

ISSN 1346-7328

国総研資料第58号

平成14年12月

# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.58

December 2002

平成14年度 国土技術政策総合研究所講演会講演集

Report of the Lecture Meeting of NILIM(2002)

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management,  
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

## 平成14年度 国土技術政策総合研究所講演会講演集

Report of the Lecture Meeting of NILIM (2002)

### 概要

本資料は、「平成14年度国土技術政策総合研究所講演会」の講演内容をまとめたものである。

### キーワード：

講演会、国土技術政策総合研究所、公共投資、住宅、災害

### Synopsis

This report summarizes the Lecture Meeting of NILIM held in 2002.

### Key Words：

Lecture Meeting, NILIM, Public Investment, Residence, Disaster

## 目 次

◇プログラム .....	1
◇講 演 集	
公共投資を考える視点	研究総務官 高須 修二 ..... 7
最近の洪水事例と対策等について —ヨーロッパの洪水情報を含めて—	河川研究部長 近藤 悟 ..... 27
マンションの円滑な建替えに向けて —建替え円滑化法の制定と技術指針の開発—	住宅計画研究室長 亀村 幸泰 ..... 47
道路技術がめざすもの —技術開発の現状と道路行政転換のための展望—	道路研究部長 中村 俊行 ..... 61
土木・建築における技術基準の動向と展望	建築研究部長 平野 吉信 ..... 83 港湾研究部長 山本 修司 評価研究官 西川 和廣
特別講演 失敗学のすすめ	工学院大学国際基礎工学科・教授 ..... 121 東京大学名誉教授 畑村洋太郎

# 国土技術政策総合研究所

## 講演会 ー平成14年度ー

日 時 平成14年12月11日（水）10:30～17:05

場 所 イイノホール

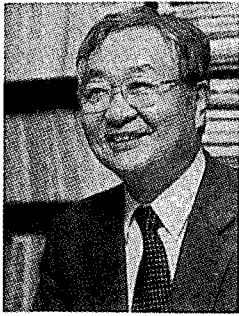
主 催 国土交通省 国土技術政策総合研究所  
協 賛 国土技術研究協議会





# プログラム

10:30~10:40	開会の挨拶	所 長 奥野 晴彦
10:40~11:20	公共投資を考える視点	研究総務官 高須 修二
11:20~12:00	最近の洪水事例と対策等について —ヨーロッパの洪水情報を含めて—	河川研究部長 近藤 悟
12:00~13:00	休 憩	
13:00~13:40	マンションの円滑な建替えに向けて —建替え円滑化法の制定と技術指針の開発—	住宅計画研究室長 亀村 幸泰
13:40~14:20	道路技術がめざすもの —技術開発の現状と道路行政転換のための展望—	道路研究部長 中村 俊行
14:20~14:40	休 憩	
14:40~16:00	土木・建築における技術基準の動向と展望	建築研究部長 平野 吉信 港湾研究部長 山本 修司 評価研究官 西川 和廣
16:00~17:00	特別講演 失敗学のすすめ	工学院大学国際基礎工学科・教授 東京大学名誉教授 畑村 洋太郎
17:00~17:05	閉会の挨拶	副 所 長 村上 純一



失敗学のすすめ

工学院大学国際基礎工学科・教授  
 東京大学名誉教授

畑村 洋太郎

思いもかけない失敗が多発している。これは失敗のマイナス面ばかりを見ているためではなかろうか。人は誰でも新しいことに挑戦すれば必ず失敗する。技術の世界にもこのことはあてはまり、失敗を分析し、新しい知識を樹立することによって新しい技術が生まれ、社会を豊かにしてきた。このように失敗のマイナス面だけに目を向けるのではなく、失敗をプラスに転化するための考え方と方法を取り扱うのが「失敗学」であり、そこでは、失敗の必要性・失敗の原因と結果の関係・失敗を生かす工夫などについて具体的な例を取り上げながら学んでゆく。

- 主 な 経 歴
- 1941年 東京生まれ
  - 1966年 東京大学大学院修士課程修了、(株)日立製作所入社
  - 1968年 東京大学工学部助手
  - 1969年 同講師
  - 1973年 同助教授
  - 1983年 同教授
  - 2001年 4月 工学院大学国際基礎工学科教授、畑村創造工学研究所開設
  - 2001年 5月 東京大学名誉教授
  - 2001年10月～2002年 3月 東北大学客員教授
  - 2001年 8月 科学技術振興事業団失敗知識データベース整備事業統括
  - 2001年11月 宇宙開発事業団客員開発部員
  - 2002年 4月 東北大学講師

専 門 分 野

ナノ・マイクロ加工、医学支援工学、創造的設計の方法を研究するほか、失敗知識活用研究会を通じて失敗学の構築を行っている。また、実際の設計研究会を主宰し創造設計原理の研究を行っている。

主な編・著・訳書

実際の設計、続・実際の設計、続々・実際の設計—失敗に学ぶ—、TRIZ入門、実際の情報機器技術、設計のナレッジマネジメント（以上 日刊工業新聞社）、設計の原理（訳書、朝倉書店）、設計の方法論（岩波書店）、失敗学のすすめ（講談社、日経BP・BizTech図書賞受賞（2000年10月30日））、機械創造学（丸善）、失敗を絶対成功に変える技術（アスキー）、子どものための失敗学（講談社）、失敗の哲学（日本実業出版社）、失敗を生かす仕事術（講談社現代新書）、社長のための失敗学（日本実業出版社）、決定版失敗学の法則（文藝春秋）、成功にはわけがある（監修、朝日新聞社） 他多数



## 公共投資を考える視点

研究総務官 高須 修二

最近の厳しい経済情勢の中で、公共投資のあり方について多くの議論がなされている。これらの議論は、公共投資を取り巻く状況を多面的に捉え、適正に評価することによって、有意義なものとなる。

言うまでもなく、我が国の社会資本は戦後着実に整備されてきているが、自然条件の厳しい日本の国土にあって、必要な社会資本の分野は広く、欧米諸国に比べてその水準が未だ低い分野も多い。また、戦後急速に整備され長期に活用されてきた社会資本も、更新時期を迎えようとしており、的確な対応が求められている。また、社会資本は、その時々々の社会システムに応じて整備されるべきものであるが、一方では、次の時代の反映の礎となっていることも多い。公共投資のあり方を考えていくためには、このような社会資本の状況を踏まえることが重要である。

本講演では、社会資本の蓄積、社会資本の維持・更新、自然条件、国土形成史、コスト縮減等の視点から、その背景を論じ、今後の議論の糧としたいと考える。



## 最近の洪水事例と対策等について —ヨーロッパの洪水情報を含めて—

河川研究部長 近藤 悟

近年、日本ではこれまで経験したことのないような豪雨による水害が発生している。温暖化による洪水多発の危険性が懸念されている一方、人工衛星等を用いた気象データの全球観測により地球的規模の気象現象の解明が進むとともに、気象予報の精度の向上が期待されている。本稿では、東海豪雨洪水や福岡洪水等を事例とし、これらの水害の概要や原因等について述べ、この様な洪水を踏まえた対策や的確な予警報が重要であること、このための難破堤堤防などに関する研究成果、さらには都市における地下街の浸水対策に関する研究成果等を報告するとともに、気象予報の精度の向上を踏まえた研究の一方向性を紹介する。

最後に、今年8月に発生したヨーロッパの洪水状況の概要を速報し、アジア地域との違いを踏まえその意味合いを紹介する。

## 土木・建築における技術基準の動向と展望



建築研究部長  
平野 吉信



港湾研究部長  
山本 修司



評価研究官  
西川 和廣

土木・建築における各種の技術基準、例えば各種土木施設の構造基準、設計・施工基準や建築基準等は、本来の施設・建築の安全性や目的に応じた機能を確保するための役割に加え、品質・信頼性の向上や、生産性向上やコスト合理化のための各種革新技術の受入れ、海外との通商や技術の流通の円滑化等のため、妥当性の確認や見直し、状況に応じた改訂等への確に取り組むことが求められているといえる。特に近年、国際的調和への対応やいわゆる性能規定化に向けた見直しの必要性が指摘され、分野によってはその具体化が図られはじめている。

本講演では、技術政策研究の立場から、技術基準の見直しのニーズや必要性、性能指向の技術基準の本質、EUROCODEを含む建設基準の国際的調和の欧州に見る動向、ISO等を通じた基準・規格の国際的調和の意義と問題点、港湾構造物の技術基準の国際化に関する動向、道路構造物の性能設計実施へのアプローチ等を概観するとともに、今後の方向性について展望する。



マンションの円滑な建替えに向けて  
 —建替え円滑化法の制定と技術指針の開発—

住宅計画研究室長 亀村 幸泰

建築後30年を経過したマンションは、10年後には93万戸と今後急激に増加することが予想されており、老朽化したマンションの建替えが進まないという問題を解決し、建替えを円滑化することが緊急の課題となっている。

本講演においては、平成13年度までに実施したプロジェクト研究「マンション問題に対する総合的技術政策の研究」に関して、マンションの建替えの諸課題についての調査研究成果を解説するとともに、本年6月に制定された「マンションの建替えの円滑化等に関する法律」への反映状況や、法律の施行を支援する技術情報として研究開発した建替え改修判断指針、合意形成・事業マニュアル等について報告する。



道路技術がめざすもの  
 —技術開発の現状と道路行政転換のための展望—

道路研究部長 中村 俊行

新たな技術の開発が新たな時代を生み、新技術を生かすことによってより豊かな生活を実現してきた。道路に関しても、新たな時代のニーズを踏まえた技術開発が、社会の要請に応える道路整備を牽引してきたと言っても過言ではない。しかしながら、戦後の社会経済システムの改革が求められている現在、道路行政においても「量的拡大」から利用者の側から見た「成果」を重視するなど大きく転換しようとしている。

本講演では、平成10年度から推進されてきている「新道路技術五箇年計画」の進捗状況について報告するとともに、道路行政システムの変革や活力・暮らし・安全・環境などの新たな道路政策目標を達成するための今後の道路技術の方向について展望する。

# 公共投資を考える視点

研究総務官

高須修二

## 「公共投資を考える視点」

研究総務官 高須修二

### 1. はじめに

我が国の社会資本は公的主体と民間双方の努力により着実に整備が進み、その結果、我が国の産業の発展や国民の安全・生活環境の向上に貢献してきている。一方、欧米先進諸国との比較では依然として立ち遅れている分野もあり、また、少子・高齢社会の到来を控えていることから、投資余力のあるうちに必要な社会資本を整備することが求められてきた。さらに、高度成長期に蓄積された社会資本が更新時期を迎えることにより多量の更新需要が発生することとなるため、今後の社会資本整備は更新への投資を考慮しながら進めるといった新たな段階にさしかかっている。

さて、最近の厳しい経済情勢の中で、公共投資のあり方について多くの議論がなされている。その中では、重点分野への配分やコスト縮減が、社会資本ストックによる行政サービスの水準を充実するために極めて重要な課題と考えられている。

社会資本は国づくりの道具であり、「どのような国土を目指すのか、地域をどのようにするのか、これらをどのように創っていくのか」が今、問われている。そして、この国づくりのための投資が公共投資であり、そのあり方はパブリック・コミュニケーションを通じて納税者であり利用者でもある国民全体で考えていくべきことであろう。

このような中で、内閣府の経済財政諮問会議では、我が国の諸制度の構造改革を進める一環として、社会資本整備の抜本的な構造改革について審議し、平成13年6月に「今後の経済財政運営及び経済社会の構造改革に関する基本方針」として閣議決定されている。この中では、「真に必要な公共投資へ集中することにより、国民の充足感が高まり、日本経済の生産性も向上する。」とされ、重点的な投資を推進すべき分野、効率性・透明性を高めるために実施すべき各種取り組みなどが示されている。また、平成14年1月には、「構造改革と経済財政の中期展望」が閣議決定され、公共投資の規模などについて方向性が示され、さらに、平成14年6月には、「経済財政運営と構造改革に関する基本方針2002」が閣議決定されている。

こうした改革の方向を踏まえ、社会資本ストックにより提供される行政サービスの質的な充実を図るといった観点から、公共投資の役割であるストック効果に視点をおいた公共投資の効果を検討することが重要である。

国土技術政策総合研究所の役割は、この「国づくり」に必要な技術政策をサポートしていくことであり、「持続可能な社会を支える美しい国土の形成」、「安全で安心な国土づくり」、「豊かでゆとりのある暮らしの実現」、「活力ある社会、個性ある地域の創造」を含む7つの柱を掲げて研究を推進している。

本報文は、「過去の歴史に学ぶこと」、「現在の状況を理解すること」、そして「将来の国土・生活の姿を描くこと」の視点を踏まえて、色々な角度から公共投資を考えようとする



るものである。このように公共投資を取り巻く状況を多面的に捉え、適正に評価することによって、公共投資のあり方の議論が有意義なものとなると考えている。

## 2. 国土形成史

### 2. 1 歴史から学ぶこと

社会資本は、その時代の社会状況や社会システムに適合するように、あるいは一体となって整備されるものであり、国、社会の持つ特色を最も反映しているものである。このため、過去の社会資本が社会状況や社会システムとともにどの様に整備されてきたかは、公共投資のあり方を考察するときの重要な視点となる。

近年、過去の社会資本整備の実態についての調査が数多くなされており、当時の日本の社会システムに適合して世界的に見ても進んだ社会資本が構築されていたことが明らかになってきている。

国土技術政策総合研究所では、平成13年7月に策定した「国土技術政策総合研究所研究方針」で先に述べた7つの柱のもとに16の技術政策課題を重点的に取り組む研究課題として取り上げているが、その一つとして「国土形成史を踏まえた今後の国土マネジメント」の研究を進めている。この課題は、これまでの日本と諸外国の社会資本整備、国土の形成過程等歴史の変遷を踏まえて国土のあり方全体を俯瞰した将来ビジョンを示すことを目的としており、これまでの研究成果として下記のレポートを公表している。

#### ・国土技術政策総合研究所資料No.13

嶋・嶋・吉・金：「国土形成史から見た社会資本整備一道は歴史を運ぶ大地の川」

#### ・国土技術政策総合研究所資料No.43

嶋・嶋・吉・金：「水と国土形成史」

これらのレポートでは、道路、港湾、新田開発、都市等について過去の社会資本整備の状況とその背景が論じられているが、産業革命以前の日本においても、社会システムと調和した、世界的に見ても進んだ社会資本整備がなされている事例が数多く示されている。

代表的な事例として以下のものがあげられる。

- ・「律令時代には既に約6,400kmに及ぶ道路網が構築されていたこと」
- ・「江戸時代の五街道・脇街道について、欧米からの訪問者が自国のそれと比較して大変高い評価をしていること」
- ・「江戸時代の利根川・淀川の河道変更・整備により新田の開発が進み、当時の社会を支えたこと」
- ・「開発された土地が、その後人口の急増に伴う東京、大阪の市街地形成を支えたこと」
- ・「当時世界一であった江戸の人口を支える上水道・屎尿処理システムが整備されていたこと」

産業革命により生産性は大幅に向上し、使用できるエネルギーも急増し、大規模な構造物を構築することが可能となっている。そして、今、我々が目にしている構造物は、ほとんど産業革命後につくられたものである。しかし、「現在の社会資本は主として明治維新の産業革命後に整備され、それ以前の日本では今につながる社会資本整備はほとんどな

れなかった」ということは適当でない。

また、社会資本はその時々々の社会システムに応じて整備されるべきものであるが、一方では、次の時代の反映の礎となっていることも多い。時代とともに目的を変えてはいるが、過去において営々と整備されてきた社会資本を礎として、現在の社会の発展がなされている。

## 2. 2 律令時代・江戸時代の道路

### (律令時代の五畿七道)

図-1は、律令時代の主要道路を示したものである。この時代に、我が国の初めての全国的な道路ネットワークである五畿七道が整備された。ここで、五畿七道というのは、大和・山城・摂津・河内・和泉の五畿と、東海・東山・北陸・山陰・山陽・南海・西海の七道のことであり、都を中心として各地方の国府を結びつける中央集権的な放射状の交通路として整備されたもので、その延長は単純に計算すると6,400kmに達する。

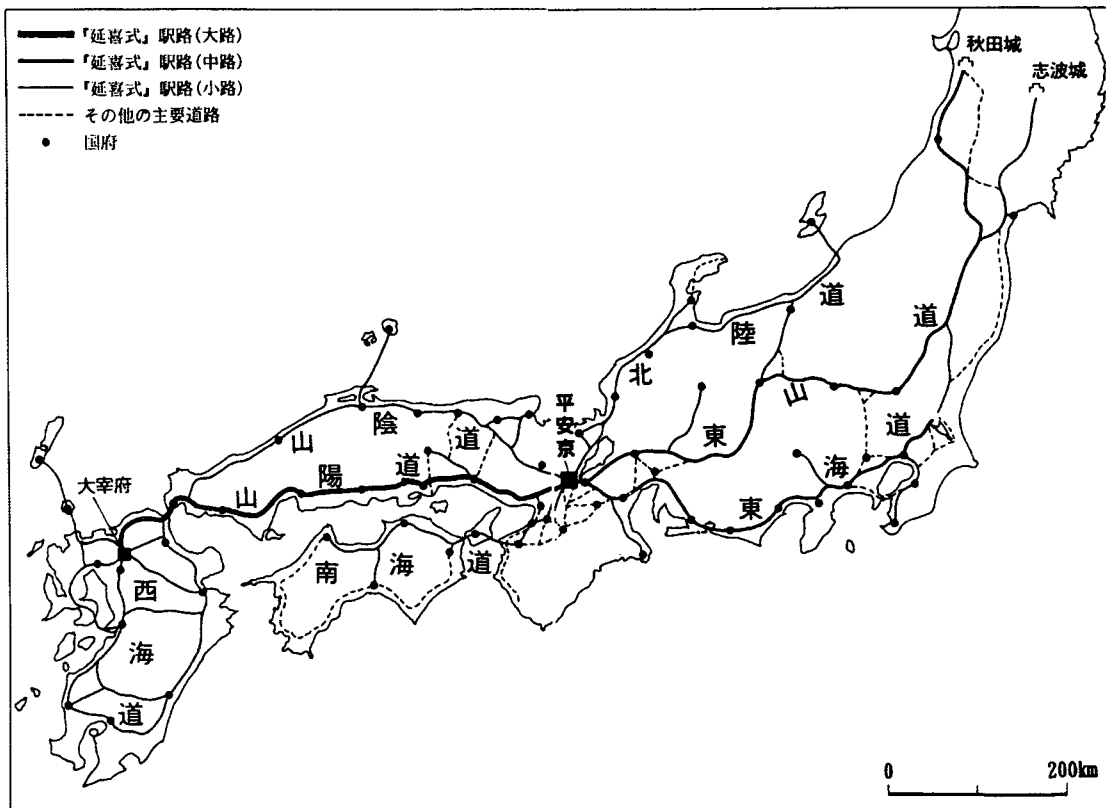


図-1 律令時代の主要道路 (木下良著「道と駅」大巧社、1998年、p.34-35より)

七道は、その重要性から、大路(山陽道)、中路(東海道、東山道)、小路(その他の道路)に分かれており、また、五畿七道には都と地方を連絡するために、駅馬・伝馬の制が整備されていた。駅馬・伝馬の制は、官人・公使の赴任・帰任、政令伝達・報告など、国家の地方支配のうえで極めて重要な役割を果たしている。

このように、律令時代には、国家を一体として機能させるための全国的な道路網が既に構築されていたことになる。

近年、五畿七道の道路構造を示す道路跡が各地で発見されている。例えば、群馬県新田町下新田遺跡では東山道駅路の一部である約 250 m の区間が発掘されているが、両側溝の中心間で計って幅 12 m の道路がほぼ直線に通っている。また、静岡市曲金、東京西国分寺において発見された道路跡も、両側に側溝をもつ幅員 12 m の道路となっている。

なお、これらの道路は中央集権から分割統治へと社会システムが変化したことにより、その後使われなくなったが、江戸時代の五街道にその名残をとどめているといわれている。

### (江戸時代の街道)

江戸時代は鎖国政策により海外との交流は限られたものであったが、それでも諸外国から訪れた人があり、それらの人々が残した紀行文等には、五街道や脇街道などの様子が伺える記述が散見される。

以下に、江戸時代の道路の様子に関する記述を紹介する。

#### ○ケンペル (ドイツ) 1691 年

(ケンペル 著、斉藤信 訳「江戸参府旅行日記」平凡社東洋文庫 303、1977)

「この国の街道には毎日信じられないほどの人間がおり、2,3 の季節には住民の多いヨーロッパの都市の街路と同じくらいの人が街道に溢れている。(中略) 1 つにはこの国の人口が多いこと、また 1 つには他の諸国民と違って、彼らが非常によく旅行することが原因である。」(p.49)

「身分の高い人が旅行する場合には、街道は直前に箒で掃除され、また両側には数日前に砂が運ばれ小さい山が作られるが、これは万一到着の時に雨でも降れば、この砂をまきちらして道を乾かすためである。」(p.18)

#### ○ツェンペリー (スウェーデン) 1776 年

(ツェンペリー 著、高橋文 訳「江戸参府随記」平凡社東洋文庫 583、1994)

「この国の道路は一年中良好な状態であり、広く、かつ排水用の溝を備えている。(中略) さらにきちんとした秩序や旅人の便宜のために、上りの旅をする者は左側を、下りの旅をする者は右側に行く。(中略) このような状況は、本来は開化されているヨーロッパでより必要なものであろう。」(p.106)

「里程を示す杭が至る所に立てられ、どれほどの距離を旅したかを示すのみならず、道がどのように続いているかを記している。この種の杭は道路の分岐点にも立っており、旅する者がそう道に迷うようなことはない。」(p.107)

#### ○ジーボルト (オランダ) 1826 年

(ジーボルト 著、斉藤信 訳「江戸参府紀行」平凡社東洋文庫 87、1967)

「おそらくアジアのどんな国においても、旅行ということが、日本におけるほどこんなに一般化している国はない。自分の領地から江戸へ行き来する大名の絶え間ない行列・活発な国内商業・その貨物の集散地大坂にはこの国のあらゆる地方から売手や買手が殺到するし、また巡礼旅行も非常に盛んである。」(p.13)

これらの諸外国の人が見た江戸時代の道路の様子をまとめてみると以下のようなになる。

- 街道には並木が整備されていること
- 側溝が整備されていること

- 沿道の人が道路美化をしていること
- 旅行者がヨーロッパと比べて多いこと
- 道路標識が整っていること

このように、江戸時代には、人馬を対象とする道路が高い水準で整備されており、活発な交流活動が行われていた様子が伺える。

### 2. 3 江戸時代の河川整備

徳川家康が入城した 1590 年頃、江戸城は武蔵野台地が江戸湾に入り込むところにあり、その一帯は低湿地であった。このため、家康はまちづくりのため、埋立て地や物資輸送のための水路を整備している。また、隅田川を通じて江戸湾に注いでいる利根川の付け替え等の河川の改修により湿地の解消を図っている。

一方、政治都市としての江戸の繁栄は、河川の改修と用水の整備による農業生産量の増加が支えてきたといえる。例えば、江戸初期には伊奈氏による開発が行われている。この開発の特徴は、幾筋かに分かれて流れている大河川の派川を締め切って一本の川筋にして、締め切った派川筋で新田開発を行っている。その代表的なものが葛西用水で、約 6,700 ヘクタールの開発が行われている。また、江戸中期には将軍吉宗が紀州唐呼んだ井沢弥惣兵衛為永らによって新田開発が行われ、用水と排水を分離するような開発を行っている。その代表的なものが見沼代用水で、約 16,000 ヘクタールの新田が開発されている。(図-2)

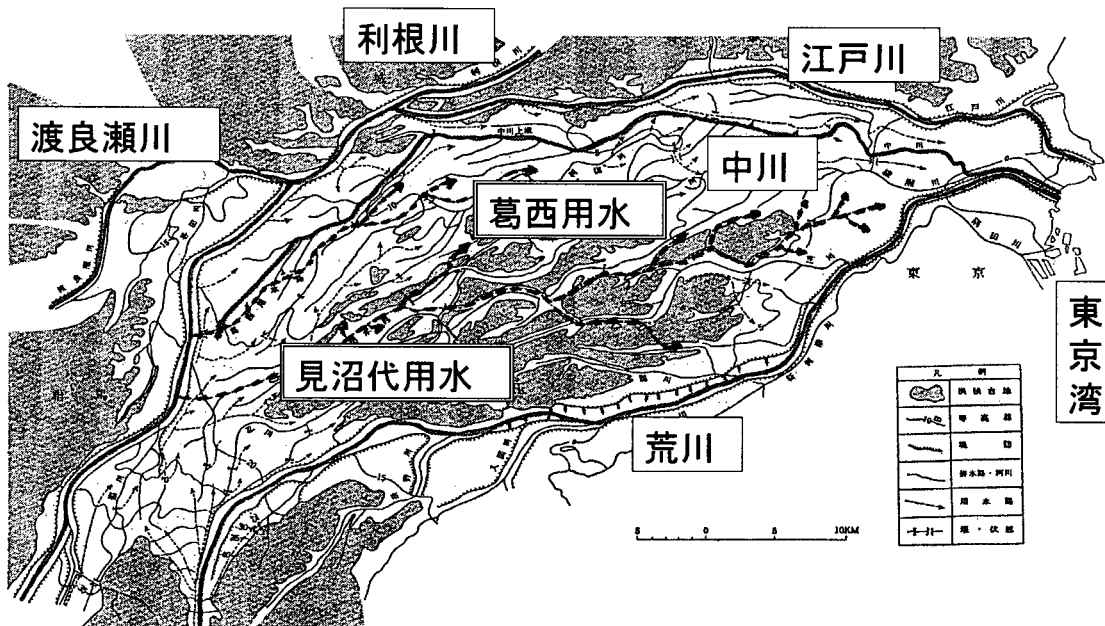


図-2 利根川流域地形図

(佐藤俊郎著「利根川 その治水と利水」論創社, 1982年, p.51より作成)

一方、このように江戸時代の河川整備により新田が開発された結果、関東地方に非常に大規模な土地が生み出され、近年の首都圏の市街地の形成を促すこととなっている。

市街地形成の様子を関東地方の河川流域の人口変化で見たものが、表-1である。明治40年と昭和55年を比較すると、それぞれの地域で人口は増えているが、特に低平地を流れ

る江戸川と中川筋で人口が驚異的に増えていることがわかる。

人口増加の要因は他にも考えられるが、少なくとも河川改修とそれにより生み出された土地があることによって、こうした人口の増加が可能になったといえる。しかし、同時に河川氾濫原や軟弱地盤に人口や資産が集中する結果ともなっている。

流域名	明治 40 年 (千人)	昭和 55 年 (千人)	S55 / M40
利根川上流	908	1,796	1.98
渡良瀬川	647	1,195	1.85
鬼怒川	230	435	1.89
小貝川	238	448	1.88
常陸利根川	387	789	2.04
利根川下流	491	1,699	3.46
江戸川	141	887	6.30
中川	597	2,758	4.62
合計	3,638	10,005	2.75

表-1 利根川流域における人口の変化

利根川百年史編集委員会・国土開発技術研究センター編「利根川百年史」建設省関東地方建設局、1987年、p.117より作成

## 2. 4 江戸の上水道と屎尿処理システム

江戸は、100万人以上の人口を有する当時の世界一の都市であったが、その人口を支える世界的にも進んだ上水道・屎尿処理システムが整備されていた。

### (上水道)

上水道については、江戸をひらいた徳川家康が、飲料水の確保が重要課題であることを認識しており、1590年、江戸入府に先立ち大久保藤五郎忠行を派遣し小石川上水を開削させた。この後、江戸のまちの拡大とともに、小石川上水が拡張され神田上水となり、さらに、玉川上水、本所上水、青山上水、三田上水、千川上水が整備され、武家だけでなく庶民も含めて受水することができた。(図-3)

玉川上水は、延長43kmを標高差約92mを利用して自然流下で流しており、当時の技術水準の高さが伺われる。

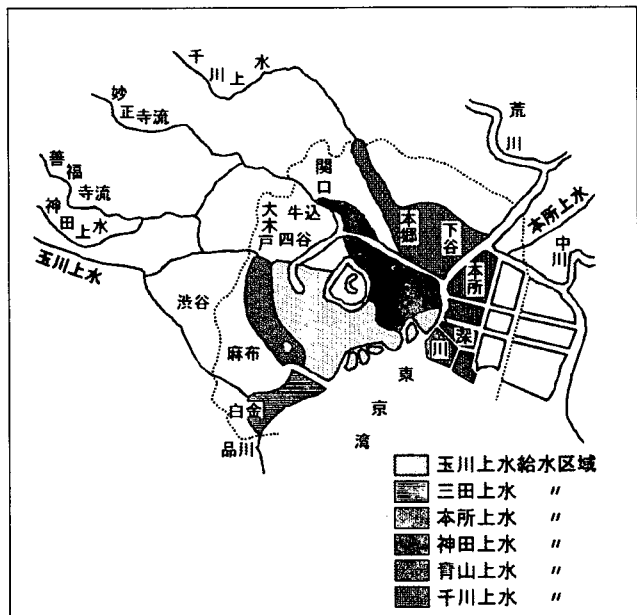


図-3 江戸六上水の給水区域図

(「堀越正雄著「水道の文化史」鹿島出版会、1981年、p.25より)

### (屎尿処理システム)

屎尿処理については、江戸の市街地が拡大し人口が増えるにつれ大きな課題となるが、処理のみならずリサイクルを行うシステムが確立されている。

江戸の町が拡大されるにつれ、江戸周辺の農村は物資、特に野菜の補給基地としての役

割を果たすようになり大量の肥料が必要となるが、これに、排泄物である屎尿を利用するシステムが構築された。市街地で集められた屎尿は、江戸市内や関東地域の舟運を利用して、野菜の生産地である江戸周辺の農村に還元された。ここで、屎尿は、入手にあたって米・野菜等と交換したりお金を払ったり、また、江戸近郊の人々が屎尿料金値下げを幕府にうったえ出たりするほど、重要な資源であった。

一方、江戸と並ぶ当時の世界的な大都市であるパリには、江戸中期にあたる 1740 年には大規模な環状下水道が建設され、人が並んで通れるほど大きなものが整備されている。しかし、当時は、下水道といっても、汚水処理をしているわけではなくセーヌ川にたれ流しているだけだったので、悪臭、疾病の蔓延等、衛生上、大きな問題を起こしている。パリでは、1825 年にウルク運河が完成するまで、水需要の大部分はセーヌ川からの揚水でまかなわれていたので、人間が汚染した水を自から飲んでいたことになる。

### 3. 社会資本の蓄積

#### 3. 1 欧米先進国に対する遅れ

どのような国づくりをするかは、各国の自然環境、生活環境そして国民の意識等によって、当然異なってくる。しかし、社会資本を道具として捉えるとき、そこには地域に限定されない共通項が相当量存在する。このため、公共投資について考察するときには、対象となる社会資本ストックの欧米先進国に対する遅れについても十分に理解しておく必要がある。

先に述べたように、我が国では、産業革命以前にも当時の社会システムに応じた社会資本整備がなされ、また、当時の社会資本ストックが礎となって現在の社会の繁栄をささえている例もある。しかし、一方では産業革命以降の近代における社会資本整備に関しては、欧米先進国と比較して遅れをとったことも事実である。

産業革命以降の近代における社会資本整備は、欧米諸国と比較して約 30 年の遅れがある。欧米においては、約 30 年前は現在の我が国の公共投資規模と同程度であった。

冒頭述べているように、我が国の社会資本は戦後着実に整備されてきており、そのストックは実質約 800 兆円と推計されているが、自然条件の厳しい日本の国土にあって、必要な社会資本の分野は広く、欧米諸国に比べてその水準が未だ低い分野も多い。

産業革命以後、社会資本の蓄積が欧米先進国と比較して遅れた例として鉄道の整備があげられる。産業革命と密接に関連のある鉄道の整備は、ヨーロッパ諸国では 1830 年代に始まっており、イギリス（グレートブ

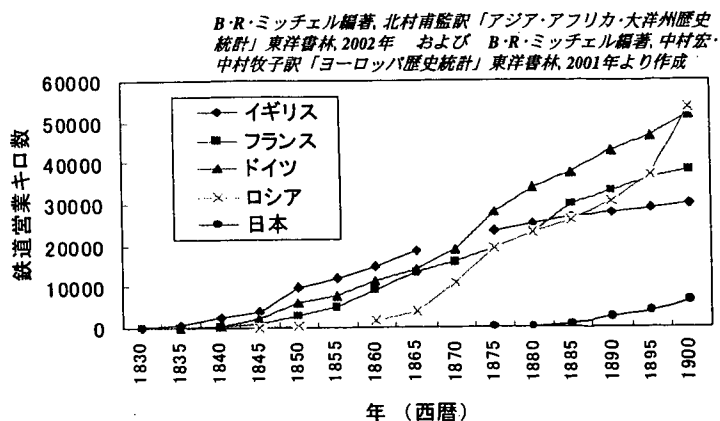


図-4 年代別各国の鉄道営業キロ数

リテン)では30年間で約14,000kmと急速に整備されている。我が国では明治維新を経て産業革命を迎え、欧米に遅れること約35年で整備が始まり、以降は同様のペースで整備が進められている。(図-4)

そして、我が国で鉄道建設が盛んであった頃、欧米諸国では1903年にT型フォードが生産されるなど、既に道路整備の時代に移っていた。当時の日本の財政力では、鉄道と道路を同時に整備することは不可能であり、日本のモータリゼーションに対応した道路整備は1956年のワトキンス報告を待つこととなる。その結果、

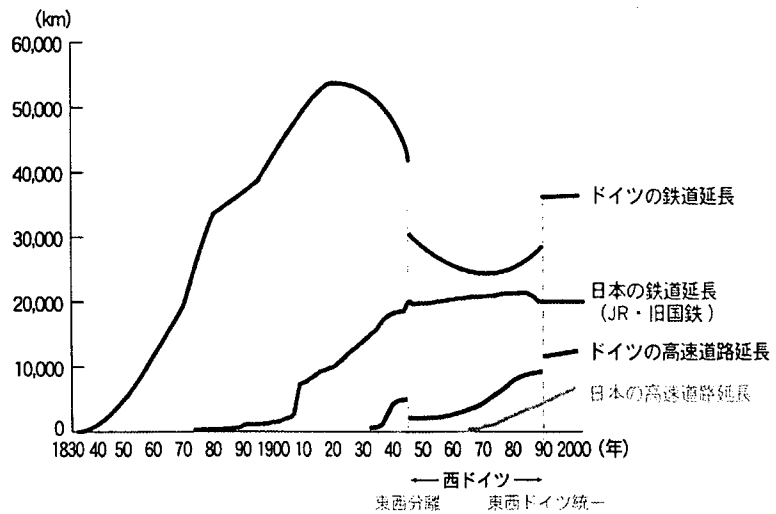


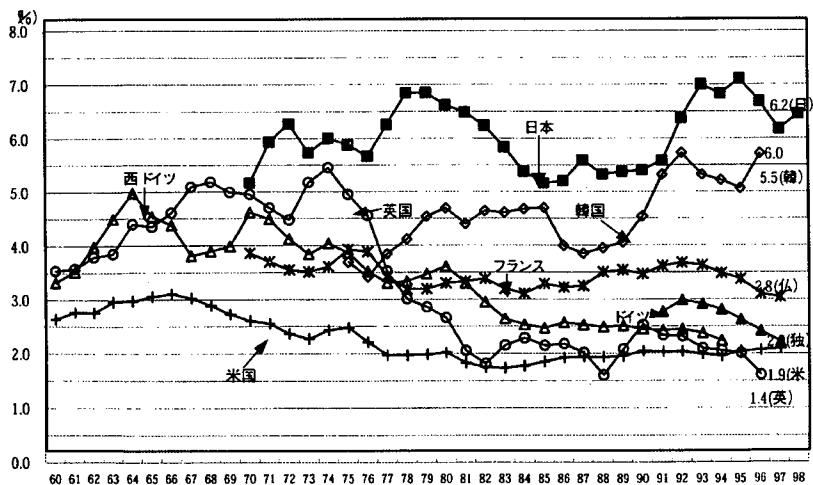
図-5 日独の鉄道・高速道路の延長比較

高速道路についても欧米先進国に約30年間遅れて整備を進めていることになる。(図-5)

社会資本整備の欧米に対する遅れは、下水道でも見うけられ、その普及率は、イギリスの97% (1995)、ドイツの92% (1995) に対して、日本は約60% (1999) であり1960年頃のドイツのレベルでしかない。

このように、日本は欧米先進国に比較して約30年遅れで、厳しい自然条件の中、社会資本の整備を進めている。

日本が欧米先進国と比較して約30年遅れで社会資本を整備していることは、公共投資の対GDP比の経年変化からも明らかである。今から約30年前の1970年には、欧米先進国においても、公共投資のGDP比はイギリス5.0%、ドイツ4.5%と高かった。(図-6)



- (注) 1. 諸外国は暦年、日本は年度である。  
 2. 諸外国は、「National Accounts, Detailed Tables, Volume II (OECD)」より。  
 3. 日本は、「国民経済計算年報 平成12年版経済企画庁(平成12年3月)」より。  
 4. 内閣府作成。

図-6 一般政府ベースI<sub>g</sub>のGDPに占める割合の推移

(平成13年第7回経済財政諮問会議資料より)



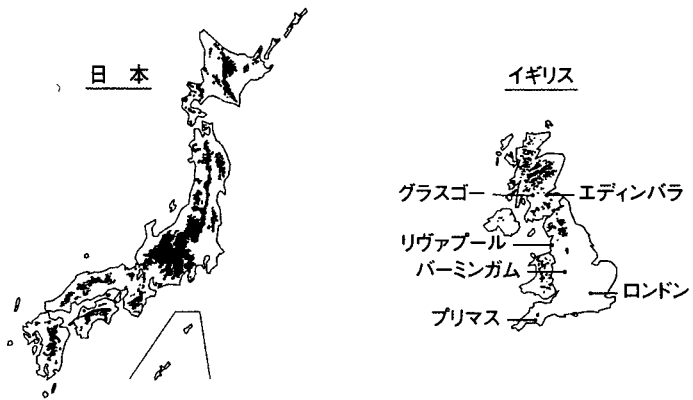
### 3. 2 日本の国土が必要としている社会資本の分野と整備水準

我が国は地理的、地形的にも各種の自然災害を受けやすい環境にあり、近年においても兵庫県南部地震や鳥取県西部地震による災害、北海道有珠山や東京都新島の火山活動の活発化による災害が発生しており、また豪雨による水害や土砂災害が頻発している。

公共投資をとりまく自然条件は国により異なるが、日本のそれは世界的に見て大変厳しい状況にある。主な例を以下に挙げる。

#### (細長い列島の中央部を縦断する急峻な脊梁山脈)

図-7に示すように我が国には列島の中央部に位置する急峻な脊梁山脈があり、広域的な交通ネットワークを構築するためにはこれらを横断しなければならない。このため平地部が少ないことも含めて、道路、鉄道などの整備においては、トンネルや橋梁といった構造物が多くなる傾向にある。また、数多くの構造線、断層と脆弱な地質が分布しているため、構造物の構造の強化が必要である。また、これらのネットワークは災害や将来の更新を踏まえて構築することが必要である。



注) 緑色の部分が標高500m以上の高地

図-7 急峻な脊梁山脈が列島を縦断する我が国の国土

(「平成12年 国土建設の現況」建設省、p.114より)

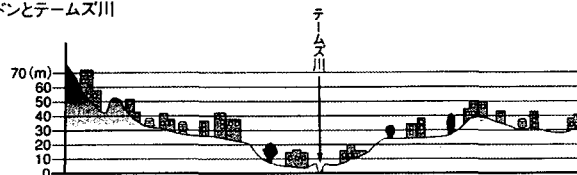
#### (アジア・モンスーン地域の台風常襲地帯に位置する国土)

我が国は台風や気象前線等による大雨の影響を受け洪水や土砂災害が起りやすいため、堤防の強化やダム建設、砂防ダムや急傾斜地の補強などの対策を講じる必要がある。また、地質構造線、断層と脆弱な地質が数多く分布しており土砂災害が起りやすくなっている。

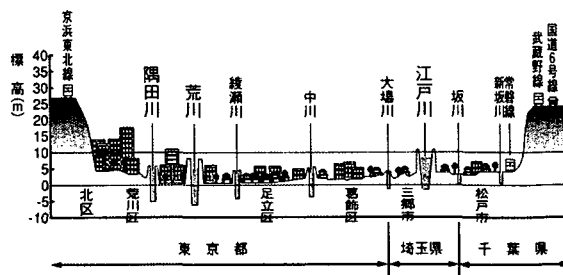
#### (洪水時の河川水位より低い位置にある都市)

洪水時の河川水位をについて欧米先進国と我が国の状況を比較すると図-8に示すとおりであり、河川堤防の必要性や効果が大きく異なっている。

●ロンドンとテムズ川



●東京と江戸川・荒川・隅田川



日本の都市の大部分は洪水時の河川水位より低い位置にあり、水害を受けやすい地理的条件にある。  
資料) 建設省作成

図-8 地盤の大半が洪水時の水位より低い日本の都市

(「平成12年 国土建設の現況」建設省、p.116より)

**(若齢な軟弱地盤である沖積平野に展開する市街地)**

諸外国の都市の多くは200年前に形成された洪積層の堅固な地盤上に立地していることが多いのに比べて、東京・大阪・名古屋などの我が国の主要な都市は、過去1万年前に堆積した軟弱地盤に立地している。軟弱地盤は構造物を支える力が弱いため、地盤改良や基礎杭を深く設置する等の対策が必要となる。

**(洪水氾濫区域に極めて高密度に集中している人口・資産)**

図-9に示すように、我が国では資産の集中する都市の多くが氾濫原に立地しているため、高い整備水準の洪水対策を必要とする範囲が広がる。

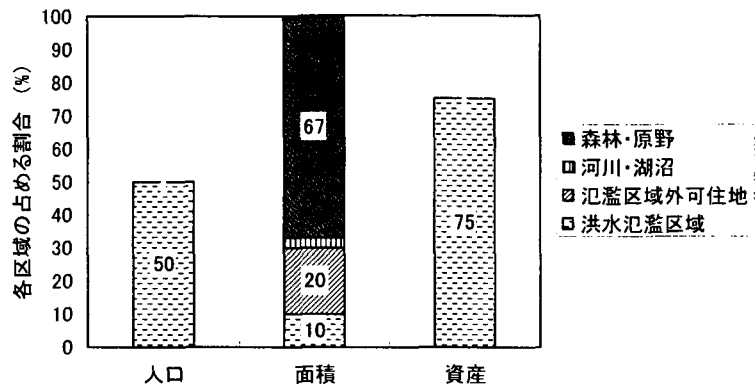
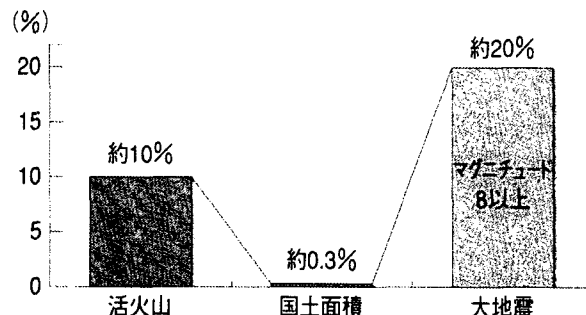


図-9 洪水氾濫区域に集中する人口と資産

(第3回地方分権改革推進会議小委員会(平成13年10月12日)資料より作成)

**(全世界のM8.0以上の地震の約20%が周辺地域で発生し、活火山の約10%を有する国土)**

図-10に示すように、我が国の面積は全世界の陸地面積の約0.3%であるにもかかわらず、地震や火山の数が多い。このため、建築物や橋梁などの構造物は基礎部分の強化や支持構造の強化などによる耐震性強化の対策を講じる必要がある。また、火山の噴出物による土砂災害防止のための砂防施設など必要である。



注) 1. 国土面積は、南極大陸を除き、地球上の陸地面積に対するもの。(国立天文台「理科年表」より)  
 2. 世界の活火山約800に対して、日本の活火山数は79。(「火山の事典」(朝倉書店)より)  
 3. 大地震は20世紀(1901年~1994年)におけるマグニチュード8.0以上のものとした。世界計は51回、うち日本計10回。(地震の事典」(朝倉書店)より)

図-10 日本国土と活火山・大地震

(「平成12年 国土建設の現況」建設省、p.118より)

**(国土の約60%に及ぶ積雪寒冷地域)**

我が国には厳しい条件下にある多雪地域があり、その地域には雪崩や吹雪対策、交通やエネルギー供給などライフラインの確保のための防雪施設や雪処理施設等の整備が必要である。

このように自然条件は、必要な公共投資の内容やコストに跳ね返ってくるため、公共投資規模を考察する場合には、社会資本をとりまく自然条件にも着目する必要がある。

なお、自然条件が厳しいと同様の社会資本を整備する場合にもより多くの公共投資が必要になるが、この点については第5章で述べる。

### 3. 3 急速に発展しつつけるアジア諸国

社会資本の蓄積という視点からは、欧米先進国のみならず、急激な発展を続けるアジア諸国の状況に目を向けることも必要である。

アジア諸国の実質経済成長率は、我が国や韓国はマイナスであるものの、台湾 4.3 % (1998)、中国 8.8 % (1998)、シンガポール 6.8 % (1997)、インド 5.0 % (1997) と比較的高いレベルを推移している。また、人口に着目してみると、アジアの人口は約 3.6 億人と世界の人口の 60 % を超えており、特に中国は 1.2 億人強、インドは 1.0 億人弱と、この二カ国だけで世界の人口の 40 % 弱を占めている。世界最多の人口を有する中国の年平均増加率は 1.0 % (1990-1998) と低下してきており、我が国に続いて高齢者社会を迎えることになると思われる。一方、インドは 1.9 % (1990-1998) と比較的高いレベルを保っており、将来中国を追い抜くような状況となっている。

このような社会状況のもと、これらの国々では、社会資本の整備が急ピッチに進められており、例えば高速道路の整備は表-2 示すような状況となっている。特に、1987年に高速道路の整備を始めた中国は既に 16,000km を整備しており、日本 (約 6,800km) を大きく上回っている。国土が広大であることから達成目標も大きく、現在も、年間 3000km のペースで建設を進めている。

表-2 アジア諸国の高速道路整備状況

	初の供用	1985年	1990年	1995年	2000年	長期目標
日本	1963年	3,721 km	4,869 km	5,932 km	6,861 km	11,520 km (21世紀初頭)
中国	1988年	0 km	522 km	2,141 km	16,314 km	35,000 km (2010年) 55,000 km (2020年) 80,000 km (2040年)
韓国	1968年	1,415 km	1,551 km	1,825 km	—	3,710 km (2005年) 6,160 km (2021年)
台湾	1974年	—	—	447 km	—	
シンガポール	—	73 km	104 km	132 km	—	

(社会資本整備審議会道路分科会基本政策部会資料より)

一方、鉄道の状況を見てみると、我が国の営業キロ数は 20,200km であるのに対して、インド 62,700km、中国 57,600km となっている。旅客の輸送量は、前記 3カ国は 3,800 ~ 3,900 億人・km とほぼ同レベルであるが、中国が急激に伸びている。また、貨物の輸送量は我が国の 229 億トン・km に対して、インド 2,783 億トン・km、中国 12,247 億トン・km と非常に多くなっており、中国が急激に伸びている。(参考文献 8) また、台湾では新幹線の工事が行われており、完成後の台湾経済への波及効果が期待されている。

#### 4. 社会資本の維持・更新

##### 4. 1 維持・更新の課題

我が国は欧米先進国と比較して急激に高齢社会に移行しており、福祉関係予算の増大や税収減が予想されるなか、欧米先進国以上に厳しい条件で、社会資本の維持・更新を進めることとなる。このため、公共投資を議論する場合には、社会資本の整備とあわせて円滑な維持・更新が行われるように意識する必要がある。

第3章で述べたように、日本は欧米先進国と比較して約30年遅れで、厳しい自然条件の中、社会資本の整備を進めてきているが、戦後急速に整備され長期に活用されてきた社会資本も更新時期を迎えようとしており、的確な対応が求められている。維持・更新を適切に行わないと、社会資本の大きな機能低下をまねき、回復に多大な労力・費用を要することになる。

社会資本の維持・更新が将来の大きな課題となる社会資本の例として、橋梁をあげることができる。図-11に示すように経年数が50年をこえる橋梁数が20年後には大幅に増加し、橋梁の耐用年数を50年として考えると、20年後には、橋梁を更新するために多大な公共投資が必要となる。

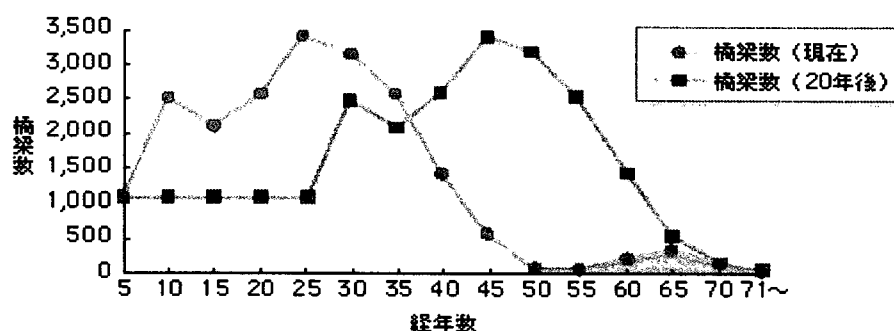


図-11 道路ストックの経年数別数量の変化

(「平成12年 国土建設の現況」建設省、p.370より)

一方、ダム貯水池でも機能の維持・回復が課題としてあげられている。流域で生産された土砂の一部はダム貯水池に流入・堆積し、水を蓄えるというダム貯水池の機能が徐々に失われていく。ダムの寿命は100年といわれることがよくあるが、適切なサイトに造られたダムの寿命はそんなに短いものではなく、適正な管理を行っていけば、安全性が損なわれることもない。今、戦後急速に整備されてきたダムも半世紀以上活躍してきたことになるが、新しいダムを含めて永く活躍できる環境を整えることが求められており、堆砂対策を機能維持という視点で捉えることが必要である。機能を回復させるには種々の方策が考えられるが、貯水池の機能を休止し、貯水池を空にして対策を実施すること効率的となる場合が多い。この場合には、交通のネットワークと同じように代替施設を用意することが必要となる。しかし、逼迫した水需給の状況や治水安全度が十分ではない現状では極めて難しく、将来の対応策として意識していくことになる。

#### 4. 2 社会資本ストックの戦略的管理・運営

厳しい財政・環境の制約下のもとでは、これまで蓄積された大量の社会資本ストックの更新・維持補修ニーズに対応していくことが困難な状況になることが考えられ、中長期的な視点からの総合的マネジメントシステムの構築が求められている。具体的には、単に構造物の寿命を延ばすだけでなく、適切な補修・補強・転用技術を開発し、それらを効果的に活用することによって、更新ピークを平準化すると共に、更新・維持管理コストの最小化を図るといふ、いわゆるアセットマネジメントの手法の構築である。

この課題に対応するため、国土交通省では総合技術開発プロジェクト「社会資本ストックの管理運営技術の開発」（平成 14 ～ 16 年度）を立ち上げており、国土技術政策総合研究所もプロジェクト研究として重点的に取り組んでいるところである。

その開発技術の内容は表-3 に示す通りである。

表-3 社会資本ストックの管理運営技術の開発の概要

社会資本ストックの診断・延命・転用技術及び評価技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現状性能・機能評価技術の開発</li> <li>・維持管理・転用技術の評価技術の開発</li> <li>・施設の活用期間をコントロールする技術の開発</li> </ul> <p>（別の用途で使用可能か、必要な機能が確保できるかを判断する技術がないため解体・更新されてきたものがある。）</p>
個別施設の維持管理計画技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・環境影響、所要投資、サービス水準を含めた総合的観点から、個別施設の管理・延命・転用方針の立案・評価技術を開発</li> </ul>
戦略的ストックマネージメント計画技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・環境影響、所要投資、サービス水準を予測・評価し、設定したマネージメント単位全体の管理運営を最適化する技術の開発</li> </ul> <p>（個々の施設を最善に維持する計画を重ね合わせるだけでは、環境影響、所要投資、サービス水準の面で、全体としての最適な計画を得ることはできない。）</p>

この戦略的ストックマネージメント計画技術を用いることにより、以下の項目の実現が図られることになる。

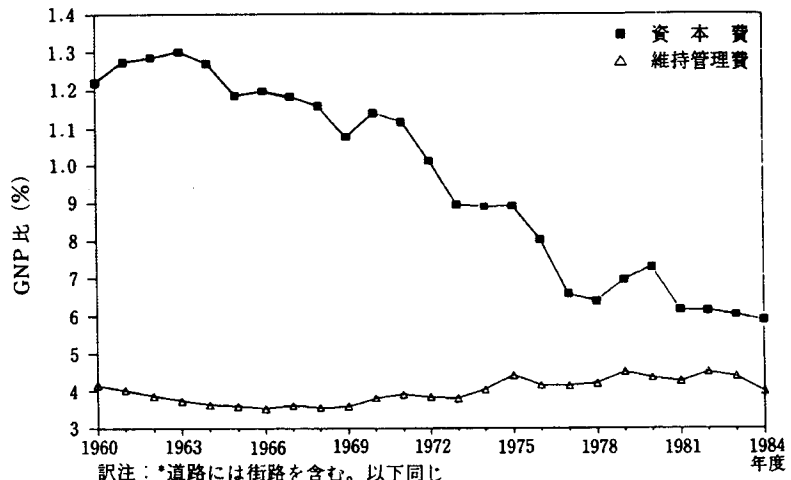
- ① 環境及び財政制約下での社会資本ストックの機能維持や有効活用と延命化
- ② 維持管理、更新の集中を平準化することで環境負荷の低減（廃棄物のリデュース）、や財政運営の安定化

また、地域単位における適用事例としては、サステイナブルな社会資本ストックとしての建築物の実現やサステイナブルな道路ネットワーク、ライフラインの確保が見込まれる。

#### 4. 3 アメリカ合衆国の経験

日本より、社会資本の蓄積が早く進められた欧米先進国のうち米国において、今から約30年前の1970年代に、維持管理が不充分であったために社会資本の大きな機能低下を招き、その復興に多大なエネルギーを要した事例がある。この事例は、極めて重要な経験として、公共投資を議論する場に取り入れなければならない。

米国では、1960年代半ばから1980年にかけて、道路及び橋梁の資本費(更新費用含む)のGNP比が半分近くに減少しており(図-12)、1981年に「荒廃するアメリカ」(米国州計画機関評議会編)が発行され社会資本の大きな機能低下が指摘されることになる。1983年には、図-13に示すように橋梁の欠陥比率が、全橋梁の約46%に達している。

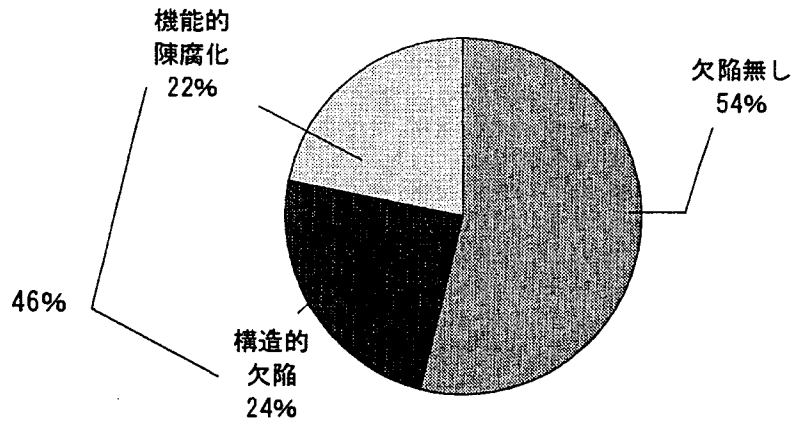


SOURCE : Apogee Research Inc. from U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration

図-12 米国の道路及び橋梁への公共支出合計

(公共事業改善全国審議会編、和田憲昌訳「脆弱な社会基盤」開発問題研究所、1989年、p.51より)

「荒廃するアメリカ」の現象をうけて、財政支出の大幅カットによる「小さな政府」をめざしたレーガン政権においてすら「1982年陸上交通援助法案」が成立し、1959年以降一定となっていたガソリン税と軽油税の大幅引き上げが行われ、州際高速道路等の再建のための道路投資の拡大を目指すこととなる。



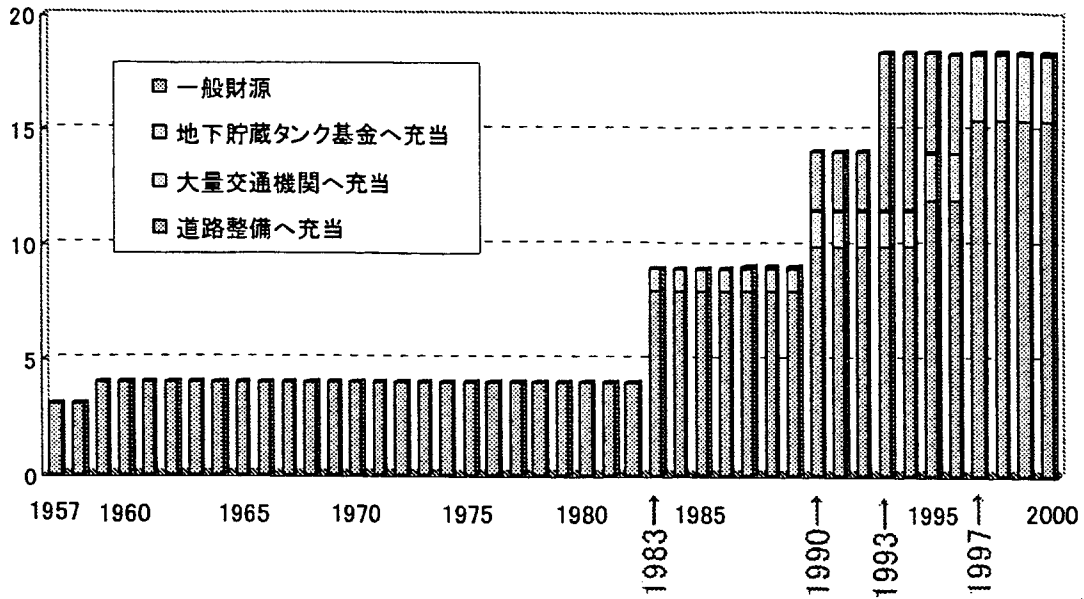
和田憲昌著「アメリカ社会資本のメンテナンス市場」  
問題開発研究所、1987年、p.93より作成

図-13 米国欠陥橋梁の比率

(道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会資料より)

その後も、総合陸上輸送効率化法(1992~1997年)、21世紀陸上交通最適化法(1998~2003)により、道路整備の財源が確保・補強され、老朽化した道路施設の再生が進められている。(図-14、15)

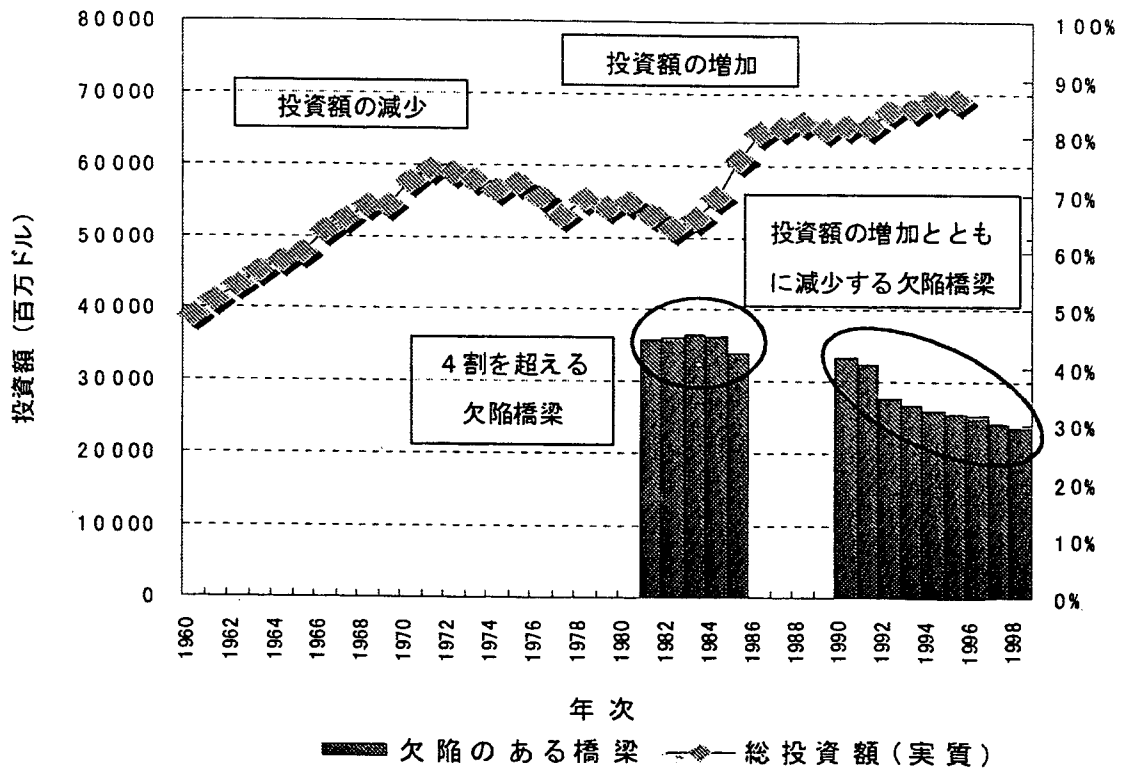
(セント/ガロン)



Highway Statistics (1995-2000) より作成

図-14 米国の燃料税率の推移 (ガソリン)

(道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会資料より)



Highway Statistics Summary to 1995, Highway Statistics 1999, 1999年C&P議会報告、アメリカ経済白書他より作成

図-15 投資額と欠損橋梁の割合の経年変化

(道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会資料より)



## 5. 社会資本の整備・運営にあたっての課題

### 5. 1 日本の自然と社会条件

第2章で述べたように、自然条件の厳しさは国づくりに必要な社会資本の範囲や整備コストにも跳ね返ってくるため、同様の施設をつくる場合でも、自然条件が厳しいことにより必要なコストは高くなる。このため、諸外国と比べて自然条件の厳しい我が国の社会資本整備では、このようなコストの面での問題が極めて重要な意味を持つことになる。すなわち、効率的な公共投資の観点から、なお一層のコスト縮減への努力が求められることになる。

外国と比較して我が国の工事コストは高いとよく言われるが、これは当に自然条件や社会条件を考慮していない議論であることが多い。例えば、高速道路の建設においては、地形の影響から橋・トンネル等の構造物が必要となることや高い用地費により、米国の約2倍のコストがかかるという試算がなされている(図-16、17)。

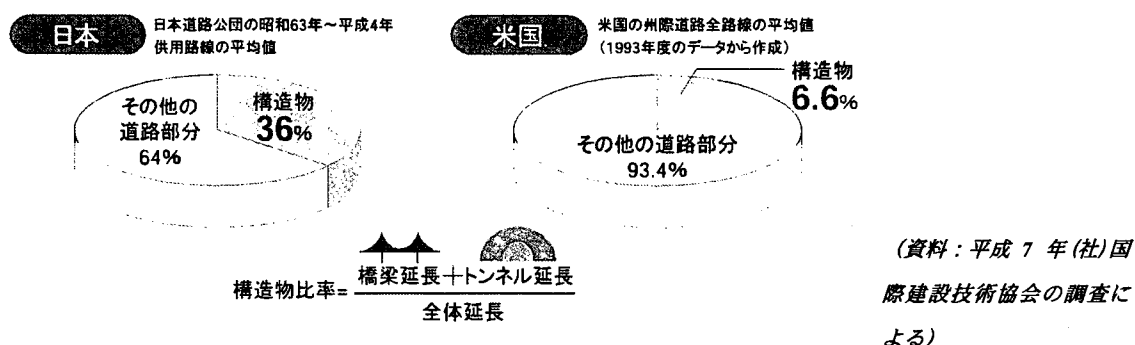
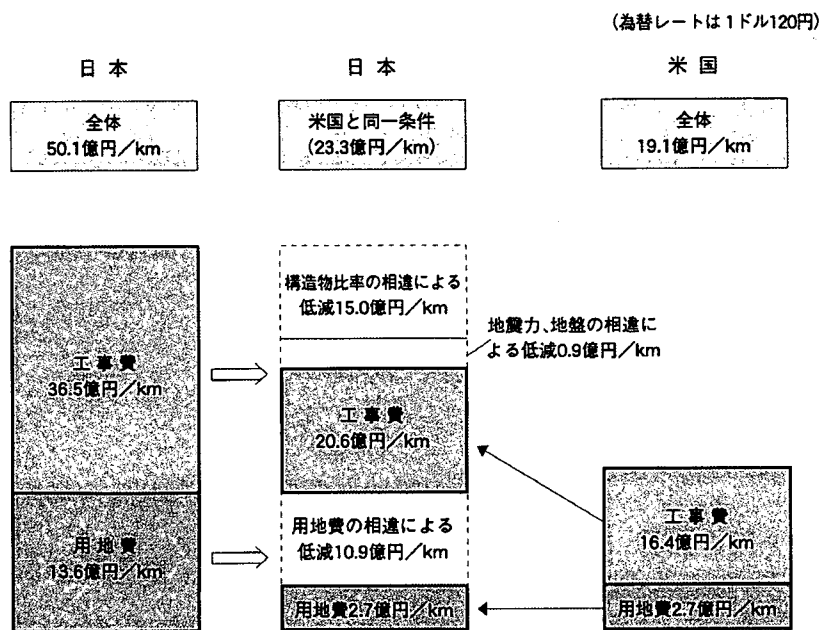


図-16 日本と米国の構造物比率の比較



注:1.日本のデータは、昭和63～平成4年度供用路線の平均値。  
2.アメリカのデータは、1990年代に供用および現在事業中の州際道路等12路線の平均値。  
3.労務単価、資材単価、地質条件の相違による工事費の低減は考慮していない。

(国土交通省道路局ホームページより)

図-17 日米高速道路コストの比較

## 5. 2 総合的なコスト縮減に向けて

国と地方自治体が共に財政事情が厳しい状況のもとで、限られた財源を有効活用し、効率的に事業を実施していくためには、公共工事におけるコスト縮減を図っていくことが重要である。冒頭述べたように、未だ不十分な我が国の社会資本の整備の現状をみると、限られた投資で効率的な整備を進めるためには公共事業のコストについて抜本的な改革が必要と考えられている。コスト意識をもって施策の効果や行政の効率性を点検することにより経費を削減することも求められている。

公共工事のコスト縮減については、平成9年1月に「公共工事コスト縮減対策閣僚会議」を設置し、平成11年度までの3カ年で工事コストを10%縮減することを目標とする「公共工事コスト縮減に関する行動指針」を同年4月に策定し、政府全体としての取り組みを開始した。この指針を踏まえて、関係各省庁において様々なコスト縮減策が実施され、平成12年9月のフォローアップによれば、この目標は概ね達成されている。このコスト縮減の取り組みの中では新たな技術の開発が求められ、技術基準類の見直しや工事ごとの設計・工法・材料等に対する多くの現場での工夫等により成果をあげてきた。

しかし、工事コストは公共事業に伴う種々のコストの一部に過ぎないことから、これまでと同様の手法でのコスト縮減には限界があるのも事実であり、新しい取り組みが必要とされてきた。このため、引き続き直接的な工事コストの縮減に取り組むと共に、工事の時間的コストやライフサイクルコスト等も加味した総合的なコスト縮減を図ることが必要であるとの認識から、平成12年9月に「公共工事のコスト縮減に関する新行動指針」を策定し、表-4に示す5つの分野の施策について、平成20年度末までに実施することとしている。

現在、国土技術政策総合研究所では、工事コスト以外の様々なコストの縮減効果を評価する仕組みについて検討を進めている。

表-4 総合的なコスト縮減の構成

工事コストの低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 工事計画・設計等の見直し</li> <li>・ 工事発注の効率化等</li> <li>・ 工事構成要素のコスト低減</li> <li>・ 工事実施段階での合理化等</li> </ul>
工事の時間的コストの低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 工事期間の短縮</li> </ul>
ライフサイクルコストの低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 施設の耐久性の向上</li> <li>・ 施設の省資源・省エネルギー化</li> <li>・ 環境と調和した施設への転換</li> </ul>
工事における社会的コストの低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 工事におけるリサイクルの推進</li> <li>・ 工事における環境改善</li> <li>・ 工事中の交通渋滞緩和対策</li> <li>・ 工事中の安全対策</li> </ul>
工事の効率性向上による長期的コストの低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 工事における規制改革</li> <li>・ 工事情報の電子化</li> <li>・ 工事における新技術の活用</li> </ul>

なお、平成14年8月の「経済財政諮問会議」で国土交通大臣より「コスト構造改革」に取り組んでいくことが表明され、国土交通省として、「事業のスピードアップ」、「設計の最適化」、「調達の最適化」の3点に主眼をおいて見直しを進めることとしている。

のように、計画策定から事業執行のあらゆる面で改革が進められようとしている。

設計の最適化については、計画・設計に関する規格をそれぞれの地域に応じて見直すことや民間の技術提案を積極的に受け入れる仕組みを作ることもあわせて、これまでの取り組みにおける技術的なブレークスルーを図るものである。

### 5. 3 民間技術を活用する多様な入札・契約方式

社会資本の品質を確保しつつ建設コスト縮減等を実現する大きな柱となるのが、民間が持つ技術力の活用である。民間における技術による競争の促進と、民間技術の積極的な活用を図ることを目的に、表-5に示すような、多様な入札契約方式が国土交通省の直轄事業を中心に試行されてきている。なお、国土交通省あるいは国土技術政策総合研究所の種々の取り組みの現状については、下記の文献で現状を報告している。

・土木技術資料 Vol.44-No.11, 2002年11月

特集「民間技術を活用する多様な入札・契約方式の取組み」

表-5 多様な入札・契約方式の実施件数の推移

年度	9	10	11	12	13		
設計・施工一括発注方式	2	1	1	5	14		
性能規定発注方式（舗装工事）	—	2	14	28	53		
総合評価落札方式	—	—	2	6	34		
VE方式	入札時VE	対象工事件数	35	17	20	14	52
		うち目的物変更を認める設計・施工提案型	—	—	2	10	8
	契約後VEの対象工事件数	101	134	282	320	1,524	
マネジメント技術活用方式	—	—	—	—	4		
出来高部分払方式	—	—	—	—	7		

（国土交通省8地方建設局：旧建設省関係分）

注：同一工事において複数の方式に計上されている場合がある。

このように、調達最適化については、民間調達方法の優れた部分の導入を図りながら、官民の技術力を結集できる調達を確立するとともに、公共発注における予定価格、積算、発注単位、入札、契約などに関する制度的な制約などについても改正を視野に入れて検討を行うものである。

### 5. 4 事業の効率性・透明性の向上

公共事業の効率性とその実施過程の透明性の向上を図るためには、個々の具体的なプロジェクトごとに、事前、事業途中、事後のそれぞれの段階で、費用対効果分析を含め、事業評価を行うことが重要である。近年、新規採択時の事前評価、事業途中での再評価、事後評価において、プロジェクトの性格に応じた種々の取り組みが行われている。

国土技術政策総合研究所では、技術的外部経済・不経済の評価及び将来の不確実性への対応を課題として、プロジェクト研究「公共事業評価手法の高度化に関する研究」を進めている。

事業を効率的に進めるためには、意思決定プロセスの中でのパブリック・コミュニケーションの役割は極めて重要であり、数多くのプロジェクトにおいて様々な取組がなされている。事業の関係者の意思の疎通が図られれば、結果として事業のスピードアップにつながることになる。

## 6. おわりに

公共投資のもつ機能にはストックとフローがあるが、本来の使命は効果的な社会資本ストックの形成であろう。しかし、国際社会との調和の観点から我が国の経済を内需主導型に転換することが求められてきたことから、これまで公共投資は内需振興政策としてのフローの機能を重視とするものとされてきた。このため、近年の補正予算も公共投資に重点がおかれたものであった。我が国では整備すべき社会資本が多々あることは先に述べたとおりであり、フローを確保するという目的の補正予算ではあるが、同時に社会資本の整備を着実に進捗させるのに極めて有効であったことは明らかである。

平成14年度当初予算では公共投資が10%削減されるなど、現在は景気の低迷、財政の悪化等から公共投資を如何に押さえるかという時代となっている。

社会資本ストックも着実に蓄積されて新規建設に加えて既存施設の有効活用も重視されるようになってきている。また、新しい社会資本として下水処理の高度化や環境の復元等の環境社会資本も求められるようになってきている。そして成熟社会を迎え、既存のあらゆるシステムが制度疲労を起こしているといわれる今、社会資本整備も変わっていかねばならないと考える。また、汚職、談合などの不祥事が噴出し、公共事業は悪との論調もあり、公共投資に対して、効率性、透明性が求められていることも忘れてはならない。

社会資本整備については今まで以上に、事業の効率性の向上、コスト縮減、公正性の確保に努めることは当然のこととして、その規模の決定にあたっては、対GDP比のような一つの数字で考察するのではなく、これまで述べてきたような各種視点を踏まえて、十分な議論がなされることが必要である。公共投資の規模は、本来、その内容、必要性、役割、社会的・歴史的背景、自然条件等について十分検討して決定されるべきものであり、仮に諸外国の公共投資の状況を参考とするにしても、各国のこれらの条件について把握しておくことが大切である。

## 参考資料

- 1) 経済企画庁総合計画局編「今つくる明日への社会資本」大蔵省印刷局、1991年
- 2) 経済企画庁総合計画局編「日本の社会資本」東洋経済新報社、1998年
- 3) 大蔵財務協会編「平成13年度版 財政データブック」大蔵財務協会、2001年
- 4) 地域政策研究会編「行政投資」地方財務協会、2001年
- 5) 竹内洋編「日本の財政（平成12年度版）」東洋経済新報社、2000年
- 6) 建設経済研究所編「縮小が続く建設市場と建設産業の活路」大成出版社、2002年
- 7) 「平成12年 国土建設の現況」建設省
- 8) (財) 矢野恒太記念会編「世界国勢図会 第11版」国勢社、2000年
- 9) 中島威夫・西川和廣・吉本俊裕・金子正洋「梅棹忠夫先生が語る「日本文明と社会資本」」国土技術政策総合研究所資料No.47,2002年
- 10) 田崎忠行・中島威夫・吉本俊裕・金子正洋「国土形成史から見た社会資本整備一道は歴史を運ぶ大地の川」国土技術政策総合研究所資料No.13,2002年
- 11) 木下良著「道と駅」大巧社、1998年
- 12) ケンペル著・斉藤信訳「江戸参府旅行日記」平凡社東洋文庫 303、1977年

- 13) ツェンペリー著・高橋文訳「江戸参府随記」平凡社東洋文庫 583、1994 年
- 14) ジーボルト著・斉藤信訳「江戸参府紀行」平凡社東洋文庫 87、1967 年
- 15) 藤井友竝・中島威夫・吉本俊裕・金子正洋「水と国土形成史」国土技術政策総合研究所資料No.43,2002年
- 16) 童門冬二著「江戸の都市計画」文藝春秋 038、1999 年
- 17) 佐藤俊郎著「利根川 その治水と利水」論創社、1982 年
- 18) 利根川百年史編集委員会・国土開発技術研究センター編「利根川百年史」建設省関東地方建設局、1987 年
- 19) 堀越正雄著「水道の文化史」鹿島出版会、1981 年
- 20) B・R・ミッチェル編著、北村甫監訳「アジア・アフリカ・大洋州歴史統計」東洋書林、2002年
- 21) B・R・ミッチェル編著、中村宏・中村牧子訳「ヨーロッパ歴史統計」東洋書林、2001年
- 22) 公共事業改善全国審議会編・和田憲昌訳「脆弱な社会基盤」開発問題研究所、1989 年
- 23) 佐藤 浩「民間技術を活用する多様な入札・契約方式の取組みー改革への挑戦」土木技術資料 Vol.44-No.11、2002 年

**最近の洪水事例と対策等について**  
**－ヨーロッパの洪水情報を含めて－**

河川研究部長

**近藤 悟**

最近の洪水事例と対策等について  
ーヨーロッパの洪水災害情報を含めてー

河川研究部長 近藤 悟

1、はじめに

明治以来の河川改修への努力により例えば国管理の河川の堤防についてみると堤防延長の約半分強が完成堤防で、計画高水位の高さまで築堤されている暫定堤防を含めると約 8 割を超えるなど河川改修は進み、近年は洪水氾濫の発生頻度や面積は減少してきている。しかし、高度経済成長期以降の都市化の急激な進展に伴い氾濫原の宅地化等が進み、大都市に限らず地方中核都市等においても予想を上回る洪水などによる氾濫時の想定被害額は逆に増大してきている。

一方、洪水をもたらす雨については過去の降雨記録から、いつでもどこでも豪雨は起こりうる状況であり（S32 諫早水害、S57 長崎水害、H6 宮城県水害、H10 余笹川水害、H12 東海豪雨）、特に近年、地球温暖化等によりその頻度が増大する可能性が危惧されている。このような洪水に対しては河川改修などの構造物による対応に加え、予警報や土地利用等の非構造物による対応が必要となっている。堤防等の構造物については、工学的体系化を図るとともに、未解明点が多い洪水の挙動を水害の事例から逐次明らかにし、得られる教訓を計画や設計に活かしていくことが必要である。また、予警報等についても人工衛星による観測、高精度センサーの開発、数値シミュレーション技術やコンピューター等の IT 技術等の発達を取り入れ、より効率で効果的なものとしていく必要がある。

本報告は、このような観点から、水害事例の分析及び対策、最近の予警報の研究課題、最後にこの夏のヨーロッパ洪水災害に関する最新情報について河川研究部河川研究室や危機管理技術研究センター水害研究室等におけるこれまでの研究成果等について既に発表されてきた論文等を用い紹介するものである。

2、水害事例から学ぶもの

20 世紀に入って死者・行方不明者数が千名以上の水害は 9 回発生したが、1959 年（伊勢湾台風）以降は発生していない。水害の発生形態の変化を見ると、戦後～1950 年代は大河川において、破堤・高潮災害が発生して甚大な被害となった。特に 1953 年には梅雨前線豪雨等により 3 兆円以上（価格換算）という史上最高の水害被害額となったし、伊勢湾台風では貯木場の流木が高潮により運ばれ、5 千名以上の死者が発生した。1960～1980 年代は、多摩川（昭和 49 年）、石狩川（昭和 50 年）、長良川（昭和 51 年）などの大河川水害とともに、都市水害が増加し、顕著な土砂災害も発生した。神田川流域では河川・下水道からの氾濫被害、鶴見川流域では流域開発及び河道改修の進捗を上回る都市化に伴う浸水被害、元々浸水が多かった寝屋川・天白川流域では浸水地域の都市化に伴って都市水害が発生した。土砂災害としては天草水害（1972）、小豆島の災害（1976）、長崎水害（1982）、山陰水害（1983）が顕著な事例で、100 名以上が犠牲となった。

1990 年代からは都市への水害が集中し、鹿児島（1993）に始まり、新潟・埼玉・高知（1998）、



福岡・山口(1999)と地方中核都市が相次いで被害を被った。そして、2000年には東海豪雨災害により三大都市圏名古屋が浸水被害を被った。1990年代後半以降は、人口・資産が集積した都市域が被災したため、水害被害密度(一般資産等水害被害額/農地を除いた浸水面積)が急増し、東海豪雨では被害の90%以上が一般資産等(一般家庭、事業所)被害となり、各種都市機能がマヒするという典型的な都市水害の様相を呈した。

水害の発生形態は、河川改修事業の進展や社会経済状況の変化に伴い変化してきており、このような変化に対応するため近年の水害の被災原因を解明し、その教訓を今後に生かして行く必要がある。一方、川が本来持っている特性に起因する被災原因もあり、これらについてもあわせて解明していく必要がある。本報告ではこのうち留意すべき項目を中心に記述した。水害事例は河道・洪水特性の違いを考慮して、地形(河道セグメント)毎に分類して、以下に記述した。

### 3、近年の水害事例

#### 3. 1、山間地における水害

##### 3. 1. 1、平成11年8月 酒匂川支川玄倉川(神奈川県山北町)

事故現場は、酒匂川水系主要な支流の一つである玄倉(クロクラ)川の河川敷にある。当地点は三保ダムのダム湖「丹沢湖」のバックウォーター直上にある立間堰堤上の堆砂地で、川幅は約100mである。当日の雨量は349mm/29時間で一年に1,2回起こる程度の普通の雨と言われている。

・河原でキャンプ → 大雨による増水 → キャンパー18名が濁流に呑み込まれ、13名が水死  
ダムからの放流 ↓

この事故では13名のキャンパーが洪水に流され、尊い命を失った。NHKが旧土木研究所に持ち込んだビデオ映像によると、キャンパーが洪水に流される直前の水深は1.2m、流速は2m/sと推定される。従って、これまでの水中歩行(現地における避難歩行調査及び実験)結果からすると、水中にたつのが非常に困難な水量である。事故発生後、自己責任や情報伝達の問題が指摘された。大雨時には玄倉川ダム管理事務所(県)や警察がキャンパーに避難を呼びかけ、数多くのキャンパーは避難した。一方、キャンプ慣れしていた人ほど、自分たちの判断で河原に残り、被災している。過去の経験から誤った判断をする、いわゆる「正常化の偏見」により被災したのが一因であると考えられるが、今後は個人が的確に判断できるような詳細な情報の提供が望まれる。

また、同種の現象として、大雨洪水警報が繰り返し出され、一部分の中しない場合もあったため、警報慣れで避難が遅れたケースや水害常襲地帯でいつものように家具の移動をしいていて避難が遅れたケース、洪水の情報が伝達されず収集する手段も無かったため被害を受けた地下街のケースなどがあり、洪水に関する情報の信頼性や出し方はきわめて重要であると言える。

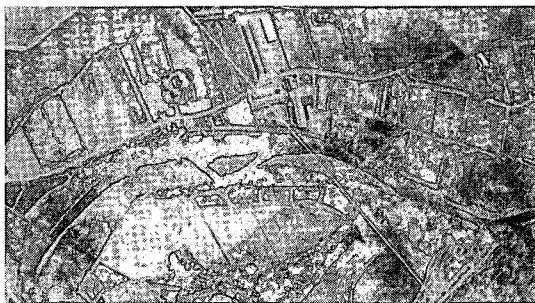
### 3. 2、谷底平野における水害

#### 3. 2. 1、平成 10 年 8 月 那珂川支川余笹川（栃木県那須町他）

福島県白川郡西郷村大字真船（阿武隈川の最上流域で余笹川最上流域那須の北西）地点の日雨量は、8月25日（9:00～9:00）13mm、26日570mm、27日285mm、28日69mm、29日279mm、30日51mm、総雨量1267mm、短時間雨量は最大時間雨量90mm、最大2時間雨量138mmで、最大日雨量の570mmは、当地点で得られている昭和21年から平成8年までの観測値の過去最大日雨量261mmを大きく超え、その確率規模は1/300程度となっている。従って、真船観測地点に近い阿武隈川上流域や那珂川上流域には極めて大規模な降雨が発生したと考えられる。

- ・急勾配河川 → 激しい流路の変動 → 土地家屋の流失
- ・豪雨による流出 → 側岸侵食による川幅拡大 → 土地家屋の流失
- ・橋梁取り付け盛り土による氾濫水の堰上げ → 上流浸水域の拡大
  - 橋梁の被災 → 取り付け盛り土の侵食・流失
  - 取り付け部地盤の侵食・流失
  - 橋桁の流失
- ・護岸背後の土砂流出 → 護岸が孤立し、背後が水路化
- ・流木による橋梁の閉塞 → 堰上げによる越水 → 浸水被害の発生

山陰水害（昭和58年）の三隅川や余笹川などに見られるように谷底平野は氾濫域が限定されているため、氾濫流の流速が早く、家屋・土地が流失する危険性がある。余笹川9km地点（寺子橋、勾配1/120）における氾濫原上の流速を計算すると、速い箇所では約4～5m/sである。流速が速いため元の河道を離れ直進する氾濫流となり、激しく流路が変



(1) 洪水前の氾濫原



(2) 洪水後の氾濫原

図-1 氾濫流による家屋などの流失状況

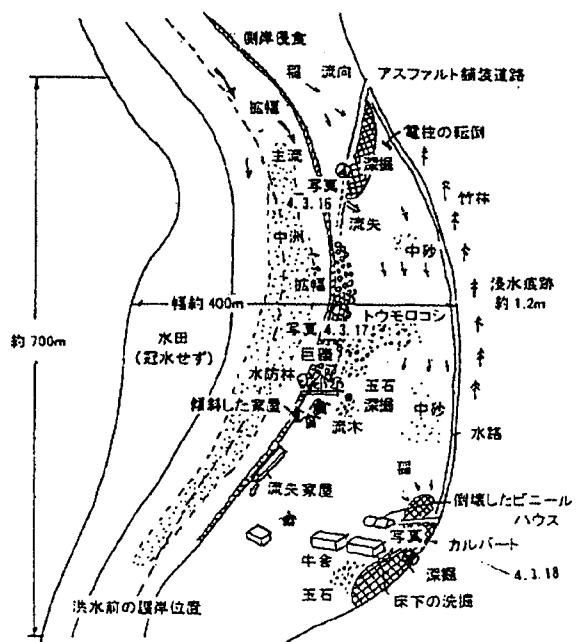


図-2 氾濫被害のスケッチ図

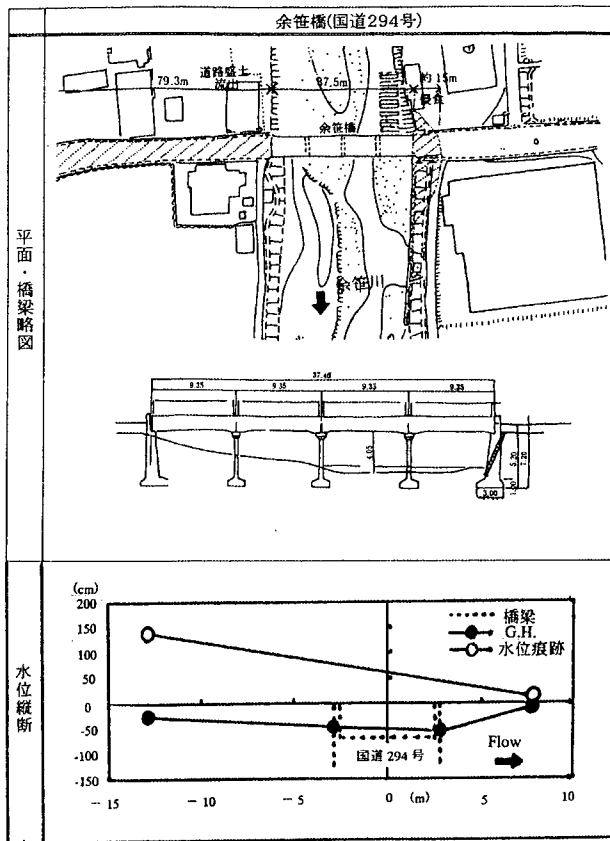


図-3 余笹橋（国道 294 号）における水位の堰上げ

これは樹林帯により氾濫流の流体力 ( $v^2h$ ) が軽減された結果である。

橋梁被害としては、余笹川の余笹橋（国道 294 号）は被災した（図-3）のに対して、位置が近く河道規模も類似の黒川の樋世原橋は被災しなかった。これは余笹橋は橋長が 38m であるのに対して、右岸の氾濫原上に 79m の取付盛土があったため結局氾濫原上の流れは架橋地点で約 1/3 の水面幅となり、橋の上下流で 1m 以上の水位差が生じた（図-3）。これにより、橋脚本体の損傷はなかったものの、取り付け道路約 60m が流失するとともに、左岸側の橋台の一部が流失した。なお、樋世原橋は橋長が道路盛土長の約 2 倍であった。従って、このような洪水実績等も踏まえて盛土長をなるべく短くする、または盛土の一部をピア形式にするなどの対応を検討する必要がある。

また、山地部では、豪雨による山腹崩壊などにより洪水時に大量の流木が流れて出し橋梁等で閉塞を起こし水位を堰上げ、急激な水位上昇をもたらし、場合によっては越水災害を起こすこともある。発生流木量については、既往の災害事例より、山腹崩壊量との間に相関関係があることが知られている。

流速が速い洪水流が発生すると天然河岸はかなりの幅で侵食被害を被る。旧（財）国土開発技術研究センターが昭和 58,59 年災を対象に実施した被災実態調査結果によると、全体で見て 1 出水で平均 20m 前後、最大で約 40m の侵食幅となっている。余笹川の場合も流路幅が洪水前後で 20~40m から 60~100m へと変化しており、大きな横侵食があったと考えられる。また、中小出水でも河岸が侵食される場合があり、例えば、利根川支川の小

動することとなる。図-1,2（石堀子橋下流約 800m 地点）に示したように、氾濫流は時には河道と異なる流域を流下し、氾濫原内の家屋、農地、樹林を流失させるなど、大きな被害をもたらす。また、この氾濫流が氾濫原に乗り上げたり、河道に戻る際には河道の側岸を侵食し、河道沿いの家屋を流失させる場合もある。この水害からは「急勾配の河川では、洪水が河道から離れて側岸侵食することを考えて、氾濫流の乗り上げや戻りに対して、十分な耐力を持った護岸等を建設する必要がある」ことが教訓として言える。

余笹川流域には元々山からの風除けとして防風林（樹林帯）が有り、これにより、家屋が流失を免れた事例も多い。余笹川の東北自動車道橋梁～黒川合流点（14km 区間）で見ると、上流側に樹林帯があった家屋の流出率は樹林帯がなかった家屋の流出率の約半分であった。こ

貝川49.2km地点では平均して約1m/年づつ河岸が侵食されている(図-4)。このように洪水時における侵食が大きい場合は、これらの事例を参考にすることで、出水前に侵食幅を確認したうえで、1 出水で侵食された場合に堤防が危険な状態とならないかどうかの評価をしておく必要がある。

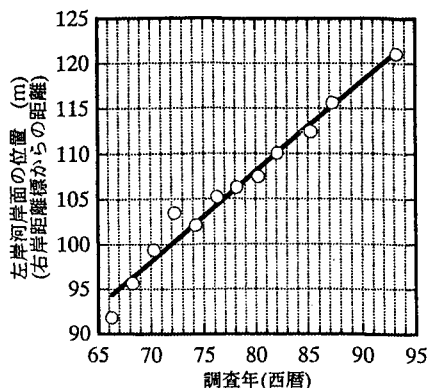


図-4 小貝川における侵食量の累積値

### 3. 3、扇状地における水害

#### 3. 3. 1、平成10年8月 狩野川支川大場川(静岡県三島市)

本州上に停滞した前線と台風4号の影響で、26日から降り始めた雨は、28日には湯ヶ島、天城、持越で時間雨量60mm以上を観測し、30日までの累計雨量は上大見で582mm、丹那で506mm、天城で687mmと狩野川台風を上まわる総雨量を記録した。三島では総雨量430mm、最大時間雨量47.5mmであった。

・河床掘削→河床が砂層→出水で河床洗掘→護岸流失

平成2年9月の豪雨災害後、疎通能力増大のために河床を約2m掘削する河川改修工事を実施した結果、砂層が出てきて、河床材料がれきから砂へと細粒化した。そこへ台風4号などによる集中豪雨に伴って、高流速の洪水が発生して、大量の河床材料が押し流され、局所的には約1m河床低下(改修前に対しては約3m)となるなど、洪水前と比べて落差工間で凹状の河床縦断形状に変化した。この河床洗掘の結果、護岸が流失したり、側岸が侵食されるなどの被害が発生した(図-5)。この水害からは「河床掘削にあたっては、河床材料がどのように変化するかをボーリング調査結果などにより推測し、想定される洪水により急激な河床低下が生じないかどうか確認しておく必要がある」ことが教訓として言える。また、河川によっては河床に岩が露出している場合があり、この層を掘削すると下層の砂層が出てきて、一気に河床低下が進むと言った同様の現象が見られる場合がある。なお、洪水疎通能力を増大させるために河道の拡幅やショートカットを行った場合に掃流力が変化して元の河道状態に戻ったり、河床材料が変化するケースも見られる。このようなメカニズムもある程度解明されてきており、改修により掃流力が15%以上変化すると、河道は自己調整して元の状態に戻る(又は河床材料が変化する)ことが分かっている。



図-5 大場川における侵食状況

河道の流砂については国総研では那珂川支川濁沼川に流砂観測施設を設置し、昭和63年より観測(河床バケットによる掃流砂観測、水深方向5箇所の

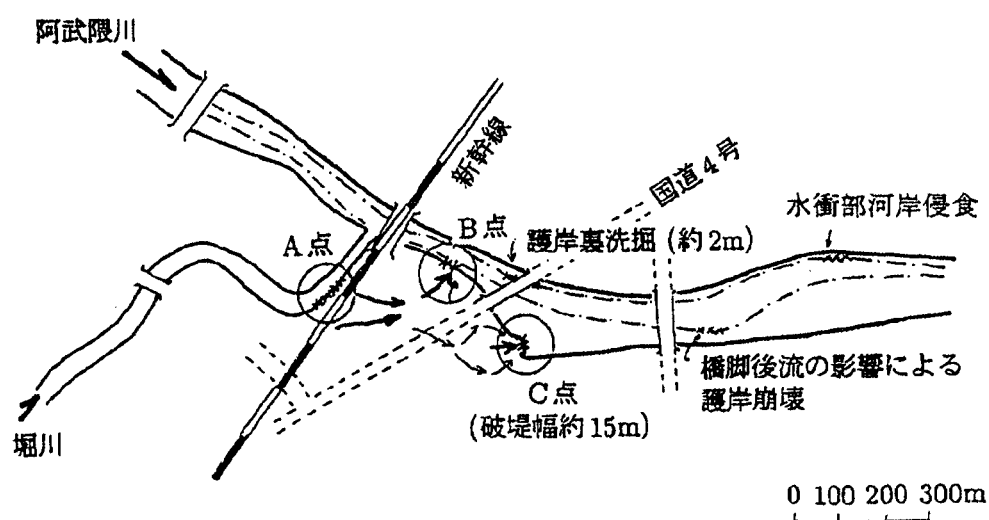


図-6 阿武隈川と堀川合流点付近の被災状況

採水ポンプによる浮遊砂観測)を実施してきた。地方整備局においても国土技術研究会を契機として観測が行われ、数多くの河川において、流砂データが収集・分析されつつある。また、同研究会で開発された流砂捕捉ポンプ(9河川に設置)により、粒径5mm以下の土砂の流砂観測も可能となった。

こうしたモニタリング機器の開発及びモニタリング体制の強化に伴って、縦断的な土砂動態(本支川、上下流)が明らかとなり、その観測結果を用いた水系土砂動態マップの作成が可能となり、河道管理への適用が現実味を帯びてきている。

### 3. 3. 2、平成10年8月 阿武隈川(栃木県、福島県)

降雨状況は余笹川に同じ。

- ・高水位が長時間継続→漏水の発生→水防活動により漏水破堤せず  
小段法尻からの漏水、裏法尻からの基盤漏水
- ・水衝部が洗掘?→越水に伴う氾濫流の発生→堤防・堤内地盤の侵食→逆破堤
- ・合流点において越水→破堤(1山目)→破堤規模が拡大(2山目)

阿武隈川における被害で特徴的なのは本川及び支川バック堤における漏水災害、支川(福島県)における橋台・橋脚の被害である。漏水は今回の洪水が2山ピークであり、浸透外力が長期化したために、阿武隈川上流及び支川逢瀬川のバック堤で発生したものである。当該区間は河床縦断勾配が緩くなった区間で堤防高も高かった。なお、漏水は生じたものの、水防団・福島県・建設省による懸命の水防活動の結果、漏水破堤は免れた。橋台は河床及び護岸の洗掘、橋脚は局所的な河床洗掘により被害が発生した。ほかに越水に伴い氾濫被害も発生した。氾濫水は地盤高の低い所を流下し、堤内地側から堤防を越水し、逆破堤を起こした(図-6)。また、合流点において越水災害が発生した。これまでにも合流点、河床勾配変化点、横断構造物の設置箇所などで越水しやすいとされてきたが、今回の被災もそれを裏付けるものである。

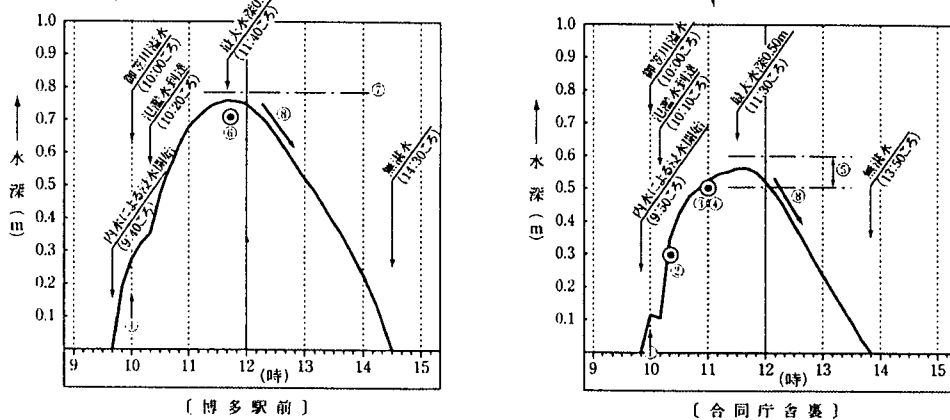
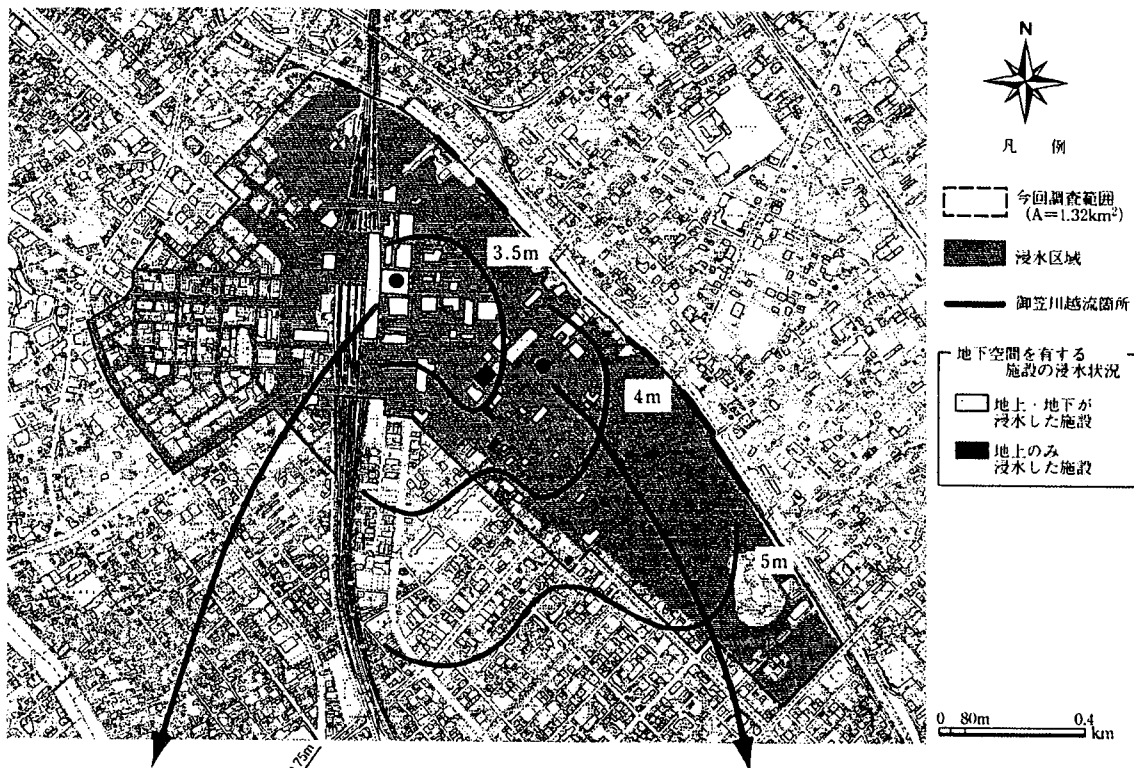


図-7 博多駅周辺の浸水状況

### 3. 4、沖積平野における水害

#### 3. 4. 1、平成 11 年 6 月 御笠川（福岡市）

福岡管区気象台における雨量は、6時から11時の連続雨量で136mm、最大時間雨量77mm、最大60分間雨量79.5mmであった。

- ・①下水道からの氾濫→①10～35cmの浸水 →地下鉄、地下街などの浸水
- ②越水の発生→①②複合して1m前後の浸水

下水道は通常1/5～1/7の計画降雨に対して整備が進められている。福岡市の場合も従来52mm/hr（超過確率1/5）で整備されてきたが、近年郊外を中心に59mm/hr（超過確率1/10）を目標に整備され始めている。この確率を超える豪雨の発生や河道の水位が高い場合には下水道からの氾濫が発生する。下水道からの氾濫は越水氾濫並みの浸水上昇速度（図-7）を持つが氾濫量はそれほど多くない。横浜市などにおける下水道からの氾濫被害実績を見

ると、広くても概ね学校の校庭程度であり、暫定的には校庭貯留などで対応することは可能である。

モデル流域に於いて、下水道の流下及び氾濫を同時に解析した結果、排水先となる河道の整備状況が不十分な場合に下水道整備を進めると、逆に水害被害が増大する可能性があることがわかっている。従って、河川と下水道の安全度バランスに注意しながら整備を進めて、流域全体の治水安全度向上を図らなければならないと言える。

地下室への浸水の流入は地下の床面積 A/出入り口幅 B で規定される。地下施設への浸水開始から t 分後の浸水深を H(m)として、後述の流入量実験式をもとに計算すると

$$t=3.0 \left( \frac{A}{B} \cdot H \right)^{0.35}$$

地上における浸水位上昇速度が 20cm/10 分の場合、浸水が天井 (H=3m) までに達する時間は A/B=20m (福岡相当) の場合が 13 分、50m (新宿相当) の場合が約 17 分と非常に速い。対策としては後述のように地下入り口部へのステップや防水板の設置が有効である。

### 3. 4. 2、平成 12 年 9 月 新川 (名古屋市他)

名古屋の南西側を中心に 11 日から 12 日の午前中にかけて総雨量で 500mm 以上の雨が降った。最大時間雨量は名古屋で 97mm、東海で 114mm、最大日雨量は名古屋で 428mm、東海で 492mm、2 日間の雨量は名古屋で 567mm、東海で 589mm であった。1891 年～2000 年の 110 年間のデータを使った岩井法による名古屋についての再現確率は、最大時間雨量が 100 年弱に 1 度、最大日雨量が 1 万年以上に 1 度となっている。

- ・ 浸透しやすい砂質堤防 → 漏水の発生 + のり崩れ後の越水  
洗堰を通じた庄内川洪水の流入
  - ・ 高水位が長時間継続 → 破堤回避のためにポンプ排水停止  
内水河川・下水道の整備水準を上回る
  - 豪雨の発生 → 一部ポンプの故障
- } 破堤に伴う氾濫  
} 内水の発生

新川では河床材料などを堤防の嵩上げに用いてきたため、堤体土質は砂質が多い。砂質堤防は透水性が高く、更に当該区間は天端が舗装されてなかったために、雨水の浸透も多かったと考えられる。しかし、新川の破堤箇所では計画高水位を 11 時間も超過しており、基本的にはこうした高い水位が長時間継続したことが破堤に影響をおよぼしている。

漏水災害を防ぐには阿武隈川等で発生したような長時間の浸透外力に耐える堤防設計が必要で、「河川堤防設計指針」に示されている通り、鋼矢板工やブランケットにより川表の透水性を低くするとともに、法尻にドレーン工や堤脚水路を設けて川裏の透水性を高くすることが重要である。まお、天端舗装やドレーン工だけの簡易な漏水対策でも、ある程度までの耐浸透効果が期待できる。

新川流域では新川の水位が高くなってきたため、愛知県名古屋土木事務所が流域の各市市区にポンプ排水を停止するよう要請した。これに伴って運転を調整したポンプ場がある。排水機場によっては、電気系統の故障や浸水によりポンプが停止した所もあった。平成 10 年の新潟下越水害においても停電時によりポンプが停止しており、停電時のバックアップ

体制を再強化する必要がある。

洪水時における迅速な防災体制の確立のためには、洪水等の水文現象（洪水、氾濫など）を時間特性の観点から見る必要がある。そのため、洪水位上昇速度を流域面積に対して調べるとともに、破堤幅の進行速度、氾濫流の伝播速度、浸水上昇速度などが整理・分析された。今後はこれらの水文現象の時間特性を変化させる要因について評価しておく必要がある（図-8）。

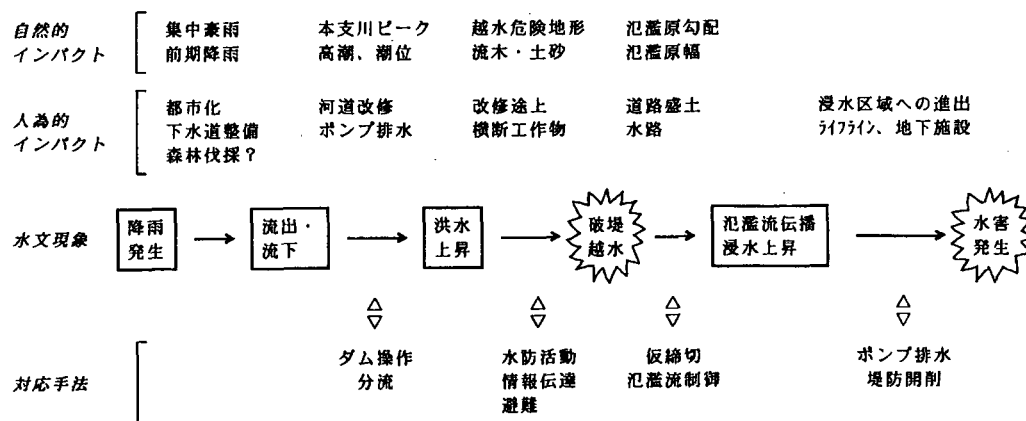


図-8 水文現象の時間特性を変化させる要因

また、この水害の背景としては、高度経済成長期の地下水の汲み上げによる地盤沈下、急激な都市化やそれに伴う流出率や流出到達時間の変化、本川との合流時差の減少等が考えられ、対策として浸透能力や遊水施設の保全・確保等の流域治水対策が必要である。

これらを踏まえ平成12年11月9日に「都市型水害に対する緊急提言」が都市型水害検討委員会から出され、水災危機管理・被害軽減、水災時の情報提供等をはじめ、河川堤防の強化（天端舗装、光ファイバー等を活用した堤防監視）、排水ポンプ場の耐水性強化、運転調整と運転調整基準の明確化、流域の水災特性を考慮した安全度バランスを考慮した計画の必要性（治水システム整備段階に対応した貯留・浸透機能の確保、多様な手法による下水道対策、耐水に配慮したまちづくり）等々が提言されている。また、後述のように平成13年7月には水防法が改正され、平成14年3月には「地下空間における浸水対策ガイドライン」が国土交通省により発表された。

以上を包括的に整理し検討するとこれまで述べてきたことに加え、更に次のような課題が考えられる。

- (1) 異常降雨はこれまでもあったし今後も確実に起こり得ることを前提に水害対策を考える必要がある。一方、豪雨は近年多くなっている傾向も指摘されているが、過去においても同様な教訓が得られる異常気象が発生しており、これらの水害事例からの教訓は現在においても十分有用である。これらの教訓に基づく対策は再度評価され、強化される必要がある。

例えば地下被害の発生状況は表-1の通りであり、地下水害は以前より発生していたこと、時間雨量が概ね70mm以上で発生していることが分かる。過去20年間（昭和54年～平成10年）のアメダスデータ（約1,300地点）で調べると、70mm/hr以上の豪雨が



発生したのは30.3地点/年(延べ)で、島嶼や高地(300m以上)を除いても17.7地点/年もあり、このような豪雨の発生可能性はそれほど低くない。

表-1 地下鉄及び地下街における主な水害

地下鉄	昭和48年8月	名古屋市営 東山・名城線	平安通駅でホーム上40cm浸水 (80mm/hr)
	昭和56年7月	都営三田線	内幸町駅が内水
	昭和60年7月	都営浅草線	西馬込駅が内水(68mm/hr)
	昭和61年8月	仙台市営	開業前に浸水
	昭和62年7月	京阪電鉄	鴨川支川の水が浸入(70+78mm/hr)
	平成元年8月	都営浅草線	五反田駅(70mm/hr)
	平成5年8月	営団丸の内線	赤坂見附駅
	平成11年6月	福岡市営	博多駅(77mm/hr)
	平成11年8月	営団半蔵門線	渋谷駅が内水
	"	営団銀座線	溜池山王駅が内水
	平成12年9月	名古屋市営名城線	平安通駅(93mm/hr)
	"	" 桜通線	野並駅
	"	" 鶴舞線	塩釜口駅
地下街	昭和45年11月	八重洲	河川の水圧で工事用の防水壁が壊れ、水が浸入
	昭和46年7月	名古屋駅前ユニモール	
	昭和56年7月	新宿歌舞伎町サブナード	内水 最高30cm浸水
	昭和57年8月	名古屋市セントラルパーク	内水
	平成11年6月	博多駅、天神	(77mm/hr)
	平成12年8月	名古屋駅前ユニモール、名古屋市セントラルパーク	

- (2) 都市機能(ライフライン、交通等)や災害弱者等を含めた水害ポテンシャルを踏まえ、内・外水、大・小河川、本・支川等のバランスを考慮した流域全体の治水計画が必要となっている。

大河川の氾濫は大きな被害をもたらすが、逆に都市部などでは中小河川の氾濫や内水氾濫が同じような被害をもたらすことがあること、上流や支川の安全度向上が下流の安全度を下げること、下流に比べ上流や支川の安全度が低く過ぎる場合はナショナルミニマム的な考えが必要になることと等、流域の被害のポテンシャルを踏まえ水災被害を最小にするよう安全度バランスを考えていく必要がある。その際には下水道とのバランスやライフライン・交通などの都市機能の維持、弱者の避難対策等も勘案していく必要がある。

- (3) 二線堤の検討、樹林帯、ポンプの運転など氾濫を想定した減災対策を十分検討しておく必要がある。

流域治水においては氾濫流制御は重要な対策の一つである。この氾濫流制御には、例えば吉田川流域に建設されている二線堤、雄物川中流部(強首地区)に建設中の輪中堤、

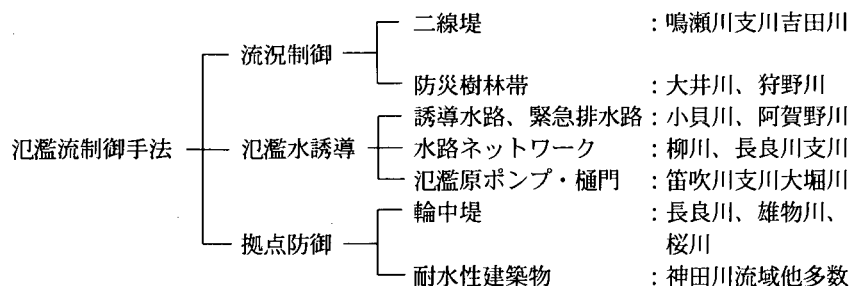


図-9 氾濫流制御手法

大井川流域に見られる防災樹林帯(地元では舟型屋敷と称している)、水路ネットワークなどがある。二線堤は氾濫原勾配が 1/1000 より緩く、資産較差が 3 倍以上が効用を発揮する目安となるが、設置に伴って、局所的に浸水深が増大する場合があるので、その得失を事前にシミュレートして、全体被害が軽減されるように計画する必要がある。輪中堤は桜川や雄物川に建設されているが、兼用道路や二線堤等による輪中堤化が基本となる。築堤方式との比較により、工費・工期の点で優劣を判断する。水路ネットワークでは洪水は水路内を氾濫水より高速で伝播するので、排水先にポンプを設置しないと、水路末端で早期に氾濫する場合がある。小貝川水害(1986)でも同様の現象が見られた。

#### 4、防災対策のための研究開発事例

これまでに発生してきた災害事例などを教訓にして、国総研では様々な防災対策のための研究開発を行ってきた。研究開発事例は対策別に、破堤（越水、漏水）、河岸侵食、氾濫流被害の順で以下に示している。

##### 4. 1、越水破堤

###### ・越水対策→難破堤堤防

土木研究所における越水堤防実験等から、越水に 3 時間程度耐えられる難破堤堤防（図-10）が開発されている。これは越水により最も大きなせん断力が発生する裏法尻に法尻工を入れるとともに、天端を舗装工で守り、裏法斜面には保護マット（吸い出し防止材）を付けた遮水シートを重ねて敷く工法である。堤防法面は 1 枚法にし、法勾配は 3 割としている。なお、法尻工は跳水を確実に跳ねる長さ、最大洗掘深以上の深さが必要であることが分かっている。また、同時に漏水対策として、裏法尻に水抜き用のドレーン工も設置する。高さ 3m、幅 2.3m の堤防を用いた 2 次元実験の結果、2m 規格の遮水シートを縫い合わせたケースでは法尻部で侵食が発生したが、15cm 幅でシートを重ねたケースでは越水 30 分後以降、若干の表面侵食は見られたが、越水 3 時間までは特に問題となる侵食は見られなかった。この種の難破堤堤防は那珂川、新川などで施工されている。

簡易な越水対策としては、建設省の都市型水害緊急委員会での提言や越水堤防実験結果で示されているように、堤防天端を舗装するだけでもある程度は耐越水効果があることが分かっているので、雨水の浸透対策も兼ねて天端舗装を行うことが重要である。

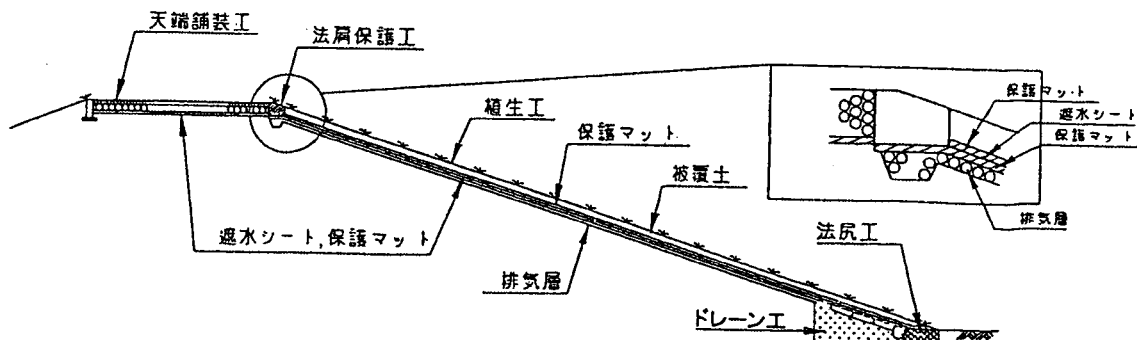


図-10 難破堤堤防の基本構造例

#### 4. 2、漏水破堤

##### ・漏水被害対策→光ファイバーによる崩壊検知

光ファイバーを漏水被害が発生しやすい川裏に配置しておくこと、光ファイバーが漏水に伴う法すべりを歪みとして検知し、危険情報として伝達することが出来る。滑りに伴う2cm以上の歪みがあれば、検知可能である。漏水被害の位置を2m精度で検知するには20km以下の地点に中継基地を設ける必要がある。一方、護岸基礎の浮き上がりに伴って、護岸裏の土砂が流失する。この現象を実験で再現し、光ファイバー（川表）で土砂の流失を検知できるかどうかの実験を行った。実験では光ファイバーの設置状態が十分でなかったために土砂が流失してから10～20分後に光ファイバーが反応する結果となった。まだ、検討課題は残るものの、光ファイバーは漏水崩壊のようなゆっくりとした現象には対応できるが、護岸崩壊のような速い現象に対応させるためには工夫が必要となりそうである。

#### 4. 3、河岸侵食

##### ・河岸侵食防止+環境対策→侵食防止シート

従来侵食防止工としてはコンクリート護岸などにより剛的に河岸を保護しようとしてきたが、侵食防止シートは法面の植生の耐力を活用したものである。最近の研究で植生自体にもある程度の耐侵食力があることが分かってきた。流速の速い洪水流で植生が流失するのは植生の根付近の土砂が洗われ、根が流失するためであり、根をシートにより守ることが出来れば、植生の耐侵食力が更に増大し、コンクリート護岸に遜色ない防御機能を発揮することが出来る（図-11）。また、シートの繊維間に土が充填されており、施工後植生が繁茂し、自然環境にとっても良い状態となることが期待される。侵食防止シートはポリエステルやポリプロピレン製で、繊維径が0.3～1.4mm、空隙率が9割以上のものである。コストはコンクリート護岸の約半分である。現在江戸川、阿武隈川、仁淀川などに試験施工されている。

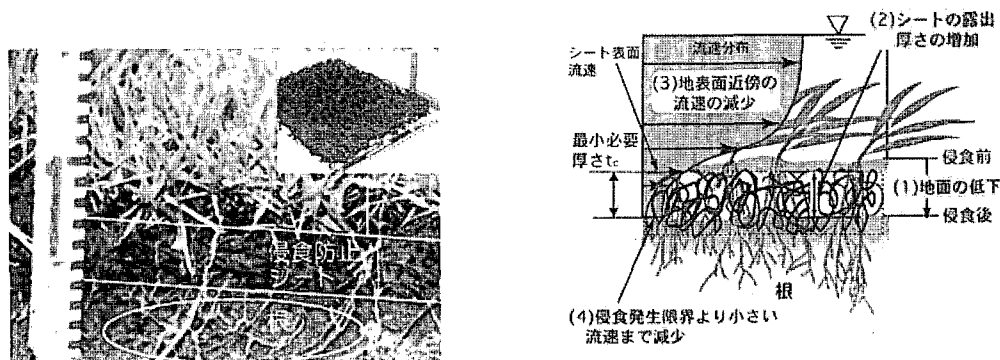
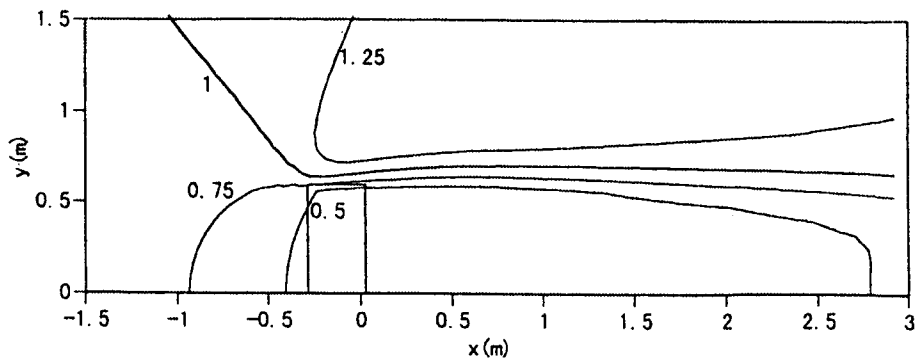


図-11 侵食防止シートの効果概念図

#### 4. 4、氾濫流被害

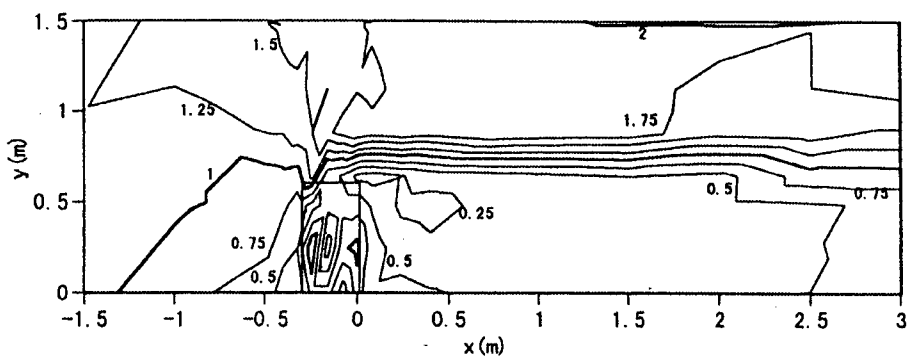
##### ・氾濫流による家屋流失の防止→防災樹林帯

余笹川水害においては、家屋の上流側にあった樹林帯により多くの家屋が洪水氾濫による流失から免れた。現地調査の結果、樹林帯があった家屋の流失率は樹林帯がなかった家



(1) 実験結果

注) 水路半幅の範囲で示している



(2) 計算結果

図-12 樹林帯による無次元流体力 ( $u^2h/u_0^2h_0$ ) の軽減効果

屋の流失率の約半分であった。こうした樹林帯の家屋流失防止効果は水理模型実験及び数値解析によっても明らかとなっている。すなわち、樹林帯には氾濫水を側方に跳ねる”水跳ね効果”があり、樹林帯の下流側は特に流速が低減され、その結果家屋に作用する流体力 ( $v^2h$ ) が減少する傾向にある。図-12 に示すように、樹林帯により氾濫水の流体力が半分以下に低減される領域は樹林帯幅の約3倍である。なお、図中の流体力は樹林がない場合の流体力で無次元化している。この条件(現地換算値)は樹木(幹径21cm、間隔2.4m、枝あり)、樹木本数(流下方向4本、横断方向16本)、水理量(水深2.8m、平均流速3.3m/s)である。この手法は氾濫域では古来より採用されていたものであり、大井川流域や狩野川流域などで見ることができる。

・ 氾濫水の地下への流入

氾濫水は地下室へどのように流入して、浸水

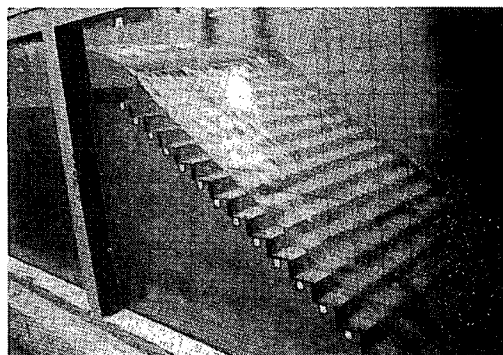


写真-1 地下施設への浸水流入実験

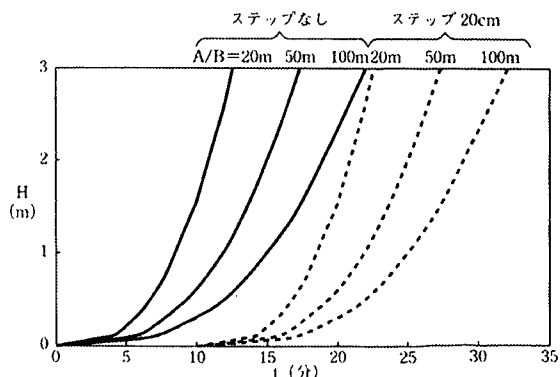


図-13 地下室浸水の  $t \sim H$  関係

させるのであろうか。都市河川研究室では縮尺 1/3 の模型を用いて水理実験を行った（写真-1）。実験に使った地下室への階段は被害が発生した福岡及び新宿の階段の平均値より、蹴上（鉛直高）6cm、踏み面（奥行き）9cm とした。実験の結果、地下室への流入量Qは以下の実験式で表すことができる。

$$Q=2.3Bh^{1.8}$$

ここで Q：流入量（m<sup>3</sup>/s）、B：出入口幅（m）、h：道路上水深（m）

氾濫水の上昇速度は福岡（図-7）をはじめとする既往の水害実績より概ね 10～20cm/10 分であるから、20cm/10 分と仮定すると、前述の通り、t<sub>1</sub>を道路浸水後、地下施設へ流入するまでの時間（分）、t<sub>2</sub>を流入してから水深 H になるまでの時間（分）、S(m)を出入口と道路との段差として以下のようになる。

$$t_2=3.0 \left( \frac{A}{B} \cdot H \right)^{0.35}$$

$$t_1=S/0.02$$

ステップがある場合（図-13）、例えば

S=20cm（ステップ）の場合、t<sub>1</sub>=10 分

S=80cm（ステップ 20cm+防水板 60cm）の場合、t<sub>1</sub>=40 分

となり、地下室の水没時間 10～20 分程度に比べ大きな余裕時間を生み出せることになる。

## 5、今後の研究の一方向性

### 5. 1、水防法の改正と関連研究事例

上述のように近年の災害における課題として、外水、内水を含めた浸水危険度の的確な評価、これを踏まえた流域内の治水安全度バランスの考え方、地下空間対策、洪水時の情報の収集・伝達、避難体制の充実といったことがあげられる。

これら近年の災害をふまえて平成 13 年に水防法が改正された。主な改正点は以下の通りである。

- (1) 都道府県知事が管理する河川への洪水予報指定河川の拡大。
- (2) 洪水予報河川がはん濫した場合に、浸水が想定される区域を浸水想定区域として指定するとともに、浸水想定区域および浸水深を公表する。
- (3) 市町村地域防災計画において、浸水想定区域ごとに、洪水予報の伝達方法・避難場所その他円滑かつ迅速な避難の確保を図るため必要な事項を定める。
- (4) 浸水想定区域内に地下街などの不特定かつ多数の者が利用する地下にもうけられた施設がある場合には、利用者の円滑かつ迅速な避難の確保が図られるよう、市町村地域防災計画において洪水予報の伝達方法を定める。

このような課題に対し、国土技術政策総合研究所では地下空間の浸水危険度評価に関する研究、都道府県管理の中小河川などにおける洪水予測手法、レーザースキャナーを用いた河道、氾濫原データの作成技術の開発を行っている、また、外水と内水による浸水被害の危険性・安全度を評価するための技術開発として、水災シナリオ別の氾濫シミュレーション技術の開発及び避難誘導解析システム等の研究開発を行っている。

ここでは、特に以下の研究内容について紹介する。

### 5. 1. 1、地下空間の浸水危険度の評価に関する研究

都市内の地下空間は公共、民有をとわず無数にあるが、鉄道等一部の公共施設を除き多くは対策が遅れているのが実情である。したがって、地下空間における被害は全国至る所の地下空間において発生する可能性があり、今後、地下空間の浸水発生危険性を認識するとともに、浸水対策の実施や適切な避難行動の啓蒙を進めるためには、地下空間の浸水により生じると考えられる事態についての情報提供が不可欠である。このため、水害研究室では、地下空間への氾濫水の流入特性を明らかにするとともに、主要都市における地下空間の浸水リスク評価を行っている。

図-14 は、地下空間の危険度評価を行うにあたり考慮すべき氾濫形態を示した図である。考慮すべき氾濫形態は、以下のとおりである。

- ・局所的な集中豪雨等により発生する内水氾濫（窪地湛水等）
- ・中小河川からの溢水や破堤による外水氾濫
- ・大河川の破堤による外水氾濫

地下空間の危険性を評価するには、様々な氾濫形態を用いて評価する必要があるため、水害研究室では、内水・外水の双方を解析できる氾濫シミュレーションの開発を行っている。

また、地下空間の利用形態、施設規模等により、発生する浸水被害が大きく異なることから、地下空間規模毎に、浸水により起こりうる被害について、危険度評価ができるようにする。

図-15 は、上記の検討から得られる地下空間の危険度評価指標の表示例である。これにより、各地下空間の危険度ランクの表示を行い、危険度ランクに応じた地下空間の浸水防止対策方法を提示できる。

今後は、全国の主要な地下空間を対象とした地下空間の危険度評価データベースを構築する。

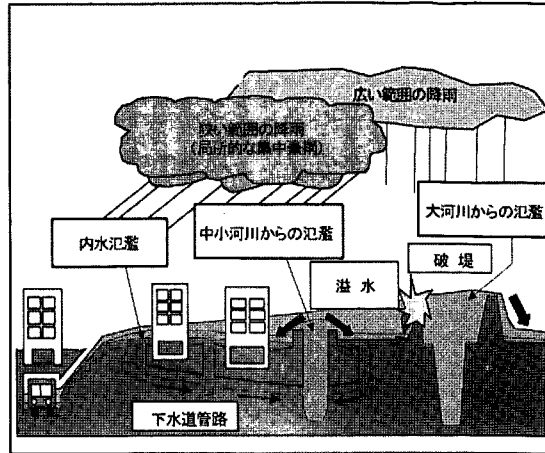


図-14 危険度評価で取り扱う氾濫形態

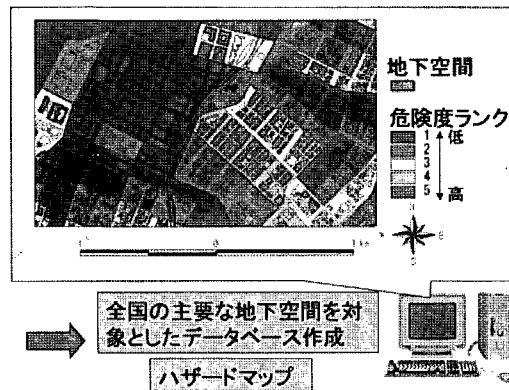


図-15 簡単な地下空間の危険度評価表示例

5. 1. 2、中小河川における洪水予測・氾濫解析技術の開発

洪水予測の現状を大臣指定河川について既往の調査結果から見ると、気象庁・気象協会等の予報雨量を基に算出した洪水流量を用いて予報しているケースが約6割と多い。このほか、民間会社等から得た予報雨量を用いて洪水流量を算出しているケースもある。算出に当たり、実績水位を用いてオンライン・キャリブレーションによりパラメータを自動修正して精度向上を図ったケースが2/3もある。一方、急流河川等で流量ではなく水位相関法により求めた水位を予測している地点も約1割ある。ただし、予測期間は2~3時間程度先となっており、今後より長期間の精度の高い予測が望まれる。

一方、水防法改正により、都道府県知事が管理する河川についても洪水予報をおこなうこととなり、洪水予報河川では、浸水想定区域を公表することとなった。しかしながら、都道府県知事が管理する中小河川では、洪水到達時間が短く、河道横断データや特に流量等の水文データが十分でない河川も多い。また、中小河川で氾濫解析を行うにあたって、河道、氾濫原地盤データが十分でない流域もある。このような課題に対応するために、水文データ等の整備状況に応じた洪水予測手法とその精度分析を行い、中小河川における洪水予測手法と予測精度について提示を行う。また、河道氾濫原地盤データが十分でない流域での氾濫解析を可能とするために、航空機搭載のレーザースキャナーにより取得した地形モデルに基づく河道・氾濫原データの作成に関する研究開発を行っている。

中小河川の洪水予測については、図-16に示すように、各種洪水予測手法で、各種雨量データ（レーダ雨量、地上雨量）、予測雨量、流量データ（実測 H-Q 式、計算値）各種キャリブレーション手法を用いて、精度の検証、予測手法の提示を行う。

レーザースキャナーにより取得したデータを氾濫解析に適用する際のメリットは、都市計画図から得られる標高よりも高精度・高密度の標高を入手できることである。

レーザースキャナーデータの氾濫解析への活用方法として、以下の方法がある。

- ・高精度の地盤高を作成できることで、実態に即した氾濫解析が行える
- ・高密度の構造物の標高を入手できるため、詳細な構造物データ（盛土等）が作成できる
- ・詳細な地形モデルを要するシミュレーション手法（不定形メッシュによる解析）への適用性が高い

水害研究室では、このレーザースキャナーデータを利用し、氾濫解析に必要となるデータの作成、

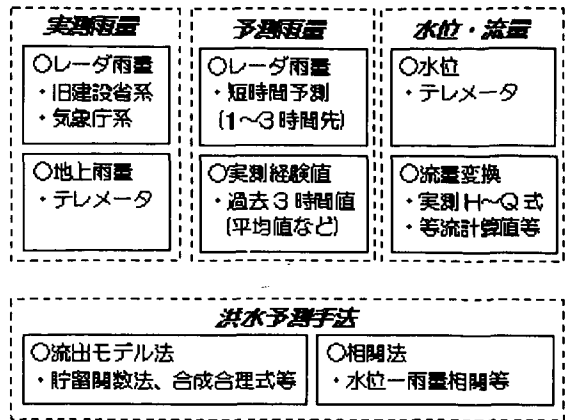


図-16 洪水予測手法検討内容

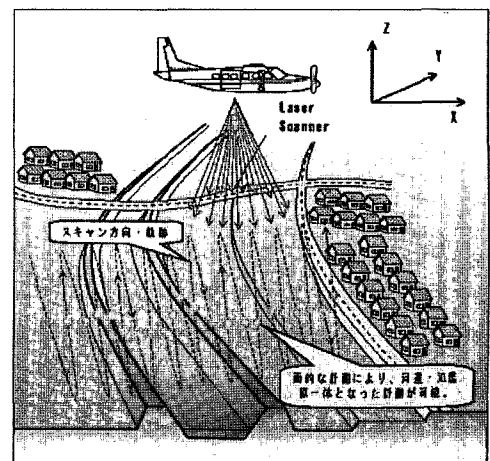


図-17 レーザースキャナーによる計測

精度向上に向けた研究を行っており、主な検討内容は、以下のとおりである。

- ・河道横断データの作成手法の検討
- ・不定形メッシュ（地形に適応したメッシュ）の作成方法の検討

## 5. 2、気象予測降雨の精度の向上に対応した研究事例

地球規模水循環変動（気象予測精度の向上）に対応した水管理技術に関する研究

全球的な気象データの収集・整理については、世界気候研究計画の相互協力プロジェクトとして統合地球観測戦略パートナーシップの支援を得ながら日本のリーダーシップのもと地球規模の水循環変動に関する強化観測プロジェクト（統合地球水循環強化観測計画（CEOP））が2001年7月より2004年9月を目指して行われている。このCEOPは、世界33箇所の地上観測サイトの観測データや衛星観測データ等を用い、モンスーンシステムの解明、水・エネルギー循環のシミュレーションと予測及び気象予測の精度の改善を目指している。また、3月より活動を開始している地球シミュレーターは、最大計算性能40テラフロップス（1秒間に40兆回の計算速度）、メインメモリーは10テラバイトの現時点で世界最高レベルの超高速並列計算機システムで、地球観測衛星やブイ等からの観測データ等を積極的に活用しながら、地球温暖化、大気や海洋の汚染、エルニーニョ現象、集中豪雨及び台風の進路予想、1kmメッシュでの雲の活動・降水過程の3次元的再現等の複雑な現象を理解することができ、経済社会活動の発展や地球環境問題の解決への貢献ができるものと期待されている。さらには地殻変動、地震発生等の現象の解明への貢献も期待されている。現在気象庁では短期予報の一つとして防災気象情報については、日本周辺について水平解像度10kmで18時間先までの予想を1日4回行っている。また、長期予報については、地球全体について水平解像度110kmで1か月先までの予報を週1回行っている。上述の観測体制の強化や計算技術の向上している状況のなかで、数値予報モデルについてもGSM60km、MSMからNHMモデルの開発へと進み、モデルの水平解像度もそれぞれ60kmから40kmへ、20kmへ10kmから5km更には2.5kmへとより狭い気象現象を対象としている。東海豪雨もその傾向を再現することが可能となってきた。また、台風モデルについても40kmから20kmへと解像度を上げようとしている。

国総研においてもこのような気象予報精度の向上が見込まれる状況を受け、降水量の実測値にもとづく従来の経験的な水管理を打開し、気象衛星による地球規模の気象観測等により精度が向上しつつある予測降水量を新たに活用して洪水予警報、貯水池の効率的運用等を行うことができる次世代型水管理技術の開発を目指した研究を計画している。

降水量の変動が経年的に拡大する傾向にあり、未曾有の洪水や渇水の発生する危険性が増大しつつある。従来、洪水予測などの水管理は実績降水量をもとに行っており、予測降水量を適用したものとはなっていない。このことが、浸水時の避難の遅れや被害を増大化させる一因となっている。洪水や渇水に機動的かつ的確に対応するためには、降水量の予測情報を活用した水管理を行うことが急務である。このため予測降水量を誤差の影響を加味したうえで水管理に活用する技術を開発することができれば、災害や渇水の発生を事前に予知し、被害の防止・軽減を図り水災害等の防止・軽減による安全な社会の実現に貢献で



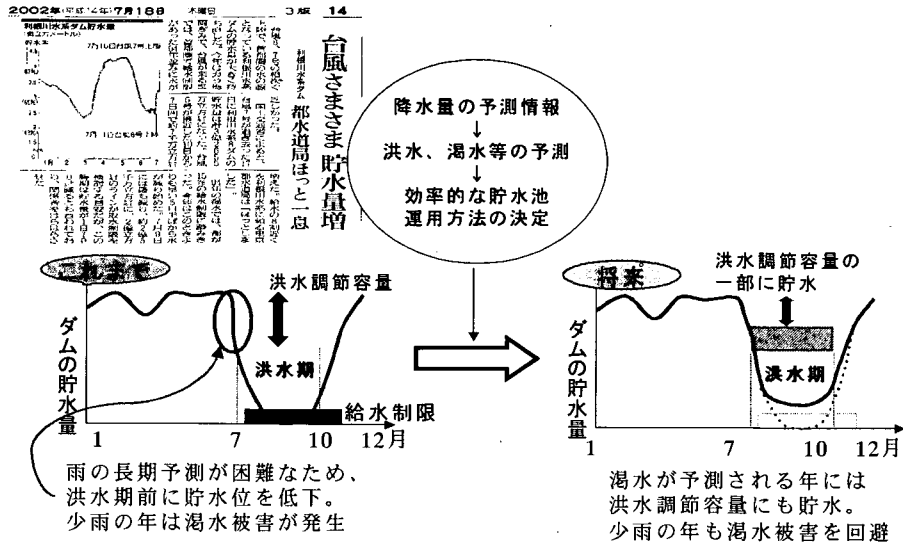


図-18 貯水池の効率的運用による効果の例 (出典：朝日新聞)

きる。

総合科学技術会議・環境分野の重点課題「地球規模水循環変動研究」が平成15年度から開始され、産学官連携のもとに予測降水量の精度向上等が図られる予定であり、これと連携して取り組むこととしている。

研究の成果の具体例として貯水池の効率的運用を示す。この図-18に示すように渇水が予想される場合には洪水調節容量にも貯水しておきこれを渇水時に補給することにより被害を軽減し、逆に大規模な洪水が予想される場合には利水容量を洪水調節のために用いることにより洪水被害を軽減するなど、貯水池が有する潜在的な治水、利水機能を発揮させ、既存施設を有効活用することが可能になる。

## 6、2002年ヨーロッパ洪水

2002年8月及び9月に、チェコ、ドイツ、ロシア、オーストリア、フランスで大洪水が生じた。ここでは、このヨーロッパにおける洪水について述べる。

### 6.1、降雨・気象状況及び被害状況

スカンジナビア半島付近にブロッキング高気圧が形成され、寒冷低気圧が欧州を東進したため、大気の状態が不安定となった。8月に入りヨーロッパの広い範囲で降水量が多くなり多くの地点で異常多雨となった。大きな被害が発生したドイツのドレスデンでは、8月1日～13日の間に平年比7.6倍の降雨量があり、ヨーロッパ各国の主要観測点で、平年比4倍から8倍の降雨量となった。また、フランスでは、9月8日から9日にかけて50年ぶりといわれる集中豪雨に見舞われ、ガール県ニームでは24時間で762mmとほぼ1年間の降水量に匹敵する雨量を記録した。ドイツのドレスデンでの最高水位はこれまでの最高の1845年より65cm高く流量確率で300年確率と評価されている。

死者数は150人以上(チェコ17人、ドイツ20人、ロシア62人、オーストリア8人、フランス27人他)に及び、復興費用は、ドイツで約1兆5500億円、チェコで約2400億円と報告されている。また、避難者数はチェコで約20万人、ドイツで約13万人と報じられ

ている

## 6. 2、原因と災害対策の現状

前述の通り異常降雨が大きな原因であるが、

- ①旧東ドイツでは、川が増水した際運河建設で水を迂回させる措置がとられておらず、治水対策を無視した改造が押し進められていた。
- ②近隣諸国と合同の洪水対策がとられていなかったことも被害を大きくした一因。
- ③もともとは氾濫原であるところに家屋や工場が無秩序に広がったために事態が悪化した。
- ④フランスでは、河川が増水による危険周知が十分に行われなかったとの指摘がある。

なお、ドイツでは8月の大洪水以降、「洪水防止対策改善のための作業ステップ」連邦政府の5項目プログラムとして、関係省庁が諸州と地方自治体、及び近隣諸国と協力して具体的な作業ステップを実施することで合意している。以下にその概要を述べる。

### (1) 連邦政府と諸州政府合同の洪水防止プログラム

#### ○河川の氾濫原の確保

既開発地は堤防で保護するが、下流地域における洪水の危険性が増大することから、非開発地域では堤防の撤廃などによって河川本来の氾濫原を復元する。また、制御可能な遊水地を確保する。

#### ○分散による洪水の制御

現存する河岸地帯の樹林の効果的な保護、可能な範囲でその復元、河川の流路直線化や護岸工事を行った地域の再自然化、洪水の浸透などによる開発地の貯留能力向上、峡谷地や浸食のおそれのある傾斜地ではその場所にふさわしい土地利用の保障。

#### ○土地開発の制御——潜在的な損害の低減

今後、氾濫原地域を新たな住宅地域や企業地域に指定しない。また、すべての河川において時間的に余裕を持って確実な洪水予警報を発する。

### (2) 国境を越えた行動プラン——国際的な専門家会議

州や国を越えて河川流域単位で洪水防止対策を進めることが、不可欠であることから、各河川委員会は気候変動に対して明確な期限を設けた提案を作成する。これを採決して各分野の当該組織と共同して実行に移す。

### (3) ヨーロッパの共同作業の推進

洪水防止対策の枠組みにおいて国境を越えた地域開発プランを含むプロジェクト、国境を越えたプランへと変更するプロジェクトを政策的に支持する。指定された氾濫原を含んだ国境を越える地域開発プランを作成するにあたっては、上流地域と下流地域の国境にとらわれず連帯することが必要である。

### (4) 河川改修の見直し——環境に配慮した船舶航行を展開

船舶航行用の河川改修は、流路の変更をとめないこれにより洪水が発生しやす

くなる。すべての改修プランおよび同様の影響を与えると思われるすべての整備措置を見直し、その洪水防止に対する効果を新たに評価する。

### 6. 3、ヨーロッパ洪水における教訓

アジア諸国の河川は、一般にヨーロッパやアメリカ等の大陸の河川にくらべて、気候的にも湿潤多雨の気候であり、また流域面積が小さく急勾配な河川が多いため、流出が早く河川の水も一気に増水し流下する。これに対して、ヨーロッパ、アメリカ等の大陸においては、流域面積が大きく、河川の勾配も緩いため、アジアモンスーン地域にくらべて、洪水による被害が少なく、水が多い（Too much water）といった問題すなわち洪水については他の水問題に比べてあまり大きな関心は払われていなかった。しかしながら、前述のドイツにみられるように今回の洪水を契機に洪水対策について再度見直し等が図られ、世界的にも注目されるようになった。

また、河川、流域特性の違いがありその具体の手法には違いがあると思われるが、土地利用規制、流域の貯留・浸透機能の確保といった日本でも今後さらに充実が必要とされる課題についてドイツにみられるようにヨーロッパにおいても課題となっていることがわかる。

### 7、おわりに

2002年は世界中で洪水が発生した。特にヨーロッパの洪水は生起確率が数百分の1以下の豪雨による極めて起こりにくい現象と考えられている。しかし、これまで述べたような日本の最近の事例を見ると、同ような生起確率の豪雨が日本の各地で既に発生しており、その意味では起こるべくして起こった洪水と言えるのかもしれない。日本においても一層の洪水への備えが求められていると考える。そのための参考になれば幸いである。

#### 参考文献

- ・末次忠司：過去の水害を教訓とした 21 世紀の水防災－水防災研究と施策への反映－、京都大学防災研究所研究集会、2001 年
- ・藤田光一：洪水による河川構造物の災害－最近の傾向と対策、(財)北海道河川防災研究センター、1999 年
- ・常田賢一他：平成 10 年 8 月末豪雨による福島県・栃木県豪雨災害現地調査報告書、土木研究所資料第 3793 号、2001 年
- ・末次忠司：都市型地下水害の実態と対策、雨水技術資料、Vol. 37、2000 年
- ・末次忠司：水害被害の要因分析と減災に向けた対策のあり方、水工学に関する夏期研修会講義集、2002 年
- ・建設省河川局治水課：河川堤防設計指針、2000 年
- ・武富一秀・館健一郎・金木誠：地下空間の浸水リスク評価のための基礎検討、第 57 回年次学術講演会講演概要集、II-286、2002 年
- ・川本一喜・館健一郎・武富一秀・金木誠：レーザースキャナーデータを用いた中小河川河道モデルの作成手法に関する研究、河川技術論文集、第 8 巻、2002 年
- ・2002 年 8 月 22 日付けロイター、The Japan Times
- ・2002 年 8 月 16 日付けロイター報道
- ・(財)海外建設防災協会：防災、第 640 号、2002 年
- ・2002 年 9 月 12 日及び 9 月 25 日付け仏新聞 Le Figaro
- ・2002 年 8 月 19 日付け BBC News

マンションの円滑な建替えに向けて  
—建替え円滑化法の制定と技術指針の開発—

住宅計画研究室長

亀村幸泰

# マンションの円滑な建替えに向けて

## ～建替え円滑化法の制定と技術指針の開発～

住宅計画研究室長 亀村 幸泰

### 1 はじめに

建築後 30 年を経過したマンションは、10 年後には 93 万戸と今後急激に増加することが予想されており、老朽化したマンションの建替えが進まないという問題を解決し、建替えを円滑化することが緊急の課題となっている。

本講演においては、平成 13 年度までに実施したプロジェクト研究「マンション問題に対する総合的技術政策の研究」成果について概観した後、特に、マンションの建替えの諸課題についての調査研究成果を解説する。具体的には、本年 6 月に制定された「マンションの建替えの円滑化等に関する法律」への反映状況や、法律の施行を支援する技術情報として研究開発した建替え・修繕判断マニュアル、合意形成に関するマニュアル等について報告する。

### 2 プロジェクト研究「マンション問題に対する総合的技術政策の研究」

#### 2.1 研究目的及び経緯

住宅の寿命の短さのために建物のスクラップ&ビルドによる資源浪費や廃棄物増大が問題となっている一方で、これまでに供給されたマンションの老朽化が課題となっている。こうした中で、建物自体が百年以上の長期耐用性を持つこととともに、増大する老朽化したマンションの建替えや改修が円滑に進むことを目指して、国土交通省総合技術開発プロジェクト（マンション総プロ、平成 9～13 年度）として技術開発を総合的に実施した。

この研究の実施により、建物のスクラップ&ビルドによる資源浪費や廃棄物増大を避けるとともに、建替えや改修が円滑に進むことにより老朽化したマンションの問題を解決することを目的としている。

本研究の実施にあたっては、また、国土交通省住宅局・都市基盤整備公団・住宅金融公庫・民間企業等と連携するとともに、研究評価委員会（委員長、巽和夫：京都大学名誉教授）を設置し、検討を進めた。

（平成 13 年度は国土技術政策総合研究所住宅研究部、都市研究部、建築研究部と独立行政法人建築研究所が連携して実施した。）

#### 2.2 研究の概要

マンション問題を解決し、その質向上を図るために、新築時、改修時、建替え時を通じた次の 3 つの技術開発を総合的に実施した。

①（新築）長持ちするS I住宅の開発と関連法制度の研究

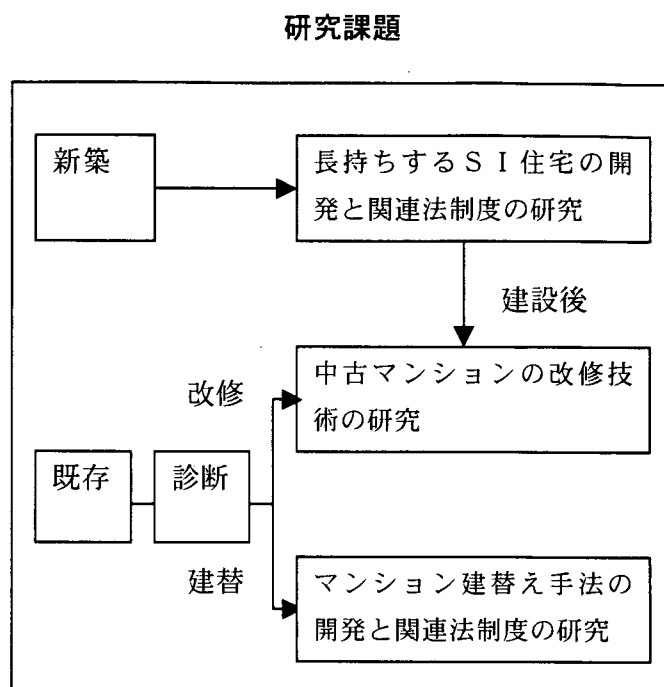
新築時において長期耐用性をもつ集合住宅を実現、推進するための技術・制度に取り組んだ。

②（中古）中古マンションの改修技術の研究

既存集合住宅の適切な劣化診断及び改修を行うことで長期利用できる技術の開発に取り組んだ。

③（建替）マンション建替え手法の開発と関連法制度の研究

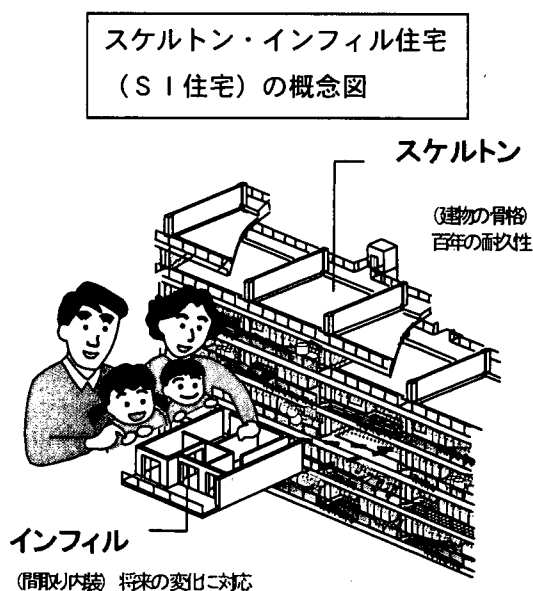
建替えが必要な分譲マンションに対応する諸技術の開発とマンション建替えの円滑化のための立法措置に関わる研究に取り組んだ。



2. 3 研究の成果

2. 3. 1 長持ちするS I住宅の開発と関連法制度の研究

課題1では、新築時に百年以上の長期耐用性を実現するために、スケルトン住宅（耐久性のある建物の構造躯体＝スケルトン（S）と、可変性をもつ間取りや内装設備＝インフィル（I）を明確に分離することで、社会状況の変化に対応しつつ長期に利用できるように計画した集合住宅）を提案し、これを実現するための研究開発を進めた。主要な成果は、以下の通りである。



①長期耐用性をもつS I住宅の技術指針

長期耐用性をもつS I住宅が、本指針に照らして標準的水準を満たしているか否かを判断するための技術指針を作成した。

②S I住宅事業マニュアル

長期耐用住宅の普及を支援するための法制度の検討を行い、建築基準法、消防法及び

不動産登記法の運用の改善に結びつけるとともに、その成果に基づいてスケルトンの二段階分譲、スケルトン定借、スケルトン賃貸の事業マニュアルを作成した。

### ③S I住宅パンフレット

S I住宅の定義と概要、街づくりにおけるS I住宅のタイプ分類等の概要をまとめた冊子を作成した。

## 2. 3. 2 中古マンションの改修技術の研究

課題2では、主として建築物の物理的な観点から、既存マンションの適切な劣化度判定と適切な改修により機能・性能の維持・向上をはかることによる長命化手法の確立を目指し、研究開発を進めた。主要な成果は、以下のとおりである。

### ①既存マンション躯体の劣化度調査・診断技術マニュアル

設計段階において管理組合と診断実施者の共通ルールの確立のため、既存マンションの躯体部分の劣化度を判定するための調査・診断技術（躯体と仕上げ材に関する劣化の非破壊を主とする検査手法及び評価手法）マニュアルを作成した。

目視による第一次診断から、専門家による高次診断までを含む。

### ②ストック志向型改修指針

施工段階において合理的な改修工法を選択するため、鉄筋コンクリート造躯体と仕上げ材の実況に応じた適切な既存の改修技術の選択手法（躯体と仕上げ材に関して、劣化状況、機能維持・向上の度合、経済的な合理性等を考慮した改修方法の選び方）の指針を作成した。

また、これに関連して、長期修繕計画に適用できる部材の想定耐用年数一覧を作成し、またライフサイクル・コストからみた改修技術の評価を行った。

## 2. 3. 3 マンション建替え手法の開発と関連法制度の研究

課題3では、多数の権利者間の合意形成を図る必要がある分譲マンションの建替えの実態を解明し、その問題を解決するために、建替え組合への法人格の付与、権利変換手続きによる関係権利（抵当権等）の移行等について提案するとともに、円滑な合意形成の支援のための研究を進めた。主要な成果は、以下のとおりである。

### ①建替え・修繕判断マニュアル

マンション管理組合等において、建替えか修繕かの選択に関する合意形成の一助とするために、建物の老朽度判定等を基に建替えか修繕かを判断するための建替え・修繕判断マニュアルを作成した。

### ②合意形成マニュアル

マンション建替えに至るまでの合意形成の進め方、様々な事業ノウハウ、関連する事業制度等をまとめた合意形成マニュアルを作成した。

### 3 マンション建替えに関する法制度の整備の背景

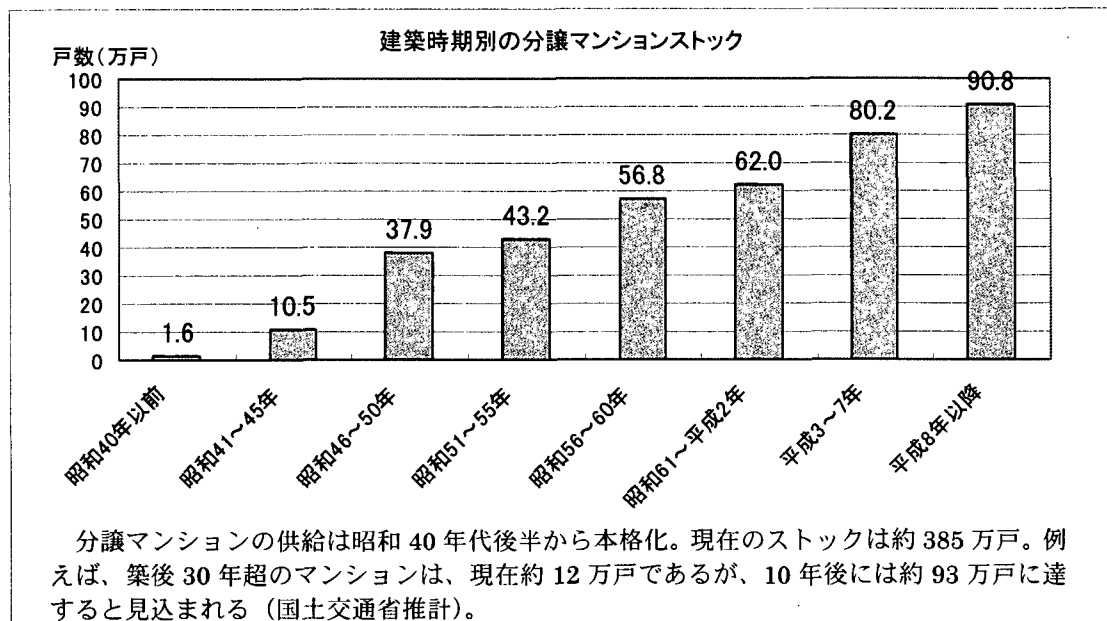
#### 3. 1 マンションストックの現状

マンションの供給は昭和30年代後半から本格化し、そのストック数は平成12年度末で約385万戸となっている。マンションという区分所有・共同住宅は、人口の集中した都市部における国民の持家ニーズを満たすための居住形態として広く普及している。その中で、建築後相当の年数を経過したマンションが増加してきており、例えば、建築後30年を超えるマンションは平成12年度末で12万戸であるが、今後さらに急激に増加し、10年後には93万戸に達すると見込まれている。

建築後相当の年数を経過したマンションにおいては、現在の住宅水準からみると規模の小さい住戸が多く、住戸内の設備機器も老朽・陳腐化（旧式化）しており、今日の水準からみて居住性能が不十分なものが多い。また、中層マンションではエレベーターのない棟が殆どであるなど、高齢者等が暮らしやすいバリアフリー構造になっていないものが多い。また、いわゆる新耐震設計法が制度化される以前に建設されたものも多く、その中には耐震性能の向上が必要なものも少なくないと見込まれている。

なお、国土交通省が建築後30年を経過したマンションを対象に実施したアンケートによると、今後の修繕費用の増大に対する懸念、安全性への不安、居住性への不満等を抱いている管理組合が多く、建替えについて「現在検討中」「以前検討した」「関心がある」の3つの回答の合計が約3分の2にのぼっている。

このように、建築後相当の年数を経過したマンションが増加してきており、建替えに関する関心が非常に高まってきている。



#### 3. 2 マンション建替えの現状



マンション建替えの現状についてみると、これまでのマンション建替え事例としては、老朽化等によるものが81件、阪神・淡路大震災の被災マンションの建替えが108件、合計189件が把握されている（国土交通省国土技術政策総合研究所）。

このうち老朽化等による建替えが実現した事例については、建替え前の容積率に余裕があり、かつ、住宅需要のある地域に立地していることにより、いわゆる等価交換方式により区分所有者の費用負担を大幅に軽減することが可能であったケースにほぼ限られている。また、権利調整の都合上住戸数があまり多くないこと、初動期段階から民間事業者等の積極的な参画が得られること等、合意形成を相対的に容易にする条件に恵まれていたケースが殆どである。

しかし、今後の老朽化に伴うマンション建替えにおいては、このような条件に恵まれたものは、きわめて限定的になると考えられる。地価の下落、容積率に余裕のないマンションや区分所有者数の多い大規模マンションにおける建替えニーズの高まりなどにより、合意形成を円滑に実施していくことが相対的に困難となるマンションが増加することが危惧される。

### 3. 3 マンション建替えの課題

マンション建替えの主要な課題を挙げれば、以下のとおりである。

#### 3. 3. 1 区分所有者の合意形成に関する課題

高齢世帯や子育て世帯などの世帯のライフステージ（年齢や世帯規模等）や今後のマンションでの居住計画、ローンの残額や建替え費用の負担の可能性、自ら居住している区分所有者と住戸を賃借している区分所有者や住戸を居住用途以外に使用している区分所有者との間での建替えについての必要性の相違など、多様な世帯属性や居住実態、居住に関する価値観を有する者が一棟の建物を区分所有していることから、建替えに向けてこうした多数の区分所有者の合意形成を図ることが一般的に困難である。

#### 3. 3. 2 建替え決議に関する課題

昭和58年の区分所有法改正において、従来の全員一致の原則を緩和して、5分の4以上の多数決で建替え決議を実施することができる制度が導入された。しかし、そのためには、いわゆる「費用の過分性」要件等を満たすことなどが必要とされるが、その要件の具体的内容や判定基準が不明確なため、トラブルを生じやすく、建替え決議の要件充足の有無をめぐる訴訟もこれまでに数件起きている。また、建替えの前後において、その敷地及び建物の主たる使用目的が同一でなければならないとされている点も、区分所有法に基づいて建替えを行うにあたっての選択肢を狭める要因となっている。

このため、これまでの建替え事例においては、区分所有法に基づく建替え事例はごく特殊な事例を除いては存在しておらず、殆ど全てが区分所有者全員の同意のもとでの建替えとなっている。

### 3. 3. 3 建替え事業主体の確立に関する課題

建替え決議後の建替え事業の実施主体に関し、区分所有法には規定は設けられておらず、建替えに参加する者で民法の組合類似の団体を構成すると解釈されているものの、事業実施に関する意志決定の仕方等の団体の運営ルールや権利義務関係が不明確で、現実の適用には多くの困難が伴うものと考えられる。また、これらの団体には法人格がないため、建替え事業は多数の個人の共同事業となり、資金の確保、建替え工事等の各種契約行為等が極めて煩雑で、円滑に行うことが困難となっている。

### 3. 3. 4 関係権利の円滑な移行に関する課題

これまでの建替え実現事例においては、様々な事業方式が採られてきているが、いずれの場合も区分所有権、敷地利用権、抵当権その他の権利の建替え後マンションへの確実な移行を担保する仕組みを欠いている。特に、建替えに伴う現マンションの解体により、建物に関する権利が一旦消滅せざるを得ないことから、金融機関が抵当権の抹消に難色を示すケースも報告されている。このため、抵当権を抹消できない者の存在がマンション建替えを困難なものとしている。また、住戸を賃貸している不在所有者の場合、賃借人との間で賃貸借契約の解除を合意する必要があるケースが多いが、トラブルを生じているケースも多く報告されている。

## 3. 4 マンション建替えに対する支援の必要性

マンションはわが国の都市における居住形態として広く普及している一方、築後相当の年数が経過したマンションが増加し、その老朽化・陳腐化が進行し始めており、居住者においても建替えに対する関心が高まりつつある。

しかし、マンションの建替えについては、上記のような課題が存在することにより、区分所有者の自助努力のみに委ねていると建替えが円滑に進まない状況にある。老朽した不良ストックの発生などにより、マンション建替え問題が社会問題化することが懸念される。

こうしたことから、その維持管理の適正化を一層推進する一方で、必要な建替えが円滑に行われるようにすることが重要である。一般的には、どのマンションにおいても、何れは建替えを必要とすることになることから、区分所有者自らの意志に基づき、必要な時期に必要な建替えが円滑に行われるようにすることにより、マンション建替えに対する居住者の不安を払拭し、都市における居住形態として広く定着したマンションに対する信頼性を確保していくことが極めて重要になる。

## 3. 5 マンション建替えに係る法制度の整備

以上のような観点から、国においてマンション建替えに係る法制度の整備が進められてきた。

平成14年6月にマンションの建替えの円滑化等に関する法律が公布され、平成14年12月から施行される予定である。この法律では、建替え決議等により区分所有者が

建替えの実施を決定した後、法人格を有するマンション建替組合の設立、権利変換手続きによる関係権利の変換等の措置を講ずることにより、建替え事業の安定的な実施を図ることを目的としている。また、この法律の施行に合わせて、住宅政策の観点から、合意形成を支援するための諸制度が整備されている。

また、平成14年12月に区分所有法の改正が予定されており、平成15年6月から施行される予定である。

#### 4 マンション建替え問題に関する研究開発とその成果を活用した「新法」の制定

##### 4.1 マンション建替え問題とは

我が国のマンションストック数は、平成12年度末時点で385万戸であり、そのうち建築後30年を経過したマンションは12万戸であるが、10年後には93万戸と今後急激に増加することが予想される。老朽化したマンションを円滑に更新していくことが、今後の大きな課題である。

しかし、マンション建替えは、戸建て住宅の建替えとは異なり、次のような多くの課題を抱えているため、自力更新が進みにくいのが実状である（こうした課題が阪神・淡路大震災による被災マンション再建の現場で顕在化した）。

- ①多数の権利者（区分所有者）による合意形成が必要であり、個人の意志では自由に建替えができない。
- ②多数の権利者の共同事業であり、規模が大きいことなどから、都市の居住環境への影響が大きいにもかかわらず、事業を安定的に進める制度が存在しない。

今後、老朽化したマンションが増加する一方で、こうしたマンション建替えを制約する課題の存在により、マンション建替え問題が社会問題化することが懸念される。

そこで、平成9年度から13年度までの5カ年計画で実施した国土交通省総合技術開発プロジェクト「投資効率向上・長期耐用都市型集合住宅の建設・再生技術の開発（マンション総プロ）」において、老朽化したマンションの建替え問題を解決することを目的とした研究開発を進めてきた。この度、その研究成果がマンション建替え円滑化法の制定に活かされることとなった。

##### 4.2 マンション建替え問題を解決するための研究開発

###### 4.2.1 合意形成の円滑化に向けた研究開発

マンション建替えの合意形成が難しいのは、一つには、個々の居住者（区分所有者）によって、建替えの必要性に対する認識や事情が大きく異なるからである。管理組合や区分所有者が建替えに関心を持つようになるのは、老朽化の進行により修繕費の増大を契機とする場合が一般的であるが、建替えの発意が突然に起こったのでは、多数の権利者の意見を調整することは容易なことではない。このため、マンション管理の延長線上に建替えを位置づけ、周到な準備のもとに建替えが実施されていくことが必要になる。

そこで、長期修繕計画の中に建替えを位置づけた計画策定の方法についての研究開発を行ってきた。

また、建替えの必要性についての合意を円滑に行うためには、マンションの老朽化等の状況を的確に把握し、修繕を行った場合と建替えを行った場合の費用対効果を判断することが望まれる。そこで、管理組合がこうした判断を合理的かつ客観的に行うための支えとなる技術的指針の検討を行ってきた。

こうした研究開発の成果は、管理組合や（相談業務等に応ずる）行政、専門家等が利用できる「マニュアル」として広く公表する予定である。

#### 4. 2. 2 事業実施の安定化に向けた制度提案

一方、区分所有者間の合意形成後であっても、マンション建替えには、次のような事業実施上の課題があることが分かった。

- ①合意形成後に建替え参加者は建替え組合を構成し事業を行うが、この組合には法人格が与えられない。そのため、建替え参加者は個別に建替え事業者と事業実施に必要な契約を結ばねばならない。建替え参加者が多数になると、この契約締結は大変であり、一人でも契約を拒んだり、契約に瑕疵があれば、事業は前に進まない。
- ②区分所有者の合意形成のほかにも、金融機関などの抵当権者や借家人として居住している者の同意を得ることが必要である。しかし、抵当権者の同意を得るためには債務を弁済することが必要であるが、一人でもそれが不可能な者がいれば建替えは実現できない。また、借家人の同意を得るためには、相応の立ち退き料などを用意して立ち退き交渉をするというコストがかかる。

こうした課題を解決するために、マンション総プロでは、合意形成後の事業実施過程を対象とする、次のような制度を提案した。

- ①合意形成後に設立される建替え組合に対して法人格を与え（都道府県知事の認可等）、事業遂行能力を高める。
- ②公益性の強く認められるマンション建替え事業に対しては、（市街地再開発事業のスキームに準じ）抵当権及び借家権等の従前権利を再建後の新マンションに行政処分により移行させる。旧マンションに付いていた関係権利が新マンションへ確実に移行することを行政が保証し、抵当権者や借家人の合意を得やすくする。

#### 4. 3 研究開発成果の活用によるマンション建替え円滑化法の制定

マンション建替えの円滑化の社会的課題としての重要性に鑑み、国土交通省では、平成13年になって法案の検討が進められ、以下のような骨子の「マンションの建替えの円滑化等に関する法律」が平成14年6月に制定された。

##### ①マンション建替え組合の設立

区分所有法に基づく建替え決議がされた場合、都道府県知事の認可を得て、法人格を有するマンション建替え組合を設立できる。マンション建替え組合の運営・意思決定のルールが法律に明確化され、合意形成や事業実施が円滑に行えるようになる。

民間事業者等に参加してもらい、そのノウハウ、資金力等を活用できる、参加組合員制度が設けられている。

## ②権利変換手法による関係権利の円滑な移行

マンション建替え組合が定めた権利変換計画に従い、区分所有権、抵当権等の関係権利が再建されたマンションに円滑に移行する。また、建替えに参加しない方からマンション建替え組合が区分所有権等の買取りを行うことができる。さらに、建替えに伴い必要となる登記を一括して申請できる不動産登記法の特例措置が設けられた。

## ③建替えに参加しない者に対する居住安定のための措置

賃借人、高齢者など建替えに参加することが困難な者に対して、公共賃貸住宅への優先的入居等の居住安定のための措置を講じることとしている。

## ④防災や居住環境面で著しい問題のあるマンションの建替えの促進

老朽化等により保安上危険又は衛生上有害なマンションについては、市町村長により建替えを勧告する制度を創設し、その建替えの促進を図ることとしている。

## ⑤マンションの建替えの円滑化等に関する基本的な方針の策定

国土交通大臣は、マンションの建替えの円滑化等に関する基本的な方針（基本方針）を定め、公表しなければならないものとされている。マンションの建替えの円滑化等を図るために講ずべき施策の基本的な方向、区分所有者等の合意形成の促進、賃借人や転出する区分所有者の居住の安定の確保、再建マンションにおける良好な居住環境の確保等に関する事項について、基本方針に盛り込まれることになっている。

この他、関連するマンション建替えに対する支援制度としては、優良建築物等整備事業、都市再生住宅制度等の補助制度、住宅金融公庫融資制度（都市居住再生融資）などがある。

このマンション建替え円滑化法の制定にあたっては、マンション総プロの課題3「円滑な建替え手法の開発」における調査・研究開発の成果が大いに活用された。法案の取りまとめの過程では、国土交通省住宅局内に委員会を設置して検討を重ねてきたが、国土技術政策総合研究所はマンション総プロの調査研究成果を活用して、前述の法案骨子の提案に加えて、次のような支援を行ってきた。

## ①マンション建替え実現事例の特徴の整理及び情報提供

- ②マンション建替えの課題に対する従来の対応策の整理及び情報提供
- ③平成10年住宅・土地統計調査（総務省）の特別分析による大都市圏の分譲マンションストックの実態分析と今後の建替え需要量の推計
- ④都心における築30年超マンションの標準モデルの抽出と建替え費用負担額のシミュレーション
- ⑤団地型マンション（数棟のマンションが敷地を共有するもの）や既存不適格マンション（建築基準法等の規定の適用時点で既に現存し、現在の法の基準に適合していないマンション）の建替え課題の整理及び建替え手法についての情報提供

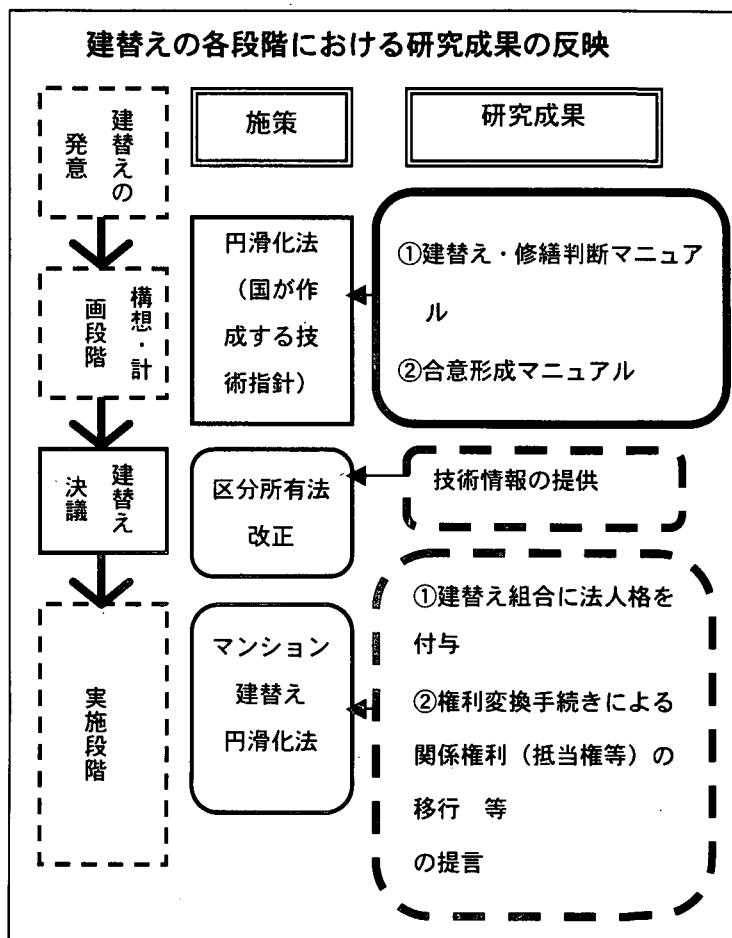
なお、法務省法制審議会においても、平成13年6月から、区分所有法改正の検討が開始された（平成14年12月の成立を予定）。国土技術政策総合研究所では、マンション総プロの成果をもとに、団地の建替え等に関する情報提供を行っているところである。

#### 4. 4 マンション建替え円滑化法の運用のための技術指針等の作成

マンション建替え円滑化法は合意形成後の事業実施過程の円滑化等を主な目的とするものであり、新法による制度が効果的に運用されるためには、合意形成の円滑化を図るための技術的支援措置が併せて必要となる。

その一環として、国土技術政策総合研究所には、マンション総プロの研究成果を活用して、管理組合や（相談業務に応ずる）地方公共団体・専門家向けに、次のような技術指針・マニュアル（原案）を作成することが期待されている。

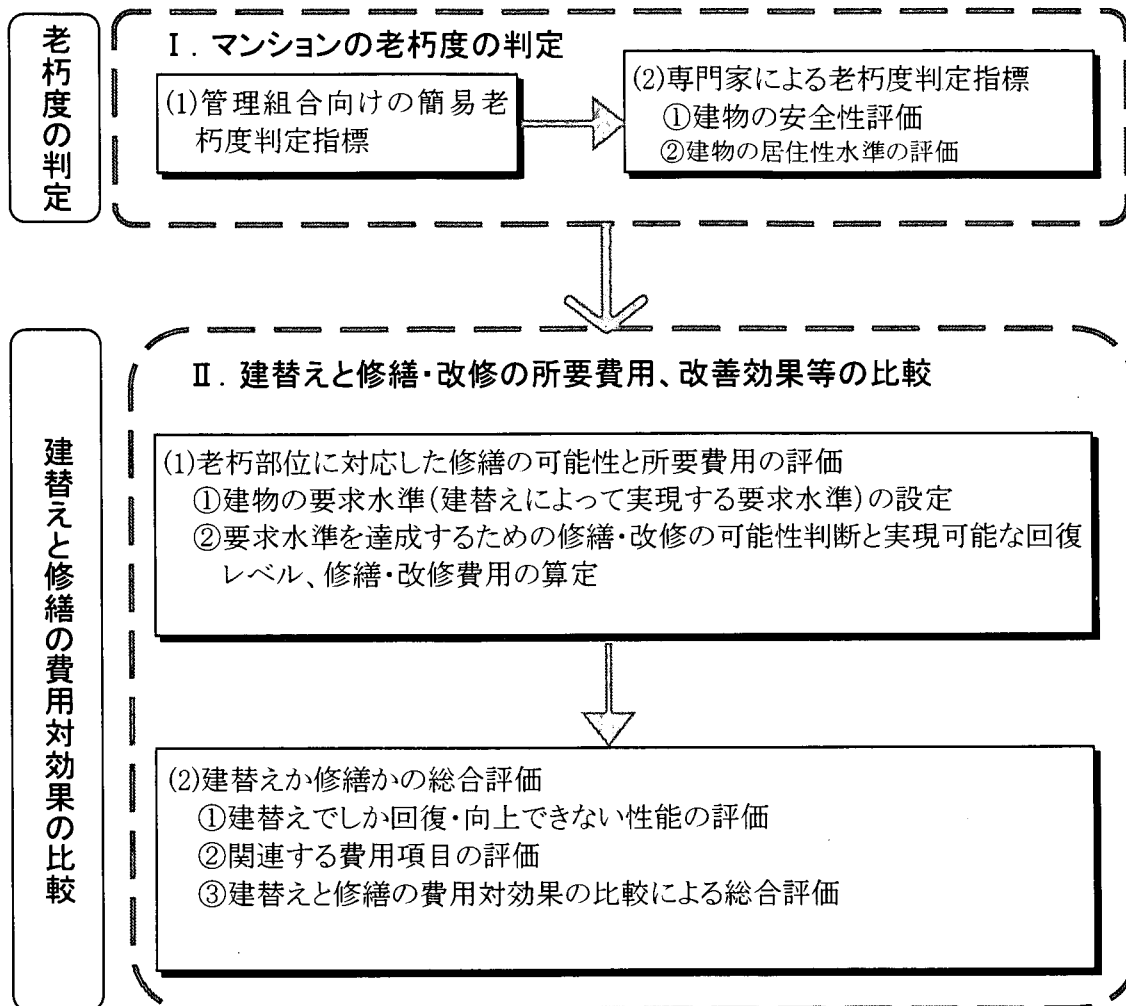
平成14年12月の法施行に向けて、作成したところである。



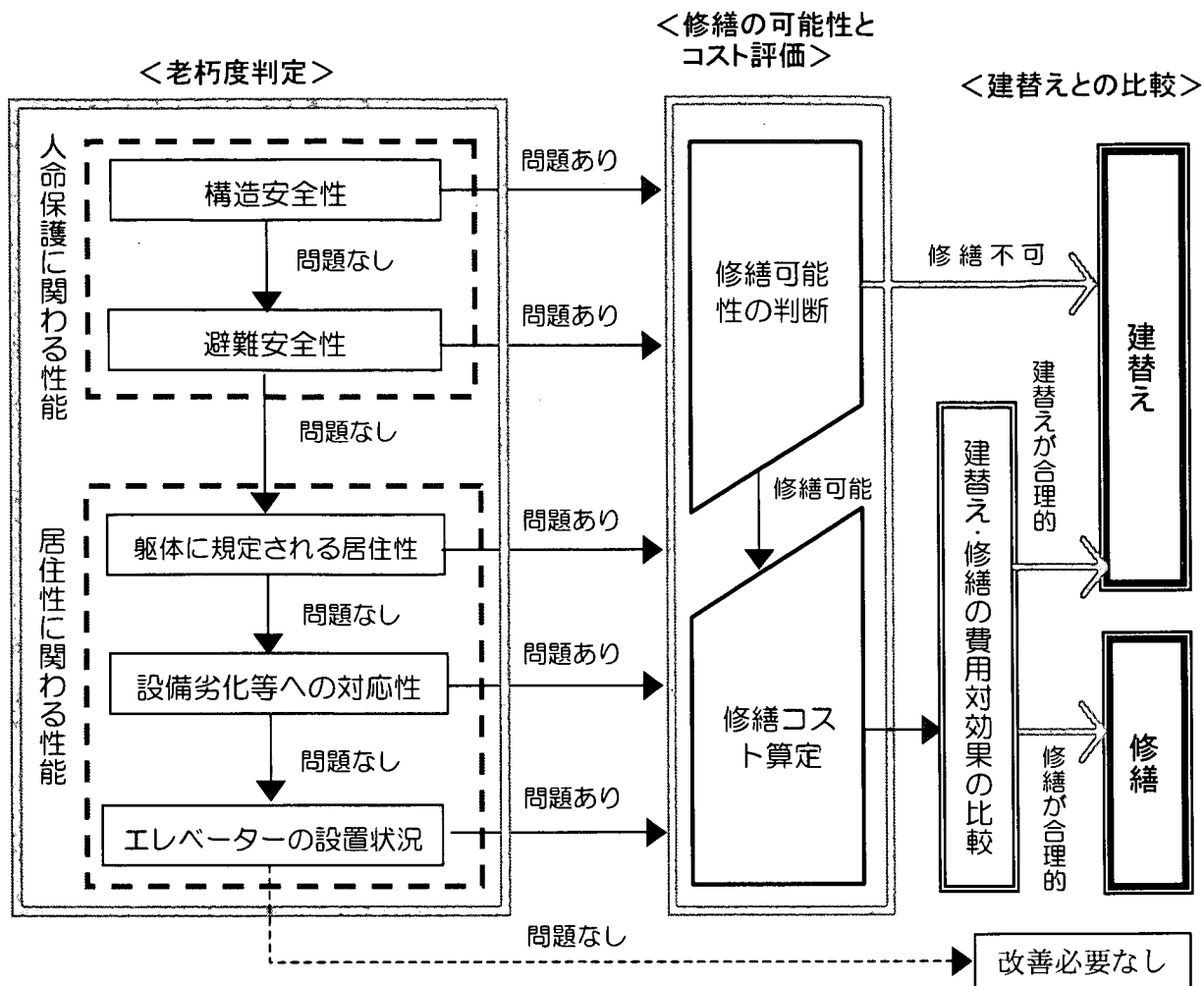
##### 4. 4. 1 「建替え・修繕判断マニュアル」の作成

マンション建替えが発意された際に、管理組合内において建替えの必要性の判断が円滑に行われるように、マンションの老朽度判定指針を作成し、マンションの建替えか修繕かを判断するためのマニュアルを作成した。

●建替え・修繕判断マニュアルの構成

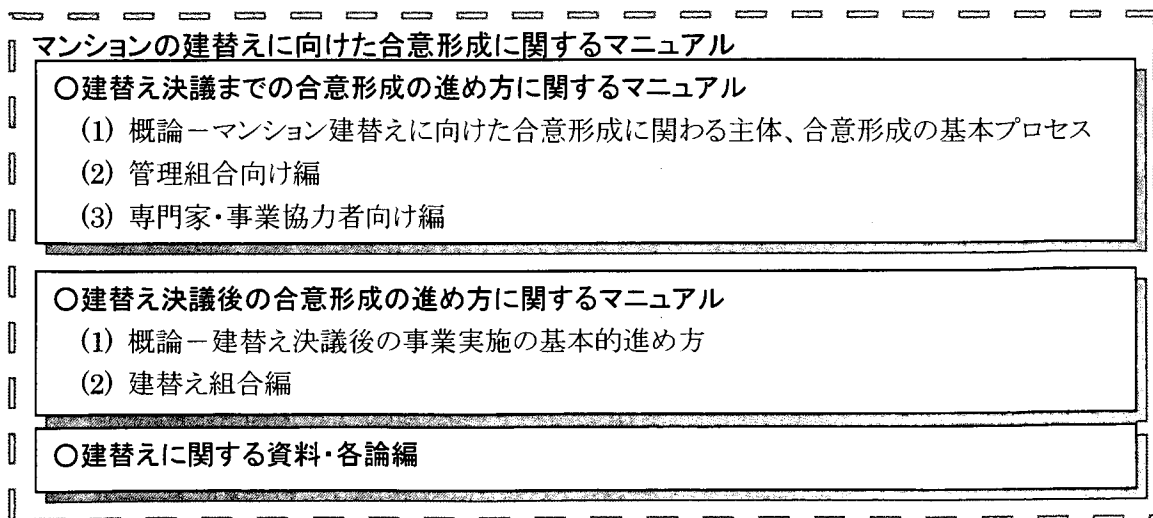


□ 建替えか修繕かの判断の基本フロー



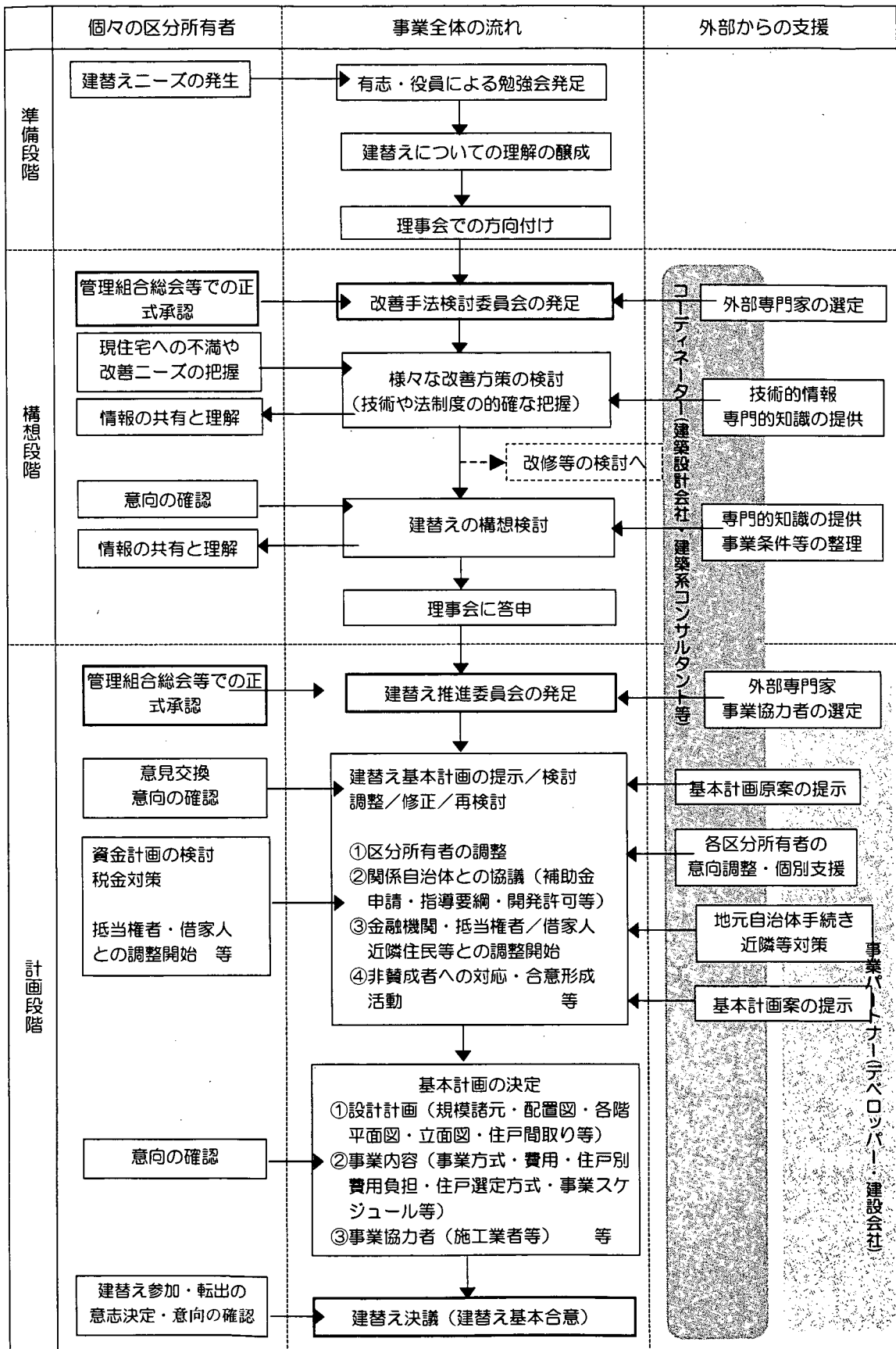
4. 4. 2 「合意形成マニュアル」の作成

●マンションの建替えに向けた合意形成に関するマニュアルの構成





□合意形成の基本的フロー



建替えを成功に導いていくためには、マンション特性や居住者特性に応じた適切な建替え手法を選択し、建替え計画に対する合意を適切な手順で形成することが必要である。合意形成の円滑化のために、マンション建替えの合意形成の進め方のノウハウやマンション特性に応じた建替え手法・関連制度等を取りまとめた「マンションの建替えに向けた合意形成に関するマニュアル」を作成した。

#### 4. 4. 3 マンション建替え円滑化法等への反映

以上、述べてきたとおり、円滑な建替え手法の開発に関する本研究においてマンション建替えの事業制度の提案を行い、その成果は「マンションの建替えの円滑化等に関する法律」（平成14年6月制定）に反映された。

また、上記建替え・修繕判断マニュアルおよび合意形成マニュアルは、マンション建替え円滑化法第4条に基づいて国土交通大臣が定める基本方針において、国が作成することとされる予定であり、国土交通省において公表される予定である。

平成14年12月に予定されている区分所有法の改正にあっても、本研究成果を基にした団地の建替え等に関する技術情報の提供を行ってきた。

# 道路技術がめざすもの

—技術開発の現状と道路行政転換のための展望—

道路研究部長

中村俊行

## 道路技術がめざすもの ～技術開発の現状と道路行政転換のための展望～

道路研究部長 中村 俊行

### 1. はじめに

戦後急速に進んだわが国の道路整備であるが、それを支えた重要な要素の一つとして道路技術の開発が上げられる。例えば明石海峡大橋を始めとする本州四国連絡橋を実現可能とした橋梁技術、東京外郭環状道路や湾岸道路などの大都市圏自動車専用道路の建設に貢献した軟弱地盤克服技術、道路交通の安全と沿道騒音の低減に役立っている排水性舗装の普及に寄与した舗装技術、路車間情報システム（VICS）や自動料金収受システム（ETC）を可能としたITS技術などを上げることができる。

これまでの道路整備を支えてきた技術の蓄積を踏まえつつ、効率的かつ時代のニーズに対応した道路整備の推進に必要な道路技術の開発・導入・普及の一層の促進を図るために、平成5年に「道路技術五箇年計画」が策定されている。さらに平成10年度からは「新道路技術五箇年計画」のもとで体系的な道路技術の開発が進められている。これらの計画のもとで、産学官が連携した技術研究開発の推進方策に従い、時代のニーズに対応した道路技術の開発が重点的に行われてきている。

しかし、一定の道路の量的ストックの形成が進んだ昨今では、新たな道路整備の限界効果は相対的に低下してきているといわれている。さらに公共事業の効率性に対する不信任、料金収入に過度に依存した有料道路制度の限界などから道路政策に対する批判の声が上がっている。一方で、都市部を中心とした慢性的な交通渋滞、過去最悪の死傷者数を更新している交通事故、依然として厳しい状況にある沿道環境、地方部における基幹ネットワークの未整備による災害や救急医療等への対応の遅れなど、定時性、安全性、信頼性などの観点から、地域に応じた解決すべき課題は依然として存在している。

来年度から始まる道路整備の長期計画では、これらの問題点を踏まえて、道路整備の重点化・集中化に向けた取組を行うための道路行政システムの改革と、活力・暮らし・安全・環境の政策テーマを掲げ、従来の道路行政からの「転換」を図ることとしている。これらの政策テーマを実現するための道路整備、さらには道路行政システムの改革を実現するためにも更なる道路技術の開発は不可欠である。

本稿では、道路技術開発の現状を「新道路技術五箇年計画」の成果を踏まえて紹介するとともに、道路行政の「転換」に向けての今後の技術開発の方向性について概観するものである。

### 2. 道路技術開発の現状

#### 2.1 道路整備を支えてきた道路技術

戦後、わが国は戦災復興から経済の高度成長、さらにゆとりと潤いのある生活重視へと、とりまく状況が時代とともに大きく変化していく中で、世界でも例を見ないほど急速に道

路整備を進めてきたが、それを可能ならしめたものに道路の調査、設計、施工、管理のそれぞれの分野での技術の進展がある。

日本の最初の高速道路である名神高速道路は、当時の2大道路先進国であるアメリカとドイツから技術的助言を受けつつ、道路線形の視覚的効果や地形との調和などを考慮した設計技術、最先端の土質工学の適用による高盛土の施工技術、大型アスファルトフィニッシュャやローラ類を用いたアスファルト舗装技術などの諸技術が採用され、その後のわが国の道路技術の先導役となった。

その後これらの技術は、表-1に示すようにわが国特有の厳しい気候風土にあわせて改良され、日本の道路技術として定着してきた。そして、これらの道路技術があって初めて、世界的にも例がないほど急速に進展したその後のモータリゼーションに対応できたといえる。

表-1 日本の風土と技術開発<sup>1)</sup>

地震常襲国	地球のわずか0.1%の面積に、地震放出エネルギーは10% →耐震設計技術、耐震構造技術等
台風常襲国	台風の年間平均接近数約7個 →耐風設計技術、耐風構造技術等
多雨国	年間雨量1750mm(世界平均800mm)、1100mm/日の記録もあり →斜面崩壊防止技術、情報提供技術等
多雪国	国土の5割以上が積雪地域 その人口密度は107人/km <sup>2</sup> cf. カナダ2人/km <sup>2</sup> ・ノルウェー12人/km <sup>2</sup> →除雪・防雪・凍雪害防止技術等
軟弱地盤国	可住地面積の約1/4が軟弱地盤地帯 →湿地プル等の建設機械、構造物基礎技術、地盤改良技術等
山岳国	国土面積の68%が山地、急峻な脊梁山脈が列島を縦断 →トンネル施工技術・換気技術、橋梁施工技術等

近年における道路技術の開発は、①従来は不可能だったことを可能とし、②著しい経済性の改善をもたらし、③工事の安全性の向上や、④道路サービスの質的な向上をもたらすなど、わが国の道路整備の質と量の両面における飛躍的発展を支えてきた。

例えば、1998年4月に開通した明石海峡大橋は、中央支間が2000mの世界一の吊り橋であるが、昭和30年代初頭の構想段階では誰もが不可能

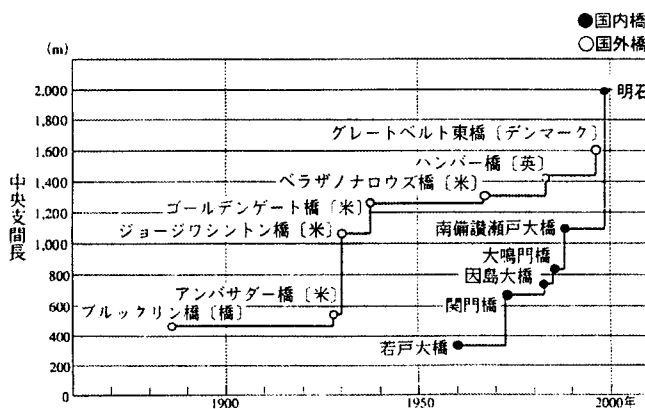


図-1 吊橋支間長の推移<sup>1)</sup>

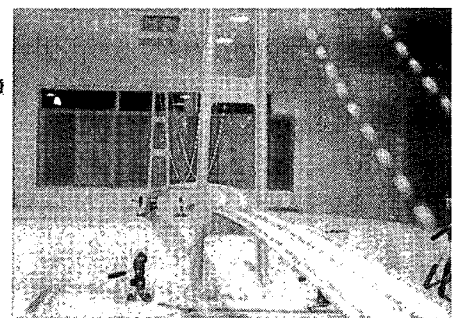


写真-1 風洞実験

と思うような夢の構想であった。これを可能にしたのは、大型風洞実験や数値解析シミュレーションを重ねて開発された耐震・耐風設計技術(図-1, 写真-1)、高強度ケーブル

ル材などの新材料の開発、桁の大ブロック一括架設や大水深大型基礎などの施工技術等によるものである。

さらに、高規格幹線道路網のネットワーク整備においては急峻な山岳地域や海底を横断する長大トンネルの建設が必要であったが、山岳トンネルでの NATM 工法の採用と電気集塵機の開発、東京湾横断道路等での大断面・大水深・長距離シールド工法の開発により可能となった。

巨大プロジェクトだけでなく、道路交通安全、雪国での冬期道路交通対策、沿道環境保全対策、電柱類の地中化、維持管理の高度化など身近な道路整備についても、新たな新技術を開発・実用化し安全・安心で活力に満ちた社会の実現に貢献してきている。

## 2. 2 道路技術五箇年計画（平成5年度～9年度）

これまでの道路整備を支えてきた道路技術の蓄積を踏まえつつ、21世紀をめざした新たに挑戦していかなければならない分野の主要技術について、開発・導入プログラムを策定し、大学・民間・行政の適切な役割分担と密接な連携・協調のもと、道路技術への積極的な取り組みと、その導入・普及の一層の促進を図るため平成5年6月に「道路技術五箇年計画」が策定された。

これは、平成4年6月に道路審議会からの建議を受け取りまとめられた道路整備の長期構想および平成5年度よりスタートした第11次道路整備五箇年計画に示されている「21世紀に向けたゆとり社会実現」のために「豊かな生活の実現」「活力ある地域づくり」「良好な環境創造」の主要課題を実現するため、近未来の道路および道路交通分野における新たな技術開発・導入を図る3に示すように7つの分野、13の課題として掲げ、全体で74の研究開発テーマから構成されている。

その成果のいくつかを以下に示す。

- (1) 自動料金収受システム (ETC)
- (2) 道路交通情報通信システム (VICS)
- (3) 排水性舗装
- (4) 新型遮音壁
- (5) 道路空間を活用した太陽エネルギーの活用
- (6) 建設材料や廃棄物のリサイクル
- (7) 橋梁の耐震性向上

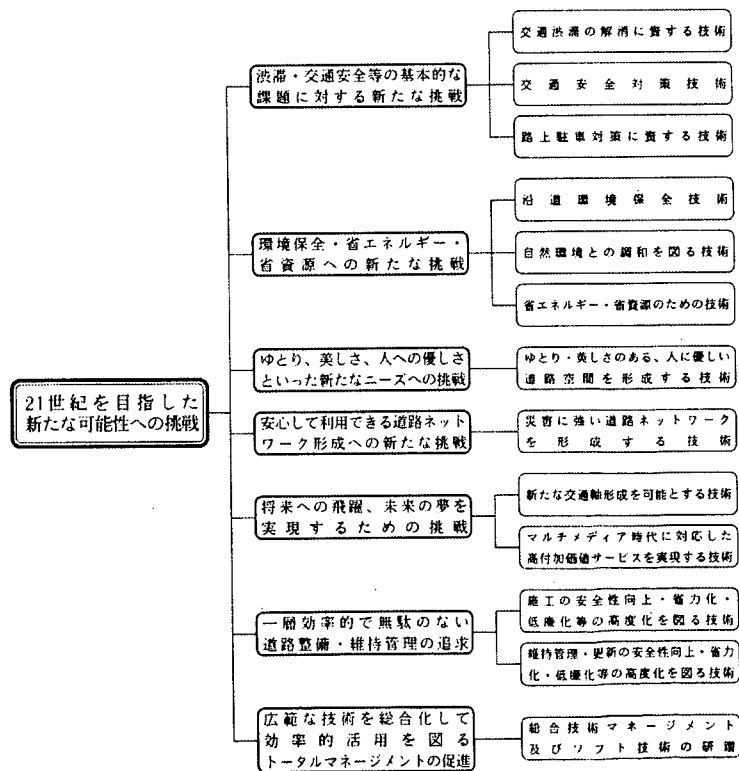


図-2 「道路技術五箇年計画」の基本的方向<sup>1)</sup>

## 2. 3 新道路技術五箇年計画（平成 10 年度～ 14 年度）

平成 5 年度～ 9 年度の「道路技術五箇年計画」の評価と総括、新たな道路に対する社会の要請等を踏まえて、平成 10 年 11 月に「新道路技術五箇年計画」が策定された。この計画では、道路を「造る」技術のみならず「使う」技術の研究開発や人文・社会科学を含む総合的な観点からの研究開発に取り組み、多様な技術を総合して社会ニーズに的確に応える道路技術の研究開発を推進することとされている。

新道路技術五箇年計画では、同年 5 月に策定された「新道路整備五箇年計画」の政策課題等を踏まえて、以下のように 4 つの主要課題と 13 の重点技術研究開発項目を設定している<sup>2)</sup>。

### (1) 道路環境の改善

- ①大気汚染・騒音・振動の発生源・沿道環境対策技術
- ②自然環境の保全・修復技術

### (2) 道路と生活の安心・安全の向上

- ③情報提供と運転補助による事故防止を図る走行支援道路システム（AHS）の開発
- ④地域性を考慮した地震動の評価および次世代耐震設計技術
- ⑤岩盤・斜面崩壊のリスクマネジメント技術

### (3) 道路交通と道路事業の効率性の向上

#### (3) - 1 道路交通の効率性の向上

- ⑥車両の大型化に対応した橋梁・舗装技術およびトンネルの断面拡大技術
- ⑦都市間・都市内輸送の連携を強化した物流システムの開発
- ⑧交通需要マネジメント（TDM）施策の具体的技術
- ⑨未利用エネルギーの活用等による環境に優しい雪寒対策技術

#### (3) - 2 道路事業の効率性の向上

- ⑩舗装・橋梁の長寿命化とライフサイクルコスト（LCC）を最小化するためのマネジメント技術
- ⑪地域特性を生かした効率的な道路計画・設計技術
- ⑫地域の連携と交流を促進する新交通軸形成技術

### (4) アカウンタビリティの向上

- ⑬道路政策を評価するシステムの開発

さらに、個別の重点技術研究開発項目に対する要素技術開発および研究開発の内容を決めて研究開発を進めているが、表-2に①大気汚染・騒音・振動の発生源・沿道環境対策技術、②自然環境の保全・補修技術についての事例を示す。

## 2. 4 技術開発の現状

平成 10 年度より始まった「新道路技術五箇年計画」は、今年度が最終年度となる。これまでの研究の成果と現状について、いくつかの事例を述べる。

計画の策定方針として、研究開発の推進体制の拡充の必要性が挙げられている。これに基づいて、他分野での技術の活用や民間等に対するインセンティブ高揚のために、民間等との共同研究や公募型を含めた委託研究が実施されてきている。さらに、研究開発の成果を実際の現場に採用してその適応性を検証する試験フィールド等も行われている。

表-3 に平成 13 年 6 月現在の、共同研究、委託研究、試験フィールドの実績数を示す。共同研究の実施状況の相手方の産学官分類、さらにその事例は以下の通りである。

土木研究所⇔産学官 3 件

「鋼橋溶接部の非破壊検査手法に関する共同研究」他

(東京工業大学、日本道路公団、(社)鋼材倶楽部、(社)橋建協、(社)検振協)

土木研究所⇔産官 2 件

「経済性を考慮した超長大橋の耐風設計法に関する研究」他

(本四公団、民間 9 社)

土木研究所⇔産 1 2 件

「多孔質弾性舗装の開発」他

(ゴムメーカー 6 社、タイヤメーカー 6 社)

土木研究所⇔学 1 件

「混合交通下における自転車・歩行者の適正空間配分に関する研究」

(徳島大学)

表-2 要素技術開発および技術開発の内容

要素技術開発名		技術開発の内容
①大気汚染・騒音・振動の発生源・沿道環境対策技術		
1-1	大気汚染対策技術	(1) 浮遊粒子状物質 (SPM) の浄化技術 (2) 低公害車の開発・評価 (3) 低濃度脱硝技術の開発・評価 (4) CO <sub>2</sub> 削減の予測評価技術
1-2	騒音対策技術	(1) タイヤ路面騒音対策技術 (2) 排水性舗装の騒音低減機能の維持回復手法の研究 (3) 多孔質弾性舗装の開発 (4) 騒音低減効果の高い新型遮音壁の開発
1-3	振動低減技術の開発	(1) 自動車のサスペンションに関する技術開発 (2) 高架道路のジョイント構造に関する技術開発 (3) 振動抑制型舗装技術の開発
②自然環境の保全・修復技術		
2-1	自然環境の保全・修復技術	(1) 貴重な自然が存在する地域における道路の計画・設計・施工方法の技術基準の策定、普及 (2) 生態系の保全、修復技術の開発

表-3 共同研究等の実績 (平成 13 年 6 月現在)

重点技術開発項目	共同研究	委託研究 (内公募型)	試験フィールド等	摘要
1 大気汚染・騒音・振動の発生源・沿道環境対策技術	2	1	2	
2 自然環境の保全・修復技術	1	3(2)	2*	*:16フィールドで実施
3 情報提供と運転補助により事故防止を図る走行支援道路システム (AHS) の開発	1	4	4	
4 地域性を考慮した地震動の評価および次世代耐震設計技術	2	5(5)	1	
5 岩盤・斜面崩壊のリスクマネジメント技術	2	0	5*	*:35フィールドで実施
6 車両の大型化に対応した橋梁・舗装技術およびトンネルの断面拡大技術	2	0	0	
7 都市間・都市内輸送の連携を強化した物流システムの開発	0	3(3)	1	
8 交通需要マネジメント (TDM) 施策の具体化技術	1	5	3	
9 未利用エネルギーの活用等による環境に優しい雪害対策技術	1	2	2*	*:3フィールドで実施
10 舗装・橋梁の長寿命化とライフサイクルコスト (LCC) を最小化するためのマネジメント技術	5	0	2	
11 地域特性を生かした効率的な道路計画・設計技術	2	0	2	
12 地域の連携と交流を促進する新交通軸形成技術	4	1(1)	1	
13 道路の施策を評価するシステムの開発	0	0	2	
合計	23	24(11)	27	



土木研究所⇔ 官 5件

「積雪寒冷地域における AHS の開発」他  
(北海道開発局開発土木研究所)

同様に委託研究の実施状況を以下に示す。

大 学 21件 (内公募型 10件)

「交通施策による大気汚染低減効果に関する研究」(東京大学)

「地形改変に伴う水環境変化が植生に及ぼす影響機構の解明」

(東京農工大学)：公募型

「物流関連企業の行動メカニズムに着目した道路網の評価」他

(東京商船大学)：公募型

民 間 2件 (内公募型 1件)

「地形改変に伴う水環境変化が植生に及ぼす影響機構の解明」

(財)日本生態系協会)：公募型

「AHS 全般の研究開発」(AHS 研究組合、民間 21 社)

自治体 1件

「エコ・パークアンドライド社会実験」(海老名市)

研究成果の一部は技術基準やマニュアル等に取りまとめられることとなるが、平成 13 年 6 月現在の間中間成果と最終成果の予定を表 4 に示す。

技術基準への成果の事例としては、

・「ITS システムアーキテクチャ」の策定

・「道路橋示方書」改訂への反映

・「道路震災対策便覧」改訂への反映

等が挙げられる。

マニュアル等への成果の反映では、

・「震災復旧技術マニュアル」

・「降雨浸透により表層崩壊を対象としたのり面の調査・モニタリング手法」

・「バリアフリー歩行空間ネットワーク形成の手引き」

・「施策の評価(総合事業評価)実施手引き(案)」等が中間成果で得られている。

以下に、「新道路技術五箇年計画」の 13 の重点技術開発項目ごとに、その進捗状況のいくつかを紹介する。

表 4 主な研究成果(平成 13 年 6 月現在)

重点技術開発項目	技術基準		マニュアル等		特許 (内出願中)	その他
	中間	最終 (予定)	中間	最終 (予定)		
1 大気汚染・騒音・振動の発生源・沿道環境対策技術	0	0	3	5	0	
2 自然環境の保全・修復技術	0	1	0	3	0	
3 情報提供と運転補助により事故防止を図る走行支援道路システム(AHS)の開発	2	3	1	2	104 (70)	ISO に路車協調システム、道路通信標準案の提案
4 地域性を考慮した地震動の評価および次世代耐震設計技術	2	4	1	6	0	IAE 2 地震動検討会 地震工学委員会他
5 岩盤・斜面崩壊のリスクマネジメント技術	0	0	3	4	1(1)	
6 車両の大型化に対応した橋梁・舗装技術およびトンネルの断面拡大技術	0	1	0	2	0	
7 都市間・都市内輸送の連携を強化した物流システムの開発	0	0	0	1	0	DMT システム研究 物流システム検討
8 交通需要マネジメント(TDM)施策の具体化技術	0	1	1	2	0	TDM 事例集、デモン ス、社会実験計画
9 未利用エネルギーの活用等による環境に優しい雪害対策技術	0	0	0	1	0	学会等での発表
10 舗装・橋梁の長寿命化とライフサイクルコスト(LCC)を最小化するためのマネジメント技術	1	2	3	5	0	
11 地域特性を生かした効率的な道路計画・設計技術	2	4	1	3	0	
12 地域の連携と交流を促進する新交通軸形成技術	0	1	0	6	0	新構造形式の提案
13 道路の施策を評価するシステムの開発	0	1	1	3	0	
合 計	7	18	14	42	105 (71)	

(1) 道路環境の改善

① 大気汚染・騒音・振動の発生源・沿道環境対策技術

**【大気汚染・騒音・振動の発生源・沿道環境対策技術】**  
**大気汚染分野 — 低濃度脱硝技術の開発**

微生物を用いた大気浄化システム

オゾン酸化装置を追加することにより吸引した沿道大気中のNOx(窒素酸化物)の約70% SPM(浮遊粒子状物質)の約67%の除去効果を確認

**騒音分野 — 新型遮音壁の開発**

**ASE遮音壁実用タイプの開発**

- 性能を改善しつつコストを低減
- ・プロトタイプに比ベコストが低減。(20万円/m→13万円/m)
- ・周波数に依らず通常遮音壁を4dB上回る。

試験走路に設置したASE遮音壁実用タイプ

遮音壁から5m地点の音圧スペクトル減音効果

② 自然環境の保全・修復技術

巣立ち後41日～42日の行動圏

オオタカ雄幼鳥の巣立ち後行動圏の推移

**動物の生息域分断防止技術**

宮崎自動車道において、ほ乳類の横断実態調査

- ・横断する動物種および個体数の把握
- ・横断構造物のタイプ毎の利用頻度、周辺環境との関係の把握

開放的構造物＝ノウサギ、キツネ。閉鎖的構造物＝アナグマ。タヌキは両方。  
 樹林と樹林or畑地＝ノウサギ、タヌキ。畑地と畑地＝キツネ。  
 樹林と樹林＝アナグマ。

(2) 道路と生活の安心・安全の向上

③ 情報提供と運転補助による事故防止を図る走行支援道路システム（AHS）の開発

**3. H13年度の主な成果**

**① 実証実験計画の作成**

1. これまでの実験の成果、課題、委員会での意見等を踏まえ、実証実験計画を作成。

(1) 走行支援道路システムの実験に加え、現在の道路管理を高度にする実験まで広がりをもった実証実験を計画。

(2) 3つの実証実験フィールドを用いて効率的に実験を計画。

(3) 実験の道路交通環境下で実用化に向けた実験を計画。

**② 安全性・信頼性の考え方整理**

1. センサ等のインフラシステムの性能には限界があることを前提に、車の中の画面表示や音声等(ヒューマンインターフェイス:HMI)まで含めた範囲でドライバが危険にならない対策を提案。
2. 今回の実証実験のインフラシステム系単独の仮安全度目標としては95%以上を目指す。
3. 実証実験では、HMIまで含んだ範囲の対策で、危険な状況にならないことを確認する予定。

H12まではインフラシステム系のみ(センサ～ビーコン)を検討範囲とし、安全性を限りなく100%に近づけることを検討

しかし技術的、経済的理由から、インフラシステム系のみで限りなく100%に近い安全性を確保することは困難

新たにHMIまで含んだ範囲(センサ～車の中のHMI)を対象に、危険な状態にならない対策を提案

提案内容は、実証実験で検証予定

H13年度に検討した安全性・信頼性確保の対策(例)、(今後検証予定)

【障害物発生の場合】

対策前: ドライバが障害物(安全とは思いこんだ場合は危険)になる

対策後: 画面表示や音声による危険な状態の発生を知らせる

対策前: 危険な状態に気づかず、危険な状態になる

対策後: 画面表示や音声による危険な状態の発生を知らせる

対策前: 危険な状態に気づかず、危険な状態になる

対策後: 画面表示や音声による危険な状態の発生を知らせる

#### ④地域性を考慮した地震動の評価および次世代耐震設計技術

### 歴史地震、活断層及びプレート境界地震を考慮した地震危険度解析手法の開発

(a)従来手法(歴史地震のみを考慮) (b)開発した手法

今後100年間の超過確率が5%となる地震動強度の試算結果

活断層やプレート境界で繰り返し発生する地震の発生履歴・発生位置・マグニチュードを考慮できる地震危険度解析手法を提案(各地域に生じる地震動の大きさを、確率を使って評価)

### 断層を直接的に考慮した設計地震動の設定手法の開発

関東地震を想定した地震動強度の解析例

将来発生が予想される大地震を対象に、その断層運動を考慮して設計地震動を設定する実用的な手法を提案

### 道路橋の合理的耐震設計技術の開発 —道路橋示方書V耐震設計編への成果の反映—

○性能に基づく道路橋の耐震設計法の開発  
・要求性能とこれを満たす仕様を明確に区分した性能規定型基準  
—新技術、新工法の導入への道筋  
○耐震設計法の高度化・合理化技術の開発  
・橋全体系を考慮した耐震設計法  
・耐震性能の動的照査法  
・橋台基礎の照査法  
・RC橋脚、鋼製橋脚の設計法の合理化・高度化

性能規定型基準の階層構造

第2章 耐震設計の基本方針  
第3章 耐震設計上、設計地震動の考慮すべき荷重  
第4章 耐震性能の照査  
第5章 照査における具体的な計算方法  
第6章 静的照査法による照査方法  
第7章 動的照査法による照査方法  
第8章 地震時に不安定となる地盤の影響  
第9章 免震橋  
第10～15章 部材毎の照査方法  
第16章 落橋防止システム

### 既設橋梁基礎の耐震補強マニュアル

「既設基礎の耐震補強技術の開発に関する研究」を実施し、5つの工法について、設計・施工マニュアル(案)を作成

設計・施工マニュアル(案)

マニュアルは、5つの工法について作成

5つの補強イメージ(例)

目次構成

1編 工法概要 3編 施工編  
2編 設計編 4編 参考資料

#### ⑤岩盤・斜面崩壊のリスクマネジメント技術

### 1) ハザード評価技術の開発

○エアトレーサー試験:  
斜面形状(微地形)、岩質と岩盤物性(強度など)、亀裂や弱層とその物性を3次元的に把握。  
全国12カ所で試験調査(内1カ所は実使用)を実施。

注入方法:  
1.送風機による人工注入  
2.自然の流れによる方法

トレーサー:  
煙、ガス、熱気など

### 1) ハザード評価技術の開発

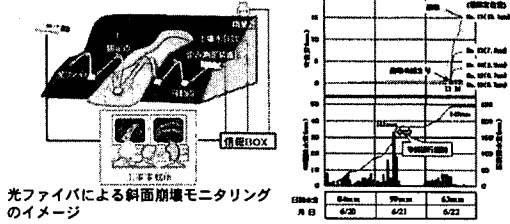
○GISの活用によるハザード評価技術:  
GISによる道路斜面防災情報の管理・表示システムを試作。  
DEM(数値標高データ)とGISを用いた概略的な崩壊可能性マップの作成手法を構築。

1) 落石経路の表示例  
2) 崩壊確率マップの表示例

GISによる表示イメージ

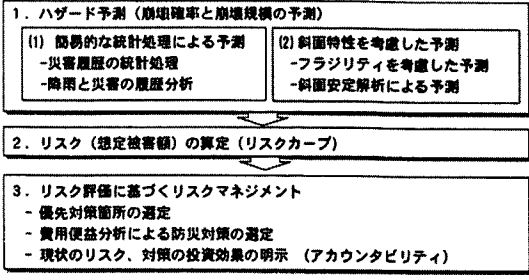
3) 予知技術の開発

○光ファイバセンサによる斜面表層崩壊モニタリング：  
光ファイバセンサを活用した、降雨に起因する斜面表層崩壊のモニタリングシステム。斜面の微小変位を捉え、崩壊を予測。全国6カ所でフィールド試験を実施。内2カ所で崩壊を検知。



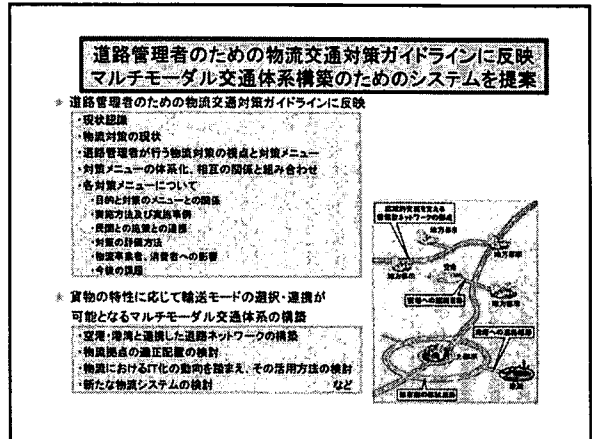
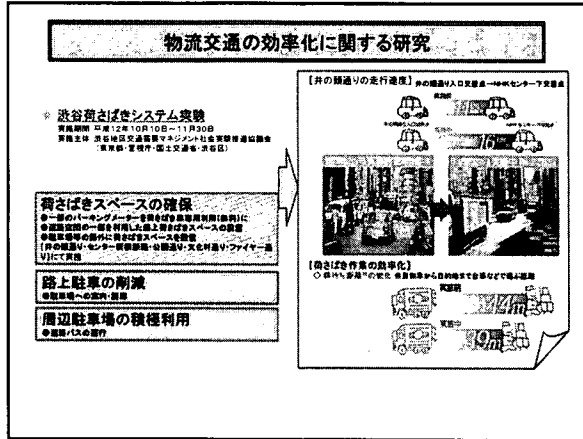
4) リスクマネジメント技術の開発

○災害発生に伴うリスクの効率的な評価技術：  
斜面が抱える斜面災害のリスクを数値化した、リスク分析・マネジメント手法。一般国道17号、220号でケーススタディを実施。

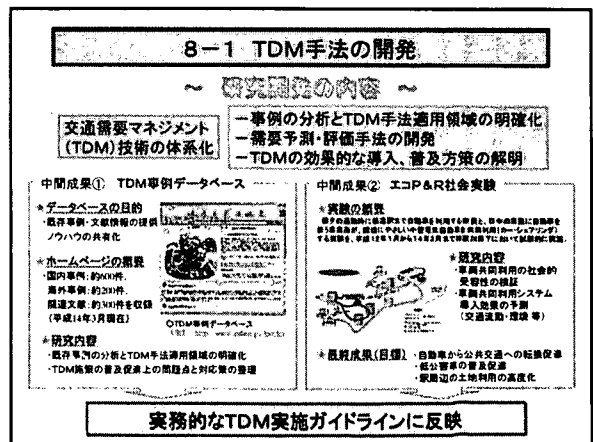
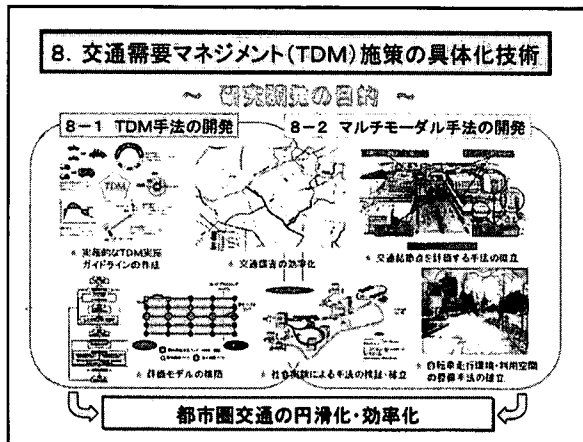


(3) - 1 道路交通の効率性の向上 (⑥は後ページ)

⑦都市間・都市内輸送の連携を強化した物流システムの開発



⑧交通需要マネジメント（TDM）施策の具体的技術



### 8-2 マルチモーダル手法の開発

～ 研究開発の内容 ～

**マルチモーダルを支援する技術の体系化**

- 各種交通情報を利用者へ提供する手法のコンセプトの提示
- 交通結節点の評価手法の開発
- 自転車走行環境の計画・整備手法の確立
- 交通調査の効率化(交通円滑化施策立案への活用など)

**中間成果①: プローブを利用した交通データ収集実験**

**実験の目的**  
より詳細な交通データ収集のための精密かつ詳細な交通データの把握

**実験の概要**  
調査協力車両の走行履歴情報の解析

**研究内容**  
情報通信技術の発展を踏まえた交通調査手法の開発、新たな交通調査体系の検討

**中間成果②: 調査方法の違いによる受け取られ方の比較実験の概要**  
調査方法の違いによる受け取られ方の比較実験の概要をまとめた。おもに調査の目的や調査の方法の違いを比較検討した。

**研究内容**  
情報提供が交通行動に及ぼす影響の分析  
交通手段変更を行う状況と判断に必要なとされる情報の把握

**交通機関の連携強化**

### 8. 交通需要マネジメント(TDM)施策の具体化技術

～ 平成13年度の成果と今後の対応(抄) ～

**8-1 TDM手法の開発**

- カーシェアリングの成立性に関する検証**  
13年度成果  
- イクス利用と相乗り利用の成立性を検証  
- 交通流動に与える影響を試算  
14年度実施内容  
- カーシェアリング導入の仕組み・組織・方策等の検討
- TDM実施ガイドライン(仮)**  
13年度成果  
- 都市特性と施策(PMR)の適用性を検証  
- TDMデータベースの拡充(アップデータはH14.7の予定)  
14年度実施内容  
- TDM実施ガイドライン策定の作成  
14年度以降  
- TDM実施ガイドラインの策定

**8-2 マルチモーダル手法の開発**

- 交通結節点の評価する手法の開発**  
13年度成果  
- 複数の乗換行動要素別に時間評価値(水平移動を基準とした等時間要素)を算出  
14年度実施内容  
- 一般化時間評価軸とした乗換評価方法の検証
- プローブカーを利用した交通データ収集実験**  
13年度成果  
- 一般道路のO-V  
- 相関に着目した道路パフォーマンスの把握可能性の検討  
14年度実施内容  
- 道路交通の信頼性(例: 通行速度)の信頼性に関する分析

**都市圏交通の円滑化・効率化**

⑨未利用エネルギーの活用等による環境に優しい雪寒対策技術

### システム実用化のための解決すべき要素技術

①都市型蓄熱槽  
- 設置場所の制約が多い都市部に適用可能(道路下等)、かつ安価な蓄熱槽建設技術  
- 高い蓄熱能力(熱損失の低減)、小型化

②熱活用技術  
- 瞬時変動、長熱変動に対応した運転技術  
- 総コストを最小とする設備規模算定法

**他の都市廃熱の適用の可否**

- ビル廃熱・地下鉄廃熱等の他の都市廃熱についても、熱源としての適用の可能性を整理する。

### ②環境にやさしい凍結防止剤の開発及び散布方法

凍結防止剤A (酸化ナトリウム) 凍結防止剤B (酸化カルシウム)

予冷凍結防止剤

凍結防止剤A 凍結防止剤B 凍結防止剤C

予冷凍結防止剤は、既存凍結防止剤に近い融氷能力を持つ。

事前散布において、既存凍結防止剤と同程度の予冷係数が維持された。

凍結防止剤A B C

予冷凍結防止剤は、環境にやさしい。

図2 最新の乾雪融雪試験結果

・非塩化物型凍結防止剤では、性能、環境、安定供給の観点から酢酸化合物が現時点で最も適していると判断された。

(3) - 2 道路事業の効率性の向上 (⑩は後ページ)

⑪地域特性を生かした効率的な道路計画・設計技術

### 小型車専用道路の基準案について

○ 設計基準と小型車専用道路横断面

○ 基準案

①設計車両  
車長12→6m、幅2.5→2m、高さ3.8→2.8m、重量25→3t

②横断面構成の縮小  
(例) 車線幅員 3.25m→2.75m

③建築限界の縮小  
高さ4.5m→3.0m

④縦断勾配緩和  
(例) 最大5%→8%

⑤緊急車を想定した設計車両  
25t→小型車3t、緊急車両16t

○ 今後の検討予定

① 地方整備局・地方公共団体等で都心部の渋滞交差点や都市高速の幹線幹線箇所等に対して可能性や効果の検討および設計  
② 緊急・救助・消火活動に係る具体的な対応及び特殊用途の課題を引き続き検討  
③ これらを踏まえ15年度内に基準案のとりまとめを目指す。

### 高齢者・障害者に配慮した道路構造2

・歩行者への対応

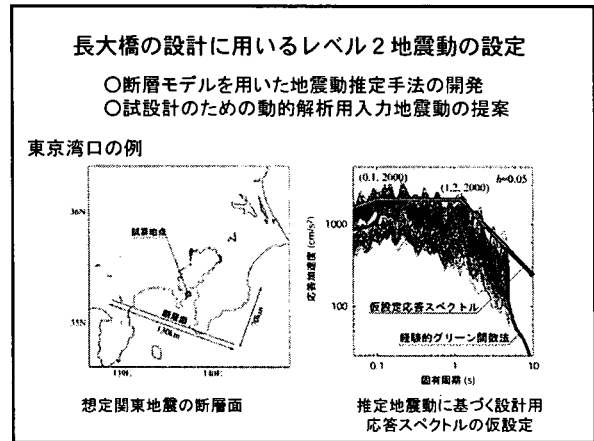
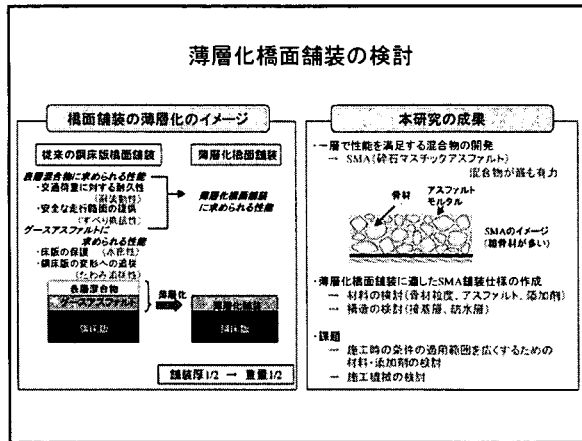
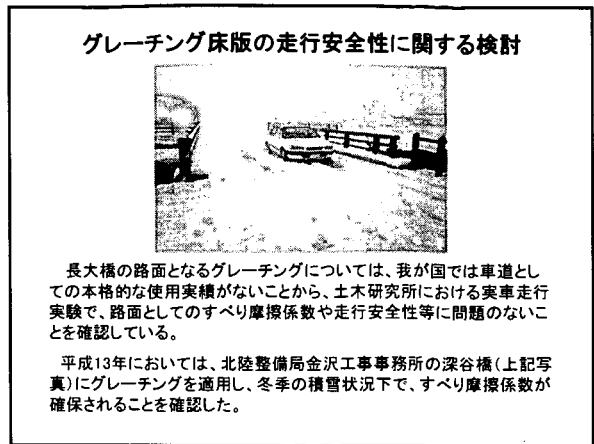
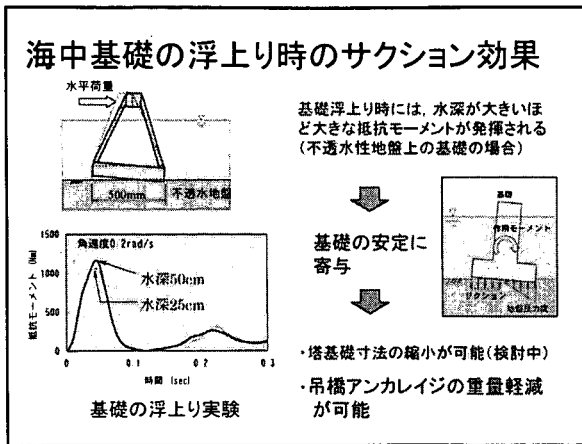
①歩行空間に求められる機能(交通機能以外)の整理(H13)

項目	具体
環境	騒音、振動、排気ガス、日光、風、水、湿結
緑	緑地、ほこり、降時差、湿度、気温
情報・案内	標識、方向、位置の明瞭性、ランドマーク、コミュニケーション
風土	地域特性、歴史、独自性
気候・落ち着き	風速、多量な雨、落ち着き、爽しさ、健全さ、乾燥、香り、音響、色彩
景観	街並み、視界、広がり、調和

上記機能を考慮した、歩行空間幅員の決定法を検討(H14以降)

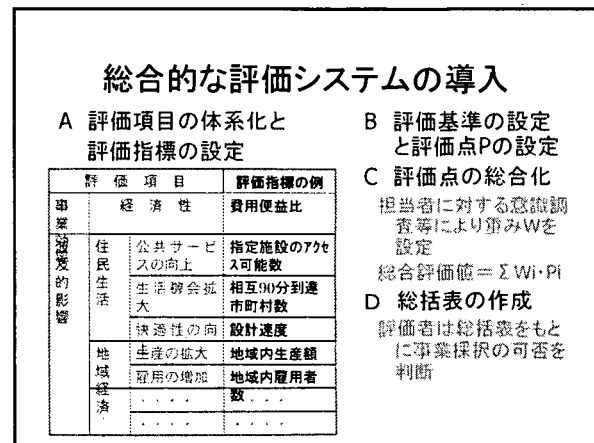
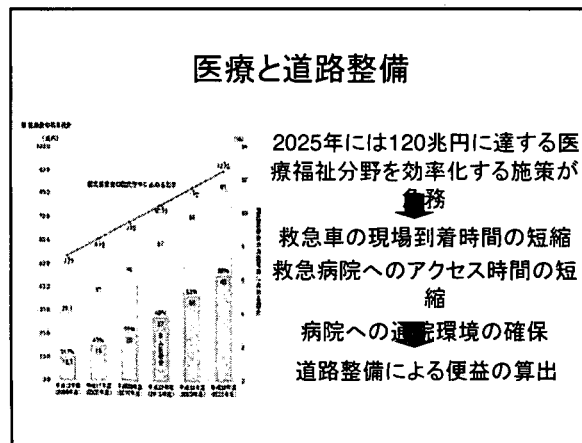
②歩行者交通量・サービス水準と歩道幅員との関係を解明し、トラフィック機能に基づく歩行空間幅員の決定法を整理(H13～14)

⑫地域の連携と交流を促進する新交通軸形成技術



(4) アカウンタビリティの向上

⑬道路政策を評価するシステムの開発

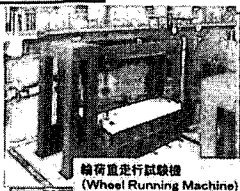


## ⑥車両の大型化に対応した橋梁・舗装技術およびトンネルの断面拡大技術

**これまでの中間成果1**

**高耐久性床版および  
既設床版の補強工法の開発**

輪荷重走行試験機を導入し、床版の疲労損傷メカニズムを解明するとともに、疲労耐久性向上策について検討。また疲労耐久性評価手法を確立。



輪荷重走行試験機  
(Wheel Running Machine)

**成果**・RC床版の疲労損傷メカニズム解明  
・効果的な床版の疲労耐久性向上策の検討および効果的な床版の補修補強工法の検討  
・道路橋床版の疲労耐久性の評価手法確立

**効果**・床版の疲労耐久性の向上  
・疲労耐久性に関して要求性能と検証方法を提示することで、技術開発を促進

無補強供試体の試験結果

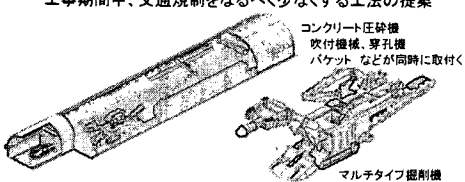
補強供試体の試験結果(1)

**これまでの中間成果2**

**トンネルの断面拡大技術**

交通を確保した状態(最低でも一車線)で経済的にトンネル断面拡大が可能な施工方法について検討を行い、既設トンネルの諸条件(断面形状・覆工状態・地山条件・延長等)に応じた複数の断面拡大工法を提案した。

**成果** 狭い空間で効率的に機械や発破掘削が可能な専用機の提案  
工事期間中、交通規制をなるべく少なくする工法の提案



提案工法の一例  
(一台に複数の機能を取付けた掘削機の開発)

**効果**  
**工費・工期縮減**  
従来工法との比較では、移動式作業構台の開発により、対象トンネルが100mを超える場合には経済的となり、延長200mの場合で約10%程度の工費縮減が見込める。また、専用機械等の開発により工期も短くなり、延長200mの場合で約20%程度の短縮効果が見込める。しかしながら、同距離の新設トンネルとの比較では、断面拡大工法は新設トンネルの約2倍程度の工費となっている。

**交通規制期間の緩和**  
既設覆工の利用やプロテクターの改良により、従来工法に比べ工事期間中の一般車両の二車線通行が可能な期間を長くすることができ、従来工法に比べて交通規制期間の短縮が見込める。

## ⑩舗装・橋梁の長寿命化とライフサイクルコスト(LCC)を最小化するためのマネジメント技術

**13年度の成果**

**道路橋示方書の改訂  
(平成13年12月27日)**

これまでの研究成果を耐久性向上策に反映

**①共通編**  
・橋面防水層の設置を明確化  
→コンクリート床版の疲労耐久性確保

**②鋼橋編**  
・疲労の影響を考慮  
・溶接部の非破壊検査に関する規定の充実

**③コンクリート橋編、下部構造編**  
・塩害対策に関して、指針(案)から条文へ  
・規定内容を一部強化

**13年度の成果2**

**舗装のLCCの最小化**

**成果**

【既存PMSの改良】  
・従来、局のワークステーションで運用していたシステムを事務所のパソコンレベルで扱えるシステム(舗装管理支援システム:図1)に改良

【舗装の評価手法の開発】  
・路面性状の違いによる道路利用者への影響を調査し、平坦性の悪化が乗り心地に影響を与えることを確認(図2)

【舗装の外部費用の定量化方法の開発】  
・PMSに取り込む必要があるものと思われるモデルを整理(道路利用者費用モデル)  
車両走行費用、時間損失費用、事故費用(沿道及び地域社会の費用モデル)  
環境費用(大気汚染、騒音・振動、地球温暖化)  
・道路利用者が工事洗濯により被るライフサイクルコストを試算(図3)

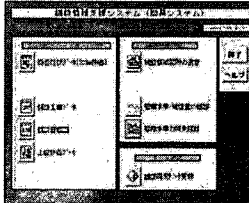


図1 舗装管理支援システムメニュー画面

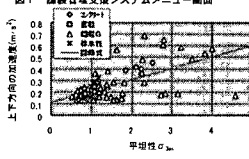


図2 平坦性と車両の乗り心地の関係

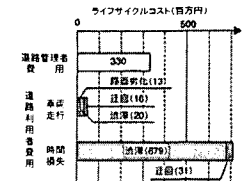


図3 ライフサイクルコスト試算例

**効果**  
・走行時間遅延費用モデルを運用することで、工事洗濯による損失を最小化するための工事形態および工法の提案が可能  
・道路利用者費用モデル、沿道及び地域社会の費用モデルを組み込むことにより、道路管理者、道路利用者、沿道及び地域社会の三者の立場からLCCを最小化することが可能

### 3. 道路行政の転換

#### 3.1 「転換」の背景

現在、新たな世紀を迎え、とりまく環境が大きく変化してきており、戦後の経済社会システムそのものの改革が求められている。道路行政についても例外ではなく、今後の道路行政や行政手法について、幅広く検討する必要がある。

そのため、平成14年3月、社会資本整備審議会道路分科会基本政策部会が発足し、精力的議論を重ね、8月に国土交通大臣に中間答申されている。以下にその概要を述べる<sup>3)</sup>。

##### (1) 経済社会についての認識

戦後、物・資金・インフラなど何もない「ゼロ」から出発したわが国であるが、戦後復興に向けて、欧米先進諸国へのキャッチアップを目標として量的な不足の解消のために、全ての分野で着実に整備・生産を進めてきた。この結果、インフラに限らず効率的に量的整備・生産を進める経済社会システムを構築し、日本経済の成長と国民生活の豊かさを導き、高度成長を実現した。その結果、今日では様々な分野において量的な不足は一定レベルまで解消した。

右肩上がりの成長が終わり、量的な不足が満たされつつある中で、国民意識の多様化・高度化が進行している。この様な成熟型社会においては、個人の価値観にあわせた選択が可能となるような社会を形成することが国民の暮らしの質の向上に役立っていくと考えられる。

さらに21世紀は、2006年をピークに人口の減少傾向に入り、特に地方部を中心に大幅に人口が減少すると予測され、本格的な少子高齢社会が到来する。また、地球温暖化といった地球的規模の環境問題を始めとして、経済と環境との調和が不可欠になっている一方で、高度情報化・グローバル化が一層加速され、経済活動のみならず、国民の暮らしや土地利用、産業立地などの国土構造に大きな影響を与えられられる。

今日、経済が長期にわたり停滞し、社会全体に閉塞感が蔓延しているものの、わが国は人材・技術などの面で世界に誇りうる良質な資源を有するとともに、豊富な個人金融資産、安定した社会状況などを勘案すれば、わが国をとりまく環境は必ずしも悲観的なものばかりではない。今後、安定成長による持続可能な成熟型社会を実現するために、わが国が有する潜在的な力（ポテンシャル）を最大限に発揮させる経済社会システムを構築することが必要である。

一方、国・地方が抱える長期債務残高、少子高齢化の進展に伴う生産年齢人口の減少や社会保障関係費の増大等を勘案すれば残された時間は少なく、早急に、最も成果の出る投資や施策を峻別する経済社会システムへ改革することが必要である。

##### (2) 道路整備の現状と諸環境の変化

戦後、早急に欧米先進諸国へキャッチアップするため、経済成長に伴って増加する自動車交通への対応、すなわち自動車のための道路整備が最優先課題であった。このため、道路特定財源制度、有料道路制度、全国一律な構造基準など最も効率よく整備できるシステムを導入し、飛躍的な交通需要の増大に的確に対応し、効率的な物流や国土の有効利用を通じた経済成長の実現、国民生活の豊かさの向上、地域格差の是正に道路整備は大きく貢



献した。

戦後の一貫した着実な整備の結果、ある程度の量的なストックは形成された。このため、道路整備の初期においては、どの地域においても、道路整備が望まれ、整備されれば必ず利用され地域に大きな効果がもたらされたが、現在では道路ストックの増大とともに、新たな道路整備の限界効果は相対的に減少してきている。これまでのような画一的な量的整備システムは、国民の高度な質的機能に対する要請や経済状況の変化、社会システムの変化に的確に対応できなくなってきたおり、今後の成熟型社会においては、全ての地域にとって必ずしも最適なシステムではなくなってきたといえる。

しかし一方では、全国で年間12兆円に及ぶ経済損失を招いている都市部を中心とした交通渋滞、年間死傷者約120万人と過去最悪を更新している交通事故、地方部における基幹ネットワークの未整備による災害や救急医療等への対応の遅れなど、定時性、快適性、安全性、信頼性などの観点から、地域に応じた解決すべき課題は依然として存在している。また、未整備地域と整備が進んだ地域の差異が、地域そのもののあり方に影響を及ぼしており、様々な活動への参画の機会均等が求められている。特に、環状道路等ネットワークの欠落部分（ミッシングリンク）の解消や、多機能な社会共有空間としての道路の役割を再認識することが重要になっている。

こうした中で、道路環境をとりまく諸環境の変化として、産業の空洞化による対アジア競争力の低下、地球環境・沿道環境との調和の重視、急激な都市化の収束と中山間地域の大幅な人口減少、2030年前後をピークに減少する自動車交通量、財政制約と更新投資の増大などが考えられ。

さらに、「投資すべきところに十分に投資しているのか」、「料金収入に過度に依存した有料道路制度の限界」、「公共事業の効率性に対する批判や不信感」、「道路を使う観点の軽視」といった道路行政についての反省を踏まえて、道路行政の改革の実現と、転換への具体的な行動を起こすことを提言している。

### 3. 2 道路整備五箇年計画（案）（道路分野の重点化計画（案））

上記の基本政策部会の「中間答申」等も踏まえて、平成15年度から始まる新たな「道路整備五箇年計画（案）（平成15年度～19年度）」では、今後の道路整備の方向として「道路行政システムの改革」と「道路行政の政策テーマ」に大別して、以下の重点項目が提示されている<sup>4)</sup>。

#### （1）道路整備の重点化・集中化に向けた取り組み（道路行政システムの改革）

##### 1) 集中と選択、無駄なくスピーディにサービス提供

- ①アウトカム指標による評価システムの導入
- ②集中的重点整備の実施
- ③地域に適した道路構造・規格の適用
- ④事業の進捗管理の徹底
- ⑤社会実験の積極的な実施
- ⑥技術開発と総合的なコスト縮減

2) 既存ストックの有効活用

- ①多様で弾力的な料金施策の導入
- ② ETC の普及
- ③違法路上駐停車の排除
- ④路上工事の徹底合理化
- ⑤道路の情報化の推進

3) 事業の透明性・アカウンタビリティの向上

- ①地域と道路管理者のパートナーシップ
- ②アカウンタビリティの向上

4) 既存制度の見直し

- ①道路特定財源の活用
- ②有料道路制度改革
- ③国と地方の役割分担
- ④P F I の導入

(2) 道路行政の政策テーマ

1) 活力 ～都市再生と地域連携による経済活力の回復～

- ①円滑なモビリティの確保
- ②都市の再生
- ③個性ある地域の形成
- ④国土・地域ネットワークの構築
- ⑤物流効率化の支援
- ⑥情報化の対応

2) 暮らし ～生活の質の向上～

- ①安全で快適な人優先のみちへの再生
- ②無電柱化による美しい街並みの形成

3) 安全 ～安全で安心できる暮らしの確保～

- ①安全な生活環境の確保
- ②災害への備え
- ③更新時代への対応

4) 環境 ～環境の保全・創造～

- ①沿道環境の改善
- ②地球環境の保全
- ③自然環境の保全・創造
- ④環境対策の効果的な実施

#### 4. 今後の技術開発の方向

今まで述べてきたように、道路技術は不可能を可能とし、著しい経済性の改善をもたらす、工事の安全性の向上や道路サービスの質的な向上をもたらすなど、戦後の道路整備の質と量の両面における飛躍的な発展を支える大きな役割を担ってきた。道路政策の大きな転換を図っていく今後においても、道路技術の役割は変わらず、政策目標を達成するために、新たな技術の研究開発に取り組まなければならない。

「新道路技術五箇年計画」は今年度が最終年であり、現在、この達成状況等を評価しつつ新たな道路技術計画の策定に取り組んでいるところである。今後の道路技術については、前章で述べた道路行政の「転換」の背景を踏まえて、道路整備五箇年計画（案）で示されている道路行政システムの改革と道路行政の政策テーマを効率的に推進、達成するための研究開発の仕組みと適切なテーマの設定が必要となる。

以下に、今後の道路技術の研究開発の方向として、その促進方策と主要なテーマについて取り上げる。

##### 4. 1 研究開発の促進方策

###### (1) 総合的な取り組み

従来の技術開発においては、研究開発そのものが目的化している事例も見受けられた。今後は、道路の技術開発が施策実現のための手段であることを認識し、その技術により何が実現可能になるのかを十分に考えながら研究開発に取り組んでいく必要がある。そのためには、政策実現のための道路技術を体系化し、必要な個別技術の研究開発スケジュールを含めた全体計画を作成することが重要である。それに基づいた個々の技術開発にあたっては、全体の研究開発状況に関する情報、社会・行政ニーズ、研究開発の目標・役割分担・実施方法、研究開発された技術の実用化・普及方策について共通して認識し、情報を共有化することにより、効率的かつ計画的な推進が期待できる。

さらに、技術開発にあたっては研究開発を担当する産学官の役割分担と連携を密にし、必要に応じて、政策や事業を行う行政、工事を担当する建設業者、道路の最終ユーザーである道路利用者等が技術開発に参加し、その必要性和開発目標を明確にするべきである。その中で、それぞれの役割を適切に分担し、一元的なマネジメントを行っていくことが重要である。

###### (2) 評価

技術開発にあたっては、定期的に公正かつ透明性の高い評価を実施するべきである。

事前評価では、その研究開発の成果によって何が実現できるのかを明確にし、出来るだけ客観的な指標で評価する必要がある。例えば、その技術を道路建設に新たに適用した場合にいくら建設コストが縮減されるのか、その費用便益はいくらかなどの指標を用いて研究開発の優先度等を評価する。全ての技術開発を費用便益で評価するのは難しいが、可能な限りその成果を客観的に表現するための努力が必要である。

中間評価では、社会ニーズや経済状態などの変化を受けて、重点化した技術研究開発項目の継続の必要性を判断するとともに、研究開発の推進方策の適切性を評価し、改善すべき点を明確にする。

事後評価では、開発目標の達成度、推進方策の適切性、実用化・普及方策の方針について評価するのは勿論であるが、その技術によりどの程度道路の政策目標が達成できるのか、その効果はどのようなかなどの観点からの評価も必要である。

評価にあたっては、外部評価と内部評価を行い、評価の正確性、客観性、透明性などを高めていくとともに、評価結果はインターネットや冊子などを活用して情報公開していくことも重要である。

### (3) 学際的、異分野の研究領域

従来より、「道路技術五箇年計画」では自ら新技術を研究開発し、研究開発された技術を自らの事業に活用してきた。今後は、道路を「造る」技術から「使う」技術の開発へ転換を図るにあたって、道路事業を対象とした技術開発だけでなく、道路を効率的に活用するための技術開発にもさらに力を入れる必要がある。これらの技術開発には、異分野の技術や民間のノウハウが不可欠であり、さらにその成果は民間市場の活性化につながるものである。

I T S（高度道路交通システム）に関連しては、情報通信分野の先端技術を道路事業に活用することにより、道路交通の効率性と安全性を飛躍的に高めると共に、2000年度から2015年度までの累計で約60兆円の新たな市場が開発されると予想されている。

今後とも学際的、異分野の技術について情報収集に努めるとともに、この分野での産学官と協調して、道路分野での新たな活用や市場の開拓を見通して、研究開発を積極的に進めていく必要がある。さらに、研究開発を加速するために、このような分野の研究開発については、従来の民間企業や大学への委託研究のみでなく、研究補助金などの研究助成制度の拡大についても引き続き検討されるべきと考える。

### (4) 研究成果の発信等

前述したとおり、今後の技術研究開発を円滑に推進するためには産学官の連携が必要である。この連携を実効あるものとするために、知的所有権の管理を明確にしたり、技術研究開発に関連する内外の技術情報の収集、整理、発信を一元的に行っていく必要がある。

また、インターネットを活用して、道路技術に関する全国規模のデータベースや統計の整備や公開を図ることも研究成果の有効活用に繋がるものである。

## 4. 2 研究開発テーマ

今後の道路技術の開発にあたっては、3章で述べた「道路行政の転換」を実現させるテーマに重点が置かれるべきである。

「道路行政システムの改革」に関連しては、例えば「総合的なコスト縮減」、「アウトカム指標を用いた道路評価」、「地域に適した道路構造・規格の適用」、「路上工事の徹底合理化」、「アカウントビリティの向上」等を実現するための技術開発が求められている。

「道路行政の政策テーマ」では、活力、暮らし、安全、環境が4大テーマで示されており、これを支援する技術開発を重点的に進めることとなるが、特に活力に関しては「円滑なモビリティの確保」、「都市の再生」、「物流効率化の支援」、「情報化の対応」等の技術開発が必要である。暮らしに関連しては「安全で快適な人優先のみちへの再生」、「美し

い街並みの形成」等を踏まえて、道路空間の高度化・再構築に係る技術開発、安全では、交通事故と自然災害の被害を低減するための技術、さらには「更新時代への対応」としてアセットマネジメント技術の開発が促進されるべきである。環境については、新たな課題であるヒートアイランド対策等も含めて、研究開発を継続していく必要がある。

以下にコスト縮減、アセットマネジメント、道路空間の安全性・快適性の向上の例を取り上げて、総合的な技術開発のあり方について述べる。

#### (1) コスト縮減

わが国の公共工事のコストについては、その割高感が以前より指摘されているところである。これはについては、日本の脆弱な国土条件、例えば、地形条件から橋やトンネルが多く、地震や軟弱地盤対策が必要であること、さらに狭い国土のため土地代が高く環境・安全面での沿道への対策が必要であることなどが原因と考えれ、これらを考慮せずに欧米と同じものを造れば同程度の費用になるとの指摘もある。

しかしながら、厳しい財政事情の中、限られた財源を有効に活用し、効率的な公共事業の執行を通じて、社会資本整備を着実に進め、本格的な高齢化社会に備えるためには、早急に有効な諸施策を実施し、公共工事コストの一層の縮減を推進していく必要がある。

このため、国としても平成9年4月に「公共工事コスト縮減対策に関する行動指針」を策定し、設計方法の見直し、技術基準の改定、民間のコスト縮減技術の提案を受け付ける入札・契約方式の試行など19施策、148項目について平成11年度までの3年間で取り組んできた。その結果、最終年度の平成11年度コスト縮減実績は9.6%となり、10%という目標をほぼ達成している。

さらに、平成12年9月には、依然として厳しい財政事情のもと引き続き社会資本整備を着実に進めること、これまで実施してきた施策の定着を図ること、新たなコスト縮減対策を進めることから「公共工事コスト縮減に関する新行動指針」が策定されている。この新行動指針では、以下に示すとおり直接的な工事コストの縮減だけでなく、時間的コスト、ライフサイクルコスト、社会的コストなどの観点も加えた総合的なコスト縮減を図ることとし、目標期間は平成12年度から20年度までとなっている。

#### 新行動指針における公共工事コスト縮減のための改善テーマ

##### 総合的なコスト縮減の視点で施策を実施

- ・ 工事コストの低減
  - ← 計画・設計の見直し、発注効率化、構成要素コスト低減等
- ・ 工事の時間的コストの低減
  - ← 集中投資、早期化、工期短縮
- ・ ライフサイクルコストの低減
  - ← 品質の向上（耐久性能の向上、運用・維持管理費の低減、機能の陳腐化の回避）
- ・ 工事における社会的コストの低減
  - ← リサイクル、環境改善、渋滞緩和、事故低減
- ・ 工事の効率性向上による長期コストの低減
  - ← 規制緩和、電子化、新技術の活用

具体的に道路分野での例を図-3に示すが、現在取り組んでいる技術開発のかなりの部分が含まれている。このため、今後は個別の技術開発によりどの程度のコスト低減が可能であるのかを明確に算定し、その評価を行っていくことが求められる。さらに、国土交通省では、コスト構造改革として「総合コスト削減率」の概念を導入することとされており、年内に具体的な目標数値、目標期間、評価項目、評価手法が公表される予定である。

## (2) アセットマネジメント

高度成長期（1955～1973年）に大量に建設された道路構造物は、橋梁では全橋梁数の約40%、トンネルでは約25%を占めている。今後これらの道路施設が、一団となって老朽化し補修や更新などの時期を本格的に迎えることになるが、道路管理における財政的・人的資源が制約されてくることを考えると、これまで以上に合理的で計画的な道路管理を進めていくことが必要になる。このため、「道路を資産としてとらえ、道路施設の状態を客観的に把握・評価し、中長期的な資産の状態を予測するとともに、予算・人的制約の中でいつどのような対策をどこに行うのが最適であるかを考慮して、道路施設を計画的かつ効率的に管理する。」というアセットマネジメントの考え方を道路管理に導入することが望ましい。

道路施設の管理は、図-4に示すように道路施設に関する点検、健全度評価、劣化予測、補修・補強計画の立案、管理者による意志決定・実施という流れに沿って行われる。道路施設の点検では施設の健全度を示す情報が得られ、これに基づいて施設の持つべき健全性を評価する。次に、現在の健全度やその施設に加わる荷重、温度、湿度等の外乱、補修履歴等を考慮して将来にわたる劣化の進行を予測する。さらに、施

# 総合的なコスト削減施策

これまでの①直接的な工事コストの低減に加えて、②工事の時間的コストの低減、③ライフサイクルコストの低減、④工事における社会的コストの低減、⑤工事の効率性向上による長期的コストの低減も含めた総合的なコスト削減を図ります。

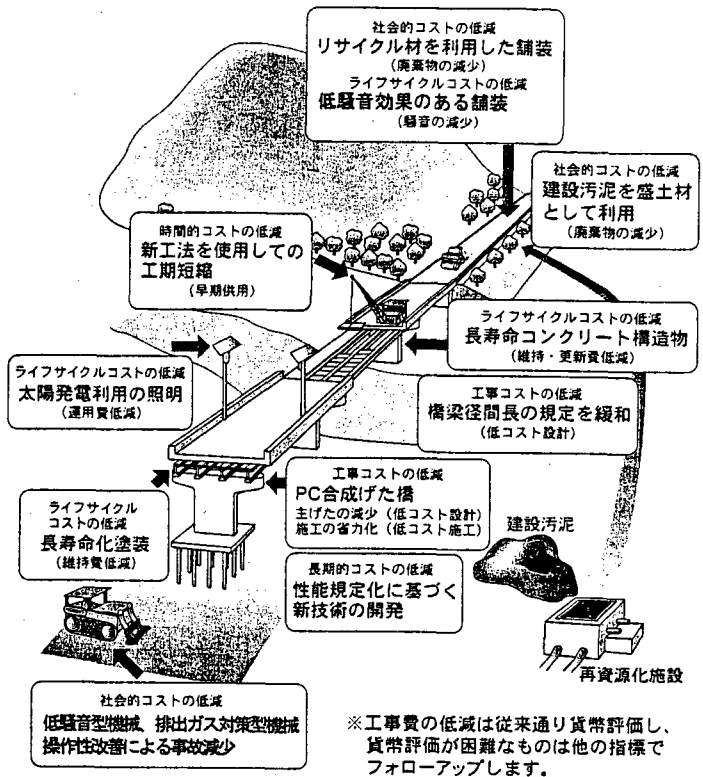


図-3 道路の総合的なコスト削減施策の事例

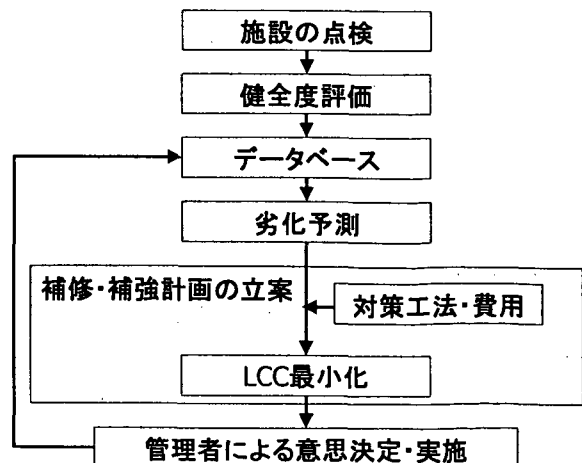


図-4 アセットマネジメントシステムの構築

設の劣化予測結果に基づいて補修・補強計画を立案するが、この場合には将来の適切な時期に適切な対策を行うことを想定し、その施設のライフサイクルにわたって要する費用(LCC)を推計し、これを最小化させ、管理者の意志決定を経て事業を実施する。この際に、健全度評価の結果や補修・補強の履歴はデータベースに保存される。

アセットマネジメントシステムに必要な技術として、施設の点検については健全度を適切に評価できる項目と、それらを客観的かつ定量的に表現するような情報を得ることができ点検方法を開発することが重要である。また、定期点検の間の道路施設の状態を補完するための、例えばIT技術を活用した常時モニタリング技術の開発も望まれる。

健全度評価技術については、道路施設が備えるべき安全性、耐久性、走行性等に影響する各種要因に対し適切に施設の劣化度を示せるような定量的な評価指標、評価基準を設定するための手法の開発が必要である。

道路施設の劣化予測は、アセットマネジメントシステムの中で最も重要な部分であり、劣化予測の精度が補修の時期・工法の選定に直接影響し、LCCの計算結果を左右する。劣化予測モデル(図-5)の開発には、各種の手法が考えられるがいずれの場合でも施設の点検データ等劣化度を示すデータが必要になり、このデータの数量、信頼性等がモデルの精度を決めることになる。

LCCを推計するには、ライフサイクルにわたって生じる補修費用等の内部コストと補修工事中に発生する交通渋滞等の外部コストを計算することとなる。

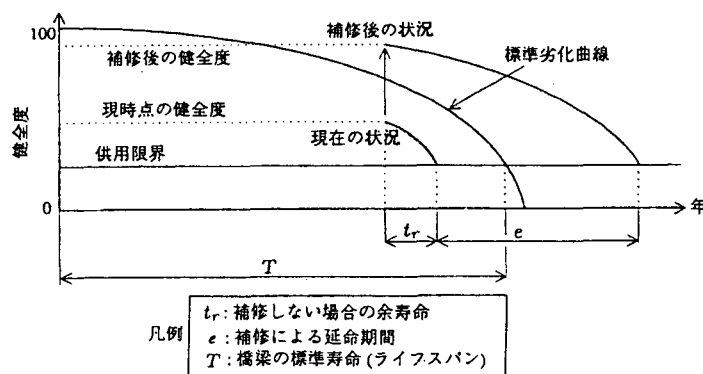


図-5 劣化予測のイメージ<sup>5)</sup>

この時複数の補修シナリオについてLCCを計算し、その中から最小のLCCを持つシナリオを選択し、補修計画に盛り込むことになる。この選択に妥当性を持たせるためには、劣化予測モデル、補修シナリオの中で使われる各種補修工法の費用、効果とその持続性等の情報、外部費用の推計がその目的のための十分な精度を持つことが必要になる。

さらには、アセットマネジメントシステムを支えるためには、道路施設の長寿命化技術、補修・補強技術の開発が必要なことは言うまでもない。

今後必要なアセットマネジメント技術の開発の一例を挙げると以下の通りである。

- ・非破壊検査技術
- ・遠隔モニタリング技術
- ・変状の進展性の評価技術
- ・定量的な健全度評価技術
- ・施設の劣化予測技術
- ・外部費用の算出・評価技術
- ・長寿命化技術
- ・補修効果の評価技術

### (3) 道路空間の安全性・快適性の向上<sup>6)</sup>

本格的高齢社会の到来、投資余力の減退、増え続ける交通事故件数・死傷者数、道路に対するニーズの変化・多様化、ノーマライゼーションの浸透など、道路を取り巻く社会的環境は、変化している。安心して暮らせる生活環境として道路空間の交通安全性・移動環境を向上させていくためには、このような社会的環境の変化を踏まえながら、交通事故削減、ニーズに対応した道路利用、ハードのみならずソフト面も含めたバリアフリー歩行環境の実現等を行っていくことが必要である。このため、国総研ではプロジェクト研究の一つとして、「道路空間の安全性・快適性向上に関する研究」に取り組んでいる。(表-5)

表-5 研究の内容、政策への反映、アウトカム

	研究	政策	アウトカム
安全性向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>道路の安全性(潜在的危険箇所)評価手法</li> <li>安全な道路構造・付属施設</li> <li>道路安全監査手法</li> <li>全国的フィードバックシステム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>潜在的危険箇所を含めた抜本的な安全対策</li> <li>高齢社会を配慮した道路環境整備</li> <li>新規事業から既存道路の管理まで各段階での安全監査の推進</li> <li>交通安全に係る事業の全国ベースでの有機的連携</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>交通事故件数の削減</li> <li>高齢者の関係する事故の削減</li> <li>安全な道路環境</li> </ul>
快適性向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>道路網のあり方</li> <li>沿道も含めた道路空間の利活用方策</li> <li>合意形成手法</li> <li>管理手法(空間再配分マニュアル)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>空間再構築に係る諸ルール制定</li> <li>道路機能の再配分の推進</li> <li>空間再配分・管理(官民共同等)の推進</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存道路ストックの有利な利活用</li> <li>豊かさを感じる道路空間</li> <li>地域コミュニティーの活性化</li> </ul>
歩行者支援	<ul style="list-style-type: none"> <li>歩行者ITS(歩行者支援システム)</li> <li>歩行者ITSの技術基準(案)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>歩行者ITS技術基準策定</li> <li>整備計画の基本方針策定</li> <li>歩行者ITSの実用化・整備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>身障者・高齢者更には一般健常者にも安全・安心・快適な歩行環境</li> </ul>

#### 1) 道路空間の安全性向上に資する研究

道路利用者のヒヤリや交通事故等に基づく「道路の安全性評価手法」、高齢化等今後の道路利用者の特性を踏まえた「安全な道路構造・付属施設」について研究を行う。また、新規道路の整備から既存道路の管理まで、道路管理者による計画・設計等に対し、その検討プロセスを含め、外部学識者・専門家が評価・助言を行い事業実施後の道路の安全性を向上させるための「道路安全監査の具体的・効果的方法」について研究を行う。更に、全国の事業成果の定常的向上に資するべく、交通安全に係る事業の「全国的フィードバックシステム」を検討していく。

#### 2) 道路空間の快適性向上に資する研究

##### ○道路空間の再構築に関する研究

地域の文化・社会・経済的活動等の実情、将来の動向、道路・道路網の利用実態等を踏まえた上で、今後の道路・道路網の提供すべき機能・役割を分析し、それらを実現していくための「道路網のあり方」、「沿道も含めた道路空間の利活用方策」、「合意形成手法」、「管理方策」等について研究を行うこととし、環境問題、まちづくり、緊急時対応等、他の研究との連携も図りながら進める。

##### ○歩行者等の支援に関する研究

歩行者、特に身体障害者や高齢者といった歩行に困難を感じる機会の多い歩行者の歩行



を支援するため、ハード面のみでなくソフト面でのバリアフリー歩行環境を情報通信技術の活用により実現すべく、注意喚起、周辺情報提供、経路案内等のサービスを行う「歩行者 ITS」の研究を行う。

## 5. おわりに

人類の誕生以来、社会・経済活動において、その繁栄と発展を支えてきたのは技術開発である。新たな技術開発により、今まで不可能だったことが可能となり、難しいこと、時間がかかること、労力を要することなどが効率化され、新たな時代を拓くとともに、新技術を生かすことによりより豊かな生活を実現してきた。

道路においても、新たな時代のニーズを見通した研究開発が新しい道路技術を生み、これを用いた道路整備により、今日の我々の経済発展と豊かな生活を支えてきたと言っても過言ではない。しかしながら、道路技術が、渋滞、交通事故、環境問題などの道路整備の負の影響を今日まで完全に解決しているとはいえない。

この道路整備のマイナス面に加えて、従来に比べて道路整備の限界効果が低下してきていること、さらに、厳しい財政事情や公共事業全般への非効率性等に対する批判などから、近年、道路に対して従来にない厳しい意見が聞かれるようになってきている。このため、従来の道路政策を「転換」するべく、来年度から始まる新たな道路整備計画（案）では、道路行政システムの変革と道路行政の政策テーマが示されている。

道路の負の影響を解決し、新しい道路行政への「転換」を図るためにも、引き続き道路技術の果たす役割は大きなものであり、研究開発の効率的な実施体制の確立と、適切なテーマの設定が求められている。

## 参考文献

- 1) 建設省道路局：道路技術五箇年計画、平成 5 年 6 月
- 2) 建設省道路局・土木研究所：新道路技術五箇年計画、1998 年 11 月
- 3) 社会資本整備審議会：道路分科会中間答申（今、転換のとき）、平成 14 年 8 月
- 4) 国土交通省道路局：平成 15 年度道路関係予算概算要求概要、平成 14 年 8 月
- 5) 国土技術政策総合研究所：国総研アニュアルレポート No. 1、P59、2002 年 3 月
- 6) (財) 土木研究センター：土木技術資料 Vol44 No 9、平成 14 年 9 月

## 土木・建築における技術基準の動向と展望

建築研究部長 平野吉信  
港湾研究部長 山本修司  
評価研究官 西川和廣

# 土木・建築における技術基準の動向と展望

国土技術政策総合研究所 建築研究部長 平野 吉信  
港湾研究部長 山本 修司  
評価研究官 西川 和廣

## - イントロダクション -

### 1. 土木・建築を取り巻く諸環境と技術基準

土木・建築における各種の技術基準、例えば各種土木施設の構造基準、設計・施工基準や公共建築物の建築基準、そして一般の建築物に適用される建築規制における建築基準等は、本来の施設・建築物の安全性や目的に応じた機能を確保するための役割に加え、いろいろな社会的役割を期待されるようになってきつつある。

- ① 施設・建築物が、安全性や各種機能等に関わるどの程度の性能を持っているのかについて、社会的に説明・表示し、信頼感を与える役割。すなわち適用される技術基準に施設・建築物の構造や施工条件等が適合することによって、一定のレベルの性能・品質が得られることが保証され、社会的な認知が得られる。
- ② 的確な安全性水準の設定や設計の自由度すなわち使用材料や構造方法等の選択の自由度を提供することにより、施設・建築物の生産性向上に貢献する役割。
- ③ 進展する技術革新の成果である新しい材料や構造方法あるいはIT等を活用して、これまでと異なった手法によって安全性等の水準を確保する技術等を活用できるようにする役割。
- ④ 建設資材の流通の国際化、建設関連専門業務やマネジメント手法等のボーダレス化等といった、技術のグローバル化に対応する役割。

これらの役割は、社会的説明責任の遂行、多様な技術的方法や材料を受け入れる設計の柔軟性・自由度の確保にも強く関係し、公共建設事業等におけるコスト構造改革といった今日的課題対応への貢献が大きく期待できる。また技術革新の受入れ等を通じて建設関連産業の活性化を促すとともに、これらの産業の国際的競争力を高め、建設市場のグローバル化の中で業務展開を活発化していくための基盤を提供することにもなる。

### 2. これからの技術基準における「性能指向」についての論点

#### 2.1 なぜ「性能指向」か？

##### 2.1.1 建設基準・設計法における「性能規定」と「仕様書規定」

- ① 「仕様書規定」が、建設物の形状、構造方法、使用材料等の「手段」を規定しているのに対し、「性能規定」は、そうした手段を投入した結果どのような要求が満たされるようにされるべきか…の「結果」を規定。

- ② 「結果」とは、建設物が外部等からの「作用」を受けたときの「挙動」（変形等）やさらにその結果としての「状態（の変化）」（崩壊、高い室温等）
- ③ 従って「性能規定」又は「性能指向」の建設基準・設計法とは、建設物（又はその部分）が、使用環境下（地震等の作用、経時的な劣化要因の作用、人的な作用等）でどのような挙動をするのかに着目し、建設物が使用目的に適するようにその挙動をコントロールするような基準・設計法。
- ④ 一般に、建設物の挙動又はその結果としての状態の変化が、その建設物の使用目的にもはや適合しなくなるとみる「限界状態」（例えば、崩壊、日常生活が送れない振動・室温・空気質、…）を設定し、建設物の使用期間中に想定される作用に対して、挙動又は状態がその限界状態を超えないことを確認することを要求。

## 2. 1. 2 性能指向基準・設計法の利点

性能指向基準・設計法が、建設物へはたらす作用とそれによる挙動または状態を捉え、その限界状態までのプロセスや限界状態に至る可能性をコントロールするものであることから、原理的には次のような利点が生じると考えられる；

- ① 構造物の崩壊等といった限界状態まで作用と挙動の相関を追いかけることが可能となることにより、設計者はもとより、所有者やユーザーも建設物の限界的な状態やその状態への至りやすさ（にくさ）を理解することが可能。目標や挙動のしくみ等が明確にされることにより、求められる性能に応じた品質管理や、より具体的な性能表示や性能保証の実施が実現。
- ② 安全率等経験に頼ってきた余裕度の設定を、より工学的な根拠や判断に基づいて合理的に設定することによって、コストの合理化を追求可能。
- ③ 建設物の使用材料や構造方法等の選択・設計に大きな自由度を確保することができる。これによって技術革新成果の応用、コスト合理化、産業の活性化、さらには国際的な資材・技術の流通の円滑化等に貢献が期待。

## 2. 2. 「性能指向」基準・設計法に関する諸問題

### 2. 2. 1 作用・挙動の不確定性

- ① 建設物又はその部分にはたらく作用（例えば地震動や構造物への入力）と、それによって生じる挙動（変形や崩壊機構の形成）とを如何にモデル化してみても、起りうるすべての事象を代表することは困難。地震動自体の性状や規模等やそれによる構造物への作用の仕方にも大きな不確定性要素。
- ② 一方建設物において地震動に応答して生じる変形等の挙動も、材料特性や部材特性のばらつき、そして挙動予測モデルの特性等により、不確定性・ばらつきが存在。
- ③ 性能指向の基準・設計法では、このような不確定性を有する作用と挙動の相関を如何に捉えるかが大きな問題。確率論・信頼性設計法の適用？工学的課題？

### 2. 2. 2 「性能規定」の普遍性？

- ① 性能指向基準の骨格となる「性能規定」には、作用と挙動との相関等に関する「予測法」、及びどれだけの挙動又はその結果としての状態を許容するかの「クライテリ

ア)とがなんらかのかたちで規定（性能評価法、性能検証法（照査法）等）

- ② 挙動予測や作用と挙動の相関モデルは、実用性・精度を求めるほど、万能ではなくなりがち。RC造・木造等構造方法との相性？予測法やモデル化の工学はたえず進歩。
- ③ そこで、挙動や状態の予測法等は技術基準で一義に規定する必要はなく、専門技術者の判断に任せれば良い…、そうでないと他の技術的可能性を否定してしまい、仕様書型規定と変わらなくなる…という議論も多い。

## 2. 2. 3 検証・照査結果の信頼性？

- ① 「性能指向」基準・設計法では、基準と設計との「照合」による検証・照査が可能な「仕様書型」基準・設計法と異なり、設計結果について、工学的に作用・挙動の相関予測等を行って、要求適合の検証・照査を行う必要。
- ② この場合、そうした検証・照査の実行にあたって、個々の設計担当者の能力や適性、倫理等、及び実行結果の信頼性等をどのように担保するのか…が問題。
- ③ 設計・検証担当者の資格認定の仕組み、直接の担当者以外の者が検証の結果をレビューし評価・証明する第三者認証システム等を導入する考え方がありうる。
- ④ 一般建築の場合には、建築基準法に基づく建築主事等による建築確認において、そのような機能を提供することが可能。公共事業にあっては設計や検証・照査が外注される場合、発注者側の責任者がその第三者認証の役割を果たす必要があるだろう。
- ⑤ 上述の「設計検証・照査」における挙動等予測手法の自由度を確保するニーズと、手法適用の結果の信頼性を確保するニーズの両立はなかなか困難。一般の設計・検証担当の技術者、その結果を第三者的にレビューする発注担当者や建築主事等が安定して実行できる技術的手法は、標準化され普及した手法に限られがち。
- ⑥ 現実的な対応として、標準化され普及した手法を「性能規定」のなかに「適合みなし検証法」として位置づけておき、特別の検証法を用いる場合には、より専門的な第三者評価機関が適用した挙動等予測法及び設計結果の工学的妥当性をレビューして評価・証明するような仕組みを設けることも有望。

## 3. 技術基準の国際的調和に関する動向と我が国の立場

### 3. 1 なぜ「国際的調和」か？

- ① 我が国の技術・産業の地盤沈下を避けるための重要な戦略・戦術として、国際的調和を位置づけ。国内市場にのみ依存から脱却し、国際的なマーケットでの競争力を確保するためには、国際的に通用する実務手法に習熟することが必要。この場合、我が国の技術的手法・慣行を積極的に対外的に提案し ISO 等での国際標準のイニシアティブもとっていく…という戦術・戦略を展開すべき？
- ② 技術や資材の生産・流通のグローバル化の進展に対応し、より安くより効果的な資材や技術を国際市場から調達できるよう、我が国の建設事業上、可能な限り広く技術的選択肢を集め、プロジェクトの効率の向上を図る必要に応える。もちろんこのためには国内技術基準の目的指向・性能指向化が前提となるが。

### 3. 2 建設関係の国際的調和の動向

#### 3. 2. 1 資材関係の国際的調和

- ① 比較的先行しているものは、各国における製品規格、いわば製造者の立場から製品仕様の標準化をはかるという伝統的な取り組み。鉄鋼等生産・流通のボーダレス化が進む基礎的資材の領域でより取り組みが具体化。
- ② 製品規格の領域でも「性能指向化」が進展。WTO/TBT 協定等での「性能」重視が反映。ただし2つの方向性がある；
  - \* 第1は対象製品についての要求性能レベルを検証法と共に規定。製造側が任意の製品の組成や使用素材等を選択し、製品設計の自由度を確保できる利点。
  - \* 第2は対象製品タイプまたは特定の「部位」に使用する材料一般について、要求性能レベルではなく、「性能表示」のルール（評価法等）を標準化。製品ユーザーである建設物の設計者・生産者側の製品選択・設計の自由度を確保するためには合理的だが、製造の立場からは多品種少量生産の負担等の問題が発生。

#### 3. 2. 2 建設物の基準・設計法に関する国際調和

- ① 従来この領域は、各国において各々の経験蓄積等をベースとして、法令として設計基準を規定したり国内規格である実務規準 Code of practice として確立してきたこともあり、国際標準化あまり進展していなかったが、近年の建設活動自体のボーダレス化を反映し、関連業務手法の国際的近似化が加速し、関心の対象に。
- ② 特に建設物の構造設計の分野では、信頼性設計法等の比較的新しい設計法に関し、その原理や原則的取扱い等に関する国際標準化が積極的に進展。その先行例の1つとしてEUのEUROCODEの進展への関心が高まっている。
- ③ 各国における経験の蓄積としての基準化が必ずしも進んでいなかった比較的新しい領域、例えば環境負荷低減やサステナビリティ等に関する設計手法に関しては、急速に国際的標準化が進み、国内の基準化・標準化に先行している傾向も見られる。

### 3. 3 わが国の立場と対応

- ① 我が国の建設産業においては、公共建設プロジェクトにおけるコスト構造改革等への対応の必要性が高まると同時に、地盤沈下への懸念への対応が重要課題となってきたことから、国際的な活動展開のための戦略づくりが必至。
- ② 国土交通省においても、平成10年前後から建設関係の国際標準化活動への関わりを強め、関連するISO/TC等の動向モニタリングを継続するとともに、土木・建築の関連学会等の協力も得て、構造設計分野の「土木・建築にかかる設計の基本」を策定。これは、信頼性設計法の考え方を基礎とし、今後の国際的な取り組みの円滑化・積極化に資するよう、国内の土木・建築の共通の原理的考え方の確立を図ったもの。
- ③ 本年10月「土木・建築分野における国際標準対応省内委員会（委員長：技監）」を発足。これにより、①土木・建築分野における国際標準の動向を的確に把握、②我が国の技術的蓄積の国際標準への反映、③国内基準類の国際標準への整合化若しくは国際標準の導入、などといった国際標準に対する全省横断的な取り組み体制を確立。

# 建築基準の性能規定化及び国際調和に関する動向

国土技術政策総合研究所 建築研究部長 平野 吉信

## 1. 建築基準における「性能指向」

### 1. 1 海外諸国等の動向

#### 1. 1. 1 海外諸国の建築基準における「性能指向」の導入

建築基準における「性能指向」の概念導入の端緒は、1984年の英国（厳密に言えばイングランド及びウェールズ：E&W）建築法の制定とそれを受けた1985年建築規則の制定で切られた。この性能指向建築基準の原型は、次のような性格を持ったものであった；

- ① 建築規則において規定する法的な義務的要件を、達成すべき目的（例えば「火災時の人命安全」と、それに関係付けられた“内部火災の拡大を防止するため、内装は表面における火災の拡大に抵抗すること…”といったような定性的要求（「機能的要件」）のみに限定した。
- ② それまでの建築規則においては義務的要件として位置づけられていた構造や空間計画の条件、使用材料等の規定を法令規定からはずした。
- ③ その結果として、原則としてどのような構造・材料によるものでも「目的」と「機能的要件」を満足するものと規制当局が承認した場合には、建設が認められるものとした。

一方、それまで法令における義務的要件であった構造や空間計画の条件、使用材料等に関する技術的規定は、義務ではないが、それに適合すれば当然法令の要求条件を満足するとみなされる（deemed-to-satisfy）ものとして、別途政府が承認する「承認規準書（Approved Documents）」に収録され、なお一般に活用されることとなった。

この初代の「性能指向」建築基準では、「性能」そのものを工学的に扱う手法、すなわち計算、分析等によって建築物やその部分に働く作用やそれに伴う挙動を予測し、挙動又はその結果としての構造体や空間の状態が許容される範囲にあるかどうかを確認することを求める「性能（挙動）評価・検証法」は、直接は規定されていない。設計者は自らの判断で適用する挙動予測法や評価・検証法を選択することはできるが、それをういた建築設計が承認されるかどうかは、規制当局（一般に地方政府）の裁量にかかっている。この裁量の個別の発動は現実には難しく、木造建築等分野別の専門家団体等が取りまとめる設計指針や英国の国家規格BSの一環として策定される設計・施工実務規準（Code of Practice）のような“社会的に認められるようになった規準類”として整備されることによって、実務に応用されるようになっていく。

この英国の事例を先例として、特に英連邦系の諸国で、類似の「性能指向」概念の導入が進んだ。ただしそれぞれに先例を教訓としたいろいろな“改良”が導入されている。ニュージーランド（NZ）では1991年建築法・1992年建築規則により、またオーストラリア（豪）ではモデルコード機関ABCBによるビルディングコードオーストラリアBCAの1996年版で「性能指向」が導入された。この2つの例では、現段階で規定可能な定量的なパラメータを用いた「性能要求」までが、義務的規定とされている。カナダでは国家ビル

ディングコード NBC の改訂が「目的指向」のもとで進められており、コードの目的（例えば「安全」）から技術的要件の目的（例えば「安全な避難ルートを提供」）までをツリー状に整理（目的ツリー）し、それに対応する「機能的要件」までを収録した Division A を義務的規定とした。「性能要件」以下は“承認しうる解”のグループである Division B で扱われるようになっている。

これらの各国の建築基準は、数年間隔で見直しが見直しがなされており、より進化した性能指向の基準に向けての改良が続けられている。

### 1. 1. 2 「性能指向」の建築基準研究の国際的連携

上述のような建築基準における「性能指向」概念について、各国の経験を持ち寄り、問題点を共有して討論を行うことによって、次の世代の「性能指向」建築基準の構想や他の諸国にも「性能指向」概念を普及させること等を目的として、建築分野における各国の研究機関の国際的連携組織である CIB（国際建築研究・情報会議）においてタスクグループ（TG11：1993）が設置された。わが国も当初からグループメンバーに加わり、各国のシステムの相互比較、一般原理の抽出、諸問題の明確化等の活動を続けてきた。その活動は、後継の CIB/TG37 や、建築規制行政組織や建築モデルコード組織が結成した IRCC（国際建築規制担当機関連携委員会）に引き継がれ、現在に至っている。

### 1. 1. 3 「性能指向」の建築基準における諸問題

上述した「性能指向」建築基準に関する国際的連携の元での研究調査を通じ、実際に建築規制に「性能指向」建築基準を導入するうえでの多くの問題点が指摘されてきた。これらは「性能指向」建築基準のシステムをより本質に近づけていくため、工学的・社会的に解決を図っていかなければならない問題として、今後よりいっそう研究的取り組みが求められているものである。以下に概要を示す。

#### ① どの部分までが義務的規定とされるべきか？

- \* 一般に、性能指向の建築基準の構成は、図 - 1 のとおり、5 レベルのモデルで説明されることが多い。
- \* E&W では、レベル 2 の「機能的要件」までを義務的要求とした。
- \* 豪 BCA では、法令としてナショナルミニマムを示すために、少なくともレベル 3 の「(定量的) 性能要件」までを義務的要求とする必要があるとされた。
- \* しかし、工学的にレベル 4 の「性能評価・検証法」とリンクさせないで、定量的な性能(挙動)クライテリアをレベル 3 で規定することは困難な場合が多く、結果的にレベル 4 までが、実質的に義務的規定として取り扱われざるを得ない。
- \* 一方、レベル 4 を完全なる義務的規定と位置づけると、当該「性能評価・検証法」を適用することが工学的に適当ではない特殊な構造方法による建築物の場合、より対象建築物の挙動を精緻にモデル化する高度な性能

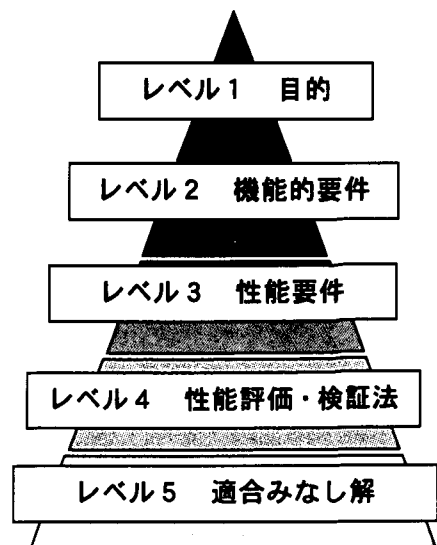


図 - 1 5 レベルモデル



評価を適用する場合等の対応が難しくなる。工学的手法の適用の自由度を損なうことにもなる。

## ② 作用・挙動の相関モデルの精度

- \* 「(定量的)性能要件」と「性能評価・検証法」を規定する場合、その基盤となるべき作用・挙動の相関について、現実の事象をどれだけ忠実にモデル化して把握しうるかが常に大きな問題となる。
- \* 第1の問題は、作用と挙動双方の不確定性をどのように扱うか…?という問題。確率論的な信頼性の問題として工学的手法化できる分野はまだ多くない。
- \* 第2の問題は、モデルの汎用性の問題。できる限り計画された建築物の挙動等をトレースしうる精密なモデルであるほど、他の建築計画へも適用しうる汎用性は小さい。建築基準として基準化する「性能評価・検証法」としては一定程度のばらつきも念頭においたものとせざるを得ない。個々の建築計画から見ると、不必要な冗長性等を含む場合もあり。
- \* 原理的には、少なくとも「性能評価・検証法」については、工学的な妥当性さえ確保されていれば、建築計画の特性等に応じ、“任意”の手法を手供することが許容されてよい。しかし現実的には、後述の検証法等の実行結果の信頼性の問題もあり、通常の建築許可・確認ルートで処理できる性能評価・検証法は、特定の標準的なものに限らざるを得ない。

## ③ 「性能評価・検証法」の実行結果に関する信頼性

- \* 比較的高度な工学的解釈・判断等を必要とする「性能評価・検証法」の実行結果が十分な信頼性を持ちえるか…?が建築規制の有効性・信頼性を左右する。
- \* 現実問題としては、そのような信頼性は、設計者又は検証担当者、建築規制の許可・確認側で審査に当たる担当者双方の、技術的適性・能力や倫理観等に依存する。
- \* 一般には設計を担当する者の専門的職能・資格、例えばプロフェッショナルエンジニア、建築士等の制度による信頼性担保が期待される。より高度な特別な性能評価・検証法を適用する場合等にあっては、設計当事者の資格や適性のみでは十分に信頼性を確保しにくく、例えば専門評価機関による第三者審査やピアレビュー手法の適用等、特別の仕組みの導入が必要と考えられている。

## ④ 性能の経時的変化をどう扱うか?

- \* 建築物を構成する部材や材料等の物性は、長期間の使用過程で受ける周辺環境からの作用や荷重作用の繰り返し等によって、次第に変化する。これに伴って、各部材やその集合体としての建築物が、安全等の目的を達成するために、作用に対して抵抗その他の挙動をする能力(すなわち「性能特性」)も変化する。
- \* こうした特性の経時的変化を正確にモデル化・予測することは至難。建設前の設計段階で、こうした性能特性の耐久性や劣化の性向を建築物やその部分の性能評価・検証にどう組み込むか…?が各国共通の悩みの種となっている。
- \* さらに、建築基準における性能の要求水準が、「設計・建設時」のみに適用されるものなのか、建築物の存続期間の全体にわたって求められる「継続的」要求なのか…?もなかなか明確化しにくい問題。前者の立場に立つと、建築基準は時間が経過した建築物の安全性等は担保できない…ということになるし、後者の立場では、大きな安全率を持って当初の設計をしておかないと、ある程度時間が経過して性能特

性の劣化が起きると、その建築物が法令基準に不適合又は違反したものとなってしまふ…という問題が生じる。

## 1. 2 わが国の建築基準と「性能指向」

### 1. 2. 1 建築基準法に基づく技術基準の改正

わが国の建築基準法では、ほとんどの建築物についての技術的「最低基準」を定め、それに適合するように設計や建設工事等をコントロールする仕組みを提供している。「最低基準」を示す技術基準は、建築基準法施行令（政令）や国土交通省告示等で具体化されており、それぞれの事項ごとに詳細な技術的規定が定められている。また、個々の建築物の建設計画・設計について建築主事等への申請を求め、この申請内容が技術的規定に適合していることを建築主事等が審査し確認するという「建築確認」制度が組み込まれている。

このような建築基準法の技術的規定について、各部の構造方法や寸法等、使用材料等を詳細に規定しており、技術革新等を反映した新たな構造方法や材料、工学の発達をベースとした性能評価法等を受け入れにくい…との指摘が大きくなってきたことから、1995年頃から技術基準の「性能指向」への改正を目指した検討が開始された。その結果は1998年制定・2000年施行の建築基準法改正に反映され、その新法に基づく技術的規定を定める施行令・告示の制定が漸次進められてきた。

### 1. 2. 2 改正された技術基準の構成と「性能指向」の問題に対する対応

現段階で整備された新しい技術的規定の体系は、構造安全、火災安全、健康等目的の項目別に若干の異なりがあるものの、一般的に言って前述の5レベルモデル等に照らしながら見ると、次のような構造を持っているといえる（図-2参照）。

- ① レベル1の「目的」は、法の目的として規定されている「国民の生命、健康及び財産の保護」そのもの。

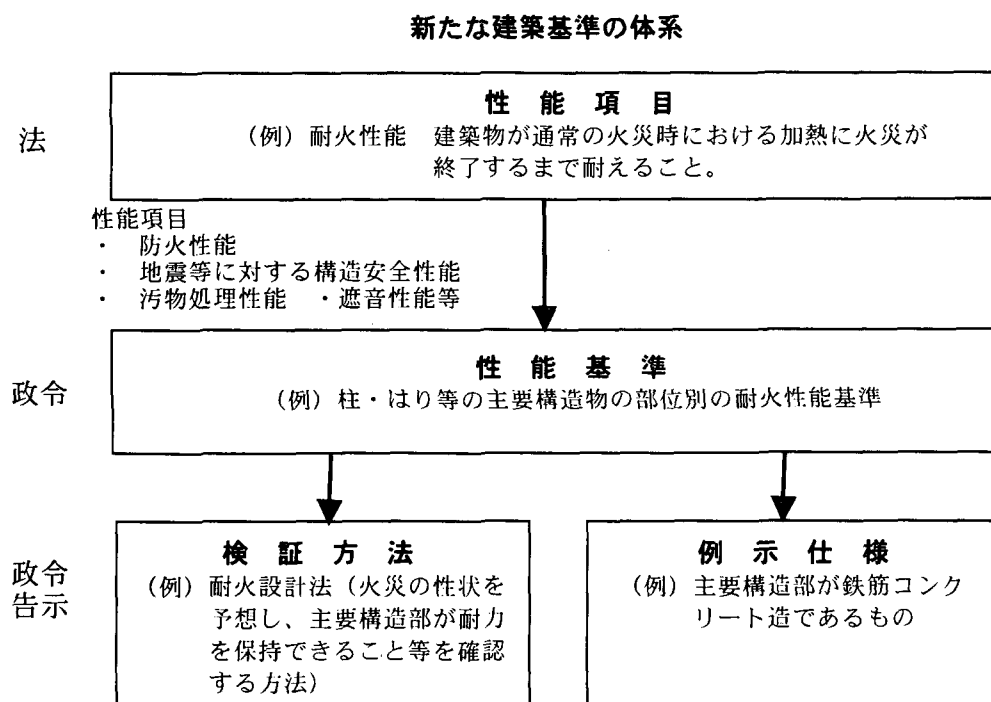


図 - 2 改正後の建築基準の体系

- ② レベル2の「機能的要件」は、防火性能、地震等に対する構造安全性能等の「性能項目」に対応し、これらは法で規定される。
- ③ レベル3の「性能要件」は、政令で規定される「性能基準」で、例えば柱・はり等の主要構造部の部位別の耐火性能基準等
- ④ レベル4の「性能評価・検証法」は、政令または告示で規定され、例えば、耐火設計法等
- ⑤ レベル5の「適合みなし解」には、政令または告示で規定される「例示仕様」が該当する。

1. 1. 3で述べた性能指向の建築基準における「問題点」に関しては、建築基準法の新しい技術規定では、以下のような対応をとっている；

- ① 工学的手法の適用の自由度を損なわないよう、政令や告示で規定する「検証方法」以外の「高度な検証方法」でも、その方法や適用が妥当であれば、これによって「性能基準」に対する適合性の検証を許容する。ただし、検証結果の信頼性等の問題にかんがみ、「高度な検証方法」による場合には、「指定性能評価機関」の評価を受けた上で「国土交通大臣の認定」を必要とすることとしている。より挙動等の予測の精度が高いと思われる「時刻歴応答解析」等の手法も、このルートで適用が可能となっている。
- ② 経時的な性能の変化等にどう対応？という問題に関し、現段階では定量的な判断基準を規定することが難しいこと等から、構造計算関係の規定において、構造性能に係るような部材の耐久性等については一定の仕様に関する規定（「耐久性等関係規定」）を設定し、この仕様規定に適合させることによって劣化等への信頼性に対処している。

## 2. 建築基準に関わる国際的調和の動向

### 2. 1 EUにおける先進的とりくみ

#### 2. 1. 1 共通の単一市場

欧州連合 EU は、1951年の欧州石炭鉄鋼共同体 ECSC にその起源を持ち、その後の欧州経済共同体 EEC (1957)、欧州共同体 EC (1967) といった発展過程を辿りながら、1993年に設立された国家間連合体である。その連合の基本理念は、共通の単一市場を構築することであり、それによってももの・サービスの域内自由移動さらには通貨統合等を実現し、市場規模の拡大・規模の経済の享受を図ることにある。この「もの・サービスの域内自由移動」を実現する手段の1つとして取り組まれたのが、「技術的障壁の除去」である。この技術的障壁として実際に共同体施策の対象となったのが、各国において製品やサービスの特性等に関する技術的要求を規定している技術法規や国内規格等である。従って共同体の施策は、この各国の技術法規や国内規格の「統一化」に向けられた。初期の方策は、共同体として共通の技術基準や規格を策定し、これらによって各国の技術法規や国内規格を置き換え統一を図る…というものであった。この施策は「オールドアプローチ」と呼ばれる。

#### 2. 1. 2 ニューアプローチ

「オールドアプローチ」による技術基準・規格の域内統一は、各国の主権や地域における気候・風土の差異、保護水準の異なり等によって、きわめて実現困難な枠組みであることが認識され始め、1985年、それに代わる、より現実的な方策である「ニューアプローチ」が採択された。ニューアプローチは、次のような特徴を持っている；

- ① 製品等の特性について、各国が各国固有の法令で規制をおこなう権限は留保される。

- ② EU は、各国に強制力を持つ法規である「理事会指令」によって、対象とする製品が、ユーザーの安全・健康等の観点から最低限保有すべき…と考えられる特性「基本的要件 Essential Requirements」を定める一方、各国は、製品特性を規制する国内法令において、原則としてこの基本的要件以外の規制要件を設けないようにし、基本的要件適合製品については各国における市場流通を確保すべきことを義務付ける。
- ③ この基本的要件に対象製品が適合すると考えられる標準的な技術仕様を「欧州調和規格 European Harmonized Standards (hEN)」等として規定する。製品がこれに適合すれば“基本的要件に適合する”と自動的に“みなされる”こととし、当該製品の域内市場での自由流通が保証される。これらの欧州技術仕様に適合する製品には、いわゆる「CE マーキング」が表示されることになる。
- ④ 欧州調和規格等の策定は、EU の行政機関である欧州委員会からの委任 (Mandate) に基づいて、非行政機関である欧州標準化委員会 CEN 等に委ねられる。
- ⑤ 一方、製品の製造・供給者には、欧州調和規格等に適合しなくとも、直接基本的要件に適合することを証明すれば、域内市場に流通させる (つまり CE マーキングを表示すること) 選択肢が留保されている。

以上の施策により、規制に関する各国の固有の権限が確保されるとともに、欧州調和規格等によって当該製品の“実質的”な技術基準の「共通化」が図られる…という現実的な施策目的の達成が期待されることとなった。なおこの場合、各国の製品を規制する法規は、少なくとも基本的要件を満足する製品を受け入れない根拠となる規定は廃棄せざるを得なくなり、こちらも実質的な「近似化」が図られることとなる。

## 2. 1. 3 建設製品指令 CPD

### (1) ニューアプローチと CPD

建築・土木建設に使用される建設資材も、域内各国間で輸出入されることが多いと考えられ、ニューアプローチ施策の対象とされた。適用された理事会指令は、1987 年の「建設製品指令 (Construction Products Directive. 以下 CPD) である。

CPD は、他のニューアプローチと比較して、以下のような際立った特徴を持っている。;

- ① 建設製品は、それ自身が直接建築・土木の建設物のユーザーの安全・健康等に影響を与えるわけでは必ずしもない。建設製品の特性は、それらが建設物に“組み込まれた状態”で建設物の特性に影響を及ぼすことによって“間接的”にユーザーに影響する。このことから CPD における基本的要件は、建設製品そのものではなく、建設物について規定される (図 - 3 参照)。
- ② 建設製品というカテゴリーに含まれる材料・資材は、建設物に“組み込まれた状態”で、その建設物が“基本的要件を満足するようになる”ような特性を持つことが要求される。それらの特性について欧州調和規格 hEN 等が策定されることになる。

<p><b>ER1 : 物理的抵抗性及び安定性</b> (建設中及び使用中に作用する可能性のある荷重に対し、崩壊、重大な変形等を生じない)</p> <p><b>ER2 : 火災時の安全性</b> (火災発生時に、一定時間以上の荷重支持能力の維持、建物内の火災の発生・拡散の抑制、隣等への火の拡大の抑制、避難手段の存在、消防隊の安全)</p> <p><b>ER3 : 衛生、健康及び環境</b> (在館者及び近隣の衛生を脅かす毒性ガスの発生、危険物質等の滞留、湿気の滞留等を生じない)</p> <p><b>ER4 : 日常安全性</b> (滑り、転落、衝突、火傷、感電、爆発による傷害等の発生リスクが過大とならない)</p> <p><b>ER5 : 騒音に対する保護</b> (在館者等にとって、騒音が、健康を損ねず、睡眠、休息及び満足のいく環境で作業が d けいることを可能に示うレベル内に収まる)</p> <p><b>ER6 : エネルギーの経済性及び保温</b> (建造物及び冷暖房空調設備の仕様に要するエネルギーが少ない)</p>
--

図 - 3 CPD における基本的要件

- ③ 建設資材は技術革新が著しい分野でもあり、ある製品ジャンルについて欧州規格として標準化することが適切ではない場合や標準化が追いつかないようなものもあることが認識され、個々の製品企画について、個別の評価・認定を行って CE マーキングの表示を行う「欧州技術認定 European Technical Approvals : ETA」という仕組みが導入され、hEN と同様の効果を持つ技術仕様として位置づけられた。

## (2) CPD における建築物の特性と建設製品の特性との相関

この「建築物の特性」と、それに組み込まれる「建設製品の特性」とを相関付けるという CPD の枠組みは、非常に複雑でわかりにくい。このことは建設分野で使用される材料・製品類の製品規格の策定が如何に難しい問題を抱えているか…を示すものでもあるが、建設製品にかかる hEN 等の策定委任にいたるまで、以下のようなしくみが導入されなければなかった。

- ① 同じ製品であっても、建設物に組み込まれて使用される部位や使用目的によって求められる特性が異なる。すなわち建設製品についての hEN 等は、その製品の「意図される用途 Intended Use」に対応して定められる必要がある。
- ② 使用する材料・製品の特性を、建設物全体が「基本的要件」に適合するための特性すなわち性能特性にどのように反映するか…、あるいはどのように相関付けるか…は、構造安全、火災安全等のための設計法（あるいは性能評価・検証法）如何によっていろいろな選択がありうる。すなわち、hEN 等で規定すべき建設製品の特性は、建設物の設計法・性能評価法において、当該製品にどのような役割を与えているか…、どのような特性を全体の性能評価に用いるパラメータとして規定しているか…等によって変わってしまう。

こうした問題に対処するため、CPD では建設物に適用される「基本的要件」と「組み込まれる建設製品の特性」との関係付けを明らかにする目的の「解釈文書 Interpretative Documents」を欧州委員会が制定することを規定した。これは実質的には、各基本的要件に対応する設計法／性能評価・検証法の“標準”を規定することに他ならない。これらの設計法や性能評価・検証法は、各国毎に技術的慣行として標準化されていたり、技術的法規で規定されていたものであり、その実質的な“統一化”には当然ながら各国の合意を得ることの困難性その他の紆余曲折があったことが容易に想像できる。実際、CPD においては 1992 年には建設製品の分野でも域内市場内での自由流通、すなわち建設製品での CE マーキングの表示を実現することが目指されていたにもかかわらず、各基本的要件に関する「解釈文書」が合意・制定されたのが 1994 年にまでずれ込んでしまい、近年になってやっと最初の hEN とこれに対応する CE マーキングを表示した建設製品（セメント等）の市場流通が実現したのである。

また、各建設製品の特性が、「性能指向」の概念で建設物の基本的要件と関係付けられたことにより、各製品の hEN 等も「性能」に着目して規定される場合が多いこととなった。この場合、次のことに留意する必要がある；

- ① 従来の「製品規格」とは異なり、一般に hEN 等では製品の性能水準に対する要求は規定される必要がない。要求される性能特性の項目のみでよい場合が多い。例えばコンクリートや鋼材の単位断面積あたりの強度が低いものであっても、断面積を確保することによって部材の耐力を確保することが可能…といったトレードが可能であり、強度の等級や最低限を設ける必要は必ずしもない。

- ② 従って、これらの製品の CE マーキングは、従来の製品規格への適合マーク（JIS 等）と異なり、当該製品が一定以上の性能特性を有することを証するマークとはならない。CE マーキングには当該製品が有する性能特性の値が合わせて表示されることになる。
- ③ CPD では、各国における気候・風土の差異等を考慮し、基本的要件に関する建物の性能特性に関していくつかの等級を設定すべき場合で、かつそれとの相関が正当化される場合にのみ、製品の hEN 等における等級等の設定が正当化される。これは対応する「解釈文書」すなわち設計法・性能評価法において、建設物の性能と製品の性能との相関が完全にはパラメトリックな関係として定式化されていない場合に該当するとも考えられる。すなわち、例えば建設物の耐火性能の要求水準に関する「耐火等級」とそれに対応する部材の「耐火等級」といった例に見られるような関係である。

## 2. 2 EUROCODE の戦略と動向

### 2. 2. 1 ユーロコード策定の目的と策定経緯

- ① 1975 年、欧州委員会は、建設工事物の設計について、各国の基準等にとって代わることを意図した一式の調和技術基準を制定することを決定し、第 1 世代のユーロコードは、80 年代末から 90 年代にかけ、ENV（プレ EN：試行欧州規格）として制定されるようになった。
- ② 制定された ENV には、各国毎に（法令等の上で）求められる安全性のレベルの違い等を反映して、各国が任意にその値等を設定することができる「Box Value」という概念が導入された。その各 Box Value に各国で適用したいと意図する値や方法・式等を入れたものが、National Application Document（NAD）であり、これを含んだ一式が、各国版 ENV として刊行され、各方面での試用に付されることになった。
- ③ ENVs の試行の経験を踏まえ、CEN と委員会を通じた各国は、ユーロコードの欧州規格バージョン、すなわち EN EUROCODE（以下、「EN-EC」という。）の策定に最終的に踏み切ることとした。ENV から EN-EC へのもっとも大きい変更点は、Box Value を廃止し、EN-EC の中で明示的に国毎の選択又は値の決定が許容される数値、等級、方法等として指定された事項について、Nationally Determined Parameters（NDP）とし、EN-EC の各国版に付けられる National Annex において、その数値等を規定することとした。

### 2. 2. 2 ユーロコードの技術基準としての意味・役割

ユーロコードは、委員会と CEN との協定（BC/CEN/03/89）をベースとして、マンデートを通じて CEN に委任されている。その結果、ユーロコードには、建設製品指令等に基づく hEN ではないが欧州規格 EN の位置付け（EN-EC）を与えられる。このことにより加盟各国は、下記のような目的のための参照文書として、出来上がった EN-EC を規制や公的発注上、何らかのかたちで尊重することとなる；

- ① 建築物と土木構造物の、建設製品指令の基本的要件（ERs）、特に ER1：物理的抵抗性及び安定性及び ER 2：火災時の安全への適合を立証する手段として
- ② 建設工事物及び関連エンジニアリング業務に関する発注・契約条件を規定するための基礎として
- ③ 建設製品のための調和技術仕様（hENs/ETAs）の策定の枠組として

## 2. 2. 3 ユーロコードの構成枠組み

- ① EN-EC の体系は、図 - 4 のように「共通編」(☆印：原則、荷重・外力、耐震、…)と「材料別各論編」(★印：コンクリート、鋼、木、…)とに分類されている。
- ② さらに、それぞれの EN-EC は、「建築物」とその他の施設工作物・構造物(「橋梁」、その他)等にわかれて規定され、それぞれ PART を構成することになる。
- ③ 各 PART はそれぞれ別々のプロセスで策定されている。また、例えば“実際の”コンクリート構造物の設計には、EC2 だけでは足りず、EC0、EC7 そして場合によっては EC8 の関係 PART を適用することが必要になる。このような、設計対象物に着目した場合の所要 PARTs の集合を、EN-EC の「パッケージ」と呼ぶ。
- ④ この各パッケージに含まれる PARTs の全てが策定完了する時期を、パッケージの策定完了予定日 (DoA) とし、この時点から起算してしかるべき期間後に、関連する各国の規格類を廃止又は修正すべき時期を算定することとした。
- ⑤ ユーロコードを各国において施行する各国の規格は、CEN が刊行したユーロコード(各 Annex を含む。)のテキスト全体に加え、各国版のタイトルページ及び前書きで構成され、各国版 National Annex が付けられる場合もある。
- ⑥ 「本文」は、「総則 (General)」、「要求事項 (Requirements)」、各種の Principles、Methods 等で構成。「付属文書」は、
  - \* Annex A で、工事物のタイプごとに適用すべきルールを規定 (Normative)。うち Annex A1 が建築物、A2 が橋梁
  - \* Annex B 以降で、各種の補足、解説等を添付 (Informative)

☆EUROCODE	0	: 原則
☆EUROCODE	1	: 荷重・外力
★EUROCODE	2	: コンクリート構造物
★EUROCODE	3	: 鋼構造物
★EUROCODE	4	: コンクリート・鋼混合構造物
★EUROCODE	5	: 木構造物
★EUROCODE	6	: 組積造構造物
☆EUROCODE	7	: 基礎・地盤設計
☆EUROCODE	8	: 耐震設計
★EUROCODE	9	: アルミニウム構造物

図 - 4 ユーロコードの構成

## 2. 3 ISO 等を通じた国際調和

### 2. 3. 1 建築分野の主要な国際標準化活動

ISO における国際標準化の活動は、各専門分野毎に分かれた TC さらにはその下の標準化の領域毎の SC でマネジメントされ、実際の個々の国際標準の策定は WG で担当される。TC、SC には各国の構成団体(わが国の場合は日本工業標準調査会 JISC)が申し出により P (積極参画) または O (オブザーバ) メンバーとなることができる。P メンバーとなれば標準原案の承認のための投票権を有するため、各段階の原案は回付されてくるが、原案の内容に影響力を行使しようとしたら少なくとも WG のメンバーになることが必須であり、理想的であれば WG のプロジェクトリーダーをとることが必要である。

建築分野は、多くの分野 (ISO/TC ; 図 - 5 参照) において、従前から材料・製品以外の領域、例えば設計方法や部材・材料の性能評価の手法、「性能」その他の概念・考え方に関する国際標準の策定が進められてきている。例えば次のようなものがある ;

- ① TC98 (構造物の設計の基本) では、特に耐震分野でわが国が主導的な活動を行っており、1988 年にはわが国が WG の主査を務め、ISO3010 (構造物への地震作用) を制定させた。また、EUROCODE やわが国の「土木・建築にかかる設計の基本」のベースともなっている ISO2394 (構造物の信頼性に関する一般原則) 等の制定やメンテ

ナンスに当たっている。

- ② TC92（火災安全）では、火災発生・成長、耐火構造・区画等のモデルや試験法等の国際規格の制定を進めており、各国の建築基準で採用される試験法等のベースとなりつつある。また SC4（火災安全工学）では、性能指向の火災安全検証法に関するモデル・評価法の検討が進められている。
- ③ TC59（ビルディング・コンストラクション）は、建築物の設計・生産に関係する種々の事項や、性能指向の基準や規格を策定するためのモデル等を提供している。特に SC3（建築物の機能的要求と性能）が策定した ISO6240 等の一連の“建築物のための性能規格”は、各国の性能指向の建築基準や関連製品規格等に大きな影響を与えている。わが国も創設メンバーとなっている SC15（住宅の性能標準）では、構造安全、火災安全等性能項目毎の住宅の“性能記述”の方法についての国際標準化を進めている。これらは、住宅の性能表示にも、住宅の建築規制基準にも共通する事項を扱っており、こうした重要な事項の国際標準化のあるべき姿に関して、日・豪・米等で論争を続けてきている。

今後、EU における建設製品に関する調和欧州規格や EUROCODE における設計標準、材料仕様の扱い等も注視しながら、関連する国際標準化の方向性が、特定の国・産業界の利益だけにつながることがないよう、かつ今後さらに進展すると考えられる性能指向の建築基準の方向性と矛盾する結果を生まないよう、わが国としても的確かつ積極的な国際標準化活動へ取組み参画することが、よりいっそう必要となってきていると思われる。

TC	名 称	TC の概要
10	製図、製品の確定方法、関連文書	建築製図に関する基本分野
17	鋼/鉄筋及びプレストレストコンクリート用鋼	構造上重要な建築材料に関すること
21	消防器具	防火上重要な警報器等に関すること
35	ペイント及びワニス	鋼材等の耐久性上重要な塗料等に関すること
43	音響	建築物の遮音等に関すること
45	ゴムとゴム製品/製品/積層ゴム	免震構造建築物等に使用するゴムに関すること
59	ビルディングコンストラクション	建築生産・性能に係る基本分野
61	プラスチック	防火上重要な建築材料に関すること
71	コンクリート、鉄筋コンクリート及びプレストレストコンクリート	RC 建築物の材料・製品及び構造設計等に関すること
74	セメント及び石灰	構造上重要な建築材料に関すること
77	繊維強化セメント製品	防火上重要な建築製品に関すること
89	木質系パネル	構造上重要な建築製品に関すること
92	火災安全	建築物の防火関連規定に関すること
98	建築設計の基本	建築物の構造の基本的な分野に関すること
146	室内空気質	室内空気環境の保全に関すること
160	建築用ガラス	構造上重要な建築材料に関すること
162	ドア及び窓	住宅等の性能上重要な建築製品に関すること
163	断熱	省エネルギー上重要な建築材料に関すること
165	木構造	木造建築物の構造に関すること
167	鉄鋼及びアルミニウム構造物	S 造、アルミニウム造の建築物の構造に関すること
178	リフト、エスカレーター及び動く歩道	エレベーター、エスカレーター、小荷物専用昇降機に関すること
179	組積造	組積造の建築物の構造に関すること
182	地盤工学	地盤の安全性、試験法等に関すること
189	陶磁器質タイル	建築物の機能上重要な建築材料に関すること
205	建築環境設計	省エネルギー等の環境に配慮した建築設計の基本に関すること
218	木材	構造上重要な建築材料に関すること
219	フロアーカバリング	建築物の床仕上げ材料に関すること

図 - 5 建築分野に関連の深い主要 TC



# 港湾基準の国際化対応について

—信頼性設計による性能規定型基準をめざして—

国土技術政策総合研究所 港湾研究部長 山本修司

## 1. はじめに

国際標準化機構 ISO の TC98 では、国際規格としての「構造物の設計の基本」が議論されている。一方、欧州においては欧州標準化委員会 CEN が EU 内の統一規格として Eurocodes を策定している。そこでは、我々が 100 年以上にわたって使用してきた安全率を用いる設計法や許容応力度設計法に代わって、信頼性設計をベースとした性能規定型基準が主流となりつつある。そのため、港湾の技術基準についても ISO 等の国際規格との整合性を図る必要があると考えている。

本稿では、①構造物の設計法に関する国際的動向、②港湾基準の国際整合の必要性、③港湾分野における ISO 等への対応状況、④港湾基準の改正の方向、⑤防波堤の設計に関するコードキャリブレーションについて紹介する。なお、港湾基準改正の基本的考え方については、今後各方面における議論により内容に変更がありえる。

## 2. 構造物の設計に関する国際的動向<sup>1)</sup>

WTO/TBT 協定の発効に伴い、ISO (International Organization for Standardization) で策定される国際規格は、国内規格の基礎として採用することが求められている。また、ISO は Eurocodes を策定している CEN(European Committee for Standardization)と極めて密接な関係にある。1991 年に ISO と CEN との間で結ばれたウィーン協定によれば、CEN で先行的に規格策定作業が行われる規格について、ISO は規格策定作業を行わず、CEN での作業結果が ISO の規格原案となる。地域規格である欧州規格 EN (European Normalization) がそのまま国際規格となる道が用意されている。

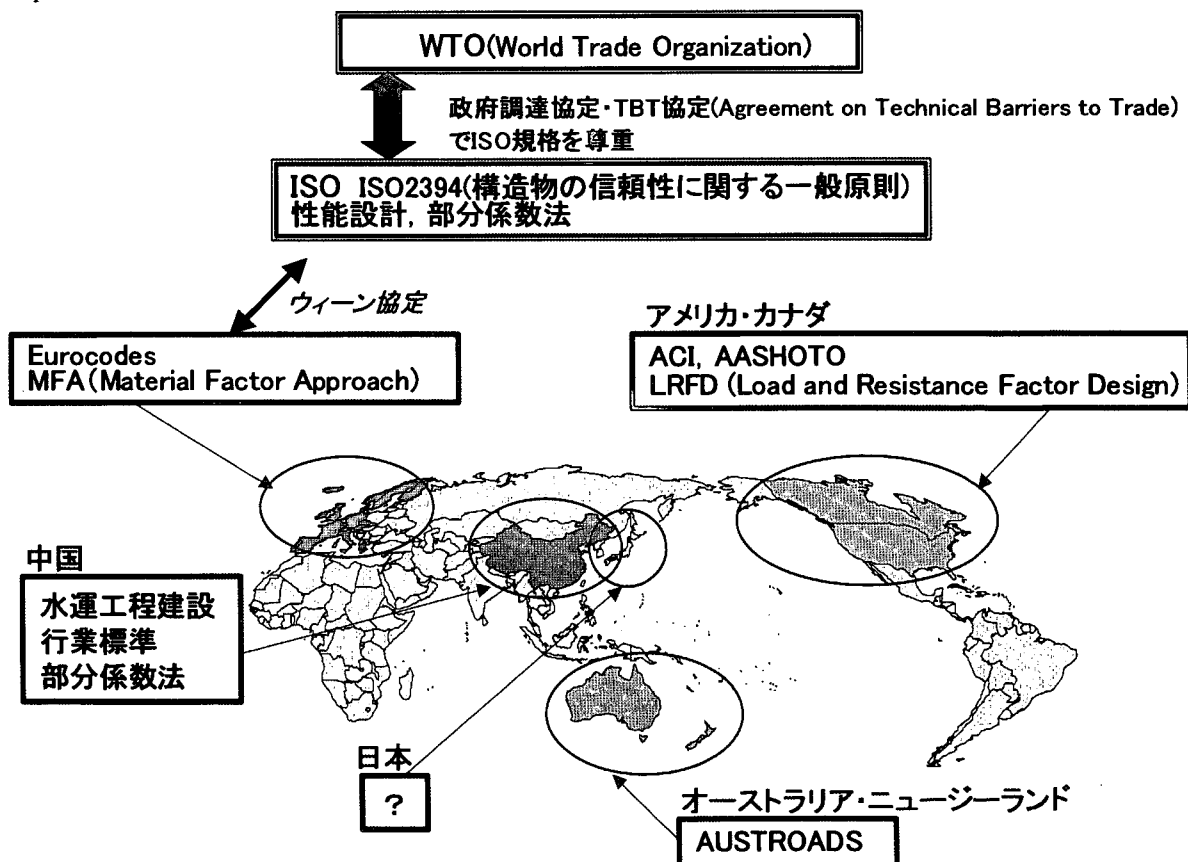


図-1 設計法を巡る国際的動向

表-1 TBT 協定第 2 条 (抜粋)

2.4 Where technical regulations are required and relevant international standards exist or their completion is imminent, Members shall use them, or the relevant parts of them, as a basis for their technical regulation...

2.8 Wherever appropriate, Members shall specify technical regulations based on product requirements in terms of performance rather than design or descriptive characteristics.

表-2 ISO2349 基本的要求事項 (抜粋)

Structures and structural elements shall be designed, constructed and maintained in such a way that they are suited for their use during the design working life and in an economic way. In particular they shall, with appropriate degrees of reliability, fulfill the following requirements:

- they shall perform adequately under all expected actions (serviceability limit state requirement);
- they shall withstand extreme and/or frequently repeated actions occurring during their construction and anticipated use (ultimate limit state requirement);

ISO/TC98 が作成した ISO2394 General principles on reliability for structures (構造物の信頼性に関する一般原則) は、各種の作用 (荷重) の考え方や構造物の信頼性評価に関する一般原則を記述している。構造物とその各部は、構造物の設計供用期間を通して、使用限界状態と終局限界状態に対して要求される性能を有する必要がある。その信頼性は、部分係数法あるいはより直接的な指標である安全性指標や破壊確率により評価される。ISO2394 は設計の原則や基本的事項をとりまとめたものであり、実際の設計作業を行うためには、もっと具体的な記述が必要となる。そのため、TC/98/SC2/WG8 (幹事国；オーストラリア) が General framework for structural design (構造設計の一般的枠組み) の策定作業を開始している。その内容には十分に関心を払う必要がある。

一方、CEN は構造物の設計の基本を記述した EN1990 Basis of Structural Design や EN1991 Action on structures を策定しているが、その内容は概ね ISO2394 と同じである。

### 3. 港湾の施設の技術上の基準の国際整合性<sup>2), 3), 4), 5)</sup>

港湾の施設の技術上の基準 (以下、港湾基準) を信頼性設計をベースにした性能規定型基準に変更するとともに、ISO 等の国際規格との整合を図ることの必要性を例示すると以下のとおりである。

#### 3.1 国内建設プロジェクトにおける貿易摩擦の回避

- ・WTO/TBT 協定の遵守

#### 3.2 建設に関する国際市場の確保競争

- ・欧州…国際規格化を手段として市場を獲得 (Eurocodes の ISO 規格化)
- ・東南アジア…ISO 規格を自国の規格へ導入する動き
- ・中国…WTO 加盟を機に国際規格の導入 (交通部は、Laws of International Standardization of the People's Republic of China に基づいて、2000年6月に Technical codes for port engineering を完成。設計法として部分係数法を採用)
- ・日本…国内市場から国外市場へ

#### 3.3 関連技術や資材等の国際的調和と流動性の向上

- ・PIANCにおける防舷材の性能試験法と設計法
- ・外国製品の利用によるコスト縮減

### 3.4 技術の進歩が生かされる技術基準体系

- ・地盤調査方法や土質試験法等の精密化と地盤設計
- ・波浪観測や波浪推算法等の精密化と防波堤の設計
- ・新型式の構造物を採用することによるコスト縮減

## 4. 港湾分野における ISO 等への対応状況

### 4.1 ISO/SC3/WG8 Actions from waves and currents (波・流れの作用)

波・流れの作用は防波堤や護岸の設計において最も基本的事項である。また、この分野の日本の研究成果は、BS6349 Maritime Structures 等に採用されるなど国際的にも高く評価されている。従って、この WG については、重大な関心を寄せるとともに十分に国際貢献できるものと考えている。日本からは、合田良実 横浜国立大学名誉教授が WG メンバーとして参加している。今年 12 月、第 3 回会議において WG ドラフトの全体骨子が議論された。

波の不規則波浪としての取り扱い、極値波浪統計解析、港湾・海岸構造物の性能設計等が議論されている。参考 1 に WG ドラフトの目次案を紹介する。

### 4.2 ISO/SC3/WG10 Seismic actions on geotechnical works (地盤基礎構造物への地震作用)

既に規格化されている ISO3010 Bases for design on structures – Seismic actions on structures – (構造物の設計の基本 – 構造物への地震作用) は、その適用が建築物や類似の構造物に限られており、地盤と構造物との地震時相互作用に大きく影響される岸壁やトンネル等の構造物を対象としたものではない。このため、井合進 京都大学教授が主査となって標記の WG が発足した。参考 2 に WG ドラフトの目次案を紹介する。その他、ISO/TC71/SC4 で担当していた Performance and assessment requirements for structural concrete や ISO/TC156/WG10 の Cathodic protection of buried and immersed metallic structures 等、港湾に関係の深い内容については、国内審議団体を通じて意見・修正案等を提出してきた。

## 5. 現在の港湾構造物の設計の考え方

### 5.1 港湾基準の体系

港湾構造物の設計は、「港湾の施設の技術上の基準（以下、港湾基準）」に従って行われる。港湾基準は昭和 54 年に策定された後、平成元年、平成 6 年、平成 11 年の 3 度の改訂が行われた。このうち、平成 6 年の改訂は一部のみの改訂であり、全面的な改訂はほぼ 10 年おきに行われてきたといえる。

過去の改訂のうち、平成 11 年の改訂においては、性能設計に関する国内外の動向を踏まえつつも、時間的な制約もあり、基本的には仕様規定型の基準となっている。しかしながら、鉄筋コンクリート構造物の限界状態設計法の導入、係留施設(岸壁)のレベル 2 地震動に対する変形照査の考えの導入、および直杭式栈橋の保有水平耐力法による耐震性能照査などは盛り込まれた。

現在「港湾基準」として認知されているものは日本港湾協会より発刊されている「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>6)</sup>である。同書に記載されている内容は、港湾基準(枠囲みの一部)、その解説、及びその参考である。このうち、強制力があるものは港湾基準のみであり、解説及び参考は一切強制力を有するものではない(しかしながら、参考の部分まで強制力のある「基準」であると認識されている場合が多い)。現在の港湾基準において、例えば耐震設計に関する部分については、震度法における地域別震度、地盤種別係数、重要度係数は基準であるが、岸壁の設計法の詳細は基準ではない。

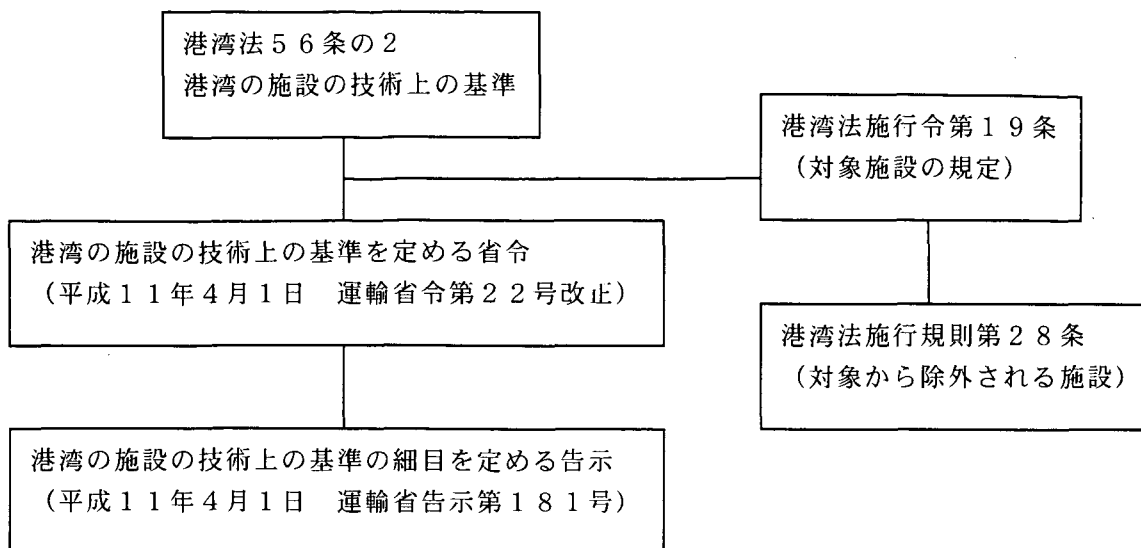


図-2 港湾の施設の技術上の基準の法令上の体系

## 5.2 港湾構造物の現行設計法

港湾構造物は、一部を除いて許容応力度設計法あるいは安全率を用いた設計法で設計されている。この設計法は、以下のような特徴を有する。

- (1) 許容応力度設計法とは、「材料の公称基準強度（応力度）を適当な安全率で除した値を許容応力度とし、設計荷重による計算応力度が、この許容応力度を超えないことを照査する設計方法」である。
- (2) 許容応力度設計法の問題点

許容応力度設計法または安全率を用いた設計法は、伝統に裏打ちされ、莫大な実績をもつ極めて優れた方法であるが、以下のような不満足な点もある。

- ① 安全率や許容応力度自身が、構造物の信頼性の絶対的尺度になっていない。すなわち、構造物の設計を行うときの不確実性をカバーする安全率の値が試行錯誤の結果、経験的に決められている。したがって、この方法では、例えば、抗の鉛直支持力の安全率が3であり、斜面の円形すべりの安全率が1.5であるからといって、前者が後者より2倍安全であるとはいえない。
- ② 防波堤の滑動に対する安全率は、波力作用と滑動抵抗力の両方の不確実性を考慮して1.2としている。従って、波力公式が精密になったから安全率を下げようとしても、安全率をいくらにすればよいか検討がつかない。

## 6. 港湾基準改訂に向けた取り組み

### 6.1 性能設計

性能設計という用語と信頼性設計という用語が港湾技術者の間で一体的に使われる場合が多いようで、技術者間に若干の混乱があるように見受けられる。ここでは2つの用語の整理をしておきたい。

まず、性能設計とは、「構造物に要求する性能を明確にし、その性能を達成する設計法」ということができる。ここで、基準に従った設計行為を考えた場合に、要求性能が基準（＝強制）であり、基準（要求性能）を達成する方法（設計法）は設計行為に加担する者が独自の判断で選択できるスタイルを次期港湾基準では想定している。

その際に、強制力がかかるのは要求性能だけとなるため、この要求性能はできる限り明確に、定量的に示す必要があると考えられる。単に「～の荷重作用に対して安定であること」と示しただけでは、どのように安定であるのか不明であり、設計を行うことができないためである。要求性能としては、例えば、「耐用期間中の荷重効果による構造物のシステム破壊確率を $2 \times 10^{-2}$ 以下にする」、  
「ある特定の荷重効果により構造部材の幾つかは降伏するが、システム破壊は生じない」

といった性能を示す必要があると考えられる。次に要求性能を照査する際に、これを確定的に照査する方法と、確率的に照査する方法の2通りが考えられる。後者が信頼性設計法である。

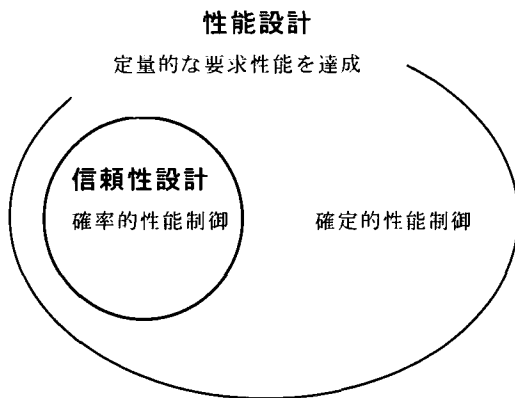


図-3 性能設計と信頼性設計

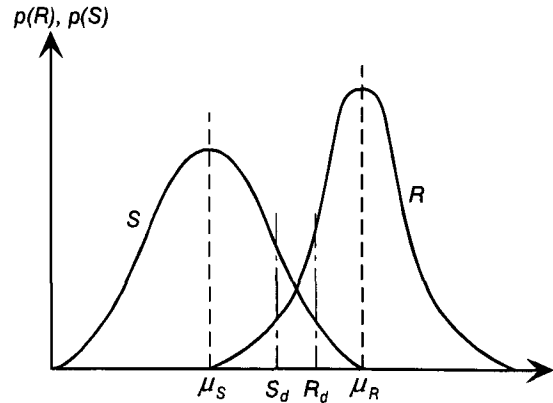


図-4 信頼性設計

## 6.2 信頼性設計

構造物の設計においては、耐力と荷重効果の値を何らかのモデルを用いて計算し、耐力が荷重効果を上回ることを確認する。従来の設計法では、耐力及び荷重効果を構成する因子の値をある値に確定的に定めて、確定的な耐力設計用値  $R_d$  と荷重効果設計用値  $S_d$  の値を比較して安全性照査を行うが、 $R_d$  及び  $S_d$  は、それぞれの確率分布における超過確率として定められたものではなかったため、設計される構造物の破壊に対する安全性が定量的に明確ではなかった(図-4)。こうした従来型の設計法に替わり、確率論を援用して構造物の破壊(損傷)する可能性を定量的に制御する方法が信頼性設計法である。信頼性設計法には3つのレベルがある<sup>7)</sup>(表-3)。もっとも用いられる頻度の高いものがレベル1の方法であり、ISO2394に位置付けられたのもこの方法である。なお、安全性指標とは破壊の可能性を表す指標で、この値が大きいほど安全であることを示す。

表-3 信頼性設計法の3つのレベル<sup>12)</sup>

レベル	安全性照査式	基準パラメータ
レベル3	$p_f \leq p_{f,d}$	破壊確率
レベル2	$\beta \geq \beta_T$	安全性指標
レベル1	$R_d \geq S_d$	設計用値

レベル1信頼性設計法の安全性照査式(性能関数)の基本を示すと式(1)のようになる。

$$\gamma_R R_k \geq \gamma_S S_k \quad (1)$$

ここに、 $\gamma_R$  : 耐力に関する安全係数、 $\gamma_S$  : 荷重効果に関する安全係数、 $R_k$  : 耐力の特性値、 $S_k$  : 荷重効果の特性値

式(1)に分離係数  $\alpha_R$ 、 $\alpha_S$  を導入することにより、安全係数が式(2)~式(3)により得られる。ここに、分離係数は、FORM(First Order Reliability Method)を適用することにより性能関数の線形化近似を行う際に得られる値である。

$$\gamma_R = (1 - \alpha_R \beta_T \frac{\sigma_R}{\mu_R}) \frac{\mu_R}{R_k} \quad (2)$$

$$\gamma_s = (1 + \alpha_s \beta_T \frac{\sigma_s}{\mu_s}) \frac{\mu_s}{S_k} \quad (3)$$

ここに、 $\mu$ 及び $\sigma$ は、その添字の変数に関するそれぞれ平均値及び標準偏差であり、 $\beta_T$ は目標安全性指標である。このように、レベル1の信頼性設計法では、構造物の破壊確率を直接扱った計算は行わないが、破壊確率が許容値以下になるように設定した安全係数を用いて設計計算を行うことによって、安全性をコントロールしている。

なおレベル2の信頼性設計法は、安全性指標の値そのものを判定基準とするものである。すなわち、設計される構造物の安全性指標を算出し、これが目標値を上回ることを確認する。

$$\beta \geq \beta_T \quad (4)$$

### 6.3 港湾基準改訂の基本的考え方

上述したように性能規定型設計法においては、要求性能のみが基準として強制される内容となり、基準達成の方法は設計者（ないしは発注者）に委ねられることとなる。ただし、方法を一切示さないことは設計者の便を考慮すると現実的とはいえないであろう。したがって、標準的と考えられる設計法を参考として記述しておくスタイルが現実的と考えている。このため、信頼性設計法によるコードキャリブレーションの実施が必要である。

その際に最も重要な点は、確率論に基づいたキャリブレーションを実施すること、及びキャリブレーションされた設計法により要求性能が満足されることを合理的な指標を用いて示すことであると考えられる。形式的に、従来の設計法と同程度の断面になるように安易に部分安全係数を設定したのでは、信頼性設計法の合理性が発揮されることは無く、単に設計者の手間を増やしただけになってしまうことが懸念される。信頼性設計法の導入の意義は構造物の安全性のばらつきを減少させることであるが、形式的なキャリブレーションを行ったのでは、設計される構造物の安全性はそれ以前の設計法による場合の安全性と同程度にばらつくと考えられる。

さらに、信頼性設計法は与えられた性能関数の枠内で合理的な方法を与えるものであることに注意が必要である。性能関数がかならずしも実際の破壊メカニズムと調和的でない場合には、信頼性設計法の適用により設計が合理化される可能性は低いであろう。

今後の設計法の展望を示したものが図-5である。設計を標準的なものと特殊なものに大別して考える。ここで、特殊な設計とは、特に重要な構造物や特に安全性照査を綿密に行うことが要求される構造物の設計のことを指す。技術基準及びマニュアルが対象とするのは主に標準的な設計であり、標準的な設計は、レベル1信頼性設計法を中心とした性能設計に書き換えられることが期待される。特殊な設計については、模型実験や高度な数値解析による確定論的な性能設計に加えて、レベル2以上の信頼性設計法の採用が期待される。

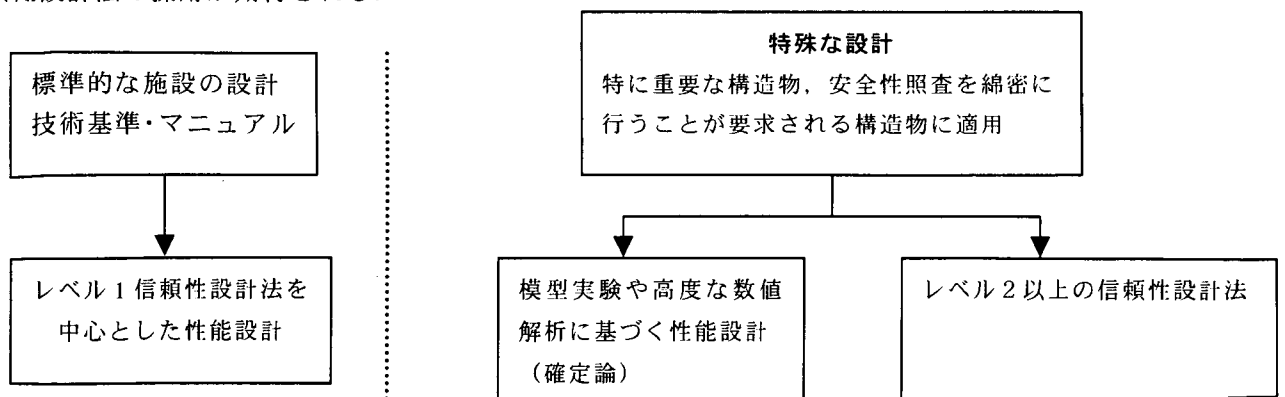


図-5 設計法の将来展望

## 6.4 ケーソン式防波堤の外的安定への信頼性設計法の適用例<sup>9), 10), 11)</sup>

### (1) 概要

レベル1及びレベル2の信頼性設計法によって防波堤の外的安定設計を行う手法を検討した例について紹介する。全国における防波堤の設計事例をもとに、現行設計法による安全性水準を滑動・転倒・支持力破壊の3つの破壊モードを考慮したシステム安全性指標により検討した。さらに、信頼性設計法によるコードキャリブレーションを行い、キャリブレーション結果の合理性を検証した。また、レベル1及びレベル2の方法の適用性の相互比較をあわせて行った。

### (2) 現行設計法による安全性水準

防波堤の外的安定に関係する設計因子のうち、確率変数として扱うべき因子を抽出し、それぞれの従う確率分布を表-4のように推定した。基本的に各設計変数とその設計用値の比の値は正規分布に従うと仮定し、設計変数の平均値と設計用値の比の値 $\alpha$ と、変動係数 $V$ によって分布を表している。水深変化の緩急は1/30以下の場合を緩勾配、1/30を超える場合を急勾配とする。波力関係のうち波浪変形計算精度、砕波変形精度、波力算定式推定精度は模型実験をもとに求められた確率分布であり、沖波波高推定精度は推定値である。潮位は過去50年間の全国の沿岸域における高潮に基づく既往最高潮位H.H.W.L.とさく望平均満潮位H.W.L.の比の値 $r_w$ の地域区分に従い分類した。

現行設計法による防波堤の外的安定水準を評価するため、近年の全国における防波堤の設計事例76例を地域的及び設計条件的に偏りのないように広範囲から収集した。滑動・転倒・支持力の3つの破壊モードについて現行設計法に準じて性能関数を定義し、Hasofer-Lindタイプ<sup>8)</sup>の安全性指標を算出した。図-6に、滑動、転倒、支持力の各破壊モードに対する現行設計法の安全率と安全性指標の関係を示す。滑動または転倒については、安全率と安全性指標は概ね正の相関関係にあるが、支持力についてはばらつきが大きく、安全率から安全性指標を精度良く推定することは困難であることがわかる。3つの破壊モードに対応する安全性指標の相互の相関は低く、滑動がほとんどの断面で支配的なモードであることが分かった。この被災モードの傾向は、実際の被災傾向と整合的である。

次に、破壊モード相互の相関が低いことを考慮し、3つの破壊モードを考慮したシステム破壊確率を、各モードを完全独立と仮定してシステム破壊確率を算出した。システム破壊確率をもとに算出されるシステム安全性指標の分布を図-7に示す。システム安全性指標は1.71~3.63の範囲にあり、平均値は2.41である。この値は、実際の防波堤の破壊事例より推定される平均的な安全性指標と調和的であり、システム安全性指標は適切に算定されたものと判断される。

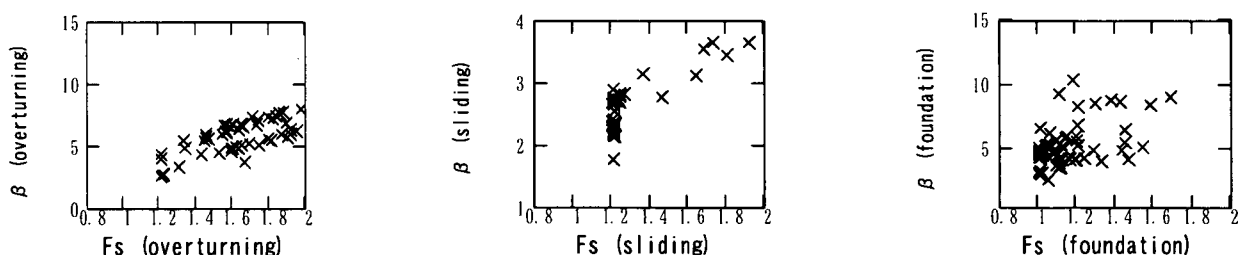


図-6 安全性指標と安全率の関係

信頼性設計法によるコードキャリブレーションにあたり、目標安全性水準の定め方としては、平均値設定のキャリブレーションにおいては破壊確率の平均値を目標値とし、最低水準設定のキャリブレーションにおいては、5%超過確率に相当する破壊確率( $2.30 \times 10^{-2}$ )とする。この値は、システム安全性指標の分布に正規分布を当てはめて得られる5%非超過安全性指標1.99をもとにして設定した。また、防波堤はどのような破壊モードが生じても基本的には原型復旧されることから、目標安全性指標は各破壊モードに対して同じ値とする。

表-4 設計因子の従う確率分布

	$\alpha$	V
波力		
沖波波高推定精度	1.00	0.10
波浪変形計算精度		
水深変化緩	0.97	0.04
水深変化急	1.06	0.08
砕波変形推定精度	0.87	0.10
波力算定式推定精度		
ケソ式混成堤	0.91	0.19
消波ブロック被覆堤	0.84	0.12
潮位		
$r_{wl}=1.5$	1.00	0.20
$r_{wl}=2.0, 2.5$	1.00	0.40
摩擦係数	1.06	0.15
単位体積重量		
鉄筋コンクリート	0.98	0.02
無筋コンクリート	1.02	0.02
中詰砂	1.02	0.04
基礎地盤	1.00	0.03
基礎地盤強度	1.00	0.10

注)  $\alpha$  : 平均値の偏り (平均値/設計用値)

V : 変動係数

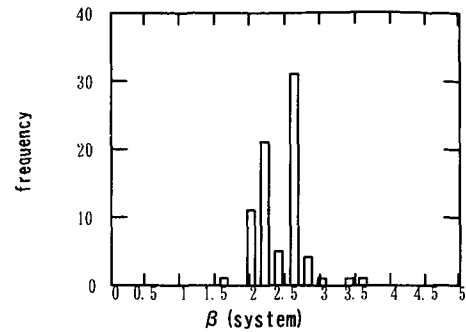


図-7 システム安全性指標の分布

### (3) レベル2信頼性設計法によるキャリブレーション

レベル2信頼性設計法においては本来、目標安全性指標をちょうど満足する設計を行うことが可能であるが、防波堤の外的安定においては破壊モードが複数あることから、卓越モード以外の安全性指標は目標値を上回るため、キャリブレーションを行って最適な目標安全性指標を設定する必要がある。レベル2信頼性設計法の適用にあたり、2.00~2.55の範囲で0.05刻みで目標安全性指標を変化させてFORMを用いた試設計を行った。すべての破壊モードについて式(4)を満足する最小の堤体幅を算出し、その堤体幅に対する各破壊モードの安全性指標を算出し、これをもとにシステム破壊確率を算出する。得られた値に対して、平均値ベースのキャリブレーションにおいては式(5)に示すようにシステム破壊確率目標値に対する各断面のシステム破壊確率の分散最小案を、最低水準ベースのキャリブレーションについては式(6)に示すようにシステム破壊確率に関する現行設計法と信頼性設計法の5%超過確率の差の絶対値最小案を最適案として採用する。

$$\sum (P_{fi} - P_{fr})^2 \rightarrow \min \quad (5)$$

ここに、

$P_{fi}$  : システム破壊確率の目標値,  $P_{fr}$  : 信頼性設計法によるシステム破壊確率

$$\left| P_{f5\%p} - P_{f5\%r} \right| \rightarrow \min \quad (6)$$

ここに、

$P_{f5\%p}$  : 現行設計法によるシステム破壊確率の5%超過確率

$P_{f5\%r}$  : 信頼性設計法によるシステム破壊確率の5%超過確率

解析結果を図-8に示す。水平軸は目標安全性指標であるが、左端の現行と記した部分は現行設計法による値であることを示す。鉛直軸にはシステム安全性指標の平均値及び5%非超過確率値、および



現行設計法による堤体重量を 1.0 とした場合の信頼性設計法による堤体重量の平均値を示している。目標安全性指標を下げるに従って、システム安全性指標、堤体重量比も比例的に下がることが分かる。図-9 に、各キャリブレーション条件の最適案の判定結果を示す。平均値キャリブレーションについては目標安全性指標 2.45 のケースが、最低水準キャリブレーションについては目標安全性指標 2.20 のケースが適合する。前者の堤体重量比平均値は 0.99 とほぼ現行設計法と同じに保たれており、建設コストは変えずに合理的な設計が行えることを示している。後者の堤体重量比平均値は 0.94 であり、現行設計法と比較して平均的に 6% の建設コスト縮減が可能になる。各キャリブレーション条件の信頼性設計法と現行設計法による安全性指標分布の比較を図-10 に示した。

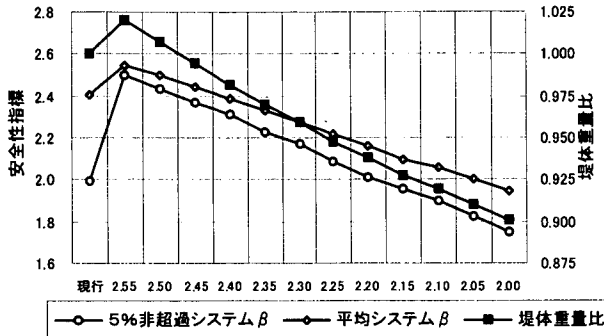


図-8 解析結果 (レベル 2)

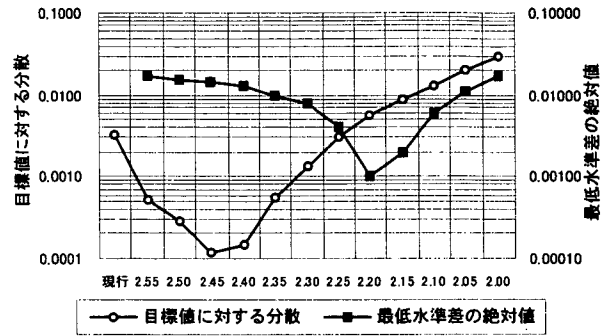
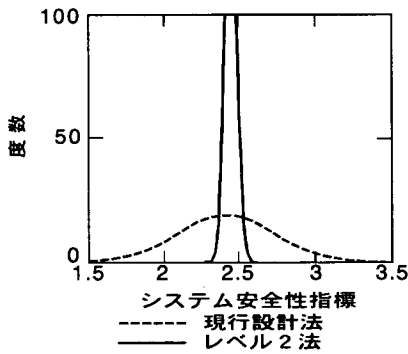
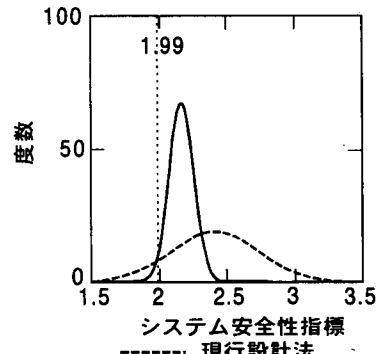


図-9 最適案の判定 (レベル 2)



(a) 平均値設定



(b) 最低水準設定

図-10 キャリブレーション結果

(4) レベル1 信頼性設計法によるキャリブレーション

レベル1 信頼性設計法によって滑動・転倒・支持力の各破壊モードに対する安全性照査式を書き下すと、それぞれ式(7)~式(9)のようになる。

$$\gamma_f f_k \left( \sum_i \gamma_{W_i} W_{ik} - P_{Bd} - \gamma_{P_U} P_{Uk} \right) \geq \gamma_{P_H} P_{Hk} \quad (7)$$

$$a \sum_i \gamma_{W_i} W_{ik} - b P_{Bd} - c \gamma_{P_U} P_{Uk} \geq d \gamma_{P_H} P_{Hk} \quad (8)$$

$$\frac{\sum \left\{ \left[ \gamma_c c'_k s + (\gamma_{w_r} w'_k + \gamma_{q_r} q_k) \gamma_{\tan \phi'} \tan \phi'_k \right] \times \frac{\sec \theta}{1 + \tan \theta \gamma_{\tan \phi'} \tan \phi'_k / F_f} \right\}}{\left\{ \sum (\gamma_{w_s} w'_k + \gamma_{q_s} q_k) \sin \theta + e \gamma_{P_H} P_H / r \right\}} \geq F_f \quad (9)$$

ここに、記号  $\gamma$  はその添え字に関する安全係数であり、添字  $k$  及び  $d$  はそれぞれ特性値及び設計用値であることを表す。その他の記号については以下の通りである。

$f$ : 堤体底面と基礎との摩擦係数,  $W_i$ : 堤体を構成する材料(鉄筋コンクリート, 無筋コンクリート, 中詰砂)の重量(kN/m),  $P_B$ : 堤体に作用する浮力(kN/m),  $P_U$ : 堤体に作用する揚圧力合力(kN/m),  $P_H$ : 堤体に作用する水平波圧合力(kN/m),  $a$ : 堤体重量合力の作用線から堤体前趾までの距離(m),  $b$ : 浮力の作用線から堤体前趾までの距離(m),  $c$ : 揚圧力合力の作用線から堤体前趾までの距離(m),  $d$ : 水平波力の作用線から堤体底面までの距離(m),  $c'$ : 有効応力に基づく見かけの粘着力(kN/m<sup>2</sup>),  $s$ : 分割細片の幅(m),  $\phi'$ : 有効応力に基づく見かけのせん断抵抗角(°),  $w'$ : 分割細片の重量(kN/m),  $q$ : 分割細片に作用する上載荷重(kN/m),  $\theta$ : 分割細片の底面となす角(°),  $e$ : 水平波力のアーム長(m),  $r$ : すべり円弧の半径(m),  $F_f$ : 支持力に関する安全率

浮力設計用値  $P_{Bd}$  はケーソンがフーチングを有しない場合、式(10)により得られる。

$$P_{Bd} = \rho_w g (\gamma_{w\lambda} w \lambda_k + h) B \quad (10)$$

ここに、 $\rho_w$ : 海水密度(t/m<sup>3</sup>),  $g$ : 重力加速度(m/s<sup>2</sup>),  $w\lambda$ : 設計潮位(m),  $h$ : 堤体設置水深(m),  $B$ : 堤体幅(m)

支持力安全性照査については、上載荷重と分割細片の重量を考慮するが、これらは耐力と荷重の双方に影響し、かつ影響の度合いが異なるため、安全係数の値も異なることになる。また、堤体構成重量、揚圧力、浮力の安全係数は、滑動と転倒とでそれぞれの特性値が性能関数に及ぼす影響が異なるため、これらの安全係数も異なった値となる。支持力安全性照査の安全率は確定的に扱い、現行設計法と同様に収束計算により求める。各モードに対する安全係数は、性能関数に式(2)～式(3)で述べた分離係数を導入することによって設定する。これらの値は安全性指標の算出の際に算出されるが、76の断面を対象にしているため、断面ごとに値にばらつきが生じる。このためここでは、性能関数を線形近似展開する際に生じる高次の項を無視することによって、例えば滑動については式(11)のように設定した。

$$\begin{aligned} \gamma_f &= (1 - \alpha \alpha' \beta_T V_f) \mu_f / f_k \\ \gamma_{W_i} &= (1 - \alpha \alpha' \alpha'' \beta_T V_{W_i}) \mu_{W_i} / W_{ik} \\ \gamma_{P_U} &= (1 + \alpha \alpha' \alpha'' \beta_T V_{P_U}) \mu_{P_U} / P_{Uk} \\ \gamma_{w\lambda} &= (1 + \alpha \alpha' \alpha'' \beta_T V_{w\lambda}) \mu_{w\lambda} / w \lambda_k \\ \gamma_{P_H} &= (1 + \alpha \beta_T V_{P_H}) \mu_{P_H} / P_{Hk} \end{aligned} \quad (11)$$

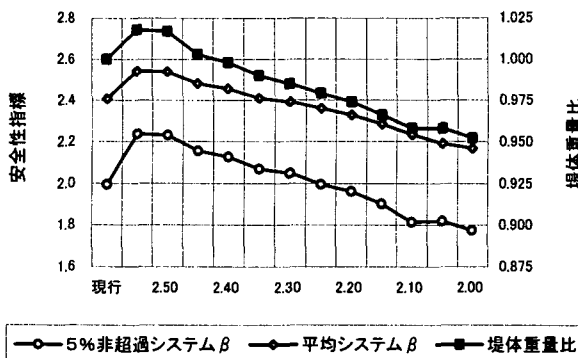


図-11 解析結果 (レベル1)

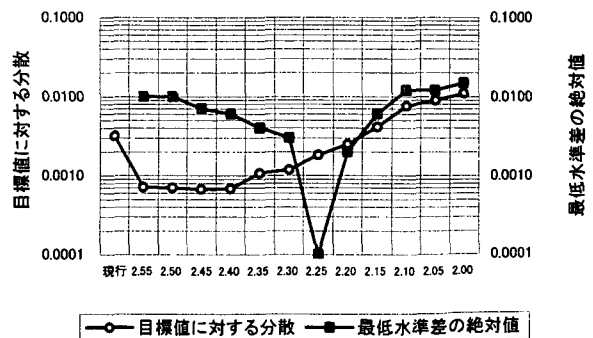
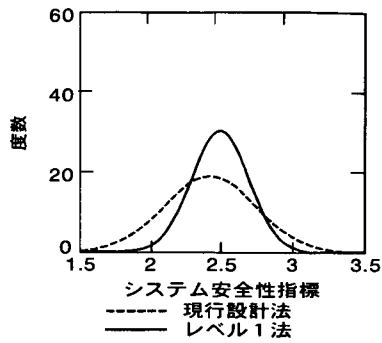


図-12 最適案判定 (レベル1)

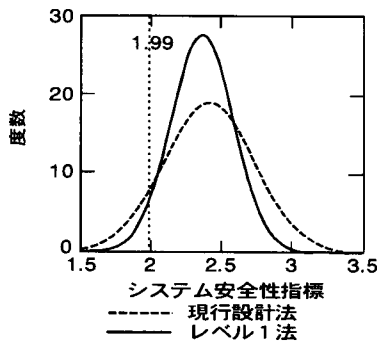
表-5 設計法の提案  
レベル1

安全係数		平均値 設定	最低水準 設定	
滑動	水平波圧 $\gamma_{PH}$	混成堤・緩	1.08	1.05
		混成堤・急	1.20	1.17
		消波ブロック堤・緩	0.93	0.91
		消波ブロック堤・急	1.04	1.02
	摩擦係数 $\gamma_f$		0.87	0.88
	揚圧力 $\gamma_{PU}$	混成堤・緩	0.92	0.91
		混成堤・急	1.02	1.00
		消波ブロック堤・緩	0.82	0.81
		消波ブロック堤・急	0.90	0.89
	潮位 $\gamma_{Wl}$	$\gamma_{Wl} = 1.5$	1.17	1.15
		$\gamma_{Wl} = 2.0 \sim 2.5$	1.34	1.31
自重 $\gamma_{Wi}$	鉄筋コンクリート	0.96	0.96	
	無筋コンクリート	1.00	1.00	
	中詰砂	0.99	0.99	
転倒	水平波圧 $\gamma_{PH}$	混成堤・緩	1.08	1.05
		混成堤・急	1.20	1.17
		消波ブロック堤・緩	0.93	0.91
		消波ブロック堤・急	1.04	1.02
	揚圧力 $\gamma_{PU}$	混成堤・緩	0.99	0.97
		混成堤・急	1.09	1.07
		消波ブロック堤・緩	0.87	0.85
		消波ブロック堤・急	0.96	0.95
	潮位 $\gamma_{Wl}$	$\gamma_{Wl} = 1.5$	1.24	1.22
		$\gamma_{Wl} = 2.0 \sim 2.5$	1.48	1.44
	自重 $\gamma_{Wi}$	鉄筋コンクリート	0.96	0.96
		無筋コンクリート	1.00	1.00
中詰砂		0.97	0.98	
支持力	水平波圧 $\gamma_{PH}$	混成堤・緩	0.99	0.97
		混成堤・急	1.09	1.07
		消波ブロック堤・緩	0.87	0.85
		消波ブロック堤・急	0.96	0.95
	上載荷重 $\gamma_q$	滑動側	0.81	0.81
		抵抗側	0.72	0.72
	自重 $\gamma_{w'}$	滑動側	1.04	1.03
抵抗側		0.98	0.98	
$\tan \phi'$	$\gamma_{\tan \phi'}$	0.92	0.92	
$C'$	$\gamma_{c'}$	0.88	0.89	

\*緩/急は海底勾配1/30未満/以上



a) 平均値設定



b) 最低水準設定

図-13 キャリブレーション結果

レベル2

安全性指標		平均値 設定	最低水準 設定
目標安全性指標 $\beta_T$	滑動	2.45	2.20
	転倒	2.45	2.20
	支持力	2.45	2.20

分離係数  $\alpha$ ,  $\alpha'$ ,  $\alpha''$ ,  $\alpha'''$  は、耐力と荷重効果の標準偏差の比の値が 1.0 に近い場合の近似値である 0.70 をすべての安全係数に採用した。レベル 2 信頼性設計法の場合と同様に、式(7)~式(9)を満足する最小の堤体幅を算出し、その堤体幅に対する各破壊モードの安全性指標を算出し、これをもとにシステム破壊確率を算出する。目標安全性指標  $\beta_T$  についてもレベル 2 の検討と同様とした。解析結果を図-11 に示す。水平軸および鉛直軸は図-8 と同じである。レベル 2 の結果と比較すると、目標安全性指標の変化に対するシステム安全性指標及び堤体重量比の変化の度合いが鈍いことが分かる。これは、複雑な性能関数を持つ破壊モードに対するレベル 1 の方法の破壊制御性能の限界を示しているものと考えられる。図-12 には、各キャリブレーション条件の最適案の判定結果を示す。平均値キャリブレーションについては目標安全性指標 2.45 のケースが、下限値キャリブレーションについては目標安全性指標 2.25 のケースが適合する。これはレベル 2 の方法の場合とほぼ同じ結果となった。平均値キャリブレーションの堤体重量比平均値は 1.00 であり、現行設計法と建設コストは変わらないが、

目標値に対する分散には1オーダーの差があり、現行設計法よりも合理的な設計が行える。下限値キャリブレーションの堤体重量比平均値は0.98であり、現行設計法と比較すると2%程度の建設コスト縮減が可能になる。各キャリブレーション条件の信頼性設計法と現行設計法による安全性指標分布の比較を図-13に示した。これまでの結果をまとめて、表-5にレベル1及びレベル2の信頼性設計法による設計手法の提案を示す。

## 7. 今後の課題

性能規定型・信頼性設計型の港湾基準策定のためのコードキャリブレーション実施にあたり解決すべき課題として以下があげられる。

### ①目標安全性の設定

信頼性設計法においては目標安全性水準をどのように定めるかが最重要課題である。その際の最も有力な方法は、防波堤の例で示したように、過去の設計法における平均的な安全性水準に一致させる方法である。しかしながら、これまでの防波堤及びケーソン式岸壁の被災事例から推定される破壊確率は、それぞれ $7 \times 10^{-3}$ 及び $5 \times 10^{-2}$ である<sup>9),11)</sup>。6.4ではこの安全性水準を目標値としてキャリブレーションを行った事例を示したが、これらの値は目標安全性としてはたして妥当な水準といえるのであろうか？

実際のところ、現行設計法の各施設の安全性水準は、それぞれ別個に工学的判断により定められてきた。このため、現行設計法の平均水準が妥当なものといえるのか、例えばライフサイクルコスト<sup>12)</sup>などの観点から検討を実施する必要があると考えている。

### ②力か変形か：設計体系の構築

これまでの設計法は力の釣合いに基づく性能関数を評価することが多かった。しかしながら、構造物の荷重応答は非線形であることが多いため、力の釣合いではなく、変形に基づく方向に設計の規範をシフトすべきだという議論が一般的になりつつある。その場合には、信頼性設計法の導入にあたって変形が制御対象となり、変形の確率的評価を行う必要があるが、一般的に変形の確率評価を行うことは困難である。さらに、変形を指標とした設計計算を標準化することは設計業務に対する負担を増加させることが予想される。そこで、設計計算は力を規範とした信頼性設計法とし、必要に応じて設計断面について変形などを確定的に照査するスタイルが妥当ではないかと考えている（変形照査で許容値をクリアできない時は断面変更を行うが、最適化は行わない）。その場合に、力に基づく設計と変形の照査が大局的には調和的な結果となるような体系を構築しておく必要があると考えられる。

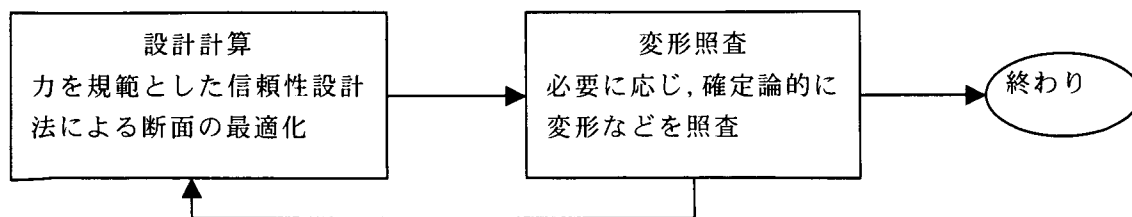


図-14 標準的な設計法の体系イメージ

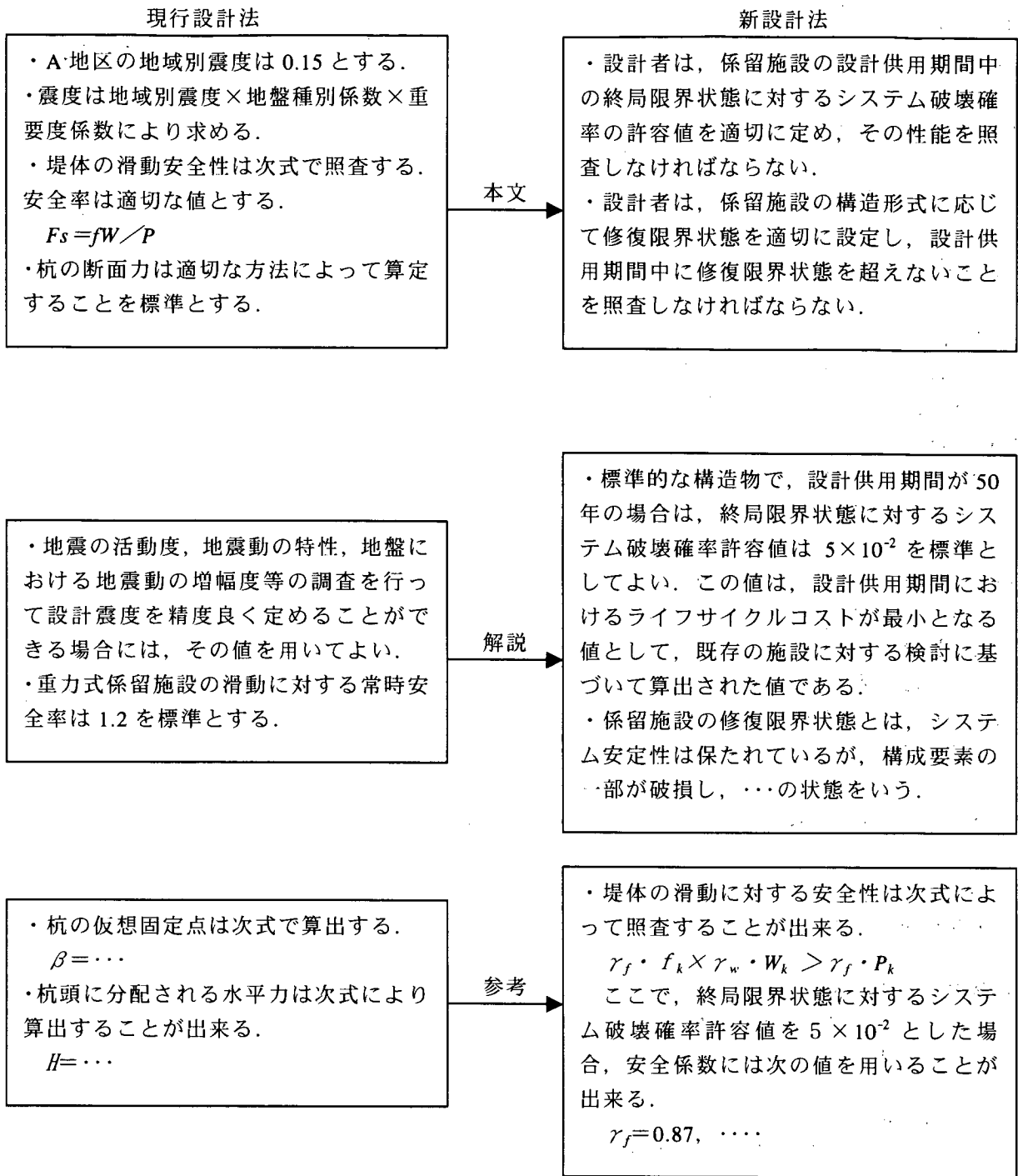


図-15 新設計法のイメージ

## 8. おわりに

本稿では、港湾基準の性能規定型基準に向けた改訂動向をとりまとめ、新設計法のイメージを図-15に示した。解決すべき課題は山積しているが、合理的な設計法構築に向けて進んでいきたい。各方面からのご意見をいただければ幸いである。なお、本稿は、長尾港湾施設研究室長が鋼構造と橋に関するシンポジウム（2002.8）で発表した論文に加筆修正したものである。また、合田良実横浜国立大学名誉教授及び井合進京都大学教授から、ISO/TC98/WG8 及び WG10 の作業状況について情報を提供していただいた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1)山本修司：港湾構造物の設計における国際規格の適用とその課題，港湾技術研究所講演会講演集，pp. 119-130, 1999.
- 2)山本修司，森屋陽一：港湾分野における運輸省の取り組み，「ISO への対応」に関する第3回シンポジウム-ISO規格と認証制度-講演資料集，pp. 31-43, 土木学会，2000.
- 3)山本修司：港湾の技術基準の国際化対応について，港湾空港技術特別講演会 in 仙台，講演集，pp. 53-68, 2001.
- 4)山本修司：アジア各国の技術基準事情，土木ISOジャーナル，Vol. 8, 2002.
- 5)山本修司，菊池喜昭：港湾構造物の性能規定型設計コードについて，基礎工 Vol. 29, No. 8, pp. 25-29, 2001.
- 6)運輸省港湾局監修，日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，1999.
- 7)星谷 勝，石井 清：構造物の信頼性設計法，鹿島出版会，1986.
- 8)Hasofer, A. M. and Lind, N. C. : Exact and Invariant Second moment Code Format, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol.100, No.EM1, pp.111-121, 1974.
- 9)長尾 毅，吉浪康行：信頼性解析によるケーソン式防波堤の外的安定性評価，構造工学論文集Vol.47A, pp.305-312, 2001.
- 10)長尾 毅：ケーソン式防波堤の外的安定に関する信頼性設計法の適用，土木学会論文集，No.689, I -57, pp.173-182, 2001.
- 11)長尾 毅，吉浪康行，佐貫哲朗，嘉門雅史：ケーソン式岸壁の外的安定に関する信頼性設計法の適用，構造工学論文集 Vol.47A, pp.293-304, 2001.
- 12)長尾 毅：破壊確率を考慮した防波堤の期待総費用最小化に関する研究，第4回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム(JCOSSAR2000)論文集，pp.441-448, 2000.

## 参考1 ISO/SC3/WG8 Actions from waves and currents

### 1 Scope

### 2 Normative reference

### 3 Terms and definitions

### 4 Symbols

### 5 Design parameters

#### 5.0 Examination of uncertainties related to wave and current action

#### 5.1 Water levels

##### 5.1.1 Tides

##### 5.1.2 Storm surges

##### 5.1.3 Joint probabilities of waves and high water level

#### 5.2 Waves

##### 5.2.1 Wave heights and periods

##### 5.2.2 Wave spectra

##### 5.2.3 Extreme wave statistics

##### 5.2.4 Wave transformation

###### 5.2.4.1 Wave shoaling

###### 5.2.4.2 Wave refraction

###### 5.2.4.3 Wave diffraction

###### 5.2.4.4 Wave breaking

###### 5.2.4.5 Wave reflection

###### 5.2.4.6 Other transformations

##### 5.2.4.7 Wave crest elevation and wave kinematics

- 5.3 Currents
  - 5.3.1 Current parameters
  - 5.3.2 Interaction between currents and waves
- 6 Wave and current action on fixed structures
  - 6.1 Armour units on mound breakwaters
  - 6.2 Wave action on vertical and composite structures
  - 6.3 Wave actions on coastal dikes and seawalls
  - 6.4 Wave and current actions on cylindrical members and isolated structures
  - 6.5 Wave and current actions on piers
  - 6.6 Wave action on other structures
- 7 Wave interaction with floating structures in shallow water
  - 7.1 Floating breakwaters
  - 7.2 Ships at moorings
    - 7.2.1 Berthing operation
    - 7.2.2 Ship loads onto mooring
    - 7.2.3 Interactions between multiple floating bodies
  - 7.3 Buoys
  - 7.4 Wave power devices
- 8 Scour at structures by action from waves and currents
  - 8.1 Local scour
    - 8.1.1 Piles: single and multiple
    - 8.1.2 Square or circular bodies
    - 8.1.3 Walls and long bodies caisson
    - 8.1.4 Rubble mound structures
  - 8.2 Scour protection with toe protection
  - 8.3 Down-drift erosion and general bed movements
- 9 Performance-based design of maritime structures
  - 9.1 General approach
  - 9.2 Mound breakwaters
    - 9.2.1 Conventional rubble mound breakwaters
    - 9.2.2 Berm breakwaters
  - 9.3 Caisson breakwaters
  - 9.4 Coastal dikes
  - 9.5 Other structures

**Annex A**

**Annex B**

**Bibliography**

**参考 2 ISO/SC3/WG10 Seismic actions on geotechnical works**

**Foreword**

**Introduction**

**1 Scope**

**2 Normative references**

**3 Terms and definitions**

**4 Symbols and abbreviated terms**

**5 Principles and abbreviated terms**

**5.1 Principles**

- 5.2 Procedure**
- 6 Evaluation of earthquake motions, liquefaction potential, and fault displacement**
  - 6.1 Objective**
  - 6.2 Seismic hazard analysis**
  - 6.3 Site response/liquefaction analysis**
    - 6.3.1 General**
    - 6.3.2 Empirical analysis**
    - 6.3.3 Site specific pseudo-static analysis**
    - 6.3.4 Site specific dynamic simplified analysis**
    - 6.3.5 Site specific dynamic detailed analysis**
  - 6.4 Spatial variation**
    - 6.4.1 General**
    - 6.4.2 Simplified analysis**
    - 6.4.3 Site specific simplified analysis**
    - 6.4.4 Site specific dynamic analysis**
  - 6.5 Seismic fault displacement**
- 7 Procedure for evaluating seismic actions**
  - 7.1 Analysis type and model**
  - 7.2 Seismic actions for pseudo-static analysis**
    - 7.2.1 Simplified analysis**
    - 7.2.2 Detailed analysis**
  - 7.3 Seismic action for dynamic analysis**
    - 7.3.1 Simplified analysis**
    - 7.3.2 Detailed analysis**
- 8 Seismic actions for pseudo-static analysis**
  - 8.1 Seismic actions for simplified analysis**
    - 8.1.1 Seismic actions from a superstructure**
    - 8.1.2 Seismic actions of ground without spatial variation**
    - 8.1.3 Seismic actions of ground with spatial variation**
    - 8.1.4 Earth and fluid pressures**
    - 8.1.5 Seismic actions on soil mass**
    - 8.1.6 Effects of soil liquefaction and ground failure**
    - 8.1.7 Effects of fault displacement**
  - 8.2 Seismic actions for detailed analysis**
    - 8.2.1 Detailed pseudo-static analysis**
    - 8.2.2 Seismic actions for a seismic deformation model**
    - 8.2.3 Seismic actions for a seismic coefficient model**
    - 8.2.4 Effects of liquefaction and ground failure**
- 9 Seismic actions for dynamic analysis**
  - 9.1 Seismic actions for simplified analysis**
    - 9.1.1 Seismic actions from a superstructure**
    - 9.1.2 Seismic actions of ground without spatial variation**
    - 9.1.3 Seismic actions of ground with spatial variation**
    - 9.1.4 Seismic actions on sliding block model**
  - 9.2 Seismic actions for detailed analysis**
    - 9.2.1 Seismic actions for a soil-structure system**
    - 9.2.2 Effects of soil liquefaction and ground failure**



# 土木・建築における技術基準の動向と展望

## 性能設計導入へのアプローチ

### —道路関係基準の場合—

国土交通省国土技術政策総合研究所  
企画部評価研究官 西川和廣

#### 1. 性能規定導入に向けた道路分野の動き

国際的な技術基準統合への動きの中で、技術基準の性能規定化への気運が高まっているが、この傾向には分野によってかなり温度差がある。道路事業に関連した分野では、電子技術分野に踏み込んだITSが、いわゆるデファクトスタンダード獲得へのしかし、別の観点から技術基準の性能規定化への志向が強まっている。ここでは既に性能規定化を意識して既に基準の改定が実施された「防護柵」、「舗装」、「道路橋」における取り組みについて紹介し、実務への導入における課題について述べることにしたい。

#### 2. 車両用防護柵の性能規定と確認試験<sup>1)</sup>

##### 2.1 改訂の背景

平成10年11月、「防護策の設置基準の改定について」が建設省道路局長より各道路管理機関の長に対して通達され、同時に「車両用防護柵性能確認試験方法について」が道路局道路環境課長から通達された。

改訂の背景には、車両制限令の改訂による車両の大型化に対応する必要があったことに加え、画一的な防護柵形式・構造に対し、地域特性や景観に配慮した多様性が要求されるようになったことがある。また、国際的な性能規定化への動きと国内における研究成果の蓄積が挙げられている。

##### 2.2 新基準の概要

新基準における性能規定の要点は、以下のように要約される。

- (1) 防護柵は性能で規定すること
- (2) 性能を満足する防護策は標準仕様として認知すること
- (3) 道路管理者は性能を確認して利用すること

その方法として、

- ・「車両用防護柵標準仕様」に登録されていること
- ・確認試験の結果が規定を満足していること

が規定されている。

また、防護柵の性能として以下の項目が規定されている。

(1) 車両の逸脱防止性能

1) 強度性能

2) 変形性能

(2) 乗員の安全性能

(3) 車両の誘導性能

1) 横転の防止

2) 離脱速度の低減

3) 離脱角度の制御

(4) 構成部材の離散防止性能

性能の確認方法としての確認試験要領が示されている。

1) 試験供試体

2) 衝突条件（車両重量、速度）

3) 計測項目及び計測方法

4) 試験結果のとりまとめ

## 2.3 実務への導入

要求される機能が比較的シンプルな事もあり、新基準は解りやすい構成になっている。しかし、実際に性能確認試験を通じて新たに開発された防護柵は3例程度に止まっているとのこと。その原因は期待される需要に対して試験に要する費用が高いこと、試験が可能な機関が限定されることなどが上げられている。また、新基準移行に先立って精力的な研究開発が行われ、多くの構造が「車両用防護柵標準仕様」に掲載されたことで、新たな技術開発に対するインセンティブが薄れていることも考えられる。

## 3. 道路舗装の性能発注<sup>2) 3) 4)</sup>

### 3.1 背景

道路構造令（第23条）が平成13年4月に改訂され、車道及び側帯の舗装に関する省令が同6月に制定された。これにともなって、平成13年6月29日「舗装の構造に関する技術基準」が通知され、その補完と運用を助けるため、平成13年9月25日「舗装の構造に関する技術基準・同解説」が刊行された。また、設計・施工における舗装関係者の理解と判断を支援する実務的なガイドブックとして、平成14年2月1日「舗装設計施工指針」が刊行された。

我が国の舗装技術は、（社）日本道路協会の発行する、アスファルト舗装要綱、セメントコンクリート舗装要綱および簡易舗装要綱がリードしてきたが、次第にバイブル化し、負の側面もみられるようになった。舗装を取り巻く環境も、事業目的の明確化・透明性の向上、ニーズの多様化・高度化、建設コストの縮減、環境・安全の重視、歩行者への配慮などが求められるようになり、上記の指針類が発刊されることになっ

た。

### 3.2 性能設計と性能発注

指針では、性能規定と発注の関係を強く意識した内容となっているのがひとつの特徴であろう。表-1に示すように、仕様規定と性能規定による発注の概念の違いを説明するとともに、性能規定による発注についても、その自由度の大きさにより3段階の方法が例示されている。

表-1 仕様規定と性能規定の概念

発注形態	完成系の性能	各層の品質	施工方法	設計方法
仕様規定	規定せず	厚さ、締固め度等	作業基準等	TA法
性能規定(1)	性能指標	厚さ、締固め度等	作業基準等	TA法
性能規定(2)	性能指標	舗装構成と性能確認方法のみ		規定せず
性能規定(3)	性能指標	規定せず	規定せず	規定せず

### 3.3 性能の設定と設計

舗装の設計にあたっては、考慮すべき条件を整理し、ライフサイクルコスト等を評価する舗装の設計期間、(2) 疲労抵抗性の対象となる計画交通量、(3) 確保すべき性能指標等、目標を設定する。

設計方法としては、(1) 疲労破壊抵抗性に着目した構造設計、(2) 透水性能に着目した構造設計方法が示されており、(1)については①経験に基づく設計方法と②理論的設計方法が示されている。さらに、(3)信頼性を考慮した構造設計や(4)補修の構造設計についても示されている。

表-2 目標設定のための調査項目と性能指標の例

調査分類	調査区分	調査項目の例	性能指標の例
道路の状況	気象	気温	塑性変形輪数(わだち)
		降水量、降雪量	浸透水量、すりへり量
	道路区分	機能分類	塑性変形輪数、浸透水量
		勾配	すべり抵抗値
交通の状況	交通量	大型車交通量	疲労破壊輪数、塑性変形輪数
		設計速度等	平坦性、すべり抵抗値
	沿道	居住状況、周辺利用状況	騒音値、振動レベルなど

### 3.4 性能の確認

性能の確認には、設定した性能指標の値を直接確認する方法(表-3)と、出来形・品質で間接的に確認する方法(表-4)が、発注形態によって種々選択できるようにな

っている。例えば性能指標が複数の場合、一部の性能は性能指標の値の確認で行い、残りは出来形・品質の確認で行う事も可能になっている。さらに、一定の期間経過後に、性能の確認を行う方式も示されている。指針には、性能の確認方法と合格判定値の例などが記述されている。

表-3 性能指標の直接確認

確認対象	性能指標	確認方法
路面	平坦性	3mプロフィールメータ、路面性状測定車
	浸透水量	現場透水量試験
	すべり抵抗値	すべり抵抗測定車、DFテスター、振り子式スキッドレジスタンステスタ
	騒音値	路面騒音測定車
表層	塑性変形輪数	ホイールトラッキング試験
構造	疲労破壊輪数	促進載荷装置による繰り返し載荷試験

表-4 性能指標の間接的確認

確認対象	性能指標	確認方法
路面	すりへり減量	ラベリング試験
	骨材飛散抵抗	カンタプロ試験
構造	疲労破壊輪数	①供試体による繰り返し載荷試験 ②過去の実績

### 3.5 現場導入の実態

指針や補完的な便覧類、さらに各種講習会などが盛んに行われているが、どうしても実績が多く、性能確認が容易な工法にシフトし、必ずしも新しい工法の適用へのインセンティブが十分には働いていないようだ。

## 4. 道路橋示方書の性能規定化<sup>5)</sup>

### 4.1 改訂の経緯と背景

道路橋示方書はこれまでに何度メンテナンス改訂を重ねてきているが、平成14年4月から施行された最新改訂版は、「性能規定」への移行を基本理念としており、主な背景は以下の4項目に集約される。

#### ①国際化への対応

国際化といえば外国企業の参入とわが国の技術者が海外で活動することを視野に入れなければならないが、わが国の技術基準は仕様書的な色彩が強く、新たな技術提案を受け入れにくい印象を与え、技術者の国際競争力の強化を阻んできた嫌いがある。一方、外国から見ると、経験則に基づいた仕様規定の占める割合が多く、不透明な印象

を与え、非関税障壁との誤解を生むおそれがある。

さらにISOにおける技術基準の国際統一化の動き（SI単位への移行を含む）もひとつの背景である。

#### ②構造等の多様化への対応

利用者の要求が多様化し、構造形式、造形、景観、環境との調和等への対応が不可欠になるとともに、これらを実現するために発注・契約の形態も多様化しつつある。しかし、仕様規定中心の旧示方書が、新技術の導入において障害になっているケースが見られ、より柔軟な基準への移行が望まれていた。

#### ③維持管理、耐久性の重視

維持管理の時代と言われるようになってから久しく、旧示方書にも「耐久性に考慮して」、「維持管理に便利な」等の表現はあるが、大半が精神論的で、具体性に欠けることが耐久性のある橋づくりが進まない要因となっていた。耐久性に関係する規定は、その妥当性の確認に長期間を要すること、施工や維持管理の良否に左右されることなど難しい点があるが、たとえ不十分でも、具体性のある規定を設けることで、今後設計、建設される橋がよりよい方向にシフトするもの期待できる。

#### ④コスト縮減等の成果の早期導入

近年のコスト縮減努力の結果、従来とは発想の異なった橋梁構造や設計の考え方が出てきている。しかし、安易に見かけだけ真似をすると耐久性に問題が出るおそれがあるものがある。同時に、優れた構造でありながら、示方書に位置づけられていないというだけの理由で、せっかくの技術が活かされないという問題も存在している。

### 4.2 二段階改訂の必要性

改訂作業にはスピードが重要な意味を持つ。しかし、経済構造や制度が複雑に絡み合った中で、混乱を最小限に押さえ、新しい規定の考え方が円滑に導入されることも必須の条件である。そこで採用することにしたのが以下に述べる二段階の改訂スケジュールである。

第一段階は、短期間に示方書の性格を性能規定の方向に向けることを最重点と考え、「みなし適合仕様」という概念の活用することとした。すなわち、旧示方書の条文及び解説（場合によっては行間）の中から、それぞれの条項における要求事項を探り出して冒頭に記述し、それまでの規定をみなし適合仕様としてそのまま残そうというものである。この際表現などの不完全さは許容することにした。

このことにより、示方書の性質は、「この通りしなければならない」から「この通りでもよい」へ180度変わることになると同時に、これにより大半を占める中小事業に対しての混乱を回避することが可能となった。

第二段階（今後）では、性能照査型の規定としてより完全な形への移行を目指すことになるが、これにはかなりの時間を要することになる。ここではそれらについての詳細を述べる余裕はないので、主な項目を列挙するにとどめたい。

- ・道路橋示方書の法令上の明確化、局長通達から省令へ、基準と標準仕様の分離
- ・編構成の再考、橋としての要求性能・検証方法を規定する編と、部材設計に関する規定との分離など
- ・委員会の再構成（検証方法、みなし適合仕様の認証機関として）
- ・書式の変更、国際共通語になりつつある部分安全係数設計法の書式へ

#### 4.3 各編の改訂概要

以下に性能規定に関連する各編の改訂概要を列挙する。

#### I 共通編

- ・設計の基本理念を明示
  - －使用目的との適合性、構造物の安全性、耐久性、施工品質の確保、維持管理の容易さ、環境との調和、経済性
  - －とくに耐久性については、供用期間100年を設計の目安とし、経済性にはライフサイクルコストを含むものとした
- ・付属物として扱われていた支承、伸縮装置を別条項とし、要求性能を明示
- ・示方書各条項の要求性能を可能な限り明示するとともに、既往の条文を「みなし仕様」とする基本方針を提示

#### 条文の書きぶりの一例

##### 6.6.1 鋼材のかぶり（Ⅲコンクリート橋編）

- |   |
|---|
| <p>(1) コンクリートと鋼材の付着を確保し、鋼材の腐食を防ぎ、火災に対して鋼材を保護する等のために必要なかぶりを確保するものとする。</p> <p>(2) かぶりは、鉄筋の直径以上かつ表-6.6.1の値以上とする場合には、(1)を満足するとみなしてよい。</p> |
|---|

表-6.6.1 最小かぶり（省略）

#### II 鋼橋編

- ・耐久性についての章を新設、疲労と腐食について記述
  - －「道路橋疲労設計指針」（(社)日本道路協会）の適用可能
  - －防食の要求性能、塗装以外の手法を併記
- ・RC 以外の各種床版をまとめて規定
  - －PC 床版、合成床版、鋼床版
  - －輪荷重走行試験機による標準疲労試験法を例示
- ・部材精度と架設完了後の精度を規定し、仮組立の位置づけを明確化
  - －仮組立は最終精度を確保するために必要ならば行う
- ・50mm を超える極厚板の溶接部非破壊検査の充実

### Ⅲコンクリート橋編、Ⅳ下部構造編

- ・耐久性の検討の章を新設
  - － 死荷重作用時の鉄筋の許容応力度（ひび割れ防止）
  - － 別指針であった「塩害対策」を強化して導入
  - － ポステンPC 橋のグラウト材料に関する規定を改訂
- ・要求性能の明記（例：鋼材のかぶり）
  - － コンクリートとの付着、腐食防止、火災からの保護

### Ⅴ耐震設計編

- ・設計の対象とする地震動と耐震性能を明示
  - － レベル1、レベル2－Ⅰ（プレート境界型）、－Ⅱ（直下型）
  - － (1) 健全性を失わない、(2) 損傷が限定的で速やかに復旧(3) 致命的とならない
  - － 各部材の限界状態を具体的に記述
- ・動的設計法の適用範囲の拡大
  - － 複雑な挙動をする橋、鋼製橋脚など静的設計が限定
- ・上部構造に対する耐震性照査法を新規に規定

#### 4.5 実務への適用

基準が性能規定化したからといって、橋の設計にすぐに大きな変化を生じることは始めから想定していない。昨今、総合評価型の発注方式や、詳細設計付きの発注（DB）など、受注者の提案を伴う発注を促進しているが、示方書おける高い自由度とより明確な要求性能の表記により、その方針を後押ししているものと考えている。

#### 5. 性能設計導入の現状と課題

道路事業関連の3種の技術基準の動向を見てきたが、一般に、国際化への対応（一応謳ってはいるが）よりも、以下のような内的要求が基準改訂の後押しをしているように見受けられる。

- － 要求の多様性（景観、環境（LCA）、耐久性（LCC）、材料etc.）
- － コスト（発注形態、過大な仕様レベル、ローカルルールetc.）
- － 新技術の活用促進（画一的な異様規定による縛り、実績主義etc.）

また、より複雑な構造や高度に発展した解析ツールの活用を念頭に置いた、より高度な設計法への指向、すなわち、信頼性設計、限界状態設計、部分安全係数法etc.への指向も、基準改訂への推進力となっている。

一方、性能発注、性能設計、性能規定は以下の関係にあるものと考えている。

## 性能発注←→性能設計←→性能規定

性能規定（基準）と性能発注（仕様）は決まり事であり、その間において技術者が腕をふるうのが性能設計ということになる。性能発注と性能規定の隙間が極端に狭いのが標準設計であるが、現在この隙間を出来る限り開いて、本来技術者の持つ能力を最大限引き出し、設計本来の目的を達成しようとする事が求められている。

いずれにしても性能規定化の目的とすることは、環境負荷や維持管理負担の軽減など、国民の多様な要求への対応を可能とすることであり、手段であって目的ではないことを忘れてはならない。

このためには、民間技術者の技術力向上の努力が重要であるが、発注者側の審査能力を高めることが新技術の導入に対するハードルを低くし、最終的なコスト負担の軽減に資することになることも同程度に重要であり、官における業務形態の転換も視野に入れておくべきであろう。

### 6. おわりに

技術基準について考えるとき、「失敗学」を提唱されている畑村洋太郎東京大学名誉教授の著書「失敗学の法則」（文藝春秋社刊、2002年5月15日）が非常に参考になった。本書では、過度のマニュアル化のもたらす失敗の法則が取り上げられている。すなわち、マニュアルは小さな失敗を防ぎ、無駄を省くために整備されるが、マニュアルへの依存は思考停止を招き、逆に大きな失敗の原因となるとされる。対処法としては、常に対象とするもの全体を見渡す事の出来る技術者がいて、絶えず技術の見直しと新たなチャレンジを行うことを行うこととされる。技術基準は、自ら成長し続けるしくみを持つものでなければならぬと筆者は考えている。

### 参考文献（正確な情報についてはこちらを参考にされたい）：

- 1) 安藤、森：車両用防護柵の性能規定と確認試験方法、土木技術資料Vol. 43-5、2001 5
- 2) 羽山：「舗装設計施工指針」、**「舗装施工便覧」** 発刊の背景、舗装2002 7
- 3) 竹田、田井：「舗装設計施工指針」の発刊、舗装2002 7
- 4) 古財：「舗装施工便覧」の概要、舗装2002 7
- 5) 中谷ほか：小特集道路橋示方書改訂、橋梁と基礎Vol. 36 No. 7、2002 7



**特別講演**

**失敗学のすすめ**

**工学院大学国際基礎工学科・教授**

**東京大学名誉教授**

**畑村洋太郎**

## 問題提起

今、日本で何が起きているか

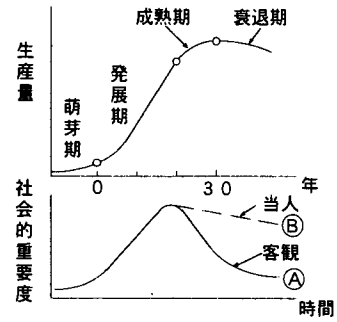


図 全ての産業の成長と衰退

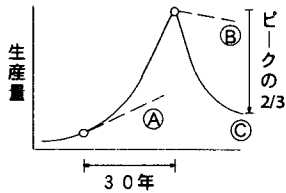


図 全ての産業の生産量の基本推移

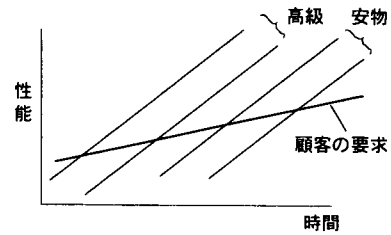


図 採用される技術の入れ替わり

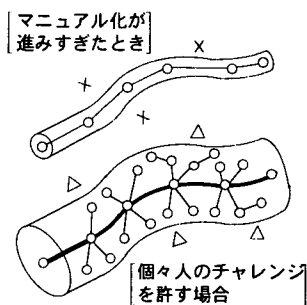


図 技術の脈絡の張る空間

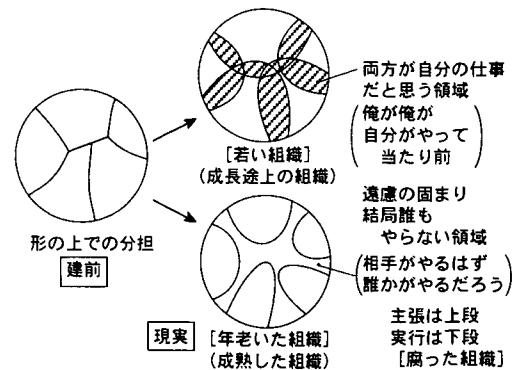
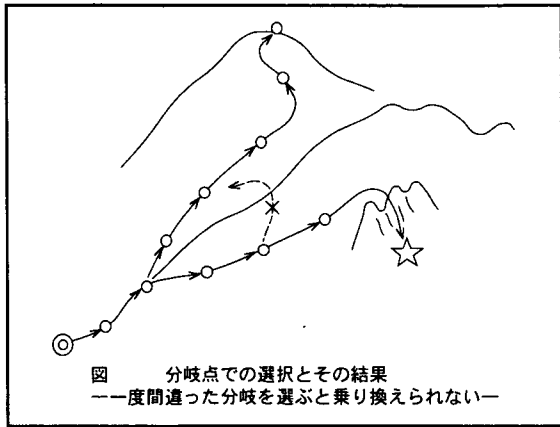
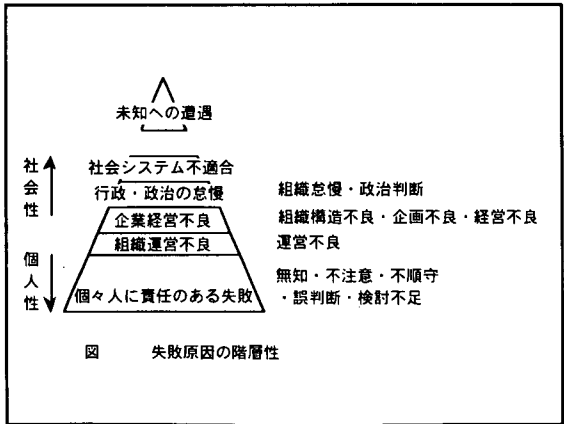
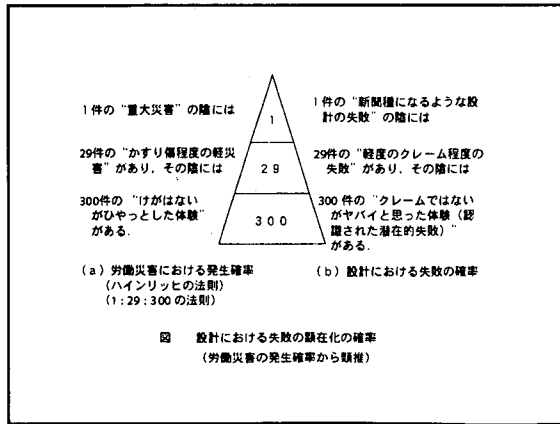
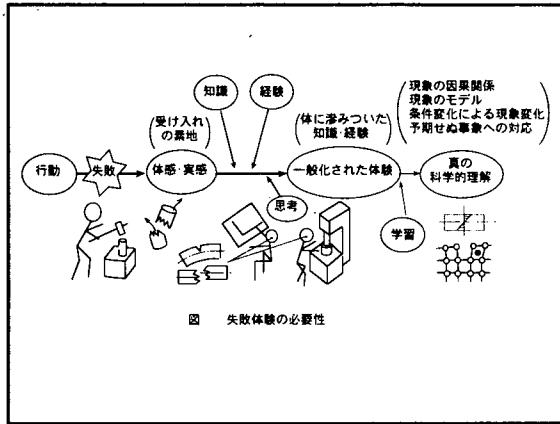
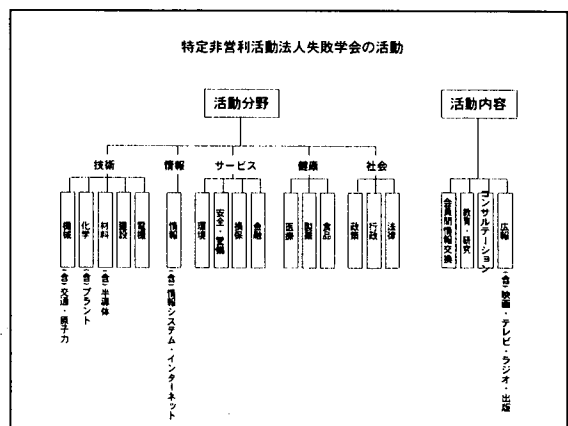
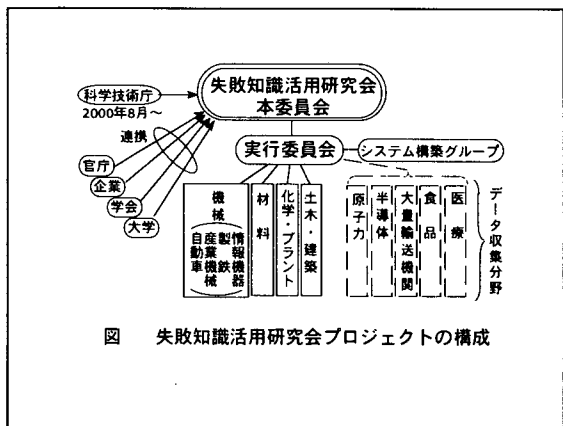
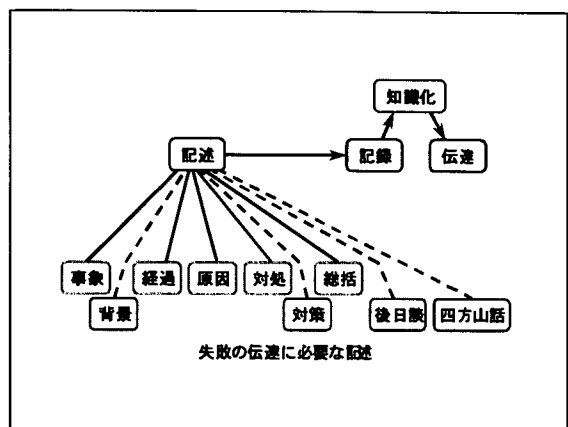
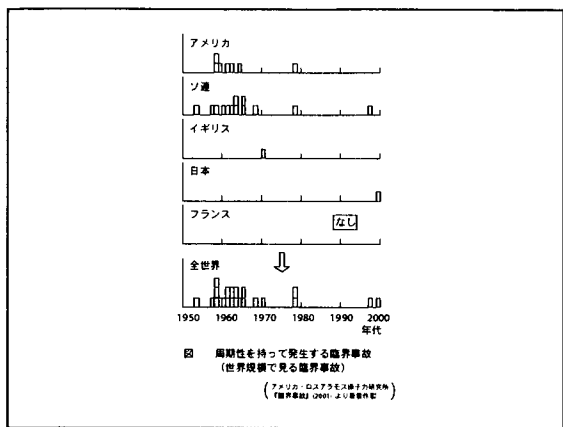
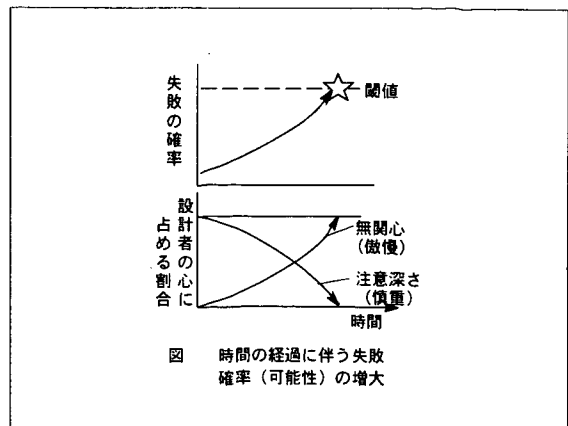
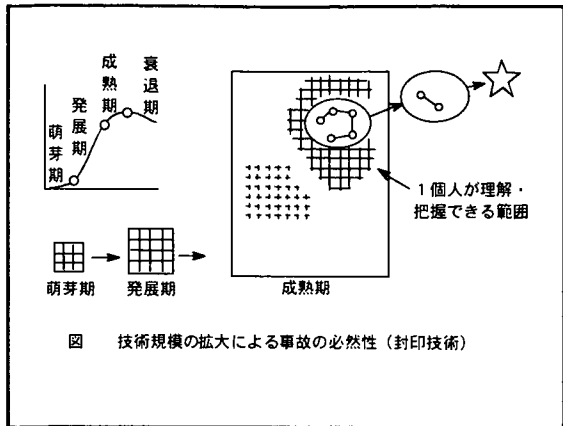


図 組織の中での役割分担と実際



# 失敗学のすすめ





# まとめ

## 1. 失敗についての見方—失敗の積極的な取扱いが必要—

- (1) うまくゆく方法を教えるより、まずくなる道筋を教える方が効果が大きい。
- (2) 失敗をしなければ受け入れの素地としての体感・実感は得られない。
- (3) 失敗には許される失敗と許されない失敗がある。  
許される失敗は成長と進歩に必要なもの  
許されない失敗は同じ失敗を繰り返すもの
- (4) 失敗をマイナス面からだけ見ず、プラスに転化する努力をしよう。

## 2. 失敗を捉える視点—失敗を立体的に捉えよう—

- (1) 失敗の原因は多層に重なっており、多くの様相で結果が現れる。
- (2) だから失敗は立体的に捉えなければならない。  
技術的側面から取扱いは当然、また責任追及も必要。
- (3) 心理的側面・経済的側面・法律的側面・社会文化的側面・経営的側面も必須。

## 3. 失敗知識の伝達—知識にしなければ伝わらない—

- (1) 失敗知識を活用しよう。
- (2) 沢山の失敗情報が眠っている。
- (3) 失敗の多くは情報伝達の途絶で起こる。
- (4) 事例についての情報だけでは何も伝わらない。  
知識にして初めて伝達可能になる。
- (5) 結果だけでは分からない。  
脈絡を知らなければ分からない。分からなければ伝わらない。伝わらなければ使えない。

## 4. 失敗の必然性—失敗の出来には必然性がある—

- (1) 失敗は予測できる  
予測できるのに防げないのはなぜか。防げないのではなく防がないのである。  
失敗の素地を放置し、予兆を無視し、顕在化しなければそれでよしとする力が働くから。
- (2) 産業の成熟とともに脈絡の成長と衰退が起こる。  
成熟するとよけいな選択肢は切り捨てられ、脈絡は単線化し、予期せぬ外乱で破滅する。
- (3) 局所最適が全体最悪をもたらす。  
全体を知り、それとの関係で自分の仕事をする人間を育てる他に王道はない。
- (4) 管理の強化では失敗は防げない。  
管理を強化すると形骸化し、失敗を隠すので、結局同じ失敗を繰り返すことになる。
- (5) 社会が依存し、影響が大きく、危ないのは、原子力・半導体・大量輸送機関・食品・医療である。

## 5. 失敗を生かすための工夫—工夫しなければ生かせない—

- (1) 原因究明と責任追及とを分離しよう。  
それで初めて真の原因究明ができる。  
免責、司法取引、懲罰的賠償は必須
- (2) すべての基になる失敗知識のデータベース作りが必要。  
事象・経過・推定原因・対処・総括・知識化で記述。300例もあれば十分。
- (3) 知識と体験を与える場、たとえば失敗博物館が有効。  
ネットワークによる発信、事故の展示、失敗の疑似体験、コンサルティング、失敗学研究、を行う。
- (4) 失敗を生かすと得になる仕掛けが必要。  
潜在失敗の顕在化は経済原則に載せるのが一番よい。たとえば失敗対策をプラス評価する時価会計。

## 参考文献

- 1) 畑村洋太郎編・著：続々・実際の設計—失敗に学ぶ—、日刊工業新聞社、1996年
- 2) 畑村洋太郎：失敗学のすすめ、講談社、2000年
- 3) 畑村洋太郎・和田秀樹：失敗を絶対成功に変える技術、アスキー、2001年
- 4) 畑村洋太郎：失敗を生かす仕事術、講談社、2002年
- 5) 畑村洋太郎：社長のための失敗学、日本実業出版、2002年
- 6) 畑村洋太郎：決定版 失敗学の法則、文芸春秋、2002年

---

国土技術政策総合研究所資料  
TECHNICAL NOTE of NILIM  
NO. 58                      December 2002

編集・発行 国土技術政策総合研究所  
(住所) 茨城県つくば市旭一番地

---

本資料の転載・複製の問い合わせは  
(企画部研究評価・推進課) 0298-64-2211