

ISSN 0386—5878

土木研究所資料第3234号

平成 5 年 度

土木研究所講演会 講演集

平成 6 年 2 月 2 日

建設省土木研究所

Copyright © (1994) by P.W.R.I.

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

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

平成 5 年 度

土 木 研 究 所 講 演 会 講 演 集

企画部企画課

要 旨

本資料は、「平成5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，環境，下水道，科学技術，施工計画，道路交通，災害，地震
災害

目 次

豊かな環境づくりをめざして……………	環 境 部 長	水 谷 敏 則…	1
下水道資源の有効利用……………	下 水 道 部 長	市 村 訓 男…	13
特別講演「21世紀の科学技術」……………	日本学術会議 会 長	近 藤 次 郎…	33
施工新技術の開発……………	材料施工部長	池 村 雅 司…	37
次世代道路交通システム……………	総合交通安全研究官	松 村 哲 男…	55
1993年鹿児島災害……………	砂 防 部 長	矢 澤 昭 夫…	69
最近の地震災害の特徴……………	地震防災部長	飯 田 裕…	93

豊かな環境づくりをめざして

環境部長 水谷敏則

豊かな環境づくりをめざして

1. はじめに

1992年6月の地球サミット（国連環境開発会議）、昨年6月のラムサール条約（国際湿地条約）締結国会議をはじめ環境問題に関する多数の国際的な動き、国内でも昨年11月の環境基本法の制定など、環境問題に対する関心は内外ともに高まってきている。

そもそも人類と環境の係わりについての歴史を振り返ると、かつては豊かな自然に恵まれ、それに比べてささやかな人間の活動は自然環境のもつ抱擁力の中に包まれて、環境全体のバランスが崩れることはなく人と自然は共存してきた。

社会経済活動の急速な発展とともに人間の活動も活発となり、これが自然の保有する環境容量を超えてしまったところで、公害問題が顕在化することになった。例えば、河川や湖沼における水質汚濁、大気汚染や騒音等の生活環境の問題がそうである。生活環境は人間が安全な生活を維持していくために不可欠な要素であり、このため良好な生活環境の保全・形成を迫られるなどの環境問題に直面させられ、これが環境というものを否応なしに意識させられる端緒となった。

その後、経済の発展、社会ニーズの多様化とともに環境に対する認識が高まるにつれて、人間生活を取り巻く自然環境、さらには地球規模の環境へとその対象が広がり、現在では、限りある地球資源としての環境を将来にわたって維持しながら持続可能な経済・社会システムを構築していくことの重要性が、人類共通の認識として定着しつつある。

社会基盤整備事業すなわち建設事業の実施においても、環境に対する慎重な配慮、環境との調和を図ることは、従来にも増して不可欠の要素となってきた。

ここでは、建設省における環境問題への取り組み、ならびに土木研究所がこれまでに実施してきた環境の保全・再生・創造技術に関する研究成果と今後の研究開発の方向について紹介する。

2. 建設省における環境問題への取り組み

建設省では、昨年6月に大臣の私的諮問機関である「豊かな環境づくり委員会（委員長 近藤次郎 学術会議会長）」から豊かな環境づくりのための提言を受けた。これには、豊かな環境づくりをめざす国土建設における環境への取り組みについて、次の4つの基本的方策が示されている。

（1）環境の内部目的化

建設行政施策に環境の視点を明確に位置づけ、環境の保全と創造が統合された価値判断の基準を確立すること。

社会資本整備に際しての環境対策が、施設の目的・機能に対する付加的対策としてではなく、施設本来の姿の一部として講じられる、というところまで高められていくべきであること。

このような観点から、法令、制度や技術基準、マニュアルの点検整備を行うこと。

（2）目標の設定

環境負荷の削減、環境と調和した構造の施設整備、緑化などについて具体的・定量的な目標と所要投資額を設定し、その達成のための計画を明らかにすること。

各事業の五カ年計画で、CO₂ 排出量の削減、法面緑化、河川・湖沼の水質改善、うるおいのある水辺空間の創出、下水道における高度処理、公共空間の植樹等の目標を定めること。

この際、自然、緑、景観など施策の効果についての目標の定量化が難しい分野、例えば、生態系に着目した水と緑のエコネットワーク、エコロードのような比較的新しい分野については、その概念の整理、目指すべき目標や水準、その整備手法などを国民に分かりやすい形で提示すること。

(3) 施策の重点化・総合化

多くの分野にわたる環境施策を実効あるものとするためには、価値観やニーズの変化、問題の緊急性、先取りの対応の必要性、国民にとってのわかりやすさなどを勘案し、施策のプライオリティを明確にすること。また、所管行政相互間のもとより他省庁との連携も強化するとともに、社会資本の供給サイドの対策だけでなく、需要サイドへの働きかけも含め、総合的な施策の推進を図ること。

(4) 技術開発と人材養成

長期的な技術開発プログラムを立てて計画的に技術開発を進めるとともに、研修の充実や異分野の人との交流などを通じて人材を養成すること。

持続可能な発展とよりよい環境の実現を目指していくためには、

- ① 環境負荷の軽減や豊かな環境の創造のための技術開発
- ② 環境の観測・予測技術の開発
- ③ 環境関係の技術やデータの蓄積
- ④ 資材の生産から廃棄まで、建設の全過程を通じた環境負荷量の把握

など、これまで以上に高度な技術的要請への対応が必要であること。

建設省では、この提言を受けて「各事業整備5カ年計画」及び「各事業に関する技術5カ年計画」の策定において、豊かな環境づくりのための目標の設定、環境技術の開発への取り組み等の検討を進めている。

3. 土木研究所環境部の新設

近年、土木研究所においても環境問題に関する研究ニーズが増大してきている。土木研究所全体の年間の研究課題数約500のうち、環境関係の課題はこの10年間で倍増し、平成4年度には総数100を超え全体の約1/4を占めるまでに至っている。

特に近年では、全地球的な水循環、大気循環のメカニズムの解明や、気候変動が水文現象あるいは災害に与える影響の把握、多様な生態系の保全、ヒートアイランド防止等の現象解明や技術開発に向けて、土木工学に気象学、生物学等他の学問分野を取り入れた基礎的研究の推進が必要となっている。また、我々の生活を取りまく身近な環境をより美しく、快適なものとするため、河川やダムなどの環境の改善・創造、大気汚染・騒音対策等の道路交通環境の改善、緑化空間の創出、生態系に配慮した土木構造物の設計施工等の技術開発を推進していくにあたり、土木の各分野の境界領域や、景観や人間工学など狭義の土木工学以外の学問との連携がこれまで以上に重要となっている。

従来、土木研究所においては、環境問題に関する調査研究は、河川部、ダム部、道路部等の各々が個別に対応し、河川事業、ダム事業、道路事業等個々の事業に関連した諸問題として取り組んできたが、環境問題は建設事業全般あるいは相互に密接に関連しており、統合的な環境研究に対する要望が増大しています。また、建設事業が環境に与える影響を最小限にするための新たな技術開発が求めら

れている。

建設事業が環境に与える影響を最小限に抑え、人に優しい環境の保全・再生・創造、自然環境と調和した社会資本整備を円滑かつ効率的に推進していくための技術開発を目指して、環境の計画論から、環境の評価、管理及び対策手法を一元的に扱うより効率的な研究体制として、平成5年度に環境部が設置された。

環境部は、環境計画、地質、河川環境、交通環境、緑化生態の5つの研究室から構成されており、次のような調査研究を実施している。

1) 環境計画研究室

持続可能な開発すなわち開発と環境の調和を図るために、地球的規模の環境変化に対応した社会資本整備のあり方を考えることが重要となっている。環境計画研究室においては、水循環及び大気循環のメカニズム、地球温暖化とそれに伴う海面上昇や異常気象、酸性雨、森林減少、砂漠化等グローバルな問題について調査研究を推進する。また、広域的な環境計画論、環境アセスメント等環境の評価、環境の合理的な管理手法について研究を実施する。

2) 地質研究室

地質及び地下水に関する研究は建設事業を進めるうえで最も基礎的な分野である。地質研究室では、従来からの建設事業で直面する土木地質的問題に関する研究に加えて、地質学的な地球環境変化の評価及び地下水、新しい地盤探査技術に関する研究開発を重点的に実施する。

3) 河川環境研究室

貴重なオープンスペースである河川・湖沼等は親水活動の拠点として、また、動植物の重要な生息場としての機能を有しており、近年様々な河川環境施策が展開されています。河川等水系環境について、環境価値の算定手法、景観や親水活動などに配慮した空間・構造物の計画設計手法、河川生態系の保全手法、景観や生物の観点からみた新たな水質指標、適正な水量・水質の回復技術について研究を実施する。

4) 交通環境研究室

幹線道路等の沿道では、騒音・大気汚染等の環境に及ぼす影響が問題となっている。快適な沿道の暮らしを守り、環境と調和した道づくりを進めるため、沿道の騒音、大気汚染等の評価手法の研究や遮音壁や環境施設帯など環境保全技術の調査研究を進める。

また、道路整備にあたっては、自然に優しい、自然とのふれ合いを大切にしたい道づくりが求められている。自然環境との調和を図る調査手法の確立や自然への影響の少ない設計法、生態系に優しい道路構造など、かけがいのない自然を守る技術の研究を進める。

5) 緑化生態研究室

都市、道路、河川、公園等の緑化は、良好な生活環境の創造、景観の向上等に大きく寄与する。また、現在ではいずれの建設事業においても生態系の保全に対する配慮が必須の事項となっており、生態系に関する総合的な研究の必要性が増大している。

植物は、光合成による1次生産者として、植物連鎖の底辺を支える者であり、また、樹林等の緑地は、動物の営巣場、採餌場として非常に重要なため、緑化と生態系とは密接な関係がある。緑化生態研究室においては、これらの緑化技術、生態系保全手法等に関する研究を重点的に実施する。

4. 土木研究所における環境問題への取り組み

4. 1 環境計画手法の確立

建設事業と環境の調和を図るためには、局所的あるいは短期的な評価だけでは不十分で、経済的な側面も含めて総合的に環境を評価できる技術の充実が必要であり、建設事業の中で環境の保全・創造を積極的に進めるための計画手法の確立が必要である。

現在のアセスメントは、事業実施の段階にはいってから行う詳細な現地調査等の結果をもとに詳細な検討を行っているが、今後は、事業の計画の早い段階における調査の充実、事業実施後の環境のモニタリングを含めた総合的な評価が必要となるであろう。

また、計画段階の調査の資料として環境に関するデータベースの収集・整備は重要である。この際、住民や関係機関との連携を図る方策も考えていく必要がある。

アセスメントの内容についても、現在は事業の実施に伴う環境の保全という、いわばマイナス面の解消を図ることに主眼がおかれているが、建設事業の実施による環境の再生、新たな環境の創造、すなわち積極的な豊かな環境づくりに対するプラスの要素も含めて総合的に評価できる手法を提案していくことも大切である。

これらの評価手法を確立するためには、技術的な裏付けとそのための研究開発を推進することが不可欠であると考えている。

4. 2 地球環境の保全

—昨年ブラジルで開催された地球サミットを契機として、地球規模の環境問題が国境を越えての環境保全への取り組みとして盛んに議論されるようになってきた。特に、地球温暖化の原因となっている二酸化炭素(CO₂)の排出量抑制のための化石燃料使用量の抑制をはじめ、環境負荷の軽減が強く叫ばれている。

建設事業におけるCO₂排出量の全産業に対する比率は約20%、土木事業だけをとりあげると約10%である(図-1)。環境負荷の軽減対策としては、資材の生産・運搬から施設の建設・運営管理・廃棄に至るまでの全過程を通じた省資源・省エネルギー化を対象として、施設の長寿命化、資源のリサイクル、太陽や地熱などの未利用エネルギーの活用等の検討が進められている。特に人口、経済活

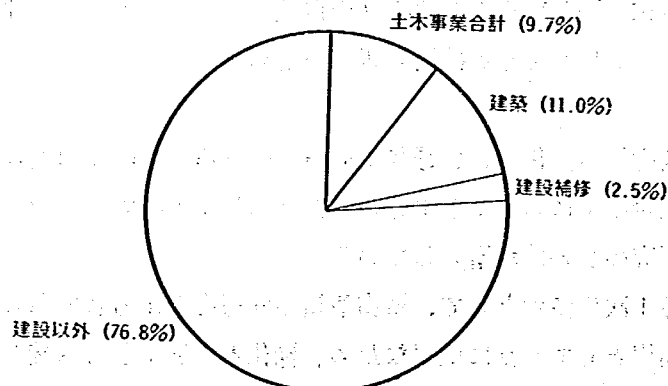
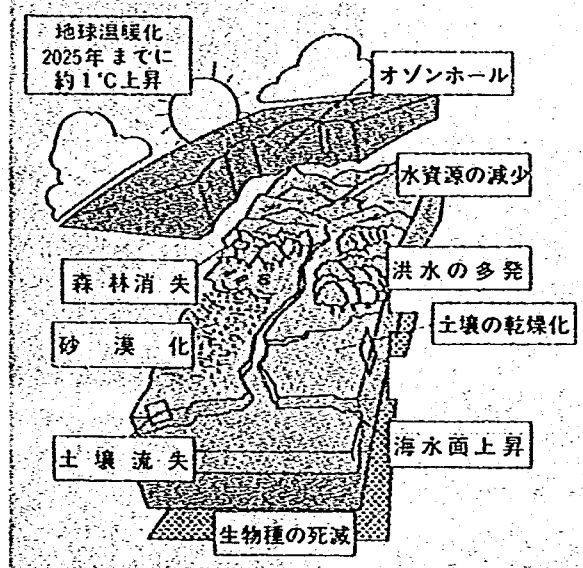


図-1 全産業に対する建設事業のCO₂発生量の比率

動が集中している都市については、エネルギー効率の向上、水や緑によるヒートアイランドの緩和等によるエコシティーへの試みが進められようとしている。

また、地球温暖化に備えて、温暖化による水資源の減少、土地の乾燥化、海面の上昇等への影響予測とその対応技術の検討もなされている（図－2）。

地球環境問題の解決のためには、地球という閉じた一つの系の中で循環的で持続可能なシステムを模索することが基本であり、今後は系のもつ環境容量を把握することと、その目標に合わせた省資源・省エネルギー化を推進する必要がある。



図－2 地球温暖化による環境への影響

4. 3 自然環境の保全・創造

自然とのふれあいのニーズの増大に対応して、より豊かな生態系の保全や自然と人間の共生の必要性が高まっている。このため、動・植物等の生物にとって貴重な生息の場である水辺空間、緑地空間を保全・創造するビオトープや多自然型河川、緑のマスタープラン、沿道の自然環境にやさしいエコロードなどの整備が進められている。この際、事業を通じて積極的に新たな生態系を創造する努力も期待される。（写真－1、2、3）

これらの実施にあたっては、特に貴重種の保全、種の多様性の実現等の観点からの配慮が重要であり、そのためには動・植物の生態に関する知見を深めること、及びそれに基づく生態系の保全・創造技術の開発が不可欠である。



写真－1 浮島によるビオトープ

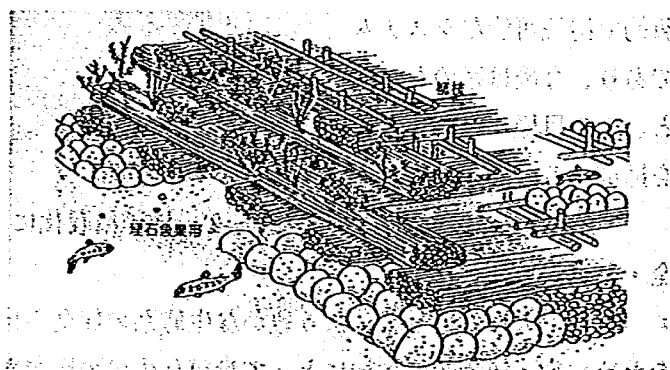
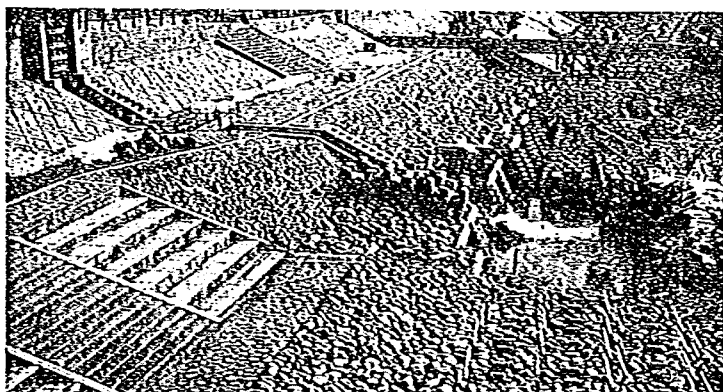


写真-2 多自然型河川工法

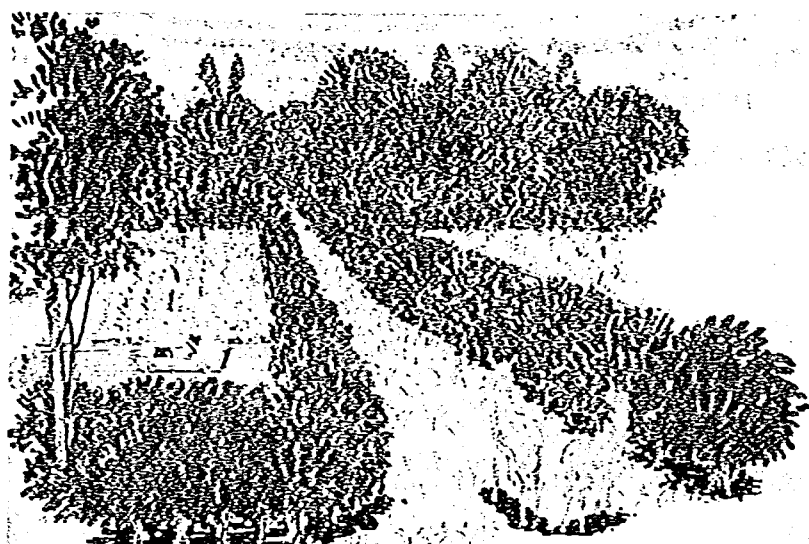


写真-3 エコロード

4. 4 生活環境の保全・創造

大気汚染、水質汚濁、騒音、振動等の生活環境の問題を解消するため、これまでに実施されてきた各種の施策、事業、技術開発は、現在までにかかなりの環境改善効果をあげてきた。しかし、環境基準の達成状況を見ると、一部には環境保全のための対策・整備が著しい経済成長に追いついていけない面が今でも残されている。このため今後も継続して改善の努力が必要とされるのが現状であり、それ

それぞれの分野においてさらに高度な予測技術、対策技術の開発を進められているところである。

1) 沿道環境の保全

道路交通による騒音や大気汚染の予測と対策に重点をおいて数多くの研究を進めてきた。この研究では自動車排出ガスの拡散予測手法の総括的な調査とりまとめと道路交通騒音予測手法の拡張を行うとともに、沿道の建物や植樹などを含む総合的な環境保全整備技術を開発した。これらの成果は「建設省所管道路事業環境影響評価技術指針」やその運用の解説である「道路環境整備マニュアル」に反映されている。

大規模な道路では掘割や高架道路と平面道路の組み合わせなど複雑な道路構造、また、第2東名・名神高速道路計画にみられる従来にない走行速度(140km/h)における騒音、大気汚染など周辺に及ぼす影響を検討する必要がある、このため、風洞、無響室を用いた模型実験やシミュレーション手法、現地実測などを利用して、騒音や大気質の予測手法の適用範囲拡張のための研究を進めている。

(写真-4)

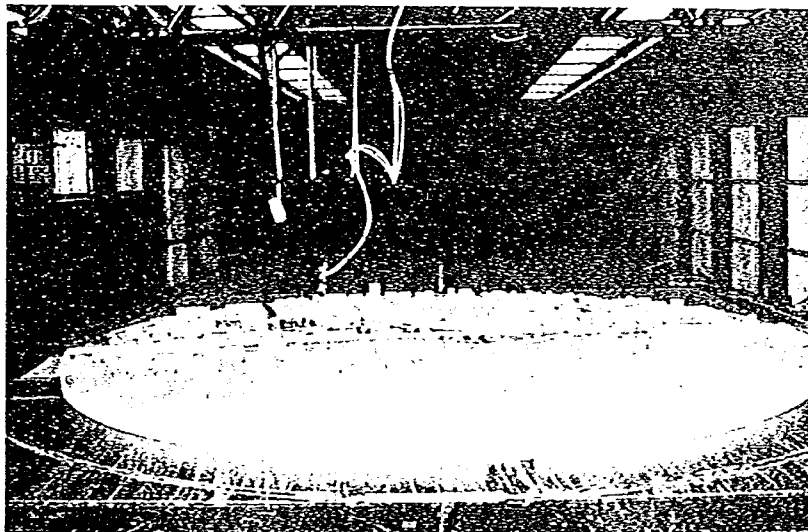


写真-4 大気汚染風道実験

これまで遮音壁が中心であった環境保全対策についても、騒音低減効果の高い新しい遮音壁、最近注目されつつある排水性舗装などの新しい技術の開発と導入を検討中である。

また、道路と環境の一層の調和を図るためには、十分な幅の環境施設帯の確保も重要であり、必要な環境施設帯のあり方に関する調査を行っている(図-3)。さらに、大気汚染対策として環境施設帯における樹木等による大気浄化機能を調査した。この調査では樹木等のNO_x吸収量の測定と植樹帯の大気拡散効果の把握を行った。

現在実施あるいは今後計画している研究としては、基礎的な研究に加えて、大規模で複雑化する道路における環境予測技術の充実、自然や地球環境の保全を含む環境対策の拡大と高度化によって道路と環境の調和を目指すものが中心となっている。

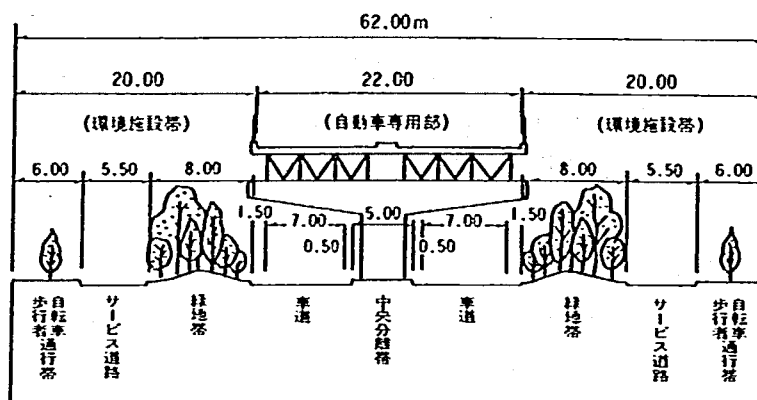


図-3 幹線道路の環境施設帯

2) 湖沼、河川の水質保全

自然湖沼やダム湖では、富栄養化に伴い好ましくない浮遊藻類が異常増殖して、水の華（アオコ）や淡水赤潮、異臭味が発生しているところがある。こうした好ましくない浮遊藻類の異常増殖を阻止する画期的な対策方法を開発した。

本システムは糸状藻類を活用して流入水及び湖水から栄養塩類を除去する「糸状藻類活用システム」と流入河川及び湖水の流動を制御して浮遊藻類の増殖し難い環境を作り出す「流動制御システム」からなる（図-4）。

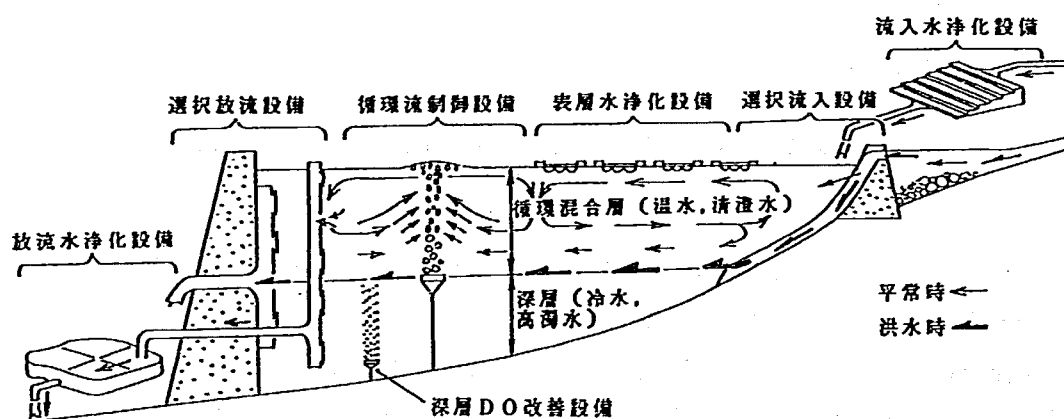
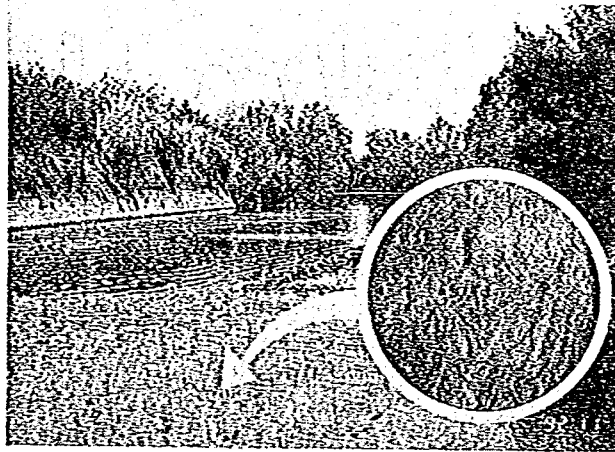


図-4 湖沼の新しい富栄養化対策

糸状藻類活用システムは、メロシラ、アミミドロ等の糸状藻類により窒素やリンなどの栄養塩類を吸収、除去する方法である（写真-5）。これらの糸状藻類は、アオコやカビ臭といった現象を発生するフォルミディウム等の藻類と異なり、悪臭等の害を発生せず、増殖しても簡単に除去できるものである。糸状藻類は、①自然河川や浅い湖沼で一般に生息していること、②無機態のリンや窒素の吸収能力が高いこと、③四季を通じて活用が可能であること、④増殖のコントロール及び回収が容易であること、⑤魚や家畜の良質なエサとなり、有効利用が可能であること、等の特徴があり、ホテイアオイ等の水生植物に比べて極めて有用である。湖沼の表層水の浄化設備、湖沼の流入水、放流水の浄



写真－5 自然河川に生息する糸状藻類（メロシラ）

化設備としての適用が期待されている。

流動制御システムには、循環流制御設備、選択流入・流出設備等がある。循環流制御設備は、散気管方式の曝気循環装置を用いてダム湖の表層に有光層の数倍の厚さの循環混合層を形成することにより、藻類を光の届かない深部に追いやって異常増殖を防ぐものである。

一方、洪水時には、選択流入・流出設備を用いて多くの栄養塩類を含んだ流入水を深部へ導くとともにそのまま速やかに放流する。これにより、藻類への栄養塩類の供給を防ぐものである。

これら2つの方法により、湖沼の藻類が増殖しがたい環境とするものである。本システムは、現在実用化のための現地試験を継続中である。

なお、河川の水質の直接浄化手法として、礫、木炭等による接触酸化法、自然落下、循環等による酸素供給法、酸化池、植生浄化による生物置換法、浸透水路による吸着・ろ過法などの適用性に関する調査を実施している。

また、河川水の新しい水質指標として、飲み水として安全で美味しい水の水質目標、魚類等の生物の生息のための水質目標、さらには親水空間としての活用のために透明感、臭い、河床の状況など景観からみて快適な水質目標について調査研究を行っている。

3) 水と緑が豊かな生活環境の創造

暮らしが豊かになるにつれて国民のニーズが多様化してくると、より良い環境や自然とのふれあいが強く求められるようになってきている。

これに対応して、公園や緑地の整備、市街地空間と一体となった魅力ある水辺づくり、親水空間、ハイウェイオアシス、パークウェイなど、水と緑を生かした社会基盤の整備、地域の自然、文化、歴史等を生かした地域づくりが進められている。

公園、緑地の整備計画に関する研究、公園、緑地、道路等における緑化技術に関する研究を進める中で、最近、特に都市環境を改善するための具体的対策として緑化が注目されている。しかし構造物に囲まれた都市内においては、緑化のための空間の確保も困難であり、このため建物屋上、壁面、建物内、高架橋の上下部等の空間を「特殊緑化空間」として位置づけ、その緑化空間を創出する手法を確立するための技術開発、調査研究を実施している。(図－5)

なお、図－6は、都市の緑化の現況をもとにCO₂、NO_xの固定量を試算した結果であり、エコシ

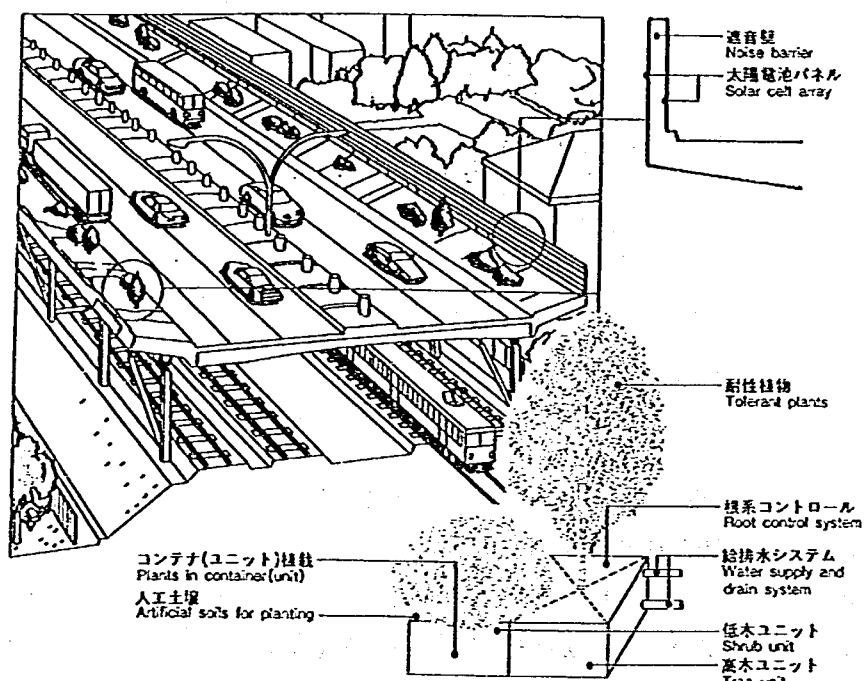


図-5 特殊緑化空間創出のための技術開発

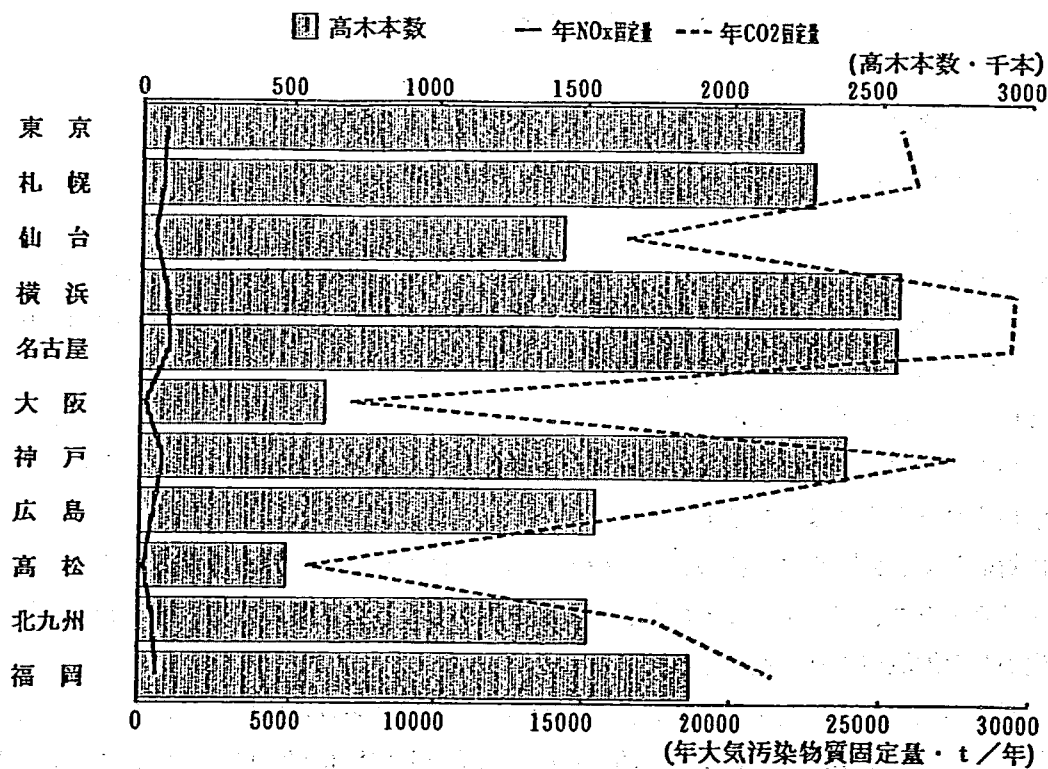


図-6 高木本数と大気汚染物質固定量(試算)

ティーのための緑化の効用を表す指標の一つである(図-6)。

河川と人々の暮らしとのかかわりにおいても、従来の治水や産業活動のための利用だけに留まらず、最近では潤いや安らぎを求めるレクリエーション、スポーツ活動のための利用が盛んになってきている。

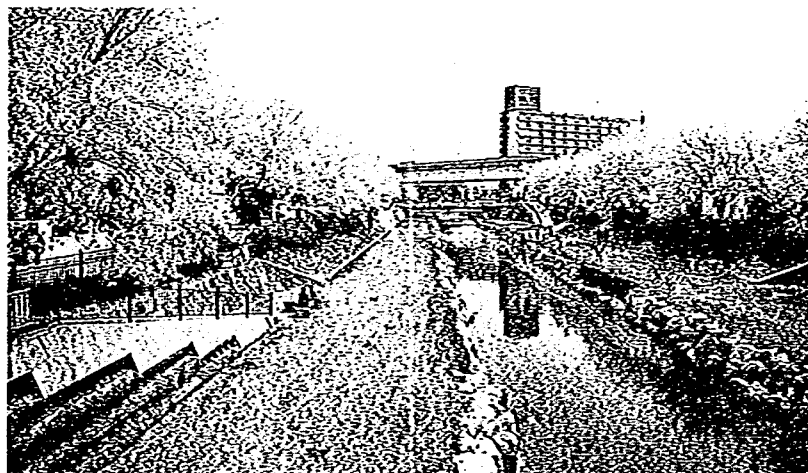
このためより親しみやすい河川を創造するための親水空間の整備が推進されている。親水施設の整備、水辺環境の保全・創造のあり方について、水辺の経済的あるいは非経済的な環境価値を求めるための研究を実施している。

4) より良い景観の創出

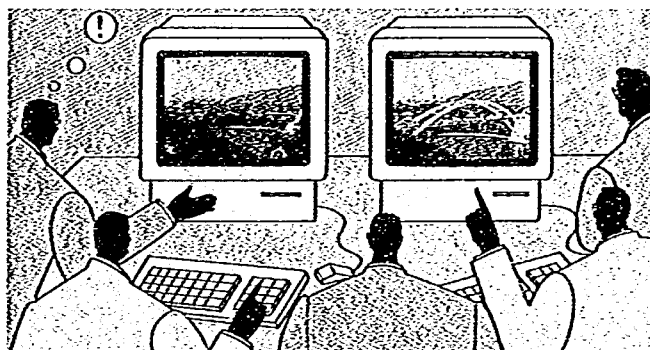
より良い環境、快適な環境として「景観」が強く求められるようになってきている。建設事業が目的とする機能に併せて快適性やゆとり、うるおいに対する配慮を加味することは、個性のある地域づくりの実現に資するとともに、質の高い魅力ある社会基盤を次世代に継承することができるものである。

このため、街路、橋梁等の構造物の景観設計、河川風景の形成のための景観づくりなど、アメニティーの向上に対する配慮がなされた事業ならびにこのための技術開発が数多く展開されてきている。

平成5年度から総合技術開発プロジェクトとして、「美しい景観の創造技術の開発」がスタートした。これは周辺環境と土木構造物・建築物が美しく調和し、しかも、地域の歴史・文化及び生態系に配慮した社会資本の整備の実現を図ることを目的として実施するもので、①建築物と道路施設の計画・調整技術的手法に関する研究、②橋梁（渡河部）の景観創造技術に関する研究、③自然的な河川風景の創造技術に関する研究、④歴史的・文化的施設の保存・活用技術の開発、⑤景観材としてのコンクリート材料の開発、⑥景観シミュレータ・景観データベースの研究開発、を行うこととしている（写真－6、7）



写真－6 魅力ある水辺づくり



写真－7 景観シミュレーター

5. あとがき

「環境」というと人間を取り巻く大気、水、土壌、生物等の自然物をイメージすることが多い。しかし、当事者である人間そのものが環境の一部であることはいうまでもなく、さらには人間活動によって造り出された人工物、文化、歴史等も広い意味の環境の中に含まれるとの認識に立つべきであろう。

ともすれば環境と開発とは対立するかのようにつえられがちであるが、人間は昔から自然の恵みを享受するとともに自然の脅威から身を守るために自然に様々な働きかけをすることによってより良い環境を創造してきた。このように考えると両者は本来一体的なものとして総合的に評価していくのが妥当であり、そうした考えの中で今後の持続可能な発展を如何にして模索するかがこれからの要点であるとする。

参考資料

- 1) 建設省「豊かな環境づくりのために」平成5年6月
- 2) 「環境特集」土木技術資料、平成5年11月

下水道資源の有効利用

下水道部長 市村訓男

下水道資源の有効利用

1. はじめに

下水道事業の基本的な役割は下水の排除と処理である。これに加え、近年、下水道の持つ様々な資源を積極的に活用し、都市や地域の発展、住民の利便などに寄与しようとする、いわゆる下水道資源の多目的利用事業がいろいろ試みられている。

本稿では下水道資源利用の最近の動向について述べ、更に、事業主体である自治体、下水道に関する学者・研究者などの有識者、処理場周辺地域住民、不動産業者などそれぞれ異なる立場を有する人達の意見を意向調査した下水道部下水道研究室の調査結果結果をもとに、これらが下水道事業を進めていく上で、どのような意義や効果または問題点を持っているのかについて論ずることとする。

2. 下水道整備の現況

下水道は、下水の収集、排除、処理を行うことにより、都市の健全な発達と公衆衛生の向上に寄与し、公共用水域の水質保全に資することを目的としてその整備が進められてきた。

下水道事業は国民生活や環境保全に密接に関係する事業として、近年特に整備促進が図られ、年間約3兆円の事業費で全国的に精力的に施行されており、平成4年度末普及率（下水道処理人口／全国総人口）は、47%とほぼ国民2人に1人が下水道を使える状態になってきている。諸外国に比べ、あるいは他の公共施設に比べいまだ立ち後れが著しい状態とも言えるが、反面、少し長い目で見ると、昭和40年当時の8%から、50年23%、60年36%と非常に低いスタートから着実にかつ急速に整備が進められていると言える（図2-1）。ちなみに平成4年度単年度の整備人口増は約241万人であり、ちょうど新潟県（247万人・総務庁統計局1991年10月1日現在推計人口）1県に匹敵する人達が1年間に新たに下水道の恩恵に浴していることになる。

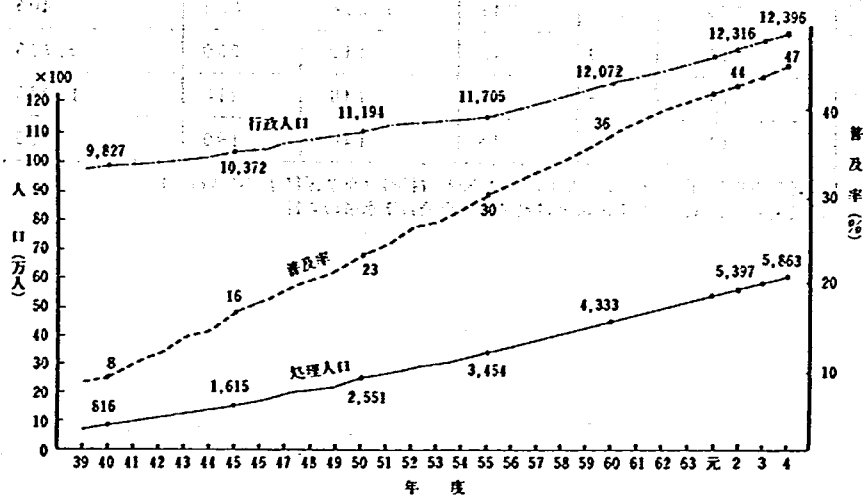


図2-1 普及率の推移

さて、平成4年度末の現状を表2-1に示す。本表は全国3,237市町村を人口規模別に区分けし、普及率、実施数、供用数などを示しているが、大都市と中小都市には非常な格差があることが分かる。

また例えば5万人以上の都市はほとんど事業を実施しているのに対し、それ以下の市町村の実施率は1/3強にすぎない。従って当面の下水道行政の最大の力点は、下水道事業未実施市町村に対し、いかに下水道事業に着手してもらうかの行財政的環境を整えていくのは当然であるが、しかし、一方、指定都市などの大都市、県庁所在都市などの地方中心都市や流域下水道関連都市、更に先進的な町村等でも相当整備が進んできたので（表2-2）環境に今まで以上に配慮しながら、一人一人の市民がより豊かさを感じられ、潤いと安らぎを感じとれる社会を実現して行くために、下水道をどう使って行けばよいか、どの程度どう貢献できるかといった観点から下水道事業をとらえ直し、工夫することが必要となってきた。

この観点から下水道が持つ様々な資源的価値に着目し、それを有効利用することにより省資源・省エネルギー型リサイクル社会の形成に貢献するよう法改正なども検討されはじめており、また種々の試みや調査研究が行われ、実用に使われつつある。

表2-1 日本の都市人口規模別下水道実施状況

(平成4年度末)

人口規模	人口規模別						計
	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)	2,480	593	1,736	2,449	1,586	3,552	12,396
処理人口(万人)	2,306	365	949	1,256	582	405	5,863
総都市数	11	9	45	149	230	2,793	3,237
実施都市数	11	9	45	148	218	1,085	1,516
供用開始都市数	11	9	45	146	199	600	1,010

(注) 1. 総都市数3,237の内訳は、市664、町1,992、村581(東京区部は市に含む。)

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

表2-2 普及率の高い市町村(処理人口普及率70%以上)

(平成4年度末)

100万人以上	10万人以上 30万人未満	5万人以上 10万人未満	5万人未満	
札幌市(北海道)	小樽市(北海道)	岩見沢市(北海道)	網走市(北海道)	大竹市(広島県)
東京23区(東京都)	室蘭市(北海道)	千歳市(北海道)	紋別市(北海道)	宮島町(広島県)
川崎市(神奈川県)	釧路市(北海道)	恵庭市(北海道)	士別市(北海道)	新南陽市(山口県)
横浜市の(神奈川県)	帯広市(北海道)	広島町(北海道)	名寄市(北海道)	和木町(山口県)
名古屋市(愛知県)	北見市(北海道)	石狩市(北海道)	滝川市(北海道)	小郡町(山口県)
京都市(京都府)	苫小牧市(北海道)	塩竈市(宮城県)	砂川市(北海道)	芦屋町(福岡県)
大阪市(大阪府)	江別市(北海道)	多賀城市(宮城県)	京極町(北海道)	香焼町(長崎県)
神戸市(兵庫県)	日立市(茨城県)	与野市(埼玉県)	奈井江町(北海道)	長与町(長崎県)
北九州市(福岡県)	朝霞市(埼玉県)	越前市(福井県)	美幌町(北海道)	宮原町(熊本県)
福岡市(福岡県)	新座市(埼玉県)	戸田市(埼玉県)	旭町(北海道)	石川市(沖縄県)
	佐倉市(千葉県)	志木市(埼玉県)	七ヶ浜町(宮城県)	嘉手納町(沖縄県)
	八千代市(千葉県)	和光市(埼玉県)	利府町(宮城県)	北谷村(沖縄県)
10/11	鴻安市(千葉県)	富士見市(埼玉県)	大淵村(秋田県)	
	立川市(東京都)	上福岡市(埼玉県)	守谷町(茨城県)	
50万人以上 100万人未満	武蔵野市(東京都)	印西市(千葉県)	利根町(茨城県)	
	三鷹市(東京都)	国立市(東京都)	伊香保町(群馬県)	
	青梅市(東京都)	田無市(東京都)	新町(群馬県)	
仙台市(宮城県)	府中市(東京都)	保谷市(東京都)	草津町(群馬県)	
相模原市(神奈川県)	昭島市(東京都)	福生市(東京都)	大井町(埼玉県)	
鹿児島市(鹿児島県)	調布市(東京都)	狛江市(東京都)	三芳町(埼玉県)	
	小金井市(東京都)	東大和市(東京都)	酒々井町(千葉県)	
	小平市(東京都)	清瀬市(東京都)	白井町(千葉県)	
	東村山市(東京都)	武蔵村山市(東京都)	栄町(千葉県)	
3/9	国分寺市(東京都)	羽村市(東京都)	瑞穂町(東京都)	
	東久留米市(東京都)	逗子市(神奈川県)	滑河原町(神奈川県)	
30万人以上 50万人未満	多摩市(東京都)	阿谷市(長野県)	越前町(山梨県)	
	茅ヶ崎市(神奈川県)	岡市(岐阜県)	小菅村(山梨県)	
	厚木市(神奈川県)	知多市(愛知県)	月波山村(山梨県)	
旭川市(北海道)	松本市(長野県)	福知山市(京都府)	大山町(富山県)	
川越市(埼玉県)	大津市(滋賀県)	向日市(京都府)	白峰村(石川県)	
所沢市(埼玉県)	池田市(大阪府)	八幡市(京都府)	下畑町(長野県)	
横須賀市(神奈川県)	守口市(大阪府)	交野市(大阪府)	原村(長野県)	
藤沢市(神奈川県)	茨木市(大阪府)	大阪狭山市(大阪府)	野沢温泉村(長野県)	
岐阜市(岐阜県)	笑面市(大阪府)	芦屋市(兵庫県)	岡阪町(静岡県)	
豊中市(大阪府)	伊丹市(兵庫県)	赤穂市(兵庫県)	永平寺町(福井県)	
吹田市(大阪府)	宝塚市(兵庫県)	春日市(福岡県)	三園町(福井県)	
尼崎市(兵庫県)	川西市(兵庫県)	大野城市(福岡県)	朝日町(福井県)	
西宮市(兵庫県)	呉市(広島県)	余像市(福岡県)	大山崎町(京都府)	
奈良市(奈良県)	沖縄市(沖縄県)	太宰府市(福岡県)	登能町(大阪府)	
那覇市(沖縄県)		浦添市(沖縄県)	川西町(奈良県)	
12/45	39/149	40/230	52/2,793	

3. 下水道資源の有効利用

下水道資源の多目的利用は大きく分けて下水道施設を利用する形態と下水の処理・処分から発生する処理水、汚泥、エネルギーなどを利用する形態がある。全国各地で種々の資源利用が行われているが、下水道の持つ大量、大規模、多成分であり、需要地に極めて近接しているなどの特徴を、地域特性に応じてうまく生かしながら実行されて行けば、まだまだその用途は広がって行くものと考えている。(表3-1)。

以下に、下水道の持つ資源量と他の公共施設等の資源量とを対比しながら下水道資源の有効利用の最近の動向について紹介する。

3-1. 処理場ポンプ場

処理場やポンプ場の敷地や上部空間は過密化した都市において相当なまとまった面積を有する貴重

表3-1 下水道資源の多目的利用の概要

	下水道資源	利 用 法	考えられる用途	効 果		課 題	今後の展望
				事 業 者 サ イ ド	地 域 住 民		
施 設	処理場・ ポンプ場 の上部空間	レクリエーション施設 コミュニティ施設 教育・文化施設 防災施設 下水道関係施設 その他施設	公園、広場 スポーツ施設 公民館、集会場 科学館、水族館 広域緊急避難場所 駐車場、貸しビル etc	・下水道事業のPR ・財政安定化 ・土地・空間の有効利用 ・投資効率の引上げ ・用地費・建設費の軽減	・オープンスペースの確保 ・アメニティーの向上 ・コミュニティの形成 ・レクリエーション活動の旺盛化 ・地域の活性化 ・都市景観の形成	・利用法の適正解釈 ・社会的コンセンサスの確立 ・PR活動の促進 ・法制面の課題 etc	土地有効利用、アメニ ティーの向上要請等から利用 事例は増加するだろうが、 益々のPR活動により 住民の理解を深めること が必要。
	管 渠	情報通信網 防災施設 浸水施設	光ファイバーケーブル敷設 避難通路、防災トイレ 抽水所 etc	・下水道事業のPR ・財源安定化 ・通信の安全性、信頼性の向上 ・敷設コストが安価 ・早期構築可能	・高度情報化社会の確立 ・都市景観を損なわない ・防災性の向上	・小口径への敷設技術の 確立 ・管渠及びケーブルの維持 管理技術の確立 ・管渠専用ケーブルの開発 etc	低コストな高度情報イン フラの整備要請の高まり から、今後益々活用の途 は広がる。しかし、早期 技術的課題解決が必要。
発 生 物 利 用	処 理 水	直接再利用 間接再利用 防災上の利用	工業用水、農業用水 水洗便所等の雑用水 修景用水、散水 消火用水 etc	・下水道事業のPR ・財源確保 ・節水、省資源、省エネルギー	・アメニティーの向上 ・都市景観の形成 ・水不足解消 ・防災性の向上	・水質基準の設定と保持 ・高度処理技術の開発導入 ・需要者の確保 ・配管整備上の課題克服 ・料金体系の確立 etc	利用可能な処理水量は十 分であるため、利用価値 は広がるだろうが実用的 かつ経済的で水質基準を 保持する高度処理技術の 一層の開発が必要。
	汚 泥	材料、資源利用 エネルギー源	農耕地利用 建築資材化 道路路盤材 脱水汚泥の燃料化 消化ガス発電	・下水道事業のPR ・財源確保 ・省資源、省エネルギー化 ・埋立処分地延命 ・処理コスト低減	・都市景観の形成	・安全性の確保 ・品質向上 ・需要者の確保 ・流通機構の整備及び確立 ・経済性の向上	埋立用地確保の困難さ、 省資源、省エネルギー等 から、汚泥の循環型再利 用の必要性は高まるだろ うが安定的な下水汚泥処 分法の早期確立が必要。
	処理水の熱	エネルギーの有効利用	地域熱供給	・下水道事業のPR ・財源確保 ・省エネルギー ・環境改善 ・都市の過疎化防止	・オープンスペースの確保 ・アメニティーの向上	・イニシャルコストの低減 ・利用実証作り ・PR活動の促進 etc	新規開発地区や都市再開 発地区での普及が期待で きる。

なオープンスペースであり、これを複合的に利用することにより、土地利用の高度化、良好な都市景観の形成を行い、住民に対して憩いの場を提供することが求められている。現在、市街地や住宅地に隣接する処理場では平坦で広い面積のとれる水処理施設の一部に覆蓋されることが一般的になっており、公園、広場、野球場、テニスコート、防災空間などに利用されている。また、市民プラザ、オフィス、武道館などと合築される例も増えてきている。なお、環境問題への市民の関心が高くなっているため、下水道施設そのものの環境教育の場としての活用も、今後期待される。

図3-1に全国の下水道処理場数（平成3年度：公共、流域、特環）とその他の各種施設数の比較を示す。下水道処理場は全国に約880存在するが、その数は図書館数の約半数、体育館数の約1/5、市町村立都市公園数の1/70程度であり他の公共施設等と比較して現状では必ずしも多いとは言えない。

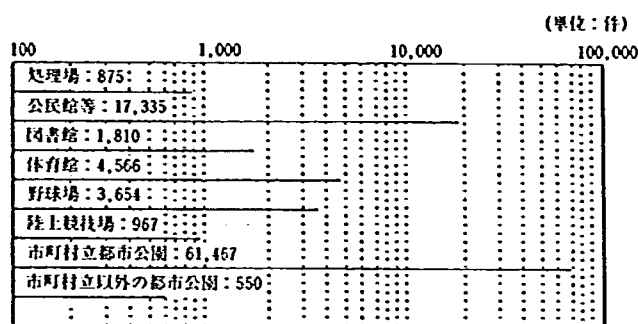
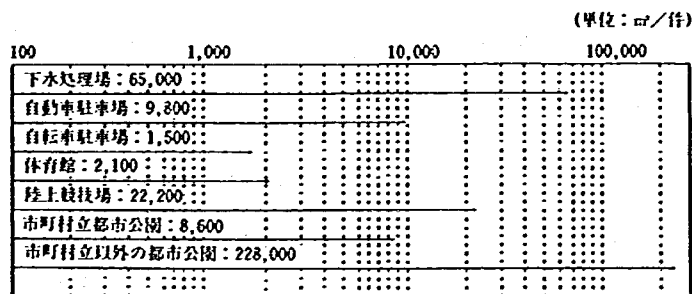


図3-1 下水道施設数とその他の施設数の比較

次に、図3-2は下水道処理場と他の施設の1施設当たりの面積を示したものであるが、1下水道処理場当たりの平均敷地面積は約65,000㎡であり、これは体育館の約30倍、市町村立都市公園の約7倍に相当する。すなわち、下水道処理場は、都市公園や体育館等の他の施設に比べ、数は少ないものの1箇所にまとまった相当量の広さの土地を有するという特徴があることがわかる。また図3-3は処理場面積頻度の累積を公共、流域、特環別に示したものである。この図によれば、下水道の種別により処理場面積の頻度分布は大きく異なることがわかる。最も数が多くてかつ市街地に近いものが多いと思われる公共下水道の平均は52,500㎡、中央値は約40,000㎡である。



注 体育館及び陸上競技場については市町村立以外のものについて計算している。

図3-2 下水道処理場と他の施設の1施設当たりの面積の比較

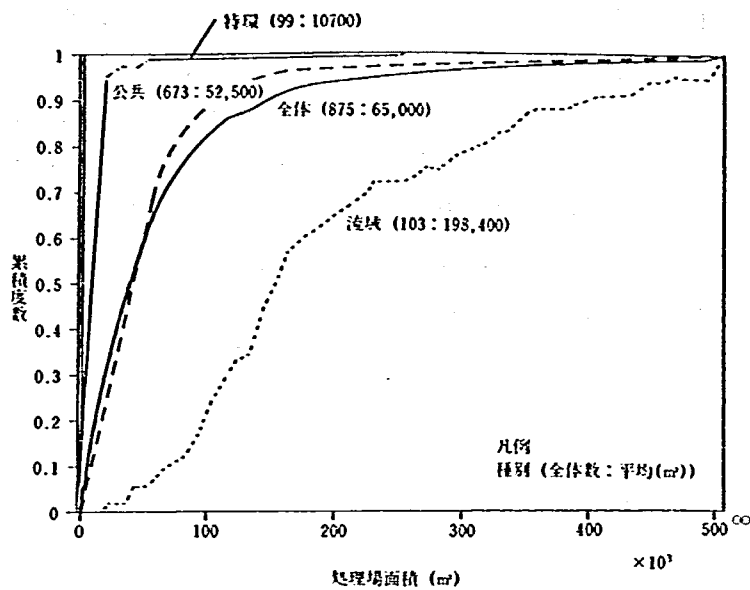


図3-3 処理場面積の頻度分布

3-2. 管渠

管路施設のうち、公共下水道の雨水渠や都市下水路などオープン水路については、処理水でせせらぎを回復させたり、植栽・遊歩道の整備等による親水・修景空間として積極的に活用されるようになってきた。大部分を占める暗渠については、その特性から有効利用が遅れていたが、くまなく都市内に配置される特長を生かし、光通信情報ネットワークとしての活用が試みられている。その他、固形廃棄物の輸送施設（ディスポーザなど）、雨水滞水池、管渠内処理施設など、新たな価値を管路施設に付与するための技術開発が求められている。

図3-4に下水管渠総延長と他の施設の総延長距離の比較を示す。下水管渠総延長は15万kmであり、鉄道営業キロ数の約6倍に相当するが、道路総延長、配電線巨長（配電線の支柱間の距離）、NTTケーブル長の約1/7程度の延長である。

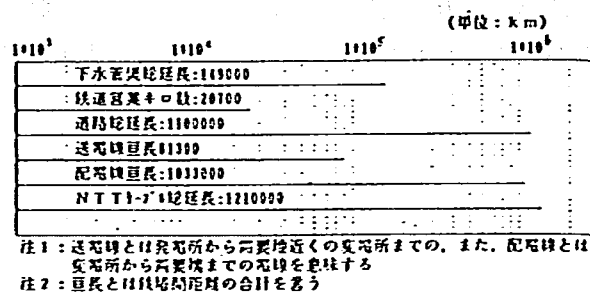


図3-4 下水管渠延長と他の施設の総延長距離の比較

3-3. 下水処理水の有効利用

下水処理水は、水需要が大きく水資源が高度に利用されている大都市地域において、豊富で安定的に存在する貴重な水資源であり、代替水源として注目されてきているほか、最近では清流復活事業に代表されるように都市域内の水環境創造の素材としても重要度が高まりつつある。具体的には水洗便所などの雑用水、工業用水、農業用水などのほか、散水・修景・親水用水など水辺空間創造のための利用が挙げられる。また未利用エネルギーの中でも利用しやすい熱源として、水温に着目した豪雪地域における融雪・流雪用水としての利用、冷暖房の熱源としての利用、その他が挙げられる。（図3-5）

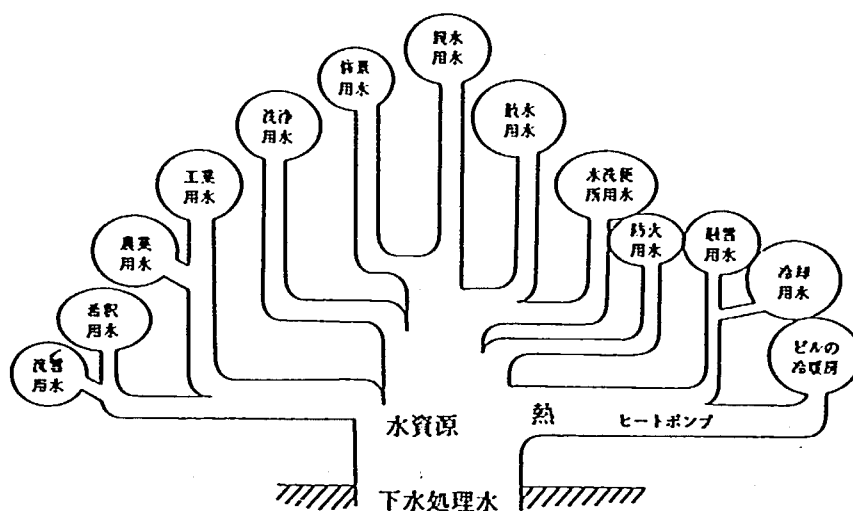


図3-5 下水処理水の有効利用

量的にみると平成3年度末現在、全国876の処理場で年間約110億 m^3 の下水が処理されており、処理場内で洗浄、冷却、消泡用水などに使用されているほか、99の処理場では場外に送水され再利用されており、その量は年間約1億 m^3 である。

図3-6に下水処理水と水の利用形態別使用水量等の比較を示す。これは工業用利用水量、生活用利用水量、地下水くみあげ量の約半分、また農業用利用水量の1/6程度に相当するものである。また、図3-7に1日1処理場あたりの処理水量と1日1事業所あたり使用工業用水量及び再利用水を使用している施設の1日1施設当たりの再利用水利用量の比較を示す。1日1処理場あたりの処理水量は35,000 m^3 程度であり、これは1事業所あたりの平均使用工業用水量の約10倍に相当する。またホテル、事務所ビル1件当たりで使用されている再利用水の200倍程度に相当する。

(単位: 億 m^3 /年)

	1	10	100	1,000
下水処理水量	81			
工業用利用水量	154			
生活用利用水量	152			
農業用利用水量	515			
地下水くみあげ量	119			

図3-6 下水処理水量と水の利用形態別使用水量等の比較

(単位: m^3 /日件)

	10	100	1,000	10,000	100,000
1日1処理場当たり処理水量	33,000				
1日1事業所当たり使用工業用水量	3,000				
再利用水を使用している施設の1日1施設当たり再利用水利用水量					
(学校: 30)					
(事務所ビル: 110)					
(工場: 110)					
(ホテル: 110)					
(公園、運動場: 10)					
(百貨店、スーパー: 10)					

図3-7 1施設1日当たりの下水処理量と水使用量などの比較

再生水に求められる水質は、雑用水、工業用水、農業用水などは、通常の二次処理水かこれを急速ろ過した程度のものを利用することができるが、修景・親水用水については、幅広い用途に対し用途別水質項目の目標値が設定されている。また、要求される水質に応じた処理方法、脱色・脱臭技術の

技術開発が行われており、衛生的な安全性を確保するための消毒技術についても、塩素消毒の代替法の検討や大腸菌群数に替わる新たな消毒指標の開発が行われている。

3-4. 下水汚泥の有効利用

下水処理水が増加し、処理が高度化

するに依じて下水汚泥の発生量も増大しており、これを例えば脱水ケーキの状態では埋立により処分することが年々困難になってきている。従って、汚泥の処理処分に当たっては、減量化を更に進めると同時に、汚泥の資源的価値を再評価し、永続的にかつ大量に有効利用する方策を確立することが重要な課題となっている。

下水汚泥の有効利用には、汚泥処理の過程で発生する消化ガスを利用して加温及び発電の燃料とする、脱水ケーキを乾燥・発酵して肥料、土壌改良材、固形燃料として使用する、焼却または溶解して、建設資材、路盤材、タイル、ブロック、軽量骨材、園芸用土壌、セメント原料、土質改良剤などに利用するなど、多様な用途が開発されている。(図3-8)

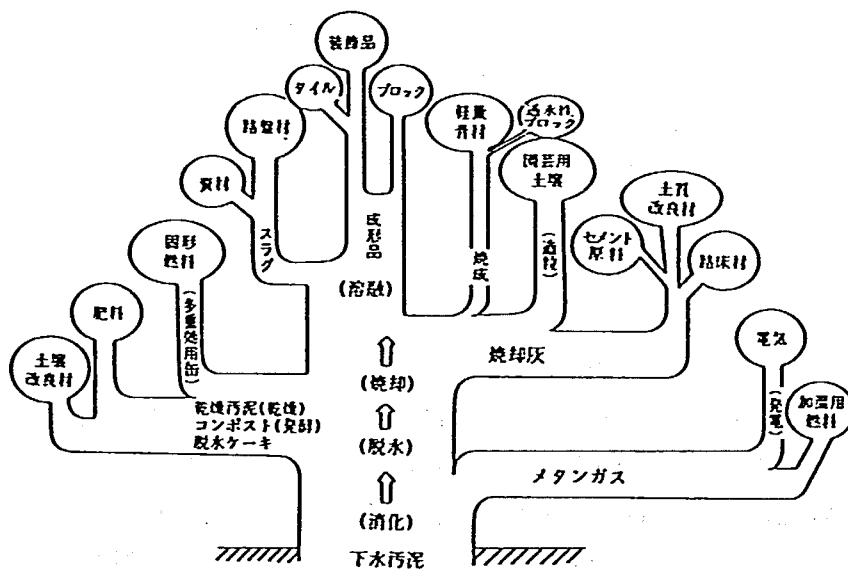


図3-8 下水汚泥の有効利用

図3-9に下水汚泥発生量とレンガ生産量、肥料出荷量の比較を示す。脱水汚泥発生量は固形分ベースで全国で約120万t/年であった。これはレンガ生産量の1/2、肥料出荷量の1/6程度に相当する量である。

(単位: トン/年)

10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸
脱水汚泥発生量(固形分): 118000		
レンガ生産量: 1981000		
肥料出荷量: 7385000		

注1: レンガ生産量は耐火レンガと一般レンガの合計
注2: 肥料出荷量は糞肥、尿素等全ての肥料の合計

図3-9 下水汚泥発生量とレンガ生産量、肥料出荷量の比較

3-5. エネルギーの回収、有効利用

下水道に係わる利用可能なエネルギーとしては、

熱エネルギー、化学エネルギー、位置エネルギーなどが挙げられる。

都市排熱を含んだ下水は、消雪、融雪に利用されるほか、温度レベルが低いいため余り注目されなかったが、気象などによる影響が少ないこと、大量に、需要地に近接して発生することなど利点も多く、

石油危機や最近の地球環境問題への関心の高まりなどによるクリーンエネルギー・省エネルギー指向もあいまって、地域冷暖房の熱源としても利用されはじめている。

図3-10に下水処理場、ゴミ処理場の廃熱賦存量の比較を示す。但し下水処理場については、下水からヒートポンプによって得られる熱量のみを計算している。図によれば、現在でも流入下水の持つ廃熱賦存量は全国のゴミ処理場の焼却廃熱賦存量の約2/3を占めており、1施設当たりになれば1.5倍以上になっている。また、住宅・事業所などの1件当たりの熱需要量をもとに、下水処理場1施設当たりの廃熱賦存量を評価したものが図3-11である。住宅・事業所などの熱需要量はピークの値ではないので、図に示す件数がそのまま下水処理場1施設当たりで熱供給できる住宅等の件数とはならないが、下水処理場の持つ熱賦存量の大きさがうかがえる。

化学エネルギーとしての利用は、下水汚泥に濃縮された有機物からのメタンの生成とガス発電によるエネルギーの回収であり、下水道に係わる利用可能なエネルギーの最大のものである。酸生成過程で発生する水素ガスの利用も考えられ、汚泥の焼却プロセス、あるいは溶融プロセスで発生する熱エネルギーを利用して住宅用給湯システムが実施されている例もある。

放流口における位置エネルギーを利用した水位差発電も試みられており、揚水エネルギーの削減あるいは省エネルギーにつながるものであるので、特に大規模処理場における活用が望まれている。

4. 下水道資源利用に対する下水道事業管理者の意向

下水道資源の多目的利用が下水道事業を進めていく上でどのような意義や効果または問題点を持っているのかを知るために、下水道施設を保有する自治体を対象として平成3年度にアンケート調査を行った。

対象とした自治体は以下の200自治体である。

ア. 流域下水道実施都道府県－39都道府県。

イ. 供用開始が昭和55年以前の処理場を持つ公共下水道実施市町村（223市町村）から、各県毎の分布、計画処理人口規模等を考慮し多目的利用の実績に関係なく161自治体を抽出した。

4-1. 下水道資源の多目的利用状況

図4-1に示すように、何らかの形で多目的利用を実施している自治体数は174箇所（87%）あり、かなりの自治体が多目的利用と関わりを持っていることがわかる。個々に見ると処理水の多目的利用

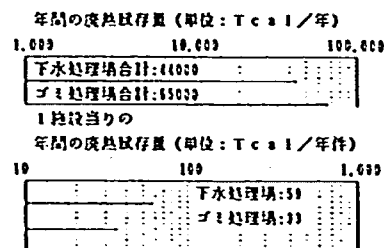


図3-10 下水処理場、ゴミ処理場の廃熱賦存量

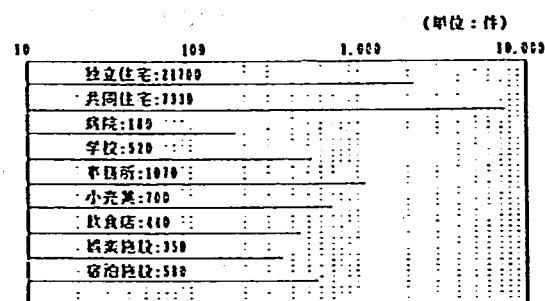


図3-11 下水処理場1施設当たりの廃熱賦存量の評価

を実施している自治体が一番多く（161箇所、83％）、次に汚泥（112箇所、57％）、上部空間利用（58箇所、29％）が続く。しかし管渠、熱エネルギーの利用が具体的に進んでいる自治体数は少なく、各々10箇所（5％）、13箇所（7％）にとどまっている。

処理水は大半が場内での再利用であった（152件）。しかし件数的には各々10件前後ではあるものの、農業用水、水洗トイレ用水、洗浄水、修景用水、融雪用水、樹木散布などの場外での再利用もあった。また一部で、し尿の希釈水、ゴミ消却炉の冷却水などでの利用があった。

上部空間については内訳を図4-2に示しているが、公園・広場に利用されているケースが最も多く（38件）、次にスポーツ施設の12件、駐車場、教育・文化施設と続き、住宅としての利用実績はなかった。

管渠の利用は大都市で多く、光ファイバーを敷設しポンプ場の監視などを行う内部利用が5件あった。その他の利用方として流雪溝としての利用があった。

汚泥では、消化ガスの燃料利用（51件）、コンポスト化による利用（47件）が多く、次いで脱水汚泥の緑農地還元（25件）、建設資材（14件）が続く。

処理水の熱エネルギー利用は、処理場内での空調利用が9件で大半を占める。その他、周辺の地域冷暖房、公民館のヒートポンプ用熱源、処理場上部の温水プールの熱源利用があった。

今後、下水道資源の多目的利用を計画している自治体は170箇所あり、処理水が142箇所、汚泥が124箇所、上部空間が102箇所と多く、熱エネルギー23箇所、管渠8箇所となっている。

4-2. 多目的利用への関心度

多目的利用全般に関する関心度は、かなり関心があるが96箇所、少し関心があるが82箇所と約90％（計178箇所）の自治体が関心を持っている。また都道府県の方が市町村より関心が高い傾向にあり、更に大都市ほど、供用開始年が古いほど、下水道普及率が高いほど多目的利用に関する関心が高かった。

逆に、多目的利用に関心がないと回答した自治体の理由として、経費や人手に対して得られる効果が少ない、住民のニーズがない、利用可能な資源量が少ない、検討したことがない等が主な理由であった。その他、下水道事業として行う意義がない、普及率向上に全力を傾注しており多目的利用まで関

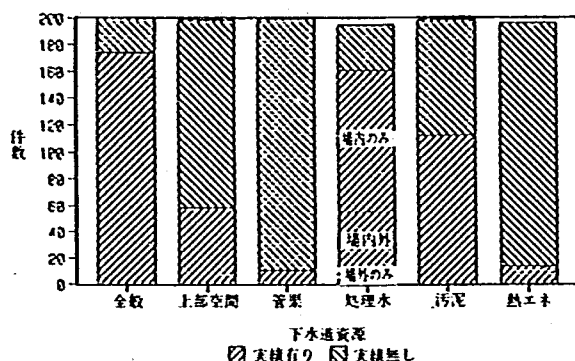


図4-1 下水道資源の多目的利用の実績

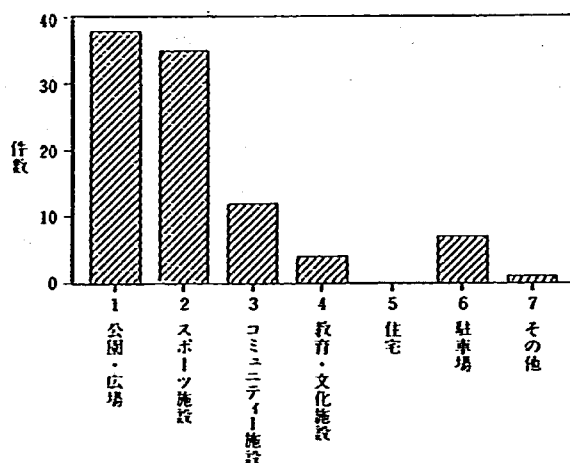


図4-2 上部空間の利用法

心が回らない、地理的に不便だから等の理由があった。

各資源毎に見てみると、処理水（170箇所）、汚泥（156箇所）、上部空間利用（124箇所）への関心が高く、ついで熱エネルギー（82箇所）、管渠（53箇所）の順であった。

上部空間では、公園・広場（112件）、スポーツ施設（106件）、コミュニティ施設（48件）に対する関心が高い。

管渠の場合、大半が光ファイバーの敷設に対する関心を持っているが、その利用用途は内部利用にとどまらず下水道関連以外の利用に対してもあった。

処理水の場合、図4-3に示すように、修景用水（93件）、河川維持用水（51件）、水洗トイレ用水（35件）への関心が高かった。

汚泥に関しては、建設資材利用（103件）、肥料利用（87件）、消化ガスの燃料利用（57件）に対する関心が高かった。

処理水の熱エネルギーでは、処理場への空調利用（66件）、周辺地域への熱供給（42件）に対する関心が高く、消雪熱源、温水プール熱源などに対する関心もあった。

4-3. 多目的利用の効果

多目的利用全般で見た場合、図4-4に示すように、下水道事業のPR（162件）、環境改善・アメニティ向上（152件）、省資源・省エネルギー（146件）に対する効果への期待は大きい（全体の88%）ものの、財政安定化（18件）、コスト低減（46件）、などの経済的効果への期待は少ない。

個々の下水道資源毎に見た場合、上部空間に対しては、土地の有効利用（165件）、下水道事業のPR効果を考える自治体が80%程度を占め、地域住民の生活環境改善、アメニティ向上を期待するものも多い。

管渠の場合、都市景観を損なわない高度情報化社会への貢献（147件）下水道事業のPR（135件）に対する期待が大きく、通信網敷設コストの低減化（108件を期待するものも多い。また、財政安定化という経済的効果に対する期待が他の資源よりも高かった（44件、9%）。

処理水の場合、下水道事業のPR（154件）を期待する意見が他と同様に多いが、資源の有効利用に対する効果（省資源・節水（141件）、水源確保（86件））及び地域住民の生活環境改善効果（住環境の向上（66件）、環境回復（51件）、都市景観向上（40件））への期待も大きい。

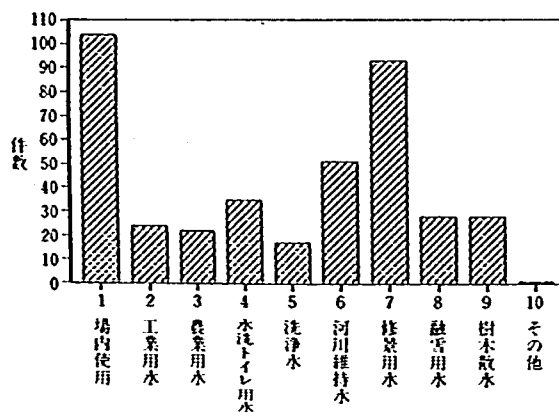


図4-3 関心のある多目的利用法

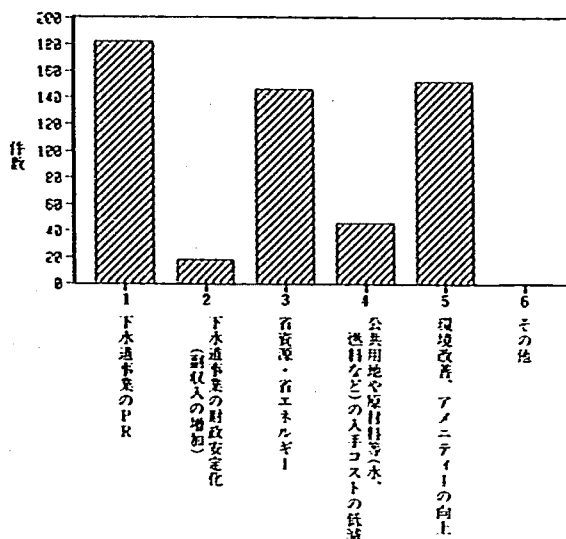


図4-4 下水道資源の多目的利用の効果

汚泥の場合、埋立処分地の延命効果に対する期待が最も高く（162件）、次いで下水道事業のPR（146件）、省資源効果（100件）、安価な資材の提供（90件）に対する期待が多かった。

処理水の熱エネルギーの場合、省エネルギー効果（175件）を期待する意見が最も多く、次いで下水道事業のPR（151件）が続く。

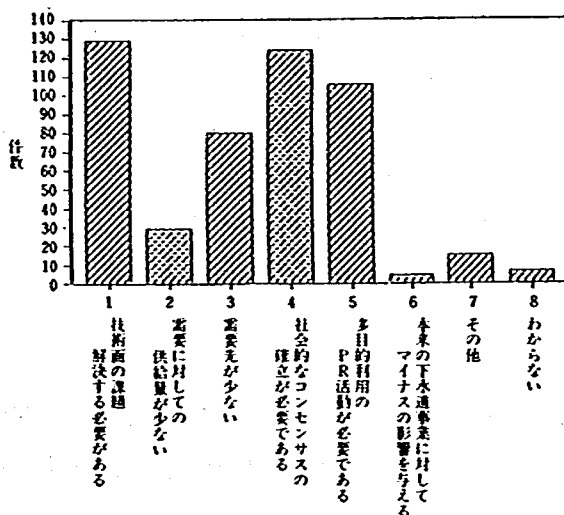


図4-5 下水道資源の多目的利用の課題

4-4. 多目的利用の課題

多目的利用全般で見た場合、図4-5に示すように、技術面での課題が129件と最も多く、ついで社会的コンセンサスの確立（124件）、PR活動の促進（106件）が続く。一方、供給量不足、下水道事業に対するマイナス要因等に対する懸念は少なかった。

各資源別に見た場合、上部空間では、PR促進（120件）、社会的コンセンサスの確立（97件）といった課題が中心である。またニーズ（需要量）の少なさも56件と相当多かったが、これは地価が安くスペースの豊富な地方都市で多く見られる傾向にある。

管渠の場合には、敷設・維持管理における技術的課題（153件）、需要先の開拓の必要性（107件）が大きな課題である。一方、直接住民が使うことが少ないためか、PRの促進、コンセンサスの確率などの課題のウェイトは高くなかった。

処理水では、高度処理技術の確立といった技術面の課題（139件）、水質基準・料金体系の確立といった法制度面での課題（129件）が中心であり、次いで社会的コンセンサスの確立（88件）、PR促進（68件）、ニーズの低さ（55件）などの課題が続く。

汚泥の場合は、安全性・品質の確保といった技術面での課題（152件）、既存製品にコスト的に対抗できるかといった経済面での課題（130件）及び製品供給を誰が行うのかといったシステム上の課題（80件）が中心であった。

5. 有識者・地域住民・不動産業者の処理場上部空間利用に関する評価

処理場の上部空間利用は、処理場立地に当たっての処理場周辺住民等との話し合いの中で、運動施設用地としてあるいは小公園などアメニティ向上を期待して実施されてきた。このように、上部空間利用は基本的には処理場周辺住民の要望により実施されてきたという経緯はあるものの、このような上部空間利用に対して処理場周辺の住民等は具体的にどのような評価を与えているのか、上部空間利用をおこなうことによって本来の下水道事業はどのようなメリットを受けているのか、今後の望ましい上部空間利用のあり方はどのようなものかというような問題に対する調査研究はほとんど実施されていない。以下に下水処理場の上部空間利用について、有識者・地域住民・不動産業者等を対象に平成4年度に行ったアンケートによる意識調査の結果を示す。

5-1. 調査方法

調査は以下の方法により実施された。

(1) 現状調査

下水道統計（平成元年度版）のデータを基に、全国ベースでの処理場の上部空間利用の現状について、利用面積、利用率、都市人口密度による傾向等の概略把握を行った。また、上部空間利用を実施している全国の処理場（流域下水道の処理場を除く）から24処理場を抽出し、より詳細なケーススタディを実施した。

(2) 有識者へのアンケート調査

日本下水道協会特別会員は大学教授など個人の資格で協会の会員となっている者であり、下水道に関する代表的な有識者といえる。

日本下水道協会特別会員（平成3年度）816名を対象として、処理場上部空間利用に関するアンケート調査を実施した。回答数は485件で回収率は59%であった。アンケート内容は、下水処理場の上部空間の公的利用（以下、公的利用）に関するもの、収益事業利用（以下、収益事業）に関するもの及びそれらの意義・効果等に関するものである。なお、ここでいう収益事業とは賃貸ビルやショッピングセンター等、民間事業者により上部空間を利用させ、土地提供者として下水道事業者も利益を得る形態のものをいう。

(3) 処理場周辺住民へのアンケート調査

上部空間が公園として積極的に利用され、周辺に住宅が密集している処理場を1箇所選定し、この処理場を中心に半径1km以内に位置する25,675世帯から居住人数2人以上の世帯を2,000世帯ランダムに抽出し、アンケート調査を実施した。回答数は709件で回収率は35.5%であった。回答者の概要として、男女別では男性が約70%、年代別では40代以上が約73%であり、職業では自営業、会社員、主婦が多かった。また、世帯人数では2人～4人が約79%、居住年数では20年以上が約57%であった。アンケート内容は、上部施設の利用度、下水道事業へのイメージアップ度、上部利用に対するニーズ及び満足度、下水処理場に対する受容性の変化等である。

(4) 不動産業者等へのヒアリング調査

都市部での収益事業への上部空間利用に対する大手デベロッパーの意識及び下水処理場の立地や上部空間利用の有無による周辺不動産事情への影響を明らかにすることを目的として大手デベロッパーの業界団体及び大都市にあり上部空間利用が行われている3処理場の周辺の不動産業者（計4業者）を対象としたヒアリング調査を実施した。ヒアリング内容は収益事業に対する興味、進出意欲、利用上の課題、下水処理場の立地や上部空間利用が周辺の不動産価格に及ぼす影響等である。

5-2. 上部利用の現状

平成元年度末現在、全国788処理場のうち105処理場で上部利用が行われ利用率は13.3%である。都市内にある施設として上部利用を見るために流域下水道を除くと、全国675処理場のうち97処理場(14.4%)で上部利用が行われ、処理場総敷地面積3,503haのうち95ha(2.7%)が利用されている。

都市人口規模に係わらず上部利用が実施されているが、処理場数及び利用面積の比率でみると図5-

1に示すように、人口規模の増加に伴って利用率が増加していく傾向が見られ、人口百万人以上の都市では40%以上の処理場(面積割合で約6.5%)で上部利用が行われている。図5-2は処理場の上部利用率を都市人口密度(行政人口/行政面積)別に表したものであるが、上部利用を実施している処理場数の比率は都市人口密度が1000人/㎢を越える辺りから増加する傾向が見られ、人口密度1万人以上の都市では50%を越えている。また、上部利用面積比率においても都市人口密度の増加に伴って漸増の傾向が見られ、人口密度が1万人以上の都市の処理場ではその比率は10%を越えている。すなわち上部利用はやはり大都市地域で多く実施されていることがわかる。

上部利用の用途としては公園、広場、運動施設(テニスコート、野球場等)がほとんどであるが、下水道関係の啓蒙施設や防災空間(川崎市)として利用したり、上部に市民プラザ(横浜市)、武道館(鎌倉市)を建設するなど新しい取り組みも行われている。

次に、既に上部利用を実施している処理場のうち24処理場(流域下水道の処理場をのぞく)を抽出してケーススタディを実施した結果によれば、全敷地面積に占める上部空間利用面積の比率の平均値は23%であった。また、敷地のうち沈殿池及びエアレーションタンク設置面積を利用可能面積とすれば、全敷地面積に占める利用可能面積の比率の平均値は36%であり、利用可能面積に占める既利用面積の比率の平均値は61%であった。総敷地面積3,503ha(流域下水道の処理場をのぞく)のうち利用可能面積の割合は36%であるので、全国では約1,200ha($3,503 \times 0.36$)が推定利用可能面積となる。この面積は東京都東久留米市や大阪府門真市と同程度の広さである。

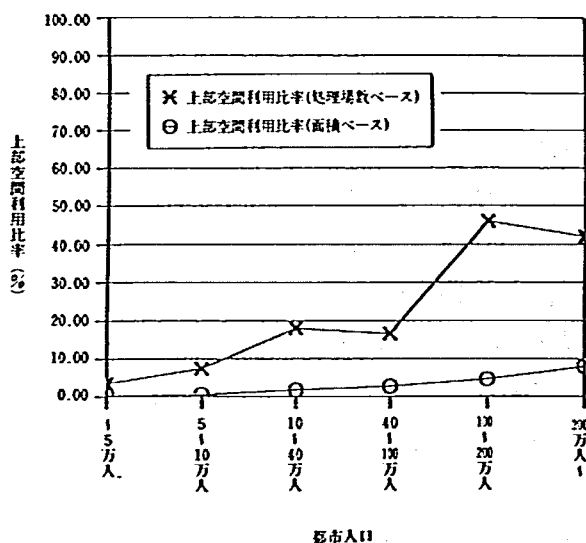


図5-1 下水処理場の上部空間利用率(都市人口別)
注) 流域下水道は含まない

5-3. 上部空間利用の認識度

日本下水道協会特別会員へのアンケート調査(以下、会員調査)によれば、98%の人が上部利用が行われていることを知っており、公的利用については95%、収益事業については74%の人が関心があるという回答であった。処理場周辺住民へのアンケート調査(以下、住民調査)によれば、74%の人が一般的知識として全国各地で下水処理場の上部空間利用が実施されていることを知っており、この傾向は世代や性別に関係なく認められた。また、90%の人が調査対象とした公園の下部が下

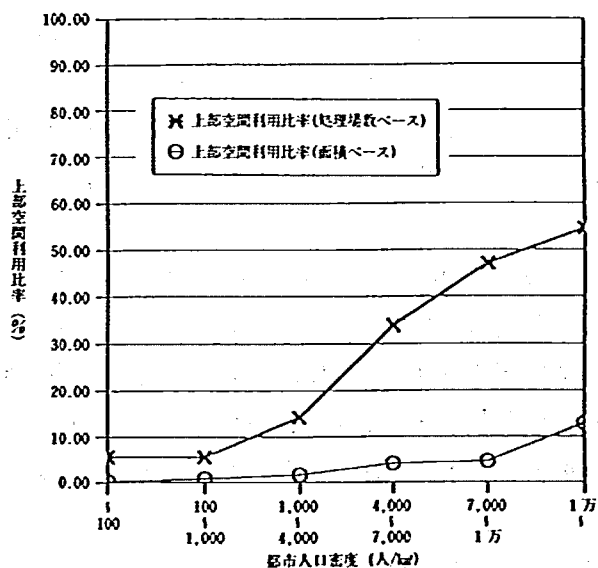


図5-2 下水処理場の上部空間利用率(都市人口密度別)
注) 流域下水は含まない

水処理場であることを知っていた。公園の利用目的としては散歩 62%、子供の遊び場 36%（複数回答）が多かった。以上の結果より、上部利用に対する認識度はかなり高いといえる。

5-4. 上部空間利用のニーズ

（1） 公的利用

①必要性

会員調査によれば、公的利用の必要性については「全国的に必要」27%、「大都市圏、地方中核都市で必要」37%、「大都市圏で必要」10%、「地域に係わらず必要なところがある」24%と、何らかの形で必要と答えた人は98%に達した。住民調査によれば「必要」69%、「どちらかといえば必要」17%と、86%の人が何らかの形で必要と答えている。また、「必要」と答えた人の割合は下水処理場から住居までの距離（以下、居住範囲）が徒歩で10分以内が73%、15分以上が66%と、居住範囲による大きな違いはなかった。

②ニーズの高い利用法

会員調査によれば、ニーズの高い公的利用法は「緑地・公園」81%、「野球場、体育館等のスポーツ施設」77%、「公営駐車場」43%、「公民館等のコミュニティ施設」41%、「下水道啓蒙施設」38%、「災害時の避難場所」36%等（複数回答）であった。住民調査によれば「緑地・公園」74%、「野球場、体育館等のスポーツ施設」50%、「図書館・博物館等の教育・文化施設」25%、「公営駐車場」21%等（複）であった。

（2） 収益事業

①必要性

会員調査によれば、収益事業の必要性については「全国的に必要」13%、「大都市圏、地方中核都市で必要」28%、「大都市圏で必要」13%、「地域に係わらず必要なところがある」22%と、何らかの形で必要と答えた人は76%であり、これは公的利用の場合よりも低かった。但し「大都市圏で必要」と答えた人は公的利用の場合より多かった。

大手デベロッパーの業界団体に対するヒアリングによれば、現在大手デベロッパーは景気低迷の中、新規事業への事業展開を差し控えており、特に今回のような合築の場合、合築をめぐる権利関係の複雑さのために民間事業者側としてはあまり積極的に進出する意向はない模様であった。従って、民間事業者側の収益事業に対するニーズはそれ程高くないのが現状であり、行政側が条件面等でよほど歩み寄らない限り収益事業の中で民活を導入することは難しいものと思われる。

②ニーズの高い利用法

会員調査によれば、ニーズの高い収益事業は「有料駐車場（民間）」74%、「スポーツ施設（民間）」69%が飛び抜けて高く、以下「動物園、水族館等の民営の遊園施設」33%、「トラクターミナル・物流センター」29%、「自動車教習所」28%等（複）であった。住民調査によれば「公営駐車場」21%、「公営住宅」14%と、どちらかといえば公的な形の収益事業に対するニーズは高かったが、「ショッピングセンター」8%、「映画館、劇場等の遊技施設」8%等（複）、民活を導入するような非公的な収益事業へのニーズは高くなかった。

5-5. 上部空間利用の効果

(1) 公的利用

会員調査によれば、上部空間利用の効果としては「土地・空間の有効利用」72%、「下水道事業のPR・イメージアップ」71%、「周辺地域のアメニティ向上」47%、「下水道施設の立地促進」26%等（複）が効果としてあげられた。また、上部空間利用が下水道事業や下水道施設のイメージ向上に寄与していると思うかと聞いたところ、「大いに寄与している」58%、「どちらかと言えば寄与している」34%と、92%の人がその効果を認めている。さらに、回答者の居住地の周辺に新たに下水処理場が建設される場合を想定した質問に対しては「上部利用が行われなくても処理場立地に賛成」27%、「上部利用が行われるならば処理場立地に賛成」46%、「どちらとも言えない」14%等であった。

住民調査によれば、公園を利用する頻度として「ほぼ毎日」1%、「週に1、2回」6.8%、「月に1、2回」19%、「年に数回」43%、「数年に1回」21%等であった。これを居住範囲で見たものが図5-3であり、居住範囲が10分以上となると利用頻度が落ちていた。また、処理場に対するイメージでは「良い」、「どちらかといえば良い」が35%、「良いとも悪いともいえない」31%、「悪い」、「どちらかといえば悪い」26%と、意見はほぼ3つに分かれていた。

利用頻度と処理場に対するイメージの関係を見たのが図5-4である。「良いイメージ」又は「どちらかといえば良いイメージ」と答えた人の割合は利用頻度との相関はあまりないという結果となっている。しかしながら、「どちらかといえば悪いイメージ」及び「悪いイメージ」と答えた人の割合は利用頻度ごとに「ほぼ毎日」10%、「週に1、2回」15%、「月に1、2回」24%、「年に数回」28%、「数年に1回」27%、「利用したことがない」29%と利用頻度が下がるにつれ上昇している。処理場に対するイメージが悪いから利用頻度が少ないのか、公園を頻繁に利用したために処理場に対するイメージが「少なくとも悪くはない」に改善されたのかはこの調査からは明らかではないが、以下に述べるように90%の人が上部利用の効果을認めていることと考え合わせると上部利用が処理場に対するイメージ改善に寄与しているものと考えられる。

次に、公園下部が処理場であることを「意識している」人は49%で「意識していない」人40%よりやや多かったが、図5-5に示すように処理場の上であることを意識している人の方が、上部利用

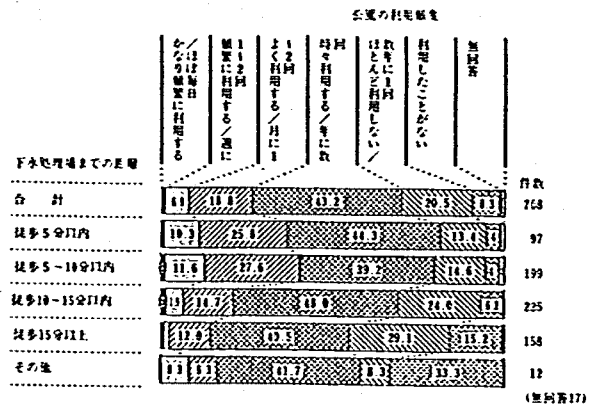


図5-3 公園の利用頻度と処理場までの距離

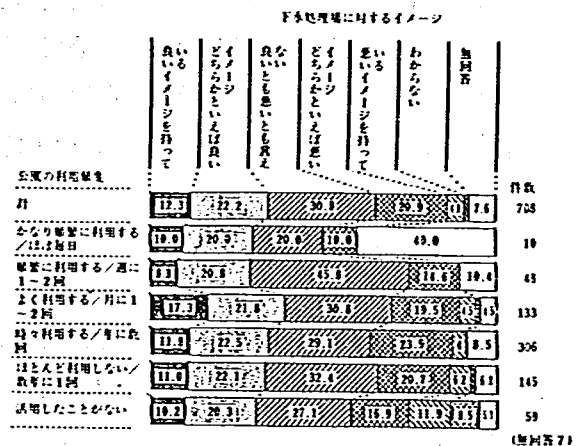


図5-4 処理場に対するイメージと公園の利用頻度

による生活の豊かさを感じているという傾向が見られた。また、上部空間利用が下水道事業や下水道施設のイメージ向上に寄与していると思うかと聞いたところ、「大いに寄与している」61%、「どちらかと言えば寄与している」29%と、90%の人がその効果を認めており、その割合も会員調査とほぼ同等であった。さらに、回答者の居住地の周辺に新たに下水処理場が建設される場合を想定した質問に対しては「上部利用が行われなくても処理場立地に賛成」14%、「上部利用が行われるならば処理場立地に賛成」62%、「どちらとも言えない」12%等であり、会員調査に比べて上部利用の条件付き賛成の割合が多かった。

公園による生活の豊かさとの関係を示したものが図5-6である。公園による生活の豊かさを常日頃感じている人の方が処理場立地に寛容であり、これらのことから上部利用が処理場に対する意識に効果を及ぼしていることが推察できる。但し、悪臭や地域イメージの低下等を理由として断固処理場立地に反対と訴える人も6%あり、上部空間利用が必ずしも決定的なものであるとは言えない。

処理場周辺不動産業者に対するヒアリング調査によれば、平均的な意見として、ある地区の不動産価値にもっとも影響を与えるのはその地区の交通利便性（駅までの所要時間）であり、これに比べれば処理場の存在の影響ははるかに小さいとのことであった。今回ヒアリング調査をおこなった地区の処理場はいずれも上部利用を実施しており、特に比較的新しく立地した処理場の場合、処理場立地に伴い上部空間を積極的に住民に解放しているためか、下水処理場が立地されたから周辺地域の不動産価値が大きく下落した、あるいは不動産売買上大きな支障が生じたといった状況はほとんど無いとのことであった。従って、一般的に考えて処理場の新規立地は周辺不動産価格に対してマイナス要因となることが懸念されるが、地域住民の意向を十分取り込み上部空間を有効に利用することによりこのマイナス分程度は取り戻せるのではないかと考えられる。但し、今回ヒアリング対象とした不動産業者の中には処理場よりの臭気が不動産売買上支障をきたしているとの意見もあった。

（２）収益事業

会員調査によれば、収益事業の効果としては「土地・空間の有効利用」63%、「副収入増加による財政安定化」42%、「下水道事業のPR・イメージアップ」34%、「用地費、建設費の低減」32%、「処理場周辺地域の活性化」25%等（複）が効果としてあげられた。特に「財政安定化」と答えた人では公務員（多くが下水道事業に携わっているものと考えられる）の割合が多く、収益事業による下水道

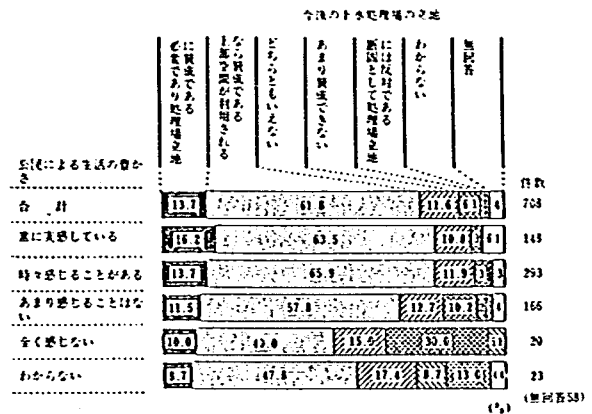


図5-5 生活の豊かさへの実感と処理場の上部利用であることの意識の関係

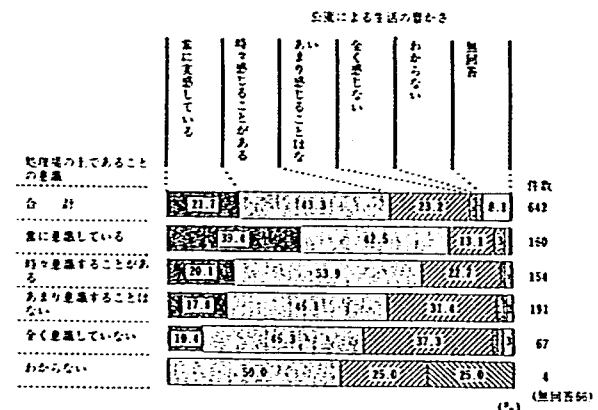


図5-6 処理場立地への賛否と生活の豊かさへの実感の関係

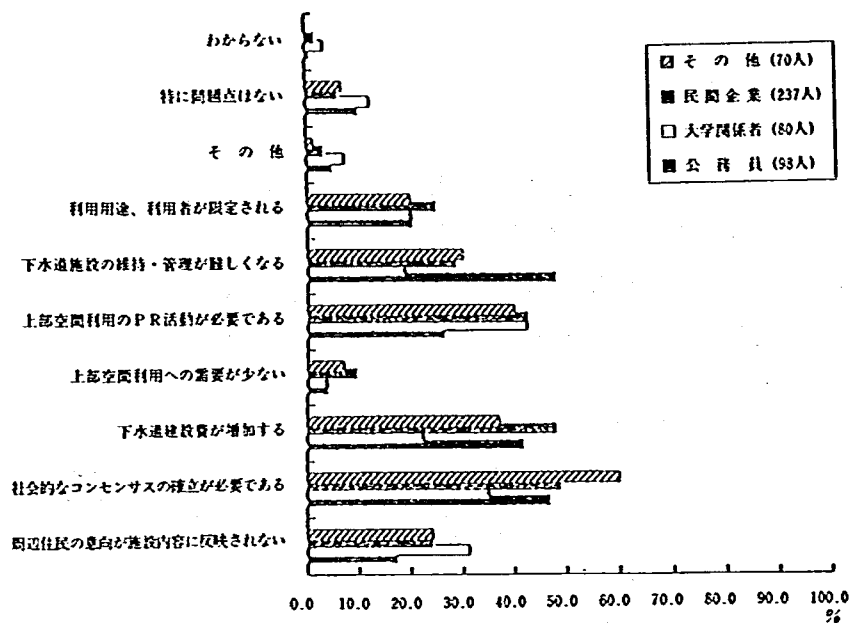


図5-7 下水処理場の上部空間利用（公的利用）の課題〔職業別〕
事業への直接的な効果（収入）を期待していることがわかる。

5-7. 上部空間利用の課題

会員調査によると、公的利用の課題として「社会的コンセンサスの確立」48%、「下水道建設費の増加」41%、「PR不足」39%、「施設の維持管理が難しくなる」31%等（複）があり、収益事業に対しても同様な傾向であった。これを職業別にみたものが図5-7であるが、公務員において維持管理への影響をあげる割合が高く、またPR活動の必要性をあげる割合が低く、他の職業と比較して意識の違いが見られた。なお、収益事業に関しては、収益性を重視した施設は必ずしも周辺住民のメリットになるとは言えないとの意見の記入もあった。

住民調査によれば、何らかの問題意識を持つ人が62%、特に問題無しとした人が33%であった。ただし問題意識の内容は、「利用時間帯が限定される」17%（注：公園は夜間利用できない）、「利用用途が限定される」17%等と、具体的な利用方法に関するものである。しかしながら、問題意識の多寡と下水処理場に対するイメージとの関係を示したものが図5-8であるが、これによれば、上部利用上の問題が多いと感じる人は下水処理場に対するイメージも悪い人が多いことがうかがえる。

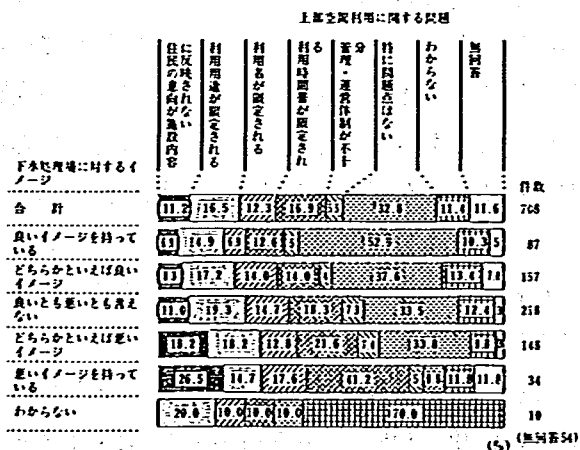


図5-8 利用上の問題点と処理場に対するイメージの関係

6. おわりに

下水道の普及率は西暦2000年に70%、その後90%までに引き上げることが計画されており、将

来はほとんどの国民が下水道のサービスを享受することになる。下水道は十分な維持管理がされて初めてその使命を達成できるものであり、このためには施設利用者の協力が極めて重要であるが、下水道施設はほとんどが地下に埋設されるため、計画・設計・建設時点までに比べ維持管理に入った段階での、利用者の関心は残念ながら低下する傾向が見られる。しかし下水道システムが有する資源的価値は潜在的なものを含め非常に大きなものであることは本稿で述べてきた通りであるので、本来の使命を十全に果たしながら、多目的活用を推進して下水道の付加価値を高め、利用者の関心を喚起しながら、地域の発展や住民の福祉の向上等に貢献していくつもりである。例えば、建設省では「未来都市下水道モデル事業」を推進しているところであるが、平成5年度にこのモデル事業に採択された神戸市の名谷処理場では、施設上部に親水公園を建設し、この公園を核としてまわりに高齢者向け住宅や特別養護老人ホーム、高層住宅等を建設することになっている。親水公園には下水の高度処理水でせせらぎ等を整備する他、周辺施設に対して下水より回収した熱の供給や高度処理水を雑用水として供給することも計画されている。

今後下水道の持つ様々な資源をうまく組み合わせて有効利用を図るため下水道をとりまく多くの産業分野の連携協力と関連する技術の一層の革新が必要である。関係各位のご理解をお願いする次第である。

(終わり)

特 別 講 演
21 世 紀 の 科 学 技 術

日本学術会議 会長 近 藤 次 郎

21世紀の科学技術

日本学術会議会長 近 藤 次 郎

工業教育のことをお話ししなければならないのですが、21世紀の科学、あるいは社会がどのようになるかを予想して、それに適合するような学生を育てるというのも工業教育のあり方であると思います。そこで今日の話は21世紀という大分先のことで、当たらないものもあるでしょうが、息抜きにお聞き頂き、参考にしていただければと思います。

90年前の予測ほぼ的中

表1は1901年、すなわち明治34年1月2、3日の報知新聞に掲載された「21世紀の科学・技術の予測」であります。ご覧になりますと、「野獣の滅亡」はWWFで滅亡しないように一所懸命努力しているところです。「暑寒知らず」はもちろん達成されておりますし、「人の身幹伸長」といいますと、朝地下鉄に乗りますと、背の高い髪の毛の長いOLさんに囲まれて、目の前が簾のようで、私ももうぼつぼつ引退しなければと思います。「大学の一般化」なんかも、昔は学士様といわれて大変なエリートでしたが、今では大学への進学率は30%、専門学校を入れれば50%になりました。このように、ここに書いてあることがほ

表1. 20世紀の科学・技術の予測
(報知新聞 明治34年1月2、3日)

無線電話および電話	鉄道の高速度
遠距離の写真	市街鉄道
野獣の滅亡	人の身幹伸長
サハラ砂漠の緑化	医術の進歩
七日間世界一周	自動車の普及
空中軍艦空中砲台	人と獣の会話
蚊および蚤の滅亡	大学の一般化
暑寒知らず	電気の輸送
植物の人工栽培	盲啞使法
人声七里に達す	電気の世界
写真電話	

表2. 20年後の科学・技術の予測 (科学技術庁)

発表年度	1981	1985	1991
予測年度	2001～05	06～10	11～15
完成事項	NOx除去 10T Flops 航空管制システム 超LSI ナノ技術	地震予知 ガン化解明 ガン転移防止	アルツハイマ ガン治療 地球環境技術

とんどその通りになっています。

科学技術庁では1971年から5年ごとに「科学・技術の予測」を行っています。5回目の調査が1991年で、その環境・健康・技術の予測は表2のようであります。



環境関係ではNOxの除去が、2001年から5年までに可能になるだろうと予測しております。北海道で大きな地震がありました。地震は2006年から10年までの間に、予知できるようになるだろうと予測しています。癌になるメカニズムが解明され、また転移防止が可能になるだろうと予測しています。老人痴呆症の一つであるアルツハイマの原因とその治療も、2015年までには可能であろうと予測しています。

現在10ギガFlopsの速さの計算が可能ですが、2005年までにその1000倍の速さの計算が可能になり、また航空管制システムができて、飛行機が墜落しなくなると予測しています。また、「ナノ技術」、1mの百万分に1の桁の微細加工が可能になるだろうと予測しています。

これらの予測がどのくらい当たるかということですが、1981年の予測について部分的達成まで入れると60%当たっています。当たらなかった4割の内の半分は、予算がなくてできないもので、残り2割は原理的に難しいものです。例えば核融合は研究の始めのころは今世紀中に完成すると予測されましたが、未だに見込みが立っていません。これは原理的に難しいものの例ですが、そういったものは少ないですね。

しかしながらこのような予測項目に入っていなかった非常に大きな成果があります。Albert Einsteinによる「相対性理論」は、エネルギーEは質量mと光速cの2乗の積に等しい、すなわち、 $E=mc^2$ という簡単な式で表されます。このような一見簡単な式から出発して、原子爆弾もできたし、核分裂でエネルギーも取り出すことができるようになったわけであります。

このように物理学は、どんどん細かいほうに向かって

発展してきましたが、化学は反対に大きいほうに向かって発展しているように思います。Hermann Staudinger は1930年頃に高分子化学を提唱しました。これから高分子をつくることや調べる学問が発達しました。例えば蛋白質など大きな分子の構造もわかるようになりました。インスリンといった体内で合成される物質も解明されましたし、脳の中にある300種類の物質もその構造がわかるようになりました。

飛躍する科学と積み重ねの技術

科学には物理・化学のほかに数学や生物学もあります。生物学では今世紀の大体真ん中ごろに遺伝子が見つかりまして、それによってメンデル以来の遺伝学がすっかり変わってしまいました。生命を創ることはできませんが、人工的に新しい作物をつくることもできるようになりました。最近の物理・化学・生物学などの動きを見てみますと、複数の学問が融合して、新しい学問ができたという特徴があります。例えば物理と生物学という遠い学問が融合して分子生物学が生まれ、1960年に日本で分子生物学会ができました。数理解物理学・物理化学・生物化学など皆そうです。日本学術会議は、1985年から学会を母体として会員が推薦されることになりましたが、選挙をする前に母体となる学会の登録を行います。学会といっても異質のものもありますので、チェックを受けた学会が登録されます。私が最初に選出されました13期のときの登録学会数は約700でした。その3年後の14期のときには800でありました。さらに3年後の15期のときは900にもなりました。現在16期の登録を行っているところですが1069の学会の登録の申し込みがあります。このように非常に勢いで学会が増えますのは、融合・分裂によって新しい学問分野が生まれるからであります。

図1はボーイング747-400型機の絵です。4,5年前から使われている一番新しい747-400は747-300と違って、翼端が上に折れ曲がっているのが特徴です。747-200はジェット機の寿命限界の20年くらい経った飛行機ですから、お乗りになったらベルトをしっかりと締めたほうがよいでしょう。以前飛行機の研究をしていた私には、翼端を立てれば明かに抵抗が大きくなりますから、こんな実験を試みようなどと思ったこともありませんでした。しかし考えてみますと、鷹などの飛んでいる様子を見ますと、翼の先が上がってまして、このほうが前向きの揚力ができてスラストが増すことになるといえます。ちょうど90年前の1903年12月17日に、ライト兄弟が初飛行を達成してからいろいろ改良が加えられ、今では離陸重

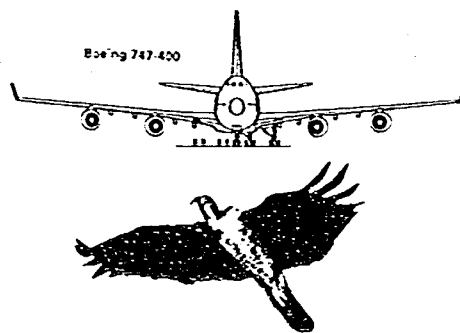


図1. Boeing 747-400の翼と鷹の翼の類似性

量が400トンもある大きな飛行機が飛ぶようになりました。それでもなお絶えず研究が行われています。

最近よく基礎科学が大事だとか、ニュートンやアインシュタインのような創造が大切だといわれます。創造的なものが産み出される前に、潜伏期というややもした段階があり、ある時、例えばりんごの落ちるのを見た瞬間のニュートンのように、はあっと閃く。アインシュタインにしても、わかってしまえば易しい $E=mc^2$ という式を、ある瞬間に思いついたに違いありません。ただこういうのは天才だけに与えられている才能であります。

それに対して技術の方は、非常に小さなイノベーションの積み重ねで、大きな発展が達成されるのであります。工学教育というのは正にこういう所を受け持つ人達の教育だと思います。非常に限られた天才によって飛躍的に進歩する科学と、沢山の技術者達の努力の積み重ねによって進歩する技術とには、「創造」という内容の違いがあると思います。

図2は演算速度が年代とともに指数関数的に大きくなっていった様子を示しています。これは技術者によるイノベーションです。この傾向を21世紀まで延長しますと、先ほどお話ししましたように10T Flopsになるだろうというわけであります。米国カリフォルニアには幅が40m、高さが20mの実物風洞があり、実際の戦闘機を入れて実

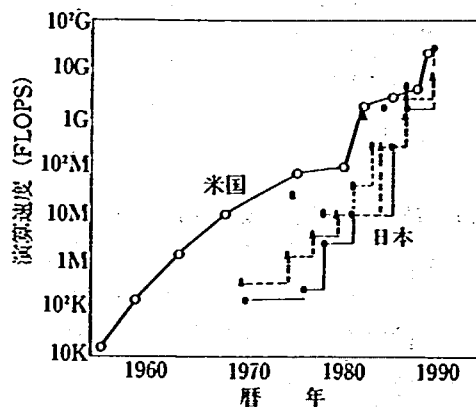


図2. 演算速度の増加の推移

験ができるのですが、コンピュータが進歩した今日ではあまり使われていません。ライト兄弟も風洞を持っていました。彼らが普通の町の発明家と違って偉いところは、プロペラとか翼の形を、風洞試験を丹念にやって決めているところであります。スミソニアン宇宙航空博物館には、その風洞が陳列されています。

21世紀に期待される科学

さて、それなら21世紀には何がでてくるか、ということですが、皆が必要と思っている地球環境関連技術、例えば地球温暖化の原因にあげられている、炭酸ガスの処理技術や再利用する技術が完成すると思います。炭酸ガスはエネルギーを取り出すために排出されるのですから、新エネルギー技術の開発が期待されます。核融合もその一つですが、太陽エネルギーをもっと有効に利用する技術として、植物の光合成とそのときに出てくる水素を利用しようという手の混んだ研究も進められています。2020年ごろには人口が約80億になり、2050年には100億になるといわれています。今の倍の人口を養うためには農業生産だけでは間に合わないだけでなく、環境が破壊されてしまいます。そこで工場で蛋白質を合成して生産する技術の開発が期待されます。

また、生命科学がどんどん発達して、臓器移植ではなく、いろいろな人工臓器が造られ、使用されるようになるでしょう。こんなに科学が進歩しても生命はつくれません。生命をつくるのが次の世紀の大きな課題になると思われます。脳の機能の理解が進んでいます、それを利用して、例えばピカソの絵を美しいと認識するような人工頭脳が造られるかもしれません。山崎浩子さんがマインドコントロールされていたとか、非常に沢山の人がドラッグを使用したり、アルコール依存症になる人も増えています。コンピュータはどんどん進みましたが、心の問題が残っています。どうして楽しい気持ちになったり、むしゃくしゃするのだろうかということがわかるようになる、というのがこの次のターゲットになると思います。そのメカニズムがわかると楽しくするような方法が見つかり、その薬が造られます。

今は特許をとったり、論文を書いたりして知的なストックを行います、得られた成果を直ちに人工衛星の宇宙辞典にインプットし、何時でも最先端の知識を引き出せる時代になるかもしれません。

私たちはまだ明日のことはよくわからずに、私もこうして講演をしているのですが、今後予測理論が大いに進むと思います。今でも統計的、数学的な予測理論はあり

ますが、非常に沢山の情報を処理して、例えば地震を的確に予測できるようになると思います。

自然科学と人文科学の融合へ

ローマのパチカン宮殿にアテネの学堂という絵が掲げられています。プラトン・アリストテレス・ユークリッド・アルキメデス・ソクラテスなどの学者が勢揃いしています。学術会議で議長席にいますと、階段教室のようになっている、前の席に高名な先生方が並んでおられて、この絵を思い出します。大分変わり者のディオゲネスのような先生もおられます。ところで、アリストテレスのお蔭で、学問は形而上学、自然学に分けられ、数学とか哲学とかいうものと、自然科学的なものに分けました。そして学問はいろいろに細分化されて今日のように発展しました。しかし、何か欠けているものがある。田中連と米国に併せて核弾頭が3万発ほどありまして、その処置に非常に困っています。世界で約1兆ドルが兵器を造るために使われています。米国は武器の輸出で世界一です。武器輸出をやめると250万人の失業者が出ます。

前世紀の終わりにはレーニン、マルクス、もう少し前にはカントなどの沢山の哲学者がいました。20世紀になって、科学・技術は大変進歩しましたが、哲学を含む人文科学の分野はあまり進歩していないように思います。両方が調和して発展しないと大変なことになります。ソ連の崩壊によってイデオロギイの大きな対立がなくなり、幸せな世の中になると思いきや、世界中で戦闘が始まりました。今世紀では第1次、第2次世界大戦の外に約200の大小の戦争がありました。結局、人間が増える一方で殺し合いをする。このことが21世紀に引き継がれては困ります。アテネの学堂の絵のように、自然科学者と人文・社会科学者がいっしょになって対話する必要があると思います。科学技術がたいへん進歩し、今日では天坪で目方を測ることも、サンプルを薬品で溶かしたり、濾過したりして分析することもしなくなりました。大変便利になりましたが、ちょっとした故障も直せない。そんな状況での理科教育をどうするかということも大切であります。しかしもっと大切なことは、工学教育には人間の基本的な倫理観といえますか、広い教養教育が必要であると思います。以上、ご参考にして頂ければ幸いです。

近藤 次郎

1940年 京都帝国大学理学部数学科卒業

1945年 東京帝国大学工学部航空学科卒業

1958年 東京大学工学部教授

1985年～ 日本学術会議会員 1991年より会長

施 工 新 技 術 の 開 発

材料施工部長 池 村 雅 司

施工新技術の開発

1. はじめに

土木施工の高度化・合理化は、道路・河川・ダム等の土木構造物を安全かつ確実にしかも経済的に建設するため重要なものです。

戦後の土木施工技術の近代化の黎明期においては、当時の欧米の進んだ機械化施工をわが国に導入して、それに対応するための技術者の養成とその現場への普及が図られました。さらに、わが国の経済の高度成長に促された建設事業の伸びに伴う土木工事の大規模化に対応した施工技術の改良や新工法の開発あるいはわが国の地形、地質、土質および気象等の施工条件に適合した各種の技術開発が積極的に進められました。また、土木構造物の一層の品質の向上や安定性の増大が求められる一方、工事に伴って発生する騒音や振動、水質汚濁、地下水の変動、周辺地盤の変形・沈下などの低減防止策が社会的に求められるようになり、それらに対処するための低騒音、低振動型の建設機械の開発や施工方法の改善が行われました。これらに加えて、最近では、建設事業の高品質化、効率化および労働環境の向上を図る施工新技術に係わる方策および施工の安全性や自然環境の保全と調和を考慮した新たな施工技術の確立などが求められるようになってきました。

そこで、建設事業の施工技術（施工法）に関する最近の動向について土木研究所および関係機関での動向について述べることにします。

ここで、対象を明らかにするため施工技術の定義を考えてみたい。施工法とは工法と言い換えられるであろう。工法とは何であろうか。工法とは「土木・建築工事などの技術的方法」、構法とは「建築の全体あるいは部分の性能の検討をふまえた材料や部品の構成方法」と辞書にある。土木では構法という場合も工法で代用しているようである。ここでは施工法の新技術について述べ、以下では工法といっても狭義の意味の施工法という意味で使うこととする。

ジオテキスタイルによる補強土工法の工法は施工法という意味ではなく、広義の意味の工事などの技術的方法で使われている。施工技術ではなく、混同しないためには建築でこのようなとき構法といっている。この場合も施工法ではないことを明らかにしたい場合は、ジオテキスタイルによる補強土構法というべきであろう。

このように考えるとジオテキスタイルなどによる補強土工法、テクソル工法、透水性舗装、排水性舗装、合成アーチ工法、パイプレスレッシング工法などはたとえ工法と言っても施工法ではないので対象外とする。

2. 建設事業に対する要請

20世紀もあますところわずかとなったが、国民の間には、わが国の経済力に見合った豊かさが実感されていないのが実情である。その原因の一つに住宅・社会資本整備の遅れが上げられる。一方、わが国の高齢化は今後10数年のうちに急速に進むといわれており、21世紀初頭までの10数年はこれらの整備を着実に進める残された貴重な期間である。国際的には対米貿易黒字に代表されるように依然大幅な国際収支の不均衡を生じている。このことから、21世紀までの公共投資総額を概ね430

兆円とする公共投資基本計画が策定されており、今後建設事業量が飛躍的に増大し、これと同時に社会資本ストックの増大に伴うメンテナンスの効率化も望まれている。

複雑な地層構成の地盤や軟弱な地盤などでの土木構造物の建設や、地下空間の開発などのようなこれまでにない大規模で条件の厳しい箇所での建設事業や都市土木での空間的に制約、環境制約の厳しい箇所での建設事業の実施が求められ、自然・社会環境の保全、工事の安全に対してより一層の配慮が求められている。

建設業の労働生産性の低さは以前から指摘されているが、今後とも、建設労働者の高齢化や専門技術者、技能労働者の不足が予測され、早急に解決が図られなければならない。また、労働時間が長い、賃金が安い、危険な作業が多いといった労働条件・作業環境の改善が遅れており、これがひいては若者の建設産業離れにつながっていることも大きな問題である。これらの原因として、建設業は屋外生産、単品受注生産等の特性があり、各工事毎に異なる施工条件のもとで、多くの現場作業員により生産活動が行われていることが上げられる。つまり、他の製造業に比べて、生産物の規格化や機械化・ロボット化の導入を一律に進めることが難しいことが上げられる。

2000年には、先の公共投資基本計画の実施により建設投資は1.2～1.6倍になると推定されている。また、年間総労働時間が2000年までに1800時間に短縮される予定である。建設事業量とそれに必要な就業者数の関係について過去20年間のデータから相関式を求め、これにより2000年の事業に必要な就業者を求めると、702万人となる。一方、雇用政策研究会の推計によれば供給者数は533万人といわれ、167万人の不足となる。住宅・社会資本整備を着実に進めていくには、施工の大幅な省力化が緊急の課題である。

以上の要請を表1に示す。

表-1 施工新技術への要請・項目

求められる項目ニーズ		重要度	主 な 内 容	摘 要
基本的項目	①安全性向上	◎	危険作業をなくす。事故防止対策を講じる。	ニューフロンティア開発への対応
	②工賃低減	◎	使用材料を少なくする。低価格材料を使用する。人件費を抑制する。	
	③施工速度向上	◎	作業速度、効率を向上させる。同時施工費を増やす。	
	④作業環境改善	◎	騒音・震動・粉塵を低減する。施工機械の遠隔操作を行う。	
資源エネルギー問題への対応	⑤必要労働力の縮小	◎	無人化・省人化	建設業就業者変化への対応
	⑥必要技能水準の低減	○	技能作業を少なくする。	建設業就業者変化への対応
	⑦施工精度向上	○	仕上げの精度を高める。	国民生活の豊かさ指向への対応
	⑧多様な品質・形状への対応	○	オーダーメイドタイプの施工機械	国民生活の豊かさ指向への対応
	⑨環境負荷低減	◎	排気ガス、濁水、有害排出物の発生量を抑制する。騒音、震動を抑制する。	地球環境問題への対応
	⑩省エネルギー・省資源化	◎	消費エネルギー、副産物の発生量を抑制する。リサイクル可能な材料を使用する。	
	⑪維持管理費用の低減	◎	長寿命化、メンテナンスの容易化、メンテナンスフリー化	資源エネルギー問題への対応
付随的項目	⑫国際規格への対応	○	海外への技術移転を容易なものとする。	国際化への対応
	⑬国際貢献への適用	○	技術水準の低い地域でのニーズに対応させる。	国際化への対応
	⑭他の新技術の誘発	○	他技術の開発のひきがねとなる。	
	⑮他の新技術への発展	○	当該技術が要素技術となる。	

3. 施工合理化技術開発のビジョン

このような時代の要請に対して建設省では建設技術開発会議において施工合理化技術の開発方向と普及促進策を提示した「施工合理化技術開発の基本方針」(S63)、および21世紀初頭における建設現場の施工イメージ、これに必要な開発課題を示した「施工合理化技術開発のビジョン」(H1)が策定された。このビジョンに沿って官民で技術開発が進められているが、建設省側の努力の一つとして土木研究所を中心に総合技術開発プロジェクト(総プロ)「建設施工における施工新技術の開発」(H2～H6)を実施している。

表-2 施工合理化技術開発のビジョンの対象範囲

工 種	内 容
山岳トンネル	免床工法、自由断面TBM、全断面TBM
シールド	盾式シールド工法、土圧式シールド工法、直打ちコンクリートライニング工法
ダム	コンクリートダム(RCD工法、柱状工法)、フィルダム
道路舗装工	アスファルト舗装新法、アスファルト舗装維持・修繕工、プレハブ舗装工法
建築	地下工事、躯体工事、仕上げ工事、設備工事
土工	一般切土工・盛土工、法面工、表層混合処理工
基礎工	ケーソン(ニューマチックケーソン、オープンケーソン)工法、連続地中壁工法、アースドリル工法、場所打ち鉄リブ工法
コンクリート工	下水処理場、共同溝、大型地下タンク、ポンプ打設、品質管理
水中作業	浚渫工事、移植工事、ケーソン基礎工事
掘削工	ブロック工、管渠布設工

「施工合理化技術開発のビジョン」では、建設事業全体をほぼ包含するように表2のように10工種、34工法についてまとめている。ビジョンの策定に当たっては、全工種の全工程について施工の現状を検討したうえで、(1)危険作業の軽減、(2)苦渋・嫌環境下作業の軽減、(3)労働力不足への対応、(4)施工能率向上などが図られるよう検討された。そのうち土工、オープンケーソン、自由断面山岳トンネル、RCD工法による重力式ダム、アスファルト舗装の施工イメージを以下に示す。

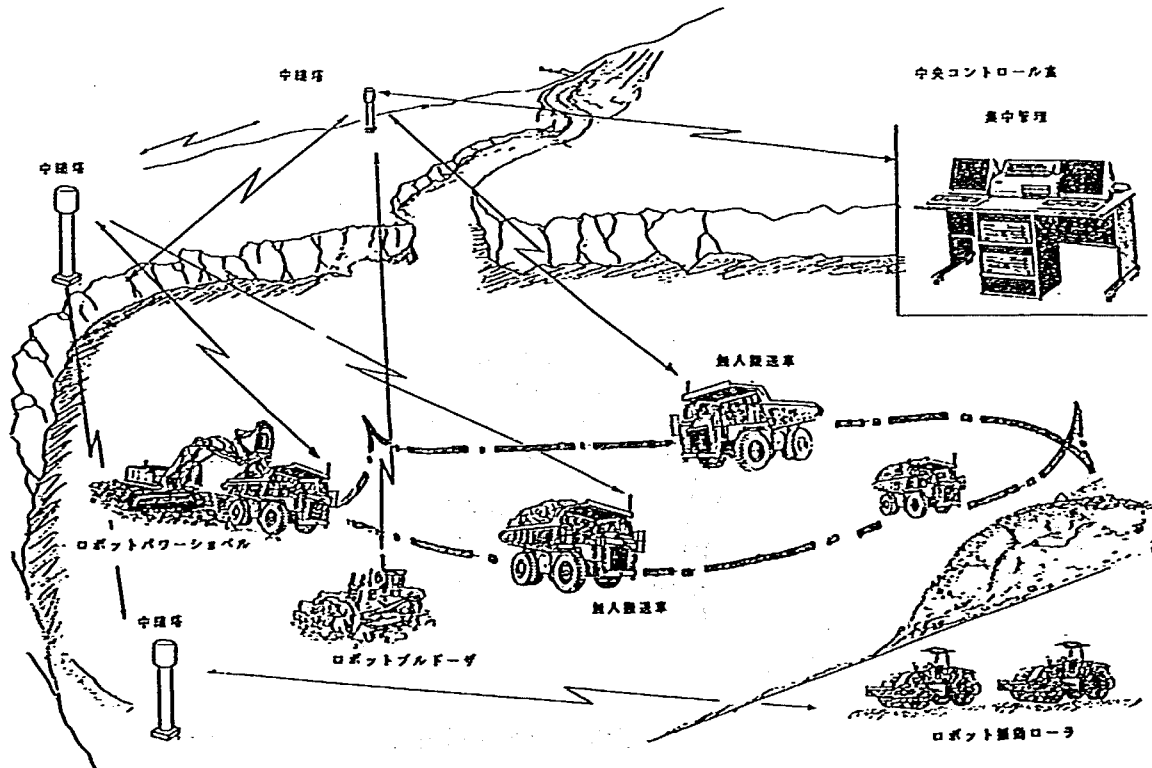


図-1. 1 21世紀初頭の土工の施工イメージ

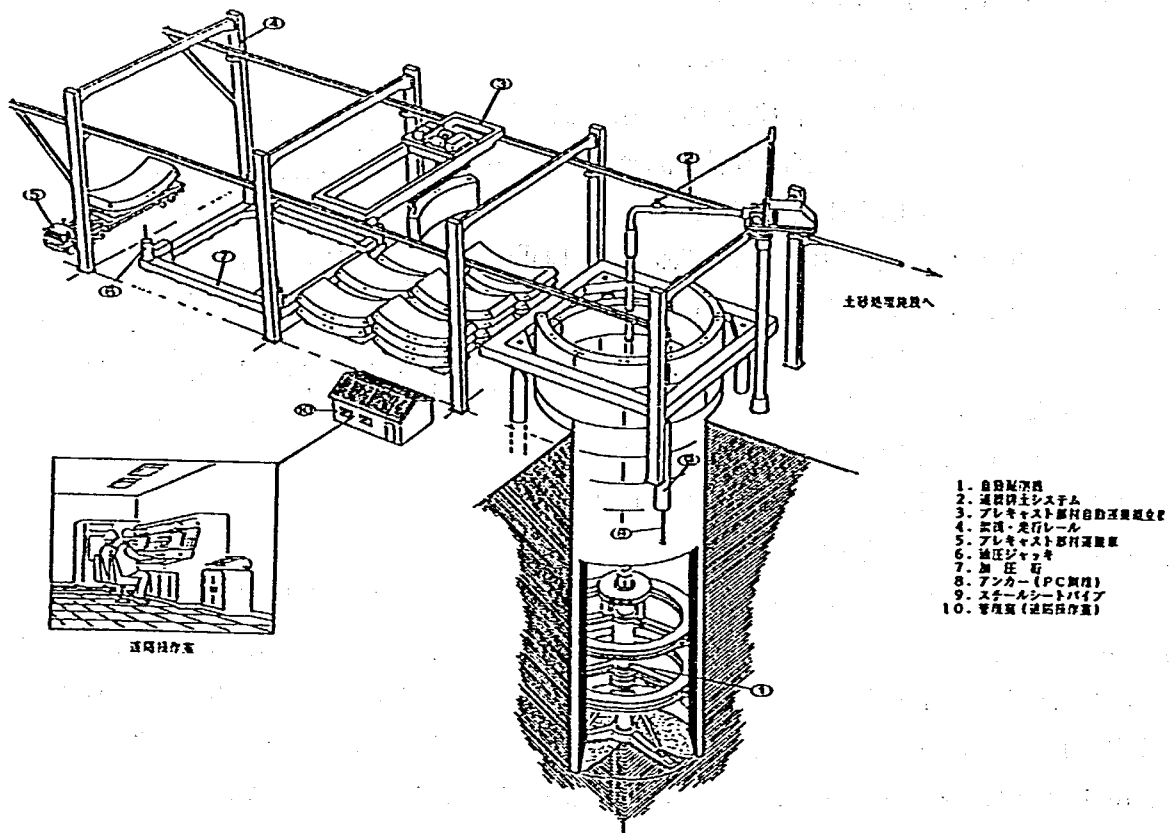


図-1. 2 21世紀初頭のオープン・ケーソンの施工イメージ

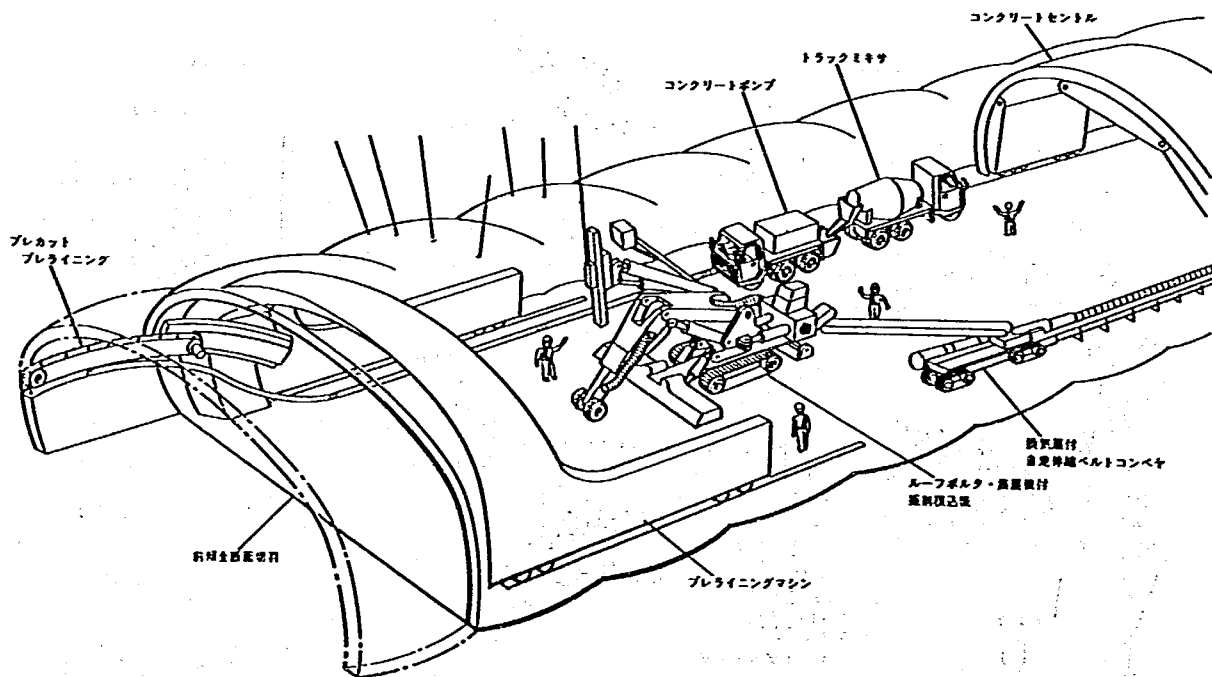


図-1. 3 21世紀初頭の山岳トンネル自由断面掘進工法イメージ

4. ビジョンのフォローアップ

ビジョンは平成2年3月にまとめられ、その3年後の平成5年1月に実施状況について調査した結果を以下に示す。5年間の内に着手が望まれる小課題（当面の課題）は186課題あり、全課題は小課題で291ある。当面の課題の実施率は73%、全課題の実施率は66%であり、その緊急性を考えるとさらに実施率を上げなければならない。当面の課題のうち着手済み課題の官民の比率は大略1:9と推定され、民間側の開発に負うところ大である。開発課題の小課題の内容毎の実施状況の一例を示すと表3のようになる。

以下の分類により施工分類ごとに集計をした。

◎ 実用化 ○ 実証試験

△ 開発中（実用機材の製作段階、要索技術の段階） × 未着手

	◎	○	△	×	計
山岳トンネル（突破工法）	1/1		7/3	5/2	13/6
山岳トンネル（自由断面TBM）			7/5		7/5
山岳トンネル（全断面TBM）			10/7		10/7
シールドトンネル（泥水式シールド工法）	7/5	2		9/1	18/6
シールドトンネル（土圧式シールド）	3/2			1	4/2
シールドトンネル（直打ちコンクリートライニング工法）			1/1	2/2	3/3
ダム（コンクリート（RCD工法・柱状工法））	4/1	5/3	2/1	1/4	22/9
ダム（フィルダム）			1/1	5/3	6/4
舗装（アスファルト舗装新設）	7/5			2/1	9/6
舗装（打換え工法）	2/2		1/1	3/3	6/6
舗装（切削打換え工法）	1/1			1/1	2/2
舗装（路上表層再生工法）	1/1		1/1		2/2
舗装（路上再生路盤工法）			1/1		1/1
舗装（プレハブ舗装工法）	2/2			3/1	5/3
建築（地下工事）	2/2	1	3/3	7/1	13/6
建築（躯体工事）	3/3	1	7/5	2/2	13/10
建築（仕上げ工事）	3/2		4/3	2	9/5
建築（設備工事）	2/2	1/1	1/1	3/1	7/5
土工（一般切土工・盛土工）	6/4		6/6		12/10
土工（法面（コンクリート吹付け））			1/1	3/2	4/3
土工（表層混合処理工）			1	3/2	4/2
基礎工（ニューマチックケーソン工法）		1	4/2	4/3	9/5
基礎工（オープンケーソン工法）			4/3	3/2	7/5
基礎工（連続地中壁工法（バケット工法））		4/1	4/1	3/2	11/4
基礎工（アースドリル工法）		1	3/1	4/3	8/4
基礎工（場所打ち杭リバース工法）	2/1	1	2/1	3/1	8/3
コンクリート工（下水処理場）			9/8	1/1	10/9
コンクリート工（共同溝（開削工法））	1/1		6/5	1/1	8/7
コンクリート工（大型地下クック）	4/4		6/4	2/2	12/10
コンクリート工（ポンプ打設）	1/1		5/4	1/1	7/6
コンクリート工（品質管理）				3/3	3/3
水中作業（浚渫工事）	1/1	2/1	2/2	3/1	8/5
水中作業（抜橋工事）	2/2	2/1	2/2	3	9/5
水中作業（ケーソン基礎工事）	2/2	2/1	4/2		8/5
据付工（河川敷斜面張りブロック工）		3/3			3/3
据付工（間知ブロック積工）		1/1	1/1	2/1	4/3
据付工（積造ブロック工）			3/3	1/1	4/4
据付工（管渠布設工）				2/2	2/2
計	57/	27/	109/	98/	291/
	45	12	79	50	186

表-3. 1 基礎工（オープン・ケーソン工法）の当面の開発課題

工 程	ビジョンの開発課題	段階的開発課題	開 発 課 題 の 概 要	当 面 の 開発課題	現 状
刃口掘付け	躯体のプレハブ化	プレハブ化設計法の開発	プレハブ部材結合方法、部材結合部シールの開発。	○	△
躯体構築工	プレキャスト部材の組立システム	躯体形状の標準化	形状寸法をいくつかの標準形状とする。	○	△
掘削沈下工	自動掘削耕土圧入システム	大型断面掘削機	任意形状、大型断面の掘削が可能な掘削機。	○	△
		自動掘削・掘削土処理システム	大型断面掘削機の自動運転化と、耕土、処理を連続して行うシステム。		△
	地耐力確認水中ロボット	地耐力試験ロボット	地耐力を試験するロボット		×
頂版工	頂版工のプレハブ化	プレハブ化設計法の開発	プレハブ部材結合方法、部材結合部シール法の開発。	○	×
		躯体形状の標準化	形状寸法をいくつかの標準形状とする。	○	×

表-3. 2 山岳トンネル（発破工法）の当面の開発課題

工 程	ビジョンの開発課題	段階的開発課題	開 発 課 題 の 概 要	当 面 の 開発課題	現 状
準備工	前方地質予知システム	センシング技術の開発	前方地質を予知するためのセンシング方法の開発。	○	△
	測量・マーキングシステム	測量マーキング技術	トンネル内空断面の測量、マーキングを半自動で迅速かつ高精度に行う技術。	○	◎
掘 削	多目的・多機能ロボットジャンボ	半自動ロボットジャンボ	センシングおよびモニタリング機能を備え、マニュアルコントロールとオートコントロールの区別を明確にした実用性の高い高性能ジャンボ。	○	△
	ワイヤレス発破	ワイヤレス発破用雷管	トンネル用ワイヤレス雷管の開発。		×
ズリ搬出	積込み、運搬システム	ズリ積込みの遠隔操作	ズリ積込みを遠隔操作で行う機械。	○	×
		連続ズリ搬出システム	移動方クラッシャーおよび延長、曲がりに対応可能なベルトコンベア等の連続搬出システム。		△

5. 土木研究所以外の機関が主体的に実施している施工新技術の開発

前述したように施工合理化技術開発のビジョンのテーマのうち9割が民間側で実施されていると思われる。ここでは、土木研究所の技術開発との対比上関係の深いものに限り取り上げることとしたい。前述したような建設事業への要請を受け、各社が特に活発な開発を行っている技術として①地中連続壁工法、②シールドトンネル工法、③小口径管渠推進工法、④コンクリート橋の架設工法などがある。また、時代の新たな流れに対応した技術として、①施工時の環境対応技術、②都市土木対応技術、③通年施工化技術などがあるが、これらについては記述を省略することとしたい。

上記のように対比上関係の深い技術として①ニューマチック・ケーソンおよび深礎の無人化、②コンクリートダムの新施工法、③山岳トンネル掘削法、④土量・法面面積の簡易な写真測量による測量、GPSによる測量、運土計画、などが上げられる。

5. 1 ニューマチック・ケーソンおよび深礎の無人化

ニューマチック・ケーソン工法は、圧縮空気を使用するためケーソンが深くなると作業気圧が高くなり、作業環境が厳しくなると共に高気圧下の作業時間制限が厳しくなり、作業効率も大幅に低下する。また、作業気圧の限界は4 kg/cm²程度とされており、水面下40mが限界であった。これらを克服するため、羽口の作業室での掘削・積込み作業を無人化する開発が活発である。その遠隔操作に3Dカメラで立体視する試みとか、掘削機の回収も無人化するなど動きが活発である。(図2、写真1)

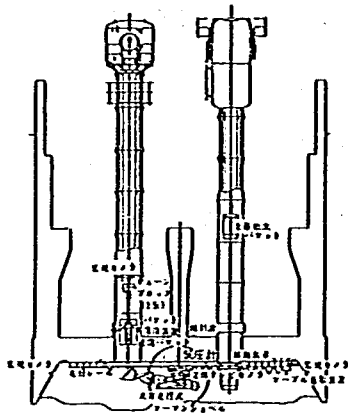


図-2 無人ニューマック・ケーソン

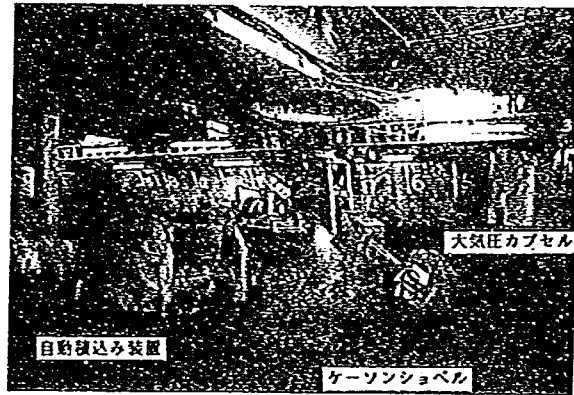


写真-1 作業室での掘削状況

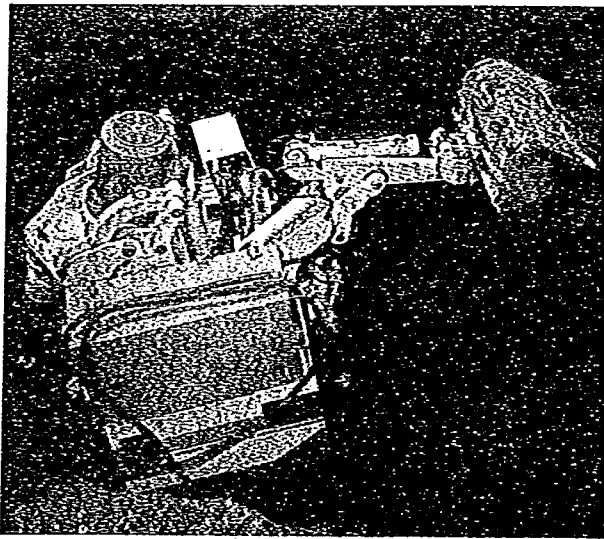


写真-2 深礎用遠隔操作式超小型掘削機

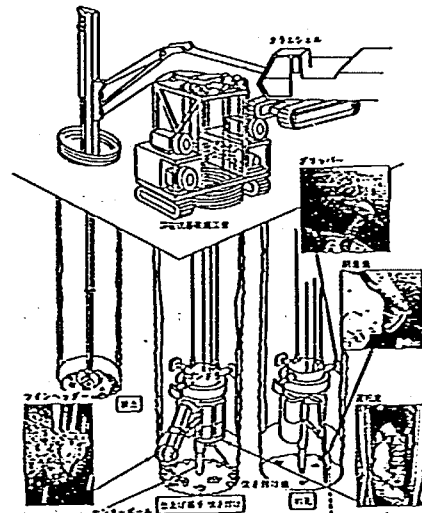


図-3 深礎施工機

深礎はこれまで人力施工が当たり前と考えられてきた。小規模な工事が多く、機械化のコストに見合わないという背景が考えられる。また、山岳地の現場まで大型の機械を運べない、ライナープレート（liner plate）の組み立ては機械で困難という深礎特有の条件も機械化の大きな障害になってきた。これらを克服すべく深礎坑内に入る超小型遠隔操作型掘削機の開発、しかも掘削抵抗を遠隔操作レバーに感じさせる新機軸を盛り込んだ開発や新型深礎掘削機の開発などが行われている。（写真2、図3）

5. 2 コンクリートダムの新施工法

コンクリートダム、特に重力式コンクリートダムの施工法としてRCD工法は短時間の間に普及した。この工法ではコンクリート運搬方法として当初はダンプトラックによる運搬がほとんどであったが、最近はいろいろな方法、ベルトコンベアによるコンクリートの運搬が試みられている。これらは必ずしも民主体とはいえず、むしろ民と官両者が主体となって開発を進めているが、一応ここに入れた。また、特に、RCD工法では打継ぐ層が従来工法より多くなるため多くの人手を要するが、この省力化のためリモコン式グリーンカット装置の導入も活発に行われている。ベルトコンベア方式の特長は次のようである。緩い地形のダムサットに適している、簡易な設備で大量のコンクリートを連続的かつ経済的に運搬でき、大量輸送法としては優れたものと言える。その例を図4に、グリーンカット装置の一例を写真3に示す。

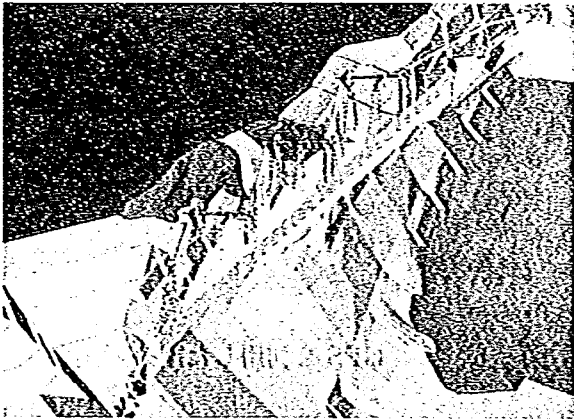


図-4 RCD工法のコンクリートの運搬にベルトコンベアーを使用

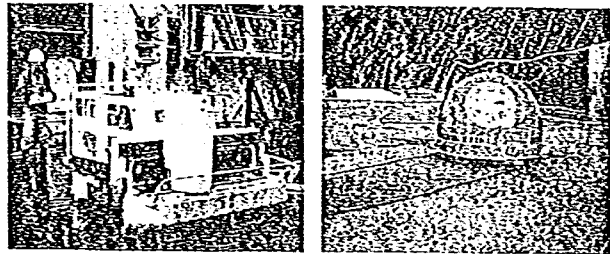


写真-3 リモコン式グリーンカット装置、左ウォータージェット式、右ブラシ式

5. 3 山岳トンネル掘削法

シールドトンネルは都市部のトンネルの主要な施工法となっている。省人化・無人化と共に大断面化、異形断面化の技術開発が活発に行われている。シールド直径が東京湾横断道路で14mを越えた。これ以上の大断面化について研究検討が行われている。また、ボックス形など円形でなく、より効率的な形状に対処する工法も開発が盛んである。小口径管渠推進工法は、下水道事業の活況および路面の掘り返し規制、推進工法の成長・豊富なメニューなどにより完全に市民権を得た。方向制御についても各社が開発に凌ぎを削った。これには土木研究所の共同研究も一役を買った。山岳トンネルの施工法としてはNATM工法が代表格であるが、未固結地山では前方の地山の天端部分を補強して切羽を安定させる確実な支保工が必要である。このため、新しい先受け工法としてフォアパイルリング工法や長尺なプレライニングを地山に構築するプレライニング工法などの開発が盛んである。(図5)

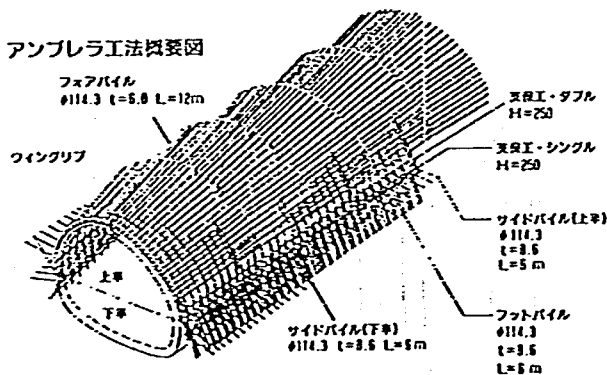


図-5. 1 フォアパイル工法

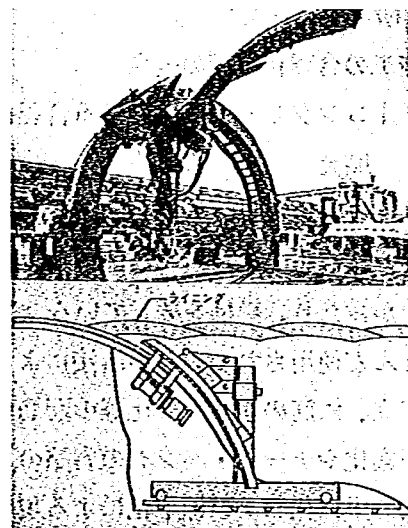


図-5. 2 プレライニング工法

5. 4 土量・法面面積の簡易な写真測量による測量、GPSによる測量、運土計画

切盛土量、仮置き土量、複雑な形の法面の吹き付け面積など迅速に出来形測量をニーズは多い。これらを、デジタルスチルカメラと解析ソフトにより写真測量するとか、GPSを利用して測点座標を求め、これから面積、土量を求める技術が各社で活発に研究開発されている。GPSの利用では短時間に多数の測点の座標を求めたり、多少時間はかかるが基準点測量ほどの精密な測量に利用したりす

る技術が盛んに試されている。前者の例として関西国際空港の土量測量、運土計画があり、後者の例として東京湾横断道路の川崎人工島の変位測量がある。(図6)

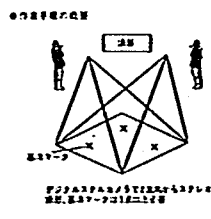


図-6. 1 デジタルスチルカメラによる写真測量

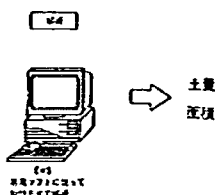


図-6. 2 GPSを利用した出来形測量

6. 建設省または土木研究所における最近の技術開発

建設省または土木研究所における施工新技術として地盤改良技術の主要な位置づけの DJM 工法、コンクリートダム施工法の代表格の RCD 工法、コンクリート舗装の施工法の成長株の RCCP 工法は忘れてならないものである。しかし、これらはすでに多くの紹介がなされていること、最新のものに限ることから、これらを省略して、以下述べることにしたい。

土木研究所における最近の施工の新技術の開発については総プロ「施工新技術の開発」をはじめ調査研究を実施している。施工新技術の開発については総プロ「施工新技術の開発」が代表格と言えるので、この内容について述べる。

この総プロではコンクリート工の設計面からの施工合理化技術や最近のエレクトロニクスやセンサー技術などを活用したトンネル工、舗装工、基礎工、ダム工の新しい施工法および施工管理法の自動化・高度化ならびに大規模土工における新しい施工計画立案・施工管理支援システムなど、多分野にわたって開発・研究を行っている。

6. 1 施工の合理化技術の開発

6. 1. 1 コンクリート工における合理化技術の開発

コンクリート工では、鉄筋の配置・結束、型枠組立、コンクリートの打設・締固めなどに多くの人手が掛かったり、熟練を要している。このため、従来ほとんど使用されていない溶接による鉄筋の結束・組立、鉄筋のユニット化等の配筋作業の省力化・簡素化やテーパ・ハンチの省略のような構造物形状の単純化および標準化による現場での型

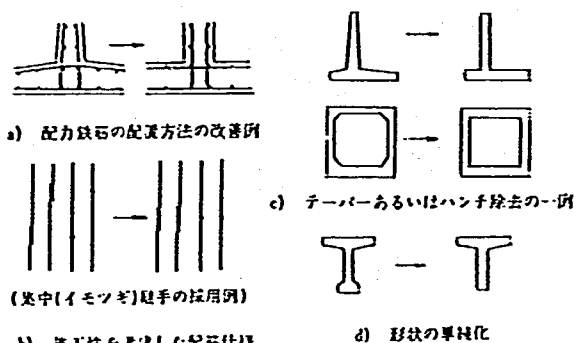


図-7 コンクリート構造物の施工の合理化

枠作業の簡素化、締固め不要コンクリートの現場適用性などの技術開発を行っている。(図7)

点溶接による接合は疲労試験、引裂試験から多くの繰返し荷重が作用しない場合は十分使用可能であることが分かった。ユニット化に不可避のいわゆるイモ継手は曲げ試験、せん断試験から継手長を長くすること、繰返し荷重の作用しない場合は十分使用できることが分かった。

平成4年度の特定パイロット事業の一つとしてユニット鉄筋および締固め不要コンクリートの利用

による省力化、現場適用性について試験施工が行われた。そのうちユニット鉄筋による省力化について次に述べる。これを表4に示す。表の単位は鉄筋作業に要した時間であり、省人化率も時間の比率である。この試験施工から次のことが明らかとなった。

①試験施工での実測データでは、約50%の省人化効果が明らかになった。

②ユニット鉄筋での施工が初めて等の理由から、実施工において作業員の不慣れによる時間ロスが生じた。そこで、ビデオをもとにロス時間を控除して省人化の度合いを推定したところ約60%となった。

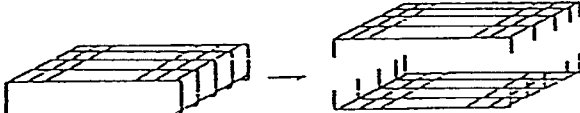
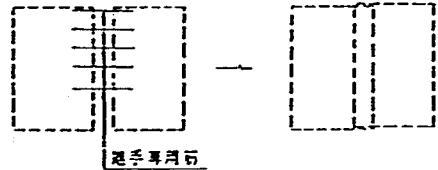
また、具体的な施工上の問題点も明らかとなった。これを対策と共に表5に示す。

表-4 鉄筋作業の省力化率

ブロック区分	単位	従来仕様	ユニット化仕様	
			試験施工	ロス時間控除
鉄筋総重量	t	7.7	5.0 (6.3)	
投入労働工数	鉄筋加工	56	—	
	ユニット鉄筋底版	—	13	7.5
	ユニット鉄筋板型	—	13.5	8.5
	現場結果	73	10	10
	天端筋等	8	8	8
	合計	137	44.5	34.0
効果	t当り工数	hr/t	17.8	8.9
	比率	—	1.0	0.50
	省人化率	%	—	50
			50	62

注：() 値は実際の施工量である

表-5 施工上の問題点と改善方策

項目	試験施工で明らかになった施工上の問題点等	施工上の問題点に対する改善方策(案)
底版ユニットの形状について	試験施工では底版のユニット鉄筋の形状を立体で提案したが、今回の試験施工を通じて、上下面を分離した面材ユニットでも十分な効果を得ることが確認できた。	経済性に大きく関与するユニット鉄筋の効率的な輸送を行うために、ユニット鉄筋の形状を当初の立体から面材に変更する。 
ユニット鉄筋相互の結束方法について	試験施工では、隣接するユニット鉄筋の結束方法として、フックを設けた結束挿入筋とフックを設けない直筋の2方法で実施したがユニット鉄筋の吊込み・据え付け時間よりも結束作業に要する時間が長いため、吊込み作業の時間待ちが生じた。	結束作業の効率化を図るために、ユニット鉄筋相互の結束方法を当初の結束挿入鉄筋方式から、それを用いないユニット鉄筋相互の重ね継手方式に変更する。 なお、この場合の重ね継手長は、20φとする。 
基礎形式について	当初の基礎形式は、抗頭鉄筋と底版ユニット鉄筋との接触に伴う作業性、施工精度と低下等を考慮し、直接基礎としていた。 今回の試験施工では、直接基礎の仕様を杭基礎に応用したが、抗頭鉄筋とユニット鉄筋の接触によって、据え付け作業に支障をきたした。	杭基礎の場合、現場条件によって杭径及び杭配置が千差万別である。従って、これを考慮した底版ユニット鉄筋の規格化が難しく、また左記で述べたように据え付け作業に支障をきたすので、対象とする基礎形式は直接基礎とする。

6. 1. 2 コンクリートのプレキャスト部材およびプレキャスト型枠の利用技術の開発

コンクリートのプレキャスト部材の利用技術の研究ではこれまで未着手の分野の3 m以上の分割タイプの大型擁壁および車道用分割タイプの大型カルバートボックスを取り上げた(図8)。部材の大型化と機械化施工による施工の効率化を開発のメインテーマとして取り上げ、大型プレキャスト部材の運搬・接合・据付け・組立法について研究開発を実施している。分割・接合方法を図9に示す。スリーブ型の継手を考えているが、その設計法等を明らかにするためこれまでに曲げ試験・

せん断試験を実施した。この結果、耐力、変形性能とも問題はなく、許容応力度法で設計するならば一体打ちと差異はないものとして良いことが分かった。

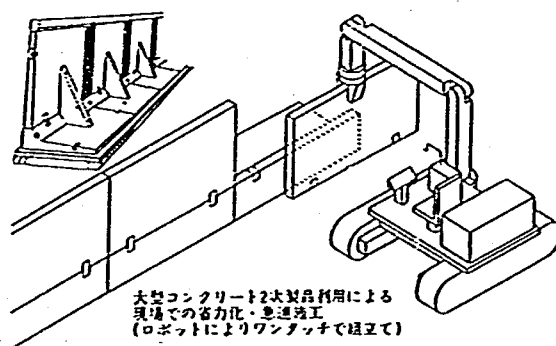


図-8 大型プレキャスト部材による施工の合理化

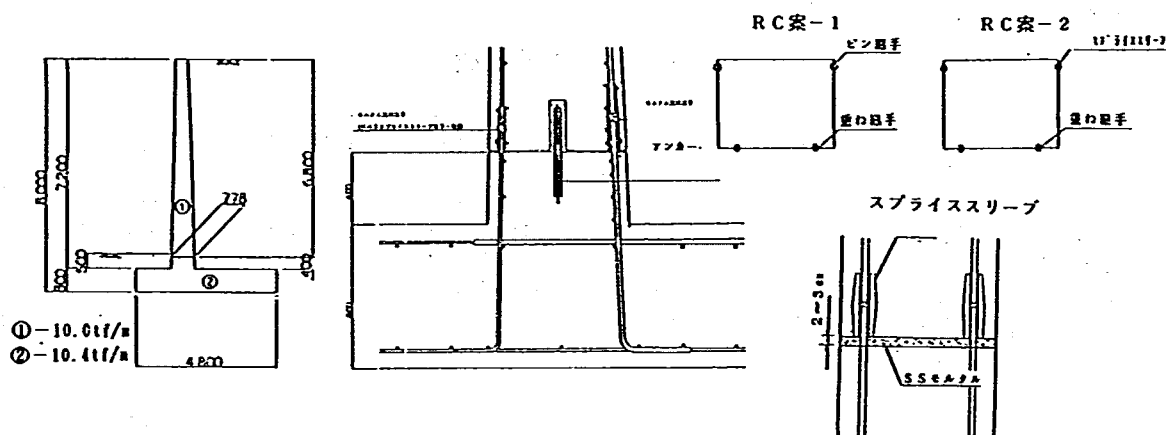


図-9. 1 擁壁の分割・接合方法

図-9. 2 ボックスカルバートの分割・接合方法

プレキャスト型枠では、構造鉄筋を配筋した新しい型枠の開発利用を取り上げ(図10)、現場での配筋作業の安全化・簡素化を図るため型枠部材利用の設計法・施工法を研究開発している。また、これらの大型コンクリート製品の現場施工の省力化を図るため据付け機械の開発も併せて実施している。

これには次のような課題がある。①プレキャスト型枠と二次コンクリートとの一体化、②プレキャスト型枠間の鉄筋接合方法①について一面せん断試験を、②については引張試験を行い、ジベル筋の工夫、継手筋の工夫で対処できることが分かった。

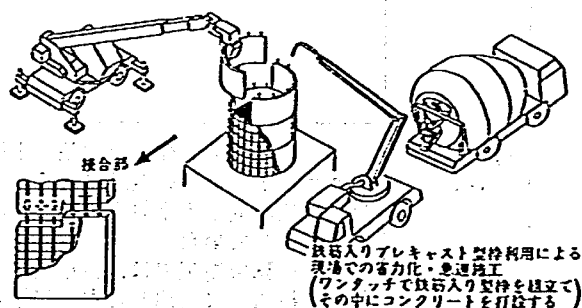


図-10 プレキャスト型枠による施工の合理化

6. 2 施工の自動化技術の開発

6. 2. 1 基礎工の自動化技術の開発

これまで人力に頼る面が多かったケーソン基礎の施工の安全向上を目的にニューマチック・ケーソンの自動化、特に掘削の無人化・機械化が民間側で技術開発が活発である。そこで、ニューマチック・ケーソンでは掘削土の積込み・排土の自動化の技術を開発している。(図11) また、これまであまり自動化が進んでいないオープン・ケーソンについてはプレハブ躯体の開発や自動掘削機械の開発、圧入システムの開発を行っている。(図12)

これまでに大型プレハブ躯体では分割・接合方法が問題であり、くさび継手、スリーブ継手について曲げ試験、面内せん断試験、面外せん断試験を実施した。この結果、くさび継手はせん断について初期すべりに問題があるものの施工性に大きなメリットがあるため角鋼管せん断キーとの複合継手とする改良継手に変更したところ問題がないことが実験から確認された。これらを踏まえ、平成5年度に実物大の実証試験が行われた。その水中掘削機、コントロールシステムを写真4に示す。

ニューマチック・ケーソンの排土の自動化については排出機構の検討を行った結果、圧気内土砂積替え方式とピストン排出方式に絞られ、その要素実験を行っている。

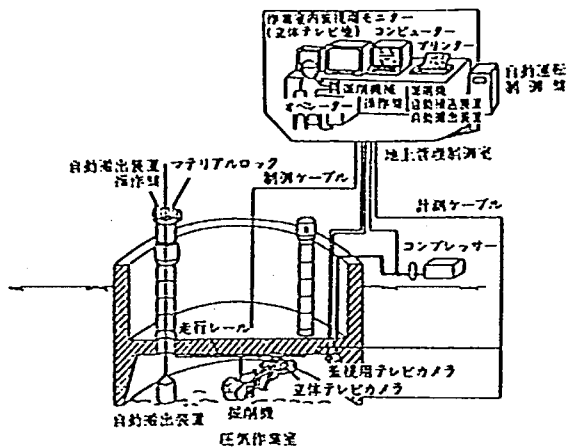


図-11 ニューマチック・ケーソンにおける施工の自動化

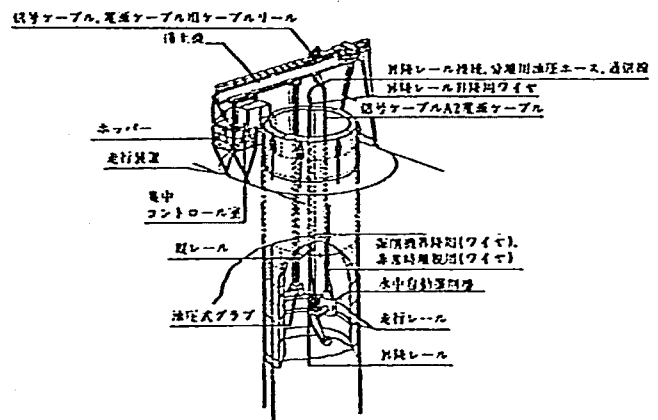


図-12 オープン・ケーソンにおける施工の自動化

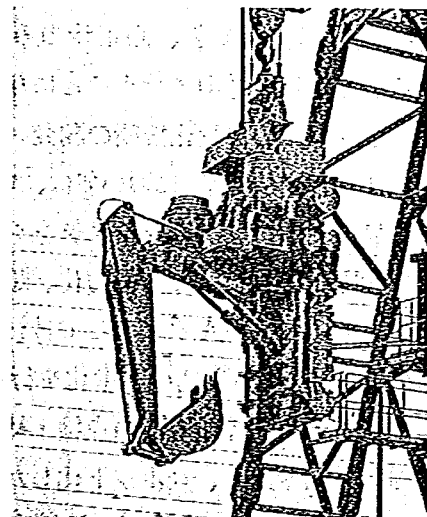


写真-4 左自動水中掘削機、右自動掘削・揚土システム制御盤

6. 2. 2 舗装工の自動化技術の開発

舗装工においては、アスファルト舗装を対象に施工管理の計測結果の施工へのフィードバックシステムを開発テーマに取り上げ、位置、高さ、締固め度等の施工管理データをリアルタイムに収集し、それらを活用した新しい舗装施工システム、フィニッシャ、ローラを対象とした。フィニッシャでは位置、高さの情報を得て敷均し高さとステアリングの自動制御を行うシステム（図13）を、ローラでは締固め度の情報を得て締固め力の自動制御を行うシステム（図14）を開発している。

フィニッシュでは位置、高さを走行しながら刻々と測定するため自動追尾式トータルステーションを使用することとしているが、その位置、高さの測定精度の測定試験を実施し、実用上問題ないことを確認した。その実験状況を写真5に示す。

ローラでは締固め度の情報を走行しながら刻々と測定するため走行型RI密度測定器を使用する。これまでに下層路盤、上層路盤、表層を定置型RI密度測定器で測定し、その精度は問題ないことを確認した。また、走行型RI密度測定器についても表層について確認された。路盤については今回使用した測定器（写真6）がソリ型のため骨材のひきずりがみられ、良好な結果は得られていない。なお、RI密度測定器に振動の影響が及ばないように前輪は無振動輪とし、後輪を振動輪とする。RI密度測定器は上下でき、測定時のみ路面に接近させる。測定は後進中に行うことになる。

6. 2. 3 ダム工の自動化技術の開発

コンクリートダムの施工においては、コンクリート材料の品質管理試験、コンシステンシー管理試験および強度管理試験などの省力化、迅速化、非熟練化が求められています。そこで骨材表面水率測定の自動化、VC試験器の標準化を行っている。また、ダム上下流面等の壁面の点検・補修作業などの合理化を図るため、ロボット化した高所作業機の開発を行っている。図15に骨材表面水率測定の概念図を示す。

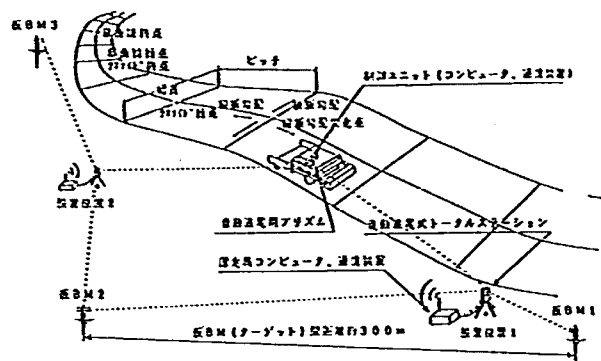


図-13 3次元位置自動制御型
フィニッシュシステム

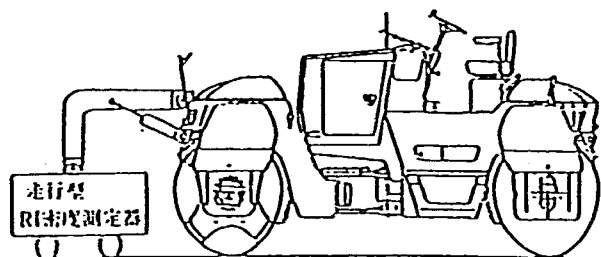


図-14 締固め力自動制御型ローラ



写真-5 位置自動制御型フィニッシュ測定精度の実験

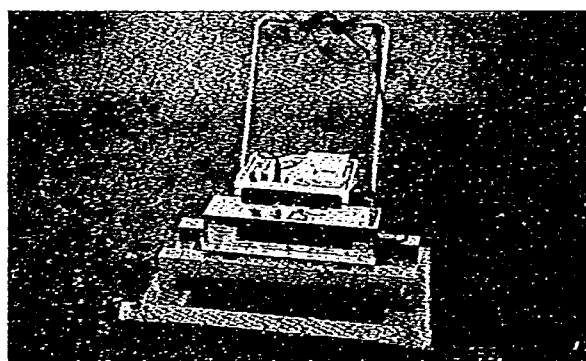


写真-6 ソリに乗せた走行型 RI 密度計

重力式コンクリートダムの代表的な施工法であるRCD工法では、単位水量の変化によるコンクリートの品質の変動が大きく、骨材中の細骨材比率が大きいため、細骨材や小さな粗骨材の表面水率管理がコンクリートの品質を安定させる上で非常に重要な課題である。従来の測定法ではつぎのような問題点が残っている。①細骨材の表面水率測定用試料は1バッチあたり全体の1%未満であり、試料の代表性に問題がある。②測定結果（直前3バッチの平均値）を投入水量の補正する際の時間的ズレがある。このような点を解消するため連続式非接触型RI水分計を使用する。これまでに測定精度の試験を行っており、次のようなことが分かった。

①表面水率誤差 $\pm 0.4\%$ の精度を得るためには約60秒の測定時間が必要である。

②表面水率が低いほど短時間の測定で所要精度が得られる。

③細骨材と粗骨材では所要精度を得るために必要な測定時間に差がない。

6. 2. 4 山岳トンネル工の自動化技術の開発

シールドトンネルの自動化は施工の安全向上、苦渋環境の改善のため民間側での技術開発が活発である。山岳トンネルについても掘削断面の測量・マーキングの自動化も試されているが、その現場適応性について調査した。地山の安定性の予測は施工の安全性確保の面から重要である。膨張性地山の膨張量の予測のため要素実験を行った。また、なかでも遅れているのが発破作業・掘削作業などの自動化・省力化である。そこで、装薬の機械化および掘削作業の省人化を開発の中心課題として取り上げた。機械化装薬機の概要を図16に示す。自動化の際の課題は静電気・電流による誤発破の防止、結線作業が簡素化、誤起爆の防止が上げられる。このため、結線が簡単で、安全な非電気発破システムとする。

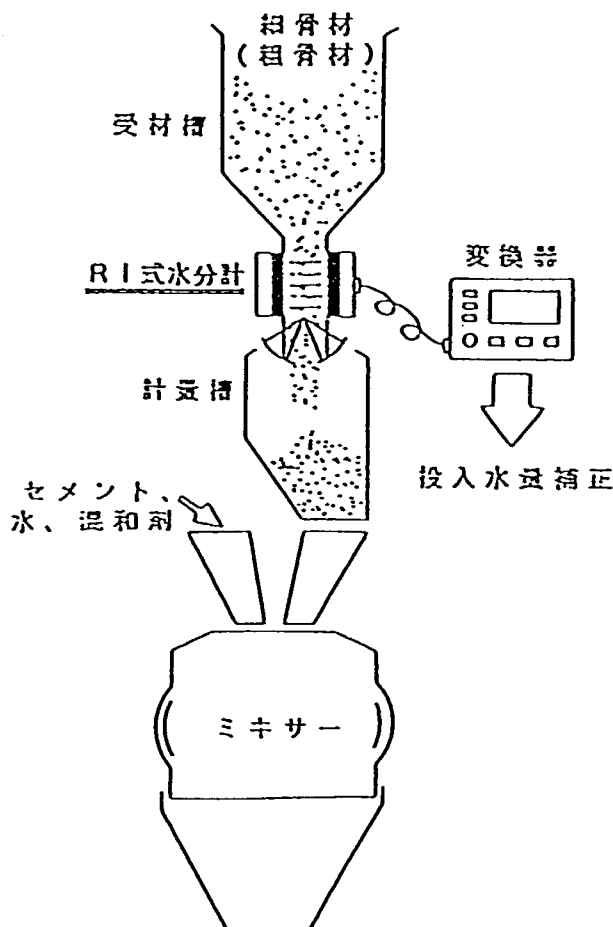


図-15 骨材の表面水率測定システム

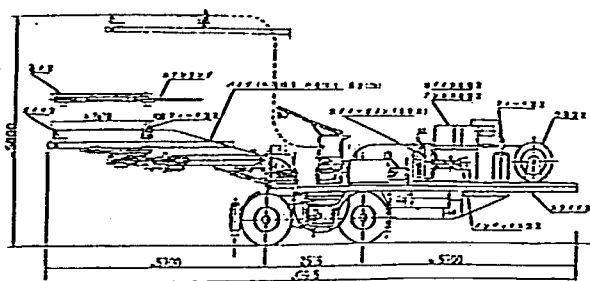


図-16 自動装薬機のプロトタイプ

6. 3 施工計画管理の合理化技術の開発

これまでの土工における施工計画立案、施工管理支援システムは、データの入力・更新の煩雑性やシステムの取り扱いが複雑なために、その活用が最も必要な現場での利用が進まず、計画と施工が分離したものになりがちである。また、施工合理化を進めるうえで必要となる施工実績データの蓄積が十分なされておらず、工事の進捗状況に応じてうまく活用されていないといえる。そこで、施工計画の策定方法の簡易化を図ると共に、施工状況等のデータの簡便・迅速な収集、その処理方法などについて研究開発を行っている。また、それらの結果に基づき計画の修正・再策定を行う施工計画立案と施工管理の実用的な統合システムの作成ならびに施工情報の蓄積とその活用を図るための新たなデータベースシステムを構築することとしている。大きく分けると、次の2つのシステムとなる。

- ①施工管理情報の計測システム：出来高や締固め度などの盛土の品質を迅速・的確に入手する
- ②施工計画管理支援システム：当初設計値や施工途中の施工管理データを一元的に管理し、土量配分・運土等の個別システムと連携・総括する（図17）

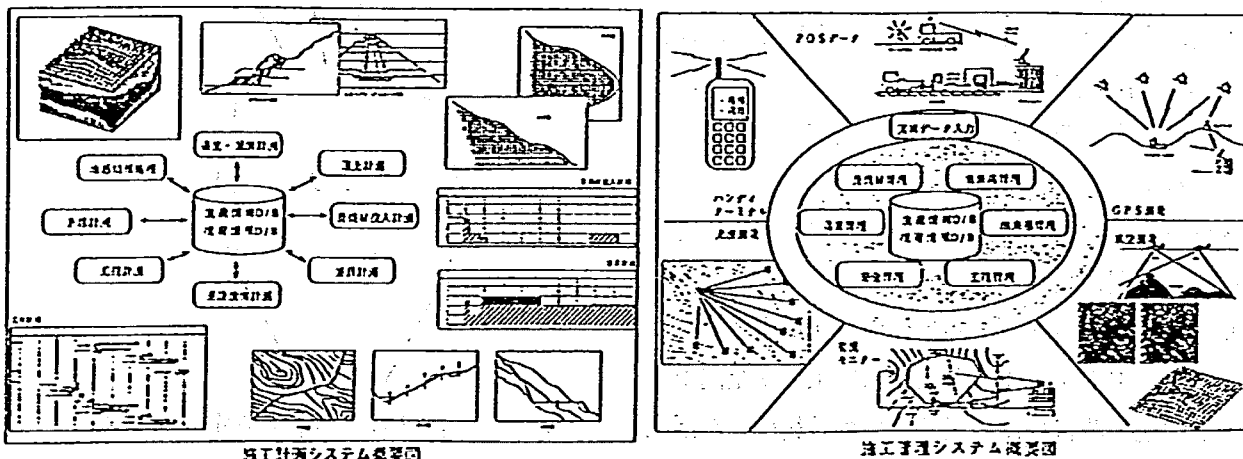


図-17 施工情報管理システム

①の出来高については最近ではGPSを利用するものが多く発表されている。出来高計測の一層の省力化のためノンプリズム光学測距儀を用い、プリズム不要、ターゲット・受信機設置作業不要のシステムを開発している。このため、本体旋回の自動ドライブ機構、ランダムサンプリングの測量結果から数値地形モデルや出来高等を求める自動計測処理ソフトの開発を行っている。締固め度の品質は転圧機械にGPSを搭載し、締固め度も搭載されたRI密度計で測定する。密度測定と同時にGPSによる出来形を計測し、機械操作にフィードバックすることで盛土の品質を総合的に管理する。

7. 工法情報の蓄積・整理の最近の動き

上記したように施工法は、ビジョン対応の技術だけでも約200ある。それでは、施工法の数はいくつあるのでしょうか。ある社では一社だけで約200あるという。これから推測すると、重複も含めると10000を越えると想定される。これだけの数の中からその現場に適した施工法を選択すること、資

【表文字高型】

高文字高型

高文字高型

[illegible]

写真-7 パソコンによる施工情報検索

新工法・新材料



図-18 施工法の整理例

次世代道路交通システム

総合交通安全研究官 松 村 哲 男

次世代道路交通システム（ARTS）の研究開発状況について

1. はじめに

近年の情報処理・通信の分野における技術革新を背景に、道路と自動車のインテリジェント化に関する研究開発が1980年代後半より、日米欧を中心に積極的に展開されている。日本においても、産官学の協力のもと各種のプロジェクトが現在進行中である。現在、研究開発が行なわれているシステムとして欧州ではPROMETEUS (Program for European Traffic Highest Efficiency and Unprecedented safety)、米国ではIVHS (Intelligent Vehicle Highway System) が挙げられる。また、国内では通産省がSSVS (Super Smart Vehicle System) 計画、運輸省がASV (Advanced Safety Vehicle) 計画、建設省ではARTS (Advanced Road Transportation System) 計画の研究開発を行なっている。本稿では、それらの中で特に建設省が開発を行なっているプロジェクトについて、その概要、研究状況等について述べる。

2. 研究開発の背景と道路交通のインテリジェント化の必要性

2. 1 研究開発の背景

図-1に日本における自動車保有台数と免許保有者数を示す。ここ数十年の経済の発展に伴う所得水準の向上を背景に、国民は生活の豊さを追い求めてきた。その結果、自動車保有台数及び免許の保有者数も急激に伸び、1990年にはともに6,000万を越えた。この値は、1億2400万人の人口の約50%にあたる。これらの数値について建設省では、今後も欧米諸国と同程度の伸び率で増加し、2010年には自動車保有台数が現在の約1.3倍、免許保有者数が約1.5倍程度になると推定している。

人の移動や貨物の輸送量も、生活の高度化、余暇活動の活発化、経済の拡大等に伴い着実に増大している。特に道路交通が担う割合の伸びは著しい。

1989年には人の移動の約60%、貨物輸送量の約50%を占めるにいたり、国内の輸送に大きく貢献している(図-2、図-3)。

このように、交通輸送に大きな役割を果たす道路交通では、その需要が増加する一方、交通渋滞、交通事故、自動車の排出ガスなどによる環境汚染の問題が深刻化している。表-1は、首都圏の最も交通量の多い時間帯(ピーク時間)における国道及び主要地方道における平均旅行速度である。1都4県では28.5km/h、東京23区内ではわずか16.8km/hに過ぎない。交通事故死者数は、1970年をピークに1979年には概ね半減したが、これ以降再び増加傾向に転じている。1989年以降3年連続

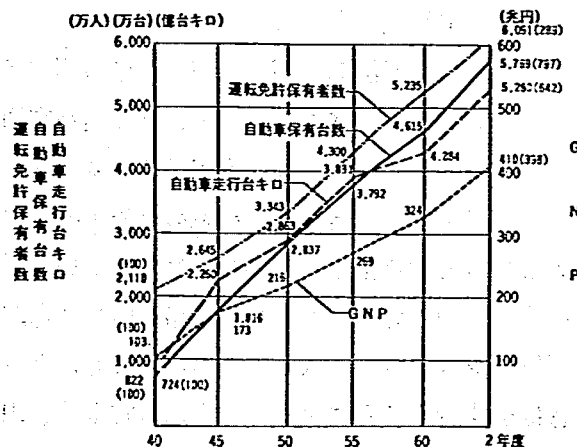


図-1 日本における自動車保有台数と免許保有者数

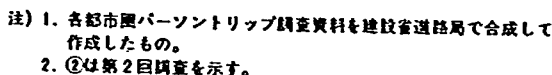


図-3 主要品目の輸送機関別分担率（昭和63年度）

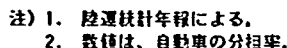


図-3 主要品目の輸送機関別分担率（昭和63年度）

表-1 首都圏の平均旅行速度

表-1 首都圏の平均旅行速度

(注) 1. 建設省道路交通センサスによる。
2. 1都4県…東京都、埼玉県、千葉県、神奈川県、茨城県

図-4 交通事故死者数の推移

前述のごとく道路交通を取り巻く環境を向上させるため、建設省では各種の対策を実施してきた。しかしながら道路単独の技術による交通対策ではその効果に限りがある。そこで、近年の技術革新によって飛躍的に向上した情報処理・通信技術を活用した道路と自動車が一体となった各種道路交通システムの開発を進めている。このシステムの第1段階として道路側の通信施設を利用し、主に車内への道路交通情報の提供とナビゲーションシステムの開発を目指した路車間情報システム（RACS；Road/Automobile Communication System）が挙げられる。

— 56 —

個別通信機能等が実験され満足できる成果を納めた。なお一部の機能については、現在、自動車情報通信システム（Vehicle Information & Communication System）として実用化実験が行なわれている。

次に、第2段階のシステムとして次世代道路交通システム（ARTS）がある。このシステムは、RACSが情報提供を中心としたシステムであったのに対して車輛の制御までを想定したシステムとなっている。次章より、ARTSの研究開発の前提条件、想定機能、開発状況等について述べる。

3. 次世代道路交通システム（ARTS）の概要

3. 1 研究開発の前提条件

ARTSは、高度な情報通信技術を利用して道路と自動車の一体化を図ることにより、高齢者や身体障害者も含めた全ての人がより簡単に、より楽しく、より高度に道路を利用することを可能にし、さらに安全・快適・効率的な移動と環境との調和を実現することを目的としている。その基本システムは、道路側の情報収集・提供施設、情報処理システム、データベース及び情報交換のための通信施設とそれらに対応した各種機能を持った車輛から構成されている。

表-2 に示すシステムのニーズと方向性

	社会環境の変化	発生するニーズ	次世代道路交通システムの方向性	シ ス テ ム 素 案 () 内は関係する社会環境の変化
①	高齢者及び身障者の活動機会の増加	・高齢者の視力低下や運動低下を補う ・身障者の運動機能の一部を補う	・認知、判断、操作に関する運動補助 ・道路構造、路面状況、他車両、歩行者等に関する情報の提供	・自動料金徴収システム(④) ・道路構造情報提供システム(①、③) ・道路状況情報検知システム(①、②)
②	自動車交通の24時間化	・夜間における視認性の確保 ・いぬむり等による危険性の解消	・ドライバーの視線誘導 ・路面状況の検知 ・運転支援ないしは自動運転の実現	・周辺移動体検知システム(①) ・車間側方コントロールシステム(①、②、③、⑤)
③	自動車の高性能化	・より安全な高速走行の確保	・高速走行操作などの補助 ・車間及び側方余裕保持のシステム化 ・道路構造（線形等）のドライバーへの提供	・交通流誘導制御システム(④) ・気象影響除去システム(⑤)
④	輸送活動の高度化	・渋滞の回避及び解消 ・ボトルネックの解消	・交通流の配分 ・道路の輸送効率を向上させる制御システム ・自動料金徴収（料金所での無停止化）	
⑤	快適性に対する欲求の高まり	・快適で且つ楽しめる運転（自家用車） ・運転に要する労力の低減	・認知、判断、操作に関する運転補助 ・自動運転の実現・気象変化に強い道路構造の実現	

3. 2 ARTS に要求されるニーズと構築すべきシステムの方向性

ARTS に対応したドライバーのニーズとして、安全性の向上、輸送効率の向上が考えられる。表-2 はそれらニーズと構築すべきシステムの方向性について整理したものである。また、システムを構成する上での前提条件としては、各システムは車両と道路が連携したものであるとして構築されること、車両の形態としては、従来の有人走行、舗装路面、車輪付きを前提とした。

3. 3 ARTS のイメージ

表-2 に示すシステムのニーズと方向性に基づいた ARTS のイメージを以下に示す。

(1) 自動料金徴収システム

有料道路の料金所ゲートにおいて、車両 ID を識別し、料金所での料金徴収を自動化するものである。このシステムを導入することにより料金所での磁気カードの受取、料金支払に伴う車両の停止を解消し、① 料金所での渋滞の解消、② 料金所での追突、割込み事故等の防止、③ 料金所での停止、発進による排ガス、騒音等の減少、④ 料金所の無人化による人件費の節減等が効果として期待できる (図-5)。

(2) 道路構造情報提供システム

ドライバーの目からは得られない、前方における道路構造情報 (道路線形、幅員、縦断勾配等) をビーコン等の道路側設備を通して、事前にドライバーに提供するシステムである。このシステムによって道路構造に関する情報をドライバーが事前に認知することが可能となり、安全性の向上に寄与する (図-6)。

(3) 路面状況情報提供システム

道路管理者が、道路に設置した ITV や路面凍結感知器等の各種の気象センサーにより、路面凍結、圧雪、湿潤等の路面状況を検知・収集し加工処理した情報を、ドライバーにビーコン等の道路側設備からリアルタイムに提供するシステムである。このシステムはドライバーに的確な道路状況の伝達が

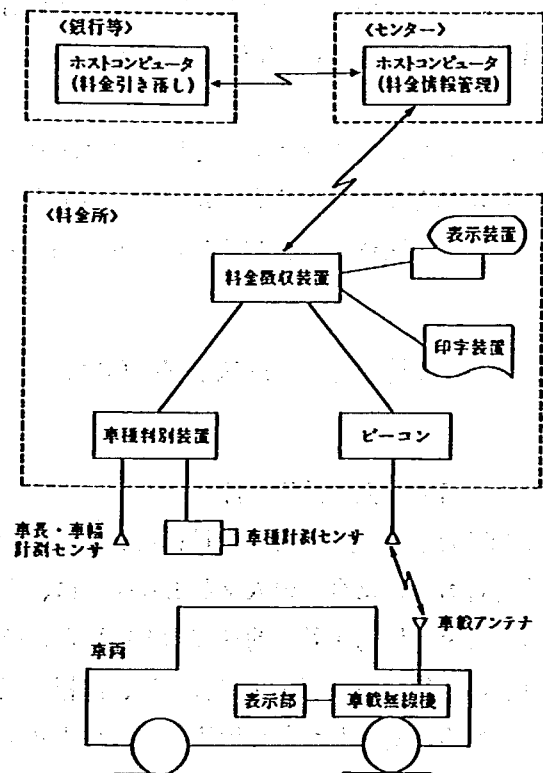


図-5 自動料金徴収システム

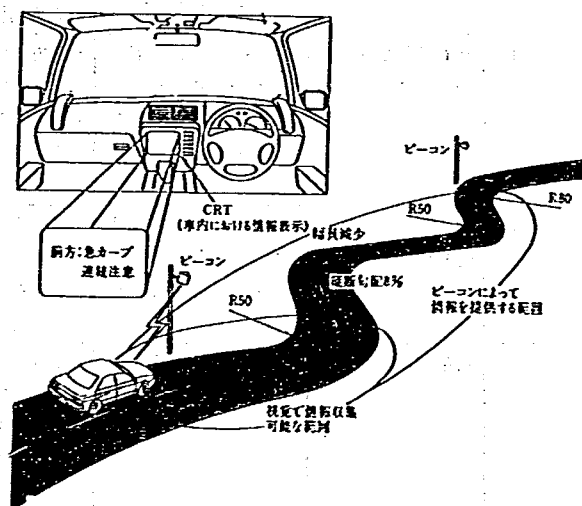


図-6 道路構造情報提供システム

可能となる。更に、このシステムは(2)で述べた道路構造情報提供システムと組み合わせて使用するとさらに有効となる(図-7)。

(4) 周辺移動体認知システム

このシステムは自車周辺の他の移動体を認知させるシステムであり、状況に応じて様々なシステムが考えられている。基本的な目的としては、ドライバーが認知できない状況又は認知しにくい状況をなんらかの補助手段（照明等）を使用して事前に認知させるものである。以下に、いくつかの事例を示す。

1) 路車間照明システム

通常の道路照明は連続して点灯しているが、本システムは車両の接近を検知した場合に、車両の前後の照明のみを点灯させ、通過後には消灯させるものである。このシステムは、点灯範囲が走行車両に追従するため当該車両には連続照明と同様の効果を与えることができ、対向車両や歩行者等には照明が点灯することにより車両の接近を認識させることができる。また、車両の存在箇所のみを点灯すればよいため、通常の照明に比較して節電も可能となる他、照明の植物への影響も押さえることが可能となる。(図-8)。

2) ガイドライトシステム

ガイドライトシステムには、山間部等の見通しの悪いカーブなどに発光体を設置し、ドライバーに対向車の存在及び道路線形を伝達させる対向車警戒・道路線形表示機能(図-9)、見通しの悪い交差点やT字路において、優先道路側の車両位置・速度を検出し、警報や標識の点滅等によって

一時停止を非優先道路のドライバーに促す交差部道路警戒機能（図-10）、濃霧時における光幕現象を極力低減させてドライバーに前方の線形及び車両の存在を認知させる霧中ガイドライト機能（図-12）がある。本システムの導入により、正面衝突、出会い頭の衝突、追突や路外逸脱事故を防止できる。

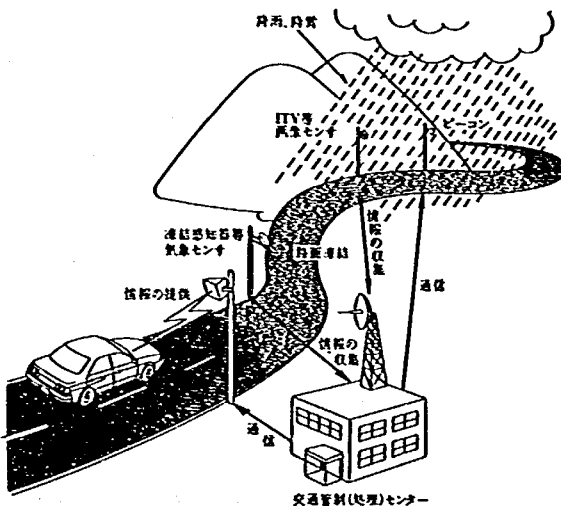


図-7 路面状況情報提供システム

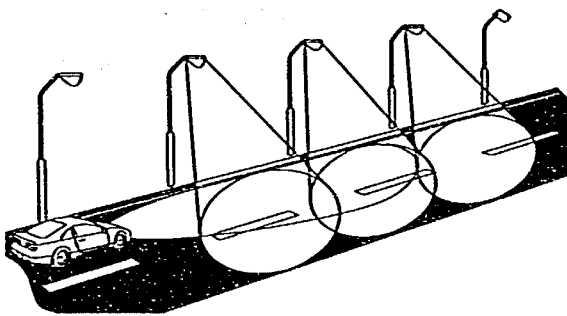


図-8 路車間照明システム



图-9 对向車警戒

(5) 車間側方コントロールシステム

このシステムは車両の運転制御を道路側から支援し、前後左右を走行する車両との間隔及び路車間の側方距離をコントロールするものであり、将来的には自動運転を目的としたシステムである。この

(6) 交通流誘導制御システム

4. 現在までの研究開発

そこで、研究開発にあたっては道路技術単独で実現可能であり、比較的短期間で構築可能なシステムとしてガイドライトシステム、道路と自動車为一体となって実現可能であり、様々なシステムの複合の上に成立するシステムとして車間側方コントロールシステムを、それぞれ代表的なシステムとして研究開発を行っている。以下、現在までの研究状況について述べる。なお、これらのシステムを構築するには道路交通に関する技術以外の電気、電子、自動車等の各種技術が必要とされるため、財団法人道路新産業開発機構との共同研究体制下で研究を実施している。

4. 1 ガイドライトシステム

単路部における対向車の認知機能、交差部にお

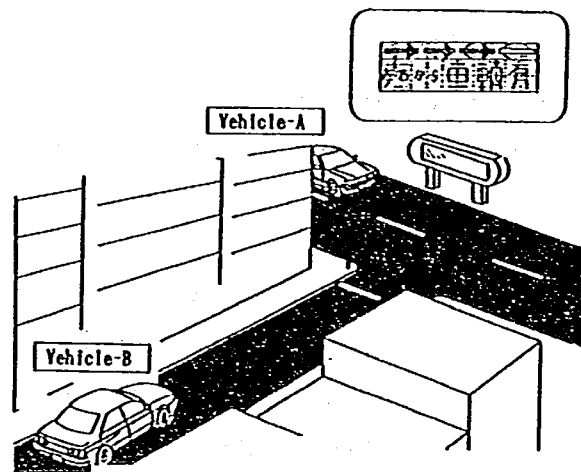


图-10 交差部道路警戒機能

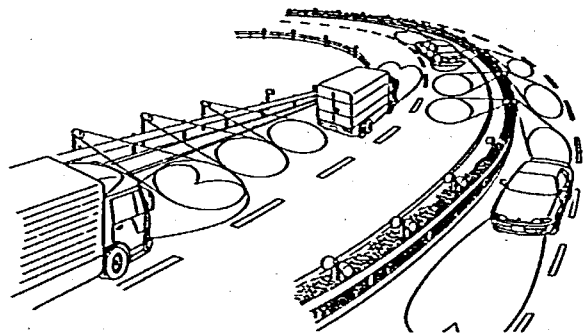


図-11 霧中ガイドライト機能

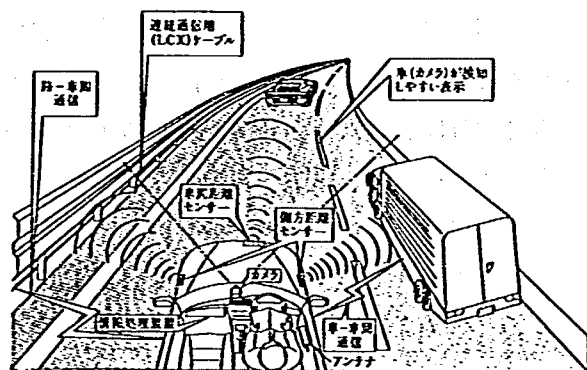


図-12 車間側方コントロールシステム

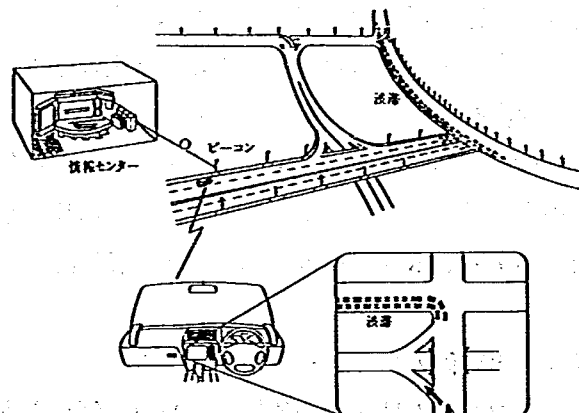
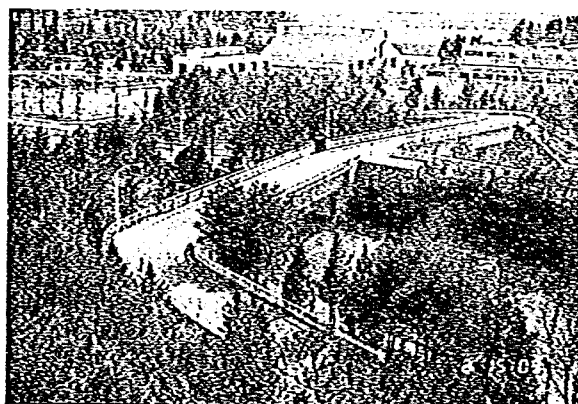


図-13 交通誘導制御システム

ける本線走行車の認知機能をもつ交差部道路警戒機能を中心として、その必要機能、要求される機器仕様、機器構成等について検討を行った。

その検討結果を踏まえ、1992年12月には両実験システムを土木研究所構内に設置し効果検証及び発光体発光パターン等の個別機器仕様に関する検討を実施した。



4. 1. 1 実験システムの概要

写真-1に示す土木研究所構内道路に3つの実験システムを設置した。実験システムは、曲線半径20m程度の見通しの悪いカーブに対向車警戒・道路線形表示機能を持ったものを2ヶ所（A・Bシステム）、左右の見通しの悪い交差部に交差部道路警戒機能（Cシステム）を持ったものを1ヶ所設置している。以下実験システムの概要について述べる。

写真-1 実験システム設置道路

1) 対向車警戒・道路線形表示機能

実験システムは、検知部、制御部、発行部から構成されている。検知部はサイドファイヤー方式の超音波センサー、また、制御部の専用設計された制御プログラムには、車両の走行に先行した低速発行制御、高速での繰返し発行制御等のパターンで発行させることが可能である。次に発部は、車両の

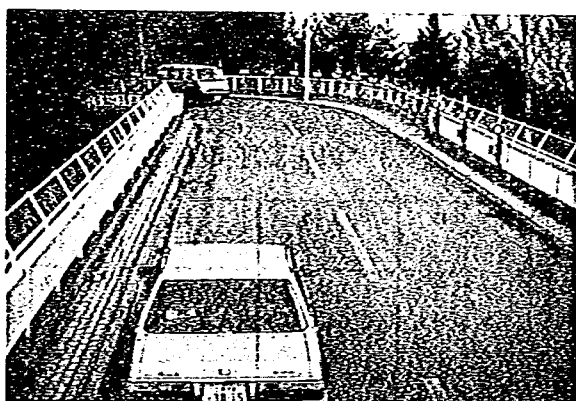


写真-2 Aシステム（無電極放電ランプ）

接近に応じて発光を繰り返す必要があり、通常の照明では極端に寿命が低下するため望ましくない。そのため、点滅を繰り返しても発光体寿命には影響がなくかつ、昼間の外光条件下でも必要な輝度を確保可能は発光体としてAシステムでは、無電極放電ランプ、Bシステムでは発光ダイオードを使用している（写真-2、写真-3）。

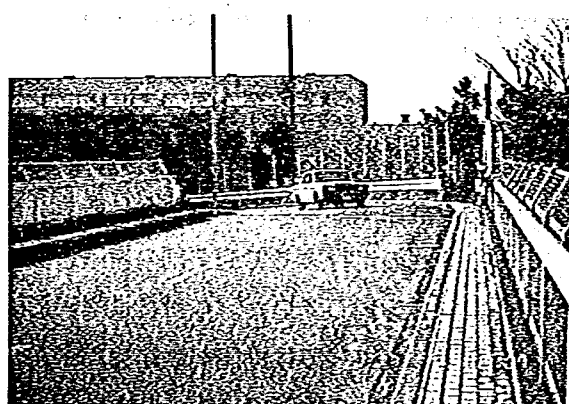


写真-3 Bシステム（発光ダイオード）

2) 交差部道路警戒機能

この実験システムも基本的には、対向車警戒・道路線形表示システムと同様であり、検知部、制

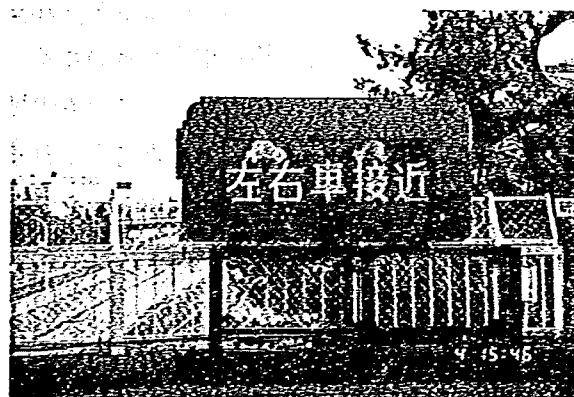


写真-4 Cシステム（発光ダイオード）

御部、発光部から構成されている。車両を検知する検知部、発光体を制御する制御部は対向車警戒システムとほぼ同様だが、発光部は車両の接近にあわせて文字及び記号を点滅表示する方法を用いている。発光体は発光ダイオードを使用している（写真－４）。

4. 1. 2 実験の実施

ガイドライトシステムは発光体の連続発光により、対向車の接近を事前に認知させる機能（対向車警戒機能）と道路線形を認知させる機能（道路線形表示機能）とを想定している。この二つの機能のうち、道路線形表示機能単独では光点が流れるため、ドライバーに覚醒効果を与え、自発光デリニエータと同等またはそれ以上の機能を発揮すると考えられるが、対向車警戒機能は、まったく新しい概念のため、導入にあたってはドライバーがシステムの効果を受け入れやすいものなのかを検証する必要がある。そこで、土木研究所構内に設置した実験システムを用いて対向車警戒機能単独でのシステムと、対向車警戒機能及び道路線形表示機能を兼ね備えたシステムについて効果検証実験を実施した。

1) 実験方法

ガイドライトシステムに関する予備知識がない被験者に対し、ダミーの実験目的（街路における自動車の走行速度と車線内位置に関する実験）を与え、その後、被験者にシステム設置区間を含む土木研究所の構内道路を実走行させた。（被験者が実験車両の運転に慣れるため、一定の距離の構内道路を走行をした後に、システム設置区間を走行させた。）この走行は最大3回までとし、一回ごとの走行を終了する毎に、ダミーの実験に関する質問のほかに、実験走行中に気付いたことについての質問を取り混ぜた。この方法により、ドライバーのガイドライトシステムに関する機能把握程度を検証した。

2) 実験結果

表－3 機能検証実験結果

対向車警戒機能単独のシステムでは、表－3に示すとおり3回の走行までで約7割の被験者が対向車警戒機能を認知していた。なお、道路線形表示機能を併用した実験では機能が複雑になったため、対向車警戒機能の理解度は約3割まで低下した。このように本システムは単機能であれば、ドライバーに対し、直観的に対向車の接近を認知させるシステムであることが検証出来たといえる。

認知までの 走行回数	1回	2回	3回
存在を認知 した被験者数 (累積)	10名 (55.6%)	16名 (88.9%)	17名 (94.4%)
効果を知 した被験者数 (累積)	7名 (41.2%)	9名 (52.9%)	12名 (70.6%)

しかし、全てのドライバーに対し、システムの機能を周知させるためには、システム設置時における事前PRによる周知等が必要であると考えられる。特に、線形表示機能を兼ね備えたシステムにおいてはさらに重要となるであろう。なお、本システムは本年度九州地方建設局の数箇所の供用道路において試験施工される予定である。

4. 2 車間側方コントロールシステム

車間側方コントロールシステムは、交通状況や走行環境についての情報提供・警告や車両相互間での運転意志情報の交換及びそれらの情報に基づいた操舵・制御の補助が機能として想定される。将来

的には自動運転へ移行していくシステムとして位置付けられている。

システムは発展の段階に応じて情報提供・警告、運転支援、自動運転の各機能が想定されているが、現在は技術的な実現可能性及び将来への発展性等を考慮し情報提供・警告機能である、連続した路車間の双方向通信による前方道路危険警告機能、周辺車両位置表示・警告機能及び追突防止機能の3つについてシステムの機能及び仕様の検討を行っている。以下に機能概要を示す。

(1) システム機能

①前方道路危険警告機能

道路に設置した各種センサー（車両感知器、視程計、温度センサー、多目的画像センサー等）により、視界より遥か前方で発生した事故等を連続通信ケーブルを通して瞬時にドライバーに表示し警告する機能である。この機能により高速道路上での多重衝突事故の防止が可能となる。

②周辺車両位置表示・警告機能

周辺の車両位置及び速度を車両及び道路側のセンサーで検知し、CRT またはヘッドアップディスプレイに表示する機能である。他の車両によって死角となる部分の状況についても容易にドライバーが認識することが可能となる。この機能によりインターチェンジ等での合流時や霧・雨等の異常気象発生時の走行安全性向上が可能となる。

③追突防止機能

車輻に搭載された各種の距離センサーによって車間距離を計測し、且つ道路側から送信された路面状況を考慮し、危険車間を警告、必要に応じてアクチュエーターで速度を制御する機能である。

(2) 要素技術の検討

1) 通信媒体と利用周波数

車間側方コントロールシステムを構築するためには、空間的及び時間的に連続したリアルタイムで信頼性の高い通信技術が必要となる。このため、現在、双方向通信が可能な漏洩同軸ケーブル(LCX)という通信媒体に着目している。

LCX で特徴的なことは、ケーブル表面に切られたスリットから電波を出し入れすることにより、ケーブル設置地点であれば任意の地点で、周辺車両群の相対的位置や速度を把握できる点である。この機能により、数台前の車両や数台後方の車輻との通信が可能となる。

また、利用周波数は車輻と LCX 間で大容量で高速のデータ通信を行なう必要があることから準マイクロ波を利用する予定である。

2) 漏洩同軸ケーブルの通信機能検証実験

漏洩同軸ケーブルは路側通信や列車無線などの通信媒体として利用され十分な実績を持っている。しかしながら、車間側方コントロールシステムに適用することを考えると、従来の利用周波数より高い準マイクロ波を使用して高速・大量のデータ伝送を行うことが想定され、基本的な通信特性を検証しておく必要がある。そこで、1992 年 9 月より土木研究所試験走路において表-4 に示す各種条件下での基本的な通信実験（電界強度、データ誤り率）を実施した。その結果、次項に示す通信特性が把握され、車間側方コントロールシステムにおける基幹的な通信媒体となることが検証された。

なお、2.6GHz、車輻走行速度 120km/h 時の電界強度データを図-14 に、実験に用いた LCX の外形を図-15、その諸元を表-5 に示す。

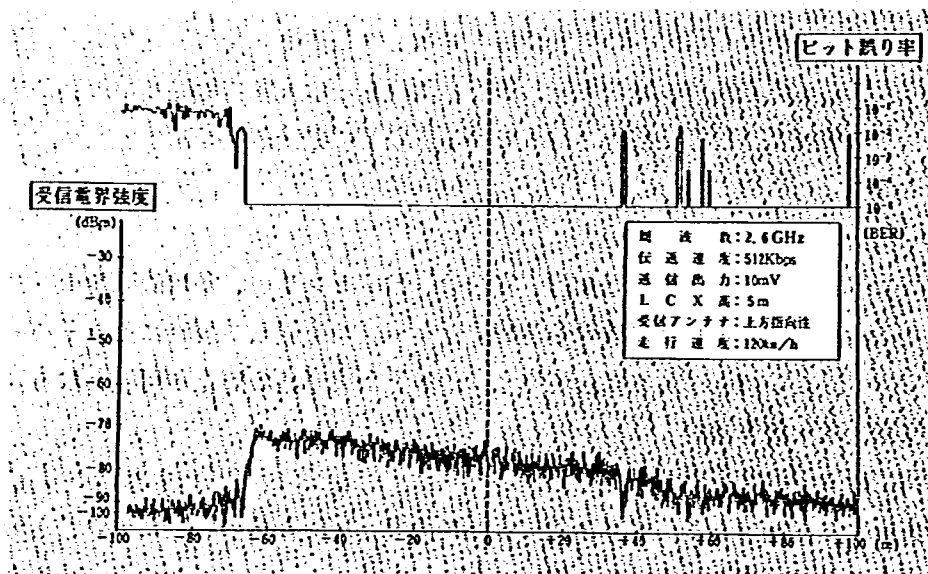


図-14 2.6GHz帯での電界強度

- (1) LCXを通信媒体とした、準マイクロ波は受信電界の変動幅が少ない、低レベルまで受信誤りが発生しないなどのすぐれた伝送特性を有している。
- (2) 空中線の架設位置はほとんど通信品質に影響しない。ただし、車両アンテナと空中線間の見通しが確保出来ないと通信品質は低下する。また、アンテナ自身による受信特性の変化はない。

表-4 実験条件

項目	設 定 条 件 等
周 波 数	2.6GHz帯
車 速	0～150km/hの範囲で任意に設定
高 さ	0～7mの範囲で任意に設定 (0m、1.5m、5mを標準値とする。)
測定車線	1～3車線
実験項目	電界強度、ビット誤り率の測定
道路構造	直線部、曲線部、遮音壁設置部、トンネル部等

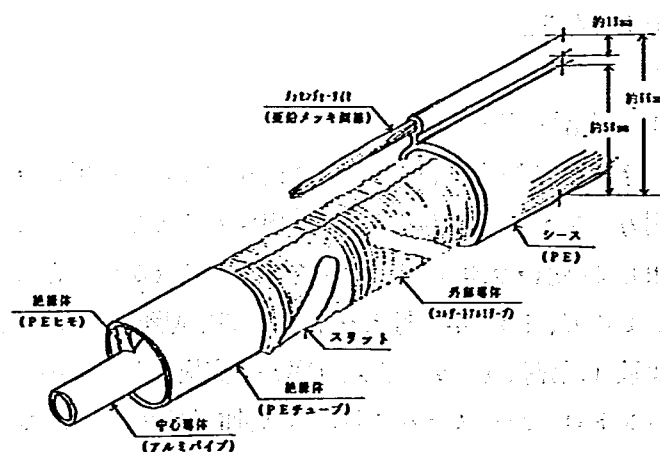


図-15 LCX外形

- (3) 車両速度による通信品質の変化は受信電界強度、ビット誤り率ともとくに大きな差は見られない。低速域から高速域まで安定している。
- (4) LCX の伝送損失は敷設状況とほとんど関係なく一定である。
- (5) 送信出力は 0.1W 程度でシステム構築の可能性がある。

表-5 LCX 諸元

概算仕上がり外径		50mmφ
概算重量		1450kg/km
特性	使用周波数	2,684.5MHz
	特性インピーダンス	50 (I-I) (公称値)
	結合損失 (dB) (標準値)	60
	減衰量 (dB/km) (標準値)	120

5. 今後の研究予定

5. 1 ガイドライトシステム

ガイドライトシステムは単路部において道路線形表示対向車警戒を行なう機能については供用道路で試験運用を経て更なる改良を行なう予定である。また、交差点部において右直事故や二輪車の巻き込み巻き込み事故を防止する交差点部ガイドライトシステム、霧の中での走行を支援する霧中ガイドライトシステムについても本格的な検討を開始する予定である。現在、交差点部ガイドライトシステムについては設置条件及び機能決定のためにドライバーの視点に関するアイカメラを使用した走行実験調査を、霧中ガイドライトシステムについては道路走行シミュレータを使用した効果検証実験を計画中である。

5. 2 車間側方コントロールシステム

車間側方コントロールシステムは現在までの実験によって準マイクロ波下における LCX が路車間の連続通信に使用可能なことが検証された。今後は、土木研究所試験走路に各種道路交通情報を収集するセンサー、情報処理を行なう情報処理装置、車両との通信を行なう LCX を展開し、実際の情報提供・警告機能の検証実験を開始する予定である。なお、実際に実験を予定する項目案と内容を以下に、試験走路における LCX の設置状況案を図-16 に示す。

5. 1. 1 実験項目 (案)

(1) 基地局から漏洩同軸ケーブルを経由した車両局へのデータ伝送実験

基地局から試験走路縦断方向に展開した漏洩同軸ケーブルを経由して各種のデータ (道路構造、道路状況、交通状況) に関するデータを車両に送信する。車両側ではそれらの情報を加工し車内 CRT 等に表示する。なお、車両局は複数存在するものとし、周波数は 2.6GHz とする。また、車速は 0~150km/h 程度までとする。

(2) 車両局から漏洩同軸ケーブルを経由した基地局へのデータ伝送実験

車両から漏洩同軸ケーブルを経由し基地局へ各種のデータ (車両位置、行動意志、道路状況等) を送信する。なお、送信を行う車両は複数存在するものとする。

(3) 車両局と基地局間での同時双方向通信実験

同一の漏洩同軸ケーブル区間内で同時点での車→路、路→車の双方向通信実験を行なう。

5. 1. 2 実験内容

(1) 複数車両による双方向時分割方式の通信が漏洩同軸ケーブルを利用して道路沿いに連続して実現できることを検証する。具体的な検証項目を以下に示す。

① 伝送誤り率の評価

実際の情報を伝達した時におけるフレームごとの誤り判定を上り／下り回線別に評価する。

② 車両登録機能の評価

同一区間に複数の車両を走行させて、区間毎の車両登録（車両ID）の状況、区間毎の登録切替の状況を評価する。

③ 車両間干渉の評価

同一区間に複数車両を走行又は停止させ、時分割方式によりそれぞれの車両が同時に路上装置と通信した場合の通信特性を評価する。

④ 総合的通信機能の確認

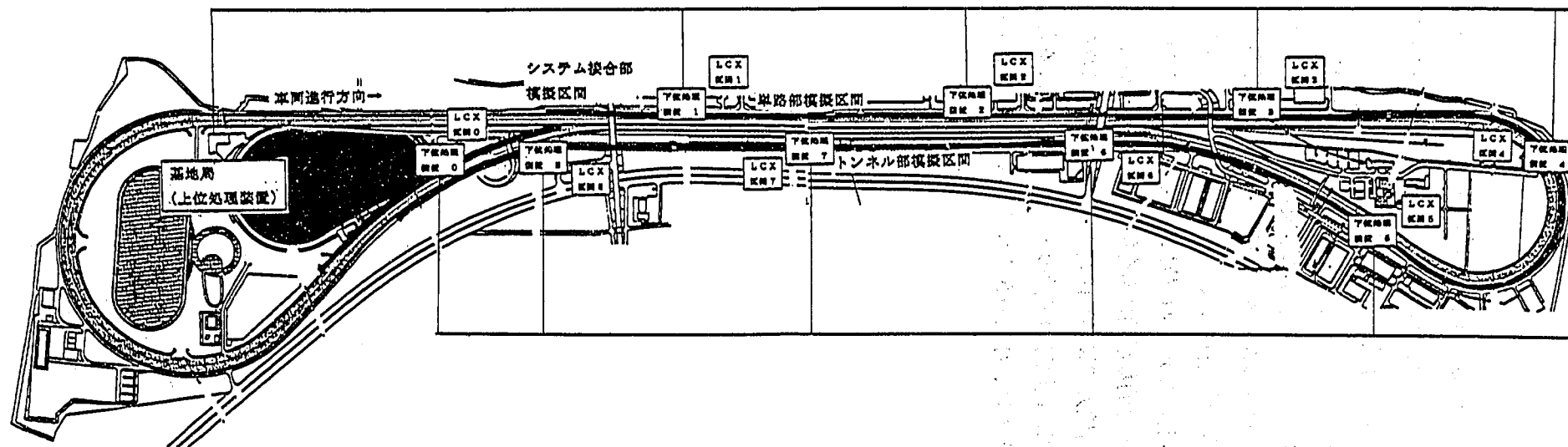
上り／下り回線で伝送されたデータを処理、表示し通信システムの実現性を確認する。

⑤ 通信・処理時間の確認

車両から路上方向に送信されたデータが処理され再び、車両に戻るまでの時間を確認する。

⑥ 通信不能区間の調査

漏洩同軸ケーブルの接続部、区間の切替地点等、通信不良になる区間の範囲を把握する。また、車両影等による電界強度低下区間での通信状況を把握する。



- 1) 上位処理装置とLCX は光ファイバーケーブル接続
- 2) 数年度に渡って整備

図-16 車間側方コントロールシステム実験施設 (案)

6. おわりに

1980年代後半から始まった我が国の道路と自動車のインテリジェント化に関する研究開発は、ナビゲーションや道路交通情報の提供に関してはかなりの進捗を見ているが、車両制御等の分野では今後の研究開発によるところが大きい。今後、社会及び個人に有効なシステムを効率的に開発するためには、システム構築に必要となるセンシング、通信技術といった要素技術やヒューマンマシンインターフェースの技術水準の向上が重要課題である。また、実用化に向けては道路、交通、自動車に関する各制度の整備が必要であり、ISOに代表される国際的な標準化や国際間の技術交流を積極的に推進することが必要である。このため、建設省では、ARTSを1993年度から始まった予算規模76兆円の第11次道路整備五箇年計画の主要なテーマに位置付け、積極的に研究開発及び実用化を図っていく方針であり、また、ISO等の国際的な活動にも今後とも参画していく予定である。なお、本研究にあたっては、日本道路公団、各地方建設局を代表とする道路管理者及び財団法人道路新産業開発機構及びその構成員である自動車、電機等の多数のメーカーの方々に多大のご協力を頂いている。これらの方々に心より感謝するとともに、今後のさらなるご参画をお願いするものである。

1993 年 鹿 児 島 災 害

砂防部長 矢 澤 昭 夫

1993 年鹿児島災害

1. はじめに

1993 年の春～夏にかけて、九州地方には例年より多くの降雨（例えば 1～8 月の降雨量は鹿児島では例年の約 1.8 倍に当たる 3132mm）があり、さらに台風も 5 号、6 号、13 号と 3 個も上陸した。このため、九州では 4 月 28 日～29 日の雲仙岳、水無川における土石流災害をかわきりに、大分県、熊本県、鹿児島県、宮崎県と土石流、崖くずれ、地すべりによる土砂災害が相次いで発生し、土砂災害による死者・行方不明者は鹿児島県で 105 人、大分県で 5 人、宮崎県で 4 人、熊本県で 4 人、長崎県で 1 人の計 119 人にのぼった。

ここでは、これらの災害の内、大きな人的被害が生じた鹿児島県における土砂災害についてその概要を報告する。

2. 鹿児島県の概要及び過去の災害

2. 1 鹿児島県の概要

鹿児島県は、西南日本弧と琉球弧との会合点にあたる九州南部に位置し、九州本土に属する薩摩・大隅の二大半島及び種子島・屋久島から奄美群島を経て与論島に至る島しょからなる。地質構造もこの様な地形的特徴を反映し日本中部から带状に続く第三紀以前の基盤地質構造は本県北部で琉球弧の方向に大きく向きを変え北薩の屈曲として知られている。

本県の九州本土に属する部分は白亜紀から新第三紀にかけての砂岩・頁岩からなる四万十累層群を基盤とし、これを貫く新第三紀の花崗岩類や新第三紀以降の火山岩類及び第四紀の堆積岩や火砕流堆積物に覆われる。第四紀の堆積岩とはかつての海岸沿いの低地や山間の盆地に堆積した海成の花倉層や湖成の国分層群等である。火山岩類は安山岩を主とし串木野金山等の金銀鉱床を胚胎すること

で有名である。

更新世後期になると人吉市から鹿児島県を経て南へ延びる鹿児島地溝帯に沿って加久藤・阿多・始良の各カルデラ群を造った大規模な火山活動が生じた。主な火山噴出物は加久藤火砕流・阿多火砕流、そして始良火砕流である。始良火砕流の噴出は約 2.2 万年前である。火砕流の温度は 1000℃前後と推定されており、高温で厚い火砕流はいつまでも温度が下がらないため、その中央部は溶結作用により固い岩石になっている場合が多い。狭義にしろすとは始良火砕流の非溶結部を指す。始良火砕流は最も規模が大きく鹿児島県から宮崎県に及ぶ広大なしろす台地を形成しており、比高は 100m 以上に

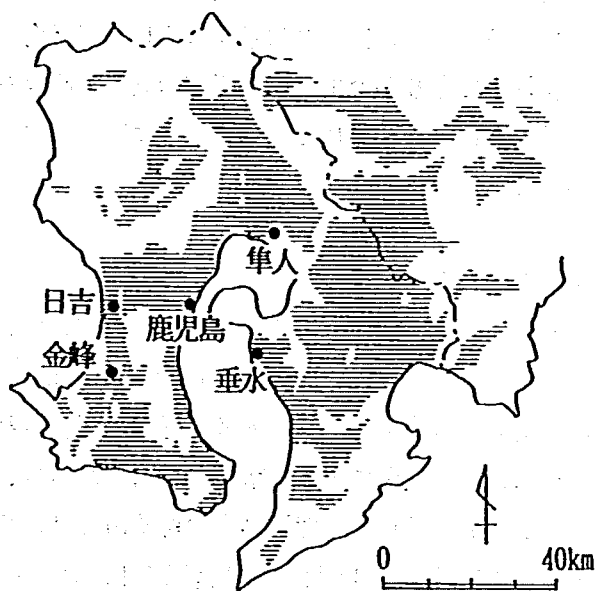


図-1 南九州におけるしろす分布

達する。

しらすの分布を図-1に示す。しらすは流水に対する抵抗力が弱く容易に侵食され易い。したがってしらす台地周辺には谷頭部や崖脚部の侵食に起因する災害が多発する。本地区にはこの他にぼらと呼ばれる降下軽石層が分布する。ぼらにはしらすの下位にある始良カルデラ起源の大隅降下軽石や桜島火山起源の薩摩降下軽石がある。ぼらは粗粒でルーズなため透水性が高くみずみちになり易いためパイピングが発生し崩壊を誘発する場合がある。最上位は現世の黒色火山灰および表土が覆う。

本県の気候は海岸を黒潮及びその分流である対馬海流に洗われ一般に温暖多雨な亜熱帯気候に属している。さらに図-2に示すように本県は台風常襲地帯でありかつては台風銀座の異名で呼ばれたこともあり夏秋期には例年のように豪雨に見舞われる。

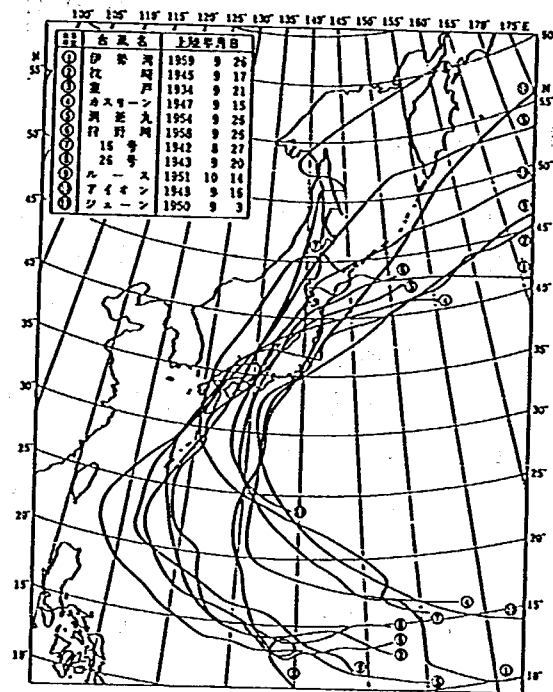


図-2 顕著台風の経路¹⁾

2. 2 過去の災害

鹿児島県は、前述のような自然環境を有しているため、過去にも大きな災害を被っている。日本の砂防総論(2)²⁾によれば、その最大のものは、1938年10月15日の台風による災害で、大隅半島では各所に土石流が発生し、死者・行方不明者合わせて454名に達した。この時の降雨量は400mm以上が記録された。次に大きな犠牲者を出したのは、1951年10月14日のルース台風で、屋久島では637mmの降雨量を記録した。鹿児島市や枕崎市では、高潮も重なり、死者・行方不明者は209名に達した。また、1945年9月17日の枕崎台風の上陸によって、南薩・大隅地方で129名の死者・行方不明者が

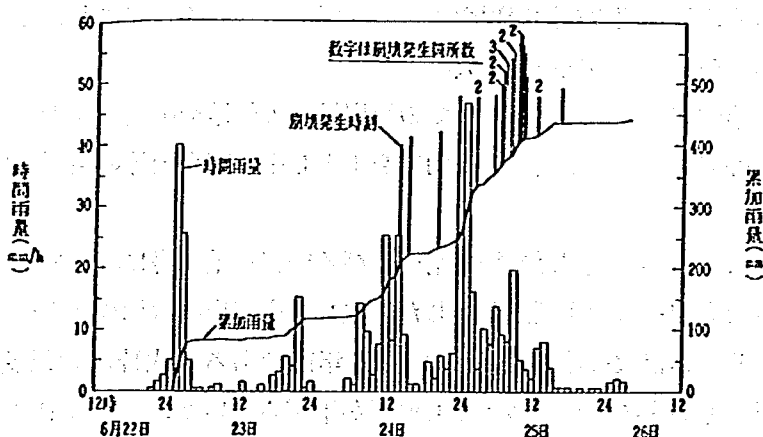


図-3 鹿児島市における1976年6月22日～26の降雨状況と斜面崩壊発生状況³⁾

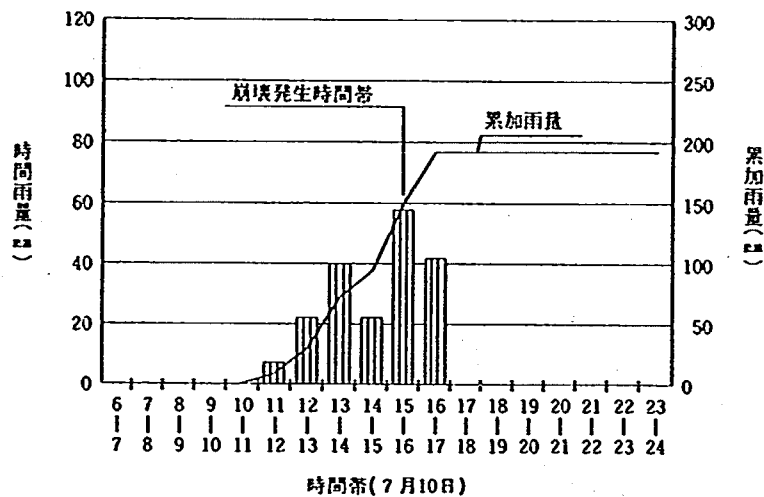


図-4 鹿児島市における1986年7月10日の降雨状況¹⁾

出ている。1949年にも相次ぐ台風や梅雨前線のために202名の犠牲者が生じた。その後も1970年代までは、死者・行方不明者の出るような災害がほとんど毎年のように繰り返されてきた。

近年特に大きな被害をもたらした土砂災害は、1976年及び1986年に発生した。いずれも鹿児島市を中心とした地域のしらす台地周辺の崩壊が被害を大きくしたもので、それぞれ死者32名、18名という被害を生じた。これらの災害時の累積降雨量はそれぞれ400～500mm、150～300mmに達している。図-3及び4にそれぞれの災害時における降雨状況を示す。後述するように、本年鹿児島県地方を襲った降雨は、所によってはこれを上回る量で、しかも繰り返し起こったことが大きな特徴である。このような降雨状況が、雨期をとおしてみれば、この地方にとって不幸にも数十年ぶりの大災害という痛ましい結果をもたらした。

3. がけ崩れによる災害

3. 1 がけ崩れ災害の発生経過及びその概要

平成5年7月から9月にかけて鹿児島県を襲った豪雨のうち、特に大きながけ崩れ災害の発生した降雨期間は次の4回を数えた。

- ① 7月4～7日の梅雨前線による豪雨によって、鹿児島市周辺から薩摩半島南部にかけて主としてがけ崩れが多発した。
- ② 7月31～8月2日の豪雨によって、吉田町、隼人町、国分市等で土石流、がけ崩れが多発した。
- ③ 8月6日の豪雨によって、竜ヶ水地区を含む鹿児島市周辺、吉田町等で土石流、がけ崩れが多発した。
- ④ 9月2～3日の台風13号に伴う降雨によって、薩摩半島南部の金峰町、川辺町等を中心として土石流、がけ崩れが多発した。

これらの降雨期間中の等雨量線と土砂災害の発生件数（土石流、地すべり、がけ崩れの合計）及びその分布状況を図-5(a)～(d)に示す。また、表-1には、一連の災害による被害状況の概要を示した。

ここではそれらのうち霧島町・隼人町・国分市・吉田町・鹿児島市等で行った現地調査の結果について報告する。

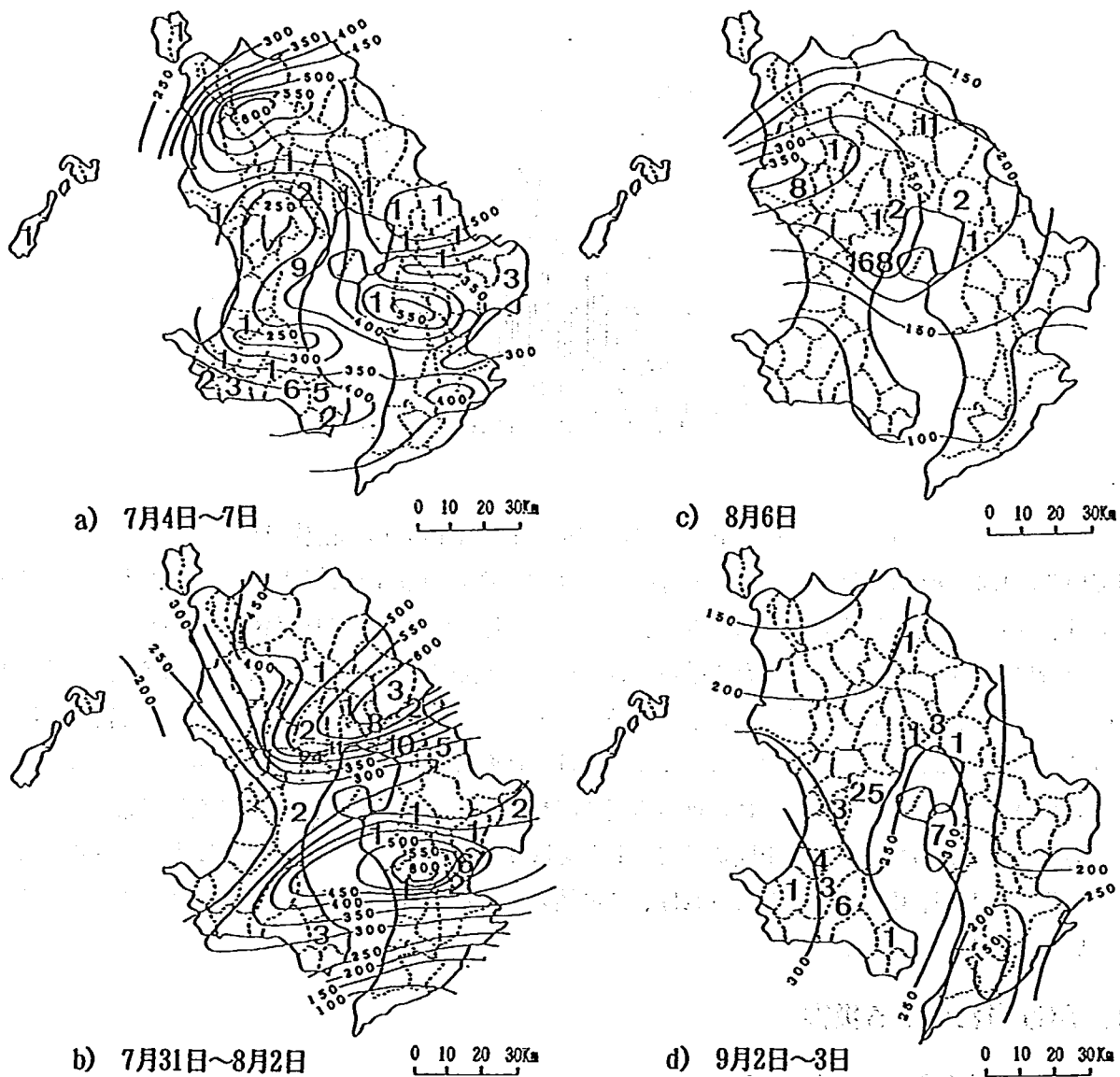


図-5 等雨量線図と土砂災害の発生件数

表－1 平成5年7～9月災害の被害状況の概要（参考文献1）に加筆・修正）

項目 \ 月日		6/12～7/8	7/31～8/2	8/5～8/6	台風7号 (8/10)	台風13号 (9/3)	9/20	合 計
発生箇所数	土石流	2(箇所)	20(箇所)	15(箇所)	1(箇所)	6(箇所)	-(箇所)	44(箇所)
	地すべり	6	-	-	-	-	1	7
	崖崩れ	69	61	181	13	27	-	351
死者・行方不明		9 (人)	23 (人)	49 (人)	5 (人)	33 (人)	2 (人)	121 (人)
うち土砂災害		8	21	37	5	32	2	105
住家	全半壊	56 (戸)	252 (戸)	402 (戸)	74 (戸)	758 (戸)	2 (戸)	1,544 (戸)
	うち土砂災害	35	93	162	12	65	2	369
	床上浸水	103	1,152	7,897	22	1,383	-	10,557
床下浸水		835	4,780	2,486	285	3,636	-	12,022
被害額(億円)		415	583	806	173	839	-	2,816

3. 2 隼人町松永地区

隼人町の霧島川沿いには比高約150m程度の急峻な斜面が連続している。これらの斜面では崩壊が多発した。特に崩壊密度の高かった松永地区の山腹斜面の状況を写真－1に、模式図を図－6に示す。

この地区の斜面は、上部から入戸（始良）火砕流非溶結部（しらす）、同溶結凝灰岩、崖錐と大別される。また崖錐部の基盤は岩戸火砕流堆積物であり、崖錐部の崩壊箇所に露頭して見られる。写真－1からも明らかなように、ほとんどの崩壊は最上層のしらす層の上端付近より発生していることから、



写真－1 隼人町松永地区の山腹崩壊状況

高さ約 150m にも達する長大なものとなっている。地表面の傾斜はしらす層に比較して溶結凝灰岩層の方が大きいが、しらす層が未固結であることから、この部分の崩壊が多くなっているものと考えられる。

左方には過去の崩壊跡を植生工で処理している部分が見られるが、その部分は今回は崩壊せず、隣接部分が崩壊している。隣接部分には不安定な土層が残っていたためと考えられる。崩土はほとんどが崖錐部分の樹林帯の中で停止している。このような高度差の大きい斜面は隼人町・国分市付近に特に多く、基本的には松永地区と同様な斜面形態と崩壊特性を有している。

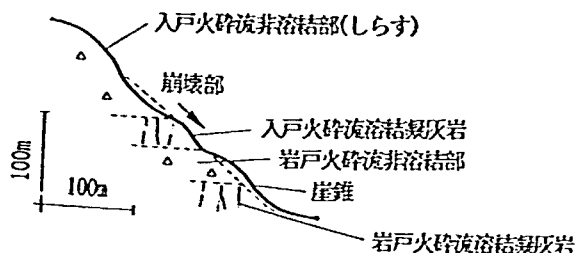


図-6 隼人町松永地区の崩壊斜面模式図

3. 3 隼人町上子鹿野地区

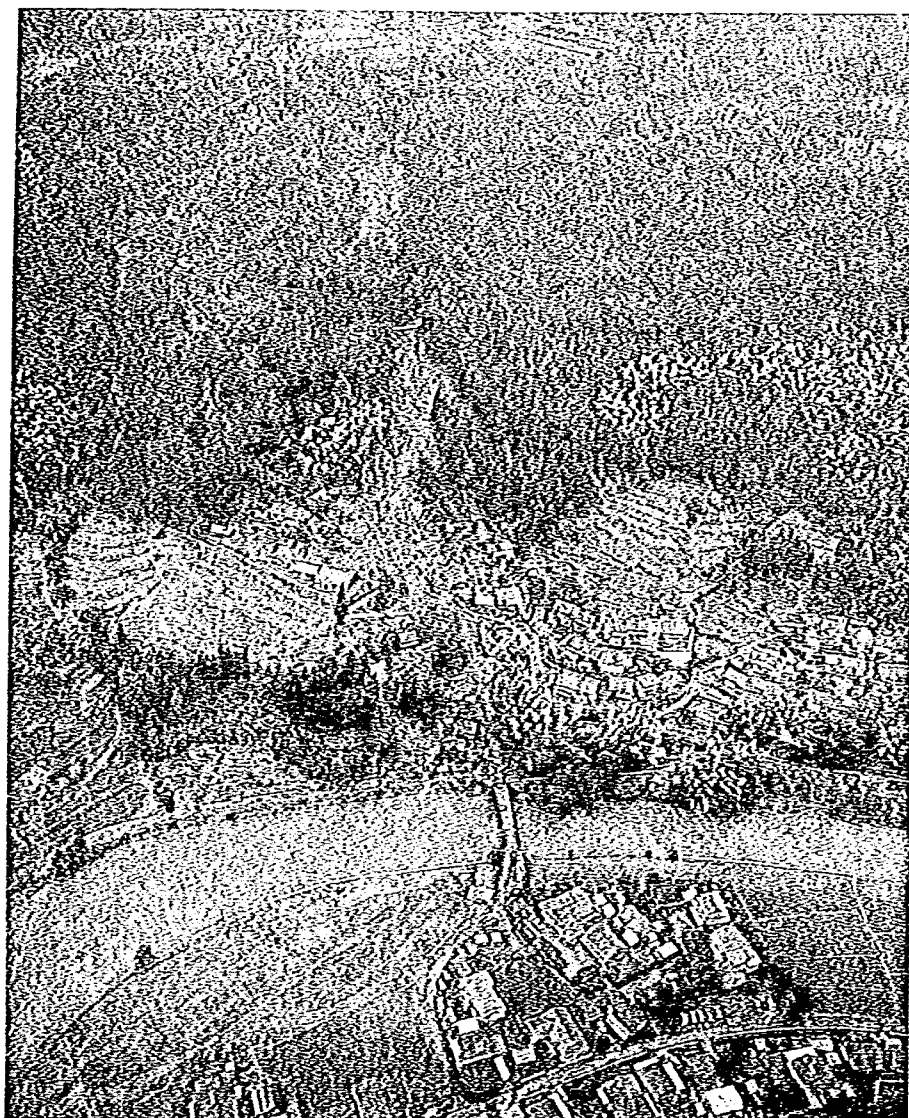
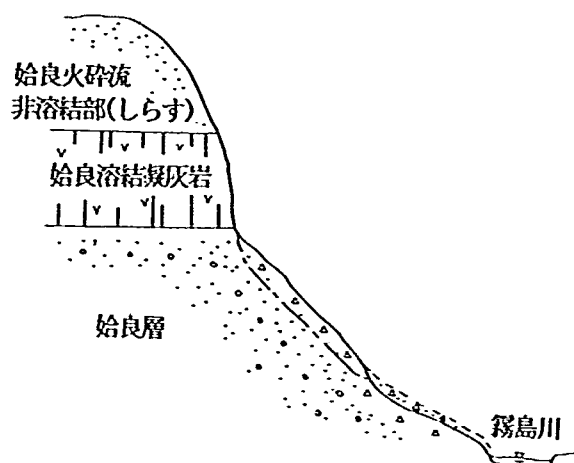


写真-2 隼人町上小鹿野地区崩壊状況

隼人町上子鹿野地区の崩壊を写真－2に、その模式図を図－7示す。この斜面は2.2で述べた松永地区より霧島川沿いに約2km上流の右岸側に位置する。崩壊は8月1日に発生し、死者5名、負傷者1名、そして全半壊家屋4戸と大きな被害をもたらした。崩壊の規模は幅約65m、長さ約130mで、崩土は斜面下部の人家を破壊し、その一部は霧島川まで達している。

当地区も上位からしらす、溶結凝灰岩と重なっているが、その下位には湖成堆積物と考えられる礫・砂・ローム・粘土からなる始良層が存在する。

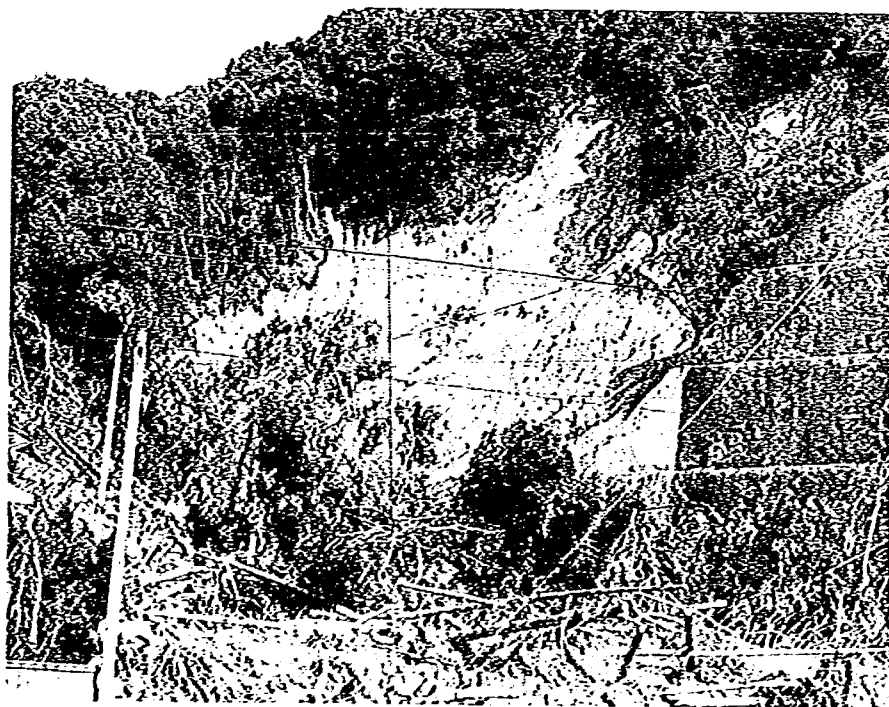
崩壊はしらす部分ではなく、始良層で発生している。崩壊部では、直径2～3mの溶結凝灰岩の大礫を含むルーズな崖錐及び黒褐色を呈する始良層が露出する。始良層にパイピングホールが認められ大量の湧水を伴うことから高透水性を有する始良層のパイピングが崩壊の引き金となったと推定される。



図－7 隼人町上小鹿野地区の崩壊斜面模式図

3. 4 吉田町西佐多浦地区

吉田町ではがけ崩れと土石流が多数発生し、激甚な被害を与えた。写真－3は同町西佐多浦で8月1日に発生した斜面崩壊である。崩壊の規模は、幅約30m、長さ約40mで、この崩壊により死傷者



写真－3 吉田町西佐多浦地区斜面崩壊状況

2名、全半壊家屋3戸の被害が生じた。図-8に示したように、この斜面は高度差が小さく、溶結凝灰岩の硬い層も挟んでいないしらすのみから構成される斜面で、傾斜も平均40°程度であった。この斜面に隣接した右側の斜面には切土及びコンクリート吹付工が施されており、崩壊を免れている。

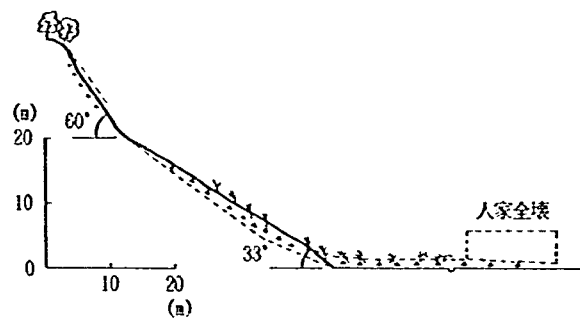


図-8をみると、崩壊後の地形は比較的傾斜の大きい上部と傾斜の小さい下部に分けられる。上部は土壌硬度が31mmと大きく、表面侵食も受け

ていない。それに対して下部は土壌硬度が15~17mmと軟質で、表面侵食を受けてリルが形成されている。崩土は約20m流動し、家屋を全壊させて停止した。

3. 5 鹿児島市岡野原町栄地区

本地区は8月6日の豪雨により崩壊した。崩壊は栄地区の集落を半円形に取り巻くしらすからなる後背斜面がほぼ全域にわたり崩壊したものであるが、幸い人的被害は発生しなかった。崩壊斜面を写真-4、模式断面を図-9に示す。

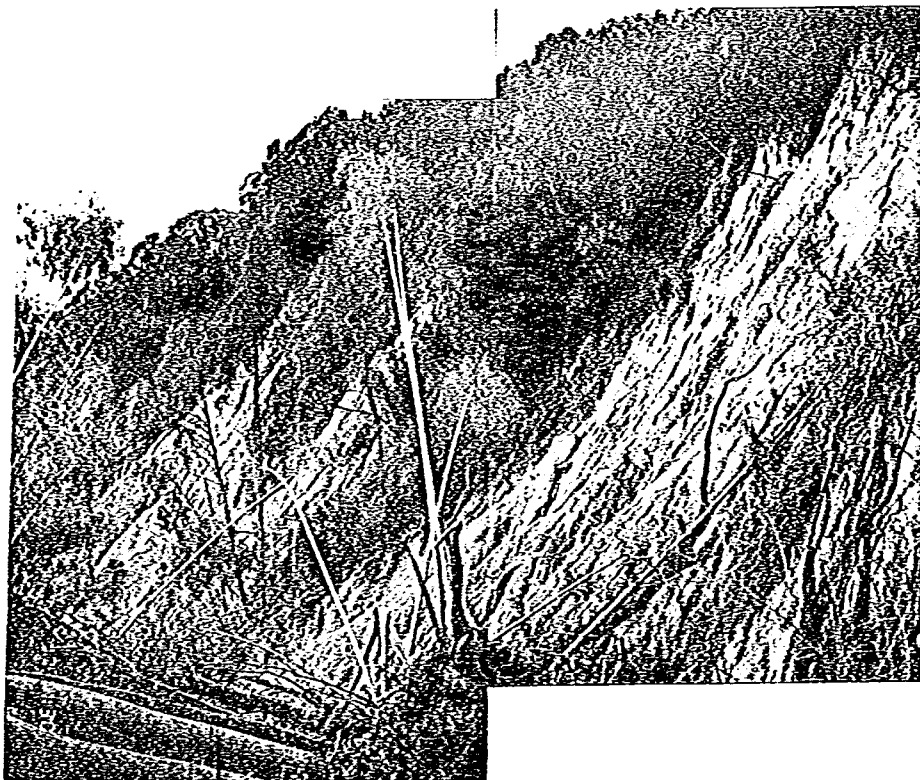


写真-4 鹿児島市岡野原町栄地区の崩壊状況

崩壊は高さ30m、長さ40mの規模を有し斜面上部の遷急線付近から生じているが斜面を詳細に観察すると斜面内に微地形としてさらに遷緩線、遷急線が存在する。土壌硬度は図-9のA地点で25

mm、B地点で30mm、C地点で31mmが得られ斜面中腹以下で風化が厚く崩壊深さも厚くなっていることが観察された。斜面上部では写真に示すように表土のみの崩壊である。

3. 6 金峰町扇山地区

台風13号に伴う降雨によって、9月3日に金峰町扇山地区で大規模な斜面崩壊が発生した(写真-5)。この崩壊の規模は、最大幅約40m長さ250~300mで、傾斜30度ほどの斜面を流下した。斜面下部の民家に避難していた住民がこの崩土によって生き埋めとなり、20名が亡くなる惨事となった。

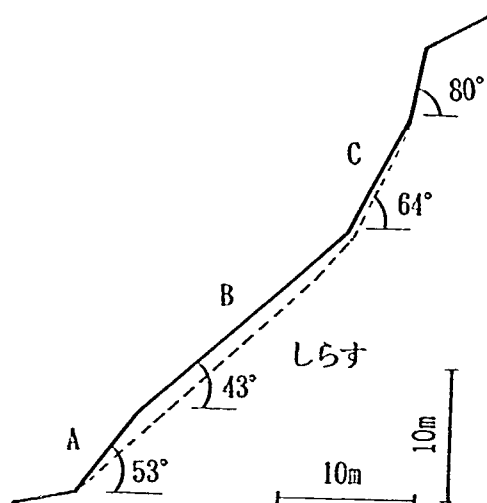


図-9 鹿児島市岡野町栄地区の模式断面図

崩壊の源頭部は、幅、長さ20m程度、深度4~5mのスプーン状を呈しており、転石混じりの崖錐堆積物がスランプ状に崩壊したことを示している。この崩壊が引き金となって、斜面上の崖錐堆積物を次々と巻き込みながら流下したものと考えられる。平均的な崩壊深さは3~4m程度である。また、崩壊跡の斜面上には径5m以上にも達する転石が残存している。この崩壊による人的被害は、住民自らが危険を察知して、避難中の公民館からより安全と思われた民家へ移動した結果生じただけに、なおさら悲惨である。金峰町の指定していた避難場所はこの集落から5km以上離れたところであったという。犠牲者の中には、運転免許証を有していた人がわずかであったことが明かとなっているが、このような災害の事例が今後の地域防災計画に対して示唆していることがらは極めて重要である。

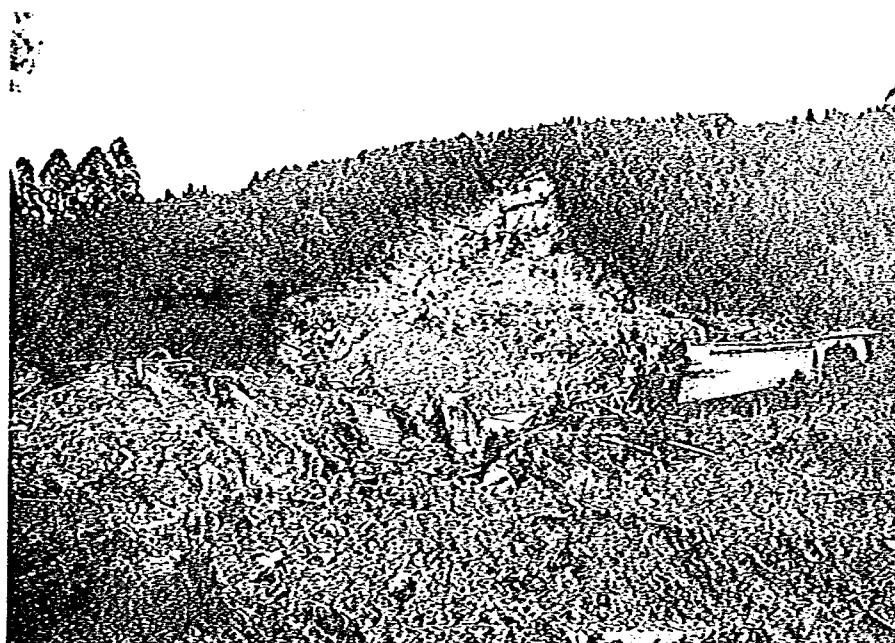


写真-5 金峰町扇山地区の崩壊状況

4. 土石流災害

4. 1 土石流災害の発生経過

1993年7月～9月に九州南部に発生した度重なる豪雨のため、鹿児島県においては甚大な土石流災害が発生した(図-10)。土石流災害が最初に発生したのは、7月31日～8月2日の梅雨前線による豪雨によるもので、この時、鹿児島市北方の思川流域の小支流で多数の土石流が発生し、流下した土砂は思川に流入して河床を上昇させ、中流部において洪水・土砂の氾濫が生じた。次に8月5日～6日の豪雨により鹿児島市北部の竜ヶ水地区を中心とした、鹿児島湾に面したカルデラ壁において多数の土石流が発生した。さらに、8月9日～10日にかけて鹿児島県の西方海上を北上した台風7号に伴う豪雨により、垂水市の深港川では土石流が発生し、多数の死者を出した。最後に9月2日～3日にかけて鹿児島県の南西部は豪雨に見舞われ、川辺町では土石流が発生して多くの犠牲者が出た。

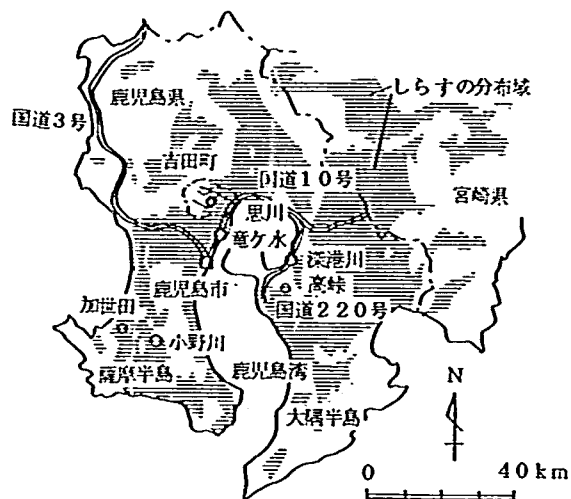


図-10 鹿児島県土石流災害発生位置図

4. 2 思川流域における土石流災害

(1) 流域概要

7月31日～8月2日にかけての豪雨では、鹿児島県の北部の牧園町、隼人町を中心とした地域で連続雨量600mm以上の雨量となった(図-5. b))。思川は流域面積約60km²の中小河川であり、薩摩半島の付け根の標高約530mの山地に源を発して東進し、鹿児島湾に流入している(図-10)。流域の地質は、大まかには上流部では第三紀の火山岩類(安山岩、凝灰角礫岩等)およびその上に堆積したしらすからなり、中・下流部では第四紀の堆積岩である国分層群の砂岩・頁岩およびその上を覆うしらすよりなる。思川流域の大半を占める吉田町では連続雨量は約500mmであったが、流域の小支川を中心として多数の山腹崩壊・谷頭崩壊およびそれらに起因する土石流が発生した。流下した土砂の一部は思川とその右支川である本名川に流入して堆積し、河床上昇を招いて、本川付近の低地部の広い範囲にわたって土砂・洪水の氾濫を引き起こし、水田、家屋、道路等に大きな被害を与えた。

(2) 本名川(思川右支川)上流域

本名川は流域面積約22km²の思川の右支川であり、今回調査を行ったのはこのうちの最上流部に当たる、本名川上流域の約0.6km²の地域とその下流部の河道区間約1.0kmの範囲である。上流域の標高は約530mから約200mの範囲にあり、地質は上流部では第三紀の火山岩類(流紋岩、安山岩、凝灰角礫岩)、中流部では国分層群(砂岩、頁岩)、下流部ではしらすよりなる。土石流は主として国分層群上の表土層・風化土の山腹斜面(勾配約30°～40°)崩壊に起因しており、これらによる崩土が溪流に入って土石流化して、溪床土を浸食しながら流下した(図-11)。最上流点より約1km下流付近では河床勾配は急に緩くなり、約2°前後となり、さらに谷地形部の幅は約100m(但し川幅は約2～3m)と広がっているが、この区間に入ると土石流により運搬された土砂の多くは河床に堆

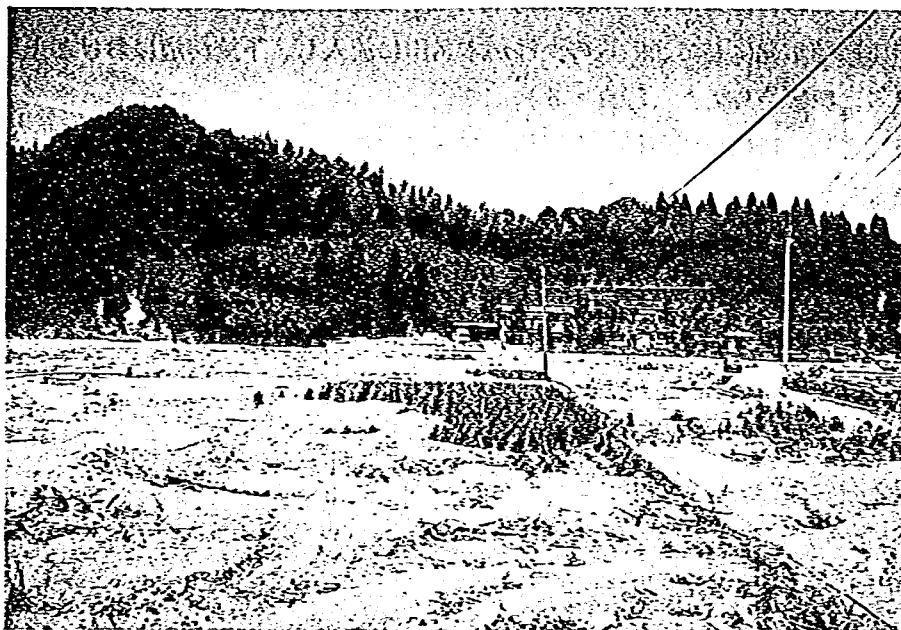


写真-6 本名川下流部における河床上昇による土砂の氾濫

積して、河床上昇を引き起こした。このため、土石流は土砂流となって氾濫し、谷部に広がっている水田上に氾濫した。さらに最上流点より約約1.5km~2.0km下流の右岸は比高約40mのしらすの台地

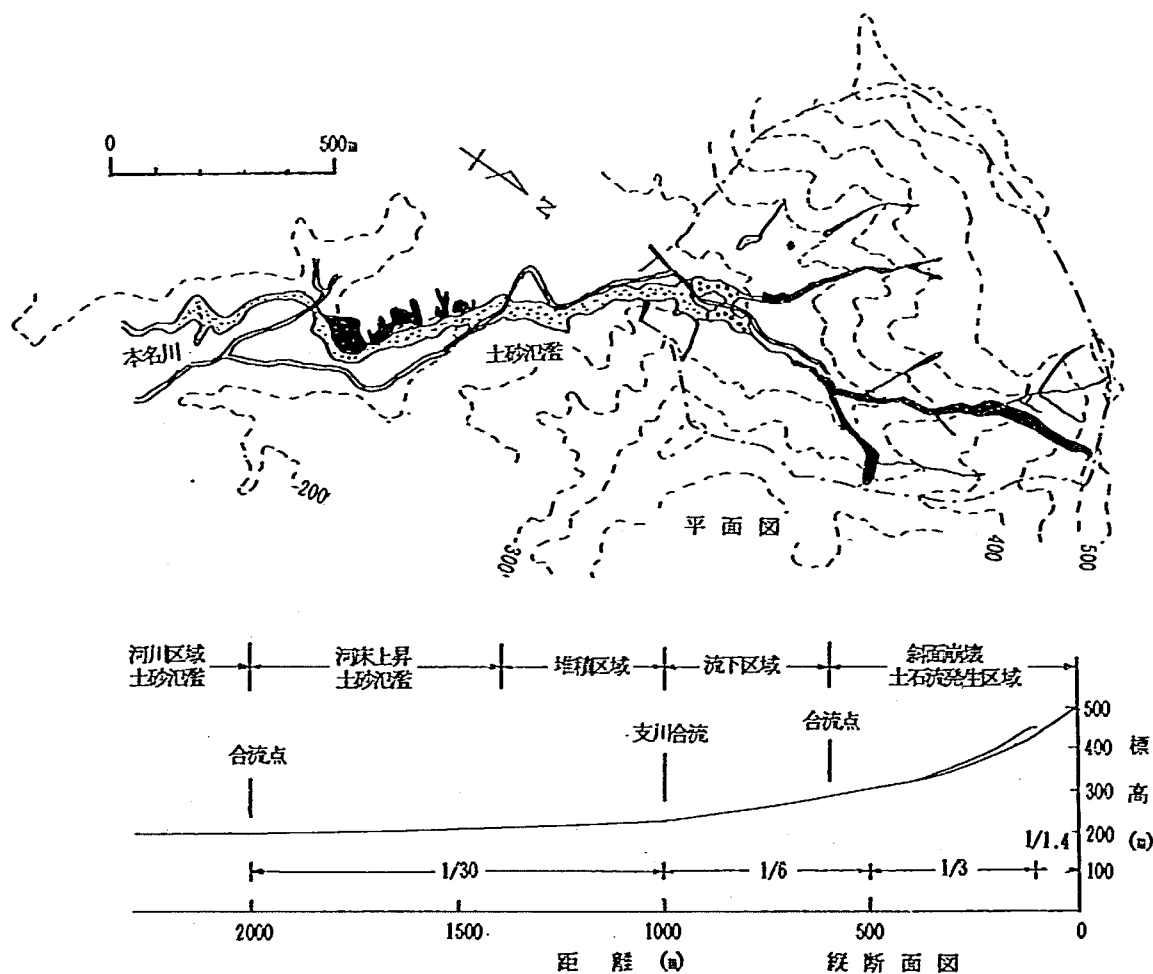


図-11 思川支川本名川土石流および土砂氾濫 (吉田町)

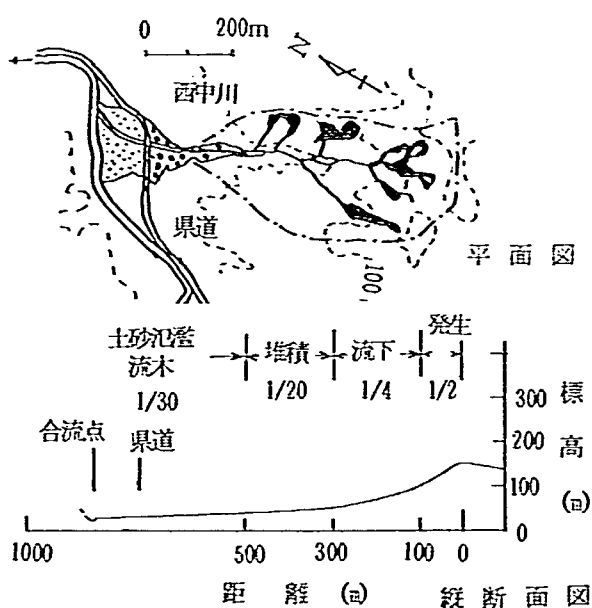
となっているが、この台地斜面の川岸部は約 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ の急斜面となっており、この区域では連続的なしらす斜面の崩壊が発生して、多量の土砂が本名川に流入し、下流河道における土砂堆積・河床上昇と洪水の氾濫に影響を与えた（写真－6）。

本名川上流域では、ほぼ全域が杉の人工林となっており、このため土石流の発生・流下に伴って多量の流木が発生して、土砂とともに下流に流下しており、河道に架かるボックス・カルバート（幅1.5m、高さ2m）では流木が詰まって上流への土砂の氾濫、堆積が生じたり、土砂とともに水田上に堆積して復旧を困難にさせた。

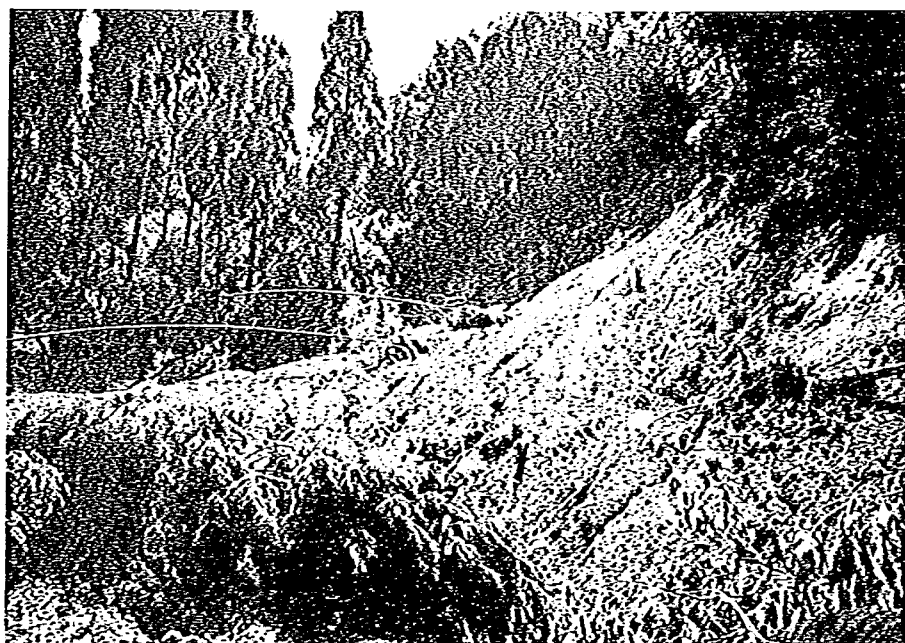
（3）西中川

西中川は思川の中流域に位置する流域面積約0.14km²、標高約30m～170mの小溪流であり、地質は基盤が国分層群（砂岩、頁岩）、上部に厚い（厚い所で40m前後）しらすの堆積が見られる。土石流は西中川の上流部の勾配 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ のしらすの山腹斜面および谷頭斜面から発生しており（写真－7）、崩土は谷に沿って土石流として流下し、谷の出口の緩勾配区間（約 $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 、周辺は水田）において堆積、氾濫している（図－12）。土石流の氾濫区域には人家が存在していなかったため、人家や人命に対する被害はなかったが、氾濫域に地区の集会所があり、床上まで土砂が堆積した。

西中川でも流域の大部分は杉の人工林に覆われているため、土石流の発生・流下に伴い、多量の



図－12 思川支川西中川土石流（吉田町）



写真－7 西中川上流部における谷頭斜面の崩壊

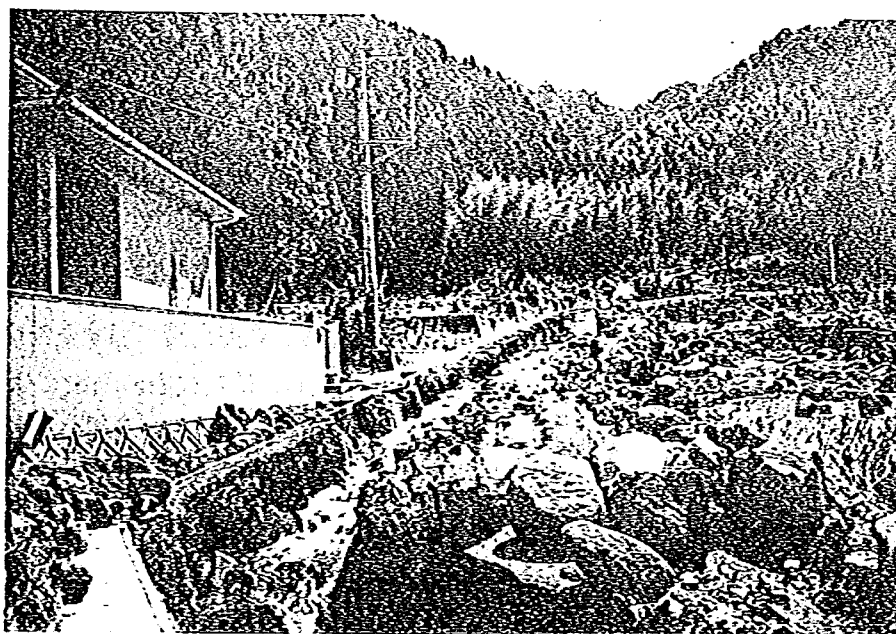


写真-8 平松谷川下流の宅地造成地における土石流災害

流木が流下しており、下流では流木の堆積により高さ約3mの流木ダムが形成された。さらに、土砂とともに流下して水田上に堆積しており、土砂の取り除きの際の障害となっている。

(4) 平松谷川

平松谷川は思川の最下流の右支川であり、流域面積は約0.32km²の小渓流である(図-13)。平松谷川の最上流部は吉野台地の北縁に接しており、標高は約520mであり、下流域は約10mである。流域の地質は上・中流域では基盤は第三紀の安山岩類であり、その上にしらすが堆積しており、下流域では国分層群の砂岩・頁岩類が分布している。土石流は主として中流域の安山岩類からなる山腹斜面の表土層・風化土層の滑落より発生しており、崩壊した土砂が谷沿に流下して下流の緩勾配区間(勾配

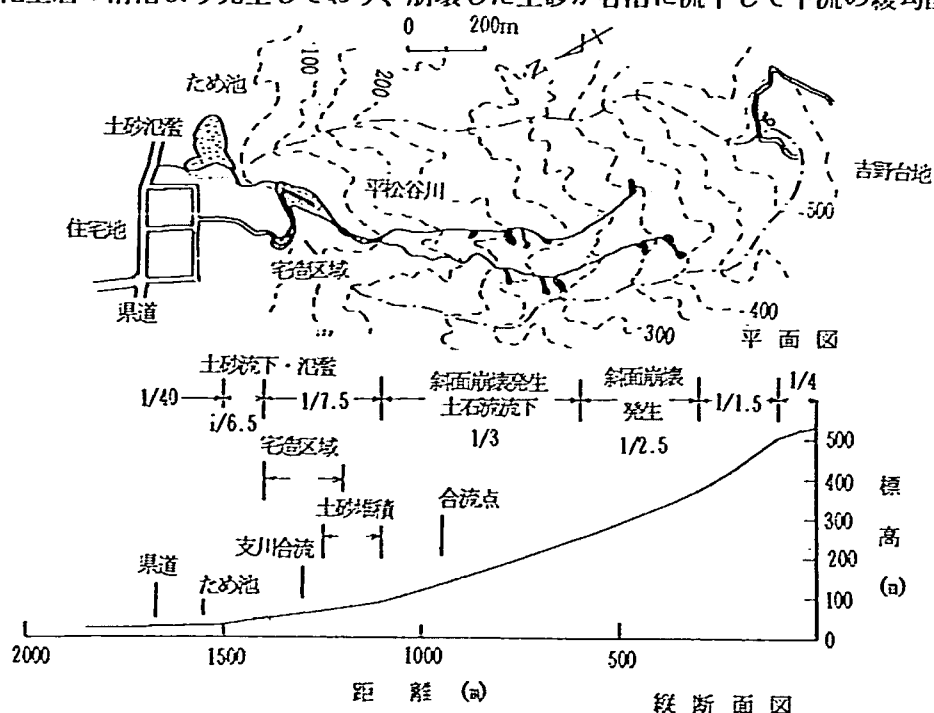


図-13 思川支川平松谷川土石流(始良町)

約8°未満)で氾濫・堆積した。谷の出口付近では、小規模な宅地の造成が進行中であるが、土石流はこの付近で氾濫・堆積しており、大きな被害を与えた(写真-8)。

平松谷川の流域では、下流域には杉の人工林があるものの、土石流の発生した上・中流域は広葉樹林に覆われており、下流まで流下した流木の数と比較的少なかった。

4. 3 竜ヶ水周辺における土石流災害

(1) 竜ヶ水周辺の地形、地質概要

竜ヶ水周辺は鹿児島市の市街地の北東約2~10kmに位置する、鹿児島湾に面する海岸沿いの急斜面の地域である(図-14)。この急崖地は約2万数千年前に噴火した始良火山の陥没により形成されたカルデラの壁の一部である。標高(比高)は北部の竜が水付近で約300m、南部の花倉(けくら)付近では約200mであり、北から南の方向に約1/23(約2.5°)で傾いている。斜面の勾配は約30°~60°であり北にいく程急になる。急崖部と海岸線の間には崖錐や土石流堆積物が堆積して形成された幅数10mの緩傾斜部が存在しており、この部分をJR日豊線と国道10号が走っている。急崖部の上は吉野台地であり、この平坦面は耕地、公園、ゴルフ場等に利用されている。

急崖部の地質は、基本的には下・中部は第三紀の火山岩類(凝灰岩、凝灰角礫岩、安山岩)、中部は第四紀の花倉層(砂岩、頁岩:火山碎屑物の水成層)、上部は溶結凝灰岩・しらす(火砕流堆積物)である。最上部は新規火山堆積物のローム、表土が覆っている。上部の溶結凝灰岩・しらすの地層には節理が発達しているため地下水が浸透しやすく、その下層にある花倉層は相対的に透水性の低い砂岩・頁岩であるために地表からの浸透水は花倉層の上部で滞水して急崖部に湧き出している。急崖部

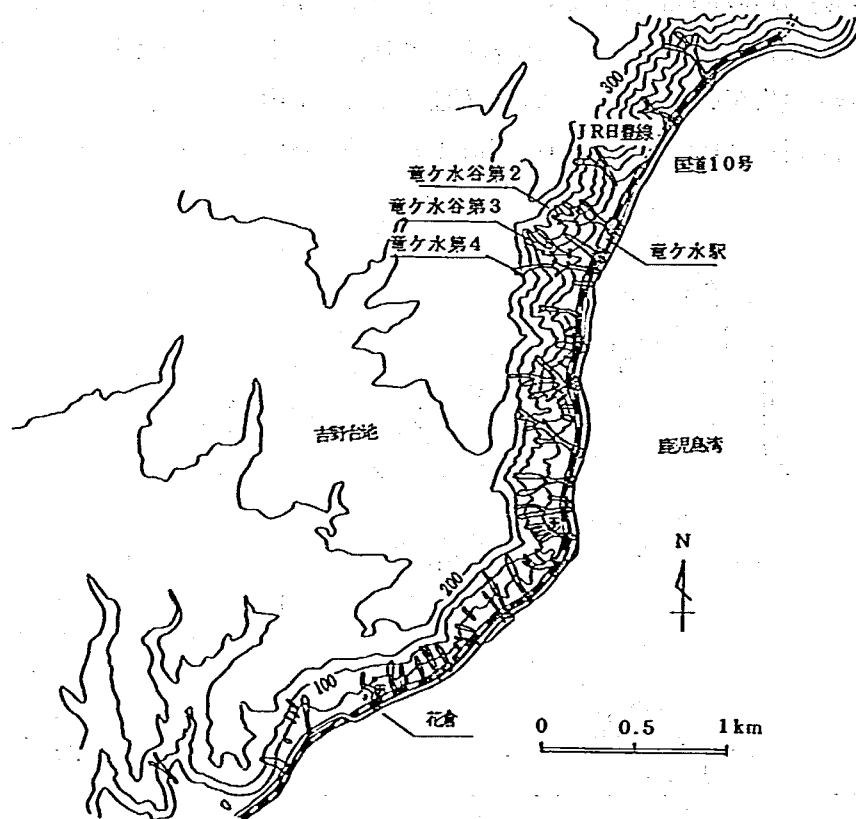


図-14 竜ヶ水およびその周辺における土石流、斜面崩壊発生分布図

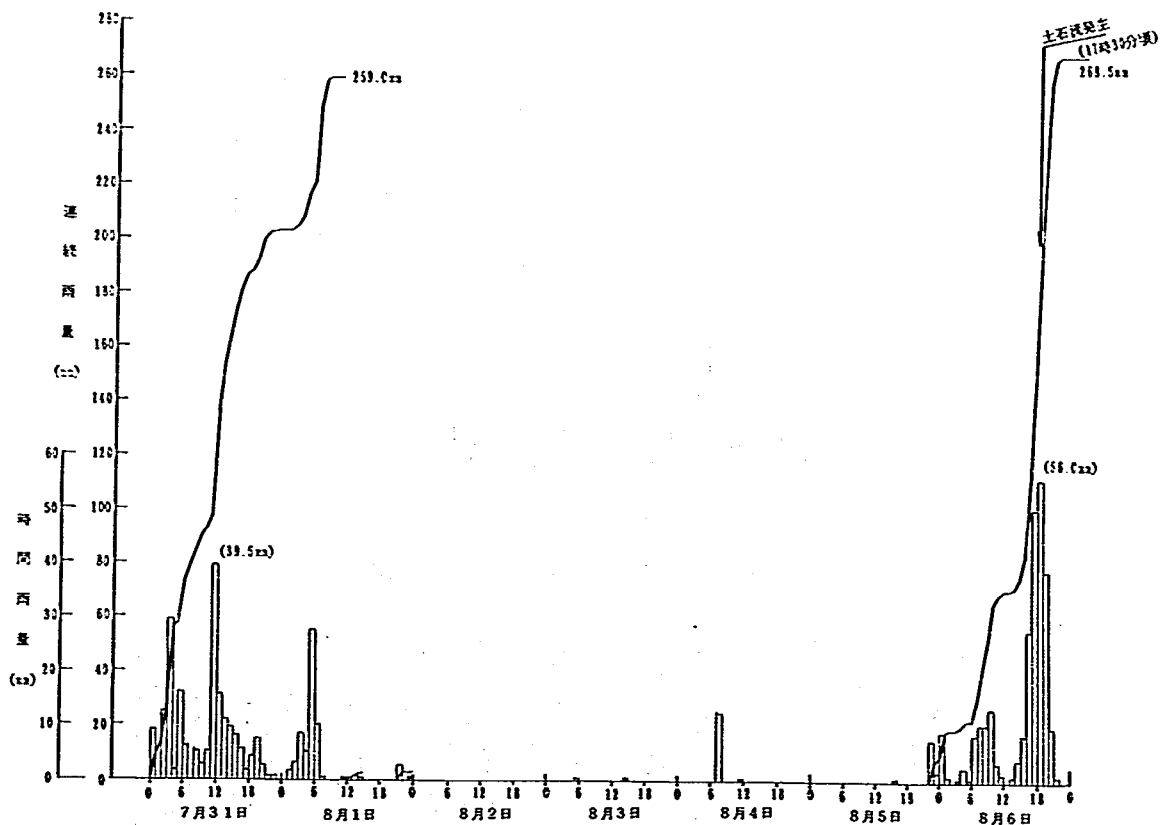


図-15 降雨量の推移と土石流の発生（雨量観測所：鹿児島気象台）

の下・中部の火山岩類は岩質は固いが破碎が進んでおり崩れやすい。

植生はシイ、タブを主体とする常緑広葉樹林が卓越しており、一部に黒松、竹林が存在する。竜が水駅南に流下する竜ヶ水第3谷では昭和52年6月24日に降雨により土石流が発生し、下流部にあった住宅13棟が全壊、9名が命を失った。なお、この土石流はJRの線路に達して停止した^{5)・6)}。

竜が水周辺では8月5日～6日にかけての豪雨（図-5. c）により50箇所余以上の土石流・斜面崩壊が発生し（図-14）、被災時にはJR日豊線、国道10号の寸断により約2,500人が孤立し、帰宅時のマイカーを含めトラック、バス等約800台が国道10号上に放置された。今回の豪雨は昭和52年6月24日の降雨に比べて、当日の24時間雨量（昭和52年24mm、平成5年269mm）および約2週間前までの前期雨量（昭和52年380mm、平成5年384mm）のいずれについても大きく、降雨量特に24時間雨量の大きさが今回の土砂災害を大きくした主原因と考えられる（図-15）。

（2）竜ヶ水地区の土石流災害

JR日豊線の竜ヶ水駅の北側を流下しているのが竜ヶ水谷第2、竜ヶ水駅南を流下しているのが竜ヶ水谷第3、その南に隣接しているのが竜ヶ水第4であり、順に流域面積は、0.073km²、0.083km²、0.41km²である。これらの流域は標高約300m、勾配30°～60°の急崖部よりなり、下・中部は火山岩類、上部は花倉層、その上は溶結凝灰岩・しらすで最上部の台地付近はローム、表土層である（図-16）。8月6日の午後5時40分ごろに竜ヶ水第4で土石流が発生し、その後に竜ヶ水第2で土石流が発生した。土石流は標高200m付近にある花倉層の上部から発生した斜面崩壊により発生しており、それぞれ崩土は谷筋に沿って流下し、途中で溪床、溪岸にある土砂や風化層を浸食して流下し、下流の緩傾斜部、JR線、国道10号上に氾濫・堆積した（写真-9）。ただし、竜ヶ水第3では同様に土石流

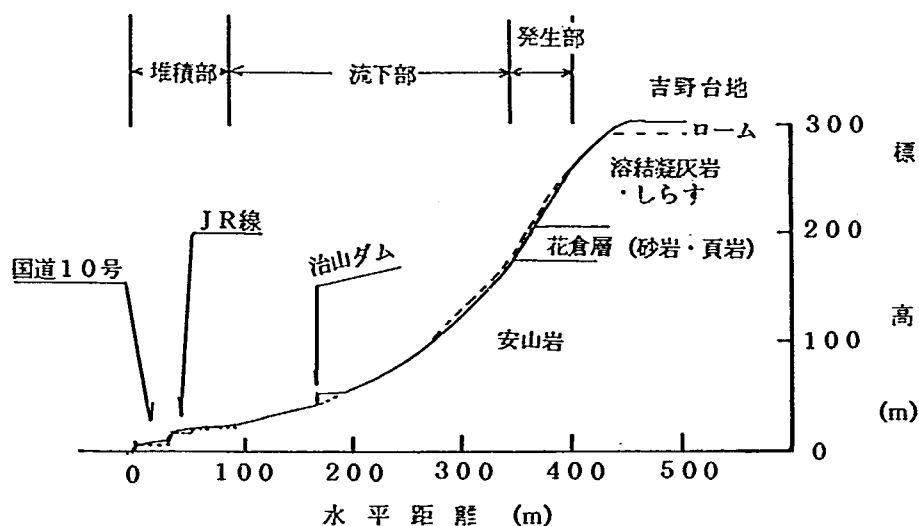


図-16 竜ヶ水第2溪流の縦断面図



写真-9 竜ヶ水地区における土石流災害（右手が竜ヶ水谷第2）

が発生したものの昭和52年の土石流災害後に下流の標高50m付近に設置された砂防ダムにより捕捉され停止した。これらの土石流により下流へ流下・堆積した土砂量は竜ヶ水谷第2、第3、第4で順に約11,000m³、約5,000m³、約8,000m³と推定される。花倉層の付近で斜面崩壊・土石流が発生したのは、花倉層が相対的な難透水層となっているため、地下水が湧き出して、周辺斜面の表土層や、風化層の地下水位が上昇し不安定になったためと考えられる。竜ヶ水谷第2では標高約40m付近にあった高さ約10mの治山ダムにより土石流の一部（約2,000m³）が捕捉されたが、その下流にあった高さ約5mの治山ダムは破壊されて大部分の土砂は下流は流下した。なお、竜ヶ水谷第2と竜ヶ水谷第4の間にある尾根状の斜面からは斜面崩壊が発生し、約2,000m³の土砂が滑落して下流に堆積した。

竜ヶ水谷第2では土石流の流下により家屋が4棟破壊され、竜ヶ水駅の一部とそこに停車していた列車が破壊されるとともに、国道10号付近に避難していた人のうち4名が死亡した。また、竜ヶ水

谷第4では家屋が1棟全壊したが死者は発生しなかった。

(3) 花倉地区

花倉地区は鹿児島市街地から北東約5kmに位置しており(図-14)、今回土石流の発生した流域の面積は約0.026km²、標高は約190m、斜面の傾斜は約30°~50°である。地質は流域の下部より火山岩類、中部が花倉層、上部が溶結凝灰岩となっている。下流部には約100m幅の緩斜面部(約10度)があり、ここに花倉病院がある。

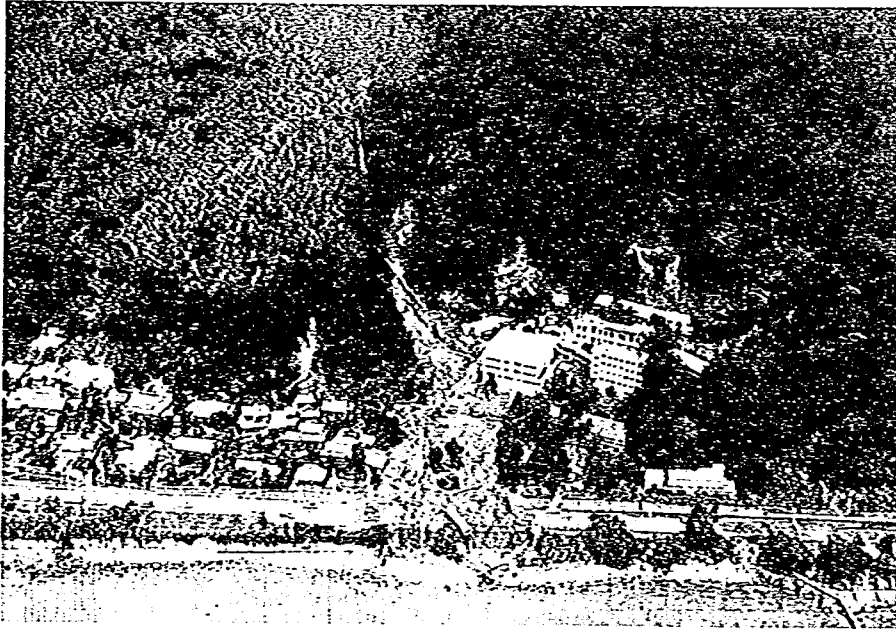


写真-10 花倉地区における土砂災害

土石流は流域斜面中部の花倉層(標高約60~90m)の表土層の滑落により発生しており、崩土が谷地形の箇所を流下する間に表層の土砂を浸食して流動化し土石流状となり、下流にある花倉病院に衝突して右側に曲がって流下し、一部は海にまで達した(写真-10)。流下した土砂量は約4,000m³と推定される。花倉層の付近で斜面崩壊が発生したのは、上部の溶結凝灰岩に比べて、難透水性のため、地下水が湧き出て、周辺の表土層や風化層の地下水位が上昇し、不安定になったためと考えられる。

花倉病院は鉄筋コンクリート3階建であるが、土石流発生時には患者らは1階のロビー付近に避難していたため、1階部に突入してきた土石流により押し流され、下流の住民とあわせて合計16名が死亡し、家屋4棟が全壊した。

4. 4 深港川土石流災害(垂水市)

深港川は垂水市の仁川地区にあり鹿児島湾に流入する流域面積約0.06km²の小溪流であり、流域内の最高標高は約220mで上流部の勾配は約45°であり、下流部の海岸線近くでは緩勾配となり、そこに国道220号および集落が存在する(図-17)。地質は斜面の下部が中生代白亜紀の砂岩、頁岩で、中部が第三紀の溶結凝灰岩、上部がしらすである。流域の植生は大部分が広葉樹林であるが、上・中流部の一部には杉の人工林がある。

深港川では平成5年8月9日~10日に鹿児島県の西方海上を北上した台風7号に伴う豪雨(気象庁高峠観測所で連続雨量254mm、9日16時~17時の最大時間雨量32mm、図-18)により8月10日

3時15分頃に土石流が発生した。土石流は上部のしらす斜面の崩壊により発生しており、崩土の流下とともに溪床、溪岸の浸食・崩壊により増大して、下流の緩勾配部（約 6° ）において氾濫・堆積した（写真-11）。下流に流出した土砂は約

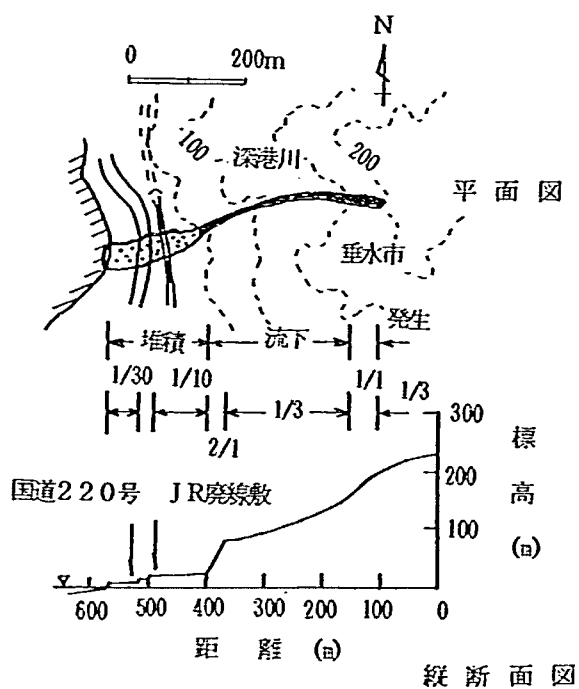


図-17 深港川土石流（垂水市）

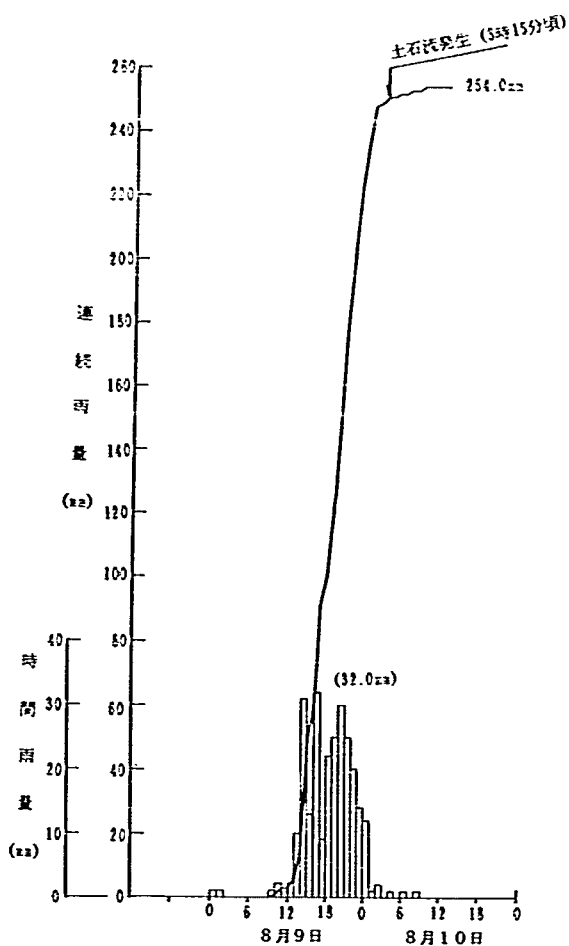


図-18 降雨量の推移と土石流の発生
（降雨量観測所：気象庁高峠観測所）

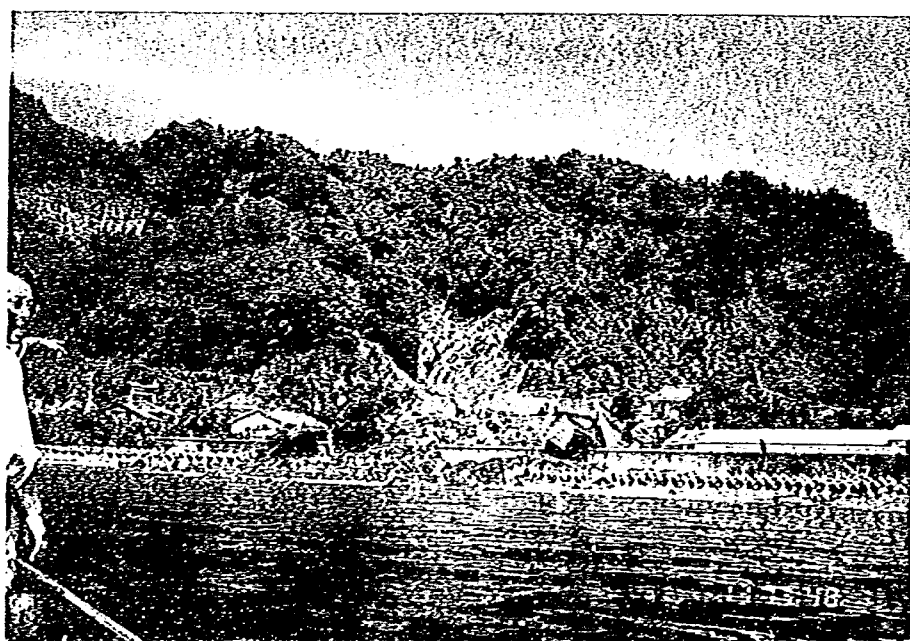


写真-11 深港川における土石流災害

10,000m³と推定される。この土石流では直径約4.5mにおよぶ巨礫が下流部の高さ約50mの滝の上に停止した。下流では土石流の氾濫・堆積により住家6棟、非住家5棟が破壊され、地元の消防団の勧めにもかかわらず避難を行わなかった5名が命を失った。また、国道220号も土砂により埋没された。

4. 5 小野谷川土石流災害（川辺町）

小野谷川は鹿児島市の南南西約30kmに位置する川辺町の小野地区にあり、万之瀬川の左支川麓川の右小支流である。流域面積は約0.04km²で、標高は約220mから約50m、上流域の勾配は約30で、下流域では平均勾配が1°～2°と緩勾配になりこの地域に家屋や水田が存在している。地質は上流域が中生代白亜紀の砂岩・頁岩、中・下流域が第四紀阿多火砕流堆積物のしらす・溶結凝灰岩よりなる。流域の大部分は杉の人工林からなる。

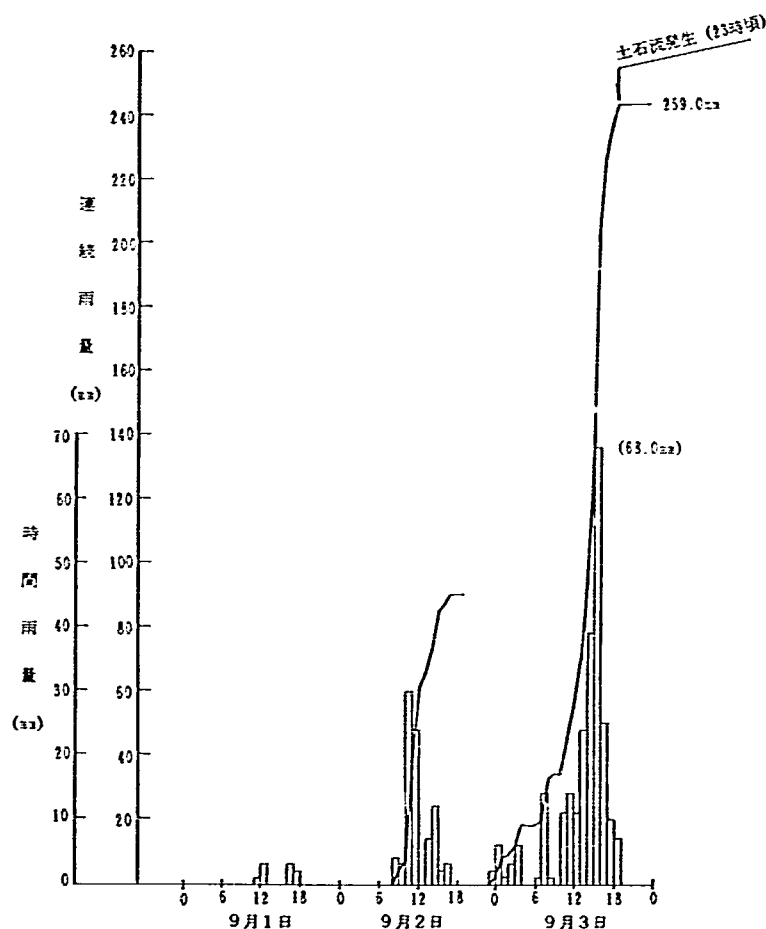


図-19 降雨量の推移と土石流の発生（雨量観測所:気象庁加世田観測所）

小野川では9月3日に鹿児島県の中央部を縦断した台風13号に伴う9月2日～3日の豪雨のピーク雨量を過ぎた9月3日の午後11時頃に土石流が発生した（図-19）。土石流は上流域の砂岩・頁岩の斜面の下方にある、しらす・溶結凝灰岩の谷部（勾配約20°）の4箇所から発生しており、流下した土砂・流木は下流部にある廃線となっている鉄道（南薩鉄道）の軌道敷の盛土部（高さ約10m）に達して、ボックス・カルバート部（1.2m×1.2m）を閉塞させて越流し、幅約20mにわたって浸食・決壊させて（写真-12）、これによる土砂とともに下流に流下したと推定される。この土石流の氾濫・堆積により下流にあった住家12棟が全壊し、9名が死亡した。



写真-12 小野川における軌道敷盛土部の浸食状況

5 地すべりによる災害

鹿児島県内の6月から9月の間の地すべり災害は建設省所管のもので7件あった。鹿児島県はシラスが広く分布しており、温泉地帯の地すべりを除くと地すべりの危険箇所は比較的少ない。このうち直接人家へ被害をもたらしたものは2箇所であった。本稿ではこのうち大規模な地すべりである毘沙門地すべりについて紹介する。毘沙門地すべりは鹿児島市の西方15kmにある日置郡日吉町に位置する(図-20)。本地域ではシラスまたは砂岩層が卓越しているのに対し、本地すべり周辺は中新世の花崗岩が分布している。これは薩摩半島酸性火山岩帯群の一つで向江山岩帯と呼ばれるものであり、地すべり地の南方1.5kmにある向江山を中心に東西1km南北4kmの区域にレンズ状体として分布する。

本地すべりは平成5年9月20日19時50分頃に発生した。鹿児島県内は梅雨期から9月にかけて記録的な雨量にみまわれたが、地すべり発生当日の日雨量は6mmにすぎなかった。ただし地すべりの発生する約一週間前である9月13日～14日に総雨量約170mm、さらにその前の9月2日～3日には台風13号により総雨量約280mmが観測されている。被害状況は全壊家屋2戸、死者2名、負傷者3名という人的損失をもたらしたほかに、町道が250mにわたって土砂による埋没及び道路構造物の破壊を受けたため、通行不能になり、二級河川の大川がやはり流出土砂に埋没されて応急的に河道の付け替えがおこなわれた。また周辺の住民6世帯12名が新たな地すべりによる土砂の流下に備えて避難を実施した。

地すべり地は矢筈岳から西に延びる尾根の西側斜面に位置するが、地すべり地の頭部は尾根の南北に沢地形が形成され分離小丘の形状をとっている。その上部は約150mにわたって緩やかな勾配が続いている。地すべり地はこの独立した尾根部の大部分にわたっているが、滑落した部分は地すべり前の航空写真によると地すべり地の中でやや沢状の地形をなした西北西向きの斜面であり、過去に崩壊または地すべりを起こした箇所とみられる。地すべりのうち9月20日に滑落した部分は幅100m、長さ100m、高さ50m、移動土砂量100,000と大規模なものであった。流出した土砂は人家2戸を破

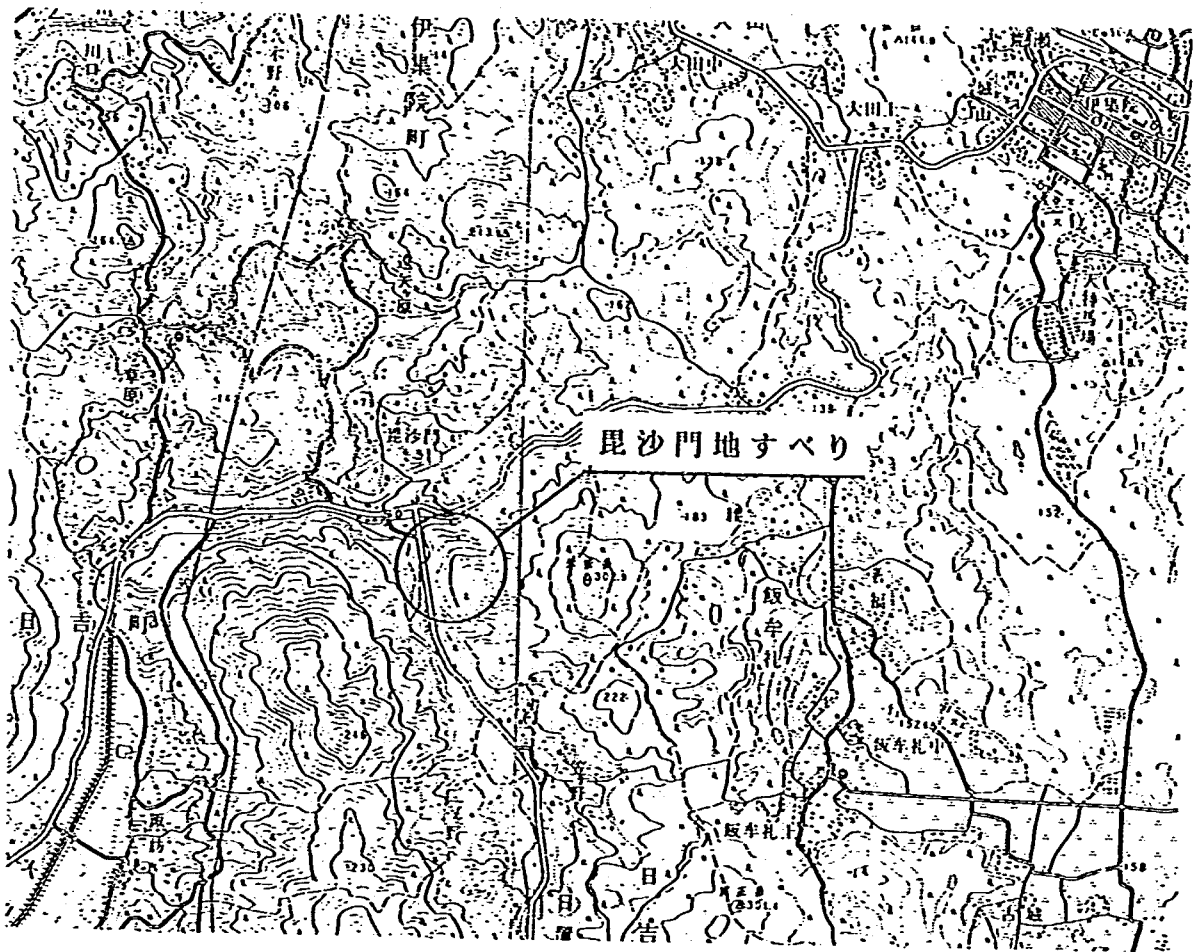


図-20 毘沙門地すべり位置図

壊した後、地すべり末端から200m先まで流下して下流にある人家の50m手前にまで達した。地すべりの変状のあった範囲はさらに広く、道路構造物が破壊した範囲で幅250m、斜面上部の滑落崖発生箇所を含むと長さ250m、高さ100mに達する。最初の地すべりの後も発生域の背後斜面で地すべりの拡大が続いている状況であり、9月29日の調査時点では崩落した部分が発生域を含めて長さ150mに達していた。地すべり地全体ががすべる場合に備え、住民の警戒避難体制を取るために地すべり地頭部の滑落崖と、末端の道路上に伸縮計を計5基設置して地すべりの移動状況を観測しているところである。発生域の頭部には勾配約60度、高さ30mの滑落崖を生じている（図-21、22 写真-13）。

発生域には移動土塊の一部が堆積しており、斜面勾配は約10度と地すべり発生前の斜面勾配に対してかなり緩やかである。滑落崖の大きさを合わせてみると移動土塊の厚さは最大30m以上になる。土塊は著しく風化の進んだ赤褐色の花崗岩で粘土質を多く含んでいる。また、その下部に風化の程度の低い灰色の花崗岩がみられ、滑落崖の直下でその表面から湧水がみられるので、両者の花崗岩の境界付近が地下水の通路になり、すべり面を形成しているものと推定される。移動土塊は流動性が高く、滑落斜面外に流出した土砂がほとんどで延長200m以上にわたって堆積している。これは当初の地すべり発生域の延長の2倍近くになり、地すべりの移動距離としては比較的長いものになる堆積土砂は強い攪乱を受けておらず、土砂に混じった流木は地表近くで斜面側に傾斜して倒れたものがほとんどであり、土石流形態までにはなっていない。

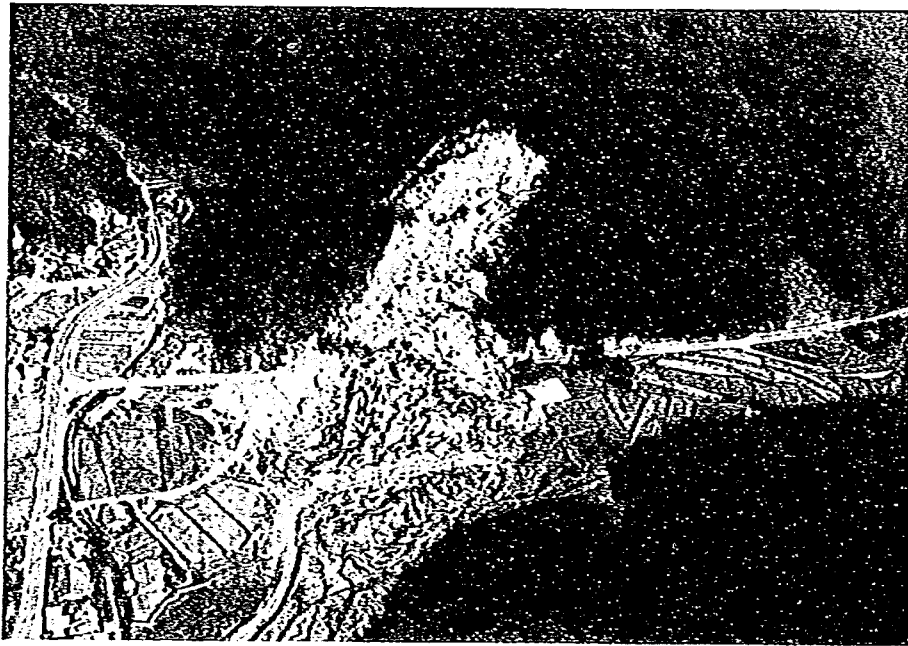


写真-13 毘沙門地すべり発生状況（鹿児島県提供）

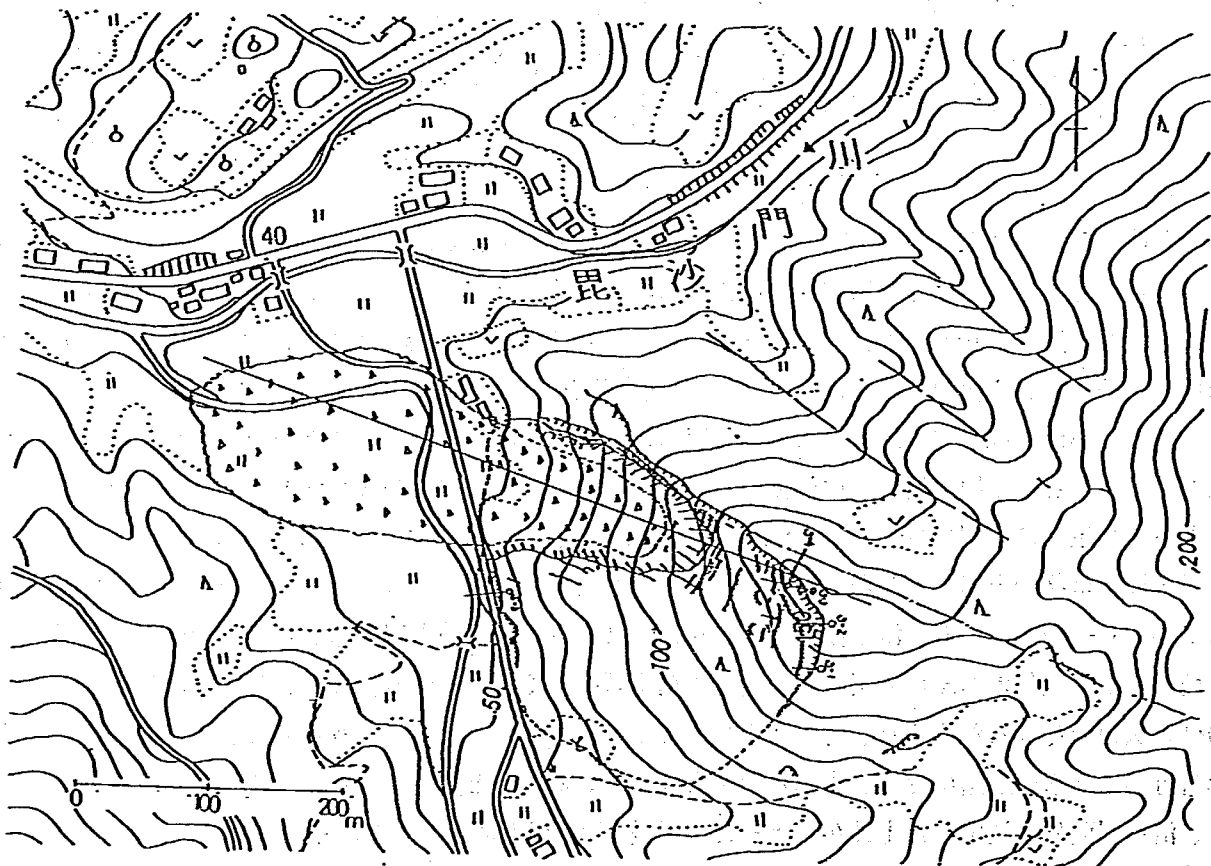


図-21 毘沙門地すべり平面図

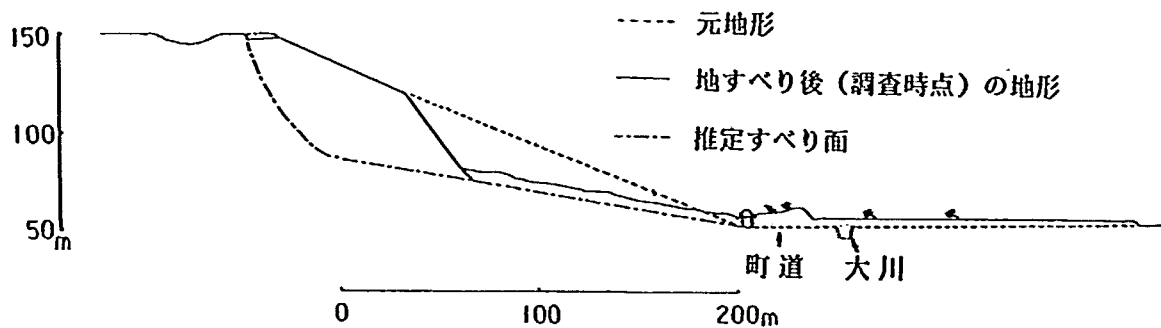


図-22 地すべり模式縦断面図

6. おわりに

平成5年、九州地方は度重なる梅雨前線の活潑化と台風の上陸により繰り返し豪雨に襲われ、昭和57年の長崎災害以来の甚大な土砂災害が発生した。このような大災害が発生した一方では、土石流対策施設、流木対策施設、急傾斜地崩壊対策施設、地すべり防止施設等の対策工が実施されている箇所ではこれらの施設が効果を発揮し、被害を防止・軽減している。

今回のような悲惨で経済的損失も甚大な土砂災害を防止・軽減するためには、今後とも土砂災害対策施設の設置および警戒・避難体制の整備の促進を図る必要がある。

参考文献

- 1) 萩原幸夫：災害の事典、朝倉書店、1992、pp93
- 2) (社) 砂防学会：日本の砂防総論（2）、砂防学講座第1巻-2、山海堂、1991
- 3) 春山元寿：南九州しらす地帯の豪雨による斜面崩壊、土と基礎、Vol.31、No.1、1983
- 4) 鹿児島県土木部砂防課：シラス崖災害、1987
- 5) 春山元寿、下川悦郎：鹿児島市吉野町竜が水地区の山地崩壊・土石流災害について、砂防学会誌、Vol.30、No.4、1978
- 6) 安江朝光、青木義光、桜井孝：鹿児島市竜が水の土砂災害、地すべり学会誌、Vol.14、No.3、1977

最近の地震災害の特徴

地震防災部長 飯 田 裕

最近の地震災害の特徴

1. まえがき

1. 1 最近の地震の概要

平成5年は地震活動が活発であった。平成5年1月15日の午後8時6分に北海道東部の釧路沖を震源とするマグニチュード(M)7.8の釧路沖地震が発生し、死者2人を生じた。震源は、釧路市から10数km沖合で、釧路で震度VI、北海道東部から東北地方の太平洋岸で震度IV以上になった。この地震により公共土木施設、ライフライン施設などに大きな被害が生じ、住民の生活や経済活動に多大の影響を及ぼした。

さらに、平成5年7月12日午後10時17分、北海道南西沖を震源とするM7.8の北海道南西沖地震が発生した。この地震においては、大規模な津波と斜面崩壊等により、北海道の奥尻島を中心として死者・行方不明231人に達する大きな人的被害を生じた。これはわが国の地震による被害としては昭和23年の福井地震以後最大のものである。

この他、平成5年1月19日には石川県沖の日本海を震源とする地震(M6.9, 深さd=489km)、平成5年2月7日には能登半島沖地震(M6.6, d=25km)、平成5年10月12日には東京都で死者1人をだした東海道はるか沖を震源とする地震(M7.1, d=388km)が発生している。

本文では、土木研究所が現地調査を行った釧路沖地震と北海道南西沖地震について被害の概要を報告するとともに、いくつかの特徴について述べるものである。

1. 2 釧路沖地震の被害の概要

北海道庁防災消防課及び青森県防災消防課のまとめによる被害の概要を表-1. 1に示す。地震の影響は北海道から東北地方に及んだが、被害の大半は北海道に集中している。北海道における被害総額は約550億円であり、これは昭和57年に北海道浦河町を中心に被害を生じた浦河沖地震(M7.3)の約6.5倍(河川局災害統計による物価上昇率を見込んだ倍率)に相当する。

人的被害は道内で968人に達しており、内訳は死者2人、重傷116人、軽傷850人である。釧路市(480人)、白糠町(87人)、帯広市(67人)の3市町で道内全体の約65%を占めている。死

傷の原因としては、家具等の転倒及び落下、ガラ

スの飛散、湯や油による火傷等が挙げられている。釧路市での全壊及び半壊を合わせた被害率は0.3%であり、震度VIの烈震を生じた地域としては被害が小さい。また、釧路市は過去30年間に被害をも

表-1. 1 釧路沖地震における被害総括

区 分	北海道 ¹⁾	青森県 ²⁾
死 者 (人)	2	0
重傷者 (人)	116	1
軽傷者 (人)	850	0
住家被害 (棟)	5,618	3
非住家被害 (件)	51	2
農業被害 (千円)	4,386,022	996,000
土木被害 (千円)	6,658,305	0
港湾被害 (千円)	12,081,800	0
漁港被害 (千円)	2,656,700	0
水産被害 (千円)	1,609,609	130,000
林業被害 (千円)	1,731,288	0
衛生被害 (千円)	918,985	2,500
商工被害 (千円)	16,577,012	44,277
文教被害 (千円)	1,186,242	8,382
その他 (千円)	7,218,988	0
被害総額 (千円)	55,024,351	1,185,027

注 1) 道庁防災消防課による(平成5年8月1日確定)

2) 青森県防災消防課による(平成5年2月22日確定)

%に相当する 171 人の犠牲者が生じた。平成 5 年 5 月時点の奥尻町の世帯数及び人口は、それぞれ、1,809 世帯及び 4,719 人であるから、全人口の 3.6 %が亡くなったことになる。

北海道の住宅被害は、全壊、半壊、及び一部損壊を合わせて合計 3,555 棟、床上浸水した住宅は 220 棟、床下浸水は 138 棟である。全壊した住宅は 567 棟で、このうちの 72 %にあたる 410 棟が奥尻島に集中している。また、火災による全焼は 192 棟に及ぶ。

公共土木施設については、道路施設、河川施設、上水・下水・電力・電話・ガス等のライフライン施設に被害が生じた。

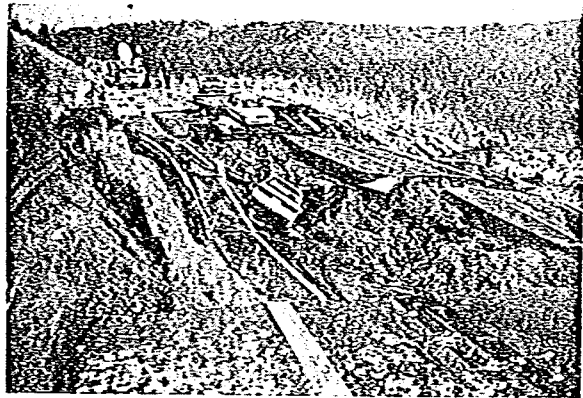
2. 釧路沖地震における各種施設の被害

2. 1 道路

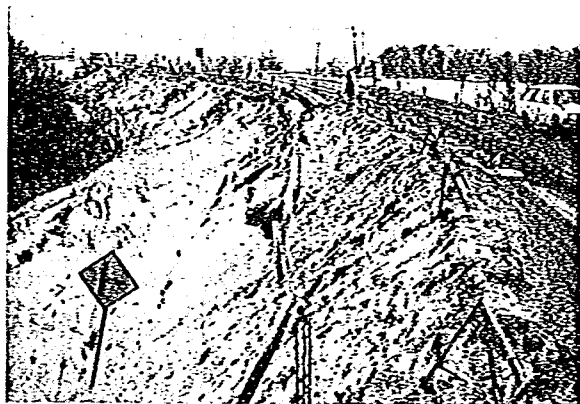
道路橋を除く道路施設の主な被害は、盛土部における路面の陥没、沈下、縦断亀裂及び路肩の崩壊によるものであり、切土のり面や自然斜面の崩壊による被害は生じなかった。

路面の大規模な陥没は、国道 44 号厚岸町糸魚沢（片切片盛～片盛）、272 号標茶町東阿歴内（片切片盛～片盛）、391 号釧路町鳥通（片盛）、38 号白糠町馬主来（両盛）及び道道塘路厚岸線標茶町阿歴内（両盛）などで生じた。糸魚沢における被災状況を写真－2. 1 に示す。両盛土、片盛土、片切片盛土のいずれに対しても被害例が見られ、いずれも切土と盛土の境界部または沢部における高盛土ですべり破壊が生じ、崩壊した土砂がかなり遠方まで到達している点が特徴的であった。糸魚沢と東阿歴内では、陥没部分に自動車落下する事故が発生した。

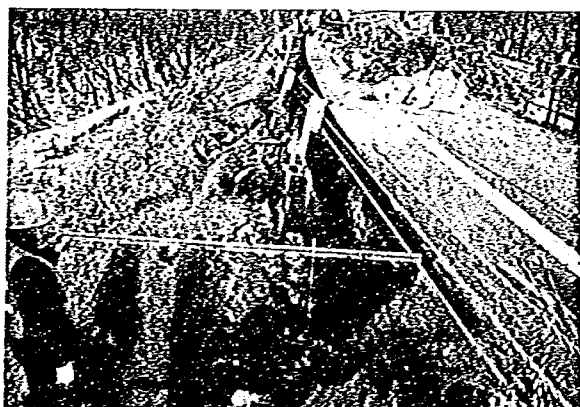
路面の沈下、縦断亀裂は、国道 391 号標茶町五十石橋周辺（両盛）、国道 44 号釧路町深山（両盛）、道道釧路鶴居弟子屈線鶴居村光橋周辺（片切片盛）などで生じ、前述した切土と盛土の境界部または沢部での被害例が多かった。沢部を埋める盛土では、沢の下流側ののり部のすべり破壊が路面の縦



写真－2. 1 国道 44 号糸魚沢における盛土の被災状況



写真－2. 2 国道 391 号五十石橋周辺の盛土の被災状況
(沈下した路面は砂利によって既に補修されている)



写真－2. 3 道道釧路鶴居弟子屈線鶴居村温根内の盛土の被災状況

断亀裂を引き起こしていた。五十石橋周辺における被災状況を写真－2. 2に示す。

路肩の崩壊は、各所で生じており、平地部の低盛土でも被害が生じていた。写真－2. 3に示すように、路面とのり面の境界部に深い亀裂がはいり、のり尻方向へのり面全体がブロック状のまま崩落している点が特徴的であったが、のり面の表層が凍結していたことがこのような崩壊形態を引き起こしたと考えられる。

2. 2 道路橋

道路橋は北海道南東部地域を中心に被害を被った。被害橋数は軽微な被害のものも含めて合計 62 橋であった。

構造部分別に被害橋数を整理してみると、上部構造については、本体に被害を受けたものが 8 橋、桁間連結装置に被害を受けたものが 1 橋、伸縮継手に被害を受けたものが 5 橋である。一方、下部構造については、下部構造本体に被害を受けたものが 19 橋、支承周辺部（沓本体、橋座、沓座モルタルを含む）に被害を受けたものが 46 橋、取り付け盛土や周辺地盤に変状が生じたものが 20 橋である。中でも沓座モルタルに被害を受けたものが 34 橋と最も多く、昭和53年の宮城県沖地震等の既往の地震による被害と同じ特徴を示しているといえよう。

下部構造の最も特徴的な被害形態としては、鉄筋コンクリート橋脚の主鉄筋段落し部の損傷が挙げられる。主鉄筋段落し部の被害がクローズアップされたのは、昭和 57 年の浦河沖地震で静内橋が落橋寸前の被害を受けた時であり、今回の地震では落橋に至るような大被害はなかったものの合計 6 橋で同種の被害が生じた。

写真－2. 4 は、被災橋梁の一例として、一般国道 240 号松之恵橋で大被害を生じた P 3 橋脚を示したものである。松之恵橋は橋長 157m の 5 径間単純 PC 桁橋で、一級河川阿寒川に架かる昭和 38 年度竣工の一等橋である。表層地盤は砂礫及び凝灰岩から構成される I 種地盤であり、支持層は深さ約 6 m の砂礫層である。橋台は逆 T 型橋台、橋脚は円形断面の T 型橋脚、基礎は全てオープンケーソンである。



写真－2. 4 松之恵橋 P 3 橋脚

今回の地震により、4 基全ての橋脚に水平方向のクラックが生じた。最も被害が大きい P 3 では、これに加えて×字状のせん断クラックが生じてお

り、被りコンクリートが剥落したのに伴い主鉄筋及び帯鉄筋が露出した。主鉄筋がはらみ出していることから、橋脚の残留耐力は最大耐力を超えて低下する領域にあり、既に降伏耐力を下回っていると考えられる。なお、橋台部では、可動沓で沓座モルタルの破損、橋座コンクリートのクラック及び桁端部の破損が生じた。

釧路沖地震による道路橋の被害の特徴について整理すると以下ようになる。

(1) 支承本体の損傷、沓座モルタルの損傷等従来から多く見られた支承周辺の被害は、今回の地震で最も多く見られた。

(2) 今回の地震で最も重要な点は、主鉄筋の段落し位置において、橋脚躯体に曲げ破壊からせん断破壊に至る損傷が生じたことである。最も被害の著しかった橋では主鉄筋の破断まで生じている。主鉄筋段落し部に損傷を生じたのは、いずれも昭和55年の道路橋示方書以前の基準に準拠し、コンクリート断面を絞った円形断面橋脚である。コンクリート断面を絞った場合には橋脚が変形しやすく、また、曲げひびわれからせん断破壊に移行しやすい。主鉄筋の段落し部の損傷は、昭和57年の浦河沖地震の際の静内橋で見られた被害と同じ形態であり、橋脚基部の曲げ破壊と異なり、ねばりの無い破壊となりやすいので、十分な注意が必要である。

(3) 橋台パラペットに生じる被害は、構造的には必ずしも大きな被害ではないが、現交通を確保しながらの復旧は困難である。今後、被害を受けにくく、復旧も容易な構造を考えていく必要がある。

2. 3 河川施設

2. 3. 1 概要

河川施設は、釧路川、十勝川を始めとする14水系32河川において、計106箇所、延長30.533kmが被災した。

堤防の被害は71箇所、延長は約30kmに達し、河川構造物別では最も被災箇所が多く、①天端およびのり面に縦断クラックが発生し、天端の一部が沈下したもの、②天端全体が一様に沈下したもの、③堤体形状が原形をとどめないものの3タイプに大別できるが、主な被災パターンは①と③であった。

護岸の被害は13箇所、延長約2kmで、コンクリートブロック張りでは護岸自体がすべるように崩壊、練積みのり覆工では護岸が前傾した。なお、親水目的の階段状護岸と連結コンクリートブロック張り護岸とが隣接した箇所、階段状護岸のみが被害を生じた地点が2箇所あった。

樋門・樋管その他の構造物の被害は比較的軽微であった。

次に、被災規模が大きい釧路川、十勝川の2つの水系の被害状況について述べる。

2. 3. 2 代表的な被害例

釧路川で被害の最も大きかった遊水池左岸築堤は遊水池横堤から3.8km上流へ延びている築堤である。このうち6地点2.29kmにわたって被害が生じた(図-2.1, 写真-2.5)。この堤防は堤高約7mであるが、地震により天端が縦断および斜めクラックを伴い最大で約2.8m沈下し、

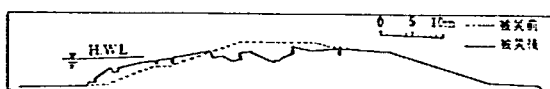


図-2. 1 釧路川遊水池左岸築堤被災断面図

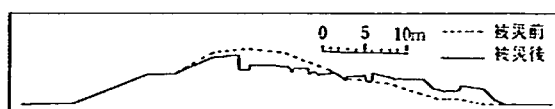


図-2. 2 十勝川統内右岸築堤被災断面図



写真-2. 5 釧路川遊水池左岸築堤の被災状況

クラックによる段差は約2 mに及んでいる。また、堤外側のり面においても数本の縦断クラックが発生し、堤外側へ滑るように崩壊している。

十勝川で最も被災規模の大きかった統内築堤（河口から31.5～33.0km、右岸）の被害状況を図-2. 2、写真-2. 6に示す。堤内側のり肩から堤外側に向かって滑るように崩壊し、天端は2 m程度沈下するとともに、幅1 m・深さ2 m程度の縦断クラックが天端に発生した。



2. 3. 3 堤防被害の原因

被害を受けた堤防は、被害延長、被害発生率と写真-2. 6 十勝川統内右岸築堤の被災状況ともに旧湿地に築堤されているものが最も多く、その地盤は沖積層の砂層上に軟弱な泥炭層が堆積したものである。また、開発土木研究所の調査⁹⁾によれば、堤防の被災の一因として、泥炭層の厚い所では、泥炭層の圧密沈下によって盛土の一部が地下水位以下に没し、その盛土材が液状化した可能性があるとしている。このことが事実であれば、地震時の堤防の破壊機構として新たな知見が得られたといえる。

また、これとは反対に、泥炭層が全くない、または薄い所での被災については、被災の原因として過去の震災と同様に地盤の液状化が考えられ、事実被災箇所のいくつかの地点では噴砂等が見られた。

2. 4 ダム

ダムにおいて構造的な変状が認められたのは門別ダムと様似ダムの2つである。他のダムにおいては、亀裂やはらみ出し等の被害はなく、また漏水量もダムの安全管理に影響を及ぼすような変化はなかった。

門別ダム（アースダム）は、震央からは180kmの距離に位置している。堤体上流法面において勾配が1:2.5から1:2.0に変化する位置の直下で、保護工の張ブロックがダム軸全長にわたって10cm程度重なり合いめくれ上がった。また、左岸地山上流部の斜樋をはさんだ斜面において、コンクリート型枠内の張ブロックが変形し波打った。

様似ダム（重力式ダム）は、震央からは138kmに位置し天端での最大加速度が139galであった。また、地震時に監査廊内の継目の補修コンクリートが一部分剥離した。漏水については、No 5ブロック及びNo 7ブロックのドレーン孔からの漏水が地震直後、米の研ぎ汁のように白濁したが、数日後には元の状態に戻った。堤体ブロック漏水量は、地震約1カ月前の12月25日の測定値7.0ℓ/minから9.1ℓ/minに増加したが、その後8.5ℓ/min程で一定になった。

2. 5 下水道施設

下水道施設については、池田町及び釧路市以東の釧路市・釧路町・標茶町・標津町・別海町・厚岸町・本別町の8市町において被害が発生した。被害の大半は管渠・マンホールに生じたが、ポンプ場・処理場の一部にも被害が発生した。

管渠被害の中心は釧路町と釧路市で、他にも標茶町、標津町及び別海町となっている。地震後これ

らの市町はビデオにより管内調査を行っている。釧路市の調査によると、管渠の被害については、管本体継手の離れが多く、管体の破損や亀裂、マンホールと管渠の取付部の破損は比較的少なかった。最も被害の多かった釧路町では被災率が2割近い数字になったほか、被災率としては1%未満であった釧路市でも被災管渠延長は7.5kmにもなった。

ポンプ場および処理場においては、被害は比較的軽微であった。特に土木・建築施設については、柱の座屈や梁のせん段ひび割れ、柱梁の接合部の亀裂はほとんど生じていない。また、壁構造のものにもひび割れがほとんど入っていない。

今回土木・建築施設で被災したのは、エクспанションジョイント部における変位による止水板等の破断とこれに伴う漏水、地盤沈下による場内道路の破損、地盤沈下が原因と思われる躯体傾斜などであった。なお、いずれの自治体でも汚水が溢水したり、下水道システムとしての機能を停止するような事態になることはなかった。

2. 6 ライフライン施設

2. 6. 1 上水道施設

上水道施設の被害による断水戸数は、釧路市で約260戸、釧路町で約1000戸、標茶町で2300戸であった。これらのほとんどは、管路の被害によるものであり、一部ポンプ場の被害によるものもある。管路の被害は材質が石綿セメントのものに多く、被害の形態としては管路の抜け出し及び折損で、継手部に被害が集中していた。断水に対する復旧作業は、農業水道に少々時間がかかったが、28日までにすべて完了している。この間の上水の供給は、隣接した市町村及び自衛隊の応援により行われた。

2. 6. 2 電力施設

地震発生後、釧路管内では約37,000戸、帯広管内では約19,000戸が停電となり、徹夜の復旧作業により地震発生の24時間後の16日午後8時6分に全面復旧した。

施設の被害については、表-2. 1に示す通りである。電柱の倒壊は釧路市緑が岡地区で多く発生しており、盛土地震の崩壊に伴ったものである。また、電柱の折損は同市栄町及び緑が岡地区で多く発生した。栄町での被害は煙突の倒壊に伴ったものであり、緑が岡地区での被害は盛土地盤の崩壊に伴ったものである。これらはすべて二次的な被害であり、電柱自身だけの倒壊・折損は発生していない。

変圧器の傾斜は昭和地区を中心に多数発生しており、音別地区では変圧器を電柱に固定するための鉄線がゆるみ変圧器が落下している。

2. 6. 3 電話施設

電話回線の輻輳状況については、地震発生後から公共機関の電話回線の確保を目的として、一般用電話の回線使用規制が行われた。そのため、道東を中心に電話がかかりにくい状態が続いたが、16

表-2. 1 電力施設の被害概要

施設被害の種類	施設被害数
電柱傾斜	135基
電柱の沈下	なし
電柱の倒壊	6基
電柱の折損	7基
変圧器の落下	2基
変圧器の傾斜	6,000基程度
管路の損傷	1ヶ所
橋梁添架管路の損傷	1ヶ所

日の午後にはほぼ平常な状態に戻った。

施設の被害については、表-2. 2に示す通りである。電話回線に直接支障をきたした被害としては、道路下に埋設した光ケーブルが道路の崩壊に伴って切断された被害がある。

2. 6. 4 ガス施設

ガス施設の被害は釧路市の緑が岡、武佐地区を中心に発生し、ほとんどが管路の被害であった。これらの地区（約9,300戸）では、住民からのガス漏れの通報により、地震発生から約1時間30分後にガスの供給を停止した。被害箇所の復旧では、漏出事故を防ぐため各家庭の閉栓を一軒一軒確認したり、またガス漏れ箇所の発見のために掘削する地盤が凍結していたため作業は難航した。このため、全国のガス事業者から約700人の応援を得て復旧作業が行われた。

また、釧路市の西端に位置する大楽毛地区では、建物への引き込み管の破損によりガス漏れが発生し、1人が死亡した。

2. 7 宅造地

宅造地の被害は斜面崩壊によるものであり、釧路市東部の台地周縁部に集中した。宅造地等の被害は、急傾斜地の崩壊によって家屋が地盤ごと滑動した例、及び崩土の流出によって倒壊した例とが主なものである。崩壊形態は地すべり的な滑動によるものが多く認められる。被災箇所は、亀裂の発生したもの等も含めて11か所（家屋の全壊7、半壊7、一部破壊1）であった。主要な被害は緑が岡6丁目、材木町に発生したが、いずれも台地の縁辺部の開析谷を盛土により造成した斜面で発生した。滑落崖あるいは斜面上亀裂の位置はほぼ盛土と地山の境に位置していた。斜面の高さは10m前後、勾配は30°～40°である。斜面の土質は砂質の火山灰、盛土からなるものが多く、地下水位の高い箇所も報告されている。

なお、自然斜面については、釧路を中心とする道東地域の山地部が比較的なだらかな地形であるため、特に被害は報告されていない。

2. 8 地盤の液状化

地震発生後の北海道開発局及び土木研究所による現地調査、その他諸機関の調査資料をもとに液状化の発生した地点について整理した結果、液状化は旧釧路川の河口から約5km上流までの区間の流域と釧路港の敷地内で多数発生している。液状化の発生地点の分布限界は震央位置から見ると、東側は浜中町霧多布港、北側は標茶町茅沼、西側は広尾町十勝港である。また、液状化の発生した地点の表層は、釧路市及び十勝川周辺の内陸部は主として泥炭であり、釧路市から音別町にかけての太平洋沿岸部では主に砂である。したがって、液状化は沖積堆積地盤において集中的に発生していることが分かる。

液状化発生地点近傍の構造物に生じた被害のうち、比較的規模が大きかったものとして、釧路町

表-2. 2 電話施設の被害概要

施設被害の種類	被害数及び被害地区
光ケーブルの切断	1ヶ所（白糠）
光ケーブル管路の移動	2ヶ所
マンホールの損傷	270 ヶ
管路の亀裂	50ヶ所
橋梁添架管路のずれ	25ヶ所
電柱の折損	5ヶ所（緑ヶ岡）
電柱の傾斜	多数（昭和北）

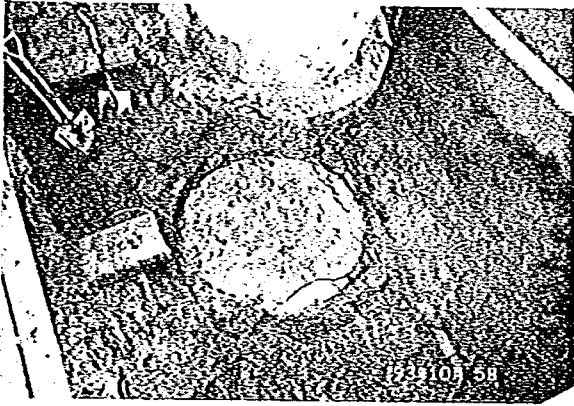


写真-2. 7 マンホール撤去後の地盤状況

木場のマンホールの浮上がり、釧路港埠頭及び岸壁の全傾・沈下、一般道道阿寒標茶線鶴厚内橋の橋脚のクラック、十勝川統内築堤の沈下・すべり等があげられる。

マンホールの浮上がりは桂木1丁目、木場1、2丁目の一般国道44号歩道部のものが目立った。1.5m程浮き上がったマンホール周辺の表層は細砂よりなる数m厚の埋土層で、その下層は平均で1m程の泥炭層と数mの砂質土層より構成される。

また管渠及びマンホールの埋戻し地盤は細砂で構成されている。

原地盤と埋戻し地盤の F_L 値を図-2. 3に示す。図より地表面最大加速度250galでは地下水位よりマンホール底板までは F_L 値はほぼ1.0以下となる。この箇所は震央距離19kmで、震央距離が23kmの釧路川堤防観測所ののり尻地盤で最大水平加速度が320galを記録しており、少なくとも地表面最大水平加速度は250gal以上であるものと推測されるため、これらの箇所では液状化していると判定できる。

浮上がりマンホール撤去後の状況を写真-2. 7に示す。1.3m浮き上がっているにもかかわらず、マンホール底面まで砂が回り込んでおり、周辺に空洞などもない。この砂の回り込み状況及び F_L の判定結果よりマンホール浮上がりは液状化によるものと推測される。

3. 北海道南西沖地震における各種施設の被害

3. 1 道路

道路の被害は奥尻島をはじめとして北海道南西部において広く発生したが、被害規模は震源域に近い日本海側よりも太平洋側（内浦湾沿い）の方が比較的大規模であった。主な被災内容は土砂崩落、津波による路面冠水、盛土崩壊、路肩欠壊、路面陥没・隆起などである。

大きな被害の1つは一般国道5号長万部町知来における盛土崩壊（写真-3. 1）で、幅員9.5m

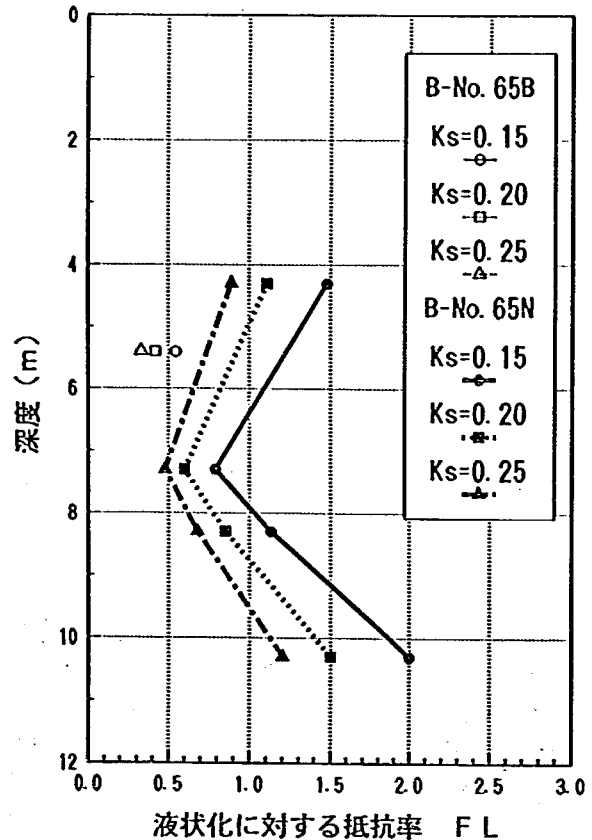


図-2. 3 マンホール周辺地盤の液状化に対する抵抗率 (F_L)

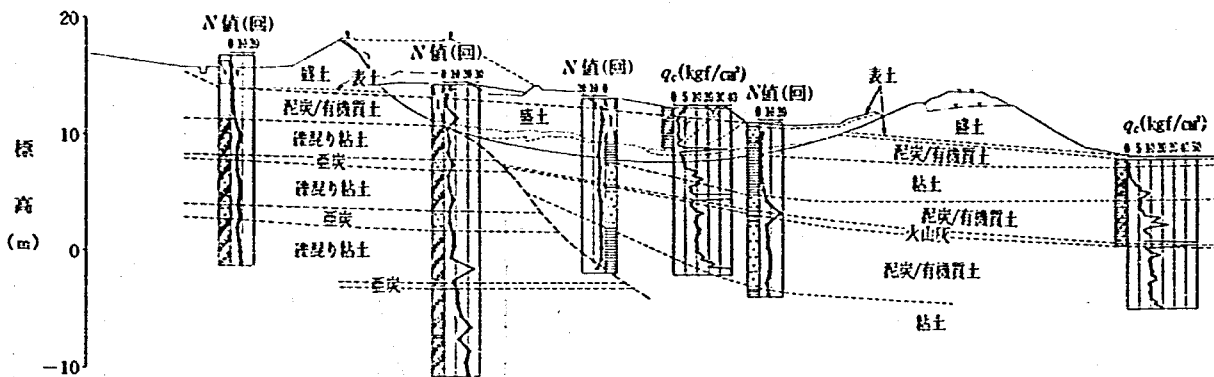


図-3. 1 一般国道5号長万部町知来における盛土崩壊箇所の横断面図（北海道開発局函館開発建設部による）

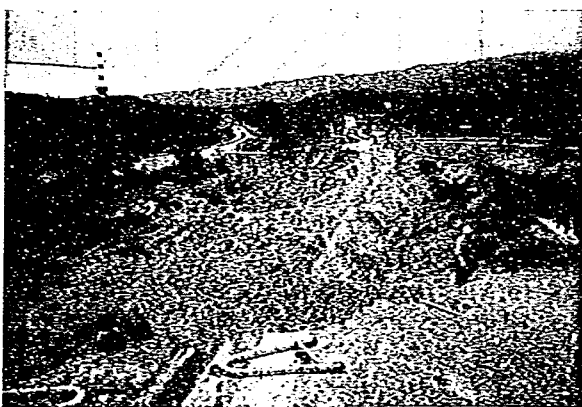


写真-3. 1 一般国道5号長万部町知来における盛土崩壊



写真-3. 2 主要道道奥尻島線奥尻町におけるスノーシェルの崩落

の道路が、高さ約7m、延長約100mにわたって崩壊し、約5,000 m^3 の土量がすべった。図-3. 1に最も崩壊の激しい場所での崩壊前後の横断面図を示す。被災現場は泥炭層からなる軟弱地盤である。

一般国道5号長万部一八雲間（内浦湾沿い）においては、道路が縦断方向に大きく波打った。

沿道の長万部町立中の沢小学校では、校庭のいたるところに噴砂痕と亀裂・段差・側方流動が見られ、比較的新しい木造校舎のコンクリート杭の杭頭が大きく破壊した。また、歩道のマンホールも浮き上がりを生じていた。この付近一帯は以前、砂鉄を採取していたということで、噴砂も黒っぽいものであった。

一般国道5号の同区間で海岸沿いに建設中のバイパスでは、盛土が擁壁ごと海岸側に数十cm程度移動しており、盛土内に設置済みの車道排水用と町下水道のマンホールが浮上した。

奥尻島内の道道（供用前）では、PC製アーチ構造のスノーシェルターが、基礎台座の外側への転倒にともない崩落した。写真-3. 2は崩落したシェルター内を撮影したもので、右側が転倒したコンクリート基礎台座、中央の盛り上がった部分は歩道があったところである。完全に崩壊しているが、これは2つのPC部材をクラウン部で結合し、さらに端部をゴムパッドで支持した静的構造となっていたためである。地震のような予測し難い外力が作用する構造系としては不静定構造としておくことの重要性を示している。

3. 2 道路橋

北海道南西沖地震により、被害を受けた道路橋は、北海道開発局管内で7橋、北海道管内で12橋、市町村管理が5橋の合計24橋である。主な被害形態は、橋脚の損傷、ウイングやパラペットの損傷、支承の沓座モルタルやアンカーの破壊、下部構造の傾斜や取付盛土の陥没などである。このうち特徴的な被害が生じた3橋について以下に示す。

(1) RC 橋脚主鉄筋段落し部の損傷

町道基栄橋通線の基栄橋では、6基中3基の橋脚の段落し位置で中～大被害が生じた。橋脚は直径1.8mの円形断面を有する鉄筋コンクリート製張り出し橋脚であり、最も損傷が大きかったP3橋脚では、主鉄筋の段落し部で、コンクリートの亀裂、かぶりコンクリートの剥離、主鉄筋の座屈及びはらみ出しが生じた(写真-3.3)。これは、段落した主鉄筋の定着長不足に起因するものであり、道路震災対策便覧²⁾によれば、地震後に交通止めを必要とする「大被害」に相当する。なお、今回の地震では基栄橋の他にも2橋に同種の被害が生じた。

(2) 支持地盤の液状化による橋脚の傾斜

一般国道37号の長万部橋では、写真-3.4に示すように橋脚が橋軸直角方向に傾斜する被害が生じた。橋脚の傾斜は1度～2度に及んでおり、このため、橋面上では橋軸直角方向に最大45cmの残留変位が生じた。また、このため上部構造の床版や伸縮継手も損傷を受けた。橋脚は歩道部拡幅のため左右非対称な構造となっており、橋脚基礎周辺地盤が液状化した際、支持力を失って不同沈下をしたために生じた被害と推定される。

(3) 落橋防止装置の損傷

一般国道229号線の柳崎橋では、写真-3.5に示すように落橋防止装置に損傷が生じた。落橋防止装置としては、桁と下部構造を鋼製のプレートで連結する構造が採用されており、桁が橋台側



写真-3.3 基栄橋橋脚の損傷

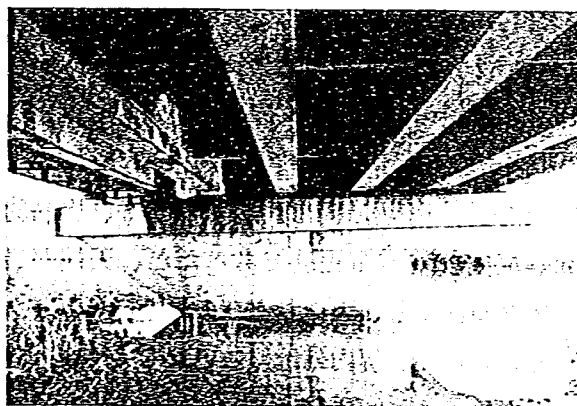


写真-3.4 長万部橋の橋脚の傾斜

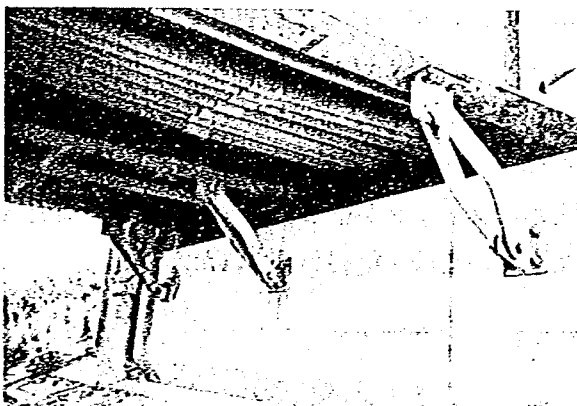


写真-3.5 柳崎橋の落橋防止装置の損傷

に移動した結果、鋼製のプレートに圧縮力が作用して外側にはらむように座屈したものである。また、落橋防止装置の橋台側の固定部では、コンクリートが部分的に剥離するとともに、固定用のアンカーボルトが変形した。損傷は生じたが、落橋防止構造として有効に機能したことを示す例といえよう。

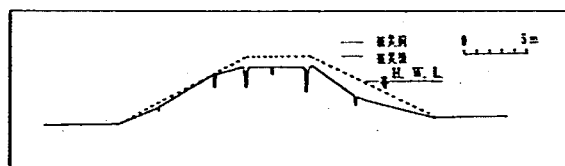


図-3. 2 後志利別川兜野築堤の被災断面図

3. 3 河川施設

3. 3. 1 概要

河川施設の被害は、後志利別川及び尻別川をはじめとして、直轄・道管理分合わせて計 224 箇所、延長約 29km に及んだ。

堤防の被害は、109 箇所、延長約 22km に達し、河川構造物の中では被災箇所数が最も多い。被災形態としては、天端およびのり面に縦断的に亀裂が生じ、堤防の一部が沈下したもの、堤防形状が原形を止めないものが大半を占める。護岸の被害は 103 箇所、そのほとんどは築堤の崩壊に伴って生じたものである。橋門・橋管その他の構造物の被害は 17 箇所、いずれも軽微であった。また河口部付近では、津波遡上の形跡が見られた。

3. 3. 2 代表的な被害事例

後志利別川の最下流部左岸の兜野築堤では延長 2.2km が被災を受けた（図-3. 2、写真-3. 6）。被災前の築堤断面は天端幅約 6 m、堤高約 6 m、堤体敷幅 37 m 程度であったが、天端が最大で約 2 m 沈下し、天端およびのり面にクラックが生じた。なお、堤内外地盤のいたる所に噴砂が見られた。



写真-3. 6 後志利別川兜野築堤の被害状況

尻別川右岸の初田築堤では、KP4.8km 地点から上流へ 0.89km にわたって被害が生じた（写真-3. 7）。堤高約 6.5 m であったが、地震により天端が最大深さ 1.5 m 程度の縦断および斜めクラックを伴い約 0.5 m 沈下し、のり面は堤内侧、堤外侧ともにクラックが生じている。ここでも周辺地盤に多くの噴砂・亀裂が見られた。



写真-3. 7 尻別川初田築堤（蘭越町）の被害状況（KP5.60～5.69km 地点）

3. 3. 3 堤防被害の原因

被害を受けた堤防は、主に氾濫平野および旧河道である。過去の震災においても堤防の被災箇所の地盤は、今回の地震と同様主に氾濫平野および旧河道の被災が多いといわれており、今回の地震においてもそのことが裏付けられた。氾濫平野、旧河道は河川的作用によって緩い砂層が堆積していることが多く液状化しやすい地盤と考えられ、また実際に被災箇所付近のいたるところで噴砂跡が見られたことから、堤防被災の原因は地盤の液状化であったと考えられる。

3. 3. 4 堤防の復旧

今回の地震は出水期に発生したため迅速な堤防復旧が望まれた。この際、釧路沖地震における堤防復旧の経験・教訓が生かされた。したがって、今後の震災において復旧工事を円滑に進めるため、震後の調査手法、復旧工法の選定手法など、十分に検討を重ねて事前の準備体制を整えておく必要があると考えられる。

3. 4 ダム

ダムについては、丹羽生嶺ダムを除き、ダム堤体の安全性に影響を及ぼすような被害は確認されなかった。また、溜池については、震央から約65～70kmの近距離にある日本海に面した北海道瀬棚町の最内川水系の11溜池のうち、決壊2カ所、天端に縦亀裂被害を受けたものが4カ所、貯水池まわりの地すべり被害を受けたものが1カ所確認された。

丹羽生嶺ダム（北桧山土地改良区，中心コア型アースフィルダム，堤高15m，1927年完成）は、築造後66年を経た古いダムであり、震央から約70kmの近距離にある。今回の地震により、ダム天端に5条の縦亀裂を生じた。最大の亀裂は、長さ120m、深さ2mであり、上流側が沈下し、段差が最大1m程度ついている。堤体上流部は、円弧すべりを生じ、相当部分緩んでいるものと思われ、出水時の安全管理上問題があるため、土地改良区では、堤体左岸側を緊急開削し（8月6日工事完了）流下能力を確保するとともに、堤体の応急処置を行った。

美利河ダム（建設省直轄，コンバインダム，堤高40m，1991年完成）は、震央より約90kmに位置し、最大加速度は上下流方向にコンクリート堤体部の監査廊で116.7gal、天端で142.2galを記録した。コンクリート部Oブロックから管理所への連絡通廊の継目において、連絡通廊側の床版コンクリートがダム軸方向の圧縮を受け、長さ約1.5mにわたり剥離した。当該連絡通廊は、左岸遮水壁工のロック部の上に載っており、地震応答特性の相違により大きな圧縮を受けたものと思われる。なお、連絡通廊とコンクリート堤体は構造上、完全に分断されており、Oブロックの監査廊には被害はないことから、堤体の安全性には特に問題はない。

上記の2ダム以外については、地震後に多少漏水量が増加したものもあったが、いずれも数日から数週間後には、元に回復したという程度であり、特に問題となるような変状は確認されていない。

以上のように、経験的築造技術による古いダムや溜池を除き、近代的な設計、施工技術により岩盤上に築造されているダムは今回のような大きな地震に対しても安全である事が確認された。

3. 5 下水道施設

管渠被害は、管本体の屈折や破損、目的被害として報告された被害延長は合計約3kmであり、全管渠延長（管本体の被害が報告された市町分のみ）に対する被害率は約0.3%であった。被害延長が

報告されたものに対応するマンホール被害は約70箇所であるが、報告の中には管渠延長のみ記載してマンホール数をあげていないものもあり、実数はもっと多いと思われる。上記の他、マンホールの中に被害のあったものとして31箇所、また、マンホールや管からの漏水が204箇所報告されている。マンホール被害としては浮上がり、側塊のずれ、目地被害等が報告されている。また、都市下水路の3面張りの排水路ブロックの被害(約57m)も生じた。

市町村単位では最も被害の大きかったのは長万部町であり、全管渠被害延長の約2/3が同町で生じており、被害率は約10%である。また、多くの箇所で管渠内またはマンホール内での汚水の滞留が見られたが、全くの流下不能となった箇所は長万部町の1箇所のみであった。処理場とポンプ場では合計3施設で被害が生じ、建物の伸縮継手被害が1施設、場内地盤沈下が3施設(重複有り)であるが、いずれも軽微である。

復旧状況としては、流下不能の箇所では水中ポンプによる圧送により汚水を迂回させ、マンホールの突出の著しい箇所ではマンホール上部を削り取り交通に支障を生じないようにしていた。また、浸入水量の激しい箇所では応急の止水工をほどこしていた。

3. 6 津波による被害

3. 6. 1 概要

土木研究所では、特に津波被害の大きかった北海道南西部および奥尻島における被害状況の調査および津波の痕跡高の測量を実施した。津波の痕跡高とは、陸上における津波の遡上限界を示すものであり、計49地点において、ハンドレベルを用いて痕跡高を測量した。なお痕跡高は、それぞれの測点付近の海面を0mとした場合であり、潮位補正、時間補正は行っていない(潮位差は±10cm程度)。

3. 6. 2 奥尻島における津波の被害状況

奥尻島は今回の地震で最も大きな被害を受けたところであり、津波による被害は北端の稲穂地区および南端の青苗地区で特に顕著であった。

稲穂漁港背後の集落の様子を写真-3.8に示す。この地区では被害が特に顕著であり、道路の反対側に位置した家屋がほぼ完全に破壊されていた。痕跡高は8.9mであり、今回の調査では奥尻島北部において最も高い値であった。

青苗地区は津波の被害が最も大きかった地区である。青苗漁港の北東部(写真-3.9)は、波源域に対して青苗岬の遮蔽域に位置しており、屈折・回折により波が侵入したと考えられる。住民の話では「最大波は北東方向から入射し、南東方向に抜け出た。」と証言しており、津波の屈折・回折を



写真-3.8 奥尻島稲穂漁港付近の津波被害状況



写真- 3. 9 奥尻島青苗漁港北東部の津波被害状況

裏づけるものと考えられる。痕跡高は7.4mであった。

3. 6. 3 津波の痕跡高の沿岸方向分布

今回の調査で得られた痕跡高の分布を図- 3. 3に示す。北海道沿岸では島牧村および瀬棚～大成町を中心として痕跡高が大きく、それより北側および南側では3 m程度またはそれ以下の値となっている。奥尻島では東側沿岸を中心に測量を行った。土木研究所の調査団は藻内近隣の群来岬で19.7 mの痕跡高を測定している。また、島の東岸の痕跡高は島の中央部に向かって減少しており、津波が西岸から入射したことを裏付けるが、初松前に関しては、青苗岬の遮蔽域に位置するにも係わらず、この付近では最大の15.9mという値を示している。なお、東大の都司助教授は藻内で30.5 mという痕跡高の最大値を測定している。

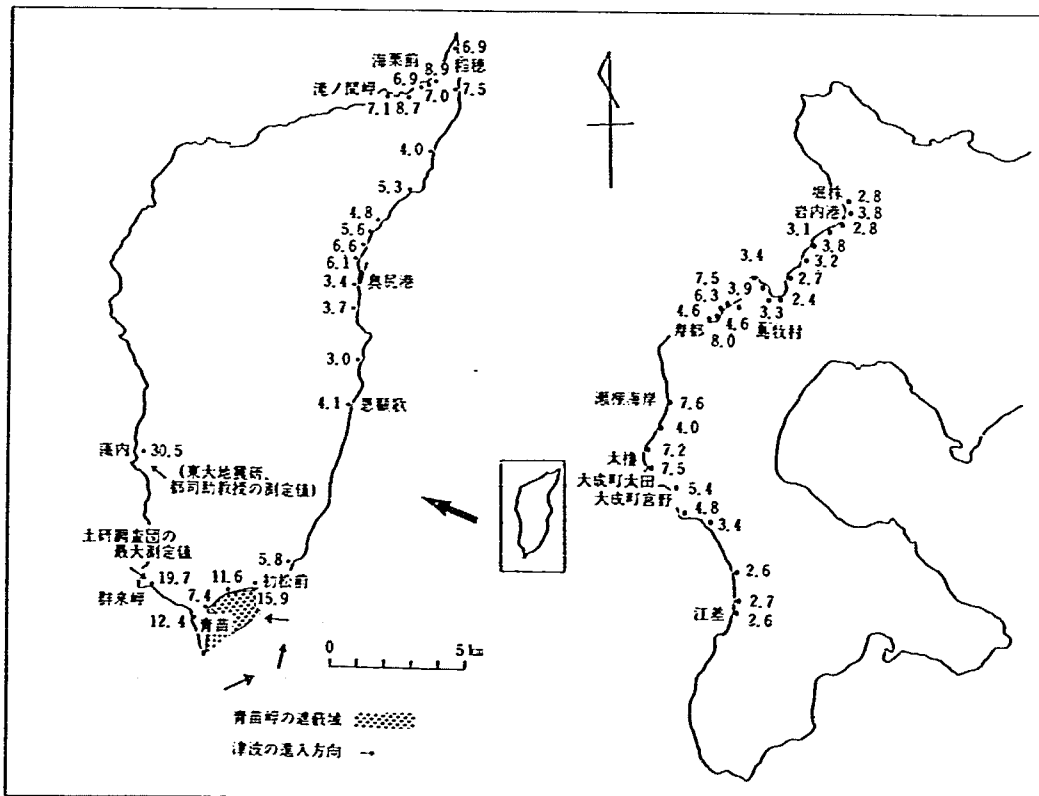
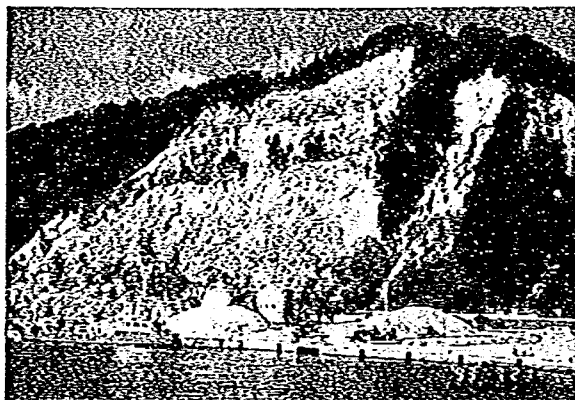


図- 3. 3 津波遡上痕跡高分布 (単位: m)

3. 7 斜面崩壊

斜面崩壊は特に奥尻島と渡島半島の西部（日本海側）に集中している。

奥尻島奥尻地区の崩壊は今回の地震に起因する土砂災害で最も多くの犠牲者を出したもので、奥尻島と北海道本島とを結ぶフェリーの発着する奥尻港の背後に迫った段丘斜面が崩壊したものである（写真－3. 10）。崩壊斜面の規模は、幅約200 m、高さ約120 m、土量約10万 m^3 ほどで、直下のホテル洋々荘が崩壊土砂によって押しつぶされた。



写真－3. 10 奥尻町における斜面崩壊

崩壊斜面の地質状況は、上部から表土及び段丘堆積物、第三紀中新世～鮮新世仏沢層の凝灰角礫岩、同層の凝灰質砂岩及び凝灰岩よりなっている。崩壊後の斜面の平均勾配は約40度であったが、崩壊土砂の先端は元の斜面の末端から海側へ最大70～80 m移動している。一方、斜面の中腹から下部にかけては、ほぼ原形を保ってせん断面沿いに滑落したものと考えられる移動土塊・岩塊がかなりの量残存している。この残存土塊の最上部には、地震前の段丘面にほぼ相当する平坦面が、立木群とともにそのまま残されている。移動土塊の中には、最大径5～7 mにも達する岩塊が多く含まれている。



写真－3. 11 一般国道229号第二白糸トンネルの岩盤崩壊による被災状況

このような斜面の状況から判断すると、崩壊は一気に全ての土塊が移動したのではなく、むしろ最初に斜面下部のある範囲が崩壊し、その直後に不安定となった斜面の上部がずり落ちるような形態で滑落したように考えられる。

渡島半島の日本海側、島牧郡島牧村に位置する国道229号のトンネルの巻出し部分が、瀬棚側坑口から140 m付近において岩盤崩壊によって破壊された（写真－3. 11）。崩壊は日本海に面する比高200 m程度の安山岩あるいは玄武岩質の垂直に近い急崖（部分的にはオーバーハング）から発生しており、それよりも下部にあった不安定な転石や岩盤を巻き込みながら崩落したものであると思われる。崩落岩塊の最大径は3 mほどにも達し、一部は海になだれ落ちている。トンネルの巻出し部は長さ6 mのコンクリートのセグメントの連続からなっているが、そのうちの一つは完全に破壊され、大小の岩塊がトンネル内を埋めている。また、その前後それぞれ2つのセグメントには欠け落ちや亀裂が認められる。

3. 8 液状化

液状化の被害は、長万部町、函館市、上磯町の国道沿いや海岸付近、それに後志利別川や尻別川などの築堤に顕著に見られた。この地域は、砂の堆積層が広く分布しているうえ、長万部町や函館市では砂による埋立ても行われており、そのため、広く地盤が液状化したものと思われる。

地盤の液状化による噴砂を採取し、粒度分析等を行った結果、平均粒径は $0.2\sim 0.3\text{mm}$ であり、均等係数は最大でも3.5で均等な粒径であった。

上磯町有川における一般国道228号の改良工事中の路床で噴砂跡が観察された。図-3. 4は、この工事現場でのボーリングデータをもとに液状化抵抗値 F_L の判定結果を示す。周辺の地震動加速度は200gal程度と推定されるので地表面下13m程度までは $F_L < 1.0$ となり、液状化したと考えられる。

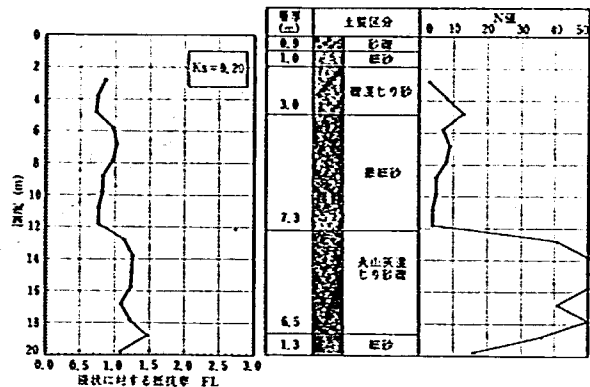


図-3. 4 上磯町有川における土質柱状図と F_L 値

4. 両地震におけるいくつかの特徴的事例

4. 1 沢部の道路盛土の崩壊

釧路沖地震による国道44号糸魚沢における被災箇所の地盤断面図を図-4. 1に示す。切土に隣接した片切片盛及び片盛の盛土で、図に示したのはほぼ片盛の区間の断面である。図中には推定される地盤構成もあわせて示したが、のり先地盤は湿地帯の軟弱地盤に接しているものの、盛土自身は比較的大きな支持力が期待できる崖堆積物上にあったものと見られる。当該盛土は最高で約10mの高さがあるにもかかわらず、築造後、特に沈下・補修に苦慮したという話もなかったことが、これに対応している。また、付近には低湿地上に盛られた区間もあるが、被害は生じなかった。したがって、低湿地であることは今回の被害の直接的原因ではなかったと考えられる。

糸魚沢の盛土材料は火山性の砂質土で、細粒分は少ない。崩壊部の盛土のN値は0～6程度でそれほど締まった状態にはなかった。また、崩壊地内の盛土下部からは湧水が出ており、盛土内のある標高まで地下水が存在していたと推測される。さらに、崩壊盛土の移動量は大きく、図-4. 1に示したように遠方まで緩やかな勾配で崩壊土が到達していることから、崩壊土にはかなりの流動性があったものと判断される。したがって、常時の排水不良のために含水比の高まっていた盛土材が、地震動により流動性を帯びたことが盛土崩壊の原因の一つとして考えられる。

一般に、切土/盛土の境界部または沢部にある盛土では、地山又は谷からの浸透水によって盛土内の含水比（特に盛土下部）は高まることもあり、釧路沖地震で大規模な被害の生じた他の地点についても上記と同様な現象が崩壊原因となった可能性が高い。したがって、このような箇所の盛土では、排水（横断排水、地下排水）対策を十分に講じておくことが降雨、地震のいずれに対しても重要であ

ると言える。

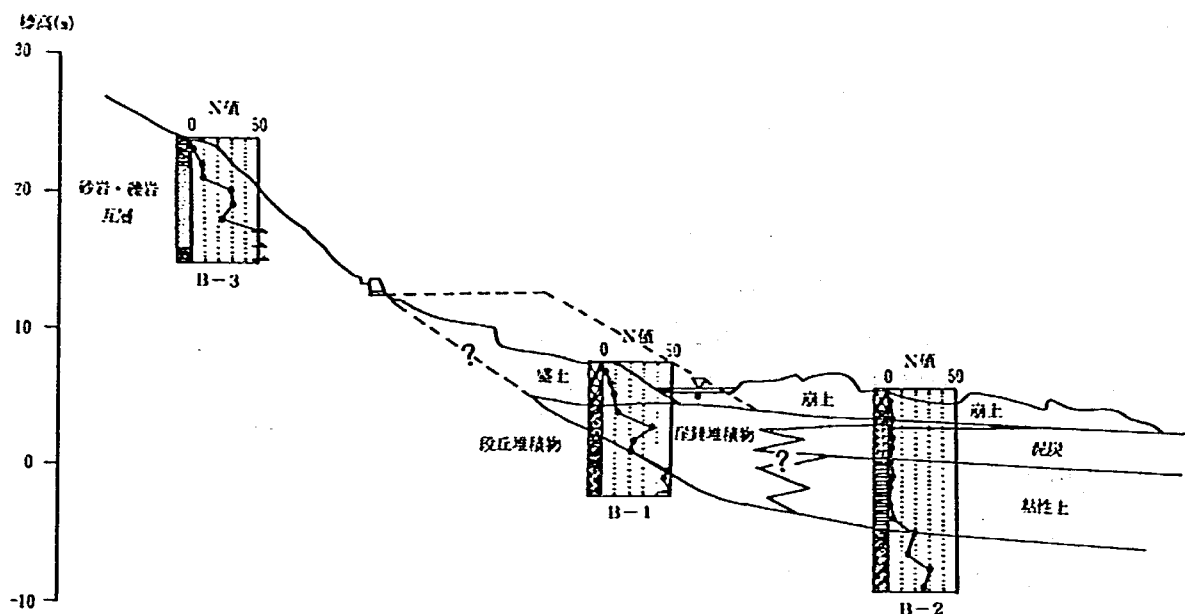


図-4. 1 国道44号糸魚沢の被災箇所における地盤断面図

4. 2 鉄筋コンクリート橋脚主鉄筋段落し部の被害

2つの地震に共通した最も特徴的な被害は、鉄筋コンクリート橋脚の主鉄筋段落し部の被害である。釧路沖地震では6橋に、北海道南西沖地震では3橋にこのタイプの被害が生じた。被害を受けた8橋はいずれも、昭和30年代後半から昭和40年代に竣工したもので、段落し部の定着長に関する規定が改訂された昭和55年の道路橋示方書より前の基準に準拠して設計された橋である。

このうち、北海道南西沖地震により同一橋梁内で昭和55年以前に建設された橋脚は被害を受け、それ以後に建設された橋脚は被害を受けなかったという非常に興味深い例があるのでこれについて以下に示す。

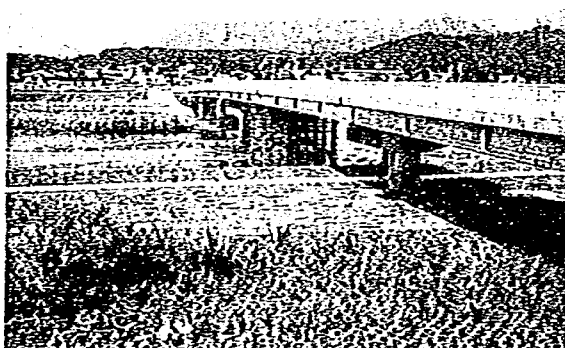


写真-4. 1 新知内橋

新知内橋は、写真-4. 1に示すように町道元町1号線にある橋長214m、幅員6mの7径間単純ポストテンションPCT桁橋(2等橋)である。竣工は昭和45年であり、平成元年度に知内川の河川改修工事に伴い、右岸側の2径間(橋長66m)が新たに架設されている。既設橋脚は、躯体高さが6.8m(P1、P4橋脚)~7.04m(P2、P3橋脚)で、直径が1.8mの円形断面逆T式である。また、新設部のP1橋脚は3m×1.8m、P2橋脚は3m×1.5mの小判型断面である。基礎は、新設部のP2橋脚だけが直接基礎で、その他はケーソン基礎である。既設橋部の橋脚には、基部にD22が64本で2段配筋されている。このうち基部から約2.3mの位置で内側の32本が段落しされ、さら

に基部から約3.5mの位置で外側の鉄筋のうち16本が段落しされている。一方、新設部のP2橋脚では、基部に主鉄筋としてD22が56本配筋され、基部から3mの位置で半分に段落しされている。なお、新設部のP1橋脚では、主鉄筋の段落しはされていない。

地震による損傷は、既設橋部分のP1～P4橋脚に生じており、いずれも段落し部において、写真-4.2に示すようにひびわれ及びかぶりコンクリートの剥離が生じると同時に、主鉄筋が座屈し、面外方向へはらみ出した。最も損傷が大きかったのはP3橋脚であり、1段めの段落し位置で約1mの高さにわたって損傷が生じている。損傷は、橋脚の上下流側に生じており、橋軸直角方向の地震力によって生じた被害と考えられる。道路震災対策便覧（震災復旧編）では、橋脚の残存耐力と変形性能に基づいて段落し部の損傷度の簡易判定法を示している。これによれば、P3橋脚の損傷は、地震後交通止めを必要とする「大被害」に該当する。橋脚の動的水平耐力は、最大水平耐力を超えて低下する領域に入っており、降伏耐力を大きく下回っている。

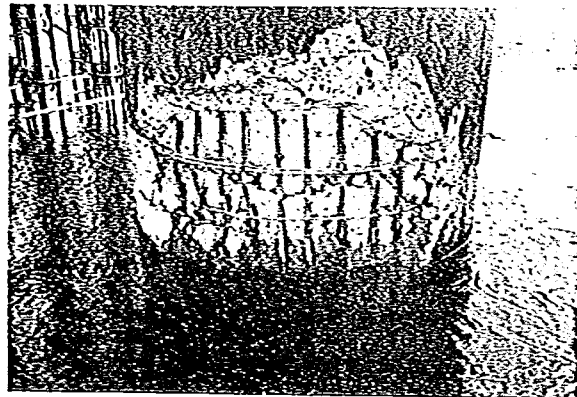


写真-4.2 主鉄筋が座屈するとともに、コンクリートが完全に破壊したP3橋脚（新知内橋、下流側から）

興味深いのは、新設部のP2橋脚には段落しがあるにもかかわらず、ここでは損傷が生じていない点である。昭和55年以後の道路橋示方書に準拠して段落し鉄筋の定着長を十分とれば、段落し部の損傷を防止することができると考えられる。

なお、新知内橋からわずかに10km程度の距離にある七峰橋（無被害）においては、北海道開発局により強震記録が得られており、地盤上の最大加速度は約200galであった。橋からすぐ横（松前町側）に木造平屋の民家があり、ここで地震の際の振動状況を聞き取った結果によれば、家屋は激しく振動はしたが転倒したのはコップ程度であったという。主鉄筋段落し部の定着長が短いと、この程度の振動でもかなりの損傷が生じるという意味で、新知内橋の被害は今後十分教訓としておくべきと考えられる。

4.3 マンホールの浮上がり被害

釧路沖地震や北海道南西沖地震において、釧路町や長万部町などで、マンホールが大きく浮き上がった。過去においても、新潟地震など、マンホールの浮上り被害が報告されている。これは地盤の液状化によって、下水道管渠とともにマンホールが浮き上がったものである。

一般に下水道管やマンホールなどの土木の地中構造物は中空構造になっており、見かけの比重が周辺地盤の土の比重より小さく、そのため、周辺の地盤が液状化すると、浮き上がる可能性がある。

釧路沖地震では、釧路市や釧路町に下水道施設の被害が大きかったが、マンホールの浮上がりに関しては、釧路町が顕著で、他の地区の浮上りはせいぜい10cm程度であった。また、北海道南西沖地震では、長万部町と上磯町で、50～80cm程度浮き上がっており、他の地区は10cm程度以下であった。

浮上がりの大きな箇所は、歩道下、簡易舗装下、未舗装下等となっており、アスファルト舗装をし

た車道に埋設されたマンホールで大きく浮き上がった箇所はない。これは、アスファルト舗装ではアスファルト層と路盤材が何10cmもの厚さで敷き均し転圧されているため、マンホール側面の摩擦抵抗が大きく、浮上りを抑制したものと推察される。

マンホールの埋戻し土は、ほとんどが砂であった。施工上の制約から締固めが難しく、そのため、大きなN値を得るのが難しいのが現状であろう。釧路町のマンホールの浮上りのように、地震時に埋戻し土が液状化し、マンホールを浮き上がらせているといえる。今後、埋戻し土を碎石にしたり、締固めを工夫するなど、マンホール及び管渠の浮上り対策を検討していく必要がある。

5. あとがき

本文では平成5年1月15日に発生した釧路沖地震及び7月12日に発生した北海道南西沖地震における地震災害の概要を報告した。土木研究所では地震発生の直後に現地調査を実施し、その後も引き続き補足的な現地調査及び被災原因分析作業等を進めている。今後もこれら調査・分析を継続し、地震災害の軽減に資するべく努力する所存である。

最後に、現地調査に際しては、北海道開発局建設部、同開発土木研究所、同帯広・釧路・函館・小樽の各開発建設部、北海道庁土木部・都市住宅部などをはじめとする多くの関係各機関の方々の御協力を頂いた。厚く御礼申し上げます。

(参考文献)

- 1) (社)日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編）、昭和63年2月
- 2) 北海道開発局開発土木研究所：1993年釧路沖地震被害調査報告、開発土木研究所報告第100号、1993.9., pp.13~24.

土木研究所講演会講演集

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3234号
平成6年1月(1994)
企画部企画課

要 旨 本資料は、「平成5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、環境、下水道、科学技術、施工計画、道路交通、災害、地震災害

郵便はがき

50円切手を
はって下さ

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
企画部企画課御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第3234号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印