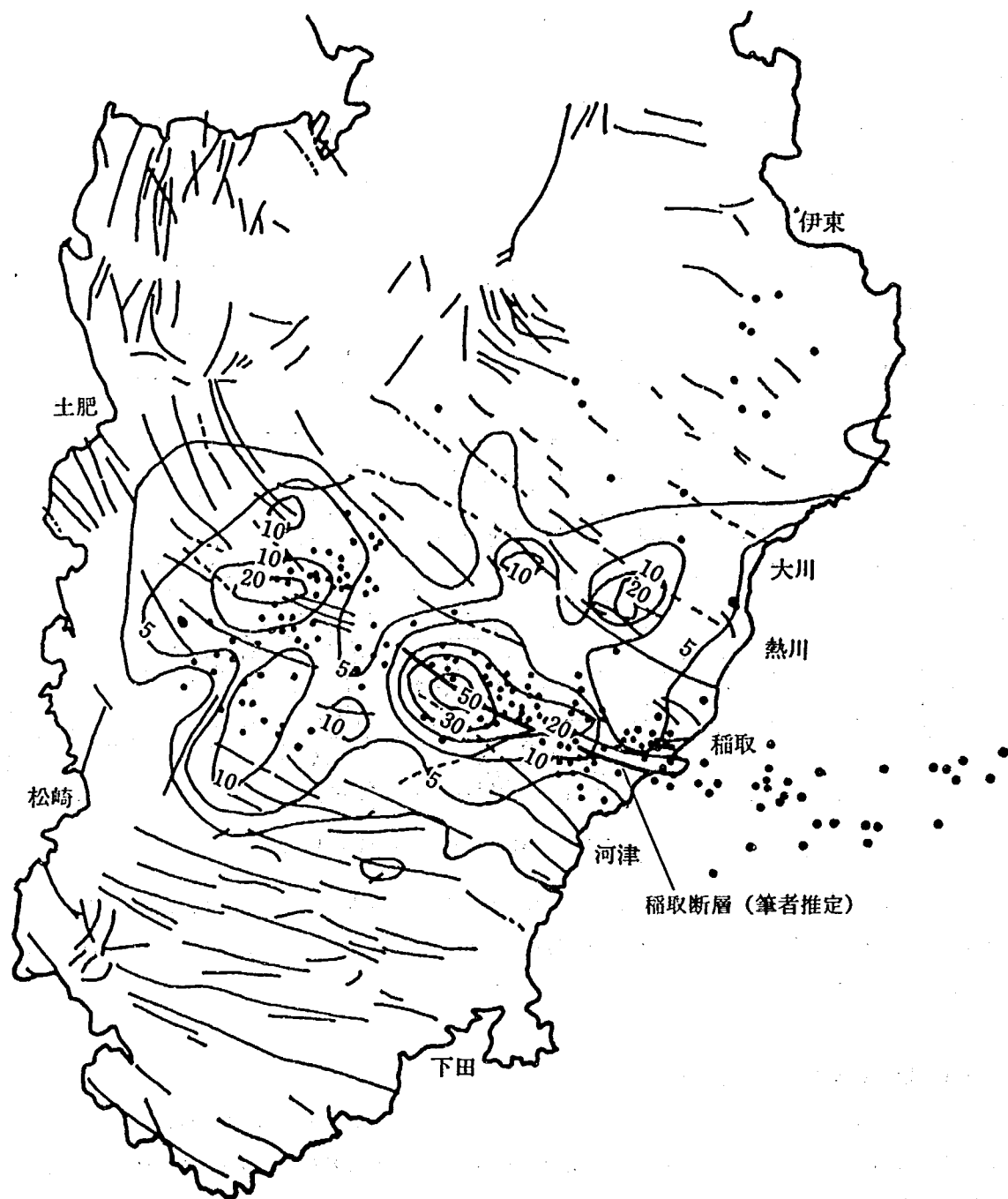


図-8 崩壊頻度図(断層, リニアメントは村井, 金子(1974)による<sup>9)</sup>)

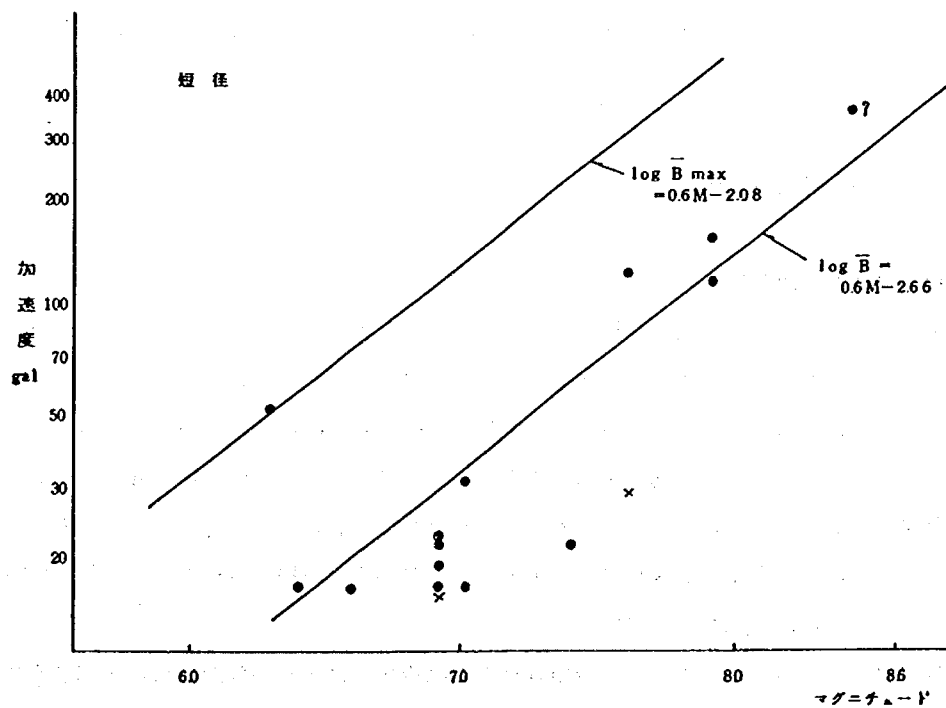
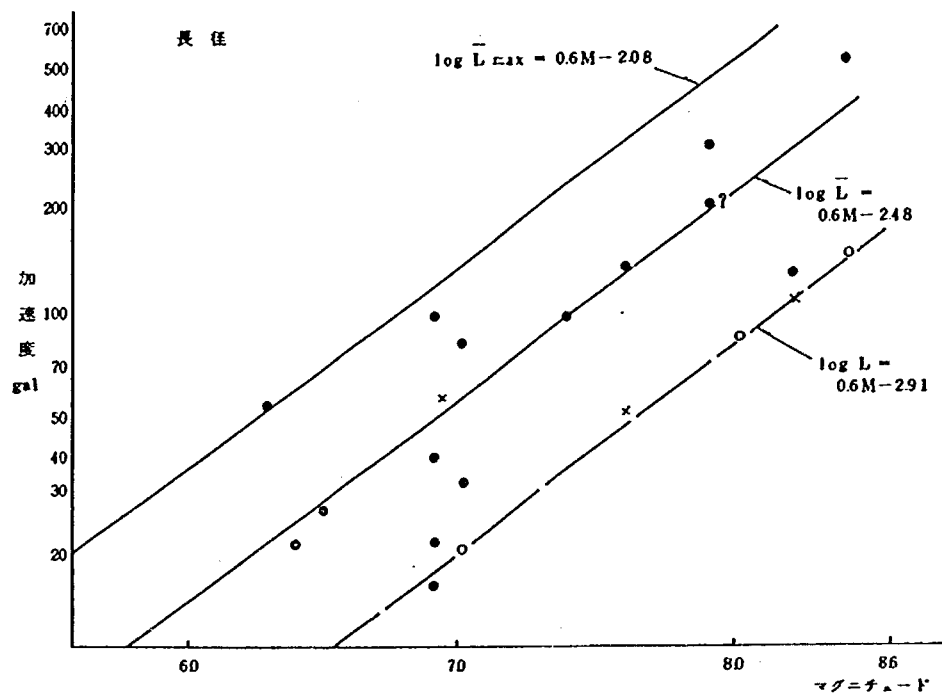


図-9 震度Ⅳ以上の範囲

400 gal 以上の所に多い。

歴史地震でも大きな被害を生じており、宇佐見<sup>10)</sup>は地震被害等によって各地震毎の深度分布を推定した。推定された深度分布は概ね楕円ないしは円を示すが震度Ⅳ以上の範囲は図-9のようになり、長径、短径はそれぞれ、

|    |                                |      |
|----|--------------------------------|------|
| 長径 | $\log \bar{L} = 0.6 M - 2.48$  | (平均) |
|    | $\log L_{\max} = 0.6 M - 2.08$ | (最大) |
| 短径 | $\log \bar{B} = 0.6 M - 2.66$  | (平均) |
|    | $\log B_{\max} = 0.6 M - 2.08$ | (最大) |

で表され、平均値の場合震度Ⅳの範囲は、

$$\frac{x^2}{0.5 \times 10^{(0.6 M - 2.48)}} + \frac{y^2}{0.5 \times 10^{(0.6 M - 2.66)}} = 1$$

で表される楕円となる。但しこの場合長径の方向は断層方向とする。なお松田は、日本における地震断層を調べた結果、断層の長さと言マグニチュードとの関係を

$$\log L = 0.6 M - 2.91$$

としている。

したがって、地震断層と震度Ⅳ以上の分布の関係は震度Ⅳ分布の長径方向に地震断層の約3倍弱の長さとなり、短径方向には地震断層の約2倍弱となる。

### 3. 第四紀断層の規模と分布

#### 3.1 線状模様と第四紀断層

一般に第四紀断層は空中写真判読を行い、線状模様（フォトリニアメント）を抽出し、その線状模様の変位基準地形の有無とその変位の向きを認定して抽出されている。したがって、第四紀断層であるか否かの判断には線状模様の抽出の段階と変位基準地形の判読の段階で、多少とも個人差が出てくることが予想される。表-2は、同一箇所をAグループとBグループとに分け、Aグループの判読した結果をBグループがどの様に判読しているかを示したもので、Aグループが確実度Ⅰと判読したものを、Bグループは確実度Ⅰ～Ⅲまたはリニアメントとなんらかの線状模様として判読しているが、必ずしも同一ランクには判読していない。

線状模様（フォトリニアメント）は、空中写真上で直線または緩やかな曲線状に配列する特徴的な地形のことで、道路、鉄道、防火線等の人工的線状模様、風、波、流水等の自然現象によって作られた表層的線状模様および地層の境界や層理、節理、断層等の原因により作られた地質的線状模様がある。この内、割れ目、断層等の判読の対象となるのは地質的線状模様である。

地質的線状模様は、直線または緩やかな曲線状に配列する谷、鞍部の連続、溝の連続、崖の連続、異種地形の連続等の地形で現れるものである。この地質的線状模様のうち、大半は古期（死）断層、破砕帯、節理、層理、地質境界等の地質的不連続を示しているが、第四紀にできた一連の地形面または地形線すなわち変位基準地形を食い違わせている線状模様は第四紀断層の可能性がある。変位基準地形としては、地形面として段丘面、浸食小起伏面、火山斜面等、地形線として段

表－2 判読結果対比表 (％)

| Aグループ<br>Bグループ | I    | II   | III  | L   | O    |
|----------------|------|------|------|-----|------|
| I              | 6.9  |      |      |     | 0.6  |
| II             | 52.2 | 19.0 | 5.9  |     | 3.9  |
| III            | 25.0 | 28.6 | 2.9  |     | 13.9 |
| L              | 15.9 | 52.4 | 85.3 |     | 81.6 |
| O              |      |      | 5.9  | 100 |      |
| 計              | 100  | 100  | 100  | 100 | 100  |

丘崖、谷筋、稜線等がある。この第四紀断層の可能性のある線状模様について、変位基準地形がその線状模様の両側に系統だって分布しているか、あるいは系統性が空中写真上からは判読しにくいかによって線状模様の第四紀断層としての確実度が変わってくる。表－3は、空中写真によって判読された地質的線状模様のうち、変位地形を示しているものについて、変位地形の確実さをランク分けしたものを示しており、第四紀断層の可能性の高さを示している。なお、変位の根拠となる地形を図－10に示す。

表－3 変位地形を示す線状模様の分類

| 分 類            | 記 事                                                                                                                                                                                |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| L <sub>1</sub> | 地質構造を反映していると思われる線状模様のうち、ごく最近（第四紀程度）の変位を示す地形である確からしさの最も高いもの。具体的には、変位の基準となる地形が明確なもの。すなわち線状模様の両側の尾根、谷、地形面が極く最近までひと続きであったことが明らかに判り、それが線状模様によって系統的に変位（変位の向き、変位量等がほぼ同じようになっていること）しているもの。 |
| L <sub>2</sub> | L <sub>1</sub> に準じ、変位を示す地形である確からしさのやや高いもの。すなわち、段丘などの明瞭な変位基準地形がないために、確実度は低い、尾根や谷が横ずれ様に配列していたり、直接的な低断層崖と思われる地形があって、変位の向きは推定できるが、両側の地形面の時代が異なるなどごく最近の変位地形であることが不明瞭な線状模様。              |
| L <sub>3</sub> | L <sub>2</sub> に準じ、変位を示す地形である確からしさの最も低いもの、すなわち最も不明瞭なもので、変位地形ともみられる地形をもつが、変位の向きが不明確であったり、他の原因も考えられるもの。                                                                              |

断層変位地形を示す線状模様の現地踏査、トレンチ調査等を行い、第四紀断層であることが確認された断層で、第四紀断層の認定に用いた基準地形や第四紀層の断層変位量をその形成年代で割った値である平均変位速度で表し、その平均変位速度によって活動度を区分する方法が取られることがある。しかし、断層の運動は日常的に常時活動しているものは日本にはほとんどなく、図－11に示す平山断

崖 地 形

S : 崖 (> 10 m)  
a : 低崖 (< 10 m)

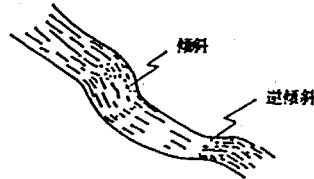
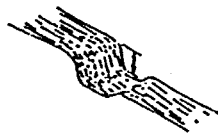
rs : 逆向き崖  
ra : 逆向き低崖

t : 三角末端面



d : 高度不連続

p : 傾斜



凹 地 形

r : 直線状の谷

g : 溝 状 地

c : 鞍 部



凸 地 形

b : 孤 立 丘

m : 直線的な高まり



横ずれ地形

o : 屈 曲

w : 鞍部谷 (ウインドギャップ)

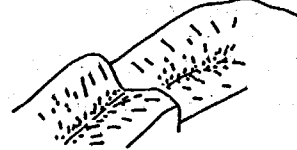


図-10 断層変位地形の形態

- 注) 1 図中の三角末端面、鞍部等は古期断層に沿う浸食によっても似た地形が生ずる。  
一般に断層活動当時の地表面変位がそのまま保存されている断層変位地形そのものは存在しない。  
さらにその後の浸食や崩壊による地形の改変がつけ加わったものが実際に観察される地形である。したがって、このような地形から断層の正確な位置をただちに推定できない場合がある。
- 注) 2 図中の英字記号はそれぞれの地形を表示するため使われる例である。

層の例のように、2万年前から1万年前まではほぼ一定の速度で変位が繰り返されているが、1万年前以降は静止期間が挟まれ、平均変位速度が小さくなり、ここ2万年の間でも断層の変位速度は一定ではないことを示している。この様な例は他の断層でも見られ、長期間に亘って同じ速度で変位が進行しているとは限らない。

### 3.2 活動年代

第四紀断層は、現在から200万年前までに活動したことがある断層であるが、これをさらに活動した地質年代によって区分することは地質学的にも工学的にも意味のあることと考えられる。すなわち、3.1に述べたように

ある第四紀断層の活動にも時代によって消長があること、現在につながる過去というものが地質学的に200万年前までではなくもっと短い第四紀後期に限定されそうなこと、構造物には寿命が存在すること等から、最終活動年代によって区分することは意味のあることと考えられる。

濃尾平野に存する養老断層は、濃尾平野周辺の地形、地質解析の結果から、第四紀初頭以降約1000mに近い変位量があり、その内更新世中期以前の平均変位速度は0.5mm/年以下であったが、後期以降は2mm/年を示している。さらに活動様式も更新世中期までは断層東側の傾動盆地は相対的に独立して動いていたが、熱田層堆積以降は桑名―四日市港断層の活動を通じて伊勢湾北部と共に沈下するようになった。<sup>6)</sup>この様に、前述平山断層の例でも示したように、1本の断層でもその活動には消長があることが分かる。

“現在につながる過去 (Neotectonics)” は、第四紀全部に及ぶものではなく、第四紀の後期に限られるということは、吉川他<sup>11)</sup>の「第四紀、特に第四紀後期に活動したことがある断層は、活動しつつあるものと推定される」で分かるように、一般にいても良さそうである。では一体第四紀後期とはいっ頃からであろうか。

大阪付近には大阪層群と呼ばれる淡水成～海成の地層が分布している。従前この大阪層群は一連整合の厚い地層と考えられていたが、その中に著しい傾斜不整合が存在することが分かった。すなわち奈良盆地北側の丘陵地域で下部の地層が著しく傾斜しているにも関わらず、上部の地層は水平で、両者の間には削り込みもない。また下部の地層は海成層であるMalが挟まれていて大阪層群中部であるが、上部は赤色層が挟まれ西宮亜層群である。この傾斜不整合は満池谷不整合ともいわれ、その形

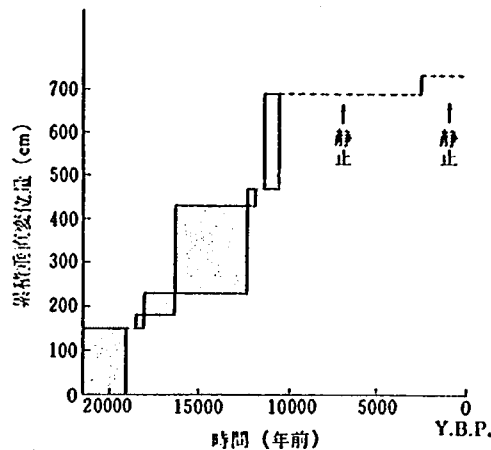


図-11 神奈川県山北町の平山断層の最近2万年の変位速度の変化〔伊藤ら(1982)をその後の伊藤らの調査の結果を加えて修正〕<sup>6)</sup>  
変位累積線は砂目領域内を通る

成時代は概ね50万年前と推定される。西宮亜層群相当層は広く瀬戸内地方に分布し、第2瀬戸内層群と呼ばれている（図-12）。またその一部は福知山盆地周辺の福知山累層も同時期とされている。<sup>8)</sup>

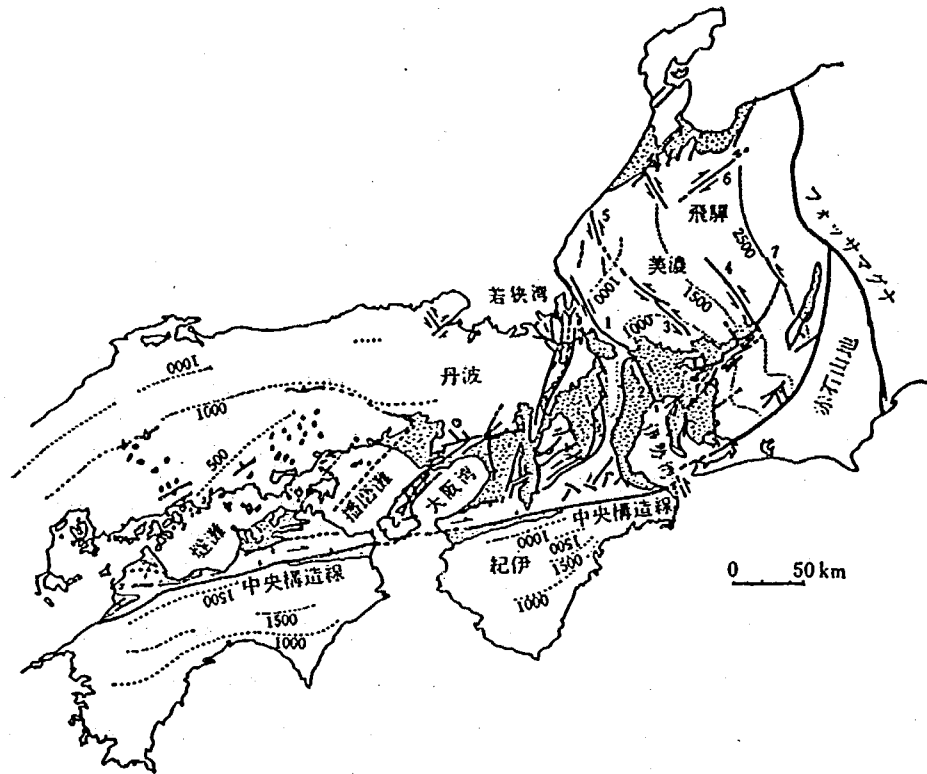


図-12 鮮新-更新世の堆積物の分布と同時代の断層系（桑原，1968）

1. 柳ヶ瀬断層，2. 養老断層，3. 根尾谷断層，4. 阿寺断層，5. 福井断層，6. 跡津川断層，7. 神谷断層，細点線と数字は山地地域の summit level を示す。

図-12に示すように、濃尾平野周辺にも鮮新世～更新世の地層が分布している。この新しい地層の堆積する盆地は、基盤の傾動によって作られた傾動盆地で、その傾動は第四紀初頭から始まったと考えられ、第四紀中ごろから活発になったと考えられている。濃尾平野の傾動盆地においても更新世前期と中期の間更新世中期の第2れき層（高位段丘）下に不整合があり、第2れき層下の不整合は大阪層群西宮亜層群下の満池谷不整合と同時代とされている。<sup>6)</sup>

東京湾周辺でも広く沈降した関東構造盆地の形成が知られているが、その中にもいくつかの不整合があり、長沼あるいは東京湾不整合は大阪周辺の西宮亜層群下の不整合に当たるものと考えられ、黒滝不整合がMa 0の下芝の不整合に関係有るものとされている。

さらに日本には広く中位段丘が分布し、その形成年代は概ね12～15万年前を示す。段丘形成は寒暖による海水準の変動あるいは造構造運動による海水準の変動が考えられるが、例えば前述の養老断層

においては熱田層の堆積開始期（約15万年前）以降桑名―四日市港断層と共に沈降するようになり、この時期より伊勢湾盆地の沈降運動は活発化している。関東周辺でも広い海成段丘面である下末吉面は現在の高度分布でみると銚子付近で約250 mになるのに対し西に向かって低くなり、関東平野中央部では20mいかとなる。<sup>11)</sup> この高度分布は下末吉面の原形から考えて地殻変動による変形の結果にはかならない。

以上示したように地質的には極めて新しい第四紀においても地殻変動があり、造構造運動は一様でなく、過去の現在へのつながりは200万年より新しいものと考えられる。

我々が現在建設している土木構造物の寿命は、短いもので数十年、長いものでも200年程度しか対象としていない。もちろん構造物の重要性もあるが、その構造物の耐用年数期間中に断層の活動によって影響を受けるか否かによっても第四紀断層は評価を受けるべきであろう。いくつかの第四紀断層のトレンチ発掘調査の結果、それらの第四紀断層の活動にはある程度の周期を持って活動している。この周期性が将来も同じ様が続くかはやや疑問の点があるが、松本、永山<sup>12)</sup>は近い将来はこの周期が存在すると仮定して、将来の活動の可能性について検討している。すなわち

① 確率過程を仮定するに当たり、評価上安全側の過程として、

・少なくともT年間活動していない第四紀断層をT年間前に活動しその後活動していない断層と見

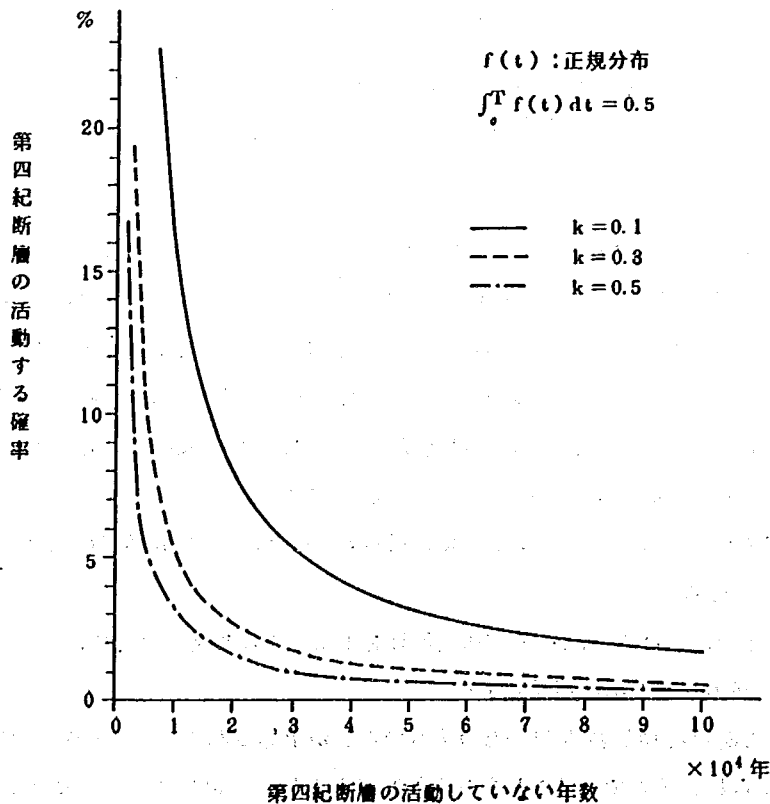


図-13 今後200年間に第四紀断層の活動する確率

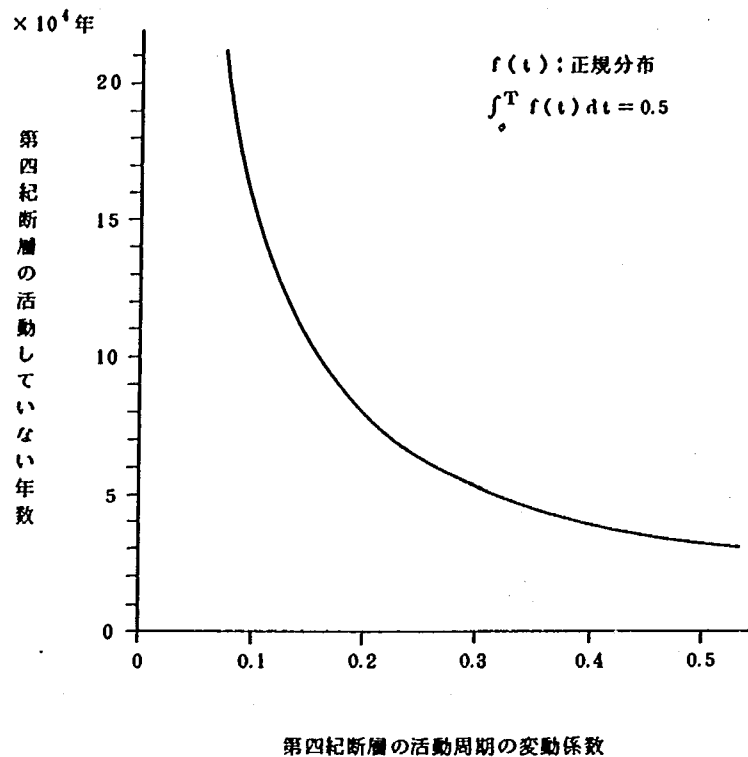


図-14 今後200年間に第四紀断層が活動する確率  
を1%以下に抑えるために必要な条件

なす。

・この断層の将来の活動性は確率的にみて現在において最も高いと仮定する。

- ② 第四紀断層の活動性を第四紀における地殻の営力による応力の蓄積と第四紀断層の抵抗力とによって説明するとすれば、第四紀断層の活動周期のばらつきはその活動周期 $T$ に比例すると考えられる。
- ③ この周期のばらつきを示す確率密度分布は必ずしも明確ではないが、材料強度のばらつきを表すいくつかの確率分布を仮定すると、その差は前提となる仮定条件の曖昧さを考慮すれば、有為な差を示さず、したがってここでは確率分布として正規分布を仮定する。
- ④ この結果、任意の周期 $T$ とその変動係数 $k$ に対して今後200年の間に第四紀断層が活動する確率は、図-13のようになる。
- ⑤ また今後200年間に於ける第四紀断層の可能性を1%以下に抑えるためには、周期 $T$ とその変動係数 $k$ の間に図-14のような関係が成立する。
- ⑥ 第四紀断層の周期の変動係数 $k$ はかなり大きいことが予想されるが、その周期の変動係数は0.5程度はあると考えられ、そこでいまこれを0.5と仮定すると、今後200年間に於ける第四紀断層の活動性を1%以下に抑えるためには図-14よりおよそ30000年間その断層が活動していないことを確

認する必要がある。他の変動係数の値に対しても同様な推定を行いうる。

以上のように、構造物に耐用年数があると、その構造物に影響を与えるような第四紀断層は、最終活動時期が地質学的にみて比較的新しいものに限られるといえる。但しこの場合も構造物の重要性は別途考慮すべきであろう。

この様な考え方は外国の第四紀断層に対する考え方にも現れている。すなわち、

(1) 米原子力委員会（1962）capable fault として：

- ① 35,000 年間に少なくとも 1 回活動したもの。または 50 万年間に繰り返し活動したもの。
- ② 断層と直接関係あることがかなりの確度で決められた広域の記録のあるもの。
- ③ 上記①、②に付随したもの。

(2) Bonilla（1969）active fault として：

- ① 10,000 年前以降に活動したもの。
- ② かなりの確度で地震が発生したことが認められるもの。
- ③ 地表の破断やとう曲が 10,000 年前以降にも認められるもの。
- ④ 計器によって歪の確認できるもの。
- ⑤ 他の活断層や活構造運動に伴うもの。

(3) 米地質調査所（1978）新期断層（young fault）として：

- ① 歴史時代（約 200 年，地震断層）
- ② 完新世（1 万年）
- ③ 第四紀後期（50 万年）
- ④ 第四紀（180 万年）
- ⑤ 新生代後期（1500 万年）
- ⑥ 新生代（6000 万年）

(4) 大ロスアンゼルス市（1970）断層の分類として：

- ① 時代不明
- ② 完新世
- ③ 第四紀後期
- ④ 新生代後期
- ⑤ 新生代後期以前

(5) A. E. C. 10 CFR. PART 100 Appendix A の改訂案（1971）活断層として：

① 35000 年前以降に 1 回または 50 万年前以降に 2 回以上活動したもの。確たる証拠がない場合には地表断層や地表たわみ、あるいは地形的にきられていることが明確なもの。

② ロッキー山脈以西の北米大陸，アラスカ，ハワイ，プエリトリコでは計測的によく地震活動が良く確認できるもの。

③①, ②に付随するもの。

(6) 国際原子力委員会 活断層として：

① クリープしているもの。

② 後期第四紀に活動した証拠のあるもの。

③ 地表破断，地表たわみ，あるいは地形的にきられていることが地質的に地形的にはっきりしているもの。

④ 活断層に付随するもの。

(7) ニューゼーランド 活断層として：

|           |      | 最近 5,000 年 |     |            |
|-----------|------|------------|-----|------------|
|           |      | くり返し       | 1 回 | なし         |
| 5,000     | くり返し | I          | I   | II         |
| ~         | 1 回  | I          | II  | III        |
| 50,000 年  | なし   | I          | III | —          |
| 50,000    | くり返し | I          | II  | III        |
| ~         | 1 回  | I          | III | Not active |
| 500,000 年 | なし   | I          | III | —          |

(8) 日本原子力委員会

① 設計用最強地震 S 1 断層 1 万年以内

② 設計用限界地震 S 2 断層 5 万年以内

等がある。

このようなことから，第四紀断層を地質時代によっていくつか分類したほうが良いと思われ，その分類基準として，前述の地殻変動および基準地形面，鍵層あるいは物理的手法による活動年代の決めやすさ等を考慮して，次のように分類するのがよいと思われる。

(1) H<sub>1</sub> 断層

歴史地震によって変位が生じたことが確認されている断層。

(2) H<sub>2</sub> 断層 (10 \* 10<sup>3</sup> 年前以降)

完新世（沖積世）に地殻応力によって活動した断層，すなわち関東では有楽町層，濃尾平野では南陽層，大阪平野では梅田粘土層，九州では有明粘土層に相当する完新統（沖積層）および沼段丘のような完新世時代に形成された地形を切っている証拠のある断層。

(3) P<sub>1</sub> 断層 (30 \* 10<sup>3</sup> 年前以降)

日本にはいくつかの高さの段丘群が発達しているが，この内後期更新世（洪積世後期）に形成された段丘群がある。この段丘群中，関東で立川面と呼ばれる平坦面を形成する段丘は 3 ~ 4 万年を示す。同様に大阪平野，室戸岬を始め日本各地に 3.5 ~ 4.5 万年を示す段丘が発達している。このよ

うなことから、これらと同時代に形成された地形面、および同時代を示す地質を切っている証拠のある断層をP<sub>1</sub>断層と呼ぶ。

(4) P<sub>2</sub>断層 (150 \* 10<sup>3</sup> 年前以降)

日本各地には、関東地方の下末吉面を始めとして比高 30 ~ 100 m に段丘の発達が見られ、一般に S 面と呼ばれている。S 面形成時代は 12 ~ 13 万年と云われている。したがって、S 面と同時代に形成された地形面および同時代を示す地質を切っている証拠のある断層を P<sub>2</sub>断層と呼ぶ。

(5) P<sub>3</sub>断層 (500 \* 10<sup>3</sup> 年前以降)

大阪層群中部亜層群 (千里亜層群) と上部亜層群 (西宮亜層群) との間には傾斜不整合があり関東でも同時期に長沼不整合または東京湾不整合と呼ばれる不整合が存在する。また関東では多摩面と呼ばれる高位段丘面が発達し、この平坦面の形成時期は 30 ~ 50 万年と云われており、日本各地には同時期の平坦面 (段丘面) が存在している。したがって、長沼層、西宮亜層群および相当層、あるいは多摩面および相当の地形面を切っている証拠のある断層を P<sub>3</sub>断層と呼ぶ。

(6) P<sub>4</sub>断層 (200 万年以降)

長沼層、西宮亜層群および相当層以降の地層、あるいは多摩面および相当以降の地形面を切っている証拠のない断層。なお、H<sub>1</sub>、H<sub>2</sub>、P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>断層に分類される断層のうち、火山活動に伴って形成された断層は再活動性が低いと思われるので、分類としては P<sub>4</sub>断層に含めることとする。

### 3.3 第四期断層の長さ と 幅

1 本の断層は延々と長く続くものではない。一般には断層の活動形態にもよるが、概ね長さ 10 km 程度の断層が雁行状に乗り移りながら存在する。地表で明瞭に連続していれば問題ないが、不明瞭な場合断層の走向傾斜、センス等の類似性から連続と考えられるもの、あるいは雁行断層の場合断層の乗り移りが明瞭のものを 1 本の断層として考え、その他は別の断層と考える。この場合 1 つの断層線群として考える。

松田<sup>13)</sup>は、日本に出現した地震断層の調査の結果から地震断層の長さ L、最大変位量 D と地震のマグニチュード M との関係について、

$$\log L \text{ (km)} = 0.6 M - 2.9$$

$$\text{および } \log D \text{ (m)} = 0.6 M - 4.0$$

なる関係を求めた。この場合の地震断層の長さは 1 つの地震ではほぼ同じ場所に出現した断層群の長さを拾い上げている。L と D を同じスケールで表すと日本内陸部では、

$$D = 10^{-4} L$$

の関係が成立しているといえる。

それでは断層の幅と長さとの関係はどうであろうか。1 本の断層でみた場合、地震断層は面として現れることが多いので明確ではないが、古期断層の調査結果では図-15に示す様に、断層の長さは断

層幅の150～350倍程度を示している。<sup>14)</sup> このデータは中部山岳地帯の花こう岩地域のものであり、他の岩種や第四紀断層にそのまま適用できないであろうが、一つの目安となる。

断層の規模と地域的な分布について、小島<sup>15)</sup>は、図-16に示すように、比較的大きな断層の周辺の中規模の断層が密集し、中規模の断層の周囲には小規模の断層が密集するとしている。第四紀断層のついてみると、図-17はいくつかの第四紀断層区(後述)の東西断面における断層距離の頻度スペクト

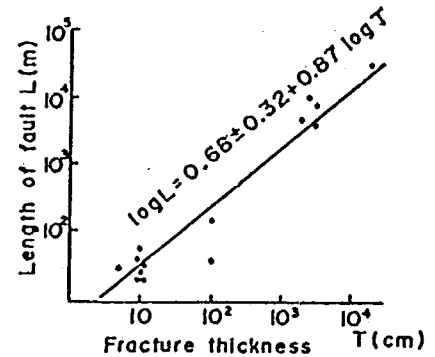


図-15 断層の破碎幅と長さの関係<sup>14)</sup>

ルを示したものである。この図は断層に直角方向にみたものではないので、正しく断層の地域分布特性を見たものではないが、一応の分布の目安となろう。同図によると断層の地域分布は地域によって多少異なるが、0.3～0.4 km, 1.9～4.0 km, 12～17 km, 36～52 kmに集中するようである。

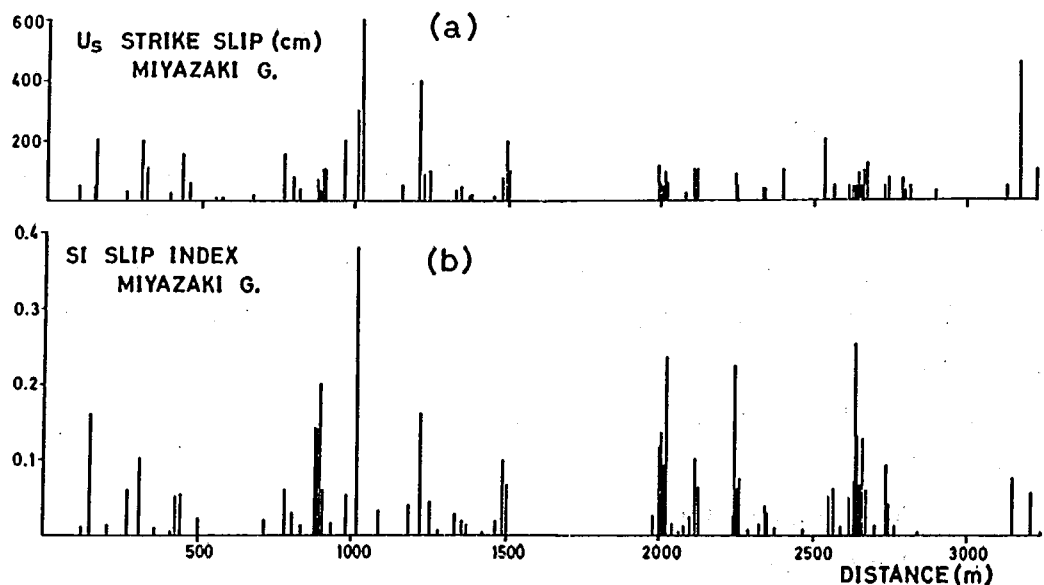
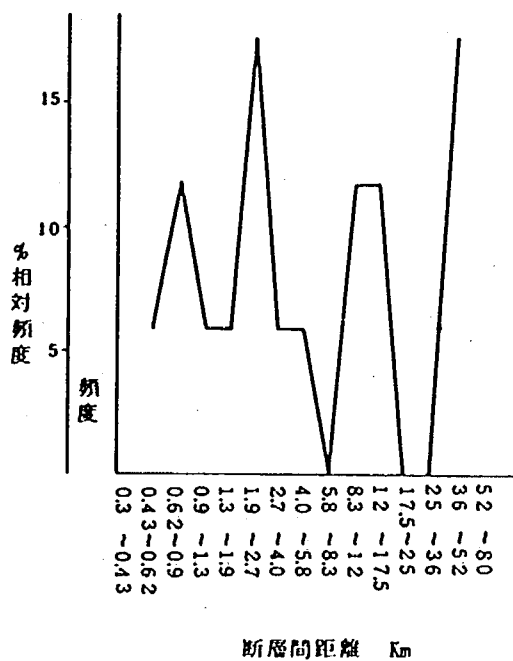


図-16 宮崎層群中の断層の分布(a)とSlip Indexの分布(b), T-2(A)<sup>15)</sup>

松田他<sup>16)</sup>は、一度に地震を起こる主断層帯(筆者の云う断層帯)を構成する断層線は断層の走向に直行する方向から見た時連続しており、この主断層帯の幅が約5 km程度としており、主断層帯の末端から5 km以上はなれた断層は別の断層と考えてよいであろう。

以上のようなことから、1本の断層は短いかもしれないが、地下比較的浅所で1本の断層と思われ

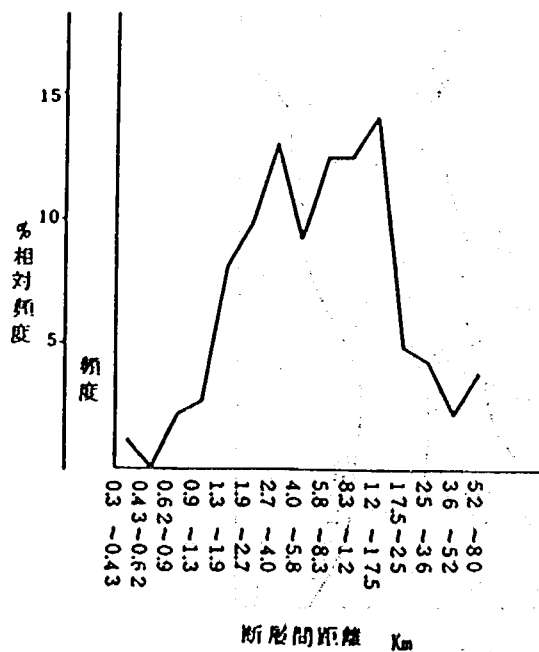
I 北海道主部



II 東北日本内帯



Na 中部山地



Nb 近畿三角地帯

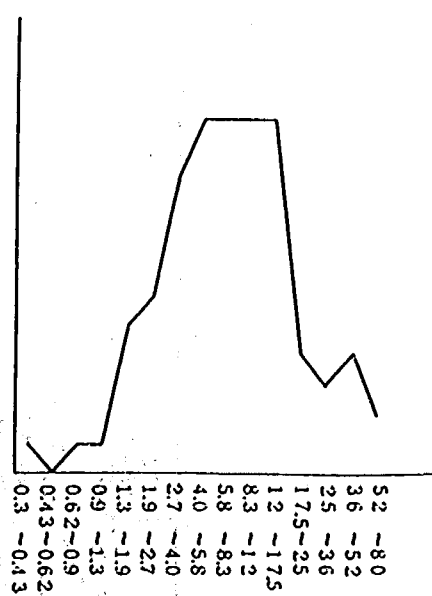


図-17 東西断面における第四紀断層の断層間距離の頻度スペクトル

る断層線群としてはほぼ 300 ~ 400 m の幅の中に存在し、いくつかの断層線群が集まった 1 つの断層帯としては数 km (ほぼ 3 km 程度) と考えて良さそうである。また巨視的にみれば、大きな第四紀断層の周期はほぼ 40 km 程度であり、ついでそれを等分するような間隔で存在しているように見受けられる。

### 3.4 第四紀断層の分布

断層の運動は、断層面上での変位ベクトルで表されるが、このベクトルの方向と地表面との関係によって断層の移動方向、すなわち縦ずれ断層か横ずれ断層かが変わってくる。この様な種々の断層を出現させる地殻の応力場は互いに直交する 3 つの主応力  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  の方向と大きさの 6 つの量によって表現できる。これらの成分の 1 つはその場所の上載荷重にほぼ等しい垂直成分であり、他の 2 つはこれに直交する水平成分である。したがって、水平成分の大きさと方向によって断層の出現形態が決定される。

第四紀の地殻変動では、変動の向きは少なくとも  $10^5$  年程度安定しているため、変位が次第に累積して行くと云われている。すなわち、水準測量に現れた  $10^4 \sim 10^5$  年間の測地的な変動と  $10^3 \sim 10^5$  年程度かけて形成される変形、変位の向きとはしばしば一致していて、測地的変動の累積が地形の変



図-18 地震および地山応力測定から求めた  $\sigma_{Hmax}$  の方位分布<sup>17)</sup>

化となっている。図-18は、最近100年間程度の応力場を表現していると思われる地山応力測定や地震から求めた水平最大主応力を、図-19は三角測量から求めた歪応力分布を、図-20は“活断層”および岩脈から求めた最大水平応力分布を示している。3者は良く調和していて、細部では異なっているが、大きくみると、ここ $10^3 \sim 10^5$ 年間の日本列島の水平主応力は東西に近い方向であったことを示している。

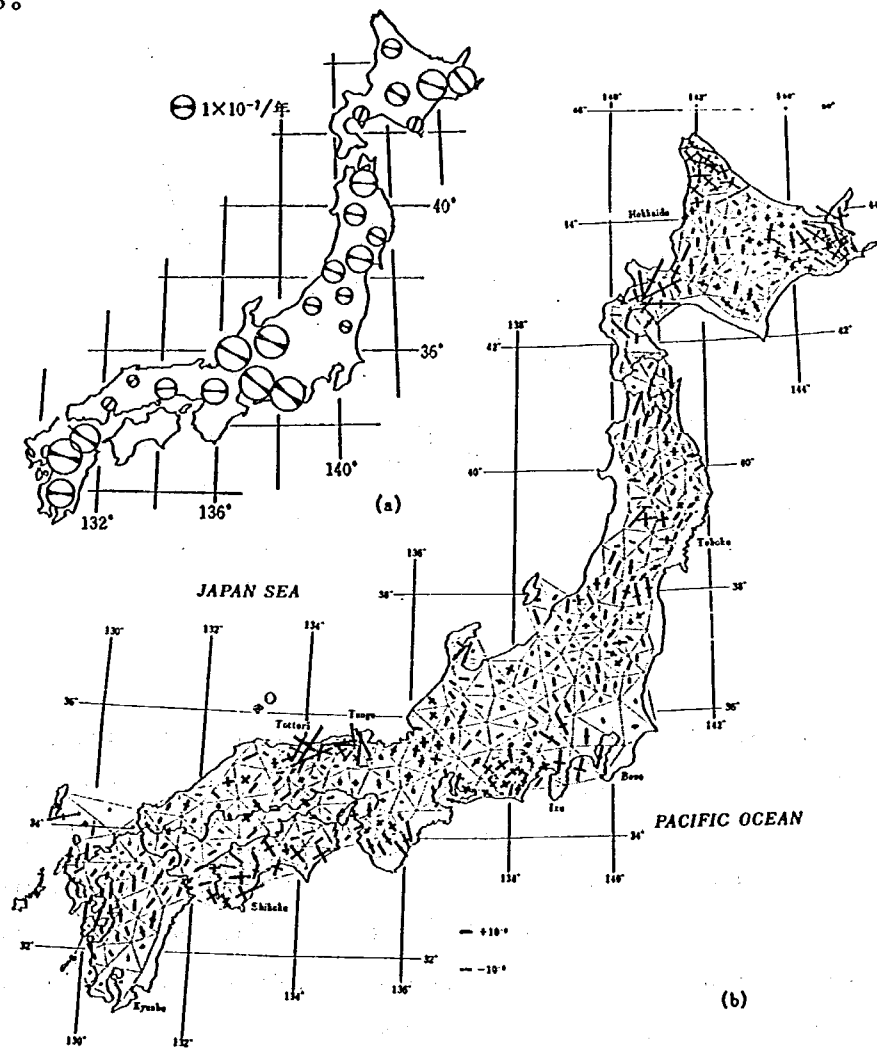


図-19 三角測量から求めた最近約60年間の水平変動<sup>18)</sup> (a) 短縮の方向と最大剪断歪をそれぞれ矢印と円の大小で表示したもの  
(b) 歪主軸(実線は伸び、破線は縮み)で表示したもの

この様に、地殻変動には累積性があり、その作用方向が長期間安定していることは地殻変動に地域性を生じることの意味する。すなわち、第四紀断層の分布密度、方向、センス等には著しい地域性が存在する。このようなことから、既往の文献を参考に第四紀断層の分布特性について検討した。

断層の走向および縦ずれ・横ずれ断層の断層等の特色は、北海道主部、東北日本内帯および東北日



図-20 活断層および第四紀火山（岩脈）から求めた $\sigma_H \max$ の方位分布<sup>17)</sup>

本外帯に分布する第四紀断層はほとんど縦ずれ（逆）断層であり、走向は東日本火山帯の火山フロントの方向と平行である。関東北縁の縦ずれ断層の走向は北西-南東であり、東北地方から中部地方にかけての縦ずれ断層の一般的方向が北東-南西であるのと異なっている。伊豆半島の横ずれ断層は、北西-南東系統が右ずれ、北東-南西および南北方向のものが左ずれを示す。中部地方は阿寺断層系の北西-南東系統が左ずれ、跡津川断層系の北東-南西方向が右ずれである。近畿地方は南北系の逆断層、北西-南東方向の左ずれ断層、北東-南西の右ずれ断層が分布している。中国、瀬戸内、九州は分布密度は低い、北東-南西の右ずれ、北西-南東が左ずれである。

図-21は、日本全国を1/5万地形図のメッシュにきり、メッシュ内に含まれる第四紀断層の数を示したものである。第四紀断層が密に分布する地域は、伊豆半島周辺、フォッサマグナ、能登半島、近畿三角地域、中九州地域、中央構造線主部である。

このような第四紀断層の走向、断層型、密度、長さ、活動度等を考慮して日本全国をいくつかに分けると図-22のようになる。またそれぞれの第四紀断層に特性を示すと表-4のようになる。<sup>19)</sup>



図-21 メッシュ内に分布する活断層の数(活断層密度)<sup>19)</sup>

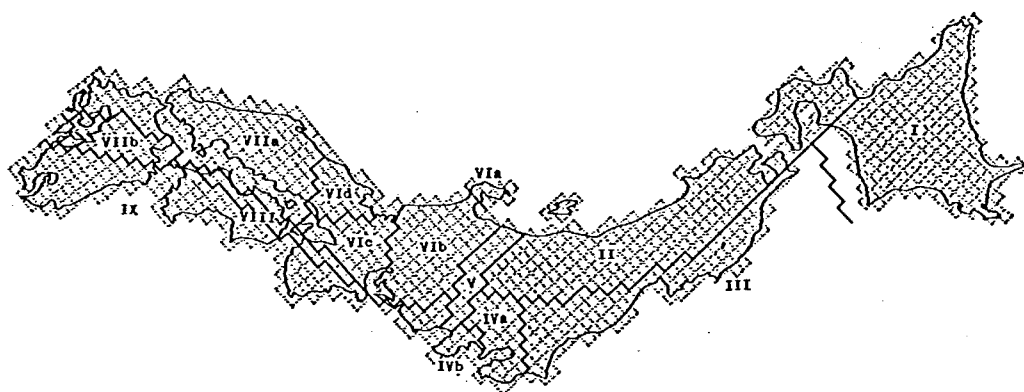


図-22 活断層区(各区の名称および特性は表-4 参照)<sup>19)</sup>

表-4 活断層区の特徴

| 記号    | 活断層区名      | 全活断層密度<br>(本/メッシュ) | 長さ10km以上の活断層密度<br>( $\times 10^{-1}$ 本/メッシュ) | A級活断層密度<br>( $\times 10^{-1}$ 本/メッシュ) | 成分をもつ活断層密度<br>( $\times 10^{-1}$ 本/メッシュ) |
|-------|------------|--------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|
| I     | 北海道主部      | 0.12               | 0.34                                         | 0.19                                  | 0.10                                     |
| II    | 東北日本内帯     | 0.59               | 0.68                                         | 0.60                                  | 0.04                                     |
| III   | 東北日本外帯     | 0.06               | 0.19                                         | 0                                     | 0.09                                     |
| IVa   | 伊豆小笠原弧先端部  |                    |                                              |                                       |                                          |
| IVb   | 関東山地周辺     | 0.22               | 1.21                                         | 0                                     | 0.49                                     |
| V     | 伊豆半島周辺     | 4.55               | 2.73                                         | 3.64                                  | 14.55                                    |
| VI    | フォッサマグナ地帯  | 1.28               | 3.60                                         | 5.20                                  | 1.60                                     |
| VIIa  | 西南日本内帯東部   |                    |                                              |                                       |                                          |
| VIIb  | 能登半島周辺     | 1.80               | 0                                            | 0                                     | 0                                        |
| VIIc  | 中部山地       | 1.19               | 6.67                                         | 1.67                                  | 5.00                                     |
| VIIId | 近畿三角地域     | 2.95               | 8.46                                         | 0                                     | 6.15                                     |
| VIII  | 近畿北西部      | 0.22               | 1.88                                         | 0                                     | 1.56                                     |
| IX    | 西南日本内帯西部   |                    |                                              |                                       |                                          |
| X     | 中国・瀬戸内・北九州 | 0.12               | 0.49                                         | 0                                     | 0.42                                     |
| XI    | 中九州火山地域    | 4.48               | 3.03                                         | 0.61                                  | 2.12                                     |
| XII   | 中央構造線主部    | 1.70               | 7.50                                         | 7.00                                  | 8.00                                     |
| XIII  | 西南日本外帯     | 0.18               | 0.14                                         | 0.42                                  | 0.14                                     |

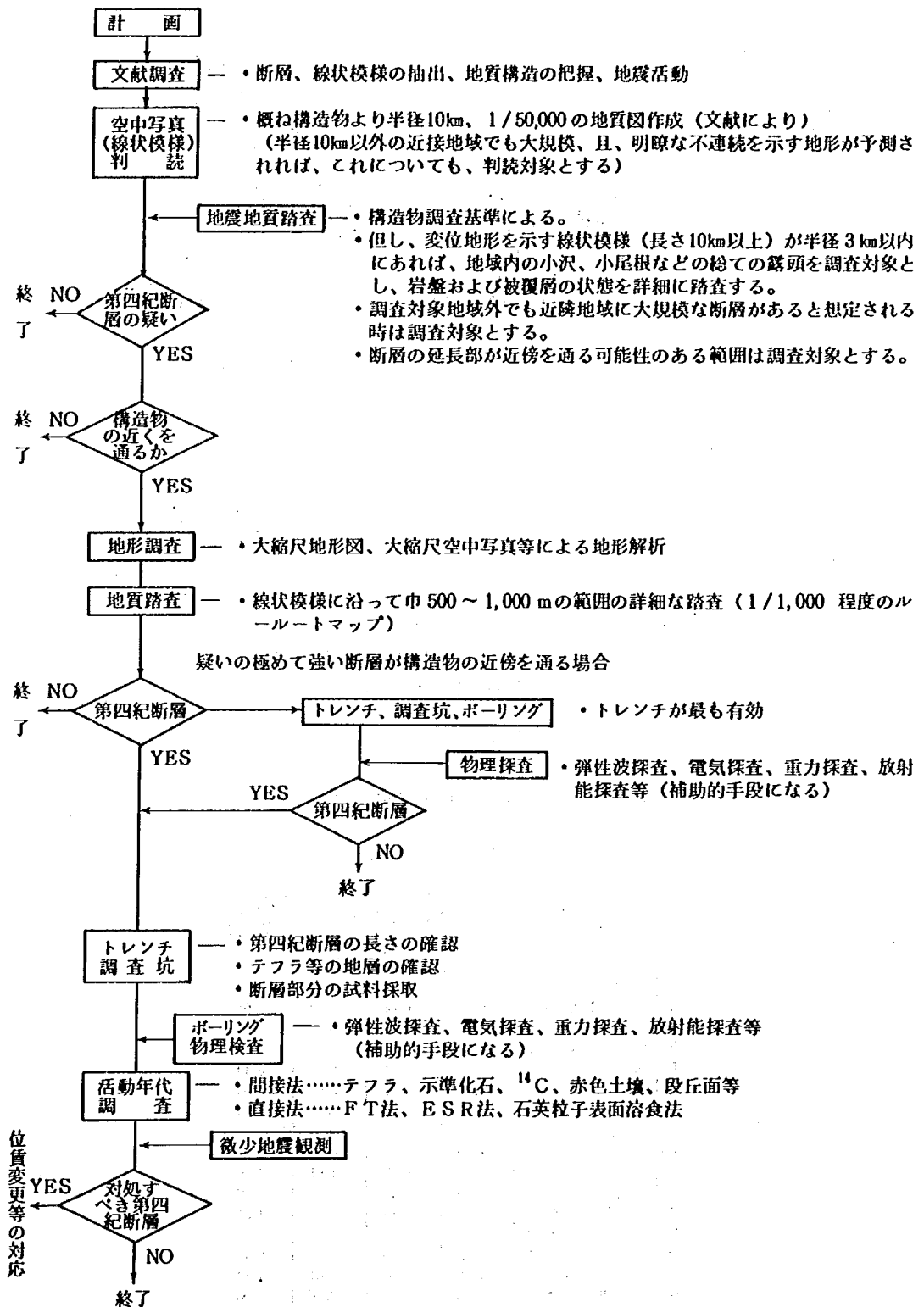


図-23 第四紀断層調査の流山

## 4. 第四紀断層の調査法

### 4.1 調査計画

土木工学上考慮すべき第四紀断層の抽出のための調査の流れは図-23に示すようなものが考えられる。まず対象となる土木構造物の近くに今後詳細に調査すべき線状模様が存在するかどうかを調査する第1次の調査と、1次調査で拾い上げられた線状模様が第四紀断層であるか否かおよびそれが第四紀断層であった場合その正確な位置、規模（幅、長さ）、活動年代を調査する第2次の調査とがある。もちろん、前述のように第四紀断層の分布が地域によって異なること、地殻変動や浸食速度、断層の形態等によって地形への反映の仕方や保存の状態等が異なる。したがって、第四紀断層の調査は、これらの地域特性を考慮して調査計画を立てる必要があることはいうまでもない。

### 4.2 文献調査

文献調査の目的は、地質、地質構造、地震等に関する既存資料を収集解析し、調査地内に第四紀断層またはその恐れのあるものが存在するか否かを調べるとともに、以後の調査の方向づけを行うものである。

文献調査は、主として第四紀断層（“活断層”）、地震断層、第四紀地殻変動、既往地震（震央、マグニチュード、発生年月等）に係る資料に重点をおき、合わせて地質、地質構造に係る文献を収集する。文献収集によって調査する範囲は構造物計画地点から半径50 km程度とする。

文献で第四紀断層と判定される根拠には、地形学的方法、すなわち空中写真または地形図判読によって変位を反映した地形的特徴を基本としている方法、地質学的方法すなわち第四紀断層あるいは第四紀に形成された段丘面あるいは崖錐等を切っている断層を露頭で確認する方法とがある。いくつかの文献では地形学的方法のみで第四紀断層としている場合があるが、断層変位地形またはそれに似た地形を形成する地質的要因は多くある。それゆえ第四紀断層であることを明確に示す証拠を掴むまではみだりに第四紀断層と断定すべきではない。

### 4.3 地形調査

地形は、地殻が現在までに受けた広い意味での火山活動を含む地殻形成作用と、地殻変動および風化、浸食作用の反映である。したがって、空中写真、各種地形図の判読および現在の地形の観察によってある程度地質や地質構造を知ることが出来る。

特に断層の存在を反映した地形（断層地形）は、長く続く直線状または緩やかな曲線状に配列する特徴的な地形を形成することが多く、比較的にみだしやすい。

第四紀断層に起因する断層変位地形は、断層の活動した時期が新しく浸食を受けた時間が短いため、図-10に示すような崖地形、逆向き崖地形、三角末端面、凹地状地形、孤立丘、谷・尾根の系統

的屈曲、截頭谷（ウィンドギャップ）等となって比較的良く残っている。

地形調査の方法には空中写真の判読、地形図の解析および現地踏査とがあり、当該構造物を中心に半径10km程度の範囲を調査する。しかし10kmを超える範囲にも大規模な第四紀断層の存在が予測される場合には当該構造物に対する影響を確認するため範囲を広げる。

空中写真判読は、最初に1/40,000のような小縮尺の写真を用いて線状模様の賦存状態を判読する。この判読によって断層変位地形と推定される地形が存在した場合はより大縮尺の写真（例えば1/10,000～1/8,000）を用いて判読を行い、断層の位置およびその延長を判定し当該構造物に対する影響を考察する。

#### 4.4 地質踏査

地質踏査は、地質および地質構造の調査、文献調査および地形調査等の調査結果の確認、年代測定用の試料採取、およびボーリング、トレンチ、調査坑の配置の計画等のために行う。第1次調査の段階の地質調査は、河川砂防技術基準、道路土工指針等の各種の基準、指針類に示された方針および方法で行うが、予め大規模な第四紀断層および断層変位を示す地形を伴う長さ10km以上の線状模様が当該構造物より約3km以内に存在していることが知られている場合はその断層または線状模様付近まで調査範囲を広げる。

第2次調査は、1次調査の結果、第四紀断層の可能性があり、かつそれが構造物の近くを通るものについて調査を実施する。調査は、線状模様および第四紀断層を中心に片側500～1000mの範囲について詳細に行う。

本踏査では、断層の露頭の発見に努めるが、断層の露頭がない場合はトレンチ等の手段も併用する。特に線状模様付近に分布する第四紀層および断層変位地形、また段丘、扇状地、崖錐等については、地形面の分布・形状・標高・比高・勾配などを詳細な地形観察、大縮尺地形図を基とした横断図の作成または実測横断図の作成等により調査する。

さらに、断層の活動年代を調べるために、断層と関係した地層から年代測定用の生物遺骸（木片、泥炭、花粉、貝殻等）および文化遺跡（土器、石器等）の採取を行う。

#### 4.5 トレンチ

第四紀断層と想定される断層が第四紀層を切っているかいないか証拠を確実に把握するには、トレンチ調査が極めて有効である。トレンチ調査は次のような場合に行う。すなわち、第四紀断層の疑いが極めて強いにもかかわらず第四紀断層である確証が得られない場合、および断層の位置、長さならびに変位量を正確に知りたい場合、さらに活動年代を知るために断層の存在する地層の年代決定および年代等を決定づける生物遺骸又は断層材料の試料採取を行う場合などである。

#### 4.6 ボーリング, 調査坑

ボーリングおよび調査坑もトレンチと同様に, 第四紀断層と想定される断層の位置, 長さ, および変位量の確認ならびに断層部分の試料採取のために行う。断層部分の破砕部の中には, 活動時に形成された断層面が保存されていることがあるので面の状況についての詳細な観察を行いスケッチ図を作成する。しかし面的な調査はトレンチほどできないので, 目的によっては有効性は調査坑, ボーリングの順にトレンチより劣る。

#### 4.7 物理探査

物理探査は, 概略の断層位置を知るために行う。物理探査によって速度層等の分布から地層のズレの概略は判定できるが地層の時代の認定および断層の性状の詳細を知ることとはできない。

そのため, トレンチ, ボーリング, 調査坑による調査に較べて信頼性は低い。

物理探査の方法には, 弾性波探査, 電気探査, 重力探査および放射能探査等がある。弾性波探査には屈折波法, 直接波法, 反射波法がある。屈折波法, 直接波法は地山の弾性波速度値から地質を推定するのであるから, 第四紀断層調査の場合のように調査地内の第四紀層相互の変位を知る必要がある場合においては, 第四紀の地層はその多くがほぼ同じ速度値を持つことが多いので速度値をパラメーターとすることの2方法では変位量をとらえることは困難である。これに対し, 反射波法は音響インピーダンスの異なる地層の境界から反射してくる波を捉えるために地層の変位や断層の位置の確認には物理探査の中では適している。

その他, 断層破砕帯では, ラドンガス, 炭酸ガス, 水素ガス等が多いということから, これらのガス濃度を測定することにより断層位置を発見する地化学的な方法もある。

#### 4.8 活動年代調査

断層の活動年代または活動時期を推定する方法として直接法と間接法がある。直接法は断層中の石英, 雲母等の鉱物を取り出し, 鉱物中に刻まれている格子欠陥量あるいは放射線(高エネルギー粒子)の飛跡を計測し, 断層の活動年代を求めるものである。間接法はある岩石または地層が第四紀断層と推定される断層によって切られているか否かを判定する。この場合切られている地層の年代をその中に埋没している生物遺骸または文化遺跡をパラメーターとして測定するとか, 形成年代は既知であるが離れて分布して, しかも形成年代がよく似ていると推定できる第四紀層との対比結果を基準として推定し, 断層の活動時期を類推するものである。

直接法は, 断層が活動した時にすべり面内にある物質は強い圧力, 摩擦熱を受け, ある鉱物は破断され, あるいはその鉱物がそれまで有していた格子欠陥が消滅する。そしてそれらの鉱物は, その後の地下水等による溶食あるいは放射線によって損傷を受ける。したがって, 断層内にある物質の溶食の程度あるいは格子欠陥量を測定し, 年間放射線量と比較することによって断層の活動時期を推定す

るものである。測定にはフィッシュントラック法（FT法）、電子スピン共鳴法（ESR法）、石英粒子表面溶食法があり、FT法には雲母等が、後2者には石英が用いられる。

間接法は、変位の基準となる地層、岩体、地形等の年代を予め知り、これらが変位している状態の観察により推定する方法で、変位の基準となる地層および地形等にはテフラ（火山灰層）、赤色土壌等があり、地形には段丘面、熔岩流面等がある。地層中には花粉群集その他の生物遺骸等が含まれているので、生物遺骸の $^{14}\text{C}$ の測定等によってその遺骸の堆積した地層の年代を知ることができる。

## 5. おわりに

土木における第四紀断層の問題は建設された土木構造物の耐用年数内の活動性を評価することであるが、断層の活動性の評価に関する研究は緒についたばかりで十分でない。また線状構造物はどこかで断層を横切らざるを得ず、仮に被害を受けても軽微な損傷となるような構造を取る必要があり、その様な構造についても十分な研究が行われているとはいえない。

このようなことから、今後第四紀断層の活動性評価、ずれに対する構造物の対策に関する研究が待たれるところである。

## 参考文献

- 1) 平凡社：地学事典
- 2) 活断層研究会：日本の活断層 — 分布と資料 — 東大出版会，1980
- 3) 岡田 篤正他：トレンチ発掘による活断層の調査，地球8号 1979.8. PP 608 ~ 615
- 4) 山崎 晴雄他：北伊豆断層系のトレンチ発掘調査，地球57号 1984.3 PP158 ~ 164
- 5) 古今書院：地学辞典
- 6) 木村 敏雄：地球構造の科学，朝倉書店
- 7) 三木 幸蔵：わかりやすい岩石と岩盤の知識，鹿島出版会
- 8) 近畿地方土木地質図編纂委員会：近畿地方土木地質図解説書，(財)国土開発技術研究センター  
P 281, PP 45 ~ 48
- 9) 桑原 啓三：1978年伊豆大島近海地震による斜面崩壊の実態，応用地質 vol 20. No 1, 1979
- 10) 宇佐美竜夫：資料日本被害地震総覧，東大出版会
- 11) 吉川 虎雄他：新編日本地形論，東大出版会 PP 315 ~ 320
- 12) ダム構造研究室：周期に変動ある事象の生起確率に関する一考察，土木研究所資料 第2068号  
1984.3
- 13) 松田 時彦：活断層から発生する地震の規模と周期について，地震，ser 2 No 28  
PP 269 ~ 283
- 14) 緒方 正虔他：電力施設の耐震設計における断層活動性の評価，応用地質 vol 22. No 1 1981.3
- 15) 小島 圭二他：断層密度および規模の分布とその予測の試み，応用地質 vol 22. No 1 1981.3
- 16) 松田 時彦他：活断層の分類とグループ化 Seismic Hazard Map 作成のために地震学会講演予稿集 1983.2 P 161
- 17) 松田 時彦他：活断層とネオラクトニクス，地球科学 vol 10 岩波書店
- 18) 原田 健久他：最近60年間に於ける日本の地殻の水平歪，測地学会誌 vol 17. PP 4 ~ 7
- 19) 中村 康夫：日本内陸に分布する活断層の地域性，土木技術資料 vol 25. No 7. 1983.7  
PP 43 ~ 48

「特 別 講 演」

フロンティア開発と建設

—通信衛星の展望—

日本通信衛星株式会社  
代表取締役社長

神 谷 洋

—— 久 毛 ——

—— 人 毛 ——

# バイオテクノロジー利用による新排水処理技術

下水道部長 安 藤 茂

# バイオテクノロジーの利用による新排水処理技術

## はじめに

最近のバイオテクノロジー（生命工学）の発達には目覚ましいものがある。医療や食品、農畜産、水産などにおいては細胞の遺伝子操作によって効能や生産の向上に寄与するものを生みだしている。

下水道の分野でも、汚水処理の効率化を目指してバイオテクノロジーの研究が開始されている。これらの研究では、汚水を浄化する微生物に焦点を当てて、遺伝子組換えなどによって、何倍もの処理効率をもつ微生物を作りだし、実用化することを究極の目的としている。

この稿では、昭和60年度から建設省がスタートさせた「バイオテクノロジーを利用した新排水処理システムの開発」を中心に、下水処理技術へのバイオテクノロジーの導入について述べる。

## 1. バイオテクノロジーの勃興

1980年代はゴンドラチュフ・シェムペーター流にいうと技術革新の第4の波の頂点にある。第1の波がワットの蒸気機関の発明に始まった産業革命で、第2の波が電気・通信等、第3の波が原子力、ロケット、コンピューター等であり第4の波の代表技術がハイテクと総称されるバイオテクノロジー、メカトロニクス、新素材、オプトロニクスなどの諸技術である。

バイオテクノロジーの幕明けは1973年コーエンとボイヤーによる遺伝子組換え実験の成功にはじまる。以後10年余の間にこの技術は主として医薬品の製造分野を中心に著るしい進歩をとげ、今や医療だけでなく、工業、食品、畜産、環境制御、エネルギーなどの分野でも欠くことのできない技術となっている。

バイオテクノロジーを支える基礎科学は、生命科学又は分子生物学、と称されるものであるが、これらの科学は“生命の起原”とか“遺伝の仕組み”“生物の進化”といった問題を解き明すことを目的に発展してきた科学である。この科学の嚆矢は19世紀半ばに遡る。1858年、ダーウィンは『種の起原』を書き生物の種は不変でなく進化するという進化論を発表した。1865年、オーストリアのメンデルはエンドウ豆を使った交配実験を行ってメンデルの法則を発見し、親から子に伝わるのは形質そのものでなく形質を決める要素であると考えた。1869年、スイス人医師ミーシャは生物の最小単位である細胞の活動の中心となっている細胞核には何か重要な物質があると考え、包帯についた膿を集めて分析し、核の中からリンを含む未知の酸を見つけ「ヌクレイン」と名づけた。これがDNAであった。後にこのことが判明した。1892年、ドイツ人、コッセルが酵母からもう一つの核酸RNAを抽出し、4つの塩基成分アデニン、グアニン、シトシン、ウラシルが含まれていることを発見した。またロシア生まれのアメリカ人レーヴィンはDNAとRNAで塩基の種類が違うことを発見している。

1944年アメリカの細菌学者Oアベリーは肺炎双球菌の形質転換因子を研究し、それがDNAであること、つまり遺伝子の本体がDNAであることを発見した。また、1951年、ハーシーとチエースはバ

クテリオフェージに関する実験によってDNAが遺伝子の本体であることを証明した。そして、ついに1953年、ワトソンとクリックはDNAが二重らせん構造であることを突きとめたのである。

DNAに関する研究はその後もたえまなく発展を続け、DNAのより詳細な姿が明らかにされて来ている。それらの中には、岡崎今治博士、富沢純一博士などの日本人学者の業績もさん然と輝いている。

DNAやRNAの姿が明解になるのに伴って、それらを切ったり、つないだりする物質（酵素）も発見され、前述のコーエン、ボイヤーの遺伝子組換え技術の完成となったのである。そしてこれを契機にDNAから出発する生命科学への道が開かれ、DNA生物学が成立した（渡辺格）とされている。

一方、DNA操作とは別に、細胞レベルの操作も試みられ、大きな成果が上っている。大阪大学の岡田善雄博士が最初に発見した細胞融合技術がそれである。また受精卵又は受精卵が少し分裂した段階の初期胚に対する操作もあり、すでに20数年の歴史をさざんでいる。

バイオテクノロジーは、こうした色々の操作技術を総称したものであり、それらを駆使することによって、人間の生産活動や生活に一層の向上をもたらすことができると期待されている新しい技術である。

## 2. バイオテクノロジーの基礎

### 2.1 細胞の構造

すべての生物は細胞という最小の単位から成立っているが、その細胞を更に詳しく観察すると「核」と「細胞質部分」とから成立っていることがわかる。

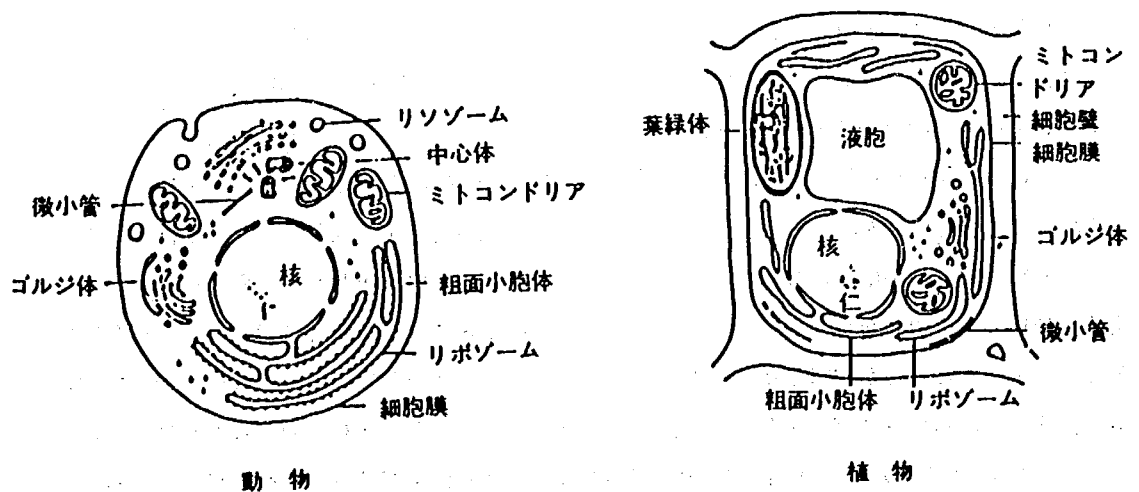


図1 動植物の細胞構造

「細胞質部分」には、様々な膜構造を持った顆粒が存在している。エネルギー生産工場である「ミトコンドリア」たんぱく質生産工場である「リボソーム」などであり、植物細胞には光合成能力を持つ葉緑体があり、幾重にも重なり合ったチューブの様な形をしている。

図1に動物細胞と植物細胞の模式図をしめす。

「核」は核膜という薄膜に包まれ中には透明な核液が充されている。染色糸と一〜数個の仁があり、細胞全体を総括する役目を持っている。

「染色糸」は、細胞が分裂する際には、種によって一定の数と形をもった「染色体」に変化する。人間の場合は23対であり、X型とY型となる。

## 2.2 DNAとその構造

この染色糸、染色体を形成し、あらゆる生物の遺伝形質を支配しているものが「核酸」と呼ばれる物質で、「デオキシリボ核酸(DNA)」と「リボ核酸(RNA)」と呼ばれる2種類に大別される。

DNAは核の中に大切に保存され、細胞分裂と共に、子孫に引継がれていく核酸であり、RNAは形質が発現し、タンパク質合成が細胞内で行われる際、設計図又は型枠として活躍する核酸である。

DNAの構造は図2のような二重らせんの階段状をなしている。外側の二本のらせんは、デオキシリボースという糖とリン酸で作られ、はしご段は、アデニン(A)、チミン(T)、シトシン(C)、グアニン(G)という4種類の塩基が2つずつ向い合って結合している。

この対をなす塩基の組合せには決りがあり、AはTと、CはGとしか結合しない。はしごはA T, C G, G C, T A, A T, G C……というようにある順序をもって続いていく。

こうして微生物から人間まであらゆる生物のDNAは、わずか4種類の塩基でできていてその配列の仕方が、生物の体を作る設計図となっているのである。大腸菌のDNAでさえ、らせんの捻れは約40万回もあり、一つの捻れに10段のはしごがあるわけだから約400万のはしごがあることになる。これに4種類の塩基配列が組込まれるから、組合せの数は4の400万乗となり、無数にあるとしかいいようがない。

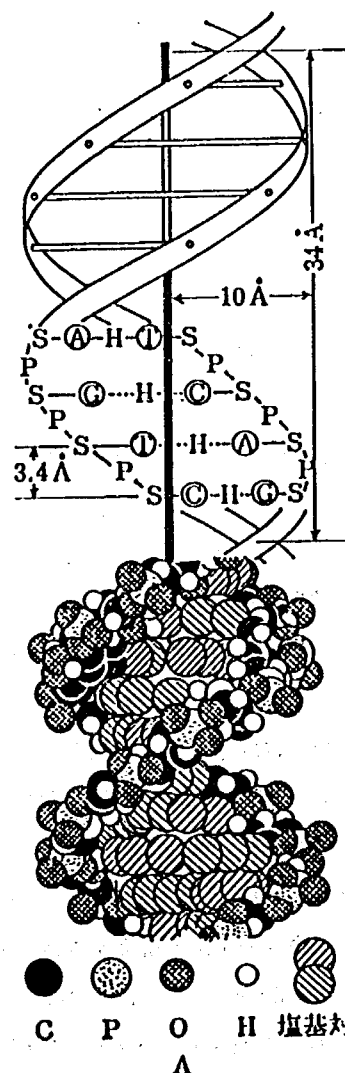


図2 DNAの構造

(太田次郎 細菌の科学より)

そして、この鎖のある一定の長さの部分が、その生物の性質とか特徴をきめているわけである。

### 2.3 DNAの複製

細胞が分裂する際、2本鎖DNAは互に補っている塩基対の水素結合が切れ、あたかもジッパーが開くように、ネガ鎖とポジ鎖に分かれる。各々の一本鎖は開裂しながら、これを鋳型に相手となるヌクレオチド（塩基と糖とリン酸で構成された鎖の部品）を拾いあげて新しい鎖を伸ばしていき、最初に存在したDNAと全く同じ2重らせんの鎖が2本でき上る。そして、これが2分した娘細胞と親細胞の両方に分配されるため全く同じ遺伝情報が子へ引き継がれていくのである。

## 3. バイオテクノロジーの中味

### 3.1 バイオテクノロジー体系 — 基礎技術と応用技術 —

バイオテクノロジーを構成する技術には様々なものがあるが大別すると基礎技術と応用技術に分かれる。

基礎技術には、①遺伝子組換え、②細胞融合、③菌体・酵素固定、④組織培養が含まれる。

応用技術は、基礎技術を組合わせたり、発展させた技術であり、マスコミを販わす、諸技術は応用技術が多い。遺伝子診断、DNAシンセサイザー（人工合成）、バクテリア・リーチング（生物選鉱）、モノクローナル抗体、体内ミサイル、バイオリアクター、品種改良、バイオマスエネルギー、バイオセンサー、バイオコンピュータ、生体エンジンがそれで、これらが医療・医薬品、鉱・工業、食糧、エネルギーの分野で活用され、人類文明の発展に寄与している。

### 3.2 遺伝子組換え

遺伝子組換えは正確には組換えDNA技術といわれる。DNAの中で必要な遺伝情報の部分だけを切り取ったり継ぎ直したりして、思い通りの遺伝情報をもったDNAを作り出そうという技術である。

この技術は既述のように1973年にアメリカのコーエンとボイヤーらによって完成された。DNAをある場所で切る鋏の役目をする制限酵素と、糊の役目をするリガーゼという酵素が発見されたからである。

例えば大腸菌を使って特定の物質を多量に作り出す菌種を作るものとする。この場合、まず大腸菌のプラスミドDNAを取り出し、制限酵素を使ってある部分に切れ目を入れる。一方、菌の代謝の過程で特定の物質の生産を指令する遺伝子DNAを同じ制限酵素で同様に切れ目を作って取り出す。これをプラスミドDNAの中に組み込むのである。このとき仕上げてDNAの連結酵素であるリガーゼを使う。DNA組換えを終えたプラスミドを大腸菌に取込ませると、大腸菌は組換えられたDNAを翻訳しながら増殖していくので必要な物質が大量に生産される。

大腸菌のほかにも、酵母、枯草菌や好熱性細菌など他の微生物についての開発が進んでいる。

### 3.3 細胞融合

細胞融合は、2種類の違った生物の細胞をくっつけて1つにし、両方の性質を兼ね備えた細胞を作り出す技術である。

植物では、ジャガイモとトマトを融合させたポマトが有名だが、イネとダイズ、ニンジンとパセリなどで試みられている。また動物ではリンパ球細胞と増殖力の大きなガン細胞を融合させて雑種細胞（ハイブリドーマ）を作る事が行われている。このハイブリドーマは、ガンの診断、治療薬として期待されているモノクローナル抗体をつくる能力がある。

細胞融合の手順を植物を例にして示せば次の通りである。まず、2つの異なる種の植物の細胞を取出し、それぞれの細胞壁を分解酵素を使って、取除いて裸の細胞（プロトプラスト）を作る。次に融合促進剤（ポリエチレングリコールなど）で2つの細胞を融合する。その後で細胞壁を再生させ、適当な培養条件下におくと、細胞は増殖しはじめる。その結果、両方の植物の特徴を兼ね備えた植物ができる。

この細胞融合の技術を発展させたのはイギリスのハリスであるが、その基礎を作ったのは日本の岡田教授（阪大）や建部教授（名大）である。

### 3.4 酵素・菌体固定

酵素・菌体の固定化技術とは、酵素や菌体の働きをほとんどそっくり生かして固定化してしまう技術である。酵素・菌体の固定化によって、発酵などの変化を連続的に起こすことができ生産の効率も高まる。

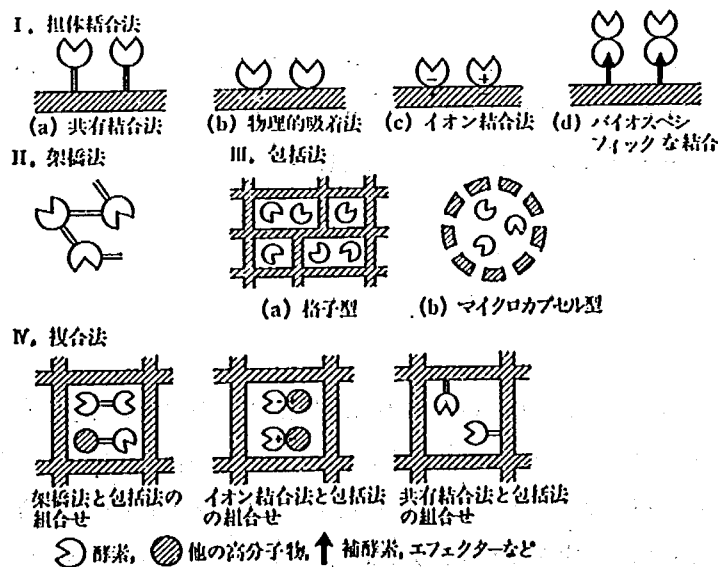


図3 酵素、微生物の固定化方法

（福井三郎編著「微生物とその応用 2、生体触媒としての微生物」（共立出版））

下水処理の分野では、散水汙床、回転生物接触酸化法などですでに固定化の原形を持っている。

固定化の方法としては、図3のように担体の表面に付着させる固結法、酵素・菌体を部分的に担体で包んでしまう包括法、酵素・菌体を繋ぎ合わせていく架橋法およびそれらを組合せた方法がある。

固定化した酵素・菌体に原料となる物質を供給し、効率良く接触させて生産効率をあげる装置がバイオリアクターである。

### 3.5 大量培養

動物細胞でも植物細胞でも生体細胞を工業的に利用するためには、それらの細胞群や組織片を取り出して大量に増殖させる技術が欠かせない。実験室で新しい品種の作り出しに成功したといっても、少しの量しか得られないのでは実用化できないからである。

植物の場合には、細胞1個からだけでも、根、茎、葉をそなえた完全な植物体を復元する能力があるので、1個の植物細胞から同じ形質を備えた大量の植物を作ることが可能となっている。

動物細胞の場合は復元力もないし、壊れやすいため、組織培養は難しい。ワクチンや抗体などの生産も、微生物を使った遺伝子組換え技術だけでは限界があるので、細胞大量培養への期待は大きい。

### 3.6 バイオリアクター

固定化した酵素や、微生物を有効に働かせるためには、基質・素材と効率良く接触させ、生化学反応を進める必要がある。この接触・反応装置がバイオリアクターである。

広義には微生物を培養する培養槽などを含む生化学反応器と解釈されるが、狭義には固定化酵素用反応器と解されることもある。

酵素・微生物を固定化するメリットは、同一の生体触媒を何回も使え連続反応が可能になることと、生体触媒の安定性が増すこと及び生体触媒を高密度化できるので器が小さくなることである。

下水処理で用いられる活性汚泥法・散水汙床法など従来の方法もバイオリアクターの一つであるが、もっと高効率化を図る必要がある。

図4に代表的バイオリアクターの形式を示す。

### 3.7 バイオセンサー

酵素や微生物・細胞など生体触媒が、特定の物質と選択性良く反応する現象を利用したセンサーをいう。測定したいものにセンサー部をつけるだけで出力が得られるのがセンサーであるから、生体触媒を固定化した測定器をバイオセンサーと呼ぶ。固定化生体触媒の形状は膜の場合が多い。固定化膜を使うことで迅速に連続的な測定が行えるようになり、サンプルを固体と液体とに分離することなしにそのまま測定できる。

バイオセンサーには生体反応を検出して情報処理のしやすい電気信号などに変換する部分が必要であ

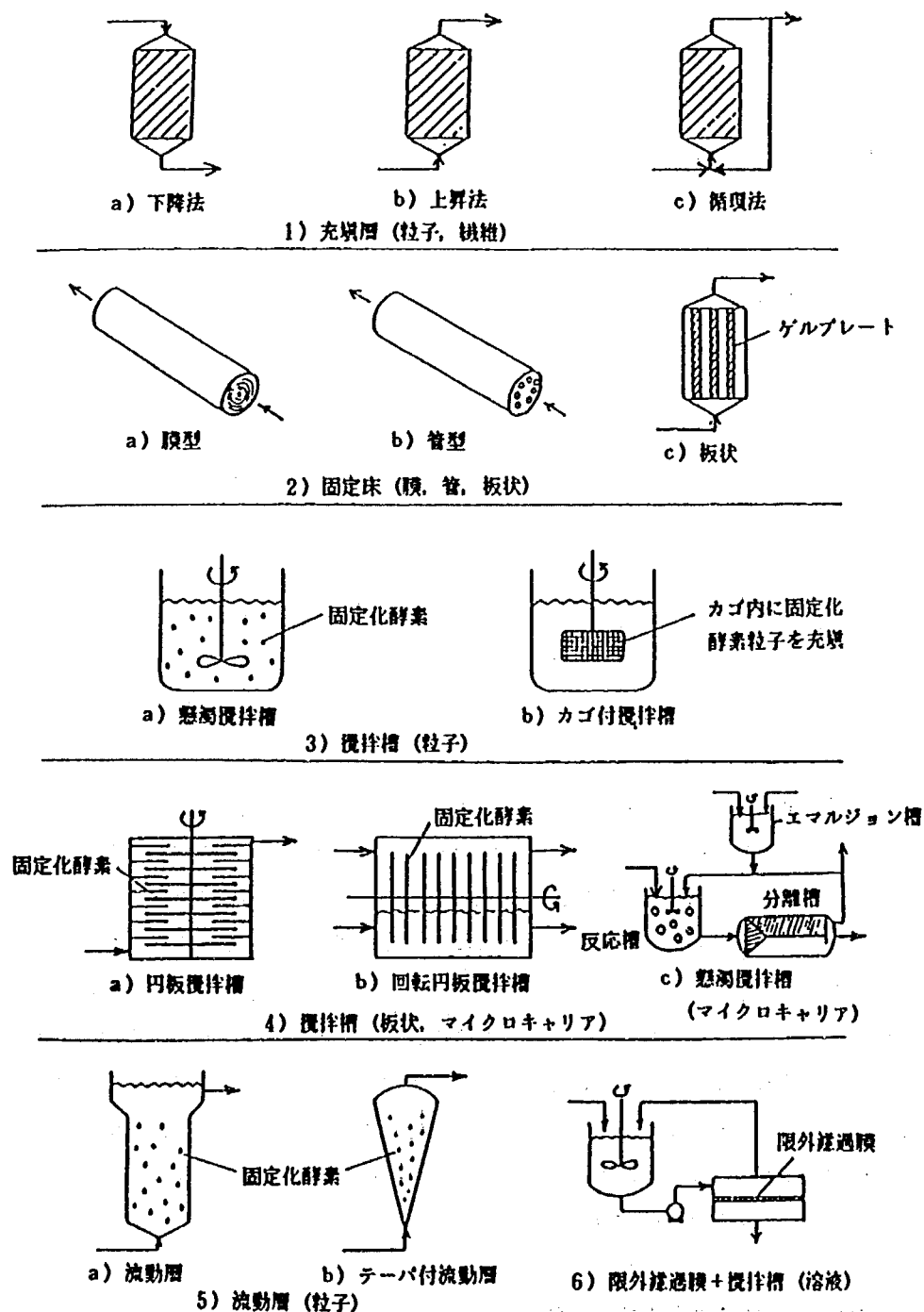


図4 バイオリアクターの形式 (カッコ内は固定化酵素の形態)

る。この部分をトランジューサーと呼ぶ。

どの生物触媒をどのトランジューサーと組み合わせるかは検体中に目的物質の他にどんな物質が混っ

ているか、どんな使い方をするかなどによって異なる。環境計測用としてBODセンサー等が試作されている。

#### 4. 下水処理技術を取巻く環境

現在、下水処理技術がおかれている環境をいくつかの項目に分けて俯瞰すれば、次の通りである。

##### 4.1 処理水の水質向上に対する要望

下水処理場からの放流水の水質については下水道法施行令で、処理程度の区分に応じて技術上の基準が定められており、水質汚濁防止法上の排水基準もこの値と同じになっている。しかし、近年は様々な社会情勢から、この基準だけでは満足のいかないケースが増えている。ひとつは数値自体により厳しさを求める動きであり、もうひとつは新しい項目を追加しようとする動きである。

前者については環境基準達成のため、上乘せして排水規制しようとするものであり、後者は湖沼等閉鎖性水域の富栄養化の原因物質であるリンや窒素を新たに規制しようとするものである。また河川についても、それが高度に利用される場合には、下流で上水道水源に利用する際にアンモニア性窒素と或種の有機物の存在が障害となることがあり、利水者側の要望としてそれらの濃度を低下して放流するよう要求されることがある。

##### 4.2 下水道事業における規模の矮小化

我国の下水道の普及率は昭和60年度末で36%であるが、これを都市の規模別にみると図5のように人口100万人以上の指定都市では80%、50～100万人都市で52%、50～30万人都市で42%、30～10万人都市で38%、10～5万人都市で24%、5万人以下の公共団体ではわずか5%となっており、規模による格差が大きい。都市と地方における生活水準の均一化に伴って下水道の整備に対する国民の要望は都市・地方に係わらず高まっており、今後、整備の重点は著るしく立遅れている地方小都市、町村に移行していくのは明瞭である。これに伴い市町村を単位とする下水道の規模はますます矮小化していくことが予想される。そして問題は、その事業を実施する小都市や町村の財政基盤が小さく、組織も比較的弱体な事である。また流域下水道についても今後は規模の小さい2種流域の比重が高まるものと思われる。この面でも矮小化が進む。

##### 4.3 既存処理施設の老朽化と能力不足

下水処理施設はある程度恒久的施設として築造されているものゝ、絶えず水と接触し、湿気や腐蝕性ガスに曝らされているため、老朽化が激しい。特に機械・電気系の設備についてはその傾向が強く、10年と持たないケースさえある。コンクリート構造物についても流入水質によっては劣化を来し、危険になることがある。

(60年度末)

| 総人口普及率  | (主な都市)   | (指定市)   | 仙台市<br>千葉市<br>堺市<br>岡山市<br>熊本市等 | 函館市<br>宇都宮市<br>岐阜市<br>姫路市<br>高松市等 | 盛岡市<br>鎌倉市<br>福井市<br>宝塚市<br>松江市等 | 能代市<br>銚子市<br>舞鶴市<br>芦屋市<br>日田市等 | 熱海市<br>池田町<br>潮来町<br>新治村<br>高野町等 | 計   |
|---------|----------|---------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----|
|         | 90       | 80%     |                                 |                                   |                                  |                                  |                                  |     |
|         | 80       |         |                                 |                                   |                                  |                                  |                                  |     |
|         | 70       |         | 52%                             | 42%                               | 38%                              |                                  | 全国 36%                           |     |
|         | 60       |         |                                 |                                   |                                  |                                  |                                  |     |
|         | 50       |         |                                 |                                   |                                  | 24%                              |                                  |     |
|         | 40       |         |                                 |                                   |                                  |                                  | 5%                               |     |
| 人口規模    | 30       |         |                                 |                                   |                                  |                                  |                                  | 計   |
|         | 20       |         |                                 |                                   |                                  |                                  |                                  |     |
|         | 10       |         |                                 |                                   |                                  |                                  |                                  |     |
|         | 人口規模     | 100万人以上 | 50～100万人                        | 30～50万人                           | 10～30万人                          | 5～10万人                           | 5万人未満                            |     |
|         | 総人口(万人)  | ←2,453→ | ←593→                           | ←1,446→                           | ←2,408→                          | ←1,544→                          | ←3,628→                          |     |
|         | 処理人口(万人) | 1,964   | 309                             | 610                               | 920                              | 364                              | 166                              |     |
|         | 総都市数     | 11      | 10                              | 38                                | 144                              | 227                              | 2,824                            |     |
| 供用開始都市数 | 実施都市数    | 11      | 10                              | 38                                | 141                              | 192                              | 572                              | 964 |
|         | 供用開始都市数  | 11      | 10                              | 37                                | 130                              | 146                              | 215                              | 549 |

- (注) 1. 総都市数3,254の内訳は、市652、町1,994、村608(東京都区部は市に含む。)  
2. 実施都市数は公共下水道と特定環境保全公共下水道の合計。

図5 日本の都市人口ランク別下水道実施状況

また、大都市では市街地の再開発で高層化したり、用途地域が変わって人口密度が高くなったり、使用水量が上るなどして、当初予測した水量を大巾に越えてしまう例が出て来ている。

こうした処理場では、既存施設を築造しなおしたり、増設して、能力の増を図らなければならない。

#### 4.4 汚泥処分地の逼迫

現在の下水処理は生物処理が主体で、下水中の固形物を取除いたあと溶解性の有機物を水と炭酸ガスと微生物の細胞に変え、細胞は再び分離して上澄水を処理水とするものである。分離した固形物と細胞は汚泥として取出されるが、一般に処理程度が高くなるほどその量は多くなる。

下水汚泥は有機物が多く、細菌、微生物が多くしかも水分が多いから低温でない限り、腐敗が進み、衛生的に障害があるし、悪臭も発生する。このため、取扱い上、安全性を持たせ、量を減らす必要が

あり、安定化処理が行われる。それでもなお、処理場から搬出される汚泥の量は多く、各処理場ではその搬出先の確保に窮しているのが現状である。

因みに、昭和59年度末、我国では3,900万人分の下水が処理されており、年間70億 $\text{m}^3$ に達しているが、これから発生する汚泥の量は濃縮汚泥(93%)換算で3,250万 $\text{m}^3$ となり、霞ヶ関ビル60杯分に相当する。安定化の程度は、処理場によってまちまちであるが、脱水ケーキとか焼却灰などの形で処理場から搬出される汚泥の量は年間230万tにも達している。

36%という普及率が高まるにつれ、処理水量は増加するから、現在の処理技術が変わらないかぎり、発生する汚泥の量はますます増えるのは必至である。これに対し、大都市は勿論地方都市でも、経済的に適切な運搬距離の範囲の中で処分地を求めることが今や殆んど不可能となっており、下水道管理者はますます、処分のための出費を迫まられている。

#### 4.5 高令化社会と人件費の高騰

日本人の平均寿命は生活水準の向上や医療体制の充実で年々延び、昭和60年には、男性が世界第1位の74.5才、女性が世界第2位の80.2才と世界に冠たる長寿国となっている。死因の第1位はガンであるが、この病気に対する治療法は医薬学会あげての課題、ターゲットとなっており、治療法が確立されれば更に平均寿命は延びることになる。

一方で、出生率は年々低下しているため、年齢別の人口構成比はトップヘビーとなって謂る高令化社会が出現しつつある。総理府等が行っている推定でも21世紀には完全に高令化が進み、これに伴う色々な社会問題の発生が予想されている。

それらの一つに労働人口比率の低下と賃金の高騰がある。つまり若年労働者が減少する一方で、老人福祉を支えるためのコストが増加し、それを若年層が負担しなければならないからである。このため、相対的に優秀な技術者や若年労働者の確保は一層むずかしくなり、労働賃金、人件費はますます高騰することになる。

#### 4.6 資源・エネルギーの逼迫

OPEC加盟国間の乱れや非OPEC産油国の思惑もあって、昨年後半から原油がだぶつき気味で石油の値段が下がり、かつての石油危機が今や夢であったような観があるが、石油は有限のエネルギー資源であり、再び石油危機が訪れる事は必至だと言われている。このため、先進各国は着々と代替エネルギーの確保に努めており、原子力の実用化のほか、太陽光熱や風力、波力、温度差、地熱、水素、更には核融合の研究開発に余念がない。

1980年現在44億人といわれる世界の人口は、発展途上国を中心に急ピッチに増加し西暦2,000年には61億人に達するという予測もある。今、エチオピア、パングラディッシュ、ケニアなど各地で生じている食糧饑饉は今後他の国にも波及しかねないのである。そしてこれは単に食糧難という問題に留

まらず、資源やエネルギーの潤渇として先進諸国をも巻き込まずにはおかない問題なのである。

米以外のほとんどの食糧を輸入に頼り、輸入した資源に付加価値を加えて貿易の利益で立国しているわが国では極めて深刻な問題と云えよう。

## 5. バイオテクノロジー導入の必要性

以上のような背景を考えると、今後の下水道施設、特に処理場については次のような視点に立って、その築造を行わなければならない。このためには、新しいバイオテクノロジーを積極的に導入し、改良を図る必要があるのである。

### 5.1 処理効率の向上

放流水質の向上に対する社会の要請はBOD、SS、大腸菌といった既往水質指標については濃度数値を下げる方向で、また富栄養化の防止とか利水上の障害排除の点では、例えば窒素とカリウム、あるいはアンモニア性窒素などの新しい指標を加える方向で下水道管理者に迫っている。

こうした要請に応ずるためには、従来の処理手法を越えた能力を処理場に持たせることが必要であり、また、限られた空間の中にそれらを納めるため処理効率が高いものでなければならない。

### 5.2 省エネルギーと創エネルギー

現状の活性汚泥法による下水処理では下水1 $\text{m}^3$ について0.3～0.4kwhの電力を消費する。重油に換算して下水1,000 $\text{m}^3$ 当り75～100 $\text{t}$ に相当するエネルギーである。

今後のエネルギーの逼迫や、それに伴うエネルギーコストの高騰に対処し、処理コストを低下するためには、下水処理における消費エネルギーを節減し（省エネルギー）、回収するエネルギー（創エネルギー）を増加させる必要がある。

少ないエネルギーで効率的に有機物等を分解する細菌・微生物とリアクターを開発するとともに、水素、メタンなど可燃性ガスを効率よく発生する細菌とリアクターを開発する必要がある。

### 5.3 施設のコンパクト化

大都市はじめ都市域では地価が年々高騰しており、権利関係も複雑で処理場設置のために広範な用地を確保することが難しい。既存の処理場の能力が不足しても用地を拡張することは不可能である。このため、今後都市域で処理場を新設する場合や改造を行う場合には小さな用地の中に施設を納めることが必要である。施設の立体化によって用地を小さくすることはできるが、揚水のためのエネルギーを要し経済的ではない、処理に要する時間を短縮してコンパクト化を図る必要があり、効率の良い細菌、微生物やリアクターの開発が必要である。

#### 5.4 維持管理の容易化

各種の統計によれば、各都市の処理場における維持管理費のうち人件費が占める割合は約50%で、エネルギー費を上廻っている。人件費の高騰とともに今後このシェアは高まってくることが予想される。このため処理場の運転には人手のかゝらない省力型のものが必要となる。このことは今後、下水道事業の中心となる地方小都市や町村について特に重要である。何故ならばこれらの自治体は財政規模が小さいため、処理場の維持管理費の一部を一般会計で肩代り補填したり、立替えたりすることが不可能だし、専門技術者や技能者を確保することも容易でないからである。

従って今後設置される処理場については維持管理に際し高度の技術者や技能者が要らないものでなければならない。小規模処理場については汚泥の始末がクリティカルパスとなるから、汚泥発生量の少ないものが必要である。

#### 5.5 資源の有効利用

下水及びこれを処理して出てくる汚泥の中には有益な成分が多量に含まれている。特に、下水汚泥はその中に含まれる窒素やリンが肥効成分として知られ古くから農作物に施用されて効果をあげて来た。

下水汚泥中には有機成分として、炭水化物、たんぱく質、脂質のほかビタミンなど希少成分も含まれ、無機物としてはシリカ、カルシウム、亜鉛などが含まれる。いずれにしても資源としての価値をもつ物質である。これらを有効に利用することは今後一層重要な課題となる。

例えば炭水化物は大部分が難分解性の繊維質であるが、微生物の力によって安価に分解できれば糖になり、更には加水分解してアルコールにさえ出来る。たんぱく質もアミノ酸まで分解し、それを材料として蛋白合成細菌を作用させ、新しい蛋白を合成することも可能であろう。更にもっと付加価値の高い薬剤を合成したり抽出することも出来よう。

無機質は、高温にしてガラス物質にかえ、建設資材として利用できる。

### 6. バイオテクノロジー導入の手順

下水処理技術の中に新しいバイオテクノロジーを導入する目的は、これまでの下水処理システムにはない優れた能力を持つ新下水処理システムを構築するところにある。

新しいシステムは当然の事ながら唯一つということではなく、それぞれに特殊性能をもつ数多くのシステムとなる可能性が大きい。しかし限られた開発の期間内では完成するシステムは限定され、一つで終ることもありうる。

それはとも角として、バイオテクノロジーの導入はおおよ次の様なステップで行われ、新しい下水処理システムが完成することとなろう。

- (1) 特殊機能をもつ細菌・微生物種の探索（採取、分離、培養）

- (2) 探索して得た細菌微生物の代謝特性の把握
- (3) 当該細菌・微生物の大量培養技術の確立
- (4) 当該細菌・微生物の固定化技術の確立
- (5) リアクターの組立て
- (6) リアクター周辺技術の開発
  - (i) バイオセンサー
  - (ii) 固液分離のための物理化学処理
- (7) 新下水処理システムの組立て
- (8) 実用化へのアプローチ

なお、(1)、(2)の段階で、遺伝子操作や細胞融合などの新しいバイオテクノロジーを使って新しい生物種を開発し、(3)以降のステップに載せる方法もとられる。バイオテクノロジー導入のポイントはむしろこの点にあるといて良い。

## 7. バイオフィォーカスWTプロジェクト

以上のような背景や必要性、開発プログラムに基づいて、現在、「バイオテクノロジーを利用した新排水処理システム — バイオフィォーカスWT — 」プロジェクトが推進されている。

### 7.1 研究開発計画

この研究開発プロジェクトの研究計画は次のような項目で構成されており当面、昭和60年度から昭和64年度までの5ケ年間で実施している。

- (1) 酵素・微生物の固定化技術の開発
  - a. 固定化方法に関する研究
  - b. バイオリアクターに関する研究
  - c. バイオセンサーに関する研究
- (2) 酵素・微生物バンクの開発
  - a. 微生物の分離及び分類に関する研究
  - b. 酵素の評価に関する研究
  - c. 酵素・微生物の保存及び大量培養に関する研究
- (3) 遺伝子操作による処理生物種の開発
  - a. 遺伝子操作を行った生物種の排水処理への適用に関する研究
  - b. 遺伝子組換え等による処理生物種の開発
  - c. 細胞融合による処理生物種の開発
- (4) 物理化学処理との組合せ技術の開発

(5) 実際の排水システムへの新技術の適用に関する研究

## 7.2 研究体制

バイオフィォークスWTの研究開発体制をまとめて示すと図6のようになる。この中で建築関係の機関、機構は新浄化槽の開発に係るものである。下水処理に関しては土木研究所、日本下水道事業団、国土開発センター、土木研究センターが関与している。このほかにバイオフィォークス関連の共同研究に多数の民間企業が参加している。

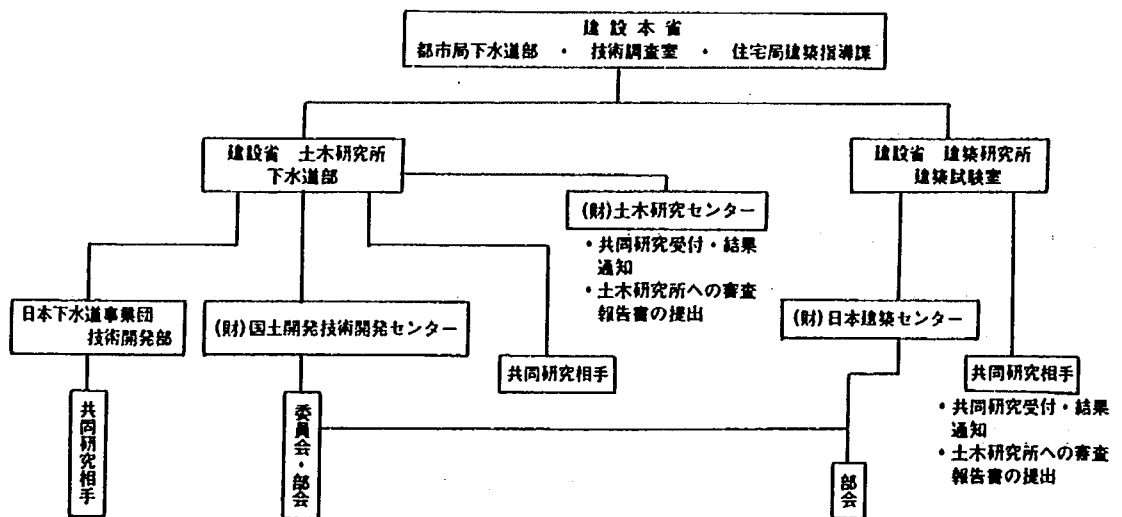


図6 バイオテクノロジーを活用した新廃水処理システムの開発関係機関構成図

## 7.3 共同研究

昭和60年度建設省は附属の試験研究機関が他の機関と共同研究する際に適用していた「共同研究実施規程」を変更し、それまで門戸を閉ざしていた民間企業を相手とする共同研究も行えるような道を開いた。

この共同研究のやり方には、①国から民間等に対し呼びかけて共同研究する場合と②民間等からの提案に基づき研究所等の長が必要と認めたとき共同研究する場合との2つがある。

バイオフィォークスWTプロジェクトでも、この制度を活用することとなり、国提案の研究課題を示して相手企業を募集・選定し共同研究を行っている。昭和60年度は8テーマについて22社、昭和61年度は2テーマについて7社と協定を締結し、共同研究を進めている。

表1及び表2に共同研究相手企業をまとめて示す。

表1 昭和60年度の土木研究所との共同研究相手企業と研究内容

| 分 類               | 共同研究の相手方     | 共同研究の内容                              | 分 類                | 共同研究の相手方     | 共同研究の内容                           |
|-------------------|--------------|--------------------------------------|--------------------|--------------|-----------------------------------|
| 結合法固定化担体の開発       | 石川島播磨重工業(株)  | 嫌気性菌群のための結合法による多孔質固定化担体の開発           | 固定床型好気性バイオリアクターの開発 | 千代田化工建設(株)   | マトリックス型担体を用いた好気性バイオリアクターの開発       |
|                   | 三機工業(株)      | 好気性微生物群のための結合法による高分子ゲル固定化担体の開発       |                    | (株)西原環境衛生研究所 | 粒状材固定床型好気性バイオリアクターの開発             |
|                   | 新日本製鉄(株)     | 活性汚泥のための結合法による無機系固定化担体の開発            |                    | (株)小松製作所     | 複合材固定床型好気性バイオリアクターの開発             |
|                   | (株)明電舎       | メタン生成細菌のための結合法によるセラミック系固定化担体の開発      |                    | 新日本製鉄(株)     | 無機系固定床型好気性バイオリアクターの開発             |
|                   | 三井建設(株)      | 活性汚泥のための結合法による機能性固定化担体の開発            |                    | (株)東芝        | 膜固定床型好気性バイオリアクターの開発               |
|                   | 千代田化工建設(株)   | 好気性微生物群のための結合法によるマトリックス型固定化担体の開発     |                    | (株)明電舎       | セラミック系固定床型嫌気性バイオリアクターの開発          |
|                   | (株)神戸製鋼所     | 硝化・脱窒菌群のための結合法による無機系固定化担体の開発         |                    | 鹿島建設(株)      | モールド担体を用いた固定床型嫌気性バイオリアクターの開発      |
|                   | 共和化工(株)      | 硝化・脱窒菌群のための結合法による多孔質固定化担体の開発         |                    | 富士電機(株)      | 付着担体を用いた固定床型嫌気性バイオリアクターの開発        |
|                   | 日本碍子(株)      | 汚泥処理メタン菌群のための結合法による多孔性セラミックス固定化担体の開発 |                    | 三機工業(株)      | 粒状担体移動床型好気性バイオリアクターの開発            |
|                   | 鹿島建設(株)      | 嫌気性微生物群のための結合法によるモールド状固定化担体の開発       |                    | 三井建設(株)      | 機能性固定化担体を用いた流動床型好気性バイオリアクターの開発    |
|                   | 月島機械(株)      | メタン菌群・酸生成菌群のための結合法固定化担体の開発           |                    | 日本鋼管(株)      | 樹脂系流動床型好気性バイオリアクターの開発             |
|                   |              |                                      |                    | (株)竹中工務店     | ポリアクリルアミドゲルを用いた流動床型好気性バイオリアクターの開発 |
| 包括法固定化担体の開発       | 浅野工事(株)      | 活性汚泥のための包括法による固定化担体の開発               | 流動床型好気性バイオリアクターの開発 | 存原インフィコ(株)   | 上向流式流動床型好気性バイオリアクターの開発            |
|                   | 日本鋼管(株)      | 活性汚泥のための包括法による樹脂系固定化担体の開発            |                    | 石川島播磨重工業(株)  | 結合法担体を用いた流動床型嫌気性バイオリアクターの開発       |
|                   | (株)竹中工務店     | 包括法によるポリアクリルアミドゲル固定化担体の開発            |                    | 栗田工業(株)      | 多孔質材を用いた流動床型嫌気性バイオリアクターの開発        |
|                   | (株)小松製作所     | 活性汚泥のための包括法による複合材固定化担体の開発            |                    | 共和化工(株)      | 多孔質固定化担体を用いた窒素・リン除去用バイオリアクターの開発   |
|                   | 栗田工業(株)      | 嫌気性細菌群の担体表面への付着増殖制御方法の開発             |                    | (株)神戸製鋼所     | 無機系固定化担体を用いた窒素・リン除去用バイオリアクターの開発   |
|                   | (株)間組        | 好気性微生物群のための包括法による固定化担体の開発            |                    | 日本碍子(株)      | セラミックス固定化担体を用いた汚泥処理バイオリアクターの開発    |
| バイオセンサーの開発        | 富士電機(株)      | 水質監視用バイオセンサーの開発                      | 汚泥処理用バイオリアクターの開発   | 月島機械(株)      | 可溶化処理を用いた汚泥処理バイオリアクターの開発          |
|                   | (株)東芝        | プロセス監視制御用バイオセンサーの開発                  |                    | フジタ工業(株)     | 可溶化微生物を活用した汚泥処理バイオリアクターの開発        |
| 有用微生物の分離・培養に関する研究 | 存原インフィコ(株)   | 有機塩素化合物分解菌の探索                        |                    |              |                                   |
|                   | (株)西原環境衛生研究所 | 天然系難分解物質分解菌の探索                       |                    |              |                                   |
|                   | フジタ工業(株)     | 固形性有機物の可溶化に関する微生物群の培養に関する研究          |                    |              |                                   |

表2 日本下水道事業団の共同研究の概要

| 共同研究の課題名            | 研 究 項 目                                                                                            | 共同研究の相手方    |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 窒素除去バイオリアクターの開発     | 窒素除去に適した微生物の固定化技術及びそれを用いた窒素除去技術を開発する。<br>(1) 微生物の固定化技術の開発調査<br>(2) 窒素除去技術（バイオリアクター等）の開発調査          | 日立プラント建設(株) |
| 高濃度有機物除去バイオリアクターの開発 | 高濃度有機物除去に適した微生物の固定化技術及びそれを用いた有機物除去技術を開発する。<br>(1) 微生物の固定化技術の開発調査<br>(2) 高濃度有機物除去技術（バイオリアクター等）の開発調査 | 久保田鉄工(株)    |

## 8. バイオフィォーカスWTの研究開発目標

バイオフィォーカスWTプロジェクトが設定している研究開発の目標を項目別にまとめると次のとおりである。

### 8.1 酵素・微生物バンク関係

硝化菌、脱窒菌、脱リン菌、重金属耐性菌、固形物可溶化細菌、光合成細菌、天然系難分解物質分解菌、有機塩素化合物分解菌、硫酸還元菌、高活性微生物、糸状微生物、凝集微生物、難分解性有機物分解菌、藻類、脱色菌、低温メタン菌、N・P蓄積微生物、硫黄酸化細菌などについて次の様な事項を検討する。

#### (i) 微生物の分離及び分類

処理水質の向上や有価資源を回収するためには有能な微生物を分離・分類し保存する必要がある。

#### (ii) 酵素の評価

酵素は自然条件下で反応を促す作用があるから微生物ではなく酵素を直接排水処理等に用いることができれば、より短時間に復作用的反応を伴うことなく排水処理や有価物の回収が行える。

#### (iii) 酵素・微生物の保存と大量培養

高濃度微生物による排水処理施設のコンパクト化、直接酵素利用法、有価物の回収などを支援するためにはそれらに関連している酵素・微生物の保存法と大量培養の技術を確立しておく必要がある。

### 8.2 遺伝子操作による処理生物種の開発

#### (i) 遺伝子組換え等による処理生物種の開発

排水処理に適した微生物、有価物を産出する微生物は自然条件下では適応性が低く大量の自然増殖は期待できないので、有用微生物の遺伝子を増殖力の強い微生物に組み込み新しい生物を作る。

#### (ii) 新微生物種の排水処理への適用性の検討

遺伝子組換え、細胞融合などによって造られた微生物種は、排水処理のような混合培養系では容易に淘汰されてしまうので新微生物種の至適環境条件を見出す必要がある。逆に微生物種が既存の微生物生態に与える影響も併せて検討する。

### 8.3 固定化法

酵素・微生物の固定化方法は、多種類にわたり評価基準を定め難いので、当面次のような評価の項目に沿って各々の開発目標を定める。

- ①微生物の固定化密度 ②固定化微生物の安定性 ③固定化材料、担体の耐久性 ④基質の透過性、  
⑤大量生産性、供給コスト ⑥処理処分の容易性

### 8.4 都市下水用バイオリアクター

①水処理で消費されるエネルギーの低減 ②水処理施設のコンパクト化 ③処理水質の高度化を図るため、開発するリアクターを6種類に分類し、表3のような開発目標を設定する。

表3 都市下水用バイオリアクターの開発目標

| 評価項目等                        |                         | バイオリアクターの種類                                                                     | 有機物除去用バイオリアクター |         |                           | 高度処理用バイオリアクター                    |                                | NP同時除去用<br>バイオリアクター |
|------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------|
|                              |                         | 省エネルギー型<br>バイオリアクター                                                             | 省施設面積型バイオリアクター |         | N除去用バイオリアクター              |                                  |                                |                     |
|                              |                         |                                                                                 | タイプⅠ           | タイプⅡ    | タイプⅠ                      | タイプⅡ                             |                                |                     |
| 処理水質                         | BOD <sub>5</sub> (mg/ℓ) | 5～10                                                                            | 5～10           | 5以下     | △                         | ○                                | 5                              |                     |
|                              | TN (mg/ℓ)               | △                                                                               | △              | ○       | (NH <sub>4</sub> -N 10以下) | 2以下                              | 10                             |                     |
|                              | TP (mg/ℓ)               | △                                                                               | △              | ○       | △                         | ○                                | 0.5                            |                     |
| 施設面積                         |                         | △                                                                               | 1/2            | 1/10    | 1/2                       | 1/10                             | ◎                              |                     |
| 処理エネルギー<br>(kwh/㎡)           |                         | 0.1～0.2                                                                         | 0.2～0.4        | 0.4～0.8 | △                         | ○                                | △                              |                     |
| 汚泥発生量<br>(余汚泥)               |                         | ◎                                                                               | ○              | ◎       | △                         | △                                | △                              |                     |
| 維持管理                         |                         | ○                                                                               | ○              | ○       | ○                         | ○                                | ○                              |                     |
| 資源回収                         |                         | △                                                                               | △              | ◎       | △                         | △                                | △                              |                     |
| 比較対象とする<br>現行のプロセス<br>及び処理規模 |                         | 標準活性汚泥法<br>(5,000～10,000 ㎡/日)                                                   |                |         | 循環式硝化脱窒法                  |                                  | 循環式硝化脱窒法<br>+<br>凝集剤添加法        |                     |
| 想定している<br>開発プロセス             |                         | 嫌気性処理<br>固定化好気性処理                                                               | 固定化好気性処理       | 膜分離法    | 固定化硝化菌<br>を用いたプロセス        | 固定化硝化菌・脱<br>窒菌を組み合わせて<br>用いたプロセス | 前段階固液分離<br>を組み合わせた<br>固定化微生物処理 |                     |
| 施設機関                         |                         | 土木研究所                                                                           |                |         | 日本下水道事業団                  |                                  | 土木研究所                          |                     |
| 備考                           |                         | (凡例) ◎…現行のプロセスと比較して50%程度改善する<br>○…現行のプロセスと比較して25%程度改善する<br>△…現行のプロセスと比較して同程度である |                |         |                           |                                  |                                |                     |

### 8.5 汚泥処理用バイオリアクター

汚泥処理におけるエネルギーの消費と生産とに着目して、開発するリアクターを2種類に分け、表

4のような開発目標を設定する。

表4 汚泥処理用バイオリアクターの開発目標

|                                                        | 比較対象プロセス<br>(中温嫌気性消化)                                  | 開発バイオリアクター            |                                       |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
|                                                        |                                                        | 省エネルギー型               | 創エネルギー型<br>(汚泥減量型)                    |
| 消 化 率 (VSS%)                                           | 混合汚泥 40~50%<br>初沈汚泥 50~60%                             | △                     | 60~75%<br>75~85%                      |
| 分 離 後 水 質                                              | ——                                                     | △                     | △                                     |
| 消 化 日 数                                                | 設計基準 (実施設) 20日                                         | 10日以下                 | △                                     |
| 維 持 管 理 費                                              | (人 件 費)<br>(補修・消耗品)                                    | △                     | △                                     |
| 処 理 エ ネ ル ギ ー                                          | (電気エネルギー)<br>(熱エネルギー)                                  | ○                     | ○                                     |
| 資 源 回 収<br>(CH <sub>4</sub> 量 N m <sup>3</sup> /VS kg) | 混合汚泥 0.3<br>初沈汚泥 0.35                                  | ○                     | 0.45<br>0.50                          |
| 想定している開発プロセス                                           | ——                                                     | 嫌気性消化に関与する<br>細菌群の固定化 | 固形物可溶化微生物を用<br>いて、固形物の可溶化を<br>進めるプロセス |
| 実 施 機 関                                                | ——                                                     | 土木研究所・日本下水道事業団        |                                       |
| 備 考                                                    | (凡 例)<br>○…現行プロセスと比較して25%程度改善する<br>△…現行プロセスと比較して同程度である |                       |                                       |

#### 8.6 バイオセンサー

環境計測と排水処理のプロセス制御の向上を図るため、①プロセス制御用(有機酸センサー) ②水質監視用(アンモニアセンサー) ③ラボ用維持管理用(BODセンサー)について、コンパクト化、寿命1ヶ月、連続測定可を目標に開発を行う。

#### 8.7 最終的に構築されるシステムのプロトタイプ

汚泥処理無用型(小規模向け)、エネルギー自立型(中大規模向け)、光利用型、有価資源回収型の4つを想定し、実用化を図る。

##### (1) 汚泥処理無用型(小規模施設に適用)

前述のように、今後、下水道施設は小規模化が進むものと思われ、小規模施設に対してどのような下水処理システムを適用するかが重要な課題となっている。例えば、下水処理においてはほとんど汚泥の発生しないようなプロセスが開発されれば、日常の汚泥処理が無用となり、小規模施設への実用化の可能性は高いものと考えられる。(図6)

このシステムを完成させるためには、①可溶性酵素又は可溶性微生物 ②有機物除去用バイオリア

クター ③N 除去用バイオリアクターが必要である。

(2) エネルギー自立型（中大規模に適用）

我国の下水処理場で使用されている電力量は年間約29億kwh（60年）におよび、今後の普及率の向上に伴い、その使用量も増大してゆくものと見込まれる。このため、下水及び下水汚泥に含まれる有機物等からエネルギーを取出し、エネルギー的に自立できる処理システムの開発が望まれている。（図7）

このシステムを完成させるためには、①バイオポリマー、②固液分離装置、③可溶化酵素又は可溶化微生物、④嫌気性発酵用バイオリアクター、⑤有機物除去用バイオリアクター、⑥有機酸用バイオセンサーが必要である。

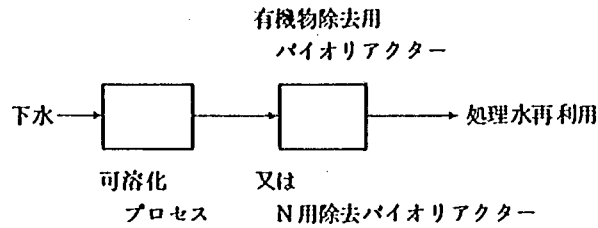


図6 汚泥処理無用型システム  
全体システム（例）

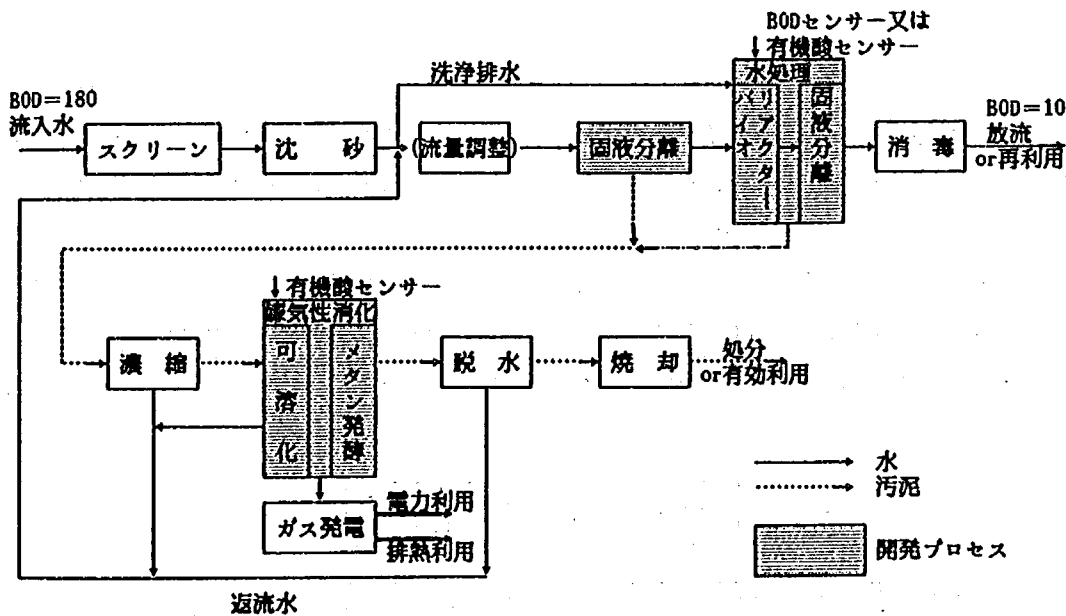


図7 エネルギー自立型システム

(3) 光利用型

藻類は光線下で、水中のN、Pを利用して増殖し、結果として水中のN、Pを除去する。この原理を応用し、バイオリアクター中で藻類の高速増殖を促し、N、Pを効率良く除去するものである。

（図8）

このシステムを完成させるためには、①固液分離装置、②有機物除去用バイオリアクター、③汚泥

処理用バイオリアクター、④N・P除去用バイオリアクター（藻類培養リアクター）、⑤ $\text{NH}_4\text{-N}$ 用バイオセンサー、⑥有機酸用バイオセンサーが必要である。

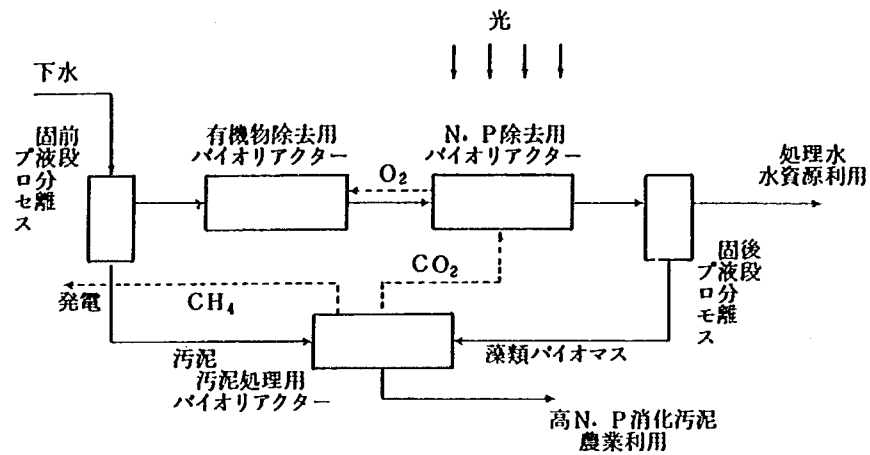


図8 光利用型システム 全体システム（例）

#### (4) 有価資源回収型

下水に含まれる物質は水質環境保全の立場から見れば有害な物質であっても、資源利用の立場から見れば有用なものが多い。このため、水処理プロセスでありながら副次的に有価資源回収が可能なシステムの開発が望まれる。（図9）

このシステムを完成させるためには、①固液分離装置、②有機酸発酵リアクター、③アンモニア回収プロセス、④有機物除去用バイオリアクター、⑤有用成分回収プロセス、⑥有機酸用バイオセンサー、⑦アルコールセンサー、⑧ $\text{NH}_4\text{-N}$ 用バイオセンサーが必要である。

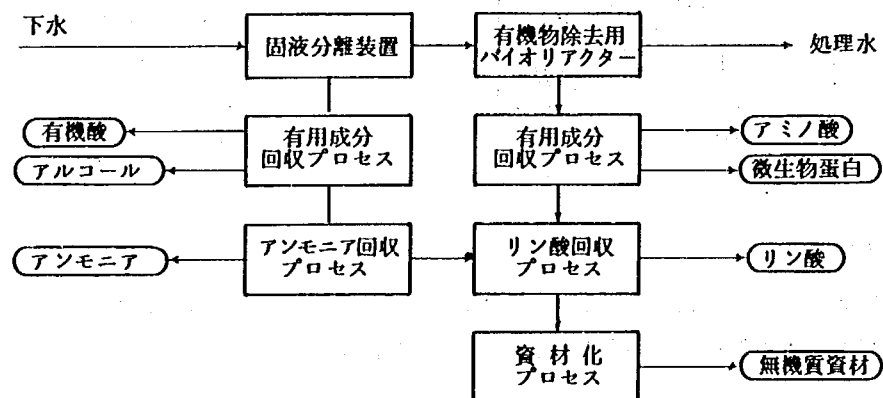


図9 有価資源回収型システム 全体システム（例）

## 9. バイオフィォーカス WT 研究情況

バイオフィォーカスWTは昭和60年度にスタートしたが初年度はプロジェクトの発進と研究計画ディテールの検討に主力を置いたため、実験や試作、試料採取などは少く、実質上の研究開発業務は昭和61年度から本格化したといつて良い。従つてまだ特筆すべき成果は出ていないが、ここでは土木研究所において直轄で実施している研究の内容について概述しておくことにする。

### 9.1 要素技術に関するもの

#### 9.1.1 汚泥の可溶化 —— 酵素添加による可溶化実験 ——

この研究は、下水汚泥中の固形物を可溶化する細菌の探索に先立って既に市販されている酵素を汚泥固形物に添加する実験を行い、汚泥可溶化に必要な酵素を明らかにしようとして行つてゐるものである。

研究は、対象を余剰汚泥と初沈汚泥の2つに分けて検討している。

これまでの実験によると、余剰汚泥はリゾチーム（3種の混合酵素）によつては大きく可溶化されなかったが、その理由として、(i)活性汚泥中の細菌の細胞壁を溶かすリゾチームが別にある、(ii)活性汚泥細菌外に存在する高分子状物質がリゾチームのアタックを妨げている、ことが考えられる。(ii)についてはアルカリを作用させるなどして高分子物質の破壊を試みる予定である。

初沈汚泥については成分調査を行った所、炭水化物はその大部分がセルローズであり、セルラーゼによつて分解されることが確認されている。今年度は蛋白質の分解酵素の効果について検討する。

#### 9.1.2 光合成細菌

光合成細菌はBODが高い有機性排水を基質として増殖し、排水を浄化する能力を持っている。またその乾燥菌体は良質の肥料、飼料として利用でき、培養条件次第では水素ガスを生成する能力のあることが知られている。

この研究は、汚泥処理系の有機物濃厚排水の効率的処理や可溶化・減量化に光合成細菌を応用する方法を検討するものである。

研究では、汚泥処理系の各種排水と可溶化汚泥を基質とし、光合成細菌を培養して、(i)増殖特性、(ii)代謝特性と有機物除去特性、(iii)菌体への重金属濃縮特性について、検討している。

実験では光合成細菌として紅色非硫黄細菌、基質として汚泥濃縮分離液、消化脱離液、汚泥熱処理分離液（可溶化汚泥）を用い、500～2,000ルクスの光を照射してピーカーによる振盪培養が行われている。

### 9.1.3 硫黄酸化細菌

鉱石から金属を分離する方法の一つに微生物の発する酸により抽出する方法があり、バクテリアリーチング法という。下水汚泥には流水中に含まれる重金属類が濃縮され、有効利用に際して阻害要因となることがあるので、これを除去し、資源として利用する道を開くことが必要である。その一法としてバクテリアリーチングが考えられている。

この研究では、バクテリアリーチング法に良く用いられる硫黄酸化細菌と鉄酸化細菌を対象に、下水汚泥からの重金属リーチングに適用する条件を明らかにすることとしている。

第一段階として、これらの細菌が下水汚泥中で増殖する条件を明らかにするため、汚泥種及び初期PH、硫黄等の条件を変化させ細菌の増殖を確認する実験を行っている。汚泥種は、余剰、初沈、混合、消化の各種汚泥で、これらを120℃で加熱処理したものも対象としている。

第2段階としては、最適条件下で実汚泥からのリーチング実験を行い溶出金属の定量を行う予定である。

### 9.1.4 糸状性細菌

活性汚泥中によく見られる糸状性細菌は、汚泥中で優占種になると、汚泥の沈降性が悪化し、バルキングと呼ばれる固液分離障害を起す。ただしこの場合の上澄水は微細固形物が含まれていないため、極めて清澄である。活性汚泥中で糸状菌が優占種となる条件については研究が進んでおり、高負荷低溶存酵素条件下で増殖するものも知られている。従って糸状菌を安定的に大量培養すればリアクターの省スペース、省エネルギー化が図れる。

この研究では高負荷低溶存酵素条件下でリアクターを運転し、発生する糸状菌を分離して安定・大量培養可能な条件を明らかにすることとしている。

実験では、曝気部と沈殿部からなるユニットを多段に連続させたリアクタを用い、溶存酸素濃度、汚泥滞留時間を変化させて各ユニット内で多様な細菌を発生させ、それらの中から有効細菌を分離、分類し増殖特性を明らかにすることとしている。

### 9.1.5 低温細菌

この研究では、低温で活性の高い細菌に着目し、その基本的な代謝特性、特殊機能の検索を行い、下水処理への応用を図る。

現在、冬季に北海道の某処理場より採取、分離、培養した50種余りの細菌を純粋培養し、温度、PH、基質の条件を変えて、比増殖速度を測定している。この結果、5℃の低温下でも2時間で培養する能力をもつ細菌などが見出されている。

### 9.1.6 プラスミドの伝達と安定性

下水や汚泥の処理に用いられる微生物に遺伝子操作を行おうとする場合、規制や技術レベルの関係から、当面、接合性プラスミドの自然組換えおよび接合伝達による遺伝子の伝達の方法を用いることになる。このため、下水処理や汚泥処理のような環境条件下でプラスミドの接合伝達がどの程度起り得るものなのかを、伝達後の安定性をも含めて把握しておく必要がある。また、接合・安定化を促進する条件や阻害する条件についても検討しておく必要がある。

この研究では、9.1.5で分離・純粋培養された50余種の細菌についてプラスミドを分離し、その分子量を測定することにより、接合性と思われる大型プラスミドを保有する菌を選択し、活性汚泥中で接合の可能性を検討することとしている。薬剤耐性菌についても同様の検討を行う。

## 9.2 応用技術に関するもの

### 9.2.1 固定化担体の性能と固定化微生物の高活性化

酵素・微生物を固定化する担体については、多種多様なものが提案されており、一定の尺度で性能を評価する必要がある。

この研究では担体の材質面に関し、処理性、耐久性を費用面を勘案して評価し、担体の形状面に関しては、細菌を高密度に集積させるために必要な形状を流水特性との関係において調査している。また固定化微生物の活性について、基質濃度、溶存酸素、攪拌強度などの因子のうち何が律速因子となっているか検討している。

実験は、材質に関するものと形状に関するものとに分け、前者のうち結合法では材質毎の微生物付着と活性度を調べ、包括法では固定化微生物の活性を担体材質毎に長期間の連続運転により調べている。

後者については、固定床型嫌気性処理の担体を対象にして、合成下水と実下水を用いて、流水特性や処理性を追求している。また、基質濃度、攪拌強度を変化させ、固定化微生物の活性の律速条件を調べている。

### 9.2.2 バイオリアクター

#### (1) 窒素及び有機物除去バイオリアクター

この研究では、窒素除去用として包括固定化法、高濃度有機物除去用として結合法を選定し、菌体を固定するのに適した材料と方法を検討すること、および、固定化菌体を用いたリアクターの実用性を評価し、設計・維持管理の指針を作成することに目的を置いている。

窒素除去に関しては、菌種に応じた最適固定化材料を選定し、フィールド実験によってリアクター形状、基質との接触方法、負荷条件等を調べ実用化の可能性を探っている。

高濃度有機物除去に関しては、昭和60年度に選定した結合法担体の特性を調べ、馴致方法、固定化

方法について検討している。またパイロット規模のリアクター実験により、リアクター形状、運転制御方法、汚泥発生量について検討することとしている。

実験の結果これまでに得られた成果は次の通りである。

まず窒素除去に関しては包括担体としてメラミン系、エポキシル系樹脂で実験した所、①固定化した時の微生物の活性は未反応材料の影響を受け、使用材料の毒性が少ないほど、固定化時間が短いほど高くなる。②固定化菌体の活性は、包括材料の物性により影響される。③担体粒径には材料の物性に関連した最適な径がある。ことが判った。

次に、高濃度有機物に関しては、多孔質担体を上向流型の嫌気性3床で汚泥熱処理分離液を処理した所、ある条件下でBOD除去率90%、COD除去率76%の成績を得たが、担体の物性の違いによる処理性能の差は現われないことが判った。

なお、この研究は、日本下水道事業団に委託して実施しているものである。

#### (2) 嫌気性リアクター

下水中には硫酸イオンがあるため、嫌気性処理すると硫化水素が発生し、腐食や臭気の原因となる。また処理水を好気化する時に余計な酸素を必要とし省エネルギーに反する。この研究では硫化水素除去の方法を検討することとしている。

研究では硫黄成分の挙動を調べるとともに、①空気による酸化、②硫黄酸化菌による好気性生物酸化、③光代謝細菌による嫌気性生物酸化の方法を検討している。

#### (3) 好気性リアクターの改良

好気性リアクターの酸素供給量を効率的に多くするため、多段式のリアクターと沈殿方法の検討を行っている。

#### (4) 低温メタン醗酵

30℃以下の低温域で活動するメタン菌を用いて汚泥の嫌気性消化を行う方法を実用化する研究である。加温用エネルギーの削減が図れる。

実汚泥と室内用小型実験消化槽で、20℃域、10℃域で消化日数100～150日の実験を行っている。

#### (5) メタン菌の大きさ

嫌気性消化の効率向上の一手段として細菌群を固定化して高密度化を図る方法が考えられている。この場合担体の選定にあたって、①細菌の大きさ、②担体を細菌の付着力や親和性、③固定化密度、④細菌の活性度が重要な条件となる。

この研究では、細菌を粒径別に分けて実験に供し、ガス発生特性、ガス発生速度、などを調査している。

#### (6) 汚泥の成分

この研究では汚泥資源の有効利用を図るため成分を詳細に調べている。

### 9.2.3 バイオセンサー

水や汚泥の性状を把握するため、物理化学量を用いた多くのセンサーが開発されているが、水や汚泥の本質に近づく物質（項目）の連続測定は精度、感度、維持管理の面で問題が残っている。

この研究では、これらの改善策の一環として生体反応を活用したバイオセンサーを開発実用化しようとしている。61年度は、①BODセンサーの試作と特性把握、②モニターロボット化の検討、③水質センサー需要調査を行っている。

#### (1) BODセンサーの試作と特性調査

BOD測定方式として、①微生物膜電極装着型のものと、②固定化微生物リアクター型の2つを選定、検知部の生体反応素子としては酵母、土壌細菌群、下水細菌など選び、固定化材料としてはアセチルセルローズ、ナイロンネット、ゼラチン、PVA、X-カラギナン、アルギン酸Naを選んで装置を組立て、④応答特性、⑤基質特性、⑥再現性とドリフト補正、⑦前処理特性について検討を行っている。

#### (2) モニターロボット化の検討

モニターロボットとして具備すべき条件を整理し、バイオセンサーによる計測システムの構築・試算を行っている。

#### (3) 水質センサー需要調査

水質管理担当者に対し、水質計測システムの利用意欲等に関し需要調査を行っている。

### 9.2.4 前処理技術の評価

下水処理用バイオリアクターの処理効率をあげるためには、流入下水の前処理が重要なポイントとなる。

この研究は、固液分離技術を中心とした前処理技術のうち、バイオリアクターと組合せるのに適した技術を開発することに目的を置いている。

研究では、単位プロセスを開発し、パイロットプラントを構築して実用性を確認することとしている。特に固液分離プロセスは汚泥物質の粒径が重要な要素となるので、下水中の固形物の形状や粒径について詳細な検討を行う。

## 10. バイオテクノロジー導入上の課題

バイオフィォークスWTプロジェクトをはじめ、バイオテクノロジーを下水処理に導入するに当たっては、技術的、制度的に解決すべき課題が少なくないが、それらのいくつかをあげれば次の通りである。

### 10.1 研究開発予算の確保

下水処理技術にバイオテクノロジーを導入するに際して、建設省は、バイオフィォークスWTプロジェクトを発足させたが、その際、計画した研究開発予算は総額30億円に及ぶものであった。共同研究に

よる民間支出分を半分としても、官支出分は15億円となる。5ケ年のプロジェクトであるから、平均年3億円は必要である。これに対して初年度である昭和60年度は1億300万円強であるから、年々の予算伸率は概ね2倍でなければならない。しかしながら、61年度予算の伸率は1.26倍、62年度予算においては1.19倍に留まっている。厳しい国の財政状況の中で、破天荒な突出は望めないとはいえ、打上げたプロジェクトを完遂させるため、少しでも所定の予算に近い額を確保する必要がある。

## 10.2 専門家の育成

発酵工業等と同様、生物処理を主体とする下水処理にとって、バイオテクノロジーは決して異質なものではなく、同根の技術といえる。従って下水処理の分野で活躍するバイオリジストが皆無だったというわけではない。しかしその層は薄く、日本全国掻き集めても50人と居ないのではなかろうか。しかも、その中でニューと称されるバイオテクノロジーを手掛けている人達は少い。

バイオテクノロジーを支える科学は、微生物学であり、細菌学であり、分子生物学、などである。今後、下水処理分野においてバイオテクノロジーの一層の進展を図るためには、こうした科学分野ないし、その応用分野をベースにする専門家の育成を図る必要がある。

## 10.3 裾野の拡大 —— 地方公共団体の役割

バイオテクノロジーの下水処理への導入は目下のところ、国（中央）中心の体制やペースで進められている。しかし、実際に処理場を設置し運転を行っているのは、中央政府ではなくて地方公共団体なのである。つまり、建設費や管理費の逓減を図り、処理効率の向上を図る必要があるのは地方公共団体であり、新技術の開発による恩恵を第一義的に蒙るのも地方公共団体ということができる。この意味で、バイオフィーカスWTプロジェクトには、国、民間企業だけでなく、地方公共団体の参加が強く望まれる。

聞く所によると、各地方公共団体もそれぞれ独自のプロジェクトを発足させ、あるいはさせようという動きがある様なので、それらを総合し、調整を図る必要があるように思われる。地方公共団体を組織化した「バイオテクノロジー研究都市会議」の様なものを発足させたらどうだろうか。

## 10.4 情報の収集蓄積と海外交流

下水処理分野においてバイオテクノロジーが対象とするものは細菌、菌類、藻類、原生動物などの微生物であるが、その数は何万とあり、現在その性質（代謝特性等）が判っているのはいくつでもない。

目下、多くの細菌学者や微生物学者が、それらを単離し、培養して代謝特性などを調べているが、手間と暇が掛るため、進展ははかばかしくない。1980年米国で細菌に関する特許が認められ、情報が公表されないことや重複して調査している場合のありうることも、輪をかけているようである。

数多い未知微生物群の性状を短い時間で把握するには合理的な把握手法を開発すると共に情報の交換が必要であり、特に外国との間での交換にはギブ・アンド・テイクが原則の現状では、手持ちの情報と標本（サンプル）を少しでも多く抱えていなければならない。

#### 10.5 開発目標の絞り込み

対象とする生物の数の多さ、技術の多様さという点で、バイオテクノロジーの守備範囲は実に広い。これをじゅうたん爆撃的にあるいは正攻法的に攻めるには、多大の費用と時間が必要である。

限られた時間とその間に得られる開発予算を有効に使用し、新しい処理技術体系を確立するためには、当面、実現性の高さを配慮した開発目標をうちたて、これに焦点を絞ってプロジェクトを進める必要もあろう。

#### 10.6 民間活力の活用のあり方

前川レポートが示すように、世界経済における我国の役割は造ったものを売る立場を離れ、知恵を売る立場にシフトすることになるだろう。技術立国とかノウハウ輸出、特許防衛などの単語はその代表的キーワードである。先端技術の開発に国が意を注ぐ由来も、この長期戦略の一環といえよう。百花繚乱の如く、医療、薬品、農作物、水産物、食品、環境制御など色々な分野でバイオテクノロジーが持て囃されているが、これらは国策に沿ったものといっても良からう。

ところが、国策でこうした技術開発を進めるといっても、厳しい財政状況の中で政府自体が投資できる金には限界があり、資金、人材の豊かな民間企業の力を借りる必要が出て来ている。民間活力の活用である。

バイオフィーカスWTでも民間活力の活用を積極的に図ることになっているが、活用に当っては少くとも次の3点に注意する必要があると思われる。

- (i) 民間企業のプロジェクト参加の動機がどこにあるのか
- (ii) 民間企業が参画できる範囲はどこまでか
- (iii) 得られた成果のマーケットは確保できるか

細かな説明は省くが要するに参加した企業に充分な見返りを与えることができるかどうか重要なポイントになるのではなかろうか。

#### 10.7 バイオハザードへの対応

バイオテクノロジーでは未知の微生物を扱い、遺伝子組換えや細胞融合などによって新しい生物を作り出す。未知の微生物や新しい生物の中には人間や家畜、農作物にとって有害なものがないとも限らない。良くいわれるバイオハザードの問題である。

現在でも、処理場の水質担当者が細菌を測定しているように、ちょっとした知識さえあれば誰でも

細菌を取扱うことができる。別に難しい資格はいらない。劇薬とか毒薬のような化学薬品の取扱いが厳しく管理されているのとは対照的である。

バイオテクノロジーで生み出された微生物群をどのように管理し、安全を確保するか、下水処理分野でも早急に取扱いマニュアルを整備する必要があるだろう。

#### 10.8 もう一つのバイオテクノロジー（オールドバイオ）

標準活性汚泥法など従来から用いられている生物学的下水処理がバイオテクノロジーそのものであることは前にも述べた。人によっては遺伝子組換え等を行うのをニューバイオ、生物処理だとか醸造に使われる発酵などをオールドバイオと種分けして呼ぶことがある。

そういう意味ではバイオフォーカスが狙っているのはニューバイオである。しかし、実際の所オールドバイオについてもまだまだ判らない所が多い。どの地域、どの水質なら、活性汚泥中にはどれ、どれだけの微生物がいてそれらがどのような生態系を作りつゝ処理を行っているのかなどほとんど解明にされていないのである。

下水中の基質Aに対しては細菌Bがアタックして摂取し、BをプロトゾアCが捕食する。CはアメーバDや、輪虫Eによって捕食される。この間Aは代謝産物Xを出し、CはYを放出するといった微小世界における生態系（マイクロエコシステム）が明確にされていない。

ニューバイオの推進もさることながら、オールドバイオについても、もっと科学的なメスを入れるべきだ（須藤隆一）という主張は当を得たものと思われる。オールドバイオのマイクロエコシステムが十分に理解されていないと、ニューバイオの成果も砂上の楼閣になりかねないからである。

その意味で、大変手間と暇を要する仕事だが既存処理法における生物相を生態学的に洗い出す作業も重要な課題である。

#### おわりに

バイオフォーカスWTを中心に、バイオテクノロジーを下水処理に導入する話題を述べた。このプロジェクトは建設技術研究開発経費を用いて実施しているもので、土木研究所の他に建築研究所も実施機関の一つとなっている。建築研究所の分担する部分は浄化槽による家庭排水の処理の分野である。下水処理も浄化槽による処理も生物処理が主体であり基礎となる部分は共通しているので、プロジェクトでは一本化されたものである。基礎となる要素技術に関する所は土木研究所が主体となって研究し、応用技術の所はそれぞれの分野について責任を分担する形をとることとしている。

したがって、本稿では、土木研究所が分担している部分のみを記述してあり、建築研究所が実施している浄化槽への適用については全く触れていない、その点は御留意戴きたい。

## 参考文献

1. 渡部 格：生命科学の世界，NHK ブックス 502 昭和 60. 4
2. 野田春彦：生命の起源，NHK ブックス 461 昭 59. 7
3. 坂口健二：遺伝子工学を考える，NHK ブックス 471 昭 60. 1
4. 八杉龍一：生物学の歴史（上），（下） NHK ブックス 468 昭 60. 11
5. 太田次郎：細菌の科学，研成社 昭 57. 9
6. 高原義昌：産業を開く微生物 — バイオテクノロジーの主役 — 白亜書房 昭 58. 12

—

## 路車間情報システムについて

道路部長 榎 本 実

# 路車間情報システムについて

## 1. システムの開発

### 1.1 はじめに

道路利用者の交通情報に対する要求は、種々のアンケート調査等でもわかるように、多様であり、これらに対して十分な情報が与えられているとはいえない現状である。

道路交通情報は、大きく分けると、静的情報と動的情報になる。静的情報は、時間によって変化しないもので、道路地図や案内標識から得られる情報である。動的情報は、時間によって変化するもので、ラジオや可変情報板から得られる情報である。これら2つの情報には大きな差がある。例えば、道路地図や案内標識は、道路網に大きな変化がない限り、相当の期間使用できるが、ラジオや可変情報板は、道路交通状況を監視していて、その都度最近の情報を提供しなければならない。このように、動的情報を提供するためには、自動車外からのものも含めた情報システムが必要になってくる。

動的情報入手のためには、ラジオが唯一の手段であった段階から、最近では自動車電話やパーソナル無線などの交信機能が入りつつある状態である。いずれにしても、何等かの電波を利用した形の通信が必要であろう。

表-1は、各種のニーズに対するサービスの内容、およびこれから車の中に入ってくるであろう車載機のイメージについてまとめたものである。これら車載機器の機能の中には、全く車の中だけで処理できるものもあるが、車と道路あるいは社会システムとの関連で動くものは、非常に大切であろう。その1つに、ナビゲーション・システムがある。ナビゲーションは、自動車運転者にとって、非常に興味のあるシステムであり、大いに期待される。

表-1 自動車内での情報ニーズ

|     | ニ ー ズ                         | サ ー ビ ス 内 容                                    | 車 載 機                                        |
|-----|-------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| I   | エンタティメント<br>案内<br>道路交通情報      | ニュース、音楽、etc<br>緊急放送<br>広域道路交通情報、ハイウェイラジオ       | ラジオ<br>(多機能受信機)<br>表示機能                      |
| II  | 交 信<br>通 信                    | 交信(HAM、パーソナル無線)<br>通信(電話)<br>データ通信(FAX)        | 無線機<br>(自動車電話、パーソナル無線)<br>(MOA FAX データターミナル) |
| III | 道 路 管 理<br>運 行 管 理<br>ナビゲーション | 車→道路: 情報提供(走行情報、車両<br>同定)<br>道路→車: 位置情報、料金自動徴収 | 路車間通信機<br>(⊗) 車両コード、平均車速<br>(⊗) 地点コード        |
| IV  | 観光案内 etc<br>通 信               | 情報ターミナル(ビデオテックス)<br>固定端末通信、クレジットサービス           | 携帯ターミナル<br>(固定端末(SA PA))                     |

運転者の道路交通情報に対する要求は非常に高く、このような要求に対応した情報提供システムを構築することは簡単ではないが、よりきめの細かい情報提供、収集を行う手段として、路上の装置と個々の車両が情報交換を行う「路車間情報システム」が非常に有効と考えられる。

## 1.2 ナビゲーション

### 1.2.1 ナビゲーションの概要

運転者が目的地を入力すると、道案内をしてくれるシステムである。システムが高度になった段階では、道路の混雑状況を踏まえて、最短時間で目的地に行ける経路を選択し、運転者に示すものである。ただし、システムの初期段階では、現在地の表示のみでも重要な機能と考えられる。

ナビゲーションは、以下の機能から構成される。

入力……………現在地および目的地を入力する。キーボード、ライトペン、タッチスイッチなどが考えられる。

地図情報……………メモリに地図をデータ化して記憶しておき、現在地と目的地を逐次照合する。メモリ媒体としては、フロッピーディスク、CD-ROMなどが考えられる。

現在地把握…車の現在地を把握する。距離センサ、方位センサなどにより移動距離を積分していく方法と、サインポスト、ロランC、GPSなどの車外情報を利用して絶対位置を知る方法とがある。

経路選択……………地図情報、道路交通情報を基に、現在地から目的地への最適経路を設定し、表示する。

道路交通情報…道路の通行規制、混雑状況のデータを保有し、必要に応じて路車間通信により、車に情報を提供する。

路車間通信…道路交通情報や現在地の補正など、車両側のみでは処理できない情報を、地上側から車両側へ供給する。

表示……………ディスプレイ装置により、地図や経路誘導など、運転者に有用な情報を表示する。CRTや液晶が用いられよう。

### 1.2.2 ナビゲーションの方法例

ナビゲーションは、各機能の組合せにより実現方法が考えられるが、大きく分けると、車両単独型と車外設備利用型との2つに分類できる。

車両単独型では、地図情報、現在地把握など必要な機能を総て車載するため、地上側の設備は不要である。地上設備への投資が必要ないという利点はあるが、車載装置の負担が大きく、また、システムの拡張に限界があるなどの短所がある。

車外設備利用型では、ロランCやGPSなどの測位用電波を利用するものと、地上側にデータセン

タを設置し、路車間通信を行うものがある。地上側の設備は、段階的に拡充していくことも可能であり、位置情報のみのものから道路交通情報を加味した精度の高いものへの移行も容易である。

### 1.2.3 ナビゲーションに必要な情報

道路交通情報は、渋滞、事故、工事、気象、交通規制等に関するものが主で、現在、可変情報板、路側放送、ラジオ、テレビ等が情報伝達的手段として用いられている。

道路利用者にとって、これらの情報は、旅行時間の推測、経路選択の判断の材料となり、その役割りは大きい。しかし、道路交通情報に対する要求は多種、多様化しており、現状は十分なものとはいえず、高度なシステム化が要望されている。

経路誘導のための情報としては、旅行時間要素が基本となるが、ここではやや広義に取扱うこととし、走行中に必要な情報について分類すると、次のようなものが考えられる。

#### a. 車両現在位置情報

走行車両の現在位置を計測する。例えば、地磁気センサ、走行距離センサ等の車載センサと路上に設置した位置ビーコンによって、車両の現在位置が正確に検出され、デジタル地図等によって提供される。

#### b. 道路網情報

車両の現在位置から目的地までの幹線道路網に関する情報を提供する。道路利用者は、経路案内や経路誘導情報等を加味して、最適走行経路を選択することができる。道路網情報は、デジタル地図として、CD-ROM等の記憶媒体によって利用者に提供される。

#### c. 経路案内情報

交差点の近くまたは予告地点において、行先地名案内等の情報を提供するなど、道路案内標識の補完機能を行う。また、規制、渋滞、事故、工事、災害等の道路交通情報を提供する。これらの情報のうち、案内標識補完情報の一部は車載機器で独自に提供できるが、その他の情報は、情報ビーコン等を介してリアルタイムに伝送する必要がある。

#### d. 経路誘導情報

最短旅行時間経路への誘導を行うとともに、異常事象に対する迂回誘導を行う。

経路誘導を効果的に行うためには、時々刻々変化する交通状況を正確に検出し、これに基づく変化予測と旅行時間予測値を求め、複数経路のうちから最短旅行時間ルートを選択し、これに誘導する必要がある。

交通状況の変化予測については、実用化までにはかなり長期的な研究開発の積み重ねが必要であろう。したがって、以下に示すように、段階的に、旅行時間に関する情報提供を行うことが考えられる。

- ・基準旅行時間（深夜等交通状況が良好な時に必要な旅行時間）

- ・標準旅行時間（通常時の旅行時間，例えば「道路時刻表」）
- ・現在旅行時間（車両感知器や AVI 等によって得られるリアルタイム情報）
- ・予測旅行時間

基準及び標準旅行時間については，CD-ROM等への入力も容易であろう。

現在及び予測旅行時間については，情報ビーコン等によって情報が伝送されるが，車載機器側で編集することも可能であろう。

#### e. 地理案内情報

道路網情報の補完システムとして，出発地から幹線道路へ，幹線道路から目的地へのアプローチ情報で，補助道路網情報と考えてよいであろう。地理案内には，道路網と町名，公共施設等の交通上必要最小限の情報が記載されていればよいであろう。

#### f. 沿道情報

サービスエリア，ガソリンスタンド，修理工場，駐車場，病院等に関する情報を提供する。

### 1.3 個別通信

道路を走行中の車両との通信手段としては，自動車電話，MCA無線，業務用無線等がある。ここでは，こうした路車間通信に要求される機能について述べる。

#### 1.3.1 道路管理者通信

##### (1) 個別通信

##### a. AVI (Automatic Vehicle Identification)

このシステムは，道路上を通行中の車両のコード番号を自動的に読み取るものである。応用例としては，次のようなものが考えられる。

##### (a) 道路交通情報収集

測定点を多数設置することにより，確度の高い道路交通情報（旅行時間，経路等）の把握が可能となる。

##### (b) 通行料金課金

有料道路を通行する際に支払う料金を自動的に，かつ車を停止せずに課金できるものである。

##### b. 経路案内（地上誘導式）

このシステムは，車載機側からの要求により，路上機側で目的地までの道路情報を加味したシミュレーションを行い，最適な経路案内や所要時間を車載機側へ伝送するものである。

##### c. 道路交通情報（リクエスト型）

このシステムは，車載機から路上機にリクエストし，特定場所の道路交通情報を検索するもの

である。

d. 地域観光情報

このシステムは、車載機からのリクエストに対し、道路情報提供者側の各種サービスデータ（地域観光情報等）を伝送するものである。

(2) 同報通信

a. 緊急情報

このシステムは、地震等の広域災害や、崖崩れ等の地域災害が発生したときに、道路管理者がその情報を、路上機から一斉に不特定多数の車載機に伝送するものである。

b. 位置標定

このシステムは、道路上を移動中の車両が、ビーコンから伝送されてくる位置情報をもとに、現在の位置を標定するものである。

c. 道路交通情報（一方向提供型）

このシステムは、道路交通情報をきめ細かく提供できるいわゆる放送型のものである。その内容は、サービスするエリアの規模により変化させることができる。

1.3.2 プライベート通信

(1) データ通信

a. ページング通信

このシステムは、メッセージ通信であるが、事業所からの一方向呼出通信である。

b. メッセージ通信

このシステムは、個別対応のデータ通信で双方向のものである。その用途は、事業所と車載機間のコンピュータ端末（パソコンを含む）通信が多く考えられる。

c. AVM（Automatic Vehicle Monitoring）

このシステムは、事業所側で、移動中の車両がどの場所にいて、どのような運行状況かを自動的に把握するものである。

d. FAX 通信

このシステムは、事業所と車載機間で行うファクシミリ信号の通信である。

e. 画像通信

このシステムは、CRT の画像情報を、事業所等から車載機に対して伝送するものである。

(2) 音声通信

既存の通信手段としては、簡易業務用無線、専用波業務用無線、NTT の自動車電話等がアナログ通信の音声通話である。通信内容の自由度の高さや運転者の負担が少ない点が、この通信の利点である。

また、通信手段はデジタルとして、マンマシンインターフェイス上、合成音声でサービスする方式も考えられる。

#### 1.4 提案システム

##### 1.4.1 システム概要

路車間情報システムの全体構想は、図-1に示すようなものである。

ナビゲーション装置は、車両の現在位置を知り、それと目的地の関係を示すもので、個別通信システムや道路交通情報システムとの組合せによって、最適経路の指示を行い、交差点での進行方向を示す。もし、時々刻々の道路交通状況の変化を織り込まなくてもよいならば、単独でも最適経路の指示を行いうる。

車両の現在位置は、車載の方位センサや距離センサにより算出するが、走行するに従い誤差が累積される。ナビゲーション装置中に道路網情報を有しているため、道路とのマッチングにより、位置の修正を行うことも可能であるが、複雑な道路網の中で完璧を期すのは難しい。ロランC、GPSの利用も考えられるが、車載装置も複雑で高価となりそうである。そこで、道路網上にビーコンを設置し、その地点を通過する車両にその位置を常時電波で伝え、ナビゲーション装置の位置を修正することが考えられよう。この場合、ビーコンは固定的な信号を連続的に発信しているのみであるから、簡単な装置でよく、中央装置との接続も必要ない。

路上におけるビーコンは、上記のように単に位置を示すのみではなく、路車間情報システムの他の部分である道路交通情報システムや個別通信システムの中での適用も検討する必要がある。その一つは、中央装置と接続し、中央装置より情報を得て車両に伝達するタイプである。この場合の情報は通行止、渋滞等の動的情報である。位置を示すビーコンと異なり、漸次設置していくことも可能である。また他の一つは、中央装置と接続し、車両の装置との相互通信を行うことによって、特定の車両と基地との情報交換を行うものである。

##### 1.4.2 ビーコン

###### (1) 提供情報内容

ビーコン通信は、基本的には位置情報を車に与えるものであるが、路上装置と情報センタ等をオンラインで結ぶことにより、交通情報、経路案内、誘導情報、沿道情報等の動的情報を提供するシステムに発展させることができる。

交通障害多発地点や主要交差点の手前では、その先の交通情報を提供する。ここでは、可変情報板や路側通信システム等と同様の情報を提供することになろう。また、都市部と郊外、一般街路と高速道路等性格が異なる道路網の出入口付近では、その先の道路網に関し、かなり広域の交通情報の提供

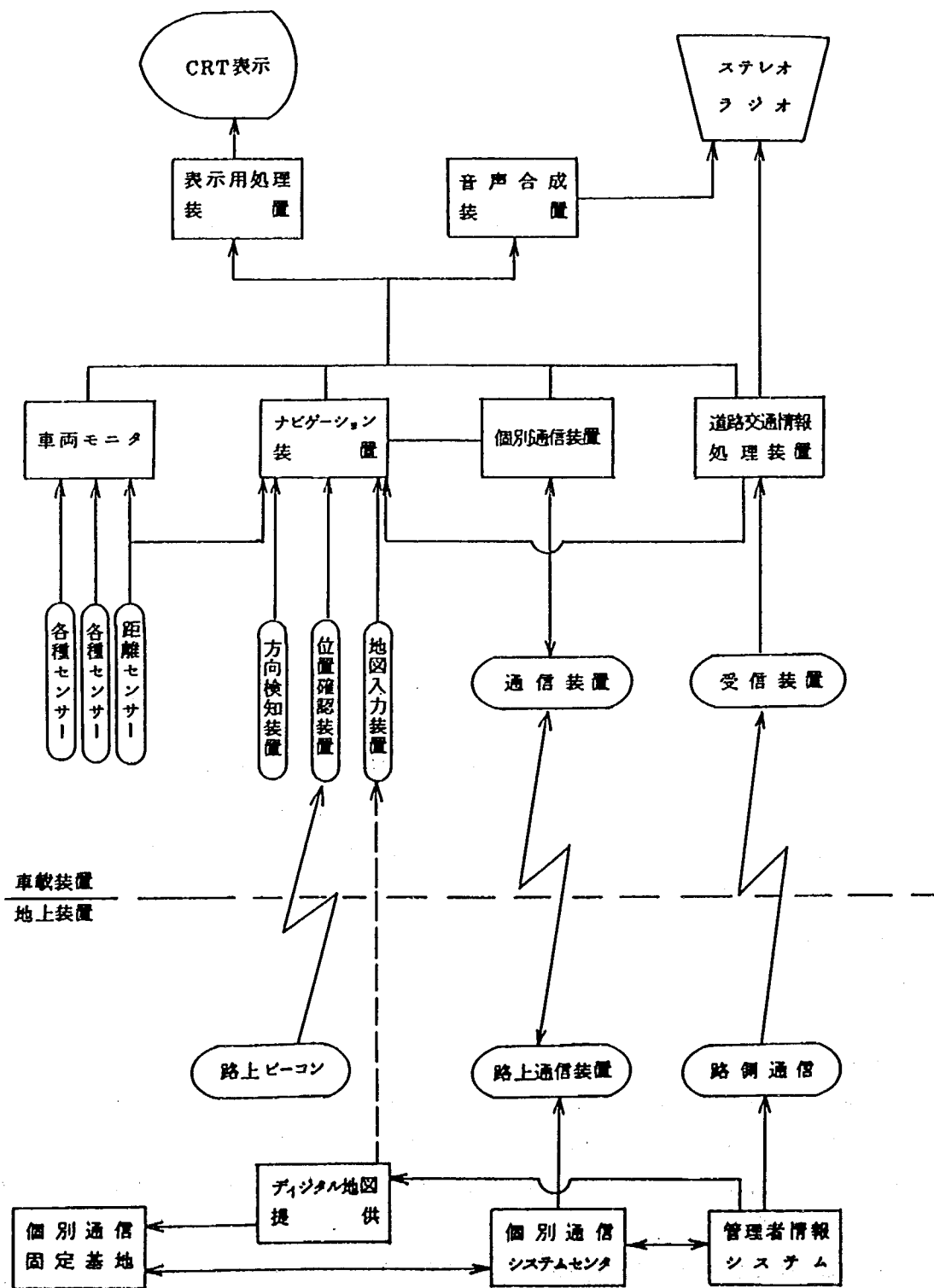


図-1 システム概要

が望まれる。

## (2) 設置位置

設置位置は、下記により、原則として単路部とする。

- ① 交差点手前で情報を提供できる。
- ② 照明ポール、標識柱等既存の設備が利用できる。
- ③ 通信領域を交差点とした場合、様々な形状の交差点に対し、交差点ごとに通信領域の調整が必要となる。また、誘導通信方式では、必要な通信領域をカバーできない。
- ④ 上記②、③により、機器本体及び設置工事費は、単路部の方が安価となる。

## (3) 通信領域

国内の大半の道路が片側2車線以内である。そこで、通信領域は、道路幅員方向に対して3車線分(約10m)とれば十分と考えられる。したがって、中央分離帯から発信するものとすれば、両方向で6車線をカバーすることができる。

なお、原則として方向別情報提供は行わないものとする。該当方向の車線のみ通信領域を限定することは、技術的に困難であるからである。

## (4) 設置密度

各車両の現在位置は、各々の車両が方位センサや距離センサおよびデジタル地図を搭載し、出発点からの移動距離を算出することによって独自に検出する機能を持っている。路上装置の位置情報は、この値を校正するものである。

ビーコン間隔をいくらにしたらよいか定量的に表わすことはむづかしい。設置費用や道路分岐の細かさなどを参考にして決めることになる。今、一つの目安となる値を算出してみると、地磁気センサを利用した位置の誤差を5%とし、利用者が道に迷わない範囲を、市街部で125m、郊外部で250m程度とすると、設置密度は、

市街部 2.5 km毎

郊外部 5 km毎

となる。

## (5) 通信方式

位置情報伝達はビーコンの基本機能である。通信領域が狭い誘導通信方式は、高い位置精度を与える上で有利な方式であり、また、自走協システム等の路車間通信での実績もある。

一方、より高い周波数の電波利用方式にも、次のような特長があり、拡張性に富んだシステムを構成することができる。

- ① 路上側、車載側共にアンテナを小さくすることができる。
- ② 指向性を持たせ、通信領域をある程度自由に選ぶことができる。
- ③ 帯域を広くとり、高速データ通信が可能である。

現在の電波活用状況は、表-2のとおりであるが、中波～極短波帯の電波はかなり隙間なく利用されている。マイクロ波以上の帯域は、特殊用途となり、部品等の調達においてコスト高となろう。

表-2 周波数帯別の主な用途  
第1回電波利用システム講演会資料より引用

| 周波数     | 周波数帯の名称        | 主 な 用 途                                                                  |
|---------|----------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 3KHz    | V L F<br>超長波   | オメガ（無線航行）                                                                |
| 30KHz   | L F<br>長波      | 標準電波、デッカ（無線航行）、航空用ビーコン<br>誘導無線 自走協路車間通信（3048KHz, 2232KHz）                |
| 300KHz  | M F<br>中波      | 船舶遭難通信、標準電波、中波放送、船舶・航空機通信、ロランA（無線航行） 路側通信（1620KHz）                       |
| 3000KHz | H F<br>短波      | 短波放送、国際放送、国際通信、公衆通信、警察、海上保安、船舶・航空機通信、市民ラジオ、アマチュア無線                       |
| 30MHz   | V H F<br>超短波   | 船舶無線、陸上移動業務用無線、FM放送、テレビジョン放送、防災行政無線、沿岸無線電話、テレメータ、ポケットベル、アマチュア無線          |
| 300MHz  | U H F<br>極超短波  | 気象無線（ラジオゾンデ等）、陸上移動業務用無線、公衆通信、テレビジョン放送、防災行政無線、自動車公衆電話、簡易無線、衛星通信、航空・気象用レーダ |
| 3000MHz | S H F<br>マイクロ波 | 公衆通信中継、公益・行政通信中継、航空・船舶・気象用レーダ、テレビジョン放送、衛星通信、衛星放送、電波天文、宇宙研究               |
| 30GHz   | E H F<br>ミリ波   | 各種レーダ、簡易型地上通信、各種衛星通信、電波天文、宇宙研究                                           |
| 300GHz  |                |                                                                          |

結論として、実績のある誘導通信方式と、受信アンテナの小型化及びシステムに大きな可能性を与える準マイクロ波方式とが検討の対象となろう。表-3で、両方式を比較する。

#### 1.4.3 デジタル地図

##### (1) データ構造

データベースは、地図をそのままパターンとしてデータ化するのではなく、例えば、道路をノード

表-3 誘導通信方式と準マイクロ波方式の比較表

| 項 目         | 誘導通信方式         | 準マイクロ波方式    |
|-------------|----------------|-------------|
| 候補周波数       | 200～250KHz の一波 | 1～2GHz 帯の一波 |
| 送信電力        | 微弱電波           | 微小電力        |
| 伝送情報量       | 数百ビット          | 多量の可能性      |
| 伝送速度        | 9 6 0 0 bps    | 高速の可能性      |
| 送信アンテナ形状例   | フェライト芯コイル      | ダイポールアレイ    |
| 通信領域例(横断方向) | 約10m(3車線)      | 10～100m     |

とリンクに関する集まりとしてデータ化する方式が望ましい。

また、データ構造は、以下の条件が満たされるのがよい。

① 階層性

広域表示をするときは幹線道路のみ、狭域表示をするときは細街路まで画面表示できるなど、地図表示の階層性があること。

② 操作性

追加変更が容易にできること。例えば、当初は主要道路だけのデータベースに対して、地方道や観光名所を追加したり修正したりすることが容易であること。

③ 冗長性

誤りの無いデータベースとするため、入力されたデータを逆方向からチェックし得ること。また、検索が素速く行われるため、ノードからリンク、リンクからノードといった双方向検索を可能にすること。

(2) ナビゲーション用データベース

ナビゲーション用の地図の作成に当たって最も基本となるのは、道路(網)の表現方法であるが、属性データの取扱いや経路選択の処理等を考えると、ネットワーク(ノード+リンク)方式が望ましい。また、デジタル地図の作成に当たっては、そのメンテナンスも考えると多大な労力を必要とし、可能な限り既存の地図を利用することが望ましい。

ナビゲーション用の道路地図を利用しやすくするためには、一般の道路地図と同じように、道路(網)の他に、地図の背景となる鉄道、行政界、河川等のデータを含めておく必要がある。また、道路位置を特定するためには、ノードデータが一つの座標系の中で位置づけられていることが必要である。

国土地理院が作成している国土数値情報は、道路に関するデータの他に、鉄道、行政界、河川等種々のデータをデジタルデータとして保有している。また、ノードデータや建物位置は、2次メッシュ

(2万5,000分の1地形図に相当)の中で座標値が与えられており、それらは緯度経度に変換することも可能である。

したがって、ナビゲーション用の道路地図を構成するデータファイルとしては、国土数値情報を基本に考え、必要があれば特認システムや道路交通センサ等のデータで補足することとした。

#### 1.4.4 車載データ用媒体

地図の記録媒体として、デジタル情報を電氣的に記憶するものに限定するとすれば、表-4の様な媒体が車載用として考えられる。

表-4 各種記憶媒体の記憶容量

| 記 憶 媒 体           | 記 憶 容 量          |
|-------------------|------------------|
| 磁 気 カ ー ド         | 0.6 Kビット         |
| I C カ ー ド         | 1 6 K～2 5 6 Kビット |
| 光 カ ー ド           | 6 M～ 3 0 Mビット    |
| I C - R O M パ ッ ク | 6 4 K～ 1 Mビット    |
| オーディオ用カセットテープ     | 4 0 M～1 5 0 Mビット |
| フ ロ ッ ピ ー デ ィ ス ク | 4 M～1 2.8 Mビット   |
| C D - R O M       | 5 Gビット           |

磁気カードは、記録媒体として一般に最も普及している媒体であるが、デジタル道路地図用としては記憶容量が小さすぎる。

I Cカードは、マイコンカードとI Cメモリカードの2種類があり、データの重要性により使い分けられるが、現在両者とも標準化が進められており、これからのカード媒体の主流となることが予想される。記憶容量も従来の磁気カードに比べればかなり大きく、又、近い将来にはI Cメモリの高密度化により1 Mビット程度は可能であり、デジタル地図用としても一定地域用とすれば有望である。

光カードは再生専用型と記録可能型の2種類があり、携帯用記録媒体としては記録容量が最も大きく、デジタル地図用としてもかなりの範囲の記憶が可能である。したがって、この方式のカードが一般に普及すれば、車載ナビゲーション装置の地図記憶媒体として使用できる。

I C-ROM パックは、半導体メモリをパック化したもので、パソコンをはじめ各種装置の記憶媒体として普及が認められている。記憶容量も、I Cカードと同じく近い将来には高密度化が期待されており、デジタル地図用として期待されるが、I Cカード程は携帯性がよくない。

カセットテープは、オーディオ用に普及が行きわたっている記憶媒体である上、記憶容量は各種記

億媒体の中でも大きく、大容量の信号の記録には適した媒体である。ただ、テープ方式は、高速検索性に対して欠点を持ち、その点車載ナビゲーション装置の様な高速検索を必要とする記憶媒体としては、使用上の工夫が必要である。

フロッピーディスクは、OA機器を中心に広く普及しており、その種類も、8"径、5.25"径、3.5"径、3"径等があり、機種に必要な記憶容量にしたがって使いわけされている。また、ディスクタイプであるため検索性に優れ、0.1 sec以下の検索が容易である。車載ナビゲーション装置の様な検索性を必要とする場合には最適であるが、全国の地図情報を記憶できる程の容量はなく、地域限定としての使用となろう。

以上、各種記憶媒体について記したが、車載ナビゲーション用に要求される条件は、大容量と高速検索性であり、この両者の条件を満足する記憶媒体は、光ディスク技術によるCD-ROMであるといえる。

CD-ROMとは、音楽用として規格化されているコンパクトディスク(CD)を、デジタルデータのパッケージメディアとして利用するため規格化されたものである。読み出し専用メモリのROM-ICと同等に使用可能なことから、CD-ROMと呼ばれている。直径12 cmのディスク中に、540 M Byteのデジタルデータが記憶できる。すなわち、漢字1文字が2 Byteで表わせるので、単純に計算しても2億7千万字が記憶できる。

CDオーディオシステムは、車載用として普及がはじまっており、CD-ROMシステムは、このCDオーディオシステムと兼用できることから、最適な車載ナビゲーション用デジタル地図情報の記憶装置であろう。

## 2. 官民共同研究

### 2.1 目的

道路利用者層の拡大、情報への要望の多様化等が進む状況の中で、道路標識、道路情報板等現在の情報伝達手法のみで対応することは難しくなってきた。また、近年の電子技術の進歩により、高度な情報処理能力を有する機器が、比較的安価に製作されるようになってきた。路車間情報システムは、これらを活用して、道路と車との間で多量のデータ交換を行うとともに、車上で高度な情報処理を行い、道路利用者の求める多様な道路交通情報の提供を可能にしようとするものである。

以上のような目的を踏まえ、昭和61年度から、土木研究所と民間会社による共同研究により、路車間情報システムの実験を行うこととなった。実験は、改良を行いながら63年度まで継続し、63年度には実用システムの仕様を確立する予定である。

### 2.2 研究主体

土木研究所の行う業務は次のとおりである。

- 技術的総括（実験の計画，管理）
- ビーコンの実験
- ナビゲーション用道路網数値情報の作成
- 実験成果のとりまとめ

民間会社の行う業務は次のとおりである。

（ビーコン・グループ）

- ビーコンの実験
- ビーコンの製作
- 車載受信機の製作
- ビーコン通信機能の確認
- 実験結果のとりまとめ

（ナビゲーション・グループ）

- 車載ナビゲーション装置の製作
- 道路網数値情報媒体の製作
- 実験の実施
- ナビゲーション機能の確認
- 実験結果のとりまとめ

（個別通信グループ）

- 通信方式の検討
- 個別通信ビーコンの製作
- 実験の実施
- 個別通信機能の確認
- 実験結果のとりまとめ

なお，共同研究参加の民間会社は，表－5のとおり，自動車，電装品，通信機等のメーカー23社と  
なっている。

表－5 共同研究参加会社

|       |        |                 |        |        |
|-------|--------|-----------------|--------|--------|
| 三洋電機  | 日本電装   | 矢崎総業            | 日本ビクター | 日産自動車  |
| 古野電気  | 住友電気工業 | ソニー             | 松下通信工業 | 立石電気   |
| 日立製作所 | 日本電気   | 三菱重工業           | マツダ    | 富士通    |
| 三菱電気  | アンリツ   | 日本電気ホームエレクトロニクス |        |        |
| 沖電気工業 | 日本無線   | 富士通テン           | 東芝     | トヨタ自動車 |

また、道路管理者として、関東地方建設局、日本道路公団、首都高速道路公団、東京都、横浜市、川崎市には、ビーコンの設置、ナビゲーション用道路網数値情報作成の援助などで協力を得ることになっている。

### 2.3 システムの機能

路車間情報システムは、路上に置かれた通信機と車との間のデジタルデータ伝送によって、種々の情報を送ろうとするシステムであり、次のような機能を狙いとしている。

#### (1) ナビゲーション機能

詳細なデジタル道路地図をベースに、運転者を目的地まで経路案内する機能であり、標識に書かれている地名やその位置が分からなくても、確実に目的地に誘導するものである。車載の方位センサ、距離センサだけによる方法では誤差が累積するため、路上ビーコンからの位置信号により補正を行う。

#### (2) 道路交通情報提供機能

道路管理者は、中央装置に蓄えられている道路交通情報を一括して伝送し、車載装置では、各々の道路利用者の目的に応じて、必要な道路の情報を選択して出力する機能である。この機能によって、詳細な情報が個別に提供され、(1)の機能と合わせて、動的な、すなわち、時々刻々変化する道路状況に即したナビゲーションが可能となる。

#### (3) 個別通信機能

今まで述べた2つの機能は、路上側から車への片方向デジタル通信を前提としている。個別通信機能は、これを双方向デジタル通信に拡張したものであり、会社や家庭からの情報を車内で出力できると同時に、必要な情報を車側からも伝送することが可能である。ビーコンを利用したAVMとページング機能のみならば、比較的容易に組み込めるであろう。

### 2.4 システムの構成

以上述べた3つの機能を満たすシステム構成としては、図-2及び図3に示すものが考えられる。路上装置は情報を伝達する路上ビーコンのみであり、ビーコンの機能により、道路管理者や個別通信システムセンタに接続されるものもある。車載装置は、表示装置と各種の情報処理コンポーネントの組合せより成る。各コンポーネントは、単独でも作動するが、組合せることによって、さらに高度なサービスを提供するものであり、システムの段階的構築が可能となる。以下、主な装置の機能を述べる。

#### (1) ビーコン

ビーコンには、通信内容から、位置ビーコン、情報ビーコン、個別通信ビーコンがある。位置ビーコンはビーコンの設置位置の情報を、情報ビーコンは道路交通情報を伝送するものであり、個別通信

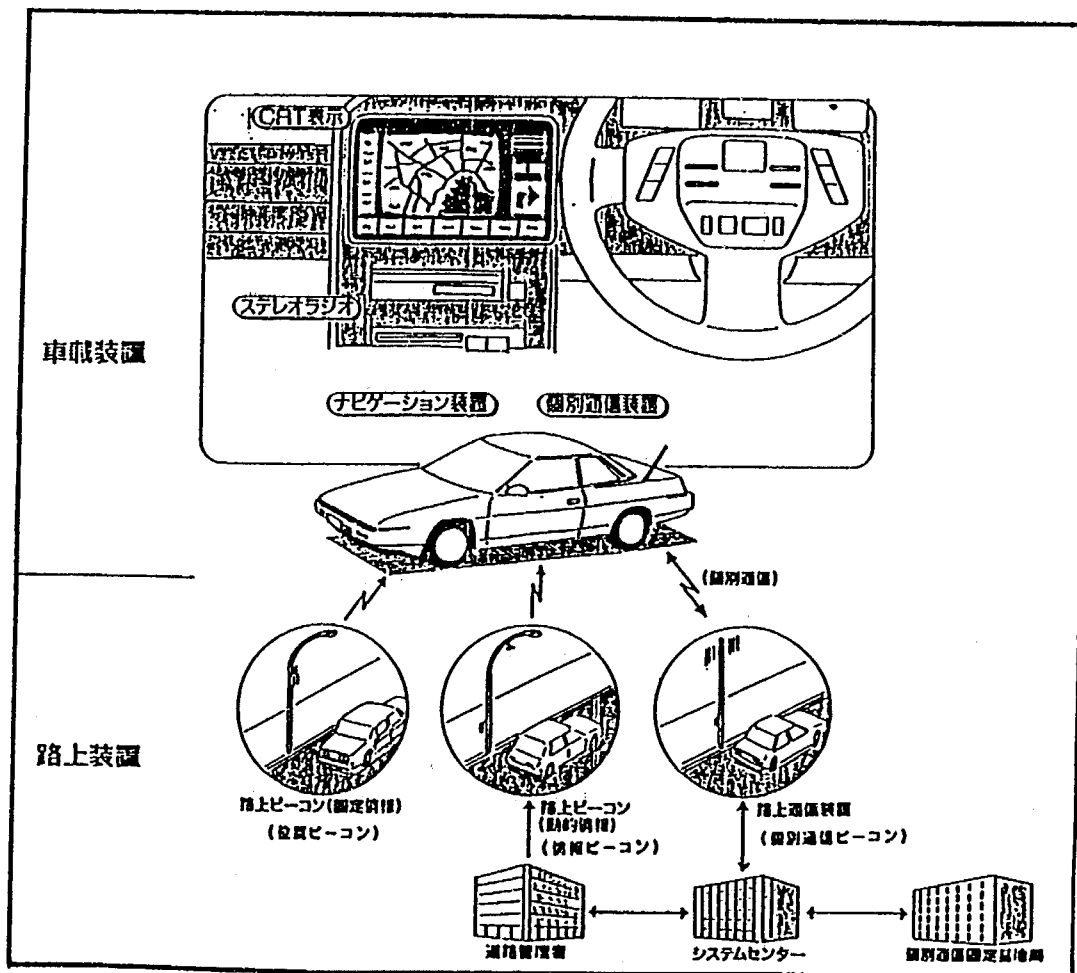


図-2 路車間情報システムの構成

ビーコンは個々の道路利用者の通信を双方向で行うものである。ただし、情報ビーコンには位置情報が含まれるし、個別通信ビーコンには位置情報と道路交通情報を含めることも考えられる。

通信方式としては、実績のある誘導無線方式と多量データ通信の可能性のある準マイクロ波方式が考えられる。

## (2) 移動量検出装置

地磁気やジャイロを利用した方位センサとタイヤの回転数を利用した距離センサにより、自車位置を計測する装置である。この装置だけでは、誤差が累積するため、位置ビーコンと組合せて精度を上げる必要がある。

## (3) CD装置

ナビゲーションには道路地図が不可欠であり、道路交通情報も地図上で示す方が分かり易い。地図データの格納には種々の媒体が考えられるが、CD-ROMが容量、検索性の点で有利である。また、

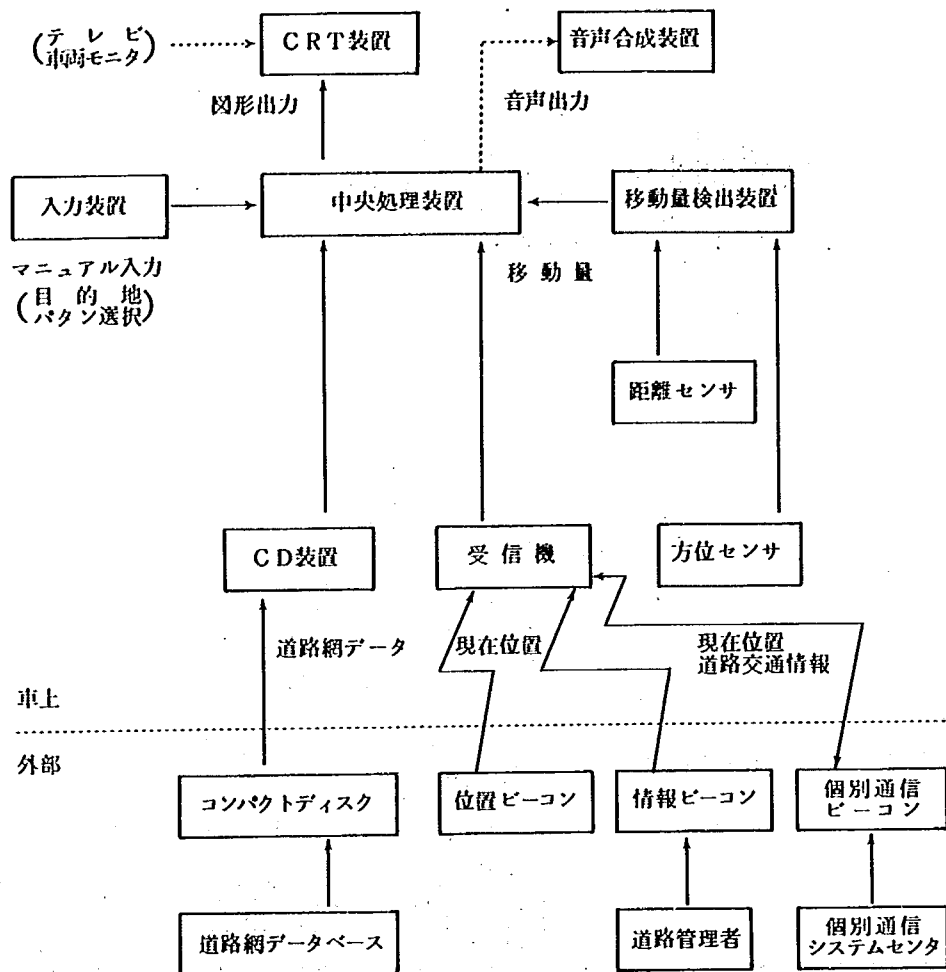


図-3 実験ナビゲーションシステム

車載用として普及し始めているCDオーディオシステムとの兼用が考えられるため、本システムへの適用性も高いといえる。

#### (4) CRT装置、音声合成装置

各コンポーネントからのデータの表示又は音声出力を行う装置である。運転者は走行中にCRT画面を見ることが難しいため、情報入手時に音声で伝達し、その後画面で確認するという二重の伝達方法で確実性を増すことができる。また、CRTは、本システムの表示用の他に、テレビ受信、キャプテンシステム等にも利用することが考えられる。

#### (5) 中央処理装置

中央処理装置は、各装置からの情報を加工し、選択する所であり、次のような機能を有している。

- ① CD装置から必要なデータを取り出し格納する。
- ② 現在位置を常時確認する。

- ⑤ 車と個別通信システム間の情報を処理する。

## 2.5 実験計画

### (1) スケジュール

61年度8～1月 車載機，ビーコン製作

62年度2～3月 路上実験(第1回)

4～7月 装置等の改良

8~10月 路上実験(第2回)

11～3月 装置等の改良

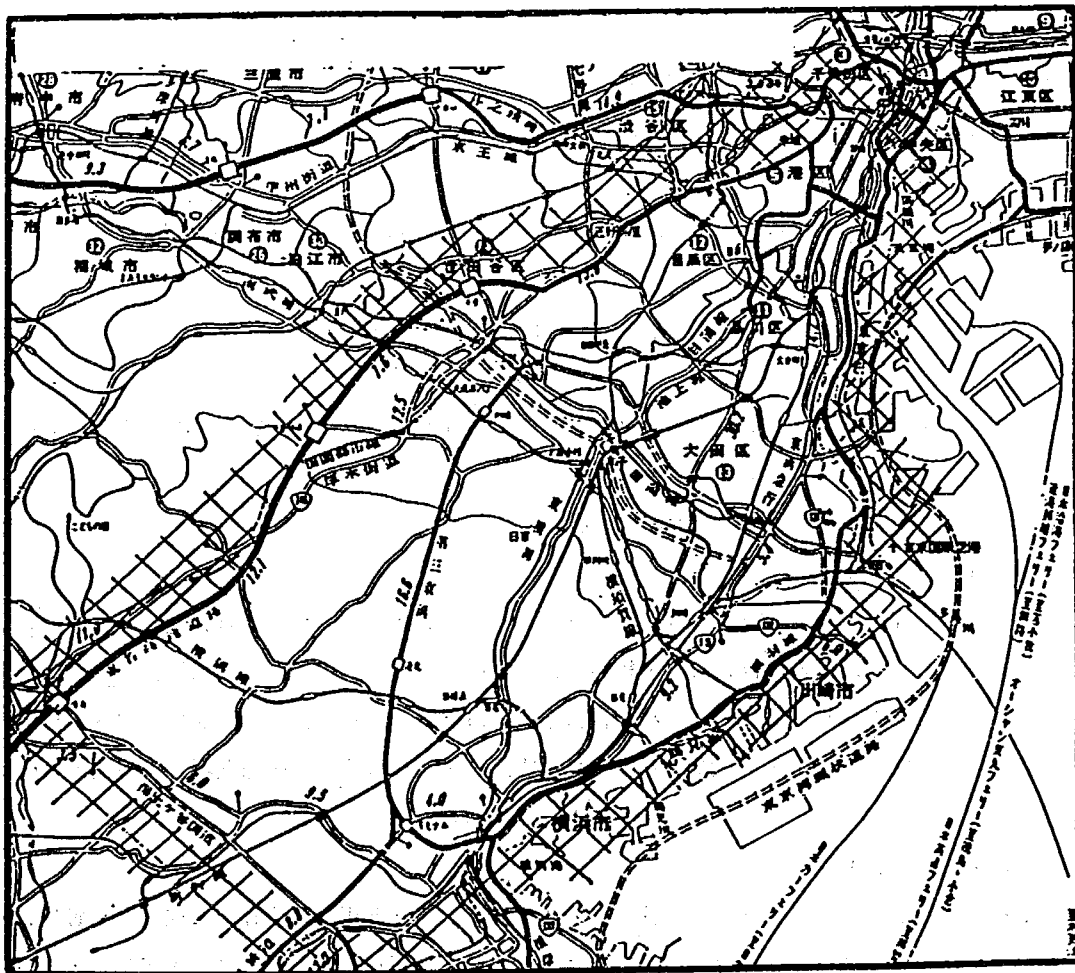


図-4 フィールド実験エリア

63年度4～7月 路上実験（最終回）

8～12月 実用システム仕様の検討

(2) 実験地域

東京西南部，川崎，横浜の区域のうち，国道246号－16号－15号で囲まれた範囲で，首都高速道路3号線，1号線，2号線，羽横線，横浜1号線，東名高速道路，第3京浜道路を含む約350 km<sup>2</sup>の地域とする（図－4）。

(3) ビーコン

第1回の路上実験では，誘導無線方式の位置ビーコンを設置することとするが，一部は情報ビーコンとする予定である。なお，準マイクロ波方式のビーコンは，第2回以降の実験で設置することとする。

第1回の実験で設置するビーコンの数は，次のとおり予定している。

|             |      |
|-------------|------|
| 関東地建        | 40 個 |
| 日本道路公団      | 8 個  |
| 首都高速道路公団    | 22 個 |
| 東京都，横浜市，川崎市 | 4 個  |

(4) デジタル地図

対象地域は，図－5 に示す範囲とする。地域区分は，国土地理院の1/25,000 地形図の区分による。

使用データは，国土数値情報を基本とし，必要に応じて，特認システム，道路交通センサス等で補足する。

対象道路は，主な市町村道以上とする。ただし，一部地域については，一般の市町村道も背景としてもたせる。

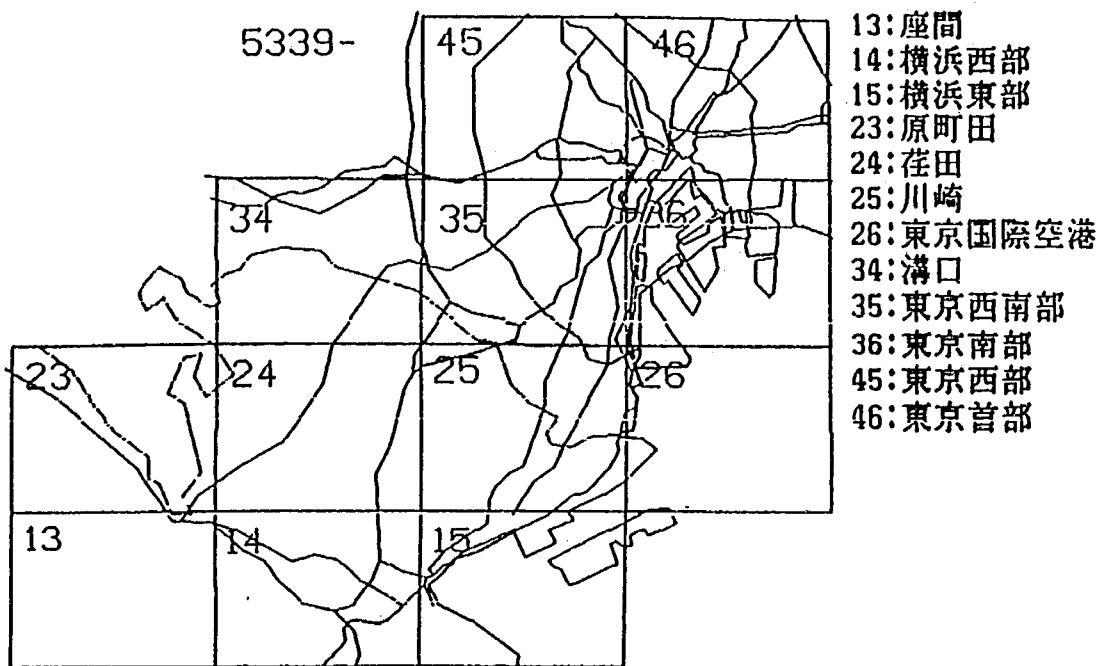
作成ファイルとデータ内容は次のとおりとする。

① 道路リンクファイル

2次メッシュコード，リンク番号，都道府県コード，道路種別，路線番号，行政区コード，リンク長，車線数，道路部幅員，有料・無料，路面の種類，一方通行，リンク内属性（橋，トンネル，高架，アンダーパス，オーバースパス，料金所）の位置と延長，指定最高速度，ピーク時旅行速度，平常時旅行速度，リンク両端のノード番号，ノード種別番号，補間点数，補間点正規化座標

② 道路ノードファイル

2次メッシュコード，ノード種別番号，ノード番号，ノード正規化座標，接続リンク番号，リンク通行フラグ（通行可，通行禁止，条件付き（車種，時間）通行可），ノード名称，ノード地先名



5339 - 46 - 00

東京首都

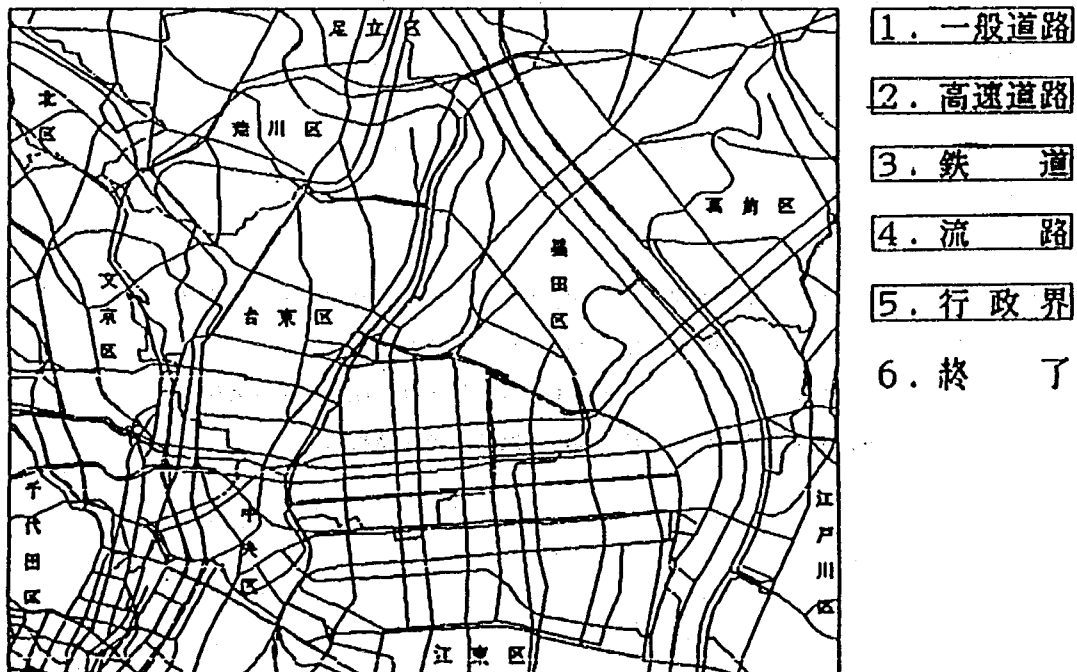


図-5 デジタル地図イメージ モデル地域索引図

③ 路線台帳ファイル

都道府県コード, 道路種別, 路線番号, 有料・無料, 路線名, 通称名

④ 道路背景ファイル

2次メッシュコード, 補間点数, 補間点正規化座標

⑤ 鉄道位置ファイル

2次メッシュコード, 補間点数, 補間点正規化座標

⑥ 行政界位置ファイル

2次メッシュコード, 補間点数, 補間点正規化座標

⑦ 河川位置ファイル

2次メッシュコード, 補間点数, 補間点正規化座標

⑧ 海岸位置ファイル

2次メッシュコード, 補間点数, 補間点正規化座標

⑨ 湖沼位置ファイル

2次メッシュコード, 補間点数, 補間点正規化座標

⑩ 鉄道駅位置ファイル

2次メッシュコード, 正規化座標, 地下・地上, 駅名, 路線名

⑪ 施設位置ファイル

2次メッシュコード, 行政区コード, 施設番号, 種別コード, 施設名称, 正規化座標, 接続リンク番号, 通称名

⑫ 地名(町丁目)位置ファイル

2次メッシュコード, 行政区コード, 地名名称, 正規化座標

## 参考文献

- 1) 路車間情報システム研究会中間報告書 昭和60年3月 (財)道路新産業開発機構
- 2) ビーコン部会中間報告書 昭和61年3月 (財)道路新産業開発機構
- 3) 車載ナビゲーション部会中間報告書 昭和61年3月 (財)道路新産業開発機構
- 4) 個別通信部会中間報告書 昭和61年3月 (財)道路新産業開発機構

# 土木構造物の震災復旧技術について

地震防災部長 岩 崎 敏 男

# 土木構造物の震災復旧技術について

## 1. 序

わが国は環太平洋地震帯に位置し、世界でも有数の地震国で、歴史的にも多大の震災をうけてきた。こうした震災経験をふまえ、明治以来、構造物の耐震化の技術開発を重ね、最近では長大橋、水底長大トンネル、超高層ビル等の大規模構造物も安全な耐震設計がなされ建設されるようになってきた。

特に昭和47年度から5カ年にわたって建設省総合技術プロジェクトとして「新耐震設計法の開発」の研究を進め、土木構造物、建築物につき高水準の耐震設計法が樹立されるに至った。このような耐震技術の向上によって、構造物の崩壊や倒壊により人命を奪われるといった危険は少なくなったものの、1978年宮城県沖地震、1983年日本海中部地震等の例に見られるように、なお大地震時には構造物の部分的破損や斜面崩壊が予想される。このため、破損したり耐震性が低下した構造物の復旧対策を速やかに講じ、震後の社会経済活動の障害を軽減することが今後の重要な課題とされている。

このような背景のもと、建設省では新しい総合技術開発プロジェクト「震災構造物の復旧技術の開発」の研究を昭和56年に着手し、昭和61年3月に最終結果を得た。このプロジェクトは、大地震によって被災した構造物や斜面等の復旧に関して、被災程度の判定法、被災の形態や程度に応じた復旧工法、および復旧の総合的評価手法を開発し、地震災害の復旧対策に資とすることを目的としている。建築物については建築研究所が担当したが、ここでは土木研究所と国土地理院が担当して策定した「土木構造物の震災復旧技術マニュアル（案）」の概要を紹介する。

## 2. 研究開発の経緯

本プロジェクトの遂行にあたっては、土木研究所からの委託により（財）国土開発技術センターに岡本舜三東大名誉教授を委員長、産学官の専門家を委員とする震災復旧技術研究開発土木委員会を設け、研究方針から最終成果に至るまでの重要事項を審議した。研究の進展に伴い、同委員会の下に土工分科会（分科会長：石原研而東京大学教授）、橋梁構造物分科会（同：伯野元彦東京大学教授）、地中構造物分科会（同：片山恒雄東京大学教授）、及び復旧技術評価分科会（同：久保慶三郎埼玉大学教授）を順次設置し、研究内容の検討とマニュアル案の討議を行った。

具体的な調査研究とマニュアル原案作成には、土木研究所と国土地理院があたった。土木研究所では5部6研究室が分担した。すなわち、地質化学部コンクリート研究室が鉄筋コンクリート橋脚の復旧工法実験（マニュアルⅢ編に反映）、河川部海岸研究室が津波による海岸保全施設の被害調査（Ⅱ編）を分担した。また、砂防部急傾斜地崩壊研究室は自然斜面の崩壊調査（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ編）、機械施工部動土質研究室は河川堤防や道路盛土等の土構造物の調査（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ編）、地震防災部振動研究室は下水道管路等の地中構造物の調査（Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ編）、さらに同耐震研究室は橋梁構造物の調査（Ⅲ編）及び全体に通じる共通的な復旧技術評価法（Ⅰ編）を分担した。また、国土地理院測図部国土基本図課が斜め写

真技術を含む航空写真測量調査（Ⅰ編）を分担した。

### 3. マニュアルの構成と性格

本マニュアル（案）は、下記の5編から構成されており、全体で約530ページである。

第Ⅰ編 共通編（約80ページ）

第Ⅱ編 河川、海岸、砂防施設編（約60ページ）

第Ⅲ編 道路施設編（約130ページ）

第Ⅳ編 下水道管路施設編（約100ページ）

第Ⅴ編 復旧事例集（約160ページ）

各編の記述範囲の対象施設等を表-1に示す。

表-1 本マニュアルの構成及び対象施設等

| 構 成             | 対 象 施 設                                                                                                                                                |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 第Ⅰ編 共通編         | 第Ⅱ編～第Ⅳ編に示す施設に共通する事項                                                                                                                                    |
| 第Ⅱ編 河川・海岸・砂防施設編 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・河川施設—河川管理施設（堤防、護岸、樋門、樋管、水門、堰等）</li> <li>・海岸施設—海岸保全施設</li> <li>・砂防等施設その他—砂防施設、地すべり防止施設、急傾斜地崩壊防止施設、斜面</li> </ul> |
| 第Ⅲ編 道路施設編       | 橋梁、盛土、斜面、切土のり面、トンネル、共同溝、カルバート、歩道橋、標識、情報板                                                                                                               |
| 第Ⅳ編 下水道管路施設編    | 本管、枝管、取付け管、マンホール、伏越し、ます                                                                                                                                |
| 第Ⅴ編 復旧事例集       | 第Ⅰ編～第Ⅳ編に示す施設の復旧等の事例                                                                                                                                    |

本マニュアル（案）は、地方建設局や地方公共団体等の公共土木施設（河川、海岸、砂防、道路、下水道）の管理担当者が地震発生時の復旧対策等を検討する際に参考として利用できる。本マニュアル（案）は、あくまでも調査研究の成果であり、統一的な技術基準として使用を義務づけるものではない。次項以降に各編の概要を記述する。

### 4. 共通編（Ⅰ編）の概要

共通編はⅡ～Ⅳ編に示す各施設に共通する震災復旧の流れや基本的な考え方を示し、次の9章からなる。なお（ ）内は節のタイトルを示す。

1. 総則（適用範囲、関連法規、用語の定義、地震災害及び震後状況の特徴）
2. 震災復旧の基本方針
3. 震前対策
4. 復旧の進め方（復旧の流れ、震後体制、震災復旧にあたって考慮すべき項目、震災復旧水準、関係機関との協議）
5. 被災調査（一般、写真撮影、地盤調査）

6. 情報連絡（一般、情報連絡及び収集、広報活動）

7. 余震対策（一般、余震対策）

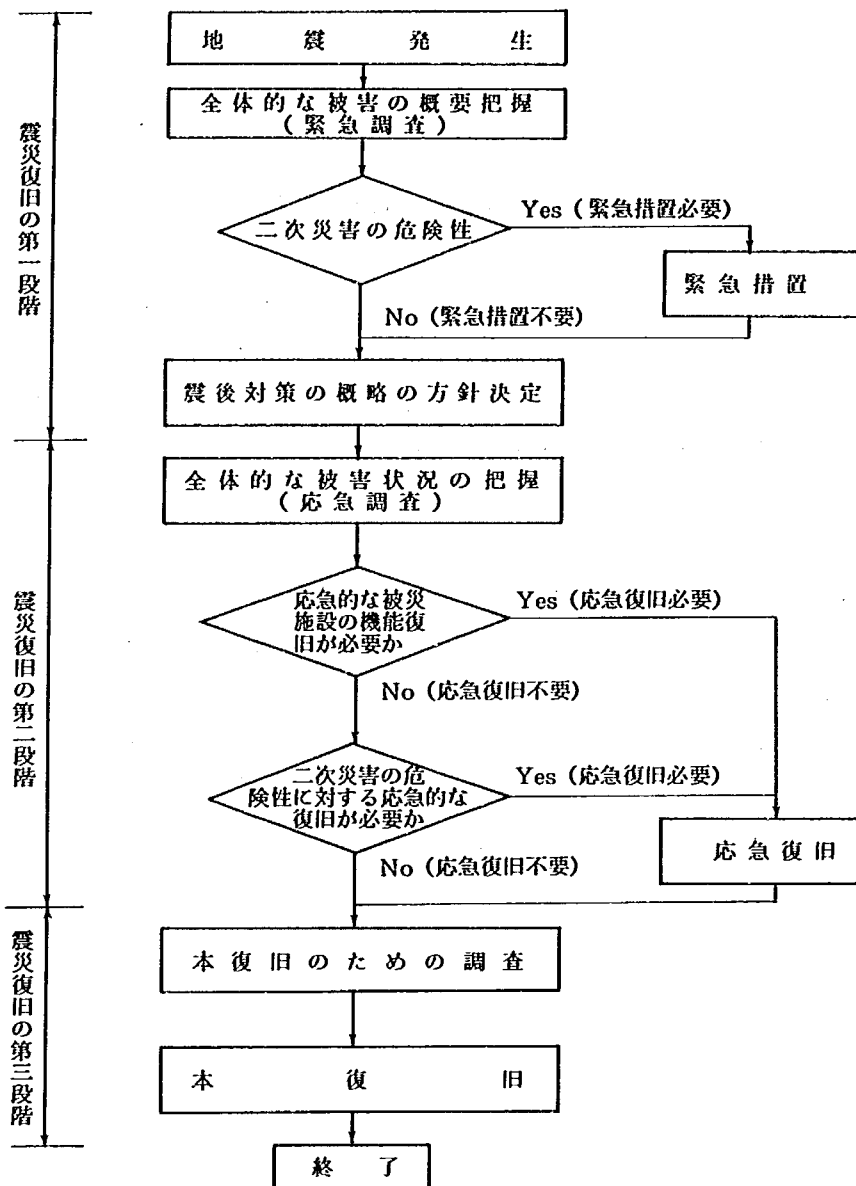
8. 降雨対策（一般、降雨対策）

9. 津浪対策（一般、津浪対策）

本マニュアル（案）の作成にあたっては、主として1964年新潟地震以降、近年わが国に発生した8回の地震（マグニチュード6.8～7.9）の被災状況及び復旧工法を参考とした。これらの被災地域は、人口40～60万人程度の地方中核都市及び周辺市町村で、気象庁震度はおおむねⅤ（一部でⅣまたはⅥ）であった。この様な既往地震時にとられた震災復旧の経験（被災調査、緊急措置、被災判定、復旧工法）ならびに各種の実験結果に基づきマニュアル化したものである。従って、震災の程度や範囲が前記の8地震の事例に比べて著しく異なる場合には、被災実態に応じて本マニュアル（案）を適宜修正して適用する必要がある。

震災復旧の標準的な流れを図－1に示す。ここでは震後の復旧過程を次の3段階に分けている。

- (1) 震災復旧の第1段階 — 重要施設、重要箇所を中心に被害概要を把握（緊急調査）するとともに、余震等による2次災害の危険性が認められる箇所に緊急的な施設管理上の措置（緊急措置）をとる段階。
- (2) 震災復旧の第2段階 — 管内施設の被害状況を把握（応急措置）し、必要に応じて応急復旧を行う段階。
- (3) 震災復旧の第3段階 — 震後の混乱が収まり、本復旧のための調査及び本復旧を行う段階。



図－１ 震災復旧の進め方の流れ図

図－１の流れ図に示している二次災害の危険性を説明するため、各種施設の一次災害に伴う二次的影響の分類表を表－２に示す。ここでは、各種施設につき、一次災害の拡大の有無を考慮し、二次的影響を５つのタイプに分類している。

次に震災を受けた構造物の本復旧にあたっては、(1)施設の効用・機能の増大、(2)ルートの変更、(3)修復の可能性、(4)耐震性の向上等を考慮して復旧水準を定める。また応旧復旧の水準は、本復旧完了までの期間に想定される外力レベルを基本として、施設の被害状況、外力レベルの精度、施設の用途・重要度、被害再発による災害発生の可能性及び規模、地域全体の被害状況等を総合的に判断して定め

表-2 一次災害に伴う二次的影響の分類

| 一次災害に伴う二次的影響のタイプ |                                                      | 河川、海岸、砂防施設                                                            | 道 路 施 設                                                                     | 下水道管路施設                                                     | 備 考           |
|------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------|
| 一次災害の拡大が有る場合     | タイプA<br>当該施設自体に新たに発生する被害（他施設の被害の進展に伴って当該施設に生じる被害も含む） | ①堤防、護岸の亀裂沈下の進展→崩壊<br>②法面、斜面の亀裂進展→崩壊<br>③樋門、樋管の亀裂の進展→破壊<br>④上記②に伴う河道埋塞 | ①橋梁の被害進展→落橋<br>②斜面の亀裂の進展→崩壊<br>③トンネル覆工の亀裂の進展→落盤<br>④下水道管の被害の進展→路面の凹凸、陥没     | ①管路内への土砂流入→埋塞<br>②管体亀裂の進展→破壊<br>③道路盛土の亀裂の進展→盛土の崩壊→盛土内の管路の被害 | 二次災害の危険性有り    |
|                  | タイプB<br>タイプAに伴って新たに生じる災害                             | ①上記①または③→河川水、海水の浸水→洪水<br>②上記②→土砂災害<br>③上記④→埋塞土砂の決壊→洪水、土砂害             | ①上記①→進行車両の落下、橋梁下の道路、鉄道等の被害<br>②上記②→沿道人家の埋没、人命・財産の被害<br>③上記③、④→交通事故          | ①上記①②③→漏水、浸水、土壤汚染                                           | 二次災害の危険性有り    |
|                  | タイプC<br>タイプAに伴って新たに生じる影響（ただし、上記タイプBを除く）              | ①利水施設の被害進展→利水制限、利水不能<br>②崩土の河川への混入→河川の汚濁→利水制限、利水不能                    | ①通行規制、迂回→渋滞の発生<br>②道路交通容量の低下→生活、生産活動等への波及<br>③緊急車両（救急車、消防車等）の通行不能→人命、財産への影響 | ①下水道施設使用制限→生活環境の悪化<br>②汚水の河川への放流                            |               |
| 一次災害の拡大が無い場合     | タイプD<br>一次災害に伴う当該施設の機能低下によって新たに引き起こされる災害             | ①堤防、護岸の沈下→残留堤防高を超える水位の発生→洪水<br>②河道埋塞→減少した流水断面を超える水位の発生→洪水             | ①落橋、路体の欠壊→交通事故<br>②道路上の落石、崩土→交通事故<br>③路面の凹凸、陥没→交通事故                         | ①管路流下能力低下、喪失→漏水、浸水、土壤汚染                                     | 二次災害の危険性有り    |
|                  | タイプE<br>一次災害に伴う当該施設の機能低下によって新たに生じる影響（ただし、タイプDを除く）    | ①利水施設の機能低下→利水制限、利水不能<br>②河道埋塞→河川水の汚濁→河川水利用制限                          | ①通行規制、迂回→渋滞の発生<br>②道路交通容量の低下→生活、生産活動等への波及<br>③緊急車両（救急車、消防車等）の通行不能→人命、財産への影響 | ①下水道施設使用制限→生活環境の悪化<br>②汚水の河川への放流                            | 影響の形態はタイプCと同じ |

るものとし、一般に本復旧より低い水準でよい。

被災調査の方法としては、表－３に示す各種の方法が詳述されているが、このうちヘリコプターや航空写真（斜め写真の方法を実用化した）を用いる調査、ビデオ撮影による調査も新しい有効な方法として推奨している。表－４は調査段階に応じた航空写真等による調査の方法を示している。また地盤調査は一般の調査法のほか、本プロジェクトで開発した振動式貫入試験（バイプロコーン）の地盤液状化判定への利用を促している。

共通編には以上の他、震前対策の十分な検討、情報連絡および広報活動、余震対策、降雨対策、津浪対策等の重要事項が記述されている。

表－３ 震後の各段階ごとの被災調査方法の分類

| 調 査 方 法      | 適 用 性 |      |      |
|--------------|-------|------|------|
|              | 第一段階  | 第二段階 | 第三段階 |
| 目 視 調 査      | ○     |      |      |
| ヘリコプターを用いる調査 | ○     | ○    |      |
| 航空写真を用いる調査   | ○     | ○    |      |
| 写 真 撮 影      | ○     | ○    | ○    |
| ビデオ撮影        | ○     | ○    |      |
| 平面、縦横断測量     |       | ○    | ○    |
| 地 盤 調 査      |       | ○    | ○    |

○非常に有効、○有効

表－４ 調査段階に応じた航空写真等による調査の方法

| 調査方法                                | 調査段階 | 緊 急 調 査               | 応 急 調 査      | 本 復 旧 調 査       |
|-------------------------------------|------|-----------------------|--------------|-----------------|
| 航空機等からの目視、ビデオ画像写真の判読を主体とした方法        | ○    | <---<br>(被災後 1,2 日程度) | --->         |                 |
| 航空写真（垂直、斜め）の判読および簡易な測定を主体とした方法      | ○    | <---                  | (被災後 1 週間程度) | >               |
| 図化機を用いた航空写真（垂直、斜め）の詳細な測定、図化を主体とした方法 | ○    |                       | <---         | ><br>(本復旧の実施まで) |

## 5. 河川・海岸・砂防施設編（Ⅱ編）の概要

### 5.1 概 要

河川・海岸・砂防施設編では、河川管理施設、海岸保全施設、砂防・地すべり防止・急傾斜地崩壊防止施設、及び斜面崩壊の震災復旧について記述しており、次の４章からなる。（ ）内は節のタイトルを示す。

1. 総論（河川・海岸・砂防施設の震災復旧の基本方針，震前対策，河川・海岸・砂防施設の震災復旧の進め方）
2. 河川施設（一般，緊急調査及び緊急措置，被災調査，被災判定，復旧工法）
3. 海岸施設（2.と同じ）
4. 砂防施設及びその他（2.と同じ）

上記の諸施設の震災復旧にあたっては，各施設の被災程度に応じ，施設の速やかな回復を図り，降雨・出水・高潮・波浪・余震等による被害の拡大と災害の発生を防止することを基本方針とする。このために必要となる緊急措置と応急復旧を速やかに行うとともに，再度災害を防止しうる本復旧を行うことが望ましい。

## 5.2 河川・海岸・砂防施設の震災復旧の基本方針

### 5.2.1 復旧の基本方針

#### a) 一般

河川施設，海岸施設，砂防等施設の震災復旧においては各施設の被災の程度に応じ，防災機能の速やかな回復をはかり，降雨・出水・高潮・波浪・余震・危険区域内への立入りに起因する二次災害を防止する。この場合，諸施設の種別，立地条件，被災の程度，施設周辺の地形条件等の変化，季節・気象条件等により，二次災害の形態・可能性は異なるので，諸施設並びに周辺の被災状況を迅速かつ的確に把握し，必要に応じて速やかな緊急措置，応急復旧，さらに本復旧を行う。

#### b) 復旧の優先順位

震災復旧に際しては，二次災害に対する緊急度を考慮して，必要に応じてまず緊急措置・応急復旧を行うものであるが，どの箇所の復旧を優先的に行うかは，施設の重要度や復旧に必要な資機材の入手可能性や工期等も考慮して決定する。

#### c) 復旧の水準

施設の復旧には，緊急措置，応急復旧の各段階がある。

緊急措置では，二次災害の防止に必要な最小限の措置を講ずる。緊急措置は現地踏査を主体とする緊急調査結果に基づいて地震後1日程度で迅速に行うことを原則とする。

応急復旧では，本復旧完了までの間に想定される外力レベルを基本として被災前の機能の応急的な回復をはかる。このとき，管理区域全体の被害の程度や可能な工期を考慮して，妥当な復旧の水準を定める。工期，すなわち，時間的な対応は季節・気象条件により異なるが，通常2週間ないし1ヶ月程度で迅速に行う必要がある。その一方で本復旧で手戻りにならないように適切な工法を選定することが望ましい。被災の小さい箇所では，応急復旧を行わずに本復旧を行うことがある。

本復旧は，被災規模・形態，地盤条件，既往の被災歴等を考慮して，被災箇所ごとに適切な工法

を検討する。この場合、災害復旧においては、諸施設の機能を原形に復旧することを原則とする。既往の被災歴等から見て、原構造に復旧するだけでは、構造物の安定性が十分信頼できない場合には構造改善をはかる。例えば堤防について、押え盛土を行う等の構造改善がこれにあたる。被害の程度が顕著でかつ被災機構が明らかにされ、再度災害を防止するため必要と考えられる場合には、施設の耐震性を向上させた構造で復旧を行う。

### 5.2.2 震前対策

震災復旧を適確・迅速に行うためには、震前に十分対策を立てておくことが重要である。震前対策としては以下の事項につき、検討・準備を行っておくのがよい。

- a) 震災時の組織体制の整備
- b) 震災訓練の実施
- c) 施設の点検、整備
- d) 復旧資機材等の整備
- e) 重要施設の設計図書及び管理図面の整備
- f) 震災業務計画の整備
- g) その他

表-5 被害の発生しやすい箇所（河川施設）

| 河 川 施 設           | 被 害 の 発 生 し や す い 箇 所                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 堤<br>(特殊堤を含む)     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 旧河道上の箇所</li> <li>2. 旧川の締切り箇所</li> <li>3. 破堤実績のある箇所</li> <li>4. 軟弱地盤上の箇所</li> <li>5. 築堤後間もない箇所</li> <li>6. 断面が不規則となっている箇所（取付け道路坂路等の接続部等）</li> <li>7. 樋管等横断工作物の埋設してある箇所</li> <li>8. 漏水のある箇所</li> <li>9. 旧堤への腹付け、養上げ箇所</li> </ol>                                         |
| 護 岸               | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. （「堤防」に該当する箇所）</li> <li>2. 堤防の被害箇所</li> <li>3. 勾配の変化する箇所（法面と天端の接続部等）</li> <li>4. 施工の古い箇所</li> </ol>                                                                                                                                                                     |
| 樋門、樋管、水門、堰、揚排水機場等 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. コンクリートの断面変化部</li> <li>2. コンクリート構造物と鋼構造物の接続部</li> <li>3. 部構造物の溶接部、断面変化部、ボルト接続部</li> <li>4. 目地</li> <li>5. 門柱</li> <li>6. 管理橋の橋脚</li> <li>7. 戸当り</li> <li>8. ゲート</li> <li>9. アンカーボルト</li> <li>10. 翼壁の取付部</li> <li>11. 原動機基礎とポンプの基礎の境界</li> <li>12. 原動機冷却水関連施設</li> </ol> |

表－6 被害の発生しやすい箇所（砂防等施設並びに斜面等）

| 砂 防 等 施 設                                                | 被 害 の 発 生 し や す い 箇 所                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 砂 防 施 設<br>地 す べ り 防 止 施 設<br>急 傾 斜 地 崩 壊 防 止 施 設<br>斜 面 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 施設や斜面に異常・変状の見られる箇所</li> <li>2. 崖錐や崩土の脚部を切取った斜面</li> <li>3. 節理等の発達した岩盤で、かつ弛んでいる急斜面</li> <li>4. 斜面の表面に転石の多い急斜面</li> <li>5. 周辺に湧水の多い急斜面</li> <li>6. 空石積擁壁</li> <li>7. 練りコンクリートブロック積擁壁で裏込コンクリートが薄くかつ、3分の1程度よりも急なもの</li> </ol> |

なかでも、施設の点検、整備は重要である。従来被災事例から見て、表－5、6のような箇所で被害が発生しやすいと考えられる。また、震後すみやかに緊急調査を実施できるよう、また復旧に備えて構造物の位置、履歴、地盤条件等の関係資料を整備しておくことが必要である。

整備が望ましい資料を表－7に示す。

表－7 整備しておくことが望ましい資料

| 河 川 施 設                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 海 岸 施 設                                                                                                                                                                                                                                                          | 砂 防 等 施 設                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・河川管理台帳<br/>平面図（1/2,500程度）</li> <li>・構造物台帳</li> <li>・堤防台帳</li> <li>・堤防現況平面図</li> <li>・土質・地質関係資料</li> <li>・想定氾濫区域図</li> <li>・工事施工記録</li> <li>・維持管理記録</li> <li>・過去の被災記録</li> <li>・定期縦横断面測量図</li> <li>・空中写真</li> <li>・治水地形分類図</li> <li>・土木構造物の震災復旧技術マニュアル</li> <li>・緊急調査時点検箇所並びに点検項目のチェックリスト</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・管内の平面図（1/50,000～1/100,000）</li> <li>・海岸保全区域図（1/50,000）</li> <li>・海岸保全区域台帳</li> <li>・海岸保全施設台帳</li> <li>・過去の被災記録</li> <li>・空中写真</li> <li>・維持管理記録</li> <li>・土木構造物の震災復旧技術マニュアル</li> <li>・緊急調査時点検箇所並びに点検項目のチェックリスト</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・管内の平面図（1/5,000）</li> <li>・管内の地質図</li> <li>・管内の空中写真</li> <li>・管内の崩壊地等調査資料</li> <li>・構造物等の施設台帳</li> <li>・既往履歴調査・維持管理の記録</li> <li>・土木構造物の震災復旧技術マニュアル</li> <li>・緊急調査時点検箇所並びに点検項目のチェックリスト</li> <li>・建設省河川砂防技術基準（案）調査編・計画編・設計編（Ⅰ、Ⅱ）建設省河川局監修 山海堂発行</li> <li>・斜面崩壊防止工事の設計と実例―急傾斜地崩壊防止工事技術指針―（建設省河川局砂防部監修、国土全国治水砂防協会発行）</li> <li>・土石流対策Ⅰマニュアル（案）（建設省河川局砂防部砂防課）</li> <li>・落石対策便覧（国土日本道路協会）</li> </ul> |

### 5.2.3 河川・海岸・砂防施設の震災復旧の進め方

地震が発生し、河川・海岸・砂防等施設に被害が生じた場合には、地震の規模、被害状況に応じて以下の対策を講ずる。

- a) 職員の非常招集
- b) 緊急体制の設置
- c) 緊急調査及び必要に応じて緊急措置の実施

- d) 応急調査及び必要に応じて緊急措置の実施
- e) 本復旧のための調査及び必要に応じて応急復旧の実施
- f) 関係機関との協議
- g) 情報連絡及び広報活動
- h) 水防活動

以下(5.3)、河川施設を例にとり、震災復旧技術を詳しく詳述する。なお、海岸施設、砂防施設等についても同様の記述があるが、ここでは割愛する。

### 5.3 河川施設の震災復旧

#### 5.3.1 被災の特徴

河川施設の地震被害を原因・種類別に見ると、地震動ならびに津波により河川施設自体が被災する場合及び地震後の洪水・高潮等により他へ二次災害が及ぶ場合とがあり、これらの原因等によって被害の形態・規模が異なったものとなる。表-8に既往地震による河川施設の一般的な被害形態を示す。

##### a) 地震動による被害

地震動による被害は、一般に震央に近いほど、また、地盤が軟弱な所あるいは硬軟の差の激しい所で被害が大きくなることが多い。堤防の被害箇所は微地形分類の影響を大きく受け、過去の震害経験から氾濫平野、旧河道・旧落堀、干拓地などに区分される軟弱な地盤上の堤防に多く生じていることが多い。

表-8 既往地震による河川施設の被害形態

| 施設             | 施設の被害                                                         |                      | 他へ与える影響 |
|----------------|---------------------------------------------------------------|----------------------|---------|
|                | 地震前による被害                                                      | 津波による被害              | 二次災害    |
| 堤防(土堤)         | 縦断亀裂、横断亀裂、沈下、陥没、滑動、崩壊、法尻隆起、噴砂                                 | 堤体洗掘                 | 浸水      |
| 特殊堤            | 縦断亀裂、横断亀裂、沈下、陥没、滑動、崩壊、擁壁の傾斜、擁壁の転倒、継目のズレ、継目の開口                 |                      | 〃       |
| 護岸             | 開口、はらみ、滑動、崩壊                                                  | ブロック散乱<br>コンクリート護岸倒壊 | 堤体洗掘    |
| 樋門<br>樋管<br>水門 | 函体・呑口・吐口の亀裂、継手・目地の開き、函体軸線の曲り、函体の閉塞、門柱の亀裂・傾斜、翼壁・胸壁の目地の開き・はらみ出し |                      | 浸水、湛水   |

##### b) 津波による被害

海洋で生じた地震の場合には津波が生ずる可能性があり、津波による被害は海岸施設、さらにそれらによって保護された陸地の人命・人家・財産・諸施設に及びことがある。

c) 洪水・高潮等による二次災害

河川施設に被害が生じた場合、その後に生ずる津波や洪水・高潮等によって越水・没水・氾濫等の二次災害を生ずることがある。又、河口付近のいわゆるゼロメートル地帯においては、洪水・高潮がなくとも、常時の潮位変動により同様の二次災害を生ずる可能性がある。

d) 津波による二次災害

津波が、被災した（または被災していない）護岸、河川堤防を越え没水被害を起こした例は、東南海地震、新潟地震、日本海中部地震等で見られた。

e) 大規模な二次災害

大規模な二次災害の例として、崩壊土砂が河川をせき止め、決壊・洪水に至った善光寺地震の例がある。決壊・洪水には至らなかったが、長野県西部地震において王滝川沿いの大規模土砂崩壊による河道閉塞においても決壊が懸念された。

### 5.3.2 河川施設の緊急調査及び緊急措置

#### (1) 緊急調査の方法

緊急調査は、おおむね1日程度を目標とし、目視、写真撮影を主体とする。管理延長が長い場合、被害が大きく目的地まで到達するのに時間がかかる場合、広範囲に被害が及んでいると想定される場合には、ヘリコプター等の空からの目視、写真撮影も有効である。

#### (2) 緊急調査用の器具・資料・調査項目

緊急調査には、表-9のような調査器具を携帯するとよい。緊急調査には調査器具、調査項目を記したチェックリストを用いるとよい。

表-9 緊急調査用器具・資料

| 資 材 ・ 機 材           |
|---------------------|
| 野帳                  |
| 平面図（1/2,500）        |
| スタッフ                |
| ボール                 |
| コンベックス              |
| 巻尺                  |
| カメラもしくは<br>ボラロイドカメラ |
| フィルム                |
| ストロボ                |
| ホワイトボード（黒板）         |
| 懐中電灯                |
| 無線機（トランシーバー）        |
| ポータブルテープレコーダー       |
| ビデオカメラ              |

#### (3) 緊急調査・措置の分担

緊急調査では、迅速に調査を済ませるため、立入禁止区域の設定等、ごく軽微な作業を除き緊急措置は別作業班によるのがよい。

#### (4) 河川施設の緊急措置

緊急調査により、二次災害の可能性があると判断される場合には、緊急措置として次のことを行う。

(a) 立入禁止のためにバリケード・警告板の設置

b) 土のう積みまたは盛土による堤防高の確保、堤防法面の洗掘防止

c) ビニールシート張りまたは土砂による亀裂部分からの雨水の浸透防止

d) 水防警報の実施

e) 水門、樋門等の門扉の操作による津波の侵入防止

f) 必要なダムの放流操作の協議・要請

g) 報 告

緊急措置のための資財・機材として表-10のようなものがある。なお以下(5.3.3～5.3.6)に、河川施設のうち堤防・護岸の応急復旧と本復旧についてやや詳述する。

表-10 緊急措置のための資材・機材

| 資材・機材 |         |
|-------|---------|
| 土のう袋  | トラロープ   |
| バリケード | ビニールシート |
| 安全標識  | 盛土材料    |
| 石灰    | 石       |
| バケツ   |         |

### 5.3.3 堤防・護岸の応急調査及び応急復旧のための判定

#### (1) 調査箇所

調査箇所は管理区域全体の堤防本体及び護岸を対象として、被災状況の詳細な把握をする。表-8に示した箇所や、堤防に付帯する構造物(樋門、樋管、水門、堰等)と堤防の接する所では、一般に被害が生ずると堤防横断方向の亀裂が生じ二次災害につながる可能性が高いため、調査時には留意が必要である。又、堤防周辺の高水敷及び堤内地についても地盤の被災状況が観察されることがあるので(特に砂質地盤の液状化現象に伴う噴砂・噴水、亀裂等)、概略の調査を行う。堤防周辺地盤に異常が見られた箇所では同箇所の河川施設(特に基礎等の地中部)、について入念なチェックを行うとよい。応急復旧・本復旧が必要と考えられる所については測量等を含む調査を行う。

#### (2) 調査項目

調査項目は、表-11による。

表-11 調 査 項 目

| 施 設        | 現 象                         | 記 録 項 目                  |
|------------|-----------------------------|--------------------------|
| 土 堤        | 縦断亀裂、横断亀裂、沈下、陥没、滑動、崩壊       | 範囲、亀裂幅、亀裂深度、沈下量、段差、被災延長  |
| 特殊堤および護岸   | 亀裂、沈下、陥没、傾斜(前傾)、転倒、継目のズレ、開口 | 亀裂幅、沈下量、段差量、傾斜度、ズレの量、開口幅 |
| 構造物と盛土との境界 | 段差、沈下                       | 範囲、段差量、沈下量、被災延長          |
| 高水敷及び堤内地   | 亀裂、沈下、隆起、噴砂                 | 範囲、亀裂幅、亀裂深度、沈下量、隆起量、噴砂形状 |

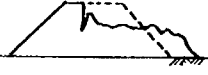
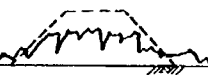
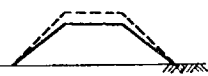
#### (3) 調査方法

a) 測量(縦断測量、横断測量)

b) 現地踏査(写真撮影も含む)

表-12 河川堤防の被災パターン、被害ランク分類

(1) 被災パターン分類表

| 被災パターン | 被災模式図                                                                              | 被害形態                                |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| I型     |   | 法面の流出，崩壊又は亀裂段差の発生が法肩に限られるもの。        |
| II型    |   | 堤体のすべり崩壊又は縦断亀裂，段差の発生が堤体天端中央部まで及ぶもの。 |
| II'型   |   | 堤体に横断亀裂，段差が発生したもの。                  |
| III型   |   | 破壊が基礎地盤に及び盛土形状が原形をとどめないもの。          |
| IV型    |   | 堤体の一様な沈下に伴って，堤体形状をある程度保ちつつ変形したもの。   |
| V型     |  | 構造物背面の堤体盛土が沈下及び亀裂を生じたもの。            |

(2) 被害ランク分類表

| 被災パターン | 被害ランク    | 被害ランク分類表                               |
|--------|----------|----------------------------------------|
| I      | $\beta$  | 亀裂幅15cm以上，又は段差量20cm以上                  |
|        | $\gamma$ | 亀裂幅15cm未満，かつ段差量20cm未満                  |
| II     | $\alpha$ | 亀裂幅30cmをこえ，かつ段差量50cmをこえるもの             |
|        | $\beta$  | 亀裂幅30cm以下，又は段差量50cm以下で， $\gamma$ でないもの |
|        | $\gamma$ | 亀裂幅15cm未満，かつ段差量20cm未満                  |
| II'    | $\alpha$ | 亀裂幅30cmをこえ，かつ段差量50cmをこえるもの             |
|        | $\beta$  | 亀裂幅30cm以下，又は段差量50cm以下で， $\gamma$ でないもの |
|        | $\gamma$ | 亀裂幅15cm未満，かつ段差量20cm未満                  |
| III    | $\alpha$ |                                        |
| IV     | $\alpha$ | 沈下量100cm以上                             |
|        | $\beta$  | 沈下量50cm以上，100cm未満                      |
|        | $\gamma$ | 沈下量50cm未満                              |
| V      | $\alpha$ | 沈下量50cm以上                              |
|        | $\beta$  | 沈下量20cm以上，50cm未満                       |
|        | $\gamma$ | 沈下量20cm未満                              |

c) 地盤調査

d) 航空写真等からの判読・測定

e) 動態観測

(4) 判 定

被災の形態・規模を亀裂・段差の位置・深さ・方向、沈下量・形状等から被災パターン、被害ランクに分類し、被災判定に役立てる。

構造体としての被災度に堤防として要求される止水機能の低下を加味して土堤の被災のパターン、ランクの分類を行ったものとして表-12がある。被災パターンと、被害ランクは被災の形態・規模を表わし、これらを分類することにより、被害の発生機構を推定し、又、堤防としての機能損傷の程度を把握することができ、その後の復旧工法の選定にも役立てることができる。

同表には、被害ランクの目安を $\alpha$ （被害大）、 $\beta$ （被害中）、 $\gamma$ （被害小）によって示している。

5.3.4 堤防・護岸の本復旧のための調査及び判定

(1) 調査箇所

調査する箇所は、本復旧を実施する箇所、被災機構の究明に必要な箇所であるが、応急調査で十分な調査が行われている場合には、それらの成果を活用する。

(2) 調査項目

調査項目は被害形態、本復旧工法の種類により異なるが、本復旧のための調査を必要とするような被害は地盤条件の悪さが原因となっている場合が多いため、軟弱層、液状化層、透水層の層厚・強度等の地盤条件を調査する。

(3) 調査方法

調査方法は地盤調査を主体とした以下の詳細調査を適宜組合せて行う。

a) 既往の土質調査資料の収集・整理

b) サウンディング

c) ボーリング、標準貫入試験、サンプリング（試料採取）

d) 物理探査

e) 現地測定

f) 室内試験

(4) 判 定

応急調査により把握した被災パターン、被害ランク及び本復旧のための調査により明らかにされた被災機構や地盤条件等を被災判定に役立てる。

### 5.3.5 堤防・護岸の応急復旧工法

#### (1) 応旧復旧工法の工種

応旧復旧工法の工種は、表-13から選定し、適宜組合わせて用いる。

#### (2) 応旧復旧工法の選定

被災判定の結果、応急復旧が必要な堤防・護岸については、被災判定結果に、さらに以下の項目を考慮に入れて復旧工法を選定する。

a) 設計条件

b) 施工条件

c) 工期

d) 工費

なお、応急復旧では、出水期かどうかの季節の判断が、工期・数量に与える影響が大きく、出水期であれば、より緊急、確実な工法の選定が必要となる。

表-13 応旧復旧工法の工種

| 主 目 的              | 工 種                                                           |
|--------------------|---------------------------------------------------------------|
| 雨水浸透防止             | 土砂充填・盛土<br>切返し                                                |
| 天 端 高 確 保          | 土砂充填・盛土<br>切返し・盛土<br>土のう積<br>仮締切                              |
| 堤 体 漏 水 防 止        | 土砂充填・盛土<br>土のう積<br>切返し<br>良質土による保護（表のり）<br>止水矢板（表のり、H.W.L.位置） |
| 地 盤 漏 水 防 止        | 止水矢板（表のり尻）                                                    |
| 洗 掘 防 止<br>破損護岸の修繕 | 土のう積<br>目詰めコンクリート                                             |
| 堤体の安定確保            | 土のう積<br>土留矢板<br>押え盛土                                          |
| 特殊堤の亀裂・<br>目 地 ず れ | 土のう積<br>目詰めコンクリート<br>仮締切                                      |

### 5.3.6 堤防・護岸の本復旧工法

#### (1) 本復旧工法の工種

本復旧工法の工種は、表-14から選定し、適宜組合わせて用いる。

表-14 本復旧工法の工種

#### (2) 本復旧工法の選定

被災判定の結果、本復旧が必要な堤防・護岸については、被災判定結果に、さらに以下の項目を考慮に入れて復旧工法を選定する。

a) 設計条件

b) 施工条件

c) 工期

d) 工費

| 主 目 的       | 工 種                   |
|-------------|-----------------------|
| 堤 体 強 度 確 保 | 切返し・盛土                |
| 堤 体 漏 水 防 止 | 切返し・盛土                |
| 地 盤 漏 水 防 止 | 止水矢板                  |
| 洗 掘 防 止     | 護岸工                   |
| 堤体の安定確保     | 押え盛土・地盤改良             |
| 特殊堤の安全確保    | 擁壁再施工<br>擁壁補強<br>擁壁補修 |

堤防を開削する場合には本体工事に加えて仮締切工の検討が必要となる。工法の選定にあたっては水理条件、本体工事の規模、季節、工期等を十分把握し、外水に対して安全かつ経済的な工法を選定しなければならない。

## 6. 道路施設編（Ⅱ編）の概要

### 6.1 道路施設の復旧の進め方

道路は、震後における社会全体の復旧活動、民生の安定などに与える影響が大きいため、道路施設の被災状況を迅速かつ適格に把握して、速やかな復旧を行うことが重要である。この際、路線の重要性、代替道路の有無、道路及び沿道施設の被害の状況、震後の交通状況などを総合的に判断して復旧を行う。被害箇所及び被害程度が大きく、同時復旧できない場合には、復旧に優先順位を設け、優先度の高いものから順に復旧していく。

表-15 緊急調査の主要な項目

| 対 象 施 設         |         |                                                           | 調 査 項 目                                  |
|-----------------|---------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 道路構造物<br>本体     | 道路      | 平 坦 道 路                                                   | 大きな路面陥没、亀裂、路上障害物                         |
|                 |         | 低盛土～高盛土                                                   | 大きな路面陥没、路体沈下、流失                          |
|                 |         | 斜 面<br>切 土 の り 面                                          | 大規模斜面崩壊、大きな落石<br>大きな路面欠壊                 |
|                 | 橋梁      | 全 体                                                       | 落橋                                       |
|                 |         | 橋 面                                                       | 高欄、地覆のずれまたは折れ角、蛇行                        |
|                 |         |                                                           | 縦断線形の折れ角                                 |
|                 |         |                                                           | 伸縮部のひらき・盛り上がり、段差                         |
|                 | 橋梁側面    | 上 部 工                                                     | 不連続な（折れ）たわみ                              |
|                 |         | 下 部 工                                                     | 沈下、傾斜、大きなひびわれ、コンクリート剝離                   |
|                 | ト ン ネ ル |                                                           | 坑口周辺の大崩壊、覆工の大規模な崩落                       |
| 共 同 溝           |         | 路面上への突出（地上からのパトロール）、本体の大破損（共同溝内からの調査の場合、収容物件については、管理者の責任） |                                          |
| カルバート<br>地下横断歩道 |         | 大きな路面陥没                                                   |                                          |
| 横断歩道橋           |         | 落橋、橋脚の大破損                                                 |                                          |
| 道路構造物<br>本体以外   | 沿 道 施 設 |                                                           | 道路上への建築物等の大きな倒壊<br>道路施設の被害が重大な影響を与えていないか |
|                 | 占 用 施 設 |                                                           | 道路機能に大きな影響を与えていないか                       |
|                 | そ の 他   |                                                           | 大規模な浸水、津波の有無<br>大規模な火災の有無<br>車両滞留状況      |

## 6.2 緊急調査及び緊急装置

緊急調査では目視調査を基本として、①道路が通れるかどうか、②重要施設の重大な被害状況の概略把握、③二次災害の危険性について把握する。緊急調査は一般に表-15に示す項目を中心とし以下の点に留意して実施する。

- ① 小さな被害及びその対応に目を奪われない。
- ② 全体把握に全力を尽くす。
- ③ 調査範囲を分割して調査する。
- ④ 往路は調査区間をとにかく見てまわることに全力を尽くし、復路は必要に応じて緊急措置を行う。

緊急調査により、大きな二次災害につながる危険性があると認められる場合においては交通の危険または周辺地域への拡大を防止するため、区間を定めて図-2のフローにしたがって緊急措置を行う。

以下(6.3)に道路橋の震災復旧についてやや詳しく記述する。なお、道路盛土、斜面・切土のり面、トンネル等について同様の記述があるがここでは割愛する。

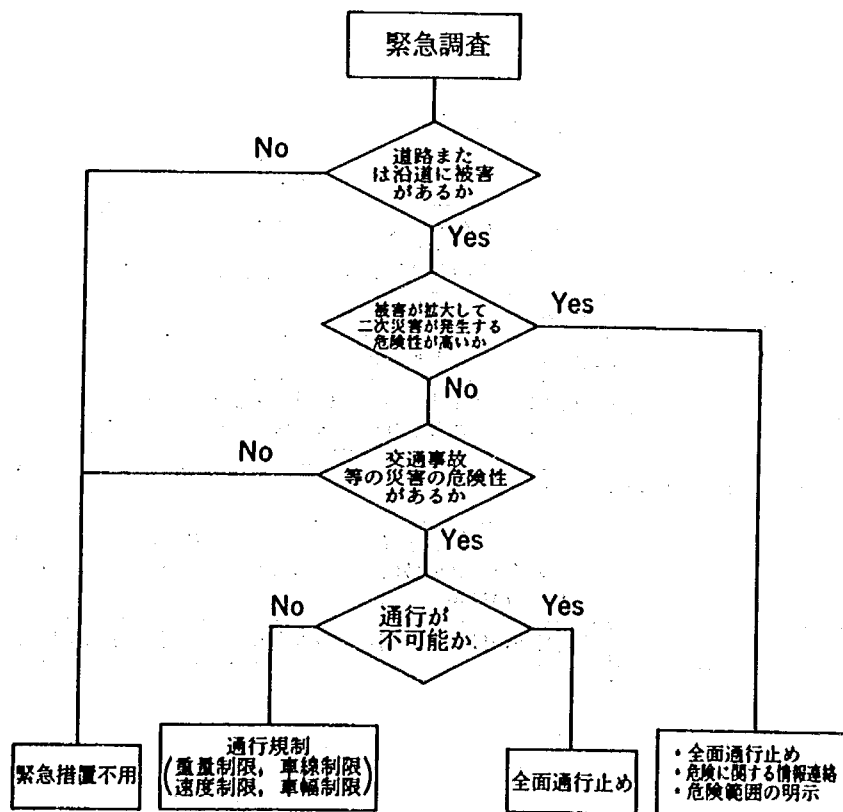


図-2 道路施設における緊急措置の流れ

### 6.3 道路橋の震災復旧

#### 6.3.1 被災調査

##### (1) 応急調査

応急調査は緊急調査で被害が発見された箇所を中心に落橋の可能性のある橋、著しい被害の進行の認められる橋の発見を基本として被害状況（全体的な被害状況を含む）を把握するために行う。応急調査では橋脚、省座コンクリート及び上部構造一次部材の破壊の有無を先行的に調査し、その後、基礎、下部構造、上部構造（特に支点上）、支承周辺について詳細な調査を行う。表-16に構造別に調査すべき項目を示す。

R C橋脚では、損傷の位置が損傷程度とともに重要となるため、損傷の位置や高さとの比等を調査する。

##### (2) 本復旧のための調査

本復旧のための調査は、長期的に橋の機能及び耐荷力を保持するために本復旧が必要とされるか否か、また、工法選定のための調査であるが、調査項目は応急調査と同様である。

ただし、本復旧段階では必要に応じて詳細な地盤調査を行う。表-17に本復旧のための調査項目を示す。

表-16 応急調査における調査項目

| 対 象   |               | 調 査 項 目                                                                  |
|-------|---------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 基 礎   |               | 目視によりわかる程度の明らかな残留変位及び傾斜                                                  |
| 橋 脚   | 鉄筋コンクリート橋脚    | コンクリートのひび割れ及び剥離、鉄筋の座屈及び破断                                                |
|       | 鋼 製 橋 脚       | 鋼板のふくらみ及びへこみ、溶接部の局所的盛り上がり・変形・破断                                          |
| 橋 台   |               | 鉄筋コンクリート橋脚に準じる                                                           |
| 上部構造  | 鋼 橋           | 耐荷力に直接影響する一次部材の座屈・変形・破断<br>耐荷力に直接影響しない二次部材の座屈・変形・破断                      |
|       | コ ン ク リ ー ト 橋 | コンクリートのひび割れ・剥離、橋軸方向の鉄筋もしくはP C鋼棒の破断                                       |
| 支 承   |               | セットボルトの破断（特に、ボス部も同時に破壊しているような場合）、サイドブロックの破断、ピンの破断、アンカーボルトの破断、省座コンクリートの破壊 |
| そ の 他 |               | 伸縮装置の段差・目閉じ・目開き量、取り付け盛土の沈下、高欄の損傷                                         |

表－17 本復旧のための調査項目

| 被災位置  | 調 査 項 目                                                                                                                                                                                                                   |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 基 礎   | ① 残留移動が生じている可能性がある場合には、上部構造に生じる不静定力の解析、及び基礎の移動原因の解明を行うための資料とするため、橋脚及び橋台の天端位置における水準測量を行い、残留移動量を明確にする必要がある。<br>② 基礎の残留移動が地震後も進行する可能性がある場合には、継続して移動量を計測する。<br>③ 基礎の残留移動が著しい場合には周辺地盤を削削した上で、被災原因を検討する。<br>④ 基礎周辺に洗掘がないかを調査する。 |
| 橋 脚   | 応急調査で著しい損傷が認められた橋脚及びこれに近接した橋脚については、土中に埋まっている橋脚部分についても、損傷が生じていないかを調査する。                                                                                                                                                    |
| 橋 台   | 橋台のバラベットと上部構造の接触、橋台と上部構造の衝突によるバラベット基部のひび割れ・破損及びウイングの損傷に着目して調査を行う。                                                                                                                                                         |
| 上部構造  | 基礎、橋脚に、残留移動が生じている場合にはこれによる影響を調査する。                                                                                                                                                                                        |
| 支 承 部 | 上部構造もしくは下部構造の移動による支承の移動制限装置の余裕不足、沓座モルタルの剥離による下沓の遊び、ダンパー支承を使用している場合には、ダンパーの機能は正常かに着目して調査する。                                                                                                                                |
| 伸縮装置  | 遊間は適切か、また、目地材の脱落、フェースプレート、ジョイントゴム、アンカーコンクリートの損傷等がないかを調査する。                                                                                                                                                                |

### 6.3.2 被災判定

#### (1) 応急復旧のための判定

応急調査の結果に基づいて応急復旧段階では耐荷力に関する被災度及び走行の安全性に関する被災度を判定する。耐荷力に関する被災度及び走行性に関する被災度判定の目安を表－18に示す。

表－18 被災度及び応急復旧の目安

|             | 被災度 | 被災<br>ランク | 被災状況                                              | 緊急措置   | 応急復旧の目安                |
|-------------|-----|-----------|---------------------------------------------------|--------|------------------------|
| 耐<br>荷<br>力 | A   | 被害無し      | 耐荷力に関して特に異常が認められない                                | 必要無し   | 必要無し                   |
|             | B   | 小被害       | 短期的には耐荷力の低下に影響がない                                 | 注意走行表示 | 必要無し                   |
|             | C   | 中被害       | 耐荷力低下に影響のある損傷であるが、余震あるいは活荷重等による被害の進行がなければ当面の利用が可能 | 通行規制   | 必要に応じて損傷防止のための応急復旧を実施  |
|             | D   | 大被害       | 耐荷力の低下に著しい影響のある損傷を生じており、落橋等致命的な被害の可能性がある          | 全面通行止  | 必要に応じて落橋防止対策を実施        |
|             | E   | 落橋        | 上部構造の一部あるいは全径間が落橋                                 | 全面通行止  | 必要に応じて仮橋設置             |
| 走<br>行<br>性 | a   | 被害無し      | 走行性に関して特に異常が認められない                                | 必要無し   | 必要無し                   |
|             | b   | 通行注意      | 異常は認められるが、走行できる                                   | 通行規制   | 必要に応じて走行性確保のための応急復旧実施  |
|             | c   | 通行不可      | 走行できない                                            | 全面通行止  | 必要に応じて走行性確保のための応急復旧を実施 |

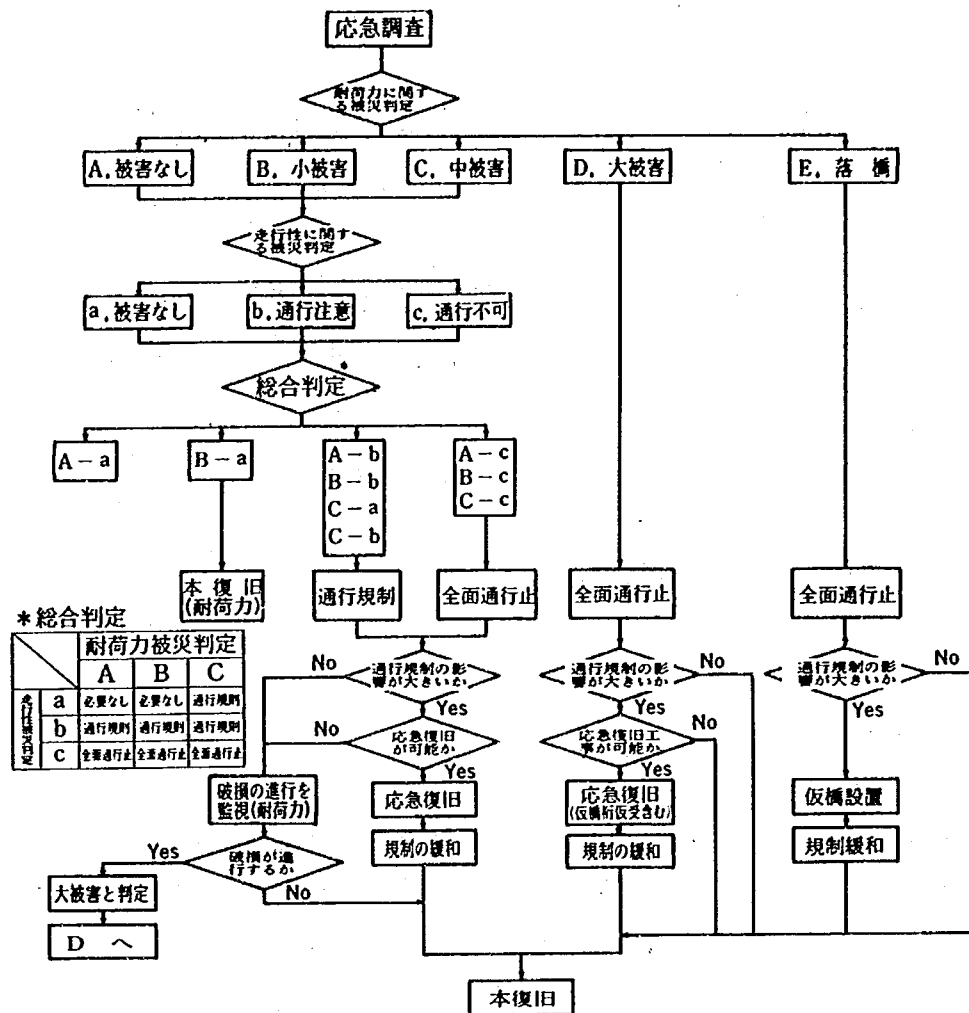


図-3 応急復旧のための判定手順

被災度を判定した後の通行規制及び応急復旧の手順は一般に図-3に示すようになる。

以下に被災度の判定方法を示す。

a) 基礎

基礎部分の被害は一般には掘削しないと発見できない場合が多い。しかしながら、既往の地震被害では、基礎に大被害が生じた場合には、その影響で橋脚、上部構造等に大きな変状が生じる場合が多いので、橋脚、上部構造等に大きな変状が生じていない場合には、応急復旧のための判定段階ではA(被害無し)もしくはB(小被害)と判定してよい。

b) 鉄筋コンクリート橋脚

単柱の鉄筋コンクリート橋脚の被災度は、被災の発生している部所に応じて図-4~6による。同じような破損状況に見えても被害の発生部所によっては被災度が異なるため、コンクリートのひ

び割れ、剥離等が生じている位置に注意する必要がある。

### c) 鋼製橋脚

R C 橋脚と同様の図が示されている。

| 観測される損傷                                                                   |                                             |             | ① 水平ひびわれのみ                        | ② 斜めひびわれ<br>(貫通せず)                | ③ 斜めひびわれ貫通 | ④ かぶりコンクリート<br>はく離 | ⑤ 鉄筋はらみ出し | ⑥ 軸方向鉄筋断<br>れおよび軋み傾斜 |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------|--------------------|-----------|----------------------|
| 損<br>傷<br>状<br>況                                                          | 通<br>常<br>の<br>場<br>合<br><br>$P \geq 0.5\%$ | 側<br>面<br>図 |                                   |                                   |            |                    |           |                      |
|                                                                           |                                             | 正<br>面<br>図 |                                   |                                   |            |                    |           |                      |
|                                                                           | 軸方向鉄筋比小の場合<br>$P < 0.5\%$                   | 側<br>面<br>図 |                                   |                                   |            |                    |           |                      |
|                                                                           |                                             | 正<br>面<br>図 |                                   |                                   |            |                    |           |                      |
| 災 害 度                                                                     |                                             |             | B：小被害                             | B：小被害                             | B：小被害      | C：中被害              | C：中被害     | D：大被害                |
| 残 留 強 度                                                                   |                                             |             | $P_u$<br>( $1.1P_y \sim 1.3P_y$ ) | $P_u$<br>( $1.1P_y \sim 1.3P_y$ ) | $1.1P_y$   | $1.0P_y$           | $P_y$ 以下  | $P_y$ 以下             |
| 残留変形性能<br>$\frac{\delta u - \delta}{\delta u - \delta_y} \times 100 (\%)$ |                                             |             | 70%                               | 50%                               | 30%        | 10%                | 0%        | 0%                   |

$P_y$ :降伏耐力  $P_u$ :終局耐力  $\delta_y$ :降伏変位  $\delta_u$ :終局変位  $\delta$ :最大履歴変位

図-4 R C 橋脚基部に損傷が生じている場合の被災判定表

| 観測される損傷                                                                   |             | ① 水平ひびわれのみ                         | ② 斜めひびわれ<br>( $D/2$ 以下)            | ③ 斜めひびわれ<br>( $D/2$ 以上) | ④ 斜めひびわれ貫通<br>(斜めひびわれ連続) | ⑤ かぶりコンクリート<br>はく離 | ⑥ 鉄筋はらみ出し |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|-----------|
| 損<br>傷<br>状<br>況                                                          | 側<br>面<br>図 |                                    |                                    |                         |                          |                    |           |
|                                                                           | 正<br>面<br>図 |                                    |                                    |                         |                          |                    |           |
| 被災度                                                                       |             | B:小被害                              | B:小被害                              | B:小被害                   | C:中被害                    | C:中被害              | D:大被害     |
| 残留強度                                                                      |             | $P_u$<br>( $1.05P_y \sim 1.1P_y$ ) | $P_u$<br>( $1.05P_y \sim 1.1P_y$ ) | $1.0P_y$                | $1.0P_y$                 | $P_y$ 以下           | $P_y$ 以下  |
| 残留変形性能<br>$\frac{\delta u - \delta}{\delta u - \delta_y} \times 100 (\%)$ |             | 100%                               | 70%                                | 40%                     | 10%                      | 0%                 | 0%        |

$P_y$ :降伏耐力  $P_u$ :終局耐力  $\delta_y$ :降伏変位  $\delta_u$ :終局変位  $\delta$ :最大履歴変位

図-5 R C 橋脚軸方向鉄筋段落し部に損傷が生じている場合の被災判定表

| 観測される損傷                                                                 |     | ① 水平ひびわれのみ | ② 斜めひびわれ(貫通せず) | ③ 斜めひびわれ貫通<br>(ひびわれ幅 $W < 0.5\text{mm}$ ) | ④ 斜めひびわれ幅<br>$0.5\text{mm} \leq W < 2\text{mm}$ | ⑤ 斜めひびわれ幅 $W \geq 2\text{mm}$<br>コンクリートはく離・はく離 |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|------------|----------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 損傷状況                                                                    | 側面図 |            |                |                                           |                                                 |                                                |
|                                                                         | 正面図 |            |                |                                           |                                                 |                                                |
| 被災度                                                                     |     | B:小被害      | C:中被害          | C:中被害                                     | C:中被害                                           | D:大被害                                          |
| 残留強度                                                                    |     | $P_u$      | $P_u$          | $P_u$                                     | $P_y$ 程度                                        | $P_y$ 以下                                       |
| 残留変形性能<br>$\frac{\delta u - \delta}{\delta u - \delta} \times 100 (\%)$ |     | 100%       | 100%           | 50~100%                                   | 0~50%                                           | 0%                                             |

$P_y$ :降伏耐力  $P_u$ :終局耐力  $\delta_u$ :降伏変位  $\delta$ :終局変位  $\delta$ :最大履歴変位

図-6 RC橋脚のせん断による損傷が生じている場合の被災判定表

|         |                  | B:小被害 | C:中被害 | D:大被害 |
|---------|------------------|-------|-------|-------|
| コンクリート橋 | 橋脚               |       |       |       |
|         | 橋台               |       |       |       |
| 鋼橋      | 支<br>承<br>周<br>辺 |       |       |       |
|         | 版                |       |       |       |
|         | ト<br>ラ<br>ス      |       |       |       |

図-7 上部構造の被災判定表

#### d) 橋 台

橋台の被災判定は橋脚の被災判定に準ずるものとする。ただし、パラペット及びウィングのひび割れ等の損傷はB(小被害)と判定する。

#### e) コンクリート橋、f) 鋼 橋

図-7に従って、コンクリート橋及び鋼橋の上部構造の被災程度を判定する。

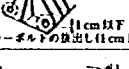
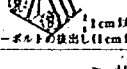
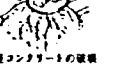
|                  | B:小被害                                                                                                                                                                                              | C:中被害                                                                                                                                                                                                   | D:大被害                                                                                                           |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 上着・下着の持物部        | <br>上着の裏面<br><br>下着の裏面・破断        |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                 |
| セットボルト           | <br>セットボルトの破断                                                                                                     | <br>セットボルトの破断                                                                                                          | <br>セットボルトの破断やソールプレート、ボス部の破断 |
| ローラー             | <br>ローラーの抜け出し                                                                                                     | <br>ローラーの抜け出し                                                                                                          |                                                                                                                 |
| ピン及びピンキャップ       | <br>ピンキャップの抜け出し                                                                                                   | <br>ピンの破断                                                                                                              |                                                                                                                 |
| 上着ストッパー          | <br>上着ストッパーの破断                                                                                                    | <br>上着ストッパーの破断                                                                                                         |                                                                                                                 |
| サイドブロック          | <br>サイドブロックの裏面<br><br>下着ストッパーの破断 | <br>サイドブロック止めボルトの破断<br><br>上着ストッパーの破断 |                                                                                                                 |
| アンカーボルト          | <br>アンカーボルトの抜け出し(1cm以下)<br>アンカーボルトの抜け出し(1cm以下)                                                                    | <br>アンカーボルトの抜け出し(1cm以上)<br>アンカーボルトの抜け出し(1cm以上)                                                                         | <br>アンカーボルトの破断               |
| 倉庫モルタル及び倉庫コンクリート | <br>倉庫モルタルの亀裂<br><br>倉庫コンクリートの亀裂 | <br>倉庫モルタルの破断<br><br>倉庫コンクリートの破断      | <br>倉庫コンクリートの破断              |

図-8 支承部の被災判定表

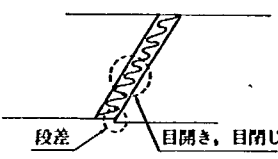
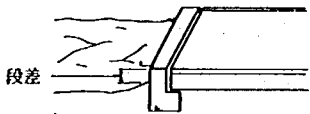
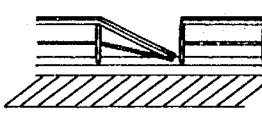
|      | 被 害                                                                                                  | 判 定                                                        |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 伸縮継手 | <br>段差<br>目開き、目閉じ | 伸縮継手の遮断量、段差量に着目し、通行車輛の走行性を考慮して<br>b: 通行注意あるいはc: 通行止めと判定する。 |
| 取付盛土 | <br>段差            | 取付盛土の沈下量に着目し、通行車輛の走行性を考慮してb: 通行<br>注意あるいはc: 通行止めと判定する。     |
| 高 欄  |                   | 歩行者の安全性を考慮して、b: 通行注意あるいはc: 通行止めと<br>判定する。                  |

図-9 走行性の被災判定表

g) 支 承 部

支承部の各部の被災状況に応じ、図－8のように判定する

h) 走 行 性

伸縮装置の損傷、目開きあるいは段差、取付盛土の段差及び高欄の損傷等がある場合には、図－9に従って被災度を判定する。

(2) 本復旧のための判定

本復旧のための調査に基づき、本復旧段階では当該橋の設計に準拠した設計基準等により各部の変位、変形、及び応力度の照査を行い、地震後の長期的な橋の機能を基本として被災度を4ランクに判定する。判定された被災度に応じて、原型復旧、構造変更、耐力改善、架替新設の中から適切に本復旧工法を選定する。補修することが技術的、経済的に困難な場合には、架替新設により本復旧を行い、もとの構造系に戻して復旧することが困難な場合には、構造変更により本復旧を行なう。

また、当該地震以前にも同じ箇所被災した履歴があり、損傷が蓄積される可能性がある場合には耐力改善により本復旧を行う。表－19に被災度の判定及び本復旧工法の選定の目安を示す。

ただし、これらの判定はあくまでも一般的な本復旧の考え方を示したものであり、被災の規模・程度・重要度・将来計画等を勘案して総合的に判定することが重要である。

表－19 被災度の判定及び本復旧工法の選定

| 被災度 |      | 被災状況                                  | 本復旧工法     |
|-----|------|---------------------------------------|-----------|
| A   | 被害なし | 特に異常が認められないか、もしくは、永久構造物として問題がないと判断される | 本復旧不要     |
| B   | 小被害  | 耐力等に影響のない損傷                           | 原型復旧、構造変更 |
| C   | 中被害  | 耐力等に影響のある損傷                           | 原型復旧、構造変更 |
| D   | 大被害  | 耐力等に著しい影響のある損傷                        | 耐力改善、構造変更 |

6.3.3 応急復旧工法

応急復旧のための判定において、耐力力がC（中被害）、及び、D（大被害）と判定された場合、及び、走行性がb（通行注意）及びc（通行不可）と判定された場合には、それぞれ損傷進行防止のため、並びに通行車輛、歩行者の安全性確保のために表－20に示す応急復旧を行う。図－10及び図11にそれぞれ簡易な落橋防止措置及び橋面覆工の例を示す。また、落橋した場合には全面通行止の影響の大きさを考慮し、必要に応じて仮橋設置による応急復旧を行う。

表-20 損傷の進行防止及び走行性確保のための応急復旧工法

| 目的      | 応急復旧工法                              | 説 明                                                                                                                                                       |
|---------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 損傷の進行防止 | 樹 脂 注 入                             | コンクリート部材のひび割れに対しても樹脂を注入し損傷の進行防止を図る。                                                                                                                       |
|         | 変 形 修 正<br>補 強 材 添 接<br>代 替 部 材 設 置 | 鋼部材の破損もしくは変形がある場合に、変形の修正、補強材添接、もしくは代替部材の設置を行って、損傷の進行を防止するとともに、耐荷力の回復等を行う。ただし溶接施工による場合、溶接結果は作業環境に大きく左右されるので、あらかじめ継手形状、溶接姿勢、溶接棒、溶接条件、現場の作業環境などを考慮しておく必要がある。 |
|         | 簡 易 な<br>落 橋 防 止 装 置                | 桁移動が生じたり、支承もしくは沓座コンクリートに損傷が生じて落橋の危険性がある場合に、落橋防止装置等を設置して落橋の危険性を回避する。                                                                                       |
|         | 桁 仮 受                               | 下部構造に耐荷力の低下につながるような損傷もしくは残留変位がある場合、上部構造に耐荷力の低下につながるような損傷、桁移動もしくは支点沈下がある場合、及び支承もしくは沓座コンクリートに余震等により落橋につながるような損傷がある場合に、支保工、ジャッキ等により上部構造を支持する。                |
| 走行性の確保  | 橋 面 覆 工                             | 路面段差、伸縮装置の過大な目開きもしくは破損がある場合に、覆工板設置、アスファルトすり付け、鋼板溶接（鋼製伸縮装置）等により路面修復を行って通行車両の安全性を確保する。                                                                      |
|         | 段 差 修 正                             | 支承の破損（ローラーの抜けだし等）により、路面段差が生じた場合は、ジャッキ等により桁仮受を行って段差修復を行ない、走行性を確保する。取り付け盛土が沈下した場合には、土砂充填により復旧を行う。                                                           |
|         | 高 欄 修 復                             | 高欄の抜け出しがある場合に、単管パイプ等を設置して高欄を修復する。                                                                                                                         |

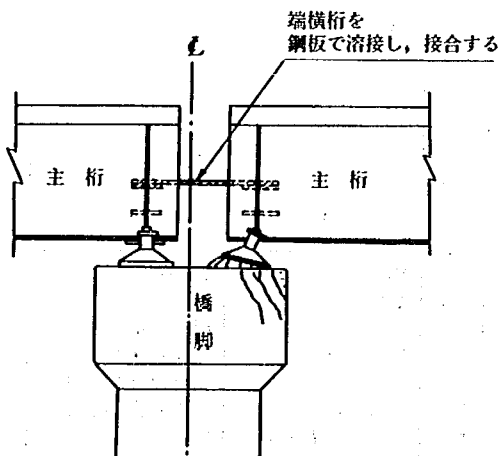


図-10 簡易な落橋防止装置

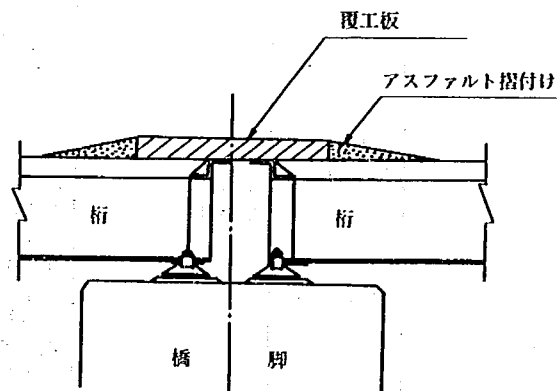


図-11 橋面覆工

#### 6.3.4 本復旧工法

本復旧のための判定に基づいて工期、工費、施工性、資機材の確保条件、景観及び周辺地域の対策状況を総合的に考慮して適正な本復旧工法を選定する。また、本復旧において構造変更もしくは耐力改善を図る場合には、この影響が全体の構造系にどのような影響を与えるかを検討しておくことが必要である。以下に、構造別に本復旧工法について示す。

### (1) 基 礎

基礎が被害を受けた場合には、基礎損傷部の補修、杭あるいはフーチングの増設、地中連続壁あるいは地中連続梁の設置、鋼矢板による締め切り、グラウト注入等による地盤改良、アースアンカーの設置、基礎周辺の根固め、及び取替等により本復旧を行う。

### (2) R C 橋脚

R C 橋脚の本復旧工法では損傷状況と被災度に応じて、表-21に従い適切な工法を選定する。ただし、現状では樹脂注入、及びR C 巻立て以外の補修工法は実験的な検討事例が少ないため、実施にあたっては他の実施例などを含めて、十分検討した上で採用するのがよい。

表-21 R C 橋脚の本復旧工法 (図4～6参照)

| 被災の程度<br>損傷状況    |           | 小 被 害 |                                                                   | 中 被 害                                          | 大 被 害                                       |
|------------------|-----------|-------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 基部の損傷            | 図4に示される損傷 | ① ② ③ | ④                                                                 | ⑤ ⑤                                            | ⑥                                           |
|                  | 復旧工法      | 樹脂注入  | RC巻立て<br>モルタル・コンクリート吹付け*<br>鋼板巻立て*                                | RC巻立て<br>モルタル・コンクリート吹付け*<br>鋼板巻立て*             | RC巻立て<br>取替え                                |
| 軸方向鉄筋<br>段落し部の損傷 | 図5に示される損傷 | ① ②   | ③ ④                                                               | ⑤                                              | ⑥                                           |
|                  | 復旧工法      | 樹脂注入  | RC巻立て<br>モルタル・コンクリート吹付け*<br>袖壁増設*<br>鋼板巻立て*<br>帯鋼板接着*             | RC巻立て                                          | RC巻立て<br>取替え                                |
| せん断による損傷         | 図6に示される損傷 | ① ②   | ③                                                                 | ④                                              | ⑤                                           |
|                  | 復旧工法      | 樹脂注入  | RC巻立て<br>モルタル・コンクリート吹付け*<br>袖壁増設*<br>帯鋼板接着*<br>鉄筋アンカー*<br>ストレス導入* | RC巻立て<br>鋼板巻立て*<br>耐震壁増設<br>ラーメンの場合で他の工法と組合わせる | RC巻立て<br>耐震壁増設<br>ラーメンの場合で他の工法と組合わせる<br>取替え |

注：\*の工法は実験例が少なく、実施するにあたり検討を要する。

### (3) 鋼製橋脚

地震による鋼製橋脚の被災及び復旧例は現在のところ無いため、工法とし考えられるものをあげた。したがって、実施に際しては、被災部分の状況を十分勘案の上、工法を選定することが重要である。表-22に鋼製橋脚の本復旧として考えられるものを示す。

#### (4) 橋 台

躯体の被害については R C 橋脚に準じて本復旧を行う。

#### (5) 上部構造

上部構造の本復旧としては、表-23に示すように上部構造本体の損傷に対する復旧及び主桁の移動、沈下に対する復旧がある。

#### (6) 支 承 部

支承の被害に対しては、沓本体、ソールプレートの変形・破損に対する復旧、移動制限装置の変形・破損に対する復旧、アンカーボルトの抜けだし・変形・破断に対する復旧、セットボルトのゆるみ・破断に対する復旧、ピンキャップの抜けだし、ピンの破断に対する復旧、ローラー、ロッカーの逸脱に対する復旧、浮き上がり防止装置の変形・破損に対する復旧を行う。沓座モルタルの被害に対しては、樹脂注入、モルタル打ち直し等の本復旧を行う。沓座コンクリートの被害に対しては、樹脂注入、R C 巻立て、鋼板接着から適切な工法を選定して本復旧を行う。また、ダンパー等にその機能を損なうような損傷などが生じた場合、補修もしくは取り替えを行って復旧する。

表-22 鋼製橋脚の本復旧

|                 |                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| コンクリート<br>中 詰 め | コンクリートの中詰めが可能であり、また、鋼製橋脚に破断が生じていないような場合には鋼製橋脚が中詰めコンクリートを拘束すると同時に、中詰めコンクリートが鋼製橋脚の変形・局部座屈の進行を防止する役目を持つことから、両者の共同作用により耐荷力及びねばりの向上が期待できる。ただし、橋脚の重量が大きく増加する場合には、基礎に対する荷重増加の影響を検討し、必要な場合には基礎の補強等も行っておかなければならない。 |
| 補剛材(鋼板)<br>添 接  | 桁仮受等をしないで軸力が入った状態で、補剛材を添接する場合には溶接に伴う熱応力により悪影響を及ぼさないように配慮することが重要である。                                                                                                                                       |
| R C 巻 立 て       | 鋼製橋脚と巻立てたコンクリートの共同作用を生じさせるために、スタッドを打つ等の対策を検討しておくのがよい。ただし、橋脚重量が大幅に増加した場合の基礎に対する配慮は、中詰めコンクリート工法の場合と同じである。                                                                                                   |

表-23 上部構造の本復旧

|                                 |         |                                                 |
|---------------------------------|---------|-------------------------------------------------|
| 上部構造の損傷に対する復旧                   | コンクリート橋 | 樹脂注入、パテ補修、樹脂モルタル、樹脂コンクリート補修、R C 巻立て、鋼板接着、かけ替え   |
|                                 | 鋼 橋     | 変形修正、補強材添接、部材取り替え、リベット・ボルト取り替え、かけ替え             |
| 主 桁 の 移 動 , 支 点 沈 下 に 対 す る 復 旧 |         | 桁位置修正、沓座拡張、桁端切断、支承位置変更、支承形状変更、支承取り替え、支承高修正、かけ替え |

## 7. 下水道管路施設編（Ⅳ編）の概要

### 7.1 概 要

下水道施設は、管路施設のみならず、処理場の機械施設、電気施設、建築施設などを含む多くの施設から構成されている。これらのうち、ポンプ場などの拠点施設は大部分が地上にあり、地震被害の調査や復旧は比較的容易である。これらに反して地中に埋設されている管路施設は広い範囲にわたって設置された延長の長い線状の施設であるため、一般に地震による地盤変状の影響を直接受け易く、また、いったん震害を生じた場合には被害箇所や被害程度の発見、ならびに機能の復旧は容易ではない。

このため、ここでは地中に埋設された下水道“管路施設”を主たる対象として震災復旧に用いられる技術を取りまとめている。

我国の下水道施設普及の歴史が浅いため、大都市の規模の大きい下水道施設が大地震による被害を被った事例は少ないが、新潟地震（昭和39年6月）以降何回かの地震によって人口数万～数10万人程度の都市の下水道施設が震災を受けている。この編では、これらの震災のうち主として宮城県沖地震（ $M=7.4$ ，昭和53年）、日本海中部地震（ $M=7.7$ ，昭和58年）の経験を参考として下水道管路の復旧技術を示す。

### 7.2 総 論

#### 7.2.1 下水道施設の被害事例

下水道管路施設の震害事例は多くはないが、被害の概要を表-24に示す。下水道管路施設の被害の特徴としては、都市全域にわたり同時に被害が発生すること、地盤の液状化の発生の有無により大きく被害の形態・程度が変化することがあげられる。

地盤の液状化が発生した場合には、新潟地震で見られたようにマンホールや管路全体が完全に路面に浮き上る被害、日本海中部地震の場合のように目地から流入した土砂により管路が完全に閉塞する被害が発生している。

また、自家発電装置に冷却水を供給していた水道が被害を受けることにより、ポンプ場の運転が停止するといった事態が発生しており、下水道施設の耐震性を検討する際に注意を要する。

下水道管路施設の被害例として管体および目地の被害事例を図-12、マンホールの被害例を図-13に示す。管体で被害が発生しやすい箇所としてはマンホールへの取付け部や取り付け管の接続する管体等他構造物との接続部、他の埋設物との交差箇所、基礎構造あるいは支持条件の変化する箇所があげられる。この様な箇所では、縦断亀裂、横断亀裂あるいは破壊に至るような重大な被害が発生することがある。

表-24 下水道施設が被害を受けた主な地震と被害の概要

| 地震名<br>M, 年月日                         | 被害施設地                       | 気象庁震度階      | 下水道施設被害                                                                  |                                                        |
|---------------------------------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                                       |                             |             | 管路施設                                                                     | ポンプ場・処理場                                               |
| 関東地震<br>M=7.9<br>1923. 9. 1           | 東京                          | VI          | 他埋設管と比べて比較的被害軽微<br>総延長180kmのうち、被害約250箇所、<br>山手と下町の境界付近で被害発生              | 処理場に若干の損害あるものの汚<br>水処理に影響なし                            |
| 新潟地震<br>M=7.5<br>1984. 6.16           | 新潟市                         | V           | 液状化による被害大<br>浮上り、管マンホールの衝突、離脱、<br>亀裂、蛇行等管きよ延長35kmの70%被<br>害、金額的被害率90%    | 液状化による沈砂池、ポンプ井の<br>浮上15箇所中11箇所被害、うち8箇<br>所機能停止（構造的被害大） |
| 十勝沖地震<br>M=7.9<br>1968. 5.16          | 函館市                         | V           | 埋立地において液状化による被害<br>(管きよの浮上等)                                             | 施設なし                                                   |
|                                       | 室蘭市                         | IV          | 総延長5.5kmの内、軟弱地盤中に埋設<br>された管きよが750mにわたり沈下                                 | 2箇所のポンプ場が軽微被害                                          |
| 宮城県沖地震<br>M=7.4<br>1978. 6.12         | 仙台市                         | V           | 軟弱地盤地域、宅造地で被害、いず<br>れも流下に支障なし、総延長約690kmの<br>内、供用枝線の被害約630m<br>(未供用幹線被害大) | 主なポンプ場11箇所のうち、9箇<br>所が停電、圧送管被害等により、機<br>能停止            |
|                                       | 塩釜市                         | V           | 軟弱地盤地域（埋立地）で被害、総<br>延長約27kmの内、約700m被害                                    | 被害軽微、機能停止なし                                            |
| 日本海中部地震<br>M=7.7<br>1983. 5.26        | 秋田市                         | V           | 液状化による管路被害<br>総延長286kmの内、布設替え延長約<br>1.7km、マンホール被害93ヶ所                    | 液状化による被害<br>(雨水沈澱池の浮上り)                                |
|                                       | 能代市                         | V           | 液状化による管路被害大<br>総延長約60kmのうち布設替え延長約<br>8 km                                | 建設中の処理場、ポンプ場被害な<br>し                                   |
| サンフェルナン<br>ド地震<br>M=6.6<br>1971. 2. 9 | サンフェ<br>ルナンド<br>ロスアン<br>ゼルス | V<br>程<br>度 | 主に断層運動に起因すると考えられ<br>る地盤の変状による管路の被害<br>被害総延長3.8km（復旧延長）                   | 被害は報告されていない                                            |

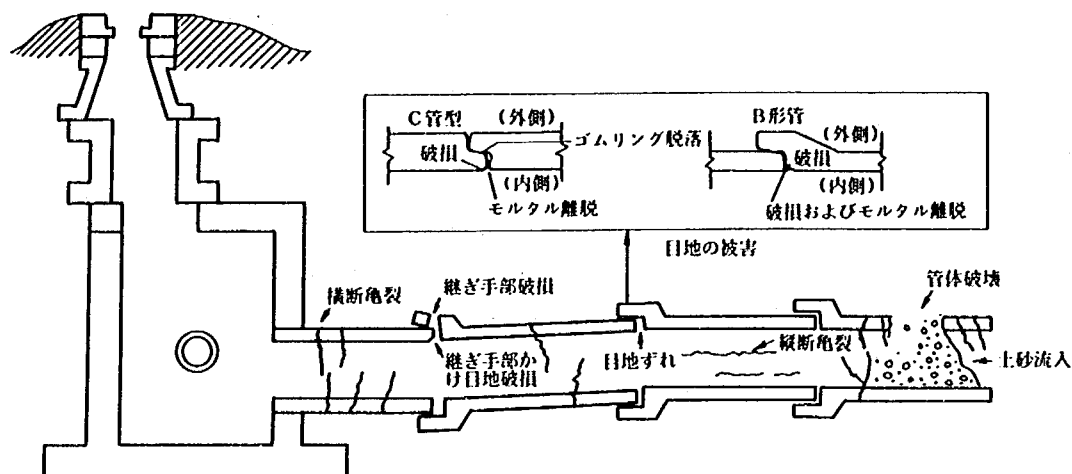


図-12 管体および目地の被害

また、地盤の液状化が発生した場合には管体の浮上や地盤の流動にともない、目地ずれ、目地ひらき、目地はなれを起こすとともに、目地材の離脱や継ぎ手部に被害が発生する。このような場合には、目地等から流入した土砂により完全に管路が閉塞するような被害も発生する。

マンホールで被害が発生しやすい箇所としては、管体と接続する壁立上がり部や、スラブと接続する直壁部があげられ、亀裂や漏水といった被害が発生する。マンホールの場合にも、地盤の液状化が発生した場合には、マンホール全体が浮き上がったり、斜壁・直壁に大幅な目地ずれを起こすことがある。

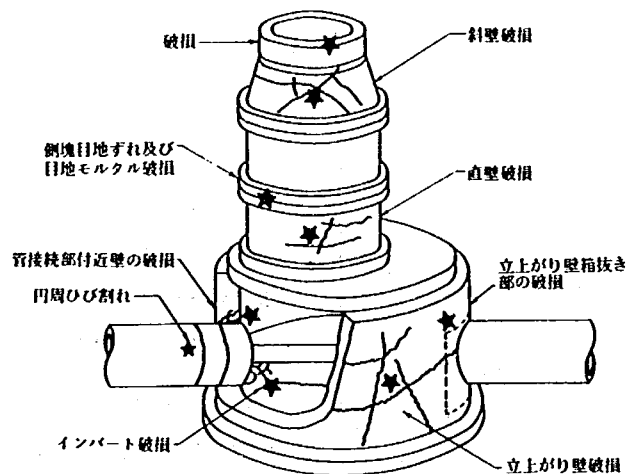


図-13 マンホール等の被害

### 7.2.2 下水道施設被害に及ぼす地震動強さの影響

下水道施設に生じる被害の形態および程度は、地震動の強さによって大きく異なる。震度(気象庁)ⅣあるいはⅤから下水道施設に被害が発生しはじめている。また、地盤の液状化が発生すると、同じ震度でも液状化が発生しない場合に比べて、一般に被害程度が大きくなる。

### 7.2.3 下水道施設被害に及ぼす地形・地盤条件の影響

下水道管路施設に生じる地震被害の形態や程度は、局所的な地形条件や地盤条件によって大きく影

響され、軟弱粘性土地盤、ゆるい砂質土地盤、地盤条件が急激に変化する部分、および宅造地において被害が多く発生している。

ゆるい砂質土地盤では液状化発生の可能性が高く、液状化すると地中の埋設管は甚大な被害を受ける。このような場合には、上水道やガス管などの被害状況が下水道管路の被害の有無を知る上で参考になることが多い。

地盤が液状化すると管路施設には、浮上、目地のひらき、管内への土砂の流入、堆積など流下機能に重大な障害を及ぼす被害が発生する場合が多い。

また、切り盛りで造成された宅造地では、主に盛土部の揺りこみ沈下等により、切り盛り境界部で被害が多く発生している。特に、斜面を造成した宅地では、地這りが発生する場合があります、完全に這らない状態でも地盤の変形により、管路に被害が発生する可能性がある。

#### 7.2.4 震前対策

震後の混乱した状態の中で復旧作業を円滑に行うために、平時から予め震災時の体制、業務内容について検討しておき、下水道管路施設の台帳や、平時の維持管理記録の整備を行っておくことが重要である。

#### 7.2.5 被災判定

調査結果に基づいて下水道管路施設の被災の有無や措置、復旧などの対応を判定する際には、①下水道管路施設の構造的な被害程度、②下水道管路施設の機能的な被害程度、③他施設に与える影響の程度、④被災地の特殊性等を考慮する。

#### 7.2.6 他機関との協議連絡および広報

調査、復旧の過程においては、他機関との協議及び情報交換が必要である。特に地震直後の混乱した状態の中で限られた人員と時間により被害の状況、二次災害の危険性の有無を把握するためには、上水道、ガス等の他機関との情報交換が必要である。

### 7.3 緊急調査および緊急措置

#### 7.3.1 緊急調査の方法と用具

緊急調査は、短時間で被害の概要を把握するため、幹線、優先的に点検すべき箇所、通報、連絡のあった箇所につき、目視、カメラおよびビデオカメラ等により、調査する。この際、メジャー程度の簡単な方法により計測し、短時間で調査を終え、施設全体の被害概要の把握につとめる。緊急調査に携帯すべき調査器具を表-25に示す。

表-25 緊急調査に携帯すべき調査器具

|            |         |                  |           |             |
|------------|---------|------------------|-----------|-------------|
| a) 調査票     | b) 平面図  | c) 野帳            | d) 筆記用具   | e) 懐中電燈     |
| f) スチールカメラ | g) フィルム | h) ストロボ          | i) 電池     | i) 黒板等      |
| k) コンベックス  | l) 無線機  | m) 管内内視用の鏡       | n) ビデオカメラ | o) ポラロイドカメラ |
| p) ボール     | q) 巻尺   | r) ポータブルテープレコーダー |           |             |

#### 7.4 応急調査及び応急復旧工事

##### 7.4.1 応急調査の方法と用具

応急調査では、調査対象を管路にまで広げ、目視による被害の観察、メジャー等による被害の簡単な計測、カメラ等による現況の記録、ロッド等による管路の閉塞調査等を行う。マンホールおよび周辺道路の調査とともに、必要に応じてマンホール内に入り、マンホール、管体、取付け管、ます等について被害の有無の調査を行う。応急調査に携帯すべき調査器具を表-26に示す。

##### 7.4.2 応急復旧工事の実例

津波あるいは上水道の被害により、大量の水と共に土砂が下水道管路内に流入し管路内に堆積している場合があり、下水の流下機能を確保するためには土砂のしゅんせつを必要とする。

地盤の液状化が生じた場合には、管きよの目地の開きやずれ等により管内に大量の土砂が流入することにより、管路を閉塞してしまうことがある。このような場合には管路のしゅんせつを行っても目地の被害箇所より再び土砂が浸入する場合が多く、さや管を入れる等の処置をほどこす必要がある。土砂のしゅんせつは、人力による方法、吸泥車および高圧洗浄車による方法、バケットによる方法等を

表-26 応急調査に携帯すべき調査器具

| 緊急調査に携帯すべき調査器具と同様に |          |                  |              |             |
|--------------------|----------|------------------|--------------|-------------|
| a) 調査票             | b) 平面図   | c) 野帳            | d) 筆記用具      | e) 懐中電燈     |
| f) スチールカメラ         | g) フィルム  | h) ストロボ          | i) 電池        | j) 黒板等      |
| k) コンベックス          | l) 無線機   | m) 管内内視用の鏡       | n) ビデオカメラ    | o) ポラロイドカメラ |
| p) ボール             | q) 巻尺    | r) ポータブルテープレコーダー |              |             |
| 定量的な調査を行うために       |          |                  |              |             |
| a) ロッド             | b) 測量機器  | c) スタッフ          | d) 写真判定用メジャー |             |
| e) カラーสプレー         |          |                  |              |             |
| 作業の安全を確保するために      |          |                  |              |             |
| a) 酸素濃度計           | b) ガス検知器 | c) 送風機           | d) 空気呼吸器     | e) はしご      |
| f) 安全帯             | g) 安全ロープ |                  |              |             |

用いることができる。

マンホールから下水が流出しているような箇所には、可搬式ポンプを設置し、隣接する異常の無い下水管きょ、排水路あるいは河川等への排水を行うとともに、土のうなどにより周辺施設の浸水の防止を図る。また、ポンプ場においてポンプが運転できなくなった場合には可搬式ポンプを設置し、下水の排水を行う。ある区域全域にわたって下水の排除が不能となった場合に、臨時的に開きょにより仮水路の設置を行い、仮水路に下水を流すよう利用者を指導することが新潟地震において行われた。

また、取付け管等に被害を受けた場合には、隣接する異常の無い取付け管に仮管きょを接続することにより取付管の機能を確保することが宮城県沖地震の際に行われた。

## 7.5 本復旧のための調査法

### 7.5.1 調査方法の分類と適用性

本復旧のための調査に用いる方法の選定には、①構造物の種類および重要度、②被害形態・程度、③調査実施条件、④調査方法の適用条件を考慮する必要がある。

管きょ、マンホール、ます、取付け管等構造物の種類が異なれば適用される調査法は異なり、また、同じ管きょであっても作業員が入れる場合と入れない場合、開水面を持つ管と圧送管等開水面を持たない管では適用しうる調査法は異なる。同種の構造物であっても、その重要度により調査に要求される精度は変化し、重要な幹線、圧送管などでは、二次災害や将来重大な障害が発生しないよう、軽微な被害に対しても詳細な調査を行うことが必要となる。

また、管路の地震被害の形態は多岐にわたるため、被害形態、程度に応じ最適な調査法を選定する必要がある。

たとえば、管きょの調査の場合、目地、管体の被害の調査には目視、テレビカメラ等による方法が適用され、管の蛇行状況の調査には、水位の測定（TVカメラの結果も使える）、測量、傾斜計などによる調査が用いられる。

調査箇所の環境についても調査中の下水切りまわしが不可能な場合、地下水の浸入がはげしい場合等、水位の高い状態で調査を実施せねばならない場合や、また、周辺の道路事情により、調査機器が搬入不可能な場合もあり、このような調査実施の現場条件も調査方法の選定において十分考慮する必要がある。

調査方法を直接探査と間接探査に大別し、主な調査方法名と使用機材、適用管路径を整理したのが表-27である。表中の空欄部分は適用不可能であるか、適用する必要が無いことを示している。

テレビカメラによる管内調査は一般に管内に人が入れない小口径管の調査に使用されるが、口径が大きい場合でも有効である。

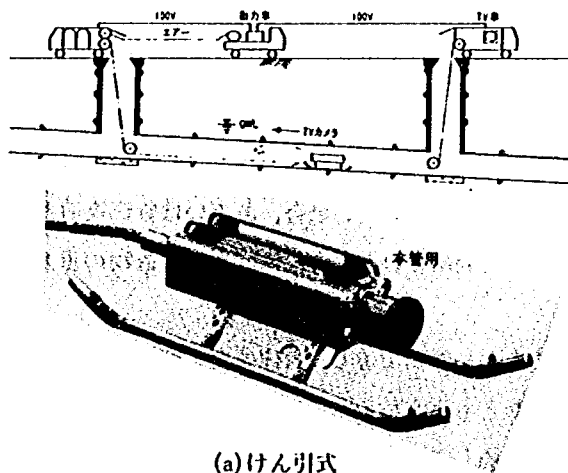
テレビカメラの概要を図-14に示す。比較的大きい管に対しては、ワイヤー引が一般的であるが、

取付け管等管径が小さい場合には、ロッドにより挿入される。調査を行う際には、管内洗浄を行う必要がある。カメラが水没すると視界がなくなり、被害箇所の調査は一般に困難となる。

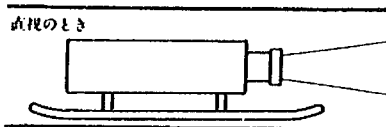
テレビカメラの映像は、ビデオに収録され、被災の判定、復旧工法の選定などに有効に用いられる。調査結果を記録として残す場合、テレビ画像を写真撮影することが一般的であるが、精密な判定が必要な場合などには、被害箇所を直接撮影することが必要となる場合も多い。このような場合には、TVカメラと管内防水カメラを連結して用いると有効である。

表-27 下水道管路の被災発見のための調査方法

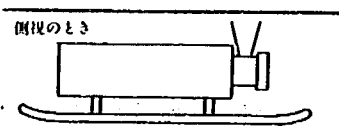
| 調 査 方 法          |                                  | 適 用 可 否 |       | 主 な 使 用 機 材                            |
|------------------|----------------------------------|---------|-------|----------------------------------------|
| 区分               | 方 法 名                            | 大口径管    | 小口径管  |                                        |
| 直<br>接<br>探<br>査 | 管内部及びマンホール内部より目視                 | ○       | ○     | 懐中電灯, カメラ                              |
|                  | 管内部及びマンホール内での<br>直接計測            | ○       | —     | 巻尺, コンベックス, 傾斜計                        |
|                  | 各 種 測 量                          | ○       | ○     | 測量機器, 発電機                              |
|                  | 外部からの目視, 直接計測                    | ○       | ○(開削) | 巻尺, コンベックス, 傾斜計                        |
|                  | TVカメラによる管内調査<br>(1) けん引式         | —       | ○     | 管内洗浄器, TVカメラ, モニター車<br>動力車, ワイヤウインチ    |
|                  | " (2) 自走式                        | —       | ○     | 管内洗浄器, 自走式TVカメラ, TV<br>モニター車, 動力車      |
|                  | " (3) 取付け管用                      | —       | ○     | 管内洗浄器, 取付け管用TVカメラ, TV<br>カメラモニター車, 動力車 |
|                  | " (4) ビデオ<br>スケーラーによる計測          |         |       | ビデオスケーラー-TV, モニタービデオ                   |
|                  | " (5) 特殊防水<br>カメラによる管内撮影         | ○       | ○     | 写真機 (リモコン)                             |
| 間<br>接<br>探<br>査 | 流下状況の観察                          | ○       | ○     | 懐中電灯, カメラ                              |
|                  | ロッドによる閉塞調査                       | —       | ○     | 各種ロッド                                  |
|                  | 揚水試験 (マンホール間)                    | ○       | ○     | 止水プラグ, ビーカー                            |
|                  | " (目地部, 亀裂)<br>(部等の箇所別)          | ○       | —     | 鋼製止水栓, ビーカー                            |
|                  | 注 水 試 験                          | ○       | ○     | 止水プラグ, エアバッカー                          |
|                  | 圧 気 試 験                          | —       | ○     | エアバッカー, コンプレッサー, 動力<br>車, ワイヤウインチ      |
|                  | 流 量 試 験                          | ○       | ○     | 流量計                                    |
|                  | 地中レーダーによる埋設管路周辺の<br>空洞調査及び他埋設物調査 | ○       | ○     | 地中レーダー, モニター装置, 発電機                    |
|                  | 水質検査 (塩素イオン)                     | —       | ○     | ビーカー, 試薬, 投薬量が判る目盛付<br>き注入器            |



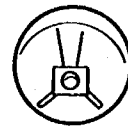
(a) けん引式



管路内でカメラが回転した場合、スイッチ操作で、ノーマル映像が見られる機種もある。

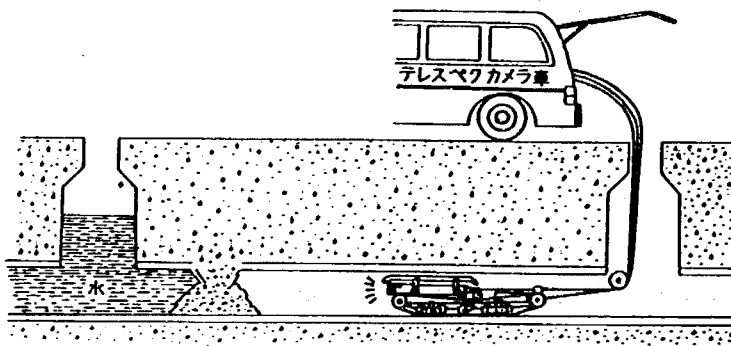


回転ミラーが左右180°動くことによって、管内面を360°内視できる。その角度も制御器に表示される。

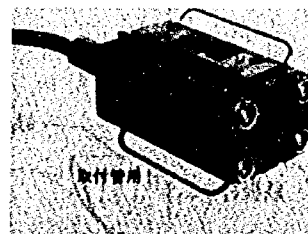
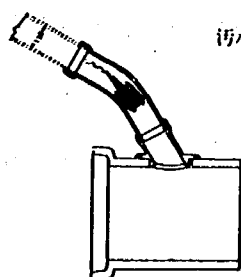
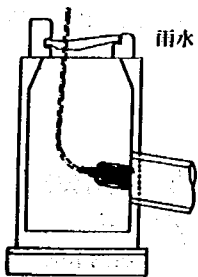


回転指示は遠隔操作によって行う。

(b) 直視と側視



(c) 自走式



(d) 取付け管

図-14 TVカメラによる管きよの調査

## 7.6 本復旧工事

### 7.6.1 本復旧工事の基本事項

本復旧工事は、原則として被害を受けた構造物を原形に復することを目的として行う工事である。

ただし、種々の理由により原形復旧を行えない場合、あるいは原形復旧が著しく不適当な場合、被害の再発の可能性がきわめて高いと判断された場合には、当該構造物の重要性も鑑み、改良復旧について検討する。

下水管路の復旧工事は布設替えが一般的である。管体強度に問題がある場合には、新管に入替えるが、旧管をそのまま再布設することもよく行われている。布設替えは、通常掘削を伴うため、仮設が大きなウェイトを占める。工事に際しては、路面を占有するため、道路管理者や他埋設企業者との協議が必要となる。

大口徑管等布設替えが不可能な場合、あるいは工費、工期などから布設替えが適当でないと判断された場合には、最適な復旧工法を選択する必要がある。

復旧工法の選定にあたっては、下記事項を十分に勘案して、最適な工法を選定する必要がある。

- 1) 構造物の種類、重要度および構造物の余命
- 2) 被害形態、程度
- 3) 土質、地下水位および埋設深度
- 4) 施工環境
- 5) 復旧工法の適用性

一般の下水道管きょ、マンホールの場合、復旧工法はほとんど被害形態、程度で決まっており、過去の震災復旧例を見ると、比較的小口径の管の場合の被害形態は、目地被害、管体亀裂、蛇行が卓越しており、これらの場合には、大部分布設替えが行われている。大口徑管や推進工法等により布設された管等では、簡単に布設替えが困難であり、種々の復旧工法が被害形態、程度に応じて適用される。

### 7.6.2 本復旧工法

下水道管路の本復旧工法を目的別に大別して表-28に示す。この中、3種の方法を図-15~17に示す。

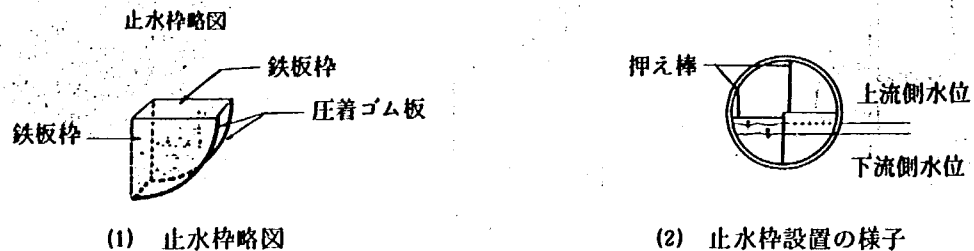


図-16 止水棒工法

表-28 下水道管路の本復旧工法

| 目 的                    | 工 法                 | 参考図  |
|------------------------|---------------------|------|
| 強度回復<br>の 目 的          | 新管布設替え              | —    |
|                        | コンクリート巻立て工法         | —    |
|                        | 樹脂注入工法              | 図-15 |
|                        | 鋼板接着工法              | —    |
|                        | 特殊止水栓を用いる管底部補修工法    | —    |
| 止 水 の<br>目 的           | 薬液注入工法 (1) グラウト止水工法 | —    |
|                        | “ (2) 注入パイプ工法       | —    |
|                        | “ (3) 止水栓工法         | 図-16 |
|                        | “ (4) 注入リング工法       | —    |
|                        | “ (5) パッ ー工法        | 図-17 |
|                        | Vカットコーキング工法         | —    |
|                        | シーリング工法             | —    |
|                        | 止水バンド工法             | —    |
|                        | 可とう性継手工法(1)止水ジョイント  | —    |
|                        | “ (2)可とう性パイプ        | —    |
|                        | 二重管工法               | —    |
|                        | ホースライニング工法          | —    |
| 管軸変動<br>の 修 正<br>の 目 的 | 薬液注入によるレベル修正工法      | —    |
|                        | 新管布設替え, 設置直し        | —    |

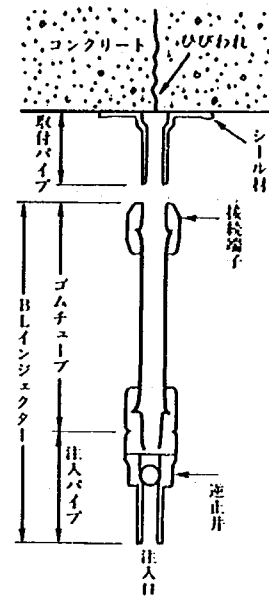


図-15 樹脂注入工法の例

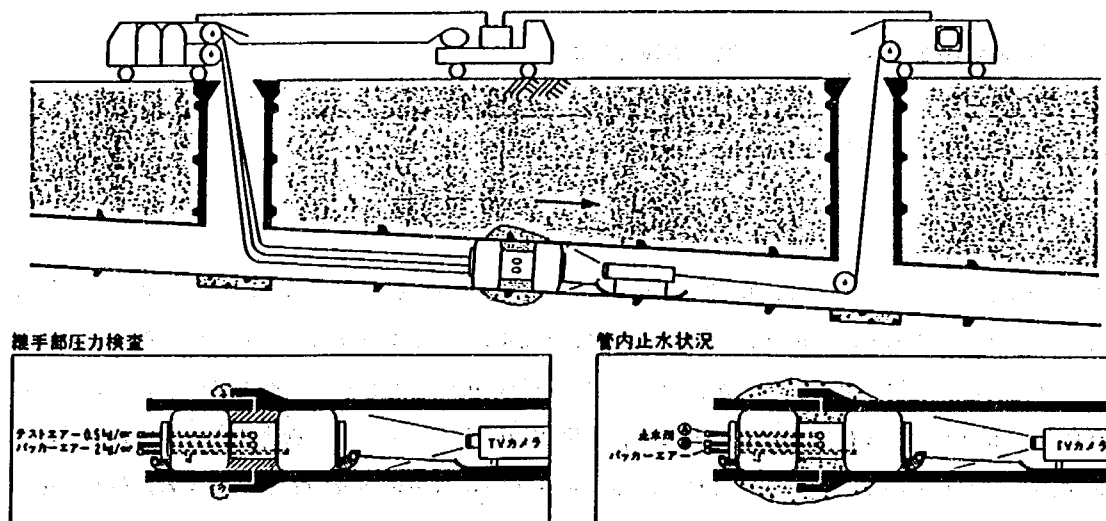


図-17 パッカー工法

## 8. 復旧事例集（Ⅴ編）の概要

復旧事例集（Ⅴ編）は、上述したⅠ～Ⅳ編に関連し、震災復旧法規類の解説、既往の震害事例、復旧事例等を紹介している。これらは、震災復旧の考え方、復旧工法の選定に際して参考となる。

### 8.1 共通編（Ⅰ編）に関する復旧事例

震災復旧に関連する法規類（災害対策基本法、大規模地震対策特別措置法、公共土木施設災害復旧事業費国庫負担法、激甚災害に対処するための特別の財政援助等に関する法律等）の解説、既往地震災害時における震後対応事例（河川、道路、下水道）の紹介、及び航空機による上空からの被災調査事例の紹介を行っている。

### 8.2 河川、海岸、砂防施設編（Ⅱ編）に関する復旧事例

河川施設における震後対応事例（日本海中部地震）と復旧事例、河川施設の復旧事例（日本海中部地震）、及び砂防施設の復旧事例（長野県西部地震）を詳述している。

### 8.3 道路施設編（Ⅲ編）に関する復旧事例

道路震災復旧における震後対応及び応急復旧対応の事例（長野県西部地震等）、道路橋の復旧事例（新潟地震から日本海中部地震までの15橋）、道路盛土の復旧事例（宮城県沖地震から長野県西部地震までの6事例）、斜面・切土のり面の復旧事例（伊豆大島近海地震と長野県西部地震の5例）、トンネル復旧事例（伊豆大島近海地震他の2例）、ならびに共同溝・カルバートの復旧事例（サンフェルナンド地震の例）を図面をつけて詳述している。

### 8.4 下水道管路施設編（Ⅳ編）に関する復旧事例

既往地震（宮城県沖地震、日本海中部地震）における下水道管路復旧の震後対応事例、及び被害調査、応急復旧（2例）、本復旧（2例）の事例を詳述している。

## 9. 結 語

ここで紹介したマニュアルは、我が国の既往地震時にとられた震災復旧の経験をベースとして指針風にまとめたものである。この種のマニュアルは、わが国はもとより諸外国でも類例をみない。実際の地震発生時に、現場で活用できるが、マニュアル通りに復旧を進め難い場合もあろう。このような場合には、本マニュアルにこだわることなく、現場実情に応じて早急に臨機応変の措置をとり、積極的に復旧を推進していくことが求められる。本マニュアルには更に内容の充実を要する部分や今後の研究に待つ部分が少なくない。本マニュアルが第一線現場で有効に利用されると同時に、建設的な修正意見が寄せられることを期待している。また、必要に応じて各機関ごとのマニュアルを策定してお

くことが望まれる。

未筆ではあるが、震災復旧技術研究開発土木委員会及び4分科会を運営された岡本委員長及び久保、伯野、石原、片山の各分科会長、ならびに委員、幹事の各位、さらに事務局を務められた（財）国土開発技術センター、及び調査研究に従事した土木研究所と国土地理院の担当者各位の努力に対して深甚の謝意を表す次第である。

#### 参考文献

- 1) 建設省「震災構造物の復旧技術の開発報告書」第1～3巻 建設省 昭和61年6月
- 2) 建設省土木研究所「土木構造物の震災復旧技術マニュアル（案）」土木研究所 報45号，昭和61年12月
- 3) 建設省土木研究所「震災復旧特集」  
土木技術資料 Vol. 28, No. 12, 土木研究センター，昭和61年12月

土木研究所講演会講演集

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第2432号

昭和62年2月(1987)

企画部企画課

キーワード 講演会

要旨

本資料は、「昭和61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

40円切手をはって下さい。

305-□□

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

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2432号  
(土木研究所講演会講演集)

部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印