ＩＳＳＮ 0386-5878
土木研究所資料第3318号

土 木 研 究 所 資 料

社会資本整備における研究開発マネージメントに関する研究
Research & Development Management for Infrastructure Improvement

平成６年11月

建設省土木研究所

Copyright © (1994) by P.W.R.I.

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

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

土木研究所資料
第3318号1994年11月

社会資本整備における研究開発マネージメントに関する研究
Research & Development Management for Infrastructure Improvement

前所長　住吉　幸彦
前企画部企画課課長補佐　鈴木　研司
企画部企画課課長補佐　田中　靖資
前企画部企画課企画係長　平林　桂
企画部企画課国際係　舘野　悟

要　旨

本論文では、近代日本における経済社会の発展と社会資本整備の関係から土木技術の発展とその要因を分析した。具体例として、わが国が世界に誇る鋼橋建設技術と耐震技術を対象として発展過程と発展を支えた要素技術について整理した。また、アジア諸国における社会資本整備の現状および建設技術の移転の課題を分析することにより、研究開発に関する国際協力の方向を明らかにした。

キーワード：社会資本整備、経済社会、鋼橋建設技術、耐震技術、土木研究所、
技術移転、国際協力

概　　要

明治政府は国家の近代化を図るため、国力の増強の基盤として鉄道、道路等の交通輸送施設や治水等の国土保全施設など社会資本整備を推進した。戦後わが国は壊滅的な状態から再び国土の建設を図る必要があったが、自然災害への対応、大規模ダムの建設、道路網整備の推進、青函トンネルや本州四国連絡橋などの大規模プロジェクトへの取組みなど、社会資本整備は著しく進展した。明治期、外国人技術者を多数招聘して欧米の先進土木技術の導入を図り、それらの技術は海外留学帰りの日本人技術者を中心としてわが国の国土にあった技術へと改良された。戦後、わが国土木技術は再び大型機械化工法等欧米先進技術を導入して発展し、現在は世界の最高水準に達している。

本論文の第１の目的は、近代日本における経済社会の発展と社会資本整備の関係を探るとともに土木技術の発展とその要因を明らかにするものである。

わが国は、山地部は急峻で崩壊性地形が卓越し、平地部は沖積地で軟弱な地盤が多く、台風、豪雨や地震等による自然災害を受け易く、かつ人口稠密で都市化が進展し、社会関係も複雑である。このような自然条件や社会環境を克服する技術は相当高度に発展し成熟したものが求められる。また合理的、経済的かつ安全な事業の推進は、本体技術は勿論のこと、周辺技術や関連産業の発展に支えられている。内務省土木試験所は戦後建設省発足とともに土木研究所となったが、広範な分野の基礎研究や応用研究を実施し、わが国土木技術の研究開発の中枢の位置を占めてきた。

本論文の第２の目的は、土木技術の発展を鋼橋建設技術と耐震技術の具体的分野および土木研究所の活動を分析することによってより深く考究するものである。また、これらの技術や組織の課題を探るとともに、将来を展望するものである。

開発途上国の社会資本整備の現状は、望ましい経済成長や安全、快適な生活環境の面からみても不充分であり、今後の社会資本整備の推進は極めて重要な政策課題と考えられる。また、開発途上国の社会資本整備技術の現状も不満足なものであり、今後わが国技術の移転が一層必要とされよう。技術の移転は、受入国の自然条件や社会、経済の発展段階、制度や慣習および社会資本の整備状況によってその進展は異なるが、究極的には受入国の自然資源や人材を活用し、各種、各段階の技術のニーズに対応可能な研究開発の技術移転を図ることが重要であると考えられる。

本論文の第３の目的は、アジア諸国を例として、社会資本整備の現状および建設技術の移転の課題を探るとともに、研究開発に関する国際協力の方向を明らかにすることである。

本論文は、このような目的のもとで一連の研究を行い、その結果を取りまとめたもので、全９章から構成されている。

第１章は、序論であり、研究の目的、内容および論文の構成について述べている。

第２章では、明治以降現在に至る近代日本の経済社会の発展と社会資本整備の関係を詳

しく分析するとともに社会資本整備の役割を明らかにする。

第３章では、社会資本整備技術の発展と土木教育の推移および社会資本整備に関わる法制度等について述べるとともに土木技術発展の要因について分析する。

第４章では、鋼橋建設技術について発展の経緯および技術発展を可能とした主要な技術・施策について詳しく分析するとともに、現在の課題を探り、将来を展望する。

第５章では、耐震技術の発展の経緯、わが国独自技術の展開について述べるとともに、今後の耐震技術の発展の方向を明らかにする。

第６章では、土木研究所における時代区分毎の経済社会のニーズと代表的な研究を詳細に分析するとともに、今後の経済社会の動向と土木研究所のあり方を展望する。

第７章では、アジア諸国の社会資本整備の現状を分析するとともに、建設技術の現状や技術移転の実態を分析する。その結果、技術移転をすすめる上での基本的視点について提案する。

第８章では、アジア地域土木研究所長等会議における討議内容等について述べるとともに、社会資本整備技術の研究開発について分析し、将来の研究協力の方向を示す。

第９章は結論であり、本論文の総括を行なう。

以上の一連の研究の結果から得られた結論をまとめると次のとおりである。

（１）近代日本においては経済の発展及び社会の動きに応じて、投資の重点を移行させながらも、比較的計画的に社会資本投資が行われてきたことが判った。明治期における顕著な技術発展の要因としては、外国人技術者の招聘、高等工学教育の開設・充実、海外留学生の派遣など技術移転を図るための総合的かつ積極的な国家政策が採られ、これが成功したためと考えられる。戦後の土木技術の急発展の要因としては、政府の計画的な事業の実施、大型プロジェクトに関する産、官、学の連携による研究開発体制の確立、関連産業を含めた民間企業の高度な技術力の蓄積及び大学等における土木工学教育の充実・発展によるものである。また各事業毎に、基本法、財源、実施主体に関する法令や長期、５カ年計画など、社会資本整備推進のための法制度も着実に整備されてきた。以上のように、近代日本における一連の社会資本整備システムの実体を本研究において明らかにした。

（２）わが国の鋼橋建設技術は、製鉄、機械、造船、電算機等の関連産業の技術の進展にも支えられて戦後著しく発展したこと、厳しい自然条件や社会条件を克服するため、耐風、耐震、基礎構造、海洋での架設工法などの研究開発が不可欠であったことおよび本州四国連絡橋の建設がわが国鋼橋建設技術の発展に大きな役割を果したことなどを明らかにした。関東大震災後、水平震度法の採用等わが国では世界に先がけて耐震設計を社会資本整備に適用したが、それ以来被害地震の度ごとに耐震構造に関する研究開発が進むとともに、わが国独自技術の開発も多く、わが国の耐震技術の発展は先

駆的研究開発の成果であることを明らかにした。各時代のニーズの変遷と土木研究所における研究開発の取組み、課題との関係について詳細に分析し、継続的研究開発の実施が土木技術の発展に重要であることを明らかにした。

わが国の技術が著しく発展したことから、今後の技術開発は外国の模倣でない独自技術の形成と世界への貢献が重要であること、内外ともに変動する経済社会において社会資本整備に関する要請も急激に変りつつあり、特定分野の技術であっても、組織であっても、過去の栄光に埋没することなく、時代の変化を正しく見極め、課題に柔軟に対応できるようなマネジメントの確立が重要であることを明らかにした。

（3）道路、鉄道、水質保全・下水道、防災のアジア諸国の社会資本整備の現状を分析した結果、社会資本整備は不充分で経済成長の足かせとなっており、かつ水質汚濁等の環境問題を惹起し、毎年のように自然災害を受けていること、経済の発展、国民生活の向上のため今後益々社会資本整備が必要であることを明らかにした。建設技術の移転については、アセアン諸国における技術移転実態調査とわが国の技術協力の成功例とされているプロジェクトタイプ協力の実態を詳細に考究し、その結果建設技術の移転を進める上での基本的視点について提案した。

土木研究所の企画、主催のアジア地域土木研究所長等会議における討議内容を分析し、アジア地域における社会資本整備技術の研究開発と技術移転について考究した。その結果地震災害、洪水災害、土砂災害の各対策技術について、アジア諸国の災害のポテンシャルと技術（研究）水準等の関係を分析し、共同研究、技術指導、センター協力による各方式を適用して研究開発における技術移転を図る方向を提案した。アジア地域土木研究所長等会議は、アジア地域における社会資本整備の発展に対し、今後益々重要な位置を占めることを明らかにした。

本論文を完成させるにあたり、企画部地下開発研究官の川島一彦氏、材料施工部新材料開発研究官の片脇清氏、構造橋梁部構造研究室長の佐藤弘史氏、構造橋梁部橋梁研究室長の西川和廣氏を始めとする多数の土木研究所職員の方々から情報提供して頂きました。ここに、記して謝意と致します。

社会資本整備における研究開発マネージメントに関する研究

第１章　序論

１．１　研究の目的　1

１．２　研究の内容と論文の構成　3

第２章　わが国の経済社会の発展と社会資本整備

２．１　経済社会の発展と社会資本整備　5

２．２　経済発展に対する社会資本整備の役割　16

２．２．１　ＧＮＰと社会資本投資の関係　16

２．２．２　社会資本投資による経済効果　16

２．２．３　社会資本整備とエネルギー消費　19

２．３　まとめ　22

第３章　わが国における社会資本整備技術の発展

３．１　社会資本整備を実現する土木技術の発展　24

３．１．１　外国人技術者の招聘による技術導入期　24

３．１．２　留学帰りの日本人技術者等による技術改良期　26

３．１．３　大正初期から昭和初期にかけての低迷期　30

３．１．４　戦後アメリカをはじめとする欧米諸国からの先進技術の導入期　31

３．１．５　わが国独自技術の発展期　33

３．１．６　技術の向上と構造物の大型化　37

３．２　土木教育の推移　41

３．２．１　明治初期の土木教育　41

３．２．２　戦後の土木教育　45

３．３　社会資本整備に関わる法制度等の整備　47

３．３．１　河川事業分野　47

３．３．２　道路事業分野　48

３．３．３　港湾事業分野　51

３．３．４　鉄道事業分野　52

３．３．５　財源確保のための法制度　54

３．３．６　研究開発を推進するシステム・制度等　58

３．４　土木技術発展の要因　61

３．５　まとめ　64

第４章　鋼橋建設技術の発展
４．１　鋼橋建設技術の発展と変遷　66
４．１．１　明治期の橋梁　－輸入から国産化へ－　66
４．１．２　国産技術の確立　68
４．１．３　国土の復興　69
４．１．４　戦後橋梁技術の基礎固め　71
４．１．５　ビッグプロジェクトへの取組み　72
４．１．６　長大橋の建設と多様な技術　74
４．１．７　本州四国連絡橋の完成と新たな展開　76
４．２　技術発展を可能とした主要な技術・施策　78
４．２．１　耐風設計法の確立　78
４．２．２　基礎構造の発展　82
４．２．３　大型クレーン船による橋梁大ブロック架設工法の発展　100
４．２．４　鋼橋塗装の発展　106
４．２．５　本州四国連絡橋事業における技術開発　113
４．３　鋼橋建設技術における課題と展望　118
４．３．１　橋梁技術史についての考察　118
４．３．２　鋼橋建設技術の課題と展望　127
４．４　まとめ　133

第５章　耐震技術の発展
５．１　耐震技術の発展に関する経緯　136
５．１．１　橋梁の耐震技術の整備　136
５．１．２　地下構造物の耐震技術の整備　141
５．１．３　震災対策技術の開発　143
５．２　わが国独自技術の展開　147
５．２．１　震度法及び修正震度法の開発　147
５．２．２　落橋防止構造の開発　150
５．２．３　応答変位法の開発　151
５．２．４　液状化対策技術の開発　152
５．３　耐震技術発展の要因分析　154
５．４　耐震技術の課題と今後の展望　156
５．５　まとめ　160

第６章　わが国の社会資本整備技術の発展における土木研究所の役割
６．１　土木研究所の設立　162
６．２　土木研究所の活動　164
６．２．１　内務省土木試験所の誕生から第二次世界大戦の勃発まで　164
６．２．２　第二次世界大戦中　168
６．２．３　第二次世界大戦後の復興期　169
６．２．４　高度経済成長期（前期）　173
６．２．５　高度経済成長期（後期）　181
６．２．６　安定成長期　186
６．２．７　現在　192
６．３　社会資本整備の発展に果たした土木研究所の役割　202
６．３．１　先導的研究開発の推進　202
６．３．２　人材の育成　203
６．３．３　産・官・学の連携の強化　204
６．４　今後の経済社会の動向と土木研究所の展望　206
６．４．１　今後の経済・社会の動向　206
６．４．２　研究の基本理念　212
６．４．３　研究開発の主要分野　213
６．４．４　組織的な研究の推進　216
６．５　まとめ　220
６．６　付属資料　223
６．６．１　土木研究所史　223
６．６．２　土木研究所の国際研究協力の概況　233

第７章　アジア諸国における社会資本整備と技術
７．１　アジア諸国の経済状況　237
７．２　アジア諸国の社会資本整備　239
７．２．１　道路　239
７．２．２　鉄道　240
７．２．３　水質保全・下水道　242
７．２．４　自然災害　244

７．３　技術移転の現状と課題　248
７．３．１　建設技術の現状と技術移転　248
７．３．２　プロジェクトタイプ技術協力　253
７．３．２．１　道路建設訓練センター（タイ）　254
７．３．２．２　交通訓練センター（フィリピン）　257
７．３．２．３　橋梁技術訓練センター（ミャンマー）　260
７．３．２．４　結論　262
７．３．３　建設技術移転の推進に向けて　263
７．４　まとめ　268

第８章　社会資本整備技術の研究開発に関する国際協力の推進
８．１　アジア地域土木研究所等会議の開催　270
８．１．１　第１回アジア地域土木研究所等会議　270
８．１．２　第２回アジア地域土木研究所等会議　276
８．２　アジア地域における社会資本整備技術の研究開発と技術移転　280
－自然災害対策技術を例として－
８．２．１　アジア諸国の国土の概要と災害　280
８．２．２　アジア諸国における自然災害対策に関する研究開発　289
８．２．３　技術移転方策の検討　298
８．３　まとめ　303

第９章　結論
９．１　わが国における社会資本整備と土木技術の発展　307
９．２　鋼橋建設、耐震および研究機関における技術の発展　309
９．３　社会資本整備技術の研究開発に関する国際協力の推進　314

参考文献　318

第1章　序　論

1．1　研究の目的

明治元年（1868年）、明治政府が設立され、わが国は近代国家形成の第一歩を踏み出した。明治政府は国家の近代化に向けて、国力の増強を第一目標に掲げ、その基盤として鉄道、道路等の交通輸送施設、治水、治山等の国土保全施設等社会資本整備を推進した。社会資本整備が明治～大正～昭和の初期までわが国の近代化に果たした役割は大きい。第二次世界大戦に敗れたわが国は焦土と化した壊滅的な状態から再び国土の建設を図る必要があった。洪水、高潮、地震等の自然災害への対応、増加する電力需要や治水目的の大規模ダムの建設、道路網整備への本格的取組みの開始、新幹線鉄道、高速道路や青函トンネル、本州四国連絡橋の建設などの高速交通時代への対応や大規模プロジェクトへの取組み、環境問題や国際化への対応を基調とする安定成長の時代へ入るなど、戦後約半世紀の間目覚ましい発展を遂げたわが国経済社会を支えるべく、社会資本整備は著しく進展した。欧米主要国の社会資本整備の水準と比べるとわが国の社会資本整備は未だ相当遅れているが、戦後まもない頃の水準と比べると格段の違いがあるといえよう。

社会資本整備の発展を支えた技術の推移はどうであったか。明治期、土木技術の分野においても、外国人技術者を多数招聘して欧米先進技術の導入を図り、その後導入された技術は海外留学帰りの日本人技術者を中心としてわが国の国土にあった技術へと改良されていった。戦後、わが国土木技術は再び大型機械化工法等のアメリカ式技術の導入期を経て、青函トンネル、本州四国連絡橋等の建設で開花したようにわが国独自技術の進展へと推移している。

本論文の第1の目的は、わが国の近代における経済社会の発展と社会資本整備の関係を探るとともに社会資本整備技術の発展とその要因を明らかにするものである。

次に、社会資本整備技術、すなわち土木技術は分野によっても異なるが多くの個別技術の集大成から成っている。特にわが国は、山地部は急峻で崩壊性地形が卓越し、平地部は沖積地で軟弱な地盤が多い。また、台風、豪雨や地震等による自然災害を多く受け、かつ人口稠密で都市化が進展し、社会関係も複雑である。このような自然条件や社会環境を克服しなければならない技術は相当高度に発展し成熟したものが求められる。また本州四国連絡橋や東京湾横断道路のような大規模プロジェクトの場合、その合理的、経済的かつ安全な事業の推進は、橋梁やシールドトンネルのような本体技術は勿論のこと、周辺技術や関連産業の発展に支えられていることは明らかである。

わが国土木技術の発展の鍵は研究開発の継続的実施にある。土木技術の基礎、応用研究の草分けは大正11年（1922年）に発足した内務省土木試験所の発足にあるといえるだろう。内務省土木試験所は戦後の昭和23年（1948年）建設省発足とともに土木研究所となったが、その70年を越える歴史の中で、公共事業に関する土木技術の広範な分野で基礎研究や応用研究を実施し、時代のニーズに合わせ、あるいはニーズを先取りしながら、わが国独自技術の開発や、欧米先進技術のわが国への導入、適用に務めてきた。高度成長期以降、大手

建設会社を中心に民間企業の研究開発投資も大きく進展し、土木研究所とこれら民間企業との共同研究も多くなされている。

本論文の第２の目的は、土木技術の発展を具体的分野の技術でより詳しく研究するとともに、研究開発の面からもそれをより深く考究するものである。具体的な技術分野としては、戦後わが国で著しく発展した鋼橋建設技術と第一級の地震国であるわが国にとって不可欠の技術である耐震技術に焦点を当てるとともに、研究開発の面からは土木研究所の活動について掘り下げて分析している。またこれらの技術および組織もそれぞれ取り組み後あるいは設立後、既に3/4世紀～１世紀を経ており、現在の経済社会の必要としているニーズに照らした時、これらの技術や組織の問題点、課題は何なのかを探り、同時に将来を展望するものである。

高度に発展し、あるいは欧米先進国の水準と比肩し、あるものは世界最高の水準に達した観のあるわが国の社会資本整備技術の今後の展開はどうあるべきなのか。明治期および第二次世界大戦後、欧米先進国の先進技術を徹底的に導入してきたわが国としては、今後はわが国の独自技術の研究開発を図るとともに蓄積してきた技術を世界に向って発信していくことが重要と考えられる。翻って開発途上国の状況をみると、最近世界的に経済成長が高い地域といわれているアジア地域においても、社会資本整備の遅れが高度成長の足かせとなりつつある一方、水質汚濁や空気汚染などの環境問題を惹起している。また台風、洪水、地震、火山などの自然災害がアジア地域に集中して起きており、国土保全上も社会資本整備が強く望まれている。

開発途上国における社会資本整備技術の状況についても多くの課題がある。アジア地域にはわが国を始めとして多くの先進国がＯＤＡを供与し、社会資本整備にも協力してきたが、建設技術の移転は充分に進んだとはいい難い状況にある。建設技術の移転は、自然条件や社会、経済の発展段階、制度や慣習および社会資本の整備状況によってその進展は異なるが、基本的には受入国がどのような技術の移転を望むのかという主体性の確立が必要である。明治期のわが国は、国策としての壮大な技術移転政策を積極的に進め、その効果が現われたからこそその後のわが国の産業は発展の軌道に乗ったものと考えられる。また個々の具体的技術の移転も必要であるが、より一層の技術移転をすすめるために、究極的には受入国の自然資源や人材を活用し、必要とされる各種、各段階の技術のニーズに対応することを目的とした研究開発分野への技術移転を図ることが重要であると考えられる。

本論文の第３の目的は、開発途上国の例としてアジア諸国における社会資本整備の現況および技術移転の現状と課題を探るとともに、社会資本整備技術の研究・開発に関する国際協力の重要性を明らかにすることである。また、平成４年度（1992年度）から土木研究所で企画、開始したアジア地域土木研究所長等会議における議論からアジア諸国との今後の研究協力の方向を示すとともに同会議の重要性と効果について考究するものである。

1．2　研究の内容と論文の構成

本論文は全体として９章から構成される。第１章の序論に引き続いて第２章が「わが国の経済社会の発展と社会資本整備」で、明治以降現在に至る近代日本の経済社会の発展と社会資本整備の関係を詳しく分析している。明治政府の設立から平成の現在に至るまで経済社会の変遷に沿いながら、社会資本整備の推移を追っている。明治から昭和40年（1965年）頃まで経済の伸びと社会投資の伸びは良く一致し、社会資本整備が経済成長に一定の貢献をしていることが判る。昭和57年度（1982年度）以降の財政再建下で公共投資は不振で、経済社会のニーズに大きく立ち遅れた。経済発展に対する社会資本整備の役割については、道路整備事業の経済効果、水害被害率の変化、高速道路の整備による地域経済効果およびエネルギー消費の観点から分析しており、社会資本整備が経済社会の発展に大きな効果を与えていることが判る。

第３章は「わが国における社会資本整備技術の発展」で、明治初期のお雇い外国人技術者群による技術導入期、留学帰り日本人技術者による技術改良期、低迷期、戦後アメリカからの先進技術導入期などを経て現在のわが国独自技術の発展期を迎えていることが記述される。それぞれの時代区分の中の代表的なプロジェクト、工事も紹介される。また、土木技術の発展に不可欠な人材の開発としてわが国における土木教育の推移について述べるとともに、社会資本整備に関わる法制度等の整備として河川、道路等の事業分野毎の法制度、有料制度等の財源確保のための法制度、研究開発を推進するシステム・制度について述べられる。最後に土木技術発展の要因の分析がなされている。

第４章は「鋼橋建設技術の発展」で、土木技術の中でも総合的技術であり、発展の著しい鋼橋の建設技術について発展の経緯をまず述べる。技術発展を可能とした主要な技術・施策として耐風設計、基礎構造、大型クレーン船による大ブロック架設工法、橋梁塗装、本州四国連絡橋事業における技術開発について詳しく分析している。また課題と展望として、橋梁技術史について考察するとともに、現在の課題を示し、将来を展望する。

第５章は「耐震技術の発展」で第一級の地震国であるわが国では地震被害への対応がいつの時代でも極めて重要な課題であり、橋梁、地下構造物等の耐震技術の発展に関する経緯が記述される。わが国独自技術の展開として震度法および修正震度法、落橋防止構造、応答変位法および液状化対策技術について述べており、つづいて耐震技術発展の要因分析、課題と今後の展望について示す。

第６章は「わが国の土木技術の発展における土木研究所の役割」で、大正11年（1922年）に設立され70年余の歴史を有する国立試験研究機関としての土木研究所の活動と土木技術発展上の役割について述べる。時代区分とともに代表的な研究例を示し、わが国経済社会のニーズに合わせ、あるいはニーズを先取りしながら研究開発を進めてきたことを詳しく分析している。最後に今後の経済社会の動向と土木研究所のあり方を展望する。

第７章は「アジア諸国における社会資本整備と土木技術」で、開発途上国の例としてア

ジア諸国を取り上げ、社会資本整備の状況や土木技術の現況、技術移転の現況と課題について分析している。アジア地域は多様な国々から構成されているが、一人当たり国民所得や経済社会の発展状況から４グループに分けられる。道路、鉄道、水質保全・下水道の社会資本整備の現況や課題は異なっているが、総じて社会資本整備は不充分で、水質汚濁や大気汚染の公害問題も深刻である。またアジアには自然災害の多発国が多く、防災上も社会資本投資が必要である。技術移転の現状と課題については、建設省の行った技術移転実態調査やプロジェクトタイプ技術協力の例から述べられるとともに、今後の技術移転をすすめるにあたって必要とされる基本的視点について提案されている。

第８章は「社会資本整備技術の研究開発に関する国際協力の推進」で、研究開発分野での国際協力と技術移転の重要性が述べられる。アジア諸国では経済成長および快適な国民生活を支える社会資本整備は特に重要であり、建設技術の発展が不可欠であるが、そのためには、受入国の天然資源と人材を活用する研究開発面での技術移転が極めて有効である。平成４年度（1992年度）から土木研究所で企画、開始したアジア地域土木研究所長等会議の開催状況、会議での討議について記述され、同会議の重要性と今後の方向が示される。また、同会議における報告・情報等を基に自然災害対策を例として、アジア地域の社会資本整備技術の研究開発に関する国際協力のあり方について分析されている。

第９章では、第２章から第８章まで論じてきたことについて本論文の総括を行なう。

第２章　わが国の経済社会の発展と社会資本整備

２．１　経済社会の発展と社会資本整備

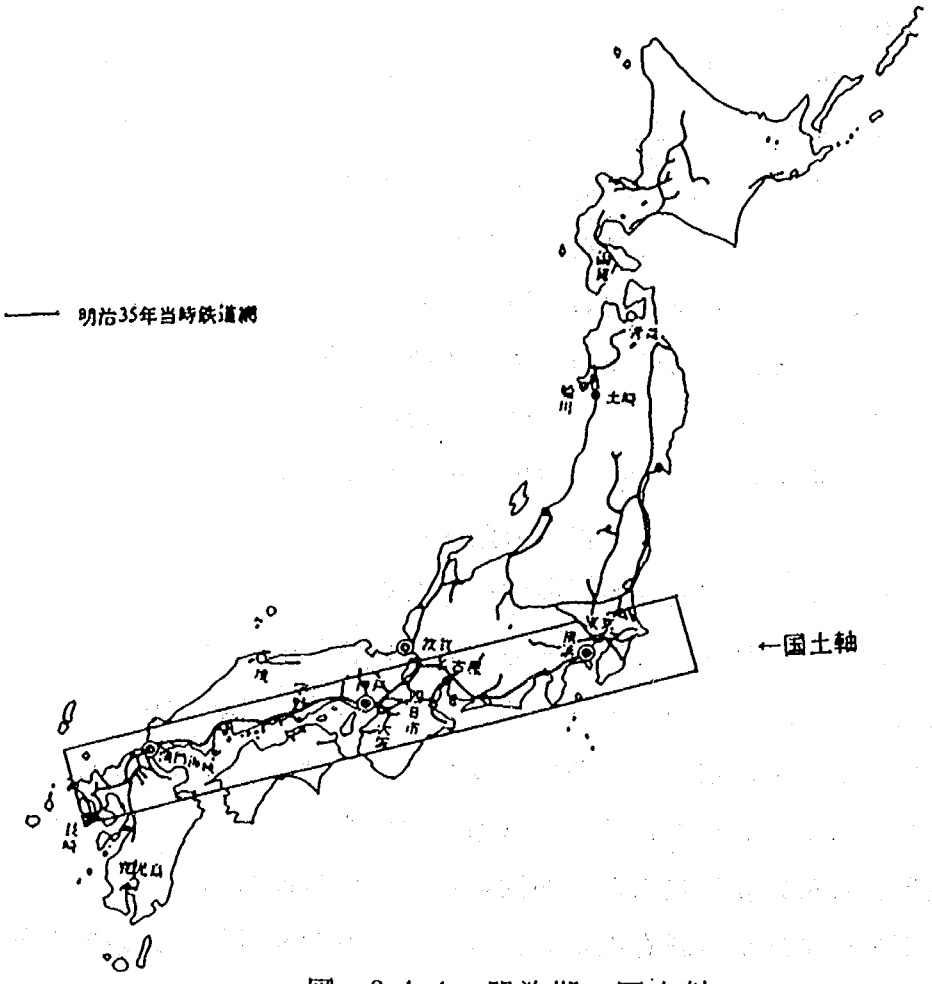
封建制を打破して新たに近代国家への脱皮を図った明治新政府（1868～1912年）は、強力な中央集権制を確保するための交通・通信網の整備とヨーロッパ先進諸国へ対抗するための産業の近代化を急ぐ必要にせまられた。そのため政府は社会資本投資の中でも鉄道の敷設と舟運のための河川低水工事および電信の普及を優先した。技術力に不安のあった政府は外国人技術者を雇い、早速舟運のための河川の低水工事や鉄道建設に取り組んだ。明治５年（1872年）には早くもわが国最初の鉄道（新橋－横浜間29km）が敷設されている。

また、明治政府は殖産興業政策としてわが国に近代産業を根付かせるため先進国から最新技術を取り入れ官営工場を建設した。当時は、慶応２年（1866年）に結んだ不平等な関税条約のために輸入超過になりやすく、正貨の危機を招き易かったので、輸出を増やすことが経済発展のための最重要点であった。政府は専ら生糸の生産に取り組んだ。

こうした殖産興業政策への取り組みは、一方で鉄道の整備をうながした。当時のエネルギー源は石炭が主であったが、わが国の産炭地の大半は山岳地帯に位置しており、石炭を大量に輸送するためには鉄道の敷設が急務であった。わが国の工業技術の進展はこの鉄道事業をきっかけとしてスタートしたと言っても過言ではない。

国を挙げて殖産興業政策に取り組んだわが国に取っての幸運もあった。1840年からの30年はヨーロッパに蚕の伝染病が猛威を振るい、ヨーロッパの養蚕業は大打撃を受けていた。このため日本には生産が追いつかないほどの生糸の需要が寄せられることになる。また、明治18年（1885年）から28年（1895年）までは、銀の世界市場価格が低落し、銀本位国の為替相場が約40%低下した。このため輸入品価格が割高となり国内の輸入代替産業の競争力を高めた。また、金本位国との競争上、わが国産業の輸出が促進された。以上のようなわが国にとっての幸運もあって殖産興業政策は一応の成果を残すとともに、次の飛躍のための足がかりとなった。

明治以前のわが国の通商の中心は大阪であり、政治の中心は東京であった。したがって運輸・通信施設は優先的に東京－大阪間に敷設されるところとなり、さらに明治６年（1873年）、九州北部にわが国最大の炭坑が官営で操業を開始し、当地に殖産興業政策の一環として明治34年（1901年）わが国最初の製鉄所が建設された。必然的にわが国の運輸・通信は東京－名古屋－大阪－九州へ至るラインが中心となり、ここにわが国初めての国土開発上の国土軸が形成されるに至った。この地域は天然の良港にも恵まれており、太平洋を巨大な運河とする海外との輸送路を確保することになった。またこの国土軸に密に配置された交通・通信網はきわめて効率的に産業開発に貢献することとなり、以後わが国の産業は図－2.1.1に示す国土軸に沿って展開されることになる。

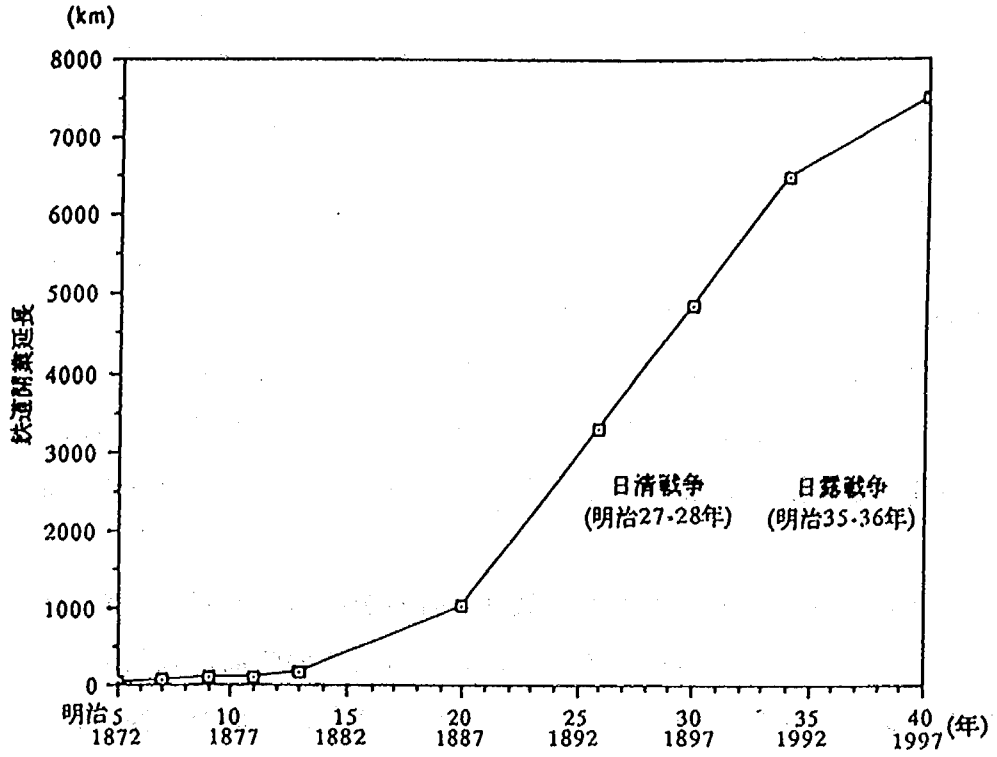


図－2.1.1　明治期の国土軸

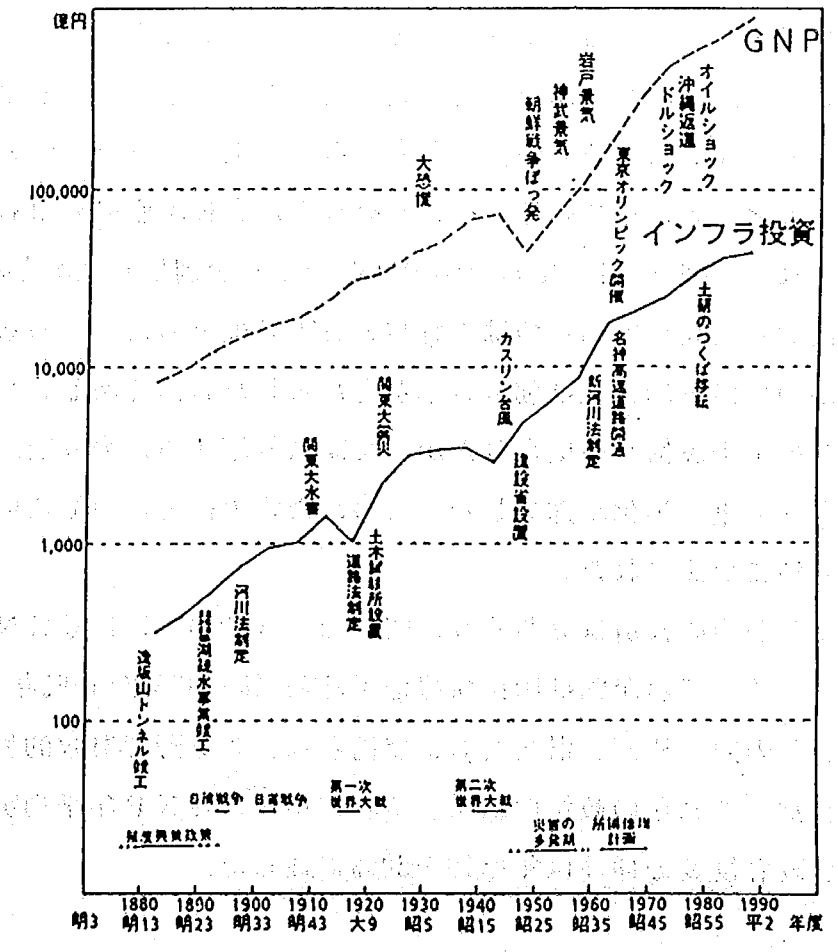
（出典：NIRA Output「土木技術の発展と社会資本に関する研究」）

図－2.1.2に年次毎の鉄道開業延長を示す。図に示される通り明治40年（1907年）の鉄道総延長は実に7,884kmに達しており、鉄道の敷設が急速に拡大していったことを示している。一方、明治初頭から取り組んだ舟運確保のための河川低水工事と運河開削は洪水の備えにはなっておらず、農業生産は大きな打撃を受けていた。その後、河川改修事業は洪水防止のための高水工事へと切り替えられるが、この軌道修正が行われたのは、鉄道輸送が舟運をはるかに上回る能力を有することが明らかとなったからである。

明治27年、28年（1894年、1895年）に起きた日清戦争とそれに勝利することにより得た賠償金はわが国の社会資本整備を促すことに役立ったが、明治35年、36年（1902年、1903年）の日露戦争は戦費の圧迫から社会資本投資を大幅に減少させることになる。図－2.1.3はわが国のＧＮＰと社会資本投資の経年変化を示すが、日露戦争時社会資本投資は停滞していることが示されている。これは軍事費が社会資本整備を阻害する端的な例である。



図－2.1.2　明治期における鉄道開業延長



図－2.1.3　ＧＮＰとインフラ投資額の推移

（出典：経済企画庁「平成４年版経済白書」など）

図－2.1.3において次に戦争の影響が見られるのは第一次大戦である。ヨーロッパへの資材供給のためわが国は大戦中好景気となり重化学工業化は急速に進展した。しかし、外債による経済開発が急ピッチ過ぎたために戦後は正貨危機に直面し景気は大幅に落ち込み、社会資本投資も大きく落ち込んだ。

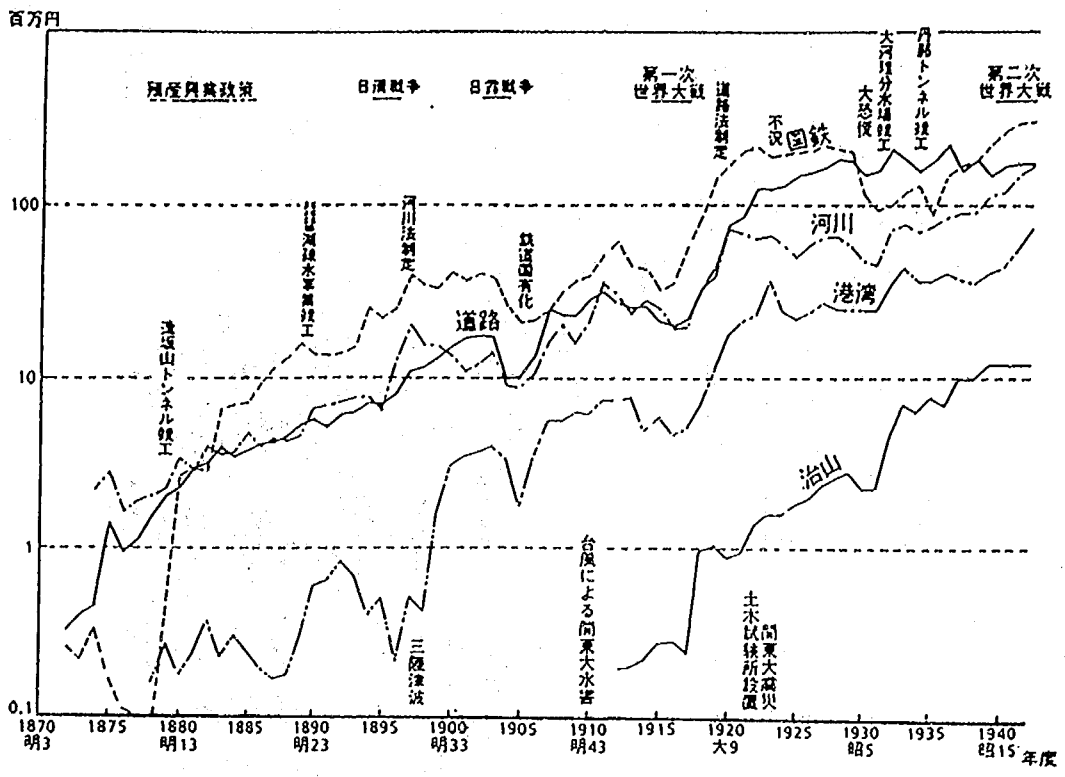
第一次大戦までのわが国の社会資本投資は鉄道を中心に実施されてきたが、自動車の急速な普及や大戦中における自動車の軍事的有用性が認識されたこともあって大正９年（1920年）わが国で初めての道路法が制定された。また関東大震災による甚大な被害は東京都内における貧弱な道路網が大きな原因となったこと、震災の復興にあたって不通となった鉄道に代わり自動車が活躍したことから道路整備の重要性が認識され、道路への投資額は鉄道のそれを抜くことになった。

昭和７年（1932年）世界恐慌による不景気は当時わが国の主要産業であった農業の生産地帯を直撃し、失業者があふれる農村での雇用創出のための時局匡救政策がとられ、河川および道路に多くの予算が振り分けられた。この時期に制定された道路法、第二次、第三次治水計画などの法制と実施計画は、わが国の社会資本投資を推進するためには画期的なものではあったが、その後満州事変、日中戦争のための戦費による圧迫から、社会資本投資は縮小および中断を余儀なくされている。

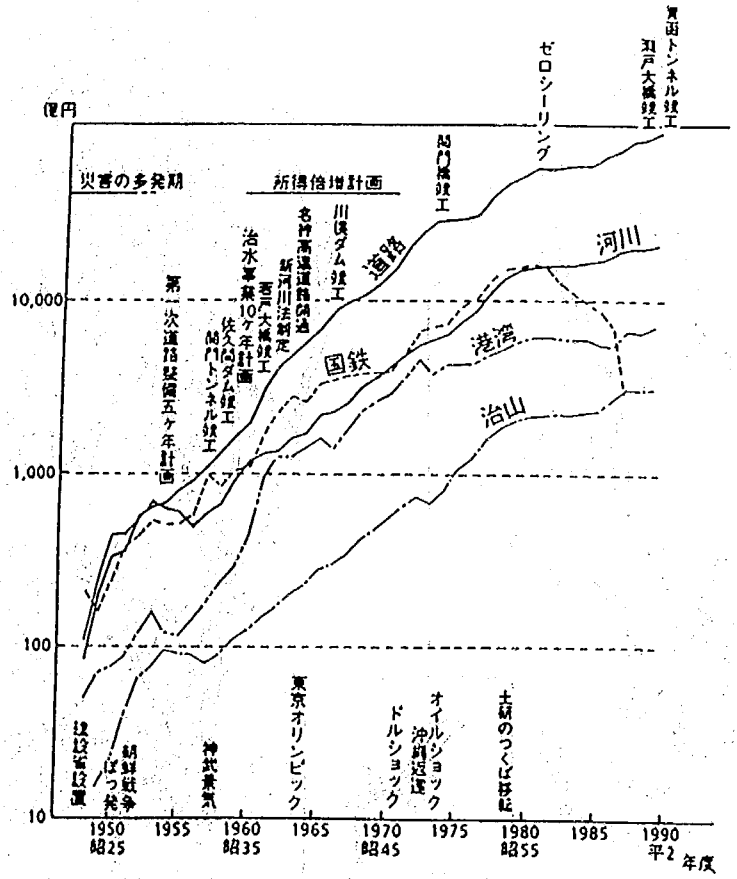
第二次世界大戦中社会資本投資は後回しにされ、もっぱら軍事費に予算の大半が使われた。そのため、戦争終了時におけるわが国の工業生産力は戦禍による工場の焼失もあり戦争前の数分の１という状態に落ち込んでいた。戦後間もなく不運にも大型の台風がたびたび来襲したが、そのとき大洪水等多くの災害をもたらす結果となったのは戦時中社会資本投資を怠ったことも大きく影響している。そのため戦後は食糧増産の要望もあって河川洪水対策がまず優先された。図－2.1.4にわが国の社会資本施設別投資状況を示す。戦後河川分野への投資が一次的に増大しているのはこれらの災害の復旧のためである。

戦後におけるわが国の経済的転機は朝鮮戦争がもたらした特需である。わが国は第二次世界大戦により大半の工場設備を破壊されたが、特需に対応するため外国から最新鋭の設備を導入したため急速に重工業化が進展した。このため電力需要は急激に伸び、佐久間ダム等の大型ダムが各地に建設された。

特需を契機としてわが国の経済は立ち直り、昭和29年（1954年）にはＧＮＰは戦前のレベルにまで回復した。そしてわが国は国民所得倍増計画（昭和35年:1960年）に代表される高度成長期に入る。この間、法制、財政ともに整備され、各分野で財政的裏付けのある５カ年計画が実施された。これらの政策の結果、昭和30年代のＧＮＰ年平均実質成長率は10％に達し、民間及び政府投資の伸びは年率10～20％に達した。

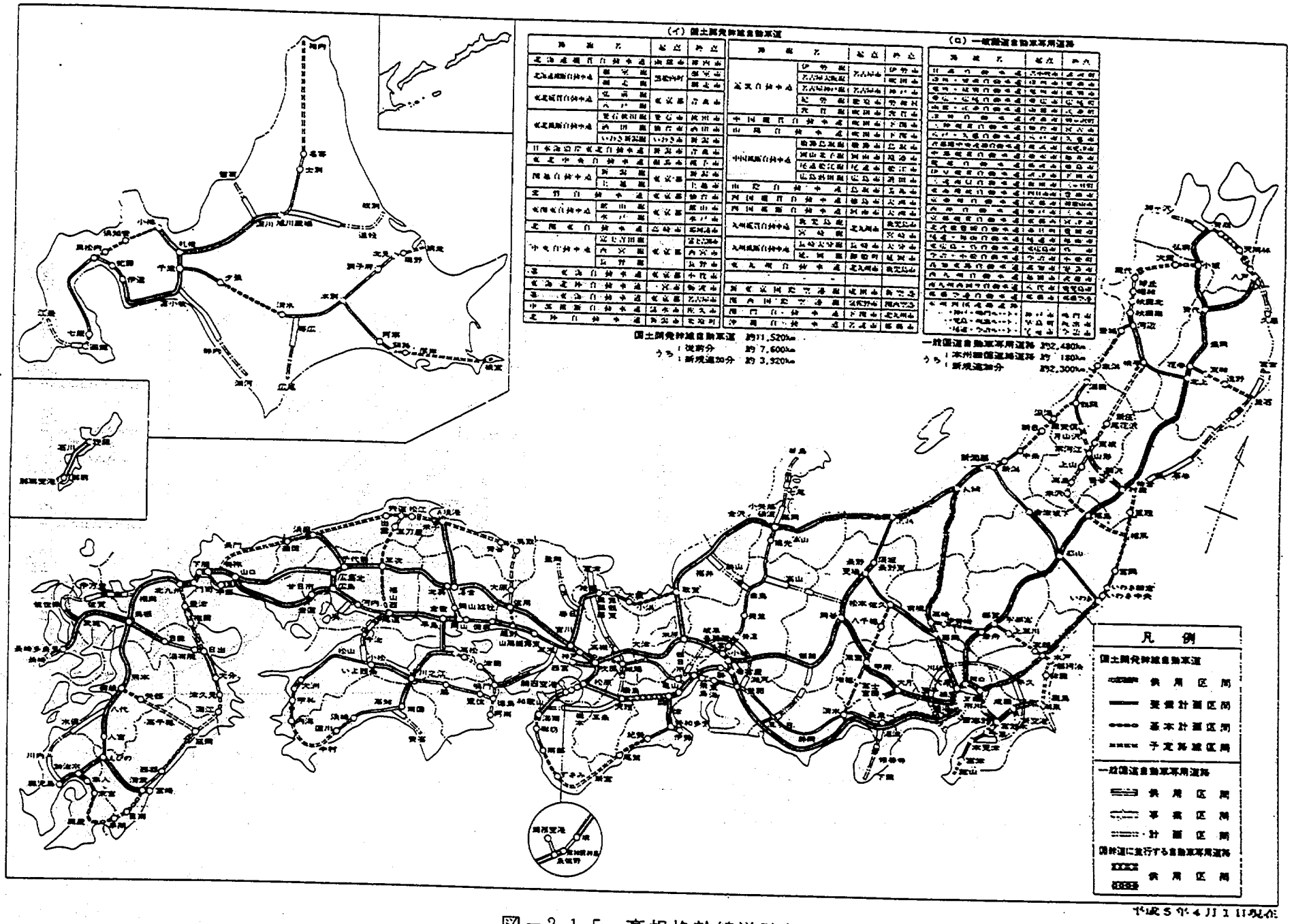


図－2.1.4(a)　インフラ施設別投資状況（第二次世界大戦前）



図－2.1.4(b)　インフラ施設別投資状況（第二次世界大戦後）

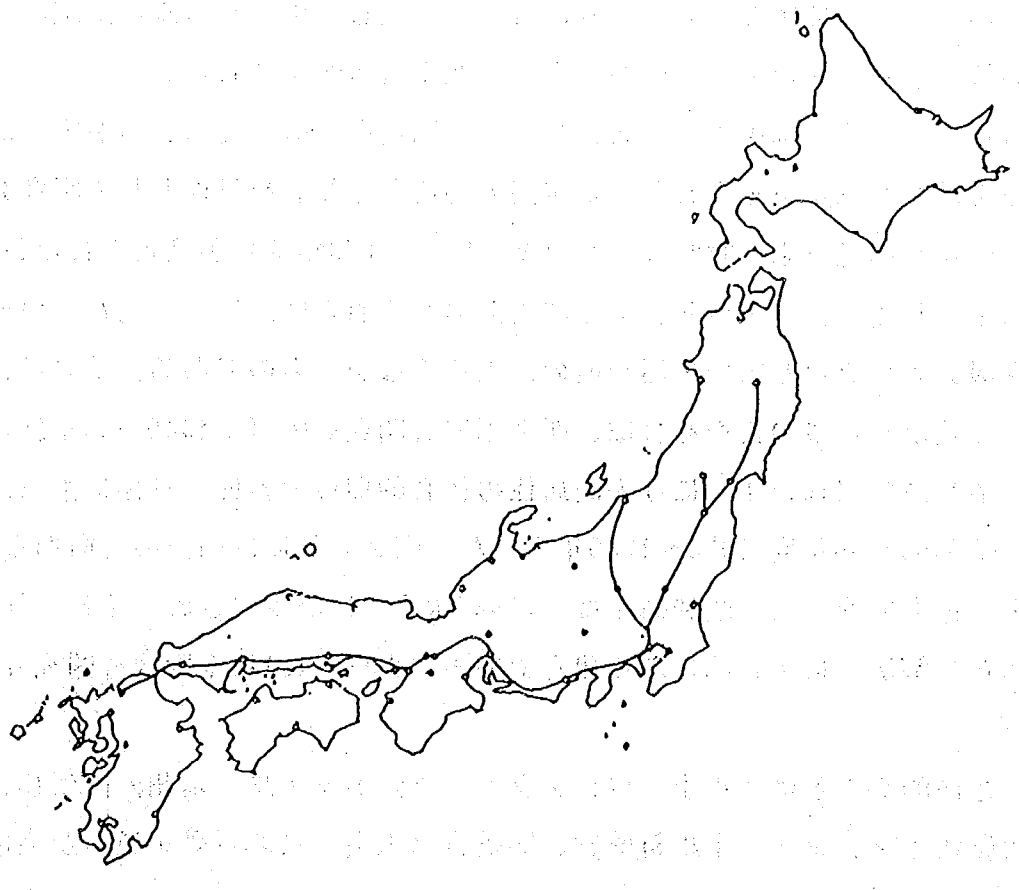
（出典：自治省「行政投資実績」など）



図－2.1.5　高規格幹線道路網図

昭和30年代に入り、わが国の自動車保有台数は急激に伸び、道路整備計画が本格化することとなった。昭和29年（1954年）の第１次道路整備５ケ年計画に始まり、昭和33年度（1958年）の第２次道路整備５ケ年計画、昭和36年（1961年）の第３次道路整備５ケ年計画が実施され、高速道路網の建設が開始された。昭和38年（1963年）にはわが国最初の本格的高速道路として名神高速道路が開通した。平成５年（1993年）からは第11次道路整備５ケ年計画がスタートし、平成22年（2010年）までには図－2.1.5に示す通り総延長14,000kmという高規格幹線道路（自動車専用道路）の整備が予定されている。

戦前わが国は東京から大阪、下関、朝鮮半島を通って満州へ至る時速200kmの高速鉄道計画を立案したが、戦争により途絶えていた。戦後の復興に伴い、国土軸の根幹である東海道本線の輸送力は早晩限界を迎えることが予測され、戦前の高速鉄道計画を東京－大阪間において実現するところとなった。東海道新幹線の建設は昭和34年（1959年）に開始され昭和39年（1964年）に開通した。これは、名神・東名高速道路とともに東京オリンピックの開催を契機としたわが国の「高速交通網整備の幕開け」と位置づけられている。その後、新幹線は山陽、上越、東北へ伸び、現在わが国の最重要幹線となっている。図－2.1.6に現在の新幹線網を示す。なお、図－2.1.4(b)において国鉄への投資が昭和57年（1982年）以降激減しているのは、国鉄の経営赤字が膨大なものとなり、国鉄再建問題が検討されたためである。昭和62年（1987年）には、国鉄は分割民営化されることとなった。



図－2.1.6　現在の新幹線鉄道網

昭和47年（1972年）わが国のＧＮＰはアメリカに次いで世界第２位となった。しかし、昭和46年（1971年）のドルショック、続いて昭和48年（1973年）のオイルショックはわが国の経済の急成長体質にブレーキをかけ根本的改革をせまることになった。石油価格高騰は物価の上昇を招き、以後わが国の経済は高度成長から安定成長へと移行した。

このころから産業と人口が国土軸を中心とする地域に集中することによる歪みが各所に見られるようになった。工場廃液による水俣病、イタイイタイ病と東京の光化学スモッグの発生はこの時期を代表する公害である。また、都市と農村の発展のアンバランスや、交通渋滞、騒音、日照権、空地の減少等、いわゆる都市問題が大きく取り上げられるようになったのもこのころである。これ以後、プロジェクトを計画するに際して常に環境問題・都市問題を重視する方向へ変化することになる。例えば、高度成長期、河川事業の中心は大規模なコンクリート重力、アーチ式ダムの建設が中心であったが、安定成長期に入って河川事業は水質保全、都市域における河川改修、中規模ダムによる水供給の確保、環境や景観に配慮した河川改修が中心となってきた。また、下水道、公園緑地の確保など国民生活の向上にも考慮が払われるようになった。なお、平成４年度（1992年）現在の河川整備については直轄河川では堤防総延長は17,099.4km、護岸延長は低水護岸が3,836.9km、高水護岸が3,470.8kmにのぼる。平成５年度（1993年度）現在、直轄のダム建設数については、特定多目的ダム建設事業として71事業78ダムが、河川総合開発事業として５事業５ダムが既に建設されている。

高度成長経済の結果として国民一人あたりの所得が向上し、生活レベルが飛躍的に上昇したことは社会資本投資を産業基盤整備から生活基盤整備へ変化させた。

わが国の経済社会の変化と国民のニーズに整合して開発を進めるため、わが国では数次にわたる全国総合開発計画が策定された。地域間の均衡ある発展を目標として昭和37年（1961年）に全国総合開発計画（昭和36～45年度:1961～1970年度）が策定されたが、この計画は国土軸に集中した産業の分散化、地域間格差の是正および国民一人当たりの所得、宅地面積、教育機会の拡充など国民生活全般の向上をうながすものである。その後、昭和44年（1969年）に豊かな環境の創造を目標に新全国総合開発計画（昭和40～60年度:1965～1985年度）が、昭和52年（1977年）には人間居住の総合的環境の整備を目標に第三次全国総合開発計画（昭和50～60年度:1975～1985年度）が、昭和62年には国土の均衡ある発展を目標に第４次全国総合開発計画（昭和62年度～:1987年度～）が策定され、それぞれの時代における社会問題の解決等に総合的に取り組んでいる。表－2.1.1に全国総合開発計画の推移を示す。

安定成長期に特徴的なことは大規模プロジェクト（青函トンネル、本州四国架橋、関西新空港、東京湾環状道路、東北・上越新幹線、関越自動車道、東北自動車道）が完成あるいは工事中であることである。これらのプロジェクトはいずれも高度成長期に立案・計画されたものである（表－2.1.2参照）。

表－2.1.1　全国総合開発の推移

項　　目	全国総合開発計画	新全国総合開発計画	第三次全国総合開発計画	第四次全国総合開発計画
1．策定時期	昭和37年(1962)10月 5日閣議決定	昭和44年(1969) 5月30日閣議決定	昭和52年(1977)11月 4日閣議決定	昭和62年(1987) 6月30日閣議決定
2．計画期間及び目標年次	昭和35年～45年(1960-1970年) 昭和45年(1970年)	昭和40年～60年(1965-1985年) 昭和60年(1985年)	おおむね10ヶ年 基準年次を50年とし、昭和75年(2000年)を展望しつつ昭和60年(65年)を目標年次とする。	おおむね昭和75年(2000年)を目標年次とする。
3．背景	①戦後復興から高度成長へ ②地域的課題の顕在化 (1)大都市問題 (2)域間の所得格差の拡大 ③所得倍増計画の策定 太平洋ベルト地帯構想	①高度成長経済 ②人口・産業の大都市集中 ③地域の所得格差 ④資源の有効利用の促進	①高度成長から安定成長へ ②人口の地方定着化、産業の地方分散 ③地域の総合格差 ④資源制約の顕在化 ⑤国民意識の変化	①高次都市機能の一極集中と人口の再集中化 ②地方圏の雇用問題深刻化 ③技術革新、情報化の進展 ④産業構造変化 ⑤本格的な国際化 ⑥高齢化社会の進展
4．基本的目標	＜地域間の均等ある発展＞ ①都市の過大化の防止と地域格差の縮小 ②自然資源の有効利用 ③資本、労働、技術等の諸資源の適切な地域配分	＜豊かな環境の創造＞ ①長期にわたる人間と自然との調和、自然の恒久的保護・保存 ②開発の基礎条件整備による開発可能性の全国土への拡大・均衡 ③地域特性を活かした開発整備による国土利用の再編成効率化 ④安全、快適、文化的環境条件の整備保全	＜人間居住の総合的環境の整備＞ ①限られた国土資源を前提とする ②地域特性、歴史的伝統的文化を尊重する。 ③人間と自然との調和をめざす。	＜多極分散型国土の構築＞ ①定住と交流による地域の活性化 ②国際化と世界都市機能の再編集 ③安全で質の高い国土環境の整備
5．開発方式	＜拠点開発方式＞ 目標達成のため工業の分散を図ることが必要であり、東京等の既成大集積と関連させつつ、開発拠点を配置し、連絡させ相互に影響させる。同時に、周辺地域の特性を活かしながら連鎖反応的に開発を進め、地域間の均衡ある発展を実現する。	＜大規模プロジェクト構想＞ 新幹線、高速道路等のネットワークと大規模プロジェクトにより、国土利用の偏在を是正し、過密、過疎、地域格差を解消する。	＜定住構想＞ 大都市集中抑制、地方振興型の人口の定住構想に沿い、人口の定住性を確保することにより、過密過疎問題を解消し、均衡ある国土利用を実現する。	＜交流ネットワーク構想＞ 交流の拡大による地域相互の分担と連携関係の深化を図ることを基本とする交流ネットワーク構想の推進により多極分散型国土の形成を目指す。
6．重要課題	①過密地域においては、工場等の新増設の抑制、移転、都市機能配置の再編成を図る。 ②整備地域においては、計画的に工業分散を誘導し、また中規模地方開発都市を設定する。 ③開発地域においては、積極的に開発を促進する。	①交通・通信ネットワークを先行的に整備する。 ②ネットワークに関連させながら大規模プロジェクトを実施する。 ③広域生活圏を設定し、生活環境の国民的標準を確保する	①自然環境、歴史的環境の保全を図る ②国土の安全性と国民生活の安定性を確保する。 ③居住の総合的環境（自然、生活、生産）を整備する。 ④教育、文化、医療等の機会の均衡化を図る。	①安全でうるおいのある国土の形成を図る。 ②活力に満ちた快適な地域づくりを推進する。 ③新しい豊かさの実現にため産業の展開、生活基盤の整備を行う。 ④定住と交流のため交通、情報・通信体系を整備する。
7．フレーム ①人口規模 ②経済成長率 ③国民総生産 ④累計総固定資産形成 ⑤工業出荷額 ⑥石油輸入 ⑦住宅建設戸数	②7.2%	①1億2,000万～1億2,300万人 ②7.4～8.3% ③130～150兆円（40年価格） ④450～550兆円（同上） ⑤160兆円 ⑥　5.06億ｋｌ ⑦　3,000万戸	①１億2,400万人(65年１億2,800万人) ②６％程度(60年以降は６％以下) ③60年－約260兆円(50年価格) 65年－約330兆円(同上) ④51－60年で約660兆円(同上) ⑤60年－約250兆円(同上) 65年－約320兆円(同上) ⑥60年－4.3～4.4億kl 65年－4.5～5.0億kl ⑦51－60年で1,680万戸	①１億2,105万人(75年１億3,120万人) ②中成長 ③75年－約500兆円(55年価格) ④61－75年で約1000兆円(同上) ⑤75年－480兆円(同上)

表－2.1.2　大規模プロジェクトの例

名称・場所	内　　容	期待される効果
東京湾環状道路 （東京、神奈川、千葉）	外周沿い約160kmの「東京湾岸道路」、湾央部を連絡する「東京湾横断道路」等	・東京圏の都市部、周辺部の交通混雑緩和 ・千葉・神奈川間を中心に、東京を介しない直接的な交流が生まれる。
関西国際空港 （大阪）	大阪湾泉州沖の埋立地318.4haにおいて、24時間使用できる新たな国際空港の整備を図る。	・成田を経由しない海外との交流の活性化 ・都市活動の24時間化に対応した新しい空の玄関の誕生
本州四国架橋 （兵庫・徳島、岡山・香川、広島・愛媛）	児島－坂出ルートに続いて、架橋により、神戸－鳴門ルート、尾道－今治ルートで本州と四国を結ぶ。	・瀬戸内海をはさんだ大きな文化圏、経済圏の誕生。 ・通勤通学範囲の拡大、物流の範囲の拡大等
青函トンネル （青森、北海道）	津軽半島（本州側）と渡島半島（北海道側）を海底トンネルで結び、新幹線規格の高速列車輸送を実現する。	・東京と北海道が列車でつながることにより、首都圏への物流の迅速化が果たされるとともに、青函地域の経済活性化が促される。
東北新幹線 （東京、群馬、栃木、福島、山形、宮城、岩手）	東京から岩手・青森へ至る新幹線鉄道を完成する。将来的には青函トンネルにより北海道まで新幹線を開通させる。	・過疎地である東北各県への企業立地の促進
上越新幹線 （東京、群馬、新潟）	東京から脊梁山脈を横断して日本海まで至る新幹線を建設する。	・日本海地域の経済発展の促進
関越自動車道 （東京、群馬、新潟）	東京から日本海へ至る高速道路を建設する。	・日本海地域の経済活性化 ・豪雪地帯での冬期物流の確保
東北自動車道 （東京、群馬、栃木、福島、宮城、岩手、青森）	東京から本州最北へ至る高速道路を建設する。	・東北地域の経済活性化、企業立地の促進

昭和57年度（1982年）から昭和63年度（1988年）に至る７ケ年間は、財政再建の旗印のもと臨時行政調査会が各行政機関の調査を開始するとともに、公共事業関係一般会計予算が前年度以下に抑えられたいわゆるゼロシーリング、マイナスシーリングの時代である。社会資本投資では、道路分野において有料道路事業で、財政投融資や民間資金を活用して伸びを確保するのがやっとであった。この間ＧＮＰは平均3.7%で伸びたのに対し社会資本

投資は平均1.4%に過ぎず、社会資本整備は経済・社会のニーズに対して大きく立ち遅れたといえる（図－2.1.3、2.1.4参照）。

昭和62年（1987年）から、わが国の経済は低金利政策による資金の過剰流動性がもたらすいわゆるバブル経済を発生した。これにより株価と全国の地価は高騰し、多くの民間ベースによる大規模開発が立案された。しかし、地価の高騰がもたらす弊害はたとえば首都圏などでは公共投資の大半が用地取得費に消え、社会資本投資による景気浮揚効果、雇用創出効果を損ねる結果となった。政府は公定歩合の引き上げと土地取引に関する金融の引き締めにより地価の抑制を計った。その結果わが国は不況に陥り、計画された民間プロジェクトの大半は実現せずに破綻する結果となった。この事実は建設、製造を伴わない、いわゆるバブル産業というものが国民生活にとって本質的な利益をもたらさないものであることを示している。

平成２年（1990年）、日米構造協議の結果、公共投資10ケ年計画が決定された。この計画は1991～2000年度の間に計画策定前10年間（1981～1990年）の1.6倍に当たる総額430兆円の公共投資を行なうもので、下水道、都市公園、住宅・宅地整備、域内の道路及び河川等の緑地等、生活関連施設の整備に重点的に配分されることになった。

さらに引き続き、平成６年（1994年）10月には公共投資基本計画が決定された。この計画の基本的考え方は、本格的な高齢化社会を間近に控え、国民が豊かさを実感できる社会を実現するため、人口構成が若く、経済に活力のある現在のうちに、社会資本整備を促進しようとするものであり、計画期間については、人口がピークを迎える21世紀初頭を展望した新たな10年計画（平成７年度（1995年度）～平成16年度（2004年度））とし、公共投資の規模としては、計画期間中におおむね600兆円の公共投資と弾力枠30兆円の全体でおおむね630兆円となっている。公共投資の配分については、直接的に国民生活の質の向上に結びつくものへの重点投資を継続しつつ、急速な高齢化の進展に対応した福祉の充実を図るとともに、高度情報化等にも適切に対応することとし、そのため、公共投資額のうち、生活環境・福祉・文化機能に係るものの割合を60%台前半に増加させることとしている。

２．２　経済発展に対する社会資本整備の役割

社会資本整備には、直接的、間接的に経済発展をうながす効果がある。本項では、わが国の事例をもとに、社会資本投資のもつ様々な経済効果、すなわち道路整備による経済効果、防災事業の実施による間接的な経済効果、経済発展の起爆材としての効果、さらには社会資本整備がエネルギー消費の節減に果たす役割についても触れることにする。

２．２．１　ＧＮＰと社会資本投資の関係

図－2.1.3はＧＮＰ、社会資本投資額の推移である。これによれば、戦前（1880～1944年）の平均経済成長率3.5%に対して戦後（1945～1989年）の平均経済成長率は7.7%に達している。この両時期についてＧＮＰに対する社会資本投資額の比率はそれぞれ2.8%と5.2%である。このことから、社会資本投資と経済成長率は大きな相関を持つことがわかる。

２．２．２　社会資本投資による経済効果

（１）道路整備事業のもたらす経済効果

社会資本投資による経済発展を道路整備事業を例にとって説明する。道路整備による経済効果としては次の５項目が挙げられる。

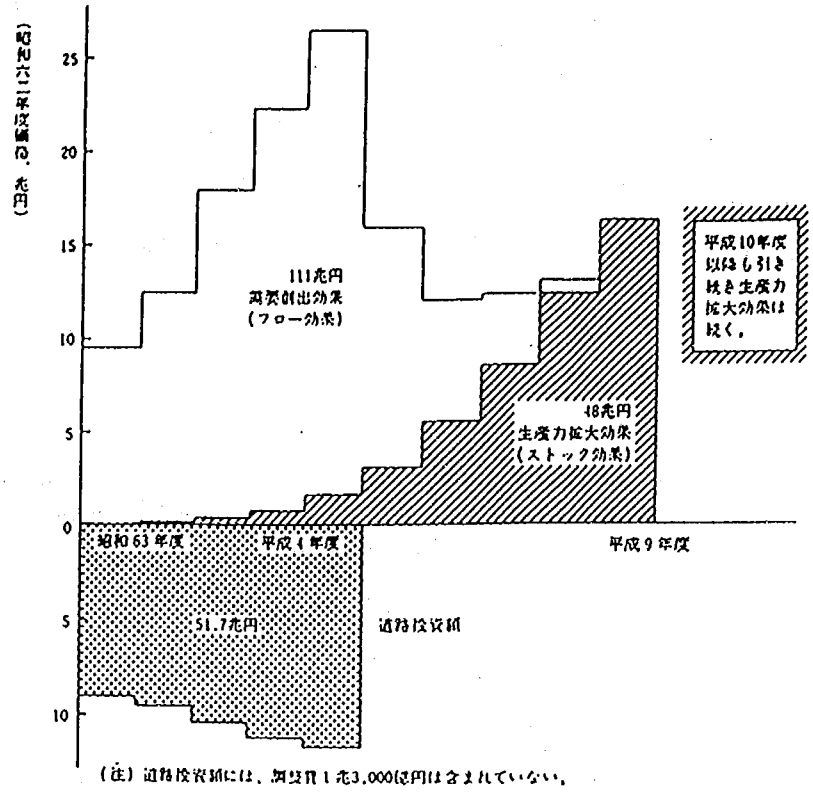
・走行条件が改善され燃料費等の走行経費が節約される。
・走行速度の向上や混雑の緩和等により走行時間が短縮される。
・輸送条件の改善による流通の合理化、生産性の向上などが実現する。
・生産力の拡大により国民総生産（ＧＮＰ）を増加させる。
・国民総生産の増大による税収の増加、雇用の創出、流通の合理化による物価の低減が図られる。

図－2.2.2.1は昭和63年～平成４年（1988～1992年）を実施期間とした第10次道路整備５ケ年計画による経済効果をシミュレートしたものである。上記５項目等の効果により、51.7兆円の投資額に対し111兆円の需要創出効果、48兆円の生産力拡大効果が見込まれている。

（２）防災における社会資本整備の役割

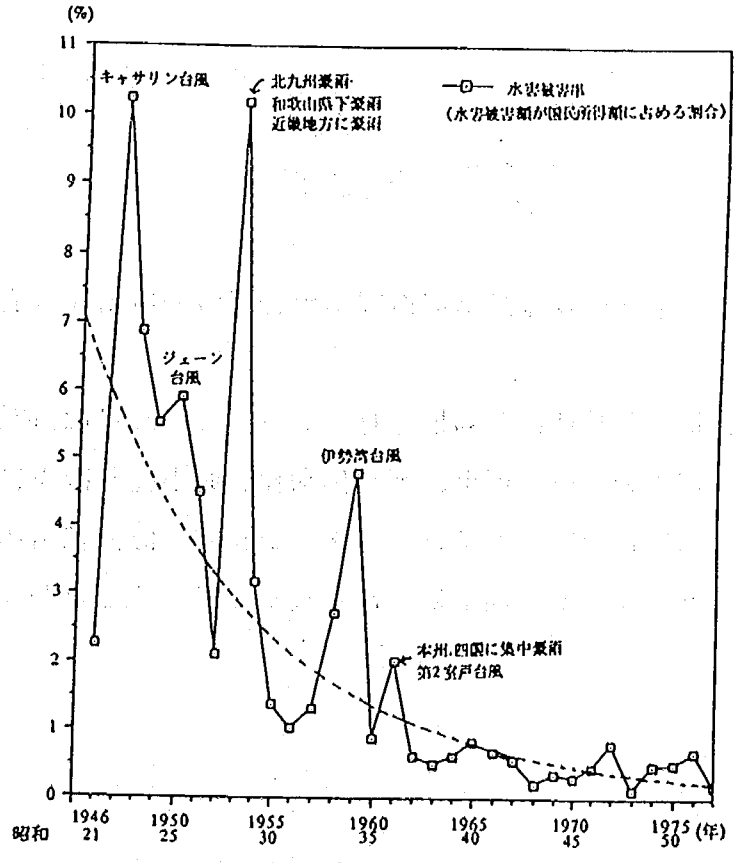
洪水によって失われる人的、物的被害を最小限に食い止めることにより経済活動を保全する効果は、河川整備の大きな目的でもある。図－2.2.2.2に洪水被害が頻発した戦後から現在へいたる国民所得に対する水害被害額の比を示す。これによれば戦争中社会資本投資を怠ったことから甚大な水害を発生し、国民所得の10%に昇る被害を被ったことがわかる。昭和40年（1965年）以降は昭和20～25年（1945～1950年）に比較して１%以内に押さえら

れている。これは大型ダムの相次ぐ完成と河川改修工事の効果によるものと考えられる。



(注) 道路投資額には、用地費1兆3,000億円は含まれていない。

図－2.2.2.1　第10次道路整備五箇年計画による国民総生産の増加



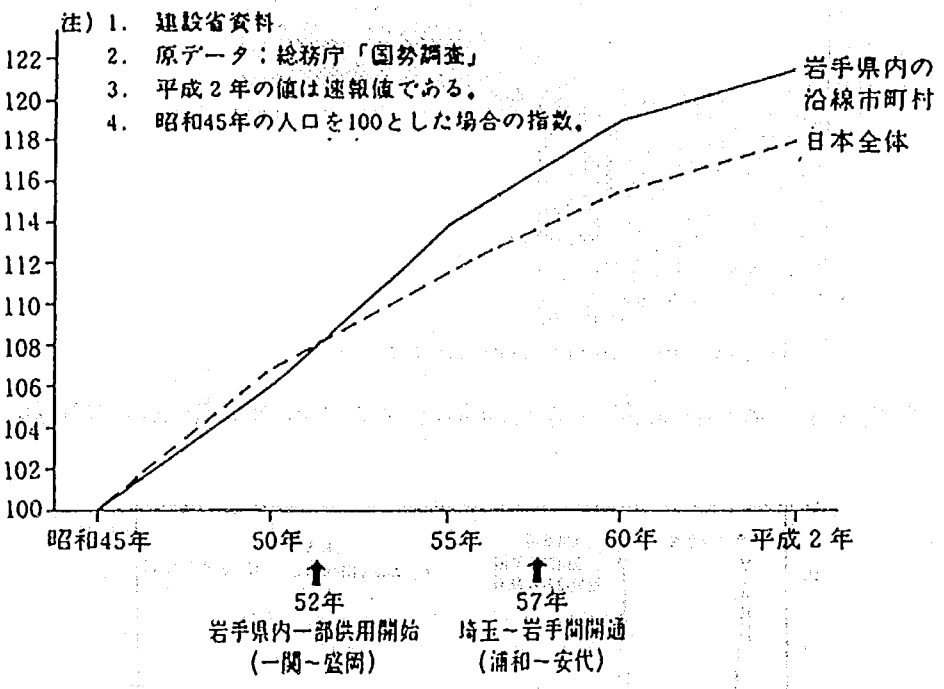
注1. 国民所得は経済要覧(昭和21-26年)、国民所得統計(昭和27-)による。
2. 水害被害額は戦後水害被害推計(昭和21-35年)、水害統計(昭和36-)による。

図－2.2.2.2　水害被害率（国民所得に対する水害被害額の比）の変化

（出典：建設省河川局資料）

（3）経済発展の起爆材としての社会資本整備の役割

次に社会資本整備による経済効果の具体例として東北縦貫自動車道沿線の人口動向と工業出荷額の推移を追ってみる。東北自動車道開通前の岩手県はわが国でも有数の後発地域であった。それゆえ、労働賃金は安く、高速道路の開通による交通事情の改善により安い人件費を求めて多くの工場が立地した。図－2.2.2.3に示す通り岩手県の沿線市町村の人口は、昭和45年（1970年）から平成２年（1990年）の20年間で、64万人から77万人へと約21％の増加を示しており、これは、同じ期間の日本全体の人口増加率（約18％）をも上回るものである。



図－2.2.2.3　東北縦貫自動車道沿線市町村での人口増加（岩手県）

次に高速道路の整備による地域経済効果を見る。表－2.2.2.1は高速道路インターチェンジ30分圏内都市と圏外都市の人口、所得、製品出荷額、卸小売り販売額の伸率を比較したものである。いずれの指標についてもインターチェンジ30分圏内都市の伸率は他を上回っており、道路整備が地域住民の所得向上に大きく役だっていることが明らかである。

表－2.2.2.1　地域の社会経済指標の伸び

	高速道路ｲﾝﾀｰﾁｪﾝｼﾞ30分圏内都市の平均伸び率	高速道路ｲﾝﾀｰﾁｪﾝｼﾞ30分圏外都市の平均伸び率
人口増加率 （昭和60年/昭和55年）	3.7%	0.9%
課税対象所得額増減率 （昭和59年/昭和54年）	44.6%	37.8%
製造品出荷額増減率 （昭和60年/昭和55年）	38.5%	31.0%
卸小売販売増減率 （昭和60年/昭和54年）	48.4%	42.1%

２．２．３　社会資本整備とエネルギー消費

一般に、ＧＮＰの増加は必然的にエネルギー消費を増大させるものと考えられがちである。ところが、第一次オイルショック後、わが国はＧＮＰの増加に伴うエネルギー消費の拡大を画期的に抑制することに成功した先進国中唯一の国である。

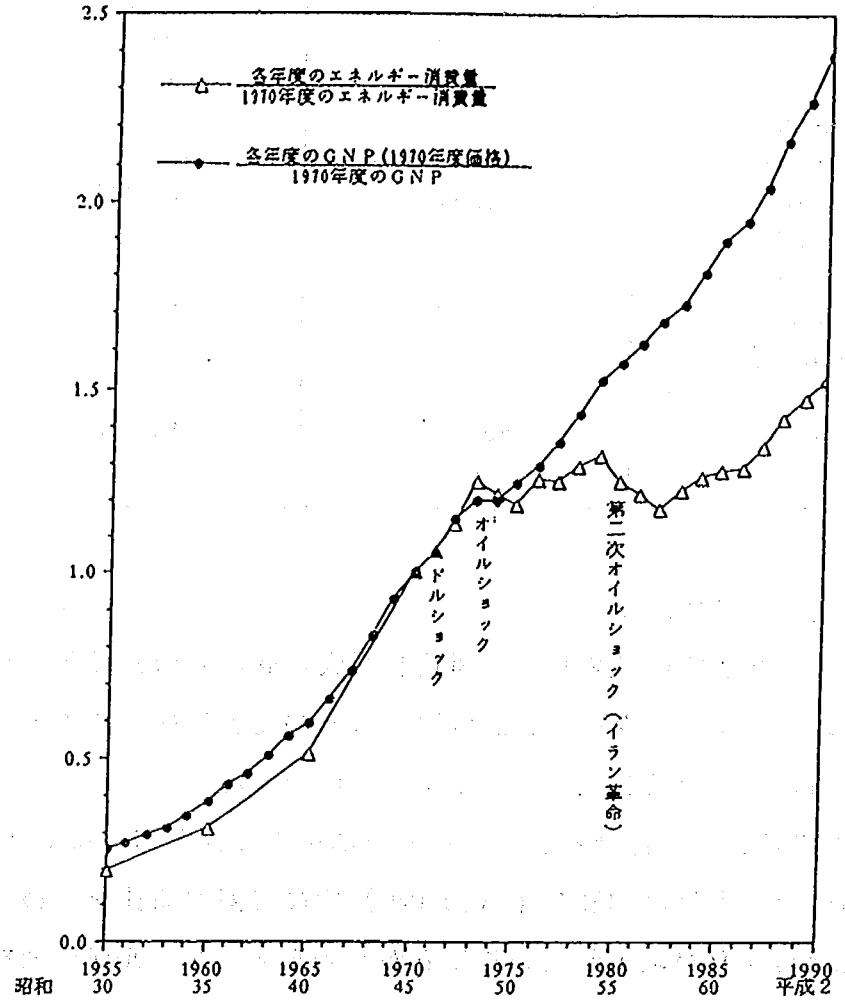
図－2.2.3.1はわが国のＧＮＰの伸びと、エネルギー消費の伸びを昭和45年（1970年）を基準として比較したもので、縦軸は昭和45年（1970年）実績に対する比を表わす。図に示される通り、わが国ではＧＮＰが増大しているにもかかわらず、エネルギー消費は下降ないし横ばいとなっている。この原因としては、次の事項が挙げられる。

① 第一次オイルショックを契機に各種の省エネルギー技術が開発され、工場の生産効率や各種機械の燃費が上昇したために、より少ないエネルギー消費で生産を拡大できた。

② 通信関係の社会資本整備が進んだので、通信・情報分野の産業が伸張した。通信・情報分野は、エネルギー消費が極めて少ないので、エネルギー消費をさほど伸ばさずにＧＮＰを増大させた。

③ 全国の道路網の整備と新幹線など鉄道による高速大量輸送によりエネルギー使用量を圧縮した。これを端的に表わしているのが表－2.2.3.1、図－2.2.3.2である。表－2.2.3.1はバイパス整備によりエネルギー効率及びそれに伴う二酸化炭素削減量を、図－2.2.3.2は交差点の改良による渋滞解消に伴う燃費の向上度を推計したものである。これらは、運輸網の整備がエネルギー消費量を軽減する効果があること、さらには環境問題の改善効果があることを示している。

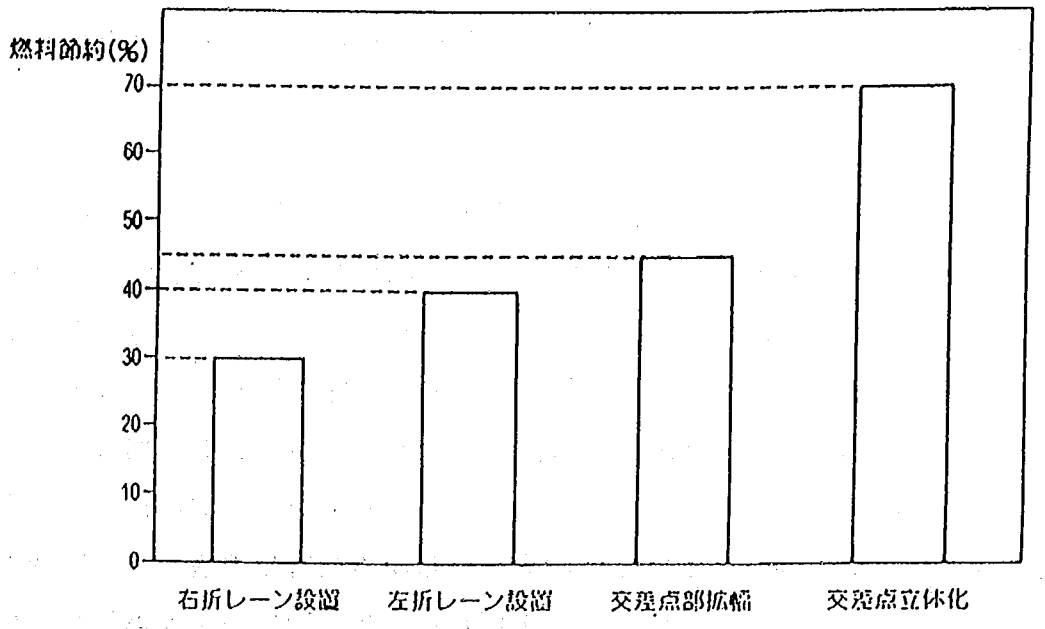
しかし、図－2.2.3.1において、昭和57年（1982年）以降はＧＮＰの増加とともにエネルギー消費も増加する傾向を示しており、この原因については注意深く分析する必要がある。



図－2.2.3.1　エネルギー消費とＧＮＰ（実質）の伸び（1970年基準）

表－2.2.3.1　バイパス整備14事例における整備前後の燃費についての推計値

車　種	バイパス整備により削減される燃料消費量（ml／台キロ）	燃料消費量の削減によるCO_2削減量（g／台キロ）	バイパス整備によるCO_2削減率（%）
乗用車	19	45	18
小型貨物	36	85	24



図－2.2.3.2　交差点整備16事例における自動車燃費についての推計値

２．３　まとめ

第２章の「近代日本における経済社会の発展と社会資本整備」をまとめると以下のとおりである。

① 近代日本においては経済の発展、産業投資の動向および社会の動きに応じて戦争、不況の影響などはあるものの、比較的安定して計画的に社会資本投資が行われてきたといえる。明治～第二次大戦前の期間および戦後～現在の期間の平均経済成長率はそれぞれ3.5%と7.7%であるが、ＧＮＰに対する社会資本投資額の比較は、それぞれ2.8%と5.2%である。社会資本投資と経済成長率は大きな相関を持つことが判明した。

② 昭和40年（1965年）以降、民間産業の急発展によるわが国経済の高度成長の時代には社会資本投資は経済の伸びについていけず、いわゆる公害や環境、都市問題が惹起する一要因となった。また昭和57年度（1982年度）から７年間におよぶ財政再建の期間にはゼロ、マイナスシーリングの予算のもとで社会資本投資は抑えられた。平成２年（1990年）からは公共投資10ヶ年計画により総額430兆円（計画策定前10ヶ年間の1.6倍に当る額）の投資を行うことになっている。

③ 社会資本整備の主役が時代とともに変遷している。明治新政府は交通運輸施設の整備を急ぎ、鉄道の敷設と舟運のための河川低水工事を優先した。鉄道は明治５年（1872年）の新橋－横浜間29kmの開設後、明治40年（1907年）には全国で7,884kmに達しており、明治政府の鉄道建設にかけた熱意が感じられる。戦後昭和39年（1964年）には東海道新幹線が完成し高速交通時代の幕開けとなり、その後山陽、上越、東北新幹線が建設された。

河川事業は舟運確保の低水工事から、洪水防止にための高水工事へと切り替えられ、明治期全体を通じて鉄道に次ぎ道路と同等程度の投資が行われたが、大正から昭和初期、投資は抑えられた。戦後相つぐ大洪水に見舞われ、食料増産の要請もあり洪水対策事業が行われた。その後電力需要に対処するためのあるいは多目的の大型ダムの建設および総合的な洪水対策事業が行われている。

大正12年（1923年）の関東大震災以来道路の重要性が認識され、その後道路事業への投資は河川を上回り、鉄道事業を超えることとなった。昭和30年代（1955～1964年）から道路整備計画が本格化し、昭和29年（1954年）の第１次道路整備五ヶ年計画以来計画的に道路整備が行われるようになった。昭和30年代後半からは高速道路の建設が行われ、首都、阪神地域に都市高速道路網も建設されている。平成５年（1993年）現在、高速道路の供用延長は6,402kmとなっている。

安定成長期に入った現在、大規模プロジェクトとして青函トンネル、本州四国連絡橋児島－坂出ルートは完成したが、東京湾横断道路や本州四国連絡橋明石海峡大橋、関西国際空港などが建設中である。また下水道、都市公園、住宅関連施設等の生活関連公共事業にも重点的に投資がなされている。

④　第二次大戦中、河川整備などの社会資本整備を怠ったことが、戦後の洪水等の大災害を招いた大きな原因といわれている。計画的な社会資本整備の重要性を示唆している。戦前も社会資本投資計画は数多く作られたが、戦後の計画とは異なり財政的裏付けがなかったことからすぐに破綻している。財政的裏付けのある投資計画の策定が重要である。

⑤　道路事業のもたらす経済効果は第10次５ヶ年計画によれば51.7兆円の投資額に対し111兆円の需要創出、48兆円の生産力拡大の効果が予測されている。水害被害率（ＧＮＰに対する水害被害額の比）は、戦後すぐの平均７％から昭和40年（1965年）以降は１％以内となっており、治水投資の効果と考えられる。高速道路の開通は通過沿線地域住民の所得向上に役立つ。また、わが国の場合社会資本整備はエネルギー消費量を軽減する効果があることが判明した。

第３章　わが国における
社会資本整備技術の発展

３．１　社会資本整備を実現する土木技術の発展

わが国の土木技術の発展過程は大きく５つの時期に分けることができる。

①外国人技術者の招聘による技術導入期；明治初期～明治20年（1868～1887年）
②留学帰りの日本人技術者等による技術改良期；明治10年～明治末期（1878～1912年）
③大正初期から昭和初期にかけての停迷期；大正元年～昭和20年（1912～1945年）
④戦後アメリカをはじめとする欧米からの先進技術の導入期；昭和20年～昭和40年（1945～1965年）
⑤わが国独自技術の発展期；昭和40年以降（1965年～）

本項では、それぞれの期間ごとに技術的発展経過を述べる。

３．１．１　外国人技術者の招聘による技術導入期

明治以前、わが国にもトンネル、橋梁、ダム、護岸などの技術はあったが、いずれも人馬輸送や小規模な農業用灌漑を目的とするものであり、明治以降整備の必要にせまられた鉄道、港湾、発電用ダムの建設に応える技術はもたなかった。そのため明治政府はまず欧米先進国の土木技術を導入することから始めなくてはならなかった。

官営鉄道建設技術についてはイギリス人技師E.モレルらを、北海道鉄道ではアメリカ人のJ.クロフォード、九州鉄道ではドイツ人のH.ルムシュッテルらの技師を破格の高俸でわが国に招き指導を受けた。当初、外国人技術者は鉄道建設にかかわるすべて、すなわち測量、設計、現場監督に至るまでまかされている始末であった。河川港湾工事においてはオランダ人のC.J.V.ドールン、I.A.リンドウ、G.A.エッセル、A.Z.チッセン、J.デレーケ、イギリス人のパーマーが全国の河川改修・築港にあたった。表－3.1.1.1に当時の外国人技術者と代表的工事を示す。

多数の留学生を海外へ送る一方で、明治政府はまた多くの外国人を技師、教授、顧問として雇った。国別にみると、イギリス人が最も多い。お雇い外国人の推移を明治初期についてみると、表－3.1.1.2のようである。

表－3.1.1.1　外国人技術者と主な事業

分野	技術者（国籍）	代表的工事	分野	技術者（国籍）	代表的工事
鉄道	ﾓﾚﾙ(英)	新橋～横浜間	トンネル	ﾀﾞｲｱｯｸ(英)	住吉川トンネル
	ｲﾝｸﾞﾗﾝﾄﾞ(英)	大阪～神戸間		ｸﾞﾚｰ(英)	芦屋川トンネル
	ﾎﾞｲﾙ(英)	中山道鉄道	河川・港湾	ﾄﾞｰﾙﾝ(蘭)	利根川・淀川低水工事、安積疎水
	ｸﾛﾌｫｰﾄﾞ(米)	幌内鉄道			
	ﾙﾑｼｭｯﾃﾙ(独)	九州鉄道		ﾄﾞｰﾙﾝ、ﾃﾞﾚｰｹ ﾁｯｻﾝ、ｴｯｾﾙ	大阪築港、淀川改修
橋梁	ﾌｫｰｹﾞﾙ(蘭)	くろがね橋（長崎）			
	ﾌﾞﾗﾝﾄﾝ(英)	吉田橋（横浜）		ﾃﾞﾚｰｹ(蘭)	木曽三川改修工事
	ﾎﾙﾄ(米)	豊平橋（札幌）		ｴｯｾﾙ、ﾑﾙﾃﾞﾙ(蘭)	淀川高水工事
	ﾎﾟｰﾙ、ﾎﾜｲﾄ(英)	阪神間武庫川橋梁		ﾑﾙﾃﾞﾙ(蘭)	利根運河工事
	ﾎﾟｰﾅﾙ(英)	利根川、荒川橋梁		ﾘﾝﾄﾞｳ(蘭)	信濃川改修工事
ダム	ﾊﾞﾙﾄﾝ(英)	布引ダム（神戸市）	水道	ﾊﾟｰﾏｰ(英)	横浜上水道、横浜港

表－3.1.1.2　お雇い外国人の内訳

	技術者	教授	熟練技能者	その他	計
明治 5年（1872）	127	102	46	94	369
7年（1874）	213	151	27	133	524
9年（1876）	170	129	26	144	469
11年（1878）	118	101	7	95	321
13年（1880）	103	76	6	52	237
15年（1882）	51	53	6	47	157

政府機関に外国人を雇い入れることについて、政府は二つの原則を貫いた。ひとつは第一級の優秀な人物を採ること、ひとつは日本の主体性のの堅持、つまり政治にかかわる決定は彼らに委ねないことであった。

後進国である日本が先進欧米から人を雇うについては、高給が前提となった。まして質

を望むとなればなおさらであり、お雇い外国人には、日本人職員とは桁はずれの高給が支払われた。

明治10～14年（1877～1881年）の東京大学の実状でみると、教授総数の過半が外国人によって占められ、これら外人教授の給料が大学の予算の1/3以上に達した。明治７年（1874年）の工部省の一般予算のうち、33.8%が外国人雇用のために支払われた。

お雇い外国人を優遇したことは事実であるが、政府は政治に係わる分野に彼等が介入することを嫌った。欧米による植民地化の波が、日本の周辺まで追っていた当時として、当然の判断である。明治４年（1871年）の岩倉使節団の外交活動の失敗も、日本の対外姿勢を硬化させた。政府はあくまでも彼等に知識・技術の提供を求め、実施に当ってはそれらを主体性をもって取捨選択した。特に立法、司法、行政などを専門とする外国顧問への対応の際、この原則は重要な意味をもっていた。

このような政府の姿勢を、逆にお雇い外国人からみるとどうであったか。それを示すR.H.ブラントンの記録文がある。彼は明治元年～９年（1868～1876年）の間在日したイギリス人で、在日中に日本各地に30余基の燈台を建設した、いわば日本に西洋文明の灯を最初に点じた人物である。

「日本政府のお雇い外国人の取扱いは、後進国の不信と用心深い精神を表していた。」

「彼等は外国人を指揮権を持たない助言者、あるいは単なる指揮者の地位にとどめておきたかったのである。外国人にとっては、このような地位にとどまることは侮辱を感じるし、また、このような待遇は、仕事の遂行に不満足な結果をもたらすことは確実である。」（徳力眞太郎訳）

明治政府が外国依存からの脱皮を急いだ主たる理由は、財政上の負担に耐えきれなくなった点にあるが、こうした軋轢もその裏にはあったのである。

３．１．２　留学帰りの日本人技術者等による技術改良期

明治10年代（1877～1886年）後半になると、外国人技術者に学んだ日本人と留学先から帰国した日本人技術者による工事が実施されるようになった。表－3.1.2.1に外国人技術者と彼らが育てた日本技術者、留学帰りの技術者をあげる。

表－3.1.2.1　外国人技術者、留学帰りの技術者と子弟

師	子弟	代表的事業
ﾃﾞﾚｰｹ(蘭)	沖野忠雄（留学生－フランス）	淀川改修、大阪築港
〃	佐伯敬崇（工部大学校卒）	木曽川下流改修
ｴｯｾﾙ、ﾃﾞﾚｰｹ(蘭)	古市公威（留学生－フランス）	坂井港建設
ﾄﾞｰﾙﾝ(蘭)	南一郎平	安積疎水
ﾊﾟｰﾏｰ(英)	三国善太郎（東大卒、イギリス留学）	横浜築港
ｼｬｰﾋﾞﾝﾄﾝ、ﾎﾙｻﾑ(英)	工技生養成所卒業生　24名	鉄道建設の中核をなす
井上勝(留学生－英)	国沢能長（工技生養成所卒業生）	逢坂山トンネル

明治政府は国民の欧米留学を大いに奨励した。明治２～３年（1869～1870年）の諸藩（廃藩置縣は明治４年（1871年））の留学生116名、宮家・政府・民間の留学生58名、計174名であった。明治６年（1873年）の断面でみると、欧米留学生は373名、うち官選が250名、官選留学生に要した経費の25万円は、文部省の同年の予算の18%にも達した。津田英語塾の開祖津田梅子（当時９才）が留学の旅に出たのは、明治４年（1871年）のことである。

多人数を急激に送り出した裏にはまた問題もあった。語学も上達せず、勉強もせずという者が目立つようになったのである。政府は明治８年（1875年）に官費留学生の総引き上げを命じ、同年から開成学校（のち東京大学）の成績抜群の卒業生に限ってのみ、留学させることにした。留学生の人間像を、以下６人の土木関係者について述べる。

①松本荘一郎（1848～1903）

大垣藩士の出身。大学南校に学び、明治３年（1870年）アメリカに留学、土木工学を修めた。明治９年（1871年）帰国、東京府御用掛。このとき東京楓川の弾正橋（八幡橋として江東区に移設・現存）の工事も担当している。明治12年（1879年）北海道開拓使御用掛となり、鉄道・道路の建設、炭鉱の開発などを手掛けた。明治17年（1884年）鉄道局勤務、明治26年（1893年）鉄道局長官、以後病没するまでこの職にあった。工学博士。

②松平忠厚（1849～1886）

信州上田藩主松平忠優の二男。明治５年（1872年）渡米、東部のラトガース大学に入学した。同大学の記録文書によれば、当時200人以上の日本人留学生がいたか、無事に大学を

卒業できたのは、ほんの数人だけであったという。彼は大学の科学課程で優秀な成績をおさめていたが、結婚のため西部のウースター工科大学に移り卒業後、マンハッタン高架鉄道に勤務、ブルックリン吊橋建設工事の土木技師を努めた。1881年ユニオンパシフィック鉄道の主任技師として、横断鉄道の建設に奔走した。その後ニューヨーク州のプラットフォード市に移り、市の技師80名を率いる技師長に選任され、重責を担った。後に肺結核のためコロラド州のデンバー市に転地療養したが、そこで死去。享年37才。

③原口要（1851～1927）

島原藩士族の出身。明治８年（1875年）に文部省からアメリカ留学を命じられ、トロイ大学で土木工学を学び、明治11年（1878年）首席で卒業、ペンシルベニア鉄道の技師となった。明治13年（1880年）帰国、東京府技師長となり、市区改正、水道・下水改良などに活躍すると同時に、高橋・吾妻橋などの建設を担当した。明治15年（1882年）鉄道庁工部技長となり、鉄道建設全盛期にあって、各地の幹線鉄道の計画に深く係わった。工学博士。

④古市公威（1854～1934）

姫路藩士族の出身。大学南校に学び、明治８年（1875年）に文部省からフランス留学を命ぜられ、明治12年（1879年）エコールサントラル卒業、明治13年（1880年）パリ大学理学部を卒業して帰国、内務省土木局に入った。明治23年（1890年）土木局長、明治31年（1898年）逓信次官、明治36年（1903年）鉄道作業局長官など歴任。大正３年（1915年）土木学会が創設されたとき、初代会長となる。

⑤渡辺一（1858～1932）

長野県出身。明治16年（1883年）工部大学校を首席で卒業、翌年イギリスに留学し、明治19年（1886年）グラスゴー大学土木工学科卒業。折柄工事中のフォース鉄道橋の工事監督技師となる。明治22年（1889年）に帰国した後は、日本土木会社に入りのち社長。明治45年（1912年）東京石川島造船所社長。大正14年（1925年）まで同社の社長を務めた。兼任を含め社長を務めた会社は、伊那電気鉄道、東洋電気鉄道、京阪土地など。工学博士。

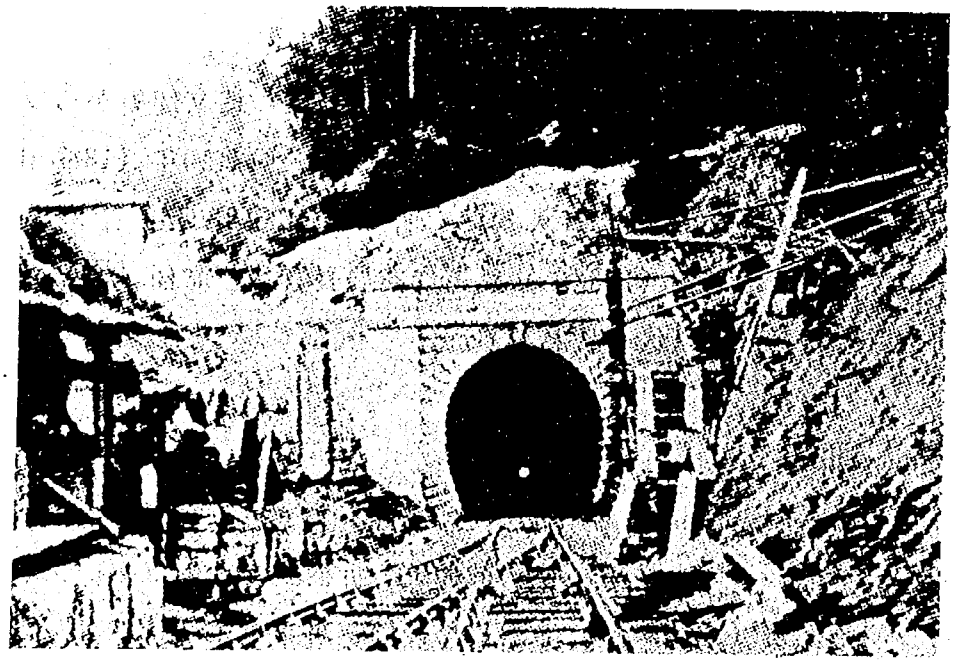
⑥広井勇（1862～1928）

工部大学校予科を経て札幌農学校を明治14年（1881年）卒業。ただちに開拓使鉄道課勤務、明治15年（1882年）渡米し、ミシシッピー川改良工事、橋梁の設計・製作などの実務に携わった。明治20年（1887年）札幌農学校助教授、明治22年（1889年）教授、明治32年（1899年）東京帝国大学工科大学教授。これら教職にある間も各地の港湾、河川、水電発電、橋梁などの工事を指導。工学博士。

この当時の土木工事は測量、設計はヨーロッパ式でも施工は日本式という例が多い。これらの工事は外国の技術を導入しながらも日本式に改良して使用する端緒となったものである。その典型的な例として逢坂山トンネル工事と琵琶湖疏水工事を紹介する。

（1）逢坂山トンネル工事

日本人だけで完成した最初のトンネルは逢坂山トンネルで、この工事を担当したのは国沢能長である。国沢能長は留学生としてイギリスに学んだ井上勝により大阪に設立された工技生養成所の出身であった。このトンネルの掘削方式は頂設導坑と呼ばれる日本古来の方式で、ノミ、ツルハシによる手掘りであった。これは当時わが国には金鉱などで働く優秀な坑夫がおり、彼らをそのままトンネル工事に利用することができたためである。覆工には欧米式にレンガを使用した。また硬い岩盤の掘削にだけ火薬を利用した。このように和洋折衷技術により全長664.8mの逢坂山トンネルは20カ月という短期間で完成している（写真－3.1.2.1参照）。

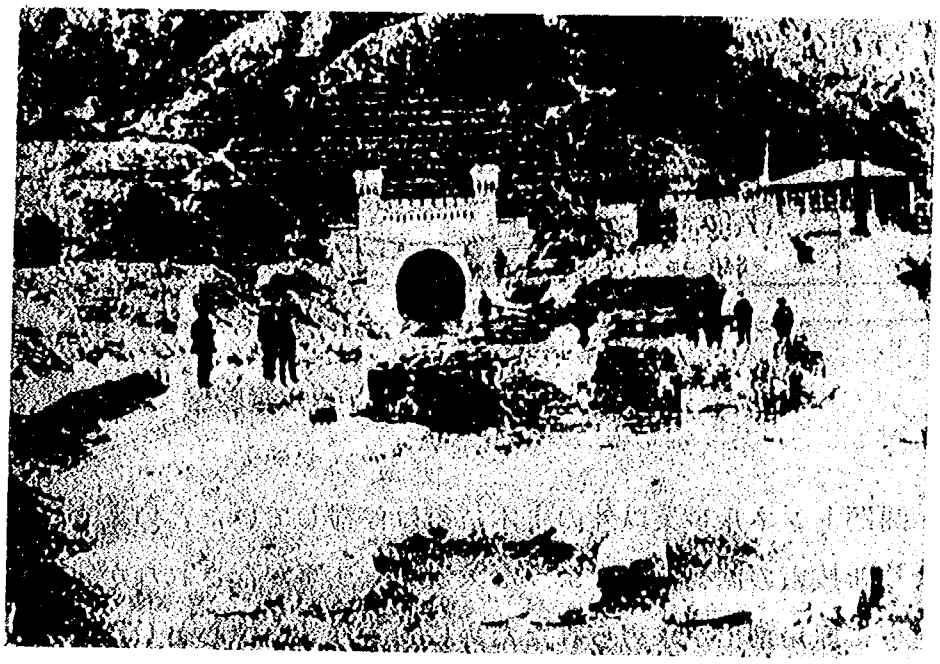


写真－3.1.2.1　逢坂山トンネル

（2）琵琶湖疏水事業

明治18年（1885年）６月に始まり４年８ヶ月の歳月をかけて竣工した琵琶湖疏水事業は、古都京都の復興と近代化推進のため、約20km離れた琵琶湖の水を、人工水路を建設して京都市街地まで導入し、水道用水、灌漑あるいは防火用水、市内小河川の衛生管理のための維持用水の供給とともに、日本最初の水力発電、さらに大阪港から琵琶湖までを結ぶ舟運の発展を狙うという総合開発事業であった。工事全般の指揮には工部大学校（現在の東京大学工学部）を卒業したばかりの田辺朔郎があたり、全長の約1/3の水路トンネルの建設には、それまでにお雇い外国人技術者から受けてきた技術指導の経験を生かし、かつ当時の

先端技術である雷管付ダイナマイトや蒸気機関を動力とする換気装置、排水ポンプ等を駆使した。また、日本初のシャフト方式を取ったことも特筆される。この事業により開発された電力は日本で最初の電車を京都市内に走らせ、後に軽工業を発展させた。この発電施設は現在も利用されている。琵琶湖疏水事業は、日本人の手による初の大規模多目的水利事業として、また日本の本格的水力発電第一号として、記念すべきものであった（写真－3.1.2.2参照）。



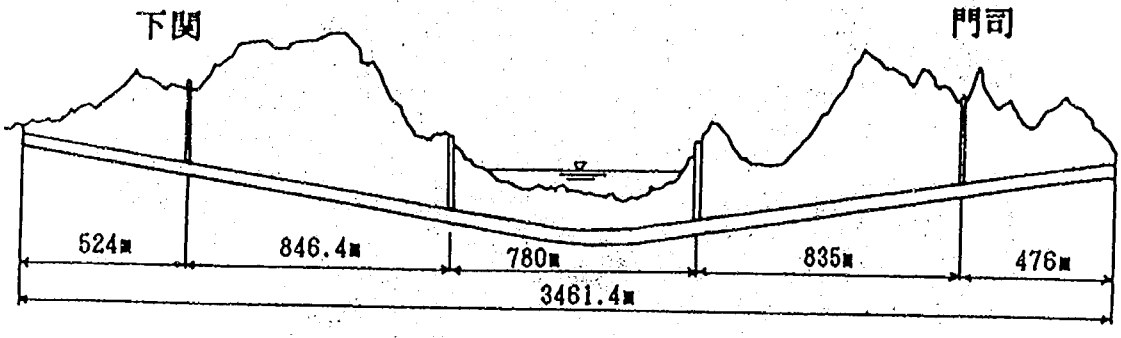
写真－3.1.2.2　琵琶湖導水

琵琶湖の総合的な開発事業は現在も実施されている。昭和47年（1972年）、琵琶湖総合開発計画が作成されて以来、保全対策として流域下水道、畜産環境整備施設、ごみ処理施設、都市公園、湖岸道路、港湾等の整備、治水対策として琵琶湖に流入する河川を対象とした河道改修、ダム建設、砂防施設等の整備、また利水対策として上水道、工業用水道、水産施設、漁港等の整備や農業基盤の総合的な整備に建設省、水資源開発公団、および地方公共団体が一体となって取り組んでいる。

３．１．３　大正初期から昭和初期にかけての停迷期

大正初期（1912年）から昭和20年（1945年）の第二次世界大戦終了までのあいだに取り組まれた最大のプロジェクトは関門海底トンネルである。道路、鉄道それぞれの分野で独自に、本州と九州とを陸続きにする橋及びトンネルの建設について検討された。しかし、橋梁案は軍艦の通過時に支障があること、戦争時に敵国の攻撃目標になりやすいこと等の理由により却下された。関門鉄道トンネルは、軍事上の輸送路としての役割を期待され、昭和11年（1936年）着工、昭和17年（1942年）下り線（総延長3,614m、海底部1,322m）が、昭和19年（1944年）上り線が（総延長3,604m、海底部1,322m）それぞれ開通した。

関門道路トンネルは、昭和14年（1939年）本体工事に着手されたものの、自動車よりも鉄道の輸送力が重要視されている時代であったこともあり、戦局の悪化に伴う予算や建設材料不足により工事は思うように進捗しなかった。戦後は工事中止論も取り沙汰される中で、工事は維持管理の名のもとに細々と続けられていたが、昭和27年（1952年）、道路整備特別措置法の制定を契機にトンネルを有料化することで工事を再開し、昭和33年（1958年）ついに完成した（総延長3,461m、海底部780m、図－3.1.3.1参照）。



図－3.1.3.1　国道関門トンネル縦断図

この時代、関門トンネル事業以外の土木技術は停滞していたといえよう。これは、軍事費の圧迫により新技術の開発を伴うような大規模な工事がなされなかったのと、経済不況のため土木工事に雇用創出が求められたために人力作業を中心とした工事が行なわれ、大がかりな機械施工が見送られたからである。しかし、特記すべきは、日本のダム技術が朝鮮半島、中国東北地方（旧満州）でめざましい成果を挙げ、水豊ダム（堤高106.4m、堤長900.7m、総貯水容量116.5億m^3、最大出力70万kw）が昭和18年（1943年）完成し、その他多くのダム群が建設された。

3．1．4　戦後アメリカをはじめとする欧米諸国からの先進技術の導入期

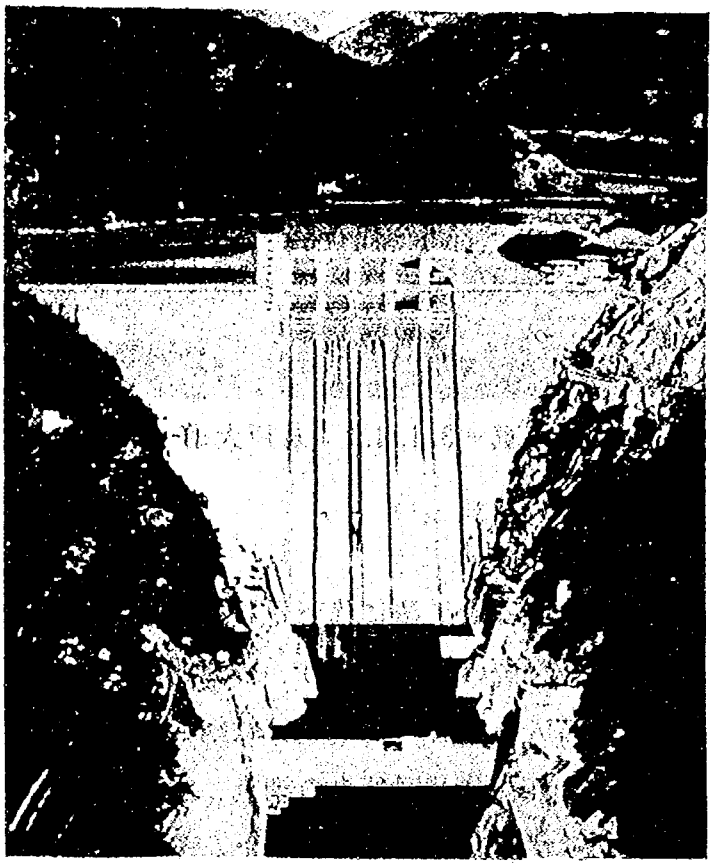
わが国の土木技術が飛躍的発展をとげたのは戦後である。当初はアメリカからの大型機械化施工法をはじめとする欧米諸国の先進技術が導入されたが、昭和30年代からの高度経済成長は多様な土木事業を要求し、トンネル、橋梁、ダム等の各技術とも海外から導入した技術の原理や基礎的な考え方をわが国の自然条件、経済社会条件にあわせるべく研究・開発が行われた。その結果、世界の一流の水準へ到達し、世界に先がける技術開発も見られるようになった。

ここでは佐久間ダム、若戸大橋について紹介する。

（1）佐久間ダム

昭和28年（1953年）4月着工された佐久間ダムは工期わずか2年4ヵ月でダム堤体高150mの高ダムとして完成した。この工事では建設速度としても施設規模としても従来の2

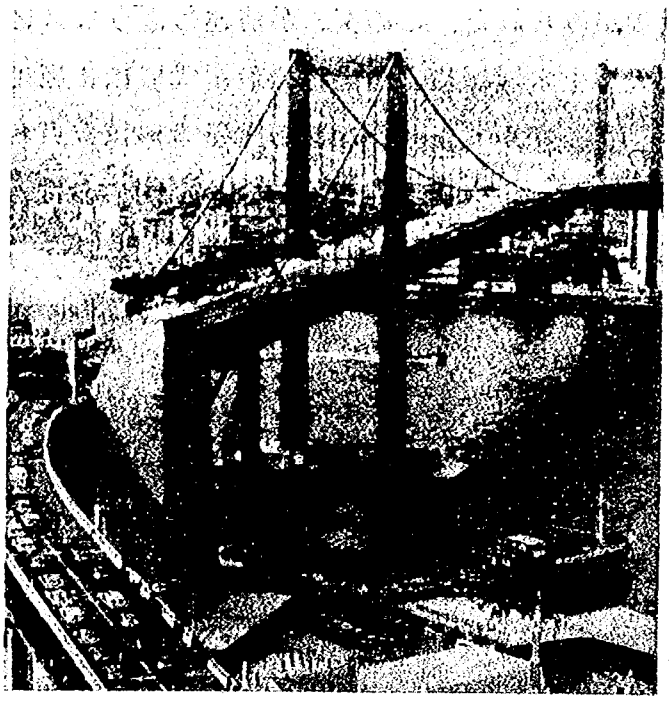
倍という著しい技術進歩がみられた。このダムが前述のようなスピードで建設できたのはアメリカから輸入した大型土木機械による当時の最新式機械化施工のためである。パワーシャベル、ダンプトラック、ブルドーザーなどの重建設機械数百台を駆使した建設方式は建設現場の様相を一転させた。佐久間ダム建設は、わが国における本格的機械化施工の始まりと位置づけられる（写真－3.1.4.1参照）。



写真－3.1.4.1　佐久間ダム

（2）若戸大橋

昭和33年（1958年）に完成した若戸大橋は、わが国初の長大支間吊橋（中央スパン長367m）である。この事業で特筆されるのは、工事に先立つ調査、試験および建設のための体制づくりである。建設にあたっては、長大橋梁建設の経験不足と、わが国特有の地震と台風への対策という二重の困難を克服することが必要であった。このため、土木研究所、大学を含め日本の総力が結集され、設計、建設のための各種調査および試験、すなわち港湾、地質、経済、気象調査や鋼索試験、ケーブルバンド試験、ソケット合金のクリープ試験、塗料試験、風洞実験、耐震実験等が２年半の長きにわたり本格的に実施された。建設資材については、すべて国産のものでまかなった。この建設は、わが国の土木技術者に大きな自信と勇気を与え、関門橋や本州四国連絡橋等の世界に誇る長大橋梁を生み出すきっかけとなる記念すべき事業であった（写真－3.1.4.2参照）。



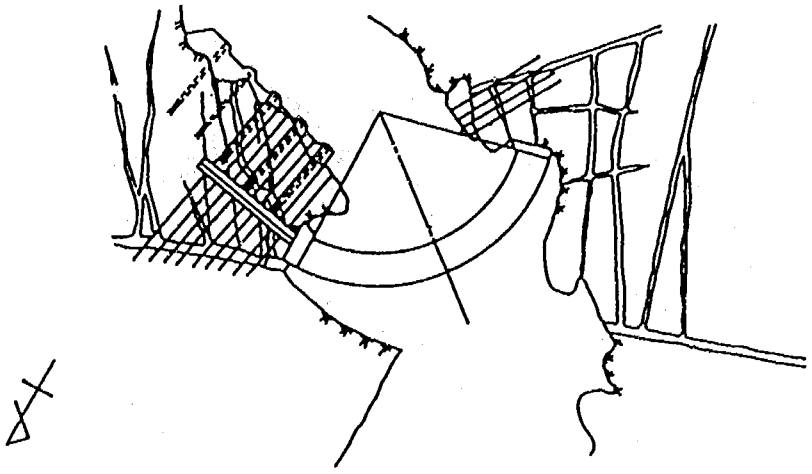
写真－3.1.4.2　若戸大橋

３．１．５　わが国独自技術の発展期

昭和30年代の大型建設機械による施工法に代表される欧米の先進技術の積極的な導入により世界の水準に追いついたわが国の土木技術は、研究開発力の向上、建設産業の発展はもとよりわが国の産業全体の幅広い発展、とりわけ鉄鋼、建設機械、計測機器、コンピューター産業などの発展に支えられ、わが国独自の調査、設計、施工技術を次々と生み出し、昭和50年代ごろから世界のトップを走ることになった。その例として川俣ダム、関門橋、島地川ダム、青函トンネル、本州四国連絡橋の各事業について記述する。

（１）川俣ダム

川俣ダムは、洪水調節、灌漑、発電を主な目的に鬼怒川上流部の瀬戸合峡に建設された、高さ117m、堤頂長133mの薄肉のアーチダムである（昭和41年（1966年）完成）。これより前に起こったフランスのマルパッセダムの破壊は基礎岩盤処理の重要性を世界に知らしめていたが、川俣ダムの建設サイトにも地質上の問題点が見つかったため、設計にあたっては、基礎岩盤の補強を行なうとともにアーチの曲率を緩めてフラット化することにより基礎岩盤への負担を軽減する新しい設計方法を採用した。川俣ダムの成功は、フラットアーチダムを世界に普及させることとなり、わが国のダム建設技術が世界のレベルに達したことを示すこととなった（図－3.1.5.1参照）。



図－3.1.5.1　川俣ダム平面図

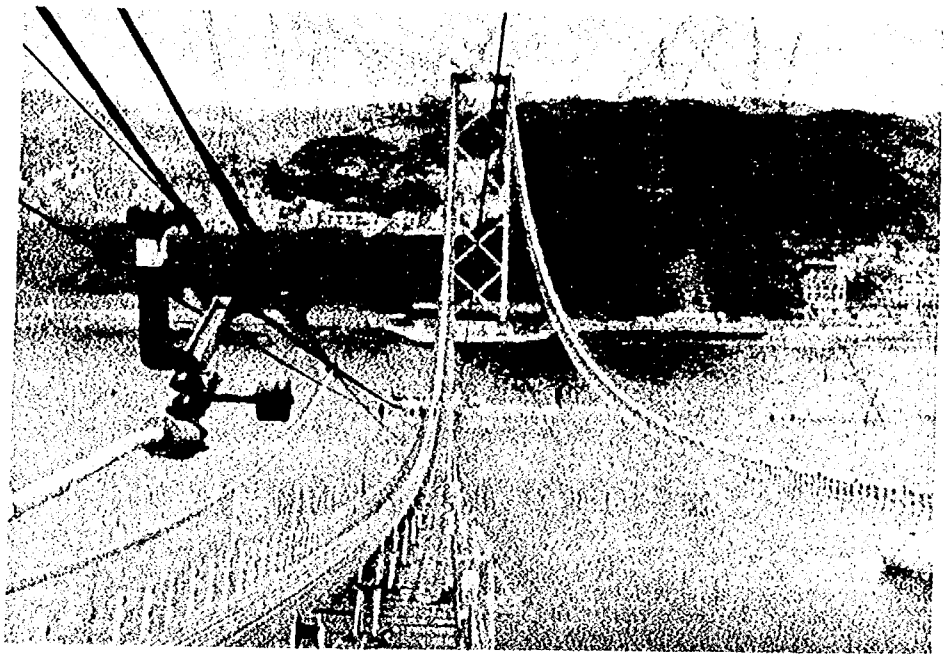
（2）関門橋

昭和48年（1973年）完成した関門橋は、本州と九州を連絡する中央スパン712mの吊橋で、6車線の高速道路として供用されている。関門橋の設計に際しては、さきに開通した若戸大橋の完成までに蓄積された経験に加え、本州四国連絡橋のために開発された新しい技術が取入れられた。海上交通の輻奏する海峡航路での作業の安全対策に工夫したこと、基礎工として下関側に直接基礎工を、門司側にニューマチックケーソン工法を採用したこと、主ケーブルに平行線プレハブストランドを用いて現場架設期間を短縮したこと、補剛トラスの架設に一部開放逐次剛結法を採用して残留応力を少なくしたことなどは関門橋建設のための新しい試みとして挙げることができる（写真－3.1.5.1参照）。

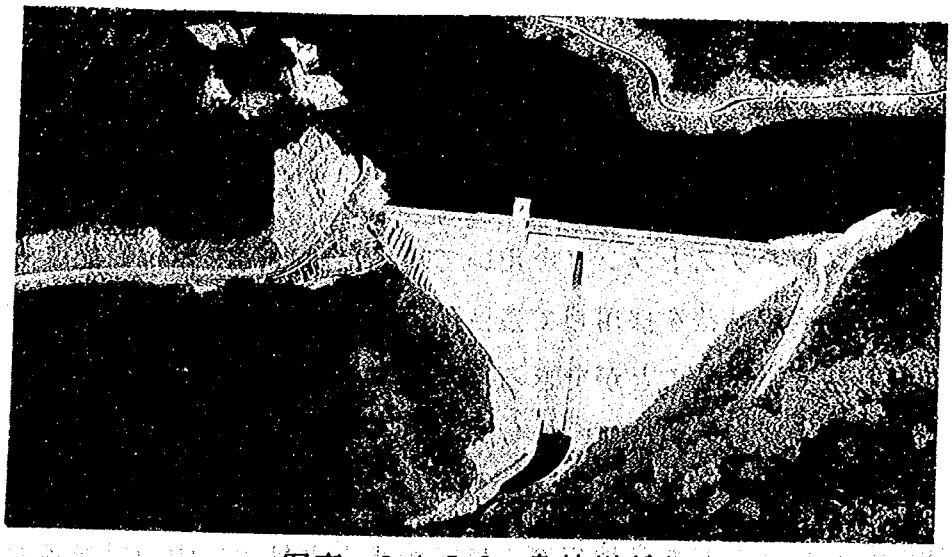
（3）島地川ダム

昭和56年（1981年）に完成した島地川ダムは、治水を主目的に山口県を流れる佐波川に建設された高さ89mの重力式コンクリートダムである。地形上の制約により標準的な走行型ケーブルクレーンの導入が難しいことなどから、土木研究所で開発したＲＣＤ（Roller Compucted Dam concrete）工法と呼ばれる硬練り貧配合コンクリートをローラーで敷延ばす工法が採用された。世界最初のＲＣＤ工法を用いた本格的ダム工事ということもあって、施工の中では試行錯誤もあった。しかし、その計画、設計から施工、完成にいたる過程でＲＣＤ工法の経済的および技術的な実用性の確証は十分に得られ、本事業は、ＲＣＤ工法が世界に広まる足がかりとなった（写真－3.1.5.2参照）。

現在国内では玉川ダム、村山ダム等がＲＣＤ工法により完成したほか、ＲＣＤ工法としては最大の宮ヶ瀬ダム（相模側の支川中津川）が現在建設中である。また、中国でも大遼河の支川太子川に観音閣ダムがＲＣＤ工法によって建設されている。



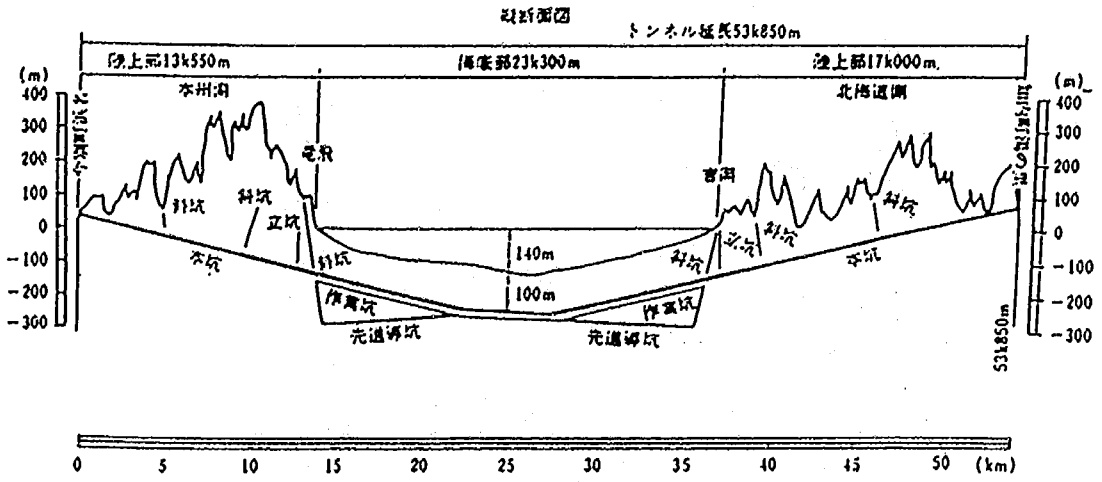
写真－3.1.5.1　関門橋ケーブルストランド架設



写真－3.1.5.2　島地川ダム

（4）青函トンネル

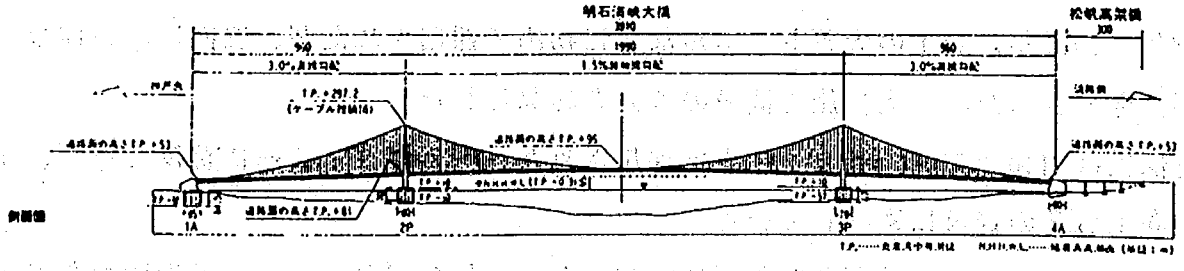
青函トンネルは本州と北海道を津軽海峡下で結ぶ世界最長の海底トンネルである。このトンネルは戦前から計画されていたが、戦後具体化のための調査が行なわれ昭和39年（1964年）着工となり、昭和60年（1985年）完成した。最大水深140m、海底下100mで海水と戦わなければならない難工事であった。全長54km（海底部23.3km）、軌道は新幹線規格であり、将来新幹線を通すことを前提としている。本工事において開発された主な技術成果は渡海測量、長尺水平ボーリング、地盤注入、吹付けコンクリート、トンネルボーリングマシン（ＴＢＭ）による掘削技術などで、これらの技術の一部はその後英仏海峡トンネル工事にも使用された。図－3.1.5.2に青函トンネルの縦断面を示す。



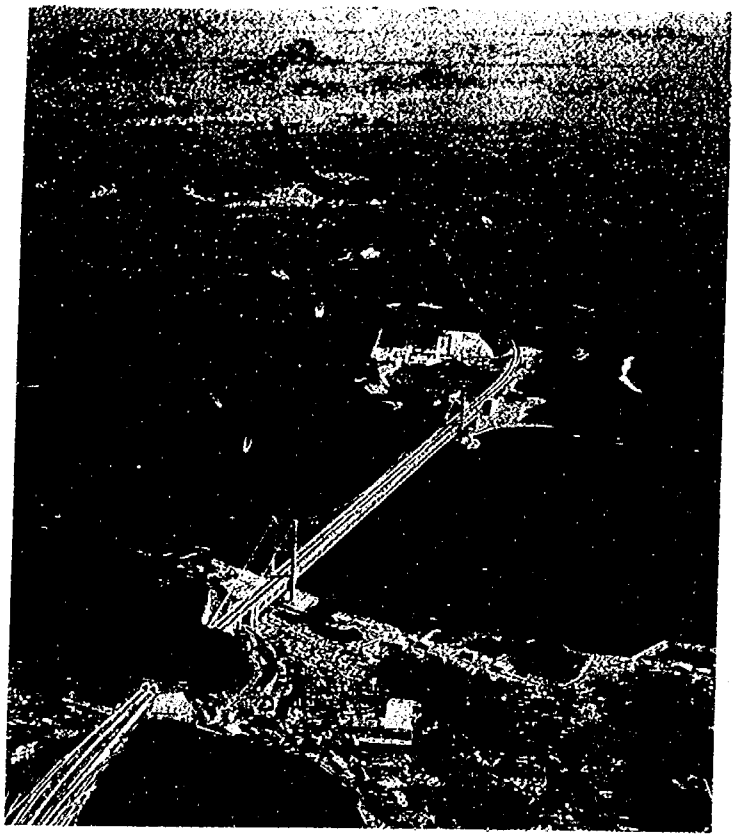
図－3.1.5.2　青函トンネル縦断面図

（５）本州四国連絡橋

本州四国連絡橋計画は、四国と本州を長大橋群で連結する計画である。予定３ルートのうち、昭和53年（1978年）に起工した児島－坂出ルートは昭和63年（1988年）全線開通している（写真－3.1.5.3参照）。完成した児島－坂出ルートを除く２ルートについては現在建設中であるが、本州四国連絡橋の建設にあたっては、これまでに蓄積された技術の上に地震、台風、潮流への対応を含む自然環境、社会条件に配慮した計画、設計が策定されたのをはじめ、設置ケーソン工法、多柱基礎工法、大ブロック架設、プレハブ平行線ケーブル工法、空中架設ケーブル工法をはじめ多くの新技術や新材料の開発、施工環境に即した施工方法の選択がなされるなど、わが国の技術の総力が結集されている。現在工事中で平成10年（1998年）完成予定の明石海峡大橋はケーブルに180kg/mm^{2}の高張力鋼を用い、スパン長1,990mで世界一の長大橋となる予定である（図－3.1.5.3参照）。



図－3.1.5.3　明石海峡大橋



写真－3.1.5.3　本州四国連絡橋（児島－坂出ルート）

３．１．６　技術の向上と構造物の大型化

この時期の技術の向上を構造物の大型化という観点から考察する。図－3.1.6.1～3.1.6.3は、構造物の代表としてトンネル、橋梁、ダムの大型化の変遷を示したもので、トンネルについてはその延長、橋梁についてはスパン長、ダムについては堤体高を指標としている。

まず、トンネルについては鋼支保工の採用が長大化に大きく寄与している。鋼支保工は昭和28年（1953年）着工の大原トンネルなどに初めて採用されたが、坑内に広い作業スペースが確保できるため、大型施工機械の導入を容易にした。

鋼支保工は昭和35年（1960年）初めて採用されたＨ型鋼により急速に普及したが、圧延技術の向上もその普及に寄与している。

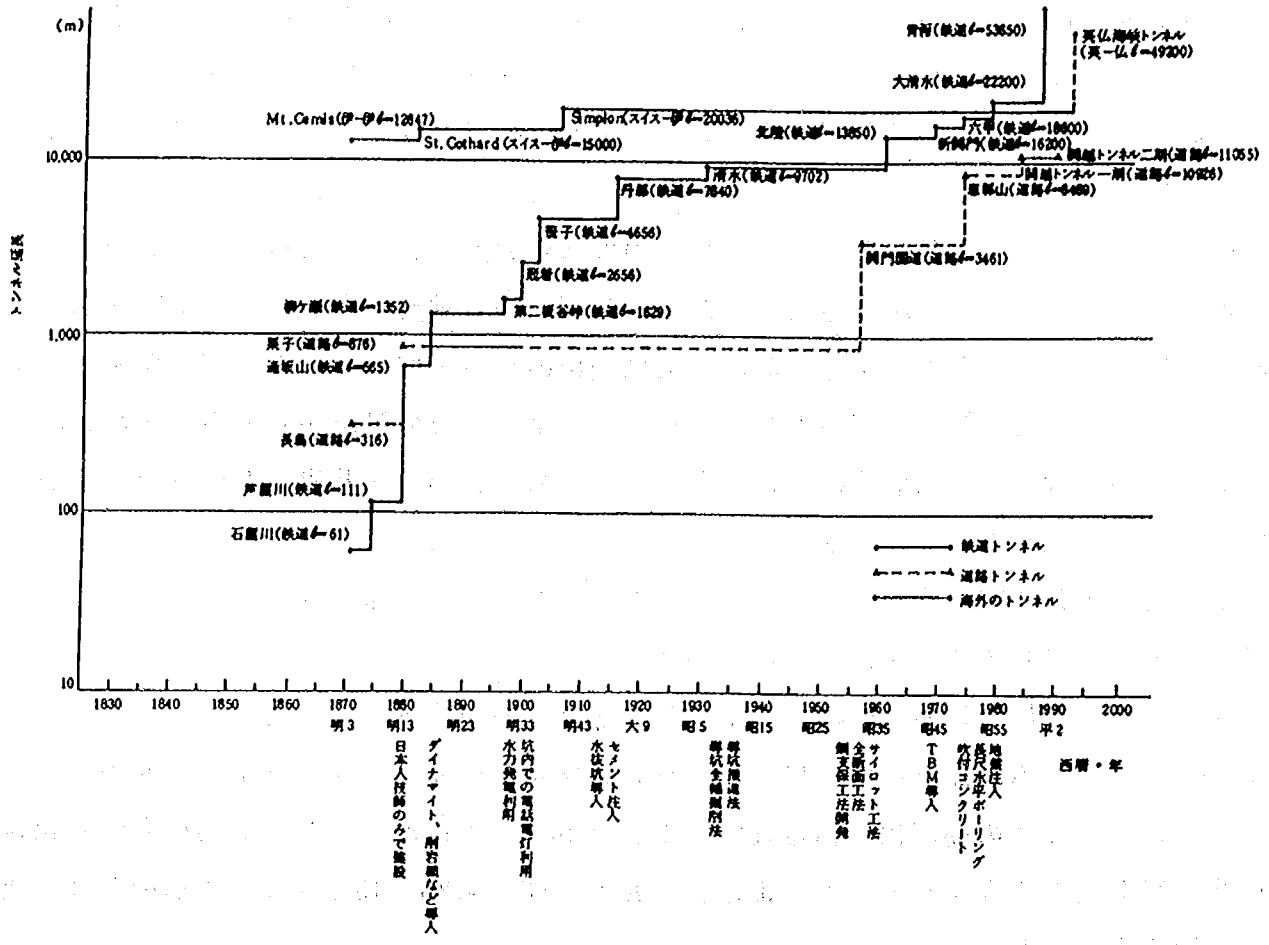
一方、機械化については昭和28年（1953年）着工の佐久間ダムにおいて米国から導入された大型機械によって大幅な工期短縮が図られたが、それを契機にトンネル掘削にも機械化施工が盛んに採用されることになり、長大トンネルへの道を開いた。全断面掘削機は昭和30年代以降、欧米から導入されたが、順次国産化が進み、改良が図られている。昭和50年（1975年）、欧米より導入されたＮＡＴＭ工法（New Austrian Tunneling Method）は上越新幹線中山トンネルに初めて導入され、近年施工例が急増している。この工法はコンピューターの進歩が寄与するところが大きい。世界最長のトンネルである青函トンネルはこ

のような先進的なトンネル掘削技術を駆使したものであり、湧水対策としての薬液注入工法も大きく進歩した。なお、シールド工法は当初水底トンネルや軟弱帯水地盤における特殊工法として採用されてきたが、昭和30年代後半以降（1960年～）はおもに都市におけるトンネル工法として採用され、地下鉄等の建設に大きく寄与している。

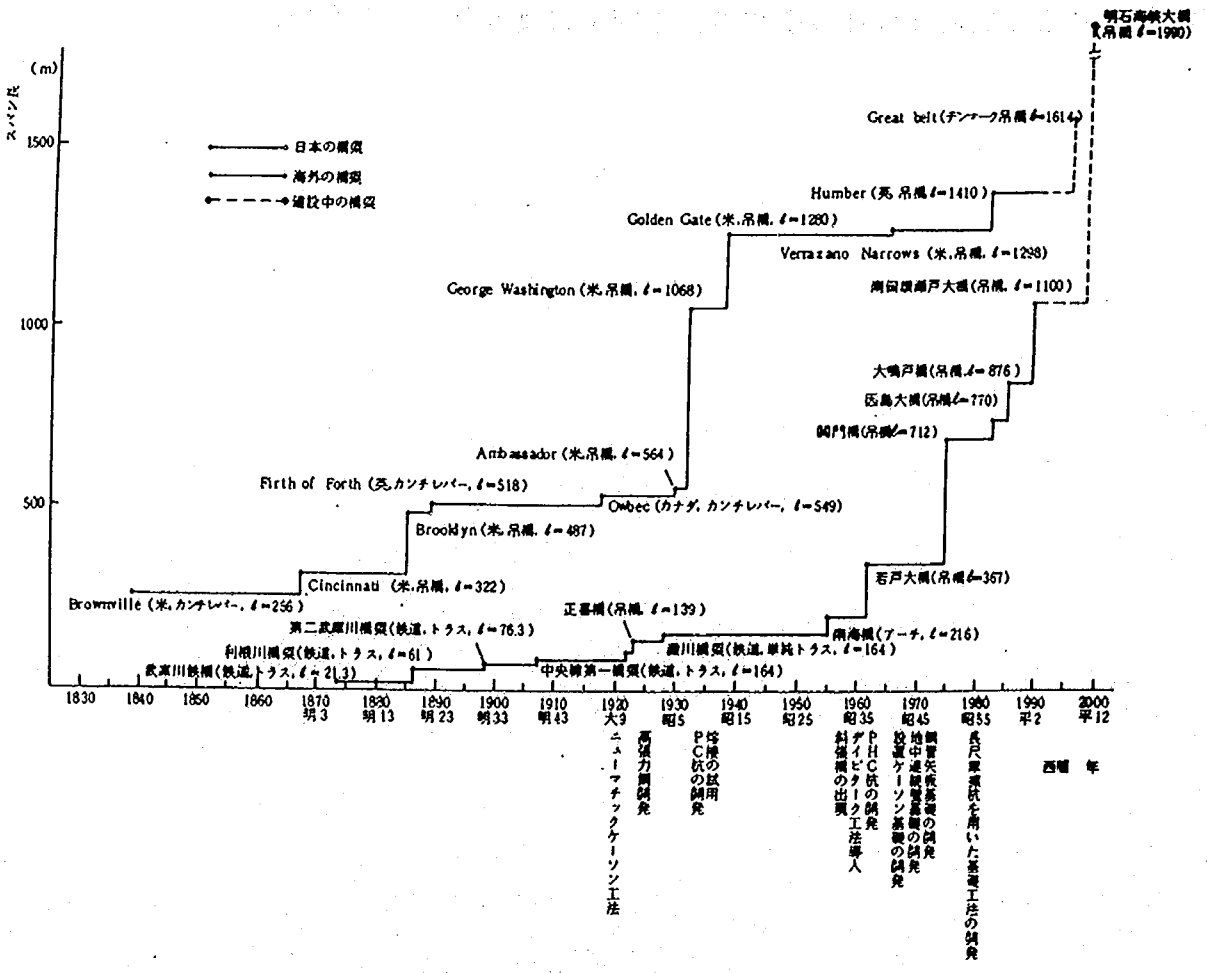
次に橋梁の大型化に最も大きく寄与したのは高張力鋼の開発と溶接技術の発達である。高張力鋼は戦時中ドイツから導入されたが、わが国の製鉄業の発展とともに昭和36年（1961年）には80キロ鋼が国産化された。溶接は鋼橋の発達を促し、高張力鋼の開発、コンピュータによる応力計算の精度向上等とともに長大吊橋実現の足がかりともなった。なお、上部構造の長大化は下部構造の発達によるところも大きい。杭基礎、ケーソン基礎等新しい基礎形式が順次導入され、施工機械の発達に伴って長大橋梁の基礎として耐えうるものとなった。本州四国連絡橋の建設は、設置ケーソン、多柱式基礎等の基礎工法を開発することによってはじめて可能になったといえる。

ダムについては特に施工機械の大型化によるところが大きい。大規模フィルタイプダムである御母衣ダムの建設にはパワーシャベル、ブルドーザー、ダンプトラック等の大型機械を導入し、施工の効率化が図られた。ダンプトラックは32ｔ、45ｔのものも国産化され、性能、耐久性とも向上している。また、ブルドーザーも30～40ｔクラスのものが国産化され、性能も向上している。

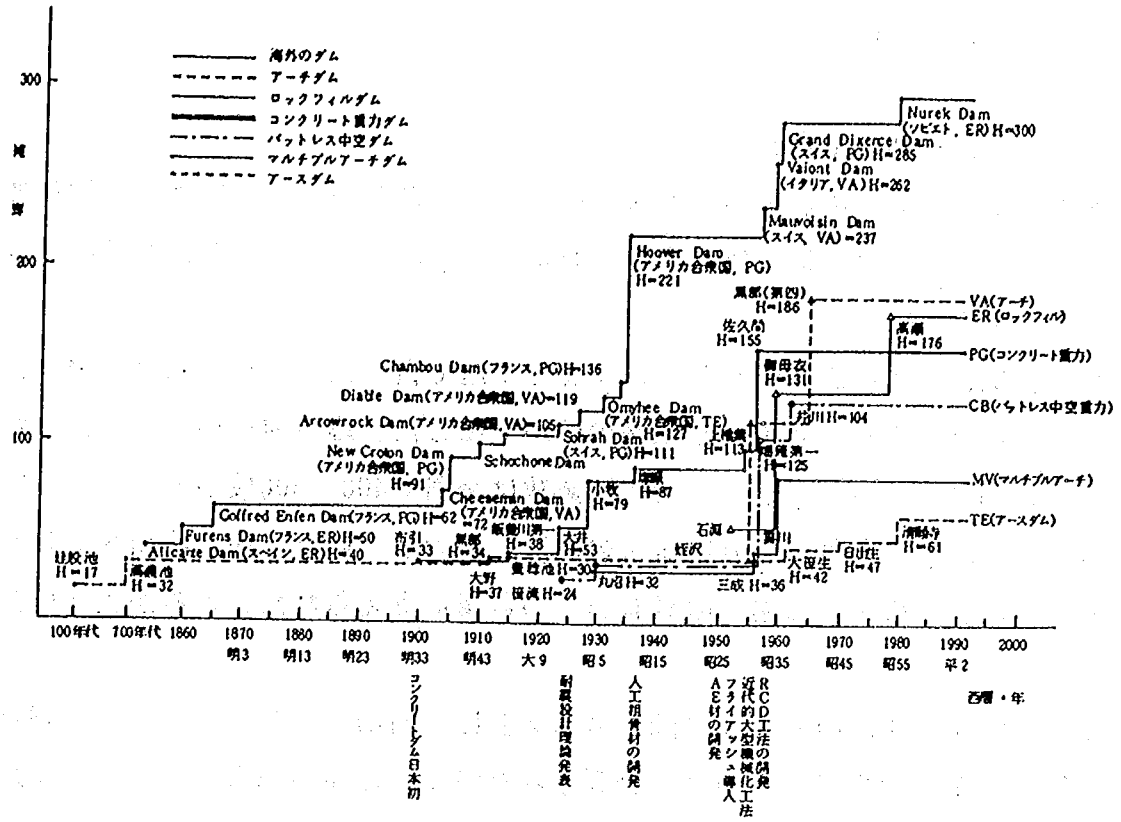
以上のように、構造物の大型化は単に建設技術だけの向上で可能となるのではなく、建設事業をとりまく広範な分野の産業の技術向上に負うところが多い。



図－3.1.6.1　トンネル延長の変遷



図－3.1.6.2　橋梁スパン長の変遷



図－3.1.6.3　ダム堤体高の変遷

３．２　土木教育の推移

３．２．１　明治初期の土木教育

わが国の土木技術の明治以後の急速な発展を支えたひとつの理由は優秀な技術者が育成され、産、官、学の各分野に着実に供給されたことが挙げられる。明治初期の土木教育についてみてみよう。

江戸時代には、庶民は読み書きそろばんを寺子屋で習った。幕末に商品経済・貨幣経済が進展してくるとともに、寺子屋や私塾の数が急激した。維新前夜の動きで揺れた慶応年間（1865～1868年）でも、寺子屋の新規開業数は全国で400～500校が記録されている。

各藩もそれぞれ藩校を設け、若い藩士の教育に注力していた。明治維新後の日本社会の立上りの早さは、このような過去の教育努力の蓄積に支えられたところが大きいと考えられる。

福沢諭吉の文明開化論の聖典「学問ノススメ」は、明治５～９年（1872～1876年）にかけて、初編から第17編までつぎつぎと発刊されたが、その発刊部数は計80万部を越えた。現代のベストセラーの部数に匹敵する数字であるが、当時と今の人口差を考えると驚異的な数字である。教育の蓄積があったからこそ、これだけ広範囲の庶民に受け入れられたともいえる。

過去の遺産の厚さだけでなく、発足早々の明治政府は教育面に力を注いだ。学制の施行された明治５～９年（1872～1876年）までに、小学校数24,947校、児童数2,066,566人、在籍児童数で算定すると就学率38.3%に達したと記録されている。長期欠席児童を差引いても、28.7%であるから、この間に政府が行った並々ならぬ努力がうかがえる。

因みに、義務教育制度の実施を欧米諸国との対比でみると、イギリス1870年、日本1872（明治５年）、フランス1882年、イギリス1918年、ドイツ1919年である。ソフトな社会資本の蓄積ともいえる教育の普及と質の高さが、明治維新を成功に導いた重要な因子であることは明白である。

次に、高等教育を東京の例でみると、幕府の教育機関であった開成所・医学所は明治に入って開成学校→大学南校、医学校→大学東校となり、両校を基礎として明治10年（1877年）東京大学が創立された。当時、法・理・文・医の４学部であった。

これより先立って、明治３年（1870年）に設けられた工部省は、外国人技術者、特にイギリス人モレルの提言を取り入れ鉄道・電信・燈台の建設、鉱山・製鉄所の経営拡張を目的とし、高等教育機関として明治４年（1871年）設立した工部大学校（明治10年（1877年）から工学寮を改称）を擁した。工部大学校の卒業生が工部省所管の役所に義務的に就職させられたのに対し、東京大学の方は就職に関する拘束はなかった。

一方、鉄道局は明治10年（1977年）大阪停車場構内に工技生養成所を設け、旧制中学程度の学生を選抜し、数学、力学、測量、製図、土木工学、機械工学、鉄道運輸の基本など

を教え、中堅技術者の養成に努めた。工技生養成所は明治15年（1982年）に閉鎖したが、この卒業生が明治の鉄道建設にのこした功績はきわめて大である。例えば、明治の鉄道橋の計画と設計のすべてに関与したといわれる古川晴一は、工技生養成所最後の卒業生である。

土木関係の教育機関の管轄は、明治初期三つの系統に分れていたが、明治18～28年（1885～1895年）に順次文部省の所管に統一された。その年譜を追うと、次のようである。

①文部省

明治７年（1874年）：開成学校を東京開成学校と改称。法・化・工・鉱・諸芸の５学科を有した。

10年（1877年）：東京開成学校と東京医学校を合併して、４年制の東京大学とした。
明治11～18年（1878～1885年）の間の同校の工業系卒業生の全数は58名、うち土木科卒業生は計30名。

30年（1897年）：工学系部門を東京帝国大学工科大学と改称。

②工部省（明治３年～18年；1870年～1885年）

明治４年（1871年）：工学寮開設。

10年（1877年）：工学寮を工部大学校と改称。事実上の工科大学で土木に重点をおき、６年制（予科２年、専門４年）。
明治12～18年（1879～1885年）の卒業生全数は計211名、うち土木科卒業生は計45名。

18年（1885年）：工部省廃止。文部省所管となる。

19年（1886年）：東京大学に吸収されて、帝国大学工科大学となる。

③北海道開拓使（明治18年（1885年）北海道庁）

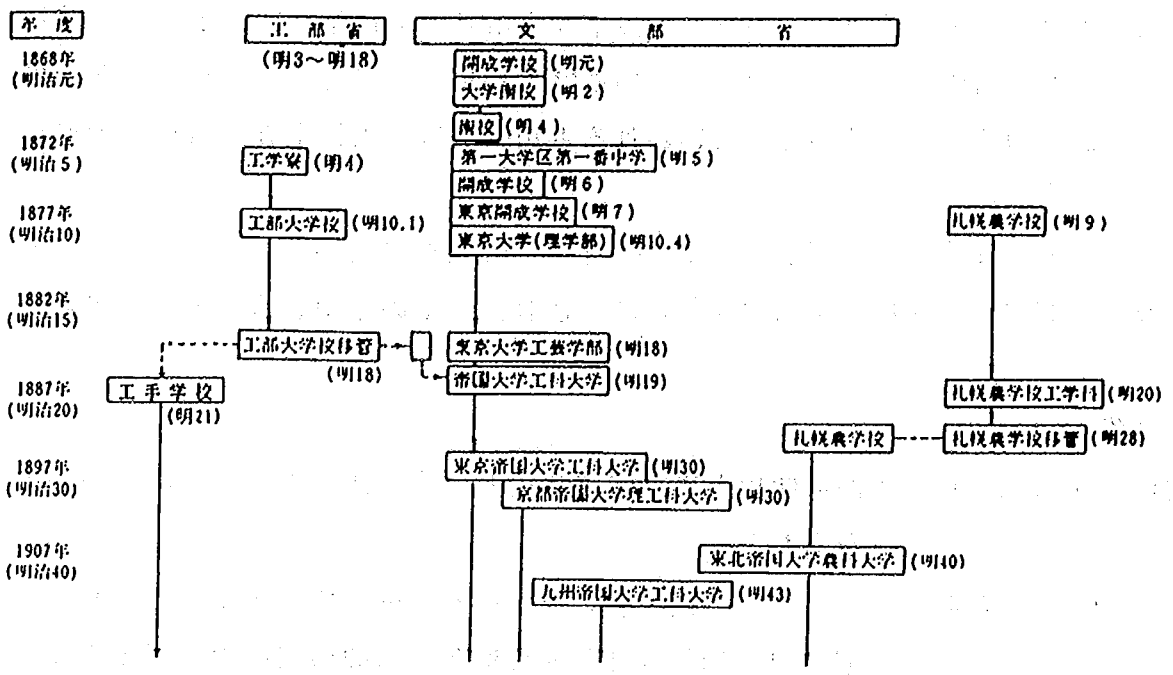
明治５年（1872年）：東京に開拓使仮学校設立。

９年（1876年）：札幌農学校となる。４年制の農科大学。

20年（1887年）：工学科を設置。

28年（1895年）：文部省所管となる。

図－3.2.1は明治時期前半における高等土木教育機関の変遷をとりまとめたものである。



図－3.2.1　高等土木教育機関名の変遷とその所管官庁

これら３系統の土木関連教育機関のお雇い外国人の概要を国籍と離日年でみると次のようである（氏名省略）。

①東京大学（開成学校、帝国大学を含む）

アメリカ人計４名。明治７年（1874年）、明治15年（1882年）、明治16年（1883年）、明治19年（1886年）離日。他にイギリス人１名。明治32年（1899年）離日。

②工部大学校（工学寮を含む）

すべてイギリス人で計７名。明治11年（1878年）、明治12年（1879年）、明治15年（1882年）、明治19年（1886年）、明治28年（1895年）、明治32年（1899年）、明治41年（1908年）それぞれ離日。

③札幌農学校

すべてアメリカ人で計５名。明治10年（1877年）、明治12年（1879年）、明治14年（1881年）、明治16年（1883年）それぞれ離日。

上記をみると、学校別に国籍がほぼ統一されていること、1880年代に過半が離日していることがわかる。当初、これらの学校の教師にはほとんどが外国人技術者があたり、授業はすべて英語で行われた。そのため、現場で下級技術者を使う時英語による技術用語が大

きな障害となった。文部省は明治17年（1884年）は東京大学に対して英語による授業を廃止し、邦語を用いることとする通達を出した。これは学生の負担を著しく減少し、専門科目の修得に多くの時間がふり向けられるとともに、技術教育を一般化する上で大きな意義があった。日本語で教授された内容は次第に下級技術者に伝えられ、外国技術からの自立が促進された。時期的に上記の外人教授の引上げの時期と日本語移行時期との関連性が認められる。

土木工学科を有する大学の創立を要約すると次のようである。

明治14年（1881年）：東京職工学校創立。明治23年（1890年）東京工業学校と改称。明治34年（1901年）東京高等工業高校と改称。大正３年（1914年）蔵前から大岡山に移転。昭和４年（1929年）大学に昇格して東京工業大学。昭和39年（1964年）土木工学科設立。

19年（1886年）：帝国大学創立。明治30年（1897年）東京帝国大学と改称。

30年（1897年）：京都帝国大学創立。

43年（1910年）：九州帝国大学創立。

大正13年（1924年）：北海道帝国大学創立。

昭和３年（1928年）：日本大学に土木工学科設立。

14年（1939年）：藤原工業大学創立。昭和19年（1944年）慶応義塾大学工学部となる。

15年（1940年）：名古屋帝国大学理工学部創立。昭和36年（1961年）土木工学科設立。

17年（1942年）：東京帝国大学第二工学部創立。

17年（1942年）：興亜工業大学創立。後に千葉工業大学となる。

18年（1943年）：大阪理工科大学創立。後に近畿大学となる。昭和24年（1949年）土木工学科設置。

18年（1943年）：早稲田大学土木工学科設置。

明治期の技術工への初等教育は専ら官営企業内において行われた。明治期の初等教育機関として最も注目されるのは明治21年（1888年）に工部大学校の卒業生が中心となって設置した工手学校（現在の工学院大）である。工手学校は技師の下につくべき工手の養成を目的とした機関で、土木、機械など8学科を有していた。工手学校の設立は工業教育が高等段階から初等段階まで拡大されたことを意味し、教育史的意義も高い。

３．２．２　戦後の土木教育

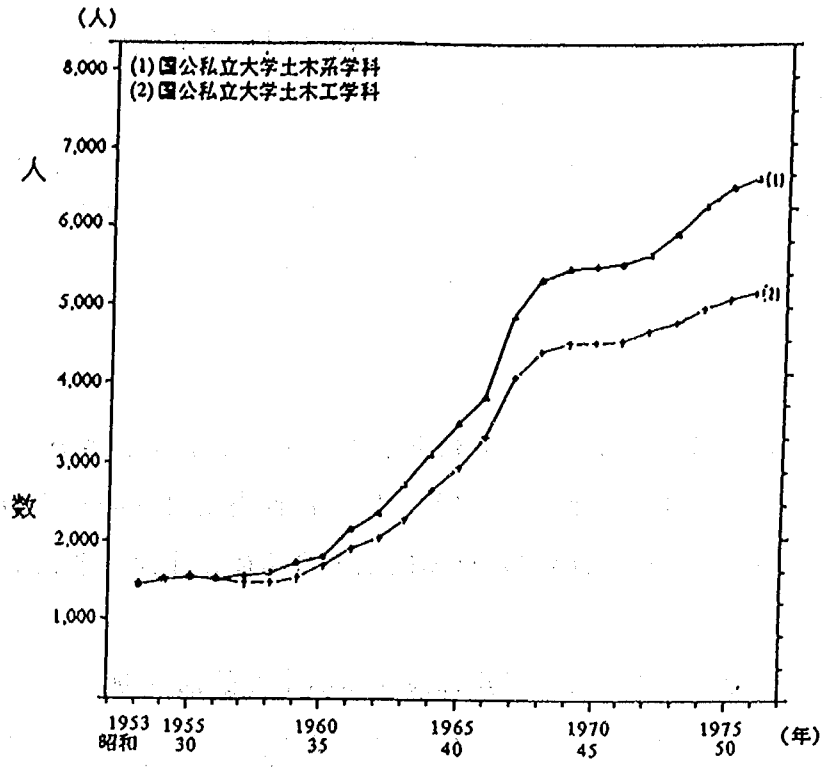
第二次世界大戦後、わが国は連合国軍総司令部（ＧＨＱ）の指導の下に教育機関の門戸開放や機会均等を目指して教育機関の再編を行った。昭和24年（1949年）には同年に公布された国立学校設置法に基づいて国立大学が設置された。翌25年（1950年）には短期大学制度が発足した。現在100校の国立大学のうち49校で、また公私立大学の61校で土木関係教育がなされている。

新制高等学校が昭和23年（1948年）に発足すると同時に、旧制工業学校は工業高等学校として組み込まれた。昭和26年（1951年）の学習指導要領の改訂により、工業教育の目標は、工業発展の基盤となるべき中堅技術者の養成、そのために必要な技能、知識、態度の養成に置かれた。その後、時代の要請に応じて教育内容を修正しつつ、現在に至っている。

昭和30年代の急速な経済成長により工業関係の人材要請が大きな課題となり、昭和37年（1962年）、高校３年と大学の２年を合わせた５年制の技術者養成機関として工業高等専門学校が設置された。現在国立の工業高等専門学校は54校設置されており、うち25校に土木関係学科が置かれている。

昭和40年代（1965～1974年）になって高度成長のひずみが表出しはじめた。こういった反省から土木教育の分野においても多様化の動きが見られ、衛生工学、都市工学、交通工学を扱う学科が大学に次々と新設された。図－3.2.2は土木系大学入学定員数の経年変化を示したものである。図中、国公私立大学土木工学科とは国公私立大学に属する土木工学科の名称を有する学科であり、国公私立大学土木系学科とは土木工学に加え、土木工学に関係の深い学科、例えば衛生工学科、都市工学科、交通工学科、建設工学科、環境工学科等を含んだものである。したがって両者の差は土木工学科を除く土木系学科を表している。この図によれば、土木工学科の学生定員は昭和35年（1960年）から昭和45年（1970年）にかけての高度成長期に急激に増加し約３倍となっていること、公害や都市問題等の社会問題が表出した昭和40年代（1965～1974年）に土木関連学科が急増していることがわかる。

総じてわが国においては時代が必要とする分野の技術を修めた人材が安定して供給されており、こうした事情もわが国の土木技術の飛躍的な発展を支えてきたといえよう。



図－3.2.2　土木系大学入学定員数

（出典：石田真一、近藤勉「官公庁の採用状況」）

３．３　社会資本整備に関わる法制度等の整備

わが国の経済発展の原動力となった社会資本整備を国家的事業として円滑に実施するにあたって、法制の整備とそれに基づく開発計画が極めて重要な役割を果たした。本節では社会資本投資にかかわる法財政、整備計画等について述べる。まず、河川、道路、港湾、鉄道の各事業分野の法制度について述べ、つづいて有料道路制度等の社会資本整備の財源確保のための法制度、最後に研究開発を推進するシステム・制度について述べる。

３．３．１　河川事業分野

河川における主な法制を表－3.3.1.1に列挙する。法制化が最も早かったのは治水部門においてである。前述した通りわが国の河川対策は明治期当初舟運のための低水工事を目的として実施され、洪水対策のための高水事業は地方自治体にまかされた。そのため治水対

表－3.3.1.1　河川に関する法令と整備計画

年　代	法　令	計　画
明治29年(1896)	「河川法」公布	
〃	淀川等特定河川改修費追加予算成立	
明治30年(1897)	「砂防法」制定	
明治43年(1910)		第１次治水計画
〃	治水費資金特別会計設置	
大正10年(1921)		第２次治水計画
昭和 7年(1932)	時局匡救事業追加予算を計上	
昭和 8年(1933)		第３次治水計画
昭和12年(1937)	中小河川改修補助事業制度化	
〃	河水調査統制委員会設置	
昭和24年(1938)	「水防法」制定	
昭和25年(1950)	「国土総合開発法」制定	
昭和27年(1952)	「電源開発促進法」制定	
昭和28年(1953)	治山治水対策協議会設置	
〃	「治山治水特別会計法」決定	
昭和31年(1956)	「海岸法」制定	
昭和32年(1957)	「特定多目的ダム法」制定	
昭和33年(1958)	汚濁対策事業の補助制度の制定	
昭和36年(1961)	「災害対策基本法」制定	治水事業10カ年計画閣議決定（昭和35～40年度）
〃	「水資源開発促進法」制定	
〃	「水資源開発公団法」制定	
昭和39年(1964)	「新河川法」制定	
昭和40年(1965)		新河川５カ年計画閣議決定（昭和40～44年）
昭和48年(1973)	「水源地域対策特別措置法」制定	
昭和51年(1976)	「河川管理施設等構造令」制定	
平成 4年(1992)		第８次治水事業５カ年計画閣議決定

策費は自治体の財政を圧迫することとなり、その結果高水対策は放置され、さらに洪水が頻発する結果となった。そこで政府は明治29年（1896年）河川法を制定し、国が直轄で国内10大河川について一定計画に基づく高水工事を行うこととなった。明治43年（1910年）の大洪水を契機として第１次治水計画が打ち出され計画的治水事業が開始された。

第１次治水計画は18年の長期にわたるものであったが計画通りの予算が計上されたのは当初の三年間のみであり、その後は財政難のため計画は縮小された。以後大正10年（1921年）、昭和８年（1933年）にそれぞれ第２次、第３次治水計画が立案されたが、いずれも戦争による軍事費の拡大から計画は停滞ないし縮小され終戦を迎えた。

また、治水計画とは別に昭和７年（1932年）に当時の世界恐慌に際して時局匡救事業予算が策定され失業者が蔓延していた農村を中心に河川改修事業が実施されたが、これも軍事費による圧迫のため昭和９年（1934年）で中止された。

第二次世界大戦後、戦時中治水事業が全くなおざりにされたことにより数度にわたって大洪水に見舞われた。そこで、昭和25年（1950年）国土総合開発法が制定された。また、復興しはじめた鉱工業生産のため昭和27年（1952年）電源開発促進法が制定され、多くの多目的ダムが建設されるようになった。

昭和35年（1960年）、長期計画の法的、財政的裏付けを確保する治山治水緊急措置法、および治水特別会計法が制定され、これに基づく新たな治水事業10ヶ年計画（昭和35～44年度）が策定され実施に移された。ところが事業実施中の昭和36年（1961年）、全国各地が集中豪雨に見舞われ、大幅な繰上実施及び新規事業の追加が必要であるとの認識にいたった。そのため昭和39年全国の河川を広域的に管理開発するための「新河川法」が成立し、新治水事業５ヶ年計画（昭和40～44年度）が策定された。以後、河川整備は５ケ年計画に沿って進められることになる。

平成４年度には第８次治水事業５ケ年計画がスタートした。この計画では、時代の要請を反映し、安全な社会基盤の形成、水と緑豊かな生活環境の創造、超過洪水及び異常渇水に備える管理施策の展開などが基本方向とされている。また、総合的な治水対策事業、スーパー堤防の整備事業、水資源対策・河川総合開発事業、総合的な土砂災害対策、火山噴火対策、水系環境等の整備事業、河川管理事業、海洋開発事業などを実施している。

３．３．２　道路事業分野

道路における主な法制を表－3.3.2.1に列挙する。わが国における最初の道路法が制定されたのは大正８年（1919年）である。河川分野よりも法の整備が遅れた原因としては、明治期が鉄道輸送網の整備に主眼が置かれた時代であること、自動車台数そのものが少なかったことなどを挙げることができる。

第一次世界大戦期には、好景気により市街地での輸送力の増強が要請されたほか、関東大震災による東京の復興にあたって道路の未整備が災害を大きくしたことが明らかになっ

表－3.3.2.1　道路に関する法令と計画

年　代	法　令	計　画
明治 2年(1869)	関所の廃止	
明治 4年(1871)	「治水・修路・架橋等運輸の便を興す者に税金取立法許可に関する件」を布告（太政官布告）	
明治 6年(1873)	「河港道路修築規則」	
明治 9年(1876)	太政官達 （国・県・里道の３区分）	
大正 8年(1919)	「道路構造令」	
大正 9年(1920)	「道路法」公布	第１次道路改良計画 （大正９年度以降30ヶ年）
〃	「道路公債法」公布	
大正11年(1922)	「道路法」一部改正	
昭和 4年(1929)		産業道路改良計画 （昭和４年度以降10ヶ年）
昭和 6年(1931)	失業救済道路改良事業	
昭和 7年(1932)		産業振興道路改良５ヶ年計画 （昭和７年度以降５ヶ年）
昭和 8年(1933)	時局匡救道路改良事業	第２次道路改良計画策定 （昭和９年度以降20ヶ年）
昭和11年(1936)	国道改良継続費創設	
昭和12年(1937)		産業伸長道路改良5ヶ年計画 （昭和12年度以降５ヶ年）
昭和15年(1940)		道路舗装計画 （昭和15年度および16年度）
昭和27年(1952)	「新道路法」制定	
〃	「有料道路制度」発足	
昭和28年(1953)	「道路整備の財源等に関する臨時措置法」制定	
昭和29年(1954)		第１次道路整備５カ年計画策定
昭和31年(1956)	「日本道路公団法」制定	
〃	「道路整備特別措置法」制定	
昭和32年(1957)	「国土開発幹線自動車道建設法」制定	
〃	「高速自動車国道法」制定	
昭和33年(1958)	「道路整備緊急措置法」制定	
〃	「道路整備特別会計法」制定	
昭和34年(1959)	「首都高速道路公団法」制定	
昭和37年(1962)	「阪神高速道路公団法」制定	
昭和41年(1966)	「交通安全施設等整備事業に関する緊急措置法」制定	
	「国土開発幹線自動車道建設法」制定	
昭和45年(1970)	「交通安全対策基本法」制定	
〃	「本州四国連絡橋公団法」制定	
昭和61年(1986)	「東京湾横断道路の建設に関する特別措置法」制定	
平成 4年(1992)		第11次道路整備５ヵ年計画閣議決定（平成５年度より）

たこと、また不通となった鉄道に代わり自動車輸送が災害復旧に大きく役だったことから道路の整備の重要性が認識され、道路投資は河川投資を上回るに至った。

大正８年（1919年）の道路法制定に伴い、大正９年（1920年）に第１次道路改良計画（30カ年計画）、昭和９年（1934年）に第２次道路改良計画（20カ年計画）が立てられた。これらの計画は、わが国初の道路整備事業に対する国家的取り組みとして意義深い。しかし、これらの計画の予算は継続費ではなく、第一次大戦後の不況のあおりを受けて大幅に削減された。昭和６年（1931年）から10年（1935年）にかけては時局匡救政策として道路事業費は一時的に増額されたが、これは本質的に意味ある道路事業費増とは言い難いものである。その後次々と道路整備計画が立案されたが、軍事費の圧迫等によりいづれも計画未達成に終わっている。しかしながら、道路法の制定は、道路、道路付属物の定義、管理、罰則等を規定し、道路の区分を行い、その後のわが国の道路行政の根幹をなすこととなった。

わが国が本格的な道路整備に乗り出したのは戦後になってからである。昭和27年（1952年）、道路法の全面改正が行なわれるとともに、同年道路整備特別措置法を制定し、国または地方公共団体が道路を整備するに当り財源不足を補う方法として借入金を用い、完成した道路から通行料を徴収してその返済に充てるという有料道路制度を本格的に採用した。昭和28年（1953年）、道路整備費の財源等に関する臨時措置法が制定され、揮発油税の特定財源化等が規定されたのを契機に、昭和29年（1954）、第１次道路整備５ケ年計画が発足した。昭和33年（1958年）、道路整備緊急措置法が制定され、第２次以降の道路整備５ケ年計画および特定財源制度を根拠づけた。以後、わが国の道路事業は道路特定財源制度と有料道路制度による継続的な財源確保のもとに進められることとなり、現在、第11次道路整備５ケ年計画が動いている。

わが国の高速道路整備は、昭和32年（1957年）、国土開発縦貫自動車道建設法および高速自動車国道法の制定に始まる。これらの法及び前年改正された道路整備特別措置法に基づき、日本道路公団を実施機関として高速道路整備が進められることになった。また、都市高速道路の整備のため昭和34年（1959年）には首都高速道路公団が、昭和37年（1962年）には阪神高速道路公団が設立され、本州四国連絡道路整備のために昭和45年（1970年）に本州四国連絡橋公団が設立された。昭和41年（1966年）には国土開発縦貫自動車道建設法および個別の建設法を統合し、国土開発幹線自動車道建設法が制定された。昭和62年（1987年）には多極分散型の国土形成を目指し、高規格幹線道路網計画（予定路線11,520km）が策定された。平成３年（1991年）には、昭和63年（1988年）の道路審議会の答申を踏まえ、新たに基本計画1,013km、整備計画892km及び開発インターチェンジ方式による14ケ所の追加インターチェンジの整備計画が策定され現在に至っている。平成22年（2010年）までには14,000kmの高規格幹線道路の完成が予定されている。

昭和40年代（1965～1974年）ころより交通事故の多発が問題になり、それを受けて昭和

41年に交通安全施設等整備事業に関する緊急措置法が制定され、これに基づき交通安全施設等整備事業５ケ年計画が実施されている。

３．３．３　港湾事業分野

港湾における主な法制を表－3.3.3.1に列挙する。わが国で初めて体系的に港湾事業を推し進めるための港湾法が成立したのは昭和25年（1950年）である。河川、道路分野よりも法の整備が遅れたのは、鉄道および道路等内陸交通が優先され港湾は後回しにされた経緯があるからである。港湾法は港湾管理を地方自治体を中心とする港湾管理組合に一元化し、大規模港湾工事は国の直接施工となった。昭和28年（1953年）には港湾整備促進法が制定され、荷役、曳船など港湾設備に対しても国の援助が行われることとなった。

朝鮮戦争による特需を経てわが国経済の重化学工業化が進められると、鉄鋼石、石油、石炭など原材料を海外から大量かつ迅速に荷揚げするための港湾の整備が急務となった。そのため、政府は昭和36年（1961年）港湾整備緊急措置法を制定し、同年を初年度とする第１次港湾整備５箇年計画が港湾としては初めて法律に基づく計画として策定され、実施に移された。現在、第８次港湾整備５ケ年計画を推進中であり、平成３年（1991年）には

表－3.3.3.1　港湾に関する法令と計画

年　代	法　令	計　画
明治 4年12月 (1875)	道路橋梁河川港湾等の通行銭徴収に関する太政官布告公布	
明治 6年(1873)	「河港道路修築規則」制定	
明治30年(1897)	特別立法（国の保有する港湾技術者集団と機会設備の効率的転用と積極的活用をはかった）	
明治40年(1907)		重要港湾の選定および施設の方針議決
昭和18年(1943)		運輸省設置（港湾行政の統合）
昭和25年(1950)	「港湾法」制定	
昭和28年(1953)	「港湾整備促進法」制定	
昭和31年(1956)	「海岸法」制定	
昭和34年(1959)	「特定港湾施設整備特別措置法」制定	
昭和36年(1961)	「港湾整備緊急措置法」制定	
〃	「港湾整備特別会計法」制定	
昭和37年(1962)		第１次港湾整備５カ年計画閣議決定（昭和36年度より）
平成 3年(1991)		第８次港湾整備５カ年計画閣議決定
〃	「港湾整備緊急措置法」改正	
〃		第５次海岸事業５カ年計画閣議決定

これに伴う港湾整備緊急措置法の改正が行なわれた。

3．3．4　鉄道事業分野

鉄道における主な法制を表－3.3.4.1に列挙する。わが国最初の鉄道は明治５年（1882年）に開通した新橋－横浜間29kmである。この鉄道は明治２年（1869年）に閣議決定された鉄道建設設計案件に基づき建設されたものである。当初鉄道敷設は欧米化のシンボル的な存在であり、具体的な輸送手段としての位置づけはされていなかった。ところが明治10年（1877年）西南の役の際、鉄道の持つ輸送力の威力が明確に認識されたので、強力かつ積極的に鉄道建設が進められることとなった。

表－3.3.4.1　鉄道に関する法制と計画

年　代	法　令	計　画　な　ど
明治 2年(1869)		鉄道建設計画案件の閣議決定
明治25年(1892)	「鉄道敷設法」	
明治33年(1900)		鉄道建設規定
明治39年(1906)	「鉄道国有法」	
明治43年(1910)	「軽便鉄道法」	
大正 8年(1919)	「地方鉄道法」制定	
大正10年(1921)	「鉄道省令」	
〃	「軌道法」制定	
大正12年(1923)	「鉄道敷設法」改正	
昭和 4年(1929)		日本国有鉄道建設規定
昭和23年(1948)	「日本国有鉄道法」公布	
昭和24年(1949)	日本国有鉄道誕生	
昭和26年(1951)	「鉄道敷設法」改正	
昭和32年(1957)		第１次５カ年計画 （昭和32～36年）
昭和34年(1959)		新幹線建設着手
昭和36年(1961)	「踏切改良促進法」制定	第２次５カ年計画 （昭和36～40年）
昭和39年(1964)	「日本鉄道建設公団法」公布	
昭和40年(1965)		第３次長期計画 （昭和40～46年）
昭和44年(1969)		財政再建計画（昭和44～53年）
昭和45年(1970)	「本州四国連絡橋公団法」公布	
〃	「全国新幹線鉄道整備法」公布	
昭和48年(1973)		前再建計画（昭和48～57年）
昭和51年(1976)	「国鉄運賃法の一部改正法案」成立	
昭和56年(1981)		経営改善計画
昭和57年(1982)		分割民営化の方針を打ち出す （臨時調整委員会３次答申）
昭和58年(1983)	「再建臨時措置法」施行	
昭和62年(1987)	国鉄分割民営化	

明治13年（1880年）当時の鉄道開業延長は、まだ158kmに過ぎなく、自らの手による鉄道網早期完成の緊急性と財政難から、明治初年以来の官営・官設方針に一部修正を加え民間資金を導入した幹線鉄道の建設運営を進めることになった。このため最初の民営鉄道には、手厚い助成措置が施された。明治26年（1893年）末には本州の中央部のみが国鉄で結ばれ、他の地域は私鉄路線によってカバーされることとなった。明治34年（1901年）には、開発の遅れている地域で当面私鉄による採算が期待出来ないような地域では国鉄による鉄道建設が始められた。

鉄道開通により、生産コストの低減、労働力の確保が可能となり、わが国の産業の発展に大いに寄与した。

明治39年（1906年）３月に、鉄道開業以来の政府の国有化方針により「国有鉄道法」が公布された。第一次世界大戦が修了し、昭和に入ると大正12年（1923年）公布の「改正鉄道敷設法」により線路は着々と充実し、ほぼ現在の全国的鉄道網の大部分が形成された。

一方、私設鉄道については明治39年（1906年）～40年（1917年）の鉄道国有化により小規模なものだけが残されたが、明治43年（1910年）「軽便鉄道法」、大正８年（1919年）「地方鉄道法」が制定され、政府による保護助成を行ったため、私鉄網は大幅に増加した。また第２次大戦中は運賃の適正化と企業の経営上の安定を目的として「陸上交通事業調整法」が施行され、地方鉄道・軌道の統合等が行われた。

昭和26年（1951年）に鉄道敷設法は改正され、その頃から新線建設が始められるようになった。特に昭和30年代以降になると経済の高度成長に伴う輸送需要の増加に対応して、国鉄では第１次５カ年計画（昭和32～36年:1958～1961）、第２次５カ年計画（昭和36～40年:1961～1965年）、第３次長期計画（昭和40～46年:1965～1971年）を通じて、電化、路線増設・改良、停車場の新設・改良、複線化が行われた。昭和39年（1964年）に完成した東海道新幹線は(東京－大阪)最高時速210km/hの営業運転を行い、都市間旅客輸送における鉄道の重要性を再認識させることとなった。

昭和40年代後半からわが国の国鉄に多くの問題が生じることとなった。それらの問題のほとんどがいわゆる国営による弊害が表面化したものであった。すなわち ①経営の硬直化、②技術開発の停滞、③職員の勤労意欲の減退、④経営赤字の増大などである。そのため政府は国鉄再建計画を立案し、その財政再建計画（昭和44～53年）の中で企業として鉄道の果たすべき役割を重視しながら都市間旅客輸送などの分野への投資に重点を置いた施策がとられるようになった。そして昭和51年第３次全国総合開発計画の中で鉄道では、①東北・上越新幹線の完成をはかる、②整備５新幹線（北海道、東北、北陸、九州新幹線（鹿児島、長崎の２ルート））の順次建設を図る、③中央新幹線の調査を進める、④大都市圏公共輸送機関の拡充、⑤地方では鉄道からバスへ移していくなどの目標が掲げられた。しかしながら国鉄財政の再建は進まず、そのため政府は昭和62年（1987年）国鉄の民営化を断行した。そして北海道、東日本、東海、西日本、四国、九州、貨物の７つの民間鉄道会社

に分割した。また同時に道路の整備により鉄道輸送が不要となった地方の赤字路線を廃止した。

現在、各鉄道会社は企業経営の効率化につとめるとともに、新幹線の350km/h営業運転、自動車やモノレールなどの交通機関と鉄道とを組み合わせた新都市交通システムの整備や営業速度500km/hを目指すリニア高速鉄道の実験線の建設等が進められている。

３．３．５　財源確保のための法制度

社会資本整備に必要とされる財源の調達は、すべての国、いつの時代においても共通の課題である。特にわが国のように第二次世界大戦による壊滅的打撃の中から近代社会に見合うような社会資本の整備を実現するためにはそれなりの法制度やシステムが必要であった。ここでは、社会資本の中でも特に重要な位置を占める道路整備の財源確保のための有料道路制度、道路特定財源制度および財政投融資制度について見てみたい。

（１）有料道路制度

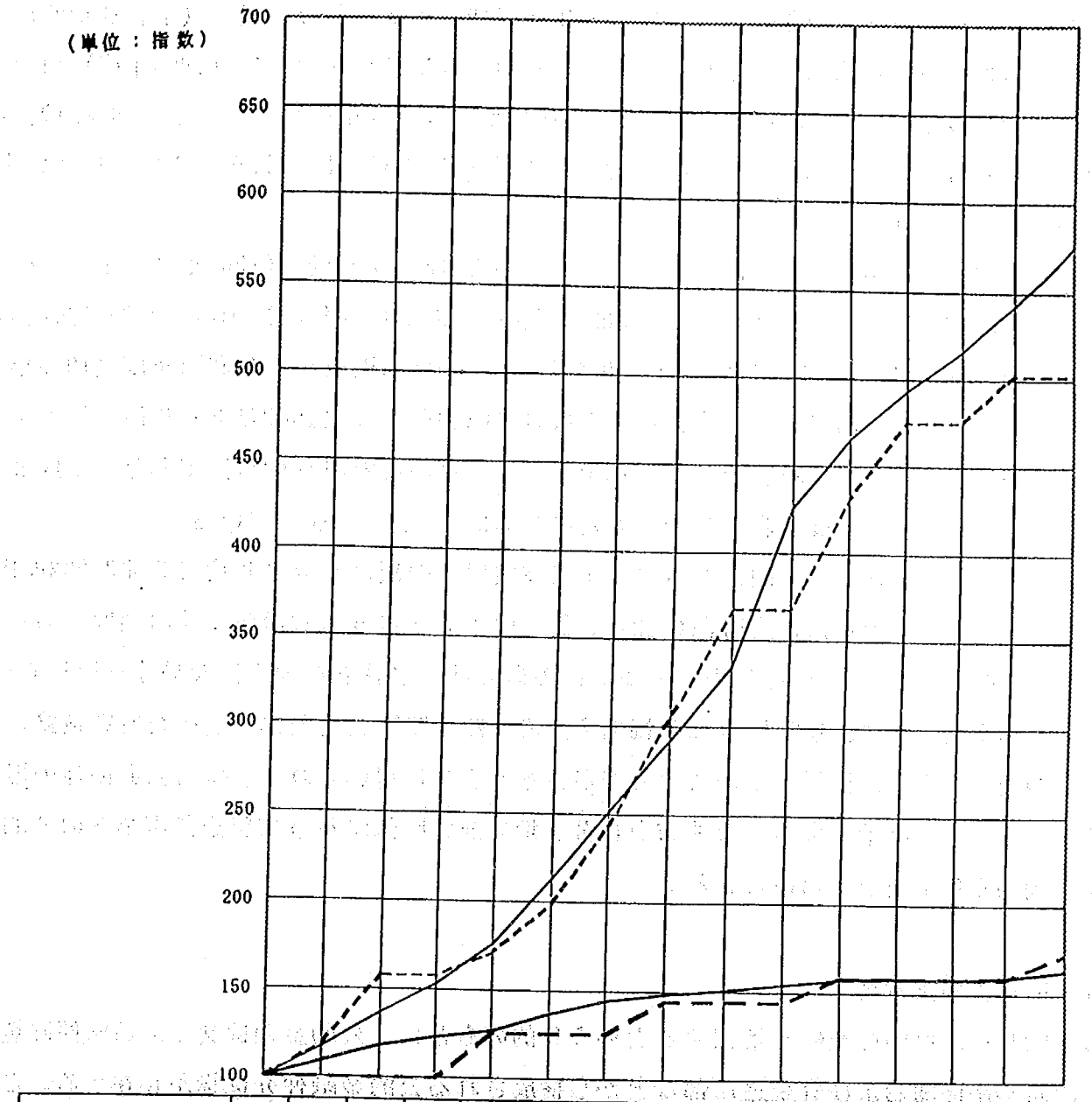
わが国の有料道路制度は昭和27年（1952年）道路整備特別措置法が制定されたことから始まったもので、道路の建設に必要な資本に財政投融資資金を充当し、完成された道路の利用者から通行料金を徴収することによって償還していくことが制度化された。事業主体は国、都道府県および市である道路管理者であった。その後、事業の効率的運営および広く民間資金の活用を図ることを目的として、昭和31年（1956年）日本道路公団が設立されるとともに新たに現行の道路整備特別措置法が制定された。現在、有料道路の事業主体は四公団（日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団、本州四国連絡橋公団）、20の地方自治体、36の地方道路公社、一つの民間会社（東京湾横断道路株式会社）となっている。

有料道路の種類としては、高速自動車国道（主として日本道路公団が事業主体）、都市高速道路（首都高速、阪神高速道路公団および指定都市高速道路公社が事業主体）、一般有料道路、有料橋、有料渡船施設がある。

料金の額の基準としては高速自動車国道、都市高速道路にあっては、①建設費、維持管理費、利息、その他の経費を料金収入により料金徴収期間内に総費用を償い（償還主義）、②公正妥当な（公正妥当主義）額でなければならないとされている。また、一般有料道路および本州四国連絡道路にあっては、上記①の償還主義については同様であるが、③当該道路の通行により通常受ける利益の限度を超えない（便益主義）額でなければならないとされている。また、料金の対象区間については、高速自動車国道、都市高速道路および本州四国連絡道路についてはそれぞれ全国的または地域的に一つの道路網を構成しているので償還についても各路線一本一本として考えるのではなく、網全体としてとらえるほうが合理的と考えられ、そのためプール制が採られている。

昭和28年（1953年）には道路整備費の財源等に関する臨時措置法が制定され、揮発油税の道路特定財源化等がなされ、その後のわが国の道路事業は格段に進展することとなったが、それまでの道路の状態があまりにも貧弱であり、膨大な道路整備のニーズに応えるには財源が不足したため有料道路制が採用されたのである。有料道路事業の運営は財政投融資資金や民間資金等の借入金を建設費等に充当するが、各事業の採算性によって異なるが総合調達金利（資金コスト）を概ね６％前後にするように国費等の公的助成が行われている。高速自動車国道の例では昭和34年（1959年）から政府出資金および利子補給の形で行われてきているが、多い時でも800億円～900億円／年（概して建設費の１割かそれ以下）となっており、少ない国費で社会資本の整備をすすめてきたことが判る。

現在の高速自動車国道の完成延長5,404km、建設中が1,294kmで調達総資金の67％が財投資金、21％が内外の民間資金、国費の補助は５％となっている。図－3.3.5.1に消費者物価と料金の推移を示すが、料金改訂も比較的穏やかであり（特にイタリアの場合と比べるとよく判る）、物価上昇率の範囲内に納っている。現在営業中の路線についても採算の見通しは立っており、現在までのところ有料道路制度による道路整備は成功しているといっても良いであろう。しかしながら、今後各地の横断道路などの不採算プロジェクトの増加の傾向、建設費の高騰や料金改訂に対する種々の批判等を考慮すると、有料道路制度の運営にあたっては慎重な検討が必要であろう。即ち、利用者の理解と信頼を基に、建設管理にかかる経費の一層の節減に努めるほか、公的助成の拡充、償還制度の運用の改善等をすすめ適正な料金水準を確保することが必要とされる。さらに渋滞対策の推進や料金徴収システムの見直し等利用者サービスの向上の必要性も指摘されている。



	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
——イタリア物価	100	117	137	153	176	213	251	292	335	426	465	493	516	542	576
——日本物価	100	109	118	123	127	137	144	148	151	154	157	158	158	159	163
- - - イタリア料金	100	118	158	158	171	198	243	306	368	368	431	475	475	502	502
— — 日本料金	100	100	100	100	125	125	125	144	144	144	158	158	158	158	172

図—3.3.5.1　消費者物価と料金の推移

（出典：武田文夫「有料高速道路30年の成果と今後の課題」）

（2）道路特定財源

戦後、道路整備へのニーズが高まり、道路整備のための新たな制度の確立と、その財源を確保する必要が生じ、昭和27年（1952年）には有料道路制度が確立された。しかしながら、なおも拡大する交通需要に応じきれず、昭和24年（1949年）に揮発油税が復活されると、道路利用者に対し課せられる負担は道路利用者に還元されるべきであるとの観点から欧米諸国の例にもならい、道路整備の財源として揮発油税収等を充てることとなったのである。

国の道路特定財源は、①揮発油税（昭和29年度（1954年度）創設、現在（平成６年度）の課税率（以下同じ）48.6円／㍑）の全額、②石油ガス税（昭和41年度（1966年度）創設、17.5円／kg）の1/2および③自動車重量税（昭和46年度（1971年度）創設、うち80%が道路事業に使われる）の3/4であり、平成６年度（1994年度）予算ではこれら３税の合計は２兆9,924億円となっている。

地方公共団体の道路特定財源は、①地方道路譲与税（昭和30年度（1955年度）創設、揮発油課税率5.2円／㍑）、②石油ガス引取税（昭和41年度（1966年度）創設、石油ガス税の1/2）、③自動車重量譲与税（自動車重量税の1/4）、④軽油引取税（昭和31年度（1956年度）創設、課税率32.1円／㍑）、⑤自動車引取税（昭和43年度（1968年度）創設、課税率は乗用車売買価格の３%、税収の３割が都道府県、７割が市町村へ配分）であり、平成６年度（1994年度）予算ではこれら５税の合計は２兆3,138億円となっている。

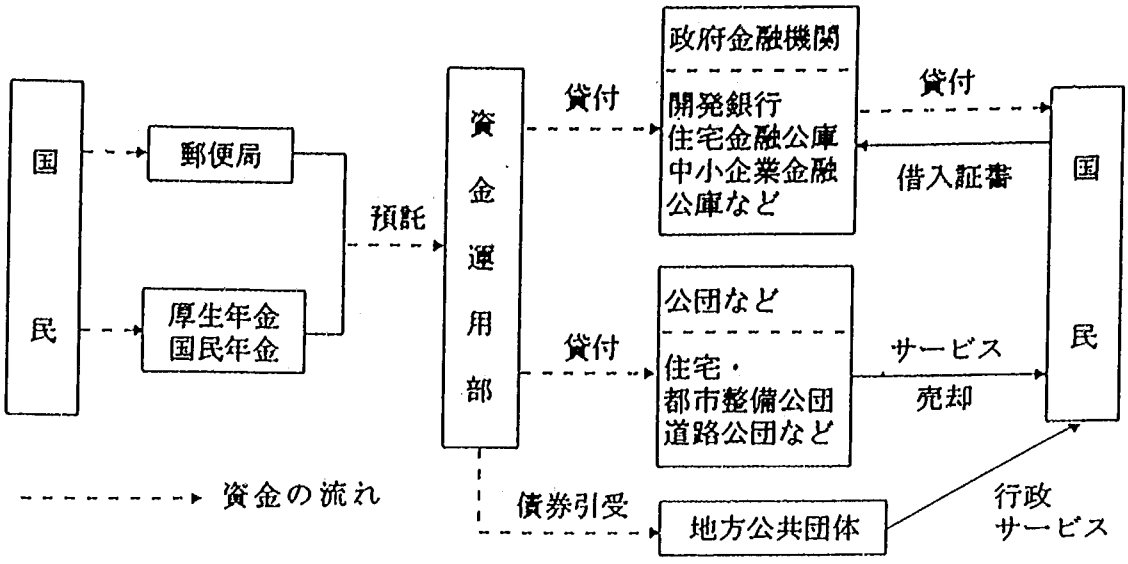
したがって、国と地方公共団体を合せて道路特定財源の額は平成６年度で５兆3,062億円になっている。国分の道路特定財源の額は、例えば平成６年度の建設省全体の国費である総額６兆1,671億円の約48%をしめている。国の財源は、建設省が地方建設局等を通じて実施する直轄事業、県により実施される補助事業の一般道路事業と前節で述べた有料道路に関して四公団、東京湾横断道路株式会社等が行なう事業に用いられる。地方公共団体の財源は直轄事業および補助事業への地方負担分、地方公共団体が行う有料道路事業への公的補助、地方単独事業等に用いられる。

（３）財政投融資制度

わが国には、民間の金融を補完するという目的のもとに、公的金融機関である郵便貯金と、政府金融機関および資金運用部などから構成される公的金融仲介機構が存在する。この政府の金融活動の全体を指して財政投融資という。図－3.3.5.2に財政投融資を通じる公的金融仲介の概要を示す。財政投融資の資金調達源の大部分（約80%）は資金運用部（大蔵省）の資金であり、その資金のうちの約60%は郵便貯金の預託金であり、次に多いものは厚生年金と国民年金の預託金である。郵便貯金や厚生年金、国民年金は一部監督官庁である郵政省や厚生省が自主運用し、大部分は資金運用部に一定の金利（預託金利）で預託される。

調達された資金運用部の資金は原則として、資金運用部の預託金利で政府関係機関と公団および地方公共団体に貸し出され、それらを通じて国民に貸し出されたり、有料道路や住宅が建設され、国民に利用される。国民からの返済や利用料金や売却代金（住宅の場合）で財政投融資は利子を支払い、元本を返済している。

国民の公共サービスの供給を目的とする政府金融機関や公団は、民間の事業のような営利事業とは異なり、景気の好、不況に左右されない安定した資金の確保が重要である。この財政投融資制度はわが国独特のものであるが、各種の社会資本整備をすすめる上で、こ



図—3.3.5.2　財政投融資を通じる公的金融仲介の概要

（出典：岩田規久雄「金融入門」）

の制度の果たしている役割は誠に大きなものがある。有料道路事業でみて見ると、平成４年度（1992年度）までに外部からの資金調達総額約30兆円のうち約20兆円という巨大な額が、この資金による道路債券の引き受けという形で調達されている。この額は借金の借り換え分などを含んでいるが、どれだけの道路資産を生み出したかというと、高速道路だけでも償却前15兆円の営業財産、４兆円弱の建設中資産となっている。これは昭和29年（1954年）から平成３年（1991年）までの道路事業に投資された国費の総額約45兆円の４割以上の額にあたると見られている。

３．３．６　研究開発を推進するシステム・制度等

ここでは、民間の研究開発を促す法制について述べる。

第二次世界大戦以前は、建設省の直営事業を中心として、理論・基礎面の研究開発は土木研究所で、応用技術開発は各事業現場で行なわれてきた。戦後は公共事業の実施量が増加したので、工事の請負化が進み、大手建設企業を中心に研究面の充実がなされ、特に応用技術の開発については各企業の研究所も積極的に取り組んできた。また、建設機械についても、欧米からの機械施工の導入以来、民間企業によるわが国の自然条件等にあった建設機械の研究開発が行なわれてきた。

現在、土木技術の研究開発のうち、応用技術、特に現場の施工技術の開発においては、民間活力に負うところが大きく、これを促した背景として、各種の制度がこれまで創設されている。

まず挙げられるのは研究開発のための費用や税制上の優遇措置である。研究開発に投資した資金等に関して税制上優遇する施策として、試験研究費が過去の最高水準を超えて増加した場合にその増加分の20％を法人税の税額から控除する増加試験研究費の増額控除制

度（昭和42年度（1967年）創設）、先端的基盤技術の研究開発用資産の取得価格の７％相当額を控除する基盤技術研究開発促進税制（昭和60年度（1985年）創設）、さらに中小企業の試験研究費の６％を控除する中小企業技術基盤強化税制（昭和60年度（1985年）創設）があり、科学技術振興関係の税制が活用されている。また、平成元年度（1989年）には、技術開発資金の低利融資や出資を行う日本開発銀行の出融資制度が創設されている。

また、建設省においても民間の研究を促進するための制度が制定されている（表－3.3.6.1参照）。官民共同の技術開発の推進を目指した制度として、総合技術開発プロジェクト、共同研究制度、官民連帯共同研究制度、部外研究員制度などが、民間における技術開発の意欲を高めるための制度として、建設技術評価制度、パイロット事業、技術審査・証明事業が挙げられる。

表－3.3.6.1　建設省における民間の研究開発を推進する制度

制　度　名	内　　容
総合技術開発プロジェクト	建設技術に関する重要な研究課題のうち、特に緊急性が高く、かつその研究開発の対象が多数の領域にわたる課題について、行政部局が計画推進の主体となり、大学・民間等との密接な連携のもとに総合的、組織的に研究開発を実施する制度である（昭和47年度（1972年度）制定）。
共同研究制度	建設省の研究機関がこれ以外の研究機関との共同研究を実施することにより、試験・研究の効率化・合理化を図るとともに、民間企業との間で公益性の高いテーマに関して共同研究を推進するための制度である（昭和55年度（1980年度）制定）。
官民連帯共同研究制度	民間で開発された他分野の技術を建設技術に導入し、また民間の建設技術の開発リスクの低減を図るため、建設省と民間企業との間で研究課題の発掘を行い、重要とみられるものについて官と民が連帯して研究を行なうための制度である（昭和61年度（1986年度）制定）。
部外研究員制度	民間企業等の技術者が建設省の研究機関に一定期間在籍し、研究に取り組むことを可能にした制度である。部外研究員の能力向上はもちろん、先端技術の普及等への貢献等が期待されている（昭和55年度（1980年度）制定）。
建設技術評価制度	民間の研究開発の促進及び建設技術への新技術の導入・活用のために、国が行政ニーズに基づいて決定した開発課題について民間が研究開発を実施し、その結果を建設省が評価、その技術を公表する制度である。（昭和53年度（1988年度）制定）。
建設省技術活用パイロット事業	地方建設局において建設省単独、官民共同もしくは民間企業単独で開発された技術を試行し、その現場適応性、効率性安全性、経済性等を検証するために行なう事業である（昭和62年度（1987年度）制定）。
技術審査・証明事業	民間企業が自主的に開発した建設技術の内容を審査、証明することによって、新技術の迅速かつ適正な導入を図ることを目的とした事業である（昭和62年度（1987年度）制定）。

３．４　土木技術発展の要因

３．１で述べたように、わが国の土木技術の発展は比較的短期間に行なわれ、現在では欧米の先進技術の水準に到達し、あるいはそれを凌駕する水準にある。ここでは、技術発展の顕著であった明治期および第二次世界大戦後の急激な土木技術発展の要因を分析してみる。

明治初期、近代土木技術を有していなかったわが国は、欧米諸国から大勢の外国人技術者を雇い、技術導入を図った。わが国の技術者は彼らから積極的に学び、それらの技術を急速に自分のものにしていった。明治10年代になると外国人技術者の多くはその任期を終え帰国したのであるが、その後の事業が行き詰まることもなく順調に進んだのは以下のような理由が挙げられる。

① 明治期以前、すでにわが国は近代資本主義の形成段階に入りつつあり、封建社会にできあがっていた見事に統制のとれた社会は先進資本主義国の技術と運営システムを受け入れ易い体制にあった。

② 当時の日本人技術者たちは海外から導入した、あるいは留学で学んだ欧米の先進技術をわが国の自然や経済社会条件にあわせて改良するべく多大な努力を費やした。土木工学をいわゆる実学として取り組んだのである。

③ 当時事業の中心に立ったのは、かつて武士階級に属した者たちであった。彼らは立国第一といった考えを教育されており、献身的な努力を惜しまなかった。今でいうナショナリズムである。

④ 外国の技術者を招へいすると同時に、教育基盤の整備を進め、学校を開設するとともにエリートを海外へ留学させ、先進技術を学ばせた。彼らは帰国後、外国人技術者の抜けた穴を埋めることになった。これらは国家政策として完全な技術移転の体制がとられたことを意味している。

明治10年代（1877～1886年）以降は、海外より導入した技術をわが国の自然条件、経済社会条件にあったものに改良する時代であった。設計技術については海外からの導入技術が専ら用いられたが、施工に関しては大人数の作業員が人力で施工する、いわゆる人海戦術が用いられることが多かった。わが国における初の大事業である逢坂山トンネルや琵琶湖疏水事業はこの方法で作られている。

わが国の技術の進展に際し大きな影響を与えたのは、第一次世界大戦による好景気である。これ以前、わが国の経済体質は正貨危機を招き易い状態にあったので、先進国からの建設機械などの輸入には限度があり、十分な基盤づくりができなかったが、この好景気により経済に余裕ができたわが国は欧米の先進機械を積極的に輸入し、加速度的発展をなし

とげた。

第一次世界大戦以後、わが国は軍備増強の時代に入り、社会資本整備に関する技術的進歩はその速度を減じた。その理由は以下のように考えられる。

① 国家予算の多くが軍備増強に用いられたために社会資本整備は見送られ、技術進歩の土壌が与えられなかった。
② 兵器の運搬などの大量輸送のため鉄道偏重の社会資本整備がなされた。
③ 敵国の標的になったり、軍艦の航行や戦闘機の離発着に影響があるとして、橋梁等の大型構造物の建設に制約が加えられた。

明治初期には海外技術の積極的導入とその改良がなされたが、第二次世界大戦後、これと同様の手順による技術導入が再度取られることになる。ただし、今回は政府による積極的導入ではなく連合国軍総司令部（ＧＨＱ）の指導によるものであった。アメリカの大規模機械化施工技術は工事現場風景を一変させ、工期を一気に短縮した。わが国の技術者は機械化施工の必要性を痛感し、わが国の土木技術も機械化施工や近代的科学技術に裏打ちされた技術の道を歩むことになる。

高度成長期には、社会資本投資に膨大な国費が投入され、多くの大規模事業が実施された。これに伴いアメリカの機械化建設技術をはじめとする欧米の先進技術がわが国の自然条件、経済社会条件に合うように修正、改良された。この流れは明治期と同様である。しかし、今回のそれは明治期には比較にならない大きな技術的飛躍を成し遂げることになった。これは、下記に述べるような国家レベルの総合的技術開発政策により、わが国の技術開発に関する潜在的能力が大きく発揮されたためであると考えられる。

① 政府の長期的展望に立った計画的な育成により、民間企業が高度な技術力を有するようになった。また、税制の優遇措置や官民の共同研究等に代表される法制度の整備により、民間の研究機関が増強された。さらには、民間企業のなかでも建設と設計の分化が図られゼネコンの研究所と設計コンサルタントがそれぞれ専門化、高度化されていった。こうした役割分担が進むにつれて、政府の研究機関はより一層基礎的な分野での研究を計画的に推進することができ、新たな技術開発の屋台骨を形成することができた。
② 大規模事業を実施する際、官が主導して、計画・設計の基本指針、仕様を得るため産、官、学より成る技術委員会を発足させ、大学の基礎知識を導入するとともに、土木研究所における基礎、応用研究の実施および施工面における民間企業の技術開発を促した。このような体制を組むことによって、その時代の各分野における技術の総力を結集することが可能となった。

③ 大学への土木工学科および関連学科の設置が進み、大量の技術者の育成がなされたために、事業の増大に直面しても質・量的に十分な対応ができた。

④ 高度経済成長により鉄鋼、重化学、機械等の企業が成長し、土木の分野の技術開発に取り組んだために、土木材料や施工技術の面での技術の発展が加速された。

⑤ 産・官・学いずれの研究機関も事業現場を重視しており、それぞれの研究者に工事現場を経験する機会を与えることが多い。このため、現場に即した合理的・実証的研究が継続的になされてきた。

以上、わが国の土木技術の飛躍的発展の理由を様々に考察してきたが、なかでも産、官、学が広範かつ有機的な連携を保ちつつ、積極的かつ組織的に研究開発に取り組んできた役割は非常に大きいものと考えられる。

3．5　まとめ

第３章の「わが国における社会資本整備技術の発展」をまとめると以下のとおりである。

① わが国の土木技術の発展は明治の近代化以来、現在に至るまで比較的短期間に行われ、現在では欧米の先進技術の水準に到着し、あるいはそれを凌駕する水準にある。その発展過程は次の５つの時期に分けられる。

・外国人技術者の招聘による技術導入時期：明治初期～明治20年頃
（1868年～1887年）

・留学帰りの日本人技術者等による技術改良期：明治10年～明治末期
（1878年～1912年）

・大正初期から昭和初期にかけての低迷期：大正元年～昭和20年（1912年～1945年）

・戦後アメリカをはじめとする欧米諸国からの先進技術の導入期
：昭和20年～昭和40年（1945年～1965年）

・わが国独自技術の発展期：昭和40年以降（1965年～）

② 明治新政府は社会資本整備を急ぐため、破格の高給で、多くのお雇い外国人技術者を招き、近代土木技術の導入を図るとともに日本人技術者への技術移転に務めた。一方、優秀な学生を欧米に留学させ、彼らが帰国するとともに、導入された先進技術はわが国の自然条件や経済社会に合うように改良されていった。

③ 第二次世界大戦後、再び大型機械化施工法に代表される欧米先進技術を積極的に導入したわが国の土木技術は、建設産業の発展、研究開発力の向上はもとよりわが国産業界全体の幅広い成長に支えられて急激に発展した。それらの成果としては新幹線や青函トンネル、本州四国連絡橋などの大プロジェクトの建設がある。

④ 土木技術の発展とともに社会資本整備をすすめるための法制度の整備も適切になされた。河川、道路、鉄道など事業分野毎に、基本法や財源、実施主体に関する法令が、また、長期計画や５カ年計画などが随時、適切に制定された。また、欧米に比べて遅れている社会資本整備を推進するため、わが国独自の財政投融資制度や道路特定財源、有料道路制度等が有効に機能してきたことが判る。また、税制、官民共同研究、評価制度等の民間企業の研究開発を推進する制度も整えられてきた。

⑤ 明治期における顕著な技術発展の要因としては、破格の高給による外国人技術者の招聘、大学の開設等高等工学教育の拡充、優秀な学生の留学生としての派遣など国家政策としての完全な技術移転の体制が取られ、これが成功したためと考えられる。また、当時の日本人技術者は人材に恵まれ、明治日本の国威発揚をめざして国造りの基礎としての社会資本整備に熱心に取り組んだと考えられる。

⑥ 戦後の急激な技術の発展は政府の計画的な育成策や法制度の整備により施工と設計の分化が行われ、それぞれ専門化するとともに、民間企業が高度な技術力や研究能力を蓄

積してきたことが挙げられる。また、各分野の大型プロジェクトの実施にあたり産、官、学の連携により研究開発が一層進み飛躍的に技術が発展した。さらに、大学での土木工学科および関連学科の設置が進み、大量の技術者の育成と供給がなされたので、事業の増大、変化に直面しても質、量とも十分な対応が可能となったことなどが挙げられる。

第４章　鋼橋建設技術の発展

4．1．1　明治期の橋梁　―輸入から国産化へ―

（明治元年～明治45年；1868年～1912年）

日本で初めての鉄の橋は、明治元年（1868年）８月に官営長崎製鉄所で作られたくろがね橋である。慶応から明治に代わったのは同年９月であるから、正しくは慶応４年８月といった方がよいかも知れない。材料の錬鉄は多分輸入品と思われるが、その入手先、日本でどの程度加工したのかなど、詳細は判っていない。二番目の鉄製橋梁は明治２年（1869年）文明開化に湧く横浜に現れた。くろがね橋が板桁橋であるのに対し、横浜の吉田橋は一種のトラス橋であるが、道路橋であることに変わりはない。吉田橋はイギリスから輸入した部材を神奈川の燈台製造局で組立てたものである。

明治５年（1873年）に開通した新橋－横浜間の鉄道には、数多くの鉄道橋があったが、これらはすべて木橋であった。木製の鉄道橋の建設記録は明治30年代（1897～1906年）までである。

一方、明治７年（1876年）に開通した大阪－神戸間の線区、続いて明治９年（1876年）に完成した大阪－京都間の線区には、錬鉄製のトラスや板桁など、鉄製の橋梁が用いられている。何れもイギリスから輸入した部材を、日本で組み立てたものである。

この間に新橋および神戸に鉄道工場の稼働がはじまり、明治10年（1877年）以降の木橋架替のための鉄製橋梁は、これらの官営工場で組立もしくは製作された。

以上はいづれも錬鉄の橋であるが、日本にもごく短いながら鋳鉄橋が架けられた時代があった。明治５年（1872年）に大阪に架けられた道路橋新町橋は、支間27ｍとかなり大きなアーチ橋で、ヨーロッパからの輸入品である。そのほかにも、明治11年（1878年）の東京の弾正橋、明治16～18年（1883～1885年）に兵庫県生野鉱山に架けられたアーチ橋数橋も鋳鉄橋であった。何れも道路橋である。弾正橋の方は深川八幡の横に移設され、八幡橋として現存する。アーチ部材は鋳鉄、下弦材と腹材は錬鉄である。鋳造は鉄道赤羽工場（芝の赤羽橋付近にあった工場）で、材料から加工まで国産の鉄の橋としては第１号である。兵庫県の神子畑橋と羽淵橋も第１号である。兵庫県の神子畑橋と羽淵橋も現存し、今なお自動車交通に供されている。この方は、どこで鋳造されたかは不明である。

前述のように、明治時代の日本の橋梁史は、鉄道橋を主流に展開した。その辺の経緯を「鉄道技術発達史」（1959年、日本国有鉄道）が簡潔な文章で伝えている。その一部を引用すると、次のようである。

「明治11年（1878年）木橋が鉄橋に架替えられた時期に、京浜間高島町橋、阪神間馬田橋、三四ヶ窪橋等が、新橋および神戸の両鉄道工場で製作されたという記録があるが、当時の我国の工業水準からみて、これは英国製の橋梁を、上記の工場で組み立てたものとおもわれる。明治末期迄英国、ドイツ、アメリカから、構桁はほとんど全部、鈑桁は相当量

が輸入されたが、その国別製作工場の判明したものは次の通りである。（21工場名省略）」。

国内においては鈑桁が明治30年（1897年）に初めて汽車会社、三菱長崎造船、川崎造船、石川島造船等に発注製作され、トラスは明治44年（1911年）東海道線桂川（100呎ポニーワーレントラス）を汽車会社が初めて製作し、以後石川島造船、川崎造船等で製作された。

一方、明治19年（1886年）の工学会誌の「荒川鉄橋建築工事報告第二」をみると、次のような記述がある。この橋は日本鉄道が川口付近の荒川上に架けた錬鉄橋で、河流部はポーナルトラス、高水敷部は上路板桁、明治17年（1884年）に開通している。

「本橋ノ主桁ハ英国デルバイ町ハンデサイド商会製鉄所（Andrew Handyside & Co., Britannia Iron Works, Derby）ニ於テ製作セシモノニシテ各桁諸部ヲ小片ニ離断シテ舶送シ到達ノ後架橋地ノ側ニ於テ盡ク其組合ヲナセリ避溢橋桁並本橋ノ桟橋等ハ原鉄ノママ舶到シ新橋鉄道局製作場内ニテ之ヲ構作セリ」

本橋のトラスはイギリスで製作した部材を一旦バラバラの材片にばらして輸入し現地組立、高水敷の板桁と本橋の横桁等は圧延したままの素材を輸入して新橋工場で製作したということである。この年代になると、より容易な部材から鉄桁の国産化が始まっていたわけである。

次に鋼材使用の原点をみてみると、やはり鉄道橋が先鞭をつけている。明治21年（1888年）に架設された天竜川の200フィートトラス（約61.0m）は、弦材に鋼材を用いている。道路橋では、明治23年（1890年）に石狩川に架設されたアメリカ製のトラス橋が最初の鋼橋であり、また隅田川のトラス橋永代橋（明治30年（1897年）完成）が部分的ながら鋼材を使用した橋として古い。いづれも輸入材であるが、鋼材はかなり早くから使用されており、橋梁への適用は欧米諸国に遅れること僅かに10年～20年である。

観点を変えて、明治時代に建設された橋梁の内、鉄（鋼）橋がどの位の比重を占めていたかを、「明治工業史」によって調べると、石造アーチ37%、木橋３%、鉄（鋼）橋19%、吊橋６%、ＰＣ橋５%という内訳である。石橋が多いのは奇異な感を受けるが、これは城の外郭の石造擁壁、また交通障害要因であった見付け解体の際の石材を、いわば廃物利用した結果である。明治末期に建設された日本橋などは例外として、石造アーチは明治前半に集中している。逆に鉄（鋼）橋の建設数は、その過半が明治末期に集中している。

次に橋梁設計の技術習得の原点を探ると、まず鉄道橋の分野では、明治12年（1879年）に京都の鴨川に架けられた径間50フィート（約15.2m）８連の上プレートガーダーの設計を三村周が行ったという記録がもっとも古い。三村周は鉄道局工技生養成所の第一期卒業生で、鉄道省建築師長シャービントン（イギリス人）の指導のもとに設計を行ったものとみられる。

同じく工技生養成所の最後の卒業生である古川晴一が鉄道畑ではこれに続く。古川晴一はシャービントンの後任の建築師長ボーナル（イギリス人、在日期間；明治15～29年（1882～1896年））の指導のもとに設計に習熟し、明治時代全期にかけて、日本の鉄道橋

建設のほとんどすべてに関与したといわれる人物である。

一方、道路橋の方はどうかというと、アメリカ帰りの原口要が東京府技師長として建設を担当した東京の高橋（明治15年（1882年）完成）辺りが、設計を自力で行った原点であろう。これはアメリカ式ピン結合下路トラスで原口要がペンシルベニア鉄道の技師として働いていたときに、日本からの命を受けて、アメリカで設計し、アメリカのメーカーに製作と運搬を発注したものである。隅田川の吾妻橋（明治20年（1887年）完成）も原口要の設計による。

鉄道橋・道路橋とも、お雇い外国人の指導をどの程度受けたか、あるいはイギリスやアメリカの標準設計図にどの程度手を加えたかを考えると「自力設計」の原点を特定することはやや困難であるが、その芽生えが明治10年代（1877～1886年）にあることは確実である。

4．1．2　国産技術の確立（大正元年～昭和20年；1912年～1945年）

外国依存体質からの脱皮は、まず鉄道橋の分野で明治末期（1910年頃）から始まった。特に、それまでは100%輸入に頼っていた鉄道用トラス橋が、明治44年（1911年）に国内メーカーに発注できるようになり、以後急速に国産に移行していった。昭和３年（1928年）に至って、それまでのフィートポンド単位がメートル法に切替えられ、輸入時代の名残りは完成に消滅した。

道路橋にとって、大正期は大きな方向変換の時代であった。要因のひとつは自動車の出現、もうひとつは関東大震災である。

明治末期（1910年頃）に入ってきた自動車は、大正年間の前半（1912～1919年）は全国で数千台に過ぎなかったが、大正９年（1920年）頃に１万台を、大正末期（1925年頃）には３万台を超えた。加えて都市内の幹線道路を走る市電も、明治から大正に入ってから急速に普及していった。この影響をもっとも直接的に受けたのは、道路橋の床版であった。バックルプレート床版は明治後期にすでに導入されてはいたが、大多数の道路橋は木床版であったから、荷重増大による傷みも問題となってきた。

大正12年（1923年）に東京・横浜を襲った関東大震災は、当然橋梁にも甚大な被害をもたらした。鉄道橋の方は橋桁自体が原因で損傷を受けた例は希で、支承や下部工の損壊と、それに伴う橋桁の転落が生じていたが、道路橋の被害は鉄道橋より遙かに広範囲であった。首都東京においてさえ道路橋の６割は木橋であったが、これらの木橋の65%が火災によって消失した。

鋼橋の場合でも木床版が普通であったから、火災被害は免れなかった。隅田川の新大橋はバックルプレート床版であったため、火災を免れ多数の避難者を通して、「御助け橋」と呼ばれたが、永代橋をはじめ隅田川の道路橋のほとんどは木床版を焼失し、使用不能の状態になった。鉄道橋に比較して道路橋が余りに簡便に建設されてきた事実は、大震災で

顕在化することになり、道路橋の遅れを取戻すきっかけとなった。

政府は内務省の外局として復興局を設け、大正13年（1924年）から昭和５年（1930年）に至る７年間に東京に114橋、横浜に35橋、計149橋の近代的道路橋を建設した。鋼材はかなりの量を輸入に頼りながらも、設計・製作・架設はすべて自国技術の所産であった。

４．１．３　国土の復興（昭和20年～30年；1945年～1955年）

敗戦によりそれまでの各界の指導者は退陣し、若手がそれに代わった。最初は多少の混乱を伴ったが、連合軍総司令部（ＧＨＱ）の占領政策のもとすぐに新秩序の構築が始まり、明治維新の際と同じように、再出発へ向けて清新なエネルギーが吹き込まれた。

重工業界にとって、敗戦後の10年は、戦争によって失われた設備の復興の時期でもあった。これは事実上工場設備の全面更新を意味した。皮肉なことに、敗戦によって工場設備を一新し近代化した日本やドイツは、飛躍へ向けての基盤を得、古い設備を温存したアメリカやイギリスに対して、より強い競争力をつけていた。

戦後の鋼橋は、戦前の流れを継ぐことから開始された。ブレースドリブタイドアーチの忠節橋（昭和23年（1948年）、岐阜）は戦前の設計図による工事であり、恵川橋（昭和24年（1949年）、広島）を始めとし約20橋に及ぶ全溶接桁橋も、戦前の流れを伝承するものである（表－4.1.3.1参照）。

しかし、鋼橋の現場溶接の採用は、むしろ一部の特例に終わった。当時の世界の体勢は、『工場は溶接接合、架設現場はリベット接合』の方向を指向しており、日本の鋼橋建設も例外ではなかったのである。

工場製作については、昭和20年代の末期（1950～1954年）に鋼橋の床組が溶接部材に切替えられ、昭和30年代前半（1955～1960年）には、主桁や主構も全面的に溶接部材に移行していった。部材の溶接化は、例えばそれ以前になかった小形の密閉断面の出現のように、部材設計の自由度を上げるとともに、橋梁自重の軽減にも寄与した。

昭和20年代の中頃（1950年頃）を過ぎると、外国とくに当時の西ドイツから新技術の導入が活発に開始された。大阪の神崎橋や東京の塩原橋のような合成桁、東京の中里跨線橋における鋼床版、神奈川の曲線橋白糸橋などは、いづれも昭和20年代末期（1950～1954年）に施工されたものである。格子理論や版理論は、戦前の日本ですでに研究が始まっていたが、これらが実用に供され始めたのもこの時代である。橋梁技術者たちが海外の新理論の原点に取組み、新形式橋梁の建設に情熱を傾注した時代であった。

一方、粗鋼の生産量は、昭和30年（1955年）には戦前の水準を上まわる1,000万ｔの大台に達した。同じく昭和30年（1955年）の鋼橋生産量は５万ｔであった。昭和27年（1952年）にＳＭ４１およびＳＭ４１ＷのＪＩＳが制定され、工場製作の溶接の普及に対応した。高張力鋼は戦前すでに東京の永代橋、清洲橋、旭川の旭橋などの道路橋や、源助架道橋のような鉄道橋に適用された実績をもっていたが、昭和20年代の後半（1950～1954年）に、神

表－4.1.3.1　戦後の全溶接橋梁

架設		名称	種類	径間 M.	重量T.	備考
年代	所在地					
1949	広島県	恵川橋	ゲルバー	11.0+14.0+11.0	50.8	1等橋
1950	山形県	中道橋	鈑桁	20@ 17.9	38.5	2 〃
〃	兵庫県	甲武橋	連続桁	19.2+19.92+22.26 +22.5+22.5	329.7	2 〃
1951	宮崎県	渡川橋	〃	20.0+40.0+200	71.7	2 〃
〃	広島県	新橋	鈑桁	4@ 20.8	224.6	1 〃
〃	山梨県	桃林橋	〃	2@ 17.9	38.5	2 〃
〃	山口県	橋本橋	〃	5@ 19.25		2 〃
〃	兵庫県	誉鳩橋	ゲルバー	3@ 19.3+24.6+19.3	182.9	1 〃
1951	広島県	平和大橋	鈑桁	4@ 20.8	225	
1952	山形県	船形橋	〃	8@ 24.5	214.36	1 〃
〃	山口県	門前橋	〃	7@ 14.8	85.3	2 〃
〃	鳥取県	小因橋	〃	10@ 23.0	230.0	2 〃
〃	青森県	三本木橋	〃	3@ 7.926+8.984+7.926	9.425	
〃	岡山県	番町三門線 跨線橋	〃	17.5+19.9+16.9	120.0	1 〃
〃	宮崎県	日向大橋	〃	14@ 23.34	432.91	1 〃
〃	福島県	滝尻橋 跨線橋	〃	13.60	14.94	1 〃
〃	宮城県	留場橋	〃	3@ 25.0	110.95	2 〃
1952	広島県	緑大橋	〃	31.0	181.	
1954	神奈川県	箱根観光全館橋	〃	29.0	32.	
〃	神奈川県	宮城野橋	〃	31.5	59.	

（本表は田島二郎博士所有の資料による）

奈川の宮城野橋（全溶接構造）や相模大橋（全リベット構造）に５０キロ鋼が使用され、以後使用例が増えていった。

昭和25年～28年（1950年～1953年）の朝鮮戦争による特需は、戦後の日本経済の浮揚の契機となった。昭和29年（1954年）には第１次道路整備五ヶ年計画が発足し、昭和30年代（1955～1964年）の道路・橋梁建設の活性化へ向けての準備が整った。

４．１．４　戦後橋梁技術の基礎固め（昭和30年～40年；1955年～1964年）

この10年間は、現在の鋼橋の技術の基盤が固められた時期とみることができる。昭和30年代の前半（1955～1960年）に部材の工場溶接は全国的に定着し、後半には現場継手がリベット接合から高力ボルト接合に移行し始めた。吊橋、斜張橋、鋼床版、箱桁など、現代日本の橋梁形式のあらゆる形式の芽生えをこの年代に見ることができる。

橋梁の長大化を象徴するものとして昭和37年（1962年）に完成した若戸大橋は、支間367mという日本最長記録を樹立すると同時に、日本で初めての本格的道路用吊橋として注目を集めた。昭和30年（1955年）完成の西海橋の支間216mも、アーチ橋として当時東洋一の規模を誇るものであった。その他、鋼床版箱桁の城ケ島大橋（昭和35年（1960年）、支間95m）、連続トラスの銚子大橋（昭和37年（1962年）、支間107m）また逆ランガーの三国大橋（昭和38年（1963年）、支間140m）など、鋼橋の長大化へ向けての動きは活発であった。

この10年間を特徴づけるもう一つの側面は、鋼橋建設量の飛躍的増加である。昭和32年（1957年）頃まで年５万ｔで推移していた鋼橋の生産量は、その後急激に増え、昭和40年（1965年）には30万ｔを越すように至った。その背景にあるのは、日本道路公団発足（昭和31年（1956年））、首都高速道路公団発足（昭和34年（1959年））、阪神高速道路公団発足（昭和37年（1962年））、東京オリンピック開催（昭和39年（1964年））、東海道新幹線開通（昭和39年（1964年））などである。因みに、粗鋼の生産量は、この年代の末期に4,000万ｔに達した。

高張力鋼は、60キロ級の使用がこの年代に始まった（ただし、ＳＭ５８のＪＩＳ制定は昭和56年（1981年））。特筆すべきは昭和39年（1964年）に千葉県の京葉道路上にできた花輪跨道橋に、さらに同年川鉄千葉製鉄所構内にできた下路鉄道橋に、日本で初めて80キロ鋼を用いたことで、これは本州四国連絡橋の架橋へ向けての材料面の布石としても注目された。

新材料として、アルミニューム合金が桁橋に試用されたのもこの年代である。とくに昭和36年（1961年）の兵庫の金慶橋は、全溶接アルミニューム合金合成桁で、本格的な道路橋である。アルミニューム合金を使用した橋梁は、この他にも北海道の応急トラス橋の数橋、東京の歩道橋の数橋がこの時期に完成している。

道路の線形や橋梁の応力解析に、電子計算機が実用され始めたのは、昭和30年代の半ば

（1960年頃）で、昭和36年（1961年）竣工の国鉄桜木町ローゼ桁のコンピュータ解析などは最初期の例である。道路線形へのクロソイドの初適用も昭和30年代中頃（1960年頃）に完成した三国国道（国道17号）であった。構造物への適用として、変形法による軸組構造の電算解析は、従来一部技術者の特技であった不静定構造の解析を容易にしただけでなく、橋梁の基本計画の自由度を飛躍的に拡大した。すなわち、構造解析の難易性と一切関係なく、構造形を選べる時代が到来した。

いわゆる競争設計が盛んに行われたのは昭和30年代前半（1955～1960年）であったが、結局この制度は定着せず、昭和30年代末期（1961～1964年）になると競争設計の実施は稀になった。

昭和39年（1964年）の新潟地震は、橋梁技術にも多くの教訓を遺した。下部工、上部工の基本計画のみならず、今日普及している落橋防止装置などにもその教訓は生かされている。

社会的にみると、昭和30年代の初頭（1955年頃）から、日本の造船量は世界最大シェアを連続して獲得、日本の国際収支は実質的な黒字に転じた。また従来ほとんど輸入に頼っていた乗用車の国産化も急速に進み、昭和30年代（1955～1964年）には「マイカー」の言葉が生まれた。昭和30年（1955年）に日本生産性本部が発足して、以来日本の産官学の要人がこの機関によって海外視察を行ったことは、日本と欧米の間に存在した各種の格差の再認識とそれに対する対応努力を促す上で、大きな役割を果たした。

4．1．5　ビックプロジェクトへの取組み（昭和40年～50年；1965年～1975年）

この10年間はビックプロジェクトへの取組みが一気に盛り上がった時期であった。大阪港に昭和49年（1974年）に開通した港大橋は、ゲルバートラス橋として東洋第一位、世界第三位の支間長記録を今なお保持している。上下２層構造をもち、主構に80キロ鋼を大量に使用したこの橋の建設は、本州四国連絡橋の架橋へ向けての技術の蓄積という点でも意味が大きかった。

吊橋の長径間化にもはずみのついた時期であった。特に昭和43（1968年）着工、昭和48（1973年）完成の支間712mの関門橋は、日本の長大橋史に一時期を画するものであった。

本州四国連絡橋については国鉄（昭和30年（1955年）調査開始）、建設省（昭和34年（1959年）調査開始）、土木学会（昭和37年（1962年）調査委員会設置）が、調査を進めていたが、昭和45年（1970年）に本州四国連絡橋公団が発足、３ルートにそれぞれ調査事務所が置かれて、いよいよこの巨大プロジェクト誕生の胎動が始まった。

本州四国架橋の支援技術の研究も活発化した。土木研究所による長大吊橋の耐風・耐震実験、鉄道技術研究所や東京大学における吊橋上の列車走行性に関する研究、国鉄狩勝実験線における吊橋の「角折れ」実車実験、本州四国連絡橋公団と日本鉄道建設公団が個別に行ったプレパックドコンクリートの海中注入実験、本州四国連絡橋公団による海中発破

実験が実施され、さらに民間企業連合体がパラレルワイヤーストランド（ＰＷＳ）工法による吊橋のメインケーブルの架設実験を再三にわたって行った。長大吊橋について当時の日本はまだ経験が乏しかったが、外国から直接的な技術援助を受けずに工事を完遂する方針が、計画当初から確立していた。上記の諸研究はそのための必要なステップであったと同時に、長大吊橋の計画と施工についての底辺の広いかつ厚い技術を蓄積するために非常に有意義であった。

大型のクレーン船は昭和35年（1959年）の500ｔ吊りから始まって、昭和40年代（1965～1975年）には1,000ｔ以上の吊り容量をもつクレーン船がいくつか稼働していたが、昭和49年に完成した3,000ｔ吊りの「武蔵」は、吊り容量・揚程とも、それまでの世界のレベルを大幅に抜くものであった。これらのクレーン船は本州四国連絡橋事業専用に建造されたものではないが、本州四国連絡橋向けの稼働を多分に意識したものであり、また本州四国連絡橋の施工計画自体も、これら大型のクレーン船の存在を前提に行われていた。

昭和30年代（1955～1965年）に小径間から始まった斜張橋は、昭和43（1968年）年の尾道大橋を最初に、豊里大橋、末広大橋、かもめ大橋と200ｍを越す本格的な施工例が続出した。この当時の斜張橋は、ロックドコイルやＰＷＳなどのストランドを束ねて太径のケーブルとし、このケーブルが塔上のサドルをいわゆる「山越し」の形で通過する形式のみが用いられていた。ストランドを個々に分散して張るマルチプル形式の出現は、昭和50年代（1975～1984年）に入ってからである。

昭和41年（1966年）に完成した天草五橋は、パイプアーチの松島橋、中央径間300ｍの連続トラス天門橋を含み、これも注目を集めた。複線鉄道のトラス橋として昭和43年（1968年）に完成した新桂川橋梁は、中央径間130ｍの連続トラス橋で、秀れた外観とともに、国鉄のトラス橋として当時日本最大支間を誇った。

大型橋梁に一括架設の手法が採用された例はすでに昭和30年代（1955～1964年）であったが、昭和40年代（1965～1974年）にはさらに規模が大型化し、また多様化した。実例を挙げれば、昭和48年（1973年）の生浦大橋は完成橋梁をバージで海上輸送してそのまま据え付ける工法、昭和49年（1974年）の港大橋はバージで海上輸送した4,500ｔの橋体を、橋上のウインチでバージ上から所定高さまで巻き上げる工法、さらに昭和52年（1977年）の荒川湾岸橋は同じくバージで海上輸送した5,250ｔの橋体を３隻のクレーン船を同時に用いて吊って、橋脚上に据え付ける工法を採った。陸上工事でも大型の揚重機の開発が進み、時代の要請となっていた現地工事の迅速化と省力化がこの年代に一気に進んだ。

現場接合をリッベトから高出力ボルトに替える働きは、昭和29年（1954年）から始まったが、昭和30年代（1955～1964年）の主流はまだリベット接合であった。しかし40年代前半（1965～1970年）には、現場接合は高出力ボルト摩擦接合に完全に移行を終了した。「鋼道路橋高出力ボルト摩擦接合設計施工指針」が公にされたのは、昭和41年（1966年）年である。国鉄鹿島線北利根川橋梁では昭和41年（1966年）、20m長の箱桁ブロック二つ

をいわゆるイモツギ溶接で接合し、40m長に仕上げるという施工を行った。また広島大橋（昭和49年（1974年）、最大支間長L_{max}＝150mの連続箱桁）では、箱桁を工場の組立ヤードでいわゆるイモツギ溶接して大ブロックに仕上げ、クレーン船で一括架設する方法が採用された。ついで吉野川橋も同じ方法で施工された。現場溶接に準じる例として注目に値する。

社会的な背景としては、昭和45年（1970年）の大阪万博、昭和44年（1969年）の東名高速道路全線開通（名神高速道路は昭和38年（1963年）にすでに開通）、青函トンネル工事が最盛期を迎えるなど華々しい話題が多かったが反面、昭和48年（1973年）のオイルショック以降経済が低迷、本州四国連絡橋の着工が一時凍結されるなど、変動の多い10年間であった。

鋼橋の生産量は、昭和40年（1965年）の32万ｔから昭和46年（1972年）の60万ｔまで一気に上昇したが、オイルショックの影響で昭和50年（1975年）には35万ｔの水準まで低下した。

４．１．６　長大橋の建設と多様な技術（昭和50年～60年；1975年～1985年）

昭和48年（1973年）秋のオイルショックで、原油価格は４倍に急騰、経済不安を受けて昭和48年（1973年）暮れに本州四国連絡橋の着工は凍結された。昭和50年（1975年）８月に凍結が１年８ヶ月ぶりに事実上解除されると、堰を切ったように本州四国連絡橋が着工された。10年間の年譜を追うと次のようである。

昭和50年（1975年）：凍結解除のトップを切って、大三島橋着工。
51年（1976年）：大鳴門橋着工。
52年（1977年）：因島大橋着工。モルタルプラント船「世紀」完成。
53年（1978年）：瀬戸大橋着工。
54年（1979年）：瀬戸大橋で発破・掘削作業ピーク。
55年（1980年）：櫃石・岩黒島橋の原案カンチレバートラスを斜張橋に変更することが決定。南備讃瀬戸大橋ケーソン沈設。
56年（1981年）：下津井瀬戸大橋着工。岩黒島橋着工。
57年（1982年）：瀬戸大橋各所でケーソン沈設。モルタル注入全盛。
58年（1983年）：南北備讃瀬戸大橋の主塔の建込み開始。
59年（1984年）：北備讃瀬戸大橋の南北主塔がトップを切って完成。
60年（1985年）：北備讃瀬戸大橋のケーブル架設終了。南備讃瀬戸大橋のケーブル架設開始。

このような急ピッチな展開の背景には、海上作業台「磐石」や「たまの」、大型グラブ

船「第８関門号」や「第１６関門号」、海底無人調査潜水機「リーカス」、モルタルプラント船「世紀」、それに数多くの大型クレーン船など、従来より一段と大型で高性能な施工機器や船舶の存在がある。これらが現地工事の工期短縮、品質向上とおよび安全確保に寄与した貢献は大きい。

ソフト面では、電子計算機の発達と、それを駆使する能力の向上が顕著であった。高次不静定の構造系の解析、ＦＥＭによる局部応力の精密解析、大変形理論による吊構造の解析、架設計算および施工管理の効率化などへの電子計算機の適用も、短期間に良い品質の橋梁を経済的に建設するための重要な要素のひとつであった。

本州四国連絡橋以外の一般橋梁では、桁橋の大型化傾向がますます進んだ。第二摩耶大橋（昭和50年（1975年）、L_{max}＝210m）、平林高架橋（昭和56年（1981年）、L_{max}＝184m）、門崎高架橋（昭和58年（1983年）、L_{max}＝190m）などの代表例に共通しているのは、大断面箱桁と鋼床版を用いている点である。

トラス橋では、大島大橋（昭和51年（1976年）、L_{max}＝325m）、蒲刈大橋（昭和54年（1979年）、L_{max}＝255m）があり、何れも大型のクレーン船を用いて、大ブロック架設が行われた。クレーン船による大ブロック架設は、日本の海上橋梁の標準工法の一つとして定着し、欧米諸国の橋梁工事にも影響を与えることになった。

アーチの分野では大型化と並んで、昭和30年代（1955～1964年）から少しづつ増えてきたローゼ系のアーチが目立って増加し、昭和30年（1955年）から50年（1975年）にかけて多かったランガー系のアーチの分野を蚕食した。個々に見ると、単弦ローゼの泉大津大橋（昭和51年（1976年）、Ｌ＝172.6m）、ニールセン系ローゼの鏡川大橋（昭和55年（1980年）、Ｌ＝180m）、逆ローゼの糠平大橋（昭和57年（1982年）、Ｌ＝202m）など、個性と変化に富む施工例が多い。構造系選択の任意性が電算解析によって広がってきたことを示している。

斜張橋では吊り形式に明確な変化が現われた。末広大橋（昭和50年（1975年）、Ｌ＝250m）や大和川橋梁（昭和57年（1982年）、Ｌ＝355m）などのような、ストランドを集束して太径ケーブルとする手法に代わるものとして、ストランドを分散して張るマルチプル・ケーブル方式の斜張橋が出現した。

マルチプル・ケーブル方式は、かもめ大橋（昭和50年（1975年）、Ｌ＝250m）や名港西大橋（昭和59年（1984年）、Ｌ＝405m）などのように、最初から大径間斜張橋に用いられ、本州四国連絡橋の櫃石・岩黒島橋を筆頭にマルチプル・ケーブル一色となっていった。

マルチプル・ケーブル方式への転換によって、ストランドの製造法と防錆法に大きな変化が現れた。ＰＷＳをＰＥ管で被覆した上で現地へ搬入する新形式ケーブルは、昭和54年（1979年）に盛岡市に完成した歩道橋川原橋を初例に急速に普及した。

材料面一般での特筆事項は、耐候性鋼鈑の無塗装使用（裸使用）である。日和大橋（昭和54年（1979年）、L_{max}＝125m）、三国橋（昭和59年（1984年）、L_{max}＝41m）、日守

大橋（昭和60年（1985年）、L_{max}＝119.2m）など大小多数の道路桁橋がある。鉄道橋では第三大川橋梁（昭和55年（1980年）、L＝63m）がトラス橋における耐候性鋼材無塗装使用として注目された。

防錆対策の別法として、溶融亜鉛メッキ施工もかなり実績を伸ばした。耐候性鋼材無塗装施工にせよ、溶融亜鉛メッキ施工にせよ、維持の省力化を目指した点では共通している。高度成長をとげた日本では人件費も上昇し、この年代辺りから維持管理の省力化が従前に増して重要視され出したこともあって、鋼橋の年当り建設トン数が横追いで推移する一方、コンクリート橋は橋梁の総投資におけるシェアを伸ばしていった。

この10年間は、アメリカ向けの橋梁輸出が活発に行われた時期でもあった。トラス、アーチ、可動橋、斜張橋、それに大型の桁橋と種類は多岐にわたる一方、共通しているのは詳細図の支給、材料・製作・運搬を含み、現地架設は含まずという契約内容であった。輸出物としてはリスクが少ないので、橋梁専業メーカーを含め多くの会社がこのブームに乗ったが、付加価値・単価ともに低く、やがて韓国などとの競合も激しくなって、アメリカ向けの橋梁輸出は影をひそめた。

4．1．7　本州四国連絡橋の完成と新たな展開（昭和60年～現在；1985年～1994年）

この10年間のきわ立った特徴は、本州四国連絡橋諸橋の相つぐ完成と、本州四国連絡橋事業で育くまれた技術が、各地の長大橋建設に活かされた点である。

本州四国連絡橋を吊橋でみると、因島大橋が昭和58年（1983年）にまず完成、ついで大鳴門橋が昭和60年（1985年）に完成、大島大橋が日本国内初の箱桁吊橋として昭和62年（1987年）に完成、そして昭和63年（1988年）には待望の瀬戸大橋全線が開通した。このうち中央径間1,100mの南備讃瀬戸大橋の完成は、日本の橋梁として初めて1,000mを越える支間に到達した画期的な出来事であった。

同じく本州四国連絡橋を斜張橋でみると、瀬戸大橋ルートの櫃石・岩黒島両橋は、道路のみならず幹線鉄道（設計荷重は新幹線と在来線各複線）を通す斜張橋として、世界的にみても新実績を樹立し、しかも中央径間420mと当時世界一の長支間を具現したものである。ダブルデッキの上面の鋼床版をトラスと合成した例は、神戸の六甲大橋（昭和57年（1982年）、上下面の鋼床版を合成）に続いて、新しい技術実績をのこした。

工事進行中のものとしては、吊橋では主径間1,990mの明石大橋が、斜張橋では同じく主径間890mの多々羅大橋の工事が、それぞれ世界一の規模として、注目を集めている。

本州四国連絡橋以外でも、大型橋梁の建設は活発に続いた。吊橋ではモノケーブルを持つ自定式吊橋の此花大橋（昭和60年（1985年）、L＝300m）、レインボーブリッジ（平成5年（1993年）、L＝570m）、斜張橋では東神戸大橋（平成5年（1993年）、L＝485m）、鶴見航路橋（平成6年（1994年）、L＝510m）、名港中央大橋（工事中、L＝590m）などがある。

大支間橋梁をダブルデッキ構造として、上下２段の交通路に供用する例は、この10年間目立って増加した。瀬戸大橋は別格としても、吊橋ではレインボーブリッジ、斜張橋では横浜ベイブリッジや東神戸大橋、アーチ橋では六甲アイランド橋（平成５年（1993年）、L＝217.6m）などがある。

都市内高架以外の長大橋で、ダブルデッキの長大橋が多いことは、諸外国に比較してみるとき、日本のひとつの特徴といえよう。港大橋もダブルデッキであるが、鋼床版とトラスを合成はしていない。これに対して、最近の事例は何れも合成構造としていて、その間の技術進歩の跡がうかがえる。

一方橋梁の景観論が活発になり、橋梁の計画のさいの大きな要素として如何に美しい橋を架けるか、あるいは如何に周囲の環境と調和させるか、という時代的要請がクローズアップしてきた。

葛飾ハープ橋のように新橋建設に際して景観を重要視して形を決定した例、六本木交差点や上野駅前高架橋、あるいは日本橋のように既存橋を外装板で美化した例など、多様な取組み方がみられる。横浜ベイブリッジの展望装置のように、橋から周囲の展望を楽しめるような例も広義の景観の考慮といえるかも知れない。

景観委員会を組んで、意匠デザイナーを計画に参画させるようになったのも、この時代の特徴である。橋梁技術者以外の意匠家の橋梁計画や橋梁の装飾への関与は、復興局では木下杢太郎、関西では武田五一など、大正から昭和初期に事例があるが、戦後になってからはこの習慣は長い間絶えていた。外観重視の風潮は、日本が経済的に豊かになってそれだけの余裕が出た結果ともいえようし、また橋梁専門家の技術力が豊かになって、意匠デザイナーと共同で橋梁の計画に取組むだけの余裕が出てきたためともいえよう。

一方、景観重視の反動として、目立ちたがる、飾りたてる、奇をてらうなど、景観をはき違えた傾向を散見することも事実である。これは過渡的な現象かも知れないが、必ずしも余分な費用をかけることなしに、見飽きのしない美しい橋を架ける努力が望まれる。

これも景観と関連することであるが、吊橋や斜張橋の塔に現場溶接を用いる例も増えつつある。昭和51年（1976年）の新大橋（斜張橋）を初例として、この10年間にはレインボーブリッジ（吊橋）や中央大橋、鶴見航路橋（何れも斜張橋）と施工例が続いている。

4．2　技術発展を可能とした主要な技術・施策

4．2．1　耐風設計法の確立

（1）技術発展の経緯

橋梁の耐風設計技術はいくつかの事故が契機となって研究が進められ、発展してきた。橋梁の風圧による被害として有名なものに、1897年（明治11年）のスコットランドのテイ橋の墜落がある。テイ橋はテイ川を跨ぐ鉄道橋（錬鉄製ラティストラス橋）であり、暴風により主航路上の13径間の主構が列車とともに水中に落ち、75名の人命が失われた。この事故をきっかけとして風圧に関する研究が実施され、橋梁の設計に反映されるようになった。

一方、風による橋梁の振動の事故として有名なものに、1940年（昭和15年）のアメリカのタコマ・ナローズ橋の落橋がある。タコマ・ナローズ橋は、中央径間853mのプレートガーダーを補剛桁とする吊橋であり、わずか19m/sの風で発散的なねじれ振動を起こし落橋に至った。この事故を契機に、長大橋梁、特に長大吊橋、斜張橋の風による振動に関する研究が精力的に実施され、また、長大橋の建設にあたっては、風による振動に配慮した設計（動的な耐風設計）が行われるようになった。同橋と同じ位置に新しく架けられた新タコマ・ナローズ橋は、旧橋とおなじ吊橋形式、おなじ径間長ながら、風洞実験によって動的な耐風安定性の優れた構造を求めた結果、補剛桁として高さ10mのトラスを用い、さらに橋床に風抜きの空間を設け、風による振動問題を解決している。

タコマ・ナローズ橋を落橋に導いた振動は、フラッターと呼ばれる現象であり、橋梁が振動することにより、さらにその振動を促進させるような空気力が作用するという自励振動である。一方、自然風中に建設された構造物には、風の息と呼ばれる風速変動により不規則な空気力が作用し、これにより構造物は振動する。この現象はガスト応答と呼ばれ、ダベンポートによりその評価方法が研究された。ガスト応答は振動現象であるが、どの構造物でも発現する現象であるため、設計の便利さを考慮して設計風荷重の補正係数として扱うことがダベンポートにより提案され、各国の設計基準に反映されている。

タコマ・ナローズ橋の落橋以降、吊橋の補剛桁はトラスが主流となったが、1966年（昭和41年）にイギリスのセバーン橋において、風荷重が小さく、動的耐風安定性が良好な流線形箱桁が用いられ、新しい桁形式の流れの始まりとなった。この考え方は、1981年（昭和56年）に完成し現在世界最長のイギリスのハンバー橋（中央径間1,410m）にも適用されている。

このように、テイ橋、タコマ・ナローズ橋の事故を契機に橋梁の耐風設計に関する研究が進められてきたが、台風常襲地帯に位置するわが国では、長大橋の設計における耐風設計の役割は極めて重要である。タコマ・ナローズ橋が落橋した風速がわずか19m/sに対し、わが国の気象官署では台風により最大69.8m/s（室戸岬）の風速が観測されている。長大橋

の風に対する安全性を検討する場合、通常100～150年に１回吹くような強風が対象とされるが、わが国の関東信越以西のほとんどの地域では、このような強風は台風によって発生している。台風の影響を考慮して求めた100年に１度吹く強風の風速と、台風の影響を除いたこの風速との比（台風係数）を推定した結果によれば、場所によってはこの値が1.8程度にまで達することもあるとされている。毎年台風が上陸するわが国では、そうでない国に比べ耐風設計に関しより高い安全性が要求されていると言える。

さて、わが国における長大橋梁の本格的な動的な耐風設計の幕開けは、若戸大橋（昭和37年（1962年）完成）の設計にあたっての風洞実験およびこれにもとづく調査研究ということができよう。さらに、昭和37年（1962年）に建設省および日本国有鉄道の共同委託により、土木学会に設置された本州四国連絡橋技術調査委員会において「本州四国連絡橋耐風設計指針（昭和39年（1964年））」がとりまとめられたが、これは長大橋梁の耐風設計法を世界で初めて体系化したものである。

これらの指針は、本州四国連絡橋のみならず、関門橋、平戸大橋などをはじめとするわが国のほとんどの吊橋、斜張橋の耐風設計に、その設計思想が適用された。さらに、これらの指針の設計思想を基本とし、橋梁の対風応答特性に及ぼす自然風の乱れの影響をより忠実に反映させ、「明石海峡大橋耐風設計要領」（平成２年（1990年））、あるいは一般の道路橋を対象とした耐風設計の指針「道路橋耐風設計便覧」（日本道路協会、平成３年（1991年））等が作成された。

明石海峡大橋（吊橋、中央径間1,990m）あるいは多々羅大橋（斜張橋、中央径間890m）は、完成時にそれぞれ世界最長の吊橋あるいは斜張橋となる超長大橋梁であり、従来の知見では予知できない対風応答が発現するおそれがあったため、土木研究所と本州四国連絡橋公団との共同研究の一環として大型の風洞実験施設（測定部の幅41m、高さ４m、長さ30m）が建設され、実橋の力学的性状を忠実に反映させた全橋模型によりその耐風性が照査されている。

（２）わが国独自技術の研究開発

①本州四国連絡橋耐風設計指針（昭和39年；1964年）

「本州四国連絡橋耐風設計指針」は、長大橋梁の耐風設計法を世界で初めて体系化したものである。同指針の特徴的な点をあげると、①構造物の耐用年数と規模に応じて設計風荷重を決定するようにしたこと、②吊橋の風による振動に対して動的解析および風洞実験による照査を行うよう方針を定めたことなどが挙げられる。同指針は、何度かの改訂を経て、「本州四国連絡橋公団・耐風設計基準」「明石海峡大橋耐風設計要領」などに引き継がれており、これら一連の基準類の先鞭をつけた点で同指針の果たした歴史的意義は大きいものがある。

これらの指針等は、本州四国連絡橋のみならず、関門橋、平戸大橋などをはじめとする

わが国のほとんどの吊橋、斜張橋の耐風設計に、その設計思想が適用された。さらに、平成３年（1991年）に刊行された一般の道路橋を対象とした耐風設計の指針「道路橋耐風設計便覧（日本道路協会）」もこれらの指針等の設計思想をもとに作成された。

②風による振動現象の解明とその対策

長大橋梁の耐風性を検討していく過程で、それまでの知見では説明できない現象が風洞実験で観測され、現象のメカニズムを解明するための研究、さらにその振動を抑制するための研究がなされた。そのような事例の代表的なものに斜張橋の充腹断面橋桁の渦励振が挙げられる。

それまでの知見では、渦励振は物体後流のカルマン渦と呼ばれる渦により発生するものとされてきた。カルマン渦の周波数は風速に比例し、その周波数が構造物の振動数と一致するような風速で構造物が共振して振動すると考えられていた。しかしながら、斜張橋で用いられることの多い偏平な充腹断面橋桁では、このような風速とは異なる風速で、類似の振動が観測された。研究の結果、この振動は、橋桁の上流側から剝離した渦により発生するものであることが明らかとなった。また、このような振動を抑制する対策として、高欄のハンドレールにフラップと称する板を取り付け、橋桁上流端からの剝離を抑制する方法等が開発された。

③超長大橋の耐風性に関する研究

さきに述べたように、既往の中央径間長を大幅に上回る超長大橋である明石海峡大橋について、その耐風性を精度よく検証するため、縮尺1/100の全橋弾性模型を用いた風洞実験が実施された。その結果、超長大橋の風による振動特性について以下に述べるような新たな知見が得られた。

１つは、橋梁を崩壊させるおそれのある発散的な振動であるフラッターに関する知見である。従来、長大橋のフラッターを検討する場合には、振動モードとして鉛直たわみモードおよびねじれモードそれぞれの最低次の振動モードを考慮し、それぞれの振動に起因する揚力および空力モーメントを考慮すれば十分と考えられてきた。しかしながら、明石海峡大橋を対象とした風洞実験および比較のための解析によれば、超長大橋のフラッター特性を精度よく推定するためにはこれらに加え、水平たわみの振動モード、それぞれの振動の高次のモードも考慮する必要のあること、さらに空気力としてもこれらの振動に起因する抗力、揚力、空力モーメントを考慮する必要のあることが明らかとなった。

他の知見は、自然風の乱れによる不規則振動であるガスト応答に関するものである。このガスト応答は、定常的な抗力と併せて設計風荷重として設計で扱われており、長大橋橋桁の諸元を決定する要因の１つである。ガスト応答の推定に当たっては、自然風の風速の時間的および空間的な変動特性を考慮する必要があるが、この内の２点間の風速の相関特

性について、従来は２点の距離がいくら離れていても周波数が０に近づくと相関係数は１に近づく、というモデルを用いていた。しかしながら、風洞実験および比較のための解析によれば、超長大橋のように最低次の固有振動数が極めて低い構造物に対しては、このモデルではガスト応答を過大に評価することが明らかになった。自然風など実際の境界層乱流では、２点の距離が離れるに従い周波数が０に近づいても相関係数は１より小さくなるため、超長大橋のガスト応答を精度よく推定するためには、風速の空間的変動特性を忠実に考慮したモデルを用いる必要のあることが明らかとなった。

（３）技術発展の要因分析

わが国の耐風設計技術の発展の要因としては、本州四国連絡橋を初めとする長大橋梁のプロジェクトが挙げられる。本州四国連絡橋プロジェクトを契機に、各分野の専門家より構成される本州四国連絡橋技術調査委員会が土木学会に設置され、長大橋の耐風設計法が確立されるとともに、風工学に関わる研究者、実験設備が充実していった。すなわち、全国の主要な大学で耐風設計に関する研究が実施されるとともに、風洞が整備されていった。また、重工、造船会社といったわが国の主要な橋梁メーカーにおいても風洞が整備され、長大橋梁の設計案の耐風性の検証、風工学の研究が実施された。さらに、その後の長大橋のプロジェクトに関連して耐風設計に関する調査研究が実施され、技術が継承されるとともに、新たな知見、新たな耐風性向上技術が蓄積されている。

（４）課題と展望

①海峡横断道路プロジェクト

現在わが国の各地で海峡を横断するプロジェクトが構想されている。これらのプロジェクトでは、明石海峡大橋等既往の橋梁を越える規模の構造物が含まれる可能性があり、多くの技術的課題が予想された。このため、「海峡横断道路プロジェクト技術調査委員会」が設立され、技術的課題、調査の方針等について平成３年度（1991年度）、４年度（1992年度）にわたり審議され、平成５年（1993年）８月にその報告書が発表された。このうち橋梁の耐風設計に関する部分を以下に示す。

「超長大橋梁の上部構造で最も重要な課題は、台風など強風に対する安全性の確保である。

概ね2,000mの中央径間を有する３径間吊橋は明石海峡大橋で経験済みであり、これを２～３割程度上回るものは、明石海峡大橋と同様の構造を想定することによっても、耐風設計は不可能ではないが、合理的かつ経済的な上部構造の設計は難しい。より経済的な上部構造の検討、および工費の低減、工期の短縮を目指した架設工法の検討等を行う必要がある。すなわち、明石海峡大橋と同様の構造を想定した場合、強風による変形に耐えるため剛性の高い補剛桁が必要となり、自重が増加する。このため、強風に対する安全性を確保

しつつ経済的な上部構造を設計する方法、たとえばより耐風性に優れた桁断面やケーブルシステム等を用いた吊橋を開発すること等が必要である。（中略）

さらにより中央径間の長い吊橋を技術的に可能にするためには、新形式吊橋に関する技術開発が必要である。（中略）これらの技術開発は、超長大橋のみならず、明石海峡大橋よりも中央径間の短い通常の吊橋に対しても、そのより合理的かつ経済的な設計法の確立に役立つことを留意すべきであろう。」

②耐風設計の合理化

「本州四国連絡橋耐風設計指針（昭和39年（1964年））」の策定以来、「明石海峡大橋耐風設計要領（平成２年（1990年））」、「道路橋耐風設計便覧（日本道路協会、平成３年（1991年）」等に至るまで、より合理的な耐風設計法確立のための努力が進められてきたが、さらに以下に述べるような観点からより一層の耐風設計法の合理化に取り組む必要がある。

第一は橋梁の対風応答推定の精度の向上である。風洞実験技術および構造解析技術の発展により対風応答推定精度は向上してきたが、対風応答に重要な影響を及ぼす強風の特性の推定、および構造減衰の推定についてはさらに研究すべき点が多い。

第二は対風応答の評価方法の検討である。風洞実験等で推定された橋梁の対風応答は、安全性および使用性の観点から評価されているが、このうち使用性の評価方法については明確な基準が定まっておらず、この方面の研究が望まれる。

第三は耐風設計の効率化である。風工学は境界領域の学問であり、その理解のためには気象学、統計学、構造力学、流体力学等の知識が必要とされ、一般の技術者が理解しにくい分野である。一方、近年のコンピュータの進歩には著しいものがあるため、コンピュータと対話しながら耐風設計を進めるような、耐風設計のエキスパートシステムを作成するなどして、効率化を図る必要がある。

４．２．２　基礎構造の発展

鋼橋技術の発展要因には種々の側面があろうが、見逃すことの出来ないものとして、上部構造を支える橋梁基礎構造の発展を挙げることが出来る。特に、鋼材の特徴を生かした長大橋の開発には、基礎形式、基礎工法の開発が必要であった。以下に、このような視点で鋼道路橋の基礎の発展史を概観してみる。

橋梁の上部構造に関しては、設計荷重を規定する技術基準が明治19年（1886年）に既に用意され、大正15年（1926年）には許容応力も規定されるに至った。しかし、基礎構造に関して、技術基準の形式でまとめられ計画・設計・施工に適用されるようになったのは、ずいぶん新しく昭和39年（1964年）になってからである。表－4.2.2.1に道路橋下部構造に関する技術基準の整備年をまとめ示す。

表－4.2.2.1　道路橋下部構造技術基準の整備

制　定	技術基準
昭和39年 3月(1964. 3)	道路橋下部構造設計指針
	・くい基礎の設計編
昭和41年11月(1966.11)	・調査および一般編
昭和43年 3月(1968. 3)	・橋台・橋脚の設計編
	・直接基礎の設計編
昭和43年10月(1968.10)	・くい基礎の施工編
昭和45年 3月(1970. 3)	・ケーソン基礎の設計編
昭和48年 1月(1973. 1)	・場所打ちぐいの設計編
昭和61年 8月(1986. 8)	・くい基礎の設計施工編
昭和52年11月(1977.11)	・ケーソン基礎の施工編
昭和55年 5月(1980. 5)	道路橋示方書Ⅳ下部構造編
	(直接基礎，ケーソン基礎，くい基礎)
昭和59年 2月(1984. 2)	鋼管矢板基礎設計指針
平成 2年 2月(1990. 2)	道路橋示方書Ⅳ下部構造編（改訂版）
	(直接，ケーソン，杭，鋼管矢板基礎)
平成 3年 7月(1991. 7)	地中連続壁基礎設計・施工指針

大正12年（1923年）の関東大震災後橋梁基礎の重要性が注目され出したが、基礎構造が施工法を中心に発展し経験を重視したことや、地盤が弱く支持力が不足するところへ橋梁を架設することが少なかったことがこのように基礎構造の技術基準の制定が遅れた原因と思われる。

（1）基礎の分類と定義

基礎形式は、主として施工方法によって分類されているが、上部構造からの荷重の支持形態、基礎と周辺地盤との剛度比によっても分類できる。構造史の立場では、上部構造の荷重をどのような形態で支持するかによって、基礎を大分類し、さらに施工法を考慮して中分類してそれらの発展を整理するのが、理解しやすいと考えられるので、この方法によることにする。この考えに立ち、道路橋示方書Ⅳ下部構造編の定義も参考にし、基礎形式を次のように定義する。

直接基礎：「基礎底面を介してのみ鉛直、水平の両荷重を支持する基礎」。この定義に従うと、本州四国連絡橋に適用された設置ケーソンは直接基礎である。

ケーソン基礎：鉛直荷重は原則として基礎底面のみで支持し、「基礎底面と側面で水平荷重を支持する。基礎底面には水平反力と鉛直反力が生じ、鉛直反力分布が偏心荷重に対応しうる基礎」。この定義に相当する基礎形式をさらに施工法によって次のように分類する。

- ケーソン基礎
  - オープンケーソン
  - ニューマチックケーソン
  - 矢板式基礎
  - 地下連続壁基礎

矢板式基礎や地下連続壁基礎は、鉛直荷重を周面の摩擦によっても杭基礎に近いが支持できるので、基礎本体の平面寸法が大きく、基礎の底面での反力分布が一様とならないので、ケーソンとする。

杭　基　礎：「基礎側面で水平荷重を支持し、基礎底面と周面の摩擦で鉛直荷重を支持する。一般に基礎底面は小さいので、鉛直地盤反力分布は個々の杭では均一とする」。この定義に従うと、深礎工法等で大きな直径の杭が施工されると、基礎の反力分布は偏心荷重に対応し得るようになるので、ケーソン基礎に分類される。杭基礎をさらに施工法によって分類すると以下になる。

- 杭基礎
  - 既製杭基礎
    - 打込基礎
    - 埋め込み・中堀り基礎
  - 場所打ちコンクリート杭基礎
    - 機械掘削基礎
    - 人力掘削基礎

（2）直接基礎

①フーチング基礎

建設材料が主として木材であった奈良時代では、フーチングを丸太で＃桁状に組んだり、瀬田の唐橋のように六角形に組み、その上に立てられた脚柱からの荷重を分散させ支持させた。このような丸太を使用してのフーチングの形成は、錦帯橋の基礎でも用いられていた。いずれの場合もフーチングの流失を防止するため、フーチングの上には幾層にも玉石が詰まれるのが一般であった。この様な工夫によって約280年も洗掘に耐えて来たが、錦帯橋は昭和25年（1940年）の洪水で流失した。現存する錦帯橋は、昭和28年（1948年）に再建されたもので、この基礎は洪水による洗掘耐力を増すために、オープンケーソンが適用されている。

1847年～1975年（昭和50年）間に報告された大規模な落橋事故143例中70件は洗掘によるとの調査結果（David W.Smith "Why do bridges fail", Nov.1977 Civil Engineering - ASCE）が示すように、河川橋梁にとって洗掘が維持管理上で最大の課題であったと言えよう。

さて、ＲＣ構造のフーチング基礎が登場するのは明治末期頃からである。ちなみに、明治４年（1872年）東京深川にセメント工場が建設されたが、鉄筋コンクリートとして重要構造に用いれられたのは、明治23年（1890年）横浜湾岸壁のケーソンが最初で、橋梁構造としては、明治36年（1903年）神戸市の若狭橋、琵琶湖疎水の孤形桁橋等である。土木学会が最初に「鉄筋コンクリート標準示方書」を定めたのは、さらに新しく1931年で昭和初期のことである。

②設置ケーソン基礎（海峡部大型橋梁の架橋を可能にした直接基礎）

昭和48年（1973年）に着工された本州四国連絡橋児島－坂出ルートでは海峡部に架橋する必要性から多くの海中に直接基礎の構築が必須であった。一般の水中基礎では、締切堤を設けてドライワークで基礎を構築するが、水深が深いと適用できない。また環境破壊の防止や、工事中の航行船舶への考慮も必要でありこの架橋計画に向けいくつかの新しい工法が開発されていった。黒之瀬戸大橋に適用された基礎工法は海底の岩盤を平らに掘削整形し、鋼製型枠を設置後、その中に骨材を詰めプレパックドコンクリートを施工した。同様の工法が、櫃石島橋・岩黒島橋、南北備讃瀬戸大橋に採用された。そして、世界最長のスパンを持つ明石海峡大橋は、鋼製型枠を設置後、水中コンクリートを打設する工法が適用された（表－4.2.2.2）。これらの基礎は鋼製型枠（ケーソンと呼ばれている）を海底に設置することから、設置ケーソン工法と呼ばれているが、工法の点では型枠設置後の海底掘削が実施されていないことや、上部構造からの荷重を基礎底面のみに抵抗させる形式であるので、「ケーソン基礎」よりも「直接基礎」に分類するべきと考えられる。

表－4.2.2.2　設置ケーソン工法が適用された長大橋

橋 梁 名	橋梁完成年	上部工形式	対象基礎	平面寸法	概略水深
黒之瀬戸大橋	昭49(1974)	トラス橋	中間橋脚	22×10(m)	15(m)
岩黒島橋	昭63(1988)	斜張橋	中間橋脚	36×32	30
南北備讃瀬戸大橋	昭63(1988)	吊　橋	共通ｱﾝｶｰ	75×155	50
明石海峡大橋	工事中	吊　橋	主塔基礎	φ80	70

旧来適用された筑島工や仮締切工の適用可能水深が、10～15mを限度とするが、設置ケーソン工法では60mの水深でも直接基礎の設置が可能である。また、工期が大幅に短縮され、海上航行船への影響も少なくなった。しかし、1基のケーソン重量は、1,000～3,000tと非常に大きいので、設置には大型クレーン船が必要であり、また、ケーソンの寸法は大きく、その製作には大型設備を必要とした。日本は、海岸線が長く架橋工事以外でも多くの港湾工事からの需要があって、多数の大型クレーン船が新造されたことや、造船産業のドックが比較的手近に利用できたなど、日本の産業の特性も率いしたと考える。

（3）杭基礎

杭基礎は古代、住居を建てる際に穴を掘って柱を立て固定したのが始まりと考えられている。橋梁基礎としても古くから利用されたと考えられるが、その利用の方法は2通りあったようである。1つは、上部構造の荷重を直接支持し地盤へ伝達させるもので、2つ目は基礎地盤を固め支持力を増すと共に、洪水時の洗掘強度の増加をねらったものと考えられる。前者の場合は数本の杭が列を作って打設されている。このような杭基礎本来の役割を期待した初期の構造としては、旧相模川橋梁が有名である。これは大正12年（1923年）の関東大地震の際に出現したもので鎌倉時代に建設されたと言われる。後者の場合は多数の杭が密に打設されており、その上に橋脚を構築した。錦帯橋の基礎はこのような工法によったとされている。しかし、このような杭の使用は現在の構造設計の考えでは、直接基礎の地盤改良工法と位置づけするもので、杭基礎とは異なる扱いをした方がよい。

木材が豊富にあったにも拘わらず、木杭基礎が大きな荷重を受ける深い基礎として発展できなかったのは、強力な打ち込み機械が無く、杭基礎を構築するのはもっぱら穴を掘って埋め込むこと以外に良い工法がなかったことによると思われる。

杭打ち機の初期のものは、天秤棒の原理を利用したもので、水平棒のほぼ中央部を鉛直棒で支持し、水平棒の一端に重りを付けておき他の一端を人力で引き下げて重りを持ち上げ、杭頭へ落下させるもので能率は極めて悪かった。その後二本子櫓をたて杭打ちするようになって、杭打ち精度は良くなったものの、長い杭や、太い杭は打ち込めなかった。杭打ちハンマーを持ち上げる動力としては、スチーム機関が1845年にイギリスで応用されているが、ボイラーの温度上昇に時間がかかり機動性がないことから汎用されなかった。このため、深い基礎に有利と言われる杭基礎の特徴を発揮させるに至らなかった。

杭打ち作業が能率的になったのは、ディーゼルハンマーが出現してからであり、我が国へは昭和26年（1951年）当時の国鉄の手で輸入された。昭和29年（1954年）にはディーゼルハンマーが国産化され、施工機械の調達が容易となり、杭基礎工事に貢献することになった。大口径の長尺杭の施工が能率的になったこと、信頼性の高い鋼管杭の供給が増加したことで、軟弱地盤地域での架橋工事の多い我が国では、深い基礎に杭基礎が圧倒的に多く適用されるようになった。さらに、昭和35年（1960年）には、バイブロハンマーが導入

され、すぐに国産化された。バイブロハンマーは、改良が加えられ矢板や小口径の杭については、杭打ち工事の騒音ばかりでなく、振動をも低レベルに制御できるようにした点で、都市部における杭打ち基礎の普及に大きく貢献した。この後も建設中の振動・騒音の低減や油の飛散回避のため、中堀り圧入工法や油圧ハンマーなどが開発され、既製杭の用途を広げている。

①既製杭

既製杭についてその歴史と特徴をまとめると表－4.2.2.3になる。

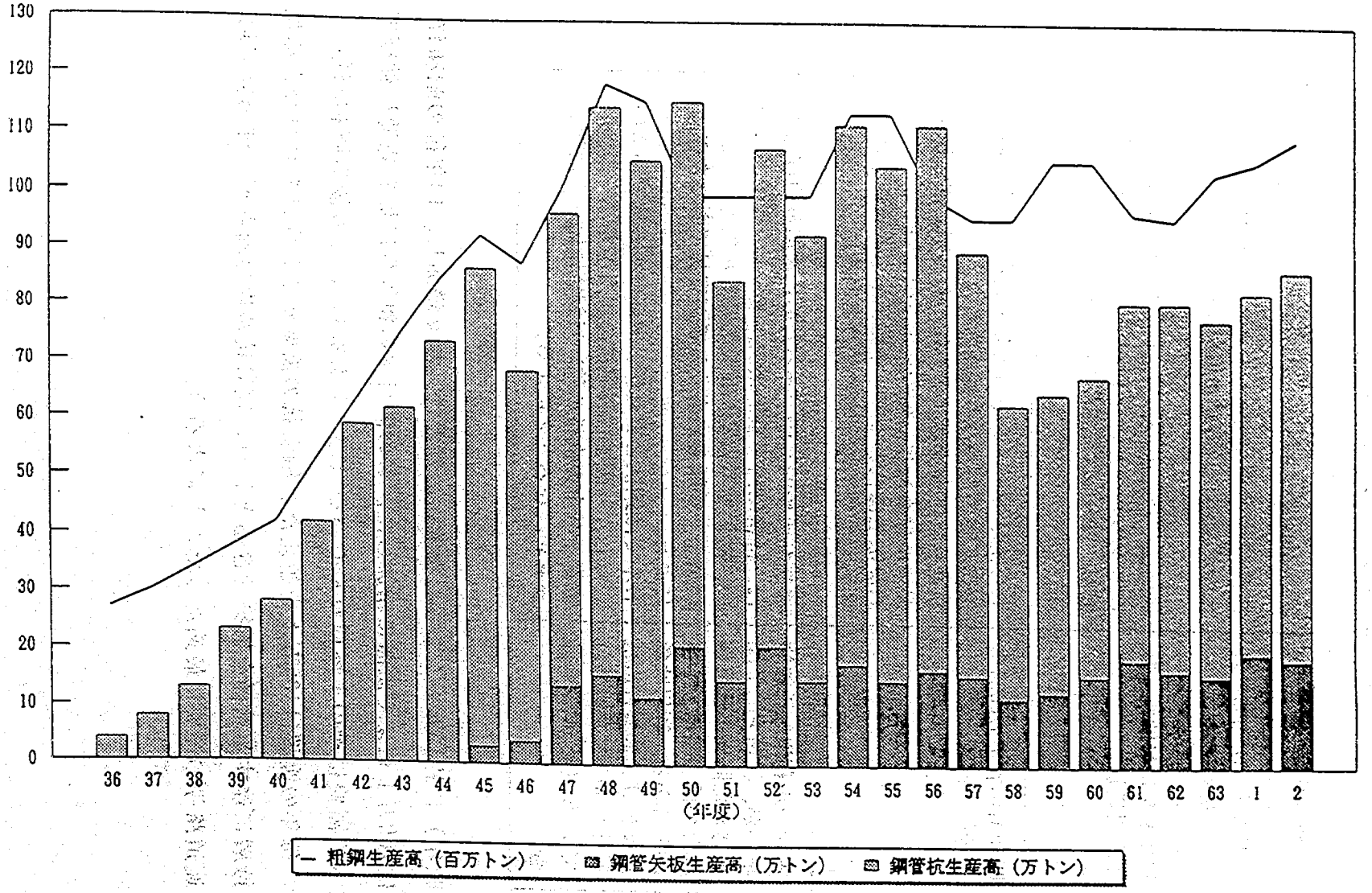
鋼杭が橋梁基礎として用いられるようになったのは、アメリカにおいても1900年代に入ってからである。1908年（明治41年）から１方向曲げを受ける杭に対しH断面の性能が良いことに着目し、杭専用の型鋼が圧延されるにおよび需要が一気に伸びた。

我が国ではこの時期未だ鉄鋼生産が少なく、鉄は貴重品であり軍事用に優先的に用いられるのみで、一般構造物に対しては鉄筋の代わりに竹を代用する試みがなされたことさえあって、鋼杭が主要構造物の基礎として利用されたのは我が国の粗鋼生産量が1,000万ｔを越えた昭和30年（1955年）以降のことである。鋼杭の利用で欧米と異なっている点は、外国ではH型鋼に需要が多いのに対し、我が国では大部分が鋼管杭が使用されている。これは、地震の多い我が国では、方向性のないパイプの性能が優れることと、また厚い軟弱地盤中での強度特性の点でパイプ断面が優れているためである。

表－4.2.2.3　既製杭の歴史と特徴

材料	わが国での歴史	特　徴
木杭	有史以前～昭和30年過ぎまで広く使用	奈良時代の遺構はいくつか発見されている。米松が主体、長さ18m位が限界
ＲＣ杭	昭和９年に静岡県に製作工場建設	戦前は７ｍ程度のもの、戦中は径600㎜Ｌ＝25ｍのものもあった。昭和30年にＪＩＳが制定されたが、モーメント杭としては不十分。建築用が主
ＰＣ杭	昭和37年首都公団羽田１号線で採用	ＰＣ杭はモーメント杭として利用できるため、橋梁基礎のもかなり採用された。 杭径も1000㎜を越えるものがあるが、継ぎ手が必要となる長尺ものの利用は少ない。 打設工法に代わって、中堀工法も開発され都市内の工事でも使用され続けている。
鋼杭	古レール利用は比較的早いが、杭用として開発された断面が使用されたのは、昭和30年頃からである。利用は急速に伸び、橋梁打込杭基礎の90％に用いられている（昭和60年調査）	鋼杭が比較的高価であったのに需要が伸びたのは、材料に対する信頼性、施工上の有利さ（軽い、継ぎ手が容易、杭長の調整が現場で容易）に加え、供給量が多く入手が容易であったことによる。 日本では鋼杭と言えば、大部分が鋼杭であるのに対し、外国ではＨ鋼杭の使用が多い。これは耐震設計上方向性の強いＨ鋼杭に比べて鋼管杭が有利になることによる。

昭和37年（1962年）に約10万ｔであった鋼管杭の需要は、年々増加し、10年後の昭和47年（1972年）には100万ｔにまで急激に増加した。この間日本の粗鋼生産量も急速に伸びているが、鋼管杭への需要はその１％に及んでいる（図－4.2.2.1）。この後も昭和56年（1981年）まで、毎年の需要は100万ｔを越えた。鋼管杭の需要がこれ程までに伸びたのは、短期間に深い支持層に達する基礎を構築できると言う、鋼管杭基礎の利点が、埋め立て地や湾岸部での高速道路等の需要に最適だったことによろう。



図－4.2.2.1　鋼管杭・鋼管矢板の需要推移

②場所打ち杭基礎

建設現場で地盤に穴を造りその中へコンクリートを流し込んで杭基礎を築造する、いわゆる場所打ち杭の歴史は意外に古い。地盤にどのように穴を空けるかが工法として重要な点であり、今日まで開発のポイントとなってきている。当初は工法の大部分は重錘を落として穴を空けるか、先端に鋼製沓を付けた杭を打ち込み穴を空ける方法で、明治23年（1890年）頃から昭和25年（1950年）頃まで、主として建築用基礎として用いられていた。この工法は、穴を空けるのに排土をしないことから周辺地盤を密に突き固める効果があったが、周辺への振動・騒音等の公害が問題となった。このため、住宅の密集する都市部での施工は困難となって他の工法によって杭を築造する必要が出てきた。

戦後の経済発展に伴って、主要都市施設間を高速道路で連絡し、都市空間を高度利用する計画が立てられ、立体化された高速道路や高架橋建設工事等が急速に増加した。このような時代の要求に対し、今までの工法に代わって、昭和30年（1955年）頃から排土しながら穴を掘り杭を築造する工法が順次導入された。当初は施工機械が輸入品でかつ高価であったため、民間の技術導入は難しく、多くは公的企業体の直轄工事で利用された。しかし国産の施工機械が開発されると、場所打ちコンクリート基礎は急速に普及し、経済性の高い基礎工法となった。表－4.2.2.4に排土工法を採用した場所打ちコンクリート杭の歴史と特徴を揚げる。

なお、その他の杭基礎工法として中堀り圧入杭があるが支持力が、他の同口径の杭工法に比較して小さいので、大規模な鋼橋の基礎には適用されないので省略する。

表－4.2.2.4　排土工法を採用した場所打ちコンクリート杭の歴史と特徴

掘削工法	わが国での歴史	特　徴
オールケーシング工法 （機械掘削）	昭和29年国鉄がフランスのベノト社から輸入。	鋼管のケーシングによって、孔壁を保護しながら掘削し、底部からコンクリートを打ち上げながら、ケーシングを回転させ引き抜いてゆく。掘削深さは一般には40m程度まで。玉石層や岩盤の掘削は困難を伴う。また、緩い細砂層での施工でケーシングが抜けなくなることがある。昭和60年には場所打ち基礎の約80%はこの工法によっている。
アースドリル工法 （機械掘削）	昭和35年に米国カルウェルド社から輸入、東京都内の工事に利用。国内メーカーでも、時を同じくして発売したので、民間工事のも急速に普及。	ドリリングバケットを回転させながら掘削し、バケット内に掘削土を貯め、バケットを引き上げて排土する。孔壁の安定保護には、一般に泥水を使用する。崩壊性の激しい砂層等では使用できないが、ローム層には適用性があり、橋梁基礎としてよりも建築基礎に多く適用されている。
リバース工法 （機械掘削）	昭和37年西独から国鉄が輸入。これ以降杭径の大型化が始まった。昭和39年国内ではこれに代わるものとしてＢＨ工法が開発された（径1000mmまで可）。	掘削土の排土方法が上記２工法とは異なる。上記工法ではバケットを使っての間欠的な排土方法であるのに対し、パイプの回転軸内を泥水と共に流送し連続排出する方法を採っている。深い掘削に適している。逸水性の地盤では使用できない。
深礎工法 （人力掘削）	我国で開発された特許工法。昭和９年地上４階建てのビル建設への適用が最初。	開発当初のものは、波型鋼板とリングビームを利用して地山に崩壊を防止しながら、人力で掘削し所定の地盤まで掘り下げ、鉄筋を配置しコンクリートを打設して、杭を構築した。 簡便な工法で、おおきな耐力の基礎を築造できることから、山岳部の橋梁基礎に多く用いられた。口径は１.２m～3.0mが一般的であったが、地山の安定保持にＮＡＴＭ工法が応用されるようになって、17.0mに及ぶ大口径深礎も構築されるに至った（昭和60年.曽我部大１橋）。掘削に対しても小型機が開発され、作業能率が改善されている。

③多柱式基礎

水中に杭基礎を築造するとき、水深が深くとも、杭は杭打船や海上足場から打設できる。しかし、フーチングを水底に設置しようとすると、大規模な締切が必要となるなど、水中の杭基礎の場合、このフーチングの施工をいかにうまく施工するかが最大のポイントである。発想を変え、フーチングを水面上あるいは、水面と同レベルに設けることにすると、

フーチングのコンクリート型枠を支持する支保工は必要となるが、締切工が不要となるので、施工はずいぶんと容易になる。またケーソン基礎のような、大きな躯体を水上まで築造する場合よりも、水流への影響を大幅に減じることや、支持地盤の不陸への対応が容易になるなどの利点がある。このような思考を経て生まれたのが水中に建て込んだ多数の杭（柱）を水面上のフーチングで剛結する多柱式基礎である。この形式では、柱径が細いと、水平方向の剛度が小さく、水平荷重に対する変位が大きくなって、橋梁の機能を損なおう恐れもある。これを補うため１本の柱径を太くする方法を採ることが出来る。しかし大口径の杭は打ち込みによって設置するのは無理であり、機械掘削による削孔後柱体を建て込む工法が主体になってきている。この基礎の開発によって長大橋建設における基礎位置選択の自由度が大きくなった。表－4.2.2.5に多柱式基礎を適用した長大橋の例を示す。

表－4.2.2.5　多柱式基礎工法を採用した長大橋の例

橋梁名	橋梁完成年	上部工形式	対象基礎	柱諸元(m) (φ直径×長さ×本数)	概略水深	柱設法
琵琶湖大橋	昭39(1964)	鋼連続箱桁	中間橋脚	1.5φ×36×16本	6m	杭打
青柳橋	昭46(1971)	鋼合成桁	中間橋脚	0.8φ×20×18本	10m	杭打
大島大橋	昭51(1976)	連続トラス橋	中間橋脚	3.5φ×38×12本	20m	機械掘
興産大橋	昭57(1982)	連続トラス橋	中間橋脚	2.5φ×40×16本	8m	杭打
大鳴門橋	昭60(1985)	吊　橋	主　塔	7φ×1本,4φ×8本	5m	機械掘
横浜ﾍﾞｲﾌﾞﾘｯｼﾞ	平1 (1989)	鋼斜張橋	主　塔	10φ×9本,10φ×6本	13m	機械掘

（４）ケーソン基礎

①オープンケーソン

オープンケーソン工法は地盤の掘削部に周辺土が崩壊してこないよう、掘削しながら筒状のエレメント（井筒）を順次継ぎ足し、支持層まで沈下させ、支持層に到着したところで掘削底面にコンクリートを打設し、井筒と一体化させて上部構造からの荷重を支持する基礎工法である。

オープンケーソンは、木造枠を水中に沈め締め切り工として使用したウェストミンスター橋（着工1738年～完工1750）のものが初めとされている。この工事では、川岸で木枠を作り水中に設置し、石を詰めて安定させその後排水してその内部で工事を実施した（Bridges and Their Builders, pp.101）。ケーソン型枠は木製から、錬鉄製・鋼製と発達したが、コンクリート製の井筒が出現するのはかなり後になってからである。

1930年代（昭和５～15年）、アメリカで大型橋梁の建設が盛んになると、基礎も大型化

を要求され沈設精度の確保が重要となった。沈設工法を改善するためドームドケーソンが考案され、サンフランシスコ・オークランドベイブリッジには38.6m×22.7mのものが使用された。

我が国では、江戸時代からオープンケーソンによく似た樋下げ工法が水中工事に適用されて、煉瓦で井筒を作って施工した。本格的な適用は鉄道の建設の指導に当たったイギリス人技術者によって導入され、明治末期～大正初期にかけてＲＣ構造のケーソンが作られ始めた。日本での鉄筋コンクリートケーソンの始めての施工は、愛媛県肱川橋の大正２年（1913年）である。大正12年（1923年）の関東大地震被害報告写真に施工中の井筒が浮き上がった記録写真もあり、この時代ではかなり一般化されていたものと思われる。

オープンケーソンの欠点はいくつかあるが、沈下荷重が大きく、その積み卸しを必要とすることが先ず挙げられよう。その原因は、刃先の地盤の掘削、障害物の除去が困難なためであり、これらの作業が空気中で可能となるニューマチックケーソンへと工法は発達した。

小規模のケーソンにおいては、荷重の積み卸しを避けるため、支持層以下にアンカーしてジャッキ反力をとり、沈下を推進する方法も採られるようになった。また、硬質地盤への根入れに対してはロータリー掘削機等が用いられる。さらに施工を早めるため、口径3.5m程度までの小口径のケーソン躯体には工場製作されたＰＣ製品が用いられることも多くなった。

水中基礎にオープンケーソンを用いる場合は、いったん築島し、施工ヤードを準備しケーソンの製作・沈下に当たるのが一般的であるが、水深の大きい海中のオープンケーソンには、築島は不経済であるので、陸上で製作したケーソンを、大型フローチングクレーンで設置し、所定の深さへ自重で沈下させる工法も採られるようになった。その代表例は、広島大橋の基礎（外径10m、高さ33m、重さ1,800ｔ）である。このような工法が採用できたのは、設置ケーソン工法が採用出来たのと同様の理由と考えられる。

②ニューマチックケーソン

橋梁基礎工事用としては、19世紀の半ばイギリスで開発され（ロイヤル・アルバート橋、1853～1856、ケーソン施工）、この世紀の最大構造物と言われるフォース橋にも６基用いられた。フォース橋ではケーソンを川岸で下半分を錬鉄と鋼材で作り、進水後現場まで曳航沈設し、海面下約27m支持層へ床付した。最初の進水は1884年（慶応２年）である。

また、アメリカでは、セントルイスのアーチ橋（Eads-Bridge, 1869）の基礎に適用（沈設深さ32.7m）され、さらに20世紀前半の長径間吊り橋の基礎としても採用された。

日本はアメリカからニューマチックケーソン工法を導入した。大正12年（1923年）の関東大震災で東京隅田川に架設されていた橋の大部分が焼失した。この復興に当たるため、内務省に復興局が組織され、復興局、東京府、東京市でそれぞれ６橋、３橋、１橋ずつ計

10橋の建設に当たった。復興局は、大正13年（1924年）ニューヨーク基礎会社ヒューズ技師他２名を迎え、いち早く着工した永代橋の施工にニューマチックケーソン工法を導入した。

永代橋で適用されたニューマチックケーソン工法では、断面寸法24m×６mの潜函躯体の木造型枠が特設スリップウェイの上で製作され、進水、曳航、定位置設置後鉄筋コンクリート打設、送気を開始し数週間で沈下を終了した（大正14年（1924年）６月）。沈下深さは基準水面下27mであったが、ホスピタルロックを用いて日本人医師が潜函病の治療と予防に尽力した。引き続き清州橋、言問橋、蔵前橋にも適用された。

隅田川の各橋梁へのニューマチックケーソンの適用が成功に終わるとすぐに、万代橋（新潟県、昭和２年（1927年））、十三橋（大阪府、昭和５年（1930年））、大江橋（大阪市、昭和10年（1935年））にも適用され、大型橋梁に対する信頼性の高い基礎工法として格付けされるに至った。

ニューマチックケーソン工法には、圧気条件下での掘削作業が主体となるので、作業時間を短時間に制限する必要があること、したがって大水深部では作業能率が極端に低下してくる。また圧気作業の管理を間違うと、潜函病に苦しむ結果となるなど大きな欠点を有している。これらの欠点をカバーするため、種々の工夫がされてきた。その第一が大豊式ケーソン工法で、掘削した土を作業室の上階に設けた仮置スペースへ一時貯留させ、掘削能率を上げることを目的に開発され、特許を取得した。この工法は、昭和26年（1951年）群馬県大渡橋に初めて用いられた。この他、港大橋（昭和49年（1974年））では圧気圧を減じるため、ディープウェルを用いケーソン周辺の地盤の水位を低下させた。一方、作業室内の掘削作業の無人化の開発も進められた。昭和56年（1981年）に着工された名港西大橋では、大気圧のカプセル内に人間が入り、掘削機を遠隔操作して人力作業を激減させた。その後の長大橋のケーソン工事（レインボーブリッジ、鶴見航路橋、名港中央大橋）でも同様の工法が適用されて来ている。このような開発に支えられ、ニューマチックケーソン工法は現在も長大鋼橋の基礎建設に最も信頼のできる工法の１つとして多くの橋梁に適用されて来ている。戦後の長大鋼橋に適用されたニューマチックケーソンの例を表－4.2.2.6に示す。

表－4.2.2.6　ニューマチックケーソン工法を適用した長大橋の例

橋梁名	橋梁完成年	上部工形式	対象基礎	平面寸法	底面EL(m)
若戸大橋	昭37(1962)	吊橋	主塔	40×17	(-24)
河口湖大橋	昭46(1971)	鋼連続箱桁	中間橋脚	12×10	(12.7)
関門橋	昭48(1973)	吊橋	主塔	40×30	(-23)
港大橋	昭49(1974)	ｹﾞﾙﾊﾞｰﾄﾗｽ	中間橋脚	40×40	(-34)
名港西大橋	昭59(1984)	鋼斜張橋	主塔	35×33	(-45)
ﾚｲﾝﾎﾞｰﾌﾞﾘｯｼﾞ	平 5(1993)	吊橋	ｱﾝｶﾚｯｼﾞ	45×70	(-46.5)
東神戸大橋	平 6(1994)	鋼斜張橋	主塔	32×35	(-36)
鶴見航路橋	平 6(1994)	鋼斜張橋	主塔	40×40	(-33)
名港中央大橋	工事中	鋼斜張橋	主塔	34×30	(-50)

（5）鋼管矢板基礎

水中基礎のフーチングを水中で構築するとき、その締切工がポイントとなる。水深が浅い場合は、鋼矢板の一重締切で十分であるが、水深が深くなると剛性の大きな二重締切を用いるようになる。この二重締切工は架設工事でありながら、基礎工事費用の30～40%にも及ぶ工費を要することがある。締切工を簡素化し、安全を確保しながら工費を削減することが水中基礎工の課題のひとつであった。

解決の１つの試みは先に述べた多柱式基礎であった。しかし、横方向の剛性が小さいため地震時の変形が大きくなって、不適当な場合も出てきた。横方向の剛性を増加させるには、多柱式基礎の個々の柱に代えて鋼管杭の柱列を配置し、鋼管杭間のせん断力の伝達を図れば基礎の剛性を高めることが出来る。

一方、締切については、鋼管は鋼矢板よりはるかに剛性が大きいので、鋼管矢板を締切に用いれば15～20mの水深まで一重締切で施工可能となって、二重締切に比較し工期も工費も改善出来る。これらの点に着目し、さらに鋼管がシートパイルに比較し、信頼度が高く大きな鉛直支持力を発揮できることに注目し、締切に用いた鋼管矢板にフーチングを剛結して基礎とする方法が鉄鋼メーカーを中心に開発された。この工法の採用によって工費、工期をさらに改善し水面の専有面積を小さくすることが可能となった。

そして、昭和44年（1969年）石狩河口橋に、昭和45年（1970年）には小見川橋に基礎の横方向剛性を高める形式の鋼管矢板基礎が、昭和46年（1971年）には港大橋のアプローチ部の橋梁で仮締切をも兼用した鋼管矢板基礎が適用され、その昭和46年（1971年）には35

基を越える基礎に適用されるに至った。

昭和50年（1975年）にはいると、鋼管矢板基礎は、鋼管杭の需要量の約20%をしめるまでに一般化し、毎年15～20万ｔの鋼管が鋼管矢板基礎に使用されるようになった。この背景には、我が国の急速な経済成長に合わせ、道路網の整備が急務になったが、用地の取得しやすい湾岸部や、河口部の架橋計画（阪神高速道路湾岸線、首都高速道路葛飾江戸川線等）が多数有って、水中基礎の必要性が高まったこと、粗鋼生産量が昭和40年（1965年）以降5,000万ｔを越えるという産業構造があったことが挙げられよう。また施工面でも、大型杭打ち機が開発され、大きな打撃力が必要な鋼管矢板の打ち込みを可能にした点も見逃せない。

表－4.2.2.7に鋼管矢板基礎の主な実績を揚げる。

表－4.2.2.7　鋼管矢板基礎を適用した長大橋の例

橋梁名	橋梁完成年	上部工形式	対象基礎	矢板径×長	平面寸法	水深(m)
石狩河口橋	昭47(1972)	鋼斜張橋	主塔	0.8φ×42	8.9×20.5	5
港大橋取付橋	昭49(1974)	連続箱桁橋		1.2φ×33.5	15.2φ	地上
新水郷大橋	昭52(1977)	鋼斜張橋	主塔	1.2φ×57.5	26.5×16.2	5
大和川橋梁	昭57(1982)	鋼斜張橋	主塔	1.0φ×65.2 1.0φ×53.3	30.0φ 32.2φ	5
京浜北運河橋	昭57(1982)	鋼連続桁	中間橋脚	1.2φ×37.9	27.7×42.1	8
横浜ﾍﾞｲﾌﾞﾘｯｼﾞ取付橋	平 1(1991)	連続鋼ﾄﾗｽ橋	中間橋脚	1.0φ×60.5	21.3×48.8	地上
椎子川橋	平 (19)	連続箱桁橋	橋台	1.2φ×51.2	27.3×56.3	10
ﾚｲﾝﾎﾞｰﾌﾞﾘｯｼﾞ取付橋	平 5(1993)	鋼連続桁	中間橋脚	1.2φ×41.6	35.0×52.3	12

（６）地下連続壁基礎

場所打ちコンクリート杭が円形断面であるのに対し、矩形断面の杭（エレメント）を地中に構築しこれらを相互に連結させ、連続壁体を形成し橋梁基礎とするものである。

この矩形エレメントを連続させながら地中壁を構築する工法は、ヨーロッパで開発され昭和34年（1959年）に我が国へ導入された。導入当初は止水壁として利用されたが、低騒音・低振動の施工が可能であり、掘削孔の安定性も優れている上、壁体の剛性も高いので、重要構造物に近接した土留め構造として注目されだし、都市部で重要構造物に近接して施

工される地下鉄の開削工事では魅力ある工法になっていった。

エレメント間の継ぎ手は、当初水密性を確保するだけのものであったが、せん断力や場合によっては曲げモーメントまで伝達出来、またエレメントの連結方法を工夫することで、矩形エレメントは円形にも、矩形箱形にも連結してゆくことが出来れば、鋼管矢板基礎よりも剛性の高い基礎を構築可能となり、ケーソン基礎に代わって橋梁基礎に適用することが出来る。このような開発を経て、橋梁基礎工やシールドの発進竪杭として、ケーソン工法に代わって用いられるに至った。特に、円形断面を形成する場合は、周囲からの側圧に対して大きなフープコンプレッションが発生するので、エレメント継ぎ手間にはほとんど曲げモーメントを発生させることの無い状態となって、土留構造として大いに経済的になる。

橋梁基礎としては、昭和46年（1971年）、首都高速道路公団５号線の橋梁基礎として、初めて用いられ、昭和53年（1978年）以降、鉄道橋、タンク基礎等で適用数が増えた。その後大型橋梁の基礎として白鳥大橋、明石海峡大橋でも用いられた。白鳥大橋、明石海峡大橋では地下連続壁で円形土留工を建築し、基礎本体をこれに重ねて打設したが、白鳥大橋では基礎構築深さが80mにもおよんでいる。明石海峡大橋では、土留工の直径が85mにも及んでいるが、切り梁を一切用いずに、側壁を逆巻・順巻工法を併用しながら施工した。東京湾横断道路では東京湾上に設置される換気塔の基礎建設のため地下連続壁工法が用いられ、深さ114m（水深 28m）土留工の直径104mの海中基礎が建設された。この換気塔基礎から両側へシールドトンネル工事が発進される。このように地下連続壁は、ケーソン工法では不可能な大深度、大口径の基礎構築を可能にし、今後の大型橋梁の基礎工法として、またその補助工法としても大いに採用されることになろう。

表－4.2.2.8　代表的な地下連続壁基礎例

橋梁名	基礎完成年	上部工形式	対象基礎	壁厚×長さ(m)	平面寸法(m)
第550工区高架橋	昭46(1973)	連続桁	中間橋脚	1.0×19	
東大阪I/C橋梁	昭57(1982)	連続桁	中間橋脚	0.8×34.5	6.0×8.0
港工区高架橋	昭60(1985)	２層連続桁	中間橋脚	1.5×39	13.0×20.2
白鳥大橋	平 1(1989)	吊橋	主塔基礎	1.5×110	37φ
明石海峡大橋	平 1(1989)	吊橋	ｱﾝｶｰﾚｯｼﾞ	2.2×75	85φ
東京湾横断道路換気塔基礎	平 5(1993) or平 6(1994)	ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙに接続	換気塔基礎	2.8×119	98φ

（7）基礎構造発展の要因と展望

鋼橋の発展との関連で、基礎構造の発展の経緯を見てきたが、ここではその発展を促した要因をまとめ、今後のあるべき方向も展望してみたい。

基礎構造の発展を促した要因は大別すると以下の５つになろう。基礎構造の発展過程においては、これらの個々の要因が単独に作用したと言うより、むしろ他の要因と複合し作用してきたと言えよう。しかし、発展過程を辿ってみるとその時代の主要な要因が浮かび上がってくる。これはその時代で発展要因が社会の要請・それに係わった人々の欲求が基礎構造そのものに反映されているためであろう。時代順に並べてみると、マズローの唱える人間の欲求５段階説（生存、安全、帰属、尊敬・崇拝、自己実現）に近似した発展過程を辿ったようにも見えてくる。

①第１要因：自然災害に強い基礎構造の要求（生存条件を満たすための発展）

橋が構造物として構築され始めた時期から、「強度」は構造物の基本機能であった。基礎工については、主として洪水による洗掘、流失に耐えうる機能が要求され、強度を追い求め、強い構造を目指した。その結果、橋脚の回りを固めることや、橋脚基礎を深く根入れすることが必要になった。基礎形式としては、水中部で締め切りながら掘削し箱枠を沈下されるオープンケーソン工法が誕生した。

大正12年（1923年）の関東大地震を経験すると、洗掘に加え地震に強い基礎への要求が高まり、しっかりした支持地盤まで根入れしたニューマチックケーソン基礎が導入され、帝都復興事業に適用された。

昭和39年（1964年）の新潟地震では、基礎周辺地盤の液状化が地震の被害を大きくしたことから、液状化の予測手法や液状化した地盤中の基礎の設計法の研究が実施され、設計技術基準が整備された。液状化に対する新しい基礎工法は生まれなかったが、地盤の液状化を防止する地盤改良工法が生まれた。

この様に自然災害の経験が基礎構造の発展を促してきたが、今後は高度に発達したコンピュータと予測理論によって、災害を事前に予測しその対策を設計に反映させることが重要な課題といえよう。

②第２要因：建設労働力の不足や労働災害の防止（人間解放のための発展）

工事の安全を祈願するため、誰が人柱になるのか主題にした民話があるのは、古くから土木工事が如何に危険を伴うものであったかを物語っている。工事における危険を避ける願いは、この様に古くから現在にいたるまでの長期にわたる要求であったが、それを解決する有効な手段はなかなか生まれなかった。そして、昭和50年代後半（1980～1984年）頃から大都市圏の道路網や高速道路の建設等を中心とする社会資本整備が強く推進されたが、一方でわが国の人口構造の変化が進展した結果、建設産業への若年労働力の減少、建設労

働力の老朽化が起こってきた。幸い電子計算技術等技術や電気制御技術の発展もあって、熟練を必要としてた判断を数値化し、コンピュータによる判断に置き換えることが可能となり、その画期的な例が、圧気下での作業の改善（ケーソンの自動掘削工法）である。さらに、圧気下での作業の不要な工法（鋼管矢板工法、地中連続壁工法による基礎）も生まれた。重労働・体力のいる仕事、危険な仕事・熟練を要する仕事、汚れる仕事を機械に置き換えるための発展は、思想が先行したのではなく、労働力不足が強いインパクトとなった。今後も「人への優しさ（安全・快適性）」を工法開発の重要要因と位置づけるべきであろう。

③第３要因：他のシステムとの両立性の高い基礎：（共存を模索する発展）

基礎の設置を前置として、その建設に当たっての構造上・施工上の問題点を解決してきたが、基礎の設置そのものが既存のシステムに対し負の効果をもたらすことも多い。例えば、洪水調整機能を持つ掃流力の大きな河川中に橋脚を設置すると、洪水時の水位上昇や河床の洗堀等の悪影響を及ぼす。また、海峡部水路に橋脚を設置すれば、航路としての機能との両立性が問題となる。この様な橋梁基礎の施工や存在と他のシステムとの両立性の問題については、個々に検討がなされ橋脚の形状やフーチングの位置を規定する技術基準が用意されるに至った。この技術基準の整備によって、橋梁の流失や船舶の重大な衝突事故は、ほとんど発生していない。

今後は社会システムがさらに複雑化すると思われるから、橋脚設置についてはさらに総合的な事前評価が必要となろう。特に、周辺環境との両立性：施工に伴う掘削や完成後の荷重作用の与える影響、上部構造からの交通振動を周辺地盤に伝達する媒体と成る可能性、自然景観との両立性、地下水資源との両立性等に対する検討を含め基礎そのものの設置に対する総合的・多面的で、将来予測を踏まえた検討をシステム（統合）化すべきであろう。

④第４要因：産業の発展のための道路ネットワークの必要性（他への貢献を目指す発展）

昭和30年（1955年）を過ぎると、人および貨物の移動に対しその主役となる輸送手段が転換期を迎えた。すなわち、船、鉄道から自動車への転換が始まった。この社会的要求に応えるため、日本道路公団、首都高速道路公団・阪神高速道路公団が次々と設立された。しかし、道路輸送需要が最も高い都市部では、用地のスムーズな確保が困難であったため、道路用地は立地可能な沿岸部、埋め立て地盤部に求められた。また、水運を支えた運河の上空やそれを埋め立て、道路用地としての転用が図られた。このように軟弱地盤で、深い基礎を短期間で経済的にしかも既設の諸施設に及ぼす影響を最小限に抑制しながら施工する工法として杭基礎が発展した。急速施工が可能な鋼管杭基礎、水中基礎に対し締切を兼用できる鋼管矢板基礎など、鋼管を使用した基礎が急速に増加した、これには、我国の鉄鋼産業の興隆が好影響を及ぼしている。一方都市部においては、施工時の振動や騒音を規

制するため、場所打ちコンクリート杭基礎が発展した。

杭基礎の発展で基礎工費や工期は、ケーソン工法に比べ80%～50%にも縮小できるケースも出てきた。この時期の杭基礎の発展がなければ大都市湾岸部における、急速な道路網整備も不可能であったと考えられる。

⑤第５要因：国の経済発展と大型プロジェクトの存在（技術的可能性を模索する発展）

昭和48年（1973年）に着工された本州四国連絡橋架設プロジェクトは、基礎構造の発展に大きなインパクトを与えることとなった。上部構造からの荷重をどのような形式で強固な支持地盤まで伝達されるかという新しい基礎形式での画期的な発展はなかったが、その施工法では多くのめざましい発展があった。飛躍的な発展を促すには、国家レベルのプロジェクトの存在が有効であることを如実に物語っている。特徴的なのは、水中掘削やその精度管理の方法、大型基礎の沈設およびその管理工法、コンクリートの打設およびその管理の方法においては、機械や電子技術と言ったハード部門の発展による工法の進歩のみならず、統計的決定的理論やファジー理論等を応用した管理手段も生まれた。

この様に基礎構造に限定しても、土木工学を総合工学として発展させる必要性を示唆している。

４．２．３　大型クレーン船による橋梁大ブロック架設工法の発展

橋梁の大ブロック架設は、戦前というよりすでに19世紀中期から欧米で実績がある。ジャッキや干満の差を利用しての一括架設、ウィンチによる大ブロック巻き上げ、クレーン船による一括架設、と古くから多種の工法が試みられているので、大ブロック工法は戦後日本の創造というわけではない。

しかし、大ブロック工法、特に大型クレーン船を使ってのこの工法が、日本で独自の発展を遂げたのは事実である。また、欧米特にヨーロッパに刺激を与え、この工法のリバイバルを促したとすることも事実である。この点、新幹線がＴＧＶなど諸外国の高速鉄道計画の発想源になったことと似ている。

日本のクレーン船の特徴は、吊り容量と巻き上げ高さなど、きわめて大規模であると共に、汎用性を兼ね備えている点である。外国の俯仰型のクレーン船で日本のような大規模なものはない。グレートベルトや第２セバーンで使っているクレーン船は規模は大きいが、何れも俯仰できない固定ジブ形式である。これは最初から単一プロジェクト専用として汎用性を考えていないためである。因みに、グレートベルト用に建造された6,000ｔ吊りスワン号は、架設工事の役割を終了して、すでに売りに出されている。

ここでわが国のクレーン船の発展の推移について述べてみる。昭和30年代（1955～1964年）以前は日本全国に約70社のサルベージ会社があり、海難による沈船引揚げ作業に従事していた。当時は沈船引揚げは解体引揚げかもしくは浮力タンクを用いての引揚げが主で

あって、小規模船、またクレーンがついていてもせいぜい吊上げ重量100ｔ前後のものであった。昭和30年代（1955～1964年）になると、大型船の建造が始まり、鉄鋼業の規模拡大の要請とともに港湾の整備や大規模埋立が全国的に急がれることになる。港湾の護岸工事の合理化、省力化のための大型ケーソンの設置に大型クレーン船が必要となり、吊り上げ重量500ｔクラスのクレーン船が建造された。

昭和30年代後半から40年代（1960～1974年）にかけてわが国大都市沿岸部における交通網の整備、とりわけ都市高速道路等の道路の建設が始まり、河川や運河上での橋梁大ブロック架設に大型クレーン船が活躍することになる。この頃から吊上げ重量1,000ｔを超えるクレーン船が建造された。昭和37年（1962年）には「クレーン等安全規則」が制定され、クレーン等の製造、設置、使用について一貫した規制が行われることになり、それまで各会社で独自に製作され、稼動していた大型クレーン船もこの規則により建造され、安全に建設工事に従事することになった。高度成長期の昭和46年から48年（1971～1973年）にかけて1,000ｔクラス以上でも1,000ｔが２隻、1,300ｔが２隻、1,500ｔが１隻、2,500ｔが１隻と大型クレーン船が続々と建造された。

昭和48年（1973年）には本州四国連絡橋の児島－坂出ルートが着工目前となっていたが、児島－坂出ルートの海上６橋の橋脚・橋台の海中基礎の設置ケーソン工事や上部工架設に照準をあわせ、昭和49年（1974年）２月に3,000ｔ吊り、100ｍを超える揚程をもった「武蔵」が建造された。ところが第一次オイルショックによる総需要抑制策のひとつとして児島－坂出ルートの着工が凍結となり、大型クレーン船の活動は暫らくの間低迷することとなった。その後、第一次オイルショックによる経済不況も回復時期を迎え、石油掘削リグの建造や火力発電所建設のための大規模海上工事や本州四国連絡橋も１ルート４橋の工事が進められ、それらの受けて大型クレーン船も3,000ｔ吊り２隻、3,500ｔ、4,100ｔ吊り各１隻と建造された。吊り上げ荷重1,000ｔ以上の現有クレーン船を表－4.2.3.1に示すが、現在1,000ｔ以上のクレーン船が19隻あり、寄神建設、深田サルベージ建設、吉田組の三社でほとんどが所有されている。昭和30年代（1955～1964年）全国で70社余りあったサルベージ会社も現在は７社となり、大型クレーンはここにあげた三社によって競い合うように建造されてきた経緯がある。

図－4.2.3.1にクレーン船の吊り能力の変遷を示すが、吊り能力は昭和35年（1960年）の1,000ｔクラスから昭和45年（1970年）には2,000ｔクラス、昭和55年（1980年）以降は3,000ｔから4,100ｔと大きくなってきた。昭和49年（1974年）の3,000ｔ（武蔵）の建造が他の船に先駆けて行われたことが判る。揚程も昭和35年（1960年）の80ｍから現在は120ｍクラスと伸びてきている。3,000ｔ吊りの大型クレーン船が建造される一方、1,300～2,000ｔ吊り、揚程60ｍ～100ｍの中規模クラスのクレーン船も建造されている。

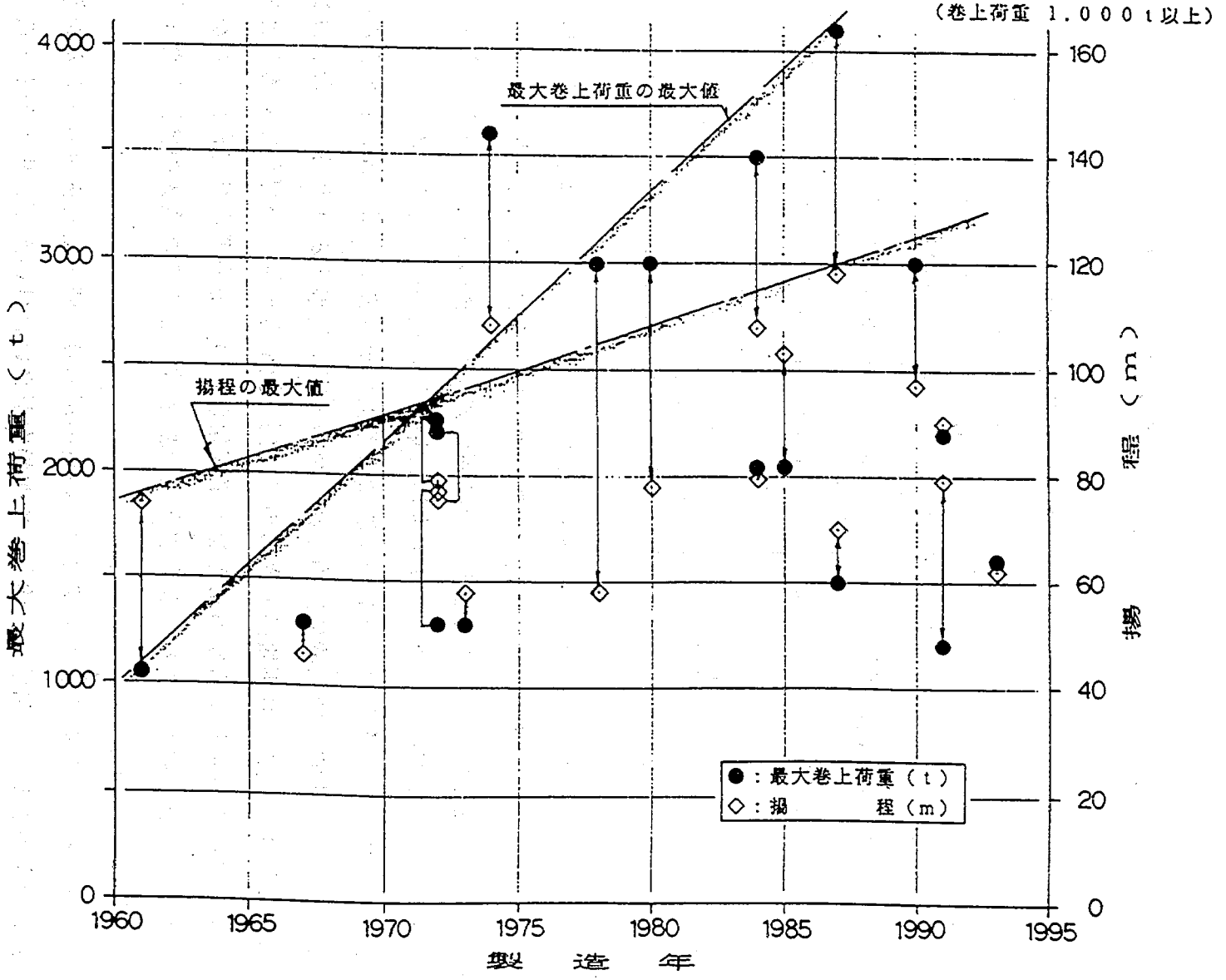
これらの需要を見込んで建造された大型クレーン船の稼動が始まると、今度は沿岸部、海上の諸種の工事計画が、こうしたクレーン船利用を前提に立案されるようになった。供

給が需要を生み、拡大した需要がさらに次の供給を生むというサイクルにのったのである。

ここ数年、関西国際空港、阪神高速道路湾岸線、東京湾横断道路、明石海峡大橋をはじめとする本州四国連絡橋などの建設が行われており、3,000ｔ吊りクラスを主として大型クレーン船の活動は最盛期を迎えている。

表－4.2.3.1　現有起重機船一覧表（巻上荷重1,000ｔ以上）

会社名	基地港	船名	総ﾄﾝ数又は排水ﾄﾝ数	船体主要寸法			最大巻上荷重	船体からの前面水平距離	巻上速度	揚程	ｸﾚｰﾝ形式	製造年	自航・非自航の別
				長(m)	幅(m)	深(m)	(t)	(m)	(m/分)	(m)			
寄神建設（株）	神戸港	海　翔	26,900	120.0	55.0	7.5	4100.0	38.75	1.1	117.9	固定俯仰	1987	非自航
深田ｻﾙﾍﾞｰｼﾞ建設（株）	大阪港	武　蔵	20,260	107.0	49.0	8.0	3600.0	38.50	1.2	108.0	固定俯仰	1974	非自航
（株）吉田組	大阪港	第50吉田号	16,503	110.0	50.0	8.5	3500.0	38.00	2.0	107.6	固定俯仰	1984	非自航
寄神建設（株）	神戸港	新寄隆	10,076	110.0	45.0	7.0	3000.0	39.30	2.4	97.2	固定俯仰	1990	非自航
寄神建設（株）	神戸港	翔　隆	12,430	95.4	41.0	7.5	3000.0	24.80	0.8	77.9	固定俯仰	1980	非自航
（株）吉田組	大阪港	第28吉田号	10,353	94.0	40.0	7.8	3000.0	30.00	0.8	58.0	固定俯仰	1978	非自航
新日本製鐵（株）	ﾏﾚｰｼｱ	くろしお	25,346	142.0	40.0	9.0	2269.0	52.00	2.4	79.0	全旋回	1972	非自航
深田ｻﾙﾍﾞｰｼﾞ建設（株）	長浦港	駿　河	15,000	90.0	41.0	7.0	2200.0	37.00	1.3	90.0	固定俯仰	1991	非自航
（株）吉田組	大阪港	第26吉田号	10,353	94.0	40.0	7.8	2200.0	55.26	1.0	75.4	固定俯仰	1972	非自航
寄神建設（株）	神戸港	海　星	15,000	110.0	39.0	7.0	2050.0	28.00	0.8	103.0	固定俯仰	1985	非自航
深田ｻﾙﾍﾞｰｼﾞ建設（株）	大阪港	金　剛	9,890	85.0	38.8	6.0	2050.0	29.70	1.3	79.7	固定俯仰	1984	非自航
寄神建設（株）	神戸港	神翔-1600	8,664	95.0	45.0	7.0	1600.0	24.85	3.0	62.2	全旋回	1993	非自航
（株）森長組	志筑港	第1豊号	12,066	106.0	43.0	10.0	1500.0	29.00	2.6	70.0	全旋回	1987	非自航
深田ｻﾙﾍﾞｰｼﾞ建設（株）	呉　港	長　門	7,758	80.0	36.0	6.0	1300.0	28.80	1.5	76.8	固定俯仰	1972	非自航
寄神建設（株）	神戸港	日　神	5,700	80.0	30.0	5.5	1300.0	21.10	1.0	57.6	固定俯仰	1973	非自航
寄神建設（株）	神戸港	建　隆	5,700	80.0	30.0	5.5	1300.0	21.10	1.0	57.6	固定俯仰	1973	非自航
（株）吉田組	大阪港	第23吉田号	4,860	74.0	31.0	6.0	1300.0	21.00	1.5	46.0	固　定	1967	非自航
寄神建設（株）	神戸港	新柏鵬	4,209	90.0	30.0	5.5	1200.0	38.95	3.8	79.1	固定俯仰	1991	非自航
寄神建設（株）	東京港	昭　鶴	3,600	72.0	32.0	5.7	1050.0	16.70	1.5	74.0	固定俯仰	1961	非自航



図－4.2.3.1　クレーン船の吊り能力の変遷

橋梁工事の一括ブロック架設工法は大型クレーン船の発達と共に大規模化してきており、大型クレーン船の単独架設でも3,000ｔを超えるブロックの架設が可能となり、二隻吊りでは5,000ｔを超えるブロックの架設が容易となった。陸上のクレーンでは安全上許されないであろう三隻吊りも、フローティングクレーンという浮体構造の故に可能となり、表－4.2.3.2に示すように三例の実績があり、最近では総重量8,700ｔの架設の例がある。

表－4.2.3.2 クレーン船３隻相吊りの実績

架設年月日	橋梁名	吊り上げ総重量(t)	使用クレーン船（吊り上げｔ級）
昭和52年(1977年)	荒川湾岸橋架設	5,250ｔ	3,000ｔ、1,500ｔ、1,500ｔ
平成４年(1992年)11月20日	六甲アイランド橋架設	約7,300ｔ（吊具等含む）	4,100ｔ、3,000ｔ、3,600ｔ
平成５年(1993年)６月30日	西宮港大橋浜出し	約8,700ｔ（吊具等含む）	4,100ｔ、3,600ｔ、3,500ｔ

クレーン船を用いた橋梁の大ブロック工法の採用は、大ブロックの工場組立による品質の確保、艤装等の先行や浜出し・輸送・据付・架設の一括実施による工程管理の正確さ、施工の安全確保、工期短縮による船行船舶への影響の減少や経費の節減等のメリットをもたらし、海洋および沿岸部の橋梁建設工事の進展に果たした役割は大きなものがある。

特に安全という観点で見るとき、クレーン船による工事が今まで事故を起こしていない点は注目に値する。時間的、空間的に集約され、かつ工事に従事する作業員の人数もコンパクトであることは、工事の計画段階できわめて周到・緻密な準備が不可欠であることを意味する。安全管理に関するあらゆる措置を工事開始前に事実上終了させてきたことが、クレーン船大ブロック工事を、少なくとも現在まで無事故にしてきた最大の要因と考えられる。

しかしながら、クレーン船業界の実状は厳しいものがあり、競って設備投資をした結果過剰気味とも思えるクレーン船は、全体として稼動率が良いとはいえず、投資効率の低下をきたしており、また天候に左右される回航費の負担等企業経営を苦しめているといわれている。

クレーン船を用いた橋梁の大ブロック架設工法というわが国橋梁工事の近代化の指標ともいえる工法も、クレーン船業者の将来を先取りした大胆な企業経営の結果に負うていることも事実であると考えられる。

4．2．4　鋼橋塗装の発展

（1）鋼橋塗装の現状

平成4年（1992年）4月1日現在、道路総延長は一般国道、主要地方道、一般地方道、一般都道府県道、市町村道合わせて1,115,592.1kmである。そのうち、橋長が15m以上の道路橋は、122,512橋で延長は6,812kmであるが、鋼橋は道路橋のうち橋数で41.6%、延長で50.1%を占めている。

このような中で道路橋塗装技術はきわめて重要な役割を果たしている。その一つの理由は日本の腐食環境条件の厳しさである。

わが国は、ほぼ北緯20度～46度，東経124度～154度に位置しており、一部を除いてほとんどが温帯地方にある。気候は四季の変化に富むが、冬季の日本海側は、強い北西の季節風による海塩粒子の飛来量が多い。一方、太平洋側の平野部は海塩粒子の飛来が少ない。また、山間部も穏やかな環境である。亜熱帯地方に位置する沖縄県は、島全体に海塩粒子が飛来する高温多湿の厳しい腐食環境である。

このために、鋼橋には防錆処置が積極的に適用されてきた。ほとんどの鋼道路橋の防食は塗装で行われている。鋼道橋の塗装面積は、およそ4,000万m^2あり、年間の塗り替え面積は、およそ300万m^2に達している。

（2）塗料と塗装仕様の進展

1853年、浦賀に来航したアメリカのペルリによって始めて塗料が伝えられ、1878年に我が国で始めて塗料が生産された。第二次世界大戦前は、弁柄または鉛系錆止顔料にボイル油をベースとした調合ペイントにフタル酸樹脂系の上塗り塗料という塗装系が主体であった。

戦後、石油化学工業の発達により各種合成樹脂の塗料化が盛んとなった。1950年代頃には、エポキシ樹脂塗料、塩化ビニル塗料、長油性アルキド樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料が開発され、昭和30年（1955年）には、長燥型ウオッシュプライマーが実用化された。

昭和35年（1960年）頃には、エポキシ樹脂系ジンクリッチ塗料が普及し始めた。昭和50年（1975年）には、ガラスフレーク塗料が開発され、昭和59年（1984年）には、常温乾燥型ふっ素樹脂塗料が開発された。その間、不飽和ポリエステル樹脂塗料、フェノール樹脂塗料、シリコンアルキド樹脂塗料、ビニルエステル樹脂塗料、シリコン系樹脂塗料などの新しい塗料が開発された。このように、化学技術の進展をうけて、優れた塗料が開発された。

これに伴い塗装仕様も最新の技術を利用する形で、逐次変遷した。

昭和35年（1960年）頃まで、鋼橋の防錆塗装は、鉛丹及び鉛系錆止塗料に長油性アルキド樹脂塗料を上塗りとする塗装系が主流であった。昭和35年（1960年）頃までは、ミルスケールのままの鋼材に塗装していたが、昭和35年（1960年）以降、製鋼工場で鋼材をショ

ットブラストしてショッププライマーを塗付した原板を橋梁工場で加工して中塗りまで塗装した後、現場に運搬、架設し、コンクリート床版打設後に上塗り塗装を行う工法が確立された。この工法は、今日でも穏やかな腐食環境の一般橋梁における標準的な工法となっている。

表－4.2.4.1に示すように海上長大橋の塗装仕様は大きく異なる変遷をとげた。塗替えが困難であるなどの理由で塗替え間隔を長期化する必要に迫られた海上長大橋や海岸付近の厳しい腐食環境にある橋梁に対しては、1960年代後半頃から、防錆下地として防錆性能の優れた亜鉛などの金属溶射や亜鉛末を多量に含んだ塗料を用い、下塗り塗料には遮断性能に優れた合成樹脂塗料を、上塗りにはアルキド樹脂塗料に比べ耐候性に優れた塩化ゴム系塗料やポリウレタン樹脂塗料を用いる耐久性に優れたいわゆる重防食系の塗装仕様が用いられるようになった。

昭和48年（1973年）、関門橋には亜鉛溶射／フェノールジンククロメート／フェノールＭＩＯ／塩化ゴム系塗料の塗装仕様が適用された。

同じ頃、本州四国連絡橋プロジェクトの基本計画の作成が開始されたが、本橋梁の防錆対策については、将来の維持管理体制を考慮して、土木学会において本州四国連絡橋に適用する防錆塗装基準（案）が答申された。これによって、海上長大橋の塗装仕様に関する方向性が明確に打ち出されたことになり、材料および塗装技術の進歩に大きく寄与した。

この答申に基づき、昭和58年（1983年）の因島大橋、昭和60年（1985年）の大鳴門橋、昭和63年（1988年）の瀬戸大橋（南・北備讃瀬戸大橋、下津井瀬戸大橋など）では、無機ジンクリッチプライマーでブロック組み立て後、製品ブラストして厚膜型無機ジンクリッチペイント／厚膜型エポキシ樹脂塗料／ポリウレタン樹脂塗料を塗装するＣ塗装仕様が適用され、上塗り塗装までを素地調整、塗装条件、塗装間隔などの管理が十分に行き届く工場で塗装し、輸送や架設時に生じた損傷部分の補修塗装及び現場接合部のみを現場塗装する大ブロックを現場で一括架設する工法が確立された。

近年では、鋼橋の防食・保護の観点からだけではなく、色彩や景観の観点からの要望が高まっている。このために平成２年（1990年）には塗装仕様も全面的に改定された。周辺景観との調和を求める要請が増えるに従い、より光沢保持性に優れた塗料として、ふっ素樹脂塗料が上塗り塗料として用いられ、また、吊り橋のタワーリンクなど塗替え塗装が行えない部位や海上橋の鋼製橋脚のタイダル部など非常に腐食環境の厳しい部位などに、より防食性に優れたガラスフレーク塗料や超厚膜型エポキシ樹脂塗料が瀬戸大橋や関西新空港連絡橋に適用されている。

このような技術成果を受けて、鋼道路橋では、合理的に塗装仕様を適用している。たとえば、田園部や山間部などの一般環境では、鋼道路橋塗装便覧のＡ塗装仕様（鉛系さび止め／フタル酸樹脂塗料）が用いられている。一方、工業地帯や海浜部などのやや厳しい腐食環境では、Ｂ塗装仕様（鉛系さび止め／フェーノールＭＩＯ／塩化ゴム系塗料）が

表－4.2.4.1　海上橋の塗装仕様の変遷

完成年	橋　梁　名	塗　装　仕　様	備　考
昭和35年 (1960)	銚子大橋	油性さび止め／フタル酸樹脂塗料	ミルスケール上に塗装
昭和37年 (1962)	若戸大橋	油性さび止め／フタル酸樹脂塗料	吊り橋
昭和43年 (1968)	尾道大橋	油性さび止め／フタル酸樹脂塗料	斜長橋
昭和46年 (1971)	京浜大橋	無機ジンクリッチペイント／エポキシ樹脂塗料／ポリウレタン樹脂塗料	
昭和46年 (1971)	城南大橋	無機ジンクリッチペイント／エポキシ樹脂塗料／ポリウレタン樹脂塗料	
昭和48年 (1973)	広島大橋	無機ジンクリッチペイント／塩化ゴム系塗料	
昭和48年 (1973)	関門橋	主塔：油性さび止め／フタル酸樹脂塗料 補剛桁：亜鉛溶射／フェノールジンククロメート／フェノールＭＩＯ／塩化ゴム系塗料	吊り橋
昭和49年 (1974)	荒川湾岸橋	エポキシジンクリッチペイント／塩化ゴム系塗料	トラス橋
昭和49年 (1974)	港大橋	油性さび止め／フェノールＭＩＯ／塩化ゴム系塗料	トラス橋
昭和54年 (1979)	大三島橋	厚膜型無機ジンクリッチペイント／フェノールジンククロメート／フェノールＭＩＯ／塩化ゴム系塗料	トラス橋
昭和58年 (1983)	因島大橋	厚膜型無機ジンクリッチペイント／厚膜型エポキシ樹脂塗料／ポリウレタン樹脂塗料	吊り橋
昭和60年 (1985)	大鳴門橋	厚膜型無機ジンクリッチペイント／厚膜型エポキシ樹脂塗料／ポリウレタン樹脂塗料	吊り橋
昭和63年 (1988)	南備讃瀬戸大橋 北備讃瀬戸大橋 下津井瀬戸大橋	厚膜型無機ジンクリッチペイント／厚膜型エポキシ樹脂塗料／ポリウレタン樹脂塗料	吊り橋
昭和63年 (1988)	岩黒島橋 櫃石島橋	厚膜型無機ジンクリッチペイント／厚膜型エポキシ樹脂塗料／ポリウレタン樹脂塗料	斜長橋
昭和63年 (1988)	与島橋	厚膜型無機ジンクリッチペイント／厚膜型エポキシ樹脂塗料／ポリウレタン樹脂塗料	トラス橋
平成元年 (1981)	横浜ﾍﾞｲﾌﾞﾘｯｼﾞ	厚膜型無機ジンクリッチペイント／厚膜型エポキシ樹脂塗料／ポリウレタン樹脂塗料	斜長橋
平成３年 (1991)	生月橋	厚膜型無機ジンクリッチペイント／厚膜型エポキシ樹脂塗料／ふっ素樹脂塗料	トラス橋
平成３年 (1991)	生口橋	厚膜型無機ジンクリッチペイント／厚膜型エポキシ樹脂塗料／ポリウレタン樹脂塗料	斜長橋

用いられている。

また、海峡横断橋梁や海岸付近に架設される大規模橋梁は、厳しい腐食環境であること

及び塗替えが困難であるため、金属亜鉛末を多量に含有して強力な防錆力を持つジンクリッチペイントに、エポキシ樹脂塗料とポリウレタン樹脂塗料あるいはふっ素樹脂塗料を組み合わせた塗装仕様であるC塗装仕様（厚膜型ジンクリッチペイント／エポキシ樹脂塗料／ポリウレタン樹脂塗料）が用いられている。

代表的な鋼橋塗装仕様A、B、Cを表－4.2.4.2に示す。

表－4.2.4.2　代表的な鋼橋塗装仕様（鋼道路橋塗装便覧）

A塗装仕様

工　　程	塗　　料　　名	乾燥膜厚(μm)	塗装間隔
1次素地調整	原板ブラスト：長ばく形ｴｯﾁﾝｸﾞﾌﾟﾗｲﾏｰ	15	～3月
2次素地調整	動力工具処理	——	——
第1層	鉛系さび止めペイント	35	2日～10日
第2層	鉛系さび止めペイント	35	～6月
第3層	長油性フタル酸樹脂塗料中塗	30	2日～10日
第4層	長油性フタル酸樹脂塗料上塗	25	——

B塗装仕様

工　　程	塗　　料　　名	乾燥膜厚(μm)	塗装間隔
1次素地調整	原板ブラスト：長ばく形ｴｯﾁﾝｸﾞﾌﾟﾗｲﾏｰ	15	～3月
2次素地調整	動力工具処理	——	——
第1層	鉛系さび止めペイント	35	2日～10日
第2層	鉛系さび止めペイント	35	2日～10日
第3層	フェノール樹脂MIO塗料	45	～12月
第4層	塩化ゴム系塗料中塗	35	1日～10日
第5層	塩化ゴム系塗料上塗	30	——

C塗装仕様

工　　程	塗　　料　　名	乾燥膜厚(μm)	塗装間隔
1次素地調整	原板ブラスト：無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾌﾟﾗｲﾏｰ	20	～6月
2次素地調整	製品ブラスト	——	——
第1層	厚膜型無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	75	2日～10日
第2層	ミストコート		1日～10日
第3層	厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗	60	1日～10日
第4層	厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗	60	1日～10日
第5層	ポリウレタン樹脂塗料用中塗 または、ふっ素樹脂塗料用中塗	30	1日～10日
第6層	ポリウレタン樹脂塗料上塗 または、ふっ素樹脂塗料上塗	25	——

（3）技術発展の要因分析

①発展の社会的背景

最近、社会資本整備への強い要請により、道路橋の数が著しく増大した。これとともに道路橋に関する塗装技術は高度化している。ほぼ10年ごとの定期的な鋼道路橋塗装便覧の改訂がその進歩を裏付けている。

わが国の特徴の一つに橋梁がシンボリックな構造物と見なされることが多いことが上げられる。橋梁への社会的な関心が高いこと、また、機能に対する要求度合いが高く、特にシンボリックな特性を求める場合には、美しい橋であることが求められる。このため、より外観光沢に優れる塗料や塗装仕上がりなど、塗装は橋梁の美装手段として、社会的要請に応えてきた技術のひとつであると言えよう。

②関連技術の発展

石油化学工業によって次々に新しい樹脂が作られた。昭和25年（1950年）以降のエポキシ、タールエポキシ、ビニルエステル、ポリウレタンなど数多くの種類が合成され、それらが各々特長をもった塗料として塗料化された。この点、日本の化学技術が米、欧と並ぶ技術力を持っていることが塗料の発展に有利に働いている。

大手橋梁製作会社は橋梁、プラント、船舶などの大型構造物部門と建築部門をもっており、積極的な技術開発を行っている。

関連する評価技術が進んだことも技術発展を側面より支えた。たとえば、自動車産業では、車の耐食性を高めるために各種の耐食性促進試験法や外観の評価手法を開発した。また、自動ロボットによるインハウス塗装も日常的となった。これらは、橋桁等の工場塗装の省力化にも大きく寄与した。

橋梁技術者と鉄鋼技術者および塗料・塗装技術者との長年の協力関係も塗装技術の進展につながった。その協力関係を示す例として、社団法人鋼材倶楽部、日本鋼構造協会、日本橋梁建設業協会はいずれもその研究委員会としての塗装部会をもっている。

同様に社団法人日本道路協会では、道路橋の塗装便覧を定期的に改訂発行している。各公団では、高速道路調査会、海洋架橋調査会、阪神高速道路管理技術センターなとで常設の塗装委員会を設置している。塗膜の劣化実態の把握だけでなく研究の進展や技術情報を共有化することによって適切な対処を行ってきている点も重要なポイントであろう。また、日本鋼橋塗装専門会では、スクールを開き技能者の育成を行っている。

波及効果の点では、道路橋塗装技術は大型プロジェクトや大型船舶の塗装工事、海洋構造物の防食技術などの高度化に貢献している。特に20年以上の耐食性能を可能とする最近の塗装技術は、大規模な海洋構造物や河川構造物の腐食対策に大きな効果があると期待される。

（4）わが国独自技術の展開

鋼橋塗装に関する技術開発は，公的機関では伝統的に土木研究所および鉄道技術研究所が担ってきた。この分野においては建設省および道路系公団が積極的に技術開発に関与していることが効率的な、合理的な技術開発に繋がっているといえよう。海上あるいは沿岸部等厳しい腐食条件下に建設される橋梁はわが国では非常に多く、耐久性のある鋼橋塗装は独自技術の開発によるものがすべてであり、現在で世界でも最高の水準にあるといっていいだろう。わが国独自技術の展開は以下の通りである。

①新しい長期耐久性塗料

海上長大橋などの大規模橋梁において、吊り橋のタワーリンクなど塗替えが出来ない部材の防食及び一般部鋼材のメンテナンスを大幅に軽減することためにガラスフレーク塗料を導入した。この塗料は優れた遮断性能（水蒸気透過量，塩素イオン浸透深さ）や塗膜物性（塗膜付着力、耐衝撃性）を持っている。

下津井瀬戸大橋などの試験施工の結果に基づいて、土木研究所では表－4.2.4.3に示すガラスフレーク塗料に関する品質規格（案）を提案した。

表－4.2.4.3　ガラスフレーク塗料の成分組成に関する品質規格（案）

ビヒクル	ガラスフレーク			膜厚 μm	プライマー
	大きさμm	含有量%	表面処理		
エポキシ樹脂	150	20～25	ｼﾗﾝｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ処理	400	ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾌﾟﾗｲﾏｰ

②高耐候性上塗り塗料

近年、一般橋梁においてもその景観並びに美観の向上が望まれており、特に長期間色変わりが少なく、あざやかなつやのある塗膜が望まれている。これにふさわしい塗料として高耐候性を有するふっ素樹脂やシリコン樹脂などのビヒクルが開発されいる。土木研究所では総合技術開発プロジェクトによって高耐候性上塗り塗料として実用化した。

③耐汚れ性に優れた被覆材料

土木構造物の美観の保持や、汚れなどから保護することを目的とする汚れにくい被覆材料、或いは汚れを落としやすい被覆材料の開発及び汚れやすさの試験方法並びに評価方法を作成している。

これらの新しい塗料や塗装仕様は、現場適応性、施工性、経済性等を検証するために特定パイロット事業の一部に施工されている。

④現場塗装の機械化

熟練した橋梁塗装工が年々減少しており、塗替え塗装の効率化が求められている。このため、現場塗装の機械化に関する技術開発を行ってきた。

素地調整の機械化については、現場塗装において、素地調整による塗膜を含んだダストの飛散をふせぐために、バキュームサンダーやバキュームブラストが開発した。

塗装の機械化については、エポキシ樹脂塗料などを現場で塗装するための、飛散が少なくなるように改良したエアレススプレー塗装機を開発した。

⑤海上長大橋の塗装工法

大規模な海上長大橋では、補剛桁などは橋梁工場において数パネルを接合した大ブロックを製作し、塗装も長期防錆型のC仕様の塗装系を製品ブラストを行った部材にエアレススプレーで上塗り塗装まで塗装し、台船に積んで架設現場まで海上輸送し、大型クレーンでの一括架設が行われる。現場における塗装は、各ブロック架設接合後の現場接合部及び輸送・架設時に傷ついた塗膜のタッチアップを行う手順が確立した。

⑥塗膜のマネージメントシステム化

鋼道路橋の維持管理経費のなかで大きな比重を占める塗装の塗替えに要する経費の軽減ないし効率的な執行を図ることが望まれている。

塗替え塗装の合理化・効率化を図るため、塗膜の劣化を容易に評価でき、点検データをパーソナル・コンピュータに入力すれば、コンピュータに内蔵するエキスパートシステムのはたらきにより塗膜の劣化状態を的確に診断し、塗替え時期を推定し、さらに塗替えまでの塗膜寿命の予測及び塗替え塗装仕様の選定ができる塗膜診断システムを土木研究所が開発した。

（4）課題と展望

橋梁塗装技術の技術的蓄積と技術開発成果を道路橋全般に活用することが当面の大きな課題である。

まず第一は、長寿命型塗装の全国的な普及である。既に工場塗装段階では実用段階となっているので、今後塗り替え技術や現場施工技術の一層の高度化・合理化により、ライフサイクルを考慮した経済性を満足する、メンテナンスフリー化が可能になると期待される成熟した塗装技術を完成することが望まれる。

第二に、塗装の対環境機能の改善である。たとえばもっと周囲環境と調和するために、より美しい塗料の開発や、塗料の無公害化を進めなければならない。このための技術開発が求められている。

４．２．５　本州四国連絡橋事業における技術開発

本州四国連絡橋の建設によってわが国の長大吊橋、斜張橋などの建設技術は飛躍的に発展した。その効果は橋梁界のみならず長大橋建設に関係する産業界全体に大きなインパクトを与えたものと考えられる。

建設省及び日本国有鉄道（昭和39年（1964年）からは日本鉄道建設公団）は、Ａ～Ｅの５本のルートを対象にそれぞれ道路橋および鉄道橋・道路鉄道併用橋としての調査を昭和34年度（1959年度）および昭和30年度（1955年度）から開始した。建設省と国鉄は日本の土木技術をこの事業に総結集するため、昭和36年（1961年）８月橋梁に関する技術上の諸問題の調査を土木学会に共同委託した。当時、本州四国連絡橋の技術的問題の所在は以下のように考えられていた。

① 当時の世界最大支間の吊橋は中央支間長1,298mのベラザノ・ナローズ橋（Verrazano Narrows；アメリカ）であるが、本州四国連絡橋は調査ルートによっては中央支間長1,500m級の吊橋となること。わが国の経験は昭和37年（1962年）竣工の若戸大橋が中央支間長367m、同年着工した関門橋でも中央支間長は712mであった。

② 水深約50m、潮流２～４m/sのもとで海底に露出した岩盤あるいは厚い沖積層および洪積層へ基礎を構築するなど世界の長大橋の基礎条件を比べても厳しい橋梁基礎の建設が必要であること。

③ 設計上考慮すべき風速は海峡上70m程度の高さ、100～150年の再現期間等を考えると60m/sと欧米諸国の例の約1.5倍に達し、わが国の吊橋の耐風安全性の問題は諸外国に比べてはるかに重要であること。

④ 第一級の地震国であるわが国での長大橋の設計にあたって、耐震設計法の確立は重要な課題である。瀬戸内海地域はわが国の中でも地震は比較的おだやかな地域ではあるが、それでも設計上必要とされる水平加速度は欧米の耐震設計が必要とされる長大橋のおよそ２倍と考えられること。

⑤ 吊橋のケーブル架設にあたって、比較的風速の強い日の多いわが国における合理的なケーブル架設法を開発する必要があること。

⑥ 道路鉄道併用橋としては、一般の鉄道なみの重量列車が通行する例として世界に例がなく、本州四国連絡橋が世界で初めての例となること。

土木学会は委託を受けて、昭和37年（1962年）1月土木学会内部に「本州四国連絡橋技術調査委員会」を発足させて検討を開始した。考えられる課題に対処するため、基礎に関する専門部会、上部構造に関する専門部会、耐風設計小委員会、耐震設計小委員会および材料調査特別幹事会が順次組織された。委員会は長大橋建設を実現させるための技術的検討を行い、海底地質の調査、長大橋の基礎および上部の構造、工法、耐風性、耐震性、海

洋気象、潮流、船舶の航行に関する問題その他の調査を検討することであった。委員会はその後本州四国連絡橋の計画にあたってどのような設計を行うべきかという指針として、「上部構造設計指針」「下部構造設計指針」および「耐震設計指針」を作成した。これらの指針は、それまでの設計示方書（最大支間長150m位まで）を大きく超えて支間長おおむね1,500mまでを対象とし、内外の長大橋の成果および当時最新の研究成果をほとんど取り入れた画期的なものであった。

昭和40年（1965年）５月には第１次報告として、「本州四国連絡橋の技術的可能性と問題点」を明らかにし、技術的可能性について、「1,500m級の吊橋の上部構造の建設は技術的に可能であると考えられ、約50mの水深で大きな潮流のもとでの深い海中基礎の建設は今後の調査検討により技術的に可能な方法を見いだし得るものと考えられる」と述べている。また問題の多い基礎の施工については「実施中の海上ボーリング作業の現況、現在までの試算結果、過去の施工例などから考えれば、今後の調査検討によって具体的な施工方法を見出し得るものと考えられる」としている。

委員会は、その後も基礎工や水中コンクリートの現場実験、吊橋の耐風性に関する風洞実験などの実施結果を検討し、また自然条件に即応した代表的な基礎および上部構造について設計施工上の観点から検討を加え、橋梁計画に採用する基礎と上部工を決定するなど検討を重ね、昭和42年（1967年）７月、最終報告書をまとめ報告した。その中でＡ～Ｅのルート別の橋梁案について可能性と問題について記述され、現在工事中の３ルート中のＡ（神戸－鳴門）ルートについては「設計施工の諸条件が世界に例のない厳しいもので、中央支間長1,500m級の吊橋および水深40～50m、潮流４m/sにおける根入れ35mの多柱基礎あるいは根入れ40～55mの脚付きケーソン基礎などに多くの技術的問題が残されている」と技術的課題の多いことを示し、他のＤ（児島－坂出）ルート、Ｅ（尾道－今治）ルートについては、「吊橋の最大支間長はそれぞれ1,110mと1,010m級であり、基礎の水深もそれぞれ35mと15mであることから技術的問題は少ない」と指摘した。

その後、本州四国連絡橋公団が設立（昭和45年（1970年））され、第一次石油ショックによる総需要抑制策の一環として本州四国連絡橋事業の着工延期（昭和48年（1983年）11月）の後、Ｅルート大三島橋起工式（昭和50年（1975年）12月）、Ａルート大鳴門橋起工式（昭和51年（1976年）７月）、Ｅルート因島大橋起工式（昭和52年（1977年）１月）、Ｄルート起工式（昭和53年（1978年）10月）、Ｅルート伯方・大島大橋起工式（昭和56年（1981年）３月）というように、１ルートと４橋に順次着工した。昭和61年（1986年）５月には、Ａルートの明石海峡大橋（道路単独橋に変更、中央支間長1,990m）に着工、翌62年（1987年）にはＥルート全体の建設に着手、現在３ルートの建設、管理を行っている。

本州四国連絡橋事業で行われた技術開発は非常に広範囲にわたっているが、主要開発技術の概要を表－4.2.5.1に示す。これらの技術開発は土木学会に技術的諸問題の調査を委託した当時の課題を具体的に解決するための研究開発の成果がほとんどであり、比較的難易

表－4.2.5.1　本州四国連絡橋事業における主要開発技術の概要

項　　目	従　　来	本州四国連絡橋事業での技術開発	波及効果等
設計法の確立 ・長大橋の活荷重の設定 ・耐風設計法 ・耐震設計法	長大橋に関する基準なし 長大橋に関する基準なし 応答を考慮した震度法による（道路橋示方書）	長大橋に関する合理的な活荷重の設定 吊橋などに風洞試験を含めた設計法の開発 応答ベクトルを用いた動的解析による設計法の確立	その後の長大橋設計の基準 名港西大橋・名港中央大橋・白鳥大橋・横浜ベイブリッジ等 高層ビル、鉄塔等
材料の開発 ・ケーブル材料の開発　φ5㎜亜鉛メッキ鋼線 ・調質高張力鋼（ＨＴ８０など） ・特殊水中コンクリート	スパイラル鋼線を使用 あまり実績なし 海底均しコンクリート程度の実績	平行線ケーブル用ワイヤの製造技術を開発 溶接性の優れた調質高張力鋼を開発し、使用（SM58, HT70, HT780など） 本体構造物として大量に使用できる品質を開発	強度160～180kg/㎟のケーブルの国産が可能となった。 大型構造物の軽量化を実施可能、石油掘削リグ、原子炉容器等
鋼構造物の製作技術の開発 ・調質高張力鋼の溶接法 ・溶接部分非破壊検査法（超音波深傷）	溶接欠陥が発生しやすかった 手動、記録なし、オペレータの勘と経験により	ルートギャップの制限など、製作の管理により良好な溶接法の確立 自動、記録方式	疲労強度の向上 検査のオートマチック化
施工法の開発 ・ケーブル架設法　パイロットロープの渡海法 ケーブル架設法 ・大ブロック架設工法　大型FC、クローラクレーンによる ・多柱基礎工法 ・設置ケーソン工法 ・大口径掘削機　ロータリー式 ・水中発破工法 ・プレパックドコンクリート施工法 ・大型作業船等の機械設置	浮子工法 ＡＳ工法が主流であり、ＰＳ工法も細径(PWS91)であった 小ブロック架設工法 φ1.5mまでの鋼管杭工法の多柱式基礎 ウインチ、ガイド杭等により実施 φ1.0mまでのボーリングマシン 大水深長寿命の爆薬、火工品がない。 小規模の施工例あり、施工法未確立 特になし	高強度合成繊維ロープを使ったヘリコプターによる渡海工法 長尺太径ＰＳ工法(PWS127)により施工 大ブロック架設工法を多用 φ7.0mとφ4.0mの大型多柱式基礎の確立 コンピュータコントロール沈埋位置決め φ4.4mの硬岩盤掘削機 大水深長寿命の爆薬、火工品開発 超音波、電磁誘導等の起爆方式の開発 大規模、急速施工法の確立 モルタルプラント船「世紀」の開発	工程の短縮と海上交通の影響を少なくできる。 長大吊橋の実現、工程の短縮 大ブロック化による工程の短縮 大型多柱式基礎の設計及び施工法の確立、内海大橋等 大型ケーソン、係留沈設の短期化、黒の瀬戸大橋 荒川湾岸橋、若松大橋等 岩盤地帯への杭基礎の施工が可能、小河内ダム取水塔 大水深での水中発破が可能、来島海峡コノ瀬岩礁除去 大規模、急速施工法の確立、黒の瀬戸大橋、荒川湾岸橋等 同上
道路・鉄道併用橋に関する開発 ・橋梁形式 ・軌道構造	国内に鉄道吊橋なし 特に開発されていない	３径間連続吊橋（南・北備讃瀬戸大橋） 角折れ緩衝桁と、軌道伸縮装置の開発	長大吊橋へ高速鉄道を載荷可能とした。 マタディ橋（ザイール）や青馬橋（香港）などへ適用された。
その他 ・長期防錆塗装 ・電波吸収材 ・道路照明 ・鋼床版上の舗装	無機ジンクリッチペイントを使用した塗装なし 橋梁に使用した前例なし 路面外に光が漏洩するものしかなし 耐久性に問題あり	無機ジンクリッチペイント使用、耐久性大 開発　因島、南北備讃で使用 路面外に光が漏洩しない、耐風性良い形式の開発 耐久性向上	児島湾大橋、京葉線荒川放水路橋等 児島湾大橋

〔出典〕本州四国連絡橋公団

度の低い橋梁やルートに早期に着工し、経験や技術開発を重ね現在は世界最大の中央支間長　1,990mを有し、かつ最大水深60mの海底に橋脚基礎を構築する明石海峡大橋を建設中である。

1,990mの中央支間長および約4kmという橋長の克服は強度180kg/mm²のケーブルの開発と長尺太径平行線ストランド架設工法（ＰＷＳ１２７）によって可能となったものである。平行線ケーブルの架設法については関門橋の当初の工法として考えられていたエアスピニング工法にかわって、素線の平行度が高く、架設時に気象条件の影響を受けにくい、したがって工期の短いＰＷＳ工法をわが国の現場条件に合うものとして関門橋のケーブル架設法として採用されたいきさつがある。本州四国連絡橋では、下津井瀬戸大橋以外は全部ＰＷＳ工法が採用され、ＰＷＳ工法は現在ではほぼわが国の独壇場の技術といっても過言でない。

厳しい条件下に建設される海中の橋梁の基礎についてはＤルートおよび明石海峡大橋では設置ケーソン工法が主に採用され、Ａルートの大鳴門橋では多柱基礎工法が採用された。設置ケーソン工法には関連して大水深下での岩盤掘削に用いる水中発破工法や海中部の大量のコンクリートを急速に施工するプレパックドコンクリートや水中不分離コンクリートによる施工法などが開発された。多柱基礎工法には潮流が強く、浅海部での岩礁地帯の岩盤を掘削するため、大口径掘削機が開発され、大口径掘削機の実用化と掘削技術等が確立された。また、これらの新しい大規模な基礎形式の建設にあたっては大型フローティングクレーンや大型作業船等の活動が不可欠であり、上部工の大ブロック架設工法での活躍と相まって本州四国連絡橋事業はこれら大型フローティングクレーンを用いた海洋工事の合理化施工発展の端緒をもたらしたものと考えられる（４．２．３参照）。

耐風設計については、当時、海外でほぼ技術が確立されつつあったが、わが国のその後の耐風設計に関する研究開発は４．２．１で述べたように著しく進展し、現在は大型風洞を用いて明石海峡大橋などの全橋模型風洞試験による従来の耐風設計法の妥当性の検証やより合理的な耐風対策の検討が行われている。耐震設計については第１級の地震国であり、かつ過去に例のない大規模な公共施設である長大橋の建設のためわが国独自の研究が必要とされたが、当時先端的な解析手法であった応答スペクトル法による動的解析を基本として基礎および吊橋上部構造の耐震設計法が開発された（第５章参照）。

高速の重量列車が長大吊橋を通過する技術的課題の最大のものは橋台、橋脚上での脱線の原因となる角折れ問題であるが、実験線での試験走行等の長い研究の結果、角折れ緩衝桁と軌道伸縮装置が開発され、この問題に対応可能となった。そのほか鋼構造物の製作技術として調質高張力鋼の溶接法や溶接部分の非破壊検査法（超音波探傷）の開発が行われ、また海上長大橋のための耐久性のある長期防錆塗装や船舶のレーダー障害に対処するための電波吸収材や海上橋梁用の路面外に光が漏れない橋面照明方式および鋼床版薄層舗装の耐久性向上のための舗装工法などが開発された。

これらの膨大な研究開発は、建設省では当初は昭和38年（1963年）４月に設置された近畿地建本州四国連絡橋道路調査事務所（後に本州四国連絡橋公団）が現地調査等の実施調査や施工調査を担当し、試験調査や解析は土木研究所が実施している。調査は海洋長大橋の建設という目的のため広範囲の産・官・学の専門家、専門機関の衆知を結集して行われるとともに、土木研究所では千葉支所構内に長さ150mのエアスピニング工法の実験施設が作られたり、模型実験用の二次元風洞や耐震実験装置が設置され、橋梁建設上の実証的研究が行われた。これら本州四国連絡橋事業における研究および技術開発の進展には目覚ましいものがあり、昭和55年（1980年）に行われた鋼道路橋設計示方書の体系化、すなわち共通編、鋼橋編、コンクリート橋編、下部構造編、耐震設計編の５編よりなる現在の道路橋示方書には本州四国連絡橋事業をはじめとする最新の橋梁建設技術の研究開発の成果は残らずとり入れられた。このように本州四国連絡橋事業を通じて行われた研究および技術開発の成果は極めて大きなものがあり、わが国の橋梁技術の発展の基をなしているのみでなく、世界の長大橋建設技術の発展に大きく貢献しているのは明らかである。

4．3　鋼橋建設技術における課題と展望

4．3．1　橋梁技術史についての考察

4．3．1．1　明治～昭和初期における技術の変遷

明治から第二次大戦までの技術の進歩・変革の要因を、いくつかの事例によって分析してみる。

（1）イギリス式トラス（ポーナルトラス）からアメリカ式トラス（ピントラス）へ

明治初期（1868～1877年）の技術導入の中軸をなした相手先はイギリスである。鉄道橋についてみると、北海道や九州は例外であるが、やはりイギリス人とイギリスの技術に依存して始まった。中央政府に最初からイギリス依存色が濃厚であったのは、幕末時代からイギリスが薩長と深い関係を保っていたことによる。

一方、アメリカは幕末期から徳川幕府との接点を重視してきた歴史的経緯によって、当初はやや疎遠された形であった。しかし、明治30年（1897年）頃から日本の鉄道トラス橋は、かなり急速にイギリス式から離れ、アメリカ流に移行していった。この変化の要因として次の３点が考えられる。

① 明治18年（1885年）から翌春にかけて展開されたお雇い外国人間の論争（イギリス人vs.アメリカ人のトラス橋の技術に関する論争）で、アメリカが優勢であったことである。

イギリス式トラスというのは、上・下弦材と端柱は互いに連続してフレームをなし、斜材だけがピンで弦材に連結されている形式で、横桁を格点でなく、弦材の上に乗せている。従って理論的に解析すると、弦材には普通の許容限度を越えた大きな応力度が生じる。イギリス本土ではかなり使い込まれた形式であり、日本に導入してからも問題発生は皆無であったが、もともとが経験則に立脚したものだけに、アメリカ筋の理論挑戦には対応が不利であった。

これに対してアメリカ式トラスというのは、腹材はもちろん弦材・端柱相互の連結もすべてピン結合であった。横桁もすべて格点に取付けられているので、解析上の仮定をすべて満たした構造である。理論闘争には有利であった。

② 土木の分野に関しては、明治初期にかなりの数の日本人技術者がアメリカに留学し、ある者はかの地の橋梁会社で実務を経験して帰国し、その後日本で指導的な地位に立った。この人達は自らが身につけた先端技術としてアメリカ式のトラスを良しとした。

③ 次は推定に過ぎないが、明治初期の日本の橋梁技術はいわばイギリス一辺倒で出発した。明治中期にこれに対する反動が出ても不思議のない時期であった。

それでは現代の目から見るとき、この問題はどうかであるが、二つの点を指摘できる。

① その後の実績でみるとき、イギリス式のトラスの方が良かった。少なくとも長命であった。アメリカ式のすべてピン結合の幹線鉄道用トラス橋は、昭和期（1926年～）になってそのほとんどが架替えられた。

② 不審に思われるのは、アメリカ式ピントラスのこうした弱点は、明治30年（1897年）頃には、アメリカですでに経験的に認識されていた事実である。アメリカの新設鉄道橋でピン結合から鋲結合への移行は、まず応力変動幅の大きい小径間トラスから1880年代（明治13～23年）に始まり、1900年（明治33年）頃には大径間トラスなど特例を除き道路橋も鋲結合への移行を終了していた。

実例を有名橋でいうと、ニューヨークのウイリアムズバーク橋（1903年（明治36年）完成）は、鋲結合、同じくクイーンズボロ橋（1909年（明治39年））は上弦のアイバーはピン結合で下弦の圧縮材は鋲結合、1907年（明治37年）に架設中に崩壊したケベック橋は全格点ピン結合、1917年（大正６年）完成のケベック橋はすべて鋲結合といったところである。

アメリカのトラス橋が方向転換のさなかにあることを、留学組も含めて日本人技術者が正確に認識できなかったともいえよう。アメリカ式ピントラスへの移行は、まだ実力も不足し、方向感覚もなく、模倣に終始していた明治中期（1878～1897年）の「必然性なき転換」だったといえるかも知れない。

時代を先取りして方向転換するならば、むしろドイツ流の格点構造を採るべきであった。近代的なトラス橋に関してドイツは後発であったが、19世紀末には、かつてトラスの先進国であったアメリカに大きな影響を与えるところまで進歩をとげていた。ドイツで完成された鋲結合の格点構造やカンチレバートラス、連続トラスなどは、1900年（明治33年）前後には、アメリカに急速に吸収されつつあった。

（2）関東大震災

明治の前半、欧米諸外国では橋梁の事故（特に鉄道橋）が頻発した。荷重の増大に既存橋梁の耐力が、また橋梁技術のレベルが追随できなっかたためである。

反面、日本の同時期をみると、大事故はなかった。機関車の重量増大が先進諸国ほど急激でなっかたこともあるかも知れないが、もっと大きい要因はお雇い外国人が母国で使い込んだいわば完成技術を移植してくれたことにある。

しかし、ここには盲点があった。地震のないあるいはあっても頻度・強度とも日本ほどではない国の「完成技術」は、大正12年（1923年）の関東大震災で、大きな問題を露呈した。橋脚の転倒、橋体の転落、沓座からのハズレ、沓の破壊など、橋梁は大きな被害を受けた。

地震荷重の設定、沓に押え金具をつけることによる跳び上りの防止、橋脚に若干変位が生じても橋体が転倒しないための方策など、日本独特の設計法が体験的に生まれた。手痛い経験ではあったが自主開発技術の芽生えとして、特筆に値する転機であった。

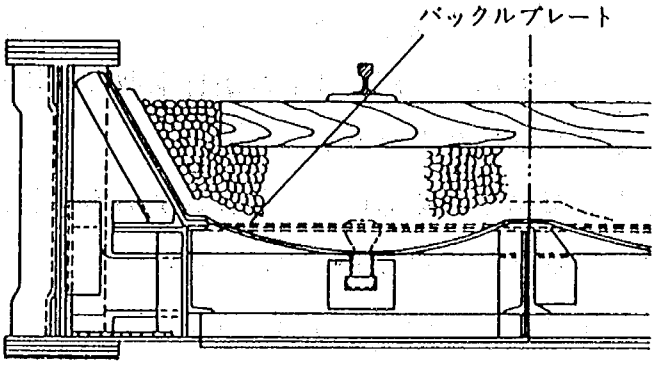
因みに復興局の建設した諸橋には、形態ディテールとも、それまでの日本になかったドイツ流技術の影響が色濃く出ている。タイドアーチ、チェーン吊橋などドイツに範を求めたものが多い。

一方、鉄道橋も総武線隅田川橋梁（昭和７年（1932年）、本邦初のランガー桁）など、昭和初年（1926年）以降ドイツ流の技術が目立ち始めている。

（３）バックルプレート床版からＲＣ床版へ

関東大震災まで日本の道路橋はほとんどすべてが木張りの橋床であった。震災で隅田川筋の木製の橋床がすべて焼け落ち、バックルプレート床版の新大橋（明治45年（1912年）完成）だけが避難路になりえたという事実は、この辺の実状を物語っている。

震災後に不燃性の本格床版として広範に用いられたのはバックルプレート床版である（図－4.3.1.1）。ＲＣ床版は、日本でも大正前半から施工例が出始めていたが、その数は微々たるものであった。



図－4.3.1.1　バックルプレート床板

19世紀末に生まれたＲＣ構造の橋梁への適用が、アーチや桁橋で先行して行われ、床版についてはやや遅れたのは、床版の過酷な荷重条件を懸念したのであろう。

一方、バックルプレートは19世紀終り頃から欧米で広範に用いられ19世紀初頭には完成技術の域に達していた。震災後に復興局が専ら用いたのもバックルプレート床版であった。隅田川の諸橋の建設にも、バックルプレート床版が用いられた。お茶の水の聖橋の側径間桁橋の橋床も、バックルプレート床版で、これは今でも駅ホームから仰ぎ見ることができる。

バックルプレート床版の利点は秀れた耐久性にあった。日本でも旧橋解体の際しばしば話題になるように、耐久性は非常によい。欠点はバックルプレートのプレス加工が簡単でないこと、自重が大きいことであった。加工を簡単にする方策としては、板を一方向にのみ樋状に曲げたサグプレートも用いられ、これは現在でも鉄道橋のバラスト道床用に用いられている。自重軽減のためには、漏斗状のバックルプレートを反転して、山状にして用いる一種のアーチ床版も欧米では用いられたが、日本ではその適用例を聞かない。

バックルプレートからＲＣ床版への本格的移行は昭和期（1926年～）に入ってから始まった。この移行は時代の流れであったが、ＲＣ床版の損傷問題が注目されている今日、バックルプレートやサグプレートの歴史は、新しい視点から見直してみる価値があるかも知れない。新床版開発のヒントが含まれている可能性がある。

４．３．１．２　戦後の鋼橋技術史についての考察

わが国の鋼橋は、戦後50年を経て最的・質的両面で華々しい進歩をとげたことは今まで述べたとおりである。工事中の現状を見ても、特に主径間1,990ｍの吊橋明石海峡大橋、同じく主径間890ｍの斜張橋多々羅大橋の２橋は、それぞれ人跡未踏の長径間への挑戦として世界的な注目を集めている。４．１に述べたように、各橋梁形式毎にスパン、施工法とも発展してきたし、本州四国連絡橋事業によりわが国の鋼橋の技術開発が格段に進んだことは事実である。

その反面振り返って考察を加えるべき点も少なからずあると考えられる。

全般にいえることは、鋼橋の進歩の後を展望すると、マクロには支間の大型化、ミクロにはルーチン技術の改良など多々あったが、「これが日本型の鋼橋技術」といえるような独創性を発揮した事例が案外少ないことである。

戦後日本の冠たる技術として誇りうるものに、新幹線がある。わが国における高速鉄道の成功は、まずフランスのＴＧＶ、続いてドイツ、さらに現状では全欧国際鉄道網計画として反映し、アメリカや韓国さらに中国でも計画が行われているに至っている。

このように国産技術が外国に大きな影響を与えた事例を鋼橋の分野について求めると、残念ながら建設量が莫大なのに対して、そうした事例は少ないといわれざるを得ない。もっと明確にいえば、わが国の鋼橋の進歩の基盤はまだ多分に外国技術の導入に依存している。したがって、その変化の軌跡を調べても、内的つまり日本国内での必然性を求めることは困難である。例えば、斜張橋の出現、マルチプル方式への移行、ＰＥ管被覆ケーブルの採用、低桁高箱断面補剛桁への転換など、全てその原点は外国に端を発し、一定期間後日本に導入されるという一方通行の姿である。

目を海外に転じると、欧米各国での橋梁分野での技術交流、すなわちgive & takeの関係は、最近とみに深まり、相互刺激が技術進歩促進の一つの起動力となっているようにみえる。

ドイツのHomberg事務所がイギリスやベルギーで斜張橋を設計・施行管理し、ドイツのLeonhardt事務所やＰＣ会社がアメリカに技術導入してコンクリート橋のシェアを拡げフランスのメーカーがドイツの斜張橋を製作し、イギリスのメーカーがライン河の吊橋の拡幅工事に参画し、といった相互乗入れの例が続出している。

わが国の橋梁界が国際的な立場で活躍することを志向するならば、enclosure（囲い込み）の場に安住し続けることは、問題がありそうである。少なくとも日本の特質のよって来るところを、堀り下げて確認しておく必要がある。

このような観点から以下にいくつかの点を選んで、戦後の鋼橋技術史をチェックしてみる。

（1）現場溶接

わが国の現場溶接の桁橋の事例は昭和初年から第二次世界大戦まで15例あり、また戦後の10年間は表－4.1.3.1に示す通り20例ある。結局現場継手を全面的に溶接接合とする手法は本流とならず、昭和30年（1955年）に入って暫くすると事例が途絶えた。

原因の一つは現場溶接への不信である。量、溶接品質ともに問題があるとされ、許容応力も抑えられた。そして現場溶接はなるべく避けて通るべきとする一般通念が普遍化していった。

この趨勢に結び付いたのが、メーカー側の姿勢である。総鋼重によって契約総額が決定されるという発注側の精算システムが前提にある限り、現場溶接を全面的に採用すれば、軽量化により契約総額は少なくなる。加えて現場溶接は天候に左右され、また、施工管理も手間がかかって、現場工期も余分に必要となるなど現場溶接にメーカー側は消極的である。

こうして現場継手の前面溶接化の流れは消えていったのであるが、この現象はベルギーの現状とよく似ている。昭和８年（1933年）から５年足らずの間にベルギーでは50数橋のアーチ形のフィーレンデール鉄道橋が建設されたが、昭和13年（1938年）年から２年の間にこのうち３橋が脆性破壊によって落橋した。災害は発生しなかったが疑わしい橋の架替えも含めて、この問題がベルギーに落とした影は大きく、戦後から現在に至るまでベルギーの鋼橋で現場溶接を用いているのは鋼床版だけである。ドイツ、フランス、イギリスの鋼橋は専ら現場継手を溶接化している実状と並べてみるとき、ベルギーだけが、この点ではきわだって異質である。

それでは、わが国もベルギーも、現在の時点で現場溶接を避けるべき本当の技術的理由があるかというと、これは大いに疑問である。現場溶接は避けて通るべきとした当時の判断に、当時としてはそれなりの理由があったが、その後の溶接技術は溶接ブロックの精度向上も含めて、格段に進歩している。両国の現状はむしろ、現場溶接を避けて通る習性が定着してしまったとみるべきであろう。

現場継手を高力ボルトとするか、溶接とするか、そのどちらが良いかという点では前記の生産システムに関連して、特に施工者側に論議があるかもしれない。しかし、鋼橋の維持、景観の向上という点から見ると、現場溶接採用のメリットは自明である。時代の要請、技術水準の発展などを考えながら検討を要する大きな課題である。

（2）連続桁

戦後の橋梁史を展望するとき、次々と記録を更新する長大橋や大ブロック架設など、華々しい面に目をとられがちである。しかしその陰にあって地味ながら、シェアの過半を占めているのは、桁橋である。そこで桁橋一般について考察を加えてみる。

最近、日本でも従来なかったような多径間の連続桁が用いられるようになってきた。意図するところは走行性、維持、景観、それに耐震性の向上にある。

メリットが明らかであるにも拘わらず、何故今までこうした多径間の連続桁が用いられなかったのであろうか。長い間連続桁といえば、３径間が常識であった。しかし、いわゆる「ANGERの表」の限界で縛られた時代は、すでに四分の一世紀前に終わっている。解析が困難であることが理由でないとすると、考えられる点のひとつは旧来の惰性、ひとつは大移動量に耐える可動支承や伸縮継手に、適当な製品が見当たらなかったためである。逆に、多径間の連続桁を避けてきた慣習は、大移動量の支承や伸縮継手の進歩を遅らせた。これらの部品は理論もさることながら、使用実績すなわち実施のフィードバックがきわめて大きな意味を持つので、開発と改良には時間を要する。また、最近は耐震性の向上を目的とした免震支承の研究開発も進んでいる。今後の重点開発課題である。

単純桁の多用も、従来の日本のひとつの特徴であった。軟弱地盤には単純桁、という原則を堅持した結果であるが、連続桁の利点、伸縮継手の減少、走行性の向上、その結果としての騒音や漏水の減少等周辺環境への好影響、耐震性の向上、維持管理のし易さなどを考えるとき、多分に見直しの余地がある。

連続桁は支点沈下があってはならないとするのは硬直したアカデミズムかも知れない。多少の沈下の可能性がある場合でも、前向きに構えれば解決策はある。ある一定値の沈下の影響を設計時の断面計算に織り込むこと、それを超える不測の沈下があったときに備えて、沈下分をジャッキアップできる機構を最初から設けて置くなどである。支承付近で橋桁をジャッキアップできることは沈下対策のみならず、支承の交換に際しても有用である。わが国では最初から将来のジャッキアップの用意をした橋梁は、鉄道橋に散見される事例を除けばまれであり、支承の交換の際工期・工費のかさむ要因となっている。これも今後考えるべき課題である。

（3）コンクリート床版

欧米のコンクリート床版の損傷が、主として冬期の塩カル散布によるのに対し、わが国の場合は荷重との応答下で構造部材としての損傷が多いようにみえる。また、欧米に比べるとわが国のコンクリート床版の損傷はより高い頻度で発生し、床版の寿命はより短いようにみえる。

床版の設計示方書も次第に強化されてきてはいるが、その結果新規施工される床版が十分な強度領域に達しているかどうか、まだ結論が出たわけではない。

その間にコンクリート床版の短命を諦観する気配が広がり、それに付随して合成桁忌避の傾向が顕著である。事実、コンクリート床版短命説に立脚する限りカナダのＦＲＡＳＥＲ橋（プレキャスト床版厚20cm）にみられるような合成断面を斜張橋に適用することは、日本では論外となる。コンクリート床版に斜張橋の圧縮軸力の大部分を導入している以上、床版の全面打替は橋の解体を前提にしなければ不可能だからである。

鋼橋の経済性を維持していく上からも、合成桁の採用の回避あるいは合成構造の適用範囲を狭めることは非常に問題である。

床版損傷問題は、被害対応の形だけでなく、床版の原点論にまで遡って捉えたいところである。「橋は道路の一部である。だから床版は最重要部材である」。「Die brucke ist nicht da, um berechnet zu werden, sondern zum verkehr.（橋は解析するためでなく、車を通すためにある）」。この種の格言が東西にあるということは、橋梁設計者がともすると橋梁建設の原点を忘れがちということかも知れない。

「まず鋼構造ありき」という発想をひと先ず置いて、「まず床版ありき」の視点に立つとき、すなわち床版を橋の「付属物」としてでなく「主役」として正面に据えて眺めるとき、床版問題に新しい解決策を見出だせる可能性がある。

半永久的に信頼できる床版が具備すべき条件は何か。ヘアクラックの発生を抑制するために幅員方向のプレストレスが必要であれば、その方向に転換すべきである。パンチングに対して厚さが必要であれば、例えば最小厚25cm（この数字の妥当性は十分に検討すべきであるが）とすることも方策かも知れない。分厚な床版の方が、プレストレス材の配置やプレストレスの効果の上で有利であることは間違いない。

また、床版は必ずしも下面平面のスラブである必要はない。コンクリートを突出させたリブ付き床版、鋼板と組合わせたバックルプレート床版やロバンソン床版なども見直してみる価値があるかも知れない。

非常にしっかりした床版を第一義に考えた上で、それに相応した桁配置を考えるとき、鋼構造のあり方は従来と根本的に変わってくる、極言すれば鋼桁は床版を補剛する大きなリブとして床版との相関関係でその最適配置を考える、という発想姿勢となる。

鋼橋設計者は、鋼構造は鋼構造、床版は床版とする習性に馴れすぎているようにみえる。

（4）競争設計制度

メーカーが互いに設計を競い合い、その結果で工事の受注者を決めるいわゆる競争設計制度は、昭和30年（1955年）頃に現れ、中央官庁、地方自治体、公団などで一時は広く用いられた。

競争設計制度が生まれた背景は不明であるが、コンサルタントがほとんどなかった当時メーカーの設計陣がコンサルタントの代役となったと見ることも可能かもしれない。事実コンサルタントが多数生まれた昭和30年代（1955～1964年）末期から昭和40年（1965年）前後になると、競争設計制度は事実上消滅した。

競争設計制度時代を振り返って語るとき、「無節操な重量低減競争、無理な経済性追求…」など未だに評価はよくない。これらの指摘事項は事実には違いない。しかし、30余年を経て眺めると、これらの指摘事項は病気でいうなら「症状」であって、「病根」ではない。真の「病根」は競争設計の出し方と、成果品の審査尺度にあったように思える。　競争設計の多くは、橋梁形式や支間長を指定する形で行われた。例えば、「支間100mの下路ランガー桁」といった具合である。一方、積算に用いたトン当たり単価は、応募者すべて一定値であるのが現実であったから、競争設計は必然的に、鋼重をいかに低く押さえるかの競争となった。示方書を遵守する限り、最低鋼重はおのずと限界があるので、成果品の重量は概ね横並びとなる。そこで中には、示方書の盲点をくぐり、あるいは鋼重を故意に少なく見せるなどの不正な手段をとる者もいた。一方、発注者側にも競争設計をセレモニーまたはテクニックとして利用する事例がなきにしもあらずで、この制度は次第に負の面が拡大して、自らの弊害故に自壊していった。

ドイツで盛んに行われてきた競争設計は、材料も形式も支間長も自由、橋長も弾力的で、トン当たり単価は設計の内容によって各社の裁量で決めるので、工費に関しては全体工費だけが意味を持っていた。また日本が詳細設計を建前としたのに対し、ドイツは概略設計であった。同じ競争設計でも、彼らの内容は大きく異なっていたのである。

ドイツ式の競争設計は、少なくとも当時の時点ではわが国の風土に適さなかった。発注システム、積算システムの相違もあり、また、デザインコンセプトの異なる多数の案の優劣を、中立的な立場で「判断」する審査の方法を見いだすことも困難であったものと思われる。

当時と現実とを比べると、わが国の状況は一変している。すなわち基本的な設計はコンサルタント、施工を前提とする詳細設計はメーカーとする制度が出来上がっている。

戦後の橋梁史をひとつの流れとして見るとき、発注者、コンサルタント、メーカーとも橋梁建設について規模、形式、施工法等数多くの経験を蓄積した現時点において、プロポーザル方式は形を変えてリバイバルした現代の競争設計ともいえるかもしれない。

いづれにせよ、コンサルタント段階でのプロポーザル方式は、工事発注とは切り離されているので、諸種の力関係の波をかぶせることも少ない。健全な発展のための必要条件は、

常にプロポーザル方式の原点に立脚することであろう。必ずしも単純な数字で勝者が決定するわけではないので、審査には高度、公正かつ透明な「判断」が必要となる。そこに成否の鍵がある。

（5）独創性ある橋梁技術

戦後、日本の発展は、国民的エネルギーのベクトルの統一によるところが大きい。一方、ベクトル統一の負の部分として、没個性の傾向を伴ったことも事実である。

問題意識が少ない、議論が少ない、完成橋梁に対する批判が少ない。創造力を活かす機会がない、創造に対する対価がない…、橋梁技術についても悲観的にいうと多くの点が挙げられる。

しかし、日本人に創造性がないわけではない。問題は独創性はあるが、それが育たない、あるいは入口で立ち止まってしまうことである。

「同じことを繰返した方が経済的でリスクが少ない」。「新しいことをするならば、欧米技術に依存した方が開発費が不要かつ実績付きだから、リスクも少ない。」、「それで今まで成功しているのだから、それで良いではないか。」、「仕様書に書いていない」。こうした論にも一理はある。他社に一歩先行することが経済的に大きな意味をもつ他の産業界と異なって、橋梁では新しいことを行っても、すぐにはその対価を期待できない。

しかし、世界の中で日本のプレゼンスがこれだけ突出してくると、いつまでも追随型の姿勢をとるのでは今後の技術開発上限界がある。また、プライドが許さないというのであれば、これは考えてみなければならない。

①技術的な独創性

技術的な独創は、ピンポイントの問題意識から生れるので、独創の発端は集団ではなくその問題意識を持った「個人」にある。個人ではどうしても立場が弱いので、その独創を引き出すための方策あるいは環境を整える必要がある。何か対価が必要なのではないだろうか。

特許は、それが利潤を約束するときは意味が大きいが、橋梁のような社会資本については、防衛的な意味は別として、手段としてあまりなじまない。

名誉、それに付随する間接的な利益、これは考えてみる価値がありそうである。田中賞が日本の橋の景観向上に与えた効果の大きさをみても、これは間違いなく効果がある。計画時と完成時の二つの時期を想定して、これを考えてみよう。

・計画時：アイデアを公募・審査し、入賞者を発表する。1位、2位、3位を足して3で割るような改造、折衷は避け、極力原案を権利として尊重する。

・完成時：独創性ある橋梁や工法に土木学会など権威筋から、「独創賞」を与える。審査に当っては、外国の模倣あるいは単に珍奇性を売り物にした案は厳に除外する。

委員会制度は、本来衆知を集めることを目的とするが、独創性を掘り出すには不適当である。一般的に委員会は公約数引き出しの場であり、ベクトル統一の手段であり、稟議の機関であり、したがって本質的に防衛的である。

潜在している独創性を引き出し、現実に具象化するには、現在の技術レベルに妥協しない、従来の技術レベルで将来を規制しないといった挑戦マインドが必要である。それができるのは、公的集団ではなく、個人および個人がリーダーシップを発揮できる私的機関である。

②景観面での独創性

景観は、正解がきまっていないという点で、技術と異なる。美醜について見解の差も出るが、公共の永久建造物であるから、一般人に快よく受け入れられることが必要である。公園のオブジェと違って、橋は造形的に失敗したからといって、撤去するわけにはいかない。

・計画時：技術者の発想では限界もあり、また独り好がりに陥る可能性もあるので、意匠デザイナーの参画が欲しい。少数精鋭主義でコンパクトな委員会に任せるのも一法である。共同討議の場で、技術者とデザイナーとどちらが強すぎてもまずい。異質の職業人とのタイアップは、それなりの相互の努力が必要である。公募の是非は方法次第である。地域社会を巻き込む形になると、力関係に流されるおそれがある。景観設計はあくまでも、プロの領域の仕事である。

・完成時：現行の田中賞には中小橋部門もあるが、概して大規模・大径間の橋梁が有利である。景観設計の良否は、本来規模の大小は関係ないはずである。景観だけを評価の対象として、「景観賞」を新設すれば効果大と考える。土木構造物全般を授賞候補とし、橋梁はその一部門としてもよい。この場合も、外国の模倣が明らかなものは、きびしく排除すべきである。世界に突出するプレゼンスをもつに至ったわが国に、多少でも過去の模倣癖が残っているとしたら、恥ずかしいことである。

4．3．2　鋼橋建設技術の課題と展望

明石海峡をはじめとする本州四国連絡橋の建設は今世紀中にはすべて完成する。戦後50年、目覚ましく発展してきたわが国の橋梁建設技術も、21世紀を目前に大きな転機を迎えているといえよう。わが国の鋼橋建設技術の抱える課題と今後を展望してみる。

（1）鋼橋建設技術の課題

①海外に学ぶという手法が成り立たなくなったこと

これまでわが国の橋梁技術は、欧米の先進国に学び、それを日本流にアレンジし発展させることによって自分のものにしてきたといえる。現在、規模も質も量も世界のトップに躍り出たにもかかわらず、相変わらず次なる方向を海外に求めようとして、論文を読み漁り、外国人学者や技術者を招聘し、調査団を派遣するといった古典的手法が後を絶たない。次なる課題は自ら探し出すべき段階に達しているのだが、このような指摘はむしろ外国人側からなされている。

②国民的なビッグプロジェクトの不在（技術革新がニーズを創る時代）

橋梁技術者や関係者にとって、本州四国連絡橋までは国民的プロジェクトであり、いわば与えられた課題であった。したがって、いかにして技術的不可能を可能に変えるかがすべてであった。しかしながら、これから立ち上げようとしているビッグプロジェクトは、その波及効果がやや「ローカル」であったり、実現すれば「よりよい」ものであったり、事業実施の仕組に新しいものが求められたりで、なかなか「不可欠な」ものとしての国民のコンセンサスが得られにくくなっている。言い方を変えれば、手ごろな価格であれば買ってもいいということであり、コストに関する関心が、技術的挑戦を伴うビッグプロジェクトにおいても重要性を増している。

コンピュータの飛躍的な低廉化と小型化が全く新しい情報化社会を招いたように、橋の世界についても、技術革新が新たなニーズを生み出す時代になったといえる。低価格化、工期の飛躍的な短縮、あるいはこれまで考えられなかった造形や機能等の付加価値を見いだすことが最も重要な課題である。

③「How to」から「What to」へ

橋梁技術の研究、開発においては、特に設計においては、「How to」の技術が「What to」を追い越してしまったとも言える。限界状態設計法等、設計手法については研究も論文も多いが、それにより何を造ろうとするのかの議論は非常に少ない。社会資本整備をめぐる経済社会のニーズが大きく変ってきている現在、橋についてもどんな橋を造るべきか、どんな橋がいい橋なのかについて、もっと議論や研究があってよいと思われる。

以上に共通することは、与えられたあるいは既存の問題を解くのではなく、自ら課題を見いだし解決してゆく時代になったということである。これからは問題を特定し、解決の筋道をみつけることのできる人材がもっとも尊ばれるようになると予想される。

④整備が半ばを超えた時代

これから発展しようとする国とすでに半ば以上社会資本整備の進んだ国とでは技術の発展の方向が当然異なる。わが国の場合、本格的な道路整備のスタートは諸外国に比べてかなり後れをとっていたが、後述するようにこの30年の間に相当な数の橋を建設してきている。したがって、既に築かれた財産とのバランスの上でこれからの橋づくりを考えていかなければならないと思われる。

橋を含む道路造りなどの社会資本整備が、それ自身を作ることが目的でなく、社会生活の基礎として利用し、そのうえで文化の花を咲かせることであれば、永遠にこれまでの勢いで橋を量産することを前提とした技術開発だけでは、時代の要請から外れていってしまうことは自明である。

（2）鋼橋建設技術の展望

①超長大橋の建設技術

多極分散型国土の形成やより一層の国土の高度利用を図るためまた第二国土軸構想も提唱されているが、海峡連絡構想の実現化に備えて超長大橋の建設技術の研究開発をすすめる必要がある。本州四国連絡橋事業につづくものとして、東京湾口架橋や伊勢湾架橋あるいは紀淡海峡架橋等の計画、構想が打ち出されているが、これらの計画、構想の実現は従来のような仕組みや制度で国民的コンセンサスを得られるか難しい面もあり、経済、技術の両面での強いインパクトを必要とするであろう。また、技術的にみてもこれらの橋梁はいずれも明石海峡大橋の規模（中央経間長1,990m、下部工最大水深60m、海峡幅約４km）を越える超長大橋となることは必至であり、超長大橋建設のための研究、開発が必要とされる。本州四国連絡橋事業においても先に述べたように数多くの技術開発がなされたが、それらの成果と経験を参考にしつつ、規模の拡大、合理化、省力化を図るため研究開発をすすめることが重要である。その際、構造物全体として品質を確保しながら、コストの低減を図ることが必要であり、長大橋建設技術の導入と拡大という本州四国連絡橋のレベルをひとつ超えて、コストの低減を図るという命題のもとに新たな技術の挑戦が必要となるものと考えられる。

②合理化、省人化、省力化の技術

わが国の経済、社会における労働人口の高齢化、建設産業への若年労働力参入の減少、この結果として熟練技能者の相対的減少は橋梁建設の分野でも既に起こりつつある。さらに危険で過酷な労働条件、作業環境、労働時間の短縮、ますます制約が厳しくなる施工条件、周辺環境への影響などへの対応が迫られている。また低コストで均等な品質の橋梁を建設するため省人化、省力化を図る橋梁建設技術の研究開発が必要である。

合理化を鋼重の削減としか考えず、またそれを長い間疑わずに来たことがわが国の鋼橋

建設の生産性の低さにつながっている。設計、製作の両面で、相対的に安価になった鋼材をふんだんに使うことにより、全体的な合理化を図るべきである（これには重量に基づいた積算基準の改定が必要不可欠）。

一方、設計、材料、製作、架設、床版工事などの分業体制は、合理化の自由度を著しくせばめており、それぞれの中での合理化は既に限界に近いのでないかと考えられる。これまでの業態に縛られずに、全体のプロセスを通じての合理化、すなわちリエンジニアリングがまさに必要とされている。

③維持管理と老朽化を考慮した橋梁技術

わが国の橋梁も膨大なストックを抱えるに至り、さらに今後ともストックは増加するものと見込まれる。これに対応して維持管理費が大幅に増加するとともに、今後は更新需要も増加することが予想されること、および将来の効率的投資を考える上で高齢化が予想される次世代に多くの負担を残さないことなどから、将来の維持管理、更新費用を考慮した橋梁技術の研究開発が必要となる。また、既存のストックを適切に維持管理して、より長期間供用するための技術や、老朽化した既存のストックを様々な制約条件のもとで適切に更新する技術の開発も重要である。

平成４年（1992年）４月１日現在、市町村道以上のわが国の道路橋の数は、662,092橋（支間２ｍ以上）あるいは 122,512橋（橋長15ｍ以上）あり、先進諸国の中でも非常に多い部類である。仮に、よく言われるように橋の寿命が50年程度であったとすると、15ｍ以上の橋だけでも2,500橋近くも架け換えなくてはならない。現在、毎年架設されている新規橋梁が約2,500橋であることを考えれば、本格的な高齢化社会を迎える21世紀のわが国にとって、現在供用されている橋をより長く使っていくことを含め、橋の耐久性には気を配る必要がある。

これまでの道路橋の設計では、橋の耐久性を合理的に評価する手法が与えられておらず、また、研究もあまり行われてこなかった。最近、建設省においてもライフサイクルコストを考えた橋の設計の検討を行っているが、その結論は、最小限の簡単な維持管理でより長持ちする橋の設計と建設および維持管理の徹底がもっとも重要であるということであり、ミニマムメンテナンス橋の開発に取り組んでいる。このような結論になるのは、ほかのものと違い、橋の場合は更新という概念がコスト面、交通への影響等の面から現実的でないことによる。

建設省では、平成６年度（1994年度）から財団法人道路保全技術センターにおいて、橋梁点検員のための技術研修会をスタートさせた、既に作成した点検要領案とデータベースシステムと相まって、ようやく維持管理システム確立のスタートラインに立ったところである。点検業務の確実な実施とデータの蓄積により、わが国でも初めて橋梁マネジメントが可能になるのである。アメリカでは1967年（昭和42年）シルバー橋の落橋により60人近

くの人命が失われ、直後に成立した連邦道路援助法によりいち早く以上の体制は整えられた。

外国では維持管理は基本的に道路管理者直営の仕事であり、請負には抵抗感があるようである。わが国における道路管理、特に構造がわかる専門職員の払底が気掛かりである。遅ればせながらではあるが、維持管理技術者の教育を含め、維持管理体制を充実して行く必要がある。

④環境に調和し、景観に配慮した使いやすい橋梁の技術

周辺環境に調和し、景観に配慮した橋梁であってかつ利用者が快適、安全に利用可能な橋梁を建設するための技術を研究開発する必要がある。

自然環境との関わりでは、山腹を削り取る土工区間よりも、高橋脚の橋梁にすることによって、周辺の生態系や水の流れに対する影響を最小限に止めることができる。下部構造の施工に工事用道路を必要としない施工法の開発が望まれる。

また、都市部においては周辺への騒音問題がある。新設橋だけでなく、既設橋の騒音対策についても技術開発が求められる。発生源対策として伸縮装置除去については、既設橋梁の路面連続化（いわゆるノージョイント化）技術は既に普及の段階にあり、新設橋に対しては免震技術の開発により、1㎞近い超多径間連続橋の建設が可能になっている。その他、橋体の共鳴防止技術、防音壁の部材断面編入等も今後の課題である。このことは同時に利用者の快適、安全な走行を実現させることにもなる。

用・強・美といわれるように、景観は本来、橋にとって機能や強度と同格の必要条件であったはずである。昭和初期までのわが国の橋梁は見事にこれらの要素を兼ね備えて設計されてきたように思える。量産の時代を経て、「美」に対する要求はなにか特別なもの、贅沢なものとして扱われてきた嫌いがある。

これからようやくバランスのとれた時代に入っていくものと考えられる。しかし、「美」というものは理論よりも感性が優先するものであり、文化の程度が滲み出してくるものであるから、一定の期間、橋梁分野にしかるべき才能が芽生え、それを受け入れる側が一定のレベルを超えるまで、しばらく待たなければならないのだろうか。

⑤建設コストを低減させるための技術

わが国の公共事業の建設コストは欧米諸国に比較して3割ほど高いとか、橋梁の建設コストは欧米のほぼ2倍に近いとかいわれているが、建設コストを低減させることは現在建設省、関係公団等の抱える緊急の課題となっている。建設コストの有様は各国の経済社会のあり方、すなわち建設生産システム、流通制度、賃金体系、労働安全規則などと密接に関連し、かつ地形、地質、地盤などの自然条件や気象条件を反映させざるを得ないことも事実である。わが国は人口が稠密で、都市化が進み、かつ軟弱地盤や急峻な地形、地震や台

風等の厳しい自然条件下にあり、公共事業に要請される品質水準も高く、建設コストも他国と比べて高いと言われるのもそれなりの理由があると考えられる。

わが国の橋梁については、これまで値段を下げることよりも、同じ価格でよりよいものを造る努力を重ねてきた結果、トラブルの発生する確率はきわめて低いものとなり、これが高度成長期から現在に至る橋の量産時代を大過なく過ごしてこられた要因として評価されてしかるべきだと思われる。

しかしながら、急激な円高と貿易摩擦により、橋についても内外価格差が問題にされるようになっており、とくに鋼橋上部工については、海外での製作が可能であることから、常に問題の対象とされやすい。したがって、内外における鋼構造物の品質の違いを主張しつつも、見かけ上の価格差の是正には努めなくてはならないだろう。

今後はコスト意識を中心おいた技術開発が必要となるが、この場合、リスクを増やさずに無駄な部分を削ることも肝要である。

⑥世界を照準においた橋梁技術

わが国の橋梁界が国際的な立場で活躍することを志向するならばenclosure（囲い込み）の場に安住することは問題があることは先に指摘したとおりである。わが国で発展した技術が世界的普遍性を持つように、世界を常に念頭においた技術の研究開発がなされねばならない。その技術がわが国だけで通用するのではなく、建設コストの面からも充分国際競争力を持つような技術へ育てる努力が必要となろう。そのためには、まずわが国の橋梁に対する社会のニーズを適確に把握し、その解決に向けて外国技術の模倣でない独自技術の形成を目指して研究開発を行うことが重要と考えられる。わが国の経済社会条件や自然条件は橋梁建設の分野においても他国の諸条件と比較しても厳しいものがあり、かつ戦後のわが国橋梁技術は世界の最高水準と比肩する所まで達したものと考えられる。今後必要となるわが国の橋梁技術はわが国橋梁界独自の力で切り開いていく以外に道はないと思考される。またその際、世界へ向けたわが国からの情報発信も極めて重要である。

4．4　まとめ

第4章の「鋼橋建設技術の発展」をまとめると以下のとおりである。

① わが国で初めての鉄の橋は、明治元年（1868年）官営長崎製鉄所の錬鉄製のくろがね橋でおそらく輸入品であったと考えられている。橋梁技術者の習熟の時期が過ぎて、明治末期に鉄道用トラス橋を国内メーカーに発注できるようになった。関東大震災（大正12年（1923年））で道路橋は大きな被害を受けたが、東京都内の道路橋の6割は木橋でそのうち65%が火災により消失、鋼橋の場合でも木床版が普通であり、大きな火災被害を受けた。政府は復興局を設け、大正13年（1924年）からの7年間で東京、横浜で計149橋の道路橋を建設した。この時は鋼材は輸入が多かったが、設計、製作、架設はわが国技術によるものであった。

② 第二次世界大戦後、昭和30年代（1955～1964年）は鋼橋建設技術の基礎固めの時期とみられ、吊橋、斜張橋、鋼床版、箱桁など現代日本の橋梁のあらゆる形式の芽生えがみられる。昭和37年（1962年）完成の吊橋、若戸橋、昭和30年（1955年）完成のアーチ橋、西海橋が架けられ、一般鋼橋の建設も拡大し、昭和40年（1965年）には年30万tの鋼橋生産量を示した。昭和40年代（1965～1974年）は大型プロジェクトへの取り組みが盛んとなった時期で、昭和48年（1973年）完成の関門橋は本州四国連絡橋建設への大きな試金石となった橋であった。昭和49年（1974年）にはゲルバートラスとして東洋一の規模を持つ港大橋が完成している。昭和45年（1970年）には本州四国連絡橋公団が発足し、わが国長大橋建設の調査、研究は本格化した。海洋工事の増加とともに、大型クレーン船の活躍が始まった。斜張橋の建設も盛んとなりスパンが長大化した。

③ 第一次オイルショックによる影響で本州四国連絡橋の着工は一次延期されたが、昭和50年（1975年）8月凍結解除とともに堰を切ったように本州四国連絡橋（1ルート4橋）は着工された。ソフト面では電子計算機の発達と、それを駆使した設計、施工管理などの合理化、効率化が進んだ。本州四国連絡橋の吊橋以外の形式の橋架でもスパンの長大化、大型化がますます進んだ。桁橋では第二摩耶大橋（昭和50年（1975年）完成、最大スパンL＝210m）、トラス橋では大島大橋（昭和51年（1976年）完成、L＝325m）、アーチ橋では糠平大橋（昭和57年（1982年）完成、L＝202m）、斜張橋では大和川橋梁（昭和57年（1982年）完成、L＝355m）でこれはマルチプルケーブル方式である。昭和63年（1988年）には本州四国連絡橋瀬戸大橋全線が供用開始され、道路と鉄道で本州と四国は結ばれた。現在中央支間世界最大の1,990mを有する明石海峡大橋を始めとして本州四国連絡橋の全橋が建設中のほか、全国各地で鋼橋の建設が進んでいる。

④ 鋼橋建設技術の発展は華やかな上部工の設計、施工の技術の発展に目を奪われがちであるが、橋梁、特に長大橋のような大プロジェクトの建設は広範囲な技術の集大成が必要である。橋梁の計画、設計にあたっては地震と風の影響への対策が重要な課題であっ

た。耐震技術については第５章で述べられるが、耐風対策についてみるとわが国では若戸大橋の設計にあたり、風洞実験が実施され、本格的な動的な耐風設計が開始された。長大橋梁の耐風設計法を世界で始めて体系化した「本州四国連絡橋耐風設計指針」がとりまとめられ、その後これらの設計思想を発展させ「明石海峡大橋耐風設計要領」や一般の道路橋の耐風設計指針が作成された。現在大型風洞を用いた明石海峡大橋等の全体模型を用いて、より合理的な耐風対策を得るべく研究が行われている。

⑤　基礎構造の発展も目覚ましいものがある。杭基礎形式では、昭和40年代（1965～1974年）に急激に増加した鋼管杭工法は埋立地や湾岸部での橋梁基礎として用いられ、短期間に深い支持層に達することができる利点があり、毎年の需要は鋼重で100万ｔを超えている。騒音で問題の多い杭打ち機に換え、排土工法を採用した場所打ち杭も広く使われている。また、大鳴門橋の橋脚基礎として用いられた多柱式基礎工法は、急潮流や浅い岩礁地帯への大基礎建設への道を開いたものといえる。締切りに用いた鋼管矢板にフーチングを剛結して基礎とする鋼管矢板基礎工法が鉄鋼メーカーを中心に開発され、工費、工期の改善が図られ、鋼管杭の需要量の約20%をしめるまでに一般化した。圧気条件化での作業が主となるニューマッチックケーソン工法は遠隔操作、無人化作業機械等の開発が行われて一層基礎工として採用され易くなった。直接基礎形式のひとつと考えられる設置ケーソン基礎は本州四国連絡橋の多くの基礎で採用され、工期の短縮、安全性の確保、航行船舶への影響の減少など最も先進的な基礎工法として定着した感がある。また最近では大規模基礎工法として地下連続壁基礎が用いられている。この工法はケーソン工法では不可能な大深度、大口径の基礎構造を可能としている。

⑥　長大橋の施工に大型クレーン船の活躍も見逃せないもののひとつである。クレーン船は、わが国の経済成長に伴う海洋、沿岸部の建設工事の実施とともに発展してきたが、クレーン船の大型化のひとつのきっかけには本州四国連絡橋をはじめとする長大橋の建設があった。現在1,000ｔ吊り以上のクレーン船で19隻、3,000ｔ吊り以上だけでも６隻を数えている。クレーン船を用いた橋梁大ブロック工法の採用は、大ブロックの工場組立てによる品質の確保、浜出し・輸送・据付・架設の一括施工による工程管理の正確さ、施工の安全、工期短縮、経費節減等のメリットがあり、海洋および沿岸部橋梁建設工事に果たしている役割は大きい。

⑦　鋼橋塗装に関する技術開発は、海上および沿岸部等厳しい腐蝕環境下で建設される橋梁の多いわが国では重要な課題であり、わが国独自技術の開発がなされてきた。石油化学工業の発達による新材料の塗料化等新しい塗料の研究も進んでおり、ほぼ10年毎の定期的な鋼道路橋塗装便覧の改訂がそれを示している。

⑧　本州四国連絡橋事業を通じて行われた研究開発は膨大なもので、その成果はわが国の橋梁技術発展に大きく貢献している。昭和36年（1961年）当時、本州四国連絡橋の技術的問題としては、①吊橋中央支間長1,500m級の克服、②水深約50m、潮流２～４m/s、

厳しい海底地盤状況下での橋梁基礎の建設、③60m/sの設計風速下での吊橋の耐風安定性の確保、④第一級の地震国であるわが国での耐震設計法の確立、⑤わが国の自然条件下での合理的なケーブル架設法、⑥重量列車の通常走行を可能とする吊橋の設計法が考えられていた。それぞれの課題を具体的に解決するために、産・官・学のわが国橋梁界の総力をあげて研究開発に取り組み、その結果多大な成果を挙げることができ、本州四国連絡橋の工事は現実のものとなったのである。①と⑤については平行線ストランド架設工法（ＰＷＳ）の開発が、②については設置ケーソン工法や多柱基礎が、③と④については多くの研究をすすめ、わが国独自の耐風、耐震設計法が、⑥については角折れ緩衝桁と軌道伸縮装置が、それぞれ新技術や対策工法として開発された。これら主要な技術開発以外にも多くの研究開発が行われ、これらの成果は一般の鋼道路橋の示方書に残らず取り入れられた。

⑨　戦後50年、発展をつづけてきたわが国橋梁建設技術も21世紀を目前にして大きな転機を迎えている。橋梁技術史を通じて考察されることは、現場溶接が消えたこと、連続桁が採用されないこと、コンクリート床版の見直しの必要なこと、競争設計制度の必要性、独創的な橋梁が少ないことがあげられる。また、わが国鋼橋建設技術の課題としては、わが国の技術が著しく発展したことから、従来までのような海外から学ぶという手法が通用しなくなったこと、本州四国連絡橋のあとにつづく、大プロを立ち上げるための技術インセンティブが必要なこと、社会のニーズにあった橋梁は何かあるいは維持管理の時代の新しい橋は何かなどの原点に立った議論の必要なことが指摘される。

⑩　最後に鋼橋建設技術を展望すると、①超長大橋建設のための新たな技術開発への挑戦が必要であること、②合理化、省人化、省力化の技術を抜本的に研究開発すること、③維持管理と老朽化を考慮した橋梁技術を確立すること、④環境に調和し、景観に配慮した、使い易い橋梁をつくる技術が必要であること、⑤建設コストを低減させること、⑥鋼橋建設技術の計画、設計、施工のいずれの面においても、外国の模倣でない独自技術の形成とそれらを通じての世界への貢献が重要であることが挙げられる。

第５章　耐震技術の発展

５．１　耐震技術の発展に関する経緯

わが国では、古文書に残る最古の地震は416年であるが、これ以後多数の地震が発生し、財産や生命に大きな被害を与えてきた。大正12年（1923年）の関東大震災で激甚な被害を蒙るまでは、わが国でもはっきりした形で耐震設計は行われていなかったが、城郭の石積みや建築物の施工に際しては経験的な配慮がされていたといわれている。これはわが国が世界第１級の地震国であり、地震の危険性に対する配慮の重要性が広く知られていたためである。

江戸期までのわが国でも、城郭に代表されるような大型の土木・建築工事はあったが、現在の目からみれば大部分は小規模なものであった。明治維新になり、西欧から堰を切ったように各種の材料、施工法、施工機械が導入され、従来のわが国になかった新しい工事が可能となった。その代表例が煉瓦造である。煉瓦造は、文明開化のシンボルとして、各地で建設されたが、明治24年（1891年）の濃尾地震及び大正12年（1923年）の関東大震災で大被害を蒙った。このため、関東大震災以後、基本的にわが国では煉瓦造の建設が禁止され、今日の耐震構造物に対する研究開発の土壌が作られた。

関東大震災以後、耐震対策の重要性が広く認識され、構造物の種類、重要性に応じた耐震設計、耐震構造に関する技術開発が否応なく進められてきた。より規模の大きな構造物、新しい種類の構造物の建設にあたっては、常に耐震技術の開発がその成否を握る場合が多く、耐震技術の開発が次の新しい構造形式の採用を促したといっても過言ではない。このような観点から、耐震技術の開発は、世界第１級の地震国であり、高度な文明と技術力を持つわが国の必然的な固有技術となってきた。

耐震技術の開発は、地震で激甚な被害を受けるごとに急速に進められてきた。ここでは、わが国の耐震技術発展に大きな役割を果たしてきた道路橋及び地下構造物の耐震設計技術と震災対策技術を中心に地震被害と耐震技術発展の経緯をみることとする。

５．１．１　橋梁の耐震技術の整備

関東大震災により約1,800橋の道路橋が被害を受け、このうち15橋が落橋した。関東大震災による被害は、土木構造物に対する直接的な被害のみならず、当時の社会・経済活動に計り知れない影響を及ぼした。道路橋の設計において地震の影響を具体的に考慮するようになったのは、関東大震災の翌年の大正13年（1924年）に内務省土木局が「橋台・橋脚等の耐震化の方法」として地震力に相当する水平力を設計に考慮するように通達したときに始まる。これは、大正６年（1917年）に佐野利器が提案した震度法を物部長穂が橋梁に適用したものであり、今日の耐震計算法のはしりとなったものである。

関東大震災以後、平成５年（1993）年７月12日の北海道南西沖地震に至るまで、我が国では、幾多の地震被害を経験してきた。この間、約3,200橋の道路橋が地震により被害を受け、24橋が落橋に至っている。このような震災経験とともに、国民生活の災害に対する安

全性の確保に対する要請もあいまって、道路橋の耐震設計技術が発展してきた。

表－5.1.1.1は、代表的な地震被害とこれを契機として開発された一連の道路橋の耐震設計技術の流れを示したものである。道路橋の設計に地震力が考慮されていない時期に建設された道路橋では、関東地震、福井地震の被災例に見られるように、下部構造自体の強度不足、周辺地盤の変状、あるいは、支持力不足によって引き起こされた下部構造の大きな横移動、傾斜、転倒等によって甚大な被害を受けたものが多い。

震度法による耐震設計が導入されるにしたがって、このような被害は軽減されてきたが、周辺地盤の変状、特に飽和砂質地盤の液状化に伴う被害は現在でも見られる。これが顕著な形で最初に認識されたのが、昭和39年（1964年）の新潟地震による昭和大橋の落橋であった。この経験から、昭和46年（1971年）に「道路橋耐震設計指針」が規定され、設計震度の統一、修正震度法の導入、地震時の地盤の液状化の影響の考慮、上下部構造間の相対変位による落橋を防止するための構造細目（落橋防止構造）が規定された。これが、道路橋の耐震法としては、初めて統一的にまとめられた基準である。

その後、昭和53年（1978年）の宮城県沖地震では、鉄筋コンクリート橋脚や支承周辺の被害が顕著にみられるようになってきた。これは、基礎構造の耐震設計法が進んできた結果、関東地震や福井地震に見られた下部構造全体の移動、転倒等による被害は生じなくなってきたが、そのかわりに橋脚、支承周辺部のねばりの少ない弱点部に被害が集中するようになったためである。

この被害を経験として、昭和55年（1980年）の「道路橋示方書Ⅴ耐震設計編」では、鉄筋コンクリート橋脚の変形性能の照査が加えられた。また、昭和57年（1982年）の浦河沖地震では連続橋の耐震設計法に関して問題のあることが指摘された。

こうした最近の地震被害とこれらに対する研究開発の成果を基に、平成２年（1990年）の道路橋示方書には抜本的な改訂が加えられた。まず、鉄筋コンクリート橋脚の変形性能の規定が「鉄筋コンクリートの地震時保有水平耐力の照査」として充実された。これは、土木研究所における設計地震力、鉄筋コンクリート橋脚の動的耐力・変形特性の関する最新の研究成果が取り入れられて、関東大震災級の大地震による地震力の規定を新たに設けるとともに、じん性率の算出法を明確にし、大規模地震を受けても鉄筋コンクリート橋脚に大被害を生じないことを確認する新しい耐震設計法として規定されたものである。また、現在までに行われてきた強震観測や動的解析結果によれば、全ての橋は固有周期に応じて振動の増幅率が異なることから、従来の震度法と修正震度法を統合し、これを新しく「震度法」として設計体系が体系化された。さらに、従来は単純橋に対する慣性力の算出方法しか示されていなかったため、土木研究所で開発された「静的フレーム法」と呼ばれる連続橋に対する新しい耐震計算法が導入された。

表－5.1.1.1　道路橋の耐震技術開発の経緯

年　号	道路をとりまく社会情勢・開発の背景等	開発技術の内容	克服された課題・インパクト・効果等	代表プロジェクト
大正9 (1920)	・1923 関東地震（M7.9）			
		・1926 道路構造に関する細則（案）	・これ以後、道路橋の設計では耐震設計を行うようになり、これ以後の耐震設計技術開発の契機となった。	
		・1939 鋼道路橋設計示方書（案）	・地域・地盤条件ごとに設計震度にある幅を与えるようになった。	
昭和15 (1940)	・1946 南海地震（M8.1） ・1948 福井地震（M7.3） ・1952 十勝沖地震（M8.1）			
		・1957 建設省による強震観測の開始	・地震力算定のための基礎データが得られるようになった。	・猿谷ダムに強震計を設置 平成4年現在全国で352箇所
昭和35 (1960)	・1961 災害対策基本法の制定 ・1964 新潟地震（M7.5）			
		・1967 本州四国連絡橋耐震設計指針	・従来の道路橋の範囲を大幅に超える長大橋梁について、岩盤上に設けられる大規模剛体基礎の耐震性を確保することが可能になった。	・1975 本州四国連絡橋の建設開始
		・1971 道路橋耐震設計指針	・修正震度法が開発され、橋の固有周期に応じた耐震設計が可能になった。また、簡便な液状化判定法が導入されるとともに、落橋防止構造の規定が設けられた。	
	・1978 伊豆大島近海地震（M7.0） ・1978 宮城県沖地震（M7.4） ・1978 大規模地震対策特別措置法の制定			
		・1979 立体横断施設技術基準・同解説	・横断歩道橋の耐震設計法を開発した。これにより横断歩道橋の建設が可能になった。	
昭和55 (1980)		・1980 道路橋示方書Ⅴ耐震設計編	・地盤の液状化の判定法が開発され、液状化により落橋に至るような致命的な被害を防止できるようにした。	
	・1982 浦河沖地震（M7.1） ・1983 日本海中部地震（M7.7） ・1984 長野県西部地震（M6.8）			
		・1985 東京湾横断道路橋梁の耐震設計法の開発	・超軟弱地盤上の橋梁に対する耐震設計法を開発し、これにより東京湾横断道路の建設が可能になった。	・1987 東京湾横断道路の建設開始
		・1986 土木構造物の震災復旧技術マニュアル(案) ・1988 道路震災対策便覧		

表－5.1.1.1　道路橋の耐震技術開発の経緯（続き）

年　号	道路をとりまく社会情勢・開発の背景等	開発技術の内容	克服された課題・インパクト・効果等	代表プロジェクト
平成2 (1990)	・鋼製橋脚・斜張橋・一方向に大きく張り出したＲＣ橋脚・軟岩上の吊橋・海洋架橋・超多径間連続橋等、従来震災経験のない新しい橋梁型式が広く用いられるようになってきた。 ・1992 日本初の立体道路整備	・1988 明石海峡大橋耐震設計要領(案) 明石海峡大橋下部構造安定計算要領(案) ・1989 道路橋の免震設計法ｶﾞｲﾄﾞﾗｲﾝ（案） ・1990 道路橋示方書Ⅴ耐震設計編 ・1992 道路橋の免震設計法マニュアル(案) ・1992 超長大橋に対する耐震設計法の開発 ・1992 新形式の道路橋に対する耐震設計法の開発	・地震により被害を受けた橋梁の被災度判定法及び復旧工法を開発した。これにより、速やかな震災復旧ができるようになった。 ・従来のように硬岩上ではなく、軟岩上に建設される長大橋について、大規模剛体基礎の耐震性を確保することが可能になった。 ・耐震性の向上を基本とした免震設計法を初めて開発した。 ・連続橋の耐震設計法を開発し、浦河沖地震に見られたような橋脚剛性の違いによる地震被害を防止できるようにした。 ・我が国独自の免震支承を開発するとともに、耐震性の向上のために地震力の低減を図る免震設計法を開発した。また、これにより１km級の超多径間連続橋の建設が可能になった。 ・海峡横断道路橋に対する新たな耐震設計技術の開発に着手した。 ・一体・近接・複合構造等新形式の道路橋に対する耐震設計技術の開発に着手した	・免震橋の建設開始 ・1990 日本初の免震橋が竣工 ・1992 免震設計を用いた橋長725mの超多径間連続橋の建設開始

このように、地震被害の経験を踏まえて、耐震設計技術が進歩、拡充され、これによって道路橋の地震被害は格段に減少し、地震に強い道路橋として国民の社会経済活動を支える道路ネットワークを構成している。

一般橋の耐震技術の開発と並んで、本州四国連絡橋を中心とする長大橋の耐震技術の開発もわが国固有の技術開発の代表例である。本州四国連絡橋に対する本格的な技術調査が始められたのは、昭和38年（1963年）に建設省が本州四国連絡道路調査事務所を開設してからである。大鳴門橋、南・北備讃瀬戸大橋、さらには明石海峡大橋に代表される長大橋梁の建設は、それまでの実績を大幅に超えるものであり、台風、地震、潮流、水深等のどれ1つをとっても世界に類をみない厳しい自然条件を克服して長大橋梁の建設を実現するため、建設省及び土木研究所を中心として広範囲の研究開発が進められた。

長大橋の耐震技術の研究開発では、橋の振動特性がきわめて複雑であることから、動的解析を基本とする耐震設計法の開発が行われた。このため、土木研究所における強震記録の蓄積、全体模型振動実験や動的解析等を通じた技術開発が行われ、昭和52年（1977年）に「耐震設計基準」が制定された。これは、岩盤上に設置される剛体基礎を対象とし、土佐沖で起こるマグニチュード８クラスの地震を考慮した耐震設計法としてとりまとめられたもので、土木研究所で開発された44成分の応答加速度スペクトル曲線をもとに工学的判断を加えて定められた設計用の応答スペクトル曲線が基本となっている。基礎の耐震計算法としては、当時としてはまだ先端的な解析手法であった「応答スペクトル法」による動的解析が基本として用いられるとともに、土木研究所における全橋模型振動実験を通じた研究成果を踏まえ、全橋モデルを用いた動的解析による吊橋上部構造の耐震設計法が開発された。

この設計法は、大鳴門橋、南・北備讃瀬戸大橋を始めとする10橋に適用されたが、その後さらに世界最長の明石海峡大橋の実現に向けて調査研究が進められ、昭和63年（1988年）には最新の技術を結集した「明石海峡大橋耐震設計要領（案）・安定計算要領（案）」が、また平成２年（1990年）には「来島大橋剛体基礎耐震計算法（案）」がまとめられた。これらは、上述の耐震設計基準が岩盤上の剛体基礎を対象としたのに対し、軟岩上に建設される明石海峡大橋や来島海峡大橋の基礎に適用可能な新たな耐震設計法を示したものである。設計用の加速度応答スペクトルは、土木研究所で開発された394成分の加速度応答スペクトルの距離減衰式に基づいて規定された。耐震計算法としては、有効地震動入力、地盤の動的復元力特性のモデル化等、最新の耐震技術が導入された。中でも基礎の地震時の安定計算に関しては、従来の静的な照査方法では基礎の大きさが巨大となり極めて不経済な設計となることから、土木研究所における剛体基礎の模型振動台実験結果等を反映した動的な転倒照査法が取り入れられた。こうして最先端の技術を結集して開発された技術によって、明石海峡大橋を始めとする本州四国連絡橋の設計、施工が実現した。

５．１．２　地下構造物の耐震技術の開発

地下構造物に対する耐震設計法の開発は、諸外国ではほとんど例がなく、わが国の独自技術の一つである。地下構造物の耐震技術の開発が本格化したのは、石油パイプラインを道路下に設置する要請が高まり、日本道路協会に石油パイプライン小委員会が設けられ、技術基準の作成がスタートした昭和47年（1972年）４月である。石油パイプラインは都市域の軟弱な地盤中に建設される事例が多く、パイプラインの震災が大きな２次災害につながる危険性があることから、石油パイプラインの地震時安全性を確保できる耐震設計技術の開発が急務とされた。

石油パイプライン小委員会の中では、地中埋設管路は周辺地盤に比較して質量及び剛性が小さく、地盤中で共振しにくいため、管路の変形は地震時の地盤変形に起因して生じることが明確にされ、震度法のような慣性力によるつりあいを主体とした耐震設計法とは全く異なった基本理念による地中埋設管路用の耐震設計法が開発された。この成果は「道路法施行令」及び「石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準を定める省令及び告示」に反映され、さらに昭和49年（1974年）６月には、石油パイプラインに対する初めての統一的な設計基準である「石油パイプライン技術基準案」がとりまとめられた。

これとほぼ同じ時期に建設省では東京湾横断道路等、関東、関西の湾岸地域における道路用トンネルとして沈埋トンネルの技術的課題に関して調査研究を進めていた。

こうした石油パイプラインや東京湾横断道路の沈埋トンネルに対する耐震設計法に関する検討は、建設省総合技術開発プロジェクト「新耐震設計法の開発」（昭和48年～52年；1973～1977年）に引き継がれ、昭和52年（1977年）にまとめられた「建設省新耐震設計法（案）」では「応答変位法」と呼ばれる震度法と並ぶ地下構造物に対する汎用的な耐震設計法として体系化された。

応答変位法は、石油パイプラインや沈埋トンネルのみならず、シールドトンネル、共同溝、地下駐車場、電気・ガス・水道・電信電話等ライフライン管路施設の耐震設計基準に広く活用されている。表－5.1.2.1は、以上に示した地下構造物の耐震技術開発の経緯を示したものである。

このなかでも、東京湾横断道路のシールドトンネルの建設に際しては、事業の重要性とともに、わが国でも最も地震活動度の高い超軟弱地盤中に建設されることから、重点的な耐震設計法の開発が行われた。シールドトンネルは他の地下構造物と異なり、覆工の剛性が引張と圧縮では異なるため、多数の模型載荷実験が土木研究所で行われ、覆工剛性の評価法が開発された。さらに、一次覆工と二次覆工の相互作用のため、二次覆工の長手方向に十分な配筋がされていないと、ある特定箇所に地震被害が集中することから、二次覆工の最小鉄筋量の算定法が開発された。東京湾横断道路シールドトンネルの耐震設計ではこうした先端的なわが国の独自技術が活用されている。

表－5.1.2.1　地下構造物の耐震技術開発の経緯

年　号	道路をとりまく社会情勢・開発の背景等	開発技術の内容	克服された課題・インパクト・効果等	代表プロジェクト
大正9 (1920)	・1923 関東地震（M7.9）			
昭和15 (1940)	・1946 南海地震（M8.1） ・1948 福井地震（M7.3） ・1952 十勝沖地震（M8.1）			
昭和35 (1960)	・1961 災害対策基本法の制定 ・1964 新潟地震（M7.5）			
		・1972,1973 石油パイプラインの事業の事業用施設の技術上の基準を定める省令告示	・石油ﾊﾟｲﾌﾟﾗｲﾝ用の耐震設計法を開発し、これによりその建設が可能になった。	
		・1977 地下構造物の耐震設計法の開発（新耐震設計法(案)）	・線状地下構造物の耐震設計法を「応答変位法」としてとりまとめた。応答変位法は地下構造物に対する汎用的な耐震計算法として、道路地下施設のみならず電気・ガス・水道等のﾗｲﾌﾗｲﾝ施設やＣＡＢ・共同溝等に広く用いられている。	・1977 地下埋設管路耐震継手の技術基準(案) ・1979 水道施設耐震工法指針・解説 ・1981 下水道施設地震対策指針・同解説 ・1981 ﾄﾝﾈﾙ耐震継手技術基準(案)
	・1978 伊豆大島近海地震（M7.0） ・1978 宮城県沖地震（M7.4） ・1978 大規模地震対策特別措置法の制定			
昭和55 (1980)	・1982 浦河沖地震（M7.1） ・1983 日本海中部地震（M7.7） ・1984 長野県西部地震（M6.8）			・1986 川崎航路ﾄﾝﾈﾙ・多摩川ﾄﾝﾈﾙ（沈埋ﾄﾝﾈﾙ）着工
		・1984 共同溝の耐震設計法の開発（共同溝耐震設計要領(案)）（1986 共同溝設計指針）	・共同溝の耐震設計法を開発し、その設計が可能になった。	・共同溝の整備開始（1989年現在、238km）
		・1986 ＣＡＢの耐震設計法の開発（ｷｬﾌﾞｼｽﾃﾑ技術ﾏﾆｭｱﾙ(案)・解説）	・CABの耐震設計法を開発し、その設計が可能になった。	・CABの整備開始（1996年までに1000kmを目標
		・1986 土木構造物の震災復旧技術ﾏﾆｭｱﾙ(案)	・地震により被害を受けた道路地下構造物の被災度判定法及び復旧工法を開発した	
		・1987 東京湾横断道路ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙの耐震設計法の開発（東京湾横断道路設計基準(案)）	・超軟弱地盤でかつ大規模地震が発生する東京湾で、大断面ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙの建設が可能になった。	・1991 東京湾横断道路ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙ着工
平成2 (1990)		・1992 大規模地下構造物の耐震設計法の開発（大規模地下構造物の耐震設計法・ｶﾞｲﾄﾞﾗｲﾝ(案)）	・幅の広い地下構造物や大深度地下構造物の耐震設計が可能になった。	
		・1992 地下駐車場の耐震設計法の開発（駐車場設計・施工指針）	・応答変位法に基づく地下駐車場の耐震設計法を開発し、その建設が可能になった	・1992 道路事業としての駐車場整備開始（2020年までに60万台分を目標）
		・海洋横断トンネルの耐震設計法の開発	・海洋を横断する超長大ﾄﾝﾈﾙの耐震設計技術の開発に着手。	

５．１．３　震災対策技術の開発

耐震設計技術の開発と並んで、すでに建設された構造物の中で耐震性が不十分な構造物の点検手法や補強技術、地震で被害を受けた後の被災度の判定手法や復旧技術の開発の面でも世界に例のない数々の独自技術が開発されている。表－5.1.3.1は、震災対策技術開発の経緯を示したものである。

まず、既存施設の耐震性判定法、耐震補強法に関する技術開発のきっかけになったのは昭和46年（1971年）２月の米国サンフェルナンド地震（マグニチュード6.6）によって発生した高架橋を中心とする甚大な被害であった。我が国でも同種の被害が発生する可能性がないかを検討するため、昭和46年（1971年）に最初の震災点検が実施され、一般国道指定区間以上の道路の全区間と、その他の道路の一部の区間に存する橋長５ｍ以上の道路橋に対して、破損、亀裂、傾斜、滑動、沈下、洗掘等の変状の有無が調査された。その以後、震災点検は昭和51年（1976年）、昭和54年（1979年）、昭和61年（1986年）、平成２年（1990年）と対象道路及び点検対象項目を順次広げながら実施されている。

初期の震災点検では、異常の有無や落橋防止構造の設置状況の調査に主眼がおかれたが、次第に落橋等の致命的な被害を生じさせる可能性のある構造部材の特性の調査が求められるようになった。非常に多数の道路橋を点検するためには最初から詳細な点検を実施することはできない。このため、外観と周辺状況に基づく簡易な橋の耐震性評価法が土木研究所で開発され、平成２年（1990年）の震災点検に取り入れられた。

また、補強対策では従来主に落橋防止構造の設置が優先的に実施されてきた。下部構造及び基礎の耐震補強についても対策が進められているが、費用や工期、交通規制の面からより有効な耐震補強法の開発が求められている。主鉄筋を途中定着する際の定着長不足に起因する橋脚の被害が近年増加しており、早急な対策が必要とされることから、鋼板巻き立て補強法が土木研究所で開発された。この手法はすでに多数の橋で耐震補強に活用されている。

一方、地震で被害を受けた構造物の復旧技術に関する体系的な技術開発が建設省総合技術開発プロジェクト「震災構造物の復旧技術の開発」において昭和56年度（1981年度）から昭和60年度（1985年度）までの５カ年にわたって行われた。この中では、過去の震災後の対応例に基づき、震後を震災復旧の第一段階（緊急段階）から第三段階（本復旧段階）までの３つの期間に分類し、それぞれの期間ごとに有効な調査法、応急対応、復旧法及び復旧の総合的評価手法が開発された。特に、被災事例が多いが、専門的な知識を持たないと被災度の判定が難しい橋脚の被害について、外見からの被災状況に基づいて暫定的に通行止めにすべきか、通行制限を加えるべきか等が容易に判定できる手法が開発された。これは、土木研究所における橋脚の動的載荷実験に基づいて開発されたものである。

本研究開発の最終成果は、昭和61年（1986年）３月に「土木構造物の震災復旧技術マニュアル（案）」としてまとめられた。このマニュアルは、世界的に見てきわめて独創性の

高いものであるため、米国ニューヨーク州立大学地震工学研究センターによって英訳され、地震被害の起こる世界各国で震災復旧に活用されている。

表－5.1.3.1　震災対策技術開発の経緯

年　号	道路をとりまく社会情勢・開発の背景等	開発技術の内容	克服された課題・インパクト・効果等	代表プロジェクト
大正9 (1920)	・1923 関東地震（M7.9） 首都圏では、一度の地震が一国の社会・経済に極めて大きな影響を与えることが明らかにされた。			
昭和35 (1960)	・1961 災害対策基本法の制定 ・1964 新潟地震（M7.5） 激甚な震災が都市生活者に極めて大きな影響を与えることが明らかにされた。	・1971 道路構造物の耐震点検法の開発	・既設道路構造物の耐震性を統一されたﾌｫｰﾏｯﾄで点検することが可能になった。	・1971 道路構造物の耐震点検（道路橋・ﾄﾝﾈﾙ・立体交差） ・1976 道路構造物の耐震点検（道路橋・ﾄﾝﾈﾙ・横断歩道橋）
	・1978 伊豆大島近海地震（M7.0） 代替路線の少ない山間地では、道路被害により連絡ルートを絶たれると致命的になることが明らかにされた。 ・1978 宮城県沖地震（M7.4） 初めての都市型災害で、道路を始めとする電気・ｶﾞｽ・水道等ﾗｲﾌﾗｲﾝ施設の重要性が初めて示された。 ・1978 大規模地震対策特別措置法の制定			・1979 道路構造物の耐震点検（道路橋・ﾄﾝﾈﾙ・横断歩道橋・盛土）
昭和55 (1980)	・1983 日本海中部地震（M7.7） ・1984 長野県西部地震（M6.8） ・1984 南関東震災対策輸送基盤整備計画 大規模震災時の緊急輸送路整備計画が初めて作成された。			
	・1987 東海地域震後対策計画 東海地震による被害想定及び震後対策計画が作成された。 ・1988 南関東地震による被害想定（国土庁） 南関東地震による被害が初めて総合的に想定された。	・1986 土木構造物の震災復旧技術の開発 （土木構造物の震災復旧技術ﾏﾆｭｱﾙ(案)） （1987 道路震災対策便覧(震災復旧編)） ・1987 道路構造物の被災予測手法及び震前対策手法の開発 （道路震災対策便覧(震前対策編)）	・地震により被害を受けた道路施設の被災度判定法及び復旧工法を初めて統一的にとりまとめた。 ・道路施設の耐震性判定法及び耐震補強法を初めて統一的にとりまとめた。	・1986 道路構造物の耐震点検（道路橋・ﾄﾝﾈﾙ・横断歩道橋・盛土） ・1992 道路事業としての駐車場整備開始（2020年までに60万台分を目標）

表－5.1.3.1　震災対策技術開発の経緯（続き）

年　号	道路をとりまく社会情勢・開発の背景等	開発技術の内容	克服された課題・インパクト・効果等	代表プロジェクト
平成2 (1990)	・1989 伊豆半島沖の群発地震 地震発生時の迅速な情報収集及び施設管理者や住民に対する適切な情報伝達の重要性が初めて示された。 ・1991 関東地震クラスの大規模地震に対する被害想定（東京都） ・1992 南関東地域直下の地震対策に関する大綱（中央防災会議） 都市型地震災害を防止し、また都市全体として耐震安全性を向上する必要のあることを指摘。	・1990 地震防災投資の効果の評価技術	・震災の影響は、直接の物的被害よりも道路が使用不能となるための間接被害の方がはるかに大きいことを明らかにし、大都市圏では総合的な見地から道路震災対策を進める必要があることを明らかにした。	
		・1992 災害情報ｼｽﾃﾑの開発 （災害情報ｼｽﾃﾑ・ｶﾞｲﾄﾞﾗｲﾝ(案)）	・震災直後の混乱時においても、ﾍﾘｺﾌﾟﾀｰ・電子野帳等を用いて復旧に必要な情報を迅速かつ正確に収集･伝達することが可能になった。	
		・1992 道路占用物及び沿道施設の耐震点検法の開発	・既存の道路占用物及び沿道施設の耐震性を統一されたﾌｫｰﾏｯﾄで把握するとともに沿道を含めた道路空間の耐震安全性を向上させることが可能になった。	・1992 道路占用物及び沿道施設の耐震点検
		・1992 大都市地域における地震防災技術の開発	・震災の波及構造を考慮した都市型災害に対する総合的な震災対策技術の開発に着手した。	

５．２　わが国独自技術の展開

５．２．１　震度法及び修正震度法の開発

震度及び修正震度という概念は、関東大震災の７年前に当たる大正５年（1916年）に当時の震災予防協会の臨時委員であった佐野利器東京大学教授により世界に先駆けて提案されたものである。佐野は、家屋耐震構造論の中で震度を次のように定義している（原文）。

余ノ茲ニ震度ト名クルモノハ加速度（殊ニ最大加速度）ノ一ノ変形ナリ。即チ地震動ノ最大加速度（ａ）と重力ノ加速度（ｇ）トノ比（ａ／ｇ）ニシテ常ニｋ又ハｋ'ヲ以テ之ヲ表ハサントス。

Ｗヲ以テ物體ノ重量トセバ震力ａｍハｋＷト記サレ得ベク、凡テノ物體ハ其重量ノｋ倍ノ力ニ依テ静止ヲ乱サレントスト云ヒ得ベシ、ｋハ一般ニ0.1或ハ0.3ト云フガ如キ小数ナリ。

佐野はｍの質量を有する物体が地上に静止し、地震の際に地盤と運動をともにする時には、ある時刻で地盤の加速度がａの時に物体に作用する力はａｍであり、これを震力として定義し、震力は震度と重量ｋＷとの積で表されることを示している。また、特に重要な点としては、佐野は将来その地域に起こることが予想されるような震度を予期震度（すなわち、構造物の設計で考慮すべき設計地震力）と名付けた上で、予期震度は地域及び地盤条件によって変化させるべきだとし、また、構造物の重要性に応じて予期震度を増減させるべきだと指摘している点である。これは、今日でいう所の地域別補正、地盤別補正、重要度別補正に、それぞれ相当する。

したがって、今日の世界的に用いられている震度法の基本的な考え方は全て大正５年（1916年）に佐野により提案された考え方の延長線上にあるといえよう。佐野による提案をもとに、土木の分野では物部長穂によって具体的な適用法が提案され、広く各種の土木構造物の耐震設計の基本的な方法として用いられてきた。

さらに、佐野は家屋耐震構造論の序言の中で、次のように述べている。

今ヨリ約二十年以前迄ニ造営セラレタル洋風家屋ハ全ク耐震的観念ヲ加エザル欧米建築法ノ殆ド直寫ニ依リタリ、故ニ其ノ数ハ多カラザリシト雖ドモ震災ニ於ケル其ノ被害率ハ甚ダ大ナリキ、明治二十四年ノ濃尾地震、同二十七年ノ東京地震及ビ其ノ前後ニ頻発セル北海道、岩手、酒田、熊本等ノ地震ハ建築家ニ多大ナル警告ヲ與エ、欧米ノ直寫ノ遂ニ安ンズベカラザルコトヲ覚ラシメタル以来、我ガ国ノ洋風建築法ハ漸ク耐震的考慮ヲ加ヘラルルニ至リ、今ヤ欧米ノ建築法トハ多少趣ヲ異ニスルニ至レリ、然レドモ、未ダ構造学的ニ進歩セリト稱フルヲ得ルノ域ニ達セルニ非ズ。

地震による被害経験は世界的に見て我が国において突出して多い。このような特異な経験が西欧技術の単純な移転だけでは不十分であり、我が国の独自技術として震度法を基本とする耐震技術の発展が必要とされた大きな原因である。

震度法では、構造物と地盤はともに剛体であり、構造物は地盤と全く同じ運動をするため、地震による地盤の加速度そのものが構造物に加わる加速度であると仮定している。しかし、構造物が地盤と同じように振動するのは、構造物の固有周期がごく短い場合（0.05秒程度以下）であり、ほとんどの構造物に対してはこの仮説は成り立たない。

佐野は、上記の家屋耐震構造論の中で構造弾性による地震力の増減についても言及し、剛構造物は地盤と同じ振動をするが、柔軟な構造物では構造物の振動は各所で異なるため、結果として地震力が増減することがあり得ることを指摘している。地震力が増大する場合としては、地盤の振動によって構造物にひずみ（すなわち、構造物の応答）が生じ、このひずみ分だけ震度が増大するというものである。さらに、震度が減少する場合としては、構造物の振動モードの概念を導入し、構造物の部分によって震度の作用方向が異なるような振動をすることを示すとともに、これが、構造物の固有周期と地震動の周期との関係によることを指摘している。地震の周期より小さい固有周期を有する構造物を剛な構造物、反対の場合を柔な構造物とし、通常家屋は剛構造物、木造２階建ての一部や３層以上のものや塔、煙突、灯台などの高層のものの多くは柔構造物であるとしている。これが、今日の修正震度法の概念である。

動的応答を考慮した修正震度法の開発の背景について見てみよう。

1931年（昭和６年）の秋に、末広恭二（当時東大教授、地震研究所長）が招かれてアメリカの主要な大学（カリフォルニア大学、スタンフォード大学、カリフォルニア工科大学、マサチューセッツ工科大学）で地震学の特別講義を行い、①地殻変動の長期観測、②強震時の地動加速度と変位の観測、③地震動波形の特別な装置（アナログ計算機）による解析などの必要性を力説した。この講義に刺激されて、アメリカ西部では直ちに強震観測が開始され、1933年（昭和８年）３月11日のロングビーチ（ロサンゼルス近郊）の地震により人類始まって以来、最初の強震波形が記録された。

その後、次第に強震時の加速度記録が得られ、その記録波形に基づいて１自由度振動系の地震応答が算出された。それらの結果は、①固有周期が相対的に長い振動系の地震応答加速度は、固有周期が相対的に短い場合のものよりも小さく、②固有周期がきわめて長い場合には応答加速度は地震加速度より小さく、固有周期が短い場合には応答加速度は地震加速度よりも大きいことなどを示していた。

1953年（昭和28年）にカリフォルニア工科大学G.W.Housner教授は、数多くの強震記録を用いて減衰効果を考慮に入れた応答スペクトル値を計算し、1959年（昭和34年）には米国の強震記録によって得た地震応答スペクトル曲線を平均化した平均応答スペクトル曲線を提案した。一方、我が国においても、昭和40年（1965年）には高田らは我が国で得られ

た20成分の強震記録から平均応答スペクトル曲線を提案し、また、栗林も44成分の強震記録から４種の地盤条件ごとに平均スペクトル曲線を作成している。

以上のように、実際の地震時の構造物の応答がどのようになるか、これが応答スペクトル曲線によってどのように表されるかが明らかになったことから、震度を修正し、動的応答の影響を考慮した修正震度が定義された。

道路橋に対する修正震度法の適用は、本州四国連絡橋の長大吊橋の耐震設計法の開発とともに発展してきた。修正震度法は、最初に昭和39年（1964年）の本州四国連絡橋の耐震設計指針に取り入れられ、その後昭和46年（1971年）に一般規模の道路橋の耐震設計に取り入れられた。これが基準としてまとめられたのが、昭和46年（1971年）道路橋耐震設計指針である。

道路橋耐震設計指針では、応答を考慮した修正震度法における設計震度が次式で与えられている。

$$k_{hm} = \beta k_h$$

ここに、

k_{hm}：応答を考慮した修正震度法における設計水平震度

k_h ：震度法における設計水平震度

β ：構造物の固有周期による設計震度の補正係数

（固有周期が0.5秒未満の場合は$\beta = 1.0$とする）

修正震度法における設計水平震度k_{hm}は、震度法における設計水平震度k_hに、橋の固有周期と地盤種別に応じて定まる設計水平震度の補正係数βを乗ずることにより求められる。設計水平震度の補正係数βは、上述した44成分の平均応答スペクトルに、各種の経験的事実を加えて定められたものである。

以上のように、震度法とこれに固有周期による補正を加えた修正震度法は別の設計体系として整備されてきたが、強震観測記録の充実や橋の振動実験、動的解析法の進展などをもとに、動的な応答とこの静的な取扱というもっと大きな目で橋の振動特性を見直してみようという研究が土木研究所を中心に進められてきた。

このために、まず、震度法や修正震度法を動的解析から見直してみよう。応答スペクトル法による動的解析では、固有値解析によって各次の固有周期と固有振動モードを求め、これから構造物の最大応答を計算する。これに対して、震度法では構造物は地盤と同じ振動をすると仮定し、修正震度法では一次固有周期に相当する地震力を一次固有振動モードに近似させて構造物に作用させる。

ただし、すでに佐野が指摘していたように、震度法が成立するのは構造物の固有周期がきわめて短い場合（一般には固有周期が0.05秒以下）である。しかし、このように短い固

有周期を持つ橋は稀であるといってよく、現実的にはほとんどの構造物に対して震度法は成立しない。地盤に対して構造物がどれだけ振動するかは、主として構造物の固有周期と減衰特性による。

このため、構造物の耐震設計では、震度法を修正震度法の中に取り入れた上で、修正震度法のセンスで考えて行くことが重要である。そのうえで、震度法と修正震度法を統合した耐震計算法を改めて震度法と呼ぶ。このような考え方は、強震観測記録の充実による地震動や加速度応答スペクトルの特性や橋梁を中心とする構造物の地震時振動特性が明かとなってきたことから初めて可能となったものである。

震度法の震度も応答スペクトル法の入力スペクトルも同じ加速度応答スペクトルから求められているとすれば、震度法は一次振動モードだけを考慮した応答スペクトル法に相当するとみることができる。ただし、震度法では固有周期や固有値解析ではなく、略算法で求める場合が多い。このような点が、震度法と一次振動モードを考慮した応答スペクトル解析法の違いとして表れる場合がある。

動的解析では、解析の仮定で各振動モードごとに減衰定数を与えるのに対して、震度法では、静的に地震力を与えるため、減衰定数は直接静的計算の過程には入ってこない。したがって、震度法ではすでに震度の中に減衰定数の効果が考慮されていなければならない。この点において、震度と動的解析の入力としての加速度応答スペクトルは同じではない。

このうような震度法と修正震度法の統合は、まず最初に、平成２年（1990年）の道路橋示方書に取り入れられた。ここでは、従来の震度法と修正震度法を統合し、これを改めて震度法と呼ぶことにした上で、設計震度を次式のように与えている。

$$k_H = c_Z \cdot c_G \cdot c_I \cdot c_R \cdot k_{HO}$$

ここに、k_H：設計水平震度

c_Z：地域別補正係数

c_G：地盤別補正係数

c_I：重要度別補正係数

c_R：固有周期別補正係数

k_{HO}：設計震度の標準値

固有周期別補正係数c_Rは固有周期に応じて設計震度を変化させる係数で、土木研究所で開発された394成分の強震記録の統計解析結果と橋の振動特性に関する既往の経験等に基づいて与えられている。

５．２．２　落橋防止構造の開発

固定支承は所定の地震力に対して設計されているが、可動支承は可動性に重点がおかれ

て上部構造の異常な変位に対しては拘束する構造にはなっていなかった。このため、過去の被害事例を見てみると、上部構造の落下は可動支承側から生じている。

このことが大きな重要性を帯びて認識されるようになったのは、昭和39年（1964年）の新潟地震による昭和大橋の落橋である。昭和大橋は、地震の１ケ月前に信濃川を渡河する位置に架設されたばかりの橋梁であり、単純合成鋼桁12連からなる橋長303.9mの橋梁である。下部構造は、単列のパイルベント式橋脚であり、φ609の鋼管杭が９本用いられていた。地震により、周辺地盤が広範囲に液状化すると同時に地盤が河心方向に移動した結果、下部構造に大きな変形が生じ、また、上下部構造間に有効な落橋防止構造を欠いていたために上部構造の落橋を招いたものである。この被害を契機として落橋防止構造の必要性が強く認識されるようになった。

なお、現在の落橋防止構造の起源となる構造について調べてみると、岡本らにより提案されたＳＵダンパーがある。ＳＵダンパーは、橋梁の耐震性を向上させることを目的に、上部桁と下部構造天端をケーブルで連結し、ケーブルの弾塑性変形により地震時の振動を低減し、耐震性を向上させようというものである。また、首都高速道路において、特に可動支承部のストッパーや桁間を鋼製のプレートで連結するという構造が昭和40年代（1965～1975年）から使用されるようになった。

このように落橋を防止する方法については、世界でも橋梁の震害が特に多い我が国ならではの発想ということができる。

一般の道路橋に対して、落橋防止構造が設計で考慮されるようになったのは、昭和46年（1971年）の道路橋耐震設計指針からである。

５．２．３　応答変位法の開発

地盤中に埋設された地下構造物に対する応答変位法による耐震設計法は、わが国独自に開発された代表的な耐震設計法の一つである。岩盤中に建設されるトンネルは、断層等によって岩盤が破壊されない限りは地震で被害を受けることは少ないが、地盤中に埋設された地下構造物は、地盤の変形により過去に多数の被害を生じてきた。

地下構造物は、橋梁や建物のように地上の構造物とは違った振動特性を持っている。最も大きな違いは、地下構造物は地盤に対して相対的に大きな振動をしないという点である。この原因は２つある。

まず、最初は、地下構造物の見かけの単位体積重量は一般に周辺地盤の単位体積重量よりも小さいか同程度であることが多い。例えば、沈埋トンネルを例にとると、浅く設置される場合には静水圧による浮き上がりを防止するために構造体と内空断面を含めた全体の単位体積重量を1.1程度にする。周辺地盤の単位体積重量は1.7程度であるから、沈埋トンネルの見かけの単位体積重量は周辺地盤の単位体積重量よりも小さい。また、もう少し深く建設されるシールドトンネルでは、内空断面を含めた構造体の単位体積重量は周辺地盤

の単位体積重量に比較して小さい。地下構造物の見かけの単位体積重量が周辺地盤に比較して小さいということは、地下構造物に作用する慣性力が小さいということである。地中で地下構造物に独自の振動をさせようという力が小さいのである。

２つめは、地下構造物は周辺地盤によって取り巻かれているため、地下構造物から周辺地盤に逃げ出すエネルギー、すなわち逸散減衰が非常に大きいという点である。例えば、机の上にビール瓶を置き瓶の上部を横に引っ張って離してやると瓶はロッキング振動する。しかし、瓶の口近くまで土に埋めて瓶の口を横に引っ張ってから離してやっても、瓶は土中で振動しない。これは、瓶から振動エネルギーがすぐまわりの地盤に逃げてしまうためである。逸散減衰は、減衰定数として評価すれば臨界減衰を上まわる大きな値である。逸散減衰が非常に大きいということは、地下構造物が周辺地盤に対して相対的に振動を起こしても、すぐに収まることを示している。

このように、一般の地下構造物では、もともと地盤に対して相対的な振動を起こしにくい上に、一度起こった振動もすぐに収まってしまう。このため、地下構造物は、地震時に地盤に変位や変形が生じると、それに従うように、まわりの地盤に引きづられて振動する。

このため、地震時に地盤に生じる変形（ひずみ）、地盤内応力度を計算し、これらを静的に地震外力として地下構造物に作用させて地下構造物の変位、変形、断面力、応力度を計算する計算法が応答変位法である。

応答変位法では、地震時に地盤に生じる変形（地震時地盤変位と呼ぶ）、地震時土圧、地盤変形にともない構造物周面に作用するせん断力（地震時周面せん断力と呼ぶ）、構造物の重量に起因する慣性力を地震外力として考慮する。応答変位法でも慣性力を考慮するが、この影響は一般に他の地震力に比較して小さい。この点が、慣性力が主たる地震外力である震度法と大きく異なる点である。

５．２．４　液状化対策技術の開発

昭和39年（1964年）の新潟地震では、地盤の液状化により橋梁、建築物、地下埋設管路等に甚大な被害を生じた。地盤の液状化に対する耐震設計の重要性が国際的に大きく認識され、その後液状化に関する調査、研究が急速に進むこととなった。

液状化に関する研究は、まずその発生のメカニズムから開始された。この結果、緩く堆積した飽和砂層に振動が加わると、砂の体積が減少し、これにともなって過剰間隙水圧が上昇して液状化が生じることが明らかにされた。当初は、クイックサンド現象とも呼ばれていたが、やがて液状化に統一された。

発生のメカニズムが明らかにされてからは、液状化の判定法の開発が行われた。当初はＮ値と深度等で液状化の発生が評価されたが、やがて砂の動的強度と地震力の比で判定する手法が土木研究所で開発された。液状化に関する判定法を国内外で初めて技術基準に取り入れたのは、昭和46年（1971年）４月の「道路橋耐震設計指針」であり、Ｎ値に基づく

簡易判定法が取り入れられた。また、昭和55年（1980年）及び平成２年（1990年）の「道路橋示方書Ｖ耐震設計編」では、単に土質条件だけではなく、地盤の動的強度特性と地震荷重を考慮した判定指標F_Lにより定量的な液状化判定手法が盛り込まれた。また、液状化する砂層の取り扱いも、液状化の度合いに基づいて定量的に行えるようになった。

現在は、液状化地盤中の橋梁や地下構造物等の振動特性、浮き上がり特性に関する研究が精力的に行われている。

また、近年になり、地盤が液状化するとこれにともなって水平方向に地盤が流動し、地震後には大きな残留変位が生じることが明らかになってきた。このような地盤の流動に対して、その流動量の推定手法を開発し、流動地盤中に建設される構造物の耐震対策に関する研究が必要とされている。

５．３　耐震技術発展の要因分析

明治23年（1891年）の濃尾地震を契機とし、実質的には大正12年（1923年）の関東大震災以後技術開発が開始されたわが国の地震防災技術は、その後ほぼ70年の間に長足の進歩を遂げ、わが国の固有技術の代表として、世界をリードするまでに成長した。このようにわが国において地震防災技術が発展した要因を分析すると以下のように考えられる。

（１）世界第１級の地震活動とそれにともなう被害の発生

わが国の地震活動度は世界第１級であり、構造物に被害を生じた主要な地震だけでも関東大震災以後の70年間に15回発生している。５年弱に１回の割合で被害地震が発生したことになり、このような高い地震活動はわが国だけといってよい。したがって、地震災害の軽減はわが国の最優先課題の一つであり、研究開発に高いインセンティブが与えられた。

また、地震発生頻度には多少の違いがあるが、わが国では国土のどこにでも地震が発生し、地震危険度のない地域は存在しない。地震の規模もマグニチュード８クラスと巨大地震が発生する。このため、震災対策は、わが国全体の問題である。さらに、大正12年（1923年）の関東大震災により首都圏が震災を受けたことも、中央政府の強い支援を受ける要因となり地震防災対策を全国的に実施できた。

（２）大規模プロジェクトの推進

わが国では、構造物の建設に際し耐震技術の成否がその事業の可能性を支配する。このため、大規模事業の推進に際しては、耐震技術の開発に重点的に研究投資と資源が分配された。このため、本州四国連絡橋や東京湾横断道路のように大規模プロジェクトに絡んで耐震技術の飛躍的な開発が行われた。

（３）海外との積極的な技術交流

ＵＪＮＲ耐風耐震構造専門部会を通して昭和44年（1969年）以後、日米政府間で耐震技術の交流が行なわれてきた。この時期は、本州四国連絡橋やさらには東京湾横断道路に必要な耐震技術を開発するため、わが国が広く海外の新しい耐震技術を必要としていた時期であり、わが国の耐震技術の発展期と一致していた。また、この交流は、合同部会における情報の交換ばかりでなく、研究者の交流、留学、共同研究の実施を可能とし、わが国の中だけに閉じこもりがちな研究者に、海外の場で研究を発表し、わが国の耐震技術を広く世界に普及させる力と自信をもたらした。

（４）技術基準化を通した成果の普及と実践

わが国では、伝統的に研究開発の成果は広く公表し、社会に役立てるという伝統がある。このため、研究開発された成果のエッセンスは技術基準の形でとりまとめられ、実際の事

業に活用された。また、技術基準の内容を普及させるため、適宜講習会等も開催され、基準に示されている考え方を普及させるために役立っている。

さらに、わが国では、基準に規定された内容が遵守されている。これは、設計、施工に携わる技術者の質や正義感が高いことに原因がある。建築のように民間が設計、施工を行う際には、建築確認制度によって安全性を確認していることも建物の耐震性を確保するためには大きく貢献してきた。

（5）煉瓦造の禁止

わが国では、明治維新後西洋文化の影響を受けて煉瓦造の建物が大量に建設されるようになったが、これがわが国に根付く前に濃尾地震、関東大震災によって壊滅的な被害を受け、政府は煉瓦増の建設を原則的に禁止することができた。諸外国の中には、伝統的には木造の家屋に住んでいながら、西洋から輸入された煉瓦造建物が定着し、現在となっては木材等住宅建設に必要な代替材料がありながら、地震被害を受けても煉瓦造の禁止ができず苦しんでいる国が多数ある。

わが国では、煉瓦造の禁止は鉄筋コンクリートを中心とする現在の耐震構造の開発を促し、地震被害の軽減に大きく寄与した。

（6）高度な周辺技術と技術者

耐震技術だけが進歩しても、これを使いこなす周辺技術がそろわなければ十分な耐震性を確保することができない。わが国では、計画、設計、施工の各分野にわたってレベルの高い技術者がおり、これが全体的な耐震性の向上に大きく寄与している。

（7）合目的的な設計体制

耐震設計では、地震力の設定、地盤条件の設定、構造解析の３つが重要である。諸外国の中には、地震力は地震学者が、また、地盤条件は地質学者が決め、耐震設計を担当する土木の分野では構造解析だけを行っているという国が多い。このため、地震力にどれだけのばらつきがあるか、また地盤定数の信頼性がどの程度であるかを知らないままに構造解析だけの耐震設計が行われている。各研究分野間の垣根が高く、分野間の調整が行われていないためである。

わが国では、強震観測に基づく地震動の設定や地盤調査に基づく地盤定数の設定は、伝統的に耐震設計を行うグループの中で行われており、このため、地震力、地盤条件、構造解析をつないだ総合的な耐震性の評価を行うことのできる環境で耐震設計が行われてきた。

5．4　耐震技術の課題と今後の展望

（1）都市震災対策技術の開発

①新形式の構造物の耐震設計法の開発

大都市圏への人口と情報の集中に伴い、今後ますます従来未経験の新形式の構造物の建設が必要とされている。すでに立体道路、地下駐車場等が建設されつつあるが、今後貴重な自然を生かし、美しい環境の創造をはかりつつ社会資本を整備していくためには、人工地盤、超大型ウォーターフロントの開発、さらには各種構造部の一体的整備等が強く要請されるようになってきた。これらは、いずれも従来震災経験が全くない構造物であり、従来の耐震技術の延長だけでは新しいタイプの震災を引き起こす可能性がある。

今後、こうした新しい社会資本整備を積極的に進めるためには、新たな視点から耐震設計技術の開発を進めていく必要がある。

②占用物件の耐震性の向上技術の開発

1994年（平成６年）の米国ノースリッジ地震では、ガス、水道、電力、電気通信、下水道等のライフライン施設に大きな被害が生じた。特に、道路に埋設されているガス、水道等の管路が破断し、漏れたガスに引火して道路の遮断、沿道家屋の火災等甚大な被害を生じた。老朽管の点検や取り替え、溶接や継手方法の研究等、地下埋設物の震災対策に関する技術開発に取り組むと同時に、地下埋設物件や沿道施設を含めて道路全体として地震時安全性の向上技術を開発していくことが重要である。

③人に優しい地震防災技術の開発

地震時にビルのガラスが大量に道路上に落下したり、ブロック塀や自動販売機、看板等の倒壊や落下による被害が問題になりつつある。このような震災は、個々の施設の被害にともなって発生するのではなく、多種多様な構造物と人間が集中する都市域に特徴的なものである。また、地下空間において地震が発生した場合に発生が懸念されるパニックについても、施設利用者の地震に対する潜在的な不安感がベースになっている。このように個々の構造物や施設を地震に対して強固にする従来の地震防災技術だけでは防げない新しい被害形態に対して、都市生活者の視点から震災発生要因を軽減していく必要がある。

④都市震災の波及構造の解明に関する研究

わが国では、大正12年（1923年）の関東大震災以後大都市圏が本格的な地震におそわれた経験はない。この間、生活様式は大きく変わり、大都市圏への人口および情報の集中、ライフライン施設の大幅な普及や情報化の進展に伴い、生活は快適になったが反対に災害に対する脆弱性は大幅に増加している。特に、都市型震災ではある施設の機能障害が、他の施設の機能障害を引き起こし、思ってもみないところで大きな影響を及ぼす。

たとえば、昭和59年（1984年）の世田谷区の電話線の地下ケーブルの火災は、銀行オンラインの全国的な麻痺、110番、119番等の緊急電話の停止、1本の電話に頼る寝たきり老人に対する連絡不能など、高度に情報化された社会におけるライフラインに生じたわずかな被害の影響の大きさを示した。

したがって、都市域では、各種施設の機能障害がどのように絡み合っているかを解明し、影響の大きい路線の耐震性向上や影響を最小にとどめるための研究開発が必要とされている。

（2）新しい概念、材料を用いた耐震性向上技術の開発

①新しい概念、材料に基づく耐震技術の開発

免震設計の採用により耐震性を向上させ、かつ、多径間連続橋の建設が可能となることから、現在免震設計は橋梁の設計に広く取り入れられつつある。さらに、制震設計の採用により抜本的に構造物の地震被害を防止することも可能になりつつあるが、制御に要するエネルギーが莫大なものとなることから一般の土木構造物に採用するには時期尚早とみられている。このため、免震設計と制震設計を組み合わせたハイブリッドコントロール、減衰性能や固有周期を構造物の応答に応じて変化させるバリアブルダンパー、バリアブルスティッフネスコントロール等の新しい技術開発が行われつつある。

また、従来使用してきた土、コンクリート、鉄といった材料についてさらに高度な利用法を探ることも重要であるが、高分子材料、カーボンファイバー、形状記憶合金、高減衰材料といった新材料の特性を生かして従来にない新しい材料、構造を用いた地震防災技術の研究開発を進めることが重要である。

材料や制御技術の進歩に伴い、従来にない画期的な制御技術の開発の可能性が広がっているため、こうした新しい技術に対しても積極的に研究開発に取り組んでいくことが重要である。

②大地震にも耐えられる耐震性の向上技術の開発

各種地震対策が行われてきているが、ひとたび地震が発生すると多数の被害が生じ貴重な人命が失われたり長期間にわたって施設の機能が失われるのが現状である。橋梁のように従来から耐震設計を行ってきている構造物についても大地震にも耐えられるよう一層の耐震性の向上技術を開発すると同時に、土構造物のように従来耐震設計を行ってきていない構造物に対しては重要度に応じて必要な耐震性が確保できるように合理的な耐震技術の開発が求められる。

また、1994年（平成6年）ノースリッジ地震のように大都市域で生じた地震では、構造物の損傷によるわずかな機能低下が都市生活に大きな影響を与えた。大都市圏では、従来のように大規模地震が生じたときには人命に関わる致命的な崩壊を防止すればよいだけで

はすまされない多様で広範囲な施設の利用が図られている。多少の被害では都市機能を低下させなくてすむような震災対策技術について研究開発していく必要がある。

（3）大規模プロジェクトへの対応

国土の均衡ある発展を推進し、多極分散型の国土を形成するためには、新たな国土軸の整備が必要とされる。このためには、新規格の高速道路、海峡を横断するような長大橋、長大トンネルの建設が求められる。本州四国連絡橋に代表されるわが国の長大橋の建設が可能となったのは耐震技術の発展もそのひとつであるが、本州四国連絡橋はわが国の中でも最も地震活動の穏やかな地域に建設されるものである。今後の新国土軸の形成に際して建設が求められる長大構造物のなかには東京湾口架橋のように巨大地震の断層域の真上や縁辺部に位置するものがある。こうした厳しい自然条件下でも安全な構造物の建設が可能となるよう、さらに耐震技術の開発、向上をはかっていく必要がある。

（4）既設構造物の耐震点検、耐震補強技術の開発

耐震技術は震災経験を積むと同時に、地震工学に関する技術開発の成果を取り入れながら順次整備されてきた。このため、現在までに建設された構造物の中には、耐震性が低い構造物も存在する。このため、こうした構造物の耐震性を的確に判定し、耐震補強を実施していくことが重要である。道路構造物に関しては、昭和46年（1971年）以後順次耐震点検を行い、耐震補強が行われてきているが、各種条件によって複雑に変化する多種多様な土木構造物の震災の可能性を的確に判定することは現状ではきわめて困難である。したがって、限られた条件を用いて精度の高い判定が可能な合理的な耐震性判定法を開発していくことが重要である。また、下部構造の耐震補強は長期間の交通止めと多額の補強費を要する場合が多い。廉価で補強効果の高い耐震補強技術の開発が重要である。

（5）震災情報の早期検知、収集システムの開発

震災情報を迅速にかつ的確に収集し、これを必要とする部署に配信することは震災復旧を進める上で最も重要である。従来、震災情報の収集は主として地上からのパトロールに頼ってきたが、ヘリコプターや飛行機を用いた上空からの調査、光ファイバーセンサー等を用いたモニタリングシステムの導入、複数のエンジニアリングワークステーションを有機的に結合させた災害情報システムの開発など、正確で迅速な情報収集システムの開発が重要である。

また、現在のシステムでは、大規模地震が発生した場合には気象庁による震度の発表に時間がかかることも予想される。このため、道路、河川等の管理施設に地震計を配置し、地震発生と同時にこの情報を地方建設局のようにある1カ所に集約して、地震動の大きさ、その分布から被災パターンを割り出し、管理者自らの判断で震災調査の優先度を定めるこ

とが有効である。

さらに、すでに東北新幹線に採用されているユレダスのように、海洋性の地震発生を海岸際で検知し、この電気信号をすばやく伝えることによって内陸部に位置する都市部まで地震波が伝播する前に、地震発生の警報を流すシステムの開発も都市震災の軽減に大きく寄与する可能性がある。

以上のように、近年進歩の著しい情報システム、通信分野のめざましい技術開発に支えられて新しい震災情報の検知・収集システムの開発が今後求められている。

（6）世界への貢献・リーダーシップ

地震防災技術はわが国固有の技術である。各種の震災経験と長期間の研究開発によって築き上げられた技術情報は、同じ地震災害に苦しむ国々に対して我が国が手をさしのべることが可能な貴重な財産である。土木研究所では、昭和44年（1969年）以後天然資源の有効利用に関する日米会議（ＵＪＮＲ）・耐風耐震構造専門部会を通して日米政府間で地震防災技術の交流に務めてきたが、今後はさらにヨーロッパ各国との交流の場を設け、世界的な視野の下にわが国耐震技術の開発と普及を図っていくことが重要である。さらに、震災対策に十分な配慮ができない発展途上国に対しては、技術移転の方策も含めてその国の特性に見合った地震防災技術を開発していくことが求められる。

5．5　まとめ

第５章の「耐震技術の発展」についてまとめると以下のとおりである。

① 世界第１級の地震国であるわが国において、耐震技術はわが国独自の技術として発展し、その水準は設計、および施行の面からみても世界最高のレベルにあると云っても過言ではない。構造物に被害を生じた主要な地震だけでも関東大震災以後の70年間で15回発生し、５年弱に１回の割合で被害地震が発生したことなる。地震災害の軽減はわが国の最優先課題の一つであり、研究開発に高いインセンティブが与えられたためである。

② 関東大震災での苦い経験から佐野利器、物部長穂の提案と摘用による水平震度法の採用、煉瓦造構造の禁止などによりわが国の社会資本は世界に先がけて近代的耐震設計の恩恵を受けることとなった。昭和39年（1964年）の新潟地震による昭和大橋の落橋事故からは落橋防止構造の開発やパイルベント式橋脚の見直しが行われたし、同じく新潟地震時に発生した地盤の液状化の被害からは液状化判定法等が開発された。また、地盤中に埋設された地下構造物に対する応答変位法による耐震設計法も開発されたが、これらはすべて、わが国独自に開発された耐震設計法である。

③ 関東大震災以後平成５年（1993年）７月12日の北海道南西沖地震に至るまでの多くの地震によって約3,200橋の道路橋が被害を受け、24橋が落橋している。社会資本のうちでも重要な施設である橋梁について被害をおよぼした地震の度に研究開発がすすみ耐震技術が強化されてきている。また、本州四国連絡橋の耐震技術については土木研究所における強震記録の蓄積、全体模型振動実験や動的解析を通じた研究開発が行われ、長大橋の設計に適用する設計基準が制定された。

④ 外国ではほとんど例がなく、わが国の独自技術の一つである地下構造物に対する応答変位法と呼ばれる耐震設計法も開発され、石油パイプラインや沈埋トンネル、シールドトンネル、共同溝、地下駐車場、電気・ガス・水道・電信電話等ライフライン管路施設の耐震設計基準として広く使われている。また、既設構造物の中で、耐震性が不十分な構造物の点検手法や補強技術、被災度の判定手法や復旧技術を示した震災復旧マニュアルがまとめられたが、その独創性を買われ、米国ニューヨーク大学によって、英訳され世界の各国で使われている。これら独自技術の開発を多く含むわが国耐震技術の発展は、地震被害の詳細な調査、耐震設計・工法の研究等先駆的研究開発の成果であることは明らかである。

⑤ 耐震技術の分野では早くから米国との間で技術・研究交流が行われており、海外の知見を得るとともに、わが国の研究情報や社会資本の整備の状況を報らせる良い機会を提供している。世界に開かれた研究開発の姿を示す良い例である。

⑥ 耐震技術の今後の展望として、大都市における直下型地震の発生の可能性が指摘されている現在、都市震災対策技術の開発が必要であり、その中では新形式構造物の耐震設

計、占用物件の耐震性向上、都市震災の波及に関する研究開発がある。また、新しい概念や新材料を用いた耐震性向上技術の開発や超長大橋の建設など大規模プロジェクトへの対応、既設構造物の耐震点検・補強技術の開発、震災情報の早期検知・収集システムの開発等幅広い総合的な地震対策技術の研究開発が必要となる。今後さらにヨーロッパや開発途上地域で地震被害に悩む国々との間で技術・研究交流や技術移転を行い、世界的視野の下にわが国の進んだ耐震技術の普及と開発を図っていくことが重要である。

第６章　わが国の土木技術の発展における土木研究所の役割

６．１　土木研究所の設立

大正３年（1914年）第一次世界大戦がヨーロッパで始まると、わが国は欧米諸国間での貿易の停滞、軍需の拡大により輸出の急増、海運の好況など空前の好景気を迎えた。終戦までの４年間にわが国の産業構造も大きく変わり、戦前は産業別生産額で工業は44%だったものが、大正７年（1918年）には約57%となった。また綿織物などの軽工業から鉄鋼などの重工業へと重心も移っていく。第一次世界大戦は国家対国家の総力戦が行われ、この結果一国の総生産力が戦争の行方を左右するものと見られた。戦車、航空機、潜水艦等科学技術の発展を基礎とした新兵器が使われている。こうしたことから各国政府は科学技術が軍備強化、国の勢力拡張に重要であると認識するようになったのである。

そのような状況の下でわが国でも、政府による科学技術研究に対する補助（農商務省は大正６年（1917年）発明奨励賞を設け総額30,000円、文部省は大正７年（1918年）自然科学研究助成のため科学研究奨励賞を設け145,000円）、高等教育の充実（大学の拡充、教育の他に研究も大学の機能とする大学令の施行（大正８年（1919年））、大学生の増加（大正６年（1917年）の9,044人から大正11年（1922年）の35,163人へ）および研究所の創設が行われた。

表－6.1.1に第一次世界大戦から昭和の初めまで設立された研究機関を示すが、特に大正７年（1918年）以後多くの研究機関が作られた。軍事研究所もあるが、第一次世界大戦の産業の発達を受けて、各種産業の研究所が多い。国が主導で産業の研究をすすめようとしていることが判る。この中では大学の学部から独立し、学部と対等の地位にある大学の附置研究所がこの頃から作られたことは重要である。

大正11年（1922年）には内務省土木試験所が設立されている。わが国の近代土木技術の唯一の研究機関として、社会資本整備技術の研究開発を進めるための国立試験研究機関として土木研究所の前身である内務省土木試験所が設立されたのである。土木研究所はその後70年余にわたり、当初の設立の目的を達するべく、努力を続けてきたが、現在もなおわが国の社会資本整備技術の研究開発の中軸に位置を占めている。

表－6.1.1　第一次世界大戦～昭和初期に設立された研究機関

（出典：日本の科学技術政策史）

設立年月日（官制公布）	機　関　名
1914年（大 3） 6月	蚕業試験所
1915年（大 4） 9月	海軍技術本部
1916年（大 5） 3月	伝染病研究所(1)
4月	畜産試験場
7月	逓信省船用品検査所
1917年（大 6） 3月	財団法人理化学研究所
1918年（大 7） 4月	絹業試験所、海軍航空機試験所
5月	臨時窒素研究所(2)
6月	樺太庁農業試験所・水産試験所、電気試験所(4)
9月	大阪工業試験所(5)
1919年（大 8） 8月	茶業試験所、陶磁器試験所(6)
	陸軍技術本部・陸軍科学研究所
1920年（大 9） 8月	燃料研究所、海洋気象台・高層気象台
9月	栄養研究所
10月	海軍艦勢政本部、専売局中央研究所
1921年（大10） 4月	園芸試験場、獣疫調査所
5月	朝鮮総督府水産試験所
7月	航空研究所（東大附置）
8月	台湾総督府中央研究所
1922年（大11） 3月	林業試験場
8月	金属材料研究所（東北大附置）、朝鮮総督府林業試験場
9月	内務省土木試験所
10月	朝鮮総督府燃料選鉱研究所
1923年（大12） 3月	海軍技術研究所
1924年（大13） 12月	内閣印刷局研究所
1925年（大14） 11月	地震研究所（東大附置）
1926年（大15） 10月	化学研究所（京大附置）
1928年（昭 3） 3月	工芸指導所
7月	関東庁農事試験場・蚕業試験場・水産試験場
1929年（昭 4） 3月	水産試験場
9月	朝鮮総督府農業試験場

(1)1893年私立研究所として設立。1899年内務省所管となり、1914年文部省に移管していたものをこの年東大所属の研究所とした。
(2)1928年3月東京工業試験所に吸収。
(3)1929年合併して樺太庁中央研究所となる。
(4)1891年逓信省電務局に設立された機関の独立。
(5)1916年11月設立の大阪市立工業研究所を国へ移管。
(6)京都市立陶磁器試験場を国へ移管。
(7)1916年8月に東大内に設置された航空研究所を拡大し、昇格された。
(8)1919年5月に設立された東北帝大鉄鋼研究所を拡充し、改称した。

６．２　土木研究所の活動

土木研究所の発足当時、わが国はまだ独自の土木技術を有しているとは言い難く、海外の技術に頼らざるを得なかった。したがって、発足当時の土木研究所の業務の中心は、海外の技術を導入し、それを日本の自然的、地形的、経済・社会的条件に適合するよう改良することであった。こうした努力と経験とを積み重ねていくうちに土木研究所の技術水準は徐々に向上し、第二次世界大戦後には土木研究所独自の技術が早くも続々と生み出された。現在、土木研究所は世界でも最高水準の技術力を有するに至っている。

土木研究所の組織も、その技術力と同様、時代とともに増大されていった。土木研究所の研究は常に経済・社会のニーズに応えようとするものであったから、研究成果はいつの時代も社会に還元されていった。土木研究所は社会より大いに期待されるところとなり、その必要性が高まるにつれ組織は拡大されていった。

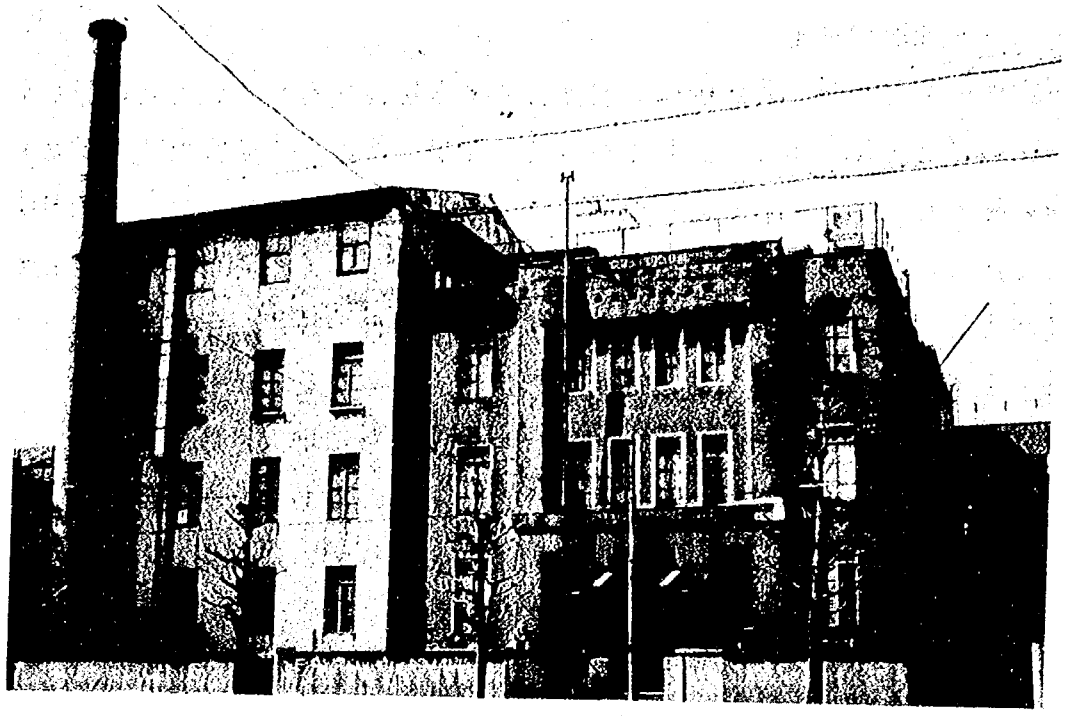
土木研究所は70年の間に社会のニーズに対応しながら研究課題や研究スタイル、組織を柔軟に変容させてきた。本節においては、土木研究所がどのような研究に取り組み、どんな成果を残したのか、またどのように研究スタイルを変化させてきたのかを、時代の動きとともに見てみることにする。時代の区分については、①内務省土木試験所の誕生から第二次世界大戦の勃発まで、②戦時中、③復興期、④高度経済成長期（前期）、⑤高度経済成長期（後期）、⑥安定成長期、⑦現在の７つに分けることにする。

６．２．１　内務省土木試験所の誕生から第二次世界大戦の勃発まで
＜大正11年（1922年）から昭和14年（1939年）まで＞

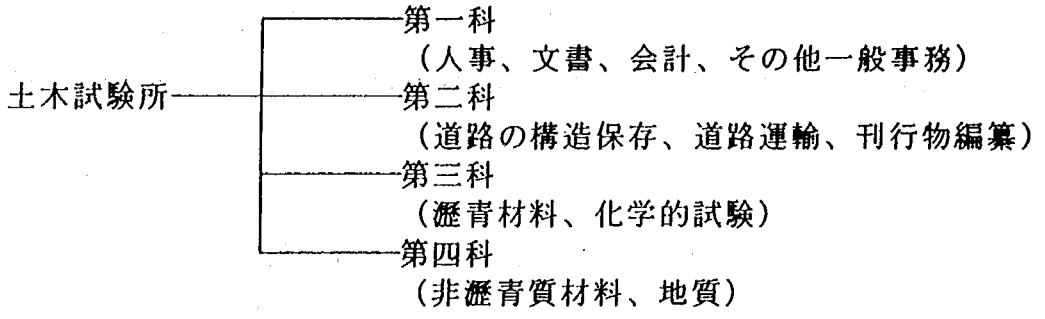
（１）土木試験所の誕生および道路材料分野の研究への取り組み

第２章で述べたとおり、明治時代は物資等の大量・長距離輸送を目的に鉄道網の敷設が第一とされたが、大正年代になってわが国の自動車保有台数が急速に伸び、大正３年（1914年）に始まった第一次世界大戦において、ヨーロッパで自動車輸送の役割の大きさが確認され、また第一次大戦による国内の好景気によりもたらされた産業構造の変化や経済発展に伴う物資輸送量の増加により道路改良の必要性が強く叫ばれるようになった。大正９年（1920年）道路法が制定され、さらに道路公債法の成立により財源が確保され、本格的道路整備事業が始まった。

こうした動きに呼応し、道路築造材料などの試験の必要性が認められ、大正10年（1921年）に内務省土木局分室の形式で道路材料試験所が発足した。翌大正11年（1922年）、道路材料試験所を昇格させて土木試験所の開設となった（写真－6.2.1.1は東京都文京区駒込に立てられた本館）。初代所長には牧彦七博士が任命された。発足時の職員数は15人、雇・傭人合わせて38人であった（図－6.2.1.1はこのときの組織）。発足当時の日本の土木技術水準は、前章で述べたとおり海外の技術をわが国の自然、風土、社会にあったものとする段階であった。例えばアスファルト舗装について云えば、プラントから材料、さらには



写真－6.2.1.1　内務省土木試験所（駒込本所）



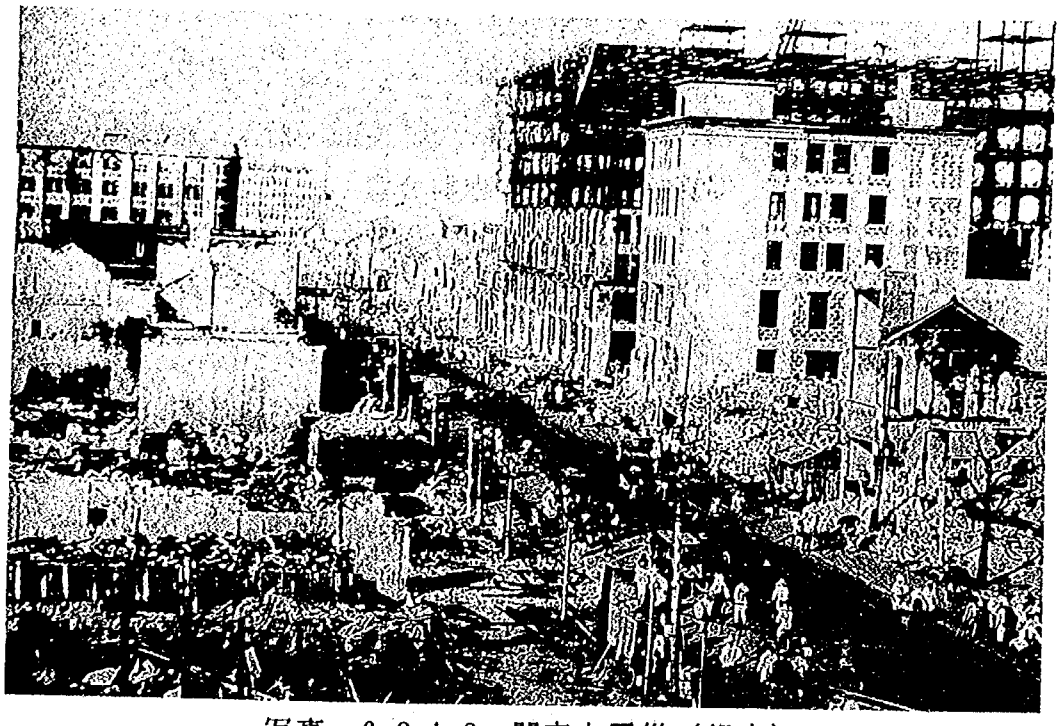
図－6.2.1.1　土木試験所発足時（大正11年（1922年））の組織

技師までがアメリカから来ており、わが国独自の基準や試験方法等は皆無という状態であった。土木試験所の研究は、海外の技術情報を収集し、これを理解、解釈するとともに、実験等によりこれを確認、補足することから始まった。まず行なわれたのは路面性状と道路勾配が馬車運送に及ぼす影響に関する研究（この成果は土木研究所報告第１号にまとめられている）や、瀝青材料に関する研究であった。昭和２年（1927年）には最初の成果とも言える瀝青質材料標準試験方法が確立された。

（２）関東大震災と耐震工学の発展

土木試験所が誕生して間もない大正12年（1923年）９月１日、関東地方にM7.9の大地震が発生した。不幸にもお昼どきであったため、火災がいたるところで発生し、被害はこれによって激増した。死者は約10万人、行方不明者は約４万人、全消失家屋58,000戸といわれている（写真－6.2.1.2は銀座付近の被災状況）。土木試験所は災害調査を実施したほか、耐震の研究を行なっていた物部長穂博士が土木試験所長になってから耐震工学の研究に力

が注がれ、塔状構造物の振動とその耐震性に関する研究、載荷構造物、吊橋、けた橋等の構造物の振動とその耐震性、ならびに地震時の土圧等に関する研究が実施された。これらの成果は歴史的名著「土木耐震学」（昭和８年（1933年））等にまとめられた。これら一連の研究成果は、現在の耐震工学の礎となっており、基本的な考え方は今に生きている。



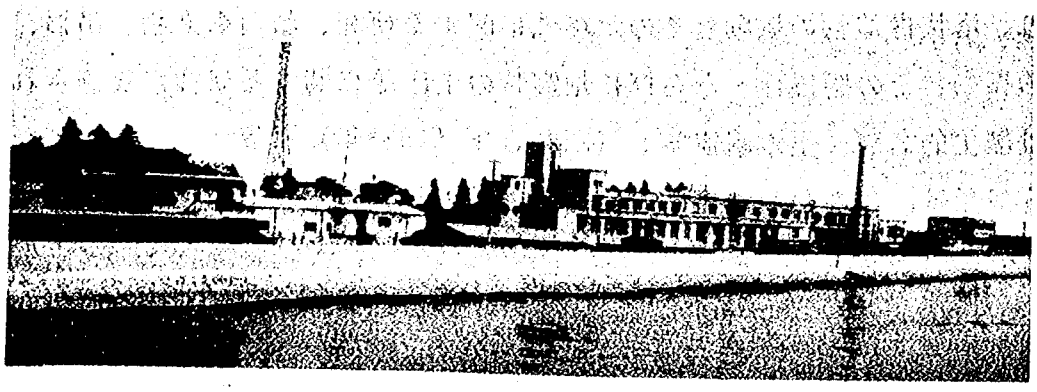
写真－6.2.1.2　関東大震災（銀座）

（３）赤羽分室の設置と水理分野の研究の発展

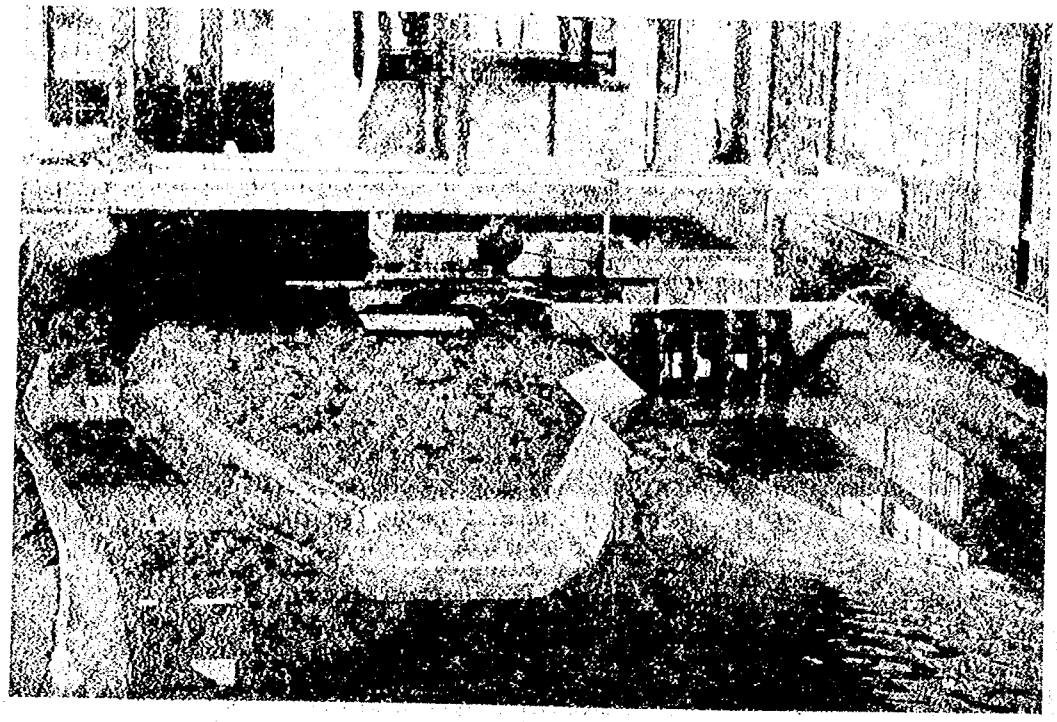
河川改修が活発化するにつれ、土木試験所を道路分野だけでなく土木全般を取り扱う試験所に育てようとの動きが高まり、主に河川系の研究を実施するために東京都北区志茂に赤羽分室が大正15年（1926年）に設置された（写真－6.2.1.3は赤羽分室）。赤羽分室は、日本初の水理試験所であることもあって、ドイツのカールスルーエ水理研究所を範とした。

同分室では、河川改修や河川構造物を設計施工する際の問題点を解決することを主目的とした水理模型実験と、水理現象を解明することを目的とする基礎的な実験・解析が並列して行なわれた。この後水理関係の試験所として篠崎試験所、鹿島試験所が新設されるが、いずれの試験所も基礎的、学究的研究から事業に直結した応用的研究に亘る幅広い研究を担うことになり、土木研究所の業務のカラーがこのとき特徴づけられたといえる。

さて、赤羽分室で行なわれた研究に目を向けると、水理模型実験の分野では、北上川転動堰に関する模型実験（日本最初の水理模型実験）、荒川岩淵水門に関する模型実験（写真－6.2.1.4参照）等、個別の現場の抱える問題に直結する実験や、横越流堤の越流量に関する研究のような一般性、汎用性の高い工学的研究がなされた。



写真－6.2.1.3　赤羽分室



写真－6.2.1.4　岩淵水門に関する水理実験

水理学に関する基礎情報については当時もっぱら海外の文献等から得られるのみであったが、赤羽分室では海外の情報だけに頼るのではなく、わが国において先駆けてこれらを補足、発展するべく基礎的な実験、解析に取り組んだ。分室設置後まもなく背水曲線の解析法の研究を実施したのを皮切りに、湾曲流、分合流の水理特性の把握など純水理学的なものから、床止め工下流の洗掘の問題や模型実験の相似律、波浪推算法や波の打ち上げ高など河川、海岸工学分野での基礎的現象の解明に至るまで、非常に幅広く取り組んだ。これらの成果は現在の水理学、河川工学、海岸工学の大きな部分を占めており、わが国のこれらの分野は土木研究所によって確立されたといっても過言でないほどである。こうした研究のなかから、今ではその著者の名を冠して呼び親しまれている日本水理学の原点ともいえる歴史的名著「物部水理学」が生み出されている。

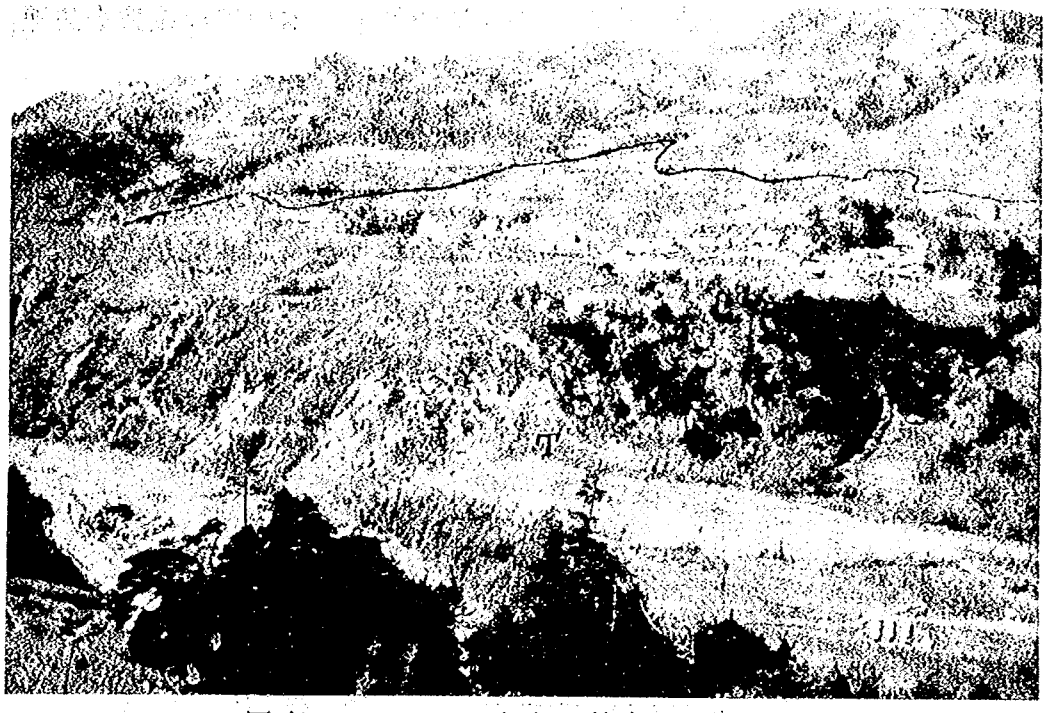
（4）この時代の研究例

①溶接鋼橋に関する情報収集

この時代は溶接技術の進歩もあって、本格的にこれを利用した橋梁が続々と建設された。土木研究所では、国内の電弧溶接工法が用いられた鋼橋の諸元等を収集し、これを著書「溶接鋼橋」に取りまとめた。この著書は橋梁技術者が設計に取り組む際におおいに参考になったのはもちろん、貴重なデータ集として、その後の研究に大いに役だった。

②亀の瀬地すべり調査

昭和６年（1931年）、大和川筋亀の瀬地区に大規模な地すべりが発生した（写真－6.2.1.5参照）。この災害は河川および道路への影響が大きく、土木研究所も調査に取り組んだ。この調査は、地すべり発生機構の解明と対策の検討を目的に当時の技術の粋を尽くして行なわれた系統的調査であり、大きな成果を残した調査であったため、その後の調査の手本となっている。



写真－6.2.1.5　大和川筋亀の瀬地すべり

６．２．２　第二次世界大戦中

＜昭和14年（1939年）から昭和20年（1945年）まで＞

昭和14年（1939年）に勃発した第二次世界大戦は、社会を著しく破壊したが、研究所にもただならぬ打撃を与えた。戦争は土木試験所から人と金の両方を奪い、それにつれて研究も縮小せざるを得なかった。さらには軍事目的の研究を強いられることもあった。たとえば、鉄筋の代わりに竹を用いたコンクリートの研究、マラリア防止のため、熱帯の小河川をフラッシュしてボウフラを流し去ってしまう方法の研究、ダムが空爆にさらされたときの耐爆性に関する研究、紅土の土質安定処理に関する研究等が実施された。

また、この時代は予算や人手の不足を思考と経験でカバーした時代であった。大型実験が減少し、予算のかからない基礎実験や、経験と知識を行かして既存のデータを整理し指針等にまとめる等の仕事が多くなされた。例えば基礎微分方程式を近似的に解き、変断面桁の固有振動数を求める方法に関する研究、鉄筋コンクリート片持版の設計示方の作成、河川の勾配と河床材料粒径との間の規則性に関する研究、水理模型実験の相似律に関する考察等がなされた。

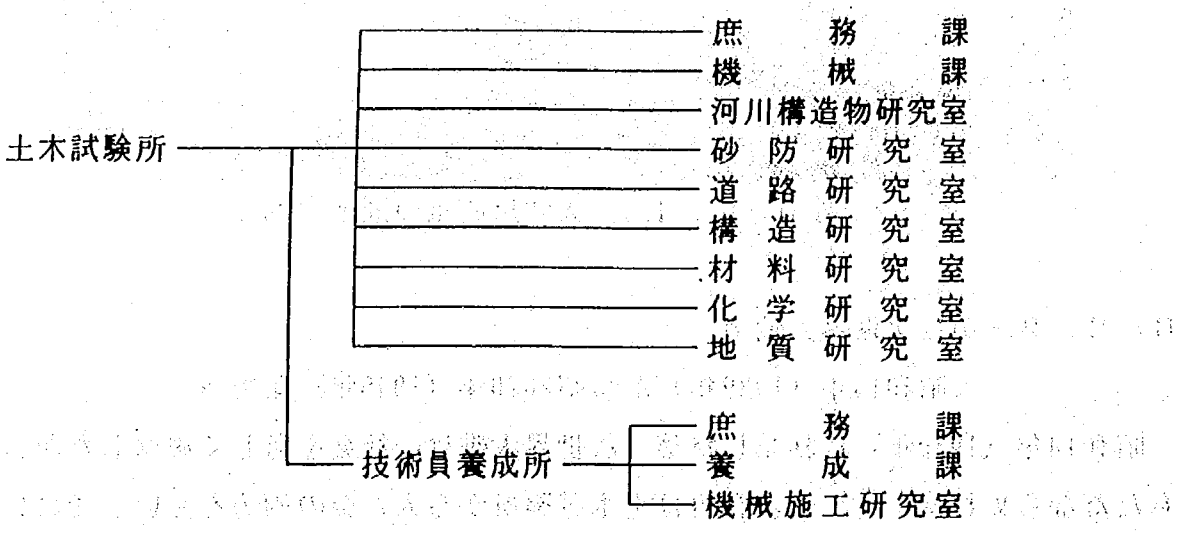
6．2．3　第二次世界大戦後の復興期
＜昭和20年（1945年）から32年（1957年）ころ＞

（1）復興

昭和20年、ポツダム宣言を受け入れて無条件降伏したわが国は、連合国軍総司令部（GHQ）の支配化に置かれた。戦後、東西対立が激化するにつれ、GHQは日本を資本主義のアジアの拠点にするための政策、すなわち重工業化を進め国力を高める政策をとった。昭和25年頃から日本の重工業化は急速に進み、これにつれて日本の戦後復興も急速に進んだ。

（2）再発足

終戦をむかえたわが国では、行政官庁の再編成が行なわれた。昭和22年（1947年）12月31日に内務省の解体が行なわれ、昭和23年（1948年）1月1日に総理府建設院が設置された。この際土木試験所は第一技術研究所と改称された。同年7月10日、建設省の新設とともに再度改称され、建設省土木研究所として再発足した（図－6.2.3.1は当時の組織）。



図－6.2.3.1　建設省土木研究所の組織（昭和24年7月時点）

（3）災害の頻発と篠崎試験所の設立

戦争に負けた日本を待っていたのは自然災害であった（表－6.2.3.1参照）。毎年のように常襲する台風や地震によってわが国は甚大なる被害を被った（写真－6.2.3.1は昭和22年（1947年）のカスリン台風による利根川の堤防決壊）。軍備増強を最優先とし、社会資本整備を後回しにした戦前・戦中の政策のツケがまわってきたといえよう。戦後は、災害への備えを万全にしようとの動きが生じ、河川の復旧事業や改修事業等が大々的に行なわれた。

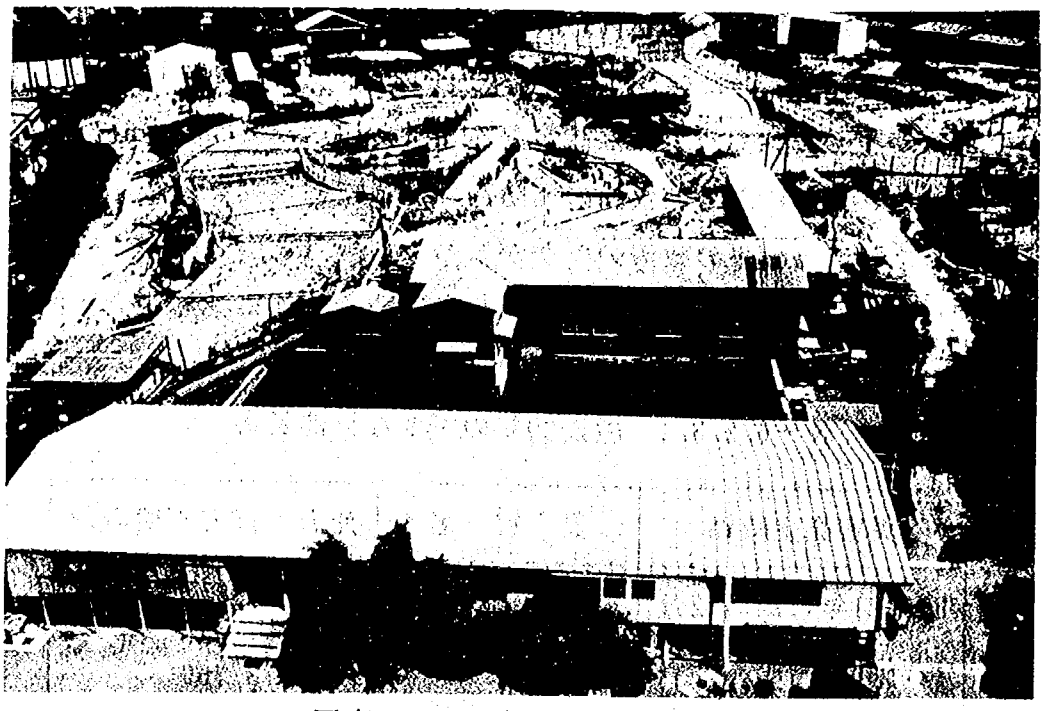
表－6.2.3.1　戦後20年の主要な自然災害

災害発生時期	災　害　名	死者、行方不明者数
昭和21年(1946)12月	南海地震	1,330人
22年(1947) 9月	カスリーン台風	1,930
23年(1948) 6月	福井地震	3,769
23年(1948) 9月	アイオン台風	838
33年(1958) 9月	狩野川台風	1,269
34年(1959) 9月	伊勢湾台風	5,041
39年(1964) 6月	新潟地震	25



写真－6.2.3.1　カスリン台風による利根川の破堤

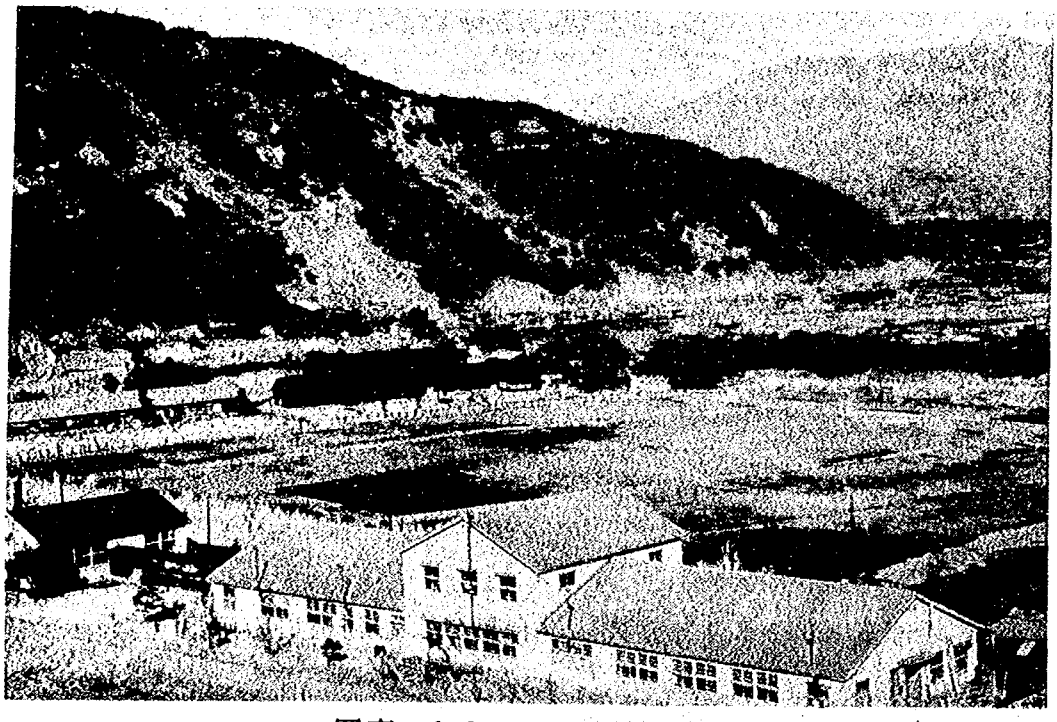
これに伴い、河川関係の相談が土木研究所に寄せられる機会が増し、より数多くの、またより大規模な水理模型実験の実施が必要となってきた。そこで昭和27年（1952年）、東京都江戸川区東篠崎町に篠崎試験所を設置した（写真－6.2.3.2参照）。これは水理試験所としては当時東洋一の規模を誇るものであった。ここでは主にダム関係、河川関係の水理模型実験を実施した。



写真－6.2.3.2　篠崎試験所

（4）沼津支所の設置

戦後、機械化施工の必要性が叫ばれたが、昭和24年（1949年）静岡県沼津市に技術員養成所が設置され、昭和28年（1953年）沼津支所と改称された（写真－6.2.3.3参照）。



写真－6.3.2.3　沼津支所

ここでは建設機械の技術員養成とともに、各種建設機械の性能試験、建設機械と土の問題、土工管理などの試験研究が行なわれた。性能試験の対象となったのは建設機械、土工機械、舗装機械、除雪機械、基礎工事用機械等である。性能試験は本来は土木工事の適切な積算のために行なわれたものであったが、試験により得られたデータはわが国の機械の

性能向上のために大いに役だった。また、性能試験の方法の多くは標準化され、ＪＩＳに取り入れられた。なお、機械の性能試験業務は、他の業務の多様化に伴い昭和39年（1964年）に設立された社団法人日本建設機械化協会建設機械化研究所に移された。

（５）この時代の研究例

この時代は欧米の自由主義諸国間で、戦前・戦中に見られた技術交流の閉鎖性が破れ、自由な交流がなされるようになったのが特徴的である。日本は明治初期と同様、世界の最先端技術を選択導入するチャンスに恵まれた。土木技術の分野も同様であり、積極的に海外技術を導入し、それを日本の地形や土木材料等に合ったものに改編・改良する作業が行なわれた。土木研究所で実施された研究もこの流れに沿ったものが多い。

①空中写真による地質調査

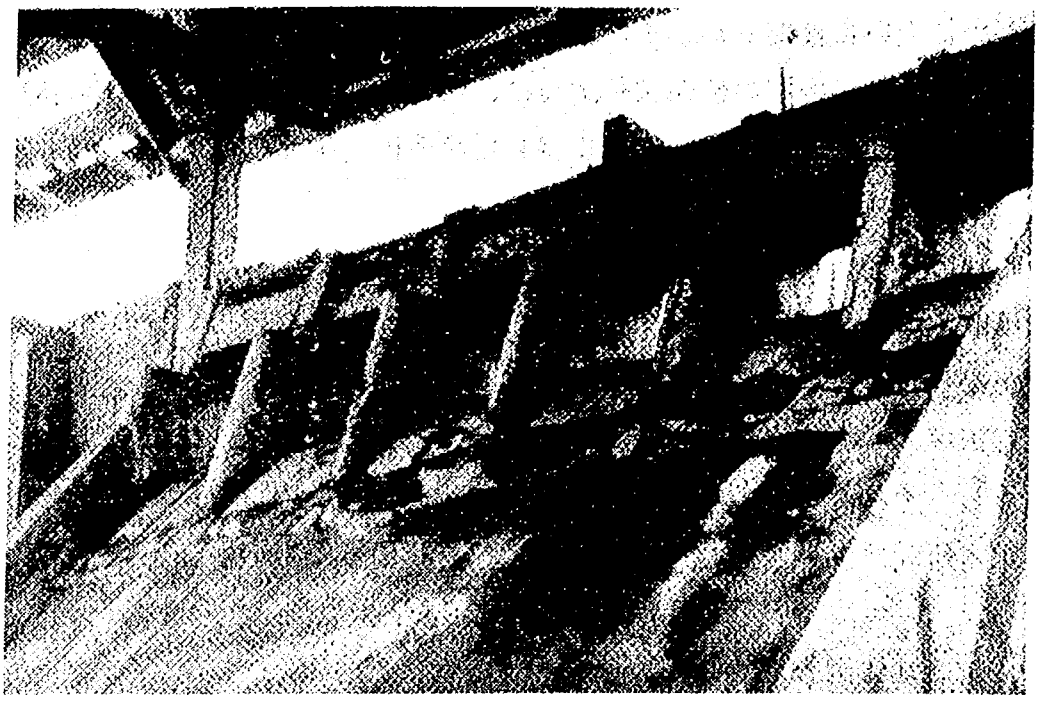
欧米諸国では、地質地形が写真判読に適していることや、植民地の資源調査の必要性から写真による地質の判読が盛んに行なわれていた。土木研究所では、昭和20年代後半より、米軍の撮影した航空写真から山地災害の判読を開始したのを皮切りに、地質調査、地すべり調査への応用研究や、カラー写真や赤外線写真の利用に関する研究が行なわれた。写真判読調査は今や地質、地すべり調査に留まらず、河川、道路などあらゆる分野で利用されている。

②ダム放流管に関する研究

ダム建設の目的が発電から治水を中心とする多目的に移行するにつれて、高水深の洪水調節用放流設備の必要性が高まった。この種の初の設備は昭和28年（1953年）、アメリカから輸入され田瀬ダムに設置されたが、きめ細かい流量調節はできなかった。土木研究所ではキャビテーション現象や空気連行現象の研究、入口及び出口の形状の研究がなされた（写真－6.2.3.3は水理模型実験の様子）。昭和30年代初期には早くも流量制御が可能な国産の設備が二瀬ダムに設置され、現在では世界トップクラスの技術力を誇るに至っている。

③合成けたの標準設計作成に関する研究

昭和20年代の後半よりコンクリート床版と鋼主げたとの合成作用を取入れた合成桁橋が導入されるようになった。当初はドイツの規定を参考としていたが、土木研究所では大型模型載荷試験を実施し、けたの配置や対傾溝と横溝の構造とそれらの荷重分配及び主げたの安定に及ぼす機能、ズレ止めの効果、床版の荷重分配に及ぼす働きなどを明らかにした。これらの成果をもとに、昭和34年（1959年）には鋼道路橋の合成げた設計・施工指針が作成された。



写真－6.2.3.3　田瀬ダム放流設備水理模型実験

6．2．4　高度経済成長期（前期）

＜昭和33年（1958年）から40年（1965年）ころ＞

（1）経済の高度成長

昭和31年（1956年）、急速な復興を成し遂げた日本経済を経済白書は「もはや戦後ではない」と称した。昭和35年（1960年）、国民所得倍増計画が閣議決定された。この後、世界にも類をみない長期にわたる高度経済成長を続けることになった。この経済成長により社会資本整備事業もおおいに進捗するとともに、本州四国連絡橋や東京湾横断道路等、現在を代表する大プロジェクトが動き始めたのはこの時代である。

（2）千葉支所の設置

第１次道路整備５ケ年計画（昭和29年（1954年）策定）により、近代的道路事業が本格的にスタートした。これを期に、道路に関する研究をさらに強力に推し進めようと昭和35年、駒込本所の構造、橋梁部門、赤羽分室の道路、舗装部門、沼津支所の機械施工部門を総合して千葉市穴川町に千葉支所が設置された（写真－6.2.4.1参照）。

この時代の道路部門に関する研究としては、アスファルトの各種安定度試験法に関する研究、交通標識に関する研究、クロソイド曲線の道路線形への導入の検討、各種将来交通量推定方法の比較研究等がなされた。この時代の研究の特徴は、海外の技術を十分に消化するとともに、技術的自立への道へ移行しつつあることである。アスファルトの各種安定度試験法や各種将来交通量推定方法の比較研究等の研究は、海外の技術の原理を学び、その適用性を把握しようとする研究であり、独自の技術を生み出すステップとなっている。

機械、施工、土質分野の研究としては、沼津支所時代に行なっていた建設機械の性能試



写真－6.2.4.1　千葉支所

験を継続するとともに、石灰安定処理によるトラフィカビリティの改善に関する研究や浸透水による堤防の破壊実験、地盤調査法（サウンディング法）の標準化に関する研究などが実施された。

構造、橋梁分野では鋼橋に関する溶接構造や継手構造への最新技術、情報を示方書、構造令等に取り入れるための研究を継続して行なうとともに、プレストレストコンクリート橋梁のわが国への導入に関する研究として、ＰＣラーメン橋やプレテンションＰＣ桁、ＰＣ箱げた橋の載荷実験等を実施した。昭和30年代後半からは、研究の方向は次第に支間の長大化に関する研究へと向かった。

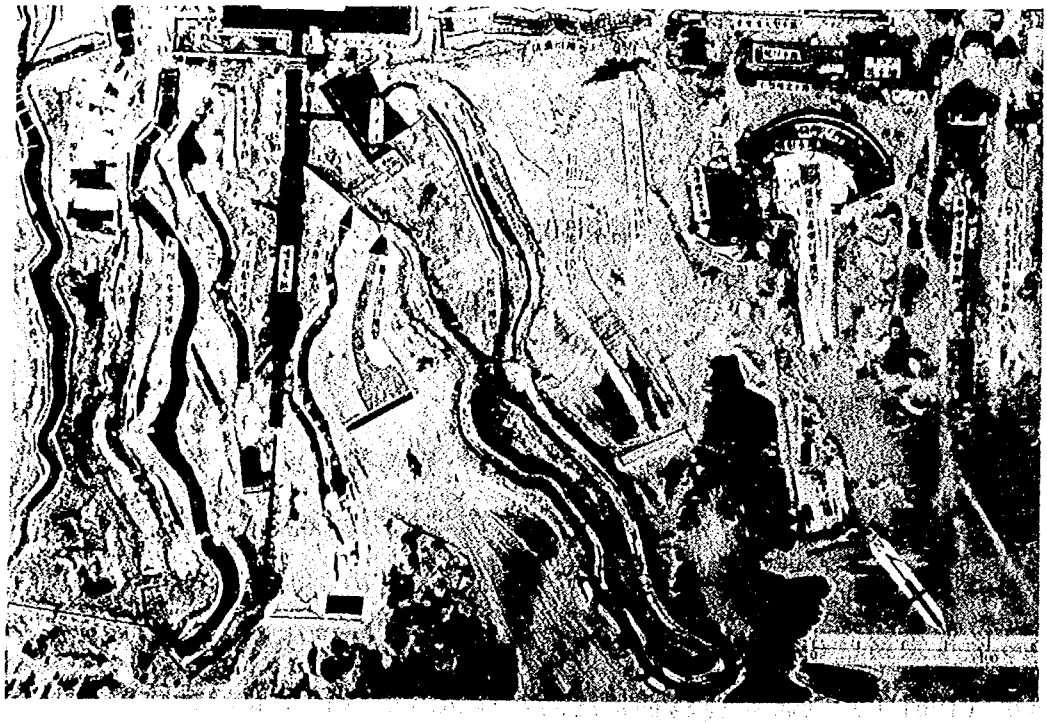
（３）伊勢湾台風の襲来と鹿島試験所の設置

昭和34年（1959年）、愛知、三重地方に襲来した伊勢湾台風は、死者・行方不明者合わせておよそ5,000人に及ぶ未曾有の高潮災害をこの地に引き起こした（写真－6.2.4.2は名古屋湾最奥部の山崎川付近での海水侵入状況）。このため、海岸、河川の災害防止に関する研究がいっそう急務とされ、大規模模型実験を可能とする実験場が必要となった。そこで、昭和36年（1961年）茨城県鹿島郡に鹿島水理試験所（後に鹿島試験所と改称）が設置された（写真－6.2.4.3は鹿島試験所の全景）。ここでは主として河川、海岸の大規模模型実験が実施された。

鹿島試験所の設置とともに、水理関係の３つの試験所はそれぞれつぎのように研究を分担した。すなわち、赤羽分室では水理基礎実験と海岸関係（特に波や高潮の基礎的研究）、篠崎試験所ではダムの水理実験、鹿島試験所では河川、河口関係の大型模型実験である。



写真－6.2.4.2　伊勢湾台風による山崎川付近での海水侵入状況



写真－6.2.4.3　鹿島試験所

（4）新潟試験所の設置

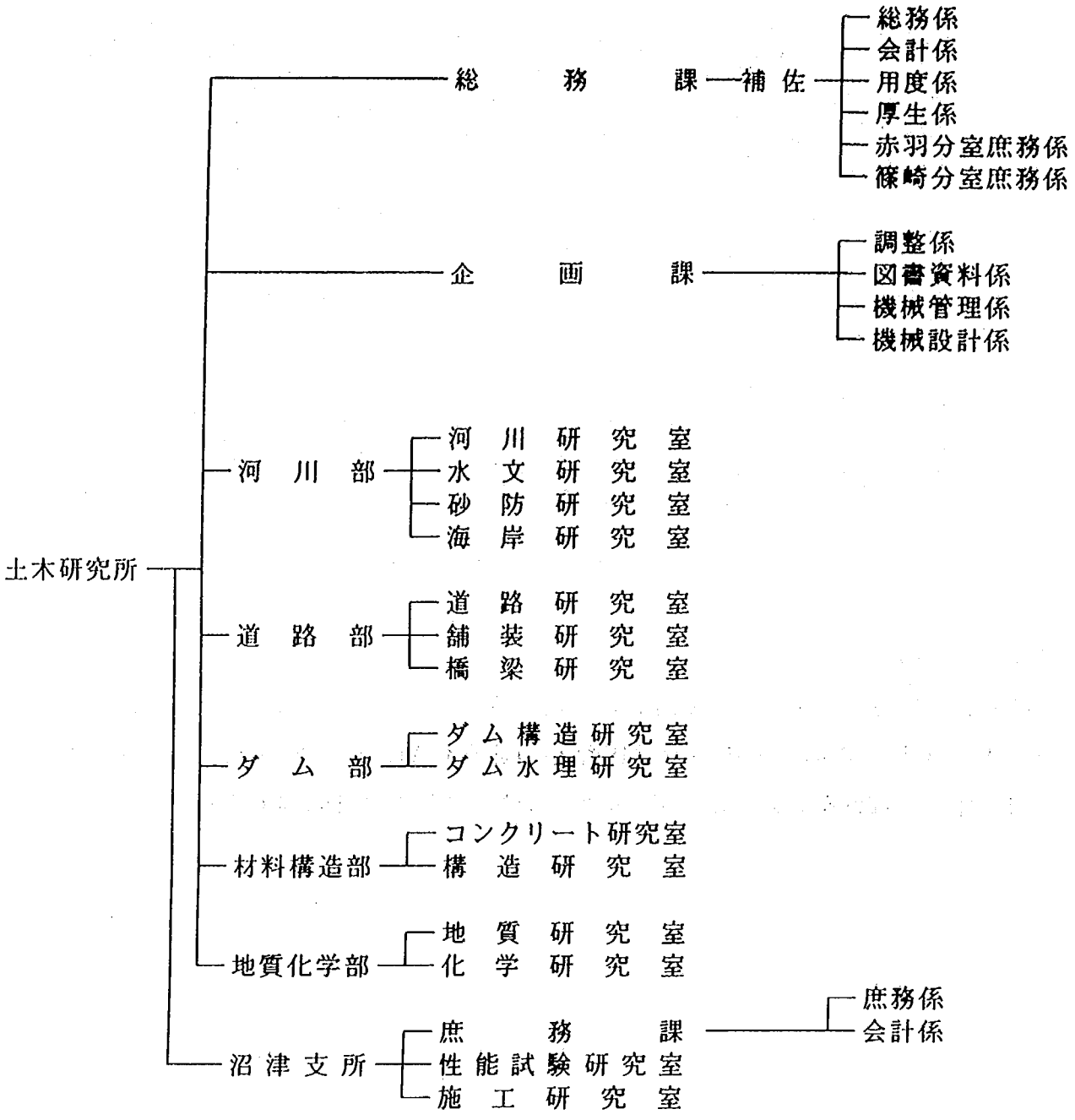
地すべりによる災害が年々増大する傾向にあり、そのための対策が要望されていたが、日本でも有数の地すべり地帯である新潟県新井市に、昭和35年（1960年）新潟地すべり試験所を開設した（写真－6.2.4.4参照）。猿供養寺地すべりを第一試験地として地すべり調査法及び対策法の研究に取り組んだ。昭和38年（1963年）の北陸豪雪以後は道路雪害も所管業務に追加され、新潟試験所と改称した。



写真－6.2.4.4　新潟試験所

（5）部制の導入

従来、組織は研究室が主体で所長に直属する形をとっていたが、研究分野の拡大や予算の増大により、この形での運営は困難かつ非合理的となってきた。そこで、昭和33年（1958年）、部制を導入した。図－6.2.4.1はこのときの組織図である。



図－6.2.4.1　部制導入時（昭和33年（1958年））の組織

（6）この時代の研究例

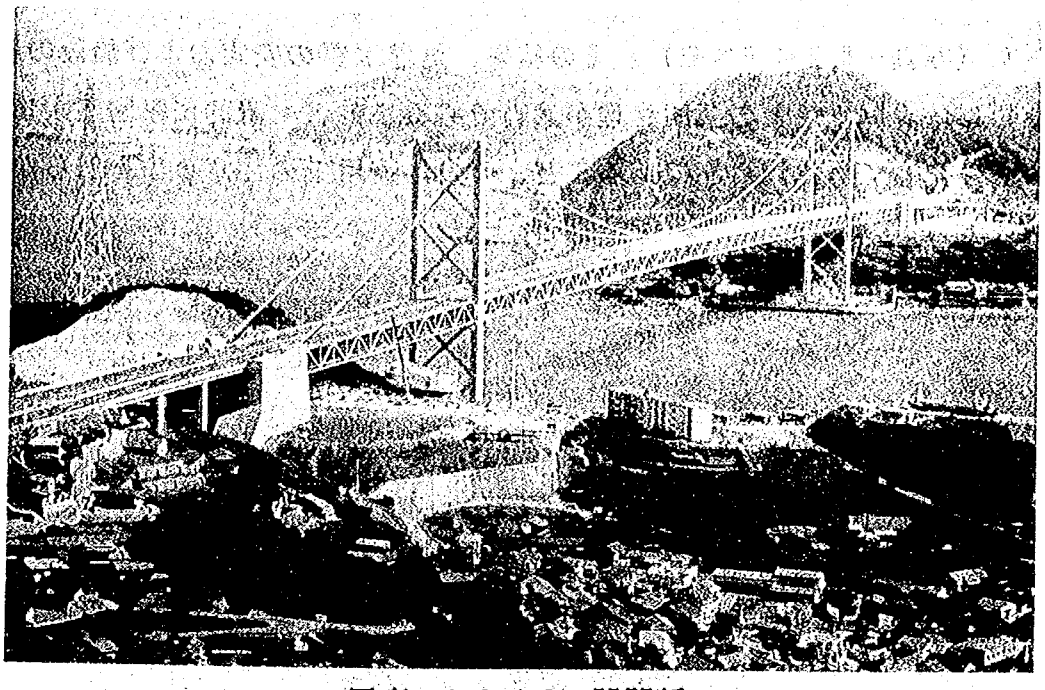
昭和30年代（1955～1964年）は、高度成長に裏打ちされた土木事業費の増大により研究への要望も増加し、それに応えて研究分野も活性化した時代であった。また、研究の特徴としては海外技術の導入のための研究からいよいよ独自の技術開発へ移行する時期であった。大プロジェクトのための研究にも取り組み始めた。

①本州四国連絡橋に関する調査・研究

本州四国連絡橋や東京湾横断道路、高規格道路など、現在の日本が世界に誇る巨大プロジェクトへの取り組み、調査研究がいよいよ本格化したのもこの時期である。昭和34年

（1959年）、土木研究所は本州四国連絡橋の基礎調査に取り組み始めた。空中写真による地質調査、海底地形の音波調査や海中ボーリングなど、新しい技術を駆使するとともに、平行線ケーブル等の研究や現地試験を実施した。

本州四国連絡橋に関する研究は、事業の進捗に合わせてその内容を変化させつつ現在に至っている。これまでに、基礎の耐震設計や施工方法に関する研究、電気防錆や防錆塗装に関する研究、耐風設計に関する研究等が実施された。これらの成果は土木学会の委員会報告や指針にまとめられ、本州四国連絡橋の建設技術を全面的にささえている。なお、昭和48年（1973年）に完成した関門橋の設計・施工の際には本州四国連絡橋に利用する予定の最新技術が実験的に用いられ、その成功は本州四国連絡橋の建設に大きな自信をもたらすことになった（写真－6.2.4.5は関門橋全景）。



写真－6.2.4.5　関門橋

②流砂量公式の開発

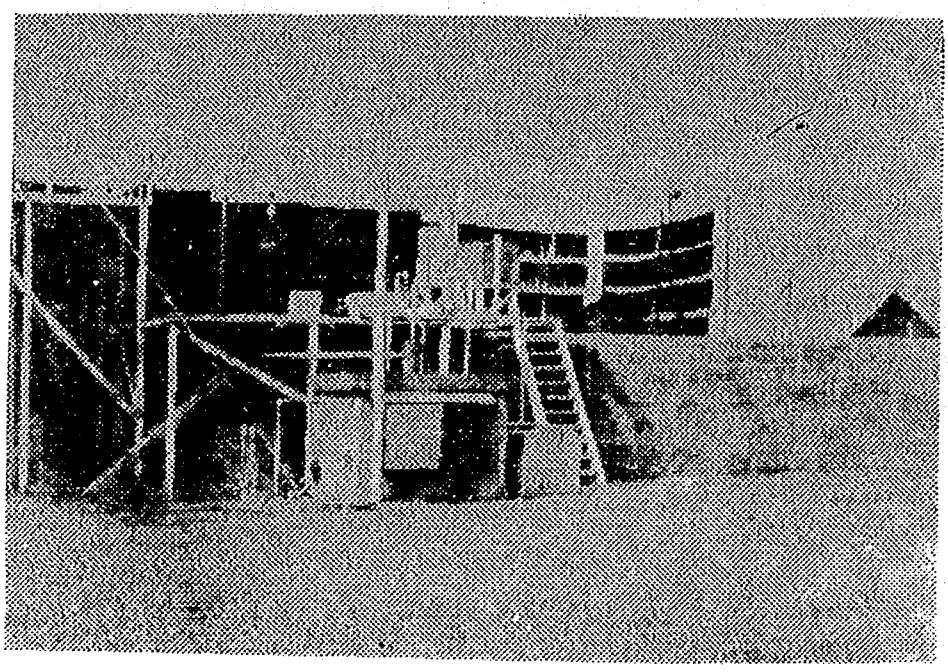
河川の水流と河床の砂の動きの関係については、次元解析による公式があるだけであったが、昭和32年（1957年）、土木研究所は河床の砂粒に働く流体力を考慮した流砂量公式（土研式もしくは佐藤・吉川・芦田公式と呼称されている）を導きだした。この式はその論理的厳密さによって広範な応用が可能であると同時に、だれにでも利用できる簡便さを有しているため、土木研究所の研究のなかでも最も著名なもののひとつとなった。この式の完成によって、河床変動計算ひいては河道計画手法が体系化づけられることになった。またこの式の有する論理性は、現在の２次元、３次元に拡大された河床変動計算の誕生を予言している。

③貯留関数法の開発

降雨と流出との関係を記述する方法のひとつとして、昭和36年（1961年）に指数型の運動方程式（貯留関数）を用いた貯留関数法が開発された。この手法は、洪水流出を精度よく表現できることに加え、従来の流出計算法の問題点であったモデルのパラーメタの同定の困難さを飛躍的に向上させたこと、手計算でも対応可能であること等により高く評価され、広く普及した。現在でも河川計画には不可欠な計算方法である。

④工場排水の活性汚泥法の適用に関する研究

わが国の工業化に伴い工場数が年々増加する傾向にあり、工場排水と家庭下水を同時に処理する必要が生じた。土木研究所ではこの問題に取り組むために昭和36年（1961年）より愛知県一宮市にパイロットプラントを設け、各種条件のもとで活性汚泥法による処理実験を行なった（写真－6.2.4.6参照）。その結果、処理水質の安定および施設の維持管理費の軽減のためには家庭下水との共同処理が適当であること、一時的に家庭下水または工場排水の流入が停止しても処理可能であること、その他実用上の注意事項を明らかにした。



写真－6.2.4.6　排水処理パイロットプラント（愛知）

⑤土砂生産量の推定手法の研究

ダムの堆砂容量を決定することや砂防ダムの計画を合理的に進めるためには土砂生産量を的確に把握することが望まれ、昭和35年（1960年）頃から、流域の物理的諸特性を把握するための研究、河川浸食による流域地形発達に関する研究、山地における砂石の生産に関する研究を実施し、侵食の継続による地形因子の変化を追跡することによる生産土砂の推定式を提案した。この式は比較的貯水容量の大きな40個のダムを対象に分析したもので、ダムや砂防の分野ではもちろん、河道計画に際しても供給土砂量を推定する際に参考とさ

れている。

⑥交通容量調査

交通容量調査が実施されたのもこの時期である。交通容量に関するデータのない時代には、道路計画には便宜上アメリカのデータを利用していたが、昭和30年代後半から土木研究所においても交通容量調査が実施された。この成果は昭和45年（1970年）の道路構造令の改訂の際に取り入れられた。

⑦道路標識に関する研究

千葉支所が設置された昭和35年（1960年）ころから道路標識に関して、字の大きさ、読む速度等の基本的実験から実際の道路でのテストに至る広範な研究を行なった。この研究成果は当時建設中であった名神高速道路に取り入れられた。

⑧強震観測と液状化の研究

昭和39年（1964年）、新潟地震が発生し（写真－6.2.4.7参照）、この際に記録された強震観測結果が後の研究に大いに役だったことを契機に昭和35年（1960年）に制定した強震計観測計画を見直し、より合理的な強震計の設置計画を立案した。この計画に則り強震計は次々と設置され、平成４年（1992年）３月31日現在で強震計設置地点数は352ヶ所である。観測結果は地震の特性及び地震に伴い生じた災害の分析に大いに役だっている。



写真－6.2.4.7　新潟地震

新潟地震は、地盤の液状化による建物の沈下や転倒が話題となった地震であった。土木研究所でも地盤の液状化の研究、すなわち液状化のメカニズムを把握するための研究、液

状化の判定手法に関する研究、液状化対策工法としての砕石ドレーンに関する研究などに取り組んだ。液状化に関する研究は現在も実施しており、地盤の流動化に関する予測式等が提案されている。

6．2．5　高度経済成長期（後期）

＜昭和40年（1965年）から48年（1973年）ころ＞

（1）高度成長のひずみ是正の動きと研究室の増設

昭和40年代は高度経済成長時代の後期であり、急速な経済成長のひずみが表面化し、これを是正する政策が取られた時期であった。最も国民の関心を集めたのは公害問題で、昭和46年（1971年）の神通川イタイイタイ病、昭和46年（1971年）の新潟水俣病、昭和48年（1973年）の水俣病、昭和49年（1974年）の大阪国際空港の騒音、夜間飛行禁止裁判等の公害裁判において住民（原告）勝訴が相次いだ。

公害問題と並び国民の関心を集めたのは交通問題であった。都市域における交通渋滞は年々悪化の一途をたどるほか、交通事故の激化は「交通戦争」という言葉を生むほどであった。

また、地域格差が表面化し、都市域で人口爆発、農村・漁村で過疎化が問題となった時代でもあった。

社会のひずみが表面化するにつれて、技術開発に対するニーズは新たな展開を迎えた。これまでは土木技術の開発、合理化に関する研究が土木研究所の中心的課題であったが、こうしたひずみを是正するための研究が新たに加わることになった。土木研究所ではこれらの新しい研究課題に対応すべく、組織の増強、すなわち新たな研究室の増設にとりかかった。具体的には、昭和41年（1966年）に基礎研究室、昭和43年（1968年）に振動研究室、昭和44年（1969年）に都市河川研究室、昭和45年（1970年）に交通安全研究室、企画課、急傾斜地崩壊研究室、昭和46年（1971年）に水質研究室、交通環境研究室、昭和47年（1972年）にフィルダム研究室、昭和48年（1973年）に三次処理研究室、水資源開発研究室（現在、水工水資源研究室）、動土質研究室、昭和50年（1975年）に耐震研究室がそれぞれ新設された。こうした組織増強の背景には、高度経済成長という社会的追風があったのはいうまでもないことであるが、土木研究所の研究成果が社会から認められたからこその組織拡大であった。

（2）この時代の研究例

この時代は、前記のように交通戦争、公害、環境破壊、地域格差等、社会のひずみが表面化し始めた時代であった。土木研究所は、これらの解決のための研究に取り組むようになってきた。一方、従来より進めてきた社会資本の合理的建設のための研究は、この時代には概ね完成の域に近づいてきたことから、研究の方向は、よりきめの細かい技術開発や、

より合理性、経済性を追求した技術開発を指向するようになった。

①ダム基礎岩盤の分類法に関する研究

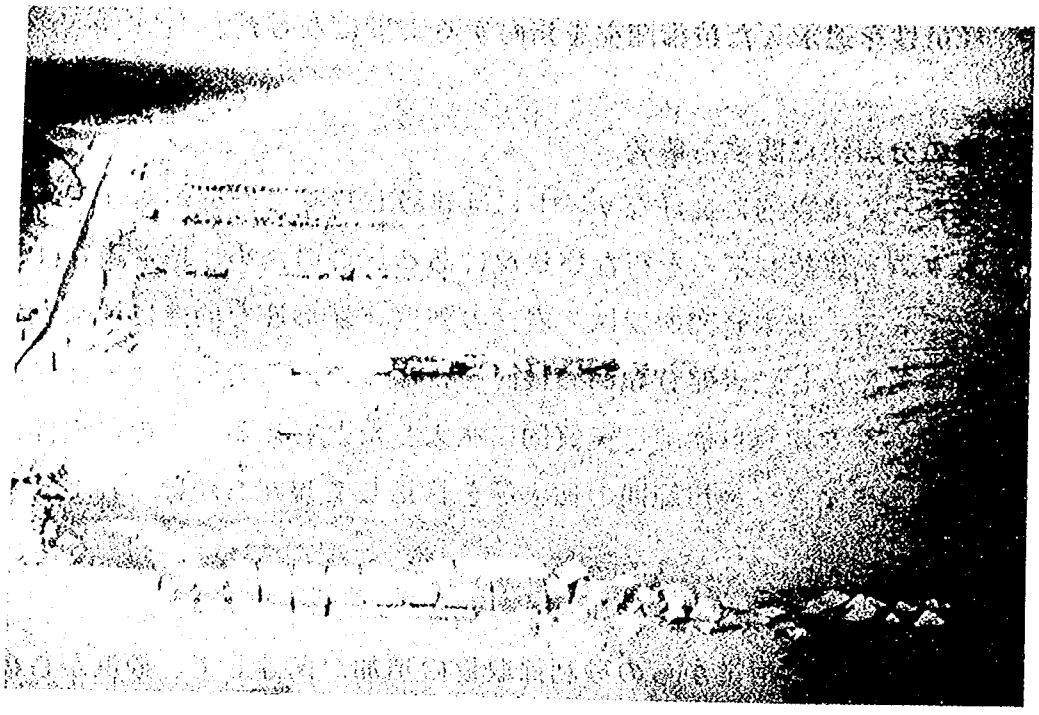
ダム建設にあたって地質的に良好なサイトには建設し尽くした感があり、地質的に多少劣るところにもダムを建設せざるを得ない状況にある。このため、地質調査は以前にも増して重要となっている。土木研究所では、岩盤の強度、変形性を的確に評価するための調査・試験、軟岩を対象とした岩盤分類法の検討を行なった。この研究成果はダム建設の際に大いに活用され、ダム建設可能地を実質的に拡大したと言える。この研究は、さらにその精度向上、活用しやすさ、適用範囲の拡大等を目指して現在も続けられている。

②離岸堤の開発

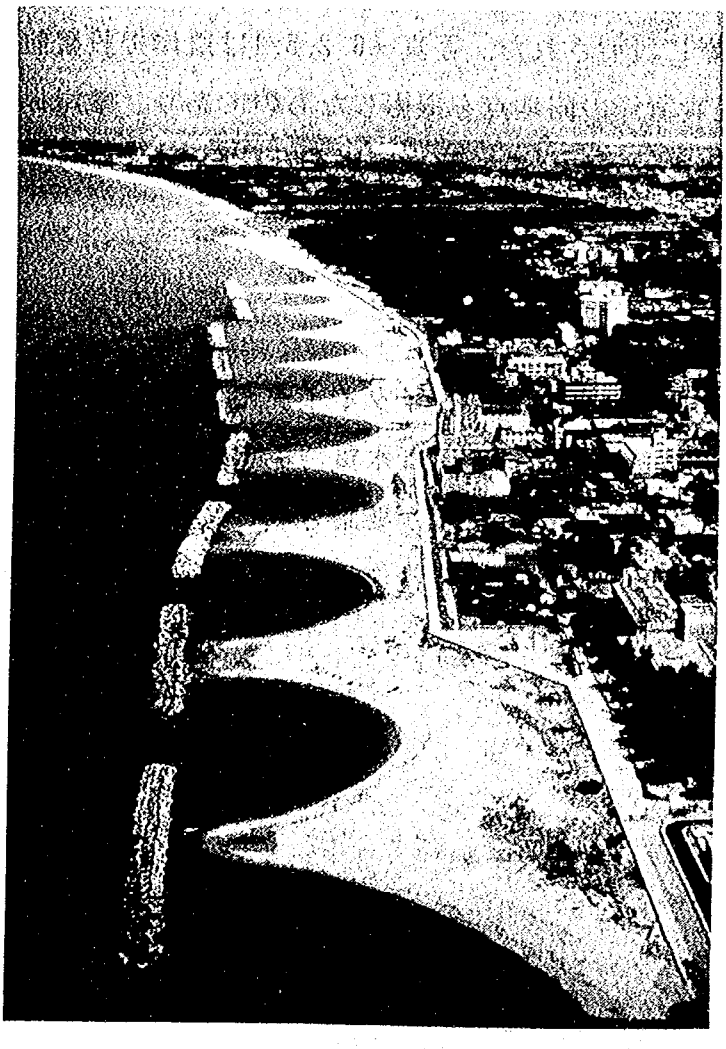
港湾・沖合施設の増加や河道からの砂利採取量の増加が関連して、砂浜から砂が次第に消失してやせ細ってしまう例が増加した。土木研究所では砂の流出量を抑え砂浜を保全すべく離岸堤を開発した。離岸堤は砂浜の侵食を防ぐだけでなく、やせ細った海岸に再び砂をつける機能をも有しているため、昭和46年（1971年）、離岸堤の第一号が砂浜の侵食が問題化していた皆生海岸に設置された。写真－6.2.5.1は離岸堤設置前の砂浜の状況である。写真－6.2.5.2は離岸堤設置後の同地点を撮影したものであり、離岸堤により砂浜が復活していることがわかる。この成功により、現在離岸堤は全国の直轄海岸で見られるほど普及、一般化している。

③水質予測手法

昭和40年代（1965～1974年）になって、イタイイタイ病や水俣病に代表される公害病が社会問題となるなど、都市域の河川は深刻な水質汚濁にみまわれた。逼迫した公共用水域の水質汚濁に対して早急な解決を図ることが要請され、河川における汚濁負荷の流出・流達機構の解明、河川における再曝気及び自浄作用の研究、河川の水質予測のためのシミュレーションモデルの作成等がなされた。



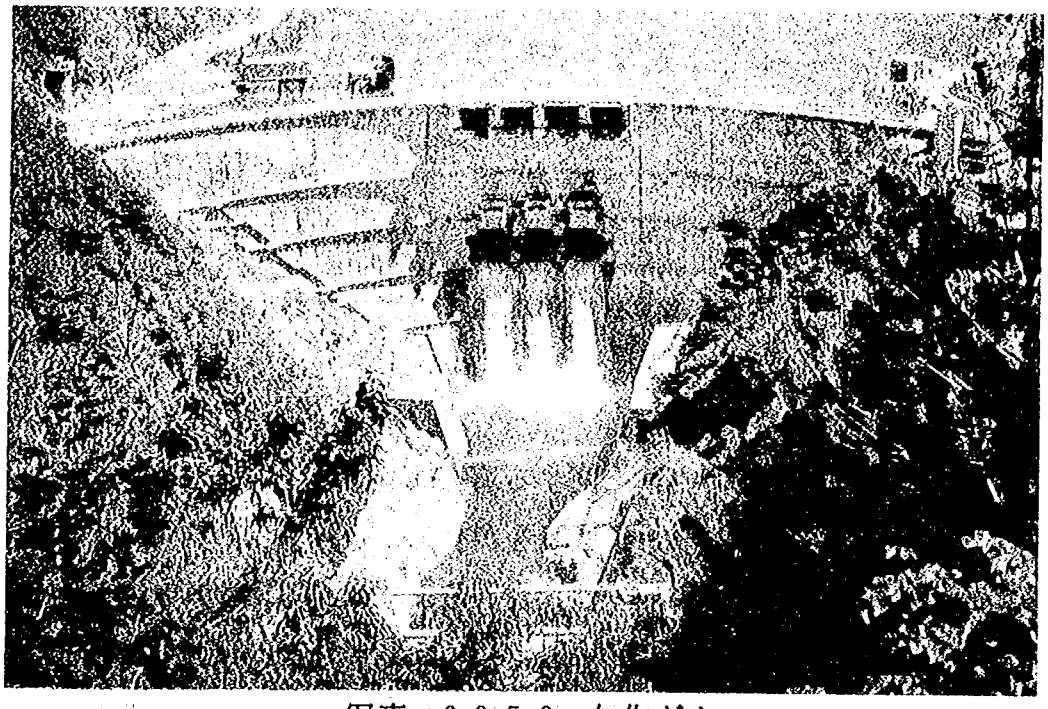
写真－6.2.5.1　皆生海岸（離岸堤設置前）



写真－6.2.5.2　皆生海岸（離岸堤設置後）

④フラットアーチダムの設計法の開発

従来、ダムの基礎岩盤はダム堤体に比較して十分堅硬なものと考えられていたが、フランスのマルパッセダムの決壊事故は、基礎岩盤のせん断破壊が原因であった。この事故を契機として、ダムの基礎岩盤の安全性確保がダムの設計上の重要な課題となったが、土木研究所では、アーチダム堤体の応力状態を損なわずに基礎岩盤に生じるせん断力を軽減できるフラットアーチダムを開発し、アーチダムの構造的安全性を著しく高めることを可能とした（写真－6.2.5.3はこの設計法によって作られた矢作ダム）。



写真－6.2.5.3　矢作ダム

⑤越流堤防の開発

昭和42年（1967年）の羽越災害は、越流による堤防破壊が主原因となったものであった。そこで、土木研究所は越流が生じても破壊しないような堤防の開発に取り組んだ。補強方法は法面の下に高分子系の不織布を敷込むもので、大規模な越流実験が行なわれた（写真－6.2.5.4参照）。補強堤防はアーマーレビーと呼ばれ、加古川や小貝川で適用されている。また、越流に負けない堤防づくりという考え方は現在の超過洪水対策思想を先取りしており、この研究はその先導性からも高く評価されている。



写真－6.2.5.4　越水堤防の実大実験

⑥本州四国連絡橋経済インパクト調査

道路整備が経済に与えるインパクトに関する調査は道路計画の主題の一つとして古くから取り組まれてきた。当初はガソリン消費量を調査し、走行経費の面から道路構造の基準を検討したが、地域格差等の問題が取り沙汰されるようになるにつれ、道路計画にはより綿密な経済調査が求められるようになってきた。昭和42年（1967年）の本州四国連絡橋に関する経済調査では経済効果の予測を目的として地域経済計量モデルの開発、プログラム作成、シミュレーション計算を実施した。経済インパクトに関する研究は、現在も経済効果の計測手法の開発という視点で取り組まれている。

⑦交通事故分析

昭和40年代には交通事故が激増し、社会問題化した。昭和45年に交通安全研究室が設置されてから、交通事故の解析や要因の分析に本格的に取り組み始めた。これは、交通事故と、交通量、道路線形、幅員、交差点形状及び安全施設等の主要な道路交通要因との関係を分析するものである。この研究は昭和50年代前半には危険区間の抽出方法に関する研究、50年代後半には交通安全対策の効果と道路交通状況の関係、対策の効果の統計的検定手法の研究、60年代には事故分析の高度化のための統合交通事故データベースの作成が行なわれ、時代とともにより高度化、総合化している。

６．２．６　安定成長期

＜昭和48年（1973年）から昭和61年（1986年）ころ＞

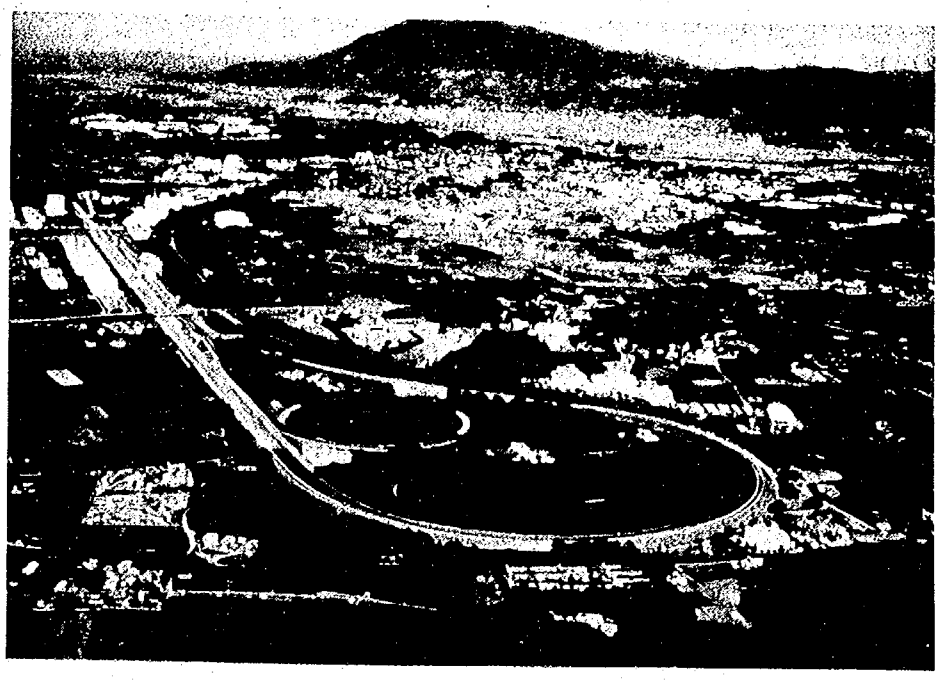
（１）安定成長

昭和40年代後半頃になると、長期に渡った高度経済成長はその速度を減じはじめた。総需要抑制政策がとられ、省エネルギーが叫ばれ始めたのもこの時期である。昭和46年（1971年）のドルショック、昭和48年（1973年）のオイルショックによって高度経済成長の終焉は決定的となり、安定成長の時代へと移行した。

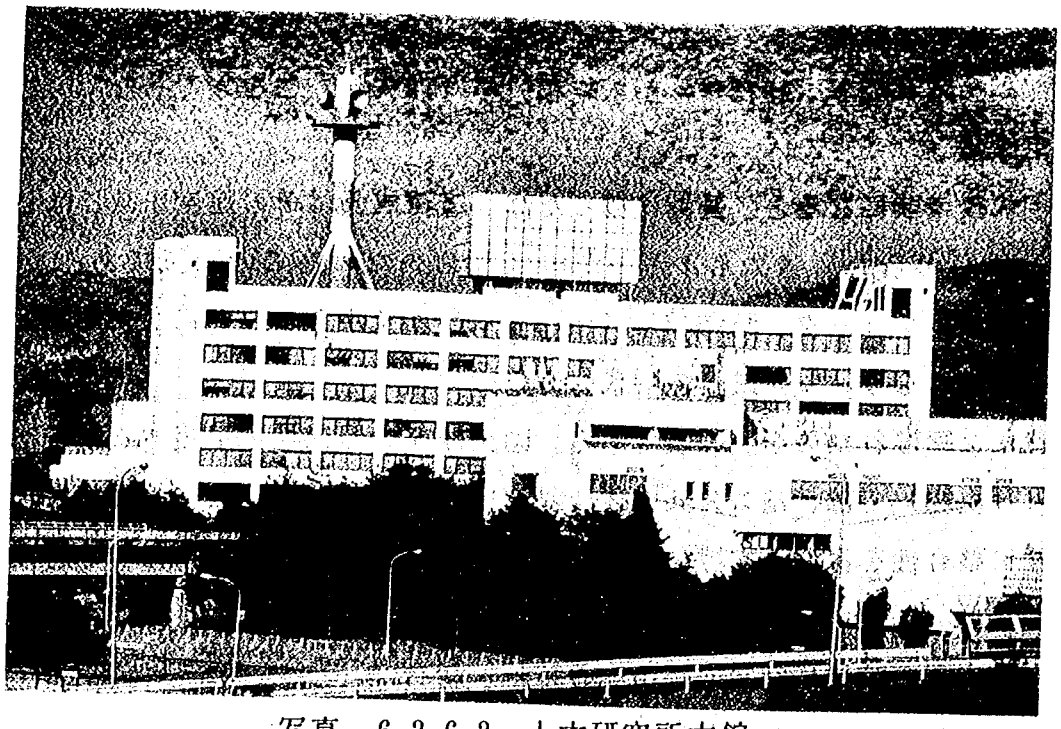
地方の時代と呼ばれたのもこの頃である。国土開発の方向性を示唆する第３次全国総合開発計画（３全総）では、地方公共団体に対して、それぞれの地域における主体的な開発整備が相互に整合性を保ち、有機的、効果的に計画され、実施されることを訴えている。

（２）土木研究所の筑波研究学園都市への移転、統合

昭和36年（1961年）、「官庁の移転について」が、また昭和38年（1963年）、筑波への移転が閣議決定し、土木研究所のつくば市への移転が決定した。昭和46年（1971年）、試験走路の建設に着工したのを皮切りに、昭和53年（1978年）には本館をはじめ主要な実験施設が完成し、昭和54年（1979年）、移転を完了した。移転に伴い、駒込、千葉、赤羽、篠崎、鹿島に分かれていた本所、分室、試験所は、新潟試験所を除いて統合された（写真－6.2.6.1はつくば市移転後の土木研究所全体の空中写真、写真－6.2.6.2は土木研究所本館）。



写真－6.2.6.1　土木研究所全景（つくば）



写真－6.2.6.2　土木研究所本館

移転の前後にも新たに研究室が設置された。昭和52年（1977年）には新交通研究室、昭和53年（1978年）には汚泥研究室、移転時の昭和54年（1979年）には総合治水研究室（現在、都市河川研究室）、ダム水工研究室（現在、水工水資源研究室）、緑化研究室（現在、緑化生態研究室）、人事厚生課、情報資料課が設置された。30余名でスタートした土木研究所も今や500名弱の大組織に成長した。

（3）この時代の研究例

この時代の土木研究所の研究の特徴としては、社会情勢を反映しつつも技術水準は欧米の技術の最先端に肩を並べ、わが国独自の技術を次々に生み出したことが挙げられる。

①アルカリ骨材反応に関する研究

昭和50年代、世界的規模でコンクリートの塩害、アルカリ骨材反応が問題化した（写真－6.2.6.3はアルカリ骨材反応を起こした橋梁）。そこで、土木研究所では塩害やアルカリ骨材反応の研究を実施し、いちはやくわが国の骨材事情に合った材料判定基準を策定した。現在では新設されるコンクリート構造物はこうした早期劣化の心配は大幅に減少しており、この技術はコンクリート構造物のメンテナンスフリー化に貢献している。



写真－6.2.6.3　アルカリ骨材反応を起こした橋梁

②河道特性に関する研究

土工技術等の進歩により、河道の様子を一変させるような大規模な河道改修が可能となってきた。そうしたなかで、より質の高い河道計画を可能とすべく河道のもつ本来の特性を把握し、その法則を正しく理解したうえで適切な河道計画を行なおうとの考えが生じた。土木研究所では全国の河川の縦断勾配、河床材料、河幅、低水路幅、洪水特性等の河道基本量の間の相互関係について調べ、力学的考察のもとに一定の法則性を見いだした。さらには、これらの研究にもとづき河道計画における適切な河幅、低水路幅等を求める方法を提案した。この研究以降行なわれた河道計画は、この考え方に基づいて行われている。

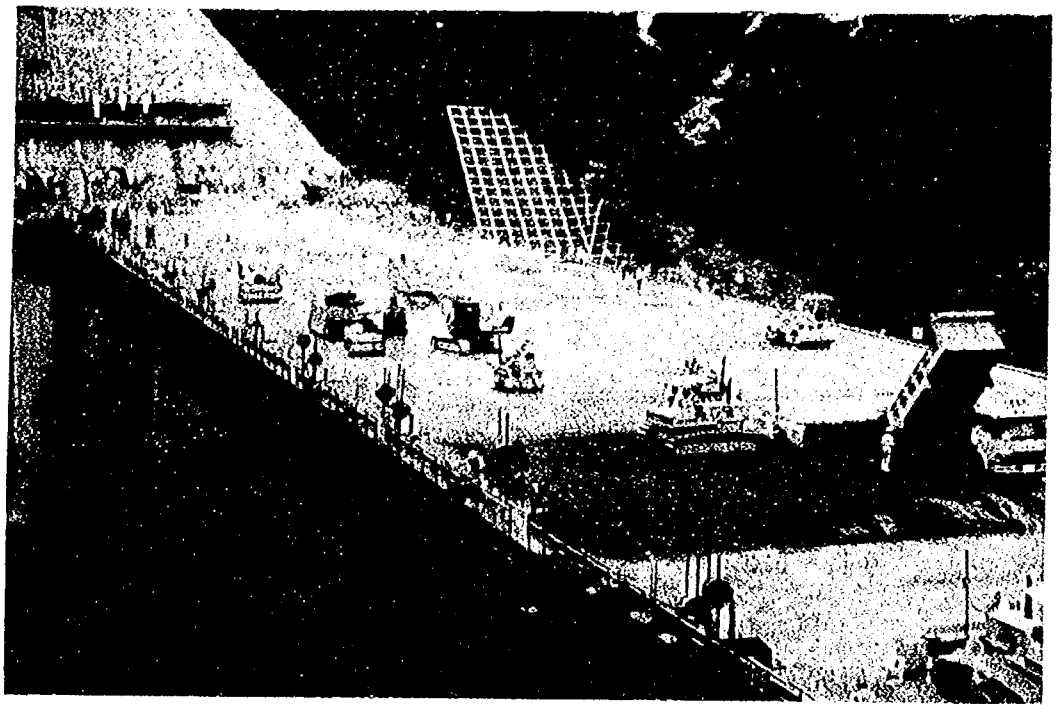
③汚泥の建設資材への利用

都市化に伴い汚泥処理量は増加の一途をたどっており、その処分が大きな問題となった。土木研究所では汚泥の焼却灰や汚泥溶融スラグを舗装材料やコンクリート材料、土質改良材等に利用するための研究が実施された。この研究は、地方自治体でのこれらの技術開発への取り組みを鼓舞し、環境問題への貢献はもちろん、地方の活性化にも役だっている。

④ＲＣＤ（Roller Compacted Dam concrete）工法の開発

複雑な地質と急峻な地形を有し、また貯水池容量に比較して洪水流量の大きいわが国の河川においては、重力式コンクリートダムが最も望ましいダム形式と考えられている。しかし、昭和40年～昭和50年代の人件費の高騰は、コンクリートダムの建設の経済性を著しく損ねるものであった。このため、コンクリートダムの施工の省力化、合理化が強く望まれ、硬練り貧配合のコンクリートを振動ローラーを用いて面状に広く打設するＲＣＤ工法

が開発された。本施工法はわが国が世界に先駆けて開発した画期的な施工法で、現在ではわが国におけるコンクリートダムの代表的な施工法となっているほか、国際的にもきわめて高い評価を得ている（写真－6.2.6.4はＲＣＤ工法によるダム施工現場）。



写真－6.2.6.4　ＲＣＤ工法によるダム施工

⑤土砂災害等の危険区域調査に関する研究

土地の高騰等によって居住地域は次第に土砂災害等のおそれのある地域にも広がり、それに伴い土砂災害等も増加する傾向をみせはじめた。これを受けて、土木研究所では土砂災害等（土石流、地すべり、急傾斜地崩壊、雪崩）を未然に防止し、的確な対策法を講ずるために、土砂災害等危険区域及び危険度判定の基準を作成する研究を実施した。研究は、実態調査、地形解析、統計解析、シミュレーション計算等多岐に渡るものであった。また、土砂災害等の危険区域調査法を改良、マニュアル化し、これに従って全国的調査を実施した。この結果、全国で約18万箇所の土砂災害等の危険箇所を抽出するとともに、危険箇所のゾーニング手法に新しい方向性を見いだした。

⑥道路トンネルの換気に関する研究

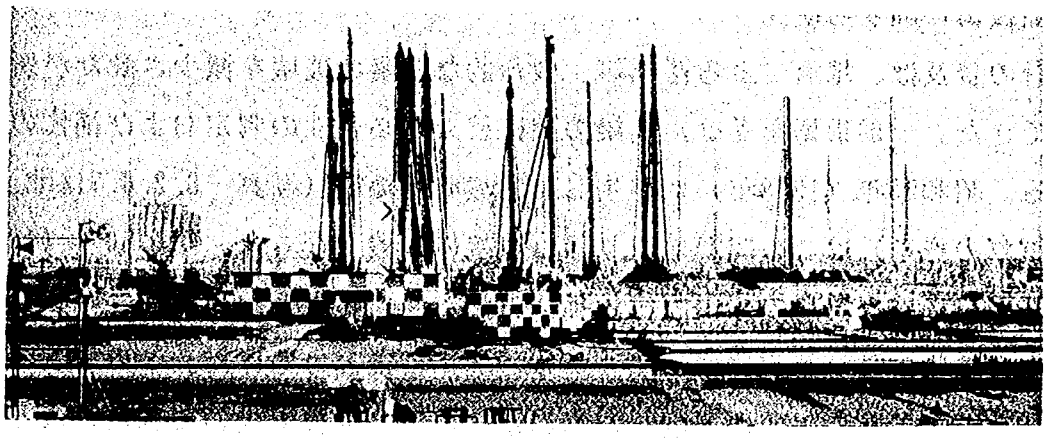
関門国道トンネルの建設を契機に、道路トンネルの換気に関する調査研究が開始され、昭和50年（1975年）頃より縦流換気方法の合理化、電気集じん機の適用等について研究を実施した。これらの成果はトンネル換気システムの効率を大幅に向上させ、トンネル内設備設置に要する費用を大幅に節約することができるようになった。

⑦ＤＪＭ（Dry Jet Mixing）工法の開発

わが国の大都市の大半は、第四紀層である軟弱地盤上に築かれているため、社会資本整

備に際しては、まず第一に軟弱地盤の克服が課題となる。

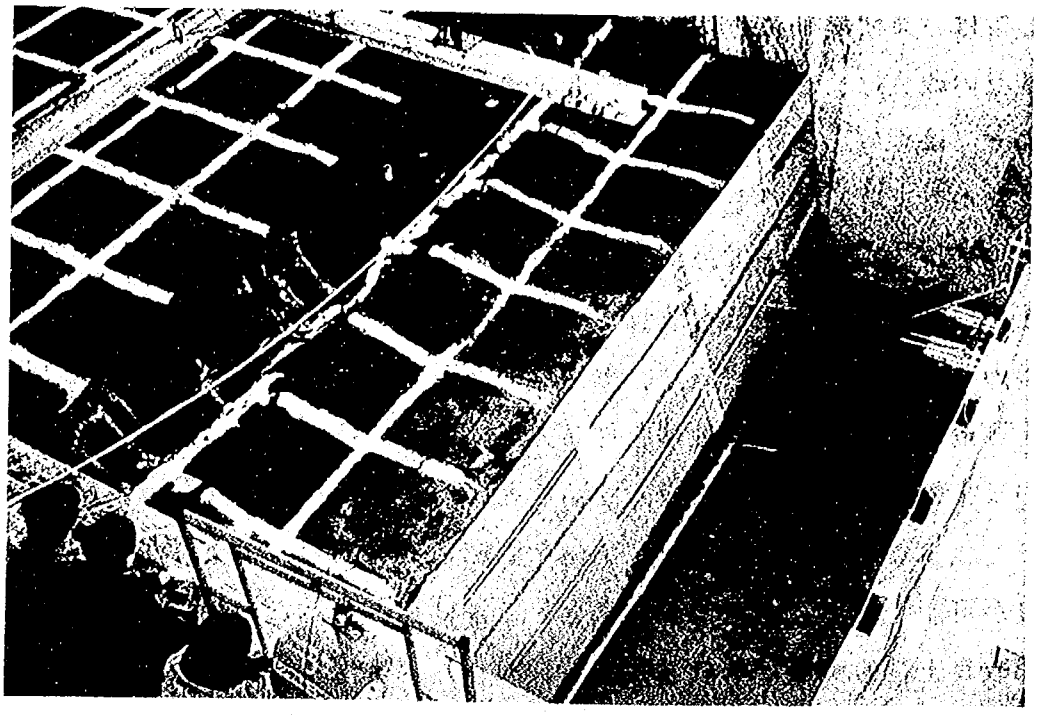
軟弱地盤の改良は、改良に長期の時間を要し、また、改良後の地盤の強度も十分でなく、場合によっては地盤のすべり破壊や周辺地盤に大きな変状を生じることがある。このため、従来は軟弱地盤をなるべく避けて道路や河川の盛土を建設してきた。しかし、都市機能の拡大、土地利用の高度化が進み、このような軟弱地盤でも積極的に利用することが求められ、迅速かつ確実に軟弱地盤を改良する工法の開発が必要とされていた。ＤＪＭ工法は、軟弱地盤の改良工法の一つであり、セメントや石灰などを地中深くまで送り込み、現位置の軟弱土と撹拌混合して改良柱体を作る方法である。この工法は、セメントなどの改良材を粉体のまま乾燥状態で地中に投入することから、地盤に合わせた改良材を合理的に使用できること、また改良材で化学的に地盤を固結させるため、確実にかつ短時間で深層まで地盤改良が可能であることなどが特徴として挙げられる。この手法は開発と同時に急速に普及し、改良土量の実績は平成３年度（1991年）末までに780万m^3に達している（写真－6.2.6.5は羽田国際空港の沖合展開事業におけるＤＪＭ工法の施工現場）。



写真－6.2.6.5　羽田国際空港の沖合展開事業におけるＤＪＭ工法の施工

⑧道路のり面の安定に関する研究

都市域では人口の過密により道路盛土等のより高い安全性が求められる反面、土地代の高騰により急勾配の施工が望まれている。土木研究所ではのり面の崩壊予知に関する研究、降雨の浸透による崩壊発生のメカニズムに関する研究、さらにはジオテキスタイルを用いた補強土の合理的な設計方法に関する研究が実施された（写真－6.2.6.6参照）。



写真－6.2.6.6　盛土の補強に関する実験

⑨震災復旧技術に関する研究

耐震設計の普及は、地震による落橋等、致命的な橋梁の破壊を減少させたが新たな問題が生まれてきた。一部損傷を受けた橋梁の架け替えの必要性の判定および補修の必要性がそれである。昭和53年（1978年）に発生した宮城県沖地震（写真－6.2.6.7は北上河北線に生じた地割れの様子）はこの問題に取り組む直接の契機となった。昭和56年（1981年）～60年（1985年）に破損箇所の評価方法、補修方法に関する研究を実施し、昭和60年（1985年）に土木構造物の震災復旧技術マニュアル（案）にまとめあげた。このマニュアル（案）は、アメリカの大学が自主的に英訳したものがメキシコ地震で大いに利用されるなど、世界的に現在も活用されている。



写真－6.2.6.7　北上河北線に生じた地割れの様子

6．2．7　現在

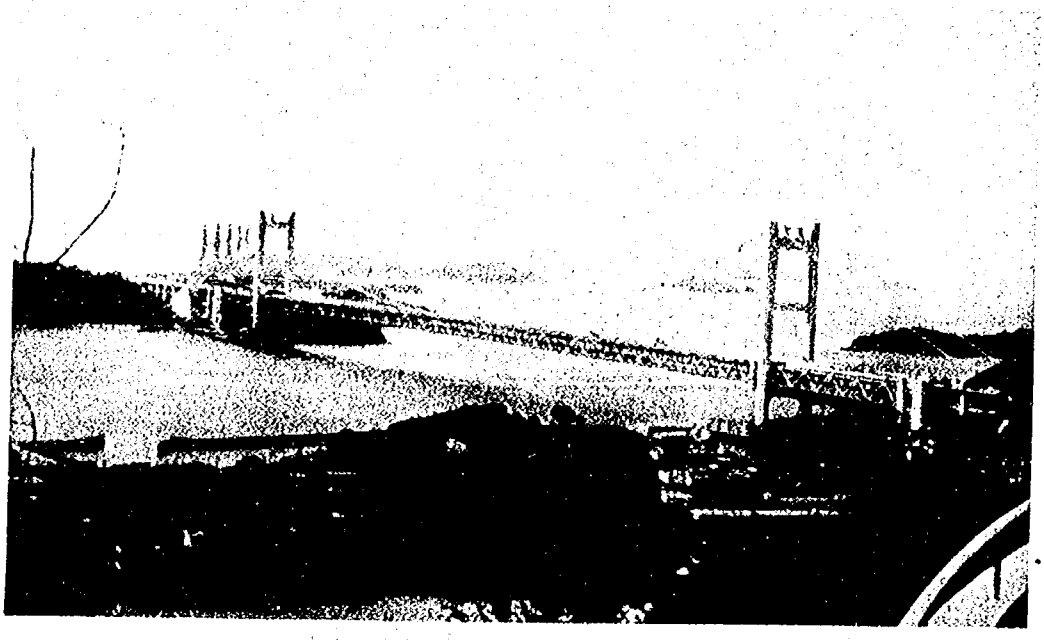
＜昭和62年（1987年）から現在まで＞

（1）経済・社会の背景

昭和62年（1987年）に閣議決定された第４次全国総合開発計画（４全総）では、地方都市の機能向上を一層推進し、地域の競争力を高めつつ、個性ある地域づくり、地域相互の分担と連携の深化を目標に掲げている。本州四国連絡橋の３ルートは平成10年（1998年）完成予定（写真－6.2.7.1は昭和63年（1988年）に完成した児島－坂出ルート）、東京湾横断道路も今世紀中には完成し、第二東名・名神高速道路等が計画されたのはより一層の国土の利用を図るという観点から見ると象徴的といえよう。

世界情勢は、ソ連邦の解体にともなう東西冷戦構造の終結、民族主義の台頭等不安定な要素が顕著となっている。わが国のこれまでの経済力、技術力による世界的貢献以上の役割分担が要請されている。

現在、地球温暖化、酸性雨、熱帯林の減少、南極におけるオゾンホールの発生、世界の至るところで発生する異常気象等、地球環境問題も世界の共通問題となっている。これらの解決に貢献するための経済協力や技術開発が望まれている。また、生活環境整備への社会ニーズも高まっており、建設事業においても環境への配慮が最重要点項目となっている。



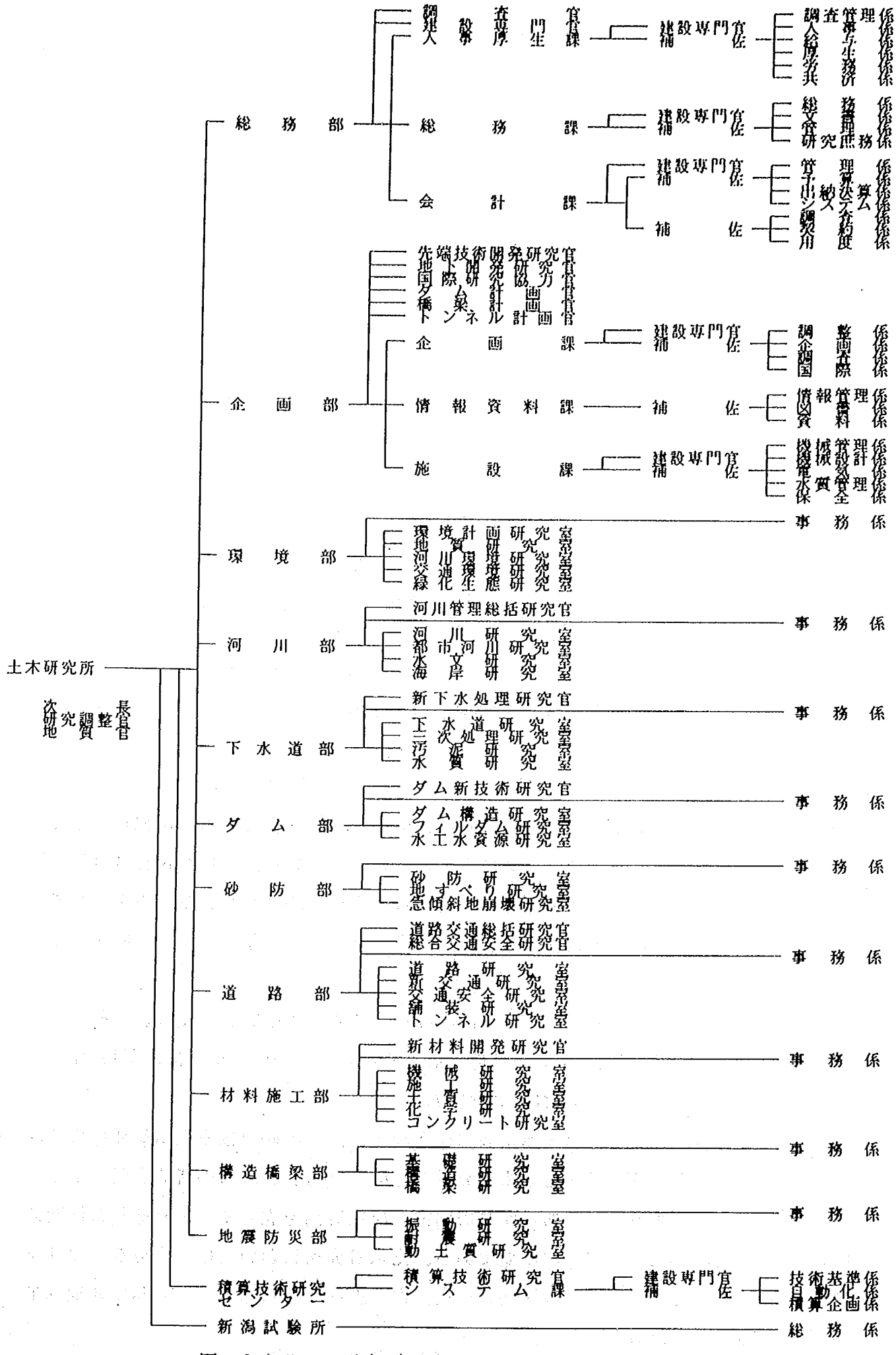
写真－6.2.7.1　本州四国連絡橋児島－坂出ルート（下津井瀬戸大橋）

（２）研究実施体制

①組織と予算

建設産業界の活性化を図り、技術力の向上、品質の確保を促すために、官、民における建設マネジメントのあり方について研究する必要が生じ、平成３年（1991年）、土木研究所内に積算技術研究センターを設置した。

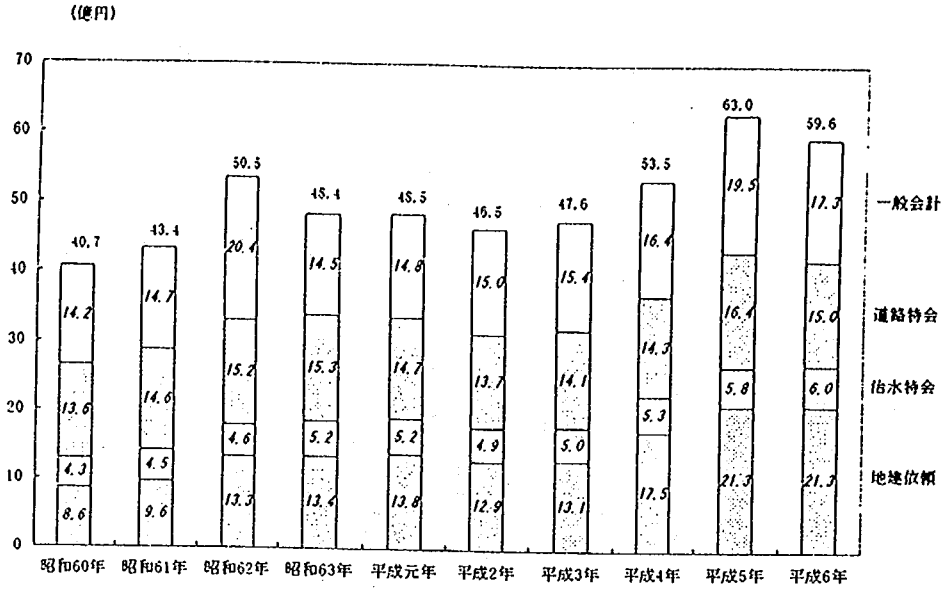
さらに、平成５年（1993年）、組織の改編を行った。従来、土木研究所では環境問題に対して各部が個別に対応してきたが、環境問題は建設事業全般にあるいは相互にかかわること、他の学問分野との連携が重要であることなどから、環境の計画論、環境の評価、管理及び対策手法を一元的・統合的に扱う部体制が効率的な研究開発の推進に極めて有効と考えられる。そこで、建設事業が環境に与える影響を最小に抑え、人に優しい環境の保全・再生・創造、自然環境と調和した社会資本整備を推進していくための技術開発をめざして、環境計画研究室、地質研究室、河川環境研究室、交通環境研究室、緑化生態研究室からなる環境部を設置した。また、建設労働者の不足や高齢化が進み、建設工事の一層の合理化、省力化及び安全性の向上が重要な課題となっているとともに、既存の社会資本のストックを効率的に維持管理する手法、維持管理しやすい社会資本の建設技術の開発も緊急な研究課題となっている。そこで、機械、電気通信、生物、化学等の他分野における先端的な新素材・新材料・技術開発の活用、あるいは土、コンクリート、鉄等既存の土木材料の改良・高強度化による構造物の高品質化及びそれらの合理化施工法に関する研究を推進するために、機械研究室、施工研究室、土質研究室、化学研究室、コンクリート研究室からなる材料施工部を発足させた。また、地震防災部は地震による地盤の振動、土、鋼及びコンクリート構造物の地震対策、耐震設計について一体的に研究開発を実施するよう、振動研究室、耐震研究室、動土質研究室の３研究室体制とした。



図－6.2.7.1　現在（平成６年（1994年）７月）の組織

図－6.2.7.1は平成６年（1994年）７月現在の土木研究所の組織である。図に示すとおり９研究部、１センター、１試験所、２支援部の組織からなっており、職員定員は470名、部外研究員は60名である。

最近10ヶ年間の土木研究所の調査研究費の推移は図－6.2.7.2に示す通りである。昭和62年（1987年）に50億円を超え、その後しばらく横ばい状態が続き、平成４年（1992年）から増え始めて現在は約60億円に達している。近年は民間企業との共同研究が増大しており、図には現われないが実質の研究費はかなり増大している。



図－6.2.7.2　最近10年間の土木研究所の調査研究費

②研究体制

土木研究所の研究体制で重要であるのは研究５ケ年計画の存在である。研究５ケ年計画は、その時代における社会や行政ニーズに応えるため、今後５年間に取り組むべき研究の実施計画を立て、効率的な研究の実施を可能にすることを目的にしている。現在、平成５年度（1993年）に作成した第４次５ケ年計画（平成６年～平成10年：1994～1998年）に基づき研究が実施されている。

平成６年（1994年）３月現在、土木研究所が取り組んでいる研究テーマは、一般会計によるものが161件、道路整備特別会計が95件、治水特別会計が69件、地建依頼が115件、受託工事関係が８件で、これらの総数は448件である。

総合技術開発プロジェクト、官民連帯共同研究など、複数の研究部や土木研究所の外部組織と連携して研究を実施するのも土木研究所の特徴である。これらの研究を効率よく実施し、実り多いものにするには、あらかじめ綿密な研究計画を立てて、それぞれの機関における研究の足並みを揃えることが重要である。土木研究所においては、十分なヒヤリングや調整等を行うことによって、各機関の研究分担、進捗等に留意し３～５年で研究成果が得られるようにしている。

（3）この時代の研究例

このような時代の動きに対応して、土木研究所では国土の有効利用を図るための大プロジェクトのための研究、省資源・省エネルギーのための研究、環境問題への対策の研究などが中心的な課題となりはじめた。特に環境問題は地球レベルで取り組むなど、研究のスケールが大きくなってきている。また、理学系（生物、材料、化学）分野、人間工学分野、電気・電子分野、情報工学分野等、土木工学以外の分野と連帯して研究を行なう必要が生じているのが現在の研究の特徴であるといえる。

①環境問題への取り組み

地球温暖化に伴う気候変化が懸念されており、世界中で様々な方法により気候変化を予測する研究が実施されている。土木研究所では地球温暖化が流域規模での降雨特性等に与える影響について予測可能な数値計算手法の開発、地球温暖化が顕著になった場合の河道、海岸、ダムの管理のあり方、地球温暖化に直接影響する二酸化炭素の発生量を抑制する建設技術の開発等について研究している。

また、生活空間の環境問題に関する研究、すなわち、美しい景観の創造技術の開発、河川の自然工法に関する研究、道路の緑化技術に関する研究、生態系に関する研究、動物の横断を可能にすることによって生態系を分断することのないよう配慮した道路（エコロード、写真－6.2.7.2参照）の研究、さらには貯水池内の流動制御や藻類利用といった新しい技術を用いたダム貯水池の富栄養化対策技術に関する研究等を実施している。



写真－6.2.7.2　エコロード

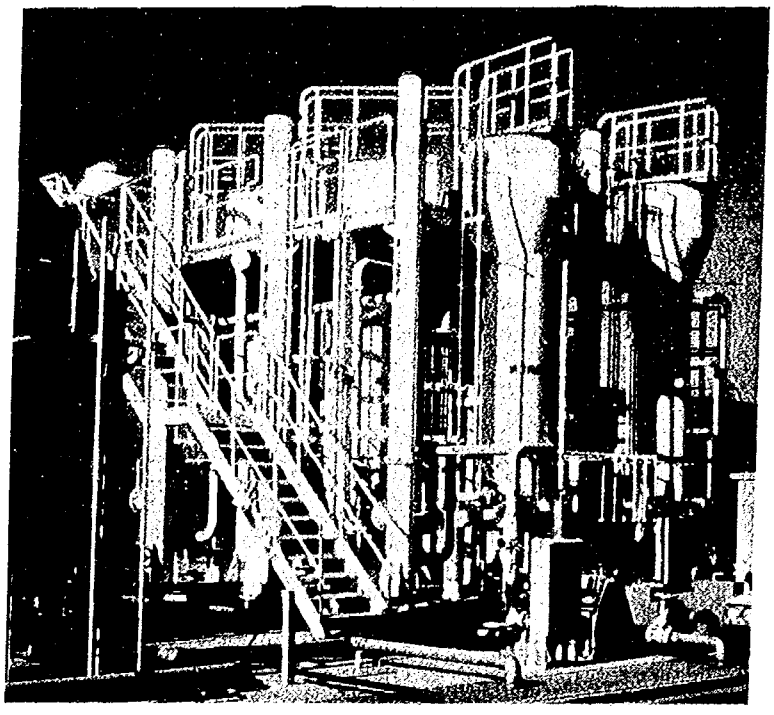
②維持更新技術に関する研究

1980年代になって、塩害によるコンクリート構造物の劣化が多発するなど、わが国にもアルカリ骨材反応があることが知られ、その対策が必要となった。そこで、アルカリ骨材反応を未然に防ぐための材料判定基準、アルカリ骨材反応や塩害によって劣化したコンクリートを被覆で補修する技術、非破壊でその補修効果を計測診断するための赤外線による測定技術等を提案した。また、コンクリート構造物の早期劣化を、超音波、弾性波、ＡＥ、赤外線等により定量的にかつ非破壊で診断する方法について検討した。

一方、鋼橋については、プレートガーダーの溶接部に生じた疲労損傷の実態調査を行い、その結果を用いながら疲労損傷を補修する方法、各部材を補強する方法について検討した。

③バイオテクノロジーを利用した下水処理技術

より高度な下水処理を目指して、発展の著しいバイオ技術を下水処理技術に応用、排水の浄化や資源回収に関わる微生物を特殊な高分子材料内に包み込んだり、プラスチックなどの表面に付着させる固定化に関する研究、およびバイオリアクター（写真－6.2.7.3参照）の開発に関する研究等に取り組んだ。これによって処理装置容量を1/2～1/10にしたり、特定の微生物のみを高濃度化し、従来処理困難であった高度処理を可能とする等の成果があがっている。その成果はディスポーザの導入に対応した高度処理施設の開発に反映されている。



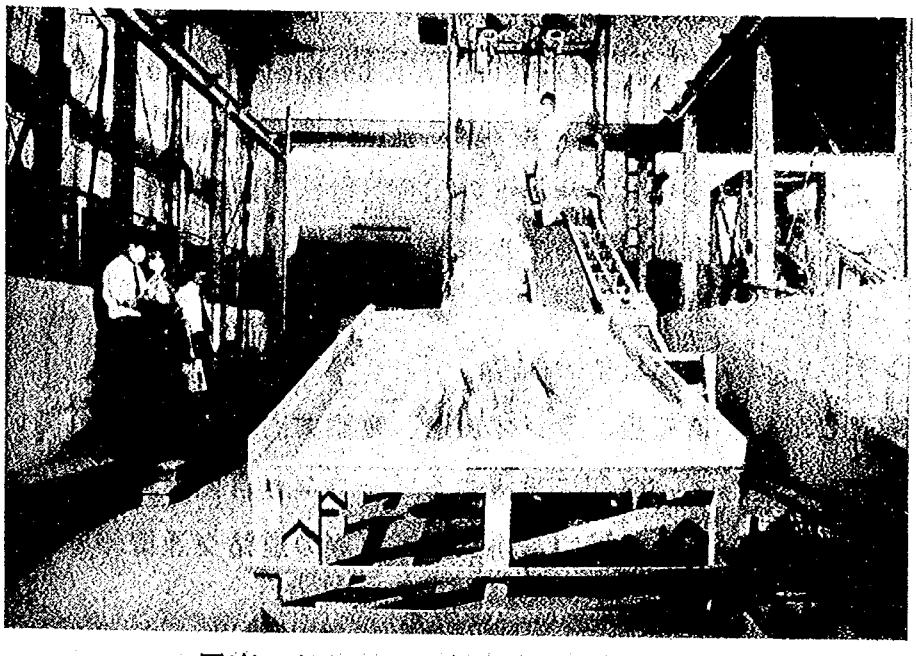
写真－6.2.7.3　多段反転流式バイオリアクター

④フィルダムの耐震設計法に関する研究

既設フィルダムの耐震性の検討結果や動的解析に関する技術的知見が集積されたこと、堤体材料の動力学的特性がかなり明らかとなってきたこと、観測された地震動や堤体の応答特性との関係が明らかになってきたこと等を契機に、土木研究所は修正震度法によるフィルダムの耐震設計法を開発した。この手法は、新しいフィルダム耐震設計のための指針（案）として現在広く用いられている。

⑤火砕流に関する研究

平成３年（1991年）、雲仙岳が噴火し火砕流による災害が問題となった。この災害を契機に土木研究所では火砕流に関する研究に拍車がかかり、火砕流の鉛直流速分布、鉛直および流下方向土砂濃度分布、圧力分布等の火砕流の基本的性質を調べるための実験（写真－6.2.7.4参照）、ビデオ解析、および理論的研究等が実施されている。また、火砕流対策工の設計、大規模斜面活動に対する的確な警戒・避難や迅速な応急対策の実施に必要な地上からの新しい監視技術、土砂災害の発生危険区域や発生危険度の判定手法、土砂移動到達範囲の判定手法に関する研究も実施されている。



写真－6.2.7.4　火砕流に関する実験

⑥第二東名・名神高速道路の設計に関する研究

第二東名・名神高速道路は、東京圏と阪神圏を結ぶ新たな幹線道路である。最近の自動車性能の向上を考慮するとともに、一層高い輸送能力の確保をめざして設計速度は従来の120km/hから140km/hに増大される予定である。しかし、第二東名・名神高速道路は従来以上に厳しい地形条件下に通さざるを得ず、大断面トンネルや多車線を有する橋梁等を建設しなければならない。土木研究所では、このような技術的課題をクリヤすべく、様々な研究に取り組んでいる。例えば、道路走行シミュレータを使って運転者の心身反応を把握する研究、140km/hに対応した視距を把握するための研究、道路線形や縦横断勾配、幅員等の幾何構造に関する研究、一般部及びトンネル部の照明や標識等の視認性向上のための研究、交通安全施設の設計に関する研究、排気ガスの拡散状況や騒音を予測する手法およびその対策に関する研究等が実施されている。

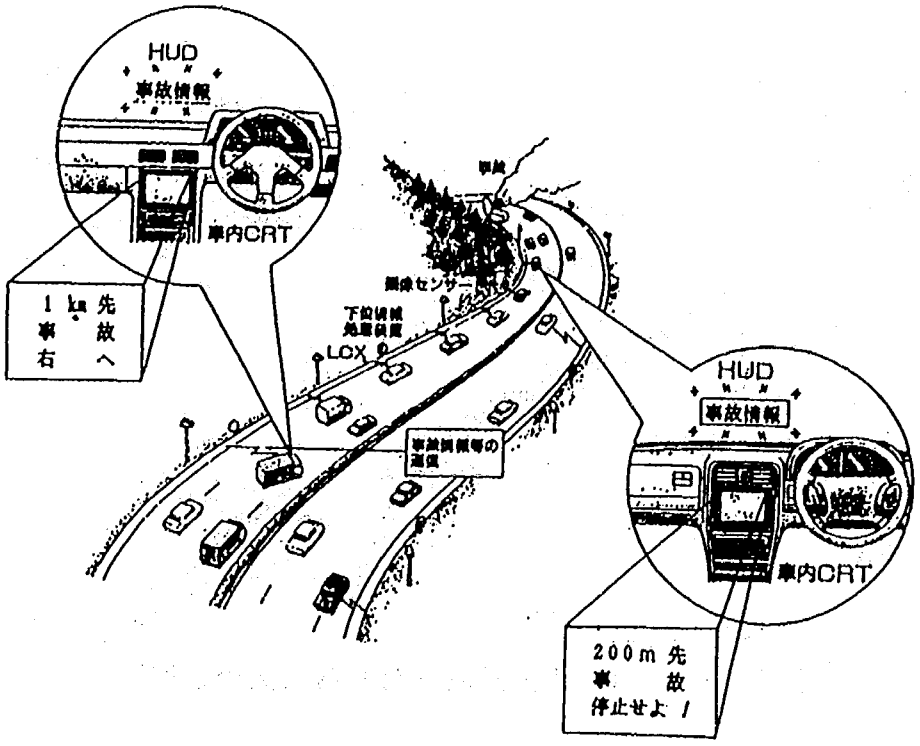
⑦新しい舗装技術に関する研究

道路の高速化に伴い、雨天時のハイドロプレーニング現象や騒音が問題となっており、それらを軽減するための舗装として排水性舗装が注目されている。土木研究所では、ハイドロプレーニング現象の抑制効果や騒音の抑制効果、さらには舗装の目詰まりを防ぐ方法等について研究している。また、ＲＣＣＰ（Roller Compacted Concrete Pavement）工法と呼ばれる硬練りコンクリートを振動ローラーで敷延ばすことによって効率的な施工を可能とする工法や、これに用いるコンクリートの配合設計法に関する研究にも取り組んでいる。ＲＣＣＰについては建設省直轄でモデル事業が実施されている。

⑧道路交通のインテリジェント化技術の開発

現在、道路情報としては、情報板、ラジオ放送、電話案内等が利用されているが、より高度な情報伝達システムとして、路側に設置するビーコンと自動車に搭載する通信機を無線で結び、ナビゲーションのための情報、事故や工事等の道路交通情報を伝える路車間情報システムを開発した。

さらに、路側に設置された連続通信ケーブルと自動車に搭載された通信機の間で無線により情報交換を行い、自動車の直近で発生した事故を警告する機能、走行速度に対応して車間距離が短いことを警告する機能などを有する次世代道路交通システムを開発している（写真－6.2.7.5参照）。



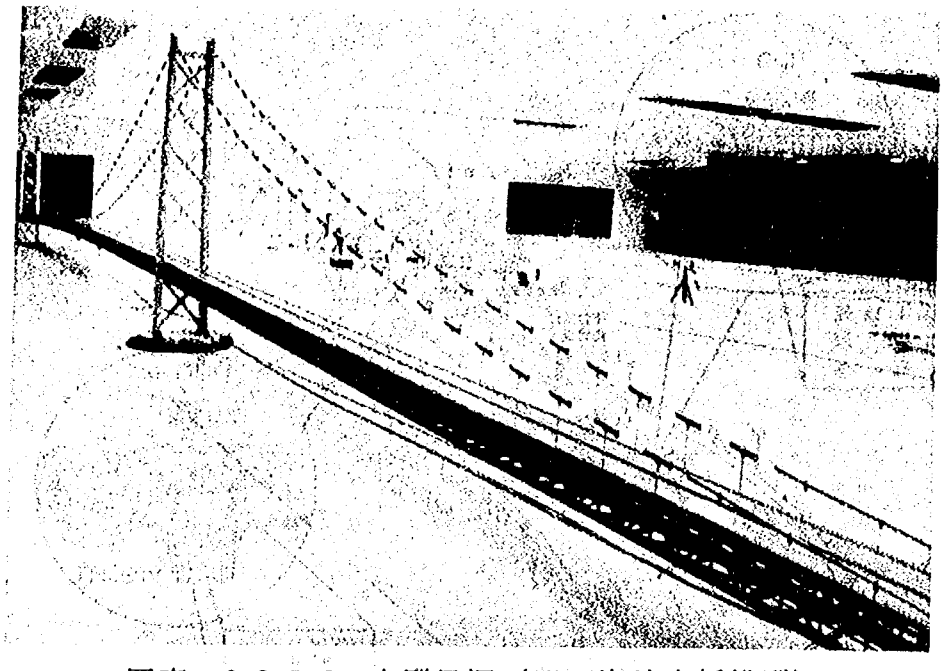
写真－6.2.7.5　次世代道路交通システム

⑨地下空間の利用技術に関する研究

大都市はもちろん中都市にまで及ぶ人口集中の問題、さらなる都市域での公共施設設置の要求、地価の異常な高騰等の問題解決には、都市の地下空間の有効利用を図ることが必要である。土木研究所では地下空間の利用方法、既存地下施設の設置状況の調査手法、設計・施工および環境対策技術の開発、地下物流施設に関する研究、防災に関する研究、環境制御技術に関する研究を実施している。

⑩超長大橋梁の設計施工方法に関する研究

本州四国連絡橋のひとつである明石海峡大橋は、主径間1,990m、橋長約4,000mの吊橋である。完成後にはイギリスのハンバー橋を抜いて世界一の吊橋となる予定である。土木研究所では幅41m、高さ4mの方形断面、吸い込み形式の大型風洞に1/100の縮尺で作成された明石海峡大橋の三次元模型を設置して（写真－6.2.7.6参照）、完成後および施工途中の橋梁に様々な方向より風をあてる実験を実施し、橋梁の安全上問題となる振動を抑える方法について検討している。この研究成果は、橋梁の設計・施工時に様々な形で活かされる予定である。



写真－6.2.7.6　大型風洞（明石海峡大橋模型）

⑪災害情報システムに関する研究

地震、豪雨等広域災害時における被害の拡大防止、被災地域の復旧等の効率化を図るため、被災情報の収集、伝達を一連のシステム技術として開発することが求められている。土木研究所では、大規模、広域的な震災が大都市域に生じた場合に、ヘリコプター等を用いて施設管理者が必要とする情報を迅速に提供することを目指して震災復旧計画作成支援システムの開発に取り組んでいる。研究の成果は、災害情報システムガイドライン（案）にまとめられている。

⑫建設マネジメントに関する研究

建設産業界全体の活性化を図り、日本の土木技術水準を高めることを目的に、土木研究所では、民間の技術革新に対する意欲を鼓舞するためのマネジメントのあり方、請負工事の積算技術の向上のための研究、海外の積算技術の調査・研究、土木研究所や民間企業で開発された新工法、新材料が実際の工事にスムーズに採用されるようなシステム作りのための研究、土木構造物の標準設計の研究等を実施している。

6．3　社会資本整備技術の発展に果たした土木研究所の役割

土木研究所がわが国の社会資本整備技術の発展にどのような形で貢献をしたかを振り返ってみると、大きく分けて、①先導的研究開発の推進、②人材の育成、③産・官・学の連携の強化、の３つの側面が挙げられる。本項では、この３つの側面から土木研究所がわが国の社会資本整備技術に果たした役割について述べる。

6．3．1　先導的研究開発の推進

第３章で述べたように、わが国の近代土木技術は当初海外から導入され、その後次第に独自の技術が生み出されるに至った。土木研究所は、道路、河川、ダム、砂防、下水道、建設機械・施工、橋梁、耐風耐震、建設マネジメント等、土木事業に直接関わるほとんどの分野において、海外技術の導入の時代から始まって、わが国独自技術形成のための研究開発の大半に関与しているといえる。現在、わが国の土木技術は世界のトップクラスにあるが、その多くが土木研究所の研究成果と関係している。世界に先駆け規定されたアルカリ骨材反応を抑止する材料試験・判定法、上流から海岸までの土砂収支を予測するとともに、河床の砂州の動きまで考慮して立てられるきめの細かな河道計画、狭い土地で高度処理を可能にする下水処理技術、巨大ダムを短期間で構築するＲＣＤ工法、ＳＡＢＯとして世界の共通語にもなっている砂防技術全般、単なる輸送路にとどまらず、最新技術を駆使して機能性・安全性を追求した道路、運転者の負担を軽減するとともに安全性、経済性をも兼ね備えた建設機械、本州四国連絡橋に代表される世界最大クラスの橋梁建設技術、地震多発国でありかつ軟弱地盤上に都市が建設されていることなどから本来はきわめて地震に対して脆弱な環境にありながら、大災害を起こさないことを可能とする耐震技術、実務者の作業を軽減するとともに、設計ミス等を葬り去った自動設計システム等、土木研究所の成果は枚挙にいとまがないほどである。

土木に関わる基礎研究分野においても、土木研究所は大きな役割を果たしている。道路工学、交通工学、水理学、河川工学、土質工学、構造工学、橋梁工学等、土木技術者必修の科目ともいえる学問も、先に述べた一般土木技術と同様の成立ち、すなわち、海外のものを導入し、次第にわが国の地形、地質、気象、土木材料等にマッチするよう改良・改編され、さらに独自の研究が盛り込まれていった過程を有している。土木研究所の研究成果は、このような過程において大量に取り込まれており、これらの書物には土木研究所の名を冠した図面や公式等がしばしば見受けられる。もちろん、土木研究所の開発した最新理論も多々採用されている。基礎研究は大学の仕事と見なされがちであるが、分野によってはその初期において土木研究所がこれらの作業に携わることすらあった。また、土木研究所出身者が大学の教授になって、これらの分野の教科書を執筆している例も少なくない。

さて、これまでは、土木研究所がわが国の土木技術の進歩に関して果たした役割を述べてきたが、ここからは建設省に属する研究機関としての役割について述べてみることにす

る。

まず挙げられるのは、社会が必要とする新たな事業の先導的役割である。土木研究所では、経済、社会問題等の分析、それらの社会問題を解決する新事業の発案、これに関わる技術開発および計画の妥当性の技術的裏付けなどの検討作業を経て新たな土木建設事業の方向性を見いだし、行政機関に提案している。

道路整備や河川改修、ダム建設、砂防事業等、土木事業一般は行政部門が実施しているが、土木研究所はこういった土木事業の技術面をバックアップしている。事業計画そのものの技術的妥当性を判断し、問題があれば指導を加えるほか、事業が進捗するにつれ発生する技術的問題を土木研究所の研究者が逐次現場に出向き技術指導を行なっている。

土木事業を合理的に進めるには、基礎調査から設計、施工に至るまでの各作業が体系化していることが重要である。土木研究所は、研究成果を指針や構造令、マニュアル等に適宜まとめ、さまざまな形で発表している。これらは土木事業を体系化、合理化するのに大いに役だっている。

建設省が計画する土木事業を地元住民に安心して受け入れてもらい、協力を得るためには、住民に建設省の高い技術力を認識しまた信頼してもらうことも重要である。元来、わが国では大学教授等、教育者に対する信奉が非常に強いのであるが、土木研究所の研究者は学会、委員会等に積極的に参加し、研究成果を発表、討論することにより最新の知識の蓄積に努め、また大学と共同研究等を実施することにより、専門的かつ客観的に研究を実施し、建設省の技術水準の高さを社会に報らせ、関係者の信頼を得る役割も果している。

6．3．2　人材の育成

土木研究所の発足当時、土木工学科を置く大学はわが国にはまだ非常に少なかった。その後、土木工学科を積極的に大学に設置しようとの動きが生じたとき、土木研究所の研究者が大学に招かれることが多々あった。こうした先生方は、大学において学問としての土木のワクに留まらず、経済学として、あるいは社会学としての土木の側面をも意識した教育を実践した。このため、土木学科の学生は、土木のもつ多様さ、社会的意義等を認識し、土木に関する興味をより一層増すとともに、責任ある態度で学業に取り組み、その結果わが国では優秀な土木技術者の卵を大量に社会に送り出すことができた。

土木研究所は、建設省内の技術者の直接的な教育にも取り組んでいる。建設省には研修を主務とする建設大学校があり、ここで系統だったカリキュラムにより建設省職員や地方公共団体の職員を総合的に教育しているが、各研修コースの講師として土木研究所の研究者が指導を行なっている。また、土木研究所内における若手技術者の教育については、所内研修など短期集中的な教育を実施しているが、中心としているのはOn-the-Jobトレーニング（ＯＪＴ）である。

現在、積極的に行なわれている行政担当者と研究者との人事交流も、技術教育と結びつ

いている。土木研究所は、一般的に経験と熟練を必要とする基礎的、専門的研究の分野と、例えば共同研究や総合研究開発プロジェクトなど、行政的な経験が大いに求められる分野の研究にも積極的に取り組んでいる。行政担当者は土木研究所で研究業務の経験を積み最新の技術に触れることができ、かつ、指針やマニュアル等の編集過程における根元的なところを学ぶことができるので、これらの応用的な利用方法を身につけることができる。一方、土木研究所の研究者にとっても、建設行政の一部を担当することにより現場で現在何が問題で何が話題に上っているのか、建設省の研究者として何に取り組まなければならないのか、研究成果がどのように行政の現場に反映されているのかなどの問題意識を常に行政から学ぶことができる。

6．3．3　産・官・学の連携の強化

わが国において、大学は基礎的・学究的研究を、民間企業は現場に直接役立つ研究を（自社の技術として）実施するのが一般的傾向であるが、土木研究所は、この両面を兼ね備える、いわば大学と民間企業の中間的な位置にある。したがって、土木研究所は大学と民間企業と共につながりが深く、研究を共同で進めていることも少なくない。このような立場にあることから、土木研究所は、大学と民間企業の研究開発上の特徴を把握し、それぞれの長所をうまく利用し、総合的に土木技術の発展に貢献するオーガナイザーとしての役割も重要な業務の一つと考えられている。

（1）大学への情報提供及び共同研究の実施

一般的に、わが国の大学は特定の研究に集中できる環境にある反面、土木の実務の場で何が問題となっているかが判りにくいとの特徴を有している。また、高い研究能力を有しているものの、研究費や施設の面では土木研究所をはじめとする国立研究所や民間企業の研究所に比べ著しく劣る傾向にある。

土木研究所は、土木学会をはじめとする各種学会等の活動に積極的に参加するほか、研究集会等、研究成果を発表する場に出席し、現場での現在の問題や必要とされる研究開発に関する論文を発表したり、討議に参加することによって、事業現場では何が望まれているかを広く知らしめている。こうした情報は、大学の研究の参考となっている。また、大学と共同研究を実施することによって、大学および土木研究所の利点、すなわち大学の解析力と土木研究所の実証力を活かして、それぞれ単独では成し得ない高度な研究を可能にしている。

（2）民間企業との連携

土木研究所の民間企業との連携の歴史は深いが、直接的な関わりは昭和39年（1964年）の建設機械化協会の設立に始まる。建設機械化協会では官民の協力のもとに積極的に機械

化施工に取り組んでいる。

近年の公共事業量の増大に伴い、建設事業における施工技術等、現場に密着した技術の開発は民間企業にまかされる部分が増加している。今後もこの傾向は続くとみられ、特に施工に直接結びついた応用分野での技術開発は民間企業に期待されるところが大きい。

わが国の民間企業は大学や国立研究所に比べ基礎研究の蓄積がなされにくいこと、研究施設や試験施工等の機会に恵まれない反面、その営利性ゆえに個々の企業は他に類型を見ない懐刀というべき独特の技術を有している場合が多い。しかもそれらの技術はその営利性を保持すべく秘密扱いされるのがふつうである。土木研究所ではこれらの技術をわが国全体の土木技術の発展に役立てるべく、さまざまな制度を準備して民間企業の研究開発の活性化を促している。土木研究所との共同研究を実施するための規定を定めた制度と、民間企業の開発した技術の普及を目指した評価制度である。すなわち、共同研究のための制度としては、総合技術開発プロジェクト、共同研究制度、官民連帯共同研究制度、部外研究員制度が、さらに、評価・技術普及のための制度としては建設技術評価制度、建設省技術活用パイロット事業等が挙げられる（制度の詳細については３．３．６を参照のこと）。

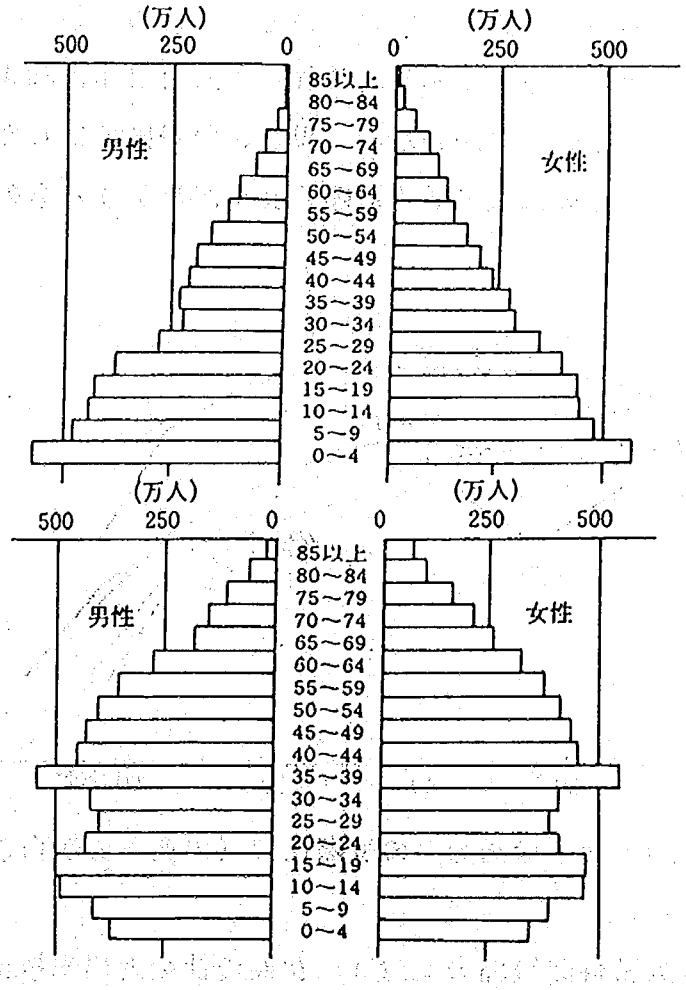
６．４　今後の経済社会の動向と土木研究所の展望

６．４．１　今後の経済社会の動向

今後のわが国の経済社会の動向は、高齢化の急速な進展、労働者不足と女性の社会進出、情報化社会への変化、ゆとり重視の時代、環境問題への対応、省資源・省エネルギー対策、都市問題への取り組み、国際化の要請、などの言葉に表わされていると考えられる。本項では、これらについて、細かく見てみることにする。

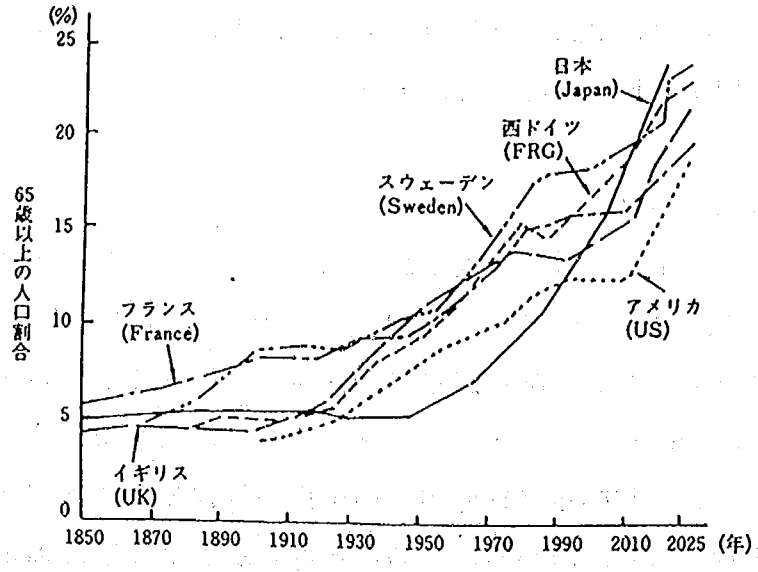
（１）高齢化の進展と労働力不足

わが国では、一家庭の平均子供人数が２人未満で、かつ世界でもトップの長寿国であって典型的な少産少死型国家となった。図－6.4.1.1は昭和25年（1950年）及び昭和63年（1988年）の人口ピラミッドである。昭和25年（1950年）にピラミッドの底辺で、最も多人数である子供の世代が昭和63年（1988年）にはその数をほとんど減じることなく中年の世代にシフトしていること、昭和63年（1988年）の子供の世代の人口は昭和25年（1950年）のそれと比べて大幅に少ないことがわかる。このことはわが国が今後高齢化社会を迎えることを表わしている。



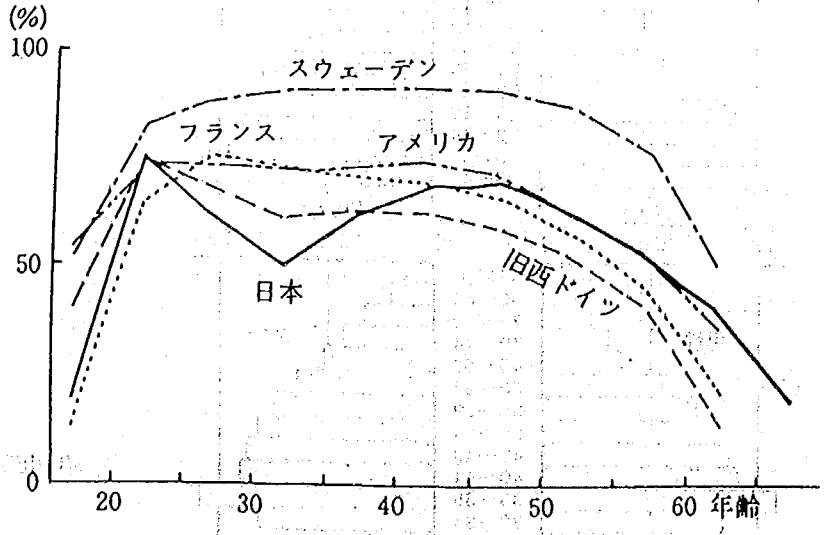
図－6.4.1.1　階層別人口（出典：土木工学ハンドブック）

つぎに高齢化の速度に注目してみる。図－6.4.1.2は主要先進国の65才以上人口の割合の推移を表わしたものである。高齢化は先進国の共通の問題と言えるが、わが国の高齢化への移行速度は先進諸国のなかでも異例の速さといえる。労働力の確保の面からいえばこれは大きなマイナス要因である。



図－6.4.1.2　主要先進国の65才以上人口の割合の推移（出典：全予測90年代の日本）

もちろん、プラス要因もある。それは女性の社会進出である。図－6.4.1.3は世界各国の女子労働力率を年齢ごとに示したものである。これによると日本は30才過ぎの女子が子育て等であまり仕事を持っていないことがわかる。現在、わが国では女性の社会進出のための土壌が育ちつつあるので、今後は欧米並みに働く女子が増加するものと見られる。



図－6.4.1.3　女子労働力率の国際比較（出典：労働白書）

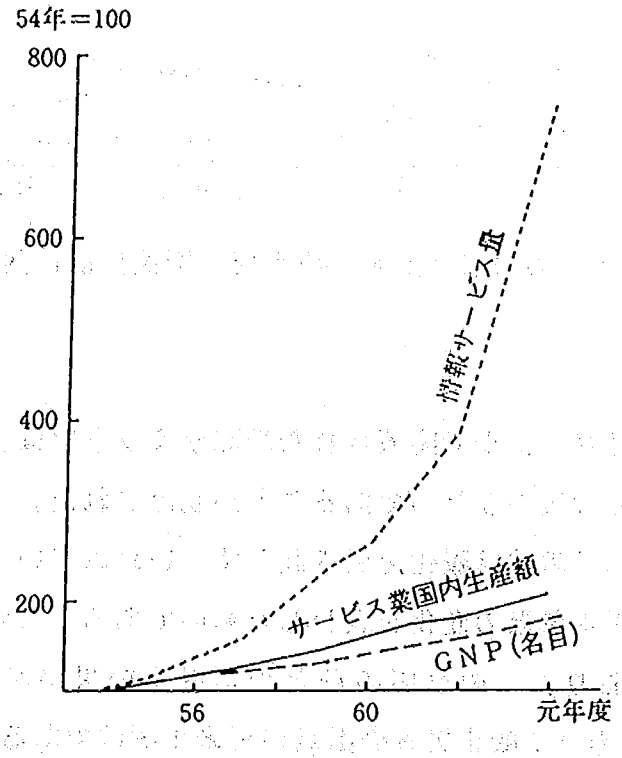
しかし、国内外からの労働時間短縮の要請は、女性の社会進出や技術革新による労力の軽減、定年の引き上げ等の労働力の質・量の増加を勘案してもなお労働力の不足をもたら

すものと予測される。労働省のインパクト分析によれば、1,900時間体制（完全週休二日制）が採用されると、雇用は現在（約2,000時間体制）に比べて約54万人増、1,800時間体制では約79万人の雇用を必要とするから、平成12年（2000年）には160万人の不足、生産性の向上を入れても100万人の不足が生じると見られる。

（2）情報化社会への変化

情報の重要性は年々増すばかりである。民間企業は生産部門、販売部門ともに最新のコンピューターシステムを連携させた情報ネットワークの構築・整備に力を注いでいる。近年ではこうした動向をさらに推進する新手の情報産業であるデータベース産業、システム・インテグレート産業等も急速に伸びている。図－6.4.1.4はわが国の情報サービス業の年間売上高の推移を示したものである。これによれば、情報サービス業はＧＮＰを上回る伸び率を示しており、情報化社会への変化が進んでいることを裏付けている。

情報化の進展は、顧客サービス、商品販売、流通、輸送等、各分野の合理化・省力化を促し、社会生活のすべてに大きな影響を与えることになる。



図－6.4.1.4　情報サービス業の年間売上高の推移

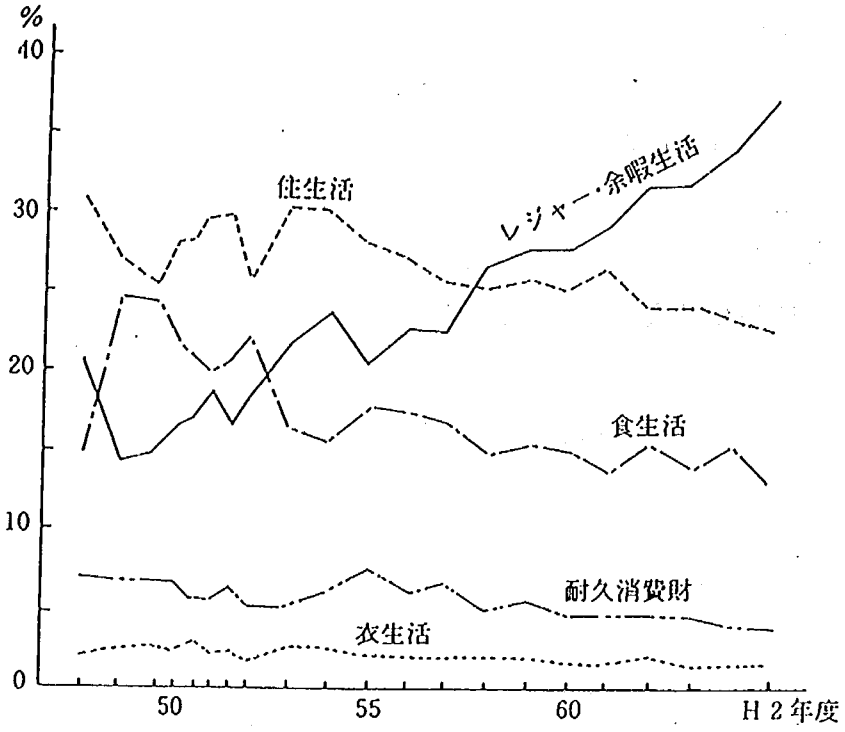
（出典：通商産業省「平成元年特定サービス産業実態調査報告書情報サービス業績」）

（3）ゆとり重視の時代

わが国は今や世界でも一人当り所得水準の最も高い国の一つとなった。しかし、豊かさを実感できる人は少ない。これは地価の高さ等に起因する住宅の狭さ、通勤時間の長さや、労働時間の長さ、道路・公園等の整備不足等、生活環境の貧困などによるところが大きい。

こうしたことから、国民の生活の指向が次第に変化してきている。

図－6.4.1.5は、今後の生活の力点になにを置くかという世論調査の結果を示したものである。これによれば、昭和50年代（1975年～1984年）の後半から急速にレジャー、余暇生活重視型の考え方に移行しつつあることがわかる。この結果は、わが国がゆとり重視型時代へ転換しつつあることを物語っているといえる。



図－6.4.1.5　今後の生活の力点（出典：総理府「国民生活に関する世調査」）

（4）環境問題

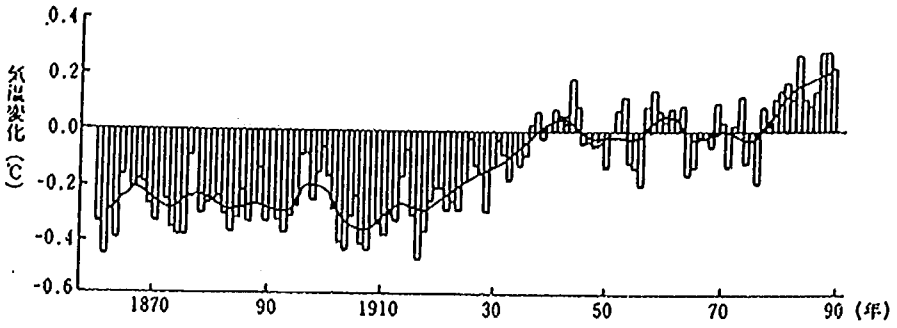
平成４年（1992年）６月ブラジルで開催された地球サミットでは、持続可能な開発という概念が今後の重要な世界政策のひとつであることが認識された。

二酸化炭素の多量な排出は地球温暖化を引き起こすといわれている。図－6.4.1.6は、1861年～1989年の全地球平均気温の変化を表わしたものである。これによれば過去100年間に0.3～0.6℃上昇しており、この原因のひとつに温室効果が挙げられている。図－6.4.1.7は、地域別の一人当り二酸化炭素排出量の将来予測例である。二酸化炭素排出量は増加の一途をたどっていること、その絶対量は先進諸国が多いことがわかる。化石エネルギーが枯渇しつつあることを合わせ考えると、太陽エネルギーや風力エネルギー、波力エネルギー等のクリーンなエネルギー供給システム、省エネ型の技術開発が求められる。

地球温暖化の進行は海面上昇や異常気象をもたらす可能性がある。この場合、既存の海岸、河川、ダム、砂防等の防災施設の機能低下が懸念される。

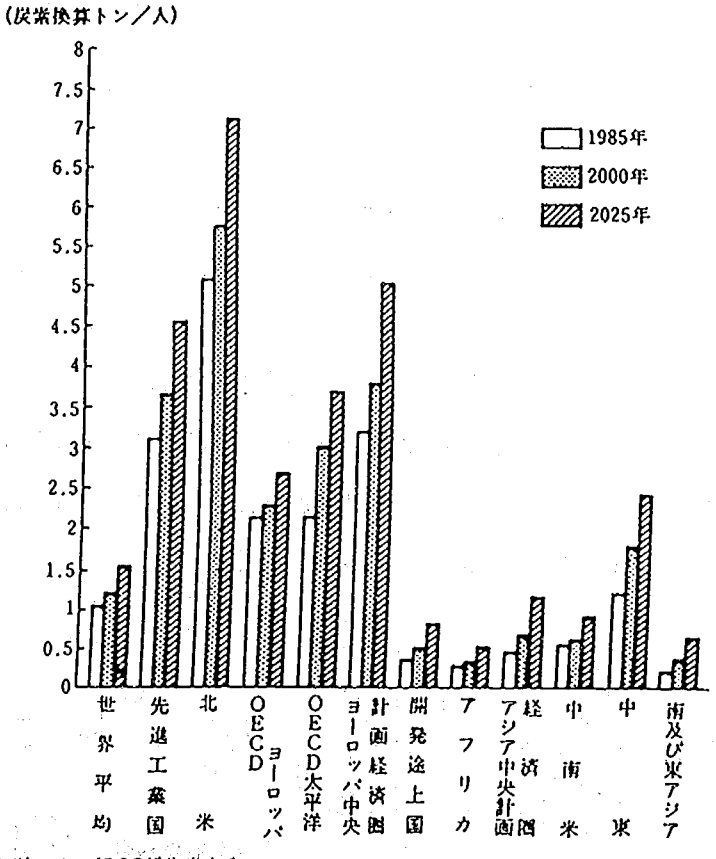
フロンガスの放出によるオゾン層の破壊は、生体に悪影響を与える紫外線の通過量を増大させると言われており、皮膚ガンや白内障など人体への影響、さらには生態系への影響

が懸念される。



（備考） 1．IPCC報告書より。
2．1861～1989年の陸上気温と海上気温を総合した全球平均気温の変化。1951～1980年の平均値に対する偏差で示す。

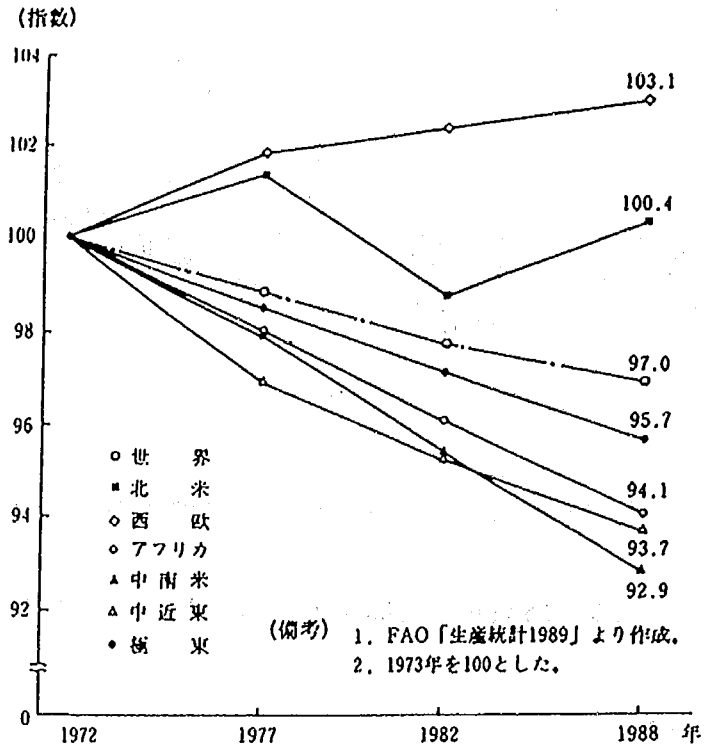
図－6.4.1.6　1861年～1989年の全球平均気温の変化



（備考） 1．IPCC報告書より。
2．エネルギー起源の二酸化炭素排出量のみ。

図－6.4.1.7　地域別の一人当たり二酸化炭素排出量の将来予測例

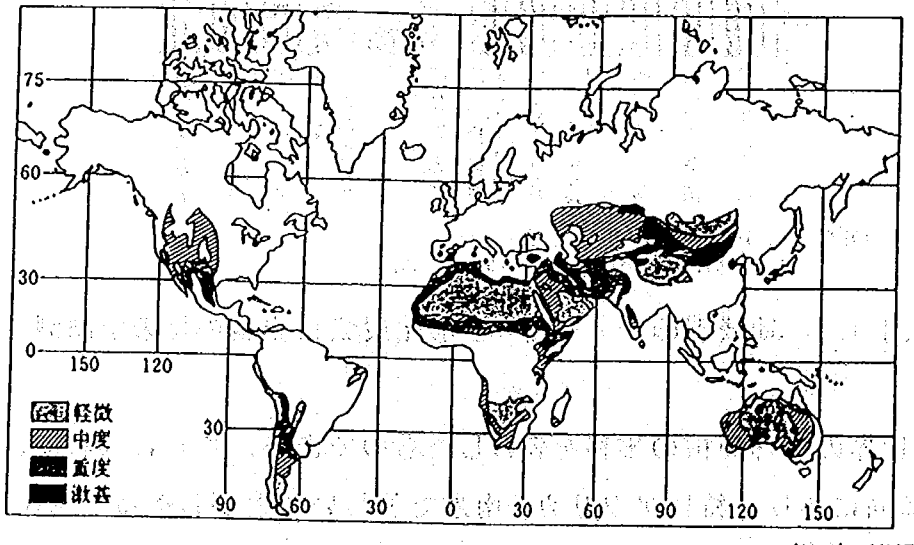
・図－6.4.1.8は世界の森林面積の推移を表わしたものである。これによれば、世界全体の森林は激減する傾向にあり、特にアフリカ、南米で著しいことがわかる。現在、ＦＡＯは世界森林資源評価調査に取り組んでおり、平成２年（1990）年９月の中間報告は、昭和56年（1981年）の調査で予測された倍以上の速度で熱帯林が減少し続けてきたと警告している。



図－6.4.1.8　世界の森林面積の推移

図－6.4.1.9は昭和59年（1884年）の国連砂漠化防止会議での資料で、砂漠化の状況を示したものである。これによれば、アメリカ南部、南米東部、アフリカ北部、アジア中西部、オーストラリア全域で砂漠化が目だつ状況にある。

地球規模での環境問題と同様、日常生活レベルでの環境問題も重要な課題である。近年、下水道整備、日常生活で利用する道路の整備、都市内の緑化・景観向上、魅力あふれる河川環境の整備、生態系の保全、建設廃棄物の処理・再生利用等、快適な生活空間を実現するためのニーズが国民及び社会から強く打ち出されている。



(備考)　UNEP資料（1984年）より作成。

図－6.4.1.9　地域別の砂漠化の状況

（５）都市問題

例えば東京の汐留・虎ノ門を結ぶ環状２号線は、建設費が20億円であるのに対し、土地代が9,000億円になるとの報告がある（牧野昇：「全予測90年代の日本」）。東京等大都市への人口、都市機能集中が今後も進む可能性は高い。この場合、交通渋滞の悪化による都市機能の麻痺や、環境問題、防災上の問題等は現在以上に深刻なものとなる。

現在、第４次全国総合開発計画に基づき地方拠点都市の整備が進められている。地域住民が広域的な生活・文化サービスを受け、豊かな日常生活を可能とするような地方都市の効率的整備、地方都市間の運輸・交通網等の社会資本整備が今後地方都市に人をひきつける鍵になると考えられる。

（６）わが国の経済社会の国際化への要請

わが国の経済社会を海外に開かれたものにするという国際化への要請、例えば商習慣等を国際的なものに改め外国企業が参入しやすくする、技術大国であるわが国に対して研究、技術情報の公開を求める、地方都市において国際機能を充実させるとともに都市間ネットワークの整備を求める等の要望が大きくなってきている。

６．４．２　研究の基本理念

土木研究所のように、経済・社会の幅広いニーズに対応して研究を進めていると、取り扱う課題の特殊性、専門性ゆえにややもすると研究の方向性を見失う場合もある。土木研究所では、時代の変化に応じて研究の共通理念を持つことが重要であると考えている。わが国の経済・社会の今後の動向に対応し、現在および将来、次のような基本理念を掲げたうえで土木研究所の研究開発を進めることが必要であると認識される。

（１）社会資本整備に対する多様なニーズに応える研究開発

国民の社会資本に対するニーズは多様化・高度化している。これに応えるため、きめ細かい国土建設、防災、生活空間の形成技術に関する研究開発が必要である。

（２）利用者の立場に立った研究開発

国民に利用しやすい公共施設の提供に貢献すること、建設現場や企業などに適用しやすい技術となることを念頭におき研究開発を進める必要がある。

（３）環境に配慮した研究開発

社会資本の整備にあたっては、貴重な自然を生かしつつ、自然環境や生態系に対する影響を極力抑え、美しい環境を創造するとともに、建設後もよりよい環境が保たれることが必要である。したがって、環境との調和、共存を可能とする建設技術の開発を推進する。

（4）国際的に普遍性を持った研究開発

世界の中でわが国の占める位置は大きくなっている。特に経済と科学技術の分野でその傾向は著しく、土木技術に対する海外からの研究協力や技術指導の要請は増加する一方である。土木研究所の研究開発の成果は世界共有物であるとの認識をもって、世界のあらゆる所で利用できるような国際的に普遍性を持った技術の研究開発を進める必要がある。

（5）わが国独自の技術の研究開発

わが国の厳しい自然条件を克服し、かつ変革する経済社会のニーズに対応した社会資本整備を進めていくためには、世界的にも先例のない研究開発が必要となってくる。土木研究所では、産、学との連携を保ちつつ、積み重ねられた経験を活かして独自技術の研究開発を推進する。

（6）景観、機能、耐久性に優れた社会資本を整備するための研究開発

例えばローマ時代の水道橋は、景観、機能、耐久性いずれにおいても優れているため、数世紀にわたって利用され、今では歴史的遺産として残っている。土木研究所では、わが国においても歴史的遺産として後世に残せるような景観、機能、耐久性それぞれに優れた構造物の建設に関する技術開発を進める。

6．4．3　研究開発の主要分野

今後の経済・社会の動向を踏まえ、研究の基本理念のもと、土木研究所として今後取り組んで行かなければならない研究の主要分野は以下のとおりであると考えている。

（1）国土の高度利用の推進

わが国のさらなる発展を促すためには、国土の均衡ある発展を推進し、多極分散型の国土を形成しなければならない。これには、新たな国土軸の整備及び戦略的な地方拠点都市整備が必要とされている。新しい規格の高速道路、海峡を横断する長大橋梁、長大トンネルは新たな国土軸形成のために必要であり、これらの計画、設計、施工方法に関する研究を一層推進する。さらに、国土軸を中心として広がるネットワークとして、地方拠点都市間を連絡する道路、地域住民の生活の利便性に直接影響する小規模道路等の整備の考え方についても研究する。

大都市の人口集中や地価高騰に起因する職・住間の遠隔化は、通勤時間の増大をもたらし、生活に豊かさが感じられない大きな理由となっている。大都市問題の抜本的な対策には、地価の下落と安定、適正な都市計画の設定、優良な宅地の供給、道路や地下鉄の整備などの長期的な取り組みを必要とする。大都市地域の社会資本整備にあたっては、大深度地下空間の開発利用が非常に有効であると考えられ、これに関する研究を推進する。

近年、渇水により取水制限がひかれるなどの問題が頻発しているが、例え小規模な水不足であっても大都市等の社会経済活動には深刻な影響を与える。これらの早急な解決のためには新しい水資源開発の方策、水供給システム等の研究開発に取り組むことが必要である。

（2）安全に暮らせる基盤づくり

地震、洪水、火砕流等の自然災害の防除は、国土保全の基本であり、土木研究所においても従前からも主要な課題として研究開発を推し進めてきた。近年では特に都市防災が重要なテーマとなっている。わが国の大都市はきわめて高度に発展、拡大し、多様な機能を有しているので、災害等が発生すると、わが国の経済、社会等に甚大な影響を与えることになる。

大都市近郊を流れる河川に対しては、例え計画を上回る大洪水が発生しても災害を最小限にくい止める工夫、例えばスーパー堤防のように洪水が越流しても破堤しない堤防づくりが必要である。土木研究所では、超過洪水を考慮した河川防災技術の開発を促進する。

軟弱地盤上にあるわが国の大都市の地震対策には、橋梁、道路等に対する個別の震災の予測および対策技術とともに、避難や復旧技術に関するソフトな研究開発、さらには多少の被害では都市機能を低下させないような面的な交通・運輸及び通信施設の震災対策及び整備のあり方についての研究開発が重要となると考えられる。

交通事故等の問題には、従来通り多面的な安全対策に取り組むのに加え、交通弱者と呼ばれる高齢者や障害者にも安全な交通を確保するための研究を行う。

（3）環境と共生する社会の建設

地球環境問題の解決はいまや人類共通の課題である。経済大国であるわが国は率先してこの問題に取り組んでいかなければならない。土木研究所では、省資源・省エネルギーに配慮した社会資本整備のあり方、都市活動の地球温暖化への影響の把握、地球温暖化が気候に与える影響の把握、気候変動に伴う災害の予測と防除等に関する研究を推進する。

乱伐採による熱帯林の消失は、地球規模の生態系の破壊や緑地の砂漠化、異常気象をもたらす恐れがあり、その保全技術についての研究を実施する。

建設副産物の廃棄は、廃棄場所の確保の難しさや身近な環境汚染の誘発の可能性など、いくつかの問題を抱えている。そのため、建設副産物を資源化し再利用する方法やその経済効果等に関する技術開発を推進する。

国民に真の豊かさを実感してもらうためには、よりよい生活環境を創造する必要がある。土木研究所では、魅力あふれる河川や海岸環境の整備、生態系の保全、下水道や日常生活に利用する道路の整備、緑化や景観形成技術、あるいは社会資本整備が環境に与える影響の評価手法、環境に関するデータベースの作成およびその活用に関する研究を実施する。

（4）合理化、安全性の向上を図る施工技術の開発

熟練労働者の不足や高齢化が進み、建設工事における合理化、省力化、および安全性の向上が重大な課題となっている。機械化、プレハブ化技術あるいは合理化を図るための設計法の開発、事前に現場の状況を画面上に再現し工事の設計や施工に反映させる技術、非熟練工あるいは女性労働者でも安全に施工できる建設機械や施工技術の研究開発が必要である。低公害型・省エネルギー型の建設機械の開発や施工技術の革新は、環境問題への貢献も期待される。

（5）あらゆる分野の成果を活用した土木用新材料の開発

構造物の長期供用化、メンテナンスフリー化の動向は、土木材料のさらなる耐久性向上を要求している。その一方で、土木史上例を見ない巨大プロジェクト計画は、設計荷重の増加をもたらしている。従来の土木材料に勝る耐久性や強度を有する新材料を見い出すことができれば、将来の土木構造物の合理的、経済的な設計、施工、管理、あるいはさらなる大型化が可能となる。近年、電気・通信技術、ロボット技術、遺伝子工学、生命科学、有機化学等の分野での技術の進歩は目ざましいものがある。こうした成果は、土木材料分野に十分応用可能であると考えられ、土木研究所では、土木新材料の発掘に今後も積極的に取り組んでゆく。

また、土、岩、コンクリート、アスファルト、鋼材等、従来から土木材料として用いられているものについても、現在までに蓄えられた新しい知見を駆使して材料特性をより深く解明し、一層の高度利用を可能にする研究開発を行なう。

（6）メンテナンスフリーを目指した維持管理手法の向上

将来、建設労働者は質・量共に減少することが予想され、土木構造物のライフサイクルコストの低減やメンテナンスフリー化は重要な課題となる。このためには、耐久性の高い土木構造物の建設方法の開発はもちろん、補強方法、点検手法、破損箇所の評価手法及び補修工法等の研究を推進する必要がある。

（7）社会資本の有効利用の推進

急速に高齢化社会を迎えつつあるわが国において、暮らしの豊かさを実現するためにも、また限りある社会資本を有効に利用するためにも近年著しく進行している経済社会の高度情報化に適切に対応して社会資本を整備することが求められている。このため、これまで建設分野で利用されることが少なかった情報通信のような異分野の先端技術を導入・活用して、一層の建設事業の高度化、効率化を図るための研究や社会資本の高付加価値化を図るための研究を行う。

例えば、道路と自動車の間の情報通信によって、渋滞を避け、交通安全の向上を図る自動運転システムや交通需要管理等の社会資本を有効利用するための研究開発を推進する必要がある。

（8）総合的、合理的建設マネジメント技術の確立

新工法、新材料の活用を推進し、施工の合理化・省人化を図るためには、建設マネジメント技術の向上が必要である。土木研究所では、わが国の建設分野における官民体系を考慮しつつ、新技術の導入を促す積算体系作り、適正かつ迅速な積算技術の開発、新技術の普及のためのシステム作り、計画、調査、設計、施工、維持管理という一連の建設事業の合理的実施を目指した建設マネジメントの方法に関する研究を進める。

（9）グローバルな視点に立った国際研究協力の推進

わが国の一層の国際化が強く要求されるなかで、今後は、「世界のなかの日本」を意識した研究への取り組みがよりいっそう必要とされるであろう。

内外からの基礎研究の重点化の要求に答え、わが国独自の技術開発を推進し、国際研究協力や技術援助を通じてその成果を世界に向かって公開していくことが重要である。

地球温暖化に伴う気象変化や降雨現象の変化、森林と流出の関係など、環境問題に関する研究を進めるためには国際的な研究協力が必要である。土木研究所では、国際研究協力体制の整備を進めるとともに、対象を世界規模に拡大した研究を推進する。

今後国づくりの基礎として社会資本整備が必要となる地域との技術協力のために、対象地域の特性に合った国土利用、道路網整備、水資源開発、環境、防災等に関する研究を推進する。さらには技術移転手法そのものを対象とした研究等を実施する。

6．4．4　組織的な研究の推進

土木研究所の今後の取り組み体制について以下に述べる。

（1）研究マネジメントの充実

①研究の計画的な推進

経済社会の複雑化、多様化が進むにつれて、大規模な研究体制、研究期間の長期化が必要となってきた。このような状況下で研究を合理的に進めるには、綿密な研究計画を立てる必要がある。

「土木研究所５ケ年研究計画」は、建設大臣の諮問により建設技術開発会議が発表した「建設技術研究開発の長期的方向」および「建設技術研究開発の長期展望」との整合を取りながら、向こう５年間の研究課題と実施期間を、経済社会の要請に基づく大きなテーマごとにまとめたものである。これにより、研究者は現在取り組んでいる研究課題が大テー

マのどの部分を受け持っているのかを知り、進むべき方向を認識することができる。

しかし、現在の経済社会情勢の変化は著しく、5年の間には国民のニーズや建設省全体の技術開発に関する施策方針も変化し、５ケ年研究計画も修正の必要が生じる可能性がある。したがって、例えば中間年には研究課題、期間、時期等の見直しを行なうなど、５ケ年研究計画の実施には柔軟性を持たせることが重要である。

②予算の確保

研究の効率的な運営のためには、十分な予算を確保する必要がある。経済不況はまず第一に研究開発費を削減する。一般会計での研究費の増大は厳しいシーリングにより困難な状況が今後も続くとみられ、特別会計、あるいは測量試験費の増大を図る必要がある。他の国立研究所、民間企業など、外部機関と連携することも効率的な研究のためには有効である。

③研究しやすい体制つくり

組織や人員を増大したり、再編成して、経済、社会の変化に柔軟に対応することは、研究の効率性を高めるうえで重要である。

研究開発の最大の推進力は、研究者の興味から生み出される。特に基礎科学分野での新たな発見は、研究者の汗と失敗の積み重ねがあって初めて浮かぶ洞察とアイディアが生み出すものである。研究者の自由な発想を促し重要な成果を残すためには、失敗を恐れず、ノルマに追われないで取り組むことのできる研究課題、予算、時間を確保することも重要である。

（２）外部機関との連携による研究の推進

①役割の分担

短期間のうちに解答を出さなければならない研究課題や、土木以外の分野にまたがる課題に対しては、土木研究所単独で研究を進めるよりも、他機関と連携し、それぞれが得意分野を担当するほうが効率的に解答を導くことができる。

近年、民間企業の研究所が特に応用技術の部門で実力を付けるとともに、大学の基礎研究への取り組み体制が整備され、産・官・学の色分けがはっきりしてきた。基礎研究にも応用技術開発にも取り組んでいる土木研究所は、大学と民間企業の仲立ちの位置にある。産・学と連携して、わが国の土木技術の研究開発の方向性を示したり、共同研究の課題について調整することは土木研究所の重要な任務となろう。こうした連携による研究の推進は、産・官・学の長所を活かし、わが国全体の技術力の向上にも大いに役立つので、土木研究所では連携体制での研究を積極的に推進していく。

②制度の整備

産・官・学の組織的研究を推進していくためには、制度面の整備も必要である。現在、大学との間では人材の交流、共同研究が、産業界との間では共同研究、研究員の受け入れ、技術評価制度等があり、それぞれ重要な成果を生み出しているが、さらなる連携の強化のためには制度等の改善も必要である。大学との連携についてはより一層の流動性を高めるような、また産業界との連携については民間側にもインセンティブを与え、研究開発の意欲を鼓舞するような制度が求められている。

（3）国際研究協力の推進

平成６年度（1994年度）現在、土木研究所で行なわれている国際研究協力について紹介すると、定期的に国際会議を開催している国際研究協力課題は、

・アジア地域土木研究所長等会議
・天然資源の開発利用に関する日米会議（ＵＪＮＲ）耐風耐震構造専門部会
・日米下水処理技術委員会
・水文、水資源及び地球気候変化に関する日米委員会
・道路科学技術に関する日米委員会
・日独排水及びスラッジ処理に関するワークショップ
・日加寒冷地舗装会議

の７つである。ＵＪＮＲは平成５年度（1993年）には記念すべき第25回の専門部会が日本において開催された。また、ＵＪＮＲは耐風耐震構造専門部会の下に作業部会がいくつもあり、それらは独自で国際会議を開いている。

平成５年度（1993年度）の国際研究協力の実績は次の通りである（詳細については、６．６を参照のこと）。

二国間研究協力は、アメリカ、中国、カナダ、オーストラリア、韓国、イタリア、スウェーデン、ノルウェー、イギリス、ドイツ、フランスとの間で35件、アジア地域土木研究所長等会議、経済開発協力機構（ＯＥＣＤ）国際道路輸送研究計画等の多国間研究協力が10件ある。

土木研究所職員の海外への派遣件数は、会議等への出席を目的としたものが88件、国際協力事業団（ＪＩＣＡ）の依頼による専門家派遣が45件、留学が８件である。

海外からの土木研究所見学件数は52件（318人）、海外技術者の受け入れ人数は、集団研修が159人、個別研修が39人である。

このような近年の国際化の動向のなか、開発途上国や東ヨーロッパの経済体制移行国の社会資本整備への支援、地球環境問題、グローバルスーパープロジェクト等地域協力案件が

次々と出現している。こうした案件には、世界規模での連携研究が必要である。土木研究所はわが国の土木技術に関する研究情報の発信基地としての役割を果たすとともに、海外の研究機関にも研究の連携を求め、情報ネットワークを形成する。

6．5　まとめ

第６章の「わが国の土木技術の発展における土木研究所の役割」をまとめると以下のとおりである。

（１）土木研究所の活動と役割

① 第一次世界大戦後の科学技術重視の国策の下に、わが国唯一の土木技術分野の国立試験研究機関として、大正11年（1922年）現在の建設省土木研究所の前身である内務省土木試験所が設立された。以来今日まで70年を越える歴史の中で、社会資本整備の広範な分野で経済社会のニーズに合わせ、あるいはニーズを先取りしながら、基礎研究や応用研究を実施し、わが国独自技術の開発や欧米先進技術の導入と摘用に務めてきた。

② 土木試験所の設立時は当時の先進技術であった瀝青材等道路材料に関する研究、関東大震災の災害調査や耐震技術の研究が行われ、大きな成果を挙げた。その後河川改修が活発化するにつれ水理研究施設も作られ河川、堰、水門の研究が始められた。第二次世界大戦中は研究は停滞し、軍事目的の研究を強いられることもあった。

③ 終戦後、毎年のように襲った台風や地震によりわが国は甚大な被害を受け、土木研究所では河川の復旧、改修のための研究が行われた。昭和30年代（1955～1964年）からわが国は経済の高度成長が始まり、近代的道路整備が開始され、道路に関する研究、本州四国連絡橋の調査、研究が新設の千葉支所を中心に強力に推進された。昭和34年（1959年）には伊勢湾台風が襲い、死者・行方不明者およそ5,000人に及ぶ高潮災害をひきおこし、そのため海岸、河川の研究がさらに進められた。昭和39年（1964年）には、新潟地震が発生し、それを契機に液状化に関する研究、強震計の計画的設置が始まった。

④ 昭和40年代（1965～1974年）はわが国経済の高度成長のひずみが表面化し、イタイイタイ病や水俣病、大気汚染、騒音等の公害問題の発生と交通事故の多発や交通渋滞等交通問題の日常化が問題となった。また都市の人口の爆発的増加、農・漁村で過疎化が問題となった時代でもあった。

土木研究所ではこれらの緊急の課題に取り組むため、多くの新しい研究室が設置された。離岸堤の開発、水質に関する研究、交通事故に関する研究等が開始されている。昭和54年（1979年）土木研究所はつくば学園都市の整備とともにつくば市へ移転した。移転に伴ない６ヶ所に分かれていた本所・支所等は統合され、広大な敷地に最新式の実験施設が整備され、次の飛躍の基盤となった。組織も充実され、30余名でスタートした土木研究所も500名に近い大組織に成長した。アルカリ骨材反応の研究やＲＣＤ工法の開発、道路トンネルの換気方式の開発、軟弱地盤改良方法の開発等研究水準は欧米の最先端に肩を並べ、わが国独自技術を次々に生み出した。

⑤ 東西冷戦構造の終結、民族主義の台頭等不安定な世界情勢とともに、55年体制の終焉による不安定な政治、バブル経済崩壊後を模索する経済状況等わが国の経済社会情勢は

現在一大転機を迎えている。わが国の社会資本整備は本州四国連絡橋３ルート、東京湾横断道も今世紀中には完成し、大プロジェクト建設はひとつの転換点を迎えており、社会的には地球的規模から身近かな環境までのいわゆる環境問題への対応、ゆとりのある生活への希求が基調となってきた。

こうした時代の動き、経済社会のニーズに対応し、研究体制の整備、充実を図るため土木研究所では平成３年（1991年）積算技術研究センターを設置するとともに、平成５年（1993年）環境部の新設と材料施工部、地震防災部の構成変更など各研究室の編成替えを含む組織改編を行った。代表的な研究は環境問題への取り組みを示す種々の研究、維持更新技術の研究、バイオ利用の下水処理の研究、火砕流に関する研究、道路のインテリジェント化技術の開発、地下空間利用技術の開発、超長大橋の設計施工に関する研究、建設マネジメントに関する研究等時代の要請に沿った研究が行われている。

⑥　土木技術の発展に果たした土木研究所の役割としては、

・海外技術の導入から始まり、基礎・応用研究の実施および多くの独自技術の研究開発の実施などわが国の社会資本整備技術の発展の基となる研究開発の分野で継続して先導的役割を果たしてきたこと

・建設省内外の土木技術者、研究者の育成等人材の開発に広く貢献してきたこと

・土木研究所は基礎・学究的研究の大学と応用研究の民間企業の両者をつなぐ機関として、計画的、総合的に土木技術の研究開発を推進するため産・官・学の連携に務めてきたこと

が挙げられる。

（２）経済社会の動向と土木研究所の展望

①　今後のわが国経済社会は高齢化の急速な進展、情報化社会への変化、ゆとり重視と環境問題あるいは都市問題への対応、国際化の要請などが展望されるが、これらについて詳しく分析し、土木研究所の研究の基本理念、主要分野について述べている。研究の基本理念としては、「多様なニーズに答え」、「利用者の立場に立った」、「環境に配慮した」、「国際的に普遍性を持った」、「わが国独自の」、「景観、機能、耐久性を追求した」社会資本整備の技術の研究をすすめることが必要である。また、研究開発の主要分野としては、「国土の高度利用の推進」、「安全に暮らせる基盤づくり」、「環境と共生する社会の建設」、「合理化・安全性の向上を図る施工技術」、「新材料の開発」、「維持管理技術の向上」、「社会資本の有効利用の推進」、「総合的・合理的建設マネジメントの確立」、「グローバルな視点に立った国際研究協力の推進」を挙げている。

②　最後に土木研究所の今後の取組み体制については、変動の著しい経済・社会のニーズに対応するため５カ年計画の策定とそれに沿った年度研究の実施、必要予算の確保と特に必要なものとして個々の研究員のやる気を妨げない体制づくりにあり、研究マネージ

メントの一層の充実が必要である。産・官・学の連携による共同研究、現在も進めている欧米諸国との国際研究協力の一層の推進および開発途上国や東・中欧の諸国への技術援助をすすめることが重要である。土木研究所はわが国の土木技術研究情報の発信基地となるとともに、海外の研究機関との間で情報ネットワークを形成する。

６．６　付属資料

６．６．１　土木研究所史

表－6.6.1.1～6.6.1.3は土木研究所が設立されてからの組織の変遷と地質化学部、河川部、下水道部、ダム部、砂防部、道路部、機械施工部、構造橋梁部、地震防災部、システム課、新潟試験所の研究内容を取りまとめたものである。

また、表－6.6.1.4は明治以降の政治・経済、主な災害、土木事業、土木行政、土木教育の歴史を表している。

表－6.6.1.1 土木研究所史（地質化学部、河川部、下水道部：前半）

年　代	土木研究所組織変遷史	一　般　事　項	地　質　化　学　部	河　　川　　部	下　水　道　部
明45/大元		正貨危機、緊縮財政、不況へ			
大2		東海道全線複線化			
大3		第一次世界大戦勃発			
大4 (1915)		好景気			
大5					
大6		鉄道鍋山トンネル完成			
大7		第一次世界大戦終結			
大8		道路構造令制定			
大9 (1920)		戦後の反動不況、道路法公布			
大10	道路材料試験所設置	内務省道路材料試験所設置(5月)			
大11	土木試験所誕生	土木試験所設置(9/30)、ソ連成立			
大12		関東大震災			
大13		荒川放水路完成、志津川ダム完成	瀝青材料、ﾀｰﾙ、ｾﾒﾝﾄ等の試験研究	河川水理模型実験	
大14(1925)		治安維持法公布			
大15/昭元	赤羽分室設置	赤羽分室設置(4月)			
昭2		地下鉄(上野-浅草)			
昭3		隅田川6橋完成			
昭4		世界恐慌、小牧ダム完成			
昭5 (1930)			ｺﾝｸﾘｰﾄの配合、施工法の試験		
昭6		信濃川大河津分水路完成	亀の瀬地すべり調査実施		
昭7		時局匡救事業 満州国、5.15事件			
昭8		三陸津波、国連脱退、山陰線開通		物部水理学、三陸津波調査	
昭9		室戸台風、丹那トンネル開通		津波の変形に関する研究	
昭10(1935)				湾曲流の研究	
昭11		2.26事件			
昭12		日華事変勃発			
昭13		塚原ダム完成			
昭14		第二次世界大戦勃発	弾性波探査，電気探査実施、ｺﾝｸﾘｰﾄの材料，設計，施工の研究	河口導流堤の特性に関する研究	
昭15(1940)		日独伊三国同盟	竹筋コンクリートの研究	漂砂観測、床止め下流の洗掘に関する研究、模型相似律の研究	
昭16		太平洋戦争勃発		波浪推算方法の研究	
昭17		鉄道関門トンネル完成			
昭18		水豊ダム完成			
昭19		安治川河底トンネル完成		河相論	
昭20(1945)		第二次世界大戦終結			
昭21		南海地震			
昭22		新憲法、内務省解体、カスリン台風			
昭23	建設院第一技術研究所設置／土木研究所沼津支所設置	建設省発足土研誕生(7/10)、福井地震／キティ台風、JIS制定		流量観測法の研究	
昭24				洪水流出特性の実地研究	
昭25(1950)		朝鮮戦争勃発、ジェーン台風、港湾法		井田法の開発	
昭26		日米安保条約			
昭27	筑崎試験所	筑崎分室設置(4月)、有料道路制度	ＡＥコンクリートの研究		

注）研究名は、その研究を実施した研究室の現在の所属部の欄に記入してある。また、実施時期については多少の前後が有り得る。

表－6.6.1.1　土木研究所史（地質化学部、河川部、下水道部：後半）

年　代	土木研究所組織変遷史	一　般　事　項	地　質　化　学　部	河　　川　　部	下　水　道　部
昭28		朝鮮戦争終結	塑性理論を用いたｺﾝｸﾘｰﾄ構造物の設計法に関する研究	高潮予測式、三面張り高潮堤の設計法	
昭29		第一次道路整備５ケ年計画			
昭30(1955)		数量景気、佐久間ダム、西海橋完成			
昭31		神武景気	ＲＩの地下水探査への利用	不定流計算法、堤防の研究	急速ろ過法に関する研究
昭32				流砂量公式の開発	
昭33	部制の施行	国道関門ﾄﾝﾈﾙ完成、狩野川台風	地質化学部設置、空中写真による地質調査（本四＆中央道）	河川部設置　水制研究、河川砂防技術基準、急拡急縮の損失	
昭34		伊勢湾台風、岩戸景気			
昭35(1960)	千葉支所、新潟試験所の設置	千葉支所・新潟試験所、所得倍増	ｺﾝｸﾘｰﾄの三軸応力下の強度に関する研究	密度流に関する研究	
昭36	鹿島試験所、トンネル研設置	鹿島試験所設置(4月)		貯留関数法の開発、有限振幅波の研究	工場排水の活性汚泥法適用研究
昭37	総務部設置	若戸大橋、奥只見ダム完成			隅田川水質汚濁予測調査
昭38	材料構造部→構造橋梁部	黒四ダム、苫小牧港完成			活性汚泥法のｴｱﾚｰｼｮﾝの研究
昭39	地すべり研究室、技術管理室	新潟地震、首都高、東京ｵﾘﾝﾋﾟｯｸ、		河床変動計算手法の発達	再ばっ気に関する研究
昭40(1965)	(後のｼｽﾃﾑ 課)設置、建設機械化研究所設立／基礎研究室設置	東海道新幹線、名神高速全線開通	防錆塗装の研究	打ち上げ高と有義波の研究	
昭41		栗子ﾄﾝﾈﾙ開通、新清水ﾄﾝﾈﾙ開通	岩盤の工学的分類法	低水流出計算法の開発	
昭42				レーダ雨量計の開発	河川の自浄作用に関する研究
昭43	振動研究室設置	十勝沖地震、飛騨川バス事故		超音波流速計の開発	雨水ますの配置法に関する研究
昭44	都市河川研究室設置	東名・名神高速道(東京-西宮)完成		河口閉塞に関する研究	
昭45(1970)	交通安全研、急傾斜地崩壊研、企	万国博覧会、鉄道六甲ﾄﾝﾈﾙ開通	土木試験基準(案)		合理式、等価粗度法の適用研究
昭46	画課設置水質研、交通環境研	沖縄返還、利根川河口堰完成		離岸堤の開発	横須賀市ﾊﾟｲﾛｯﾄﾌﾟﾗﾝﾄ建設・運転
昭47	設置／フィルダム研究室設置	札幌ｵﾘﾝﾋﾟｯｸ	地盤改良薬液の評価法		京都市ﾊﾟｲﾛｯﾄﾌﾟﾗﾝﾄ建設・運転
昭48	三次処理研、水資源開発研、動土	オイルショック、関門橋完成		地下水の研究	有機物汚濁に関する研究
昭49	質研設置	多摩川堤防決壊	「薬液注入工法による建設工事関する暫定指針」	河川の粗度係数に関する研究	下水道部設置
昭50(1975)	耐震研究室、施設課設置	沖縄海洋博、山陽新幹線開業	促進養生手法の開発	電波流速計の開発	
昭51	地震防災部設置		ｺﾝｸﾘｰﾄの耐久性向上技術の研究	地下ダムの研究	
昭52	新交通研究室設置	有珠山噴火、真名川ダム完成			富栄養化に関する研究
昭53	汚泥研究室設置	宮城県沖地震、福岡水不足			
昭54	筑波移転統合(3月)、総合治水、	大清水ﾄﾝﾈﾙ			
昭55(1980)	ダム水工、緑化、人事厚生課、情	御所ダム完成	軟岩の力学・透水特性調査	橋脚周りの洗掘深の推定法	
昭56	報資料課設置	アセスメント法案	反射弾性波探査・浅層反射法	雨水浸透工法の開発研究	
昭57		東北新幹線、上越新幹線開業	ｼﾞｵﾄﾓｸﾞﾗﾌｨｰの開発	越水堤防の研究	汚泥の建設資材への利用研究
昭58		日本海中部沖地震		氾濫数値計算のｶﾞｲﾄﾞﾗｲﾝ作成	合流式下水道の負荷流出ﾓﾃﾞﾙの開発
昭59		長野県王滝村土砂災害、布引ﾄﾝﾈﾙ			
昭60(1985)		筑波万博、NTT	新素材、新材料の研究	海岸侵食に関する研究	
昭61		三原山噴火、ﾁｪﾙﾉﾌﾞｲﾘ原発事故	ｱﾙｶﾘ骨材反応を起こさないための材料試験法	河道特性、海洋構造物の研究	ﾊﾞｲｵによる新下水処理ｼｽﾃﾑ
昭62		JR発足、四全総閣議決定	「ｺﾝｸﾘｰﾄのｱﾙｶﾘ骨剤反応抑制対策案」	河川景観に関する研究、ＤＮＤ模型実験の手引作成、床止め人工リーフの開発、護岸設計法	
昭63		青函ﾄﾝﾈﾙ、瀬戸大橋完成			圧力・真空式下水道ｼｽﾃﾑの研究
昭64/平1		東京湾横断道路着工		ベーン工の設計法の開発	
平2(1990)					
平3	積算技術研究センター設置	雲仙岳噴火、ソ連邦分解	軟岩の調査・試験の指針(案)、維持・補修方法の研究	新河道計画手法、植生抵抗特性	下水中での硫化水素の生成に関する研究
平4				河川生態系に関する研究	
				地球環境変化の影響の研究	下水道施設の維持・更新に関する調査

注）研究名は、その研究を実施した研究室の現在の所属部の欄に記入してある。また、実施時期については多少の前後が有り得る。

表－6.6.1.2　土木研究所史（ダム部、砂防部、道路部、機械施工部：前半）

年　代	土木研究所組織変遷史	ダ　ム　部	砂　防　部	道　路　部	機 械 施 工 部
明45/大元					
大2					
大3					
大4（1915）					
大5					
大6					
大7					
大8					
大9（1920）					
大10	道路材料試験所設置				
大11	土木試験所誕生				
大12					
大13					
大14（1925）					
大15/昭元	赤羽分室設置			簡易舗装の試験舗装開始	
昭2				貨物自動車の燃費と路面性状	
昭3				瀝青材料標準試験法	
昭4					
昭5（1930）				配合設計と強度に関する研究	
昭6					
昭7			亀の瀬地すべり調査実施		
昭8					
昭9		地震土圧を考慮した重力式ダムの設計法		タールの水稲へ与える影響調査	
昭10（1935）					
昭11					
昭12			砂防ダムの副ダムに関する研究	舗装路面のすべりに関する研究	
昭13		物理地下探査法による岩盤位置調査の実施			
昭14					
昭15（1940）				路床・路盤・舗装材料の節約に関する研究	
昭16					
昭17				土壌安定剤に関する研究	
昭18					
昭19				基礎の支持力論	
昭20（1945）					
昭21					
昭22					
昭23	建設院第一技術研究所設置／土木研究所沼津支所設置		茶臼山地すべりの調査実施		
昭24					建設機械の性能試験の開始
昭25（1950）		3次元解析による重力式ダムの開発		ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装要綱、道路補修指針	機械化施工理論
昭26					
昭27	篠崎試験所				

注）研究名は、その研究を実施した研究室の現在の所属部の欄に記入してある。また、実施時期については多少の前後が有り得る。

表－6.6.1.2　土木研究所史（ダム部、砂防部、道路部、機械施工部：後半）

年　代	土木研究所組織変遷史	ダ　ム　部	砂　防　部	道　路　部	機　械　施　工　部
昭28					
昭29				AEｺﾝｸﾘｰﾄに関する研究	ﾀｲﾔﾊﾟﾀｰﾝの粘着特性の研究
昭30(1955)		管出口開水路の設計法開発	手取川甚之助谷地すべり調査		
昭31		ｸﾞﾘｯﾄﾞｼｽﾃﾑによる水平断面地質図の作成、河川砂防技術基準案	空中写真による地質判読実施	ｱｽﾌｧﾙﾄの各種安定度試験法に関する研究	
昭32			砂防ダム堤体の設計計算法の開発		
昭33	部制の施行	ダム部設置			
昭34				道路部設置 交通標識に関する研究	ｸﾛｰﾗﾄﾗｸﾀのけん引特性の研究
昭35(1960)	千葉支所、新潟試験所の設置		土砂生産量の推定手法の研究	ｸﾛｿｲﾄﾞ曲線導入検討	機械施工部設置、浸透水による堤防破壊実験、基礎工事用機械の研究、ﾄﾗﾌｨｶﾋﾞﾘﾃｨの評価法の研究、土の締固め特性の研究
昭36	鹿島試験所、トンネル研設置		静岡寺尾地内地すべり調査	路盤厚と支持力関係図作成	
昭37	総務部設置	原位置岩盤ﾌﾞﾛｯｸせん断試験実施	ﾗｲﾅｰﾌﾟﾚｰﾄを用いた集水井法	各種将来交通量推定法の比較	
昭38	材料構造部→構造橋梁部		ﾍﾟｰﾊﾟｰｽﾄﾚｲﾝｹﾞｰｼﾞを用いたすべり面測定器の実用化	交通容量調査、ﾄﾝﾈﾙ換気設計	
昭39	地すべり研究室、技術管理室	電子計算機によるｱｰﾁﾀﾞﾑの解析方法、自由越流量の検討		ｾﾒﾝﾄｺﾝｸﾘｰﾄ舗装要綱(土研公式)	
昭40(1965)	(後のｼｽﾃﾑ 課)設置、建設機械		空中写真による地すべり調査法の開発、砂防ダムの堆積量推定法の研究	ﾄﾝﾈﾙ載荷試験、簡易舗装要綱	
昭41	化研究所設立／基礎研究室設置	土研式岩盤分類の提案、堆砂量公式の開発		沈埋ﾄﾝﾈﾙの研究、ＰＴ調査開始	吊橋の平行線ｽﾄﾗﾝﾄﾞ架設調査
昭42				ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装要綱、交通重量調査	越流堤防の研究開始、生石灰による土の安定処理の研究
昭43	振動研究室設置			本四連絡橋の経済効果の研究、ﾄﾝﾈﾙ火災の研究開始	
昭44	都市河川研究室設置	既往最大比流量の利用の研究			
昭45(1970)	交通安全研、急傾斜地崩壊研、企	フラットアーチダムの数値解析手法の開発		路面調査要領、ﾊｲﾄﾞﾛﾌﾟﾚｰﾆﾝｸﾞに関する研究	高分子布を用いた堤防補強法
昭46	画課設置水質研、交通環境研		砂防部設置、地すべり崩壊の型分類		のり面工選定基準案、
昭47	設置／フィルダム研究室設置				ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞの自動運転の研究
昭48	三次処理研、水資源開発研、動土			事故危険区間を抽出する方法	ＲＩの締固め管理への利用に関する研究、東京湾人工島の基礎構築法の開発
昭49	質研設置		土石流のﾒｶﾆｽﾞﾑに関する研究	路側放送の研究開始	
昭50(1975)	耐震研究室、施設課設置	全国地域別比流量曲線図の提案			ﾃｰﾙｱﾙﾒ工法の設計施工ﾏﾆｭｱﾙ
昭51	地震防災部設置				超高周波振動杭打機の開発
昭52	新交通研究室設置	ロック材料の試験法の開発			バイモード工法の開発
昭53	汚泥研究室設置	地震期待値計算ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑの開発	土砂災害（土石流・地すべり・斜面崩壊）危険度の判定、落石等防護工に関する基準(案)		
昭54	筑波移転統合、総合治水、ダム			NATM、ｼｰﾙﾄﾞ工法の研究開始	
昭55(1980)	水工、緑化研、人事厚生課、情			電気集じん機の開発	
昭56	報資料課設置	ＲＣＤ工法技術指針案策定	ベーン工の研究		ＤＪＭ工法の開発
昭57					液状化地盤の原位置調査法
昭58		グラウチング技術指針の策定	地すべり対策工の研究	舗装ﾃﾞｰﾀﾊﾞﾝｸｼｽﾃﾑ	落石対策便覧
昭59		ルジオンテスト技術指針の策定		ｾﾒﾝﾄｺﾝｸﾘｰﾄ舗装要綱の改訂	砕石ﾄﾞﾚｰﾝによる液状化対策
昭60(1985)		ｸﾚｽﾄﾗｼﾞｱﾙｹﾞｰﾄ設計要領案策定	土石流氾濫区域推定法の研究	路車間情報システムの研究、環境影響評価技術指針	耐震地盤改良ﾏﾆｭｱﾙ
昭61		ﾀﾞﾑ貯水池富栄養化対策の手引案)、ﾌｨﾙﾀﾞﾑ堤体の動的ﾌﾟﾛｸﾞﾗの開発、湖沼水管理計画策定ﾏﾆｭｱﾙ(案)	土石流衝撃力の研究		逆Ｔ型擁壁の地震時土圧の評価
昭62			火山泥流の研究		ｼﾞｵﾃｷｽﾀｲﾙによる盛土補強法
昭63			スリット砂防ダムの研究、集落雪崩対策に関する研究	ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装要綱の改訂、緑化技術基準の改訂、地下新物流ｼｽﾃﾑの開発、高速域における騒音予測手法、道路環境整備ﾏﾆｭｱﾙ、転圧ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装 設計施工技術指針	効率的な土砂圧送技術の開発
昭64/平1					三次元浸透流解析ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ開発
平2(1990)			流木対策の研究、ゲート付砂防ダムの研究、火砕流の研究		発砲ｽﾁﾛｰﾙを用いた盛土工法
平3	積算技術研究センター設置	ﾌｨﾙﾀﾞﾑ堤体の修正震度法による設計法の確立、長良川河口堰に関する技術報告作成			小口径推進機のＡＩ制御
平4					杭の非破壊管理法の開発

注）研究名は、その研究を実施した研究室の現在の所属部の欄に記入してある。また、実施時期については多少の前後が有り得る。

表－6.6.1.3　土木研究所史（構造橋梁部、地震防災部、システム課、新潟試験所：前半）

年　代	土木研究所組織変遷史	構造橋梁部	地震防災部	システム課	新潟試験所
明45/大元					
大2					
大3					
大4（1915）					
大5					
大6					
大7					
大8					
大9（1920）					
大10	道路材料試験所設置				
大11	土木試験所誕生				
大12					
大13					
大14（1925）					
大15/昭元	赤羽分室設置				
昭2					
昭3					
昭4					
昭5（1930）					
昭6		基礎の沈下量算定方法の研究			
昭7					
昭8		鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄT桁橋標準設計案	「土木耐震学」（物部長穂）		
昭9			水平震度法による耐震設計法の開発		
昭10（1935）		「溶接鋼橋」（青木楠男）			
昭11		基礎版への地盤反力の近似計算法			
昭12					
昭13					
昭14					
昭15（1940）		電弧溶接道路橋設計示方書案			
昭16					
昭17					
昭18					
昭19		基礎支持力論			
昭20（1945）					
昭21			南海地震調査の実施		
昭22					
昭23	建設院第一技術研究所設置／土		福井地震調査の実施		
昭24	木研究所沼津支所設置				
昭25（1950）					
昭26					
昭27	筱崎試験所				

注）研究名は、その研究を実施した研究室の現在の所属部の欄に記入してある。また、実施時期については多少の前後が有り得る。

表－6.6.1.3　土木研究所史（構造橋梁部、地震防災部、システム課、新潟試験所：後半）

年　代	土木研究所組織変遷史	構造橋梁部	地震防災部	システム課	新潟試験所
昭28		杭の耐荷力の実験的研究			
昭29		溶接トラスの実物大強度試験			
昭30(1955)		ＰＣラーメン橋の実験			
昭31					
昭32		溶接鋼道路橋示方書			
昭33	部制の施行	材料施工部設置			
昭34		ＰＣスラブ橋の標準設計			
昭35(1960)	千葉支所、新潟試験所の設置				
昭36	鹿島試験所、トンネル研設置	本四連絡橋の調査開始			新潟地すべり試験所の設置、現地調査開始
昭37	総務部設置				ライナープレートを用いた集水井工
昭38	材料構造部→構造橋梁部	構造橋梁部設置(改称)、平行線ケーブル試験 道路橋下部構造設計指針、鉄筋コンクリート道路橋示方書			新潟試験所と改称
昭39	地すべり研究室、技術管理室		新潟地震調査実施、強震観測計の配備	技術管理室設置、標準設計制定	
昭40(1965)	(後のシステム 課)設置、建設機械			駒込本所電子計算機導入	切土、盛土による地すべり発生機構の研究
昭41	化研究所設立／基礎研究室設置	溶接鋼道路橋示方書、偏心傾斜荷重の極限支持力公式、長大橋の耐風設計の研究			
昭42			本四連絡橋耐震設計指針の策定		人工なだれの研究
昭43	振動研究室設置		十勝沖地震調査の実施	千葉支所電算機導入	
昭44	都市河川研究室設置	プレストレストコンクリート道路橋示方	第１回ＵＪＮＲ会議		
昭45(1970)	交通安全研、急傾斜地崩壊研、企画課設置水質研、交通環境研	群杭の支持力の研究、鋼床版設計法		技術管理室からシステム課に改称	北陸地方の地すべり分布図完成
昭46			道路橋耐震設計指針		路面融雪に関する研究
昭47	設置／フィルダム研究室設置	道路橋示方書　共通編、鋼橋編			地すべりの運動型の分類
昭48	三次処理研、水資源開発研、動土質研設置				タイヤのすべり摩擦の研究開始
昭49				自動設計プログラムの開発開始	大型地すべり発生装置の実験開始、人工雪崩制御砲の完成
昭50(1975)	耐震研究室、施設課設置			地域計画に関する研究の開始	
昭51	地震防災部設置		東京湾横断道路設計基準案		気象データを用いた降雪予測手法
昭52	新交通研究室設置		地震防災部設置、新耐震設計法の開発	特認システムオンライン稼働	道路のサーマルマッピング調査開始
昭53	汚泥研究室設置	道路橋鉄筋コンクリート床版の設計施工指針、道路橋補修便覧			
昭54	筑波移転統合、総合治水、ダム		高密度強震観測の実施	筑波移転新電算機システム導入	地下水変動と斜面崩壊予測法の作成　斜面崩壊予測装置の開発
昭55(1980)	水工、緑化研、人事厚生課、情報資料課設置	道路橋示方書改訂版	道路橋示方書耐震設計編		地すべりに影響する融雪観測
昭56			下水道施設耐震工法指針、普及型強震計の開発		耐雪型ガードフェンスの研究開始
昭57				電子情報システム管理運営細則制定	豪雪地帯での斜面地盤測器開発
昭58				新潟試験所リモートバッチ導入	地すべり対策杭の設計合理化
昭59		コンクリート道路橋設計、施工便覧		道路防災支援情報システムの開発	すべり面検地器の開発
昭60(1985)			震災構造物の復旧技術の開発	データベースシステムの開発開始、リモートセンシング技術の建設事業への応用	なだれ防御施設の設計法
昭61		共同溝、杭基礎設計指針	共同溝設計指針、土木構造物の震災復旧技術マニュアル(案)		積雪寒冷地用防護柵の開発
昭62		道路土工指針	道路橋の免震設計法ガイドライン、明石海峡大橋耐震設計要領(案	復旧情報支援システムの開発	降雪予測技術の確立
昭63		橋梁形式選定ＥＳの構築、橋梁点検要領案		本館内ＬＡＮ導入	横ボーリング用保孔管の設計法
昭64/平1					衛生画像による地すべり抽出法
平2(1990)		道路橋示方書改訂	シールドトンネル耐震設計法、ハイブリット災害情報システム、免震設計マニュアル地盤流動予測式の開発	復旧情報支援システムの開発	流雪流路工の設計法の開発
平3	積算技術研究センター設置	道路橋耐風設計便覧		積算技術研究センター設置、積算体系の見直し、建設マネジメント技術の調査	雪崩防護施設の設計法の開発
平4		橋梁計画支援システムの構築			雪崩予防柵の設計設置指針作成

注）研究名は、その研究を実施した研究室の現在の所属部の欄に記入してある。また、実施時期については多少の前後が有り得る。

表－6.6.1.4　土木関係史（1）

年　代	政治・経済	主な災害	土木事業史	土木行政史	土木教育史
明元(1868)			くろがね橋完成	港湾を世界に開港	
明2					
明3 (1870)				工部省設立	
明4					
明5			新橋～横浜間鉄道開通		工部省に工学寮設置
明6				河港道路修築規則	学制発布
明7			淀川に日本初の蘭式粗だ沈床		
明8 (1875)					内務省内に土木寮設置
明9			神戸～京都間鉄道開通		
明10	西南の役による財政難				札幌農学校開校
明11			野蒜港着工		東京開成学校と東京医学校が合併、東京大学になる。工部大学校(工学寮改称)
明12		北陸でコレラ(死者3万人)	逢坂山トンネル(国沢能長)		
明13(1880)	殖産興業政策	横浜地震	京都～大津間鉄道開通		
明14					東京職工学校設立
明15	日本銀行設立	横浜でコレラ(死者34000人)	安積疏水(ﾄﾞｰﾙﾝ、蘭)		
明16					
明17					
明18(1885)		台風(淀川破堤、利根等洪水)	三国港着工		東大内に土木工学科設置
明19		北陸でコレラ(死者2万人)			帝国大学
明20					
明21			三居沢発電所(宮城紡績、5KW)		札幌農学校に工学科設置
明22	大日本帝国憲法公布		鉄道東海道線(東京～神戸)開通		
明23(1890)		長崎でコレラ(死者35000人)	琵琶湖疎水事業完成(田辺)		
明24		濃尾大地震(死者2300人)	東北線(上野～青森)開通		
明25				鉄道敷設法公布	
明26					
明27	日清戦争勃発				高等学校令
明28(1895)	日清戦争終結				
明29		三陸大津波(死・不27000人)、東京で洪水	横浜修港完成	河川法公布	
明30	金本位制確立			砂防法公布	京都帝国大学設立
明31			常磐線開通		
明32	外資導入を許す				私立学校令
明33(1900)		蔵王山大噴火	布引ダム完成		
明34			山陽線開通		
明35			笹子トンネル完成		
明36					
明37	日露戦争勃発				専門学校令
明38(1905)	日露戦争終結				
明39	鉄道の国有化			鉄道国有法公布	
明40					
明41					
明42					

表－6.6.1.4　土木関係史（2）

年　代	政治・経済	主な災害	土木事業史	土木行政史	土木教育史
明43(1910)		豪雨により明治最大の水害(根川、荒川北上川、阿武隈川で堤、死者・不明者1400名)	淀川高水防御工事完了		
明44					
明45/大元	正貨危機、緊縮財政、不況			第一次治水計画	九州帝国大学官制公布
大2					
大3	第一次世界大戦勃発	桜島大噴火(大隅半島と陸続になる)	東海道線の複線化		
大4 (1915)	好景気、重工業化が進む				土木学会設立(初代会長古市公威)
大5					
大6		台風(淀川破堤、死・不1300人			
大7	第一次世界大戦終結				
大8					大学令、高等学校令改正公布
大9 (1920)	戦後の反動不況		八ツ山橋(日本人初の不静定橋)	道路構造令	
大10				第一次道路改良計画	日本大学高等工業校
大11	ソ連邦成立			軌道法公布	
大12		関東大震災(M7.9、死者・不明14万人)			
大13					
大14(1925)	治安維持法公布		志津川ダム＆大井ダム完成		
大15/昭元					
昭2					
昭3	普通選挙		大河津分水路完成、初の地下鉄		
昭4	世界恐慌		隅田６橋 小牧ダム（耳川、発電）		
昭5 (1930)			利根川改修工事完了		
昭6			清水トンネル完成		
昭7	時局匡救事業政策、満州国建国、5.15事件／国連脱退				
昭8		三陸地震、津波(死・不2700名)	山陰線開通		
昭9		室戸台風(死者・不明3000人)	丹那トンネル完成		
昭10(1935)					
昭11	2.26事件				
昭12	日華事変勃発				
昭13		六甲山の山津波	塚原ダム完成		教育審議会設置
昭14	第二次世界大戦勃発				
昭15(1940)	日独伊三国同盟				
昭16	太平洋戦争勃発				
昭17			鉄道関門トンネル開通		国民学校令公布、日本教育学会創立/中等学校令公布、大学・高校・専門学校令改正公布
昭18		鳥取大地震(死者1000人)	水豊ダム完成	運輸省設立	
昭19			安治川河底ﾄﾝﾈﾙ完成		
昭20(1945)	第二次世界大戦終結	枕崎台風(死者2000人)	相模ダム完成		戦時教育令公布
昭21		南海地震(死者・不明1500人)			中学５年制、高校・大学予科３年制復活 教育基本法、学校教育法公布
昭22	日本国憲法施行	ｶｽﾘﾝ台風(死・不明2千)		日本道路協会設立	
昭23	建設省発足	福井地震(死4千)、ｱｲｵﾝ台風(死・不840) ｷﾃｨ台風(高潮、		建設院発足／建設省設置、国鉄法	
昭24	ＪＩＳ制定			農林省、運輸省設置	国立大学設置、東大生産研設立
昭25(1950)	朝鮮戦争勃発、特需→好景気	死・不160名)/ｼﾞｪｰﾝ台風(高潮		国土総合開発基本法公布、港湾法	短期大学制度発足
昭26	日米安保条約調印	死者・不明500人)	苫小牧港着工	電力中央研究所設立	京大防災研究所設置

表－6.6.1.4　土木関係史（3）

年代	政治・経済	主な災害	土木事業史	土木行政史	土木教育史
昭27			六甲砂防ダム完成	道路法改正公布、有料道路制度発足	
昭28	朝鮮戦争終結、日米通商条約		柳瀬ダム完成	治水治山対策要綱、道路整備の財源等に関する臨時措置法	国立大学12校に新制大学院設置
昭29		洞爺丸台風(死・不1200人)			土質工学会設立
昭30(1955)	数量景気、経済自立５ケ年計画閣議決定/神武景気、日ソ共同宣言、国連に加盟		上椎葉ダム完成	愛知用水公団設立	
昭31			佐久間ダム、五十里ダム完成	首都圏整備法の公布、道路公団設立	
昭32		諫早豪雨(死者・不明1000人)	井川ﾀﾞﾑ、鳴子ﾀﾞﾑ完成	高速自動車国道法、特定多目的ﾀﾞﾑ法	
昭33		狩野川台風(死・不1300人)	関門国道トンネル開通	道路整備緊急措置法公布、下水道法	私立大学の研究設備に対する国の補助に関する法律公布
昭34	メートル法実施	伊勢湾台風(死・不5000人)		公布/首都高速道路公団設立	
昭35(1960)	国民所得倍増計画閣議決定	チリ地震津波(死・不40人)	京葉道路一期開通、御母衣ダム	治山治水緊急措置法、治山治水事業10ｹ年/災害対策基本法公布	
昭36			奥只見ダム完成		理工学生２万人増募計画
昭37	国産第１号原子炉に点火		若戸大橋、北陸ﾄﾝﾈﾙ完成	新産業都市建設促進法、激特法公布、水公団、阪高公団設立	５年制工業高等専門学校発足
昭38			黒四ダム完成		
昭39	東京ｵﾘﾝﾋﾟｯｸ、OECDに加盟、	新潟地震(M7.5、死者25人)	首都高、天ｹ瀬ﾀﾞﾑ、東海道新幹線	新河川法公布、鉄道建設公団設立	
昭40(1965)	新産業都市 建設基本計画		名神高速道路全線開通	新河川５ケ年整備計画閣議決定	
昭41			新清水ﾄﾝﾈﾙ貫通、川俣ﾀﾞﾑ完成		
昭42		羽越災害(加治川破堤)	中央道開通、八木沢ダム完成	公害対策基本法公布	
昭43		十勝沖地震(M7.9、死者50人)	利根大堰完成	騒音規制法公布	アジア諸国派遣留学生制度発足
昭44		飛騨川バス事故	東名高速全線開通、鹿島港開港	都市再開発法公布	
昭45(1970)	万国博覧会		神戸大橋完成、鉄道六甲ﾄﾝﾈﾙ	交通安全対策基本法、本四公団設立	
昭46	沖縄返還、ドルショック		利根川河口堰、矢作ダム完成	環境庁発足、水資源対策特別措置法	
昭47	札幌冬季ｵﾘﾝﾋﾟｯｸ、日中共同	梅雨前線豪雨(天草土石流、米	山陽新幹線開通	沖縄開発庁設置	学生国際交流制度創設
昭48	声明/オイルショック	代川破堤等、死者444名)	関門橋完成	資源地域対策特別措置法	
昭49		台風16号(多摩川破堤)、伊豆		国土庁発足、国土利用計画法公布	
昭50(1975)	沖縄海洋博開催	半島沖地震	山陽新幹線開業	日本下水道事業団発足	
昭51		台風17号(長良川、死・不170名			
昭52		有珠山噴火	真名川ダム完成		
昭53	日中平和友好条約調印	宮城県沖地震(M7.0)、伊豆大	新東京国際空港開港、高瀬ダム	大規模地震対策特別措置法公布、農	
昭54	スリーマイル島原発事故	島地震(M6.8)、福岡渇水、東	完成	水省発足	国公立大学共通一次試験実施
昭55(1980)	臨時行政調査会設置	名日本坂トンネル火災			
昭56	アセスメント法案	台風15号(小貝川決壊)	大清水ﾄﾝﾈﾙ、島地川ﾀﾞﾑ、御所ﾀﾞﾑ完成／東北新幹線、上越新幹線開業	アセスメント法案提出	
昭57	ゼロシーリング(公共事業)	長崎大災害			
昭58					
昭59	現行日本銀行券	王滝村土砂災害	布引トンネル完成		
昭60(1985)	ＮＴＴ発足				
昭61	チェルノブイリ原発事故	台風(小貝川破堤)、三原山	長与ダム完成	東京湾横断道路の建設に関する特別措置法、国鉄分割民営化、四全総	
昭62	バブル経済、ＪＲ発足	噴火	大川ダム完成		
昭63			瀬戸大橋、青函トンネル完成		
昭64/平1					
平2(1990)	日米構造協議				
平3	バブル経済崩壊、ソ連邦解体	雲仙岳噴火			
平4				第11次道路整備５ケ年計画、第８次河川整備５ケ年計画	

６．６．２　土木研究所の国際研究協力の概況（平成５年度実績）

６．６．２．１　海外との研究協力

（１）科学技術協定に基づく研究協力

①二国間協力

表－6.6.2.1　科学技術協定に基づく二国間研究協力

国　名	課題数	国　名	課題数	国　名	課題数
アメリカ	9	韓　国	2	イギリス	1
中　国	6	イタリア	2	ドイツ	1
カナダ	3	ｽｳｪｰﾃﾞﾝ	2	フランス	1
ｵｰｽﾄﾗﾘｱ	3	ﾉﾙｳｪｰ	2		

②多国間協力

・アジア地域土木研究所長等会議
・経済開発協力機構（ＯＥＣＤ）国際道路運輸研究計画
・常設国際道路会議協会（ＰＩＡＲＣ）
・世界道路会議（ＩＲＦ）
・アジア・オーストラレイシア道路技術協会（ＲＥＡＡＡ）
・国連アジア太平洋経済社会委員会（ＥＳＣＡＰ）海運及び運輸通信委員会
・世界気象機構（ＷＭＯ）水文委員会
・国際建設材料構造試験研究機関連合（ＲＩＬＥＭ）
・国際大ダム会議（ＩＣＯＬＤ）
・国際連合（ＵＮ）国際防災10年

（２）平成５年度の共同研究

①ハイブリッドコントロールによる耐震性向上技術に関する日米共同研究（アメリカ）
②新道路研究計画における試験舗装に関する調査（アメリカ）
③扇状地における土砂災害防止技術に関する研究（インドネシア）
④火山地域における土砂災害予測手法の開発に関する国際共同研究（アメリカ）
⑤リン除去技術の総合化および高度化に関する研究（ドイツ）
⑥土石流・崩壊に伴う流木の流化・堆積機構に関する研究（アメリカ）

⑦安定海浜の形成技術に関する研究（オーストラリア）

⑧熱帯林の変動とその影響等に関する観測研究（タイ）

⑨マイクロ波センサデータ利用等によるリモートセンシング高度化のための基盤技術開発（タイ）

⑩地球温暖化による水収支への影響評価に関する研究（アメリカ）

－気象・水文モデル開発による流域水文循環変化予測に関する研究－

６．６．２．２　海外との人事交流

（１）外国人研究者、技術者の招へい・受け入れ実績

表－6.6.2.2　外国人研究者、技術者の招へい・受け入れ実績

年度	６０	６１	６２	６３	1	2	3	4	5
件数	1	3	2	9	7	9	8	19	21

＊相手国：アメリカ(24件)、中国(12件)、タイ（８件)、韓国(７件)、イギリス(6件)、ドイツ(５件)、スイス(３件)、カナダ(３件)、ニュージーランド(２件)、イタリア(２件)、フランス、マレーシア、ノルウェー、スウェーデン、オーストラリア、ネパール、シンガポール

（２）職員の派遣実績

表－6.6.2.3　職員の派遣実績　（人）

制度名		62	63	1	2	3	4	5
会議・国際研集会等	建設省旅費(調査、会議)	5	3	11	5	6	9	10
	科学技術庁(中期)	1	0	0	0	0	1	0
	〃　(国際研究集会)	4	3	2	2	2	3	2
	〃　(二国間)	2	4	3	3	5	5	5
	〃　(振興調整費)	5	2	6	11	11	12	16
	研究交流促進法	7	10	7	3	12	12	18
	政府・公的機関による依頼	8	7	14	13	11	37	37
ＪＩＣＡによる依頼(調査、技術指導)		35	54	63	41	36	64	45
留学	科学技術庁（長期）	1	1	1	0	2	1	2
	〃　(宇宙)	0	0	0	0	0	0	1
	〃　(ﾊﾟｰﾄﾄｷﾞｬﾗﾝﾃｨ)	2	3	4	1	2	4	2
	ＪＩＣＡ(海外長期研修)	0	0	1	0	2	2	2
	その他	0	1	0	0	2	0	1
合計		70	88	112	79	91	150	141

６．６．２．３　海外からの見学、研修の受け入れ実績

（１）外国人見学者の受け入れ

表－6.6.2.4　外国人見学者の受け入れ　（人）

年度	60	61	62	63	1	2	3	4	5
件数	51	60	52	57	44	39	35	40	22
人数	231	217	226	191	205	190	213	207	318

（２）外国人研修員の受け入れ

表－6.6.2.5　外国人研修員の受け入れ　　（人）

年度	60	61	62	63	1	2	3	4	5
集団	175	167	109	155	202	223	209	144	159
個別	56	77	88	107	54	47	49	52	39
合計	231	244	197	262	256	270	258	196	198

平成５年度に土木研究所が受け入れたＪＩＣＡ集団研修・特設研修等のコースは以下の通りである。

①集団研修

・火山学・火山砂防工学コース＊
・地方行政集団研修コース
・建設機械整備（英語）コース
・橋梁工学コースⅡ＊
・河川・ダム工学コース＊
・建設施工コースⅡ
・ハイウェイセミナー＊
・国際地震工学コース
・環境モニタリング（水質）コース
・下水道技術コース＊
・土質及び基礎工学コース＊
・建設施工管理者コース
・建設工事先進技術コース
・総合都市交通施設計画コース＊

注）＊印は、土木研究所において講義を実施した研修

②特設研修等

・道路分野合同研修
・カンボジア国「道路・橋梁」研修

第７章　アジア諸国における社会資本整備と技術

7．1　アジア諸国の経済状況

アジア諸国はここ20～30年急激な発展を遂げているが、それらを支える社会資本整備は自国の人材、技術、資金でまかなうことが困難であり、多くは先進国による経済協力や技術援助に頼っている。また、急激な成長に社会資本整備が追いつかず大都市問題や環境問題等の社会問題が顕著となっている。ここでは、各社会資本の分野別にアジア諸国の整備状況と課題を探る。

アジア地域は、表－7.1.1に示すとおり、ミャンマー、カンボジア、ベトナム、ラオス、ネパール、バングラデシュのような一人当たりＧＮＰが200ドル前後の最貧国から、インド（同330ドル）、中国（同370ドル）、パキスタン（同400ドル）、スリランカ（同500ドル）のような低所得国、あるいはインドネシア（同610ドル）、フィリピン（同740ドル）、タイ（同1,580ドル）、マレイシア（同2,490ドル）といったアセアンの中所得国、さらにはＮＩＥｓと称される韓国（同6,340ドル）、台湾（同8,000ドル）、シンガポール（同12,890ドル）、香港（同13,200ドル）のような目ざましい発展を遂げた諸国・地域まで様々であり、アジア地域は多様な経済発展段階にある国が混在している。

表－7.1.1　アジア諸国の経済状況（平成３年；1991年）

国又は地域名	人　口（百万人）	国民総生産（百万＄）	１人当たりＧＮＰ（＄）	実質経済成長率（%）	消費者物価上昇率（%）	貿易収支（億＄）
カンボジア	8.7	1,725	200	n.a.	n.a.	n.a.
スリランカ	17.2	8,665	500	4.8	12.2	△10.2
香港	5.9	77,302	13,200	4.2	12.0	△16.8
インド	865.0	284,668	330	2.5	13.9	△27.8
パキスタン	115.6	46,725	400	6.5	11.8	△29.1
ネパール	19.1	3,289	180	2.0	8.2	n.a.
タイ	56.7	89,548	1,580	8.2	5.6	△97.1
ラオス	4.3	965	230	n.a.	n.a.	n.a.
マレイシア	18.3	45,787	2,490	8.6	4.4	△23.4
バングラデシュ	108.8	23,449	220	3.6	8.9	△18.0
中国	1,150.1	424,012	370	7.3	2.9	81.2
インドネシア	181.4	111,409	610	6.6	9.4	32.7
韓国	43.2	274,464	6,340	8.4	9.7	△96.6
シンガポール	3.0	39,249	12,890	6.7	3.4	△71.3
フィリピン	62.7	46,138	740	△0.9	17.7	△32.0
ベトナム	67.8	5,016	200	3.8	67.6	△ 4.0
台湾	20.2	161,539	8,000	7.2	3.6	133.2
ミャンマー	42.5	n.a.	200	5.6	34.0	△ 5.7
日本	124.0	3,337,191	26,920	4.0	3.3	1,031
アメリカ	250.9	5,445,825	21,810	△1.2	4.3	△736
イギリス	57.5	923,959	16,080	△2.2	5.9	△180
フランス	56.5	1,099,750	19,590	1.2	3.1	△101
ドイツ	77.3	1,411,346	22,360	3.6	4.5	231

（注）・ドイツの国民総生産、１人当たりＧＮＰは旧西独地域のみ
・ネパールは1990年のデータ
・台湾の人口、国民総生産、１人当たりのＧＮＰは1990年データ
・ミャンマーの一人当たりのＧＮＰは1986年データ

この地域に含まれる各国は、おおむね恵まれた国土と天然資源を有し、基本的には１次産品の輸出により外貨を獲得し、その外貨で資本財と中間財を輸入し、さらに、それらを利用して製品を輸出するという経済構造となっているが、なかでもＮＩＥｓ諸国・地域は重化学工業、ハイテク産業社会の形態をとりつつある。

一人当たりのＧＮＰが200ドル前後の最貧国は、政治的に不安定なミャンマーやカンボジア、社会主義的計画経済から市場経済システムへ移行し始めたベトナム、ラオス、災害の多いネパール、バングラデシュである。これらの国の平成３年（1991年）の経済成長率は前年比2.0～5.6％であり、物価上昇率は8.2～67.6％と非常に高く、貿易赤字を抱え、経済的に不安定な状態にある。

一人当たりのＧＮＰが300～500ドルの低所得国は、スリランカを除いて、中国（人口1,150百万人）、インド（同865百万人）、パキスタン（同116百万人）では人口規模が大きいため、国民総生産が大きい割には一人当たりのＧＮＰが低くなっている。平成３年（1991年）の経済成長率はインドの2.5％を除き4.8～7.3％と比較的高く、物価上昇率は中国の2.9％を除いて11.8～13.9％と比較的高くなっている。貿易収支は中国を除いて赤字となっている。これらの国の中で、特に中国は物価が安定し、貿易収支も黒字となり経済発展が拡大しており、中でも広東省等の沿海部では、隣接する台湾、香港との貿易、投資活動が活発に行われており、華南経済圏を形成し、高い経済成長を遂げている。

アセアンの中所得国は、積極的な外貨導入と輸出主導型経済の推進により高い経済成長を達成し、域内経済の発展並びに政治的安定に大きな貢献を果たし、近年、世界の高度経済成長地域として注目を浴びている。平成３年（1991年）の経済成長率を見てみると、フィリピンだけは10年間続いた政治的混迷により経済は影響を受けており、そのフィリピンの-0.9％を除くと各国は6.6～8.6％と高く、物価上昇率もフィリピンの17.7％を除いて4.4～9.4％と比較的安定してきている。貿易収支については、石油、天然ガス資源のあるインドネシア以外は赤字となっている。

ＮＩＥｓ諸国・地域は、世界的に高度な経済発展をしている地域であり、一人あたりのＧＮＰが大きいのに加え、1991年の経済成長率が4.2～8.2％と高く、物価上昇率も3.4～12.0％と比較的安定している。貿易収支については、台湾以外は赤字となっている。

7．2　アジア諸国の社会資本整備

7．2．1　道路

アジア諸国の道路整備状況（表－7.2.1.1）はそれぞれの国の経済状況と深い関係を示すといえる。道路整備の進んでいる国は香港、シンガポールで、舗装率が90%を越えており、非常に整備の進んだ国といえる。逆に道路整備率の低い国は、ミャンマー、ラオス、ネパールで、ラオスにおいては舗装率が10%以下という状況である。

表－7.2.1.1　アジア諸国の道路網密度

国　別	道路延長 (km)	1人当り道路延長 (km／人)	1km²当り道路延長 (km／km²)	舗装率 (%)	調査年
スリランカ	24,752	1.63	377	79.7	1982
香港	1,244	0.24	1,185	100	1983
インド	1,357,784	1.91	413	52.3	1982
パキスタン	94,987	1.09	119	68	1983
ネパール	5,546	0.36	39	44.8	1983
タイ	159,618	3.29	311	18.9	1983
ラオス	7,395	2.27	31	8.4	1974
マレイシア	30,412	2.76	92	79.6	1983
バングラデシュ	161,359	1.75	1,121	9.5	1984
中国	915,079	0.90	90	77.1	1983
インドネシア	182,882	1.20	96	63.6	1983
韓国	54,599	1.39	553	39.0	1983
シンガポール	2,568	1.04	4,382	92.3	1983
フィリピン	155,798	3.07	519	12.8	1983
ミャンマー	22,471	0.70	33	36.5	1978
日本	1,123,283	9.46	2,974	53.3	1983

アジア諸国が抱える道路問題を論じるとき、それぞれの国の経済状況によって３つのグループに分けて考えるのがよい。これは、それぞれの経済状況によって抱えている問題が異なるからである。まず、第１のグループとしてはラオス、バングラデシュ、ミャンマーといった国々のグループとインドや中国のように輸送手段を鉄道に依存している国である。これらの国ではまだ十分にモータリゼーションが発達していないが、今後の飛躍的な経済発展のためにも道路網を整備する必要がある。道路整備のための予算の確保、全国の幹線道路の整備、特に橋梁等の大規模構造物の建設等が課題である。

第２のグループはタイ、マレイシア、インドネシア、フィリピン等である。これらの国ではモータリゼーションもかなり進んでおり、今後も一層進むものと思われる。ただし、各国の都市部を中心にすでに深刻な交通渋滞が発生しており、既設の道路保守のみでなく、

都市部における高速道路や大量輸送機関の導入と地方における高規格道路の整備といった２次的な道路整備が必要な段階に入っている。このための予算調達が課題である。道路整備の一部は、有料道路制度や民間資金の活用等により実施され、あるいは検討されているが、有料道路制度の導入に当たっては料金設定、民間資金の活用に当たっては収入に関する政府保証、資金調達に関する政府の債務保証等の合意が大きな障害となっている。

最後に第３のグループとしてはシンガポール、香港、台湾、韓国等ＮＩＥｓ諸国・地域があるが、これらの国では社会資本が充実しており、道路分野においてもかなりのレベルに達している。高速道路の整備も積極的に進められており、また交通渋滞、交通安全への対応に加えて道路景観、緑化といった先進各国が現在直面している問題と同様な課題に取り組んでいる。経済発展に伴って交通騒音や排気ガスによる大気汚染といった交通公害も第３のグループでは問題化している。

７．２．２　鉄道

表－7.2.2.1に、アジア諸国の人口、国民一人当たりのＧＮＰ、鉄道網密度、線路延長、複線化率及び電化率を示す。アジアで鉄道網密度の高い国は、バングラデシュ、インド、韓国、スリランカで、主として英国の影響を受けている国が多い。鉄道網密度では中国は低い値を示しているが、広大な面積を有しているためであり、線路延長、複線化率、電化率はアジアでトップクラスの値である。また、インド、韓国も中国同様に複線化率、電化率は高い値を示している。

アジア諸国の鉄道はいくつかの問題を抱えている。表－7.2.2.2に示す営業係数は鉄道運賃に対する必要経費額の比であり、100ドルの鉄道運賃を稼ぐのに必要な経費額ともいえる係数であり、営業係数が100未満の場合には黒字経営、100を越える場合には赤字経営となる。アジア諸国で黒字経営を行っているのはインドと中国の二カ国のみで、これに続いてマレイシアと韓国が黒字一歩手前の状況である。

赤字経営の最大の原因は、国営のため公共機関として営業収支を度外視した経営が要請されることと、非能率的な運営や技術革新の遅れ等により自動車をはじめとする他の交通機関に優位にたたれていることにあり、これがさらに一層経営の悪化を招いている。インドや中国においては黒字経営となっているが、これは鉄道以外の交通手段があまり発達していないことによるものと考えられる。

表－7.2.2.1　アジア諸国の鉄道の状況（出典：黒田定明「アジア諸国の鉄道」）

国　名	人　口 (1988年) (100万人)	GNP／人 (1991年) (US$)	鉄道網の密度 線路延長Km／国土Km²	線路延長 (km)	複線化率 (%)	電化率 (%)
スリランカ	16.6	500	0.0221	1,423	7.0	
インド	815.6	330	0.0182	61,813	22.0	13.2
パキスタン	106.3	400	0.0110	8,774	11.8	3.2
タイ	54.5	1,580	0.0073	3,834	2.4	
マレイシア	16.9	2,490	0.0127	1,668	0.5	
ﾊﾞﾝｸﾞﾗﾃﾞｼｭ	108.9	220	0.0199	2,792	8.2	
中国	1,088.4	370	0.0052	52,611	21.3	8.8
ｲﾝﾄﾞﾈｼｱ	174.8	610	0.0037	6,701	2.5	1.5
韓国	42.0	6,340	0.0325	3,130	25.9	14.9
フィリピン	59.9	740	0.0035	771	4.4	
ベトナム	64.4	—	0.0079	2,604	1.2	-
ミャンマー	35.3	—	0.0047	3,186	12.8	
日本	122.6	26,920	0.0563	18,984	31.1	50.0
フランス	55.9	20,600	0.1100	34,563	44.8	34.7
イギリス	57.1	16,750	0.0694	16,937	69.7	25.9

表－7.2.2.2　昭和62年（1987年）の営業係数・定時到着率・事故件数・事故発生数
（出典：黒田定明「アジア諸国の鉄道」）

国　名	営業係数 (%)	定時到着率(%)		事故件数 (脱線＋衝突)	事故発生率 (事故件数／100万km)
		旅客	貨物		
スリランカ	233	55.0	37.0	57	7.6
インド	92	85.0		566	1.0
パキスタン	124	90.7		94	1.8
タイ	127			86	2.8
マレイシア	100	18.3	19.6	53	6.5
バングラデシュ	156	63.2		210	12.0
中国	61				
インドネシア	136	15.0	8.0	71	2.2
韓国	100	96.0		14	0.2
フィリピン	170	13.0		78	65.0
ベトナム	111				
ミャンマー	169	54.2		122	12.4
日本	JRH 159				
	JRE 95				
	JRC 93				
	JRW 90			22	0.03
	JRS 142				
	JRK 122				
	JRF 93				

２番目の課題は、鉄道の安全性及び信頼性の問題である。表－7.2.2.2に示すように日本の鉄道では100万列車キロ当たりの事故発生率は0.03と非常に低いのに対して、アジア諸国の鉄道では日本の約10倍から1,000倍以上となっている。日本に次いで安全率が最も高いのは韓国であるがその事故発生率は0.2で日本の約７倍である。それに対してフィリピンの事故発生率は65と異常に高く、この値は日本の約2,000倍である。事故率の高い国の鉄道は安全に対する信頼性が低いわけであり、そのために鉄道の利用率が低下しているともいえる。また、列車の定時到着率をみると、韓国、パキスタン、インドが85～96%、インドネシア、フィリピンが13～15%であり、定時到着率が比較的高い国の営業収支は良好である。例えば、韓国の営業係数は100であるが、韓国の定時到着率は96%とほぼ定時に到着している。また、黒字経営のインドでも定時到着率は85%となっている。定時到着率が70%を越えなければ利用者の信頼が得られず、鉄道離れを引き起こすといわれている。

今後、アジア諸国の鉄道で解決しなくてならない問題として、安全運行、定時運行及び健全な経営の確保が挙げられるが、安全運行は鉄道の信頼性を高めることにとどまらず、その結果として経営の健全化へとつながる。また、シンガポール、フィリピン、インドネシアの首都圏等の大都市部においては通勤手段の一つとしての地下鉄を含む都市型鉄道の整備が交通渋滞を解決する有力な対策となり得るだろう。

７．２．３　水質保全・下水道

日本では鉱山開発や工場からの有害物質の排出による水質汚染が近代化政策の始まりから約100年の間に一定の流れをもって進行してきたが、それぞれの水質汚染に対して対策が実施されてきた。しかし、開発途上国では日本が100年かけて進めた近代化を20～30年で達成しようとしている。その結果、鉱業とその関連産業による古典的水質汚染と近代産業やハイテク産業による水質汚濁が同時に発生し、特に都市部の河川の水質悪化が問題となっている。日本をはじめとするアジア各国では、生活排水等の水質浄化を河川の自然浄化に頼っていた。しかし、工業化や都市部への人口の急激な集中等により河川の自然浄化だけでは水質浄化は期待できず、河川や海洋の汚染といった環境問題や人体への影響等が懸念されている。

アジア諸国においては首都ですら上水道の普及率が低いのが一般的である。特に、低所得者層の居住する地域は環境の悪い所が多く、水質の悪化している河川の水をそのまま飲料水に使用している場合もある。上水道の普及が国民の健康状態に大きく関係することから、積極的な整備が必要であるが、水道施設の整備は道路等の交通網整備に比べて大きく遅れている。また、上水道が整備されていても、水道原水が汚染され水道水の水質が悪化し、水質基準が満足されていない国もある。特に工業化による各種化学工場からの排水、畜産等の屎尿、ゴミ処理場からの汚染水等が土壌や地下水を汚染する傾向が強い。

アジア諸国の下水道はどのような状況にあるのか。表－7.2.3.1に下水道整備状況を示す。

シンガポールや香港では下水道普及率は90%を越しているが、多くの国では都市部において下水道の普及に取り組み始めたばかりである。現在ではタイ、マレイシア、台湾等の首都や都市部で普及率は数%から30%前後である。台北では平成19年（2007年）までに下水道普及率を42%に、バンコクでは平成９年（1997年）までに30%に、それぞれ目標を置いている。

表－7.2.3.1　アジア諸国の下水道整備率

（出典：松井俊郎「東南アジアにおける生活排水の現状」ほか）

国　名	下水道普及率	改善計画及び現在の問題点
香港	90%以上	
タイ	0.5% 都市部 2.7% 地方部 0.02%	現在バンコク市内には下水道施設がないため、1997年までにバンコク市内の普及率を30%にする。
マレイシア	10.7% クアラルンプール 約30%	
バングラデシュ	都市部 20% 農村部 6%	
インドネシア	都市部のトイレ普及率38% 地方部のトイレ普及率25%	1994年の都市部下水道普及率0.6%、浄化槽等簡易処理施設の普及率を都市部で50%、地方部で35%とする。
シンガポール	95%	
台湾	3% 台北市 17% 2007年の目標 42%	2007年までに下水道普及率を42%に高める。
日本	47% 東京都 90%	

マレイシアでは、1980年代までに全国16都市の下水道のマスタープランが作成され、このうち３都市では公共下水処理場が完成している。しかし、現在稼働している処理場においても比較的簡便な処理法を採用しており、高度な処理ができず、良好な処理水が得られない場合が多い。また、インドネシアではこれまで環境衛生の重要性についての認識が低いこと、地方自治体の汚水処理施設に対するプライオリティーが低いこと、下水道施設に対する予算不足等から下水道の整備が進まなかった。最近になって国際機関や外国の援助により10都市での下水道計画の調査・建設工事が進みつつあり、平成６年（1994年）には

都市部の下水道施設は人口普及率0.6%を見込んでいる。なお、いわゆる浄化槽等簡易な処理施設は人口普及率50%、地方部においても35%の普及率を目標としている。

アジア諸国においては、下水道が都市の活動を支え、衛生環境の改善に不可欠な基本的都市施設としてようやく理解が得られつつあり、大都市のパイロットプロジェクトが進行しだした。しかし、事業の実施に必要な技術者や財源が不足していることと、各都市・地域にあった計画や施設設計の手法の確立、管理手法、水質規制の整備が今後の大きな課題である。

7．2．4　自然災害

アジア地域における自然災害は非常に多く、世界中で発生している災害の約90%がアジアで発生しているともいわれている。バングラデシュや中国などは地理的条件から幾度となく洪水災害にみまわれている。また、多くのアジア諸国が環太平洋火山地帯に位置していることから、火山災害や地震災害が多発している。1900年以降93年間に死者1,000名以上の被害が発生した自然災害65件を表－7.2.4.1に示す。これによればこの期間に全世界で65件の災害が発生しており、これによって220万人以上の死者・行方不明者が発生しており、このうちの約60%に相当する37件約150万人の死者・行方不明者がアジアで発生している。このうち台風・ハリケーン・洪水によるものが約半数の19件約87万人の死者・行方不明者で、地震・火山災害によるものが18件約78万人の死者・行方不明者となっている。1年半に1回の割合で自然災害が発生しており、ここ10年間では11件が発生し年間4件も発生している年がある。

地震による被害はアジア地域で12件あり死者はおよそ74万人に達しており、特に中国・日本に被害が集中している。平成5年（1993年）12月にインドネシアのフローレス島で発生した地震では、津波によって多くの犠牲者が発生し、この地震による死者・行方不明者は2,000名を越えた。また、アジア地域における台風・洪水による被害は19件で死者はおよそ87万人に達しており、特にバングラデシュ、インドに集中している。最近の例では、平成3年（1991年）にバングラデシュをおそったサイクロンによって、14万人もの死者・行方不明者が発生している。火山による被害では6件が発生し、約4万人が犠牲になっている。また、火山災害はフィリピン・インドネシアに集中している。

表－7.2.4.1　今世紀における主な自然災害状況（出典：国土庁「防災白書」）

年	災害の種類	国　　名（地名）	死者・行方不明者数（概数）
1900	ハリケーン	米国、テキサス	6,000
1902	火山噴火	マルティニク、（西インド、プレー山）	29,000
1902	火山噴火	グァテマラ、サンタマリア火山	6,000
1906	台風／津波	香港	50,000
1906	地震	台湾	6,000
1906	地震／火災	米国、サンフランシスコ	1,500
1908	地震	イタリア、シシリー	75,000
1911	火山噴火	フィリピン、タール火山	1,300
1915	地震	イタリア、中部	30,000
1916	地すべり	イタリア、オーストラリア	10,000
1919	火山噴火	インドネシア、クルー火山	5,200
1920	地震／地すべり	中国、甘粛省	200,000
1923	地震／火災	日本、関東	143,000
1928	ハリケーン／洪水	米国、フロリダ	2,000
1930	火山噴火	インドネシア、メラビ火山	1,400
1932	地震	中国、甘粛省	70,000
1933	津波	日本、三陸	3,000
1935	地震	インド、パルチスタン	60,000
1939	地震／津波	チリ	30,000
1945	洪水／地すべり	日本	1,200
1946	地震／津波	日本、南海	1,400
1948	地震	トルクメニスタン（旧ソ連）	100,000
1949	洪水	中国	57,000
1949	地震／地すべり	タジキスタン共和国（旧ソ連）	20,000
1951	火山噴火	パプアニューギニア、ラミントン山	2,900
1953	洪水	北海沿岸	1,800
1954	洪水	中国	40,000
1959	台風	日本、本州	4,600
1960	地震	モロッコ、アガディール	12,000
1962	地すべり	ペルー、ワスカラン山	4,000
1962	地震	イラン、北西部	12,000
1963	サイクロン	バングラデシュ	22,000
1963	火山噴火	インドネシア、バリ、アグン火山	1,200
1963	地すべり	イタリア	2,000
1965	サイクロン	バングラデシュ	57,000
1968	地震	イラン、北西部	12,000
1970	地震／地すべり	ペルー、北部	70,000
1970	サイクロン	バングラデシュ	500,000
1971	サイクロン	インド・オリッサ州	10,000
1976	地震	中国、天津～唐山	250,000
1976	地震	グァテマラ	24,000
1977	サイクロン	インド、アンドラ・プラデシュ州	20,000
1978	地震	イラン、北東部	25,000
1982	火山噴火	メキシコ、エルチチョン火山	17,000
1985	サイクロン	バングラデシュ	10,000

表－7.2.4.1　今世紀における主な自然災害状況（続き）

年	災害の種類	国　　名（地名）	死者・行方不明者数（概数）
1985	地震	メキシコ、メキシコ市	10,000
1985	火山噴火	コロンビア、ネバド・デル・ルイス山	22,000
1986	有毒ガス	カメルーン西部、ニオス湖	1,700
1986	地震	エルサルバドル、サンサルバドル市	1,000
1987	地震	エクアドル北東部	数　千
1987	洪水	バングラデシュ	1,000
1988	地震	インド、ネパール	1,000
1988	地震	中国、雲南省	1,000
1988	洪水	バングラデシュ	2,000
1988	地震	アルメニア共和国（旧ソ連）	25,000
1989	洪水／地すべり	中国、四川省他	2,000
1989	洪水	インド	1,000
1990	地震	イラン	41,000
1990	地震	フィリピン	2,000
1991	サイクロン	バングラデシュ	140,000
1991	洪水	中国、江蘇省他	2,300
1991	火山噴火／泥流	フィリピン、ピナトゥボ火山	900
1991	台風	フィリピン	6,000
1992	洪水	パキスタン	1,334
1992	地震／津波	インドネシア	2,149

アジアの国別の状況を見ると、中国においては洪水や地震によって多くの災害が発生している。平成３年（1991年）に発生した揚子江・ハイヘ河流域での洪水では、2,300名以上の死者・行方不明者が発生し、農地等の冠水により経済的打撃も大きかった。中国政府はこの災害を契機に、災害の軽減を目的とした中国国家委員会を設立して災害軽減に向けた各種プロジェクトを実施している。また、国家災害軽減国立管理センターを平成４年（1992年）に設立し、同時に災害軽減のための科学研究プロジェクトを実施している。

バングラデシュは、ガンジス河及びブラマプトラ河の二つの大きな国際河川のデルタ地帯に発達し、国土の約半分が海抜８ｍ以下に位置しているため、サイクロンやモンスーンによる洪水、排水不良、高潮という水災害が頻繁に発生している。ここ30年間に６回の大災害が発生し、計73万人以上の人命が犠牲となっている。世界で最も貧しい部類に入るといわれるバングラデシュを救うため、平成元年（1989年）から15の援助機関・国が参加して、治水の問題を多面的にとらえて計画を立てようというバングラデシュ洪水対策計画（ＦＡＰ）が進められており、今後の事業実施に大きな期待がかけられている。

フィリピンでは、地震や火山災害によって多くの犠牲者を生んでいる。特に、平成３年（1991年）のピナトゥボ火山噴火は、降灰等により多くの建物が押しつぶされたり、その

後に発生した泥流によって多くの人命が奪われたのは記憶に新しい。また、ピナトゥボ火山の噴火はフィリピンのみならず、地球全体の気象条件、すなわち温暖化に大きく影響を与えるだろうと予測され、アジア地域にとどまらない問題に発展する可能性もある。フィリピンではこのような自然災害を受けて、主要幹線道路の道路防災長期計画を策定している。

インドネシアには活火山が約130あり、世界の活火山の約15%が集中しており、自然災害も火山噴火によるものが顕著である。特にジャワ島、バリ島等人口が集中している地域に活発な火山が存在し、火山活動に伴う大量の噴出物対策が課題となっている。また、最近では前述のフローレス島の地震災害の他、無計画な伐採や耕作による森林の荒廃、開発行為や部分的な河川改修のしわよせ等から洪水災害が大きくなっているとの指摘もある。

日本においては、戦後から行われてきた防災対策が功を奏して1,000名以上の人命を奪うような被害は発生していないが、日本海中部地震（昭和60年（1985年））、雲仙普賢岳における火砕流（平成３年（1991年））、北海道南西沖地震（平成５年（1993年））等の大規模な災害にみまわれている。これらの災害では100名を越える人命が奪われているが、今までに実施してきた防災対策により被害を最小限に留めている。また、災害復旧事業や災害関連緊急事業、助成事業等が災害発生後の早急な復旧や２次災害の防止に大きな役割を果たしている。

また、大災害には至っていないが、マニラ、バンコク、ジャカルタ等東南アジアの大都市においては、局地的豪雨や雨期の長雨により内水氾濫が頻発し、衛生上の問題や交通障害を招いている。いずれも政治的にも経済的にも重要性の高い都市であり、社会経済活動に与える影響は大きい。

今後、アジア諸国においては、地震、火山、台風・サイクロン、洪水等の災害に対して、各災害の発生確率・規模の予測及び災害に対する構造的補強すなわち耐震設計や、治水ダム、河川堤防、砂防施設等の建設、さらに復旧計画等の制度の確立も必要となろう。

7．3　技術移転の現状と課題

7．3．1　建設技術の現状と技術移転

建設技術の移転の現状について知ることは重要なことであるが、そのような調査事例は多くはない。ここでは筆者が建設省国際課長を勤めていた頃行ったＡＳＥＡＮ諸国についての建設省の調査をもとに技術移転の実態を紹介する。

建設省は昭和60年（1985年）から平成元年（1989年）の５ケ年間にわたり、マレイシア、シンガポール、インドネシア、タイのＡＳＥＡＮ諸国において建設技術の移転の実態調査を行った。調査は建設省から社団法人日本海外建設協会に委託され、海建協の調査担当者が調査国を訪問して調査を行った。調査国の関係機関（官庁、企業、業協会、大学等）の訪問調査と調査各国に進出している日本企業の日本人技術者へのアンケート調査を通じて、各国の建設技術水準、技術移転の実態、課題等の把握に務めた。技術水準や技術移転の程度を正確に把握することは、決められた方法論もなく、調査担当者の能力、考え方に大きく依存する点が多いが、この調査は各国に進出している日本企業の多数の日本人技術者の眼を通したものであり、主観がまじった相対的なものであることは勿論であるが全体像を把握するための資料としては充分役に立つものと考えている。

7．3．1．1　技術水準の評価

（1）個別技術水準

４ケ国の個別技術水準を評価すると技術力が不足していると思われる分野は下記のとおりである。

①土木技術者（大学卒業以上）

・フィージビリティ調査
・下水道、ダム、河川、港湾、鉄道、砂防の設計
・準備工事の積算
・施工計画、工程、品質、安全管理の施工管理全般
・機械施工、鋼杭製作、深礎工、ニューマチックケーソン工、橋梁の製作、設置の施工

②土木技能者（技術系高校、専門学校卒業程度のフォアマン、または学歴がそれ以下の職人のような技能を有するワーカー）

・排水構造物、軟弱地盤処理工、オープンケーソン工、ニューマチックケーソン工の施工

③建築技術者

・医療・福祉施設、通信・放送施設、鉄骨構造の設計
・仮設工事の積算
・施工管理全般
・仮設工事、鋼杭製作、中規模以上の鉄骨構造物製作と鉄骨検査、防水工事の全部の施工
・情報通信、消化防煙、ゴミ処理施設等の電気、機械設備の設置
・各種管理技術

④建築技能者

・施工図
・地盤改良工、排水、溶接工、鉄工、鉄骨建方、シート及び塗膜防水工の施工
・設備関係全般

⑤共通

それぞれの国で今まで必要でなかった分野や未経験であった分野の技術、施工管理全般、仮設関係、設備関係の技術不足が指摘されている。技術者の知識力についてはいずれの国も満足する評価を得ているが、実施能力と管理能力に低い評価がついている。技能者については管理能力を除いてまあまあの評価を得ている。技能工は水準は低いがこれもまあまあの水準と評価されている。国別ではシンガポールが群を抜いて水準が高く、インドネシアが低い。

（2）国別技術水準

①マレイシア

今までマレイシアで経験のない技術（例えばトンネル、地下鉄、ダム、港湾等）および気候、風土上必要でなかったと思われる技術（例えば防水工事、鉄骨工事）については技術不足であるが、今まで必要とされた個々の建設技術については着実に育成されている。しかし、これら技術を活用するための人材、組織の育成が一歩遅れている。また、建設に際して必要とされる固有の技術と管理技術のバランスをみた場合、管理技術が全般的にかなり弱いと評価される。

②シンガポール

今までシンガポールで経験のない技術（例えばトンネル、シールド、地下鉄、ダム）については技術不足であるが、その他については相対的に建設技術移転のニーズが低く、日本の建設技術の受け入れ余地が少ない。それはシンガポールの技術水準はすでに相当の高

さにあり、またインフラ整備もほぼ完了しているので、管理技術を除いて一般的建設技術の導入はほとんど必要としない状況にあると言える。また技能者への訓練制度も充実している。

③インドネシア

インドネシア建設業の職人と技能工は、継続雇用の保障がないことから、未熟練であり、かつ下請企業も技術的信頼性が薄く、これらの職人や技能工をその都度直傭に近い形で使用しなければならない元請企業の苦労は大変なものがある。左官工、塗装工、石工などの職人クラスも殆ど未熟練工であり、品質と工程管理のため直傭の中級エンジニアが四六時中しっかりと監督しなくてはならない。そのため中級エンジニアも大勢必要で、本来であれば下請専門業者のするべき仕事が元請企業や発注官庁の肩にかかっている。

公共事業省建設産業振興局でも相当真剣にこの問題の改善を考えているが未だ実施されていない。職人や技能者クラスの仕事の安定化がインドネシア建設産業の基盤強化の唯一の方法といわれており、訓練センター等特別なプロジェクトの実施や建設産業の雇用制度の改善が必要であろう。技術者や技能者へマネジメントや管理技術あるいは高度な技術の移転の必要もあるが、職人や技能工のダウンストリームの整備が焦眉の急であると認識されている。

日イ両国の技術移転の成功例として今でも有名なのは、カランカテス、カリコント、ウォノギリのダム建設プロジェクトで、日本側が技術と資材、インドネシア側が施工を自ら実施する事業主体者となってプロジェクトを完成させたものである。成功の原因は事業主体者が公共事業省で、大学や専門学校を卒業して役人になった若い技術者に対するプロジェクト全体の技術移転だったことである。

④タイ

タイにおける建設産業の技術移転は社会基盤整備の進歩に遅れることなく、順当に行われてきたとみるべきである。技能工の定着という問題は農業立国という社会事情と近代的職制体系が未だ整備されていない事情により、他のＡＳＥＡＮ諸国と同様必ずしも安定しているとはいえないが、タイは比較的良い状態にある。1970年代後半の中東の建設ブームで出稼ぎに出たタイの技能工達が国際的市場で腕を磨いたこと等もあり、技能工クラスの技術水準はある程度国際的に通用する水準に達しているとみられる。

一方最高学府で教えられる理論的建設技術や手法については先進国と内容において異なることなく、またアジア各国の修士を専攻する学生を対象とするＡＩＴ（Asian Institute of Technology）がバンコク郊外にあり、この分野ではタイは恵まれた環境にある。勿論、先端的建設技術や特殊技術の面については移転されていないものの方が多いが、これは背景となる経済基盤の進歩の度合から現在必ずしも必要であるとは言えず、今後技

術移転の対象となる領域である。

日・タイの技術移転の最近の成功例としてはラマ９世橋（斜張橋）の建設に際して、橋梁製作、溶接の技術移転が行われたことである。元請である日本企業側が橋梁製作を徹底して現地で行ったことと技術移転を日本での実地研修、現地でのman-to-man教育、On-the-jobトレーニングで実施したことにある。橋桁製作に用いられた工場は現在も稼動中で、その後の橋梁製作の工事にも活躍している。

７．３．１．２　技術移転のポテンシャルの評価

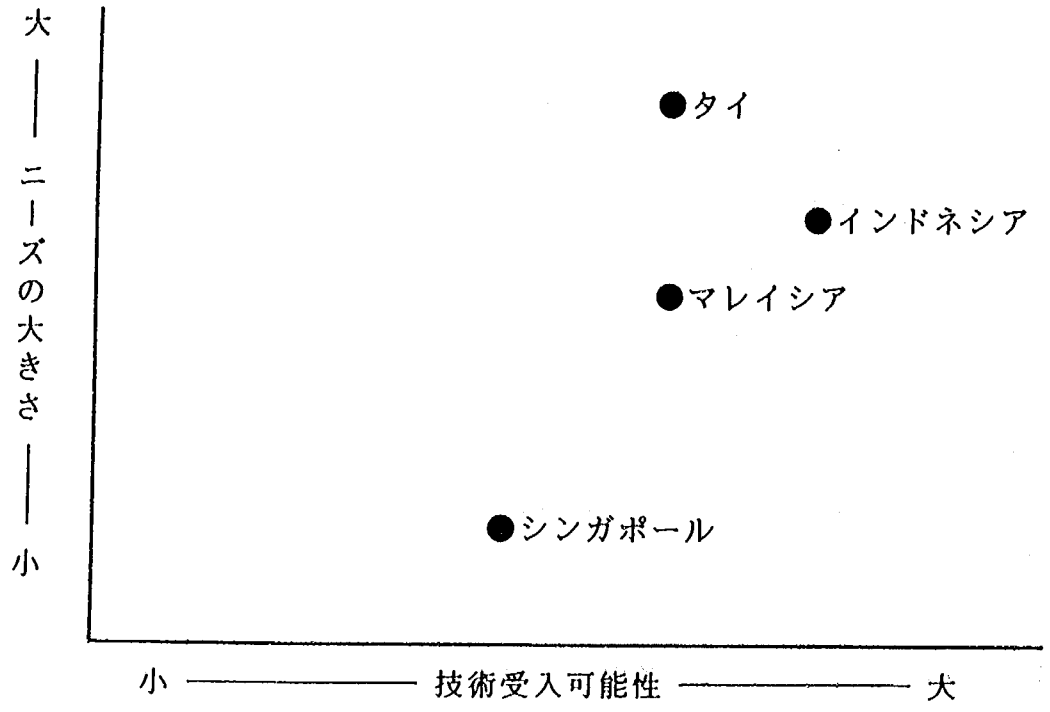
今回の調査を通じて調査４ケ国の建設技術移転に対する相対的位置付けを試みてみる。技術環境要因として、比較的各国の差がわかり易いものを取り上げ、建設技術移転へのニーズと技術受入可能性とし、各国のポテンシャルを表－7.3.1.1に示す。

その結果をまとめて各国の建設技術移転に対する位置を図示すると図－7.3.1.1のようになる。図－7.3.1.1の示すところは、シンガポールは相対的に建設技術移転のニーズが低く、日本の建設技術の受け入れ余地が少ない。それは、当国の技術水準はすでに相当の高さにあり、またインフラ整備もほぼ完了しているので、一般的建設技術はもう必要としない状況にある。しかし、都市土木や高度な建築に関する日本の先端的技術については興味があるので、移転可能なものを選択し、移転促進を図る必要がある。

これに対して、他の３国は程度の差こそあれ、建設技術一般に対してニーズが高く、受け入れ余地もある。マレイシアの場合は日本のオーバープレゼンスが問題になったこともあり、"Look East"政策にきめ細かく対応しながら、日本の建設技術で現地に移転できるもの、共同開発すべきものを見出し、官民の役割分担を明確にして移転方策を検討する必要がある。

表-7.3.1.1　技術環境要因からみたＡＳＥＡＮ４ヵ国の建設技術一般の移転ポテンシャル

技術環境要因		ﾏﾚｰｼｱ	ｼﾝｶﾞﾎﾟｰﾙ	ｲﾝﾄﾞﾈｼｱ	ﾀｲ
ニーズ要因	インフラ整備の必要性	高	低	高	高
	建設工事需要量	低	低	低	高
	公共投資政策	中	低	中	高
	技術水準向上の必要性	中	低	高	中
受入可能性要因	日本建設業進出に対する態度	低	低	高	中
	外国資金への依存度	高	低	高	高
	技術移転受け皿の整備状況	中	高	低	低
	日本の技術に対する受容性	中	低	高	中



図－7.3.1.1　建設技術移転に対するＡＳＥＡＮ４カ国の位置づけ

また、需要拡大策に寄与できる経済援助を進めることも重要である。タイで重要なことは不満が出始めているオーバープレゼンス問題をいかにクリヤーしつつ、現地に即した技術移転の方策を検討するかである。インドネシアは全体的に建設基盤充実のために、特に多面的な技術移転方策を検討する必要がある。

７．３．１．３　技術移転推進上の課題

今回の調査を通じて得られた建設技術の移転を進める上での問題点について以下に記述する。

① 政府機関の技術者は殆どが大学卒という高学歴の技術者が中心であるが、プロジェクトの計画、設計、施工、施工管理の技術について学問的知識はもつているが、実践的知識や経験に乏しい。1960年代は公共事業を計画から施工に至るまで政府職員が直接関与する例があったが、最近は主要な建設プロジェクトの多くが外国からの援助によるものが多く、それらの実務は外国のコンサルタント、施工業者が行うことになるので、政府職員が益々実務から遠ざかる傾向にある。この傾向は国家開発計画の基盤になるプロジェクト設定に必要な知識と経験が乏しくなることであり、好ましくない。

② 民間の技術関係者のうち技術者については組織に頼らず、自分の技術に頼ろうとする型が多く、新しい技術を身につけても他人と共用しようとしない。また、雇用条件が良ければ簡単に転職する。建築士や技術者は社会的地位がかなり高いと見られており、そのため始めから経営的業務に従事したがり、施工とか施工管理のような業務はやりたが

らない傾向がある。技能者（高卒程度のフォアマンクラス）は現場での作業のすべて、すなわち材料手配から技能工の仕事の管理、施工図の作成に至るまで何でもこなさねばならない。グレードが検定によって認定されていないこともあり、努力と能力が正当に評価されていない。

技能工については墨出し工、型枠大工、鉄筋工、配管工など一応は仕事をこなすが、未熟練工が多く、大半が農村からの潜在失業者である。質的にも量的にも必要を満たすには非常に不安定である。

③ 構造的問題としては建設産業を直接管掌する機関がないことである。建設産業登録の受付は商業省、公共事業の発注、施工管理は公共事業省、技術者等の管理は労働省などと分かれている。建設産業について保護育成どころか建設単価の値上がりに伴う公共工事費の見直しなどについても検討されることは甚だ難しい状況である。

資格制度については大学卒以上の卒業生に与えられる建築士や技術者の制度はしっかりしているが、技能者や技能工に対する資格については不明確なところが多い。技能工の資格や訓練についてはシンガポールが最も充実している。

民間会社は個人資本で設立した極めて商業的色彩が濃いものが多く、技術尊重の風潮が薄い。技術開発や技術者教育等を行えるほどの余裕のある企業は少ない。

また、高度な技術者の供給源である大学卒業者の数が少なく、卒業者は大体官庁や教育界へ行くのが多い。タイでは最近民間企業の好待遇とプロフェッショナルな活動が大卒者を引きつけているようである。タイの今後の民間建設業の発展が大いに期待されている。

7．3．2 プロジェクトタイプの技術協力

わが国の二国間協力のうち、資金協力は主として海外経済協力基金（ＯＥＣＦ）を通じて、また技術協力は国際協力事業団（ＪＩＣＡ）を通じて行われている。国際協力事業団は外務省の監督下にある特殊法人であるが、その運営にあたっては国際協力に関連する他省庁との協力の形をとっており、建設省は公共事業に関する技術協力を実施する上で実質的に指導的役割を果たしている。

プロジェクトタイプ技術協力は通常別々に行われる専門家の派遣、訓練員の受入、機材の供与を同時に行ない、ひとつのプロジェクトを計画段階から、施行、事後評価の段階までの全期間を通じて体系的および総合的に技術協力を行う協力方式である。これらプロジェクトタイプ技術協力の目的は概ね５年間で効果的な技術移転を図ることである。実施計画および年次計画によれば、まず最初に技術移転センターが建設され、続いてこのセンターをベースとして専門家の派遣（１年間以上滞在の長期専門家５～10名）、機材の供与（２億～５億円の資機材）と訓練員の受入（10～20名）を同時に行う総合的な協力の実施となる。このため、これらのタイプの技術協力方式をセンタープロジェクトと呼ぶ場合も

多い。プロジェクトタイプ技術協力はわが国独特の協力方式であり、特に技術移転を図る上で効果的な方式であることが明らかとなった。

プロジェクトタイプ技術協力では、受入国自身で技術移転のベースの整備が行われ、わが国からの専門家と受入国の技術者が一緒になりOn-the-Jobトレーニングを通じて技術の移転が行われる。さらに重要な点は、プロジェクトの期間中、実施上の問題点に関する指導と議論および技術訓練と必要な助言のための調査団の派遣を通じて、大変程度の高い訓練が行われることである。そのようなプロジェクトタイプ技術協力の例として、タイ国（ソンクラとスラタニ）道路建設訓練センター、フィリピン国交通訓練センター、ミャンマー国橋梁訓練センターの三つの実施例について以下のとおり説明する。

7．3．2．1　道路建設訓練センター（タイ）

（1）背景

1960年代のタイでは、道路建設の機械化が緊急に必要とされており、そのために必要となる技術者の訓練と機械の確保は重要な課題であった。同時に南タイの東海岸沿いに全天候道路（All weather road）建設の強い要望もあった。これらがソンクラおよびスラタニにセンターが作られた背景である。

（2）センターの概要

日本人専門家はタイのセンター組織からは独立したアドバイザーの地位に立つ。専門家の主要な役割はセンターにおいてすぐに使用できる道路を実際に建設する技術を移転することであった。この理由から、専門家は例を示すため建設工事に直接関与するとともに、若いタイの技術者に彼らの行う工事に関し指導と助言を行った。ソンクラセンターには計14名の日本人専門家が派遣され、そのうち９名（３名が土木、６名が機械）がセンターに常駐した。スラタニセンターには29名が派遣され、そのうち10名（土木４名、機械６名）がセンター常駐であった。このほか、土木、機械職以外の分野の専門家が必要に応じ短期間センターに派遣されている。合計３億円および７億2,000万円の建設機械と車輌がそれぞれソンクラおよびスラタニセンターに日本政府から供与され、15名（ソンクラ）および30名（スラタニ）のタイ人技術者が日本で訓練を受けている。

a）日本およびタイ政府の役割

プロジェクトタイプ技術協力を通じて技術移転を図る一方、センターは道路を実際に建設する目的を持っていたので、訓練と建設に関する両政府の責任の分担をはっきりとさせる必要があった。両政府の責任分担は次のようである。

（日本）

①技術専門家の派遣

②センターにおける専門家による訓練と指導

③建設機械、器具、部品の供与

（タイ）

①道路建設の実施

②材料、燃料、労働力およびセンター施設の費用の負担

③センターの運営

b）センター要員

センターのタイ人スタッフとしては、それぞれのセンターの所長およびプロジェクトエンジニアの下に９名（ソンクラ）と23名（スラタニ）のタイ人技術者が居た。これらの技術者は皆若く、大学の新規卒業者で、現場経験に乏しかった。彼らはそれぞれ工区の長となり、彼らの下にいる運転士や労働者を使う立場にあった。彼ら技術者の下に、40名（ソンクラ）および60名（スラタニ）の技能者（工業高校卒業者）がおり、彼らが技術者を助ける役割にあり、実際の工事実施にあたっての頼みの綱であった。センターの合計要員は日本人専門家、労働者を含めて400～500名であった。

（３）道路建設プロジェクトの概要

二つのセンターで実施されたプロジェクトの概要は表－7.3.2.1のとおりである。表－7.3.2.1から判るように、ソンクラセンターでの初期の経験が、スラタニセンターでの計画を拡大、即ち２倍の道路延長と設計基準の高規格化を可能とした。

表－7.3.2.1　プロジェクトの概要

	ソンクラ	スラタニ
期間	1965年 2月～1968年10月	1971年 7月～1977年11月
道路名	国道403号	国道18号
区間長	58.5km （Sonkhla-Nataweee間） ６kmの支道を含む	110.4km （Surat Tham-The Sala間）
設計速度	80km/hr	100km/hr （80km/hr：山地部）
舗装巾	６m（２車線）	６～７m（２車線）
道路敷地幅	40m	40～60m
舗装タイプ	アスファルト表層 （二重歴青表面処理）	アスファルトコンクリート

（4）訓練方法

訓練と指導は実際の建設工事を通じて可能な限り実地に近いやり方で行われた（On-the-jobトレーニング）。11月から12月にかけての雨期には現地工事を中止せざるを得ないので、ソンクラでは室内講義を行なったが、スラタニでは工事は年間を通じて連続して行われた。土木技術の訓練と指導はタイ人の技術者や技能者に限られたが、建設機械に関する訓練は、運転工、機械工、運転手を対象としている。次の政策が訓練と指導を行う際に採用された。

a）技術者に対して

①日本人専門家が技術的問題で議論している時、タイ人技術者を可能な限りその議論に参加させること。

②問題が起こった時、その問題やそれに関する調査や取られた処理は英語での技術報告書にまとめられ、後に実作業マニュアルとして使われる技術手引書として編集された。

③タイ側技術者は問題を解決するに当り、直観に頼るよりは集められた基礎データによる統計的および技術的分析のような科学的方法を採るように教えられた。この手法は水文資料の統計分析から得られた設計洪水量に基づいて橋の長さを決める際によく用いられた。供用記録をベースに機械使用の方法を決めることもこの科学的方法採用の例である。

b）技能工、機械工、運転工および運転手に対して

①整備工場で重機械および車輌の使用、修理、溶接について実務訓練が技能工と機械工に対して行われた。

②運転工や運転手は現場で機械の運用の訓練を受けた。日本人専門家が現場をパトロールし、重機械の検査、注油、応急修理について指導した。

③部品や道具の管理にあたっては合理的倉庫管理手法が採られた。

④安全意識の向上を図ることは勿論、施工法や機械の使用法を教えるために度々映画やスライドショーが用いられた。

（5）効果と課題

各々のセンターの未熟練工を除くほぼ200名のスタッフに対して確実に、直接あるいは間接的に技術移転は行われた。技術者については、On-the-jobトレーニングは実際の現場状況に彼らの知識を対応させる能力を確実に向上させた。運転工や修理工は機械の運用、使用、修理について実務能力を身につけた。それぞれの問題について採られたほぼman-to-man方式の教え方は技術者の能力向上に特に効果があった。しかしこの指導方法は少数の技術者しか恩恵を受けられないという点で不利であるが、一方先に述べた英語で書かれた手

引書のようなものが通常の訓練から得た知識をさらに向上させる効果があった。

ソンクラおよびスラタニセンターで建設された道路は全天候型幹線道路として機能しており、また両センターとも日本人専門家が帰国した後も、それぞれの地域で新道路の建設と既存道路の維持のための中心的な道路事務所としての機能を維持しつづけている。現地を最近訪れた日本調査団からこのプロジェクトで供与された機械が15年も経ったというのに今だに使われていることを知り、驚くとともに大きな喜びを感じた次第である。このことは、機械の運用、使用の技術が現地の人々に正しく移転されたという事実を示す何よりの証拠といえる。

7．3．2．2　交通訓練センター（フィリピン）

（1）背景

マニラ首都圏都市交通施設計画調査（パーソントリップ調査の項目も含む）が昭和46年（1971年）から昭和48年（1973年）まで当該地域における土地利用条件を考慮して、マニラ首都圏に対する総合的交通施設の整備を目的として行われた。国際協力事業団を通じて日本の建設省の協力の下で行われたこの調査は鉄道や道路を含む交通施設整備のマスタープランを作りあげた。このマスタープランのフォローアップとして道路計画に関する調査が行われたが、この調査をするにあたり、道路技術者の不足が痛感されたのである。急激な都市化による交通問題を解決するため総合的な都市交通計画を事業化させようとしていたフィリピン政府も道路および交通技術者の不足を感じており、このためマニラに道路交通訓練センターを設立する計画を持っていた。このような状況からセンターは、日本の建設省と警察庁の支援を得ながら国際協力事業団のプロジェクトタイプ技術協力の形をとって開設され、道路および交通技術者に訓練を実施することとなった。

（2）センターの概要

センターの目的は交通問題を取扱うことになる技術者にとって必要な理論的かつ実務的な訓練を集中して実施することであった。フィリピン運営委員会（のちに顧問委員会と名称変更）とセンター所長は、日々のセンターの運営に直接責任を有するが、日本人専門家の長は、他の日本人専門家の意見を考慮しながらセンターの運営に関する技術的事項について、センター所長と委員会に意見を述べることである。二国間の協定を基本として、フィリピン側講師はセンターで講義を行ない、日本人専門家はこれらのフィリピン側講師陣に意見を具申することとやり方を教えることである。昭和52年（1977年）から昭和58年（1983年）の間、９人の日本人長期専門家がセンターに派遣されるとともに６億円の価値を有する機具が供与された。これらの機具はセンターにおける講義の実施にあたって大変有益であった。この間34名のフィリピン人技術者がトレーニングのため日本を訪れた。

（3）センターにおける訓練活動

訓練は日本人専門家の協力の下にフィリピン人講師によって行われた。

訓練コース：交通計画、交通工学、交通管理の三コース

訓練期間：1学期5カ月（のちに15週に減少）

訓練生数：1学期40名の訓練生

（交通計画コース、交通工学コース各10名、交通管理コース20名）

訓練生の資格：訓練生は大学もしくは同等のレベルの研究所の卒業生で、主として交通に関係する政府機関の職員であること。

a）正規訓練コース

このコースがセンター設立の主なる目的であった。訓練生は国内の各地、主として政府機関から派遣され、各コースは5カ月続いた。合計392名の訓練生が6年間の技術協力期間中の10学期で訓練を受けた。各クラスはフィリピン人講師により運営されたが、一方日本人専門家は下記の項目についてフィリピン人講師に助言を与えた。訓練計画とカリキュラムの準備、訓練の内容、指導材料の選別と準備、各クラスの方向付け、委員会で行う訓練のためのセンターの種々の活動に対する計画、助言と実施、各セミナーと研究のための講義、助言、技術指導カリキュラムの例を表－7.3.2.2に示す。

b）地方都市における短期セミナー

マニラ以外の地方都市もまた交通問題に悩んでおり、訓練生はセンターに派遣された。しかしながら地方都市の派遣する訓練生の数は、予算的制約から制限された。この理由から地方都市において短期間のセミナーの開催が計画され、昭和54年（1979年）12月のDavaoでの開催を最初に昭和57年（1982年）7月のLucenaでの開催を最後として合計595名の参加者を得て実施された。これらのセミナーは、また講師陣に幅広い経験を与える良い機会を与えるものであった。

c）その他のセミナーおよび国際会議への参加

講師陣は他の機関で企画されたもので、正規訓練コースにおける課目とは異なった内容について講義をする短期間セミナーに参加する機会を与えられた。また彼らは例えば、東南アジア交通通信発展会議（Southeast Asian Agency for Regional Transport and Communications DeVelopment；SEATAC）のような国際会議に参加する機会も持つことができた。

表－7.3.2.2　正規訓練コースのカリキュラムの例

Numerals represent number of class hours

	General Courses	Special Courses		
		Traffic Planning	Traffic Engineering	Traffic Management
1st Term	·Transportation Policy 2 ·Traffic Planning 6 ·Traffic Survey 13 ·Traffic Characteristics 9 ·Human Engineering 2 ·Transportation Environment 8 ·Road Design 6 ·Traffic Accident Analysis 6 ·Traffic Regulation 6 ·EDP (Introductory) 4 ·Statistics 17 ·Observation Trip 4	·Traffic Planning (Outline) 8 ·Urban Land Use Planning 24 ·Transportation Facilities Planning 34 ·OD Surveys 40 ·Traffic Volume Forecasting 72 ·Economic Evaluation 16 ·Traffic Management Planning 16 ·Special Survey (Report) 30	·Traffic Flow Theory 32 ·Traffic Capacity 32 ·Traffic Survey 32 ·Geometric Design 72 ·Intersection Design 32 ·Road Facilities 16 ·Road Signs and Indications 16 ·Parking lot 8	·Traffic Management (Introductory) 3 ·Traffic Law 11 ·Traffic Regulations 22 ·Traffic Accident Analysis 27 ·Traffic Signals 40 ·Area Traffic Control 30 ·Traffic Law Enforcement 24 ·Traffic Survey 32 ·Traffic Safety Program 24 ·Road Signs and Marking 27
	Total 83	240	240	240
5th Term	·Traffic Planning (Introductory) 3 ·Traffic Engineering (Introductory) 5 ·Traffic Management (Introductory) 4 ·Economic Evaluation 4 ·Traffic Data Collection 2 ·Transportation Systems Analysis 4	·Comprehensive Traffic Planning 28 ·Transportation Facilities Planning 21 ·Traffic Engineering 48 ·Traffic Data Collection 30 ·Traffic Volume Forecasting 36 ·Project Evaluation 24 ·Traffic Management Planning 14 ·Statistics/EDP 47 ·Planning 13 ·Special Studies 35	·Traffic Characteristics 20 ·Traffic Survey 45 ·Road Design 66 ·Traffic Signals 24 ·Traffic Safety Analysis and Facilities 14 ·Route Selection 10 ·Statistics/EDP 37 ·OD Surveys/Forcasting 24 ·Project Evaluation 16 ·Road Structures 14 ·Special Design 24	·Traffic Regulations 30 ·Traffic Accident Analysis 30 ·Traffic Signals 30 ·Traffic Law Enforcement 25 ·Traffic Survey 32 ·Traffic Safety Program 25 ·Road Accessory Facilities 18 ·Data Processing 30 ·Traffic Planning 10 ·Traffic Characteristics 20 ·Road Design 10 ·Special Lectures 4 ·Special Studies 30
	Total 22	294	294	294

Note: 90 minutes per lecture in 1st and 2nd terms, 60 minutes in subsequent terms

d）研究活動

センターにおける研究活動の必要性が当初から指摘されており、日本からの供与になるケソン市街路交通信号整備計画の一部である交通信号および交通管理施設の建設にあたっては、日本人専門家の指導のもとに種々の調査や計画業務がセンターで実施された。また他の機関の要請により実施されたコンサルタント業務は講師陣にとって有益で実際的な経験をもたらす良い機会を与えるものであった。

（4）評価

6年を超える技術協力に対するプロジェクト評価は次のようである。プロジェクトの当初の目的、即ち技術移転は合計392名の技術者や技能工に訓練を実施したことで完全に達成された。フィリピン人講師はセンターに席を占める前は皆若く、経験不足であったが、センターで教えて2～3年後、彼らの多くの者が外国へ留学し、修士号を得て帰国、センターに戻ってきた。様々な政府機関で働く交通技術者や技能工の理論的かつ実務経験の知識を向上させるための機関として設立されたセンターであるが、センターが経験豊富な講師で占められるにはもう少し時間が必要と考えられる。

（5）今後の展望

センタープロジェクトは昭和58年（1983年）4月に終わったが、日本はそれ以来毎年若い研究者を派遣し続けている。センターは現在は訓練員をフィリピンのみでなく他のＡＳＥＡＮ諸国からも引き受けている。またセンターを交通の分野で修士号の学位授与権限の付与された研究所、すなわちフィリピン大学の関連施設として昇格させる希望もでてきている。

7．3．2．3　橋梁技術訓練センター（ミャンマー）

（1）背景

イギリスから独立して以来、ミャンマー（旧ビルマ）は農業と社会経済発展のための産業に力を入れてきたが、交通網の整備の遅れがそれらの活動の障害となってきた。必要な資金の確保とともに橋梁技術者の訓練が道路網の整備上緊急な課題となっていた。独立前は橋梁は主としてイギリス人技術者によって建設された。独立後、ミャンマーの技術者によって建設された橋は、カナダからの技術協力で1967年に完成されたスパン30mのＰＣ桁橋のタケタ（Thaketa）橋の複製に過ぎないものであった。

（2）センタープロジェクトの概要

現地材料である砂、砂利、セメントで作られるＰＣ橋の設計、建設技術をミャンマーの人々に移転させることを目的として橋梁技術訓練センタープロジェクトが始められたのは

前述のような状況の下にあったからである。このプロジェクトにおける橋梁関連技術の移転は、建設公社（現在は公共事業省）によりヤンゴン（旧ラングーン）に開設された橋梁技術訓練センターでは設計の訓練を、またヤンゴンの郊外にあるツワナ（Thuwunna）橋の建設現場ではOn-the-jobトレーニングをという形が取られた。昭和60年（1985年）７月、６年間を経てプロジェクトが終了した時まで、合計50人の日本人専門家が建設省、公団等の政府機関、民間会社から派遣され、そのうち22名（534人・月）が長期滞在者（１年を超える期間）、28名（46人・月）が短期滞在者であった。同時に、合計10億円（５億円はグラントベース）相当のＰＣ鋼棒や建設機械などの機械と材料が日本政府により供給され、また31名のミャンマー人技術者が日本で訓練を受けた。

a）橋梁技術訓練センター

構造解析、ＰＣ橋の原理、約30ｍスパンのＰＣ橋の設計演習を課題とする１年間の基礎コースが昭和55年（1980年）から昭和57年（1982年）にかけて訓練センターで実施され、計57名の訓練員が参加した。昭和58年（1983年）と昭和59年（1984年）には基礎コース修了者の中から10名が選択されて上級コースに参加した。上級コースでは約100ｍのディビダグ橋の設計手法を学ぶとともにその中でPathein-Monywa道路上に計画されているナグワン（Ngawun）橋（橋長355ｍ、中央スパン110ｍ）の詳細設計にも携わった。

b）On-the-jobトレーニング（ツワナ橋の建設）

On-the-jobトレーニングはツワナ橋（ディビダグ形式、橋長300ｍ、中央スパン100ｍ）で実施され、ピーク時で25人のミャンマー人の技術者、鉄筋とＰＣ鋼棒担当の約120人の技能工、300人の労働者および事務職の人々により、日本人専門家の指導の下にツワナ橋は建設された。機械の調達と応急的な機械作業（昭和55年（1980年）４月開始）に続いて、橋梁建設工事は昭和56年（1981年）10月順調に始まり、工事期間中無事故で昭和60年（1985年）４月完成し、供用を開始した。

（３）その後の橋梁建設

ミャンマーの技術者と技能工の技術をさらに向上させる目的で昭和60年（1985年）に始まったナグワン橋の建設は上記のツワナ橋の建設中に持ち上ったものである。ナグワン橋建設の技術協力は昭和62年（1987年）ミャンマー政府の要請によって始まった。

この協力はプロジェクトタイプの協力ではなく、日本人専門家の短期派遣という形で進められたが、その中では15億円のグランド援助としてＰＣ鋼棒とツワナ橋建設の際供与された機械に追加する形で新しい建設機械が供与された。ナグワン橋建設工事で働いている技術者や技能工の多くはツワナ橋プロジェクトで訓練を受けた者であった。ツワナ橋の建設現場では日本人専門家がフルタイムで常駐したが、このナグワン橋の建設では日本の援

助は31人の専門家の派遣（24人・月）のみにとどまり、それも全工程中の技術的に難しい10回の時期に10日から１ヶ月にわたり派遣されたものである。ナグワン橋は工事中無事故で平成３年（1991年）７月に完成し、供用開始された。

（４）技術協力の効果と将来計画

橋梁技術訓練センタープロジェクトを実施したことで、ミャンマーの技術者は、現場で常駐した日本人専門家の指導の下とはいえスパン100mのツワナ橋を建設することができた。続くナグワン橋、同じようなスパンであるが、ミャンマー人技術者のみによって建設、完成された。工程中の重要な時期に10日から１ヶ月間現場に派遣された日本人専門家の援助を受けているが。この第２の橋梁プロジェクトを通じて、ミャンマーの技術者は、最初のプロジェクトで得た建設技術をさらに発展させることができた。このことは日本人専門家の派遣日数の減少、即ち、ツワナ橋の580人・月からナグワン橋のたった24人・月に減少したことからも明らかである。ナグワン橋の建設における効果のほかに、ツワナ橋プロジェクトで訓練を受けたミャンマーの技術者は現在、国内の中小橋建設工事の責任者になるなど重要な役割を荷っているし、また他の技術者や技能工を訓練することに大きく貢献している。

表―7.3.2.3　ツワナ橋とナグワン橋の比較

	ツワナ橋	ナグワン橋
橋長	300m	355.2m
最大スパン	100m	110m
型式	ＰＣ箱桁橋	ＰＣ箱桁橋
幅員	11.8m	12.3m
車線数	2	2

７．３．２．４　結論

今までに述べた３ケースの協力事例からプロジェクトタイプ技術協力の特徴は下記のとおりまとめられる。

① 必要とされる理論的および実務的訓練は、センターをそのためのベースとして集中的な方法で実施される。

② 現地訓練員と日本人専門家が共に実際のプロジェクトで働き、彼らが直面する現実の問題を通じて移転される技術、これこそが技術移転を図る有効な方法である。

③ 日本人専門家の帰国後もセンターは訓練センターとしての機能を続けるので、技術は最も効果的なやり方で他の技術者へと移転されると考えられる。

④　機械に対する維持管理ノウハウの移転は供与された機械の長期間にわたる最適な使用を保証するものである。

⑤　日本で訓練を受けた者は、特別な技術を得るとともに彼らの同僚である訓練員の間に彼らの仕事に対して責任感が育つようになることを助けるのである。

⑥　建設された構造物からもたらされる社会的、経済的便益もまた留意されるべきである。例えば、ミャンマーにおけるツワナ橋は現在１日10,000台以上の車によって使われている。

プロジェクトタイプ技術協力はそれが実施された国々から立派な評価を受けてきたし、今日では開発途上国からそれに対する沢山の要請がある。日本政府は増加するプロジェクトへの協力を実施することおよびプロジェクトタイプ技術協力が受入国における社会資本施設の整備に貢献することが望まれている。

７．３．３　建設技術移転の推進に向けて

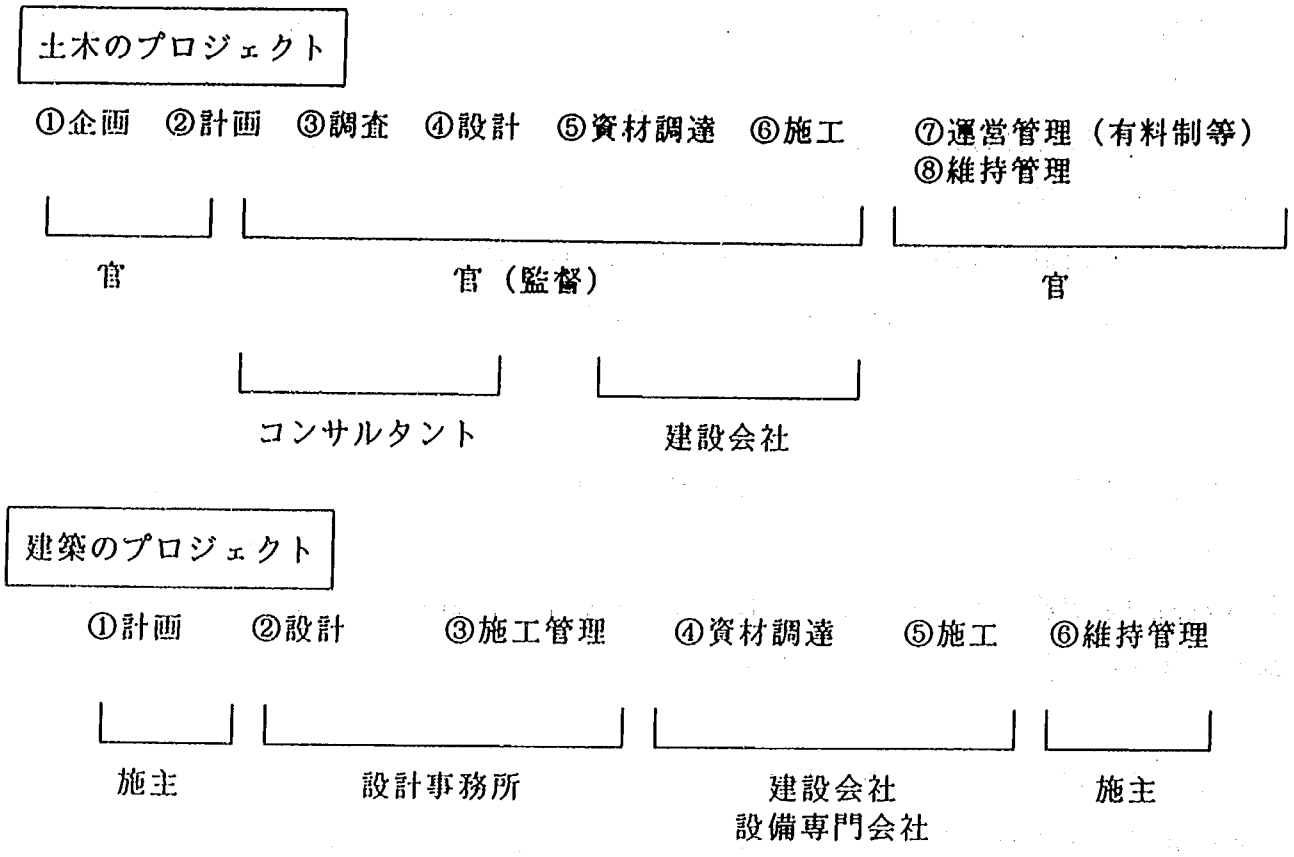
前節までの議論をもとに今後建設技術の移転を一層進めるために、受入側、供与側とも共通して検討し、配慮していく必要のある諸条件をまとめてみると以下のとおりである。

①受入国の条件にあった技術移転の必要性

移転が必要とされる建設技術は、地形、地質、気象等の自然条件、社会、経済の発展段階、制度や慣習および社会資本の整備状況等受入国の条件によってそれぞれ異なっている。わが国の技術移転の例でみたように、わが国の近代化とともに必要とする建設技術は変遷し、より高度なものとなり、かつ独自技術が形成されてきた。アジア諸国の社会資本整備も経済社会の発展に応じて異なっており、またＡＳＥＡＮ諸国の現時点における技術移転の状況からも判るように、個々の国々で必要とされる技術は多様である。技術移転の具体的な案件を実現するにあたっては、受入側、供与側ともこれら受入国の諸条件を事前に十分検討する必要がある。

②プロジェクトの各段階や組織に沿った技術移転の必要性

建設技術と一口で言っても非常に広範囲であり、移転が必要な技術の特定が重要である。図－7.3.3.1に土木、建築別にプロジェクトの流れの各段階と関与する主な組織について示す。



図－7.3.3.1 プロジェクトの流れと各段階及び関与組織

土木のプロジェクトは、公共事業省などの官が企画、計画し、完成後の維持管理と運営管理（有料の場合）を行い、コンサルタントは計画、調査、設計を、建設会社は資材調達、施工を行う。また建築プロジェクトについては施主が計画し、設計、施工管理は設計事務所が、資材調達、施工は建設会社が建物や構造物を、設備会社が設備や施設を分担し、維持管理は施主が担当する。

従来から建設技術の移転というと設計、施工の段階の技術について論じられることが多かった。建設技術は個々の要素技術とそれぞれの段階における資材調達、段取、人員配置、品質管理等のマネジメントの技術から成っているが、最近はマネジメント面の技術移転への要請が強い。また各段階や要素技術で技術移転を図るべき職層も異なり、例えば施工では技能職や技能工が中心となり、資材調達や品質管理、施工管理では技術者、技能者層への移転が中心となるであろう。

さらにプロジェクトを全般的に執行する技術、即ちプロジェクトマネジメントの技術移転への要請も強く、その場合公共事業省等社会資本整備を担当する官庁の行政官や技術者への技術移転が必要となる。プロジェクトマネジメントの場合プロジェクトの企画あるいは計画の段階で資金調達あるいは採算性の検討等も重要な課題となる。

技術移転計画の具体的検討にあたっては段階や要素技術を特定し、移転を図るべき組織、職層についてはっきりさせることが重要である。

③実施方法と適正な選択の必要性

技術移転の実施方法も様々である。移転を必要とする技術と移転の方法は密接に関連している。

主として公共事業省の技術者を対象とするプロジェクトマネジメントの場合は7．3．2で述べた政府間ベースのプロジェクト方式技術協力が馴染むものと考えられる。具体的なプロジェクトを取り上げ計画の段階から完成に至る間、3～5年間にわたりプロジェクトの全工程についてプロジェクトマネジメント技術と個々の要素技術の移転を図るものであり、供与国から建物や施設の建設、資材の供給、専門家の派遣、研修の実施等を総合的に受けられるものである。過去インドネシアの3ダムのプロジェクトやタイの道路の機械化施工プロジェクト、ミャンマーの橋梁建設センターの例等がある。これらプロジェクト方式技術協力は全般的マネジメントから個々具体の技術の施工・管理に至るまで実地に技術の移転が行われ広範な効果が期待できる。7．3．2で見られたようにこの方式の協力は成功し、受入国からも高い評価を得ている。その他政府技術者への移転としては供与国からの専門家派遣による技術指導や供与国における研修（1ケ月～6ケ月が普通）への参加等がある。

民間企業間の技術移転を図る体制としては、現地企業をJ．V．のパートナーとするものや下請企業とするものがあり、供与国からの資金協力による工事、あるいは途上国の政府資金単独工事では元請企業に技能職や技能工の研修の実施や技術移転を義務付け、必要経費をみている場合もある。しかしながら、最近のように受注競争が激しくなり、厳しい落札価格下での工事では技術移転をきちんと実施する余裕等も少なくなっているとも言われている。

建設技術の技能工養成のための研修機関設置をわが国が援助した例がある。昭和57年～平成3年（1982年～1991年）の10年間にわたってフィリピンに設立されたASEAN人造りセンターの中で建設技術コースとして建設機械整備、溶接、電気、配管、鉄筋、鉄骨、ブロックの職種について、ASEAN諸国からの技能工を育てたものである。このセンターの目的は農村地域開発の担い手となる指導者の養成を目的としたものであった。

技術移転が効果的に行われるためには理論的学習とあわせて実務研修、それも具体的なプロジェクトについて実地に経験し、試行錯誤を繰り返すOn-the-jobトレーニング方式が最も良いと言われている。さらに習熟した成果を正しく評価する制度があれば、さらに移転を効果的にすることができる。

④受入国の主体性の確立の重要性

技術移転をより良く進めるためには受入国の主体性の確立が重要である。前節で述べたASEAN諸国の例でも判るように、技術移転がスムーズに進まないような、あるいは阻害するような労働制度や慣習が受入国には多い。また企業体のあり方として長期的視点に

欠け、技術を重視するような体質にないものも多いと聞く。受入国の高い立場の人々が技術移転の目的として国際競争力を有するような技術の移転を期待しているとすれば、受入国内の制度の改善を図り、建設産業の技術開発を促進するような法制度の整備や建設産業のより一層の重視策は今後とも重要である。

今後受入国の社会経済が高度化するにつれて、国民の行政サービスに対する要請はさらに強くなり、社会資本整備への要請も益々強くなるものと考えられる。先進国からの資金協力プロジェクトが増えるにつれて、外国コンサルタントや外国建設企業に任せる部分が多くなり、受入国政府関係者のプロジェクトマネジメントへの関与が小さくなるとか、B．O．T．という民間活力活用型プロジェクトが増加することは、国の基本的施策として社会資本整備を主体的にすすめるという観点からは望ましいものとは言えないと思う。将来の国民の財産である社会資本整備は国の責任として企画、計画、実施することが重要で、その際におこるであろうリスクは国が基本的に負うべきであると考えられる。

⑤より高度な技術－研究開発技術の移転の必要性

日本の例で紹介したように、技術移転をより良く進めるためには、移転された技術をもとに各国の条件にあうような技術に改良し、それを国内に広く伝えて国内技術を向上させ、さらに独自技術の開発を図ることである。

技術移転の対象となる技術もまず、①工事を施工するため現に保有している技術（Operational Technique）から、②現場の特性に応じて求められる改善技術へと進み、最終的には、③顧客のニーズに応じるための研究開発技術へすすむべきであると思う。基礎及び応用研究を含めた研究開発分野への技術移転が求められている。

これは機械の分野でいえば、機械を作る機械を設計、製作する技術が必要であるということであろう。新しい技術を生産出来る技術を移転させるため何をすべきか考える必要がある。建設技術移転の究極の目標は国際競争力を充分有する高い生産性と優れた品質の成果物を生産できるような技術の移転である。建設技術の将来としては大規模化するプロジェクトに対応する技術、人力が主体では実現不可能な困難な条件下での工事を可能とする技術、機械化とコンピューターに支援された建設技術や他分野の進歩発展を取り入れた建設技術の発展が今後の技術開発の潮流と考えられるが、そのような先端的建設技術の移転は今後の大きな目的でもあり、課題でもあると思考される。

アジア諸国の社会、経済が高度化するにつれて、経済発展に不可欠な基本的な施設として、また健康で快適な、かつ安全な国民生活を支える基幹的施設として、アジア諸国においては社会資本整備を一層進めて行かなければならない。また、アジア各国において社会資本整備を支える建設産業の発展は重要である。建設産業は関連する分野の極めて広い総合産業であり、農村を中心とする余剰労働力を吸収し、天然資源を活用し、資材・部材の

供給源として中小工業を育成させる力を持っている。

社会資本整備を一層進め、建設産業の発展を図るためにはより高度な建設技術の移転を図る必要がある。建設技術は極めて裾野の広い多様な技術の集合であり、多面的、戦略的に移転を図る必要がある。

また先進国においても建設技術の進歩は早く、他分野の研究開発の進展、技術の革新を取入れた先端建設技術の移転や研究開発技術の移転が将来の課題であろう。

7．4　まとめ

第7章の「アジア諸国における社会資本整備と技術」をまとめると以下のとおりである。

① アジア諸国を例として開発途上国の社会資本整備の現状と課題、建設技術の現況と技術移転について述べている。アジア諸国をＧＮＰ、経済、貿易の諸指標から分類すると、①ＧＮＰが200ドル前後の最貧国（ミャンマー、カンボジア、ベトナム、ラオス、ネパール、バングラデシュ）、②同300～500ドルの低所得国（インド、中国、パキスタン、スリランカ）、③ＡＳＥＡＮの中所得国（インドネシア、フィリピン、タイ、マレイシア）、さらに④ＮＩＥｓ諸国（韓国、台湾、シンガポール、香港）の４グループに分けられ、アジア諸国は多様な経済発展段階にある国が混在している。

② アジア諸国の社会資本整備の現況もこの経済発展段階、および社会開発の状況に応じて相異がみられる。道路では、①と②のグループではまだ十分にモータリゼーションが発達していないが、今後の経済発展のためにも道路網整備の必要があり、幹線道路、特に橋梁の建設等が必要とされる。③のＡＳＥＡＮのグループでは基本的な一次整備は終り、深刻な大都市圏の交通渋滞の解消や、都市部の高速道路が必要となっている。民間資本の活用も行われている。④のＮＩＥｓのグループでは社会資本が相当充実しており、高速道路の建設、交通渋滞対策、交通安全対策、道路緑化等の施策が行われている。

③ 鉄道の分野では、バングラデシュ、インド、韓国、スリランカ、中国が、鉄道密度が高いか鉄道延長の長い国であるが、鉄道運営上経営の赤字や安全性および信頼性の確保の問題がある。水質保全・下水道の分野では、工業化や都市部への急激な人口の集中により、河川の自然浄化能力は下落し、河川や海洋の汚染、水道源の汚染等の問題が起きている。また、下水道については、多くの国で最近都市部において整備に取り組み始めたばかりで整備率は低い。事業実施に必要な技術者や財源の不足、計画や設計手法の未確立、水質規制の未整備等が問題となっている。

④ アジア地域における自然災害は非常に多く、世界中で発生している災害の約90%はアジアで発生しているともいわれている。地震では中国、日本、インドネシア、フィリピン、台風・洪水による被害ではバングラデシュ、インド、中国に集中している。火山災害はフィリピン、インドネシア、日本に多い。アジア諸国では毎年のようにこれら自然災害の被害を受けており、災害の発生、規模の予測、災害に対する構造的補強、すなわち耐震設計、堤防やダムの建設、さらに災害復旧制度などが必要である。このようにアジア諸国の社会資本整備は経済の発展、国民生活の向上に伴い、今後ますます必要なものとなると考えられる。

⑤ 建設技術の現状についてマレイシア、シンガポール、インドネシア、タイのＡＳＥＡＮ４カ国の調査では、社会資本の整備状況、技術者教育、労働慣習、労働政策の相異から各国間で技術の現況に相異がみられる。シンガポールの技術は高く、インドネシアは

全般に遅れている。またトンネル、シールド、地下鉄、ダム、高層建築など、これらの国で未経験の分野での技術は低い。これらに応じてわが国に対する技術移転のニーズもそれぞれ異なっている。

⑥ わが国の技術協力の中でも技術移転上最も効果があると評価されているプロジェクトタイプ技術協力について、タイの道路建設訓練センター、フィリピンの交通訓練センター、ミャンマーの橋梁訓練センターの実例を具体的に検証した。わが国のＯＤＡで整備されたセンターを中心にOn-the-job研修を基本に計画、設計、施工、管理の全体を実務について研修できるこの方式は技術移転をすすめる上で非常に効果があることが判り受入国側からも高く評価されている。

⑦ 技術移転の推進に向けては、前節までの検討を受けて、①受入国の条件にあった技術移転の必要性、②プロジェクトの各段階や組織に沿った形での技術移転の必要性、③実施方法の適正な選択の必要性、④受入国の主体性の確立の重要性、⑤より高度な技術（研究開発技術）の移転の必要性の視点が重要であることが判り、提案された。受入側、供与側とも技術移転の具体的な案件を実現するにあたり、これらの視点について充分検討、配慮することが必要である。社会資本整備を一層すすめ、かつ建設産業の発展を図るためにはより高度な建設技術の移転を図る必要がある。建設技術は極めて裾野の広い多様な技術の集合であり、多面的、戦略的な技術移転を図ることが重要である。

第８章　社会資本整備技術の研究開発に関する国際協力の推進

８．１　アジア地域土木研究所長等会議の開催

８．１．１　第１回アジア地域土木研究所長等会議

（１）会議の目的

従来から、わが国の技術協力は各インフラ施設の建設案件ごとに行われ、専門家派遣、開発調査及びプロジェクト方式の形で実施されてきており、それらの過程で技術移転が行われてきている。しかし、アジア諸国の経済の発展や技術力の向上に伴い、相手国からより一層の技術移転が望まれるとともに、各国の自然条件、経済・社会条件にあった技術形成への動きや各国独自の研究開発への協力の要請が強くなってきている。また、近年わが国のＯＤＡ実施の基本政策のひとつとしても研究協力の必要性が指摘されている。

土木研究所では国際研究交流の一環として、10にのぼる定期的な国際会議を主催しているが、アジア諸国とは、各国のインフラ整備における技術協力に土木研究所の職員が携わったり、研究者の受け入れや調査団の土木研究所訪問等の交流を行っている。

アジア諸国の広域的な技術交流ネットワークづくりを目指す初めての試みとして、土木技術の研究開発と監理を担当するアジア各国の高級幹部が一堂に会し、各国の経済・社会発展の基盤であるインフラ整備の必要性及びこれを支える土木技術の重要性について討議するため、土木研究所が企画・主催し、国際協力事業団の支援を得てアジア地域土木研究所長等会議を平成５年（1993年）２月15日から19日まで建設省土木研究所で開催した。

この会議は、アジア諸国の自然条件や経済・社会条件にあった土木技術を生み出すこと、そして各国の自然資源、人的資源の活用を図るため土木技術の研究開発の面から交流を進めること、そして将来的には、アジア地域を強く結びつける技術交流ネットワークとしての機能を果たすことを目的にしている。

（２）会議の参加者

この会議には、わが国と政治・経済・文化等の面で歴史的にも深い関係を持っている中国、インドネシア、韓国、マレイシア、フィリピン、シンガポール、タイの７ヶ国から８名の土木研究機関の所長等が参加され、日本からは近藤建設省技監、小野技術審議官、下田技術審議官、岡本建築研究所長、植原防災科学技術研究所長、藤井土木学会会長が来賓として出席されたのをはじめ、土木研究所長等多数の研究所幹部が参加した。海外からの参加者は次のとおりである。

中華人民共和国	水利水電科学研究院長	Chen Bing Xin （棟　炳新）
インドネシア	水資源開発研究所長	Badruddin Machbub
大韓民国	建設技術研究院副院長	Lee Sang Eun （李　相垠）
マレイシア	公共事業省公共事業局次長	Abdul Rahman B. Abdullah
フィリピン	公共事業道路省次官補	Manuel M. Bonoan
シンガポール	公共事業局建設管理部長	Tan Siong Leng
タイ	運輸通信省道路研究開発センター長	Teeracharti Ruenkrairergsa
	運輸通信省道路局計画課長	Bancha Vadhanasindhu

（3）基調講演

下記の3課題に関して基調講演が行われた。概要は以下のとおりである。

①「アジア地域諸国の経済社会開発のための社会基盤整備の方向」

東京大学工学部土木工学科教授　西野　文雄

・経済協力開発機構（ＯＥＣＤ）主催の1990年代の社会基盤整備に関する会議
・社会基盤整備に対する日本の政策
・日本の経験から学び分かちあうべき教訓

②「近代日本における土木工学の進歩と経済・社会の発展への貢献」

－土木研究所70年の活動と今後の展望－

建設省土木研究所長　住吉　幸彦

・経済発展とインフラ整備
・日本における土木技術の発展
・土木研究所の70年
・今後の経済社会の動向と土木研究所の展望

③「技術協力における研究・技術開発の役割」

財団法人全国建設研修センター副理事長　玉光　弘明

・技術協力の意義について
・日本の技術協力の沿革
・技術協力の内容と課題
・研究・技術開発とその推進
・環境問題への配慮と防災対策
・研究・技術開発の事例

（4）カントリー報告

各国から、各国の概要、公共事業の現状、研究機関の概要、国際協力、環境と社会資本整備の調和等について報告があり、その後討議が行われた。海外からの参加者は各国の責任ある地位の技術者または研究者であり、各国が抱える課題等に具体的に説明され、興味深い質疑があった（カントリー報告の一部は８．２を参照のこと）。

カントリー報告をまとめると以下のようになる。

① 各国の発展に資する道路、河川、ダム、砂防、下水道など社会基盤整備の必要性およびこれを押し進めるための土木技術の研究開発の重要性が認識された。

② 火山噴火、洪水による災害は、それまでのインフラ整備を一瞬で壊滅させ経済発展に大きな影響をもたらすため、自然災害に対する防災対策の重要性が認識された。

③ 各国とも、環境問題には高い関心があり、水質保全対策、大気汚染対策等に質疑が集中した。また各国の環境アセスメントにおける現状の課題や実施方法について、熱心に討議がなされた。

④ 都市部のインフラ整備のあり方について地下空間利用の事例が紹介され、多くの質疑がなされた。

⑤その他、各国がかかえる特有の課題について興味深い報告がなされた。

（5）特定課題討論

特定課題討論では、各国の社会基盤整備に係わる共通の課題として「降雨災害防除に関する研究開発の現状と今後の方向」のテーマで、河川災害及び土砂災害に関する討論が実施された。

①河川災害

日本、中国、インドネシア、韓国、シンガポールの各国からの報告の後、次の項目について討論が行われた。

・土壌保全、植林、流域管理、予警報システムを含む非構造物対策
・治水構造物の計画規模
・治水による経済損失の評価
・ダムなどによる構造物対策
・地下水かん養

②土砂災害

日本、マレイシア、フィリピン、タイの各国からの報告の後、次の項目について討論が行われた。

・山岳道路の設計の考え方
・土砂災害に関する危険箇所の調査実態
・のり面対策工の効果、耐久性、現地適用性

③結論

・各国の災害とその対策の状況及び研究の取り組みについて理解を深めるとともに、それぞれの国の自然条件、社会経済条件により、その態様が多様であることを認識した。
・河川災害については、構造物対策と非構造物対策を含む総合的な洪水災害防除対策を講じること、およびそのための研究開発を推進することの重要性等が指摘され、今後はこの分野での情報交換を積極的に進めることが合意された。
・土砂災害については、各国ののり面災害および対策は極めて多様であることが認識され、情報交換を積極的に進めることが有益であるとの意見の一致をみた。今後、特に道路のり面データの交換のために統一様式を定めることが提案された。
・各国共通の話題を集中して議論することは有意義であり、今後も、この特定課題についての討議を継続する必要性が指摘された。また、今後とりあげるべき議題として、水質、都市環境（騒音、大気汚染）等の環境に関するテーマが提案された。

（6）分野別課題討論

分野別課題討論では、多岐にわたる土木技術分野の中から各参加者に関心のある11のテーマに分かれ、個別に討論が行われた。

討論を通じ、個別の土木技術分野における各国の諸問題や研究状況等について、参加国相互の理解が深まった。また、それぞれの土木技術分野において、今後さらに詳細な情報交換を行う等、より一層の技術協力の必要性が認識された。

各分野における参加国と討論の概要は以下のとおりである。

①ダムの堆砂（中国、日本）

日中両国によりダム貯水池の堆砂問題が紹介された。両国の重要な課題である「貯水池の堆砂対策」の研究を実施する上で、研究協力を行うことは極めて効果的であることが確認された。

②水質汚濁対策（インドネシア、日本）

鹿島コンビナートにおける工業排水処理システムの見学を行い、日本における工業排水対策の考え方、建設費の負担方法等について討論を行った。また、水質汚染対策に関する研究成果を相互に交換することとした。インドネシア側から水質汚濁防止関係の日

本側の技術者の派遣要請が出された。

③河川環境（韓国、日本）

韓国側からは、ハン川の河川環境整備事業やこの事業一般に関する組織，法制度について、日本側からは、河川生態系をはじめとした、河川環境に関する研究についての紹介がなされた。また、この中から今後双方で取り組むべき河川環境に関する研究課題について合意された。

④地盤改良（タイ、日本）

タイ側からは、海浜低地の軟弱地盤地帯で実施されている対策事例の紹介がなされた。日本側からは、日本の軟弱地盤対策指針の概要や、新工法の紹介がなされた。タイ側から地盤改良工法について日本側からの専門家派遣要請が出された。

⑤トンネル（シンガポール、タイ、日本）

シンガポール側より地下高速道路等の計画について紹介がなされ、日本側より道路トンネル技術基準による、トンネル本体、換気施設、照明施設、非常用施設等の設計の考え方及びトンネル基礎の最近の技術開発の紹介が行われ、討論がなされた。

⑥火山災害・土石流・道路防災（マレイシア、フィリピン、日本）

火山災害・土石流について、模型実験による土石流対策工法に関する情報交換がなされた。

道路防災について、地震による液状化現象と被害の実態、それに対する具体的な土木構造物の設計法に関する討論がなされ、また、地すべりに関して、最も効果的なアンカー工の施工方法及び表面侵食対策について討論がなされた。

今後、火山噴火に伴う土砂災害（火砕流，土石流）対策、道路のり面防災の調査・計画及び設計手法に関する情報交換を行うこととした。

⑦河川（中国、日本）

日中の河川の土砂問題に関する研究内容，研究手法，研究体制の紹介がなされ、討議がなされた。また、河川の土砂問題に関する研究成果及び技術情報について相互に定期的に交換することとした。

⑧水質（韓国、日本）

両国の水質保全政策の現況並びに下水道事業の進展の計画、下水道分野の技術開発の現況について情報交換がなされた。また、下水道分野についてはこれまでと同様な協力

をしていくことを確認した。

⑨土質基礎・交通（マレイシア、タイ、日本）

土質基礎の課題では、マレイシア側から基礎工法等について紹介があり、それに関する日本での研究について意見交換を行った。これらの課題について今後相互に情報を交換することとした。また、マレイシア側より技術協力の要請が出された。

交通の課題では、道路の交通容量，交通計画，交通管理と制御，交通安全及び環境問題について討論が行われた。また、各国の相互の情報交換の重要性が認識された。

⑩舗装（フィリピン、シンガポール、タイ、日本）

各国からそれぞれの国における舗装の現状と問題点について紹介及び討論が行われた。今後、舗装の理論的設計法，地域産材料を含む舗装材料，新しい舗装技術等の研究に関して情報交換等の協力を行うこととした。

⑪道路橋（フィリピン、日本）

フィリピン側から火山の噴出物の堆積が引き起こす河床上昇による橋梁流出の恐れについて紹介があり、その対策方法について討論が行われた。今後、水利解析手法及び橋梁構造物の対策方法について検討及び情報交換を行うこととした。また、フィリピン側より技術協力の要請があった。

（7）会議の結論

本会議を通じてアジア各国の土木技術を研究開発している各機関の幹部が一同に会し、現在の問題点及び今後行うべき研究等に関して活発な意見交換が行われた。

本会議の結論において、参加国全員で確認された事項を以下に示す。

① カントリー報告を通じ、互いの国の現状、抱える課題、展望等について幅広く理解を深めることができた。

② 特定課題討論を通じ、総合的洪水災害及び土砂災害防除に関する研究開発を推進するための情報交換を積極的に進めることが合意された。今後取り上げるべき課題として水質、都市環境（大気汚染、騒音）等の環境に関するテーマが提案された。

③ 分野別課題討論を通じ、各国の現況、課題、研究活動についての相互理解が進み、一層の情報交換と人的交流を含む研究分野における協力の重要性について意見交換がなされた。

④ 関係各国の一層の社会基盤整備のために関係国で蓄積された経験と研究成果の共有の重要性を認め、この会議の有意義さと継続発展が必要であることについて全員一致

で合意された。

（8）シンポジウムおよび現地視察

「アジアにおける国土開発と土木技術に関するシンポジウム」が北海道開発局開発土木研究所と建設省土木研究所の主催、北海道及び札幌市の後援で開催され、約200人の参加者があった。シンポジウムは第１部に北海道大学五十嵐教授による「北海道の開発と社会基盤整備」と題した基調講演が行われ、第２部では、「地域開発事業と土木技術の方向」のテーマで、太田開発土木研究所長のコーディネートのもとアジア８ヶ国のパネリストによる各国の公共事業について発表が行われた。このシンポジウムにより、北海道の公共事業関係者とアジア諸国の幹部研究者との交流が図られ、今後の地域の国際化の促進の一助となることと思われる。

会議後にアジア諸国からの会議参加者とともに視察旅行に出かけた。新千歳空港を皮切りに札幌市内、開発土木研究所（上記シンポジウムを開催）、豊平川ダム、札幌地下鉄、室蘭白鳥大橋、青函トンネル、東京湾横断道路、宮が瀬ダム等を視察し、アジア諸国からの参加者は、多くの施設を熱心に見学され、多くの日本の技術者、研究者との交流を図ることができた。

（9）あとがき

本会議の開催により土木技術の研究開発分野におけるアジア地域諸国間の本格的国際交流の第一歩が踏み出されたことになる。ほぼ２年間にわたる慎重な検討と周到な準備の結果、初めての試みである本会議は成功裏に閉会した。参加された研究所長等は、各国の研究開発の中心を占めている方々だけに各国の技術、研究開発について深い知識と洞察のある意見を多く出された。また、研究開発の分野でアジアの近隣諸国が一同に会し、意見交換する場ができたことについて参加者全員が大きな意義を感じ、今後、本会議の継続開催を訴えられたのが印象的であった。いずれはこの会議が、技術交流を通じてアジア地域を強く結び付けるネットワークとして機能することが期待される。

また会議終了後、会議参加者全員で、建設大臣（代理、三谷事務次官）を訪問し、今回の会議の成果を報告した。

８．１．２　第２回アジア地域土木研究所長等会議

（１）会議の参加者等

日　時：平成５年（1993年）11月15日（月）～26日（金）

場　所：建設省土木研究所（つくば市）

参加者：ＡＳＥＡＮ・東アジア主要７カ国の土木技術研究幹部、住吉土木研究所長及び土木研究所幹部

海外からの参加者は以下のとおりである。

中華人民共和国	中国科学院山地災害及び環境研究所長	Wu Jishan（呉　積善）
インドネシア	公共事業省研究開発庁次長	Soedarmanto Darmonegoro
大韓民国	建設技術研究院企画調整室長	Kim Keung Hwan（金　亘煥）
マレイシア	農業省灌漑排水局河川部長	Teh Siew Keat
フィリピン	公共事業道路省研究基準局長	Jose H. Espiritu
シンガポール	国家開発省公共事業局土木技術担当課長	Khor Poh Hwa
タイ	内務省公共事業局材料研究部長	Anusornant Mahavinichaimontri

（2）会議の概要

本会議では、まず日本海外コンサルタンツ株式会社長濱守 厚氏による「持続可能な開発のための土木技術者の役割」、建設省土木研究所長住吉 幸彦氏による「経済発展段階と建設技術の移転」、筑波大学構造工学系教授椎貝 博美氏による「日本における研究について－土木工学を中心として－」の基調講演が行われた。

次に、各国の公共事業の概要、研究開発の内容等の報告が行われ、その後、「総合的な治水対策」、「道路のり面災害対策」、「ダム湖や河川の水質保全対策」、「都市部における道路交通による大気汚染および騒音への対策」をテーマとする特定課題討論が行われた。特定課題討論では、ダム・堤防建設の重要性とともに、非構造物対策の重要性が指摘され、道路法面災害のための道路防災地図の作成、斜面崩壊予知システムや対策工法の開発が重要であること、各国の実状に合わせた河川・ダム湖の水質対策や水のリサイクルの有用性、道路交通による大気汚染及び騒音の現状と対策についての情報交換の有益性について意見の一致をみた。

分野別課題討論では、多岐にわたる土木技術分野の中から各参加者に関心のあるテーマに分かれて、土石流（中国、フィリピン、日本）、道路橋の材料－コンクリート－（インドネシア、日本）、洪水防御（韓国、日本）、河川愛護（マレイシア、日本）、地下空間利用（シンガポール、日本）、大気汚染対策（タイ、日本）、舗装材料（インドネシア、日本）、環境改善－下水道－（韓国、タイ、日本）、河川環境の創造（マレイシア、日本）、道路交通管理（シンガポール、日本）の10の討論テーマについて、個別に討論が行われた。

この討論を通じ、様々な土木技術分野における参加国相互の理解が深まり、今後さらに詳細な情報交換を行うこととした。

（3）国際シンポジウム等

本会議の活動の一環として、「第2回アジアにおける国土開発と土木技術に関する国際シンポジウム」が11月22日（月）に福岡市にて、建設省九州地方建設局および土木研究所

の主催により、産・官・学の各界より200名の参加を得て開催された。その概要は、以下のとおりである。

① 九州大学工学部樗木教授による「九州の地域開発と土木技術」と題する基調講演が行われた。

② 「より良い生活環境の創造 －地域開発、防災、環境－」をテーマとしたパネルディスカッションでは、住吉土木研究所長をコーディネーターに、7ヶ国の海外参加者と荒牧九州地方建設局長をパネリストとして、各国の生活環境改善のためのプロジェクトについて発表と討論を行った。また、今後環境と調和した社会資本整備と土木技術の研究開発の推進が一層求められており、相互の研究情報の交換や日本のアジア諸国に対する技術協力への一層の期待が表明された。

（4）本会議の重要性と今後の方向

本会議の最終討論では、各国の参加者から本会議の有効さと継続発展の重要性が述べられ、本会議がアジア地域の土木技術研究ネットワークの一翼を担い、各国で抱えている技術的課題に対し、研究情報の交換、人的交流を通してその解決へ相互に協力していくことが合意された。また、今後の討議内容として、以下に関する討議を行うこととした。

①各国の研究機関における研究内容・研究マネジメント
②公共事業における研究機関の役割
③研究成果の普及
④環境
⑤材料・施工技術
⑥防災
⑦道路建設・維持管理・交通マネジメント
⑧共同研究制度
⑨研究情報の交換
⑩技術の普及・技術基準の整備
⑪品質管理

会議を終えて、会議参加者全員で五十嵐建設大臣を訪問し、今回の会議の成果を報告した。会議に参加した研究所長等は、各国の研究開発の中心を占めている方々だけに各国の技術・研究開発について深い知識と洞察のある意見を多く出され、土木研究所における会議や九州でのシンポジウムが非常に活気のあるものとなった。また、海外からの参加者と日本の研究者・技術者の結びつきが本会議を通じて一層深まり、今後継続的な研究交流・

技術協力が行われるものと思われる。

８．２　アジア地域における社会資本整備技術の研究開発と技術移転
－自然災害対策技術を例として－

土木研究所では、アジア諸国の自然条件や経済社会条件にあった土木技術を生み出しかつ各国の天然資源、人的資源の活用を図るため、土木技術の研究開発面からアジア諸国間の技術交流を進めることを目的として、平成４年度に「アジア地域土木研究所長等会議」を発足させた。

本会議は日本を含む中国、インドネシア、韓国、マレイシア、フィリピン、シンガポール、タイの８ヶ国からそれぞれ土木技術の研究開発と監理に係わる責任ある地位にある研究者および技術者が参加し、各国の社会資本整備技術の現状と課題、研究体制と必要とされるテーマ等について討議が交わされた。本会議は現在までに２回開催され、アジア各国の社会資本整備に関連する研究所長、研究開発担当局長等が参加しているが、社会資本整備は広い分野の技術から構成されており、未だ全分野の情報を得るに至っていない。したがって、ここでは２回の会議で各国から共通に報告、討議された「自然災害と防災」を例としてまとめ、土木研究所として、さらには日本としてのアジア地域に対する自然災害対策の研究開発に関する国際協力のあり方について検討する。

８．２．１　アジア諸国の国土の概要と災害

アジア地域における自然災害は非常に多く、世界中で発生している災害の約90％がアジアで発生しているともいわれている。1900年以降の93年間に死者1,000名以上の被害が発生したアジア地域における自然災害37件を表－8.2.1.1に示す。これによれば、アジアの自然災害のうち台風・ハリケーン・洪水によるものが約半数の19件（死者・行方不明者：約87万人）で、地震・火山災害によるものが18件（死者・行方不明者：約78万人）となっている。２～３年に１回の割合で自然災害が発生しており、ここ10年間では11件が発生し年間４件も発生している年がある。

表－8.2.1.1　今世紀におけるアジア地域の主な自然災害状況

年	災害の種類	国　　名（地名）	死者・行方不明者数（概数）
1902	火山噴火	マルティニク、（西インド、プレー山）	29,000
1906	台風／津波	香港	50,000
1906	地震	台湾	6,000
1911	火山噴火	フィリピン、タール火山	1,300
1919	火山噴火	インドネシア、クルー火山	5,200
1920	地震／地すべり	中国、甘粛省	200,000
1923	地震／火災	日本、関東	143,000
1930	火山噴火	インドネシア、メラビ火山	1,400
1932	地震	中国、甘粛省	70,000
1933	津波	日本、三陸	3,000
1935	地震	インド、パルチスタン	60,000
1945	洪水／地すべり	日本	1,200
1946	地震／津波	日本、南海	1,400
1949	洪水	中国	57,000
1951	火山噴火	パプアニューギニア、ラミントン山	2,900
1954	洪水	中国	40,000
1959	台風	日本、本州	4,600
1963	サイクロン	バングラデシュ	22,000
1963	火山噴火	インドネシア、パリ、アグン火山	1,200
1965	サイクロン	バングラデシュ	57,000
1970	サイクロン	バングラデシュ	500,000
1971	サイクロン	インド・オリッサ州	10,000
1976	地震	中国、天津～唐山	250,000
1977	サイクロン	インド、アンドラ・プラデシュ州	20,000
1985	サイクロン	バングラデシュ	10,000
1987	洪水	バングラデシュ	1,000
1988	地震	インド、ネパール	1,000
1988	地震	中国、雲南省	1,000
1988	洪水	バングラデシュ	2,000
1989	洪水／地すべり	中国、四川省他	2,000
1989	洪水	インド	1,000
1990	地震	フィリピン	2,000
1991	サイクロン	バングラデシュ	140,000
1991	洪水	中国、江蘇省他	2,300
1991	火山噴火／泥流	フィリピン、ピナトゥボ火山	900
1991	台風	フィリピン	6,000
1992	地震／津波	インドネシア	2,149

このような自然災害は、多くのアジア諸国が降水量の多い気候帯と環太平洋火山地帯に位置していることから発生している訳であるが、開発途上国での急激な経済成長による都市部への人口・産業の集中及び危険区域への移住の増加は、自然災害による被害を拡大する可能性が高くなっていると捉える必要がある。

自然災害に深く関連する国土の概要及び気候の特徴、並びにアジア所長会議での発表・討議を基にした各国における自然災害の実態と災害対策を以下に述べる。

（1）中国

中国は約960万Km²の広大な面積を有し、地域の約98%は、北緯20°～50°の間にあり、国土の45.6%が温帯、25.1%が亜熱帯に属する。国境の長さは22,000Kmあり、海岸線の長さが18,000Kmである。中国の地形の特徴として、国土の約65%が山地、台地、丘陵地であり、一般的に中国の地表は、西部から東部に向けて４断層に下降している。第１段は、「世界の屋根」として知られるシンハイチベット高原にあり、平均4,000m以上の山々が南西に連なる。そして東アジア、南アジアの主要河川がそこに源を発している。第２段は、シンハイチベット高原東部から大ヒンゴンータイハンーウーシャン連系に広がり、おもに海抜1,000～2,000mの台地及び盆地からなる。第３段は、さらに東方に延びて海岸線に至り、主として平野及び標高500～1,000mの低台地からなる。最下段は、標高50m以下の浅瀬地、海岸平坦地からなる。

気候の特徴は、東方からのモンスーンであり、顕著な季節的な変化があり、冬季は北風が吹き雨はほとんどなく、夏季は南風で大量の雨が降る。一般的現象として、寒波、サイクロン、断続的な霧雨、タイフーンがある。その他の特徴としては、大きな温度差、雨量の変化を伴う大陸的気候である。中国における年間降雨量は、東南部沿岸地域では平均1,000～2,000mm、北西内陸部で100～200mmであり、東部シンジャンは中国における最乾燥地で年間降雨量は50mm以下である。

中国は洪水、干ばつ、台風、雹や霜、地震、土石流や地すべり等の自然災害にしばしば見舞われる国である。特に、洪水や地震によって非常に多くの災害が発生している。1963年の黒河流域における大洪水、1975年の海南省の洪水によりダムが決壊するという災害が発生している。また、1991年に発生した揚子江・ハイへ河流域での大洪水では、2,300名以上の死者・行方不明者が発生し、被災人口は２億2,000万人に達し、約1,900万haの農地等が冠水により失われている。一方、1920年と1932年には、地震に伴う地すべり等により甘粛省で合計270,000人もの死者・行方不明者が発生した。また、1976年に天津から唐山地域を襲った地震では250,000人が死亡・行方不明となっている。1988年に雲南省で発生した地震では1,000人が死亡・行方不明となっている。

災害に起因する経済的な損失は、1950年代には年平均80億元、1980年代には年平均410億元であった。そして、1989年には525億元、1990年には616億元にのぼり、毎年およそ300の郡、２億～３億の国民、47万km²の農地が様々な災害を受けている。1991年に発生した揚子江・ハイへ河流域での大洪水による経済的損失は最も深刻であり、その額は854億元に達している。

中国政府は揚子江・ハイへ河流域での大洪水を契機に、災害の軽減を目的とした中国国

家委員会を設立し、政府の総合的な管理の下に国家評議会の関連部局と地方政府が災害軽減に向けた各種研究プロジェクトを実施している。一例として、台風と豪雨対策に数100万元の資金を投じ、また、海上災害、地震による森林火災、総合的災害モニター用リモートセンシング技術のための研究プロジェクトも実施している。また中国政府はハイヘ河流域に数10億元を投資して防災施設を建設した。さらに、国家災害軽減国立管理センターを1992年に設立し、同時に災害軽減のための科学研究プロジェクトを実施している。

近年、多数の貯水池、堤防、洪水吐きの建設プロジェクトや河川管理プロジェクトが、揚子江・ハイヘ河を中心とした大河の流域における洪水・湛水防止に重要な役割を果たすようになっている。

（2）インドネシア

インドネシアは面積1,904,569km^{2}で13,579の島々からなり、80,000kmに及ぶ海岸線はカナダに次いで世界第２位の長さを誇り、熱帯林面積は1,1943,810km^{2}と国土総面積の63%を占め、ブラジル、ザイールに次ぎ世界第３位の広さである。群島の中でも、特にJavaとSumateraは豊かな鉱物資源に恵まれており、その土地は非常に肥沃である。また、ほとんどの島には活火山が見られる。

気候の特徴は、雨季と乾季の２種類の熱帯季節があり、雨季は通常10月から３月まで、また乾季は４月から９月までである。年間降雨量は1,500～2,500mmまでの範囲である。低地の平均気温は27°C、高地では22°Cである。インドネシアは熱帯に位置するため、その相対湿度は75～85%の間で変化し、最低値は50%、最高値は100%である。

インドネシアには活火山が約130あり、世界の活火山の約15%が集中しており、自然災害の中でも火山噴火によるものが顕著である。特にジャワ島、バリ島等人口が集中している地域に活発な火山が存在し、火山活動に伴う大量の噴出物対策が課題となっている。火山噴火による災害は11世紀以降1,000回以上に達し、175,000人以上の命が失われている。災害が大きいところでは、1815年のタンボラ火山の噴火により90,000人、1883年のクラカタウ火山の噴火により36,000人の命が奪われているほか、20世紀にはいってからは1919年のクルー火山噴火で1,300人、1930年のメラピ火山噴火で1,400人、1963年のアグン火山噴火で1,200人が死亡している。

インドネシアには16,620km^{2}の火山災害の危険性のある地域に約240万人以上の人々が生活しており、火砕流による直接被害や噴火堆積物の土石流による二次的な被害の危険にさらされている。インドネシア政府は火山災害対策としてジョクジャカルタのメラピ火山、東ジャワ州のクディリ・クルド火山、東ジャワ州ルマジャンのスメル火山、バリ州デンパサールのアグン火山、西ジャワ州タシクマラヤのカルングン火山に対する火山性土石流対策計画を策定し、災害対策に取り組んでいる。

わが国のＯＤＡにより、開発途上国への技術移転をより効率的に進めるため、相手国に

研修機関（センター）を設立し、専門家の派遣、研修員の受け入れ、機械供与を行い、国際協力事業団（ＪＩＣＡ）を通じて経済技術協力を実施しているセンタープロジェクトがある。インドネシアでは1982年にジョクジャカルタに「火山砂防技術センター（ＶＳＴＣ）」が設置され、技術開発の協力に加え、インドネシアにおける指導的技術者の養成を目的とした現地での研修を実施した。このＶＳＴＣに係わるプロジェクトは、延長期間を含め７年間実施され、1990年３月に終了している。さらに、ＶＳＴＣに係わるプロジェクトで蓄積された技術を基礎として、火山砂防技術に限定しない全般的な土砂災害対策を確立するための技術協力を「砂防技術センター（ＳＴＣ）」プロジェクトとして、1992年４月より５カ年計画で実施している。

また、インドネシアでは洪水被害が多発している。特に、最近では無計画な伐採や耕作による森林の荒廃、開発行為や部分的な河川改修のしわよせ等から洪水災害が大きくなっているとの指摘もある。1990～1991年の水田の被害面積は40,638haに達し、そのうち4,335haは収穫不可能となっている。農地においても冠水により2,324haが収穫不可能となっている。また、洪水により道路の地すべりや基礎の洗掘による落橋も報告されている。インドネシアでは地形や気候的な条件を考えると大洪水が発生する可能性は極めて高く、政府は洪水対策としてチタンドゥイ計画、チマヌク計画、ブランタス計画、クルエングアチェ計画などを策定して、堤防、洪水路、水路の改良に取り組んでいる。

さらに、記憶の新しいところでは、2,149人の死者・行方不明者が発生したフローレス島の地震による津波災害がある。インドネシアでは1900年以降、死者・行方不明者が1,000人以上に達する地震災害は発生しておらず、地震に対する防災意識は低かったと考えられる。これを契機にインドネシアでは国レベルで震災対策に取り組むこととなった。政府の対策は次の３段階となっている。

①第１段階（緊急処置）

郊外へ向かう道路に寸断が生じた部分は、３日以内に交通の通過が可能となるように補修工事を行い、灌漑用の水路は10日以内に農園やし尿場への給水が可能となるように修復する。

②第２段階（緊急処置）

損傷を受けた情報伝達システムを通常の状態に修復し、損傷を受けた家屋の修復・再建を行い、灌漑用の水路へ開口部分を設ける。

③第３段階（恒久処置）

将来発生しうる災害に備えて、灌漑システムの改良、道路及び橋の再築工事、住民の移住等を行う。

（3）韓国

朝鮮半島は、北から南へ1,000km広がっており、半島の面積は約221,000km²である。地形の大部分およそ70%は山岳地帯で、小さな谷と狭い沿岸平野がある。壮大なテベク山脈が東海岸の全長を走り、東海の激しい潮が切り立った崖や岩の多い小島をうがっている。ハン、クム、ナクトンのような主要河川は全てテベク山脈にその源を発し、流域を潤す。西方と南方の斜面は非常に緩やかで、平野を形成し、沖合いには入り組んだ入り江の小島が数多く浮かぶ。不規則な海岸線に沿って3,000以上の島が点在する。

気候の特徴は、季節の変化がはっきりしており、気温は冬の－12°Cという低湿から夏の37°Cという高温に及んでいる。６～８月の３ヶ月には激しい雨が降り、７月は通常１年でもっとも湿度が高い。冬は11月末から３月上旬まで続き、シベリアからの寒気団が吹き込み高気圧帯が発達する。空は通常晴れ渡っている。韓国は、湿潤気候帯に属するため雨が多く、南部沿岸で1,400～1,500mm、中部で1,200mm、北部で800～900mmである。季節変化もまた著しく、年間降雨量の70%は６月から９月にかけての主要降水である。

韓国では1900年以降、1,000人以上の死者・行方不明者が発生した災害は無いが、雨季には極端な豪雨が頻繁に降るため平野部に洪水が起こり、また年に２～３回朝鮮半島を襲う台風により深刻な被害が発生している。韓国の河川は比較的短く勾配が急であるため、洪水の流水曲線は勾配が非常に急であること、さらに最近の人口増大と開発による都市近郊の低地や丘陵地の利用の拡大に伴って洪水のピーク出水量が増大していることが相まって突発的な洪水が多発するようになった。また、朝鮮半島には砕けやすい土壌の存在する地域がたくさんある。その上、山岳地帯や丘陵地帯で開発が推進されているので、土石流による災害の発生件数が年々増えている。

韓国の中央政府と地方政府は災害防止のために、気象と洪水予測、河川の堤防工事や改良工事、低地における堤防や排水施設の建設などを行っているが、まだ十分とは言えず、特に支流の多くは洪水調節構造物と施設を十分に備えていない。過去10年間で283人の人命と約５億5,000万米ドル相当の資産が失われ、災害救難と復旧作業に４億5,000万米ドルが費やされた。

（4）マレイシア

マレイシア国は半島マレイシア、サバ、サラワクからなり、国土の総面積は329,758km²で国土の約4/5は森林及び湿地帯である。半島マレイシアは、中央の山脈を沿岸の平野が囲み、総面積の半分以上が海抜150m以上である。河川のほとんどはこの山脈を源とし、マラッカ海峡或いは南シナ海へ流れ込んでいる。サバ州とサラワク州は主に沖積層平野からなる。マレイシアの河川の上流部は、比較的短く勾配が急であり、下流は平坦で蛇行している。半島マレイシア西岸沿いでは、勾配が非常に緩いいくつかの川が広大な潮湿地及び淡水湿地を発達させている。東海岸の湿地は、浜堤が排水を妨げている所で発達している。

多くの河川は、これらの湿地へ流れ込んでいる。

気候の特徴は、赤道地方の気候に属し、気温と湿度が常に高い。毎月の平均気温は一年中変わらず、沿岸の低地では25～28°Cである。毎月の平均湿度は、通例高く75～90%である。雨は主に南西及び北東のモンスーンの吹く間に降り、北東モンスーンは11月から２月にかけて半島マレイシア東岸、サバ州東部、サラワク州西部に雨をもたらす。南東モンスーンは５月から８月にかけてマレイ半島西岸に吹く。また、局地的雷雨は年間を通じて起こり、特に４、５月と９、10月のモンスーンとモンスーンの間の時期に非常に激しいことがある。平均年間降雨量は、半島マレイシアで2,420mm、サバ州で2,630mm、サラワク州で3,830mmである。

マレイシアは北西及び南西のモンスーンによる降水量が多く、半島部マレイシアの東岸諸州とサバ、サラワクの各州に大規模な洪水を起こしてきた。1926年には、記録上最大の洪水が発生し、マレイシア半島のほぼ全域が浸水し、甚大な被害をもたらした。さらに、1931年、1947年、1957年、1971年、1973年、1983年にも大規模な洪水が発生している。これらの大洪水による浸水区域は陸地面積の約９%に相当する29,000km²に達し、270万人に被害を及ぼした。年平均損害額は１億RMと見積もられている。1971年の大洪水の後、マレイシア政府は灌漑排水局に洪水軽減業務として河川流域計画を策定するとともに洪水軽減プロジェクトと予警報体制を実施するという責任を与えた。主な対策として、常設洪水調節委員会、洪水災害救援機構等を設置するとともに、構造的対策（ダムの建設、河川改修と関連工事、堤防の建設、洪水減勢池の建設、環状築堤の建設等）と非構造的対策（開発の規制、土地利用の変更、住民の移住、洪水予警報体制の整備、流域管理と開発管理体制の整備等）を実施している。

また、マレイシアは地殻活動が活発な地域に位置しており、中小規模ではあるが局部的な地震が過去に何度も発生している。国の経済が急速に発展していくにつれて、都市へ人口が集中するとともに、高層建築物、大型発電所、橋梁、ダム等の十分な耐震対策を必要とする構造物が増えており、地震に対する危険性は時間とともに着実に増大している。マレイシア政府は地震活動を監視するために、気象局に多数の地震観測所を設置した。

(5) フィリピン

フィリピンは約7,100の島からなり、世界でもかなり多くの群島をもつ国の一つで、国土の総面積は約300,000km²で、その92.3%は面積の大きな11島で占められている。フィリピンは主要なルソン、ビサヤ、ミンダナオの３群島に分けられ、ルソンは面積約141,395km²、ビサヤは面積約56,606km²、ミンダナオ約101,999km²である。

フィリピンは、そびえ立つ高地と数多くの谷からなる変化に富んだ地形をしている。また、ルソンにあるセントラル平原とカガヤン峡谷及びミンダナオのアグサン峡谷、コタバト峡谷の4つの主要な低地平原がある。さらに、不連続で長い海岸線を有しており、良港、

航行可能な河川及び湖が点在し、73の州には61ヶ所の自然港と雨期には３倍にも大きくなる小河川を除いて、132の河川がある。

気候は山岳部と台地、海流、河川および気流の影響を受けるため多様である。

①11月から４月の乾期、その他の月間は雨期の地域
②乾期はなく、最長雨期が11月から１月の地域
③季節の差はたいしてなく、11月から４月まで比較的乾燥しており、その他の月間は、湿度が高い。また、雨期は明確でなく１～３ヶ月の乾期がある地域
④雨が年間を通じて程度の差はあるが、ほぼむらなく降る地域

フィリピンではこれらの特徴を持った地域があり、加えて熱帯性サイクロンが多発する地域に位置している。

フィリピン全体の年間平均降水量はおよそ2,500mmで、ルソンは2,724.4mm、ビサヤ島では2,391.7mm、ミンダナオでは2,349.8mmである。８月は月平均降雨量が最大となり304mm、一方４月は最小で約100mmである。

フィリピンでは、火山災害によって多くの犠牲者を生んでいる。また、フィリピンでは熱帯性暴風雨が年平均20個発生し、斜面崩壊、地すべり、土石流等の災害が発生している。特に、1991年のピナトゥボ火山の噴火と続いて来襲した台風による土石流は、2,000人以上の生命を奪い、低地にあった村落を完全に破壊し、広大な農地を荒廃させ、商工業に甚大な被害を与えた。約489kmの主要国道と163kmの私道が火山噴火物におおわれた。さらに、土石流が多数の橋梁を崩壊させ、８河川において土砂の堆積、破堤、流路の侵食、排水施設の閉鎖、水制工の破壊が生じ、公共基盤施設や民間資産に大きな被害を与えた。また、ピナトゥボ火山の噴火はフィリピンのみならず、地球全体の気象条件、すなわち温暖化に大きく影響を与えるだろうと予測されている。

（６）シンガポール

シンガポールは、領海内のシンガポール島と約58の諸島からなり、国土の総面積は約633km^{2}である。シンガポール本島は、火成岩組成の中央部丘陵地帯、堆積岩からなる西部地域、砂利が堆積した比較的平坦な東部地域の３つの地域に分けることができる。シンガポール本島のほぼ中央に位置する176mのブキット・ティマ・ヒルが最高峰である。

気候の特徴として、比較的一定した気温、高い湿度、海に面し赤道に近いことによる豊かな降雨を主な特徴とする。一日の平均気温は26.7°Cで平均相対湿度は84.5%、平均年間降雨量は2,362.8mmである。シンガポールは、活発な地震帯内に位置し、スマトラ断層地帯への最短距離が約400Kmであることから大規模な地震も過去に発生している。

シンガポールではメキシコ地震（マグニチュード8.1）の時に６～20階の近代高層建築物

や都市構造物に集中的な被害があったが、他の地震国に比べると地震による莫大な被害からは免れている。しかし、シンガポール政府の建設関連部局は将来スマトラ断層を震源とするマグニチュード８以上の地震に対する耐震性を懸念しており、高層建造物の長周期効果を重点においた地震危険度調査を実施している。

また、北東モンスーン期には小規模で局地的な洪水が発生しており、現在も排水システムを改良している。

（7）タイ

タイは、自然条件的に北部、中部、東北部、南部の4地域に区分され、国土面積514,000 km^2である。北部地方は自然林、山地、深く肥沃な沖積峡谷部などからなる山岳地帯、中央地方は、緑豊かで肥沃な峡谷部であり、広大な米作地帯、東北地方は、起伏に富んだ地域やなだらかな丘陵部で代表される乾燥地帯でもある。また、南部地方は、うっそうと繁る原生林や埋蔵量豊かな鉱物鉱石を誇り、丘陵及び山岳地帯である。

気候の特徴として、温暖でやや湿潤な熱帯の国であり、モンスーン気候である。大体５～９月までにつづく典型的な雨期と、その前後の比較的乾燥した乾期を特徴としている。気温は３～４月にかけて最高となり、12～１月にかけて最低となる。年間平均気温は23.7～32.5°Cである。かつ主要都市における年間平均降雨量は1528.6mmである。

バンコク等の平均海抜が２m程度の低地では、台風による洪水が起きやすく、北部や南部の山間部では土壌侵食や地すべりが起こりやすい。1988年には、14州にわたる大規模な洪水に見舞われ、356人の人命が失われ、1,560本の橋と5,694kmの道路が損傷し、ナコン、スリ、タラマット、スラタニ地区は特に大きな被害を受けた。また、バンナサン、フィブン、ランサカ地区では、土石流が河川の流域やカオ・ルアンの山間の平野に甚大な被害をもたらした。後に最も被害が大きかったナコン、スリ、タラマット、スラタニ地区に専門家が派遣され、罹災地における復旧・修復状態を調査したところ、タイ政府による十分な洪水救援費用にもかかわらず、復旧・修復作業はあまり進んでいなかったということである。一方では、災害対策のため積極的に土質工学的アプローチが試みられている。例えば、山間部の高速道路に対するジオテキスタイルとジオグリッドを利用した地盤補強技術や切土斜面の表面を鉄筋コンクリートで覆う斜面侵食防止技術等は効果をあげている。

また、タイ北部では記録として残らない程度ではあるが、地震による被害が発生している。現在、タイには耐震に関する建築基準は存在せず、地震災害を防止する地域的な規制を制定するためには、建築様式や地震力に関する十分な情報収集が必要とされている。

日本においては、戦後から行われてきた防災対策が功を奏して1,000名以上の人命を奪うような被害は発生していないが、日本海中部地震（1985年）、雲仙普賢岳における火砕流（1991年）、北海道南西沖地震（1993年）等の大規模な災害にみまわれている。これらの

災害では100名を越える人命が奪われているが、今までに実施してきた防災対策により被害を最小限に留めている。また、災害復旧事業や災害関連緊急事業、助成事業等が災害発生後の早急な復旧や２次災害の防止に大きな役割を果たしている。

また、大災害には至っていないが、マニラ、バンコク、ジャカルタ等東南アジアの大都市においては、局地的雷雨や雨期の長雨により内水氾濫が頻発し、衛生上の問題や交通障害を招いている。いずれも政治的にも経済的にも重要性の高い都市であり、社会経済活動に与える影響は大きい。

アジア地域土木研究所長等会議を通じて、今後、アジア諸国においては、地震、火山、台風・サイクロン、洪水等の災害に対して、各災害の発生確率・規模の予測及び災害に対する構造的補強すなわち耐震設計や、治水ダム、河川堤防、砂防施設等の建設、さらに復旧計画等の制度の確立が必要であることが再認識された。

８．２．２　アジア諸国における自然災害対策に関する研究開発

アジア諸国における自然災害対策に関する研究開発への取り組みについてまとめる。自然災害には地震、洪水、地すべり、土石流、火山噴火など様々であるが、ここでは直接人的被害あるいは物的被害を与えた原因で自然災害の種類を整理し、地震災害、洪水災害、土砂災害（火山噴出物による災害を含む）に分類した。

アジア地域土木研究所長等会議に参加した研究者及び技術者はそれぞれ震災対策、洪水対策などの専門分野から派遣されており、必ずしも母国の自然災害対策の全てを報告している訳でない。報告されていない自然災害対策に関する研究開発については、今後の会議において情報収集していくこととしたい。

（１）中国

中国の公共土木事業は次に示す機関が所掌している。

水利部：水保全プロジェクト（灌漑、洪水対策、都市水道、多目的水供給、土壌保全）、
　　小規模水力発電所の建設
能源部：水力、火力、原子力発電所の建設
交通部：水路、港湾、幹線道路の建設
建設部：都市及びインフラの建設
鉄道部：鉄道の建設
郵電部：郵政事業、テレコム・システムの建設

また、国の研究機関として中国科学院（ＣＡＳ）がある。

中国科学院と水利部の指導下において、山地災害及び環境研究所（ＩＭＨＥ）が土石流や地すべり等の山地災害、山地生態学と環境、山地開発、山地資源の利用、山地リモートセンシング、コンピュータによる地図作成に関する総合的な研究を行っている。また、Ｉ

ＭＨＥは侵食・堆砂訓練センターを所管している。

ＩＭＨＥが取り組んでいる土砂災害対策に関する研究は次の通りである。

・土石流、地すべりの分布、分類、地域的特徴
・土石流の発生、移動、堆積の機構
・土石流の基本的特徴と力学的特徴
・土石流の観測と実験
・地域計画と土石流の総合防災
・土石流の予測と警報システム
・地すべりの形成メカニズムと移動の法則
・シミュレーションによる地すべり試験と土砂崩れの力学的特徴
・地すべり監視と予測
・地すべりの危険の緩和

さらに、ＩＭＨＥは1993年より「土石流と地すべりの発達の機構、運動の過程及び災害軽減の理論」プロジェクトを３ヶ年計画で重点的に取り組んでいる。また、1991年より３ヶ年で京都大学防災研究所と京都大学農学部との「土石流のメカニズムと防災に関する共同研究」を実施している。

ＩＭＨＥは山地災害予防と防止に関する中国随一の研究機関であるが、資金不足と時代遅れの技術的環境のため、国際的財政援助と人的交流や共同研究による先進的な技術の導入を必要としている。

一方、地震災害対策、洪水災害対策に関する研究は水利水電科学研究院（ＩＷＨＲ）で行われている。ＩＷＨＲは水利部、能源部、中国科学院の共同管轄下にあって、水保全及び水力発電関連施設の建設、開発に必要とする科学技術的課題調査の任を負う包括的研究機関である。

ＩＷＨＲが取り組んでいる地震、洪水災害対策に関する研究は次の通りである。

①地震災害対策
・ダムその他水理構造物の耐震性についての基本的考え方と工学
・アーチダムの対地震用動的モデル実験

②洪水災害対策
・洪水分水及び溢水防止による災害軽減対策
・黄河下流の災害軽減対策

・洪水防止対策と貯水池の堆砂との関係
・都市流域における洪水防止と災害軽減対策
・洪水防止の危険基準
・貯水池と水力発電所の水文学的データ収集と洪水対策
・過去500年にわたる災害状況の編集、中国の水利用の評価など歴史上及び最新の洪水、干ばつの基本データの包括的収集と評価

③全般
・自然災害情報管理システム
・自然災害リスク分析
・自然災害から生ずる経済的損失の評価
・非物理的手法による自然災害軽減方策

このほか、ＩＷＨＲでは30カ国以上70を越す諸機関との交流事業を推進してきており、自然災害にかかわらず例年約150人の外国人訪問者を迎え、外国から700冊の学術的出版物を入手している。さらに、世界銀行、アジア開発銀行、国連開発プログラム、ＵＮＥＳＣＯ、ＪＩＣＡ、カナダ、フィンランド、ドイツ、イラン、バングラデシュ、パキスタン、オマーン、タイなどと数多くの研究協力プロジェクトに着手している。

中国は1991年の大洪水を契機に災害軽減を目的とした各種研究開発プロジェクトに取り組むとともに、防災のための社会資本整備プロジェクトを実施し、その成果が表れ始めている。中国は研究開発を行う組織を有しており、多種の水資源開発事業、土木構造物のための災害対策、堤防とダムの地盤工学及び液状化に関する研究、洪水吐きの設計などに関する多数の研究成果は災害対処能力向上を目指した防災施設の設計の改善に寄与している。しかしながら、これらの成果は外国からの技術援助的協力により得られたものであり、まだ独自に研究開発や技術開発をするに至っておらず、共同研究により海外からの技術を導入する段階にある。

（2）インドネシア

インドネシアの社会資本整備は公共事業省が所管している。公共事業省には道路総局、住宅総局、水資源総局がある。それに加えて、公共事業研究開発庁が道路事業、住宅事業、水資源事業に関する研究開発を行っている。公共事業研究開発庁の下では、道路研究所、人間居住環境研究所、水資源開発研究所がそれぞれ道路事業、住宅事業、水資源開発事業に関する研究開発を行っている。各研究所の予算は所属する総局のそれぞれ0.26%、0.66%、1.28%である。1982年、ＪＩＣＡのセンタープロジェクト（相手国に研修機関（センター）を設置し、専門家の派遣、研修員の受け入れ、機械供与を有機的に組み合わせて行

うプロジェクト方式技術協力）として、ジョクジャカルタに火山砂防技術センターが設置され、火山砂防技術研修と砂防工学の実験が実施されている。

インドネシアの自然災害は、主として火山災害と洪水災害である。また、最近になって津波を含む地震災害対策の必要性が認識されるようになった。

①土砂災害対策

・火山性土石流の軽減対策
・火山地帯での土石流予知
・警報・避難体制についての研究

②洪水災害対策

・火山地帯からの雨水と堆砂流出のアセスメント
・地下貯水池に関する研究開発

インドネシアでは、災害が公共事業施設に及んだ場合、研究開発庁の専門家が現地を訪れ、問題点の解明と調査を行っている。複雑な事態が生じた場合には、３つの研究所が対策にあたっている。これらはいづれも災害の事後対策であり、災害を未然に防止するための研究開発はほとんど行われていないようである。

これらの研究開発を実施する上での障害は、基本的及び特殊データの入手が困難であること、研究開発のフィールドとの距離が遠い上に交通施設が不便で高価なことが挙げられる。また、未経験な現地のスタッフ、研究に積極的な人材の質・量・配置、さらには機器及び研究施設と予算が十分でないことが挙げられる。この点を補うために、例えば水資源開発研究所に土木研究所の専門家が派遣され、水理実験の指導を行っている。この指導は４年間続いている。

インドネシアでは、国の発展を目指した研究開発を充実させるための人材が量的にも質的にも不足している。また、研究開発のための予算確保や研究施設の充実が大きな課題となっている。特に、火山噴火による一次災害を軽減するためには、住民の避難以外になす術が無い状態であり、海外からの防災技術の導入が不可欠である。噴火堆積物の流下対策として砂防ダムの建設が予定されており、これに関する技術も海外から導入することが必要である。また、地震災害対策に関する技術は全く無いという状態であり、早急に技術の導入を図る必要がある。

（３）韓国

長い間、農業社会であった韓国は、1962年に本格的な経済発展に乗り出して以来、奇跡的な経済成長を遂げ、急速に工業化社会となりつつある。1962年からの30年間に、ＧＮＰ

は23億米ドルから2,075億米ドルへ増加し、国民一人当たりのＧＮＰは87米ドルから6,498米ドルへと上昇した。韓国の建設業は多くの種類の建設プロジェクトを成功させ、国の主要産業となり、ＧＮＰへの貢献は９％になっている。しかしながら、この成長は主に労働集約型の建設工事によって達成されたものであり、建設技術水準は先進国に比べて遅れている。韓国政府は建設技術を先進国の水準まで引き上げ、建設会社の国際的な競争力を高めるために研究開発と技術開発のための長期計画を打ち立てた。その研究開発を推進する韓国の代表的な研究機関が建設省建設技術研究院（ＫＩＣＴ）である。

ＫＩＣＴは年間23億6,000万ウォンの研究経費で約280課題の研究開発に取り組んでいる。ＫＩＣＴが取り組んでいる主要な災害対策に関する研究開発プロジェクトは次の通りである。

①地震災害対策

・地震で破損した構造物の復旧
・長スパン橋の耐震設計法と施工法
・既存の構造物の地震被害予測手法

②洪水災害対策

・安定した河川断面の決定手法
・ダムの安全性評価とダム管理の指針
・水文モデルの評価
・河川構造物の設計指針
・漢江流域における洪水予測プログラムの改良
・Anseong川、Hyungsan川における洪水予測・警報システムの基本設計
・Nak-Dong川流域の洪水予測・警報システムの改良

ＫＩＣＴは建設技術の先進諸国との間で研究者の交流や国際セミナー等を通じて積極的な情報交換を展開している。1987年より、わが国の建設省との技術協力が始まり、ＫＩＣＴの研究者が土木研究所に派遣されている。

韓国政府は1972年より総合国土開発計画に取り組み、現在第三次総合開発計画（1992～2001年）が推進されている。本計画は国土の均衡ある発展を目指したものであり、新工業地帯の設定、高速道路網・鉄道網の建設、南北朝鮮統一の準備のための非武装地帯の開発が柱となっている。経済成長の進展に伴って、災害ポテンシャルは増大し、新たな都市内災害が発生するおそれがある。ＫＩＣＴが取り組んでいる研究課題の中で災害対策に関連する課題の内容は基礎的すぎるもので、開発に対して防災研究が後追いになっている観があり、今後は自然災害による都市域での被害の発生や社会基盤施設の損壊を防止するため

の研究開発が必要である。これは、わが国の昭和40年代の高度経済成長期とほぼ同じ状態といえる。今、韓国には先進国の経験を吸収することが求められている。

（4）マレイシア

マレイシアの自然災害は降雨に伴う洪水と地すべりと地震災害である。

洪水災害対策のための主な研究開発プロジェクトは公共事業省灌漑排水局（ＤＩＤ）によって行われている。ＤＩＤの研究部門は基本的な水理構造物や河川港湾工事のための実験的研究を実施しているが、基礎的・解析的な研究は国立工科大学で実施されている。マレイシア政府は河川整備のための企画、設計、実施に必要な研究を行う専門家集団を育成するとともに、水理工学、海岸工学、水資源管理、水質と環境に関する研究活動を調整する機関として、国立水理研究所を新設した。国立水理研究所が取り組んでいる洪水災害対策に関連する研究業務は次の通りである。

①洪水災害対策

・水理学全般
・堆積物の移動と形態
・水理構造物の設計
・管路網の設計
・水文モデル
・貯水池の設計と運用
・灌漑と排水

マレイシアにおける官・学の研究機関はここ10年間で急速な成長を続けているが、上記のように基礎的な研究が多く、複雑な研究開発は依然として外国の専門知識に大きく依存している。ＤＩＤにおいても国際研究交流プログラムに積極的に参加する姿勢をとっているが、実態は相手国機関の財政支援を待っている状態である。

土砂災害対策に関しては、公共事業省は特別な技術的任務は負っていない。強いて言えば、道路局が道路の保守や設計において地すべり対策を実施している。具体の研究開発は公共事業省の訓練・研究機関であるマレイシア土木研究所（ＩＫＲＡＭ）によって行われている。ＩＫＲＡＭでは研究分野の拡大を図っているものの、現在の主要研究分野は舗装と土質工学であり、土砂災害対策としては道路建設のための水文学に基づいた斜面安定化技術に限られている。

マレイシアの経済が急速に発展するにつれて、高層建築物、大型発電所、橋梁、ダム等の地震災害対策の必要性は急速に高まっている。このため、気象局によって多数の地震観測所が設置され、地震後直ちに救難活動が行えるよう気象局と地震観測所の間をダイアル

電話回線で結ぶ事業が行われている。震前対策として、国土全体を地震の危険度に基づいてゾーニングすること、構造物の設計と建築に耐震性構造を取り入れること等が考えられているが、それらに対する研究開発は行われていないようである。

現在、研究開発活動の大部分は政府機関によってなされており、民間の研究開発活動についても積極的に行うよう依頼しているものの研究開発機関が直面している最大の問題として、経験ある研究者及び専門家や技術者が不足していることがあげられる。公共事業省では、災害発生後の復旧及び情報の提供について実施しているものの事前の対策が十分になされていない。国立水理研究所やＩＫＲＡＭにしても、最近設置された組織であり、今後の発展に期待がかけられている。そのためには、先進国からの技術的･財政的援助が必要である。

（５）フィリピン

フィリピンのインフラ整備を所管する政府機関は、公共事業・道路省、地方水道施設局、国家灌漑局、運輸・通信省など多岐にわたっているが、ここでは公共事業・道路省の防災対策への取り組みについて見てみる。

公共事業・道路省において研究開発を所管する機関は研究基準局（ＢＲＳ）である。ＢＲＳは1987年に創設された組織であり、フィリピンのインフラ施設・整備の安全を確保するとともに、政府の公共事業の効率化を図り、インフラ施設の高品質を保つための基準やガイドラインを設けることである。公共事業･道路省の自然災害対策に関する取り組みとして、主な調査、研究開発を以下に示す。

①洪水災害対策

・水位観測をしていない河川の水文分析技術の開発

・河川の橋梁基礎構造物に対する影響

②土砂災害対策

・地すべり危険地帯の地図作成

・火山噴火に伴う土石流及び泥流被害の軽減対策

・土石流による被災危険度評価

1991年のピナトゥボ火山の噴火により傾斜地に放出された砕屑物は雨が降るたびに土石流や泥流となり、広範囲にわたる地域に被害をもたらしている。この被害は今後５～10年間続くと予想されており、緊急かつ適切な災害対策が必要となっている。上記の火山噴火に伴う土石流及び泥流被害の軽減対策については、公共事業・道路省、科学技術省、天然資源省、農務省の代表で構成される技術作業部会が設立され、研究標準局が全体の調整を

行っている。

ＢＲＳの1993年度の予算は2,336万ペソ強である。研究施設としては各種建設資材の試験機器が備わっている。最近もＪＩＣＡの供与で新しい機器が搬入された。また、イギリスからコンピュータなどの事務機器が供与された。しかしながら、フィリピンにおける研究開発プログラムへの大きな障害は、運営、維持、施設の資金不足によるものである。研修機会の不足、公的・私的部門の研究施設の不足、専門教育・訓練の場が存在しない事実、実験機器と財政支援のなさなどのために、最新技術の修得、試験、実施が適切に行えない。このような技術の多くは、先進国からのみ入手可能だが、フィリピンにとっては非常に高価なものである。さらに、政治的、経済的不安定が研究開発プログラムの持続性を妨げることが往々にしてあることも事実である。フィリピンのように財源の少ない開発途上国が被災国である場合には、財源の負担が非常に困難であり、地球規模の取り組みとして援助が必要である。

（６）シンガポール

シンガポールにはインフラの整備・管理に関連する公的機関が多数存在しているが、中心的役割をはたしている機関は公共事業局（ＰＷＤ）である。ＰＷＤには研究活動を行う研究施設は、人員不足のために存在せず、建設技術に関する調査研究活動はシンガポール国立大学やナンヤン工科大学との共同により行われている。この２大学は優良な研究施設を備えており、その研究施設を共用するとともに学者等の実務的な経験や問題を共有している。

シンガポールは、国土が小さいという理由もあるが、他のアジア諸国に見られるような莫大な自然災害による被害からは免れている。しかしながら、将来スマトラ断層でのマグニチュード８以上の地震の発生とそれによる被害の可能性を建設関連当局は懸念している。そこで、災害に備えての国民の研修・訓練を主導しており、さらに洪水被害の一層の軽減を目指し、排水システム改良のための資金を増やしている。

シンガポールにおける自然災害対策の取り組みとして、主な調査研究開発を以下に示す。

①洪水災害対策

・排水システムの改良

・建設物と地下空間内の防水対策

②地震災害対策

・高層建築物の地震による影響

政府は災害発生後の対策は進めているが、ＰＷＤは予防的な自然災害対策を含めて建築

・土木工学における研究開発を進めていく上で人的資源の不足、研究設備の不足、政府の財政援助の不足という問題を抱えている。このことは民間の建設会社においても共通している。シンガポールは小さい国であり、建設市場は大きくない。ほとんどの建設会社は研究開発をするための技術的能力と財政的能力をもっていない。建設産業は国の経済への貢献度の低さや輸出力の限界といった性質のため低い地位に置かれており政府の経済的援助の確保は困難な状況にある。こうした政府の姿勢は建設技術の研究開発に優れた人材を引きつけることを困難なものにしている。

（7）タイ

タイにおける主要社会資本整備を所管している政府機関は内務省と運輸通信省である。これらの省はそれぞれいくつかの局、庁、公社を所掌している。ここでは、内務省公共事業局や運輸通信省道路局が取り組んでいる自然災害対策に関する主な調査研究開発を以下に紹介する。

①洪水災害対策

・洪水排水処理システム

②土砂災害対策

・ソフトクレイ上の盛土及び地盤に関する研究
・ジオテキスタイルとジオグリッドを採用した地盤補強技術
・リモートセンシングと航空写真使用による軟弱土壌地域の調査

③地震被害対策

・構造物の振動、動的応答解析
・軟弱地盤の改良

公共事業局は洪水及び地震災害に関する研究開発プロジェクトを実施している。公共事業局は独自に研究開発を行っているが、研究開発を行っている大学やコンサルタント会社を指導することが大きな役割となっている。また、タイの気象庁では国内各地に起こる地震と台風のための近代的予知施設を備え、常時警報を発することができる体制をしいており、台風、地震に関しては統計的データがいつでも入手できるようになっている。

道路局は道路建設の観点から土砂災害対策に取り組んでいる。道路局における研究開発組織として道路研究開発センターがある。道路研究開発センターは効果的な研究開発を行うため、人材の養成、研究施設の拡大、国際共同研究を推進している。道路局の災害対策に関する研究の成果は、山間部を走る高速道路の地すべり防止やタイ北部・南部の各地の

道路で斜面侵食防止に効果をあげている。さらに、侵食性土壌の斜面に根の深い草の一種を植えて低地での洪水問題及び斜面の土壌侵食問題を防ぐ技術などのタイ独自の災害対策も進めつつある。

タイでは、外貨獲得の困難さから財政的に乏しく、道路局を例にすると、職員の大部分は設計、工事、メンテナンス業務に集中しており、研究に関与しているのはほんの少人数である。これは、設計、工事、メンテナンス業務の方が短期にその成果が表に出やすいこと及び開発途上国での研究エンジニアは多くの場合それに見合う報酬を得ることができないためである。現在、タイ政府は専門家の派遣や研究施設の援助を要請しているが、先進国からの援助により得られた技術は着実にタイに根ざし始めている。

８．２．３　技術移転方策の検討

過去２回開催されたアジア所長会議を通じて得られた情報からアジア諸国の災害対策に関する研究能力について、人材の存在、研究組織の存在、研究施設や財源の充実度、技術水準（研究）の観点から整理すると表－8.2.3.1のようになる。また、各国の自然災害のタイプ毎に災害ポテンシャルと技術水準（研究）の評価も行われ、図－8.2.3.1～8.2.3.3に示した。これらは筆者の国際経験とそれぞれの国で技術指導の経験をもつ土木研究所の各分野の専門家や研究者の意見を聞いてつくられたものであり、今後のわが国におけるアジア地域への技術協力の方向性を見いだすことは可能と思われる。

表－8.2.3.1　アジア諸国の研究能力

		中国	ｲﾝﾄﾞﾈｼｱ	韓国	ﾏﾚｲｼｱ	ﾌｨﾘﾋﾟﾝ	ｼﾝｶﾞﾎﾟｰﾙ	タイ
人材の存在		○	△	△	△	×	△	△
研究組織の存在		○	○	○	△	△	○	△
研究施設や財源		△	△	○	×	×	△	△
技術水準	基礎	○	△	○	○	△	○	○
	応用・実用	△	×	△	×	×	△	×

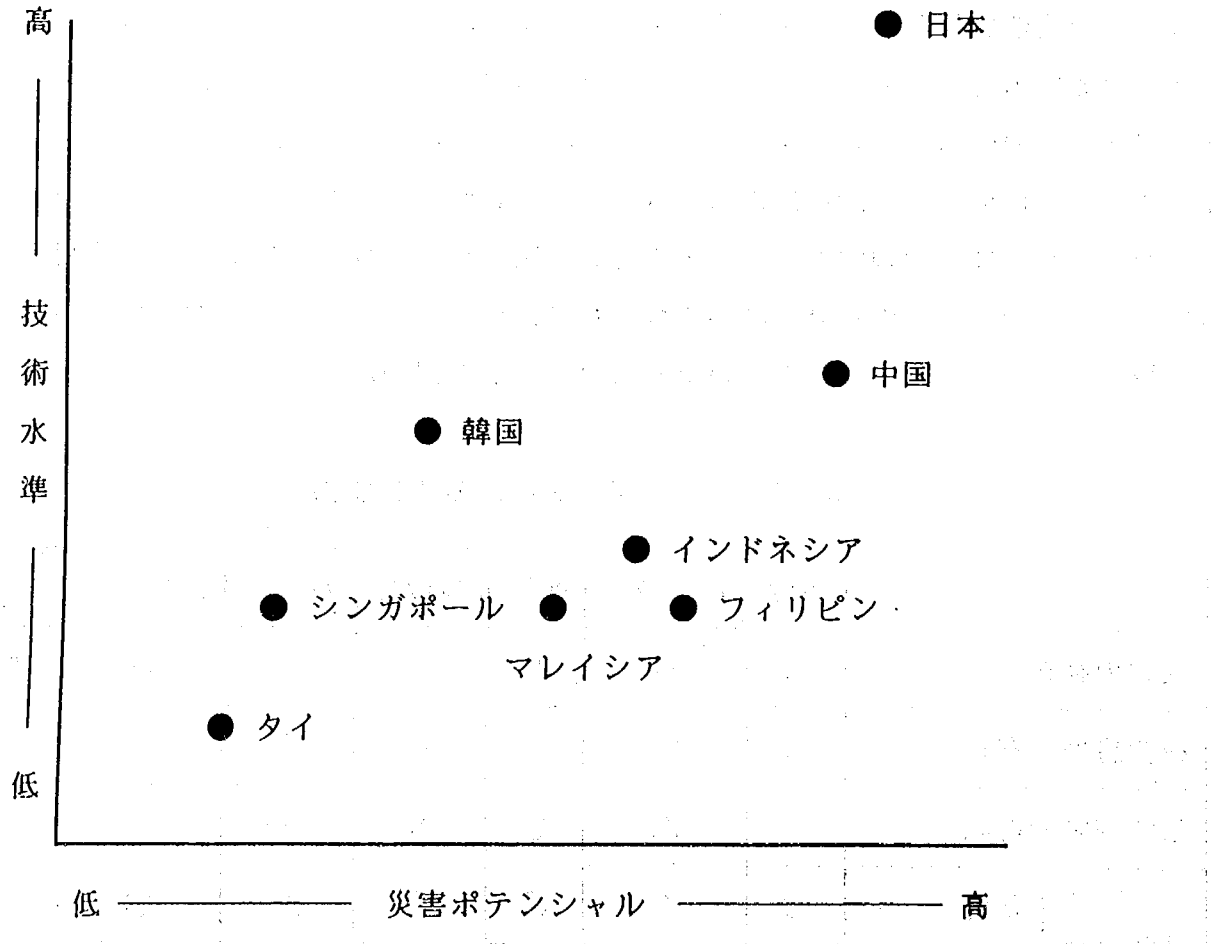
（凡例）　○：発達している。　△：発達途上にある。　×：ほとんど無い。

研究協力には、技術の供与国と受入国との技術水準の差に応じて、共同研究、技術指導、財政支援付きの技術移転という形が考えられる。つまり、①研究組織、人材、ある程度の財政が自国で確保でき基礎的な研究開発が行われており、かつ応用的、先進的あるいは実用的な技術を必要としている国に対しては共同研究、②研究組織や研究施設は整備され基

礎的な研究は行われているが、より高度な研究開発を実施するためには人材や経験が不足している国に対しては専門家の派遣・研修員の受け入れによる技術指導、③財政的あるいは技術的に研究開発を行う体制が未整備の国に対しては専門家の派遣による訓練および研修員の受け入れ、施設整備への財政支援を含む（センタープロジェクトのような）技術移転というような取り組みである。

次に、それぞれの災害毎にわが国からアジア諸国への技術協力の方策について考察してみる。地震災害、洪水災害および土砂災害のそれぞれの災害タイプ毎に各国の災害ポテンシャルと技術水準（研究）の関係を図－8.2.3.1～8.2.3.3に示す。

（1）地震災害対策

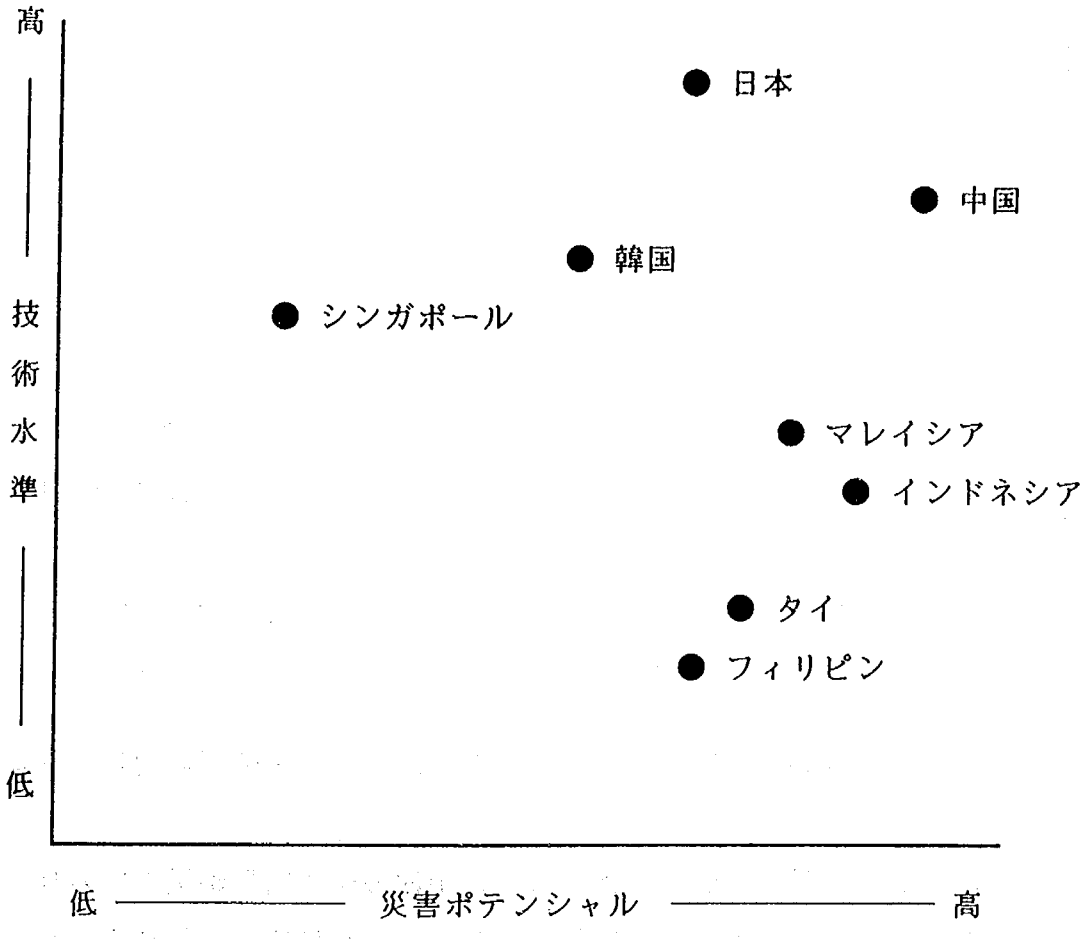


図－8.2.3.1　地震災害における災害ポテンシャルと技術水準（研究）の関係

地震災害対策研究に関しては、アジア各国における災害ポテンシャルと技術水準はほぼ比例関係にある。この分野におけるわが国の技術力は世界のトップレベルにあり、アジアの中では群をぬいている。中国、フィリピン、インドネシアのようにもともと地震の多い国では、災害対策の必要性が認識され、研究開発が進められてきた。中国はわが国との間の共同研究、フィリピンとインドネシアはわが国からの技術指導により、将来独自の技術

として発展させていくであろう。また、マレイシア、韓国、シンガポール、タイは今後の経済発展に伴って災害ポテンシャルは高くなりつつあり、それらの国々において地震対策研究の必要性が認識されるに伴い、わが国からの技術協力が必要となろう。

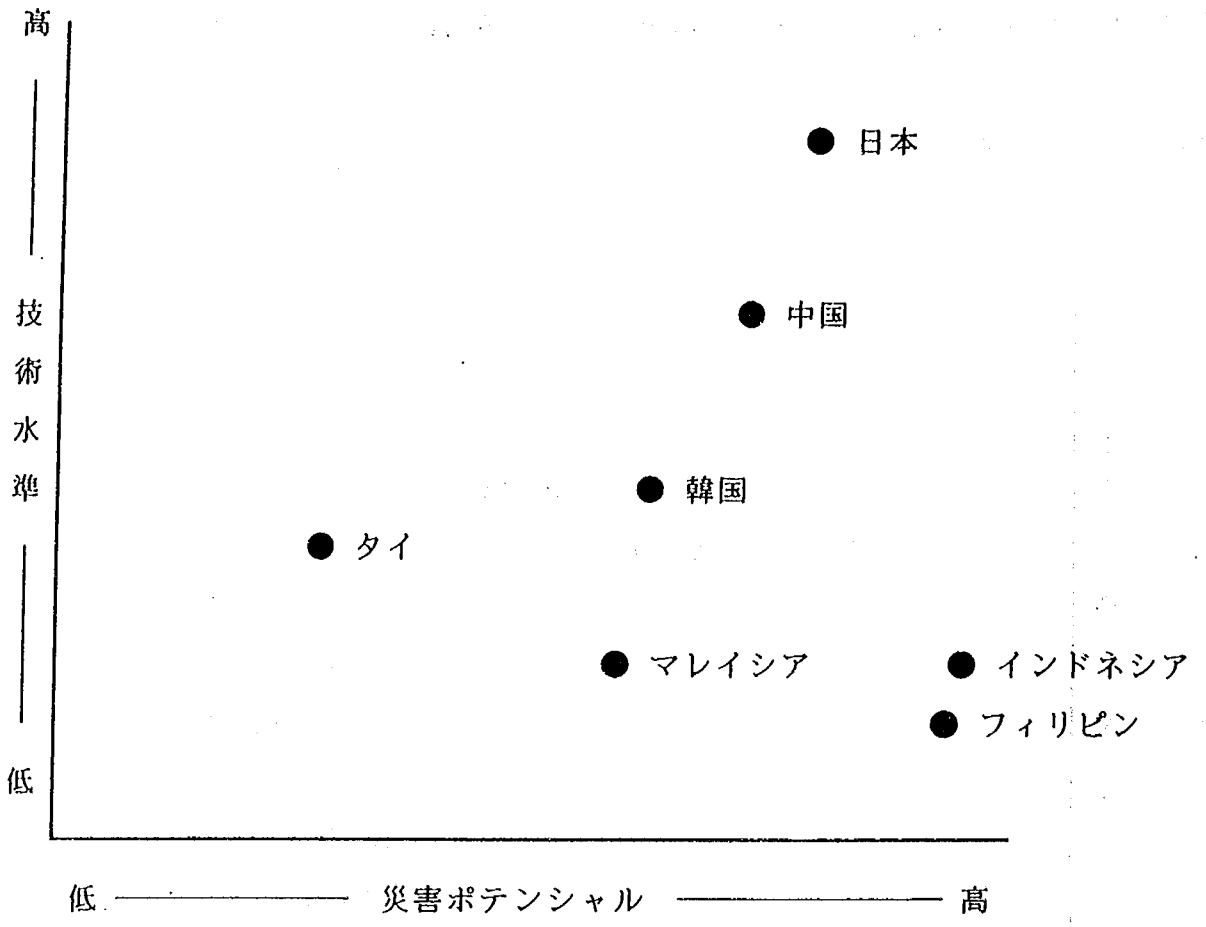
（2）洪水災害対策



図－8.2.3.2　洪水災害における災害ポテンシャルと技術水準（研究）の関係

洪水災害対策研究に関しては、日本、中国、韓国、シンガポールの研究開発は高水準にある。中国と韓国については基礎的な研究開発を推進することも必要であるが、むしろ河川改修や都市地域における洪水対策等の実施方法について共同研究を実施することにより先進技術の導入を図ることが望まれる。インドネシア、マレイシア、タイ、フィリピンは洪水の発生頻度が非常に高い。マレイシアとインドネシアは研究機関をもっており、わが国から専門家を派遣し各々の国で専門家を養成することが必要である。一方、タイとフィリピンに対しては、施設整備への財政支援を含む（センタープロジェクトのような）技術移転というような取り組みが必要である。ただ、洪水災害を考える場合、わが国やインドネシア、フィリピンのような島しょ国では急流河川であり、中国、タイのような国々は大陸河川であり、その河相が異なっていることに注意する必要がある。

（3）土砂災害対策



図－8.2.3.3　土砂災害における災害ポテンシャルと技術水準（研究）の関係

地すべりなどの土砂災害対策に関しては、日本、中国の研究開発が進んでおり、共同研究による技術の向上が考えられる。韓国は災害ポテンシャルに比べて技術水準が高くなく、専門家の受け入れ・研修員の派遣等により積極的に技術を導入することが必要である。タイは国土が平坦であり災害事例はあまりないが、道路建設のために研究開発されている技術は土砂災害対策へ応用されていくであろう。インドネシアとフィリピンは火山堆積物の移動による土砂災害対策の研究を実施する必要があるが、技術水準があまり高くないのでプロジェクトタイプの協力方式が良いと考えられる。マレイシアについても技術水準が高くないのでプロジェクトタイプの協力方式が良いと考えられる。また、火山災害対策研究を推進するためには、アジアの火山国の間で火山活動現象や災害事例に関する情報交換や人材の交流を積極的に実施することが望まれる。

（4）まとめ

すべての災害対策について共通していえることは、インドネシア、フィリピン、タイ、マレイシアのＡＳＥＡＮ諸国では、災害対策研究よりも生活水準の向上に直接貢献する道

路建設などの社会基盤整備が優先されていることである。しかしながら、経済の発展、人口の都市集中によって災害被害のポテンシャルは確実に高まっており、先進国からの経済援助とともに海外からの技術の導入が望まれる。また、中国、韓国、シンガポールのようなある程度研究体制（人材、技術水準、施設、予算）が整っている国に対しては、国際共同研究や専門家の受け入れにより技術力を向上させ、やがてはその国々における独自の技術として発展させることが可能である。

8．3　まとめ

第８章の「社会資本整備技術の研究開発に関する国際協力の推進」をまとめると以下のとおりである。

① アジア諸国の自然条件や経済・社会条件にあった土木技術を生み出すこと、各国の自然資源、人的資源の活用を図るため土木技術の研究開発の面から交流を進めること、そして将来的には、アジア地域を強く結びつける技術交流ネットワークとしての機能を果たすことを目的として、土木研究所が企画・主催したアジア地域土木研究所長等会議が開催され、平成５年（1993年）２月第１回会議、同年11月第２回会議が持たれた。

② 会議には中国、インドネシア、韓国、マレイシア、フィリピン、シンガポール、タイの各国から土木関係研究所長および土木関係研究担当局長らが参加し、日本からは土木研究所長、土木研究所幹部が出席した。会議では、基調講演につづき、カントリー報告、特定課題討論、分野別課題討論ののち会議結論の討議を行なった。会議の後は、現地視察（第１回目は北海道地方、第２回目は九州地方）と訪問した地方の公共事業関係者を聴衆に会議参加者を中心にシンポジウムが開催され、アジア地域における社会資本整備の現状と課題について討論された。

③ 会議においては、カントリー報告を通じ、各国の現状、課題、今後の展望について幅広く参加者相互の理解が進んだ。各国共通のテーマを決めて討論する特定課題討論では、洪水災害、土砂災害対策、水質、都市環境（大気汚染、騒音）に関する研究開発が取り上げられ、これらの研究を推進するための情報交換を積極的に進めることが合意された。分野別討議では各国代表の専門分野について土木研究所研究者と討議され、各国の抱える課題について相互理解がすすみ、一層の情報交換と人的交流を含む研究分野の協力の重要性が認識された。

④ 結論としては、各国の一層の社会資本整備のため、参加国で蓄積された経験と研究成果の共有の重要性を認め、この会議の有意義さと継続発展が必要であることについて全員一致で合意された。今後の討議内容としては、①公共事業における研究機関の役割と研究内容、研究マネージメント、②研究成果の普及、③共同研究制度、④研究情報の交換、⑤技術の普及、⑥技術基準の整備が提案され、個別のテーマとしては、①環境、②材料・施工技術、③防災、④道路建設・維持管理・交通マネージメント、⑤品質管理が提案された。

⑤ ２回にわたるアジア地域土木研究所長等会議での報告、討議・内容を詳しく分析し、アジア地域における社会資本整備技術の研究開発と技術移転について考究した。社会資本整備技術は幅広い分野の技術から成っており、全分野をカバーする情報は今のところ得られていないので、２回の会議で各国共通に報告、討議された自然災害と防災、すなわち、自然災害対策技術を例として分析し、今後の協力の方向を得ようとするものであ

る。

⑥ 亜熱帯、温帯、寒帯に属し、960万km²の広大な国土を有する中国では自然災害の被害は桁はずれに大きいものがある。1991年に発生した揚子江・ハイヘ河流域の大洪水では2,300名以上の死者、行方不明者を出し、被災人口は2億2,000万人に達し、約1,900万haの農地が冠水した。一方、1920年と1932年には、地震に伴う地すべり等により甘粛省で合計約27万人、1976年の唐山地震で約25万人の死者、行方不明者を出している。中国政府は揚子江・ハイヘ河流域での大洪水を契機に、災害の軽減を目的とした中国国家委員会を設立し、地方政府と協力して災害軽減に向けた各種研究プロジェクトを実施している。中国の自然災害対策に関する研究は山地災害環境研究所が、土石流、地すべり等の山地災害の研究を、水利水電科学研究院が洪水災害対策、地震対策に関する研究を行っている。研究組織、人材は比較的豊富で基礎的研究は充分独自で実施できるが、海外との共同研究により先進技術を導入している。

⑦ インドネシアは国土面積190万km²、13,579の島々からなり、活火山が約130あり、火山噴火による自然災害が多い。火山噴火による災害は11世紀以降1,000回以上と云われ、175,000人以上の命が失われている。火山災害の危険性のある地域は16,620km²で約240万人の人々が生活している。また、最近洪水被害が多発している。1990～1991年の被害では、水田の4,335ha、農地の2,324haが収穫不能となったと報告されている。さらに、地震によるフローレス島の津波被害では、2,149人の死者、行方不明者を出した。インドネシアの自然災害対策に関する研究は、公共事業省研究開発庁に属する道路、人間居住環境、水資源開発の3研究所で行っている。しかし、対策は事後対策が主で、災害を未然に防止するための研究開発はほとんど行われていないようである。原因としては研究に必要となる人材の不足、研究施設、機具の不足、予算の不足等が挙げられている。1982年からはわが国のセンタープロジェクトとして、火山砂防技術センターが設置され、研修と砂防工学の実験に成果をあげている。また、土木研究所から専門家が派遣され、水資源開発研究所の水理実験を指導している。

⑧ 韓国では1990年以降、1,000人以上の死者を出した災害はないが、雨期の豪雨による平野部の洪水、年2～3回朝鮮半島を襲う台風による洪水の被害が深刻である。また、山岳地帯や丘陵地帯で開発がすすんでおり、土石流災害の発生件数が年々増えている。韓国建設技術研究院が社会資本整備技術の研究を行っており、洪水災害対策や橋梁や構造物に対する地震災害対策の研究も行われている。防災に関する研究の内容は基礎的なものが多く、開発に対して防災研究が後追いになっていると考えられる。

⑨ マレイシアはマレー半島、サバ、サラワクからなり、面積は約32万km²、北西および南西のモンスーンによる降水量が多く、大規模な洪水を起してきた。1926年には記録上最大の洪水が発生し、マレー半島のほぼ全域が浸水し、甚大な被害をもたらした。1971年の大洪水の後、マレイシア政府は灌漑排水局を中心に本格的に洪水軽減プロジェクトと

予警報体制の策定、実施に取り組み始めた。また、マレイシアは地殻活動が活発な地域に位置しており、局部的な中小地震が何度も発生している。洪水災害対策の主な研究は灌漑排水局が水理構造物や河川港湾工事のための実験的研究を、基礎的、解析的研究は国立工科大学で行われている。政府は河川整備の専門家集団の育成と水理と水環境に関する研究活動を調整する機関として、国立水理研究所を設置した。土砂災害、地震災害対策に対する研究開発はあまり行われていない。研究機関が直面する課題は経験のある研究者不足、研究所新設のための財源不足である。

⑩ フィリピンは約7,100の島々からなり、国土面積は約30万km²、気候は山脈や高原、モンスーン等により複雑である。自然災害は火山災害と洪水災害である。1991年のピナトゥボ火山の噴火と続いて来襲した台風による土石流は2,000人以上の生命を奪い、低地の村落、農地を破壊した。また熱帯性暴風雨が年平均20回発生し、斜面崩壊、地すべり、土石流等の災害が発生している。フィリピンにおける自然災害対策の研究は公共事業・道路省の研究基準局が中心となって行われているが、人材不足、財源不足の点から先進的研究は外国からの援助に頼って実施されている状況である。

⑪ 都市国家シンガポールは、活発な地震帯内に位置し、スマトラ断層地帯への最短距離が約400kmと近く、大規模地震も過去に発生している。また北東モンスーン期には小規模で局部的な洪水が発生している。シンガポールの自然災害対策の研究は公共事業局がシンガポール大学等の協力を得て、洪水災害対策や高層建築物の地震による影響の研究等を実施している。しかしながら、予防的な対策の研究をすすめていく上で、人材不足、研究設備の不足、政府の財政援助の不足という課題を抱えている。

⑫ 国土面積約51万km²を有するタイは自然災害からは比較的まぬがれている安全な国であるが、首都バンコク等の平均海抜２ｍ程度の低地では台風による洪水がおき易い。1988年には、14州にわたる大規模な洪水に見舞われている。タイにおける自然災害対策の研究は内務省公共事業省や運輸通信省道路局が行っており、洪水災害対策や、土砂対策対策の研究を実施している。研究者の数は少なく、タイ政府は専門家の派遣や研究施設の援助を要請しているが、先進国からの技術は着実に移転している。

⑬ これらの情報および筆者、土木研究所におけるそれぞれの国で技術協力等の経験を有する各分野の研究者の意見を入れ、各国の災害ポテンシャルと技術（研究）水準の関係が分析された。研究協力は単に構造物を作ったり、物品を供与する技術協力と異なり、受入国の人材を育てる、研究能力を開発するということが最大の目的であり受入国の技術水準の把握が特に重要である。したがって、研究協力の実施方法は受入国の技術水準によって、異なってくると考えられる。すなわち、①基本的な研究開発は行われており、応用的、先進的研究開発を必要としており、そのための人材および潜在的能力、体制、施設と運営予算を持っている国とは技術供与国との間で共同研究、②基礎的な研究を行っているが、高度な応用、先進的研究を行うために人材や経験が不足している国に対し

ては、専門家の派遣による研究指導と研修員の受入れ、③人材、研究体制、施設等のすべての点で未整備の国に対しては、専門家の派遣、基本的な施設、機器の整備、研修員の受入れをセットとしたプロジェクトタイプの技術協力が必要と考えられる。

⑭ 地震災害対策の研究協力については、中国、インドネシア、フィリピンは過去に地震被害を多く受けた国であり、災害対策の必要性が認識され、研究が進められてきているので、共同研究（中国）や技術指導（インドネシア、フィリピン）による協力が妥当と考えられる。また、韓国、タイ、マレイシア、シンガポールは、今後の経済発展に伴い、災害ポテンシャルは高まると考えられるので、これらの諸国において地震災害対策研究の必要性が認識されるに伴い、わが国からの協力が必要となろう。

⑮ 洪水災害対策の研究協力については、中国、韓国、シンガポールの研究開発は高水準にある。中国と韓国については、基礎的な研究開発も必要であるが、今後は河川改修や都市地域における洪水対策等の研究が必要となり、共同研究による協力が適当と考えられる。インドネシア、マレイシア、タイ、フィリピンについては、洪水災害の発生頻度が高いにもかかわらず、体制が未整備であったり、研究所があっても充分に機能せず、人材も不足しているので、専門家派遣（マレイシア、インドネシア）あるいはプロジェクトタイプ（タイ、フィリピン）の技術協力が今後必要となる。

⑯ 地すべり等の土砂災害対策に関する研究協力については、中国の研究水準は高く共同研究方式が良い。韓国は災害ポテンシャルに比べて研究水準はあまり高くないので、専門家の受入れ等により先進技術の積極的導入が必要とされる。インドネシアとフィリピンは、火山堆積物による土砂災害対策が特に必要であり、プロジェクトタイプの協力方式が良いと考えられる。また、火山災害対策研究を推進するために、アジアの火山国の間で今後積極的な情報交換や人材の交流を行う必要がある。

⑰ アジア地域土木研究所長等会議における報告や討議の情報を利用して、自然災害対策の研究協力のおよその方向を得ることができた。今後は本会議でのチャンネルを使ってより詳細な情報、すなわち災害ポテンシャルの大小、現在採られている対策の状況、施設、設備、研究者等の体制、研究課題等を把握し、具体的な協力の方向を定めることが可能となる。他の分野の社会資本についても同様な方法を採用し分析が可能となる。

本会議の最大のメリットはアジア諸国の社会資本整備技術の研究開発に携わる高級管理者が一堂に会し、情報交換するとともに自国の置かれている状況を自ら評価できることにあり、また、同一課題に対して複数国の間での共同プロジェクトとして取り組むことも可能となることである。

アジア地域土木研究所長等会議は今後アジア地域における社会資本整備の発展に対してますます重要な位置を占めるものと考えられる。

第9章　結　論

９．１　わが国における社会資本整備と土木技術の発展

① 近代日本においては経済の発展、産業投資の動向および社会の動きに応じて戦争、不況の影響はあるものの、比較的安定して計画的に社会資本投資が行われてきたといえる。第二次世界大戦中、河川整備などの社会資本整備を怠ったことが、戦後洪水等の自然災害を繰り返し受けた大きな原因といわれている。また、昭和40年（1965年）以降、民間産業の急発展による経済の高度成長の時代には社会資本投資は経済の伸びについていけず、いわゆる公害と交通渋滞、騒音等の都市問題が惹起する一要因となった。計画的な社会資本整備が重要であることを示している。

② 社会資本整備の主役が時代とともに変遷している。明治新政府はまず鉄道の敷設に力を入れ、明治５年（1872年）の新橋－横浜間29kmが最初に開設した後、明治40年（1907年）には全国の鉄道延長は7,884kmに達した。河川事業は舟運確保の低水工事から、洪水防止のための高水工事へと切替えられ、明治期を通じて、鉄道に次ぎ、道路と同等程度の投資が行われた。大正12年（1923年）の関東大震災以来道路の重要性が認識され、その後道路事業への投資が活発化した。

③ 戦後相つぐ大洪水に見舞われ、食糧増産の要請もあり、洪水対策事業が行われたが、その後治水、発電等多目的の大型ダムの建設や総合治水事業等が行われている。昭和29年（1954年）の第１次道路整備５ヶ年計画以来計画的道路整備が行われるようになった。昭和30年代後半（1970～1974年）からは高速道路の建設が始まっている。鉄道は昭和34年（1959年）新幹線の建設が開始され、東海道新幹線は昭和39年（1964年）に完成したが、名神・東名高速道路の完成（昭和44年（1969年））とあわせて「高速交通網整備の幕開け」と位置づけられている。安定成長期に入った現在、全国的な高速道路の整備が行われている一方、大規模プロジェクトとして青函トンネル、本州四国連絡橋児島－坂出ルートは完成、東京湾横断道路、明石海峡大橋、関西国際空港などが建設中である。また、平成２年（1990年）からは公共投資10ヶ年計画により総額430兆円の投資が行われているが、下水道、都市公園、住宅関連施設等の生活関連公共事業に重点的に投資がなされている。さらに、平成７年（1995年）から、公共投資基本計画により、計画期間10年で総額おおむね630兆円の投資がスタートすることが決定された。その中では、生活環境・福祉・文化機能に係るものの割合を60%台前半に増加させることとしている。

④ 明治新政府は社会資本整備を急ぐため、多くの外国人技術者を招き、近代土木技術を導入するとともに日本人技術者への技術移転を図った。一方、大学等高等工学教育の充実、優秀な学生の欧米への留学などにより、導入された欧米式先進技術は極めて短かい期間にわが国の自然条件や経済社会に合うように改良されていった。明治期における顕著な技術発展の要因としては、外国人技術者の招聘、高等工学教育の充実、留学生の派遣等技術移転を図るための総合的な国家政策がとられ、これが成功したためと考えられる。また、当時のわが国社会は近代的合理精神を受け入れる素地が既に出来ていたこと

および日本人技術者は、国威発揚をめざして、国造りの基礎としての社会資本整備に熱心に取り組んだと考えられる。

⑤ 第二次世界大戦後、大型機械化施工法に代表される欧米先進技術を積極的に導入したわが国の土木技術は建設産業の成長、研究開発力の向上、産業界全体の幅広い成長に支えられ急速に発展し、新幹線や青函トンネル、本州四国連絡橋の建設にみられるように、現在世界の最高水準にあるといっても良い。この急速な技術の発展は、政府の計画的な事業見通し、大型プロジェクトの実施など産・官・学の連携による研究開発体制の支援を受けつつ民間企業が高度な技術力を蓄積してきたことがあげられる。また、大学での土木工学科の設置が進み、社会資本投資の増加、変化に応じて、量、質とも十分な技術者の育成と供給が行われた。

⑥ 技術の発展とともに社会資本整備を行うための法制度の整備も着実になされてきた。河川、道路、鉄道などの事業分野毎に、基本法や財源、実施主体に関する法令が、また整備のための長期計画や５ヶ年計画などが随時、適切に制定された。わが国独自の財政投融資制度や道路特定財源、有料道路制度等が有効に機能してきたことが判る。また、税制、官民共同研究、評価制度などの民間企業の研究開発を促進する制度も整えられてきた。

９．２　鋼橋建設、耐震および研究機関における技術の発展

（１）鋼橋建設技術

① 明治初期、わが国で建設された鋼橋はほとんどが輸入品であったが、明治末期には鉄道用トラス橋を国内メーカーに発注できるようになった。関東大震災（大正12年（1923年））後、政府は149橋の道路橋の架替および新設を行ったが、材料は輸入材が多いものの、設計、製作、架設はわが国の技術によるものであった。

② 第二次世界大戦後、昭和30年代（1955～1964年）はわが国鋼橋技術の基礎固めの時期で、西海橋（アーチ橋；昭和30年（1955年）完成）、若戸橋（吊橋；昭和37年（1962年）完成）のほか種々の形式の橋梁が建設され、昭和40年（1965年）には年間30万ｔの鋼橋生産量となった。

昭和40年代（1965～1974年）は大型プロジェクトの胎動期ともみられ、昭和45年（1970年）本州四国連絡橋公団が発足し、長大橋建設の調査、研究は本格化した。昭和48年（1973年）本州四国連絡橋の試金石ともいうべき関門橋が完成、また各地で斜張橋の建設も盛んとなり、スパンが長大化した。この頃海洋工事も増加し、大型クレーン船の活躍が始まった。

③ オイルショックの影響による一時的な着工延期にあったものの昭和50年（1975年）本州四国連絡橋の建設は始まった。電子計算機の発達が設計、施工管理など鋼橋建設技術の合理化、効率化に大きく寄与し、吊橋以外の橋梁でもスパンの長大化、大型化がますます進んだ。昭和54年（1979年）着工した本州四国連絡橋瀬戸大橋は、昭和63年（1988年）全線が完成し、道路と鉄道で本州と四国は連絡された。現在、中央支間世界最大の1,990ｍを有する明石海峡大橋をはじめとする本州四国連絡橋全橋のほか、全国各地で鋼橋の建設が進んでいる。

④ 自然条件の厳しいわが国では、鋼橋建設、特に本州四国連絡橋のような大型プロジェクトを実施するためには、耐風、耐震、基礎工、施工法等多くの研究開発を必要とする課題があった。耐風設計については、若戸大橋の設計にあたり風洞実験が行われ、本格的な動的設計が開始された。本州四国連絡橋の着工にあたり長大橋の耐風設計法が世界で始めて体系化され、現在大型風洞を用いた全橋模型による研究がすすめられている。

⑤ 基礎構造の発展も目覚ましいものがあり、杭基礎形式では、鋼管杭工法、場所打ち杭工法は広く用いられ、大鳴門橋では多柱式基礎工法で急潮流、浅い岩礁地帯へ基礎を構築した。鋼管矢板工法は工事の合理化、省力化をもたらし、ニューマチックケーソン工法では遠隔操作、無人化機械の開発が行われた。本州四国連絡橋では設置ケーソン基礎が海中基礎工として多用され、最近では大規模工法として地下連続壁基礎も用いられている。

⑥ クレーン船を用いた橋梁大ブロック工法の採用は、浜出し・輸送・据付・架設の一括施工による正確な工程管理、安全な施工、工期の短縮、経費の節減等のメリットがあり、

海上および沿岸部の鋼橋建設工事に果している役割は大きい。鋼橋塗装に関する技術開発は、厳しい腐蝕環境下で建設されるわが国の鋼橋にとって重要な課題であるが、石油化学工学の発達による新塗料の開発等わが国独自技術の開発もなされてきた。

⑦ 本州四国連絡橋事業を通じて行われた研究開発は膨大なもので、その成果はわが国の橋梁技術発展に大きく貢献している。平行ストランド架設工法（ＰＷＳ）の開発によって、中央支間1,990mを持つ明石海峡大橋の建設が可能となり、設置ケーソン基礎工法や多柱式基礎工法の開発が潮流のある深い海中や浅い岩礁地帯の基礎として建設された。耐風、耐震設計については多くの研究が進められてわが国独自の設計法が確立され、角折れ級衝桁と軌道伸縮装置の開発が、長大吊橋上の重量列車の通常走行を可能としたのである。これら主要な技術開発を含め、多くの研究開発の成果は、一般鋼橋の示方書に残らず採用されている。

（２）耐震技術

① 関東大震災後、土木構造物に対する水平震度法の採用、煉瓦造構造の禁止などわが国の社会資本は世界に先がけて近代的耐震設計の恩恵を受けることとなった。昭和39年（1964年）の新潟地震による昭和大橋の落橋事故からは、落橋防止構造の開発やパイルベント橋脚の見直しが行われたし、同時に発生した地盤の液状化の被害からは液状化判定法等が開発された。関東大震災以後平成５年（1993年）の北海道南西沖地震に至るまでの多くの地震によって約3,200橋の道路橋が被害を受け、24橋が落橋している。被害をおよぼした地震の度に研究開発がすすみ橋梁の耐震技術が強化されてきている。また、本州四国連絡橋の耐震技術については、土木研究所における強震記録の蓄積、全体模型振動実験や動的解析を通じた研究開発が行われ、長大橋耐震設計基準が制定された。

② 外国でほとんど例がなく、わが国独自技術のひとつである地下構造物に対する応答変位法と呼ばれる耐震設計法も開発され、石油パイプライン、沈埋トンネル、共同溝、地下駐車場、電気・ガス・水道・電信電話等ライフライン管路施設の耐震設計基準として広く使われている。このように耐震技術はわが国独自技術として発展し、その水準は設計および施行の面からみても世界最高のものと考えられるが、これらわが国耐震技術の発展は、地震被害の詳細な調査、耐震設計・工法の研究等先駆的研究開発の成果と考えられる。構造物に被害を生じた主な地震だけでも関東大震災以降の約70年間で15回発生し（ほぼ５年に１回の割合）、地震災害の軽減はわが国にとって最優先課題のひとつであり、研究開発に高いインセンティブが与えられたためである。またこの分野では早くから土木研究所を中心とするわが国とアメリカの間で技術、研究交流が行われており、研究情報交換、研究者の交流、共同研究の実施など行われており、世界に開かれた研究開発の例となっている。

（3）土木研究所における研究開発

① 第一次世界大戦後の科学技術重視の国策の下に、わが国唯一の土木技術分野の国立試験研究機関として、大正11年（1922年）、現在の建設省土木研究所の前身である内務省土木試験所が設立された。土木試験所の設立時は当時の先進技術であった瀝青材等道路材料に関する研究、関東大震災の災害調査や耐震技術の研究が行われ、大きな成果を挙げた。その後河川改修が活発化するにつれ水理研究施設も作られ、河川、堰、水門の研究が始められた。第二次世界大戦中は研究は停滞し、軍事目的の研究を強いられることもあった。

② 第二次世界大戦後、毎年のように襲った台風や地震によりわが国は甚大な被害を受け、土木研究所では河川の復旧、改修のための研究が行われた。昭和30年代（1955～1964年）から、わが国は経済の高度成長が始まり、近代的道路整備が開始され、道路に関する研究、本州四国連絡橋の調査、研究が新設の千葉支所を中心に強力に推進された。昭和34年（1959年）の伊勢湾台風の高潮災害から海岸、河川の研究がさらに進められた。昭和39年（1964年）の新潟地震を契機に液状化に関する研究、強震計の計画的設置が始まった。

③ 昭和40年代（1965～1974年）はわが国経済の高度成長のひずみが表面化し、公害問題の発生と交通問題の日常化が問題となった。また、都市の人口の爆発的増加、農・漁村で過疎化が問題となった時代でもあった。土木研究所ではこれらの緊急の課題に取り組むため、多くの新しい研究室が設置された。離岸堤の開発、水質に関する研究、交通事故に関する研究等が開始されている。

昭和54年（1979年）土木研究所はつくば学園都市の整備とともにつくば市へ移転した。移転に伴ない６ヶ所に分かれていた本所・支所等は統合され、広大な敷地に最新式の実験施設が整備され、次の飛躍の基盤となった。組織も充実され、30余名でスタートした土木研究所も500名に近い大組織に成長した。アルカリ骨材反応の研究やＲＣＤ工法の開発、道路トンネルの換気方式の開発、軟弱地盤改良方法の開発等研究水準は欧米の最先端に肩を並べ、わが国独自技術を次々に生み出している。

④ 東西冷戦構造の終結、民族主義の台頭等不安定な世界情勢とともに、不安定な政治、バブル経済崩壊後を模索する経済状況等わが国の経済社会は現在一大転機を迎えている。わが国の社会資本整備は本州四国連絡橋３ルート、東京湾横断道も今世紀中には完成し、大プロジェクト建設はひとつの転換点を迎えており、社会的には地球的規模から身近かな環境までのいわゆる環境問題への対応、ゆとりのある生活への希求が基調となってきた。

環境問題への取り組みを示す種々の研究、維持更新技術の研究、バイオ利用の下水処理の研究、火砕流に関する研究、道路のインテリジェント化技術の開発、地下空間利用技術の開発、超長大橋の設計施工に関する研究、建設マネジメントに関する研究等時代

の要請に沿った研究が行われている。

⑤ 土木研究所は設立以来今日まで70年を超える歴史の中で、時代のニーズに合わせあるいはニーズを先取りしながら、社会資本整備技術の研究を行ってきた。土木技術の発展に果たした土木研究所の役割としては、①海外技術の導入から始まり、基礎・応用研究の実施および多くの独自技術を開発するなど、わが国の社会資本整備技術の発展の基礎となる研究開発の分野で継続して先導的役割を果たしてきたこと、②建設省内外の研究者、土木技術者の育成等人材の開発に広く貢献してきたこと、③土木研究所は基礎・学究的研究の大学と応用研究の民間企業の両者をつなぐ機関として、産・官・学の連携をすすめ、計画的、総合的な土木技術の研究開発を推進してきたことが挙げられる。

（4）課題と展望

① わが国鋼橋建設技術の課題としては、わが国の技術が著しく発展したことから、従来までのような海外から学ぶという手法が通用しなくなったこと、本州四国連絡橋のあとにつづく、大型プロジェクトを立ち上げるための技術インセンティブが必要なこと、社会のニーズにあった橋は何かあるいは維持管理の時代に必要となる橋は何かなどの原点に立った議論の必要なことが指摘される。

鋼橋建設技術を展望すると、①超長大橋建設のための新たな技術開発への挑戦、②抜本的な合理化、省人化、省力化の技術の研究開発、③維持管理と老朽化を考慮した橋梁技術の確立、④環境に調和し、景観に配慮した、使い易い橋梁をつくる技術、⑤建設コストの低減、⑥鋼橋建設技術の計画、設計、施工のいずれの面においても、外国の模倣でない独自技術の形成とそれらを通じての世界への貢献が重要であることが挙げられる。

② 耐震技術の今後の展望として、大都市における直下型地震の発生の可能性が指摘されている現在、都市震災対策技術の研究開発が必要であり、その中では新形式構造物の耐震設計、道路占用物件の耐震性向上、都市震災の波及に関する研究開発などを進める必要がある。また、新しい概念や新材料を用いたより一層耐震性を向上させる技術の開発や超長大橋の建設など大規模プロジェクトへの対応、震災情報の早期検知・収集システムの開発等幅広い総合的な地震対策技術の研究開発が必要となる。

③ わが国経済社会の変化に対応し、社会資本整備に求められるニーズも大きく変わっている。このように新しい時代にあった社会資本整備技術の研究を進めるため、土木研究所では平成３年（1991年）積算技術研究センターを設置するとともに、平成５年（1993年）環境部の新設と材料施工部、地震防災部の構成変更等、各研究室の編成替えを含む組織改編を行い、研究体制の整備充実が図られた。

④ 今後のわが国経済社会は高齢化の急速な進展、情報化社会への変化、ゆとり重視と環境問題あるいは都市問題への対応、国際化の要請などが展望されるが、これらについて詳しく分析し、土木研究所の研究の基本理念、主要分野について述べている。研究の基

本理念としては、「多様なニーズに答え」、「利用者の立場に立った」、「環境に配慮した」、「国際的に普遍性を持った」、「わが国独自の」、「景観、機能、耐久性を追求した」社会資本整備の技術の研究をすすめることが必要である。また、研究開発の主要分野としては、「国土の高度利用の推進」、「安全に暮らせる基盤づくり」、「環境と共生する社会の建設」、「合理化・安全性の向上を図る施工技術」、「新材料の開発」、「維持管理技術の向上」、「社会資本の有効利用の推進」、「総合的・合理的建設マネジメントの確立」、「グローバルな視点に立った国際研究協力の推進」を挙げている。

⑤ 土木研究所の今後の取組み体制については、変動の著しい経済社会のニーズに対応するため５カ年計画の策定と中間年における柔軟な見直し、必要予算の確保と個々の研究員のやる気を妨げない体制づくりにあり、研究マネジメントの一層の充実が必要である。産・官・学の連携による共同研究、現在も進めている欧米との国際研究協力の一層の推進および開発途上国や東・中欧の諸国への技術援助をすすめることが重要である。土木研究所はわが国の土木技術研究情報の発信基地となるとともに、海外の研究機関との間で情報ネットワークを形成する。

⑥ 鋼橋建設技術、耐震技術および土木研究所における研究開発について発展の状況と課題等を具体的にみてきたが、総括すると以下のようにまとめられる。

・明治以来、先人のたゆまない努力によって、わが国の社会資本整備技術は着実に発展を続け、現在では世界の最高水準のレベルに到達している。

・しかしながら、わが国の技術が著しく発展したことから、今後の技術開発は従来までのような海外から学ぶという手法が通用しなくなり、わが国独自技術の研究開発が必要である。

・国際的にも国内的にも経済社会は変動しており、社会資本整備に対する要請も急激に変わりつつある。特定の分野の技術の開発においても、社会資本整備に関連する組織にあっても、過去の栄光に埋没することなく時代の変化を正しく見極め、課題に柔軟に対応できるようなマネジメントの確立が重要であると考えられる。

9．3　社会資本整備技術の研究開発に関する国際協力の推進

（1）アジア諸国の社会資本整備

① アジア諸国をＧＮＰ、経済、貿易の諸指標から分類すると、①ＧＮＰが200ドル前後の最貧国（ミャンマー、カンボジア、ベトナム、ラオス、ネパール、バングラデシュ）、②同300～500ドルの低所得国（インド、中国、パキスタン、スリランカ）、③ＡＳＥＡＮの中所得国（インドネシア、フィリピン、タイ、マレイシア）、さらに④ＮＩＥｓ諸国（韓国、台湾、シンガポール、香港）の４グループに分けられ、アジア諸国は多様な経済発展段階にある。

アジア諸国の社会資本整備の現況は、経済発展段階、および社会開発の状況に応じて相異がみられる。道路の分野では、①と②のグループではまだ十分にモータリゼーションが発達していないが、今後の経済発展のためにも道路網整備の必要があり、幹線道路、特に橋梁の建設等が必要とされる。③のＡＳＥＡＮのグループでは基本的な一次整備は終り、交通渋滞の解消や都市部の高速道路が必要となっている。民間資本の活用も行われている。④のＮＩＥｓのグループでは社会資本が相当充実しており、高速道路の建設、交通渋滞対策、交通安全対策、道路緑化等の施策が行われている。

② 鉄道の分野では、バングラデシュ、インド、韓国、スリランカ、中国が鉄道密度が高いか鉄道延長の長い国であるが、鉄道運営上経営の赤字や安全性および信頼性の確保の問題がある。水質保全・下水道の分野では、工業化や都市部への人口の集中により、河川の自然浄化能力は下落し、河川や海洋の汚染、水道源の汚染といった問題が起きている。また、下水道については、多くの国で最近都市部において整備に取り組み始めたばかりで整備率は低い。事業実施に必要な技術者や財源の不足、計画や設計手法の未確立、水質規制の未整備等が問題となっている。

③ アジア地域における自然災害は非常に多く、世界中で発生している災害の約90％はアジアで発生しているともいわれている。地震災害では中国、日本、インドネシア、フィリピン、台風・洪水による被害ではバングラデシュ、インド、中国に集中している。火山災害はフィリピン、インドネシア、日本に多い。アジア諸国では毎年のようにこれら自然災害の被害を受けており、災害の発生、規模の予測、災害に対する構造的補強、すなわち耐震設計、堤防やダムの建設、さらに災害復旧制度などが必要である。このようにアジア諸国の社会資本整備は経済の発展、国民生活の向上に伴い、今後ますます重要になると考えられる。

（2）建設技術の現状と技術移転

① マレイシア、シンガポール、インドネシア、タイのＡＳＥＡＮ４カ国における建設技術の現状についての調査では、社会資本の整備状況、技術者教育、労働慣習、労働政策の相異から各国間で技術の現況に差がみられる。シンガポールの技術は高く、インドネ

シアは全般に遅れている。マレイシア、タイはその中間にある。また、トンネル、シールド、地下鉄、ダム、高層建築など、これらの国で未経験の分野での技術は低い。これらに応じてわが国に対する技術移転のニーズもそれぞれ異なっている。

② わが国の技術協力の中で技術移転をすすめる上で最も効果があると評価されているプロジェクトタイプの協力方式について、タイの道路建設訓練センター、フィリピンの交通訓練センター、ミャンマーの橋梁訓練センターの実例を具体的に検証した。わが国の無償援助で整備されたセンターを中心にOn-the-job研修を基本に計画、設計、施工、管理の全体を実務について研修できるこの方式は技術移転をすすめる上で非常に効果があることが判り、受入国側からも評価されている。

③ 技術移転の推進に向けては、①受入国の条件にあった技術移転の必要性、②プロジェクトの各段階や組織に沿った形での技術移転の必要性、③実施方法の適正な選択の必要性、④受入国の主体性の確立の重要性、⑤より高度な技術（研究開発技術）の移転の必要性の視点が重要であることが判り、提案された。社会資本整備を一層すすめ、かつ建設産業の発展を図るためにはより高度な建設技術の移転を図る必要がある。建設技術は極めて裾野の広い多様な技術の集合であり、多面的、戦略的な技術移転を図ることが重要である。

（3）アジア地域土木研究所長等会議の開催

① アジア諸国の自然条件や経済社会条件にあった土木技術を生み出すこと、各国の自然資源、人的資源の活用を図るため、土木技術の研究開発の面から交流を進めること、そして将来的には、アジア地域を強く結びつける技術交流ネットワークとしての機能を果たすことを目的として、土木研究所が企画・主催したアジア地域土木研究所長等会議が開催され、平成５年（1993年）２月第１回会議、同年11月第２回会議が持たれた。

会議には中国、インドネシア、韓国、マレイシア、フィリピン、シンガポール、タイの各国から土木関係研究所長および土木関係研究担当局長らが、参加し、日本からは土木研究所長、土木研究所幹部が出席した。

② 会議においては、カントリー報告を通じ、各国の現状、課題等について参加者の相互理解が進んだ。各国共通のテーマを決めて討論する特定課題討論では、洪水災害、土砂災害対策、水質、都市環境（大気汚染、騒音）に関する研究開発が取り上げられ、これらの研究を推進するための情報交換を積極的に進めることが合意された。分野別討議では各国代表の専門分野について土木研究所研究者と討議され、各国の抱える課題について相互理解がすすみ、一層の情報交換と人的交流を含む研究分野の協力の重要性が認識された。

③ 結論としては、各国の一層の社会資本整備のため、参加国で蓄積された経験と研究成果の共有の重要性を認め、この会議の有意義さと継続発展が必要であることについて全

員一致で合意された。今後の討議内容としては、①公共事業における研究機関の役割と研究内容・研究マネジメント、②研究成果の普及、③共同研究制度、④研究情報の交換、⑤技術の普及、⑥技術基準の整備が提案され、個別のテーマとしては、①環境、②材料・施工技術、③防災、④道路建設・維持管理・交通マネジメント、⑤品質管理が提案された。

（4）アジア地域における社会資本整備技術の研究開発と技術移転

① 2回にわたるアジア地域土木研究所長等会議での報告、討議・内容を詳しく分析し、アジア地域における社会資本整備技術の研究開発と技術移転について考究した。社会資本整備技術は幅広い分野の技術から成っており、全分野をカバーする情報は今のところ得られていないので、2回の会議で各国共通して報告、討議された自然災害と防災、すなわち自然災害対策技術を例として分析し、今後の協力の方向を得ようとするものである。

② これら2回の会議での情報と筆者の国際経験および土木研究所におけるそれぞれの国での技術協力等の経験を有する研究者の意見を入れ、各国の災害ポテンシャルと技術（研究）水準の関係が分析された。研究協力は単に構造物を作ったり、物品を供与する技術協力と異なり、受入国の人材を育てること、研究能力を開発することが最大の目的であり、受入国の技術水準の把握が特に重要である。したがって、研究協力の実施方法は受入国の技術水準によって、異なってくると考えられる。すなわち、①基本的な研究開発は既に行われており、応用的・先進的研究開発を必要としており、そのための人材および潜在的能力、体制、施設と運営予算を持っている国とは技術供与国との間で共同研究、②基礎的な研究を行っているが、高度な応用、先進的研究を行うために人材や経験が不足している国に対しては、専門家の派遣と研修員の受入れによる研究指導、③人材、研究体制、施設等のすべての点で未整備の国に対しては、専門家の派遣、基本的な施設、機器の整備、研修員の受入れをセットとしたプロジェクトタイプの技術協力が必要と考えられる。

③ 地震災害対策技術の研究協力については、中国、インドネシア、フィリピンは過去地震被害を多く受けた国であり、災害対策の必要性が認識され、研究が進められてきているが、中国とは共同研究、インドネシア、フィリピンとは専門家派遣等による技術指導が妥当と考えられる。また、韓国、タイ、マレイシア、シンガポールは、今後の経済発展に伴い、災害ポテンシャルは高まると考えられるので、これらの諸国において地震災害対策研究の必要性が認識されるに伴い、わが国の協力が必要となろう。

④ 洪水災害対策技術の研究協力については、中国、韓国の研究水準は高く、河川改修や都市地域における洪水対策等の研究が必要と考えられ、共同研究による協力が適当と考えられる。インドネシア、マレイシア、タイ、フィリピンについては、洪水災害の発生

頻度が高いにもかかわらず、体制が未整備であったり、研究所があっても充分に機能せず、人材も不足しているので、専門家派遣等（マレイシア、インドネシア）あるいはプロジェクトタイプの技術協力（タイ、フィリピン）が今後必要となろう。

⑤ 地すべり等の土砂災害対策技術に関する研究協力については、中国の研究水準は高く共同研究方式が良い。韓国は災害ポテンシャルに比べて研究水準はあまり高くないので、専門家派遣等により先進技術の積極的導入が必要とされる。インドネシアとフィリピンは、火山堆積物による土砂災害対策が特に必要であるが、プロジェクトタイプの協力方式が妥当であると考えられる。また、火山災害対策研究を推進するために、アジアの火山国の間で今後積極的な情報交換や人材の交流を行う必要がある。

⑥ アジア地域土木研究所長等会議における報告や討議の情報を利用して、自然災害対策の研究協力のおよその方向を得ることができた。今後は本会議でのチャンネルを使ってより詳細な情報、すなわち災害ポテンシャルの大小、現在採られている対策の状況、施設、設備、研究者等の体制、研究課題等を把握し、具体的な協力の方向を定めることが可能となる。他の分野の社会資本についても同様な方法を採用し分析が可能となる。

本会議の最大のメリットはアジア諸国の社会資本整備技術の研究開発に携わる高級管理者が一堂に会し、情報交換するとともに自国の置かれている状況を自ら評価できることにあり、また、同一課題に対して複数国の間での共同プロジェクトとして取り組むことも可能となることである。

アジア地域土木研究所長等会議は今後アジア地域における社会資本整備の発展に対してますます重要な位置を占めるものと考えられる。

参 考 文 献

第２章

１）住吉幸彦、鈴木研司、平林桂：「近代日本における土木工学の進歩と経済・社会の発展への貢献」、土木研究所資料第3187号、平成５年３月

２）住吉幸彦、平林桂、田中靖資：「近代日本の経済社会の発展と社会資本整備技術」、国際開発学会第５回全国大会報告要旨集、平成６年12月

３）沢本守幸：「公共投資100年の歩み」、大阪出版社、昭和56年12月

４）加藤隆俊：「図説日本の財政（昭和63年版）」、東洋経済新報社、昭和63年６月

５）内外タイムス：「日本経済の百年」、昭和43年３月

６）総合研究開発機構：NIRA Output「土木技術の発展と社会資本に関する研究」、昭和60年７月

７）矢野一郎：「日本国勢図会（第50版）」、国勢社、平成４年６月

８）山一証券経済研究所：「経済がわかる辞典」、日本実業出版社、昭和54年７月

９）前田清：「公共投資論」、東洋経済出版社、昭和36年11月

10）建設省公共事業予算研究会：「公共事業と予算（昭和61年版）」、大成出版社、昭和61年４月

第３章

１）住吉幸彦、鈴木研司、平林桂：「近代日本における土木工学の進歩と経済・社会の発展への貢献」、土木研究所資料第3187号、平成５年３月

２）住吉幸彦、鈴木研司、平林桂：「近代日本における土木工学の進歩と経済・社会の発展への貢献」、土木技術資料、平成６年１月

３）住吉幸彦、平林桂、田中靖資：「近代日本の経済社会の発展と社会資本整備技術」、国際開発学会第５回全国大会報告要旨集、平成６年12月

４）高橋裕ほか：「土木工学体系」、彰国社、昭和59年５月

５）総合研究開発機構：NIRA Output「土木技術の発展と社会資本に関する研究」、昭和60年７月

６）土木学会：「土木工学ハンドブック　資料編Ｉ－３」、技報堂、平成元年11月

７）飛鳥井雅道：「近代の潮流」、講談社現代新書、平成４年２月

８）井上清：「日本の歴史No.20　明治維新」、中央文庫、平成４年２月

９）遠山茂樹：「明治維新と現代」、岩波新書、平成５年２月

10）松浦茂樹：「明治の国土開発史」、鹿島出版会、平成３年３月

11）土木学会：「明治以後本邦土木と外人」、昭和17年

12）R.H.ブラントン（徳力眞太郎訳）：「お雇い外人の見た近代日本」、講談社学術文庫、昭和61年８月

13）土木学会：「大学土木教育の現況（第６期）」、大学土木教育委員会報告、平成３年

14) 建設省道路局、日本道路協会：「Michi, Roads in Japan 1993」
15) 武田文夫：「有料高速道路30年の成果と今後の課題」、高速道路と自動車、平成５年８月
16) 岡田典之ほか：「平成６年度道路関係予算」、道路、平成６年４月
17) 岩田規久男：「金融入門」、岩波新書302、平成６年

第４章

１) 内務省土木試験所：「本邦道路橋韓覧」、昭和14年７月
２) 日本道路協会橋梁委員会道路橋史小委員会：「道路橋はいつごろつくられたか」、道路、昭和46年８月
３) 鉄骨橋梁協会、日本橋梁建設協会：「鉄骨橋梁年鑑」、第１巻（昭和38年）～第10巻（昭和48年）
４) 原田勝正：「鉄道の語る日本の近代」、そしえて文庫、昭和52年
５) 和久田康雄：「日本の私鉄」、岩波新書158、昭和56年
６) 日本橋梁建設協会：「日本の橋－鉄の橋百年の歩み－」、朝倉書店、昭和59年
７) 日本橋梁建設協会：「日本の橋」、朝倉書店、昭和59年
８) 原田勝正：「日本の国鉄」、岩波新書256、昭和59年
９) 日本鋼構造協会：「日本における鋼構造物（1945～1969）」、昭和60年６月
10) 日本鋼構造協会：「日本における鋼構造物（1970～1983）」、昭和60年６月
11) 日本国有鉄道、交通協力会：「日本国有鉄道百年史」、昭和47年
12) 株式会社横河橋梁製作所：「横河橋梁80年誌」、昭和62年11月
13) 松尾橋梁株式会社：「トライアス施工実績書」、平成４年
14) 阪神高速道路管理技術センター：「道路橋のメインテナンス」、平成５年３月
15) 丸紅建材リース株式会社：「アクロー・パネル実績一覧」、平成６年
16) 土木学会：「橋」、昭和43年～平成５年
17) 建設図書：「橋梁と基礎」、第１巻（昭和42年）～第27巻（平成５年）
18) 日本橋梁建設協会：「橋梁年鑑」、昭和54年版～平成５年版
19) 広瀬鋼材産業株式会社：「ニッケンスターＮＴ橋」、「ニッケンスターＫＤ橋施工実績一覧表」
20) 丸籐シートパイル株式会社：「ＵＣガーダー実績表」、「ランドクロス実績表」
21) Sumiyoshi, Y., Endo, T., Miyata, T., Sato, H. and Kitagawa, M. : "Experiments for the Akashi Kaikyo Bridge in a Large Boundary Layer Wind Tunnel", Proc. of International Seminar on Utilization of Large Boundary Layer Wind Tunnel, December, 1993

23) Sumiyoshi, Y. : "Progress of Civil Engineering Including Wind and Seismic Engineering, And Its Contribution to Economic and Social Development in Modern Japan", UJNR第25回合同部会, 1993.5

24) 福田武雄：「橋梁事故物語」、土木学会誌、Vol.50、No.7、昭和40年７月

25) Davenport, A.G. : "Buffeting of a Suspension Bridge by Storm Winds", Proc. ASCE, Vol.88, ST3, June, 1962

26) 「橋と風」編集グループ：「橋と風」、平成２年８月

27) 小林紘士：「風による長大橋の限定振動に関する研究」、大阪大学学位論文、昭和56年11月

28) Okubo, T., Narita, N. and Yokoyama, K. : "Some Approaches for Improving Wind Stability of Cable-Stayed Girder Bridges", Proc. of the Fourth International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, 1975

29) 建設省土木研究所：「海峡横断道路プロジェクト技術調査委員会報告書」、土木研究所資料第3205号、平成５年８月

30) 飯島靖郎：「海洋建設工事におけるフローティングクレーンの役割」、建設の機械化、昭和62年４月、日本建設機械化協会

31) 日本道路協会：「鋼道路橋塗装便覧」、昭和46年、昭和54年、平成２年

32) 日本鋼構造協会：「鋼橋塗装のライフサイクルに関する調査研究」、ＪＳＳＣリポートNo.12、平成元年３月

33) 日本鋼構造協会：「足場等自動化に関する調査研究」、ＪＳＳＣリポートNo.9、昭和63年４月

34) 片脇清、守屋進：「大規模橋梁の防錆技術に関するフィージビリティスタディ報告書」、土木研究所資料第2810号、平成元年12月

35) 片脇清、守屋進：「長期耐久性塗料に関する試験調査報告書」、土木研究所資料第2945号、平成３年１月

36) 片脇清、守屋進：「塗膜診断技術に関する共同研究報告書」、土木研究所共同研究報告第45号、平成２年７月

37) 片脇清、守屋進：「塗膜診断技術に関する共同研究報告書」、土木研究所共同研究報告第59号、平成３年３月

38) Katayaki, K., Kuriyama, H., Fukushima, M., Matsui, Y., Moriya, S., Tanaka, R. : "Computer Aided Coating Management System for Road Bridge Structure", OECD WORKSHOP ON KNOWLEDGE-BASED EXPERT SYSTEMES IN TRANSPORTATION, Canada 15-17 June 1992

39) Katawaki, K. et al : "COATINGS FOR STEEL ROAD BRIDGE IN JAPAN", FHWA-JAPAN WORKSHOP FOR ADVANCED HIGHWAY ENGINEERING, TSUKUBA 1992

40) 土木学会：「本州四国連絡橋技術調査報告書」、昭和42年
41) 本州四国連絡橋公団、海洋架橋調査会：「本州四国連絡橋のあゆみ」、昭和60年
42) 山根孟：「土木学会における本州四国連絡橋調査の技術的検討」、道路、昭和62年７月
43) 本州四国連絡橋公団、海洋架橋調査会：「本州四国連絡橋の技術開発」、平成３年
44) 横断道路調査会：「海峡横断橋建設の歩みとともに（村上永一氏に聞く）」、平成５年、No.1

第５章

1) Sumiyoshi, Y. : "Progress of Civil Engineering Including Wind and Seismic Engineering, And Its Contribution to Economic and Social Development in Modern Japan", UJNR第25回合同部会, 1993.5
2) 佐野利器：「家屋耐震構造論」、震災予防調査会、大正５年
3) 物部長穂：「構造物の振動並びに其の耐震性に就いて」、土木学会誌、大正14年５月
4) Suehiro Memorial Committee編：「末広恭二論文集（Scientific and Technical Paper by Kyoji Suehiro」, Tokyo, 1934
5) 日本道路協会：「道路橋耐震設計指針・同解説」、昭和47年４月
6) 日本道路協会：「道路橋示方書・Ⅴ耐震設計編」、平成２年２月
7) 「石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準の細目を定める告示」、通商産業省、運輸省、建設省、自治省告示第１号、昭和48年９月
8) 建設省：「新耐震設計法（案）」、土木研究所資料第1185号、昭和52年３月
9) 建設省土木研究所：「大規模地下構造物の耐震設計法ガイドライン（案）」、土木研究所資料第3119号、平成４年３月
10) 日本道路協会：「共同溝設計指針」、昭和61年３月
11) 日本道路協会：「駐車場設計・施工指針・同解説」、平成４年11月
12) 建設省：「土木構造物の震災復旧技術マニュアル（案）」、土木研究所彙報、第45号、昭和61年
13) Public Works Research Institute : "Manual for Repair Methods of Civil Engineering Structures Damaged by Earthquakes", English Version Published by National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, December 1986
14) Sumiyoshi, Y. : "Cooperation in research and development on seismology and earthquake engineering between USA and Japan -Activities of the UJNR Panel on Wind and Seismic Effects-", IDNDR International Symposium on Earthquake Disaster Technology, Tsukuba, Japan, 1992.12

15) 住吉幸彦：「UJNR25年の歩みと今後の展望」、国際防災の10年特別講演会、平成５年５月
16) Sumiyoshi,Y., Fujii T., Kawashima,K. et al："Summary Report on The Northridge, South California U.S.A., Earthquake of January", 1994, UJNR第26回合同部会, 1994.5
17) 住吉幸彦、川島一彦：「米国ノースリッジ地震による道路、橋梁の被害とその特徴」、道路、平成６年５月号、pp55～62、日本道路協会
18) 住吉幸彦、藤井友竝ほか：「ノースリッジ地震政府調査団調査報告書」、平成６年６月、ノースリッジ地震政府調査団
19) 建設省：「災害情報システム・ガイドライン（案）」、平成４年３月

第６章

１）住吉幸彦、鈴木研司、平林桂：「近代日本における土木工学の進歩と経済・社会の発展への貢献」、土木研究所資料第3187号、平成５年３月
２）住吉幸彦：「土木技術の研究開発の発展に期待する」、建設業界、No.500記念号、平成６年１月
３）住吉幸彦、鈴木研司、平林桂：「近代日本における土木工学の進歩と経済・社会の発展への貢献」、土木技術資料、平成６年１月
４）建設省土木研究所：「あゆみ（70周年を記念して）」、平成４年10月
５）建設省土木研究所：「未来に向かって（70周年を記念して）」、平成４年10月
６）建設省土木研究所：「土木研究所50年史」、昭和47年10月
７）建設省土木研究所：「土木研究所70年史」、平成４年10月
８）建設省土木研究所道路部：「土木研究所道路部のあゆみ」、平成３年７月
９）建設省土木研究所機械施工部：「地球がキャンバス、未来を描く」、平成２年
10）建設省土木研究所地質化学部：「研究のあゆみ（部創立35周年を記念して）」、平成４年７月
11）建設省土木研究所地震防災部：「地震防災部10年のあゆみ」、昭和61年５月
12）建設省土木研究所地震防災部：「地震防災部15年のあゆみ」、平成３年10月
13）未踏科学技術研究会：「日本の科学技術政策史」、平成２年12月
14）経済企画庁：「国民生活白書（平成３年版）」
15）建設省：「建設白書（平成元年版）」
16）労働省：「労働白書（平成４年版）」
17）環境庁：「環境白書　総説（平成４年版）」
18）建設省大臣官房政策課：「国土建設の長期構想」、ぎょうせい、昭和61年10月
19）矢野暢：「国土計画と国際化」、中央公論社、平成元年７月

20) 牧野昇、三菱総合研究所：「全予測90年代の日本」、ダイヤモンド社、平成元年９月
21) 建設省：「未来を拓く建設技術」パンフレット、平成４年
22) 講談社：「巨大プロジェクト」、昭和60年４月
23) 国土庁計画調整局三全総研究会：「三全総の発想と構築」、創造書房、昭和55年３月
24) 住吉幸彦：「情報、資金、さらに求められる人的貢献　技術・研究交流の現況と考え方」、道路、平成５年５月

第７章

1) 外務省：「平成４年度外交青書」、大蔵省印刷局
2) 黒田定明：「アジア諸国の鉄道」、ＪＲＥＡ、平成５年、VOL.36 No.8
3) 池田龍彦ほか：「アジア諸国の交通動向と国際交流・協力の課題」、運輸と経済、第53巻、第３号
4) 黄金旺：「台湾における用廃水問題」、用水と廃水、Vol.34、No.8、平成４年
5) 奥野長晴、Benny Seah Seng Lee：「シンガポールの下水道」、月刊下水道、Vol.11、No.1、昭和63年
6) 桜井敏郎：「東南アジア３カ国における生活排水処理の現状」、用水と廃水、Vol.34、No.8、平成４年
7) 村上勝彦：「バンコクの都市問題と下水道」、月刊下水道、Vol.15、No.15、平成４年
8) 平林正行：「タイにおける下水道事業の技術協力」、月刊下水道、Vol.16、No.1、平成５年
9) 柏谷衛：「開発途上国の環境問題と下水道の技術問題」、月刊下水道、Vol.15、No.1、平成４年
10) 田中菜穂子：「アジア・太平洋地域の開発途上国の環境」、資源環境対策、第28巻、第３号、平成４年
11) 住吉幸彦：「経済発展段階と建設技術の移転」、Proceedings of The Second Conference on Public Works Research and Development in Asia, 1994.3
12) 建設省、海外建設協会：「技術移転促進事業報告書　昭和60年度現地調査（マレイシア、シンガポール）報告書」、昭和61年３月
13) 同　「昭和61年度現地調査（インドネシア）報告書」、昭和62年３月
14) 同　「昭和62年度現地調査（タイ中間報告）報告書」、昭和63年３月
15) 同　「昭和63年度報告書」、平成元年３月
16) 同　「平成元年度報告書」、平成２年３月
17) Sumiyoshi, Y., Matsumoto A. et al : "PROJECT-TYPE TECHNICAL COOPERATION -An Example of Technology Transfer-", Proc. OECD Seminar on Technology Transfer, Sevilia, Spain, 1991

18) 住吉幸彦、平林桂、田中靖資：「アジア諸国に対する社会資本整備技術の移転」、国際開発学会第5回全国大会報告要旨集、平成６年12月

第８章

１）住吉幸彦、大石龍太郎：「第１回アジア地域土木研究所長等会議を終えて」、土木学会誌、平成５年１月

２）建設省土木研究所：「第１回アジア地域土木研究所長等会議報告書」、平成５年３月

３）Public Works Research Institute："Proceedings of The Second Conference on Public Works Research and Development in Asia", 1994.3

４）住吉幸彦、平林桂、田中靖資：「アジア諸国に対する社会資本整備技術の移転」、国際開発学会第5回全国大会報告要旨集、平成６年12月

５）住吉幸彦、田中靖資、宗広一徳、舘野悟：「アジア地域に対する国際研究協力　－自然災害対策－」、土木技術資料、平成６年11月号

社会資本整備における研究開発マネージメントに関する研究

Research & Development Management for Infrastructure Improvement

ISSN 0386-5878
土木研究所資料　第3318号
平成6年11月(1994)

前所長　住吉　幸彦
前企画部企画課課長補佐　鈴木　研司
企画部企画課課長補佐　田中　靖資
前企画部企画課企画係長　平林　桂
企画部企画課国際係　舘野　悟

要旨

本論文では、近代日本における経済社会の発展と社会資本整備の関係から土木技術の発展とその要因を分析した。具体例として、わが国が世界に誇る鋼橋建設技術と耐震技術を対象として発展過程と発展を支えた要素技術について整理した。また、アジア諸国における社会資本整備の現状および建設技術の移転の課題を分析することにより、研究開発に関する国際協力の方向を明らかにした。

キーワード：社会資本整備、経済社会、鋼橋建設技術、耐震技術土木研究所、技術移転、国際協力

○

郵便はがき

50円切手をはって下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

御中

No.

No.

配布先氏名

○

配布先住所

土木研究所資料 第3318号　　部

上記のとおり受領しました。

所　属（住所）

氏　名　　印