

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第3327号

平成6年度

土木研究所講演会 講演集

平成7年2月7日

建設省土木研究所

Copyright © (1995) 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、本報告書の全文又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

平成 6 年 度

土 木 研 究 所 講 演 会

講 演 集

企画部企画課

要 旨

本資料は、「平成6年度土木研究所講演会」の講演内容をまとめたものである。この講演会は、土木研究所が実施している調査研究の成果や最近の土木技術に関する話題、動向などを各方面に紹介することを目的として、毎年1回開催している。

キーワード：土木研究所講演会、河道設計、ダム、建設副産物、環境、交通事故、橋梁、積算

目 次

これからの川づくり～河道設計法の最近の動向……………	河 川 部 長	中 尾 忠 彦…	1
最近のダム材料の技術開発……………	ダ ム 部 長	松 本 徳 久…	31
建設副産物のリサイクル……………	材 料 施 工 部 長	岡 崎 治 義…	53
特別講演 人間や環境にやさしいデザイン……………	東京工業大学教授	本 川 達 雄…	81
交通事故分析と事故防止対策の展望……………	道 路 部 長	中 垣 光 弘…	85
海峡横断プロジェクトを支える橋梁技術……………	構 造 橋 梁 部 長	横 山 功 一…	105
積算体系の見直しの動きについて……………	積算技術研究官	光 家 康 夫…	121

これからの川づくり
～河道設計法の最近の動向

河 川 部 長 中 尾 忠 彦

これからの川づくり

－河道設計法の最近の動向－

はじめに

河川の有する機能として、治水・利水・環境がある。治水ということも人間環境改善のための働きかけであり、利水も河川を利用して人間の生活環境の改善を図ろうとすることであるから、全て「環境」に含まれるかもしれない。近年ますます環境概念は広がり、河川を管理する河川管理者が考慮すべき事項が増大してきた。

河川は治水という観点から厳格な管理が行われてきた効果もあって、特に都市近郊にあってはオープンスペースとして貴重なものであり、流水は都市気候を和らげる効用まで発揮している。既に河川が広く流域住民の貴重な公共物となっていることから、河川管理者が河川に対して加える各種行為も流域住民の意向をふまえ、あるいはそれを導くものであるべく、細心の配慮が必要とされるのである。従来、治水計画は経験ある技術者が長年にわたって現地を観察して立案するのが理想とされ、施工速度が遅いこともあって例えば水制などを設置した後の河川の変化を見定めながら進められたこともある。その結果、わが国の多くの河川は長年にわたって改修が行われてきたにもかかわらず、眼前の河川は「人工」を感じさせないなどじっくりと流域にとけ込むものとなっている。

しかしながら、現在の河川は長年国土建設の資源として砂利採取が行われてきたこともあって河床低下が進み、長く効用を果たしてきた護岸などの施設が破壊して河岸の侵食を誘発し、他方、氾濫域の人口資産の増大により浸水が許容されなくなって安全度を向上させるための再改修が必要になってきている。一方で、今や社会・経済条件が変わり、一本の河川を長年にわたってゆっくりと改修していくという状況ではなくなってきている。

このような条件のもとで望ましい川づくりをするためには、長年の蓄積による河川工学の進歩に加え、近年の他分野の技術開発の成果としての計算能力の増大や観測能力の向上の助けを得て、知力を結集して改修計画を立案するほかにないと思われる。以下、現代の河川改修をとりまく社会情勢の変化、河川工学理論の進歩、計算法の発達、測定技術の進歩について述べ、これからの川づくり、その中でも中心となる河道の水理設計法を展望したい。

1. 河道設計の高度化の必要性

1.1 河川の機能に対する要求の多様化

河川の治水・利水・環境の機能を具体的に発揮させるものとして河道改修がある。従来は、計画高水流量を計画高水位以下の水位で流下させるのを断面設計の必要条件とするということで、治水ということが河道設計の外力として表に出ており、他の要素は一部が配慮事項として掲げてあったものの、具体の設計の方法は示されていなかった。すなわち、河川砂防技術基準（案）では河道計画の基本方針を以下のように定めている。

「河道は、計画高水流量（暫定改良計画の場合はその計画で定める暫定計画高水流量）以下の流量を安全に流過させるよう計画するものとし、また河川の利用の増進、自然環境の保全及び河岸に沿う地域の土地利用の現状等についても配慮するものとする。」

このように環境の重要性は従前から認識されていたのであるが、具体的にいかに考慮するかについては担当技術者の判断に待つところが大きかった。しかし、景観の問題、生態系の問題が単に配慮ではすまない課題としてあらわれてきており、明示的にそれらについての設計を行う必要に迫られている。

引用した河川砂防技術基準（案）にも自然環境の保全とうたっているが、少なくとも現在は河川生態学的配慮を欠かすことはできない。そして、水中の生態系にとって、瀬や淵などの河床の形態・水理特性、河床材料や河床をおおう植生の状況、そしてそれらの時間的変化の状況は非常に重要である。



写真－１ 瀬と淵 多摩川

1. 2 維持の容易な河道設計の要求（河道設計における時間軸の認識）

21世紀を目前にして、高齢化等への対応が論じられているが、公共事業の計画としては、維持・運用を考えた施設整備ということが重要であると考えられる。

従来の河川改修では改修時には逆台形断面に整形するのが一般である。この形の方が施工管理も含めて施工が容易であり、流量計算も容易にできるからであろう。しかし多くの場合、改修時に整形された河道断面は時とともに変化する。断面のある部分では堆積し、別の所では掘れる。改修当初の平均河床高との相違が大きくなったときには何らかの対策を行う必要がある。従来の河道設計法では、堆積した場合には維持浚渫を行うことが暗黙の前提であった。あるいは大規模に行われてきた建設事業の主要資材として砂利の需要が旺盛であったことから、砂利採取などを計画断面に適合するように許可して計画断面を維持することも実施されてきた。しかし、重要河川（たとえば一級河川の直轄区間）では維持浚渫も何とか行われているとしても、その他の河川ではあまり実施されていないのではなかろうか。将来維持作業の低減がますます要求されるとき、より維持の容易な河道を設計すべきである。そして、自然に瀬や淵が形成されているような河道区間でははじめから瀬や淵が速やかに形成されるような断面形状に改修する方が維持が容易な場合が多いのではないかと予想される。もちろん、具体的な河道区間において計算や模型実験、試験施工で検証する必要がある。

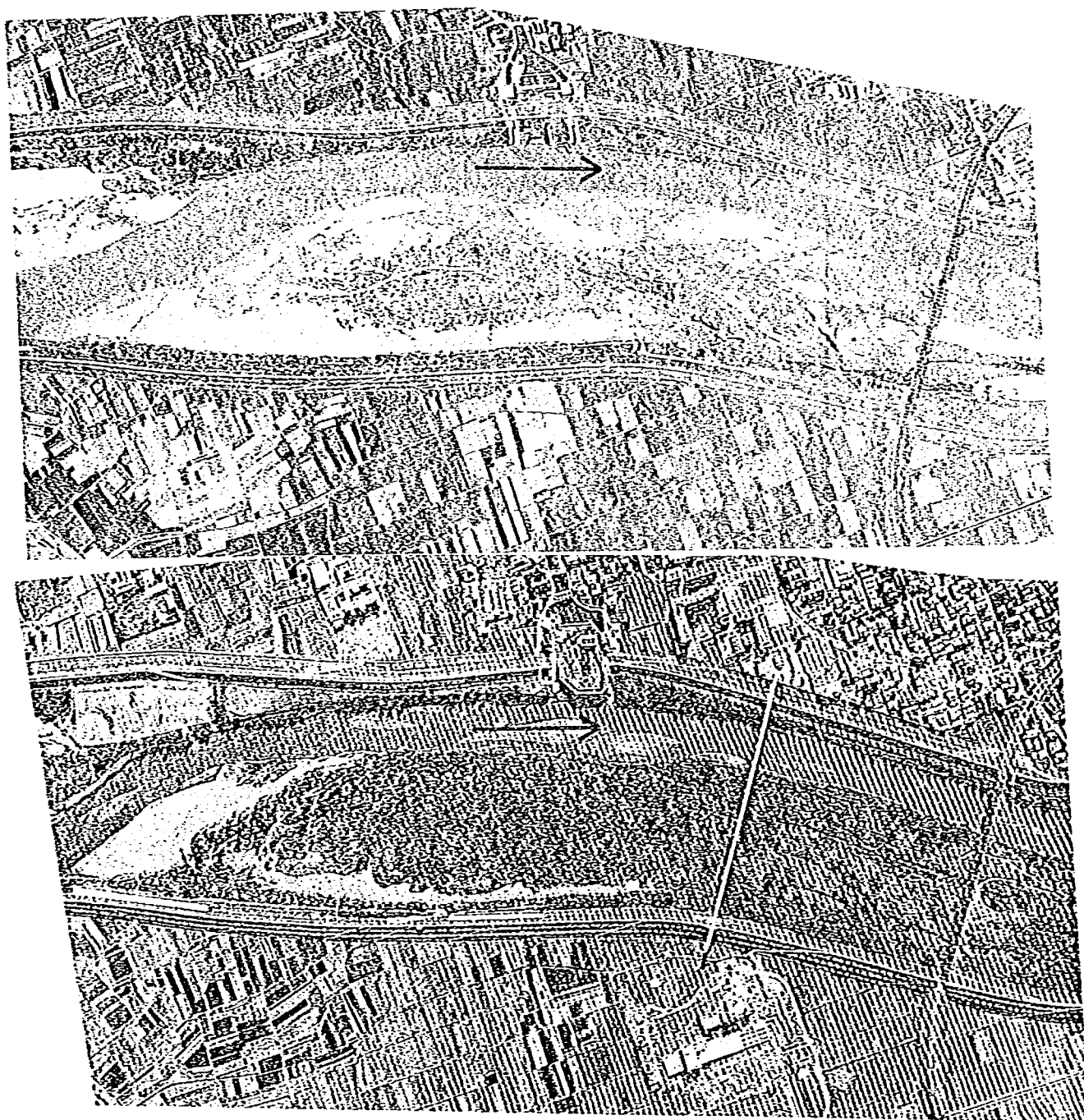


写真-2 土砂が堆積した河道 木津川昭和43年と59年

1. 3 現況河道の問題点

多くの河川で河床の低下が目立っており、河道の設計のし直しが必要になってきている。河床の土砂が失われ、基盤層まで露出してきた河川もある。河川の機能は洪水の流下のみにあるのではなく、水位・水深が適正にあることも重要なことである。河積が増加したから流下能力が増大したと手放しで喜ぶわけにはゆかない。ただし、河床が低下する傾向の時はうまくコントロールすれば河道が安定する可能性が高いことが知られており、河床が上昇するとき、すなわち流送土砂が多いときは河岸侵食も起こりやすく、流路が変動しやすい。現在河床低下が目立っているときこそ維持しやすい河道を形成することができると考えられる。

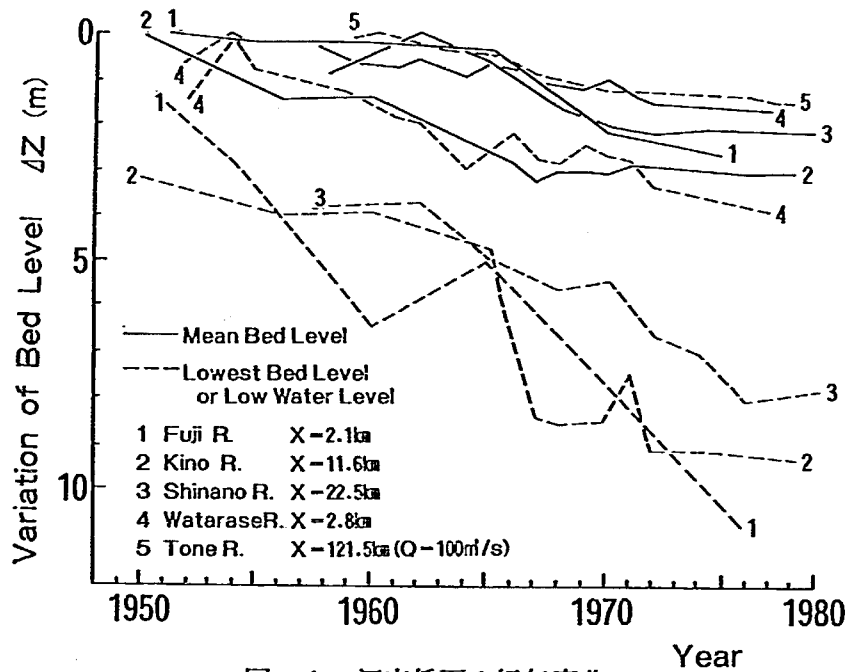


図-1 河床低下の経年変化

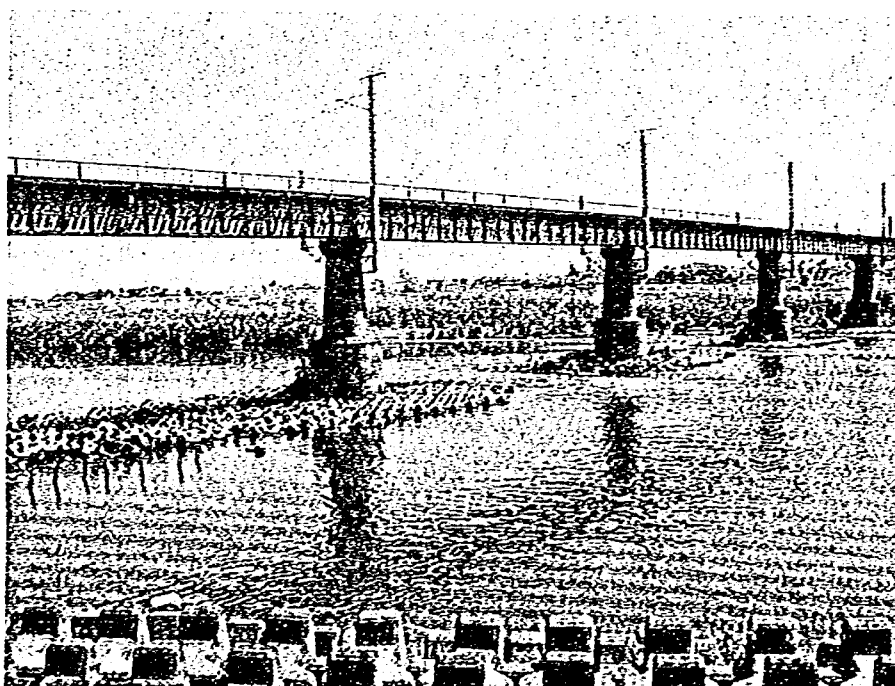


写真-3 鬼怒川の河床低下 JR水戸線鉄橋

2. 河川の特性を生かした改修を

2. 1 多自然型河川改修の進展

多自然型河川改修を望む声が一般市民から強く出されており、河川管理者もそれに応えようとしている。ここ2、3年で数千件に上る改修例がある。社会のニーズに応える行政として評価されるものである。

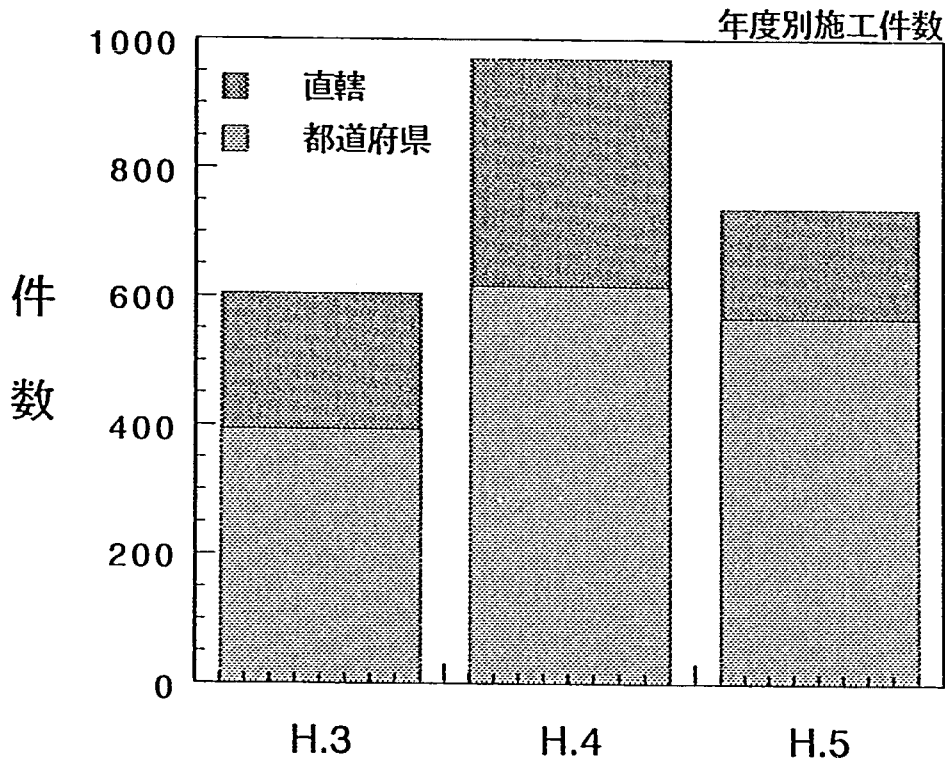


図-2 多自然型河川改修年度別施工件数

2. 2 実施例を踏まえた反省

このように歓迎されている多自然型河川改修であり、多くの創意工夫が生かされていることは喜ばしいが、実施例が積み重ねられてきたところで、そのねらいと効果を評価することが必要である。土木研究所河川部では、その水理的特性に重心をおいて追跡調査を実施している。景観・生態等の観点からの追跡調査と併せて、今後よりよい改修を行うための指針を得ることができると考えている。

さて、多自然型河川改修とは、草木や自然石を多用するということなのであろうか。それよりも、河川というものの存在の法則に沿っているが故に大がかりな維持作業を行わなくても治水・利水・環境の機能が継続的に発揮されるような河川改修というものであろう。大がかりな維持作業を行わなくてもほぼ安定した河道であり続けることによって生態系も充実し、人間の目にも「自然な」河川であるように見えるようになるのだと考える。

気候・地質・人間の活動という流域の条件の中でいかに河道が変化してゆき、その場の中で河道との相互作用のもとにどのような生物・生態が生じ、いかなる景観になってゆくのかという問題についての知見を深めることが必要である。いいかえれば、より大きい「場」の中に河川も河川の生態系も存立するものと考え、河道設計を行う際に、その場知見を取り入れてゆくことが今後必要であると考ええる。

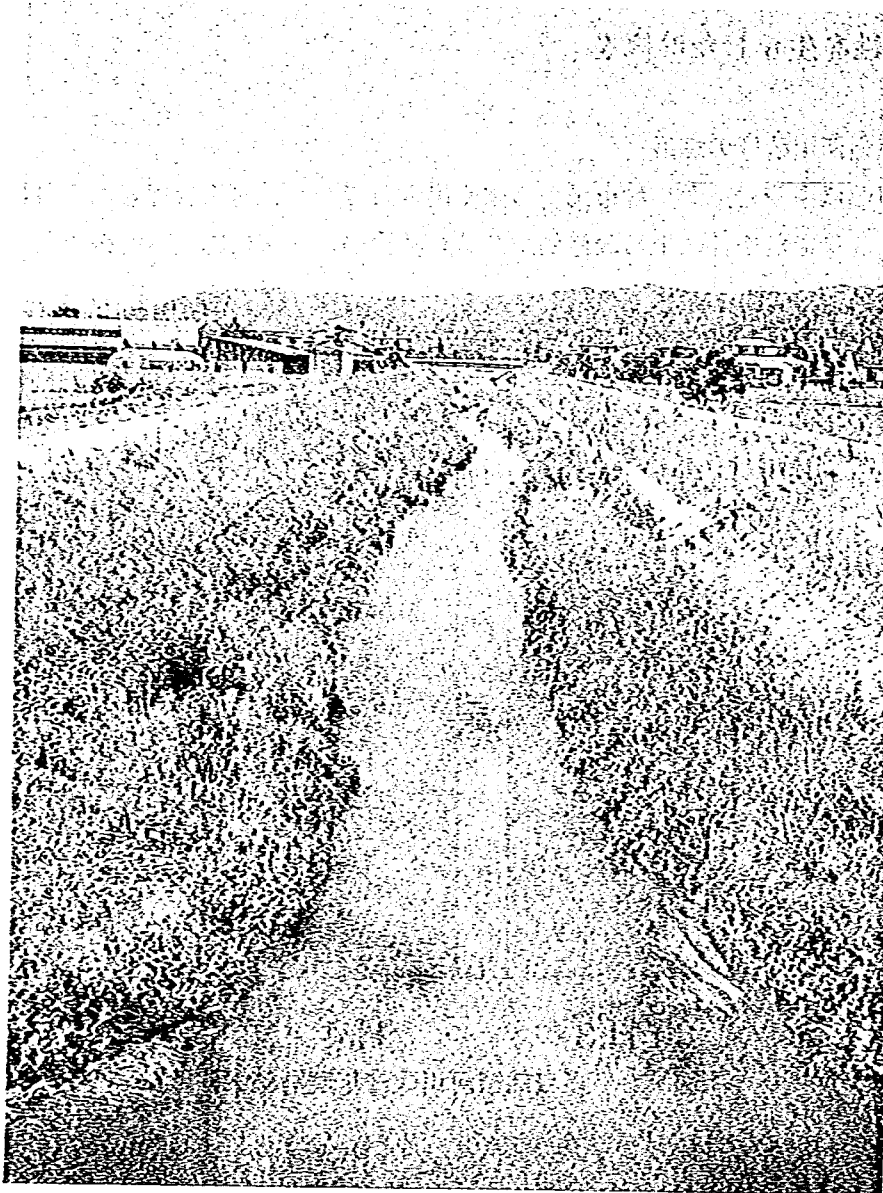


写真-4-1 多自然型河川改修の例 最上川水系楨川



写真-4-2 多自然型河川改修の例 山口県一の坂川

2. 3 河川の性質と人間生活

開発途上国などの自然河川を見ても、また、わが国のように人工の手が大きく加わった河川でも航空写真などを見ると、山間地から平地に出た河川は時間的・空間的に流路を変えてきているのがよくわかる。扇状地では大洪水などをきっかけに流路を変える。河道全体としては直線的であるが、内部構造としては網目状流路が発達し、その状況は変動が大きい。扇状地をすぎると網状流は消えるが、激しく蛇行し、流路の変動も激しい。三角州ではやはり三角州特有の流れ方である。これから考えると、河川が一定の流路をとり続けることは実は不自然で、流れの状況そして河道は放っておけば変動し続けるのだが、その変動の形態を支配するパラメータはほぼ一定に保たれるというのが河川の「安定」であろうと考えられる。しかし、変動を許容するだけでは人間生活の発展はないので何らかの干渉をして固定してきた。これが治水である。問題は強度の干渉をし続けなければ固定できないのか、あるいは、当初の干渉の後は少量の干渉によって人間生活に不便をかけない範囲に変動が納まるのかということである。そこに河川をよく知ることの意義がある。また、全体としてより干渉の量の少ない方法で河川と人間との折り合いが図られるのを多自然型河川改修というべきであろう。ただし、わが国においては、平地が極限まで利用されており、多くの場合は河川を現在の河川区域内に押し込めておかねばならない状況にある。そういう場合にはかなりの干渉が必要になるのもやむを得ない。従来の改修と多自然型河川改修とが画然と分けられるのではなく、コンクリート水路から全くの自然河川までいろいろな段階があるのであり、できるだけ自然河川の方を向くということが重要であると思われる。



写真-5 扇状地河川黒部川

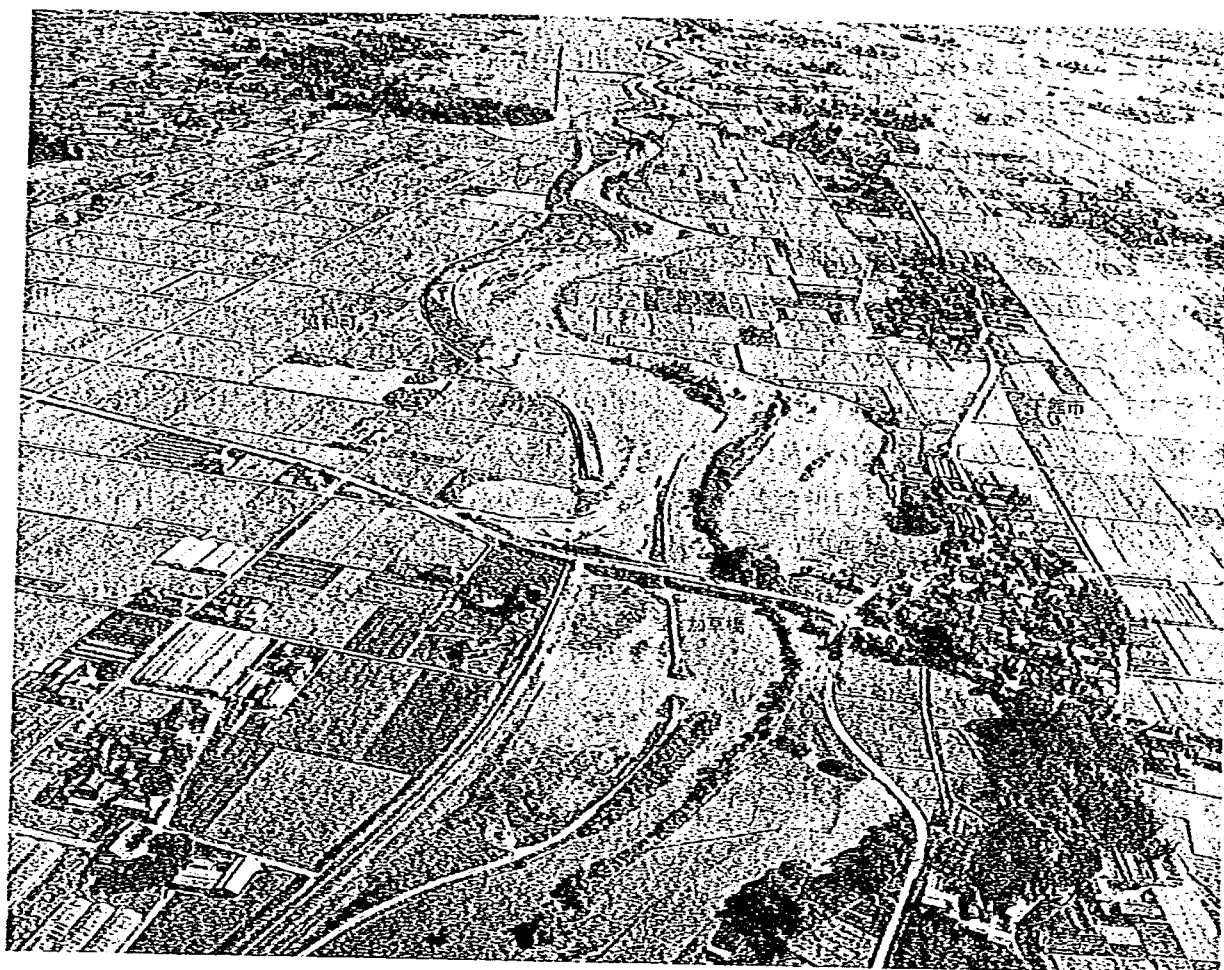


写真-6 小貝川67.0km付近の蛇行

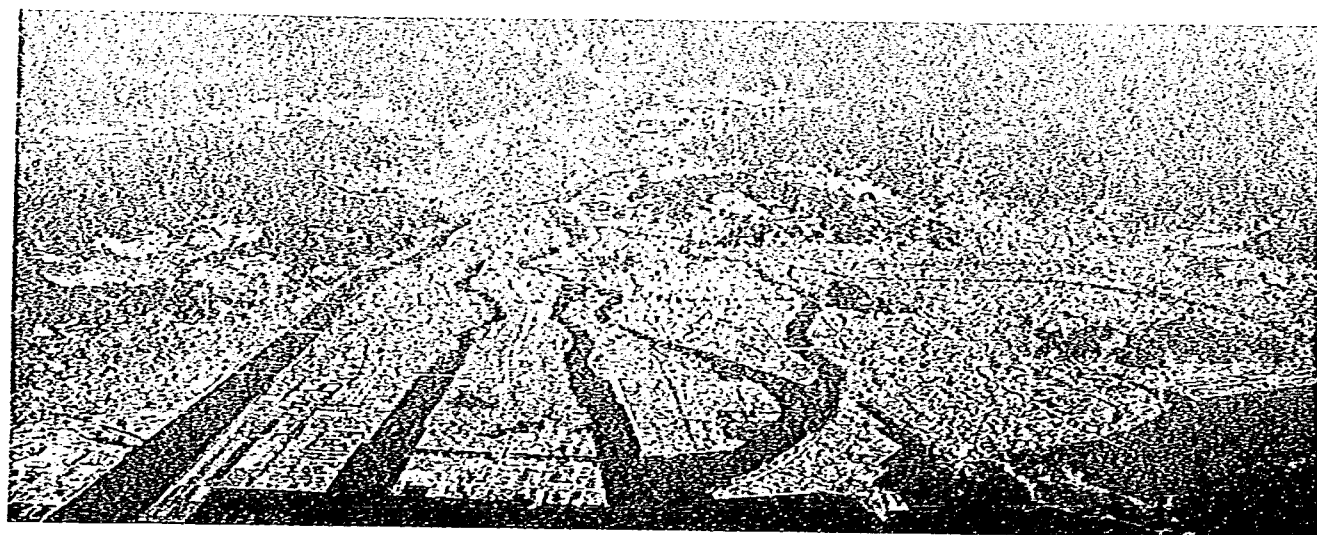


写真-7 太田川デルタ

3. 河川水理学の進歩

3. 1 河川の性質の理解の深まり

扇状地・蛇行帯・三角州において河川の流れ方が違うことを述べたが、これは河川の勾配・流送土砂量・粒度分布・洪水の生起伏況によって支配される。この大域的な条件から淵と瀬の発生といったことも決まるのであり、人間の干渉に対する河川の応答も異なってくると考えられる。山本はセグメントの考え方をを用いて、改修対象区間の性格を工学的に分類し、それぞれに適切な対応をすることを提案し、地方建設局の河川担当者の協力によりその有効性が示されてきている。土木研究所では、さらに砂堆の成長など地道な現地観測を継続して行うことも含め、河川の性質をより定量的に把握しようとする研究をしている。

表-1 河道セグメントとその特徴（山本「沖積河川学」）

	セグメントM	セグメント 1	セグメント 2		セグメント 3
			2-1	2-2	
地 形 区 分	←— 山 間 地 —→ ←— 扇 状 地 —→ ←— 谷底平野 —→ ←— 自然堤防帯 —→ ←— デ ル タ —→				
河 床 材 料 の 代 表 粒 径 d_s	さまざま	2cm 以上	3cm～ 1cm	1cm～ 0.3mm	0.3mm 以下
河 岸 構 成 物 質	河床河岸に岩が出 ていることが多い。	表層に砂、シルト が乗ることがある が薄く、河床材料 と同一物質が占め る。	下層は河床材料と 同一、細砂、シル ト、粘土の混合物。		シルト・粘土
勾 配 の 目 安	さまざま	1/60～1/400	1/400～1/5 000		1/5 000～水平
蛇 行 程 度	さまざま	曲りが少ない	蛇行が激しいが、 川幅水深比が大き い所では 8 字蛇行 または島の発生		蛇行が大きいもの もあるが小さいも のもある。
河 岸 侵 食 程 度	非常に激しい	非常に激しい	中、河床材料が大 きいほうが水路は よく動く。		弱、ほとんど水路 の位置は動かない。 。
低水路の平均深さ	さまざま	0.5～3m	2～8m		3～8m

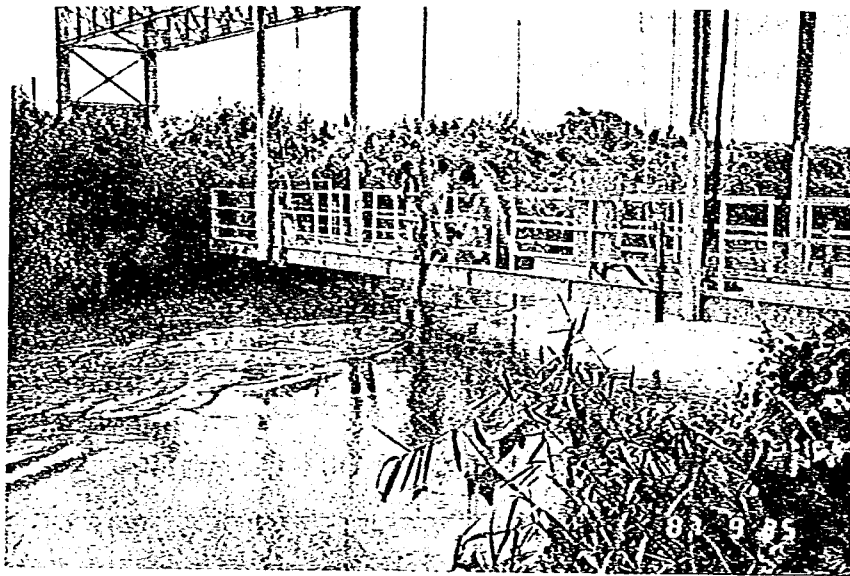


写真-8 酒沼川観測施設

3. 2 河道の構成要素の性質

高水敷や河岸がどれだけの流速まで耐えられるかという耐侵食強度については土木研究所でも福岡等の研究を初めとして、その後も実物を用いて流水の侵食作用に対する抵抗性を明らかにする実験などを行って、コンクリート以外の材料の強度を明確にしている。たとえば、芝張りの場合かなりの流速に耐えるが、除草を怠って芝が雑草に負けるようになるともぐらが縦横に穴をあけ、耐侵食強度が格段に低下するなど、河川管理という観点からも重要な知見が定量的に得られてきている。芝張りなり、植生で流水の侵食力に対抗できるような場所は芝張りで対処する。そのような場所は水理計算で求められる。高い流速が発生する可能性があり、耐侵食強度が必要な場所は強い構造物で処理するという方針をとるべきであろう。護岸の強度についても従来の形式の護岸でよいのかどうか、土木研究所で研究して発表しており、現場での応用を期待している。それぞれの構造物の役割、存在の意義が感じとれるとき、人は「コンクリートの固まりでけしからん」とはいわないと思われる。ただしコンクリートなど強固な材料を用いる場合には適切な景観処理を施すべきであり、それについても実用的な指針が提案されている。

高水敷の樹木は流水の疎通を阻害するものであり、樹木が根こそぎ洗い流されて河道閉塞を起こす恐れもあることから、従来は植樹などはもっての外という方針であった。しかし、木陰のない吹きさらしの空間は、高水敷の利用及び景観の観点から望ましいものではない。高水敷の樹木や植樹は流水の疎通を改善させるという治水上の河川工事の目的とは矛盾することではあった。これについて、藤田等の研究により、樹木の密度に応じてどのように流水の抵抗が増大するのか明らかにされ、河川管理上有益な知見が得られている。

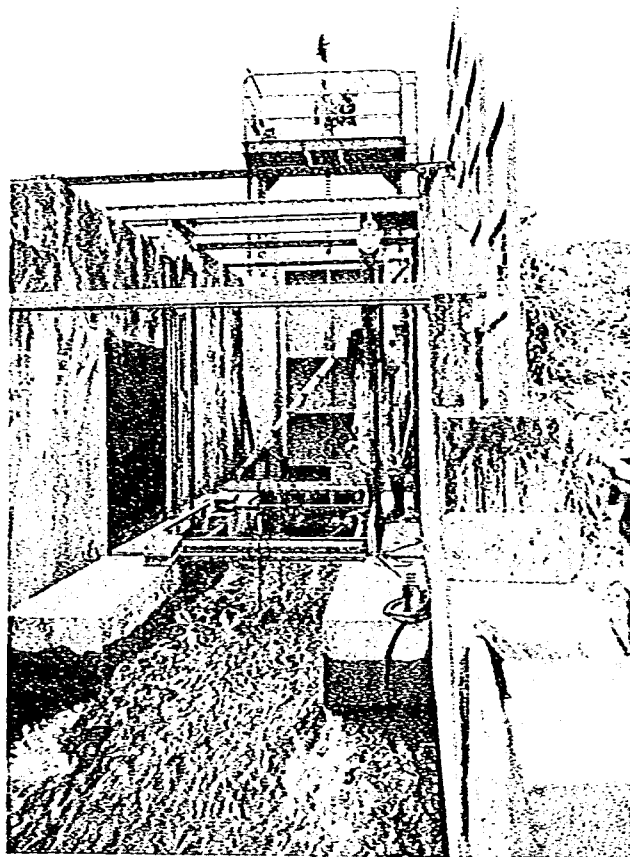


写真-9 流水に対する侵食強度の実験状況

- チガヤ (江戸川堤防)
- △ チガヤ：モグラ穴有り
(利根川堤防)
- (利根川堤防)
- ◇ 堤体土 (利根川堤防)

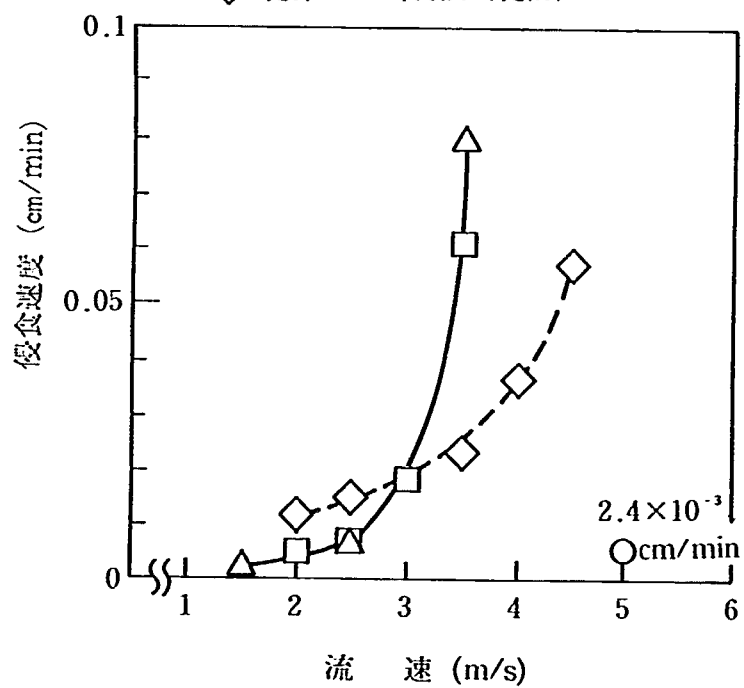


図-3 土の耐流水侵食強度実験結果の例

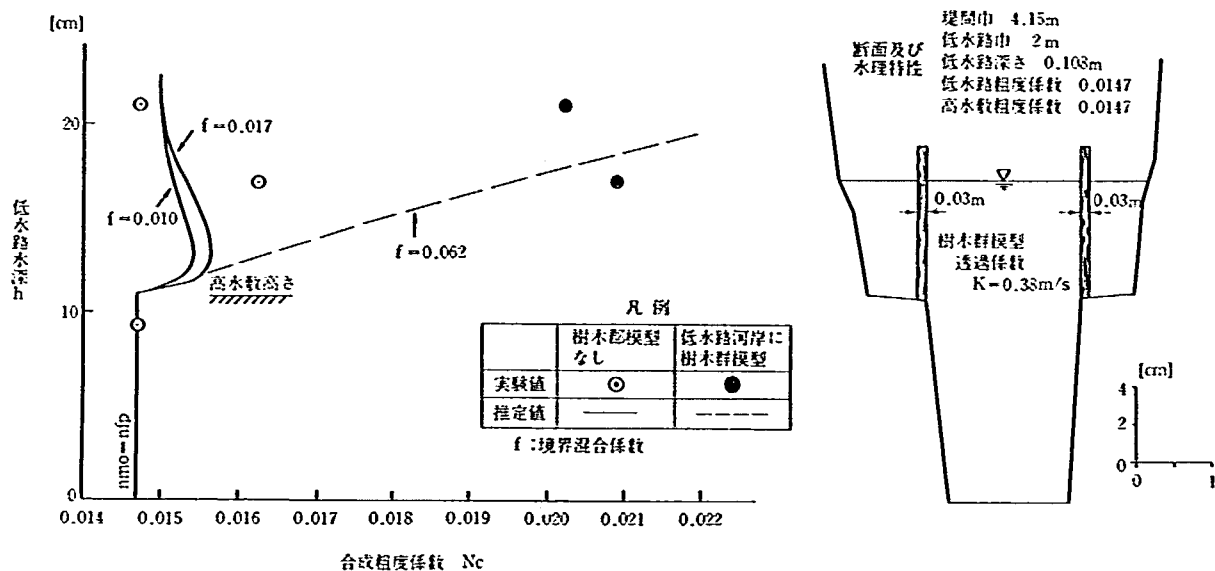


図-4 樹木群の流水抵抗 合成粗度係数の増大

3. 3 各種対策工法の効果の定量的評価

景観及び生態学上の重要性が大きい河岸そのもの、あるいはそのごく近くにおいて流水を制御するばかりでなく、岸から離れた水路の中に構造物をおいて流水を制御し、河岸を守るベーン工法の定量的設計法が渡辺等によって確立され、適用性の検討が確実になってきた。このように従来は信頼すべき設計公式がなかった構造物についても計算法が開発され、効果的に採用できるようになってきた。伝統的工法でありながら一時期施工がほとんど行われなかった水制工についてもその水理特性が明らかになり、計算にもものるようになってきた。

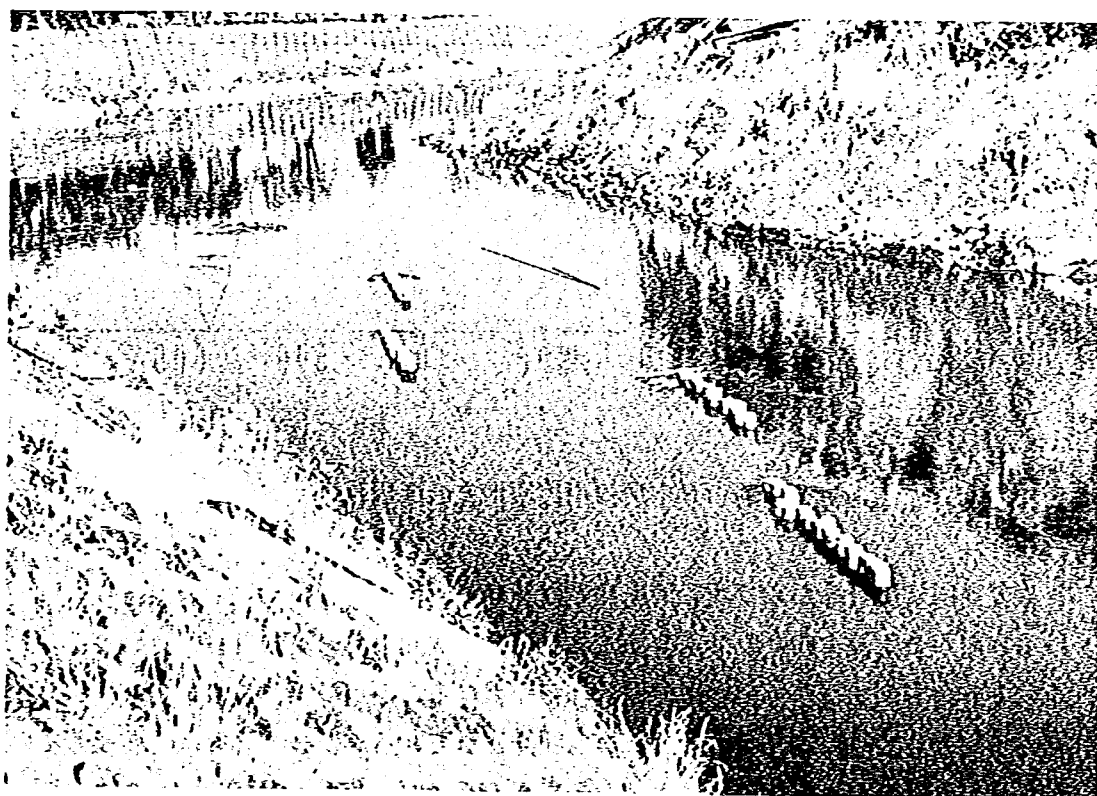
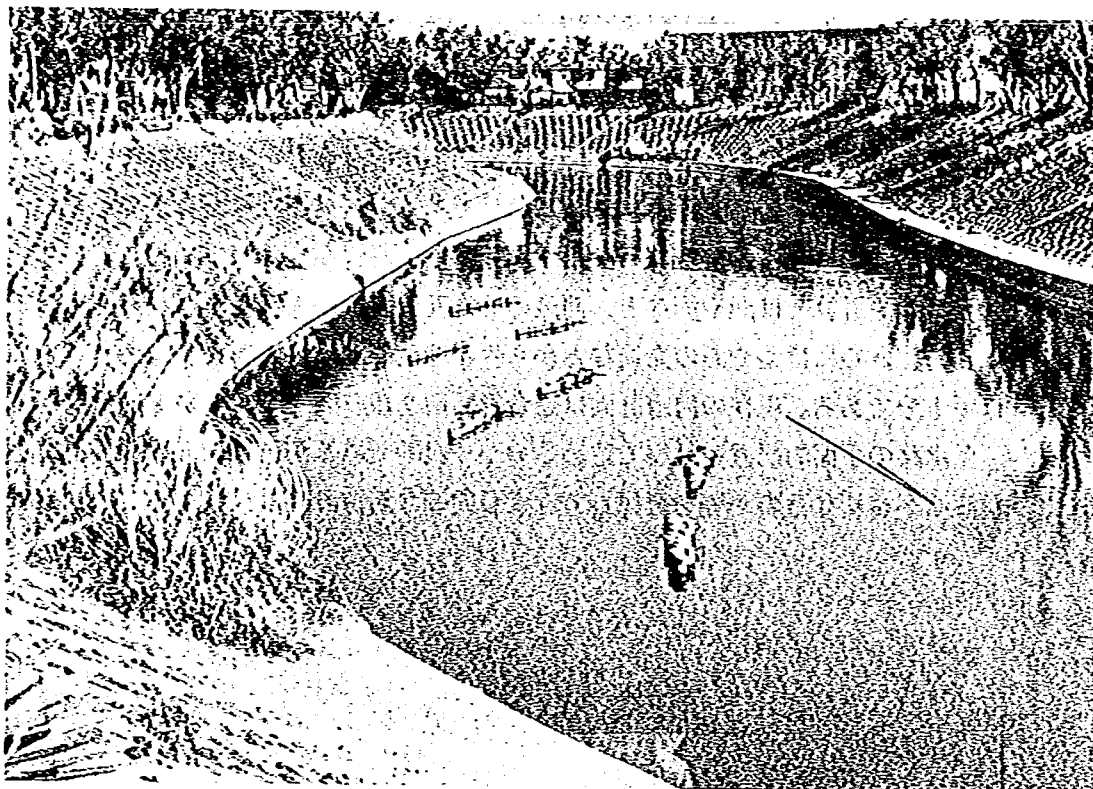


写真-10 白川水系黒川に施工されたベン工

4. 計算手法の開発

4. 1 一次元不等流計算から2次元平面流計算へ

現在、河道設計に用いられる水理計算法は主として1次元不等流である。洪水時の水位を計画高水位以下におさえることが堤防の設計や、内水排除計画など全般にわたる重大事項であるが、水位を求めるだけであれば確立され、経験も蓄積されている1次元不等流計算の結果に必要な応じて若干の補正を加えるだけで良いということで採用されているわけである。一見簡単な計算法であるが、粗度係数等の与え方などに個々の河道における実績洪水の計算などの経験が含まれている。

しかし、1次元不等流計算では瀬や淵など、河道の2次元的变化が表現できない。河道の安定や局所洗掘の発達の判断、さらには瀬や淵の発達などから生ずる生態学的な影響まで考えることになると1次元計算では不十分である。現在の河道計画は逆台形断面を組み合わせるそれぞれの断面での所要河積を確保し、低水路の平面的配置を目視で定めるのが一般的であるが、2次元平面流計算を用いて空間的にどこが流速が速くなるのか等を把握して、よりの確な河道計画を策定することが可能になっている。

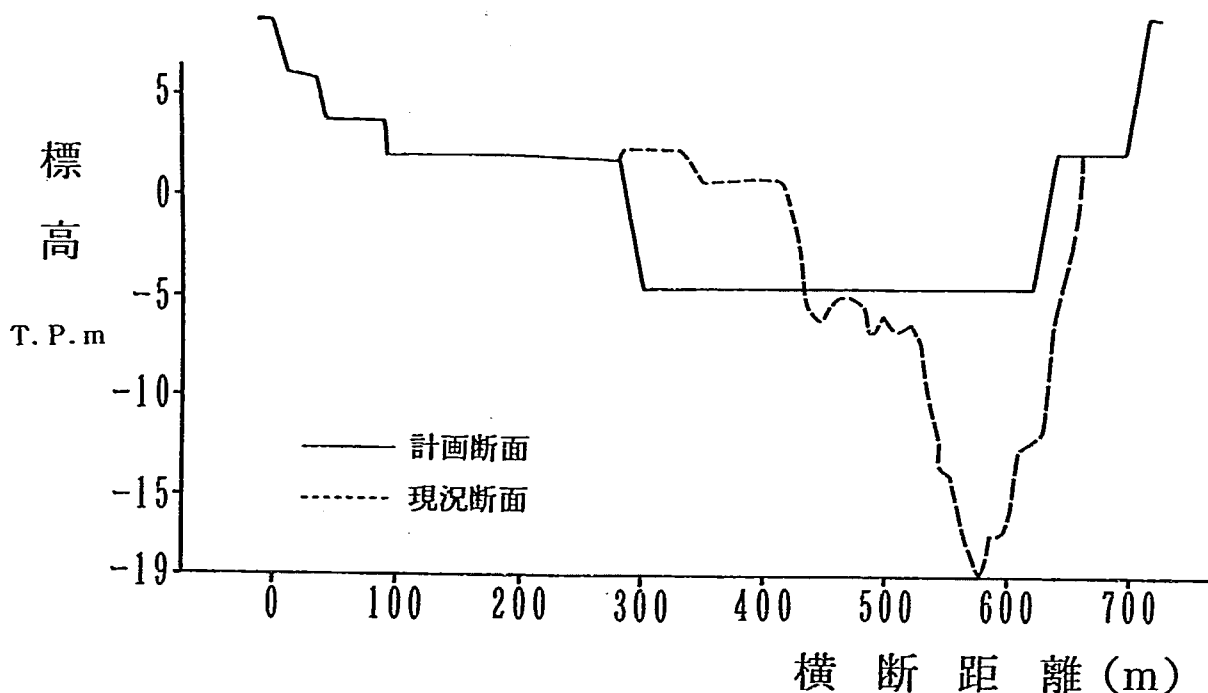


図-5 利根川佐原地先の深掘れ

4. 2 一次元河床変動計算から二次元河床変動計算へ

浸蝕・堆積作用が上下流方向のみの1次元であれば、1次元の河床変動計算が行われる。しかし、一般には流れと直角方向すなわち左右岸で侵食堆積が異なることが多く、これは二次元計算を必要とする。計算の手法としては二次元河床変動計算も開発されているが、必ずしも広く普及しているとはいえない。それは、以下のような理由によるものであろう。

1) 近年1次元の河床変動計算は手法として完成されてきたが、わが国の多くの河川では必ずしも1

次元的な河床変動が大きいものではなく、現地において、計算をチェックするに足る精度での洪水前後の測量データの不足などにより計算結果と現地との対応が経年的に十分確認されているという段階にない。

2) 2次元の河床変動計算についてはデータ収集等、一段と困難性が増す。計算が複雑で大きな計算機能力を必要とされてきたが、近年この条件は解消されてきている。現在では計算機能力よりも、計算のための条件を検討して大量のデータを準備することが必要なのが隘路になっているようである。従来の測量断面は主に一次元水位計算を行うために必要な密度で選ばれており、二次元河床変動計算を行う場合には検証データを増やすためにさらに多くの断面が望まれる。

3) 河床変動を引き起こす水路内の二次元流を計算する手法はあるが、現地河川で測定できるのが水位と洪水後の河床変動量だけということで、計算結果と現地の現象とを直接対比することが従来困難であった。白紙から広い川幅となめらかな線形で河川を改修することはほとんど不可能なわが国の現状では各種の構造物で河川を制御する必要がある。2次元河床変動計算は河道改修や構造物の設置によってどのような河道になってゆくのかを机上で知ることができる方法である。模型実験も同様な目的で行われてきているが、問題の性質に応じて選択し、あるいは併用することが望ましい。丁寧な測量に加え、植生の状況や河床材料などのデータが必要となるが、問題箇所ではやはりそれだけの費用と手間をかけて積極的に2次元河床変動計算の手法を適用してゆくべきであると考え。計算を積み重ねることにより、手法自体の改善も行われよう。机上の検討で代替案の比較を行うことにより、より広い選択肢から河道設計案を採用することができると期待される。

4. 3 水理計算の検証

河道の水理計画を行う際、水理計算によって流下能力を計算する。水理計算が1次元の定流計算であれば、外力として流量の総量だけが必要である。総量を求めるだけの流速測定であれば簡単な方法でよい。しかし平面流の不等流計算となり、時間変化も加わって不定流となると従来の流速測定法では計算の検証が困難になる。水の流れの計測方法の進歩によって、計算と実際とのフィードバックを可能にし、「計算倒れ」という状況を打破することが望まれてきた。後述するように、近年の流速測定技術の進歩により明るい光が見えてきた状況にある。このようなことから、新しい河道設計の時代を迎えたといえよう。

5. 測定技術の進歩

5. 1 測定技術の意義

近代科学の発展は測定技術の進歩が支えている。測定技術の進歩、すなわち現象の定量化によって理論も発展し、問題の解決が図られるようになった。河川工学においても最近のいわゆるハイテクの果実として測定器がいろいろ開発・改良されてきている。これが理論の進歩と相まってよりよい河道設計に進む大きな契機として期待がもてる。以下では、河川の流速の測定について近年の状況を述べる。

5. 2 近年の流速測定方法

河川流速の測定は、1) 浮子を用いる方法、2) 超音波流速計、3) プライスなどの機械式流速計を用いる方法、4) 電磁流速計、5) 水圧式流速計、6) 電波流速計、7) 航空写真による方法などがある。それぞれ適した用途があり、現在も改良が加えられ開発されている。

1) 浮子を用いる方法

水深に対してある長さを有する浮子は平均流速に比例した速さで流れるものと想定している。洪水流量の測定として現在も広く利用されており、浮子から電波を発信して位置を自動的に測定するなど測定の自動化も図られている。また、浮子で測定した流量を実測流量として採用し、これを元に流量計画も立てられている。しかしながら、現実の浮子の流れを観察すると、一直線上を等速度で流れるとは限らず、流速の遅いところでは複雑な運動をする。洪水流量のうちの大きな部分が流れる低水路においては比較的円滑に流下するので、流量を求める目的からは有効であり、一次元不等流計算と対になった測定方法である。

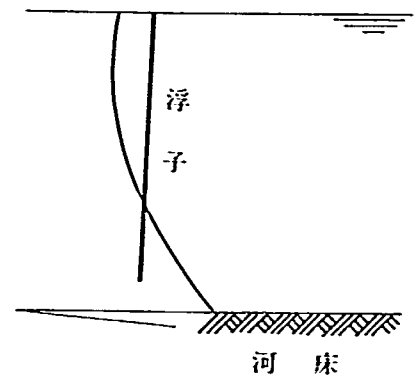


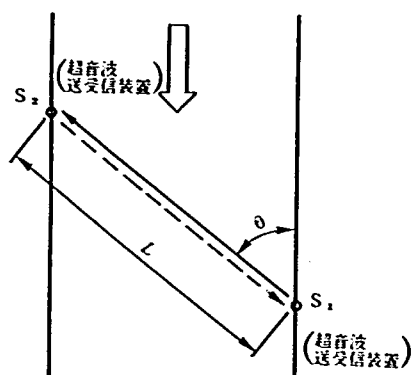
図-6 浮子観測で想定している流速分布

2) 超音波流速計

水中に設置した超音波発振器から音波を発射して受波器で受けるとき、流れが速くなるとその所要時間が延びることから流速を求めるものである。流水断面を水平方向に分割し、それぞれ送受波器を配置することによりその範囲での平均流速を求める。逆流が生ずる場合にも測定でき、また、連続測定が可能であるという利点があり、低水流量の管理を行うのに適している。しかし、水中の温度分布や雑音の影響を除くためにいろいろな配慮が必要であり、測定箇所ごとに十分な調整が必要である。流水断面が不整な場合には誤差が大きく、いずれにしても水流の構造を詳細に知ることはできない。



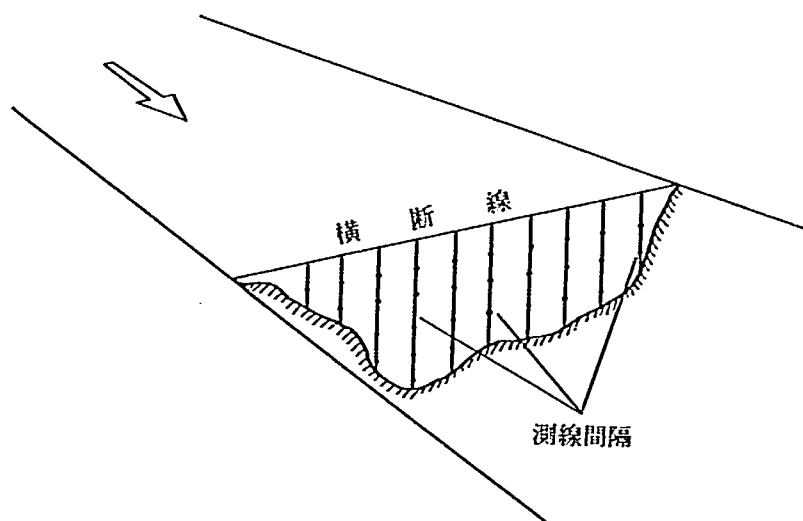
写真-11 超音波流速計設置状況 利根川布川



図－7 超音波流速計の原理

3) プライスなどの流速計を用いる方法

プライスなどの流速計は、流れの場の一点において、ある時間平均の流速を求めていると理解される。流速が遅い場合には、一点の測定にかなりの時間を必要とする。河川の流水断面を水平方向及び鉛直方向にできるだけ多く分割して測定することを精密測定と称しているが、労力と測定時間から“精密”な測定はなかなか難しい。また、洪水等には適用しがたい方法である。



図－8 精密測定概念図

4) 電磁流速計

電磁流速計は、磁場を横切って導体が移動するとき、電流が誘起されるという電磁誘導の法則を利用している。プライス流速計と同様な形状にまとめられたものはセンサーの表面を流れる水の流速を測るものであり、プライス流速計と同様に場の1点の流速を測っていることになる。ただし、電磁現象であるため測定の所要時間は短く、数ヘルツの現象まで測定できる。建設省技術評価制度による評価作業を土木研究所で行った。

電磁流速計は管路を流れる流量の測定に広く使用されており、確立された手法である。水路全体を囲んでコイルを配置したものでは、その水路を流れる流体の総量が測定できる。ただし、水路が大きい場合には装置の設置が困難であり、計測に要する電力もかなりかかる。また、コイルで発生させる

磁場が地球の磁場と同じ程度の強さであり、地球の磁場の変動の影響を受けるという問題もある。渇水時に河川の流量や用水路の取水量を正確に把握してきめ細かい流水管理を行うとか、排水機の運転制御のための情報を得るような目的には適した方法であると考え、土木研究所で研究しており、綾瀬川放水路に設置して実用性を確認中である。

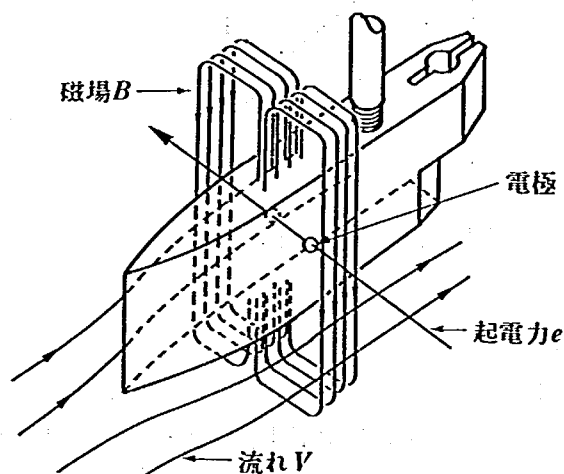


図-9 電磁流速計概念図

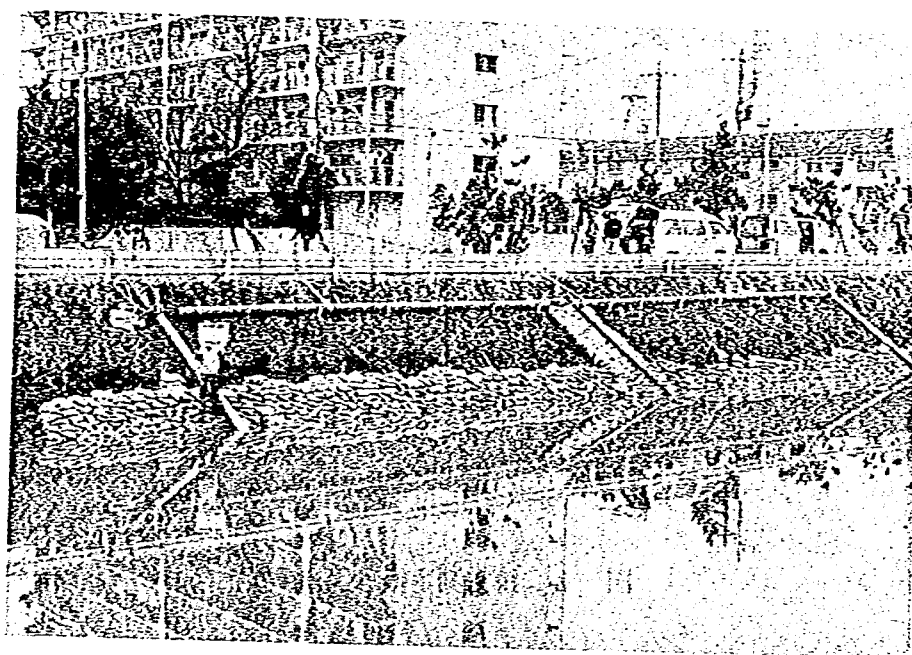


写真-12 水路の電磁流速計設置状況

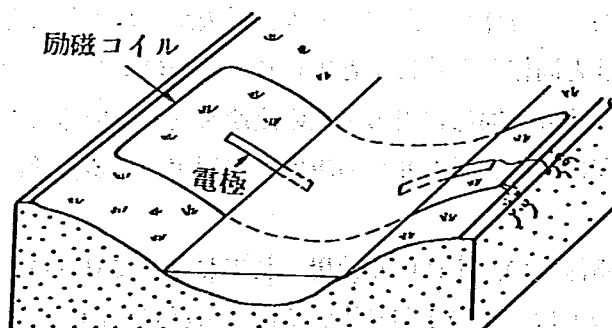


図-10 水路の電磁流速計概念図

5) 水圧式流速計

水圧式流速計は、ピトー管の原理によるもので、場の一点の流速を計るので、実用上はプライス式流速計に近い。土木研究所で最近開発したものは、静水圧と動水圧の差から流速を求め、また静水圧の測定値から水位（水深）を同時に計測するというアイデアである。これは昭和30年代に元土木研究所水文研究室長（河川部長）竹内博士によって提案されていたが、近年の圧力センサー技術の進歩によりその実用化にいたったものである。可動部がないので洪水時の測定にも使用できると考えている。また、測定に要する時間も短い。

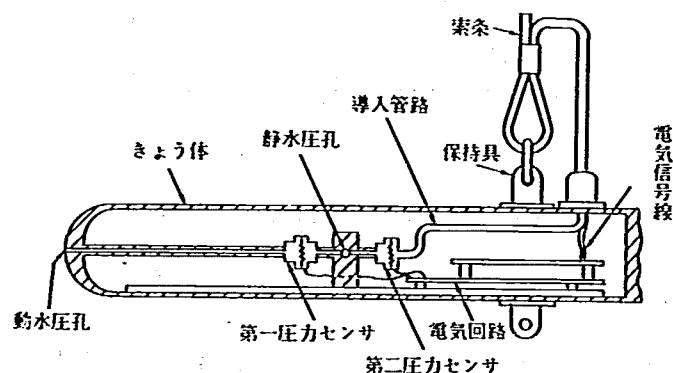


図-11 水圧式流速計概念図

6) 電波流速計

電波式流速計は電波を発射して水面に当て、反射波を受信するが、反射面の流速によってドップラ一現象が起きるのでそれから表面流速を測定しようとするものである。水深方向には電波が通らないので測定ができないが、表面流速は水中の流れの状況を反映しているものとすればおおむね流量も推定できるので、洪水時の流量観測などに有力な手段となると考えられる。元土木研究所河川部長山口博士が開発に携わったものである。雨が降っていると電波が吸収されて測定が困難になる問題があるようであるが、水面から離れて測定する非接触型であるため洪水時にも容易に観測できるので引き続き実績を積み重ねれば河川管理の有力な手段になると考えられる。また、水面が多少波立っている方が電波の反射が良く測定が容易なので、急流河川の流量測定に適している。本流速計は米国地質調査所との研究協力を通じて米国でも検証実験を行うこととなっている。

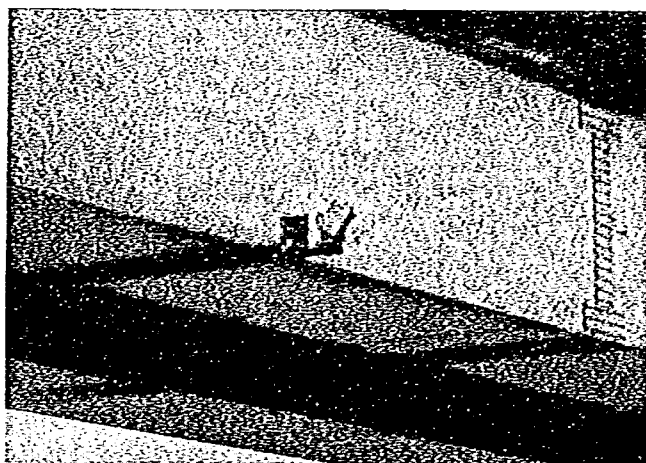


写真-13 橋桁下に設置した電波流速計、渡良瀬川藤岡

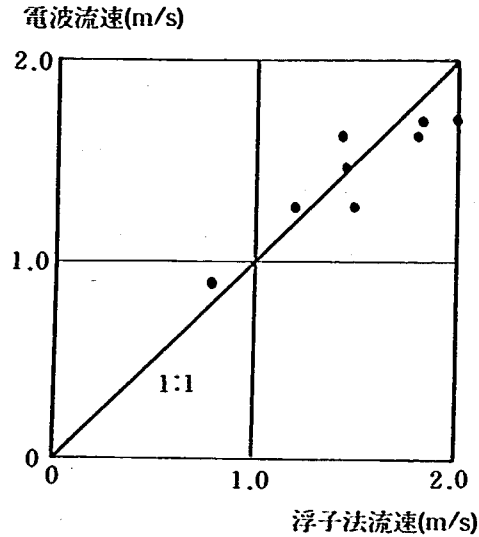


図-12 電波流速計の測定結果

7) 航空写真による方法

河川の流れを航空写真に撮って実体視すると、流速の大小に応じて起伏がついて見える。これによって表面流速を1度に広範囲に求め、流速分布図を描くこともできる。さらに、水面の模様やごみなどを追うパターン認識の手法により流速ベクトルを求めるようになってきている。木下良作博士の研究によって、河川の洪水流は何列もの螺旋流が生じていることなど、洪水流の構造が解明されてきた。通常河川の流れは水平方向の幅に比較して水深が浅いので、表面流速分布が内部構造をよく表していると推測される。航空写真で求めた表面流速分布と計算で求めた表面流速分布とを比較してよく一致していれば水中の流速分布も計算で求めたように流れているものと推測して良いであろう。内部を直接に測定するものではないが、現在もっとも広範に洪水時の流れの状況を把握できる方法である。なお、航空機によらず、地上から同様の測定を行うこともできる。



図-13 航空写真から求めた表面流速分布 阿賀野川

8) レーザ流速計

レーザ流速計は、水中にレーザ光を発射してその反射光のドップラー効果から流速を求めるものである。模型実験用として用いられ、流れの場の流速分布を測定することができるが、水が濁っているとレーザが透過しないので測定困難である。土木研究所でも濁りのない新しい水道水を用いて実験している。

5. 3 流速プロファイラー

土木研究所で米国地質調査所との共同研究で実証実験を行っている流速プロファイラーは河道水理の計算を基礎づけ、より高度の河道設計を行うため有力な測定器となるものと考えられる。たとえば大河川の下流部の深掘れなど、水理状況は計算及び模型実験でかなりのところまでわかっているが、直接に流速分布を測定することにより、今後の対策を確信を持って行うことができるのでその効果は非常に大きい。以下、若干詳細に報告したい。

1) 流速プロファイラーの測定原理

流速プロファイラーは商品名をADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) といい、超音波を利用して流水の流速分布を測定する機器である。

水中に向けて超音波を発射し、水中に浮遊している微細なゴミなどからの反射を受波器で受ける。ドップラー効果によりゴミの移動速度に応じて受波器で受ける反射波の周波数が変化する。反射波を解析することによりそのゴミの移動速度、すなわち水の流速を知ることができる。受信器を4個一組で配置するとx方向y方向の流速成分を水深の関数として求めることができる。河川を横断した測線の上を走らせれば横断面での流速分布が求められる。海洋の分野では、十数年前からドップラー効果を利用した流向流速の計測が行われていたが、近年発信音波の高周波化によって河川でも利用可能な機器が開発されたものである。

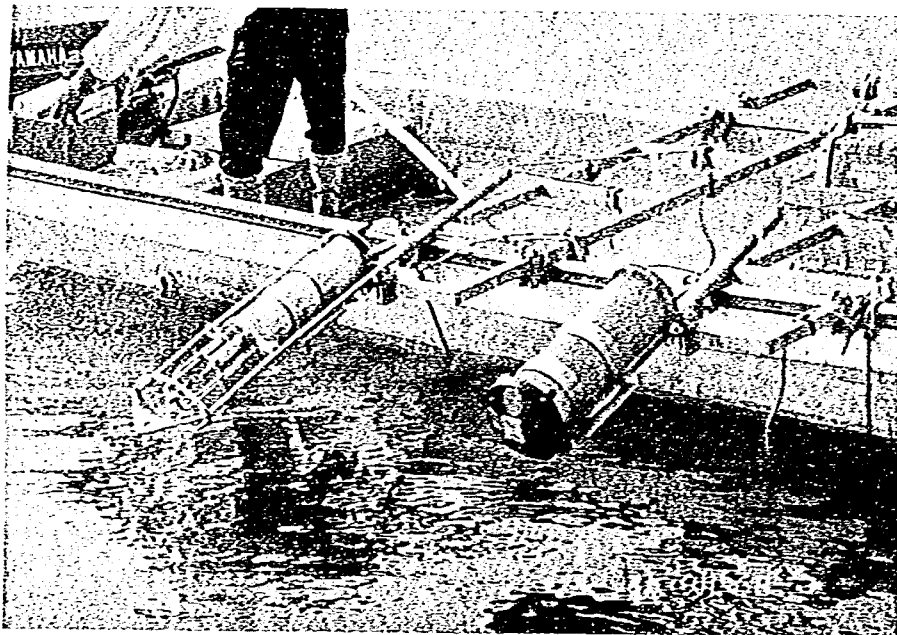


写真-14 ADCP (手前右側)

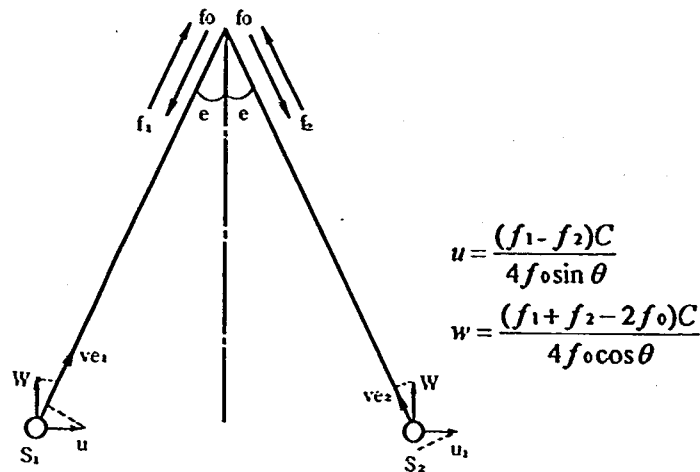


図-14 流速プロファイラーによる測定の実理

2) 各種の応用測定

カーナビゲーションなど、家庭電化製品レベルにまで広く普及したGPS (Global Positioning System) 技術と組み合わせれば、河川の横断面に限らず、任意の断面上の流速分布が自動的に求められる。GPSは、普及型のものでは測定精度が不足する場合があるが、人工衛星の数の増加と技術開発によりさらに精度向上が期待できよう。河川では光波を用いた位置決め方法に応用すればさらに精度が向上しよう。また、当然に全てデジタル化されているので、断面についての積分から流量を求めることも、図化することも容易であろう。

3) 流速プロファイラーの実績

流速プロファイラーは国内でも海洋観測には普及している。また、河川における実績として、例えば中国地方建設局出雲工事事務所の宍道湖・中海の例、北海道開発局の例などがある。土木研究所の評価実験では観測を利根川下流布川及び取手において行った。

今回の観測は従来の流量観測との比較を主な目的としているので、流速プロファイラーとしては、能力を十分活用していないことになる。とりあえず従来の方法との整合性を確認した。

4) 流速プロファイラーの評価

以上流速プロファイラーの特性についてはアメリカ合衆国地質調査所USGSとの研究協力を通して得た情報をもとに記述したが、日本の河川の場で特性を確認すべく評価実験を行った結果、少なくとも利根川では十分使用に耐えるという結果を得た。流速プロファイラーにも測定の限界、使用法の限界があるはずであるが、それを明らかにする必要がある。木下良作氏はラジコンボートに測定器を搭載して洪水時の観測を行う研究をされている。洪水時にそのような観測船に流速プロファイラーを搭載して深掘れ部、ベーン工、砂堆、水制などの近傍の流速を測定することにより現地観測・模型実験・計算実験を総合して設計し、対策を立てることができるようになると期待される。

6. 今後の河道設計

6. 1 設計手法の開発

等流による流下能力の計算は現象を大づかみにとらえて河道を設計しようとする手法である。2次

元平面流に河床変動計算を組み合わせたといった「高度な」手法ではないが、それをもって劣った手法とするのは早計であろう。等流による河道設計法（必要河積計算法）を導入した先輩は日本の河川が多く急流であることをふまえ、所要河積を計算する方法としては等流による計算法によれば大きな過ちはないとして採用したのだと考えられる。2次元河床変動計算等を基礎にしつつ、わかりやすい設計手法を開発することも有意義なことである。設計手法を編み出すことは高度な洞察力が必要なことであるが、河川そのものを理解するということと併せて大きな研究課題であると認識している。

6. 2 計算の可視化

膨大な計算結果を人間の判断材料として使うにはグラフなどの可視化を行う必要がある。計算結果の可視化ということでは、最近めざましく発展しているマルチメディアの技術が応用できる。計算の可視化は、単に計画者・設計者の判断を容易にするだけでなく、住民の意見を具体的に引き出す手段としても有効であろう。

6. 3 河道設計の対象流量の多様化

河道にとっての外力は流量である。流量として従来は計画高水流量がとられてきた。本当は流量の時系列的変化を対象とすべきであろう。しかし、流量の時系列的変化は、そのうちの一部の要素、たとえば年最大流量について近似的にある統計的処理ができそうだという程度で、きわめてランダムに変化するもので、とてもそのまま設計に使用できるものではない。そこで、現在では計画高水流量に加えて、正常流量、低水流量のほか、狭義の治水という面で高規格堤防計画区間において高規格堤防設計水位の算定の基礎となる流量を定めることが必要とされている段階である。単に「流水の侵食力に耐える」という目的で河道設計を行う際にも、たとえば低水路法肩の侵食の問題など最大流量すなわち計画高水流量の時に最大の流速・侵食力が発生するとは限らないことがすでに指摘されており、多様な流量で計算を行う必要がある。

環境の観点からは、低水路満杯流量も必要になる。河川地形学の知見によれば、低水路満杯流量（Bankful Discharge）は河道の形状・組成を支配する最大の要因であるとされている。低水路満杯流量は水文統計からいうと平均年最大流量にほぼ等しいものであり、平均年最大流量に見合った形で自然の河道が形成されることになる。逆に言えば平均年最大流量を対象にすれば安定な低水路が設計できる見込みがあるが、その河道で100年とか、200年に1度とかの生起頻度の計画高水流量に対応することが可能とは限らないであろう。種々の条件で計算を行うことにより何らかの妥協点を見いだすという設計法が必要になるろう。

6. 4 現場観察と模型実験の必要性

電子計算機の性能の進歩はいうまでもない。しかし、計算のもとになる理論は現象の基本的なところを取り上げているものの、何らかの省略は当然あるものであり、計算と実際との対比とそれから計算へのフィードバックが必要になる。実現象を観察した経験に基づいて計算の妥当性を直感的に判断できるのが河川工学の専門家であると考えている。しかしながら洪水現象、特に計画規模に近い洪水は滅多に起こるものではなく、経験を積もうとしても人間の方が年をとってしまう。計算がどうしても必要になる理由の一つである。計算ばかりでなく、模型実験も重要な問題解決の手段である。計算

は自然現象を数式でモデル化しているが、その際に省略した項の効果が模型実験では表にでてくるといふこともある。模型実験と計算実験とで相互に検証しあう結果が得られればその信頼性は一層高まる。相似則を満足させることの困難さはあるものの模型実験は洪水の観察と同様に重要と考えて実験をしている次第である。

おわりに

今後の河道改修は、必要な場合には積極的に2次元河床変動計算を行い、水位だけではなく洗掘や堆積が上下流方向にも左右岸方向にも極小になるような初期形状にあらかじめ整形しておくということとなろう。河床変動の傾向を見るための視覚化されたコンピュータシミュレーションの技法も取り入れて、どこをどうしたらどうなるのかということを見定めながら計算機上の試行錯誤で河道を創造してゆくツールも開発したい。

計算法がいくら発達したとしても、「最適」ということは価値判断を当然含むものであり、河川技術者の経験と見識を持ってそれぞれの河川の設計を提案する必要がある。代替案に対して開かれているのは当然であるが、採るべき案を明示し、自信を持って関係者を説得することが専門家の任務であろう。技術者が一本の河川を長期間にわたって担当し、河川の反応を見ながら工事するという時代ではないが、そのかわり、計算の手法・現地観測技術・模型実験と短期間に密度の高い検討を加えることができるようになった。今後の技術者はこれらの技法を駆使してよりよい河道計画を立案することが求められている。

参考文献

以下には、本文中に述べた事項について近年発表された文献を取りまとめた。

河道変化を考慮した河道計画について

- 建設省河川局治水課・土木研究所：河道特性に関する研究—その3—河床変動と河道計画に関する研究—、第46回建設省技術研究会報告（平成4年度）、pp600～651.
- 山本・藤田・佐々木・有沢：河岸形成における水と植生の役割、土木技術資料、第35巻、第8号、pp54-60、1993.
- 藤井・宇多・深谷：トレンチ掘削による利根川河岸の発達過程の研究、土木学会水工学論文集、第38巻、pp671-676、1994. 注）河道変化（川幅、植生変化や土砂堆積）の具体例。

現況河道の問題点に関して

- 建設省河川局治水課・土木研究所：河道特性に関する研究—その3—河床変動と河道計画に関する研究—、第45回建設省技術研究会報告（平成3年度）、pp696-737.

多自然型河川改修について

- 山田常雄ほか編：岩波生物学事典第3版、岩波書店、第14刷、pp. 688-689、1994.

• 自然環境復元研究会編：自然復元特集2 ビオトープー復元と創造ー、大学図書、第1刷、pp. 3-17、1993.

• 島谷幸宏、茅場祐一、小栗幸雄：多自然型川づくり計画におけるハビタットの重要性、土木技術資料、第36巻、第12号、pp. 48-51、1994.

• 島谷幸宏、小栗幸雄、茅場祐一：中小河川改修前後の生物生息空間と魚類相の変化、水工学論文集、第38巻、pp. 337-344、1994.

河川の性質について

• 山本晃一：河道特性論、土木研究所資料、第2662号、1988.

• 山本晃一：沖積河川学、山海堂、1994.

• 山本・藤田・赤堀・太田：沖積河道縦断形の形成機構に関する研究、土木研究所資料、第3164号、1993.

• 建設省河川局治水課・土木研究所：河道特性に関する研究ーその3ー ー河床変動と河道計画に関する研究ー、第46回建設省技術研究会報告（平成4年度）、第1章（pp600-609）．＜再掲＞

• 建設省河川局治水課・土木研究所：河道特性に関する研究ーその3ー ー河床変動と河道計画に関する研究ー、第45回建設省技術研究会報告（平成3年度）、第2章1節（pp697-700）．＜再掲＞

注）河道特性、セグメントの河道計画への応用についての事例。

• 建設省河川局治水課・土木研究所：蛇行現象と河道計画、pp82-93、1982.

注）洪水流解析の河道計画検討への応用についての解説

現地観測による河川の性質の研究に関して

• 福岡捷二・浅野富夫ほか：酒沼川における洪水流と河床変動の研究、土木研究所報告、第180号、pp35-128、1990.

• 山本晃一・高橋晃ほか：酒沼川洪水観測所レポート（1）1988-1989、土木研究所資料、第2895号、1990.

• 宇多・平林・藤井・深谷：酒沼川におけるポイントバーの発達過程の分析、土木技術資料、第36巻、第7号、pp70-75、1994.

芝・植生の侵食強度について

• 福岡・藤田・加藤・森田：堤防法面の芝の耐侵食特性、土木技術資料、第29巻、第12号、pp44-49、1987.

• 福岡捷二・藤田光一：堤防法面張芝の侵食限界、土木学会水工学論文集、第34巻、pp319-324、1990.

• 福岡・渡辺・柿沼：堤防芝の流水に対する侵食抵抗、土木学会論文集、No. 491/ -27、pp31-40、1994.

土（河岸・堤防）の耐侵食強度に関する研究

• 佐々木・宇多・藤田・服部・平舘：堤防のり面の耐侵食強度評価実験、土木学会第49回年次学術講

演会、-243、1994.

- 佐々木・藤田・宇多・服部・平舘：大型不撓乱供試体を用いた堤防・自然河岸の耐侵食強度評価実験、土木学会水工学論文集、第38巻、pp677-682、1994.

護岸の水理設計について。

- 福岡・藤田・森田：護岸法覆工の水理特性に関する研究、土木技術資料、第30巻、第3号、pp3-8、1988.
- 福岡・藤田・森田：護岸工の水理設計、土木技術資料、第30巻、第3号、pp9-14、1988.
- 福岡・藤田・森田：護岸法覆工の水理設計に関する研究、土木研究所資料、第2635号、1988.

樹木群の水理的影響と管理について。

- 福岡・藤田・平林・坂野：樹木群の流水抵抗について、第31回水理講演会論文集、pp335-340、1987.
- 福岡捷二・藤田光一：洪水流に及ぼす河道内樹木群の水理的影響、土木研究所報告、第180号、pp129-192、1990.
- 藤田光一・福岡捷二：洪水流における水平混合、土木学会論文集、No. 429/-15、pp27-36、1991.
- 福岡・藤田・新井田：樹木群を有する河道の洪水位予測、土木学会論文集、No. 447/-19、pp17-24、1992.
- 建設省河川局治水課監修・（財）リバーフロント整備センター編集：河道内の樹木の伐採・植樹のためのガイドライン（案）、山海堂、1994.

水制工に関する論文（主に水理解析法と配置法）

- 福岡捷二・高橋 晃・渡辺明英：水制工の配置と洗掘防止効果に関する研究、土木研究所資料第2640号、1988.
- 福岡捷二・高橋 晃・渡辺明英：水衝部対策工としての水制工の新しい配置法、土木技術資料Vol. 31、No. 12、pp. 38-43、1989.
- 福岡捷二・渡辺明英・西村達也：水制工の適切な配置決定のための三次元モデルの開発、第34回水理講演会論文集、pp. 337-342、1990
- 山本晃一：現代水制論－水制は生き残れるか－、土木研究所資料第3049号、1992.
- 福岡捷二・渡辺明英・西村達也：水制工の配置法の研究、土木学会論文集No. 443/II-18、pp. 27-36、1992.

べーン工に関する論文（主に水理解析法と設計法）

- 福岡捷二・渡辺明英：河岸侵食対策工としてのべーン工の設計法、土木技術資料Vol. 30、No. 3、pp. 127-132、1988.
- 福岡捷二・渡辺明英：横断方向流砂を制御するべーン工の設計法、第32回水理講演会論文集、pp. 467-472、1988.
- 福岡捷二・渡辺明英・黒川信敏：べーン工の洗掘軽減効果と設計法に関する研究、土木研究所資料

第2644号、1988.

- 渡辺明英：ベーン工の設計法に関する調査、土木研究所資料第2956号、1991.
- 福岡捷二・渡辺明英：ベーン工の設置された湾曲部の流れと河床形状の解析、土木学会論文集、No. 447/II-19、pp. 98-109、1992.
- 福岡捷二・渡辺明英・萱場祐一・曾田英揮：ベーン工が断続的に配置された河道湾曲部の流れと河床形状、土木学会論文集No. 479/II-25、pp. 61-70、1993.
- 福岡捷二・渡辺明英：河岸侵食を防止するベーン工の設計法の研究、土木学会論文集No. 485/II-26、pp. 55-64、1994.

水理計算手法に関して

- 福岡捷二・藤田光一：洪水追跡法（その4）—次元解析法の有効性とその適用限界—、土木技術資料、第28巻、第11号、pp46-51、1986.
- 福岡捷二・藤田光一：複断面河道の抵抗予測と河道計画への応用、土木学会論文集、No. 411/ -12、pp63-72、1989.
- 福岡・藤田・新井田：樹木群を有する河道の洪水位予測、土木学会論文集、No. 447/ -19、pp17-24、1992. <再掲>

河床変動計算法に関して

二次元河床変動計算法に関する論文（主に二次元的な流れと河床形状）

- 清水康行・板倉忠興：河川における二次元流れと河床変動の計算、北海道開発局開発土木研究所報告第85号、1986.
- 清水康行：蛇行河川における3次元流れと掃流砂・浮遊砂を考慮した河床変動の計算、北海道開発局開発土木研究所報告第88号、1988.
- 山本晃一・渡辺明英・山本信二：有限要素法による平面河床変動計算法の検討、土木研究所資料第2957号、1991.
- 清水康行・Marco Tubino・渡辺康玄：自由砂州と固定砂州の共鳴条件における河床変動計算、水工学論文集第36巻、pp. 15-22、1992.

構造物と河床変動に関する論文（主に構造物と二次元な流れと河床変動）

- 福岡捷二・渡辺明英・西村達也：水制工の適切な配置決定のための三次元モデルの開発、第34回水理講演会論文集、pp. 337-342、1990.
- 福岡捷二・渡辺明英・西村達也：水制工の配置法の研究、土木学会論文集No. 443/II-18、pp. 27-36、1992.
- 道上正規・檜谷 治：水制周辺の平面二次元河床変動に関する研究、水工学論文集第36巻、pp. 61-66、1992.
- 福岡捷二：河川構造物に関する河道内の流れと河床変動—河道設計のための水理解析法—、第28回水工学に関する夏期研修会講義集、A-3 pp. 1-25、1992.
- 福岡捷二・渡辺明英・萱場祐一・曾田英揮：ベーン工が断続的に配置された河道湾曲部の流れと河

床形状、土木学会論文集No. 479/II-25、pp. 61-70、1993.

流速測定法に関して

- 吉野・早川：開水路電磁流量計の現地における観測性能、水工学論文集第35巻、1991.
- 益倉・深見・新行内：開水路電磁流量計の開発、第31回水理講演会論文集、1987.
- 山口高志：流量監視システムの提案、河川情報研究所報告第2号、1988.
- 吉野・鎌田・目黒・山口・新里：流量監視システムに関する研究（ ）、河川情報研究所報告第3号、1989.
- 山口・佐藤・新里・石井：電波流速計を用いた洪水流量観測システムに関する調査、河川情報研究所報告第4号、1990.
- 山口・市ノ瀬・新里：電波流速計を用いた洪水流量観測システムに関する調査、河川情報研究所報告第5号、1991.
- 山口・佐藤・新里・石井：電波流速計による流量監視システム（ ）、水文水資源学会研究発表会要旨集、1990.
- 山口・小倉・五十嵐：表面流速からの流量算出補正係数、水文水資源学会研究発表会要旨集、1991.
- 山口高志・新里邦生：電波流速計による洪水流量観測、土木学会論文集、No. 503/ -29、pp41-50、1994.
- 木下良作：航空写真による洪水流解析の現状と今後の課題、土木学会論文集、No. 345/ -1、pp1-19、1984.
- 宇民 正・上野鉄男：写真画像処理による洪水流解析、土木学会論文集、No. 503/ -29、pp 1 -17、1994.
- 福岡・藤田・平林：洪水流の新しい観測法、土木技術資料、第30巻、第6号、pp26-31、1988.
- 北海道開発局開発土木研究所河川研究室：河川における現地観測手法の開発 ー無線転送装置とRCボートを用いた河床形状観測ー、開発土木研究所月報、No. 497、1994.

最近のダム材料の技術開発

ダム部長 松本徳久

最近のダム材料の技術開発

1. はじめに

真に豊かで潤いのある国民生活を実現するためには、快適で安全な生活基盤の整備が必要であり、建設省では国土の保全と水資源開発のために多くのダムの調査、設計、施工、管理に携わっている。これら河川総合開発目的のダムとしては、大型のものだけではなく、山間部や半島部、島しょ部等の治水に対する安全度が低く、水源となる溪流が渇水期の取水に対する安全性の低い地域については、小規模なダムの建設が増加している。一方、地質的に良好なダムサイトの多くは既に開発され、今後のダムは地質的に良くないサイトが増えつつあり、ダム材料についても良好なものを選別して使うというよりもサイトで得られる材料をうまく使う技術が求められている。このような情勢から、各ダムの規模や特性に応じた効率の良いダム建設が求められ、ダム施工の合理化、省力化に加えて、堤体材料をいかに有効に利用するかが今日的な課題となっている。そこで、土木研究所ダム部をはじめとするダムの研究機関においても、ダムの堤体材料について研究を進めており、新たな技術開発が図られている。以下に、各材料についてのニーズ、研究成果、今後の展望について触れる。

2. コンクリートダム

コンクリートダムの建設において、ダム堤体の大型化、自然環境と施工の調和、フィルダムとの関連でより経済的に建設する等の見地から、建設省では、機械化、省力化をすすめ、安全性が高く経済性のある施工法として、RCD工法に代表される合理化施工法を開発してきた。RCD工法とは、超硬練りの貧配合コンクリートをブルドーザーで薄層に撒き出し、これを振動ローラーで締固めてダムを築造する施工法で、本工法を採用したダムは現在工事中のものを含めると既に20以上を数え、今後その数は更に増加する趨勢にある。コンクリートダムの技術革新は、当初、①設計法とリンクした施工の合理化、②施工工法そのものの合理化、③材料の合理化の3点あった(1)。RCD工法は、②の施工法の合理化を中心としたものであるが、材料の合理化を必然的に伴っており、RCD工法が円熟した技術になりつつある現在、今後は③の材料の合理化にコンクリートダムの技術革新の中心的課題は移るであろう。コンクリートダムにおける材料の技術開発の目的は、大きく分けて、施工の合理化、資源の有効利用と環境保全、景観および耐久性の向上などがあり、これらの項目に沿って、現在の技術動向を以下に述べる。

2. 1 施工の合理化に関わる材料技術

RCD工法をはじめとする施工の合理化をすすめるためには、材料技術のバックアップがかかせない。RCDコンクリートそのものが材料としての技術開発の最大の成果であるが、これについては他で多く語られているので、ここではそれ以外の最近の話題を述べる。

2. 1. 1 RCD用コンクリートの標準供試体作製装置

RCD工法に用いられる超硬練りコンクリートをRCD用コンクリートというが、このようなコンクリートの品質は、配合のほか、施工時の締固めエネルギーによって大きな影響を受ける。従って、RCD用コンクリートの配合設計では、通常のコンクリートに用いられている直径15cm、高さ30cmの標準供試体では現場の締固めエネルギーが反映されないことから、直径50cm、高さ45cmの大型供試体の特製の大型供試体作製装置を用いて締固め、更に現場転圧試験で確認してRCD用コンクリートの配合設計が行われてきた。この過程で多数の大型供試体の作製・試験には労力とコストがかかり、標準供試体で配合が決められれば合理化となる。またRCD用コンクリートの品質管理における、圧縮強度の確認については標準供試体を用いた強度試験がその締固めエネルギーの管理方法についての統一された基準なしに行われ、必ずしも適切な品質管理試験となっていないのが現状であった。そこで、ダム構造研究室では、標準供試体を用いたRCD用コンクリートの強度試験の標準化、基準化を目指し、更には標準供試体を用いたRCD用コンクリートの配合設計の可能性を見いだすべく、締固めエネルギーを制御、管理できるような標準供試体の作製装置「RCD用コンクリートの標準供試体作製装置」を開発・作製し、締固め試験を実施している（図-1）。現在までの結果として、①RCD用コンクリートの単位水量または単位ペースト容積とVC値（後に詳しく説明）の対数の間には線形な関係が成り立つ、②締固め時間を一定とした場合、RCD用コンクリートの圧縮強度が最大となる単位水量が存在する、等大型供試体試験で得られる結果とよく一致したものとなり、標準供試体を用いた配合試験法の確立に向けて研究を進められつつある(2.3.4.5.6)。

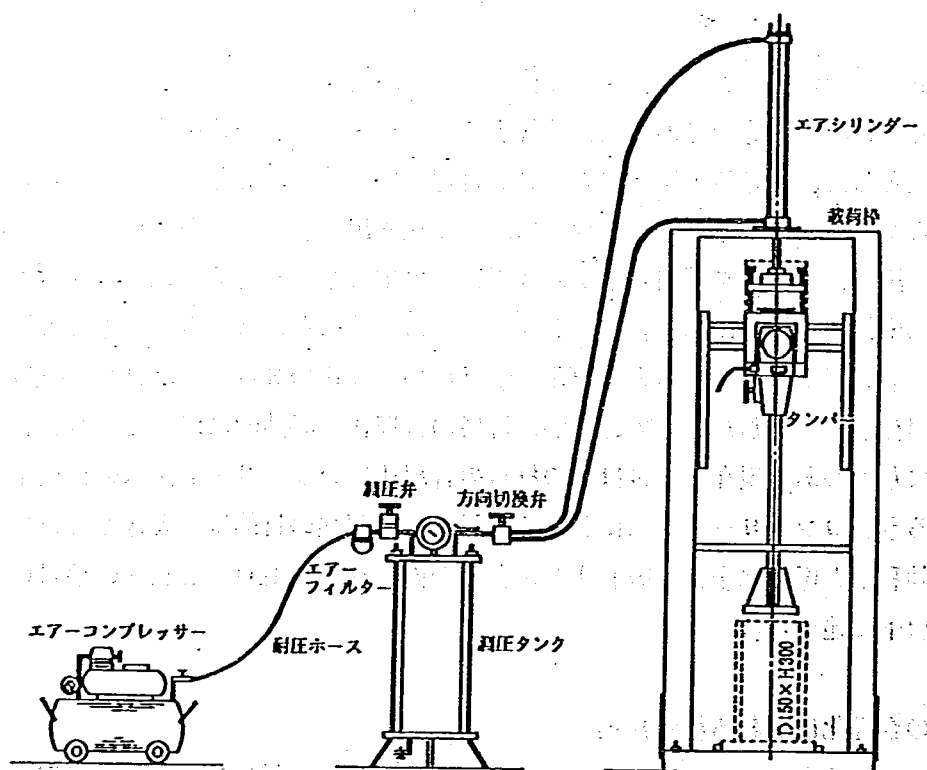


図-1 標準供試体製作位置の構成

2. 1. 2 VC試験の標準化

RCD用コンクリートのコンシステンシーを管理する振動台式コンシステンシー試験機（VC試験機）がRCD工法を初めて採用した島地川ダムの施工の際（1978年）開発された。この試験機は、所定のモールド内にRCD用コンクリートを詰めて振動テーブル上に固定し、コンクリート表面に載荷板を介して載荷錘を載せ、一定の上下振動を与えてコンクリートを締固める装置である。振動により、コンクリートが締固められると、その上面にセメントペーストが浮上してくる。このとき、振動開始からペーストが完全に浮上してくるまでの時間（秒）をVC値（Vibrating Compaction Value）と呼び、RCD用コンクリートのコンシステンシーを表現している。島地川ダム建設以来、RCD用コンクリートのコンシステンシー測定試験方法としてのVC試験は多くの実績を経て、標準的な試験方法として試験機仕様等の統一化が図られてきた。しかし、現在、各施工現場で使用されているVC試験機の仕様は細部では統一されたものとは言い難く、仕様を細部にわたって統一、標準化する研究を進めている。それによると、②試験機設置箇所の基礎の状態、②振動台自体の質量、③起振モーターの能力、④載荷板と載荷錘の総質量、⑤試験機が定常状態（振動台の変位の全振幅が1.0mm）に達するまでの経過時間、⑥起振軸数（起振モーターの数が一軸式と二軸式がある）、⑦測定容器の質量、⑧振動特性、特に振幅の異常を早期に発見できる点検・整備方法、を統一し、標準化する必要があるとともに⑨VC値測定の目視から自動化への移行が必要であり、順次整備しつつある(7,8)。

2. 1. 3 骨材水分量の自動計測システム

RCDコンクリートの単位水量は80-100kg/m³程度であり、水量のわずかな変動はVC値に大きく影響し、しかも単位水量のうちの相当部分は骨材の表面水であり、骨材水分量の測定管理は極めて重要である。そこで品質管理の高度化を目指し、骨材水分量の自動計測システムの開発を総プロとして進めている（図-2）。このシステムの開発に伴い、不均一材料の表面水量の測定、材料全量の表面水量の測定、G4の表面水量の測定、当該バッチ補正が可能となり、小里川ダム、葛野川ダムで試験施工の予定である。

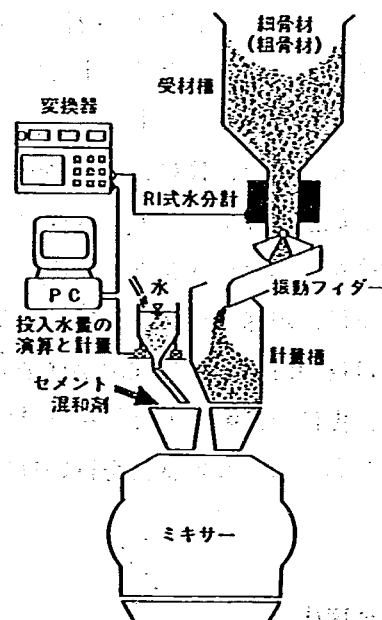


図-2 骨材水分量の計測・管理システムの概要

2. 1. 4 低発熱セメント

コンクリートダムは1900年前後から欧米を中心に盛んに建設されるようになったが、当初からコンクリートに生ずるひび割れが大きな問題となっていた。1930年代に入ってこれがセメントの水和熱に起因する温度ひび割れであることが明らかになり、この問題は、1935年に完成したHooverダムの建設において一応の解決を見た。すなわち、低発熱型のタイプIVセメントの開発のほか、収縮継目の設置、パイプクーリングと継目グラウチングによる温度規制法の採用という現在のコンクリートダムの従来工法(RCD工法に対比してこう呼ぶ)が完成したのである。Hooverダムでは、コンクリートの単位セメント量として223kg/m³が用いられたが、その後コンクリートダムの構造的安定性を確保するにはこのように大きな単位セメント量は不要ということが判明し、温度ひび割れを抑制するために単位セメント量を落としたコンクリートが志向され、我が国においても、1924年完成の小牧ダムの単位セメント量210kg/m³、1954年に完成した丸山ダムは160kg/m³に低減され、更に1961年に完成した奥只見ダムで140kg/m³にまで低減された。RCD工法を用いた1981年に完成した島地川ダムでは単位セメント量を120kg/m³にまで低減させている。

我が国のコンクリートダムの施工技術はRCD工法の開発によって著しい進歩を遂げ、施工の省力化、急速化と経済性がもたらされたが、この工法の採用によって、コンクリートの温度ひび割れを抑制する温度規制法については、従来にも増して入念な配慮が必要となった。すなわち①温度ひび割れを防止する縦継目を設置しないから、上下流方向のブロック長がながくなる。②締固めに振動ローラーを使用することからクーリングパイプの敷設が困難であり、打設後の人工的な温度制御が不可能である。このような理由からRCD用コンクリートのための低発熱セメントを開発する要請が高まり、建設省では国土開発技術センター内に委員会を設置して、セメント協会との共同研究によってRCD用低発熱セメントの開発に着手した(9)。この際設定された開発目標は、①現在、RCD用のセメントとして用いられているフライアッシュで30%置換した中庸熱ポルトランドセメントよりも断熱温度上昇が小さいこと、②開発するセメントを使用したコンクリートの91日材齢の圧縮強度はフライアッシュで30%置換した中庸熱ポルトランドセメントを使用したコンクリートの圧縮強度と同等以上であること、③開発するセメントを使用したコンクリートの3日材齢の圧縮強度はフライアッシュで30%置換した中庸熱ポルトランドセメントを使用したコンクリートの圧縮強度と同等以上であること、④開発するセメントは混合セメントではなく、単味セメントとする。

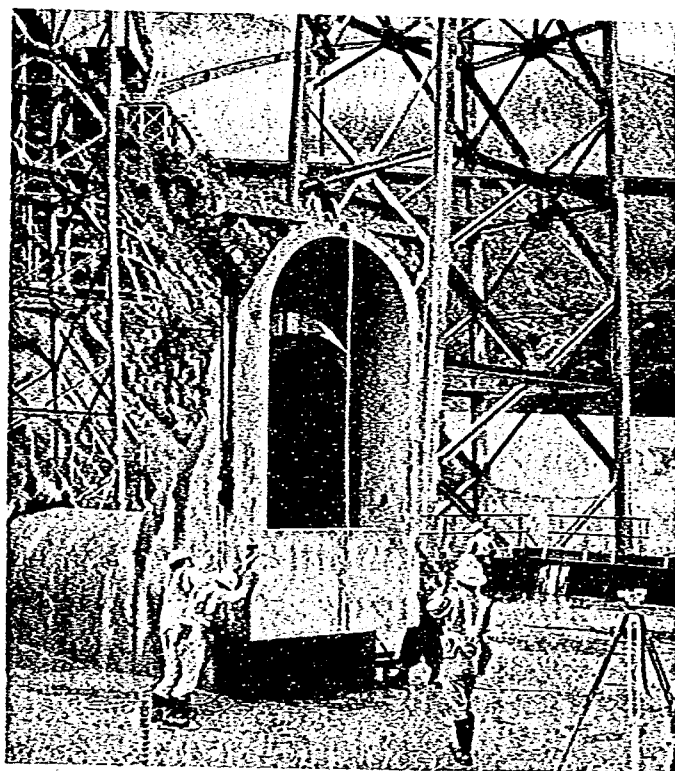
この開発目標に対して種々の試験を重ねた結果、RCD用低発熱セメントとして開発された。このセメントは、C₂S含有量が60%前後の低熱ポルトランドクリンカーを使用し、セメントSO₃量を2.5~3.0%程度と高く設定して初期強度を高めたセメントである。

今回開発したRCD用低発熱セメントは、単味のセメントであるため中性化速度が遅く、耐久性の面でも優れている。なお、本セメントは材齢91日の圧縮強度が従来セメントと比べてかなり高いことから、強度増加を調整することにより、更に断熱温度上昇量を低減することも考えられ、今後そのような改良を重ねていく。昨年度までに長島ダムで現場試験を行い良好な結果を得ており、小里川ダムでパイロット施工を予定している。

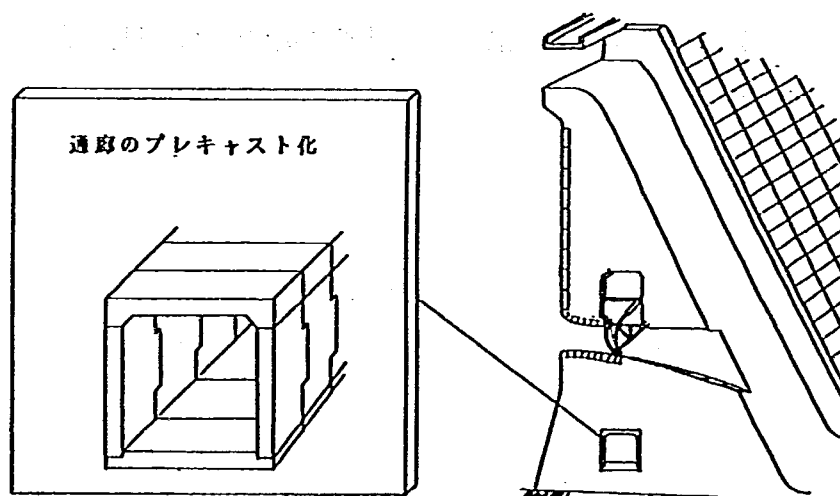
2. 1. 5 RCD工法以外の施工の合理化

RCD工法以外でも合理化施工が積極的にダムに用いられはじめている。コンクリートダム内に設

けられる通廊、エレベーターシャフト等の空洞部周辺の施工では、型枠の設置、配筋、コンクリートの打設、型枠解体という一連の作業のほとんどがダム建設現場において熟練労働者の手に委ねられている。このような施工を省力化し、かつ工期の短縮を図るための対策の一つとして空洞部周辺のプレキャスト化技術（写真－１、図－３）の研究が必要であり、①プレキャスト型枠（埋め殺し）の運搬重量を軽減させるための分割方法、接合方法、②ダムコンクリートとの一体化（付着力）、③温度応力の検討等を実施しつつある。現場としては、宮が瀬ダムのエレベーターシャフト、クロスギャラリー、浦山ダムのエレベーターシャフト、クロスギャラリー、宇奈月ダムのメインギャラリー、長島ダムの放流設備操作室、関西電力長谷ダムのメインギャラリー、宮が瀬ダムの副ダムの上下流型枠で施工中または使用計画中である。



写真－１ 宇奈月ダムにおけるプレキャスト通廊



図－３ プレキャスト型枠概要図

グリーンカットについてもこれを省人化するために薬剤を用いての実験を宮が瀬ダムで実施している。

放流管についても全管路型の採用、前記したプレキャスト型枠の監査廊等への採用に関係して、管及び型枠下部へのコンクリート充填を確実にするために高流動コンクリートの特性に関する研究も進めていくところである。

ポンプ打設に適したダム用コンクリートの合理的配合設計についての検討も進めており、宮が瀬ダムで流動化剤の試験施工を実施している。

2. 2 資源の有効利用と環境保全のための材料技術

近年、従前に比べ複雑な地質条件を有する地点にダムを建設する事例が増え、これに伴って原石山においても良質な骨材を経済的に得ることが次第に困難となってきている。良好な原石の枯渇は、単に骨材の製造単価を増大させるだけでなく、廃棄岩の処分、原石山の跡地や長大法面の処理など、自然環境の保護、保全上からも大きな問題となりつつある。そこでコンクリートダムの建設において今まで規格外骨材として廃棄されていた低品質な骨材も有効に利用する方法の開発が強く望まれている。このような背景から、低品質骨材をコンクリートダムの堤体材料として有効に利用するために①骨材またはコンクリートの品質改良技術といった材料面での研究、②低品質骨材の利用を前提としたコンクリートダムの設計手法面からの研究を実施している。

2. 2. 1 低品質骨材を用いたコンクリート

低品質骨材を用いたコンクリートがダムの内部コンクリートとして適合性の調査として、通常の骨材よりも変形性が極端に劣るウレタンゴムを低品質骨材と見なした実験例(10)を紹介する。コンクリート中の粗骨材に含まれる低品質骨材（今回はウレタンゴムで代用）の容積率を混入率と定義し、混入率を0%、5%、10%、20%、40%、60%とした7ケースの骨材の最大寸法40mm、 $s/a=35\%$ 、 $W/C=60\%$ のコンクリートについて強度試験を実施することによって行った。実験によると①低品質骨材の混入率の増加に伴って、コンクリートの圧縮強度比は単調に低下し、その値は指数関数で近似できる（図-4）、②低品質骨材の混入率の増加に伴って、コンクリートの弾性係数比は単調に低下し、その値は1次式で近似できる（図-5）、③材齢による前述の関係の変化は見られない、という結果を得られた。今後は、実際の低品質骨材を用いた比較実験で更に低品質骨材を含むコンクリートの特性の把握に努める予定である。

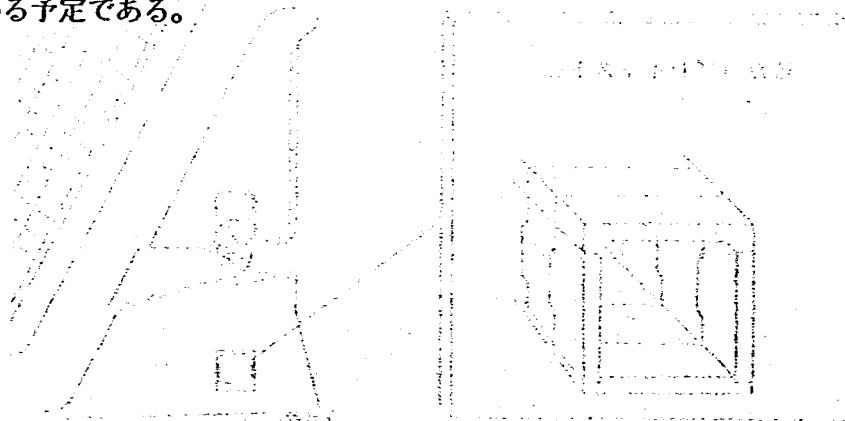


図-4 低品質骨材の混入率によるコンクリートの圧縮強度比の変化

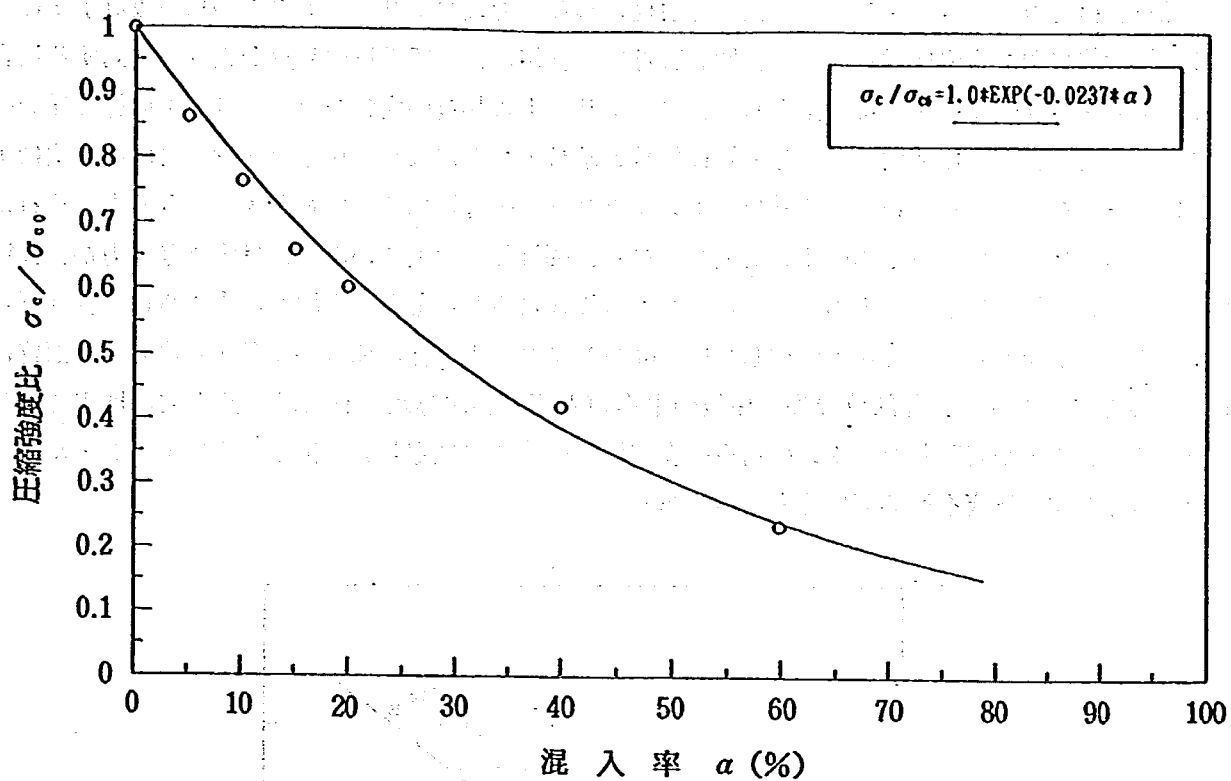


図-4 低品質骨材の混入率と圧縮強度比の関係 (材令28日)

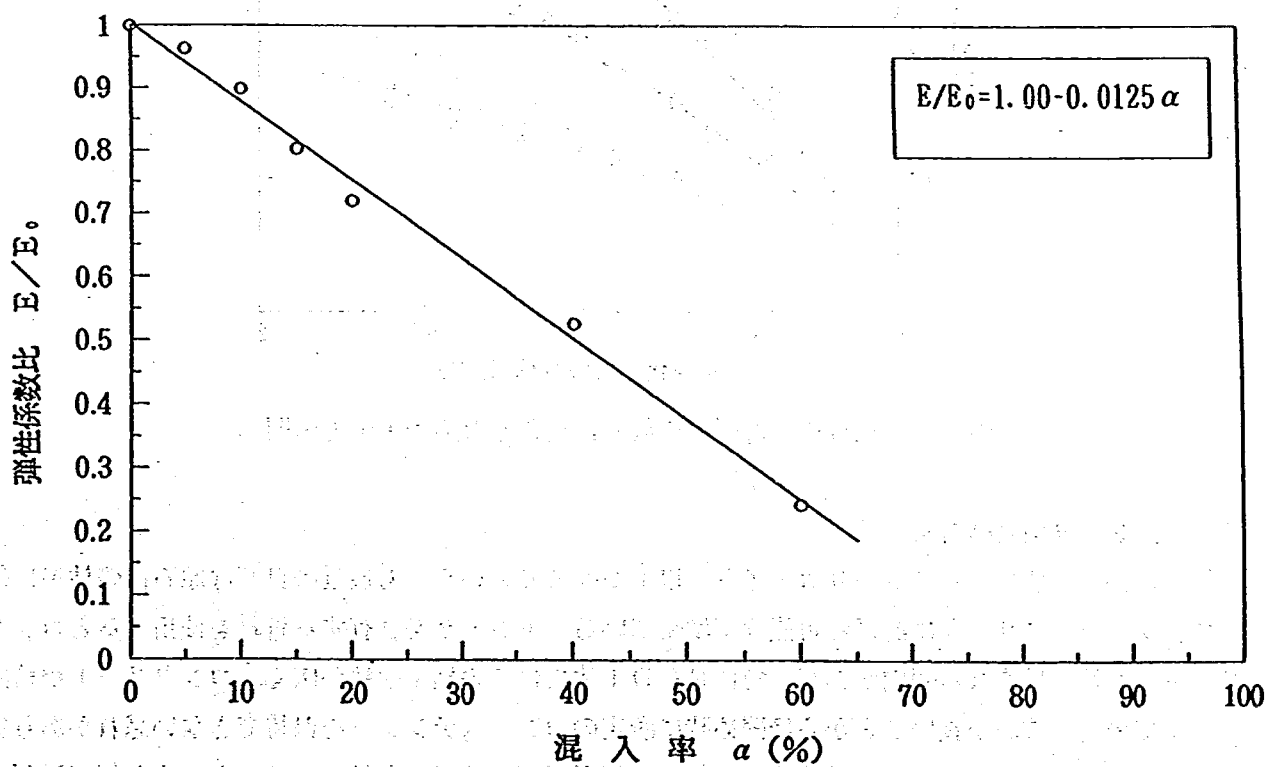


図-5 低品質骨材の混入率と弾性係数比の関係 (材令28日)

2. 2. 2 品質のばらつきを考慮した設計

低品質骨材を用いたコンクリートの使用を前提とした重力式コンクリートダム構造設計手法についての解析的な面からの検討としては、低品質骨材の使用によって骨材の品質が大きく変動する場合の堤体応力を合理的に推定する手法として、コンクリートの品質の変動をコンクリートの弾性係数の変動として捉え、ダム堤体内の各部分の弾性係数を乱数の発生により変化させ2次元有限要素法による解析をおこなっている(11)。その結果、①コンクリートの弾性係数の変動が大きくなると、それに応じてダム堤体内に生じる応力の変動も大きくなり、弾性係数の大きい部位には大きな応力が、弾性係数の小さい部位には小さな応力が生じる、②ダム堤体に生じる応力の平均的な大きさは、弾性係数のバラツキにかかわらずほとんど変化しない、③コンクリートの弾性係数が変動する場合、各部位に生じる応力の大きさは、各部位の弾性係数の平均値と変動幅が与えられれば、確率的に推定できる(図-6)、ことが判明した。ダムの構造的安定性を確率的に推定し評価出来そうであることから、今後この体系化の研究を進めていくところである。

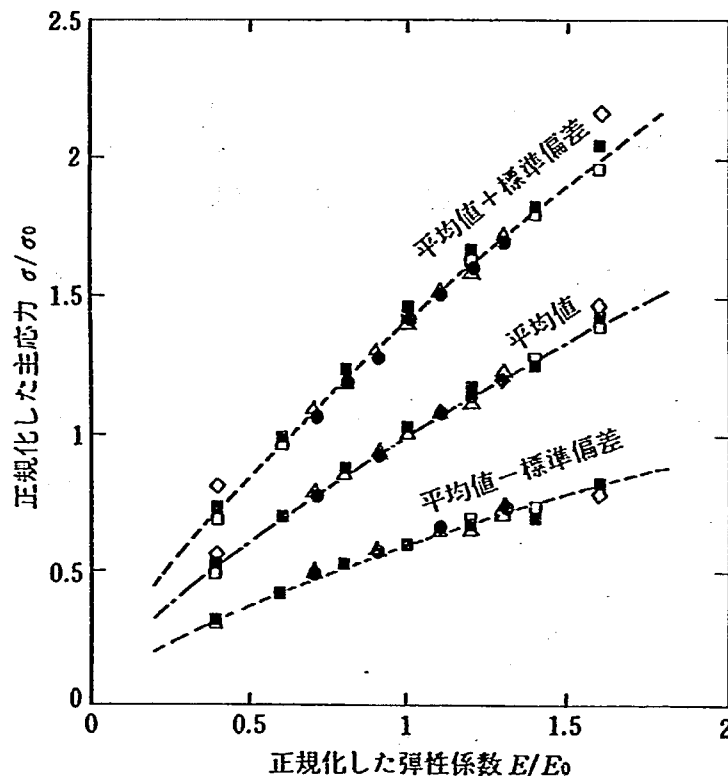
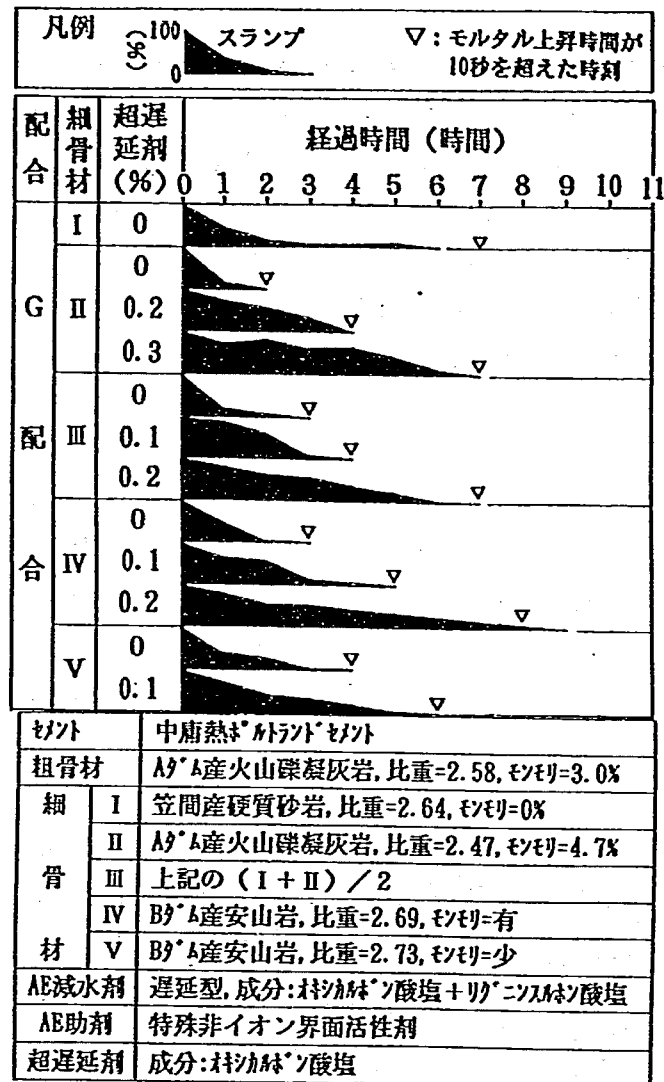


図-6 正規化した弾性係数と正規化した第一主応力の関係

2. 2. 3 早期凝結対策

粘土鉱物の一種であるモンモリロナイト(以下モンモリという)も最近の良好な原石山の枯渇に伴って、ダムコンクリートに混ざる可能性が増えている。モンモリを含有する骨材を使用するとコンクリートの凝結が早くなる傾向があり、特にRCD工法ではその施工面積が広く、コンクリートが締固めるまでの施工時間が長いことから締固め時に所定のコンシステンシーを保持できない恐れがあり重要な問題となっていた。この凝結速度の調整には超遅延剤の使用が有効であること、また超遅延剤の添加量が過大となっても、凝結時間が遅れるだけで長期にわたる強度の発現をさまたげるものではな

い、等の実験成果（図－7）がえられ、宮が瀬ダム、宮床ダム、大松川ダム、田沢川ダムなどで施工に使用されている(12)。



図－7 スランプの経時変化

2. 2. 4 濁水スラッジの再利用

濁水スラッジを煉瓦、土壤材、濾過材、骨材等へ再利用することも行われている(13)。

2. 2. 5 最適骨材評価コンクリート

これら低品質骨材の有効利用を更に押し進め、表土や化学的に安定性を欠き、明らかに有害な原石を除き、従来外部コンクリート用骨材の採取基準に基づいて廃棄されていた原石を新しい評価基準を作成することにより、積極的に利用し、与えられた条件下で製造可能な最も性能の良いコンクリート配合はいかにあるべきか、またそれによって得られたコンクリートの品質はどの程度まで保証されているのか（バラツキの評価）、更にこのコンクリートを前提とした重力式コンクリートダムの構造設計手法にはいかにあるべきか（均質弾性体の妥当性）について一連のシステムとして体系づける最適骨材評価コンクリート(14)も将来的目標として研究を積み重ねていく予定である。

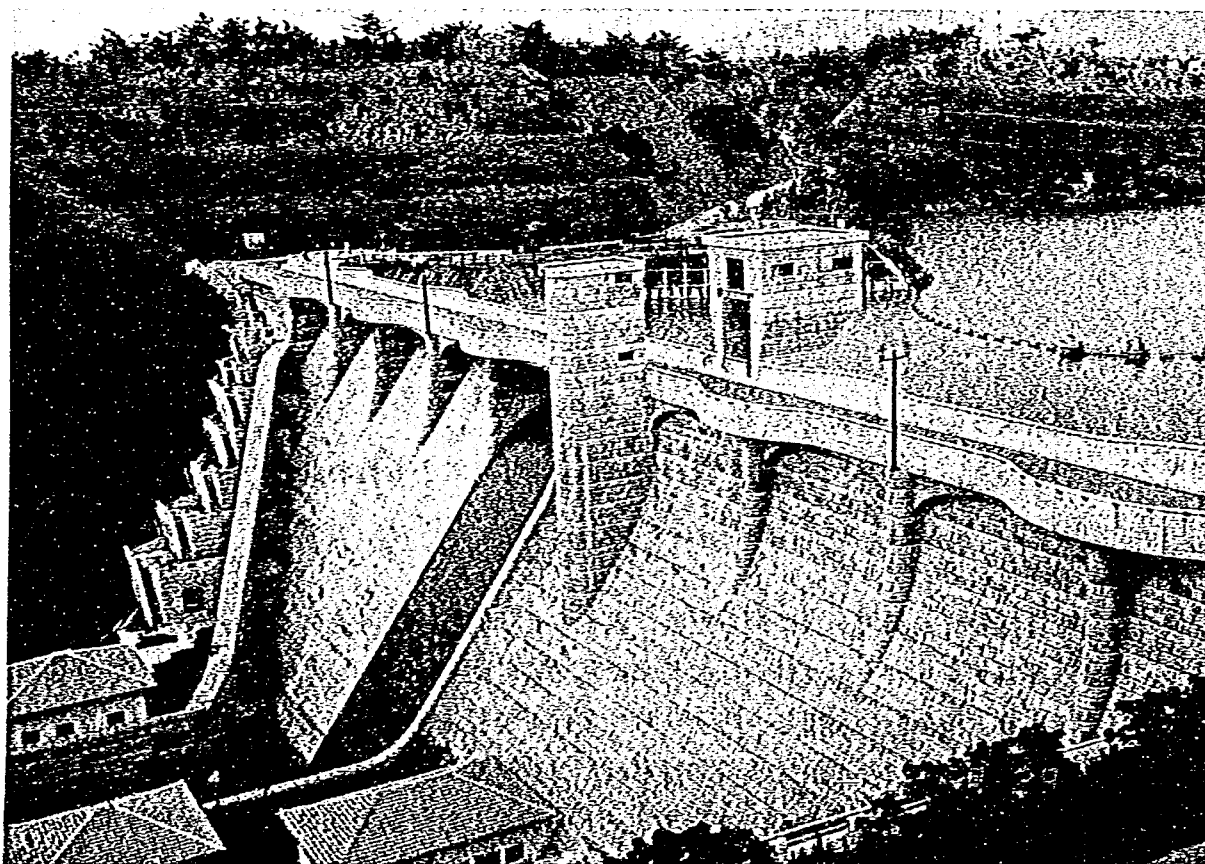
2. 3 景観および耐久性向上のための材料技術

2. 3. 1 景 観

ダムは人類が造り出す人工構造物の中でも最大級のものであり、潤いある環境への国民志向の高まり、観光・レクリエーションの場としてのダムの重要性を考えたダム景観に対する配慮の必要性が高まっており、ソフト・ハード両面からの対応として、景観設計の方向性を実態調査によって明らかにするとともに新素材の活用により、黒ずみ・かび対策等も考慮した景観設計について研究されている。コンクリートの変色については主に建築の分野で研究されており、コンクリートの変色の原因は表面に物質が付着するためと考えられ、①物質が付着しにくい材料の採用、②物質が付着しにくい形状の採用、③物質が付着しても目立たない色彩の原材料の採用、④適切なメンテナンスの実施、などの対応が挙げられる。

コンクリートの表面がざらついていると物質が付着しやすいので、コンクリートの水セメント比を小さくし、単位水量を減らすとともに平滑な鋼製型枠を使用することで、長期間密実堅硬な表面を形成する。あるいは、そのような表面を持つパネルの採用することも検討できる。更には、表面に塗料を塗ることもかび防止等も含め有効と考えられるので、そのような塗料が河川で使用可能なものとして開発できるかも環境面での材料技術として研究する価値はある。

また景観上の配慮から、漢那ダム（写真－2）、三春ダム、月山ダムにおいて化粧型枠の使用例も数例でてきている。



写真－2 漢那ダムの下流面（化粧型枠使用）

2. 3. 2 耐久性

コンクリートは、他の建設材料に比べて塗装等のメンテナンスがほとんど不要と考えられていた。しかし、最近になって塩害やアルカリ骨材反応による早期劣化現象や酸による著しい腐食が問題となってきた。幸いダムコンクリートは、使用材料、単位水量等の関係でこれらの問題が深刻なものとはなっていないが、今後高齢化社会の到来を控えて社会資本を良好に維持運営していくことが重要な課題となっていくことから、耐久性向上のための材料技術として、①コンクリートに添加する混和剤を改良・開発することにより、コンクリートの品質を改良すること、②前記した変色、かび対策にも関連するが、高耐久性被覆材の開発利用を図ること、③ダムでは少量しか使用されないが、鉄筋等をエポキシ塗装鉄筋とすることにより、鉄筋との接合部からの劣化を防止することなどが橋梁などの分野で研究されはじめられている。

3. フィルダム

近代的なフィルダムは、土質力学の理論を取り入れ、ダム基礎、築堤材料の物理的、力学的試験を行い、基礎および材料の性質を把握して合理的に設計し、大型機械を駆使して築堤されてきた。

フィルダムには、均一型、ゾーン型、表面遮水壁型の3型式があるが、堤高の高いフィルダムは、ほとんどがゾーン型で建設されている。ゾーン型フィルダムでは、堤体積の80%程度は、硬い岩石を締め付けたロック材料から構成されている。したがって、ロック材料の強度や変形性を調べることは、ダムの安全性を確保し、かつ経済的にダムを建設する上で大切なことであり、ダム部では、大型の試験装置を用い、多くの試験結果を得て、強度や変形に関する性質を解明してきた。

しかしながら、最近では、良質なロック材の確保が困難となりつつあり、廃棄岩のしめる割合の高いダムが増えてきている。そうしたことから、所要の安全度や耐久性を確保したうえでダム建設コストの低減を図り、できる限り環境へのインパクトを軽減するためフィルダム材料の有効利用を進める必要があり、多様な材料に対する調査・試験、設計、施工法の確立が重要な課題となっている。以下、最近の研究成果のいくつかを述べる。

3. 1 ロック材料の力学特性

1960年代の御母衣ダムや牧尾ダムなど、大規模なロックフィルダムが建設され始めた初期の頃には、ロック材料に適用できる大型の材料試験装置もなく、その試験法も確立していなかったため、ロック材料のせん断強度の設計値は、安息角や簡易な一面せん断試験結果あるいは外国の設計事例などを参考に決定されていた。

その後ロックフィルダムの建設が盛んに計画されるようになって、フィルダム研究室でも大型の材料試験機（一面せん断試験機、三軸圧縮試験機）を導入し、寸法の大きな供試体を用いた力学試験を行って、ロック材料のせん断強度を求めるようになっていく。

現在、わが国のロックフィルダムでは応力条件が明確な大型の三軸圧縮試験機によってロック材料のせん断強度が求められている。その際、設計強度の評価方法としては3～4種類の側圧の条件下におけるMohrの包絡線を直線近似する方法がとられている。

しかしながら、その後の研究によりロック材料の場合、Mohrの破壊包絡線が直線とはならず上に凸

の曲線となることが明らかとなった。このことは拘束圧ごとにMohrの応力円へ原点から引いた接線の直応力軸に対する角度を ϕ_0 にしたとき、拘束圧の増加に伴って ϕ_0 が減少していることを示している。

土木研究所ではロック材の内部摩擦角の拘束圧依存性について系統的な実験を行い(15, 16)せん断強度の合理的な評価方法を研究してきた。これらの研究成果は、1991年6月制定の修正震度法を用いた「フィルダムの耐震設計指針(案)」の中に反映され、実用化されている。ここでは同指針(案)に沿ったロック材料のせん断強度の評価法およびロック材料の動的変形、動的強度について紹介する。

ロック材料の三軸圧縮試験は、直径30cm、高さ60cmの供試体を用いて行われている。図-8は拘束圧を $\sigma_a = 0.8 \text{ kgf/cm}^2 \sim 30 \text{ kgf/cm}^2$ 変えたときの内部摩擦角の値である。締固め状態によらず拘束圧が大きくなるにつれて内部摩擦角は減少している。

内部摩擦角の減少の度合いは密度のほかに岩石強度の大きさ、試料状態(気乾、飽和)等の影響を受けることがわかっている。

ロック材料の内部摩擦角の拘束圧依存性を考慮し、Mohrの包絡線を曲線近似するせん断強度 τ_t の表示式として、上述の修正震度法では次の3つが示されている。

$$\tau_t = C + \sigma_a \tan \phi \quad \dots\dots(1)$$

$$\tau_t = A \sigma_a^b \quad \dots\dots(2)$$

$$\tau_t = \sigma_a \tan \phi_0 \quad \dots\dots(3)$$

ここでは、 σ_a は垂直応力、Cは粘着力成分、A、bは実験定数、 ϕ_0 は任意の拘束圧における内部摩擦角である。

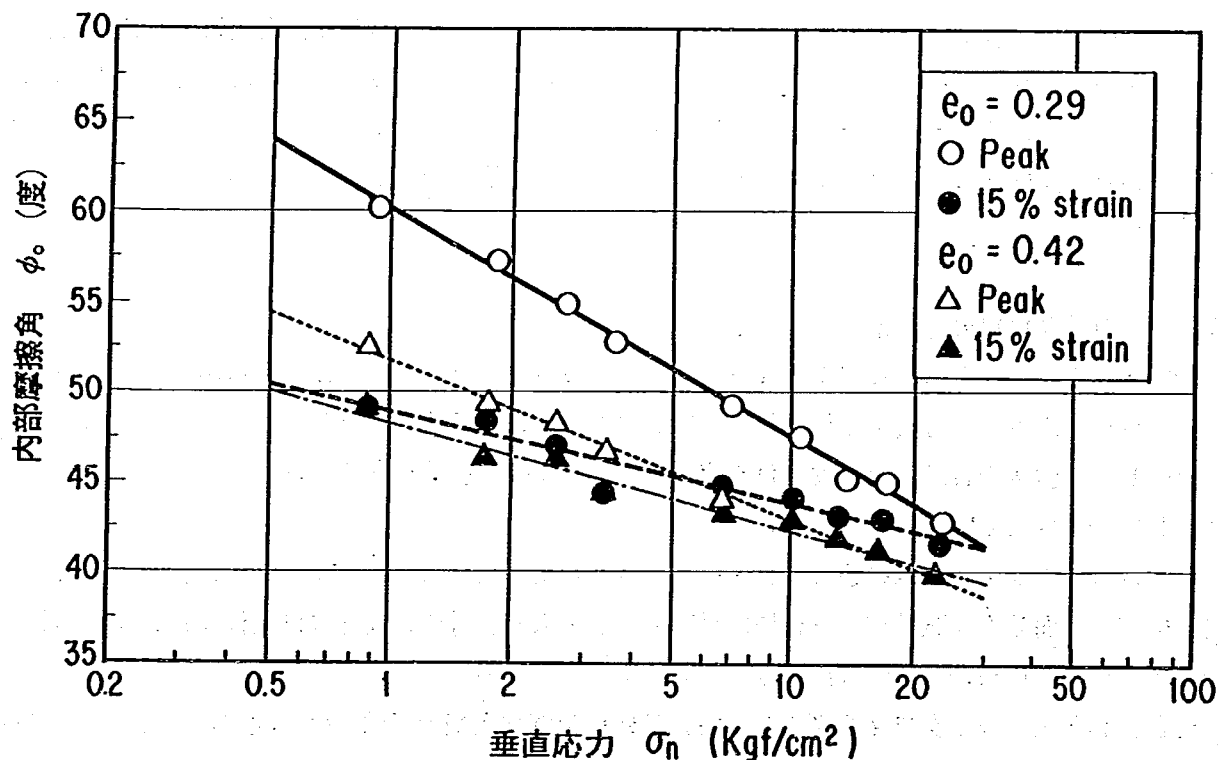


図-8 拘束圧と内部摩擦角の関係(花崗岩)

図-9には14のダムで検討された拘束圧依存性を考慮したすべり安全率（修正震度法）と従来の安全率（震度法）との比較を示したものである。修正震度法による値が震度法に比べて大きな安全率となっている。特に下流面においてその傾向が著しい。震度法に比べて修正震度法では内部摩擦角の拘束圧依存性が反映された結果、最小安全率を与えるすべり円弧はより深い位置となる。なお、修正震度法による安全率においてせん断強度の余裕値の取り方については現在検討中である。

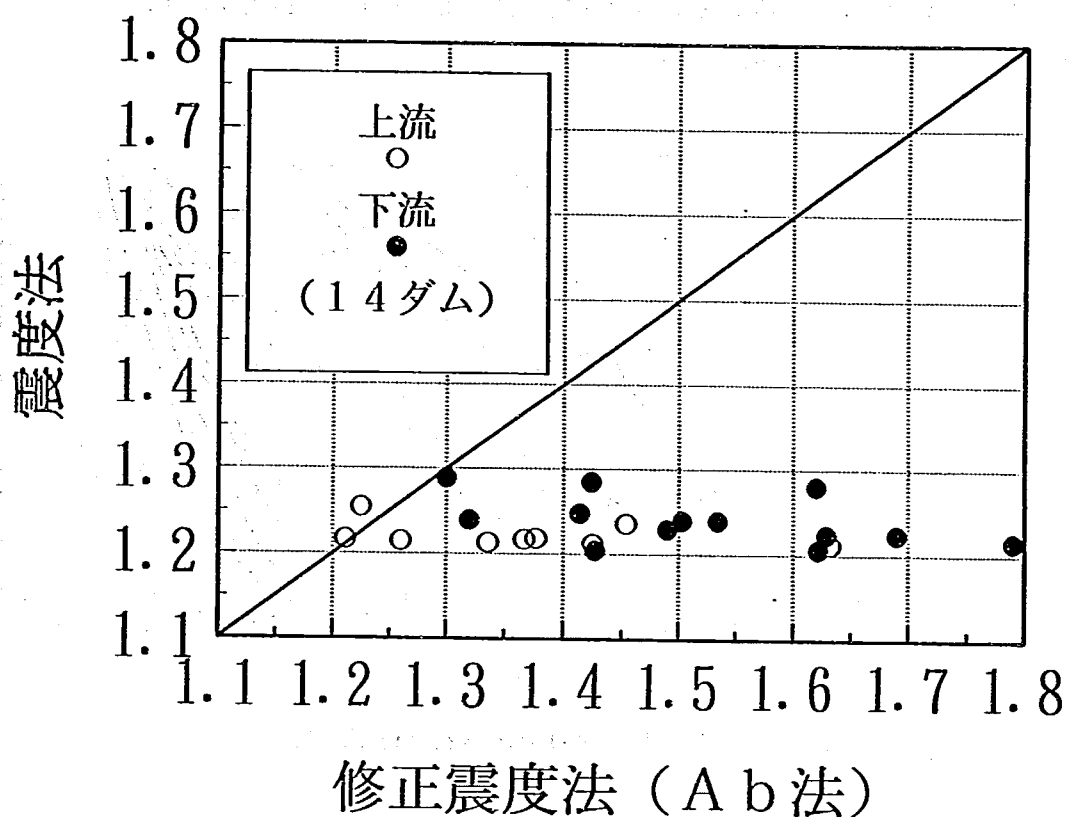


図-9 修正震度法と震度法の関係

3. 2 フィル材料の有効利用

3. 2. 1 岩石質材料の利用のための検討事項

従来の良質なロック材料に比べて低品質な材料である岩石質材料としては、大塊は含むが砂分や細粒分が多い泥流堆積物のような材料、比重が小さく（吸水率の大きい）、岩石強度が小さい岩石から構成される材料などがある。

これらの岩石質材料の有効利用における試験・調査を図に示すが、通常の良質なロック材料に比べて工学的性質を把握するためより多くの試験項目が必要となる。これらの岩石質材料について試験した結果によれば締固めの度合いによってせん断強度および変形性が大きく異なる結果を得ている。

3. 2. 2 泥流堆積物の利用

砂分や細粒分を多く含む泥流堆積物では、ロックゾーンに配置する場合には透水係数が 10^{-3}cm/s より小さくなるため排水性に問題があり、細粒径のものをカットする必要がある。

その方法は簡易なグリズリを用いることで材料区分が可能である。図-10は試験的に泥流堆積物の細粒径カットを行った粒度試験結果である(17)。グリズリは直径 $\phi 22\text{mm}$ の丸鋼を用い安息角以上に傾斜させ設置させたものである。グリズリのバー間隔を 10mm 、 20mm 、 30mm に開いた場合でもかなり材料が分級できることを示している。なお、実施工においてもこれを大型化し材料調整を行っている。

また、含水比の高い材料に対してふるい分けが効率良くできるように振動フルイにラバースクリーンを用いて分級を検討している事例もある。

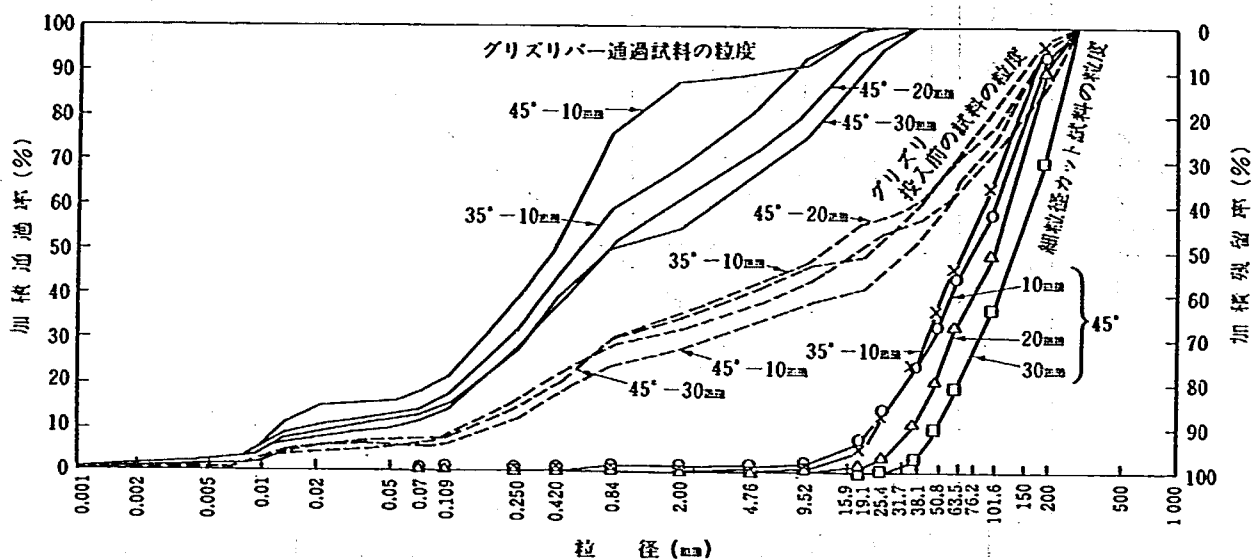


図-10 グリズリにより分級された粒度曲線

3. 2. 3 セメントを添加した砂礫材料等の改良 (CSG工法)

砂礫材料にセメントを添加したものをCSG (Cemented Sand and Gravel) と呼んでおり、フィル材料の改良による強度強化を目的としている。当面、仮締切堤の合理化施工 (経済性、工期短縮等) を技術開発の目標としている。その施工はフィル材料とセメントを現場で混合後、ダンプトラック等で運搬、ブルドーザで敷き均し、振動ローラで転圧し、構造物等を築造するものである。この工法による施工は平成4年度に建設省中部地方建設局が長島ダム上流仮締切堤において、わが国ではじめて実施し、現在2~3のダムで仮締切堤に適用されつつある。

室内および現場試験により明らかとなったCSGの主な工学的性質は次のとおりである(18)。

- (1) 細骨材率の大きいものでは密度は含水比の影響を受けるが、細骨材率の小さいものでは密度に対する含水比の影響は少ない。
- (2) 三軸圧縮試験による応力-ひずみ曲線は、単位セメント量が概ね $40\sim 60\text{kg/m}^3$ を越えると軸ひずみが小さい段階で明瞭なピーク強度を生じるようになり、ピークを過ぎると強度が低下していく。その傾向は単位セメント量が多いほど顕著である。強度のばらつきはセメント量の増加に伴い大きくなる。

- (3) 透水係数は室内試験および現位置試験とも概ね $10^{-2} \sim 10^{-4} \text{ cm/s}$ の範囲にある。
- (4) 耐久性において乾湿のくり返し試験では、セメント量が少ないほど損失重量は大きく、凍結融解を与えると、24サイクルでは供試体の形を呈しなくなるほどの変化が生じる。

図-11には、CSGを用いた構造物の断面の一例を示す。

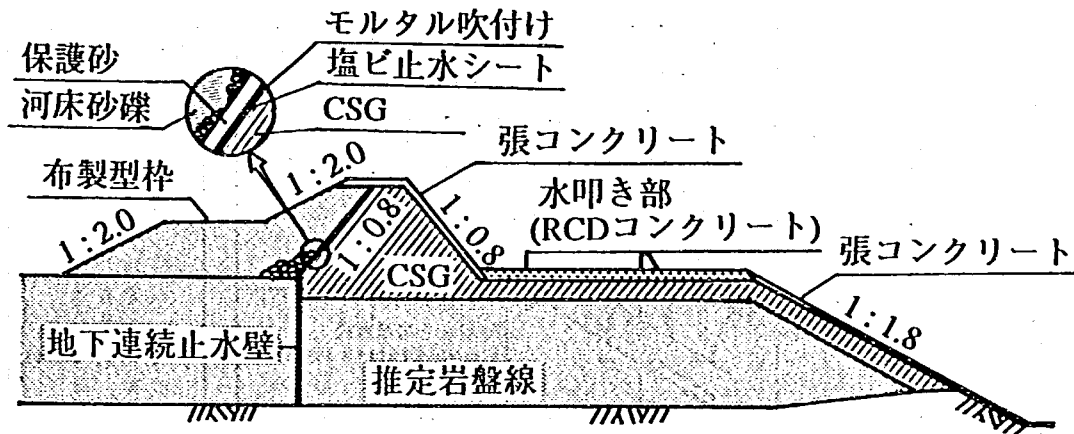


図-11 仮締工断面図

一方、細粒砂にセメントを添加させたソイルセメントが堤体の保護材および液状化防止のための堤体内部材料として用いられている事例がある。本材料では、セメント添加率が8%をこえると突固めエネルギーの多少によらず損失重量はほぼ10%以下になっていることから8%のセメントの添加率としている。また、砂質土とセメントの混合については混合プラントを設けている。

3. 3 コア材料、フィルタ材料および新材料

3. 3. 1 フィルタ材料とフィルタ基準

内部コア型のロックフィルダムの場合、その力学的安定性は主にロック材料に、遮水機能は後述のコア材料によっているが、堤内浸透水を安全に排出し、細粒分を多く含むコア材料の流亡を防ぐため、適切に粒度調整されたフィルタ材料を両材料間に配する必要がある。フィルタ材料は、堤体積に占める割合は極めて低い、このように非常に重要な機能を有している。

フィルダムのフィルタ材料の粒度を規定するフィルタ基準は、30年以上前、Sherardによって提案され、現在、我が国においてもこの基準を用いている。しかし最近では、コアゾーンに地震、水圧破碎、施工の不備、分散性粘土の存在等の原因により集中的な浸透が発生するという極限状態を想定したフィルタ基準の研究が進められ、米国などでは既にその成果を設計基準に反映している。

土木研究所では、コア材料の細粒分を混ぜた濁水をフィルタに通すダーティー・ウォータ (DW) 試験や締固めたコア材料にピンホールを開けて圧力水を通す非侵食 (NEF) 試験を実施し、結果の客観的な解析法を確立するとともに、オリジナル研究成果の精度を検証した。その結果、両試験方法から得られる結果の再現性は良いことがわかった。しかし、これらの試験結果に基づくフィルタ基準は従来のそれよりもかなり厳しいものである。そこで現在は、フィルタ材料の15%粒径以外の粒度分布、載荷水圧などの試験条件を現実のフィルダムのそれに応じたものとするこの試験結果に与える影響を

検証しており、最終的にはより現実に即したフィルタ基準の確立を目指している。土木研究所における研究成果の一部を図-12に示す(19)。

また、フィルタ材料については、コア材料の流亡を防ぐという立場からだけではなく、フィルタ材料の排水性能、非粘着性および内部安定性についても研究している(20)。

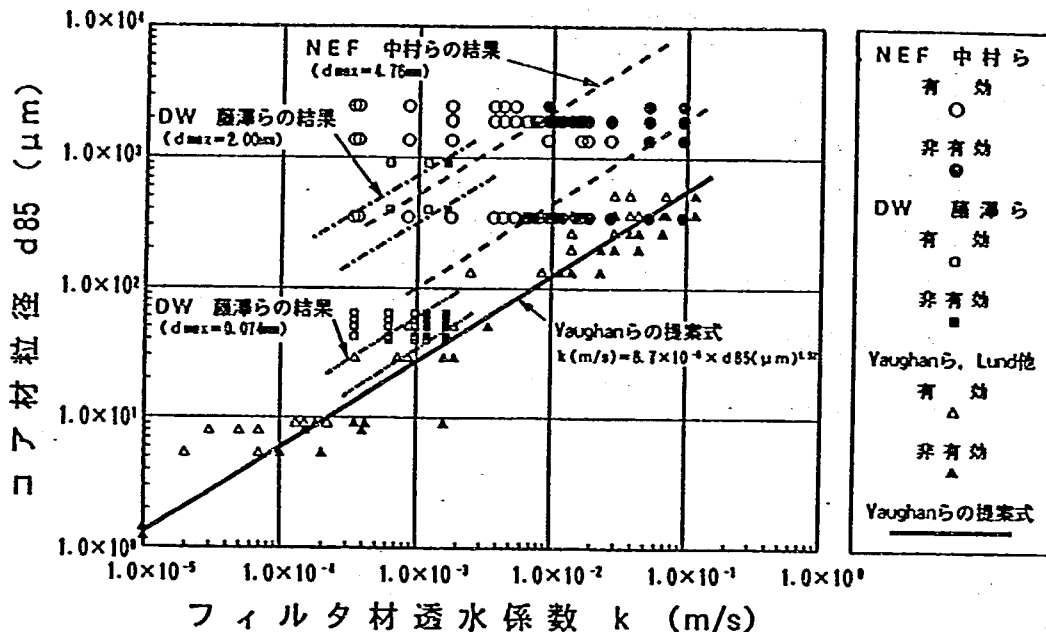


図-12 フィルタ試験結果

3. 3. 2 コア材料

ロックフィルダムのコア材料の主たる機能は遮水にある。そのためコア材料に対する最も重要な試験は、透水性および不透水性と最も相関の高い密度を求めるためのものである。一方、透水性が小さいため、ダムの大きい貯水圧のほとんどはコアゾーンで受け持つことになる。そこでこの水圧によってコアゾーンに物理的なパイピングが発生しないかを室内試験により検討している。また、静水中において、遮水機能を受け持つコア材料の粘土分が凝集状態を保てず分散することによって生じる化学的パイピングについての検討もピンホール試験によって行っている。このようなコア材料のパイピングに対する抵抗性を検討したうえで、前項で示した適切なフィルタ材料を配することで、フィルダムの浸透破壊による事故は防ぐことが可能となる。

フィルダムの最大の特徴は、ダムサイト付近で得られる自然の材料を、その特性に応じて適材適所に用いることにある。仮に、ダムサイトから近距離に、単体でコア材料として使用できる土質材料が採取できる場合は全く問題ないが、コア材料として単体使用できる土質材料がダムサイト付近で採取できないか採取できてもその依存量が少ない場合などは、ダムサイト付近で採取できる複数の材料をストックパイルを用いて混合して遮水材料とする必要がある。これを受けて、材料混合設計についての研究を行っている。

コア材料の締固めは含水比に大きく影響されるため、その施工は天候の制約を受ける。そのため、より迅速かつ合理的なコア材料の施工が待望されている。現在は、起振力の大きい二軸偏心型振動ローラ(SD450)を用いたまき出し厚さの増厚の可能性等についても検討している(21)。

3. 3. 3 遮水材料としてのジオメンブレン

安価で取り扱い易い材料であるジオメンブレンによるダム堤体および貯水池の遮水技術の確立を目指した研究を実施している。既に実際のダムでも用いられた例もあるがその設計・施工・安全管理法は確立されていない。土木研究所においては、各種材質、厚さのジオメンブレンを用いた耐水圧試験、電気探査を用いた漏水監視システムの構築、経時劣化の追跡調査等を行っている。

3. 4 フィルダムにおけるロック材料の動的変形性

地震時にロックフィルダム堤体に作用する地震動を推定するために動的応答解析は有効な手段である。動的解析の入力物性値である堤体材料、特にその過半を占めるロック材料の動的変形性はその精度に大きな影響因子となっている。土木研究所では大型の供試体（径30cm×高さ60cmおよび、外径80cm、内径40cm×高さ80cm）を用いて、ロック材料の繰返し三軸圧縮試験、及び繰返しねじり単純せん断試験を行ってきた。その結果ロック材料の動的物性値、せん断剛性率 G と減衰定数 h の変形特性は、せん断ひずみ γ 、拘束圧 σ_c 、間隙比 e の影響が大きいことがわかった。ロック材料の G 、 h は、砂質土に準じて γ をパラメータとして σ_c と e の関数で表現できる(22, 23)。

あるロックフィルダムにおける、室内繰返し試験による、ロック材料の微小ひずみレベルでのせん断剛性率で基準化したせん断剛性率とせん断ひずみの関係と、同一ダムで、実測された地震記録を用いたスペクトル応答解析より求めたものとの関係を比較すると、図-13に示すように地震時のロックフィルダムのせん断剛性率のせん断ひずみの増加に伴う低減傾向は、室内繰返し試験結果にほぼ一致した。要素試験としての室内試験は、地震時のロックフィルダム材料の変形特性を再現できることがわかる(24)。

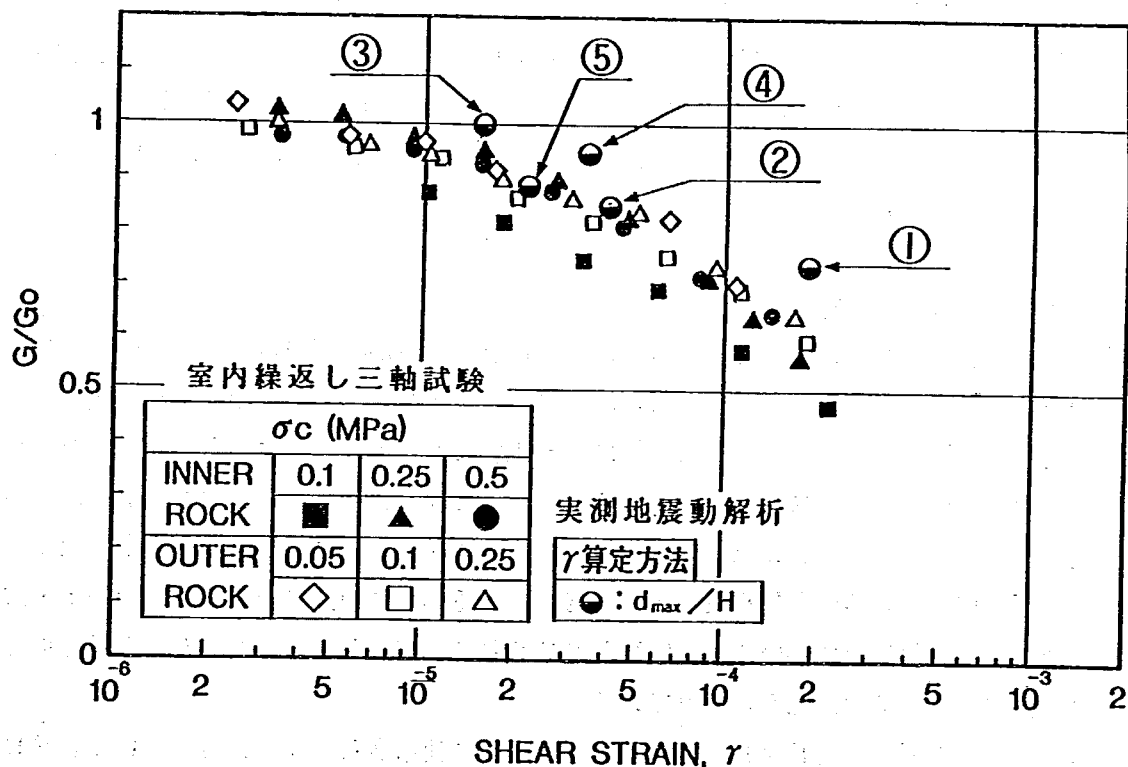


図-13 ロック材料の室内三軸試験、および実測地震動解析による、基準化せん断剛性率とせん断ひずみの関係

4. 放流・取水設備の材料

4. 1 要求される性状と材質

ダムが越流からのがれ、洪水調節や水資源開発の所要の目的を果たすかどうかは、放流・取水設備がその機能を十分発揮するか否かにかかっている。ダム堤体は、水密がとれ破壊されなければよいが、ゲート・バルブがその機能を発揮するためには、大きな水圧荷重下において適切に稼働できるという条件がこれに加えられる。即ち、ゲート・バルブは単に外荷重に対し十分な強度があればよいというものではなく、流水を遮断して確実に水密を保ち、部分開度で操作される場合には所定の開度を保持しつつ振動を抑止することが必要である。このため、ゲート・バルブは十分な剛性と重量を有していなければならない。

水門扉のうち、扉体、戸当たり及び固定部に使用する材料はダム・堰施設技術基準（案）（以下、基準案と称する。）において規定されている。上記の要求される性状を考慮し、基準案では、鋼材又は鋳鋼材を用いるよう規定するとともに、同解説において、「ラジアルゲートの主桁や脚柱のように特に剛性を保つことが求められる部材には、SM490 等の高張力鋼の使用を避けることが望ましい」として、経済的理由からの高強度鋼材の安易な使用を戒めている。なお、基準案は、平成6年3月、学識経験者、建設省等の実務担当者、民間技術者で構成されるダム・堰施設技術基準委員会により、河川砂防技術基準（案）を補足する基準として策定されたものである。

一方、放流・取水設備のうち、固定部となる放流管については、強度面以外に、高速流に対する耐キャビテーション性、流砂等に対する耐摩耗性及び水質または再塗装の困難さに配慮した耐食性が要求される。放流管内の塗替塗装は、一般に作業条件、塗装環境が良くないことも考慮し、基準案ではステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼の使用を原則としている。ここに、ステンレス鋼は、鋼材をFe-Cr合金として部材表面の耐食性を向上させたものであり、塗装を要しない維持管理の容易な材料として考えられている。また、ステンレスクラッド鋼は、構造材としての普通鋼と耐食材としてのステンレス鋼を圧延等により圧着したものであり、構造部材に耐食性を持たせる必要がある場合に有効な鋼材である。

4. 2 維持管理を考慮した材料

ダム建設数の増加にともない、維持管理の容易化、費用の低減が問題視されるようになって久しい。このための方策としてまず考えられたのは耐食性に優れたステンレス鋼の利用であり、塗装が困難な戸当たり金物や放流管等に利用されてきた。特に、放流管については、従来、普通鋼が使用されてきたのに対し、近年ではステンレス鋼が広く用いられるようになり、前述のように基準案ではその原則使用が規定されるに至っている。また、近年では、洪水吐きゲートのスキンプレートや取水ゲートにもステンレス鋼が用いられる例も見られるようになっているが、この間ステンレス鋼の加工・溶接方法、異種金属接触腐食対策等について技術開発が進められてきており、最近ではゲート操作のワイヤーロープに使用するための研究も行われている。

一方、鋼にかわる素材としてFRPがスクリーンバー等に使用されるようになってきている。FRPは、強化プラスチックとも呼ばれ、「軽く、強く、腐食しない」という特徴から、近年、産業界の広い分野に利用されているものである。材料特性が十分把握されていないこともあり、設備の主要部への使

用はされていないが、モルタル層を内蔵したFRPM管が樋管や水圧鉄管への適用の実証試験がなされる等、水理構造物への適用が模索されている。

4. 3 排砂施設のライニング材料

ダム貯水池の有効利用や再生、下流河道への土砂供給の観点から、貯水池への流入土砂量の大きいダムでは流水の輸送力を利用した土砂の排出が計画されるようになっている。このための施設は、水理構造物と同様の形式をとるが、土砂を大量に含む流れを流下させるため、施設の摩耗対策が計画・設計上の重要な検討要素となる。

黒部川に建設が進められている宇奈月ダムでは、一時的に水位を低下させて貯水池を空虚にし、流れの土砂輸送力を回復させて土砂を排出することが計画されているが、年間流入土砂量は140万と非常に大きいことが推定されるとともに、河床には粒径の大きな礫が多く混在しており、施設の摩耗対策が特に重要な課題となった。図-14に宇奈月ダムの排砂施設を示す。施設は、ダム低位に2条設けられており、上流から、貯水池内を流下してきた流れを集めて整流する流入部、整流された流れを圧力管路部（排砂時は開水路流となる）へと導く導流部、圧力管路の呑口及び管路部、堤内開水路部、堤体を出た流れを河道に導く堤外開水路部からなる。

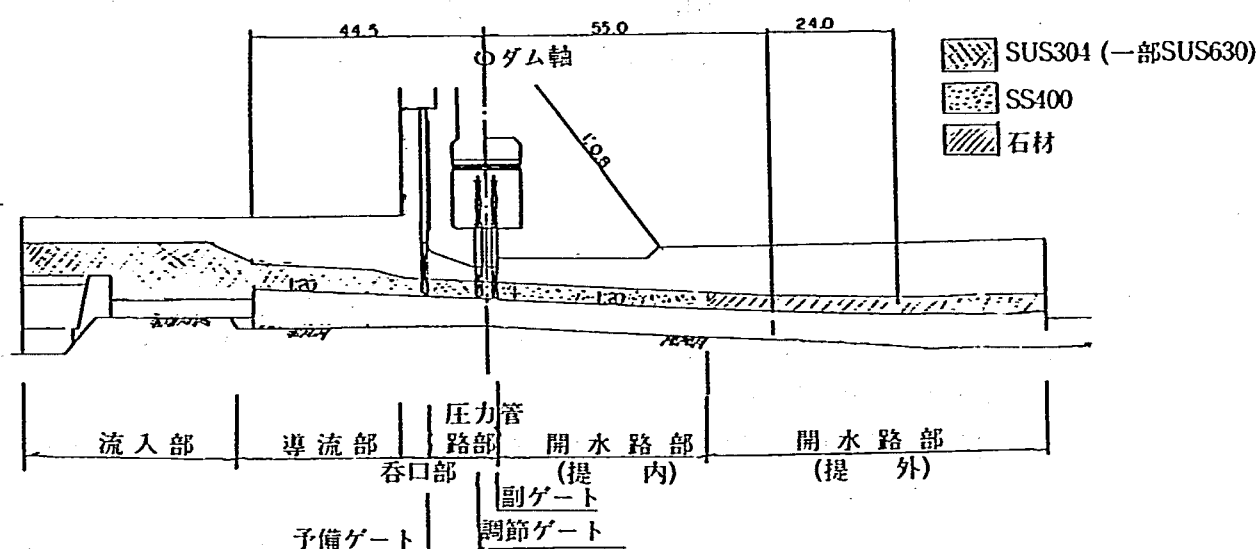


図-14 宇奈月ダム排砂設備のライニング計画概要図

宇奈月ダムの摩耗対策の検討では、各種材料実験及び水理実験が並行して行われ、両者の総合的な判断からライニング材量等が決定されている。材料実験では、高強度コンクリート、石材（石英片岩、花崗岩）、鋼材（SS、SUS等）、ゴム材（ポリウレタン）の種々の材料に対し、巨石が衝突した場合の耐衝撃性を検討した衝撃実験、砂礫の跳躍・落下による摩耗量を検討した落下摩耗実験、砂礫のすべりによる摩耗量を検討したすべり摩耗実験及び、仮排水トンネルを利用した現地実験の各種の実験が行なわれ、各材料の耐衝撃性、耐摩耗性が把握されている。一方、水理実験では、施設各部における砂礫の移動形態や速度等の把握が行われ、両実験結果及び排砂操作の数値シミュレーション、経済性等を含む総合的検討により、図に示すライニング計画が策定されている。ライニング範囲は砂礫の損傷を受けると思われる範囲であり、常時は水中にあり保守点検が余り容易でない導流部、呑口

部、圧力管路部は耐摩耗性に優れたSUS材を、常時保守点検の可能な堤内開水路はSUSに比べれば耐摩耗性は劣るが、比較的耐摩耗性のあるSS材を用いることとし、圧力管路呑口部下流については材料の交換が容易なよう50×50のボルト固定のタイル張りとしている。また、工事の可能な堤体下流開水路部は石材によるライニングとしている。

なお、材料実験の結果、各材料の耐摩耗性には、SUS630>SUS304、SUS420J1>SS400>ポリウレタン>石材>コンクリートの序列があることが明らかになっている。流入部底面については、なにも施されていないが、この部分は河床材料が堆積し、土砂の移動領域が底面まで達しない部分である。このように、河床材料を堆積させることによりライニングを行う方法をセルフライニングといい、水路を横断する栈や粗石を用いてのセルフライニング手法について実験的検討を進めている。

5. おわりに

ダムの堤体材料は、コンクリートダムにしても、フィルダムにしても大部分は現場近くの自然材から調達している。最近の河川総合開発目的のダムは、大型のもの小型のものもあり、地質も多様である。したがって設計に材料をあてはめるのではなく、材料の特性を生かした設計をすることが、ダム建設の合理化、資源の有効利用、自然環境の保全となる。そのためには、多様なダム材料の物性についての研究開発を更にすすめ、また他分野での材料技術の進歩もあり、これらをダムの分野に適切にとりいれていくことが必要である。

参考文献

- (1) 廣瀬利雄：合理化施工の発展を祈念して ダム技術 増刊 No.1、1991
- (2) 永山 功、渡辺和夫、小林政登、尾畑伸之：RCD用コンクリートの標準供試体作製装置の開発とその適用例 土木研究所資料第3042号
- (3) 永山 功、渡辺和夫、菊永和久：標準供試体を用いたRCD用コンクリートの配合設計に関する検討 土木研究所資料第3163号
- (4) 永山 功：大型供試体を用いたRCDコンクリートの配合設計についての考察 ダム工学 No.5
- (5) 永山 功、渡辺和夫：RCD用コンクリートの標準供試体作製装置の開発とその適用性について 大ダム No.145
- (6) 永山 功、渡辺和夫、伊藤文夫：RCD用コンクリートの締固め機構に関する実験的検討(2) ダム技術 No.67
- (7) 永山 功、渡辺和夫：RCD用コンクリートに用いるVC試験機の標準化に関する検討 土木研究所資料第3136号
- (8) 永山 功、渡辺和夫、根本 忠：RCD用コンクリートに用いるVC試験機の振動特性 ダム技術 No.74
- (9) 永山 功：ダム用低発熱セメントの開発と今後の展望 月刊生コンクリートVol.12.No11
- (10) 永山 功、渡辺和夫、向江幸介：低品質骨材を含有したコンクリートの強度、変形特性に関する実験的検討 土木研究所資料 第3194号

- (11) 廣瀬利雄、永山 功、大槻英治：品質変動の大きなコンクリートを用いた重力ダムの構造的安定性の評価方法について ダム技術 No. 82, 1993
- (12) 永山 功、山下武宣、片平 博、森田信吾：モンモリロナイト含有骨材を用いたRCD用コンクリートの凝結特性と超遅延剤の効果 土木学会第48回年次技術講演会
- (13) 竹林征三、丹羽 薫、梶原日出隆 中村健一、楠見正之：ダム建設現場における濁水処理スラッジの有効利用(1,2) ダム技術 No. 90, 91, 1994
- (14) 廣瀬利雄、豊田高司、竹林征三、上坂恒雄：最適骨材評価コンクリートの展望と今後の課題 ダム技術 No. 50
- (15) 松本徳久、渡辺和夫：ロック材料のせん断強度 土と基礎 Vol. 35-12, 1987
- (16) 松本徳久、豊田光雄：ロック材のせん断強度に関する実験的検討 ダム技術 No. 57, 1991
- (17) 中村 昭、豊田光雄：岩石質材料（泥流堆積物）の工学的特性 ダム技術 No. 86, 1993
- (18) 中村 昭、豊田光雄、佐藤小次郎：CSGの工法的性質に関する実験的検討 ダム技術 No. 96, 1994
- (19) 中村 昭、山口嘉一、矢萩賢仁、田原則雄：非浸食試験によるフィルタ性能の検討 土木研究資料第3236号
- (20) 中村 昭、山口嘉一、小川直樹：フィルダム遮水材料の分散性の判定 ダム技術 No. 84, 1993
- (21) 是沢 毅、菊永和久：新しいローラによる試験施工について ダム技術 増刊No. 1, 1991
- (22) 松本徳久、安田成夫、大久保雅彦、木下 靖：粗粒材料の動的変形特性 土木学会論文集 第424号、1990. 2
- (23) 中村 昭、安田成夫、岩下友也、多賀恭一、高橋三津彦：繰返しおよび単調載荷せん断試験により求められる粗粒材料の動的変形特性の検討 土木技術資料 1994. 10
- (24) 安田成夫、岩下友也、武田 理、中村 昭、多賀恭一：室内試験、原位置試験および実測地震動解析によるロックフィル材料の動的変形特性 第9回日本地震工学シンポジウム 1994. 12

建設副産物のリサイクル

材料施工部長 岡 崎 治 義

建設副産物のリサイクル

1. はじめに

建設副産物（建設発生土・建設廃棄物）の処分は、建設投資の増大が予想されるなか、最終処分場の逼迫から特に首都圏においては緊急の課題となっている。このため、建設省は、建設副産物の対策について当面の推進方策を策定し「総合的な建設副産物対策の推進に関する法律」を受け、建設副産物の処分問題の根本的解決へ向け、建設副産物の発生抑制・再生利用の促進に取り組んでいる。又、先の4月12日、建設副産物行動計画（リサイクルプラン21）が発表され、それによると、(a)建設廃棄物の処分等を0にする(b)2000年までに処理量の半減(c)2000年における予測発生量10%の抑制(d)建設発生土のリサイクル率を30%から70%アップという目標が出されており、各自業者共この目標に向かって鋭気努力しているところである。本講は、建設副産物の対策として、主として、総プロで実施した、或は実施している成果を中心に行政上の施策の一部の紹介を含めとりまとめたものである。

1. 1 建設副産物の定義

建設副産物とは、建設工事に伴い副次的に得られる物品であり、再生資源及び廃棄物を含むものである。

再生資源とは、副産物のうち有用なものであって原材料として利用できるもの又はその可能性のあるものと定義される。例えばコンクリート塊はすてれば廃棄物、使用すれば再生資源として位置付けられる。

建設発生土は再生資源であり、廃棄物ではない。副産物の定義及び具体例をそれぞれ図-1.1、1.2に示す。

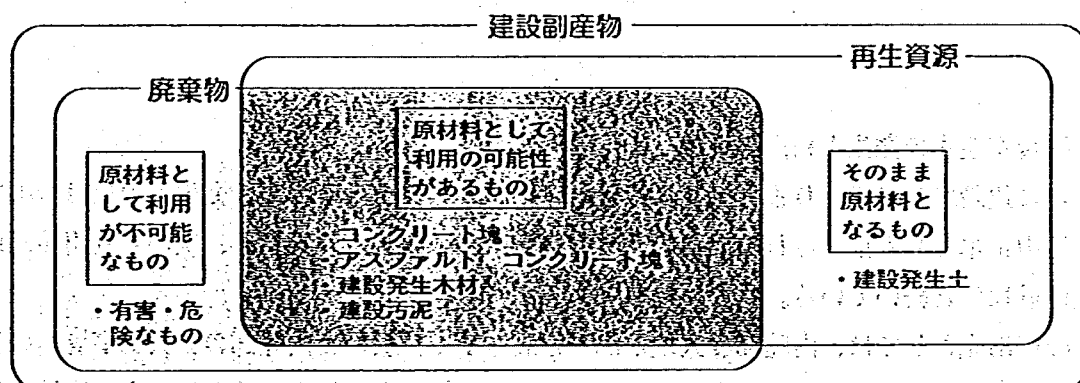
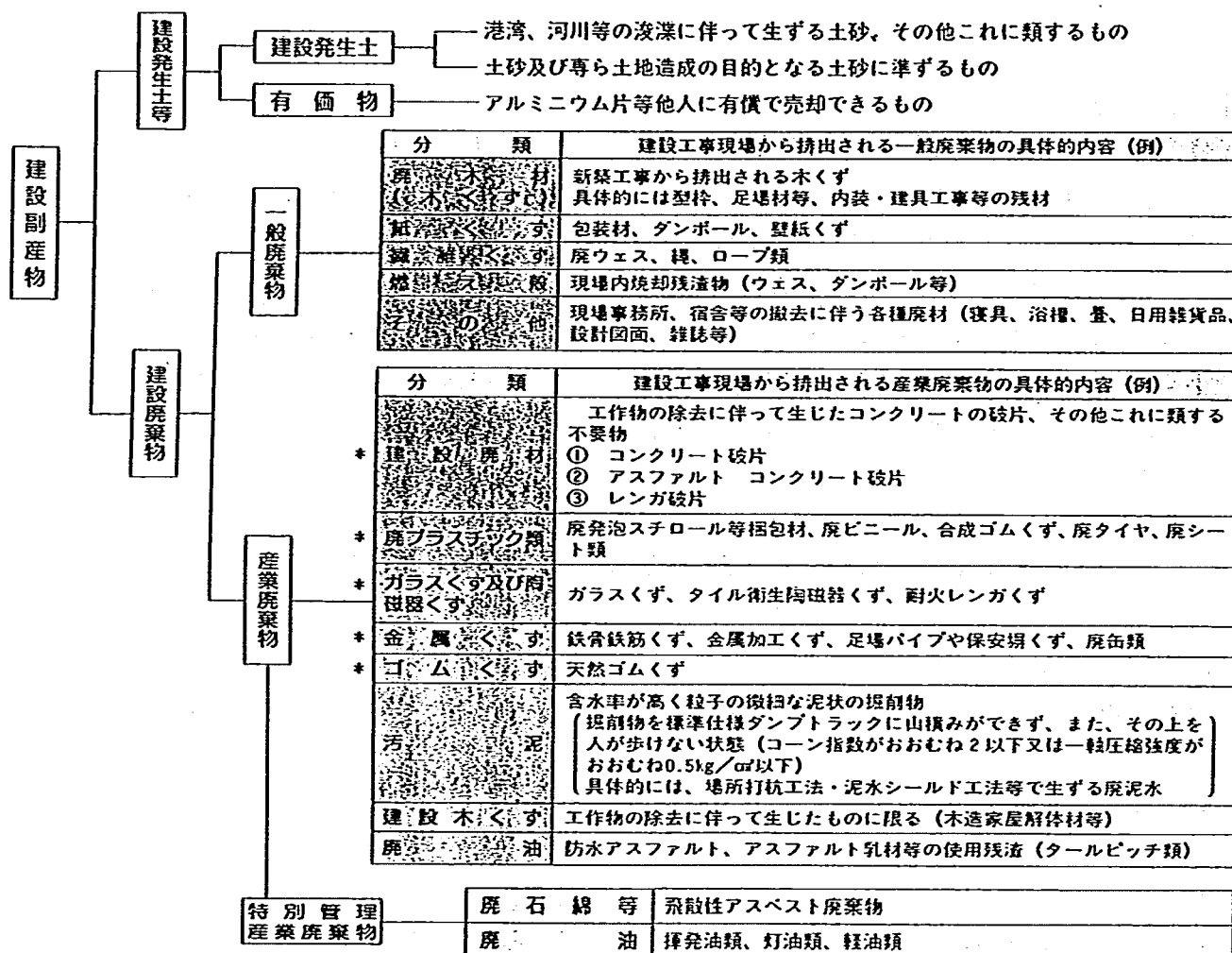


図-1.1 建設副産物と再生資源、廃棄物との関係

1. 2 建設副産物の具体例



* 安定5品目：安定型処分場へ持込みが可能な品目

1. 3 建設副産物の発生と利用の現況

平成2年に建設経済局でとりまとめた「建設副産物調査」によると、建設発生土の量は全国で約37,500m³ (地山m³単位)と推計される。このうち関東地域が全体の27%を占め、次いで九州沖縄地域15%、近畿地域14%と続いている。

発生土の搬出先としては、内陸部受入地が63%と最も多く、次いで内陸部の公共工事等への利用20%、ストックヤード等11%、海面埋立工事6%と続いている。内陸部受入地とは、主に宅地や農地の嵩上げ、谷地の埋立などで、比較的小規模なものが多い。

このような現状の一方で、都市化の進展や環境保全の問題などから、内陸部受入地や海面埋立地といった発生土の処分先の確保が年々困難になりつつある。特に首都圏を中心とした大都市近郊では、処理・処分先の逼迫が深刻になっているのが現状であり、発生土の再利用の促進が求められている。

又、建設汚泥・コンクリート塊・アスファルト塊等の現況は表-1.1に示すとおりである。

表－1.1 建設副産物の処理率

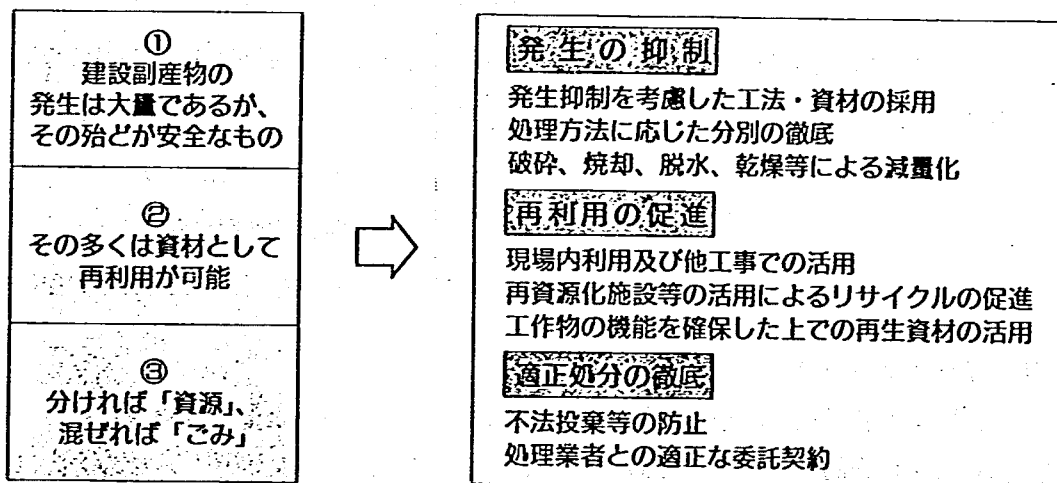
項 目 種 類	排 出 量 (ほぐし ㎡単位)	処 理 率 等 (%)		
		再生利用率	減 量 化 率	最終処分率
建設発生土	45,041万㎡/年	27.6	—	72.4
建設汚泥	1,441万t/年	7.9	12.6	79.5
コンクリート塊	2,544 "	48.1	—	51.9
アスファルト・コンクリート塊	1,757 "	50.4	—	49.6
混合廃棄物	946 "	13.9	17.0	69.1
(小 計)	6,688 "	35.2	19.7	59.7
下水道汚泥	24,000万㎡/年	24.0	99.2	0.5

コンクリート副産物の再利用率は平成2年度で約50%と低く、そのほとんどが舗装の路盤材への利用である。そして残りは廃棄物として最終処分場に捨てられているのが現状である。しかしながら、最近は最終処分場も逼迫してきており、再利用率の向上のために、利用用途を拡大する必要がある。

2. 建設副産物対策

2. 1 建設副産物の特性と対策の3本柱

前述のとおり、建設副産物の発生量は増大しているが、そのほとんどが安全であり、多くは資材として再利用が可能なものである。限りある資源の有効活用を図り、環境の保全に資するため、図－2.1に示す「発生の抑制」、「再利用の促進」、適正処分の徹底」を3本柱とした対策が必要である。



図－2.1

2. 2 関係法令

基本となるのは、昭和45年制定の「廃棄物処理法及び清掃に関する法律」通称（廃棄物処理法）で、廃棄物処理の義務、取締、罰則等からなるものである。更に廃棄物の有効利用、処理の促進等の観点

から以下の法律が制定されている。

再生資源の利用の促進に関する法律

H 3. 10	H 4. 7	H 4. 10	H 5. 6
リサイクル法	改正廃棄物処理法	産業廃棄物処理 特定施設整備促進法	省エネ・リサイクル 支援法
・再生資源の利用 ・再生資源の利用促進	・減量化・再生の促進 ・適正処理の確保 ・処理施設の確保	・施設立地促進 ・周辺公共施設整備	・技術開発の支援

2. 3 総合的な建設副産物対策

建設発生土、建設廃棄物対策に関する当面の推進方針としては、表－2.1に挙げるとおりである。

表－2.1

総合的な建設副産物対策に関する 当面の推進方針	①残土発生量の抑制 ②土質改良プラント・ストックヤードの整備推進 ③残土利用調整体制の強化 ④残土受入地の拡大 ⑤技術基準の設定 ⑥施工条件明示の徹底と積算の適正化 ⑦公衆災害の防止 ⑧調査研究 等	建設廃棄物対策に関する 当面の推進方針	①建設廃棄物の発生の抑制・分別の徹底 ②公共事業等における再生利用の推進 ③混合廃棄物の選別・再生利用の推進 ④情報交換システムの整備 ⑤技術開発の推進 ⑥処理・処分場の立地、整備への支援 ⑦施工条件明示の徹底と積算の適正化 ⑧処理体制の充実等の推進 ⑨不法投棄等の防止対策 ⑩建設廃棄物対策調査 ⑪建設廃棄物対策の推進体制の整備 等
----------------------------	--	------------------------	---

2. 4 リサイクルプラン21

建設副産物に関する各種取組みを再構築し、工事発注者、工事請負企業及び処理会社が一体となって建設副産物対策を総合的に推進するため「リサイクルプラン21」を策定した。この計画は西暦2000年を目標とし、建設省地方建設局、北海道開発局、沖縄総合事務局、公団、地方自治体や建設業団体などから構成される各地方ごとの建設副産物対策連絡協議会において策定されたものである。

リサイクルプラン21は、建設副産物に対し、

- ①設計の工夫等による徹底した発生抑制
- ②工事間の情報交換等による最大限のリサイクル推進

③再利用が困難な廃棄物に対する適正処理の推進

④積極的な技術開発の推進

についての具体的な方策を取りまとめた計画である。

数値目標としては

- ・建設廃棄物…将来的には一部の再利用が困難なものを除き、処分量をほぼ0にすることを目指し、当面西暦2000年までに処分量を半減させるため、予測される発生量に対して10%弱の発生抑制を行うとともに、再利用率等を42%から80%にアップする。
- ・建設発生土…将来的には山砂の使用を極力減らし、当面西暦2000年までに公共工事の利用率を36%から70%にアップする。

3. 建設発生土、建設汚泥の対策について

建設発生土、汚泥の対策は大きく①発生量をできるだけ抑制する。②再利用をできるだけ行うの2本柱からなる。

3. 1 発生抑制技術の開発

発生量の抑制方法は、以下の3項目が挙げられる。

- 1) 掘削断面を小さくすることや切土をなくすなどの構造物の計画面からの対応を図る。
- 2) 副産物の発生量の少ない工法を選定する。
- 3) 発生量を抑制する工法や技術の開発を行う。

一方、計画面からの抑制及び工法選定面からの抑制は、発注者又はコンサルタントの役割分担であることから、総プロでは発生抑制のための計画・工法の選定マニュアルを作成しているところである。抑制工法の開発は、工事実施主体者が主に分担している。

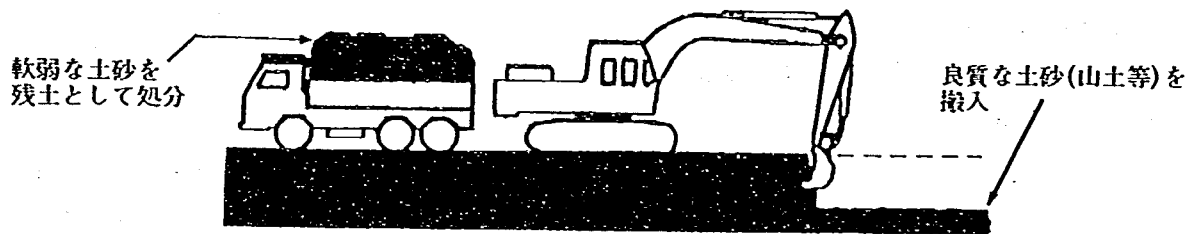
一例として、軟弱路床土の発生抑制技術（軟弱路床土の改良技術）を以下に紹介する。

道路は、長年にわたって通行する車両の荷重を支えるための十分な強さが必要である。このため路床改良は、丈夫で耐久性のある舗装のために以前にまして重要となっている。軟弱な地盤に道路を建設する際には、路床部分の軟弱な土砂を掘削除去し、良質な土砂（山土等）と置換える工法が多く採用されているが、この工法では、多量の不良な掘削残土が発生してくる。

総プロでは、路床安定材を添加して深さ1m程度までを均質に安定処理することによって、良好な路床に改良し、余分な土の発生を抑制する技術を開発した。（図-3.1）目標としては、ここでは①路床安定材の均質な散布・混合、②1mまでの厚層転圧、③施工管理手法等について研究・開発を行った。

これまでの技術としては、ローターによる混合では混合深さは50cm程度しか可能でなかったが新しい機械では、深さ1mまで混合可能な機械の開発を行い初期の成果を納めた。この機械は既にいくつかの現場で使用され始めている。なお、締固め試験の結果50cm～1m部分の締固めに課題が残ることも判明し、今後は更に深さ1m程度までを均質に混合し、十分に締固める安定処理技術の開発と、改良結果を見込んだ路床の設計方法、及び品質管理技術の開発を目指している。

従来工法



当該工法

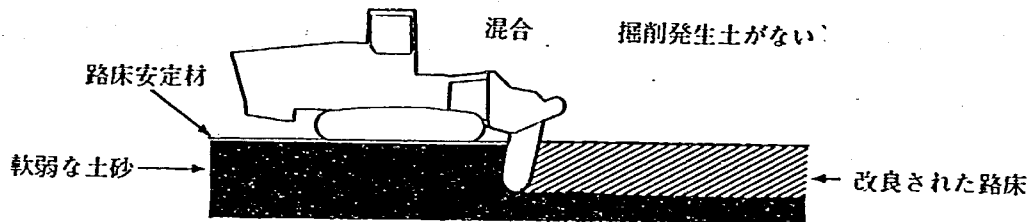


図-3.1

3. 1 建設発生土利用技術マニュアル

建設発生土の有効利用を促進していくにあたり、発生側・利用側双方が共通の技術的判断の下で建設発生土利用の計画・調査・設計・施工を行うためには、土質区分基準や利用用途別の土の品質基準が整備されていることが必要である。そこで、本マニュアルでは低品質の土の適用上の留意事項、発生土利用のための考え方、土質区分基準と土質区分判定のための調査、適用用途標準、用途別利用方法、土質改良工法および施工上の工夫、施工過程での品質保証と施工管理方法等について技術的な知見をとりまとめた。

(I) 土質区分基準

土質区分基準は、発生土のより効率的な利用を図るために、発生側・利用側が共通の指標で発生土を判定し、利用可能な用途を選定する目的で作成したものである。発生土の土質区分は、原則として、コーン指数と日本統一土質分類を指標とし、表-3.1に示す土質区分基準によるものとする。なお、土質改良を行った場合は、改良後の性状で判定する。

表-3.1 土質区分基準

区 分 (建設省令)	土質区分	コーン 指 数 qc ^(*)	日本統一土質分類		備 考 ⁽²⁾	
			中分類	土 質	含水比 (地山) w _n (%)	掘削方法
第1種建設発生土 (砂、礫及びこれらに準ずるもの)	第1種発生土		{G} {S}	礫 砂	—	・排水に考慮するが、降水、浸出地下水等により含水比が増加すると予想される場合は、建設省令の1ランク下の区分とする
	第1種改良土	—	(改良土) ⁽⁵⁾		—	
第2種建設発生土 (砂質土、礫質土及びこれらに準ずるもの)	第2 a種発生土	8以上	{GF}	礫質土	—	
	第2 b種発生土		{SF}	砂質土(Fc=15~25%)	—	
	第2 c種発生土			砂質土(Fc=25~50%)	30%程度以下	
	第2種改良土		(改良土)		—	
第3種建設発生土 (通常の施工性が確保される粘性土及びこれに準ずるもの)	第3 a種発生土	4以上	{SF}	砂質土(Fc=25~50%)	30~50%程度	
	第3 b種発生土		{M} {C}	シルト、粘性土	40%程度以下	
	第3種改良土		{V}	火山灰質粘性土	—	
			(改良土)		—	
第4種建設発生土 (粘性土及びこれに準ずるもの (第3種発生土を除く))	第4 a種発生土	おおむね	{SF}	砂質土(Fc=25~50%)	—	
	第4 b種発生土		{M} {C}	シルト、粘性土	40~80%程度	
	第4種改良土	2以上	{V}	火山灰質粘性土	—	
			{O}	有機質土	40~80%程度	
(泥土) ⁽¹⁾ (浚渫土のうちおおむねqc2以下のもの及び建設汚泥)	泥 土 a	おおむね		(改良土)	—	
			{SF}	砂質土(Fc=25~50%)	—	
	泥 土 b		{M} {C}	シルト、粘性土	80%程度以上	
			{V}	火山灰質粘性土	—	
	泥 土 c	2以下	{O}	有機質土	80%程度以上	
			{Pt}	高有機質土	—	

・水中掘削等による場合は、建設省令の2ランク下の区分とする					
-------------------------------	--	--	--	--	--

*1) 泥土のうち建設汚泥は、廃棄物処理法に定められた手続きが必要である。

*2) 計画段階(掘削前)において土質区分を行う必要があり、コーン指数を求めるために必要な試料を得られない場合には、日本統一土質分類と備考欄の含水比(地山)、掘削方法から概略の土質区分を選定し、掘削後、所定の方法でコーン指数を測定して土質区分を決定する。

*3) 所定の方法でモールドに締固めた試料に対し、ポータブルコーンペネトロメータで測定したコーン指数。

*4) 表中の第1種~第4種改良土は、土(泥土を含む)に改良材を混合し、化学的に性状を改良したものである。例えば、第3種改良土は、第4種発生土または泥土を安定処理し、コーン指数4以上の性状に改良したものである。

*5) 含水比低下、粒度調整など物理的な処理を行った場合には、処理後の性状で再度判定し、改良土としてではなく、発生土として土質区分を判定する。

*6) 第1種改良土は、礫、砂状を呈するもの。

(2) 適用用途標準

適用用途標準は、発生土の利用検討の過程で、発生土の適切な利用用途を把握するために使用する。この適用用途標準は、表-3.2に示す土質区分に対応して設定しており、土質区分ごとの適用性は、以下の事項を考慮して設定した。

① 関係諸基準等の材料規定のうち、最も公的な基準の規格値を重視した。

② 低品質な土においても、施工上の工夫や土質改良を行うことにより、利用可能な範囲を設定した。

表-3.2 適用用途標準

土質区分	用途	工事時の処理		道路(堤防)盛土		土木構造物の盛土		河川・池沼の堤防		一般堤防		宅地造成		公園・緑地造成		水面埋立	
		評価	付帯条件	評価	付帯条件	評価	付帯条件	評価	付帯条件	評価	付帯条件	評価	付帯条件	評価	付帯条件	評価	付帯条件
第1種 建設発生土 (砂、礫及びこれらに準ずるもの)	第1種 発生土	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径・ 浸透率注意	○	最大粒径注意 透水排水対策	◎	最大粒径・ 浸透率注意	◎	—	◎	—
	第1種 改良土	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—
第2種 建設発生土 (砂質土、礫質土 及びこれらに準 ずるもの)	第2種 発生土	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径・ 浸透率注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径・ 浸透率注意	◎	—	◎	—
	第2種 発生土	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—
	第2種 改良土	○	粒度調整 安定処理	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—
	第2種 改良土	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—
第3種 建設発生土 (通常の施工性が 確保される粘性 土及びこれに準 ずるもの)	第3種 発生土	○	粒度調整 含水比低下 安定処理	○	施工上の工夫 含水比低下 安定処理	○	施工上の工夫 含水比低下 安定処理	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—
	第3種 発生土	△	安定処理	○	施工上の工夫 安定処理	○	施工上の工夫 安定処理	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—
	第3種 改良土	△	施工上の工夫	○	施工上の工夫	○	施工上の工夫	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—
第4種 建設発生土 (粘性土及びこれ に準ずるもの(第 3種発生土を除く))	第4種 発生土	△	安定処理	△	安定処理	○	施工上の工夫 含水比低下 安定処理	○	施工上の工夫 含水比低下 安定処理	○	施工上の工夫 含水比低下 安定処理	○	施工上の工夫 含水比低下 安定処理	○	施工上の工夫 含水比低下 安定処理	◎	—
	第4種 発生土	△	安定処理	△	安定処理	○	施工上の工夫 安定処理	○	施工上の工夫 安定処理	○	施工上の工夫 安定処理	○	施工上の工夫 安定処理	○	施工上の工夫 安定処理	◎	—
	第4種 改良土	X	—	X	—	○	施工上の工夫	○	施工上の工夫	△	安定処理	○	施工上の工夫	○	施工上の工夫	◎	—
(肥土) ^{*)} (遊土のうちお おれ ≥ 2 以下 のもの及び建設 汚泥)	肥土a	△	安定処理	△	安定処理	△	安定処理	○	施工上の工夫 含水比低下 安定処理	○	施工上の工夫 含水比低下 安定処理	○	施工上の工夫 含水比低下 安定処理	○	施工上の工夫 含水比低下 安定処理	○	施工上の工夫 安定処理
	肥土b	△	安定処理	△	安定処理	△	安定処理	○	施工上の工夫 含水比低下 安定処理	△	安定処理	○	施工上の工夫 含水比低下 安定処理	△	安定処理	○	施工上の工夫 安定処理
	肥土c	X	—	X	—	X	—	X	—	X	—	X	—	△	安定処理	△	安定処理

*1) 泥土のうち建設汚泥は、廃棄物処理法に定められた手続きが必要である。

凡 例 [評 価] ◎：そのまま使用が可能なもの

○：施工上の工夫、もしくは簡易な土質改良(安定処理を含む)を行えば使用可

△：安定処理等の土質改良を行えば使用可能なもの

X：使用が不適なもの

[付帯条件] —：十分な施工を行えば、そのまま使用できるもの

/：土質改良、施工上の工夫をしても、使用が不適なもの

3. 3 発生土の高度処理技術の開発

従来、発生土の再利用技術としては、土にセメントや石灰などを添加・混合して土質改良した後、盛土や埋戻し等に用いる方法が良く用いられてきた。それに対し、最近、表-3.3に示すような流動化処理土・ハイグレードソイルといった新工法が登場してきている。

流動化処理土とは、土に固化材と泥水を加えて混合することにより製造される、流動性と自硬性を合わせ持つ安定処理土である。主な特長としては締固めが不要なこと、ポンプ等による圧送・打設が

可能なこと、通常の土砂では充填の困難な狭い空間でも容易に充填が可能なこと、などが挙げられる。主な用途としては、地中埋設物の埋戻し、空洞の充填、擁壁等の裏込め等が考えられる。

ハイグレードソイルは、土木研究所と土木研究センターおよび民間38社で研究開発を進めている技術で、発生土を補強あるいは軽量化することによりグレードアップして、付加価値の高い土質材料とすることを目的としている。大きく分けて、気泡混合補強土、発泡ビーズ混合軽量土、繊維混合補強土、袋詰脱水処理工法がある。

表-3.3 発生土の新しい利用技術

技術の名称	技術の細分類		主 な 用 途
流動化処理土	流動化処理土		地中埋設管等の埋戻し材 空洞充填材 擁壁等の裏込材
ハイグレード ソイル	軽 量 混 合 土	気泡混合補強土工法	空洞充填材 擁壁等裏込材 軟弱地盤上や地すべり地の盛土
		発泡ビーズ混合軽量土	擁壁等の裏込材 軟弱地盤上や地すべり地の盛土 軟弱地盤上の堤防
	繊維混合土		盛土法面の侵食防止 河川護岸の洗掘防止
	袋詰脱水処理工法		河川堤防、湖岸堤 土堰堤、堤体の腹付盛土

(I) 流動化処理土

流動化処理土は、土に泥水とセメントなどの固化材を加えて混合して製造する。硬化硬化前は、流動性を持ち、打設時に締固めを必要としないことから、締固めの困難な箇所での埋戻し・充填などに適用すると非常に効果的である。直径8cm、高さ8cmの筒に、試料を充填し、それをガラス板上で引抜き、試料の広がり（直径）を測定することにより、その流動性を評価する。

発生土の利用率を高めた流動化処理土の打設実験

従来の流動化処理工法においては、水（あるいは泥水）の混合率が高く、土の利用率はかなり低かった。しかし建設発生土の有効利用の促進を図るためには、発生土の利用率を高めた流動化処理土（以下、高密度流動化処理土と呼ぶ）の開発が望まれる。そこで関東ローム、山砂、山砂+碎石をそれぞれ原料土とする高密度流動化処理土を作成し、埋設管の埋戻しや自立構造物の構築に適用する場合を想定した実物大の打設実験を行った。

埋設管の埋戻し実験の結果、最もフロー値の小さかったケース（フロー値 115mm）でも充填率は99.0%と極めて高く、図-3.2に示すような間隙が狭く複雑な形状の埋設管であっても、空隙を残すことなく埋戻しを行えることが分かった。また、自立構造物の打設実験では、打設時に型枠に作用する圧力、処理土内部の温度変化等の測定を行った。

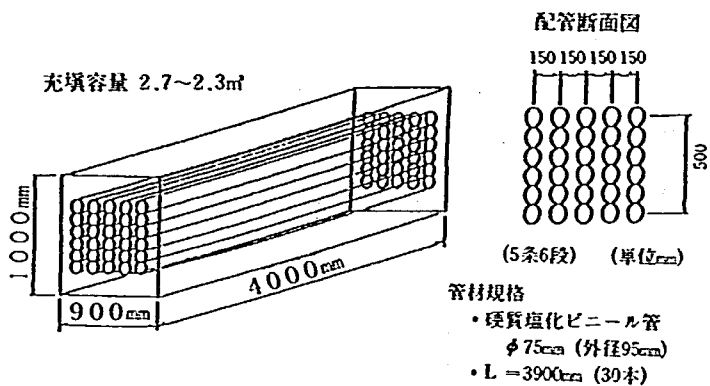


図-3.2 埋設管の埋戻し実験における実験装置

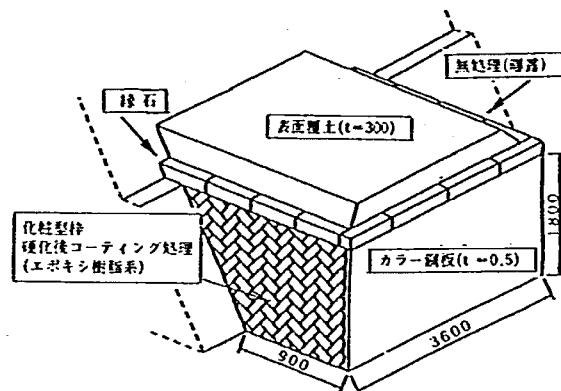


図-3.3 自立構造物の概容

① 路面下空洞充填工事への流動化処理土の利用事例

東京都内の国道について事前にレーダー探査法等による路面下空洞探査を実施した結果、東京都西五反田国道1号線のアスファルト舗装（厚さ約44cm）直下に深さ30cm、広さ6㎡、体積2㎡程度の空洞が生じていることが判明した。このような市街地の主要幹線道路においては、施工時の道路交通規制時間の制約や周辺への影響（騒音など）の懸念などから、開削による修復工事が困難な場合がある。これに対処する方法として、本工事では流動化処理土を空洞に注入・打設する工法を採りあげ、その充填性等を確認した。写真-3.1に充填前後に実施した空洞部のスコープ撮影結果を示す。写真から、流動化処理土により空洞が十分に充填されていることが分かる。また施工に要した時間は3時間45分であった。

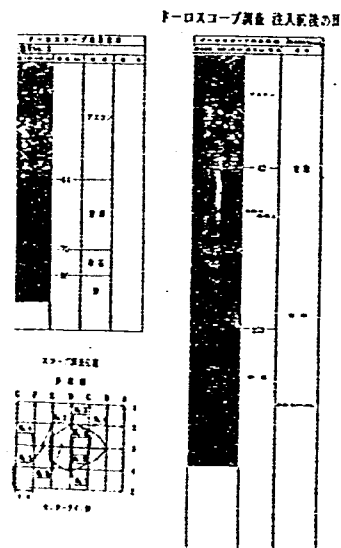


写真-3.1 打設前後の空洞充填の状況

② 共同溝への流動化処理土の利用事例

本工事は、大阪駅の南西約0.7kmに位置した市街地における共同溝の埋戻し（約1600㎡）に流動化処理土を利用したものである。本工事箇所において発生する掘削土の大部分は軟弱なシルト質土および粘土であり、そのままでは埋戻し材として利用することができない。また共同溝の埋戻しは施工幅が狭いため通常の埋戻し材料では十分な締固めが難しく、締固め不足により道路や埋設物に悪影響を及ぼす懸念がある。そこでこれらの問題を解決する方法として現場発生土を用いた流動化処理土による埋戻し工法が採用された。埋戻し部分の標準断面図を図-3.4に示す。

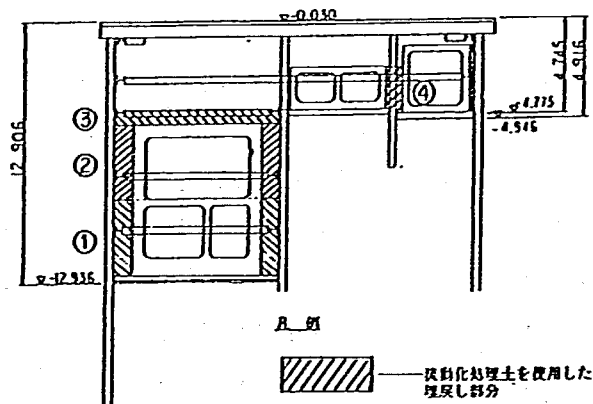


図-3.4 埋戻し部分の標準断面図

(2) 気泡混合土

気泡混合補強土は、土と水とセメントを混合しスラリー化したものに、気泡を混合し、軽量化した材料である。軽量性の他に、あらゆる発生土を原料土として利用できること、硬化前は流動性があるのでポンプ圧送が可能なこと、締めかためが不要なこと、自硬性があること、などの特徴がある。主な用途としては、軟弱地盤上や地すべり地での盛土、空洞等の充填、地下埋設物の埋戻しなどが考えられる。図-3.5にプラントのフロー図を示す。

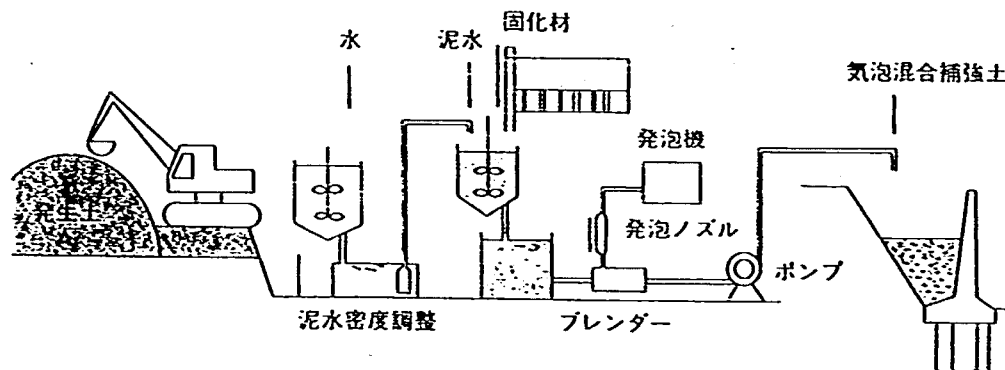


図-3.5

(3) 発泡ビーズの混合軽量土

発泡ビーズ混合軽量土は通常、土砂と軽量の発泡樹脂のビーズ、固化材（場合による）を混合して製造する。固化材の添加量を抑えれば、通常の土砂に近い変形追随性が得られるので原地盤とのなじみの良い軽量土質材料といえる。使用する発泡ビーズを写真-3.2に示す。これは、発泡スチロールのビーズであるがその他材質としては、発泡ポリプロピレンや発泡塩化ビニリデンなどがある。

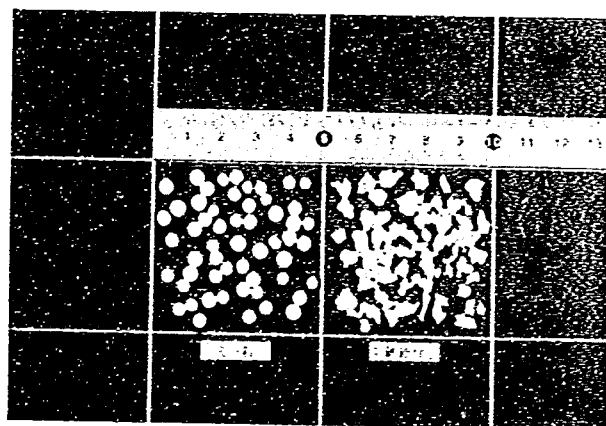


写真-3.2

図-3.6は平成元年に、建設省酒田工事事務所が行った、地すべり地での道路改良工事の断面図である。改良前の現場は、地すべりのため、延長120mにわたって、最大60cm沈下した状態であった。そこで道路を嵩上げし、計画高にそろえる必要があったが、通常の土砂で盛土すると、荷重の増加により地山のすべり安全率を確保出来なくなる。そこで、図に示す部分に発泡ビーズ混合土を使用し、地

山への荷重の増加を防止した。

配合密度は湿潤密度で $1.2(\text{tf}/\text{m}^3)$ とし、強度は、路床材であることを考慮して CBR 4 % 以上を目標し、セメントを 5 % 程度添加している。

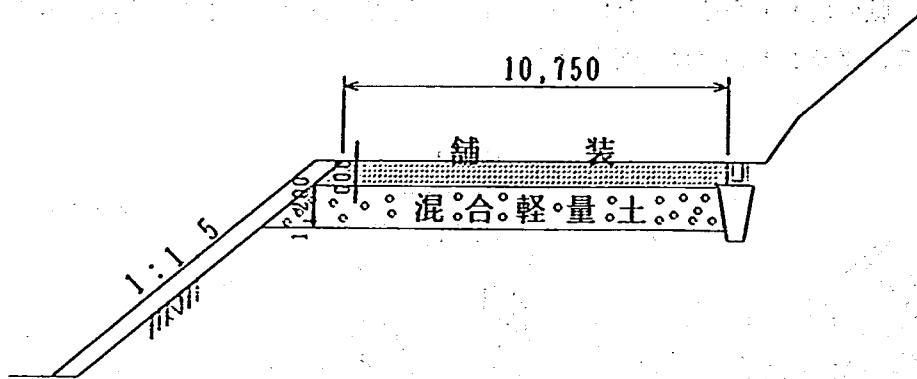


図-3.6

(4) 袋詰脱水処理工法

袋詰脱水処理工法は、泥土などの高含水比の土をポリエステルなどの袋に詰めて、土の分散や流れ出し、吸い出し等を防止するとともに、排水の促進を図ることによって土の利用を図るものである。袋自体は、雨や波浪などの侵食に対しては相当耐久性があるが、袋の材料であるポリエステルは、太陽光線によって劣化するので耐久性を高めるために表面に覆土を施す等の工夫が必要である。

① 道路清掃土の袋詰脱水処理事例

東北地方建設局郡山工事事務所に於いて、道路施設の排水施設清掃時に発生する汚泥を図-3.7に示すように排水施設内に沈澱堆積した汚泥を袋詰脱水処理し、有効利用を図るためその性状を調査した。その結果、袋からの排出水のSS濃度は注入後20分で $20\text{mg}/\text{l}$ 以下に低下し、pHも問題なかった。また、注入後4週間経過した時点で含水比は200%以下に低下し、コーン指数も $0.8\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上の強度が得られ、さらに3ヶ月後には $2.0\text{kgf}/\text{cm}^2$ を超えることがわかった。

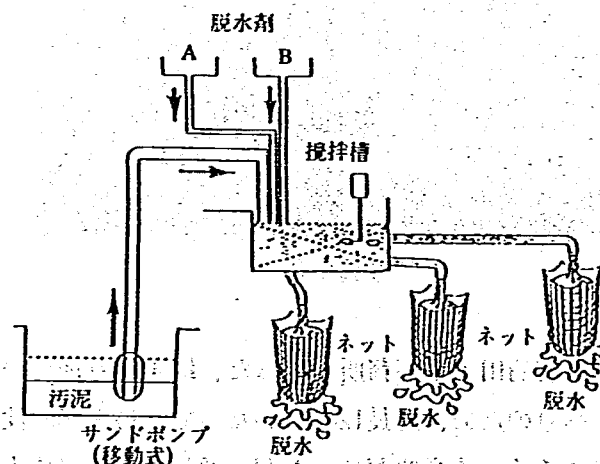


図-3.7 工事概要

② ダム堆砂の袋詰脱水処理事例

四国地方建設局松山工事事務所では、石手川ダムの堆積土砂の処理が問題となっている。そこで、袋詰脱水処理工法を用いてダム堆砂を処理し、図-3.8に示すように近隣の崩壊したのり面に袋詰脱水処理土を積み上げ有効利用を図った。現地の土砂を用いた袋詰脱水処理土の屋外放置実験及び水浸実験を行い、袋詰脱水処理土を河川構造物の一部として機能させるための調査を行った。その結果、屋外放置実験では、堆積土砂を詰めた袋体は、約1ヶ月経過後コーン

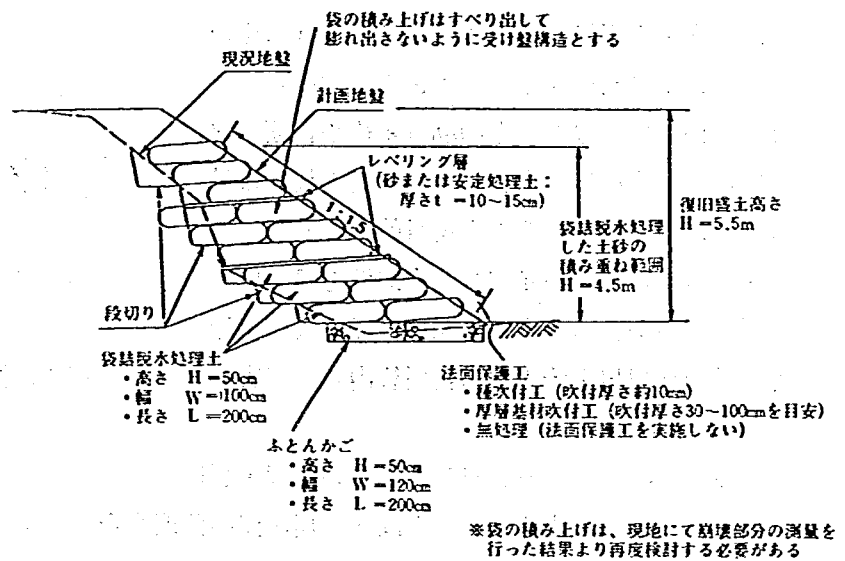


図-3.8 現地施工イメージ図

貫入抵抗は 3.0kgf/cm²以上に増加し、また排出水のSS濃度も安定しており問題なかった。また、袋詰脱水処理土を水浸すると、経時的に含水比は増加し、コーン指数は減少するが、水浸によるSS濃度の影響やすべりに対する安定度はほぼ問題ないことがわかった。

(5) 繊維混合土

繊維混合土は、土に短く切ったポリエステルなどの短繊維を重量比で 0.1～数%、混合して、ねばり強さや、耐侵食性の向上をねらったものである。

③ 堤体の裏面保護への繊維混合土の適用事例

雄物川神宮寺地区の暫定断面築堤(施工延長200m、約650m³5工区)において溢水時の現位置発生土を用いた繊維混合土を作成し、堤内地側のり面の耐侵食性を向上させるための適用性試験を実施した。

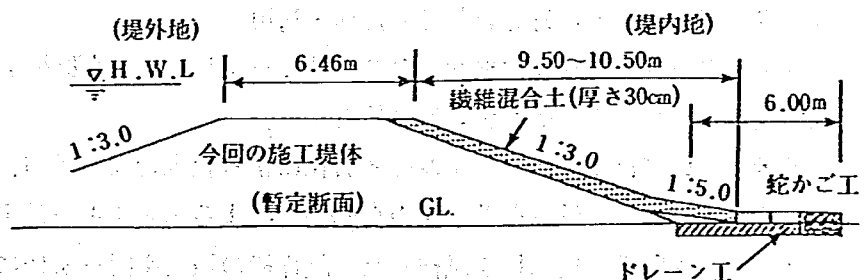


図-3.9 施工断面図

施工断面図を図-3.9に示す。

原料土は、低水敷掘削土(礫混じり砂)をふるい分けしたものを、繊維混合土は繊維の混合量、長さを変えてそれぞれの施工性の比較を行った。その結果、繊維は土中でよく分散し均一に繊維混合土が製造されることが確認された。

3. 4 建設汚泥の高度処理技術の開発

1) 建設汚泥改良土を用いた試験盛土工事

試験盛土工事は、建設汚泥などの高含水比の土質を盛土に利用する際の改良土の強度と施工性の関係、施工段階ごとの品質変化や長期的な安定性、および環境影響について実大規模の試験盛土により検討することを目的とする。

試験盛土は静岡バイパス（中部地方建設局静岡国道工事事務所管内）、利根川堤防（関東地方建設局利根川下流工事事務所管内）、で実施し、リーバス杭掘削汚泥等を固定処理して盛土材として利用する予定である。

2) 建設汚泥のドレーン材等としての処理・利用

高压蒸気養生によるセメント固化処理汚泥の強度発現特性に関する実験、および脱水乾燥汚泥の焼成による粒状材料の材料特性に関する実験を行った。

前者の実験では泥水シールド工事の廃棄泥水を用いて、その乾燥重量に対して20% (72.1kg/m³) の高炉セメント (B種) を添加し、脱水圧力25kgf/cm²で脱水処理したものを高压蒸気養生した（養生条件は図-3.11参照）。この結果、空气中養生28日の一軸圧縮強さ（平均87.3kgf/cm²）を大幅に上回る強度（平均152.1kgf/cm²）が得られ、高压蒸気養生の有効性が顕著に認められた。

後者の実験では地中連続壁工事の廃棄泥水を用いて、脱水・炉乾燥後に壊砕したものをロータリーキルンにより温度約1080～1100℃で焼成した。この結果、破碎率、スレーキング率とも極めて小さな焼成物が得られ、ドレーン材等として十分利用可能であることを確認した。

3) 浚渫底泥の嵩上げ材等としての処理・利用

フィルタープレス式脱水機およびスクリーブレス式脱水機の2つの機械的脱水工法について、浚渫底泥処理への適用性等を実験的に検討した。

前者については、脱水ケーキ厚の薄層化による脱水時間の短縮、脱水圧力の高压化（25kgf/cm²程度）による脱水処理土の性状改善、圧力自動制御によるエネルギー効率の改善等をねらいとしたシステムを検討し、実験用の脱水機を試作した。試作機の概要を図-3.12に示す。同試作機により霞ヶ浦の浚渫底泥を脱水処理した結果、第3種土質材料相当程度まで脱水が十分可能であることを確認した。

後者については、既存の実験用小規模脱水機により東京都の仙台堀川の浚渫底泥を脱水処理した結果、通常の高分子凝集剤さらにポリエステル短繊維を添加することによって第3種土質材料相当程度まで脱水が可能であることを確認した。

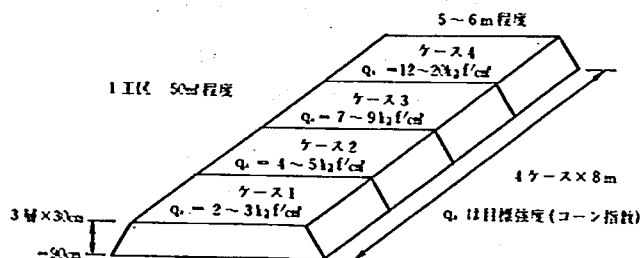


図-3.10 試験盛土のイメージ図

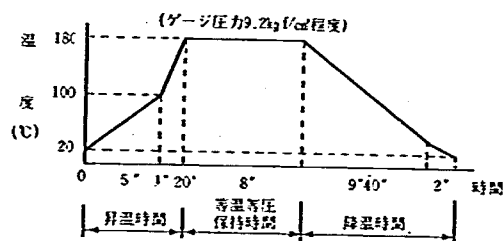


図-3.11 高压蒸気養生の条件

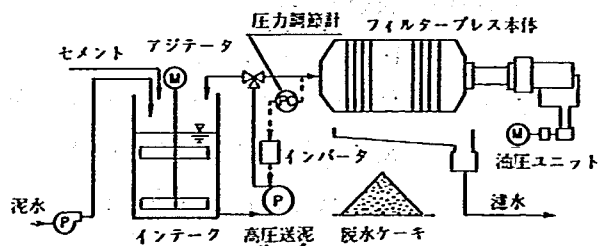


図-3.12 実験機の概要

3. 5 改良土からの浸出水およびガラ混じり土に関する試験

1) 土のアルカリ中和能力および土中でのアルカリ浸透深さに関する試験

種々の試料土に対して、土のアルカリ中和能力の測定、高アルカリ水の浸透による土のアルカリ化の進行状況の測定を行い、土質別のアルカリ中和能力およびアルカリの浸透深さの把握を行った。その結果、以下のことが分かった。①粘土分や強熱減量が大きい土ほどアルカリ中和能力が大きい。②アルカリ中和能力が比較的大きい関東ロームでは、試料土容積の5倍まで消石灰飽和水溶液を注入してもアルカリ浸透深さは20cm程度と小さい。

表-3.4 土のアルカリ中和能力の概略値

土の種類	アルカリ中和能力 (10^{-5} mol/g)
ローム	100~300
鹿沼土	200
腐植土	100
ビート	80~100
粘土	60~90
山砂	10~40
シルト	20~40
川砂	5~40
まさ土	9
シラス	2~4

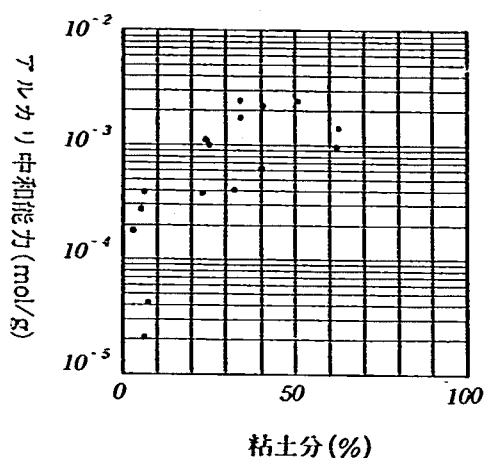


図-3.13 粘土分のアルカリ中和能力の関係

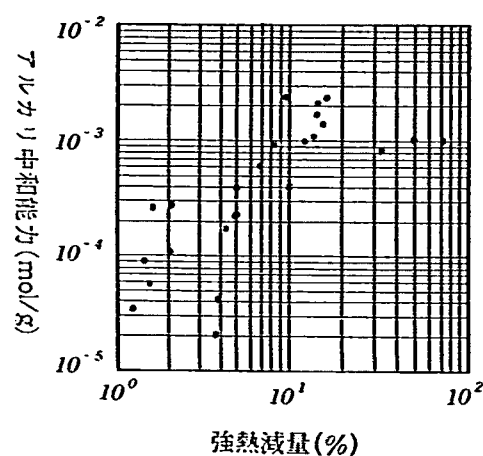


図-3.14 強熱減量とアルカリ中和能力の関係

2) ガラ混じり土の転圧試験

ガラ混じり土の土質材料としての適用性を検討するため、ガラの粒径や混合率を変えた種々のガラ混じり土を転圧し施工性の観察、現場密度試験、道路用平板載荷試験、現場透水試験を実施した。その結果、以下のことが分かった。①最大粒径が20cm以下の場合、ガラ混入率40%以下なら通常の土と比べて締固めの特性、施工性ともに遜色ない。②施工性の点から、最大粒径が20cmを超え30cm以下のガラ混入率は10%以下にすることが望ましい。

4. コンクリート副産物の対策について

4. 1 コンクリート副産物の利用形態

コンクリート副産物の利用形態は、表-4.1に示すようなものが挙げられる。これらは、表の下に行くほど処理に要するエネルギーが大きくなるため、基本的には上の方ほど使い方がよいが、用途に限られる。このため、コストや流通等の条件を考え、合理的な利用方法を選択する必要がある。

一般的なコンクリート副産物の利用形態は、コンクリート構造物を切り出したもの、大割にしたものおよび小割にしたものの3通りである。

切り出したものは、ブロック、平板、棒状といった形や大きさ等により、用途が決まってくる。また、加工方法から解現場および付近での利用に限られる。漁礁や敷石等の利用方法がある。

大割にしたものは、割石や床固め材等の利用方法がある。玉石を河川上流部で採取することは、河床を痛めるため河川環境を損なってしまうことがある。そのため、床固め用の玉石の代替材としての利用は有望である。

小割したものは、舗装用路盤材やコンクリート用骨材としての利用方法がある。路盤材やコンクリート用骨材は、現在砕石が用いられている。しかしながら、採石場の不足や輸送問題、そしてこれに伴う環境問題等が発生している。このため、これらの代わりにコンクリート副産物を利用することは、資源の有効利用と環境問題に関し、一石二鳥である。ただし、路盤材としては品質上それほど問題はないが、コンクリート用骨材としては、できあがったコンクリートの耐久性に影響することから配慮が必要である。

表-4.1 コンクリート副産物の有効利用方法の例

利 用 形 態		用 途
部材を利用		漁礁・敷石等
20cm～40cmの塊状		割石・床固め材等
破 碎 材	粗割材	路盤材・埋戻し材・基礎材等
	粗骨材 細骨材	コンクリート用・路盤材 アスファルト用・埋戻し材等
(処理で副産された粉末)		地盤改良・フィラー等

4. 2 コンクリート副産物の再利用に関する基準

平成6年4月に通達された「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準(案)」は、当面のコンクリート副産物の再利用促進策として、①コンクリート用骨材、②舗装用路盤材、③埋め戻し材・裏込め材として再利用する際の目安となる品質基準(案)を取りまとめたものである。

このうち、舗装用路盤材については、「プラント再生舗装技術指針」(日本道路協会)に使用基準が定められており、検討を行った結果これを準用した。

再生骨材は解体したコンクリート塊を破碎、粒度調整をして得られるコンクリート用骨材で、原骨材とそれに付着しているモルタル分からなる。再生骨材の品質は、付着しているモルタル分の品質や量に著しく影響される。

このため暫定品質基準（案）では、モルタルの付着量と品質に関連の深い吸水率および骨材の耐久性の指標である安定性損失重量を再生骨材の品質の指標とし、この2項目により再生細骨材を2種類、再生粗骨材を3種類に分類した。

それぞれの吸水率と安定性の上限値は、コンクリートの強度および耐久性に及ぼす影響を考慮して定めたものである。

表－4.2 再生骨材の品質

項目 種別	再生粗骨材				再生細骨材	
	1種	2種		3種	1種	2種
吸水率（％）	3以下	3以下	5以下	7以下	5以下	10以下
安定性	12以下	40以下 (40以下)	12以下 (注)	－	10以下	－

再生骨材を用いたコンクリートでは、コンクリート強度は再生骨材の付着モルタル分に左右されるため、セメント水比を大きくしても普通コンクリートほど強度は大きくならない場合が多い。

この基準では、これまでに得られた知見やデータをもとに、大幅に単位水量を増やさずに再生骨材を使用できる範囲を考慮し、かつ構造物の強度や耐久性に問題を生じないように、また経済性を考慮して表のような骨材の組み合わせと用途を示した。ただし、別途検討を行い、その構造物の使用条件下では何ら問題がない場合にはこの組み合わせに限定されなくともよいものである。

表－4.3 再生骨材コンクリートの種類

再生骨材 コンクリート の種類	再生骨材コンクリート の用途	使用粗骨材	使用細骨材	目安となる設計基準強度
I	鉄筋コンクリート、 無筋コンクリート等	再生粗骨材1種	普通骨材	180～210kgf/cm ²
II	無筋コンクリート	再生粗骨材2種	普通あるいは 再生細骨材1種	160～180kgf/cm ²
III	捨てコンクリート等	再生粗骨材3種	再生細骨材2種	160kgf/cm ²

4.3 コンクリート副産物の利用事例

コンクリート副産物の再利用の形態は、切り出し、大割および小割などに大別される。前述したように、これらの形態ごとにさまざまな利用方法が考えられる。そこで、再利用方法の参考として、建設省のモデル事業として行った工事から以下に形態ごとの利用事例を紹介する。

① 切り出して再利用した事例

ここで紹介するのは、古くなったプレストレスとコンクリート橋梁の桁を切り出して再利用を行ったものである。これは、写真－4.1に示すようにコンクリート桁を梁ごとに切り出し、付近の河川堤防の濶を補強する工事を行ったものである。

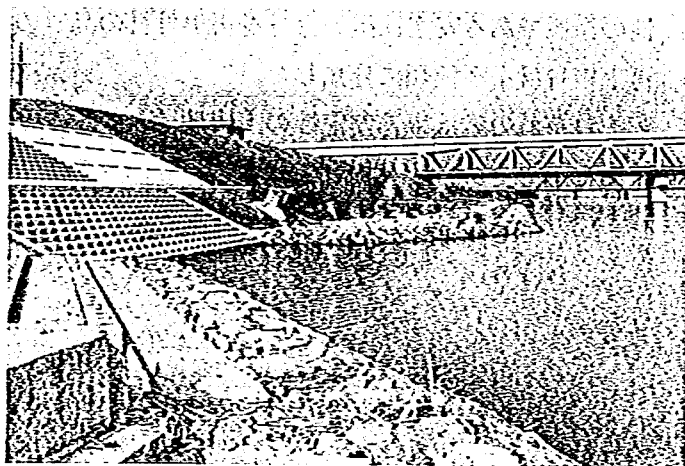
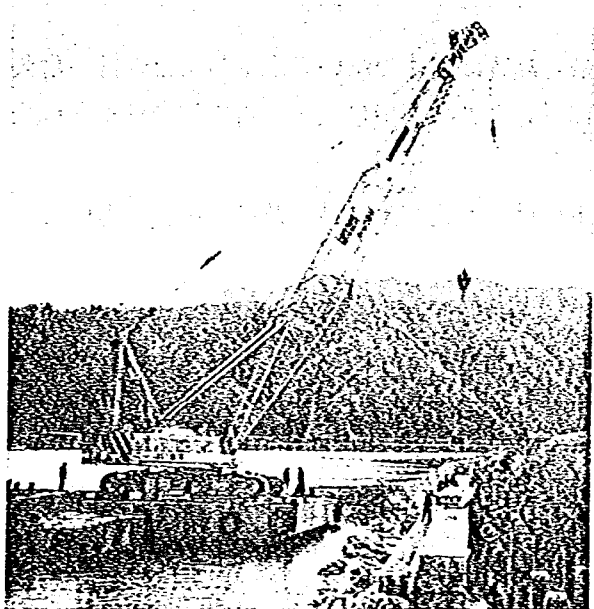


写真-4.1 コンクリート梁を切り出して再利用した事例

② 大割にして再利用した事例

ここで紹介するのは、20～30cmに割ったコンクリートを、玉石の代替材として河川堤防の床固めに用いたものである。これは、写真-4.2に示すように敷き均したコンクリート塊の上に鉄網をかぶせて安定させ、上に土をかぶせて緑化したものである。

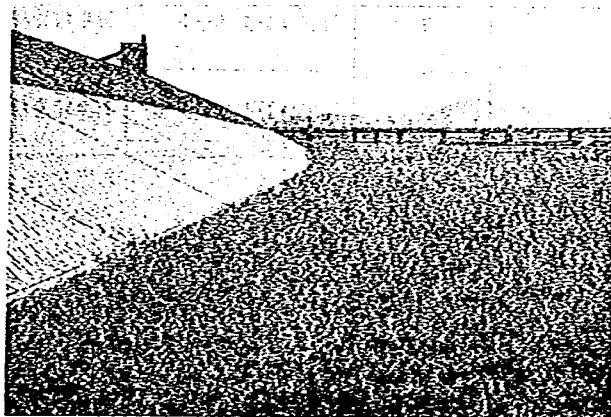
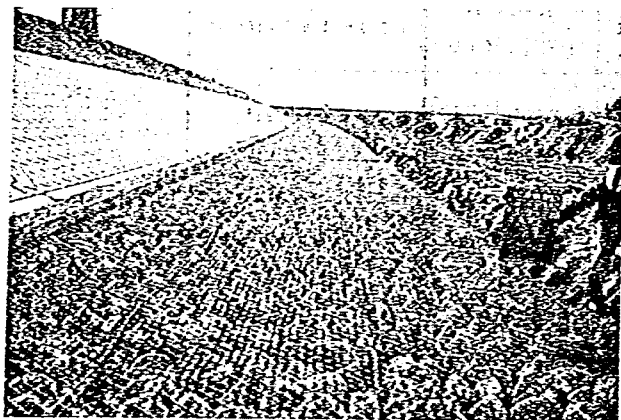
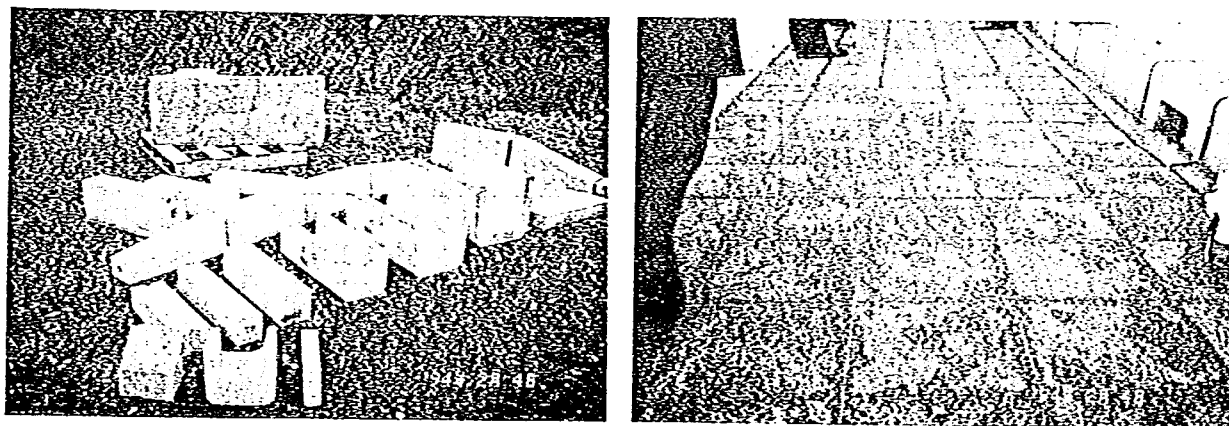


写真-4.2 大割した再生材を玉石の代替材として利用した事例

③ 小割りして再利用した事例

ここで紹介するのは、写真-4.3に示すように、歩道部の基礎材、路盤材、緑石ブロックやU字

溝および歩道版のコンクリートの骨材、現場打ちコンクリートの骨材等、すべてに利用した例である。二次製品や現場打ち部分のコンクリートも、外見上は普通のコンクリートと何ら変わらない。洗い出しの歩道版は、玉砂利に比して表面が粗いために滑りにくく効果的である。



写真－4.3 小割にした再生材を路盤材やコンクリート用骨材（生コン）に利用した事例

5. アスファルト副産物の対策について

舗装のリサイクル

舗装のリサイクル工法は、対象とする層、材料の混合方法によって表－5.1のように分類され、それぞれの工法は以下のように定義づけられる。

- ① プラント再生舗装工法：舗装発生材等を定置式の混合所（再生混合所）において再生し、道路舗装に利用する工法。
- ② 路上再生路盤工法：路上において既設アスファルト混合物を破碎し、これをセメントやアスファルト乳剤等の安定処理材と既設粒状路盤材料等とともに混合、転圧して新たに路盤をつくる工法。
- ③ 路上表層再生工法：路上において既設アスファルト混合物を加熱、かきほぐし、必要に応じて新しいアスファルト混合物や再生添加剤等を加え、これを敷均しおよび転圧して新たに表層または基層をつくる工法。

このうちでプラント再生舗装工法については、省資源、廃棄物処理等の観点から、昭和50年代の半ばから本格的に実施されるようになり、以後、今日まで着実にその実績を拡大してきている。さらに平成3年には「再生資源の利用の促進に関する法律」が施行され、舗装発生材のさらなる利用が要請されてきている。

プラント再生舗装に関する技術指針としては、昭和59年に「舗装廃材再生利用技術指針（案）」が発刊されていたが、平成4年12月に、D交通表層への利用の制限を解除する等の改訂がなされ「プラント再生舗装技術指針」として出版されている。

今後、舗装の再生利用をさらに促進していくためには、「路上再生路盤工法技術指針（案）」（昭

和62年)、「路上表層再生工法技術指針(案)」(昭和63年)の見直しを行うとともに、プラント再生舗装工法について以下の課題について引き続き検討していく必要がある。

- ① 再生混合物舗装の供用性評価。
- ② 再生混合物の再生利用(再々生)、改質アスファルト混合物の再生骨材の取扱い。
- ③ 再生工法の品質管理の合理化、省力化。

表-5.1 再生利用工法の分類

対象とする 舗装発生材	再生する 場所	再生材を適 用する舗装 構成層	再生工法
アスファルトコ ンクリート発生 材, セメントコ ンクリート発生 材, 路盤発生材	プラント (定置式)	上層路盤	プラント再 生舗装工法
	現位置	下層路盤	路上再生路 盤工法
アスファルトコ ンクリート発生 材	プラント (定置式)	基 層	プラント再 生舗装工法
	現位置	表 層	路上表層再 生工法

6. 下水汚泥の対策について

我が国の下水道は、近年急速に整備が進められ、およそ国民二人に一人が利用できる水準(平成4年度末普及率47%)に達している。そして、下水を処理した結果として発生する汚泥も年々増加し続けており、この汚泥はこれまで廃棄物として主に埋立処分されてきた。しかし、廃棄物の再利用が社会的に強く要請される中で、下水汚泥のリサイクルの状況を紹介したい。

下水汚泥の有効利用には、汚泥自体の有効利用と、汚泥の嫌気性処理の過程で発生するメタンガスなどのエネルギー利用が挙げられる。この状況を示したのが図-6.1の下水汚泥資源の木である。図中の項目の中で実用化されているのは、メタンガスの発電や加温用燃料、焼却灰のレンガや土質改良材、コンポスト等の肥料や土質改良材などへの利用である。焼却灰からのレンガ製造は埼玉県や東京都で実施されており、その他いくつかの地方公共団体でもその導入が検討されている。

また、汚泥中には、有機物、窒素やリンなどの肥効成分を多く含んでいることから、これを緑農地に利用することが古くから実施されてきた。しかし、農業も機械化されるにつれて、その取扱い性等が重要視されるようになってきたため、汚泥のコンポスト化(たい肥化)装置や乾燥装置が導入され、利用面での改善を図るところが増加してきている。

下水汚泥の有効利用の割合は平成4年度末の発生汚泥(乾燥汚泥ベース)でみると、緑農地への利用が約13%、建設資材としての利用が約7%と、いまだ小さいのが現状であり、この割合をいかに高めるかが今後の大きな課題となっている。これを実現していくためには、高齢化社会の招来や環境保全への配慮を十分に念頭におきながら、下水汚泥処理施設や再利用施設の集約化と機械化・自動化の推進が有効な方策の一つになっている。

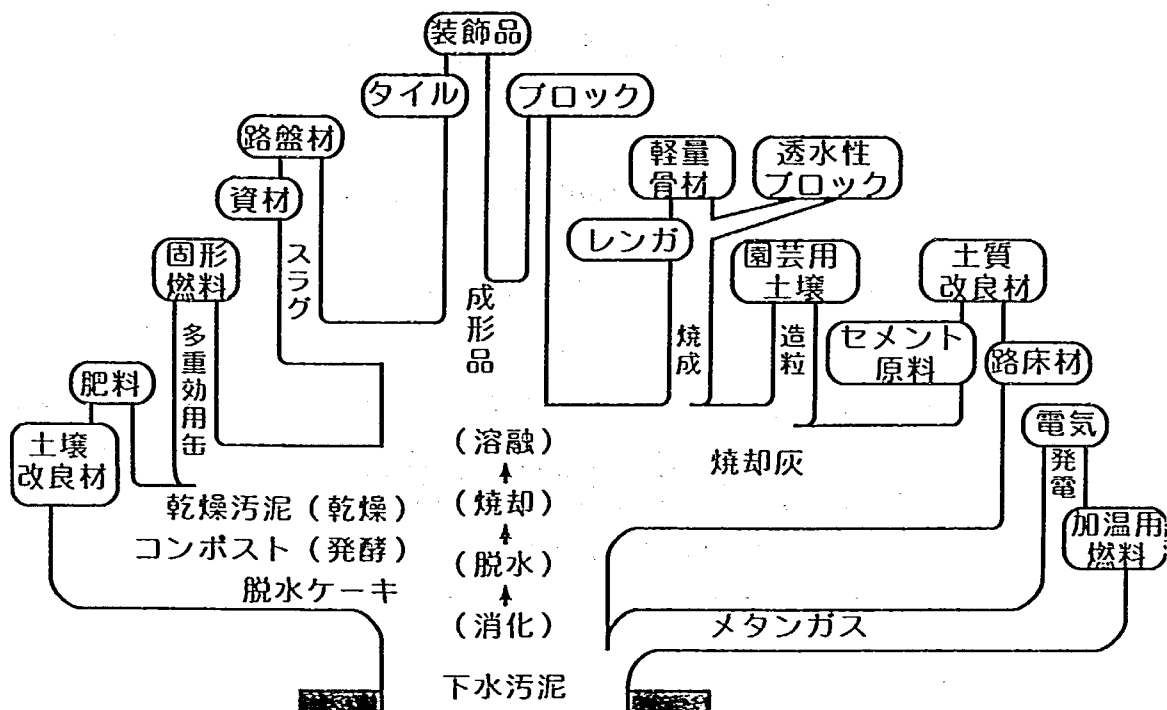


図-6.1 下水汚泥資源の木

7. 再利用の経済評価

7.1 経済利用の立脚点

建設副産物の再利用化は埋立処分費によるところが大きく、最終処分施設が比較的容易に利用できる地域や再資源化施設が希少な地域では、再利用は経済的に妥当でないと判断されてしまうことになる。しかしながら外部経済及び外部不経済効果をも考慮した費用便益分析により、処理処分と再利用の評価を行うことが必要であると考えなければならない。

現状の市場経済について環境の保全、資源の保全等にかかる社会費用を十分に内部化してないことがしばしば問題として指摘される。これは、建設副産物についてもまったく同様にあてはまることであり、社会的に最適な建設副産物処理を実現して行くためには、建設副産物の再利用を行わなければ生じるであろう社会的費用を軽量化し、それらを何らかの形で内部化することによって、再利用に対するインセンティブを付与していく必要があると考えられる。

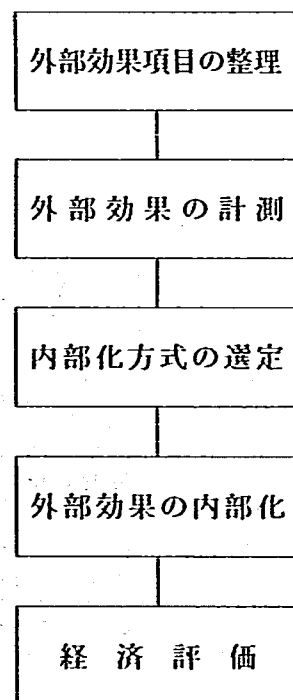


図-7.1 建設副産物の経済評価フロー

7. 2 外部不経済項目の整理と計測方法

ここでは、建設副産物の最終処分を例にとり、外部不経済項目の洗い出しと計測方法について検討を行った。

(1) 最終処分を行った場合の外部不経済項目

最終処分場の設置、処理過程における外部不経済の一例を表-7.1に示す。

表-7.1 最終処分に関する外部不経済項目

最終処分場時期	外部不経済項目
設置時	林産物等生物資源の損失、自然景観の損失、大気浄化力の低下、水源保水力の低下、水質汚濁、水害
稼働時	大気汚染、搬入道路の破損、周辺住宅等への騒音・振動・飛塵被害、処分場への無断侵入による事故、交通混雑による事故・交通時間ロス
終了時	放置による水質汚濁・水害、周辺住宅等への飛塵被害

(2) 外部不経済項目の計測手法

環境経済学において環境価値の大きさを計測する方法には、まだ信頼に足る方法はないといわれているが、表-7.2のような計測方法が考えられている。このうち②、③は個別的な問題に対応した方法と言え、データ収集もかなり困難であり、本研究への適用は難しい。今回のような最終処分場の計測では統計的処理が行える①の適用が容易である。つまり、最終処分場について言えば、全国の最終処分場の立地条件、設備投資の内容・大きさ、処分方法の内容・費用等を調査し、環境対策をよくしている最終処分場としていない処分場との比較分析を統計的に行うことにより、外部不経済効果を計測することができる。

表-7.2 外部不経済項目の計測方法

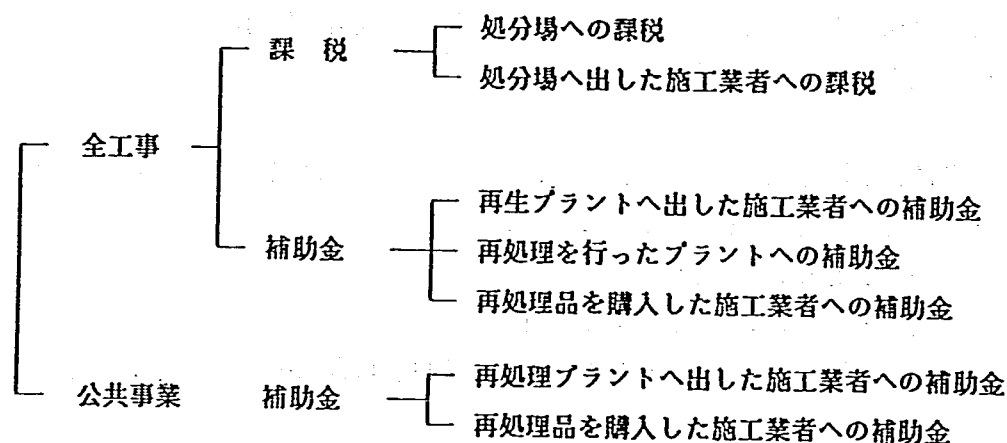
計測方法	概要
①ヘドニック価格法	環境条件の違いがどのように地価あるいは住宅価格の違いに反映されているかを観察し、それをもとに、環境の価値を不動産価格によって測定する方法である。環境改善の便益は地下の上昇に反映されるので、地下を観察することによって便益を推定することが正当化できるとするヘドニック説による
②個別積上げ法	最終処分場に関わる社会的費用項目の計測可能を含めて整理し、それぞれについて個別に費用を積算する計測方法。調査例として1978年「江東区各地帯の地盤沈下による被害額」がある。これは環境破壊という経済的損失の大きさを、正当に評価するための第一次的接近として社会的損失や社会的費用支出額を丹念に積み上げている。
③擬制的市場方法	例えば、最終処分場が設置される周辺住宅等を対象として、最終処分場の設置による自然環境や生活環境への影響（あるいは被害）の大きさについてアンケート（値を付けさせる）し、大きさが収束するまでアンケートを繰り返すなどしてその金額的大きさを得る方法

7. 3 外部効果の内部化

汚染物質を対象に考える場合、排出削減のための政策手段としては、表－7.3のようなものがある。これらは公害等の原因者に対して拠出金、課徴金等に課すこと、あるいは汚染物質排出削減に対する補正値を与えることによって、外部効果の内部化を行うものである。現行の事例としては、大気汚染に関しては公害健康被害保証制度による汚染事業者の賦課金と自動車重量税、航空騒音の公害対策としてジェット特別発着料等がある。図－7.2に建設副産物の処理・処分、再利用に関する外部効果の内部化方策の一例を示す。

表－7.3 外部効果の内部化方策

項 目	概 要
課徴金制度	・企業の生産活動に課徴金を課し、相対的に生産費用を上昇させ、生産量を適正規模にし、外部不経済を除去、軽減させるも制度
補助金制度	・企業の汚染物質排出削減に対して補助金を与え、外部不経済の除去、軽減を図る
排出金制度	・汚染物質を排出する権利という売買の対象になる財産権を設定し、その売買市場を通じて最適な汚染水準を達成する
直接規制	・汚染物質の排出を直接規制する者で、緊急に抑制できるものとされているが、汚染物質の排出を抑制するような技術開発を刺激する効果は小さいとされている
環境保証金制度	・環境問題を起こしやすい事業を始めるとき、保証金を予め支払い、問題がないときに返還する制度
罰金制度	・環境を汚染したときや規則に違反したときに罰金を課す制度



図－7.2 建設副産物に関する外部効果の内部化方策（案）

8. 事業執行上での建設副産物対策の定務

8. 1 企画・設計上での留意点

建設副産物の発生・搬出量は、工事の設計等により大きく影響される。このため全体設計（従前から行われてきたような盛土切土の土工量のバランスを考慮した道路縦断設計等）や、詳細設計の段階で、工程立案（現場内流用が可能な工区設定等）、工法、資材の選定等に関し、リサイクルの視点を取り入れた発注者の検討が必要である。

建設発生土については、工事間利用を促進するための、現場周辺における工事箇所、時期等に関わる概略情報の収集・当該現場の情報提供も事前に行っておく必要がある。

又、詳細設計等で検討すべき主な項目は以下のとおりである。

- (1) 発生する建設副産物の種類、質、数量の把握
- (2) 建設副産物の発生の抑制や再利用の促進に資する工法・資材の採用可否の検討
- (3) 発生する建設副産物の種類に応じた処理方法、処分先の検討

8. 2 積算・発注上での留意点

積算・発注にあたっては、建設発生土に関わる情報交換・調整をはじめコンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊の再資源化施設所在地・受入条件等の把握等を十分に行い、積算に反映することが必要である。

(1) 適正積算

指定処分を原則として、処理費用（再資源化に要する費用を含む）、運搬費用などを適正に積算する。

(2) 条件明示

設計図書などに採用する工法・資材、使用する再生資材の規格・使用箇所、発生する建設副産物の処理方法、処分先やその受入条件等を明示する。

一方、施工者は、仕様書、設計図書を確認し、疑問点については現場説明会などで質問することにより、処理方法等を十分把握することも必要である。

① 指定副産物の工事現場からの搬出

・コンクリート塊、アスファルト、建設発生木材

工事現場から40kmの範囲内に再資源化施設がある場合は、再資源化施設に搬出する。

・建設発生土

工事現場から50kmの範囲内の他の建設工事（民間建設工事を含む）へ搬出する。

② 再生資材等の利用

工事目的に要求される品質等を考慮した上で、次の範囲内に再資源化施設及び建設発生土を搬出する他の建設工事（民間建設工事を含む）がある場合には、再生資材及び建設発生土を利用する。

- ・再生骨材等の利用 40kmの範囲内
- ・再生加熱アスファルト混合物の利用 40km及び運搬時間1.5時間以内
- ・建設発生土の利用 50kmの範囲内

建設副産物情報交換パイロットシステム

(財)日本建設情報総合センター(JACIC)においては、発注者、施工者及び再資源化施設の情報交換により、計画的かつ効率的に建設副産物の再生利用を図るための情報交換システムを、平成5年度からコンクリート塊について関東の一部の地域を対象として運用しており、今後その対象地域等を拡大していく予定である。

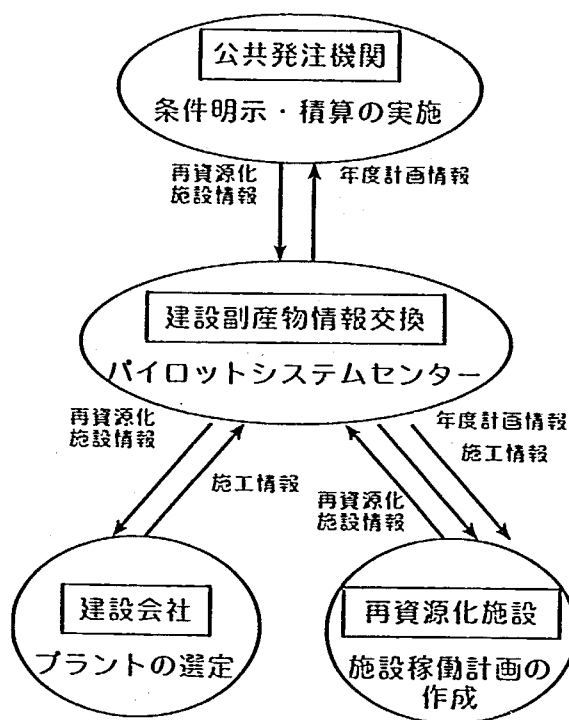


図-8.1

8.3 施工計画での留意点

建設副産物の発生抑制、再利用の促進、適正処分を計画的かつ効率的に行えるよう、施工計画の一環として再生資源利用促進計画、再生資源利用計画を作成するとともに、廃棄物処理計画の作成について検討しなければならない。

表-8.1 再生資源利用促進計画（建設副産物を搬出する際の計画）

計画を作成しなければならない工事	
次のような指定副産物を搬出する建設工事	
1. 建設発生土	1,000m ³ 以上
2. コンクリート塊、	合計200t以上
アスファルト・	
コンクリート塊、	
建設発生木材	

表-8.2 再生資源利用計画（再生資材を利用する際の計画）

計画を作成しなければならない工事	
次のような建設資材を搬入する建設工事	
1. 土砂	1,000m ³ 以上
2. 碎石	500t以上
3. 加熱アスファルト混合物	200t以上

8. 4 施工、現場での留意点

建設副産物の適正な処理を行うため、発注者－元請業者－下請業者－処理業者の協力体制を整備し、再利用方法・処分方法等を資材納入業者や処理業者に至るまでの関係者ひとりひとりに周知徹底することが必要である。

又、工事現場における責任者を明確にすることが必要である。

(発注者においては監督員が、施工者においては主任技術者が兼務することが望ましいと考えられる。)

(1) 分 別

建設副産物は混合してしまうと再資源化や適正な処理が困難になるので、現場において処理方法に応じて分別を徹底するとともに、周辺の生活環境に影響を及ぼさないように適切に保管しなければならない。

- ① 建設発生土と建設廃棄物
- ② 一般廃棄物と産業廃棄物
- ③ 安定型処分品目と管理型処分品目

(2) 現場での保管

現場で分別したものは、早期に現場外へ搬出することが望まれる。しかし、一時、現場内で保管することが必要な場合には、雨水浸透の処理対策や粉塵等の防止対策等、次のような項目について留意し、周辺の生活環境に悪影響を及ぼさないよう保管することが必要である。

(3) 完成後

再生資源利用促進計画および再生資源利用計画の実施状況を把握し、記録を保存するとともに、副産物が適正に処理されたことを確認することが必要である。

8. 5 その他

建設省、北海道開発庁、沖縄開発庁では建設工事における再生資源の利用の普及啓発を図り、利用にあたっての新技术の適用性の検討等を行うため、積極的に再生資材を活用するリサイクルモデル工事を平成5年度から実施(全国21ヶ所)し、見学会などの各種PR活動もあわせて行っており、平成6年度は全国34ヶ所で実施している。

9. 建設副産物に関する主な税制と融資制度

建設副産物に関する主な税制と融資制度には、以下のようなものがある。これらの税制、融資制度を活用し、再生資源の一層の利用活用、適正な処理が進むことが期待される。

表-9.1

項目	支援 施策	税 制		
		建設廃棄物再生処理用 設備設置に関する税制	特定環境技術 開発促進税制	エネルギー需給構造 改革投資促進税制
趣 旨		建設工事における公害防止及び省資源・省エネルギーに資する	再生資源の利用に資する工事の施工技術の開発を促進する	エネルギーの需要、供給両面からの対策によりエネルギー需給構造を改革する
対象設備 及び 技術開発		アスファルト、コンクリート、建設木くずの再生プラントの取得に対する税制措置	省エネ・リサイクルを支援法による事業計画承認を受けた技術開発に対する税制措置 (汚泥) (アスファルト、コンクリート)	エネルギー利用効率の高い設備の取得に対する税制措置であり、建設副産物利用に関連の深い設備は次の通り (アスファルト) ・路面表層再生処理機 (コンクリート等) ・自走式建設廃棄物破砕機 ・油圧ブレーカ 等
控除税額等		(所得税・法人税) 初年度に取得価格の14/100の特別償却 (固定資産税) 取得後3年間、通常の課税標準となるべき価格の2/3の額に軽減	(所得税・法人税) 技術開発に要した試験研究費の6%相当額を所得税・法人税から控除 ただし、所得税・法人税の10%を限度とする	(所得税・法人税) 初年度に取得価格の30/100の特別償却又は7%の税額控除

表-9.2

項目	支援 施策	融 資 制 度	
		特定産業廃棄物・処理施設融資 (日本開発銀行)	建設残土対策促進融資 (日本開発銀行)
趣 旨		再資源化施設の整備を促進する	建設工事に伴い発生する建設残土の工事間等での有効利用を促進する
対象設備		産業廃棄物処理特定施設整備促進法による整備計画認定をうけたもののうち、アスファルト・コンクリート塊、コンクリート塊等を原材料とする再資源化施設	建設残土の有効利用を促進する以下の施設等 1. 土質改良プラント 2. ストックヤード 3. 情報関連施設
融資条件等		特別金利④ 融資比率50%	特別金利③ 融資比率40%

注) 特別金利③、④はいずれも4.65% (平成6年9月1日現在) です。

10. ま と め

以上、主に建設副産物対策に焦点をあて記述したが、中でも建設汚泥および下水道汚泥に次いで建設発生土の再生利用率が低い状態になっている。コンクリートについては、平成6年4月「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準（案）」が通達され、又建設発生土については、平成6年7月に「建設発生土利用技術マニュアル」を作成したところであり、今後、これらの基準マニュアルの適用効果を期待したい。

又、建設汚泥に関しては、平成7年を目途に目下仮称「建設汚泥利用技術基準（案）」の作成に努めているところである。

建設副産物総プロは現在5カ年計画のうち3年度目であり、今後、基準マニュアルの整備は勿論、適用性のチェックをモデル事業、パイロット事業、試験フィールド事業をとおして実施し、リサイクルの促進に努め、リサイクルプラン21の目標に向け研究面からホローしていきたい。

参考文献

- 平成5年度 建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発報告書

H6. 3 建設省

- 総合的建設副産物対策 平成6年度版

建設副産物リサイクル広報推進会議

- 建設発生土利用技術マニュアル

H6. 7 土木研究センター

- 建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発

H6. 11 第48回建設省技術研究発表会論文集

- 建設副産物の発生及び処理・処分の実態に関する調査報告書

H4. 4 建設省土木研究所

- 平成4年度 研究開発概要報告書

建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発

H5. 11 建設省

特別講演 人間や環境にやさしいデザイン

東京工業大学教授 本 川 達 雄

人間や環境にやさしいデザイン

生物のデザインについて考えてみたい。生物を構造物と見なして、素材や形の上で、生物らしいところはなんだろうかと考えてみる。さらに、生物の時空とエネルギーの関係についても考えてみることにする。それらを通して、真に人や環境にやさしいデザインとはどんなものかを議論してみたい。

1. 生物の形

生物の形は、円柱形が基本である。断面が丸くて細長い。木は枝も幹も根も円柱形である。われわれの体も円柱形の手足と胴体からできている。ミミズは円柱形そのものである。

なぜ円柱形になるかは、いくつかの理由が考えられる。ある程度の表面積を確保しながら強度も得られる、どの方向にも等しく対処できる、運動に都合がよい、などとともに、生物が氷の詰まった皮袋であることも大きな理由だろう。内圧のかかる膜構造は丸くなる。

2. 生体材料

生物は体の7～8割が水で出来ている。生物は膜で包まれた水なのである。生物の構成単位の細胞がそうであるし、また体全体も、皮膚（上皮）というしなやかな膜で包みこまれた水である。だから、生物は丸く湿っぽくて柔らかい。

なぜ生物は湿っぽいのだろうか？これは生物が海で生まれたからだろう。それではなぜ生物は海で生まれたのだろうか？これは水溶液という状態が、常温常圧でも化学反応が ocorrênciaやすいアクティブな状態だからだと思われる。私は「乾いている＝inactive；湿っている＝active」とみなしていいのではないかと考えている。

なぜ生物は柔らかいのだろうか？柔らかいことと湿っぽいことは関係しているようだ。生物は基本的には、水が大変形可能な膜に包まれたものである。このような構造を静水系（hydrosat）と呼ぶ。水の体積は変わらないが、形は膜の変形範囲内で、かなり自由に変化できる。水溶液中での拡散や、水の流動性が、activeな反応を可能にしているのであり、水の流動性は膜の変形能に助けられている。だから、柔らかいということもactiveであることと大いに関係していると私は考えている。

3. 生物と人工物との違い

人工物は平たく角ばっていて硬くて乾いている。丸くて柔らかくて湿っぽい生物とはまったく違う。私は生物学者であり、生物を普段とり扱っているからなのだろうが、工学がつくりだすものに対しては、非常に奇異な感じを抱いてしまう。人間は生物の一員だから、もちろん生物のデザイン原理にのっとって造られているわけだが、一方、われわれの日常生活はエンジニアの技術が作りだしたものに巻き込まれており、それらは生物のデザイン原理とは、かなり違った発想で作られたものなのである。

われわれは、内では生物のデザイン原理に従い、外では人工物（非生物）のデザイン原理と付き合っていかなければならない。私は技術にはまったくうとい生物学者だから、体の内側の原理と外側の原理がこれほどまでに違うことに、奇異な感をもつ。いかにも不自然に思えてしまうのである。

この不自然さが、われわれ人類に、ある種の不幸をもたらしているのではないだろうか？エンジニアが意図的に生物のデザイン原理をとりいれたならば、それを使う人たちに、違和感なく、安心感をもって使える製品を提供でき、使い手に幸福感を与えられると私は想像するのだが。

このような使い手の心理的効果以外にも、技術が生物のデザイン原理を使うことには、大きな意味があると思われる。それは環境との相性の問題である。生物というものは、環境に適応して、環境と共に生きているものである。だから、生物のデザインは、当然、環境と相性の良いデザインになっている。そもそも進化とは、生物が環境によりよく適応してきた歴史と言える。だから環境と相性のいいことこそが、生物のデザインの基本なのである。

「乾いている=inactive；湿っている=active」という図式から言えば、今までの技術は、完成品はできるだけinactiveな素材でつくることを心がけてきた。そうすればこわれにくく長持ちするからである。一方、湿っていてやっかいな点は、腐りやすく錆やすいことである。これは、activeなことの欠点であるとともに、考えようによっては、たいへん優れた点にもなる。分解が簡単になるからである。作ることのみではなく、分解までも考えているところが、生物のデザインの特徴の一つである。

4. 動物の時間

円柱形で湿って柔らかいということ以外にも、動物には、人工物とは違ったデザインが存在する。時間・空間・エネルギーの関係が、人工物とは違うのである。動物は時間と空間の中でエネルギーを使って生きているのだから、この、時間・空間・エネルギーの関係が、動物ではどうなっているのかを見れば、動物の根本デザインが浮かび上がってくるだろう。そしてその関係が、エンジニアがよりどころとしているニュートン力学とは、ずいぶんと違ったものなのである。

この問題は、動物の大きさの研究からでてきた。ネズミからゾウまで、大きさの違ういろいろな動物で心臓が1回打つのに要する時間を計ると、体重の重いものほど時間が余計にかかる。これは1回の呼吸に要する時間でもそうだし、その他、さまざまな現象の時間が、体重が大きい動物ほど長くゆっくりになる。動物の時間を、体の中で繰り返し起こる現象の周期と定義すると、

$$\text{時間} \propto (\text{体重})^{1/4}$$

という近似式が成り立つ。サイズが変わると時間の進み方まで変わってしまうのである。

体重は体長の3乗に比例するから、上の式は

$$\text{時間} \propto (\text{体長})^{3/4}$$

とも書けることになる。長さは空間を測る単位であり、われわれは3次元の空間に時間を加えた4次元で世界を認識しているのだが、その空間と時間とが、動物においては、こんな相関関係になる。

5. 動物の根本デザイン

エネルギー消費量とサイズの関係も見よう。動物の単位時間あたり単位体重あたりのエネルギー

ー消費量（比代謝率）も次のようなサイズの関数になる。

$$\text{比代謝率} \propto (\text{体重})^{-1/4}$$

比代謝率は体重の $-1/4$ 乗に比例する。ところで時間は体重の $1/4$ 乗に比例していた。だから比代謝率と時間とは反比例することになる。

時間の式と比代謝率の式とを並べて書いてみよう。

$$\text{時間} \propto (\text{長さ})^{3/4}$$

$$\text{エネルギー} \propto (\text{時間})^{-1}$$

この二つの式で、動物における時間・空間・エネルギーの3つが関係づけられることになる。この関係は動物の根本デザインを反映しているものだと私は考えている。

使い手や環境にとって相性の良いデザインとは何かを考える上で、基本となる枠組みを、この関係が提供するのではないだろうか。使い手であるヒトは動物だし、さまざまな動物たちが関わって環境がつくられているのだから、ここであげたような動物の根本デザインを考慮してはじめて、本当に人間にも環境にもやさしい技術が生まれるのではないかと私は考えている。

交通事故分析と事故防止対策の展望

道 路 部 長 中 垣 光 弘

交通事故分析と事故防止対策の展望

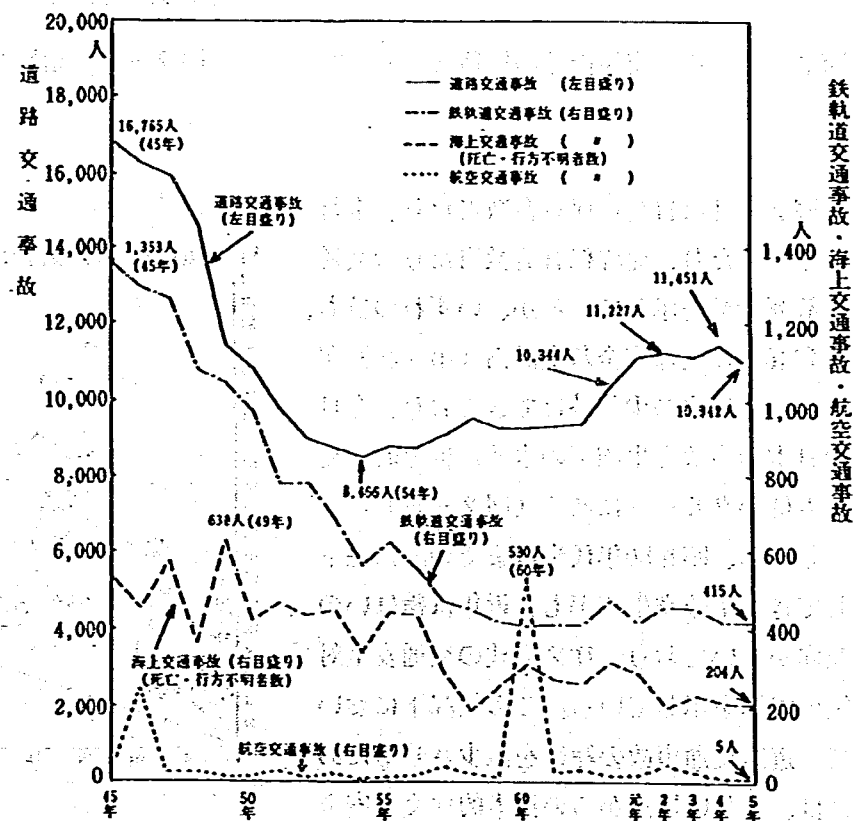
第1章 はじめに

平成5年(暦年)の日本国内における道路交通事故死者数は10,942人に達した。図1-Iが示すように、前年に比べ減少してはいるものの、昭和63年に事故死者数が12年ぶりに1万人を越えて以来高い水準にとどまっており、第5次交通安全基本計画が目標としている事故死者数1万人以下の達成は平成7年も厳しい状況である。また、自動車が大多数の国民の日常的な交通手段となってきたこと、他の交通機関における事故死者数が極めて少なくなってきたことと比較して、道路交通事故死者数は高い水準に留まったまま推移していることから、より一層の安全性の向上が求められている。

わが国の交通事故統計における死者数の定義は、事故発生から24時間以内の死亡であり、欧米諸国において広く用いられている30日以内の死者数とは異なっている。警察庁が平成5年を対象に行った調査によると、平成5年の30日以内の死者数は13,296人であり、24時間死者数の1.21倍である。また、全ての死者数を死亡原因別に分類した厚生省の統計によると、平成4年の交通事故死者数は14,735人であり、毎日40人近くが交通事故によって死亡していることになる。

近年盛んに研究開発が進められている先進道路交通技術(ITS: Intelligent Transportation System)においては、運転者の認知、判断、操作を補う種々の先進技術を導入し、道路交通による犠牲者を抜本的に減少させることをその目的の1つにしている。この種の研究開発の重要性は論を待たないが、道路交通や交通事故の現状に立脚した地道な研究や対策も一方で重要であり、先進道路交通技術の開発の基礎となるものでもある。

土木研究所においては、交通事故多発箇所の抽出や事故要因の分析など、道路交通環境面からの調査研究を実施してきており、ここでその概要を紹介する。



注 道路交通事故は警察庁資料、その他は運輸省資料による。

図-I 交通事故死者数の推移

第2章 道路交通事故の現状と事故分析

2. 1 交通事故の推移

交通事故の増加の背景には、日本において交通需要全体が増大し続けていることが挙げられる。とりわけ自動車交通においては、図2-Iに示すように自動車保有台数、自動車走行台キロ、運転免許保有者数とともに一貫して著しい伸びを見せており、事故の総数を減少させるのを困難にしている。

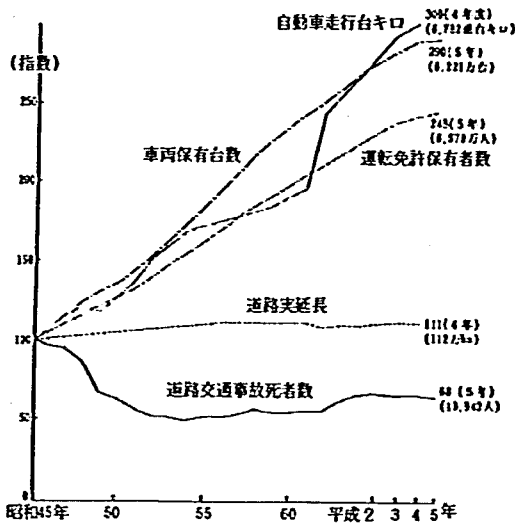


図2-I 道路交通指標の推移 (S45=100)

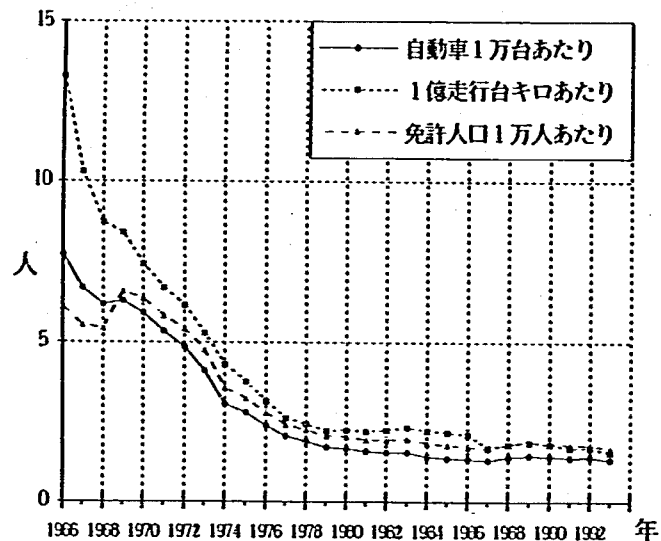


図2-II 道路交通指標当たりの死者数

図2-IIは自動車保有台数当たり、走行台キロ当たり、免許保有者数当たりの交通事故死者数を示しているが、いずれの値も、昭和46年に交通安全基本計画（第一次）が始まって以来減少し続けてきており、今日の日本の事故発生確率の水準は世界的に見ても低いグループにある（図2-III）。

しかし、昭和50年代半ばまで順調に低下してきた事故発生確率も、近年は横ばいの傾向が続いており、従来方式の交通安全対策の限界を示している。この状況下において、道路交通事故の総数を減少させるためには、新しい視点からの抜本的な交通安全対策が必要である。

人口1000人当たりの交通事故死者数

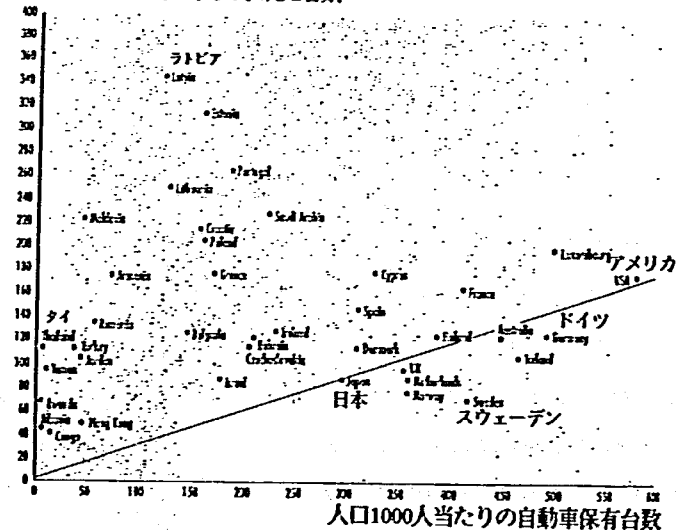


図2-III 各国の保有台数と死者数

2. 2 近年の交通事故の特徴

交通事故死者数をおよそ半数に減少させることに成功した昭和45年から50年代半ばまでの状況と異なり、近年の交通事故は分散化、複雑化の傾向にある。このため、交通安全対策も事故の発生状況や要因分析に基づいた緻密さが求められている。

近年の交通事故の一般的な特徴を整理すると以下のようである。

- (1) 自動車乗車中の事故が増加し、他の欧米先進国の事故形態と類似してきている。(図2-Ⅳ)
- (2) 高齢者の事故が増加している。高齢者の死者数の多くは歩行者・自転車であるが、高齢の運転免許保有者の急増に伴って高齢運転者の事故が増加している。(図2-Ⅴ、図2-Ⅵ)
- (3) 女性運転者の事故数は男性に比べかなり低い、女性運転者の事故数の増加率は女性の免許保有者の増加率より大きい。(図2-Ⅴ)
- (4) 夜間の交通量の増加に伴って、夜間事故が増加している。夜間事故の特徴は、実勢速度が早いことから死亡事故の比率が昼間事故の約3倍と高いことである。(図2-Ⅶ)
- (5) 週末・休日におけるレジャー交通の増加に伴って、週末・休日の事故が増加している。事故の多くは運転未熟や道路交通状況の不案内が原因であり、また重大事故の比率が高い。
- (6) 高速道路等の高速度での事故が増加している。特に湿潤路面での乗用車の事故が顕著である。

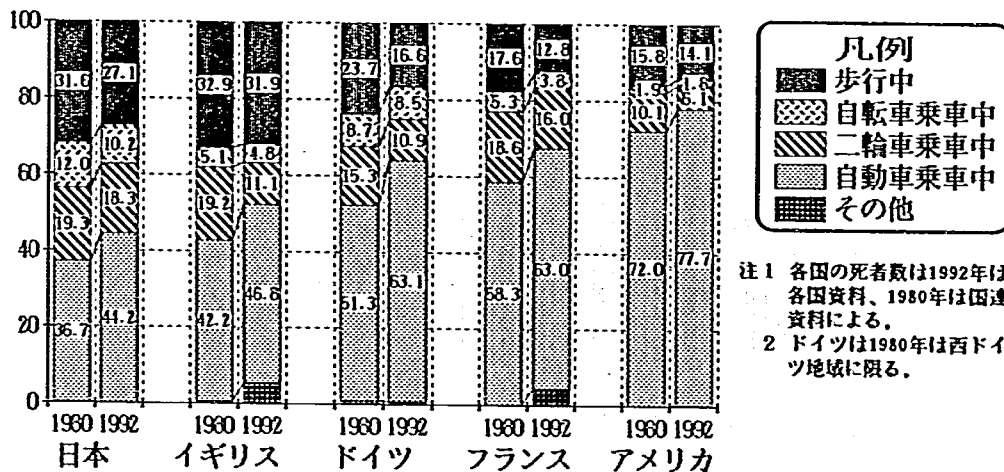


図2-Ⅳ 欧米各国の状況別事故死者構成率

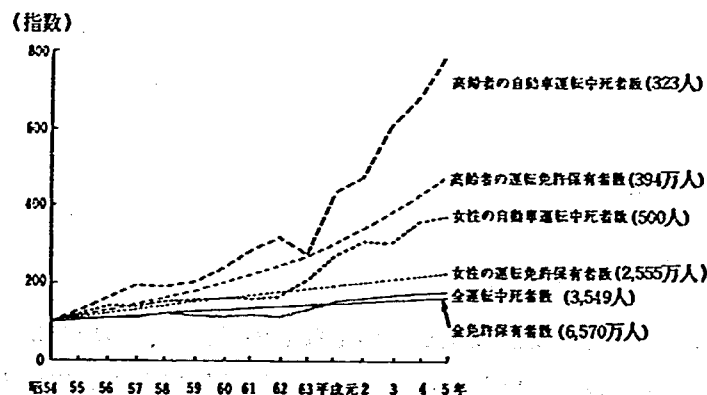


図2-Ⅴ 高齢者と女性の自動車運転中の事故死者数と免許人口の推移

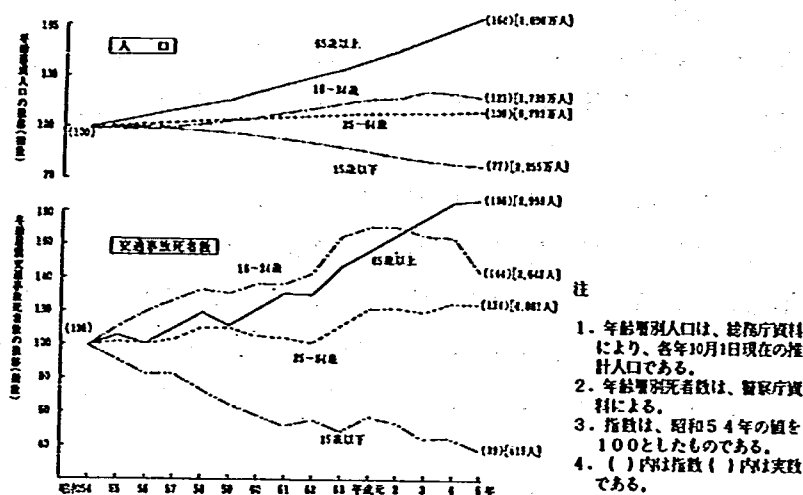


図2-VI 年齢層別人口及び事故死者数の推移

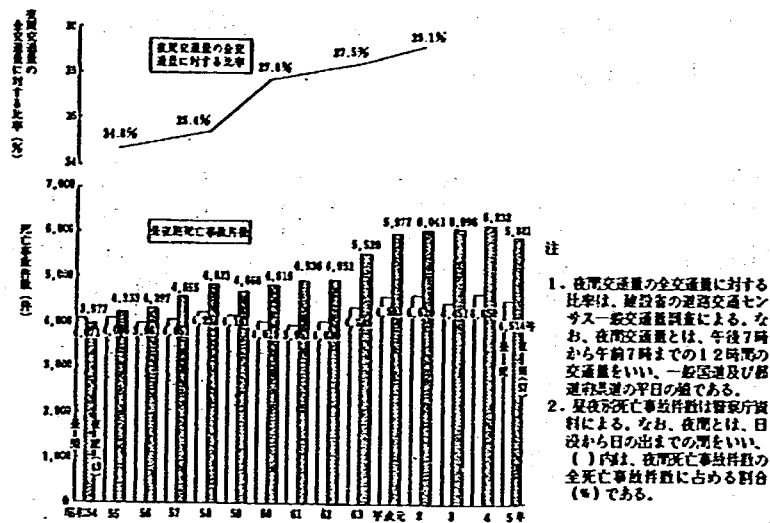


図2-VII 夜間交通量及び昼夜別死亡事故件数の推移

これらは交通安全対策に基本的な視点や方向性を与える意味で重要であるが、こうした新しい視点からの対策を生み出し、試行の過程を支援し、完成させていくためには事故の発生状況をよく理解すること、すなわち事故分析が必要不可欠であり、平成3年から始まった第5次の交通安全基本計画や、交通安全施設等整備事業五箇年計画の中でもその必要性が唱われている。

第3章 事故分析の全体像

3.1 交通事故統合データベースの作成

交通事故の要因は、人と車と道路交通環境がその主なものであり、事故分析においても、交通安全対策におけるそれぞれの部署の役割に応じて行っている。道路管理者の立場で安全対策の事業を行う部署では、事故の発生状況から危険箇所を把握し、安全対策事業のメニューから最も適切かつ効果的なものを選出し実施することが基本である。土木研究所では道路管理者の対策を支援するために、事

故多発箇所の抽出や分析、道路構造と交通事故との関係に関するマクロ的な分析等を行っている。いずれにしても事故の分析に必要なデータベースの作成が必要である。

建設省では、警察庁の協力を得て道路交通センサスデータと交通事故統計データを統合した「交通事故統合データベース」を1年単位で作成し、事故分析に必要な情報をデータベース化している。データベースの作成は昭和63年より始まり、現在は平成5年分の作成を行っている。統合データベースの内容を付録1に示す。

3. 2 現状分析

新たな交通安全対策を模索する場合には、まず事故の発生状況を的確に把握する必要がある。土木研究所においては統合データベースを利用して、事故多発箇所（区間及び交差点）の抽出や当該箇所における事故の状況を把握するための手法の開発を行ってきた。抽出された事故多発箇所のリストと当該箇所毎の事故の発生状況をまとめた「事故診断カルテ」（付録2）は、都道府県道（及び政令市における主要な市道）以上の道路管理者に送付され、活用されている。

また、前述の道路構造と交通事故との関係に関するマクロ分析も現状分析として重要であるが、事故要因が多様化してきている今日の状況下において、分析に必要な手順を手作業で追うのは困難である。そこで、多様な分析、複雑な分析を、道路管理者なら誰でも迅速に行えるよう、小型コンピューターを利用した「分析支援システム」の構築も進めている。

3. 3 安全対策の検討・実施

現状分析の結果を受けて、安全対策案を作成し、実施に移すステップである。

現在は「多発箇所を一つ一つ潰していけば事故総数は減少する」との考えに基づき、道路診断カルテを参考に、道路管理者が実際に多発区間に出向くなどして、既存の安全対策メニューの中から最も効果的と思われる組み合わせの案を作成し、実施している。多発箇所は移動する可能性を持っており、今後とも長期的に多発箇所の発生状況の把握や、対策全体の効果の把握を行っていく必要がある。

一方で、新しい視点からの対策案をこのステップで検討、段階的に実施し、効果分析を行った結果をフィードバックしながら完成させていくことや、道路構造令等の道路関係技術基準の見直し等においても、道路構造と交通事故との関係に関するマクロ分析や個々の対策の結果等を反映させていく必要がある。

3. 4 対策効果の検討

事業が実施されたあと、その効果がどのように発生しているかを検討する。この結果を受けて、実施された安全対策の対策案を改良、実施し、そこでまた効果分析をする。こうした段階を繰り返しながら、一つ一つ安全対策手法を確立し、メニューを増やしていくことができる。

効果分析は、国や地方における限られた財源を有効に活用するための、安全対策のプライオリティを検討する際にも重要である。欧米では、このような観点からの費用効果分析が盛んに行われている。

3. 5 交通安全緊急実行計画

以上のような、交通事故防止のための事故分析と安全対策のフローを建設省ほか道路管理者が実施するために、平成元年、交通安全緊急実行計画がまとめられ、継続的に実施されている（図3-I）。

交通安全緊急実行計画に沿ってこれまで行われてきた分析の中から、事故多発箇所抽出と交通事故のマクロ分析について、概要を第4章・第5章で紹介する。

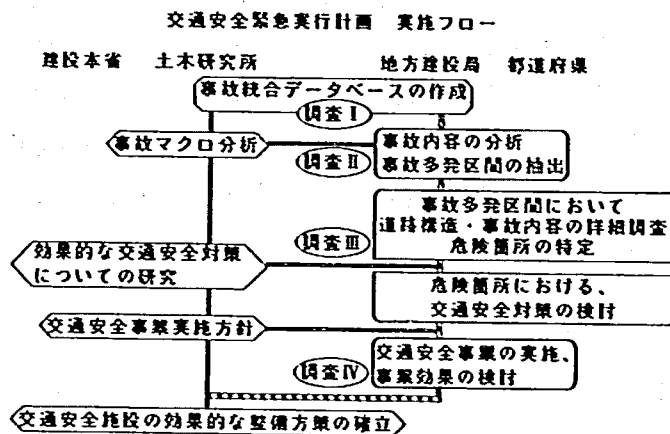


図3-I 交通安全緊急実行計画のフロー図

第4章 事故多発箇所の抽出

4. 1 事故多発区間抽出の目的

土木研究所では、事故の現状分析の一つとして、事故が多発している地点、区間を把握する方法を検討してきた。

その目的は、一つには限られた予算の中で交通安全事業を行う立場から、ある事業によってある一定の水準まで事故件数を落とすことが出来るのならば、事故が多く起きている地点に絞り込んで対策を行うのが最も効率的であるからである。また一つに、事故要因の抽出を行う見地から、抽出された事故多発区間に共通している特徴を見つけたことによって、事故の要因が浮かび上がってくる可能性があるからである。

4. 2 抽出手法

抽出手法には、事故率・事故密度によるもの、事故発生確率モデルによる推定値との乖離を利用したもの、死亡・重傷事故の発生に着目したものなどの方式が試されてきた（付録3参照）。これらの方法は、区間の設定方法、計算量、事故件数および路線延長に対する抽出率等の点で一長一短がある。

昨年度から使用している方法は、ポアソン確率モデルを用いた抽出方法である（付録3、第3図）。この方法は、道路交通環境が特に悪い箇所がないと仮定した場合、事故の発生はポアソン確率分布に従うという仮説に関する統計的な検定を、事故多発区間の候補とされる箇所に対して行い、事故が多発している箇所を抽出しようとする方法である。抽出の手順は以下のようになっている。

- (1) 統合データベースの地点情報より、1 km当たりの平均事故件数： λ (件/km)を地方別、道路管理者別、交通量ランク別に求める。
- (2) 隣接する事故までの間隔がその路線に対する平均事故発生間隔： $1/\lambda$ (km/件)を上回るまでを同一区間とし、多発区間の候補となる、区間の始点・終点を定義する。
- (3) ②で求めたそれぞれの区間の区間長 l を求める
- (4) ポアソン確率分布を仮定した際の、それぞれの区間の有意水準（昨年は 0.1%）に相当する事故件数 N を求める。

(5) 5 件以上かつ各区分毎のN以上の件数の事故が発生している区分を事故多発区分とする。

この方法の特徴は、区分の設定方法にある。従来の区分の設定方法は区分長を固定し機械的に行ってきたが、同一の多発区分と思われる区分内に区分の境界が当たるなどの問題点があった。ポアソン確率モデルを用いた抽出方法では、実際の事故データに基づいて区分を設定しているため、極端な分断は見受けられなくなっている。

また、この方法では区分長が固定されていないため、他の方法のように「多発」の水準が単純に件数で表せないが、事故発生件数の動向を比較的良好に捕らえているポアソン確率分布を用いて「多発」の水準を表すことによって、統計的にも意味のあるものとなっている。

図4-Iは昨年度、実際にこのモデルで全国のセンサス対象道路について多発区分の抽出を行った結果である。例えば有意水準が0.2%の場合、多発区分として抽出された路線長の対象路線総延長に占める割合が5.7%であるのに対し、その区分で発生した事故件数は対象総事故件数の45%にのぼり、抽出された区分で実際に事故が多発している様子がうかがえる。

この方法は数学的統計的には、計算量も少なく効率的に抽出の出来る有効な方法であるが、問題点として多発区分の始終点が事故発生位置に左右されるため、ある区分の年次変化を見るのが難しいなどが挙げられ、検討の余地を残している。

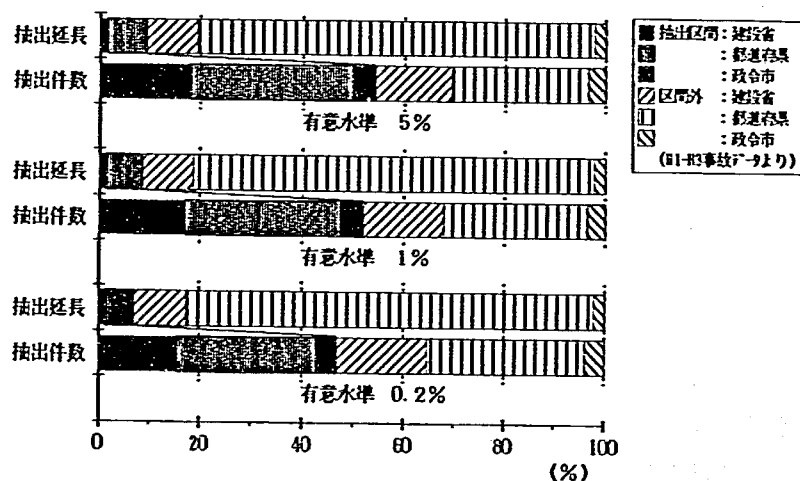


図4-I 多発区分の抽出効率

4. 3 ポアソン確率モデルによる事故多発区分の抽出例

図4-IIは国道1号富士川付近における、平成元年から3年の事故発生状況を示したものである。ここでは図4-IIを例に、ポアソン確率モデルによる具体的な抽出について説明する。

この付近は日交通量が20,000から30,000台のランクに属する直轄国道で、事故密度の全国平均は $\lambda = 13.5$ (件/km/3年間) である。

手順(2)は平均事故密度を超える密度で発生した一連の事故と解釈ができ、図の斜線部3ヶ所が多発区分の候補に該当する。この3区分の区分長は、統合データベースより125m、164m、82mと求められる(手順(3))。

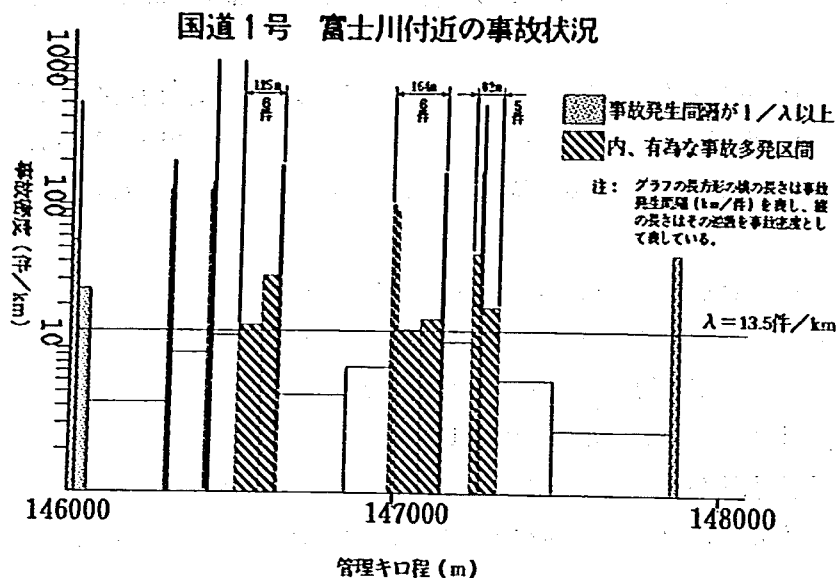


図4-Ⅱ 事故多発区間抽出イメージ図

これを手順(4)に従い、次式

$$\sum_{k=0}^n \frac{\exp(-\lambda l) \times (\lambda l)^k}{k!} > 0.99$$

: l = 区間長
: n = 区間内の事故発生件数 ($n \geq 5$)

によって検定すると、図の斜線部を事故多発区間として抽出することが出来る。

第5章 道路交通環境と交通事故とのマクロ的分析

5. 1 マクロ的分析の位置づけ

統合交通事故データベースは、道路交通環境に関するデータとして道路交通センサスデータを用いているため、データ項目が限られている。また、センサス区間単位のデータであるため、個々の事故発生地点の道路構造等には対応していない。このため、マクロ的分析の内容は地点ではなく、基本的な道路構造や沿道状況など区間に対応した内容に限られることになる。

ここでは、以下の分析を行った結果について紹介する。

- 1) 道路交通環境が交通事故の発生に及ぼす影響力についての基本的分析
- 2) 交通事故の発生状況からみた、道路の類型化の試み

5. 2 道路交通環境が交通事故の発生に及ぼす影響力についての基本的分析

5. 2. 1 道路区分別交通事故特性の分析

区間単位で道路交通環境を表す基本的な指標として、ここでは沿道状況 (D I D、その他市街地、平地、山地)、車線数及び交通量を用いて事故の発生状況の比較を行った。被説明変数としては事故率 (億台キロ当たり人身事故件数) を用いている。対象としている事故は、平成元年から3年までの

3年間であり、総事故件数は約69万2千件である。対象とした道路区分毎のセンサス区間数は、表－Iの通りである。

表－I 対象とした道路区分毎のセンサス区間数（サンプル数）

センサス区間数（箇所）

車線数 沿道状況	直轄道路						直轄以外の道路					
	1車線	2車線	4車線	6車線	8車線	合計	1車線	2車線	4車線	6車線	8車線	合計
自専道区間	0	13	31	3	0	47	1	90	117	7	0	215
D I D	0	369	533	144	52	1098	376	3014	1094	267	71	4822
その他市街地	0	409	124	15	1	549	859	2671	207	19	4	3760
平地	0	1332	239	15	0	1586	2658	8278	273	10	2	11221
山地	2	447	7	0	0	456	4482	3549	14	0	2	8017
合計	2	2570	934	177	53	3736	8376	17602	1705	303	79	28065

図5－Iにこれらの関係を示す。市街地での事故率が著しく高くなっていることが分かる。また、これは単に交通量の増加のみがその要因ではないことも示している（加減速等の交通挙動や、沿道からの出入りの関係）。車線数については、直轄道路においてはこれが増えるに従って交通量の増加と事故率の減少が認められるが、直轄以外の道路では4車線以下の場合に逆の関係が認められる。これは、特に4車線の道路において、道路構造や交通安全施設等の整備状況の違いを反映しているものと思われる。

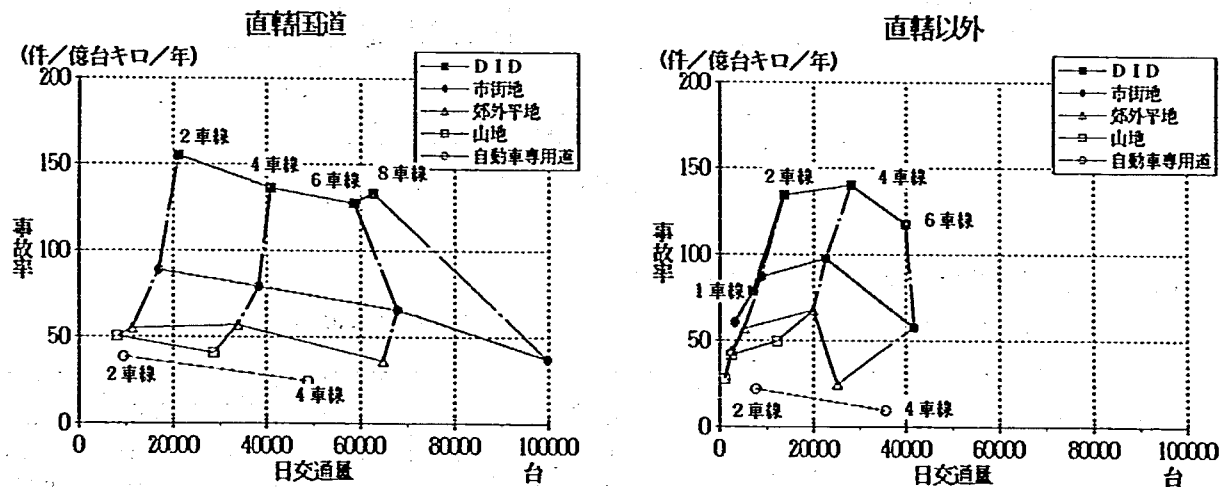


図5－I 沿道状況・車線数・交通量と事故率との関係

4車線のD I D区間と平地区間について交通量別の事故率の分布を図5－IIに示す。直轄と直轄以外の道路では、ほぼ同様の傾向を示しているが、交通量以外の要因が大きく影響していることも分かる。

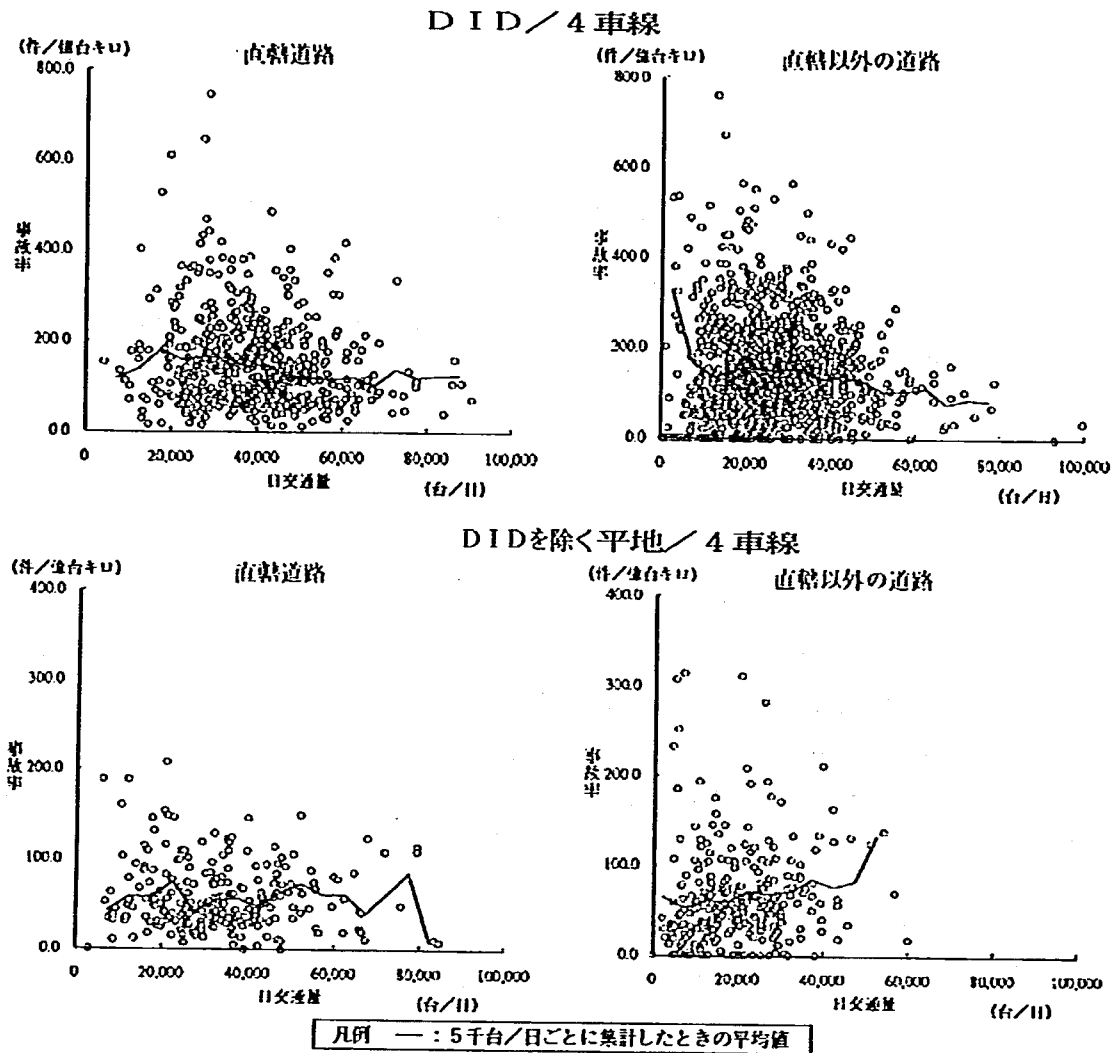


図5-Ⅱ 交通量別の事故率分布

5. 2. 2 重回帰分析による交通事故の要因分析

交通事故の発生には、交通量のほか種々の道路交通環境的要因が関係している。ここでは、平成元年から平成3年までの3年間の事故データを用いて、センサス区間単位での事故密度を被説明変数とする線形重回帰による分析結果を紹介する。

分析に先立って、各道路交通関連指標間の相関分析を行い、相互に相関の高いものは何れか一方の指標を選択するとともに、説明要因としての妥当性も考慮して説明変数を設定した。

重相関係数は表-Ⅱの通りであり、使用した説明変数及び分析結果は表-Ⅲの通りである。表-Ⅲは、回帰係数が有意

表-Ⅱ 重回帰分析の重相関係数

			車線数		
			2車線	4車線	6車線
直轄道路	D I D	全事故	0.770	0.718	0.699
		交差点+交差点付近事故	0.780	0.714	0.780
		単路事故	0.678	0.631	0.438
	その他	全事故	0.711	0.753	
		交差点+交差点付近事故	0.694	0.706	
		単路事故	0.676	0.711	
	平地	全事故	0.804	0.802	
		交差点+交差点付近事故	0.738	0.752	
		単路事故	0.775	0.773	
直轄以外の道路	D I D	全事故	0.518	0.583	0.636
		交差点+交差点付近事故	0.493	0.567	0.619
		単路事故	0.498	0.548	0.619
	その他	全事故	0.698	0.538	
		交差点+交差点付近事故	0.654	0.522	
		単路事故	0.677	0.530	
	平地	全事故	0.612	0.635	
		交差点+交差点付近事故	0.596	0.613	
		単路事故	0.571	0.621	

となった要因についてその係数の符号を標示している。

表一Ⅲ 重回帰分析による分析結果

[illegible]

注1) 行号の表示は、その区画要素の回帰係数が、対応する事故に対して、両側検定5%有意(1検定)であることを示す。

注2) ÷は事故の増加する方向に、－は事故の減少する方向に作用する要因であることを示す。

自動車交通量、二輪車交通量および全交差点密度がプラスの方向に強い影響力を持っており、4車線以上の道路では車線幅員、側方余裕幅、中央帯延長比率等がマイナスの方向に影響力を持っている。2車線道路においては、4車線以上の道路と比較して多くの要因が事故の発生に関係していることが分かる。重回帰分析の回帰係数を用いて、施設整備によって期待される交通事故密度の減少効果を算出すると、図5-Ⅲの様になる。これは、全ての要因を取り入れた場合の回帰式に基づいて、着目した施設要因と交通量以外の要因には平均値を当てはめて算出したものである。

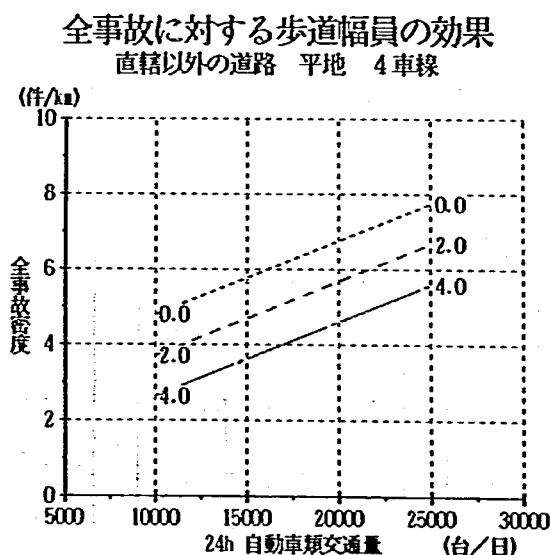
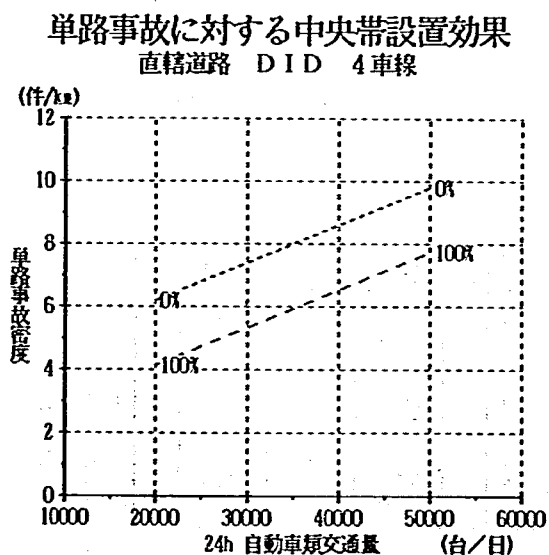


図5-Ⅲ 安全施設の整備によって期待される事故密度減少効果（中央帯・歩道幅員の例）

5. 3 交通事故の発生状況からみた、道路の類型化の試み

5. 3. 1 分析の目的および方法

交通事故の発生は、種々の道路交通環境的要因の影響を受けるが、それは交通事故の量（件数）のみでなく、内容にも関係している。道路交通環境の違いが交通事故の内容に影響を与えているとすれば、発生する事故の種類によって道路をいくつかの類型に分類すれば、同じ類型の中で事故の量に影響する要因を抽出することが可能となる。

ここでは、交通事故の発生形態として事故類型を取り上げ、これに大きく影響するとみられる道路要因で道路を区分し、事故の発生形態のパターンが似ている道路区分をまとめることによって、道路をいくつかのパターンに分類した。類似のパターンをまとめる方法として、各道路区分相互間の事故類型構成比率の χ^2 値を求め、これを類似度の尺度としてクラスター分析により統合した。

道路区分を行うために用いた指標は、以下の通りである。この内、「a)道路形状」は、上位区分として先験的に用いた。

- a). 道路形状 ①交差点・②交差点付近・③単路
- b). 道路の規模 交差点 : ①交差点大・②交差点中・③交差点小
 交差点付近 : ①1車線・②2車線・③3車線
 単路 : ①1車線・②2車線・③3車線
- c). 沿道状況 ①市街地・②非市街地
- d). 道路線形 平面線形 : ①カーブ・②直線
 縦断線形 : ①勾配・②平坦（交差点を除く）

- *) 交差点大 : 交差する2以上の道路の幅員が13.0m以上のもの
- 交差点中 : 交差する2以上の道路の幅員が5.5m以上、13.0m以下のもの
- 交差点小 : 上記以外の交差点

5. 3. 2 分析結果としての道路区分の例

類型化の作業は、全人身事故を対象とした場合と死亡事故のみを対象とした場合に分けて行った。分析に用いたデータは、平成元年の全国の人身事故データである。

図5-Ⅳに全人身事故データを用いた交差点および単路部における道路区分を、図5-Ⅴに各区分における事故類型構成比率を示す。

		市街地	非市街地	()内は 事故件数 調査対象 合計 119380
交 差 点	大	17524	[区分 1] (3488)	
	中	52168	23391	
	小	12731	[区分 2] (10078)	

		カーブ	直線	()内は 事故件数 調査対象 合計 137998
車 線 数	1 車 線	[区分 1] (2494)	[区分 3] (4313)	
	2 車 線	(16439)	[区分 4] (79042)	
	3 車 線	[区分 2] (1599)	(33751)	

図5-Ⅳ 全人身事故データを用いた交差点および単路部における道路区分

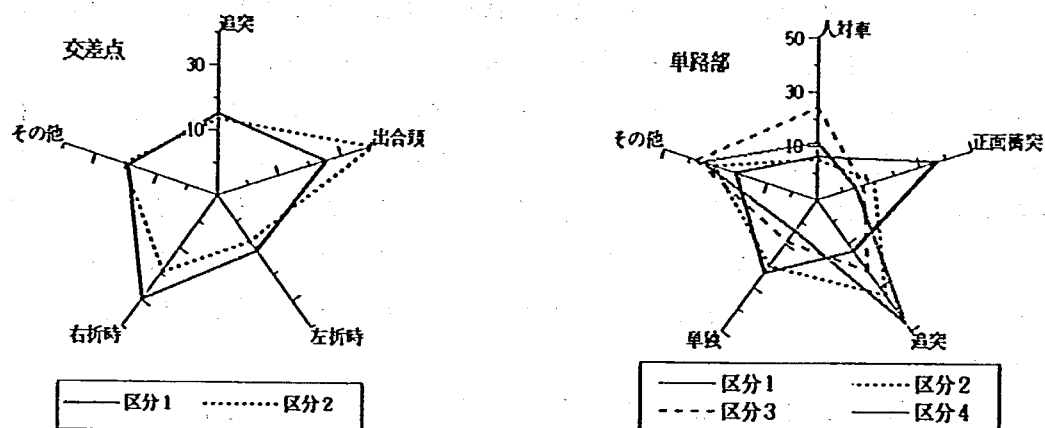


図5-V 各道路区分における事故類型構成比率

5. 3. 3 道路区分を用いた安全対策の効果分析

事故類型の類似した各道路区分の中で、特定の安全施設の有無により事故類型の構成がどのように変化するかを見ることにより、対策の効果を把握することが出来る。図5-VIに、単路部における中央帯設置の有無（設置率80%以上と20%未満の比較）による事故類型構成比率の変化を示す。区分2においては正面衝突事故から、区分4においては歩行者の横断中や右折時事故から、追突や進路変更時の事故へ構成比がシフトしており、どちらも中央帯設置によって重大事故につながる可能性の高い事故の減少効果が見られた。

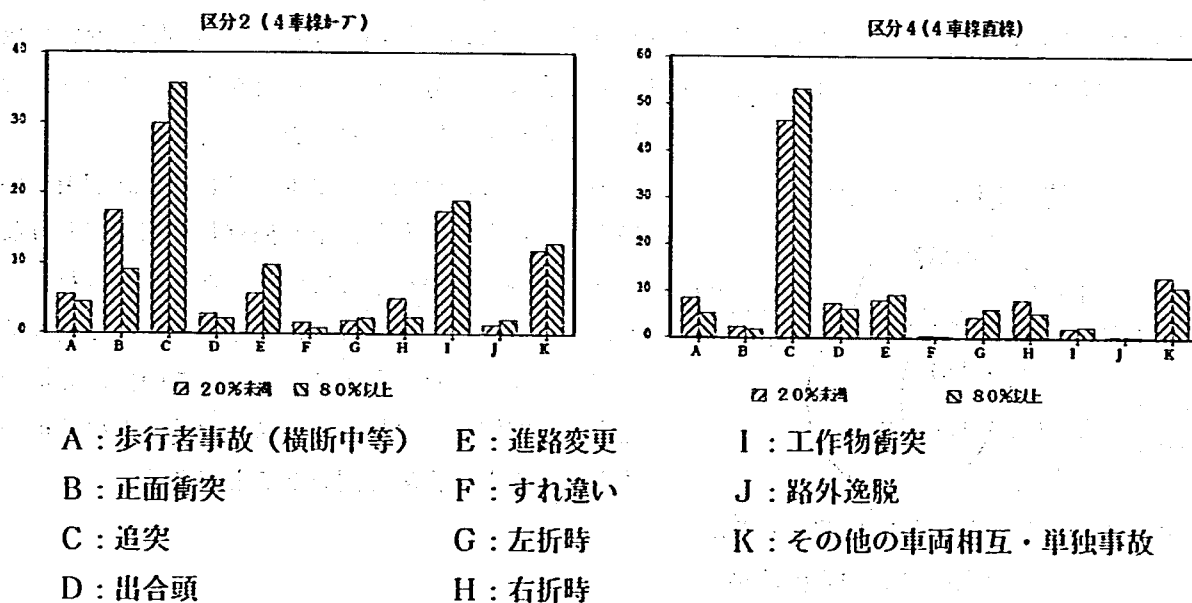


図5-V 各道路区分における事故類型構成比率

第6章 交通事故ミクロ調査と道路交通環境要因の抽出

6. 1 (財) 交通事故総合分析センターの業務と交通事故ミクロ調査

交通事故は、人・車・道路交通環境等の要因が複雑に重なりあって発生するものであり、交通事故の分析においてもこれらの総合的な視点が必要とされる。このため、単に交通事故のデータだけでな

く運転者や車両、道路交通環境に関するデータを集積し、総合的な交通事故分析を実施することが必要であり、平成4年3月5日、(財)交通事故総合分析センター(以下、「分析センター」という。)が設立された。分析センターは、交通事故に関連する各種のデータを収集、統合してこれを活用した総合的な分析研究を行うことをその任務としており、各行政機関や自動車メーカー等の関連団体は、この成果を活用して各分野毎の調査研究や対策を実施することとなる。土木研究所においても、分析センター設立以来、データ提供等密接な連携を保ちながら調査研究を進めてきている。

分析センターの業務は、マクロ分析とミクロ分析の2つの柱から構成されている。

1) マクロ分析

各機関が保有している交通事故に関係するデータ、すなわち交通事故統計データ(警察庁)・運転者管理データ(警察庁)・道路交通センサスデータ(建設省)・および自動車登録データ(運輸省)を、それぞれのキーデータ(事故番号・キロ程等)により統合し、これを活用して総合的な交通事故分析を実施するものである。

2) ミクロ分析

交通事故調査を担当する地方事務所を設置し、その地域における死亡、重傷事故を中心に運転者・車両・道路交通環境等の観点から専門調査員が詳細な調査を実施し、その結果を活用して個々の事故の要因分析や特定のテーマについての事例解析、事故再現解析等を行うものである。

6. 2 交通事故の要因分析

ほとんどの事故は、人・車・道路交通環境の要因が複合的に関係して発生するものであり、中でも人の要因が大きなウェイトを占めていることは言うまでもない。しかしながら、わが国においてはこれらの要因について総合的な分析を行った例は極めて少なく、分析センター設立以降、この種の取り組みがようやく始められたところである。

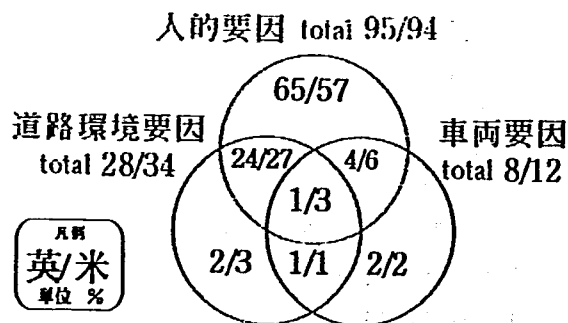


図6-1 交通事故の要因に関する英国および米国の詳細分析結果

図6-1は、英国および米国における詳細調査の結果を示したものであり、全く独立した調査でありながらほぼ同様の結果を示していることが注目される。これは、それぞれの専門分野により構成された調査チームにより実施されたものであるが、この種の分析の問題点は、客観的・機械的なシステムチックな分析の手法を採ることが極めて困難なことである。

6. 3 ミクロ調査データを活用した道路交通環境要因の分析

ここでは、土木研究所において、平成4年度に分析センターのミクロ調査データを活用して行った交通事故ミクロ分析(道路交通環境要因の抽出分析)のうち、車両単独事故と出合頭事故の要因抽出結果を紹介する。用いた全データは、分析センターが収集した平成4年の交通事故例調査原票298件中、解析可能な277件であり、調査対象地域は、東京・神奈川・愛知・大阪・兵庫・広島の6都府県である(前述の交通事故調査を担当する地方事務所は平成5年度に設置されており、ここで用いたデ

ータは各都府県警察、道路管理者等の協力により収集されたものである）。

道路交通環境は、自動車が走行する直接的な環境という意味で広くとらえれば道路構造や交通状況のみでなく、沿道の土地利用、看板類も大きな要素であり、また、天候や昼夜の別も含めることが出来るが、ここではこれらは除外して、直接的な道路構造や道路付属物等の状況、路上駐車車両等の交通の状況を対象としている。

また、今日、事故多発地点と言えどもほとんどの車両が特に危険な状況に陥ること無く走行している状況からも容易に理解できるように、道路交通環境のみが要因となって発生している事故は皆無と言って良いであろう。しかしながら、人的な要因で発生したとしても道路交通環境の改善によって最終的に事故に至る件数や被害程度を少しでも減少させることが必要であり、本調査ではこのような観点からあえて、具体の道路交通環境的要因を抽出したものである。

分析の手順は以下の通りである。

- ① 事故1件ずつについて事故カルテを作成。
- ② 道路交通環境面からの事故要因の仮説を立てるとともに、それを実証するのに必要と思われる分析項目・調査項目を事故カルテに記入。また、道路交通環境の改善で事故防止等の可能性があるものと、道路交通環境要因が考えられないものとに分類。
- ③ 抽出された道路交通環境要因を分類、整理。
- ④ 同じ事故で計算機に入力されているデータにより、要因毎の発生頻度を求め、③と比較する。
(対象事故は、自動車安全運転センターにより収集された平成2年・3年における同様の調査事例を含む合計899件)
- ⑤ クロス分析等により、要因(仮説)の有意性の検討を行う。

6. 3. 1 車両単独事故に関する要因抽出結果

平成4年の分析対象件数 277件の内、車両単独事故は71件であった。道路交通環境要因の抽出結果は図6-Ⅱの通りである。

[]内は、計算機による抽出結果である。個々の抽出条件については省略するが、横断勾配や幅員の連続性、進行方向の迷い等、調査表に無かったり調査表の項目を組み合わせることだけでは抽出できない要因がある。また、事故の発生過程を総合的に考慮した抽出が出来ない。これらの点が計算機を用いた抽出の限界である。しかしながら、道路交通環境要因がほとんど考えられないものと道路交通環境等の改善で事故防止等の可能性のあるものの割合は、ほぼ同様の結果が得られている。

車両単独事故 71件[211件]

道路交通環境的要因がほとんど考えられないもの（無謀運転等）	25件(35%)	[53件(31%)]
①飲酒運転による操作誤り	5件	[9件]
②超高速運転（設計速度から50km/h以上超過）	6件	[14件]
③居眠り・よそ見等による操作誤り	7件	[34件]
④運転未熟他、交通の影響等による操作誤り	8件	[—]
⑤危険運転（蛇行運転等）	1件	[3件]
道路交通環境等の改善で事故防止等の可能性のあるもの	46件(65%)	[158件(69%)]
①道路形状（横断勾配・逆カント等）	7件	[—]
②下り勾配（速度が出やすかった）	5件	[5件]
③路面の状況（水膜有り等）	3件	[10件]
④道路幅員または路面状況が不連続	7件	[—]
⑤夜間の視認性	11件	[20件]
⑥雨天時の視認性	3件	[5件]
⑦カーブの存在の認知（視線誘導・警戒標識・限界速度の認知等）	23件	[33件]
⑧工作物（視認性と設置位置）	12件	[79件]
⑨進行方向の見失い、迷い	2件	[—]
⑩防護柵の設置方法	2件	[—]
⑪駐車車両による錯綜	4件	[12件]
全ての抽出条件に含まれず、要因抽出不可能（計算機）		[42件]

*) [] : 計算機による抽出結果（—は抽出不可能）

図6-Ⅱ 車両単独事故に関する道路交通環境的要因の抽出結果

6. 3. 2 出合頭事故に関する要因抽出結果

分析対象件数 277件の内、出合頭事故は48件であった。道路交通環境要因の抽出結果は図6-Ⅲの通りである。

出合頭事故 48件[98件]

道路交通環境的要因がほとんど考えられないもの（無謀運転等）	19件(40%)	[47件(53%)]
①信号無視（夜間）	12件	[26件]
②信号無視（昼間）	5件	[11件]
③超高速運転	0件	[2件]
④運転未熟による操作誤り、居眠り、よそ見による操作誤り	0件	[12件]
⑤安全不確認（交差点での方向転換中）	2件	[2件]
道路交通環境等の改善で事故防止等の可能性のあるもの	29件(60%)	[42件(47%)]
①交差点の存在の認知（交差点自体に気付かなかった）	11件	[3件]
②交差点での視認性（柵等により見通しが悪かった）	16件	[18件]
③駐車車両による視認性	4件	[3件]
④交差点での渋滞による視認性	3件	[—]
⑤優先・非優先が明確でない	3件	[11件] *2
⑥標識・標示の表示方法（標識有るが徐行・一時停止無し）	5件	[22件]
⑦信号の見誤り	2件	[7件]
⑧沿道施設出入りによる錯綜	1件	[3件]
⑨交差点の形状が複雑なため迷い	1件	[1件]
全ての抽出条件に含まれず、要因抽出不可能（計算機）		[9件]

*) [] : 計算機による抽出結果（—は抽出不可能）

図6-Ⅲ 出合頭事故に関する道路交通環境的要因の抽出結果

6. 3. 3 今後のミクロ調査の活用

ここで紹介したミクロ調査による要因分析により、道路交通環境的側面からの対策や今後の道路構造のあり方に関して直接的に有益な事故の要因を数多く抽出することが出来た。

交通事故統計データ等の大量かつ全数または無作為抽出のデータによる統計的分析をマクロ的分析と位置づければ、ここで紹介した調査分析は少数の事故事例を対象とした詳細な調査に基づく事例的な分析であり、いわばミクロ的分析である。

マクロ分析とミクロ分析は車の両輪であり、それらの役割分担は以下の様である。

ミクロ分析：①マクロ分析では捕捉できない交通事故の要因をとらえる

②マクロ分析に新たな視点やデータ収集の必要性を与える

マクロ分析：①ミクロ分析において着目すべきテーマを与える

②ミクロ分析において得られた結果を統計的に検証する

これらはいずれも汎用目的でのデータ収集に基づいた分析であるが、この他当初から特定の箇所、事故、目的を対象とした個別の調査分析も当然存在する。

ミクロ分析については、平成5年度から分析センターにおいて調査事務所が設置され、データ収集が開始されたばかりであり、今後のデータの蓄積やこれを活用した今後の更なる分析が期待されるところである。

第7章 今後の交通事故防止対策の展望

今後急速に進展する高齢化や国土利用の高度化に伴って、わが国における交通事故の発生をとりまく状況は、ますます厳しくなるものと思われる。従来の対策を継続して実施するのみでは交通事故の削減は不可能であり、人・車・道路交通環境等の総合的観点からの国を挙げての対策とともに、道路管理者としても社会経済の変化や交通状況の変化に対応して、道路交通環境の質的向上を図るための新たな施策を講じていく必要がある。

前章までに紹介した土木研究所における交通事故分析も、今後道路管理者として実施すべき事故防止対策のメニューや実施方法を生み出すことが大きな目的であり、第4章においては事故多発箇所の抽出と診断による事故削減のための方法論を、第5章・第6章においてはマクロ・ミクロの分析を通じての安全対策の指針を得ることを目指している。

ここでは、今後、道路管理者の視点から新規にまたは重点的に必要と思われる事故防止対策の展望を示すとともに、これに対応して今後必要な交通安全研究について述べる。

7. 1 今後の主要な事故防止対策

7. 1. 1 道路構造における配慮事項

1) 道路の機能の明確化

通行機能・アクセス機能・滞留機能といった道路の持つ機能を利用者に分かりやすい形で構造的に明確にし、交通の実態と調和させることが安全・円滑な道路交通を実現する上での基本である。

2) 自動車交通のためのより安全な道路構造

自動車運転中の事故が増加しており、道路線形においては前後のつながりに配慮し、ドライバーが自然に適正な速度で運転できるよう誘導することや、交差点においてはその構造や通行方法をドライバーに容易に理解できるようにすること、優先・非優先の関係を明確にすることなど、更に暫定2車線道路の安全対策に構造的な配慮をすることなど、道路構造の各側面において配慮すべきことは多い。

また、高齢ドライバーの事故の増加に対応して、車線数や幅員、線形、視距等においてゆとりある構造を確保する必要がある。

3) 歩行者・自転車等のための道路空間の確保

歩行者等の交通弱者の事故の比率は欧米諸国と比較して依然として高く、歩道や自転車道、横断施設等の歩行者等のための空間を、ネットワークと使い易さを考慮して、自動車交通と同等のウエートを持って確保することが必要である。

4) 住区内道路における自動車交通と歩行者・自転車等との調和

住宅地内、商業地内等の細街路においては、必要に応じてハンプ、狹窄等の自動車の走行速度を低下させ、通過交通の進入を抑制する構造を導入し、自動車と歩行者・自転車等との調和・共存を図ることが必要である。

5) 交通安全施設整備の推進と機能向上

交通安全施設については、それらの適正な配置を推進することに加えて、個々の施設の機能の高度化を図ることも重要である。例えば、立体横断施設においては、沿道の建築物等に直結させることや、自動昇降施設の導入、道路標識や区画線においては視認性の向上のための技術の導入を図る必要がある。

6) 沿道との関係

運転者の視線を誘導し、交差点や出入口等の危険の存在を確実に伝えるための配慮や、沿道の看板類、夜間の過度な商業用照明等、安全な運転のために必要な情報の収集に障害となる沿道環境を排除する努力が必要である。

7. 1. 2 対策の実施方策

既存の対策をただ実施するだけでは交通事故の削減は困難になってきており、事故の発生状況に応じて複数の施策を有効に組合わせた、緻密な対策の実施が求められている。

1) 面的対策・区間的対策

交通事故の多発箇所における重点的な対策の推進とともに、事故の発生箇所の分散化が進むと考えられる。住区内等の非幹線道路においては既にこの様な状況となっており、今後は面的、区間的な視点で安全性のバランスを確保するといった視点が求められる。

2) 安全性の評価・診断

道路事業の実施に当たっては、単に関連する技術基準類への適合性のみでなく、今後は人間工学や心理学等の視点も含めた、安全性の総合的な評価・診断を行うことが求められる。

3) 交通規制との組み合わせ

交安委員会が行う交通規制と道路構造面での対策とを綿密な調整のもとに行うことは、わが国の行政機構の特殊性から従来必ずしも十分に行われてきたとは言い難い。今後は前述の住区内等の速度抑制等を始めとして、緻密な調整と整合性の確保が求められる。

4) 住民との対応

道路事業を実施する上で、沿道の関係者との調整はとかく困難であるが、交通安全上問題となる出入口や分離帯開口部の設置、路上占有物などの排除に努める必要がある。

また、住区内等の身近な道路における面的な対策においては、住民の計画への主体的な参加が求められる。

7. 2 今後必要な交通安全研究

以上に示した今後必要とされる対策に対応し、必要な交通安全研究のポイントを述べると以下のようであると思われる。

1) 対策効果の把握と施策への反映

限られた財源を効果的に活用し、交通事故の削減を図るためには、対策効果の継続的な計測と、これに基づいた定量的な事故削減目標の設定、モニターが必要である。

また、事故多発箇所の箇所数や場所の移動など、その推移を継続的に把握し、重点対策箇所や対策内容の設定を合理的に行っていく必要がある。

2) 人間工学・心理学等の視点の導入

道路構造面からより安全な道路交通を実現するためには、運転者とのインターフェースを基本的な視点に据える必要があるのは当然のことである。今後は、人間工学や心理学等の視点をより積極的に交通安全研究に導入する必要がある。

3) 新たな技術の導入

交通事故の抜本的な削減のために、わが国ではARTSと呼ばれているいわゆる先進道路交通技術に関する、官・学・民の協力体制のもとでの研究の推進が必要である。その場合「官」に対しては、それらの技術を導入するシナリオ作成に関する調査研究など、ソフト面での支援が求められている。

また、標識や照明、防護柵等の既存の交通安全施設においても、最新の技術を積極的に導入し、機能の高度化を図るための研究が必要である。

第8章 おわりに

わが国における交通安全研究は、欧米諸国と比較して、特に施策に直結するソフト面での研究において大きな遅れをとっている。今後一層進むであろう道路交通の進展や、急速な高齢化社会への変化の中で、交通事故を減少させるためには、道路施設の整備面において緻密な交通安全施策を推進するとともに、人と車と道路交通環境を総合的な視点で捕らえ、道路交通のあらゆる交通主体にとって、より安全でゆとりのある交通環境にして行く必要がある。

平成4年3月に、分析センターが設立され、わが国における交通安全研究の体制が強化されたが、今後はこれの積極的な活用を図るとともに、行政機構の壁を越えて、産・学・官が一体となって研究を推進し、その成果が速やかに施策に反映される体制を整えて行かねばならない。

資料出典

- 1) 図1-I、図2-I、図2-II、図2-V、図2-VI、図2-VII
平成5年度「交通安全白書」、総務庁
- 2) 図2-III
Nordic Road & Transport Research No.3 1993
- 3) 図2-IV
平成5年度「交通安全白書」、総務庁 P39より作成
- 4) 図4-I、図5-I、図5-II
平成5年度「事故多発区間等データ解析業務報告書」、土木研究所
- 5) 表-I、表-II、表-III、図5-III、図5-IV、図5-V、図5-VI
平成4年度・5年度「交通事故分析システムの高度化に関する検討業務」、土木研究所
- 6) 図6-I
ROAD SAFETY - FIRST AND FOREMOST A MATTER OF RESPONSIBILITY, ECMT, P22より作成

海峡横断プロジェクトを支える橋梁技術

構造橋梁部長 横 山 功 一

海峡横断プロジェクトを支える橋梁技術

1. はじめに

現在、わが国の代表的な海峡横断プロジェクトである本州四国連絡橋プロジェクトの明石海峡大橋、来島大橋、多々羅大橋などの建設工事が進められており、本プロジェクトは今世紀中に概成し、当初の計画である本州と四国が3ルートで結ばれることになる。

更に、わが国では21世紀に向けて活力ある経済に支えられた「ゆとり社会」を実現するために、高規格幹線道路を始めとする道路網の充実を図ることとしているが、全国的な視点からの広域経済圏の基盤を形成する新たな交通軸の必要性が議論されており、そのための新たな海峡横断道路計画が構想されている。

現在、建設省では海峡横断道路調査を進めているが、土木研究所でもプロジェクト実現のための技術的検討を進めている。今後必要とされる海峡横断道路計画を見ると、地形・地質などの自然環境条件は本州四国連絡橋プロジェクトのレベルを上回る厳しさが想定され、従来の技術の延長線上では克服できない課題も多く、新しい発想が求められている。

ここでは、初めに、現在までの長大橋梁の建設を可能にしてきた技術の開発経緯を振り返る。次にジブラルタル海峡をはじめとする世界各地ならびにわが国における海峡横断プロジェクトの構想、計画を紹介する。そこでは、これまでよりも地形、水深、地質、海象、気象などの設計・施工条件が厳しく、上部構造ではスパンの長大化、下部構造では大水深基礎の開発が必要になる。更に、建設プロジェクトの大型化から工費・工期面でも大幅な改善が要求される。そこでこれらの課題を克服するための技術開発の方向、可能性を探ることとする。

2. 吊橋建設の系譜と技術の進歩

「吊橋の歴史は落橋の歴史」と言った見方もできるほど、経験に基づいて行われていた吊橋建設の初期の時代には落橋事故が多く発生した。多くの困難を克服し、本格的な吊橋を建設できるようになるまでには、技術の進歩が必要であった。

図-1に現在までの吊橋支間長の時代的変遷を示すが、スパンを伸ばす毎に新しい技術が取り入れられている。具体的には、近代的な吊橋を支える技術とは、①鋼材などの材料、②設計理論、③施工法に大別される。

近代的吊橋の原型は、ジョン・ローブリングJ. Roeblingによって設計され、1883年に完成したニューヨークのイースト河に架かるブルックリンBrooklyn橋（主径間 486m）とあってよいであろう。この橋には曲げ剛性の高い補剛桁と、ケーブルシステムを補強するためのステイケーブルが導入されており、それまでの多くの吊橋が車両や強風による落橋事故を起こしていたのに対し、これらにより落橋の危険を克服し安全なものとする事が出来た。

ジョン・ローブリングJ. Roeblingの時代までの吊橋建設は、理論的アプローチと言うよりも経験と

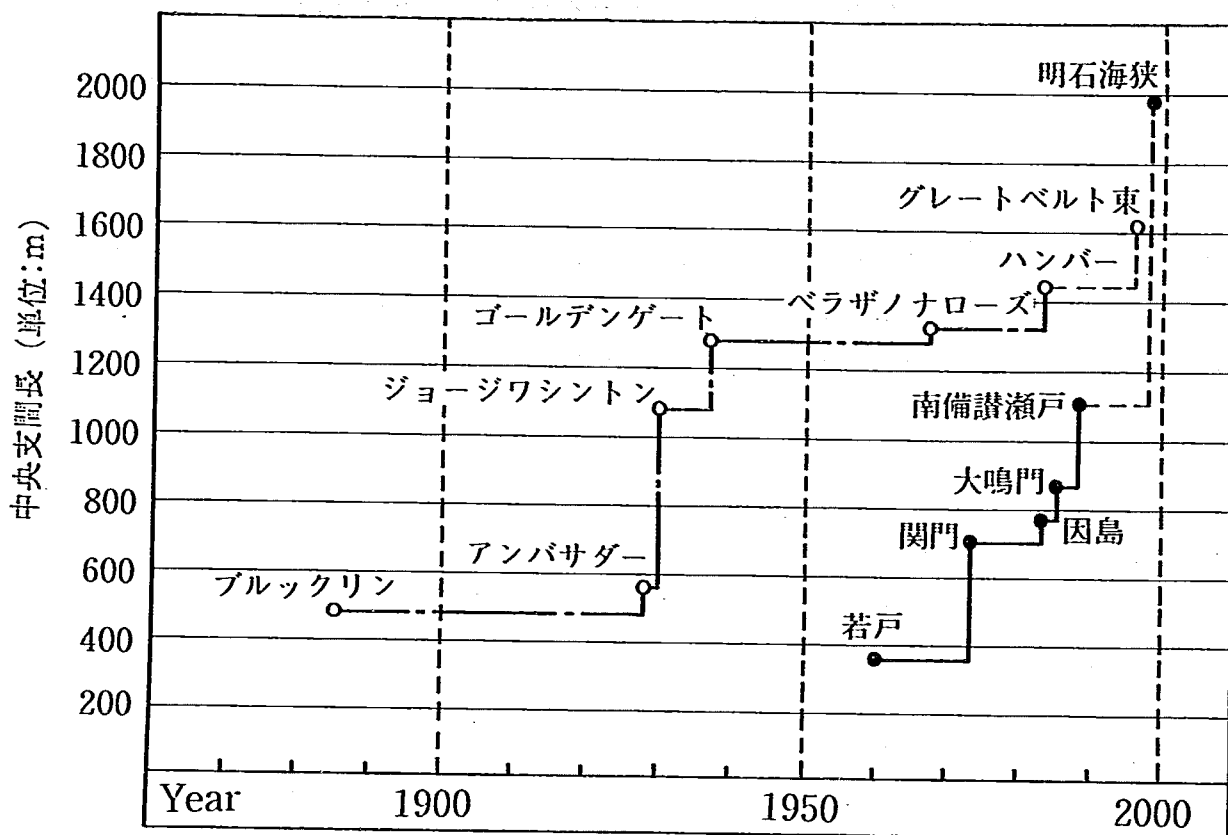


図-1 吊橋支間長の変遷

勘、それに優れた洞察力をベースに行われた。19世紀後半の吊橋の解析理論は、2つあるいは3つのヒンジを持つ吊橋を扱った1858年の Rankineによる理論をはじめとしてすべて弾性理論であった。弾性理論の適用のために、構造系はブルックリン Brooklyn 橋の様な高度の不静定構造物から単純なものに変わっていった。弾性理論の初めての適用が、1903年に開通した Williamsburg 橋（主径間 488m）である。

1909年マンハッタン Manhattan 橋（主径間 450m）が撓度理論による最初の吊橋として完成した。吊橋理論の一応の完成は J. Melan によって1888年になされたと見る事が出来る。その年、彼は吊橋の撓みの影響を考慮にいたたいわゆる「撓度理論 (Deflection Theory)」を発表した。

1901年ブルックリン Brooklyn 橋のハンガーの破断を調べていたモイセーエフ L. S. Moisseiff は、弾性理論ではこれを説明しきれないことに気づき、撓度理論の適用を考えた。すなわち、「撓度理論に依れば、吊橋はたわみが大きいほど補剛桁に生ずる曲げモーメントは軽減されることになり、補剛桁の曲げ剛性が小さければそれに作用する曲げモーメントも減少する。」この理論は L. S. Moisseiff によって初めて実際の吊橋マンハッタン Manhattan 橋に適用された。

1932年に L. S. Moisseiff と F. Lienhard によって発表された水平方向の荷重に対する吊橋の応答計算理論は吊橋の構造解析の発展の中で重要な意味を持っている。その理論は、撓度理論の延長線上にあるが、それまでの鉛直面内荷重のみを対象にした理論を水平横荷重まで拡張したものであった。この新しい理論では、補剛桁の受け持つ横力が著しく低下する。この効果はスレンダーな桁ほど大きく、

補剛桁に横方向剛性がなくとも吊橋としての安定を保つことが可能ということになる。

この理論の忠実な適用と経済性の追求は、その後補剛桁の剛性の比較的小さい吊橋を生み出し、一時期用いられた補剛トラスに変わってBronx-Whitestone橋（1939年、主径間701m）、Tacoma-Narrows橋（1940年、主径間 853年）の様に桁高の低いプレートガーダーを補剛桁とする吊橋が出現した。

1926年にデラウェア川橋が初めてスパン 500mを越えたが、その5年後には 1,000mを越えるGeorge Washington橋（1931年、主径間1,067m）が完成し、1937年にはその後の27年間最長スパンを誇ったゴールデンゲートGolden Gate橋（主径間1,280m）が幾多の苦難の末に完成している。

1940年7月1日、当時世界第3位の中央径間長 853mのタコマ・ナローズTacoma-Narrows橋が開通した。L.S.Moiseiffの撓度理論を忠実に適用して生まれたこの橋は、補剛桁がプレートガーダーで、桁高と支間長の比が1:350と非常に小さく、しかし活荷重、静的風荷重に対しては十分な安全性を持つよう設計されていた。ところが同年11月7日、19m/sの風により上下に振動し始め、振幅 8.5mの振動に成長し、次いで振動モードがねじれ振動に変わり最終的に落橋した。このタコマ・ナローズTacoma-Narrows橋の落橋事故は、吊橋の空気力学的安定性という新たな問題を提起した。

1966年英国セバーンSevern橋（主径間 988m）は補剛桁に流線型箱桁を、また従来の鉛直平行ハンガーの変わりには斜めハンガーを採用し、米国流のそれまでの吊橋とは全く異なる新機軸を生み出したものとして注目を浴びた。この技術はその後、デンマークのリトルベルト Little Belt橋（1970年、主径間 600m）、トルコのボスポラスBosporus橋（1973年、主径間 1,074m）第2ボスポラスFatih sultan Mehmet Koprusu 橋（1988年、主径間 1,090m）、英国の世界最長の吊橋ハンバーHumber橋（1981年、主径間 1,410m）等に採用され吊橋上部工の新しい流れになっている。

セバーン橋の設計者である英国の Gilbert Roberts卿は、リスボンの吊橋に関する国際会議において、セバーン橋の特色を次のように説明し、従来の設計からの革新を強調した。

- ① 空気特性の改善：トラスを使用したり、開床部を設けたりして、風によって生ずる渦を分散させるような方法とは別に、断面を流線型にすることにより、剛性の増加に加えて、渦が発生しないようにする。
- ② 抗力係数の低減：風荷重はトラスの $1/3 \rightarrow$ 塔が小さくできる。
- ③ 軽量化による経済化：箱断面はあらゆる方向の作用応力に同時に有効に働くことができ、別々に働く部分のあるトラス断面に比べて鋼重が少なくすむ。吊構造部の重量が減ると、ひいてはケーブル、塔、アンカレイジが小さくすむ。
- ④ 塗装面積の減少：外側の塗装部分が非常に少なくなり、箱桁内部が密閉されているので補修不要。
- ⑤ 斜めハンガーによる構造減衰増加：振動時の吊材のヒステリシスを利用してエネルギーを吸収し、構造減衰を増加させる目的で、各吊材を三角形を形成するように傾斜させて配置した。

この新しい構造も良いことばかりではなく、供用後、①風によるハンガーの振動、②舗装の破損、③桁の疲労損傷などいくつかの弱点が見つかり、大がかりな補修工事が必要になった。

風によるハンガーの振動に対しては、供用開始後、ダンパー制振対策とハンガー端部構造の改良が行われた。その後、交通量が40,000台/日（30%が大型車）と大幅に増加し、補剛桁に疲労損傷が発生した。原因は大型車の増加であり、1962→1976年で14倍、車重は40%増であった。補修工事は、①鋼床版下面の溶接のやり直し（デッキプレートと縦リブの間の隅肉溶接のやり直しは延長21km）、②

主塔内部の補強（内部に4本の鋼管建て込み）、③斜めハンガー 340本全ての交換。この補修工事には60Mポンド（90億円）という巨額の経費が必要とされ、偉大なる挑戦に対する貴重な事例を提示した。

一方、橋梁下部工についてみると、橋梁計画としては、上部構造とトレードオフの関係にあり、全体のバランスを考えて橋梁諸元が決定される。通常、基礎は岸に近い水深の浅い場所に建設されることが多く、特に George Washington橋が完成した1931年頃までは、岸または浅い水深の箇所に橋梁基礎を置いて、長大スパン桁が架設された。しかし、水深の深い所に基礎を設置する方が経済的な場合もあり、大水深における橋梁基礎が建設されるケースも多くなった。

1933年、サンフランシスコ市では2つの長大吊橋の工事が開始された。その一つは Golden Gate橋、もう一つは San Francisco-Oakland湾橋(West Bay Crossing)であった。前者は、当時世界最長の1280mの中央スパンをもつ吊橋の主塔基礎として、水深24.4m、潮流の最大流速7ノットの箇所に建設された。後者は共用アンカレイジを有する中央スパン 704mの双子の3径間吊橋である。この共用アンカレイジは水深21.3mの箇所に縦60m×横28mのケーソンを水面下64mの支持層まで、浮力をコントロールできるドームド・ケーソン方式で沈下させた。

1930年以降、アメリカではオープン・ドレヂ・ケーソン工法や深い水深での水中杭打基礎・水中型わく工法が行われるようになった。1957年に完成したマキノMackinac橋は、主塔位置の水深42.7m、その基礎は水面下63mまで円形オープン・ケーソンで下げ、アンカレイジも水深22.6mの箇所となった。

長大吊橋の基礎の実績を見るとオープン・ケーソン基礎はハンバー橋、ベラザノ・ナローズ橋、マキノ橋などに、ニューマチック・ケーソン基礎はゴールデンゲート橋などに用いられている。設置ケーソン基礎は明石海峡大橋、グレートベルト東橋などに用いられており、支持層が海底面から浅い場合に適している。

3. 内外の海峡横断橋梁プロジェクト

現時点での世界の海峡横断プロジェクトを見てみると、工事中のものとしてデンマークのグレートベルト東 Great Belt East橋、香港のツィンマTsing Ma橋などがあり、また計画あるいは構想中のものとしてはデンマーク〜スウェーデン間のウルスンド@resund海峡、イタリアのメッシナ Messina海峡、スペイン〜モロッコ間のジブラルタル Gibraltar海峡、ベーリング海峡などの様々なプロジェクトがある。

グレートベルト海峡連絡プロジェクトはコペンハーゲンのあるシェラン島とフューン島を結ぶ道路・鉄道建設である。グレートベルト東橋は、中央径間が 1,624mの3径間道路吊橋であり、1997年の完成を目指して現在ケーブル工事が進められている。完成後は明石海峡大橋の完成までのしばらくの間世界最長の吊橋になるこの橋は、セバーン橋で採用されて以来ヨーロッパを中心に多くの吊橋で採用されている流線型箱桁を採用している。

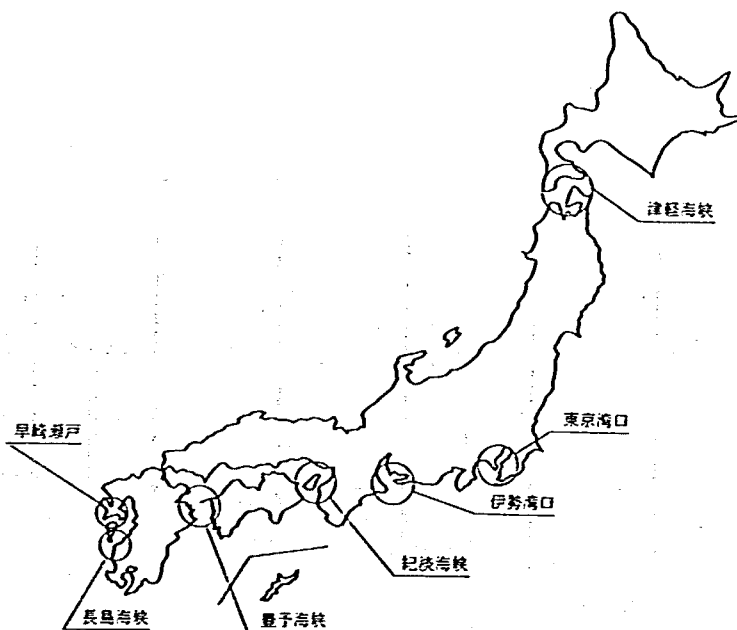
メッシナ海峡連絡はイタリア本土とシシリー島を連絡するプロジェクトであり、1981年にはメッシナ公団が設立され調査・設計が進められている。橋梁案、トンネル案、水中トンネル案のフィージブルスタディが行われ、安全性、コスト、工期、維持管理などの観点から橋梁案が選ばれた。海峡部の

水深が深いことから、1スパンで海峡を跨ぐ単径間鉄道・道路併用吊橋で中央径間が 3,300mとなる既往の長大橋をはるかに上回る規模の橋梁計画が進められている。

また、ジブラルタル海峡連絡計画は、スペインとモロッコ間のジブラルタル海峡を橋梁あるいはトンネルで結ぼうとするものであり、1980年スペインとモロッコが国際協定を結んだことから調査研究が本格化している。現在、長短2ルートの橋梁案と1ルートのトンネル案が設定されており、西側のルートは大陸棚ルートと呼ばれる全長28kmのルートであり、水深は約 300mとなっている。また、東側のルートは海峡ルートと呼ばれ、全長は14kmと大陸棚ルートよりもはるかに短くなっているが、最大水深は約 900mと深くなっている。これまでに考えられている橋梁計画は、大陸棚ルートでは中央部に主径間 3,500mの3径間吊橋を建設するというもので、その場合は水深 300mの基礎が必要になる。一方、海峡ルートでは中央部の水深の浅い（水深 450m）箇所を利用して主径間 5,000mの4径間吊橋を建設する計画が議論されている。

一方、日本においても幾つもの海峡横断計画がある（図－2）。次世紀に向けて新たな交流圏域の形成による地域の活性化・振興を図る新交通軸について、第11次道路整備五箇年計画では、「第2東京湾岸道路、東京湾口道路、大阪湾環状道路、伊勢湾口道路等については、地域の活性化施策の推進と併せて、事業の具体化を図る。関門海峡道路、離島振興のための新たな海洋架橋等については、具体化のための調査を進める。西瀬戸地域、有明湾岸地域や青函地域等、全国的な視点からの広域経済圏の基盤を形成する新たな交通軸については、長期的な視点から調査を進める」としている²¹⁾。

これらの計画のある地点の地形、水深、地質、海象、気象条件を長大橋建設という観点から見ると、本州四国連絡橋の建設された瀬戸内海地方よりもかなり厳しい条件になっているといえる。即ち、海峡幅が広く、水深が深いことから全体の橋梁規模が大きくなり、スパンが明石海峡大橋と同規



図－2 国内の主な海峡横断プロジェクト(1)

海峡名	海上距離	最大水深
津軽海峡	東側 約13km	270m
	西側 約19km	140m
東京湾口	約15km	80m
伊勢湾口	約20km	100m
紀淡海峡	約11km	120m
豊予海峡	約14km	200m
早崎瀬戸	約5km	120m
長島海峡	約2km	70m

図-2 国内の主な海峡横断プロジェクト(2)

模かあるいは更に長大化し、径間数も3径間ではなく多径間にする必要性が高くなる場合がある。また、基礎は水深の深い地点に建設されなければならない。更に、外海に面していることから台風や波浪の影響は大きく、地震の発生域に近いことから耐震設計にも十分な注意を払わなければならない。一例として、津軽海峡連絡吊橋の構想⁴⁾を図-3に示す。

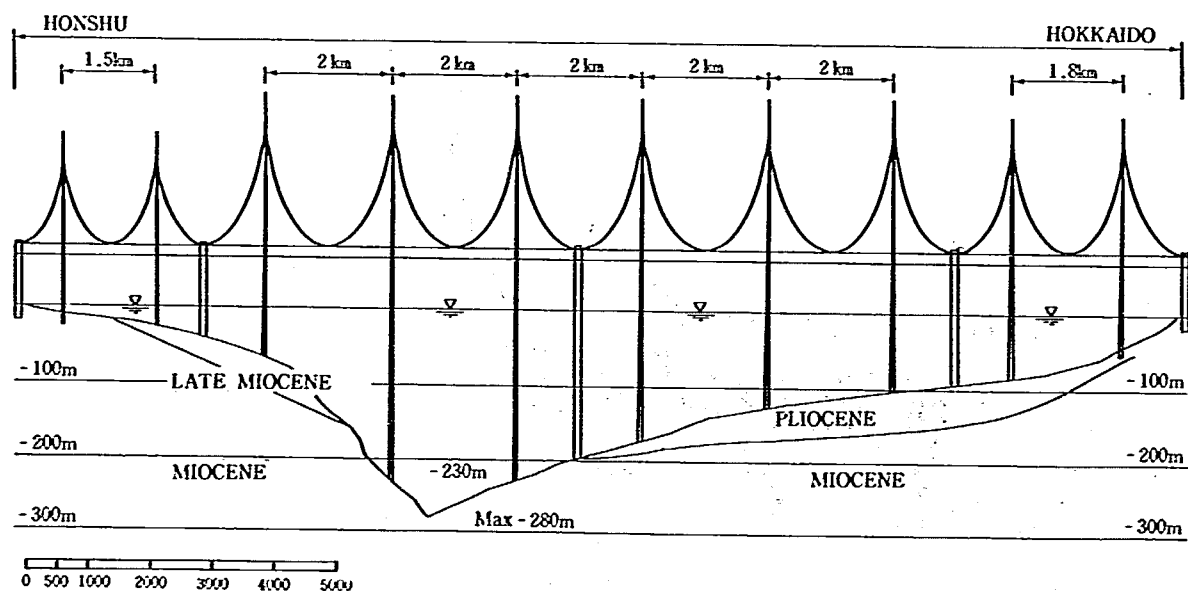


図-3 津軽海峡連絡橋梁

4. 2,000m超級吊橋の特性

明石海峡大橋と同じ形式の3径間トラス補剛吊橋を基本構造とし、従来技術を延長して試設計した2,000mを超える吊橋の構造的な特性を調べ、研究開発の方向性を探ることとする。

中央径間長と上部構造の単位長さ当たりの自重の関係を示したものが図-4である。中央径間長が2,000mを超えるに從い、上部構造の単位長さ当たりの自重は急激に増加する。その中でも、単位長さ当たりのケーブル自重の増加は、吊構造部に比べて著しい。また、同図には自重に対する自動車荷重の比率もプロットしているが、中央径間長が増加するに從って自重に対する自動車荷重の割合は低下し、3,000m吊橋では4%程度になり、その影響は小さいことが分かる。超長大吊橋では吊橋全体系の剛性がケーブルによってもたらされ、中央径間長の増加に伴いケーブルが負担する荷重の中でケーブルの自重が占める割合が大きくなるという特性がある。

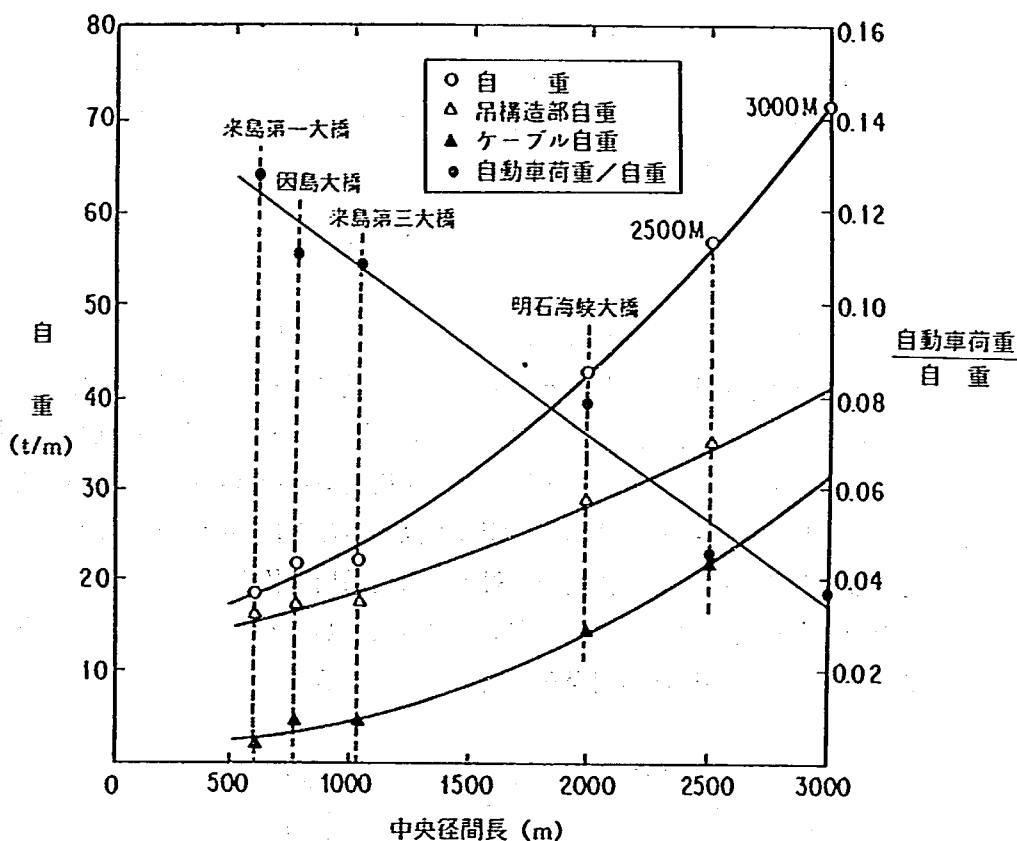


図-4 中央径間長と自重および自動車荷重と自重の比

明石海峡大橋の中央径間長を上回る吊橋の実現のためには、先ず初めに吊構造部の自重を小さくするとともに、明石海峡大橋で開発されたものより高強度かつ軽量で信頼性の高いケーブル材料を開発することならびに超長大橋の応答に対応した安全率（特に、ケーブル）の見直しが重要になる。

中央径間長と風荷重による水平方向たわみの関係を示したものが図-5である。中央径間長の増加に從い水平方向たわみが増加し、風荷重が支配的な荷重となり補剛桁や塔基部断面が風荷重で決定されるようになる。このため、上部構造の風荷重の低減が重要課題になり、また強風時の自動車走行性の確保等についても検討が必要である。

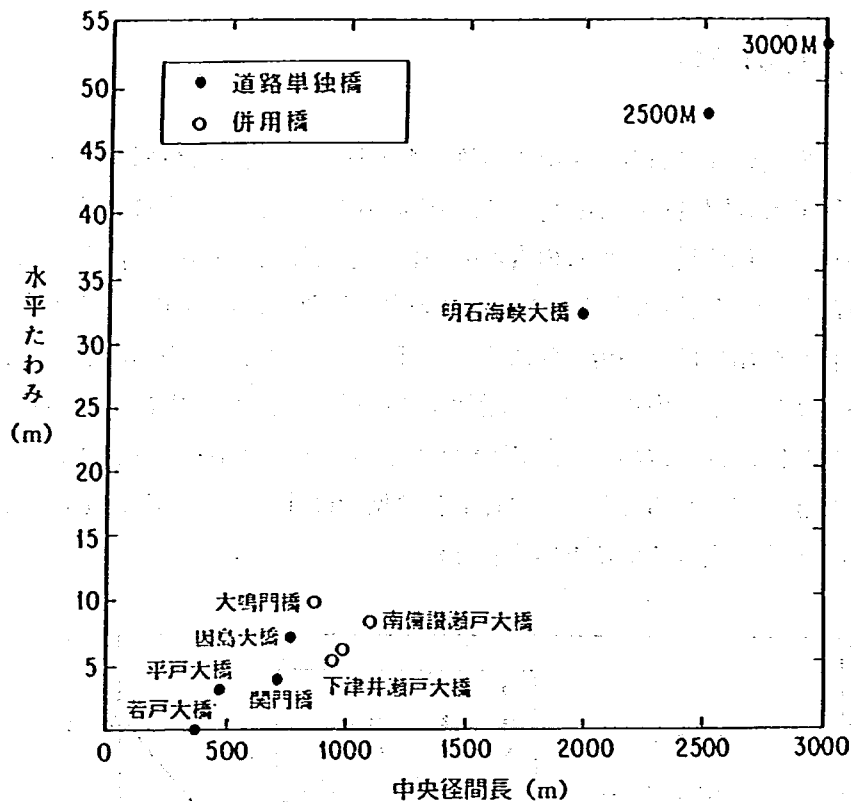


図-5 中央径間長と水平たわみの関係

更に、上部工の安全性に大きく関係するものとして、風による発散振動（フラッター）がある。フラッターの発現には、振動数、振動モードなどの構造特性と風による振動外力に関係する空力特性が影響を及ぼす。図-6は中央径間長と振動数の関係を示したものであり、中央径間長の増加とともに、たわみ、ねじれ振動数は低下する。従来、補剛桁にトラス構造あるいは箱桁構造を用いることにより剛性を確保してきたが、超長大吊橋では補剛桁の剛性を高めることは断面が大きくなるとともに、重量が増加し効率的でなくなる。そこで、構造的な対策として吊橋全体系の剛性を高めるためのケーブル構造、制振対策の開発が重要になる。また、空力的な対策としてセバーン橋のような箱桁を基本としつつも更に耐風性の良い補剛桁形状の開発が必要になってくる。

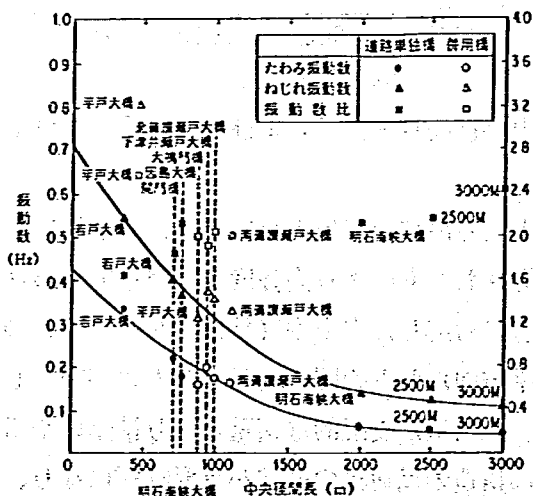


図-6 中央径間長と固有振動数の関係

次に、下部構造については、プロジェクトが構想されている地点によっては、水深が深く、海底面付近に良好な支持地盤がない場合も想定され、活動度の高い大規模断層の近傍に位置するものもある。このため、主塔基礎、アンカレイジの第一段階の検討には、このような厳しい条件の組み合わせとして、軟弱な地盤でマグニチュード8、震央距離50km程度の地震を想定する。

水深の深いところにおける各基礎工法を基礎形式に分類すると、直接基礎、剛体基礎および弾性体基礎に大別されるが、この場合、基礎形式としては、設置ケーソン基礎のような直接基礎あるいは地中連続壁基礎のような剛体基礎でなければ対応は困難となる。ただし、直接基礎は滑動に対する安全性の確保が課題となる。また、いずれの場合でも、基礎の平面寸法が著しく巨大なものとなるため、基礎の内部を中空にするかあるいは断面を絞る等、基礎の自重の軽減を図るための設計・施工上の工夫が必要である。

耐震設計では、本州四国連絡橋などの従来の長大橋と異なって、近距離大規模地震を対象としなければならない。従って、先ず第1に従来の距離減衰式の適用外となる断層域近傍での地震動特性を正しく評価できる設計用入力地震動を設定しなければならない。次に、基礎の安定照査（滑動、転倒、支持力等）については、従来の静的照査法では基礎は巨大化するおそれがあり、このため明石海峡大橋、来島海峡大橋の転倒照査に取り入れられて基礎寸法の縮小が図られた動的照査法を発展させて、滑動、滑動+転倒、支持力等に対する動的照査法を開発する必要があると考えられる。なお、構造が大型化することから、地震入力の位相差の影響、上部工への地震の影響、ダンパー等を利用した積極的な減衰性能の向上等も課題と考えられる。

更に、上下部共通の課題であるが、構造規模が大きくなることや、外洋に面していることから風、波浪等により稼働率が低下することなどから、工期・工費の面での大幅な改善が必要になる。

5. 技術的検討課題

現在のところ、プロジェクトが構想されている海峡部の自然条件は、必ずしも十分には把握されておらず、特に、重要度の高い地形、地質条件に関しては不明な点が多い。このため、設計条件に係る自然条件の調査や試設計を進めながら技術的課題の解決に当たっていかなければならないが、ここでは、各プロジェクトで構想される大規模構造物の現時点における技術的可能性ならびに解決すべき技術的課題を総括的に述べることとする。

また、海外プロジェクトの中には中央スパンが2,000mを超えるもの、水深・地盤条件が厳しいものもあり、そこでの検討は従来の技術を超えたものも見受けられ、わが国の今後の海峡横断プロジェクトの調査を進める上で参考になる点が多い。

わが国の吊橋技術は、図-1のスパンの変遷を見ても明らかなように、世界に遅れてスタートしたが、明石海峡大橋の建設でトップに立とうとしている。今後の技術開発は従前のように見習うべきお手本がなく、独自の発想、思想、価値判断が求められる。特に、明石海峡大橋を2～3割程度上回る規模の吊橋は、明石海峡大橋と同様の構造を基本としても設計は不可能ではないが、合理的かつ経済的な設計は難しい。これらより、着眼点としては「より経済的合理的な構造の開発、および工費の低減、工期の短縮を目指した建設技術の開発」が重要である。

(1) 全体構造

計画を進める前に、構造物が持つべき機能、耐久性、安全度などの設計の前提条件の整理が重要になる。長大橋の耐用年数は、設計段階で明確に規定することは難しい。ブルックリンBrooklyn橋の様に100年を経過しても、補修補強することによりニューヨークの重交通を担っているものもある。耐久性や強風・地震などの荷重の大きさは時間のファクターである。また、強風・地震時などの異常時に橋梁の応答レベルを何処まで許容するかも構造設計に大きく影響を及ぼす。これらは決定するのは難しいが、橋梁計画を大きく左右するので議論しておかなければならない。

架橋位置の地形条件等によりスパン割等の吊橋の全体構造が決定される。海峡幅が広く、多径間吊橋になった場合には3径間吊橋とは異なった挙動を示すため、中間主塔の橋軸方向の剛性を高めることなどが必要であり、橋軸方向にA型あるいは逆Y型の形式の主塔の検討が必要である。

また、斜めケーブルを併用した形式は、Dischingerが1938年に提案しているが、主塔の前後は補剛桁を斜めケーブルで吊り、残りの区間を主ケーブルからハンガーで吊る形式であり、剛性を高める効果、施工を早める効果が期待される(図-7)。

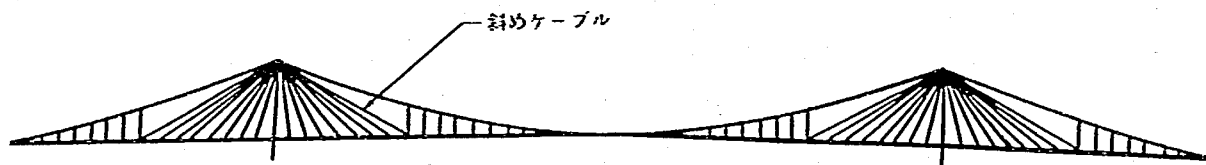


図-7 斜めケーブル併用形式

図-8はジブラルタル海峡5,000m吊橋案⁹⁾としてT.Y. Linが提案したものであり、ケーブル構造を工夫したものである。この構造は橋脚から1,000mの補剛桁を斜めのストラットで支持し、吊橋の見かけの支間を低減しようとするものである。この構造では、1,000mのストラットの先端が支点のように作用するため、橋梁全体としては3,000mの吊橋と動的にも静的にも同じ挙動を示すことになるとしている。

(2) 上部構造

上部工については自重を減らすことが第一の課題であり、次に全体剛性を高めるためにケーブルシステムの活用、具体的には斜めケーブルを併用したDischingerタイプ(吊橋・斜張橋混合形式)の採用を検討する。

また、設計法に関連して、超長大吊橋では死荷重強度の比率が活荷重よりも圧倒的に高まることから、死活荷重比に係わる安全率の見直しが必要である。限界状態設計法の考え方に従えば、安全度は変えずにケーブルの安全率を小さくすることができ、結果としてケーブル断面を減少できる。あるいはケーブル用高強度材料の開発も同様な効果をもたらす。

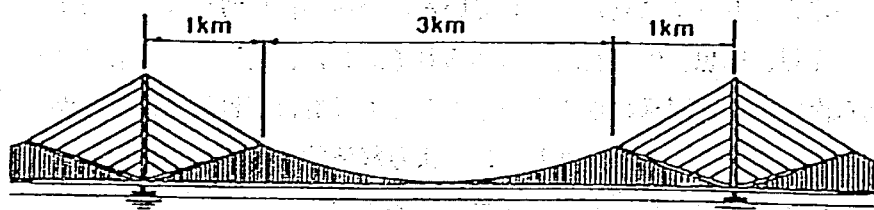


図-8 ジブラルタル海峡連絡吊橋(T. Y. Lin)

上部構造の耐風設計としては、上部工にとって支配的な風荷重の低減と風による発散振動（フラッター）に対する耐風対策の開発が最重要課題になる。風荷重の影響を減少させるためには、ケーブル、ハンガー、桁の風荷重を低減させるような対策を検討する。また、フラッター対策としては、空力的対策として桁構造の改善があり、トラス補剛桁ではなく、箱桁を基本にして新しい桁形状を追求する必要がある。また、構造的対策としては、質量・振動数の改善があり、塔の剛性増加によりあるいはケーブルシステムにより全体系の剛性を高めるクロスハンガーなどの方法が考えられる。対策の1例として図-9のようなクロスハンガーがある。そして、クロスハンガーと斜めケーブル併用形式の固有振動数の増加、フラッター発現風速の向上に対する効果を表-1で比較した。また、対策として構造的な空力的な3次元効果を利用することも考えられている。

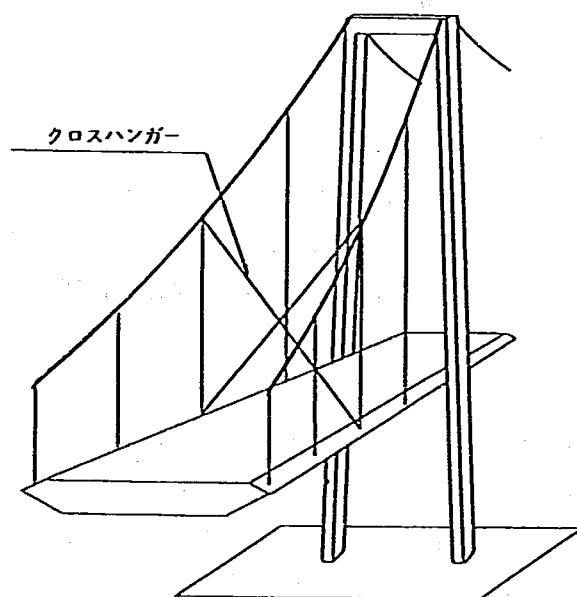


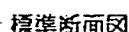
図-9 クロスハンガー形式

表-1 ケーブルシステムによる耐風性の変化

	たわみ振動数	ねじれ振動数	フラッター限界風速(*)
基本形	0.0654 Hz	0.123 Hz	54.3 m/s
斜めケーブル併用形式	0.0727 Hz	0.136 Hz	60.1 m/s
クロスハンガー形式	0.0654 Hz	0.139 Hz	64.1 m/s
(参考) 明石海峡大橋	0.0640 Hz	0.142 Hz	58.6 m/s

*平板の空気力を仮定した Selberg 式の値

図-10にはメッシナ橋で想定されている補剛桁を示す。鉄道2車線と鉄道のサービスに用いられる道路が2車線中央に配置され、道路として3車線と緊急用車線が桁の両側に配置されている。これは、高風速時の風による振動に配慮したものであり、幅員は60.4mと大きくし、3本のボックスを横桁で結んで桁間にギャップを配置し、また桁端の形状を工夫した空力的対策のユニークな構造になっている。



(3) 下部構造

本州四国連絡橋では比較的硬質な岩盤が海底面から近いところにあったためにこの地盤を支持地盤とし、表層の軟弱地盤を全面掘削し、基礎を支持地盤上に直接設置する設置ケーソン工法が用いられた。この工法は約50mの水深での施工は明石海峡大橋で経験済みであり、水深70m程度までは施工可能と考えられるが、水深が深くなると自重が大きくなり不経済となるので、基礎内部を中空にしたり、あるいは断面を絞り込む等の検討が必要である。具体的にはプラットフォーム式基礎、ツインタワー式基礎が考えられ、それらの比較が表-2に示されている。

表-2 主塔基礎形式比較表

—116—

一方、軟弱地盤が厚く、支持地盤層が海底面から深い位置にある場合、あるいは水深が深く条件が厳しい場合には、大水深・軟弱地盤に対する新しい基礎構造の開発が求められる。具体的には、北海等で進められている石油掘削に用いられるプラットフォームの構造が参考になるであろうと注目されている。プラットフォームには鋼製ジャケット構造、コンクリート製重力式基礎、あるいは浮体構造などがある。

図-11はグレートベルト東橋のアンカレイジの構造を示したものであるが、従来アンカレイジは海岸線に近い良好な地盤に基礎をもうけていたのに対し、この場合には海峡の中央のやや地盤の悪い所に地盤改良をして設置している事例である。

水深 100mを超える深い箇所での長大吊橋基礎の建設は石油掘削プラットフォームの技術が参考になろう。現在ノルウェーで建設中のプラットフォームの1つは、TROLL と命名されたもので、北海の 302.9m の水深に設置される 4 本シャフト構造の重力式コンクリート・プラットフォームで、その高さは 369.4m。もう 1 つのプラットフォーム HEIDRUN は浮体構造を海底にアンカーする TLP (Tension Leg Platform) であり、上載荷重 65,700ton、コンクリート量の増加に対し軽量コンクリートを用い、水深は 345m の位置に設置される。ジブラルタル橋梁案の基礎としては水深 300~500m の箇所に建設しなければならないので、重力式コンクリート構造をはじめ幾つかの案が提案されている。

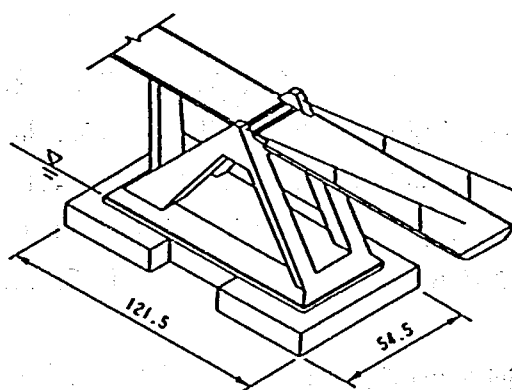


図-11 グレートベルト東橋アンカレッジ

(4) 耐震設計

まず第1に、耐震設計の照査を従来のように1つのレベルで行うのか、あるいはL1、L2といった2段階の設計地震動に対して行うのか？2段階設計の場合、それぞれの設計用入力地震動のレベル（再現期間、想定地震のマグニチュード、震央距離）の取り方と、それに対してどのような設計照査を行うのか？が耐震設計法の枠組みを決定する。

設計用入力地震動の設定には現地地震観測記録、強震記録データベース、地震活動データベースなどを用いて、架橋地点における加速度スペクトルを設定しなければならないが、従来と違って震央距離が架橋地点に近く、距離減衰式の適用を吟味しなければならない。また、地震強度の期待値計算法の見直しや断層モデルの導入も検討されている。

また、基礎の地震時安定照査法では滑動による残留変位を考慮した設計法を検討しており、そのための残留滑り変位量の算定方法を実験を用いながら検討している。

水深が深くなると基礎に作用する地震時動水圧が非常に大きくなることが指摘されており、現在の

動水圧の考え方をそのまま水深300～500mの基礎に適用することが妥当か否かを実験と理論的解析により検討している。

また、従来、地震ではあまり問題にならなかった上部工に対しても、中央径間の増加に伴い上部構造の減衰性能が低下し、このため地震時の変形が大きくなり、損傷を生じることも心配されるため、上部工の減衰性能を向上させるような制震技術の開発も必要となる。

(5) 製作、架設、施工

超長大吊橋では構造規模が大きくなり、部材も大型化し、作業条件が厳しく稼働率も低下することから、工期・工費が増大するため、製作施工面での改善が求められる。共通事項としては、ラップ工事の採用などがある。

上部工では製作基準・検査基準の見直し、仮組立の省略、架設部材の大型化、架設サイクルの短縮、仮設備の合理化、キャットウォークの簡素化あるいは省略、ケーブルのサグ調整法の見直しなどである。

下部工についても、高強度コンクリートの利用、コンクリート工事の高速施工、高波浪下・大水深下での施工効率の向上などが必要である。

6. おわりにー今後の技術開発の方向ー

超長大橋への取り組みは、従来の技術レベルを超える課題が多く、建設省では「海峡横断道路プロジェクト技術調査委員会」により、大学を初めとする専門家の意見、指導を受けながら調査を進めている。また、平成5年に策定された「道路技術五箇年計画」⁶⁾でも超長大橋に係る課題として地質調査法、大水探基礎、耐風設計、耐震設計の4課題が取りあげられており、建設省ばかりでなく、大学、民間との連携により、開発目標、スケジュールを明確にして技術開発を進めていくこととしている。

既往の実績を2～3割程度上回る範囲の大規模構造物をより経済的・合理的に計画するために、向こう数年間、中期的な目標として体系的に取り組む必要がある。また、長期的課題に対しても、技術開発の当該の課題を解決するばかりでなく、既存の技術の合理化、効率化をもたらすと考えられることから、21世紀初頭を目標に、今から研究に着手しておくことが必要である。

昭和30年代後半から本格化した本四架橋調査により、わが国の吊橋技術は世界最長の明石海峡大橋を建設できるまでに発展しました。これからの超長大橋プロジェクトの実現のためには、今までのアプローチとは少し変えた考え方を取り入れなければならないように思われる。

それは、吊橋全体系の振舞を考えて最適化を図ることであり、「全体系としてクリティカルになる荷重は何か?」、「どのような破壊モードが重要か?」を考え、上部、下部、耐風、耐震などの設計のバランスを取る必要がある。ここで採用される吊橋構造は、荷重条件に耐える構造からより状況を制御する方向に変わるであろう。その結果として、安全で、無駄のない、バランスのとれた構造が可能になると考えられる。

そのような検討の中で、積極的に新しい技術が考えられて良いであろう。一例を挙げると、浮力の利用⁷⁾やアクティブ制御であり、それらの超長大橋への適用可能性については基本的な検討から始める必要がある。但し、未知の領域の課題には必ず予測可能性が問題になり、新しい挑戦には必ず新し

い問題が発生する可能性があることに留意しなければならない。「撓度理論」の適用によるTacoma Narrows橋の動的な耐風安定問題がよい例であろう。

ここでは将来の海峡横断道路に必要とされる橋梁（吊橋）技術について紹介した。これらのフィージビリティは常にトンネルと比較されるが、最近橋梁、トンネル以外の新しい構造形式も注目されている。すなわち、海中に基礎をもうけないフローティングタイプ橋梁、あるいは水中浮遊式トンネルであり、前者については米国、ノルウェーで実績があり、後者については最近研究が熱心に行われている。これらは現地条件が許せばもっとも適した構造になりうる可能性があり、フィージビリティ調査はこれらも考慮しなければならないであろう。

参考文献

- 1) 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、(1993. 8)
- 2) 第11次道路整備五箇年計画、(1993. 5閣議決定)
- 3) 中神陽一；新交通軸の形成に向けた建設省の取り組み、道路No644、(1994. 10)
- 4) I. Yoshida, Y. Nojiri ; A Proposal for Deep Undersea Foundations for Future Large Suspension Bridges. Int. Conf. on Cable-Stayed and Suspension Bridges, Deauville, France (1994. 10)
- 5) T. Y. Lin, Philip Chow ; Gibraltar Strait Crossing-A Challenge to Bridge and Structural Engineers. Structural Engineering International, 2/91
- 6) 建設省道路局；道路技術五箇年計画、(1993. 6)
- 7) 藤原 稔、谷口信彦、大野静男、中西雅時；超長大橋梁（ジブラルタル海峡連絡橋）の検討－G S P長大橋梁分科会活動とセミナーの成果－、橋梁と基礎 Vol. 28, No7 (1994. 7)

積算体系の見直しの動きについて

積算技術研究官 光 家 康 夫

積算体系の見直しの動きについて

1. はじめに

近年、国際化、高齢化、価値観の多様化など、公共土木工事をとりまく社会・経済的な環境は大きく変化しており、建設事業における調査・計画・設計・積算・契約・施工管理・維持管理といった一連のプロセスを合理的なシステムとしていくための建設マネジメント技術の高度化・情報化を図っていくことが重要な課題となっている。

このため、土木研究所積算技術研究センターでは、建設マネジメント技術に関する国内外の技法・制度の比較分析をはじめとして、新技術・新工法の評価・施工管理技術の研究など、総合的な建設マネジメント技術の向上に取り組んでいる。

このうち、積算・契約のプロセスについては、その制度が公平さに欠けるのではないかなど社会的に注目を浴びており、透明性の向上などに向けた改善が急がれている。

ここでは、この喫緊の課題となっている積算・契約について、実務レベルでの改善に主眼をおいた新たな土木工事における積算大系の整備について、その概要と進捗状況について紹介する。

2. 公共工事をめぐる社会的要請

2-1 最近の動向

この一年あまり、建設業に関して国内外で急激な変化が起こった。例えば、冷戦後の国際協調の枠組みづくりが整い、今後わが国の建設市場は海外企業の参入等、次第に国際化が進展していくことが予測される。これらの変化に対応し、入札契約制度を始めとする種々の改革が進み、わが国の公共工事の進め方は今日新しい時代を迎えたと言える。

また、公共工事をめぐる不祥事の発生に伴い、工事費が高いのではないかなどの広範な国民の疑念が生じ、これらに対応するため建設大臣は、現行の工事費算定の仕組みの評価と今後の方向付けを行うため、「公共工事積算手法評価委員会」を設置した。

同委員会では、積算手法に対して、予算の執行の見地から現行の積算手法は透明性・客観性・妥当性が確保されているか等の視点を念頭に置いて、品質の確保や工期の遵守を前提とした社会資本の適正な価格とその設定方法について検討が行われた。

その結果、価格の設定方法として、『施工の実例や取引の実例より得られる標準的な値を用いる現行の積算手法は妥当であり、適正な水準を保っている』との評価を得たが、同時に委員会は、『積算のより一層の透明性・客観性の確保を図るため具体的な改善策として一般管理費等の内容の見直し、資材価格調査のチェック体制の強化、基準等の公表、輸入資材の活用、工事規模に着目した積算、契約変更手続きの明確化』等の提言も行った。

今後、これらの提言の速やかな実施のため、現在の積算をとりまく社会環境の変化を充分視野に入れた総合的な検討をしていく必要があり、新しい積算の枠組みづくりが急がれている。

2-2 公共土木工事の課題

次に、具体的な建設工事をめぐる社会環境の変化と公共土木工事における課題について、要因別に述べる。

まず、第一にあげられるものは労働力不足である。ここ数年、空前の好況から一転し、労働力の問題が緩和したかにみられるが、これはむしろ一時的な現象というべきであり、労働力の確保は、これからの日本にとっては相当長期的・潜在的な克服すべき課題と考えるべきである。

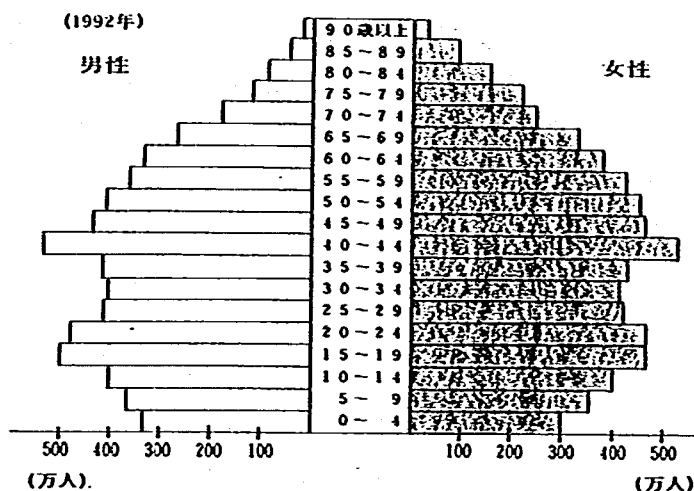


図-1 日本の人口構成

このためには、建設労働者が快適に、しかも誇りをもって働けるようにするための現場環境の改善を図って行かなければならない。また、現場の省人化のために機械化施工の開発導入も今後一層精進すべき課題である。特に施工の合理化、省人化のために設計面で配慮すべきことも多い。

従来、資源小国であるわが国では、とかく使用する材料を最小にするという観点から土木構造物の設計が行われてきたが、結果として施工を支える熟練労働力を多く必要とした。このため、労働力が不足する今後は、設計面においても時代の要請に応じた検討が必要となると考えられる。

第二にあげられるのが、建設工事の施工形態の変化である。昭和20年代までは、建設省が自前で施工機械を持ち、必要な労働力を雇用して直営で工事をしていたが、30年代半ばになると、請負施工が大半となり、さらに、請負施工においても現在は、下請化が進行しているなど施工形態は時代とともに大きく変化している。

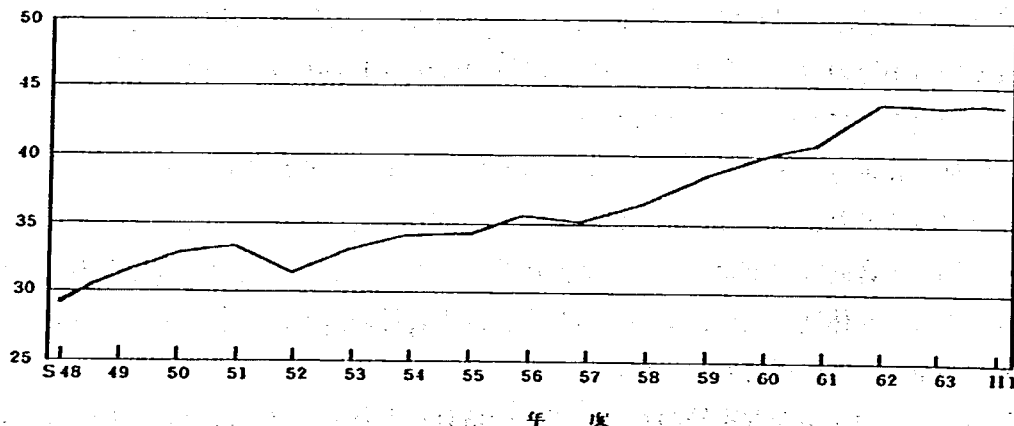


図-2 土木工事における外注比率の推移

すなわち、建設業の経済的合理性の追及、および安全で良質な施工水準の確保をという観点から、工種によっては元請業者による直営施工から下請の専門工事業者による施工が一般的になりつつある。また、施工機械についても建設会社が自ら保有せず、必要な時に必要な台数をリース会社から調達する方式が多くとられるようになってきている。これらは現行の積算体系が前提としている事柄の変化を示すものであり、積算上の取り扱いを再検討すべき重要な課題である。

第三は、国民の価値観の多様化に伴って建設工事は工程上の合理性のみに基づいて施工すればよいというのではなく、騒音・振動等による周辺環境へのインパクトの軽減や、交通安全等への配慮等、各種制約条件が課せられるケースが多くなっていることである。特に、市街地における工事でこうした制約が厳しく、積算上の適切な対応が必要となっている。

第四は、今後の住宅・社会資本整備の増大があげられる。国民の間には、わが国の経済力に見合った豊かさが実感されていないのが実情であり、この原因の一つに社会資本整備の遅れがあげられる。一方、今後10数年のうちに急速に進むといわれているわが国の高齢化の進展は、労働生産性、貯蓄率の低下をもたらすとともに、社会保障費を増加させ、社会資本の整備は財源確保の面から困難になると考えられる。従って、21世紀初頭までの10数年間は、これらの整備のため建設事業を一層推進していかなければならず、事業の円滑な執行という観点から積算業務の効率化、省力化を図るとともに、現場での施工管理や技術開発の分野に一層の力を注ぐ体制を整備するための方策が求められている。

表一 急速に進むわが国の高齢化

西 暦		1970	1980	1990	2000	2010	2020
老 年 (65 歳 以 上 の 人 口 比 率 (%)	日 本	7.1	9.1	12.0	17.0	21.9	25.5
	アメリカ	9.8	11.3	12.6	12.8	13.6	17.5
	フランス	12.9	14.0	13.8	15.4	15.7	19.3
	旧西ドイツ	13.2	15.5	15.4	17.0	20.4	22.2
	スウェーデン	13.7	16.3	18.1	17.1	18.8	21.8
年 少 人 口 比 率 (15歳未満) (%)		24.0	23.5	18.2	15.2	16.4	15.5
高齢者1人当たりの 生産年齢人口(人)		9.8	7.4	5.8	4.0	2.9	2.3

第五は、国内建設市場の国際化が急がれていることである。1993年末、ガット協議・日米建設協議等の建設事業をめぐる国際間協議が整い、1994年1月には、わが国の建設市場へ外国企業が参入できることを基本ルールとすることを含む「入札・契約手続き改善に関する行動計画」が閣議決定された。このため、わが国建設市場の国際化は今後かなりのスピードで進展すると予測される。

その際、わが国がそれなりの合理性をもって独自に築き上げた慣行や制度および社会における意思決定の仕組みについて、堂々と相手に理解を求める努力をしていくべきであり、それぞれの国には独自に築いた歴史・文化・社会規範・価値観のある事を認識し、お互いの長所を尊重し、相互に歩み寄ることが大切なこととなる。従って、わが国の積算を含む公共工事の進め方については、海外からの参入企業が理解できることが大切であり、一層の明文化(わかり易さ)と対等性などを国際通念上の基本ルールにそって見直す必要が生じている。

3. 新土木工事積算大系について

3-1 新たな積算大系の構築

このような、公共工事をめぐる大きな時代潮流をうけ、現在、建設省では、積算・入札・契約などに関して、透明性・客観性・妥当性の向上を主眼として鋭意取り組んでいるところであり、平成5年12月の中央建設審議会の答申を受けた一般競争方式の採用など入札・契約制度の改善を実施してきているところである。

一方、制度的な改革とともに重要であるのが、実務面での改善であり、制度改革を促進するためにも不可欠のものといえる。

現在の建設省の積算に関する体系は、長年にわたる事業執行ノウハウの集大成ともいえるべきものであり、多くのデータ蓄積に基づく極めて精緻な体系といえるが、反面、細分化・複雑化しているため、制定・改正などに長時間を要するといった問題点も有している。また、今後の社会資本基盤整備の推進による事業量の増大、ベテラン技術者の減少などに対応するため、積算に関する業務の軽減、ベテラン技術者以外でもわかりやすい体系の枠組みづくりも望まれている。

従って、積算の実務レベルの改善にあたっては、積算以外の建設事業の執行過程との整合性を図り、事業執行プロセスを体系づけて合理化していくとともに、積算過程で行われる個々の業務についても効率化、省力化していくことが肝要となる。

このようなことから、目的を同じくする積算に係わる改善を、それぞれが密接に関連し整合性を図りながら整備するために、一つの体系の集合体を意味する「新土木工事積算大系」（以下「新大系」という）として新たに位置づけることとした。

新大系では、工事工種毎に体系的に規定された構成による数量総括表、積算基準書、および共通仕様書などの積算関連図書類、さらにはこの構成によるとともに対話形式とするなどの新たな積算システムを開発し、公共土木工事の契約・積算における制度上の改革の土壌づくりをするとともに、発注者・受注者双方の実務担当者の業務の簡素化・容易化を図ることを目指している。

3-2 新土木工事積算大系の視点

新大系の視点と、必要な構成項目との関係は以下のように整理される。

(1) 契約対象となる工事目的物の明確化

- ① 工事数量総括表など、入札・契約時に使用する図書類について各発注者間に存在する不統一をなくし、工事目的物等の契約内容の明確化を図るため記述方法の標準を定める。
- ② 個々の工事目的物に適用される仕様を明確化するため、工種体系に対応した形での仕様書の再編成を行う。

(2) （発注者が行う）積算、検収、設計変更等業務の簡素化

- ① 積算業務を効率的、円滑に遂行できる環境を整えるため、工種体系の標準化、新土木工事積算システム、仕様書などの整備を行う。
- ② 工事目的物を標準化することにより、積算チェック、概算工事費の算出等が容易になる。
- ③ 仕様書の整備により、設計変更業務や検査業務の明確化、簡素化を図る。

(3) (受注者が行う) 見積、設計変更、検査の容易化

発注者間の発注様式の統一が図られることにより、受注者側の見積、設計変更、検査業務等の容易化を図る。

(4) 公共工事の契約の透明性の確保

契約及び設計変更についてのルールを明確化することにより、発注者、受注者間の契約内容に対する共通認識が形成される。また、これにより、公共土木工事の契約の透明性の確保にもつながる。

(5) 国内建設市場の国際化への対応

「欧米型の契約社会」で企業活動を行ってきている外国企業の国内建設市場への参入に備え、仕様書を含めた契約に関連する図書類の整備を行う。

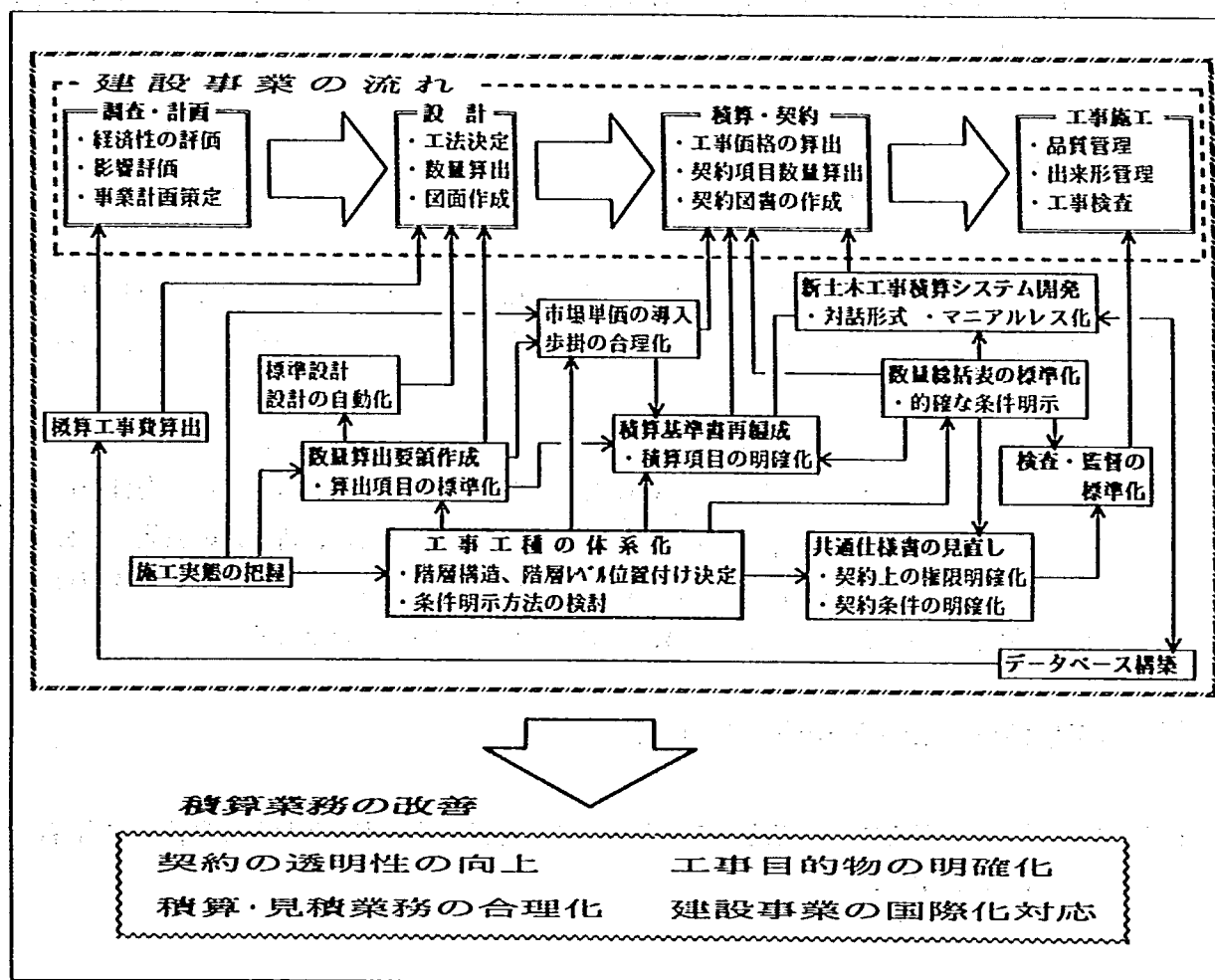


図-3 新土木工事積算大系の概念図

3-3 新土木工事積算大系の内容

新大系では、工事工種毎の構成を標準的に規定した体系（「工事工種体系」）を柱として、これを基本とした契約及び積算関連図書類の整備、および工事工種体系に沿った入力方式とするとともに、対話形式とするなどの新たな積算システム（「新土木工事積算システム」）の開発を第一段階として行うものである。また、これらの整備後、検査・監督の標準化、積算結果の蓄積による単価データベースの構築などについても行っていくことを計画している。

新大系の当面の実施項目は、以下のとおり。（詳細には後で記述）

- ① 工事工種の体系化
- ② 積算基準書の再編成
- ③ 土木工事共通仕様書の再編成
- ④ 数量算出要領の作成
- ⑤ 新土木工事積算システムの開発

これらの整備にあたっては、個々の項目を独自に整備するのではなく、積算・契約以外を含めた建設事業全般に亘るプロセスに十分配慮して、相互に関連性を持たせ、大きな積算改善の流れを構成するよう行っていく。

特に、工事工種の体系化は、新大系の構成項目の中でも根幹的な改善項目となり、この体系を基礎として他の実施項目が行われることとなる。

3-4 スケジュール

新大系では、工事工種の体系化を基礎としているため、この完了後に、その他の整備が行われることとなる。

整備対象としては、河川・道路・ダム・公園など建設省所管の全土木工事を計画しているが、この範囲が広大であることと、新大系による積算改善が急務であることから、段階的に整備し、より早く実際の工事に適用することを予定している。

このため、築堤護岸・道路改良など汎用的な8工種をパイロット工種として、先行的に着手しており、工種の体系化は完了している。現在は、体系に沿った新たな積算システムを6年度を目途に開発中であり、システム完了後に実際の工事に適用していく予定である。また、新大系の機能を十分に発揮するためにも、パイロット工種以外の工種および、共通仕様書などのその他の新大系実施項目についても、併行して鋭意整備中であり、完了次第、順次、実用していくこととなる。

4. 新土木工事積算大系の実施項目について

これまでに、新大系の概要について述べてきたが、これを構成する実施項目毎の具体的な内容について以下で述べることとする。

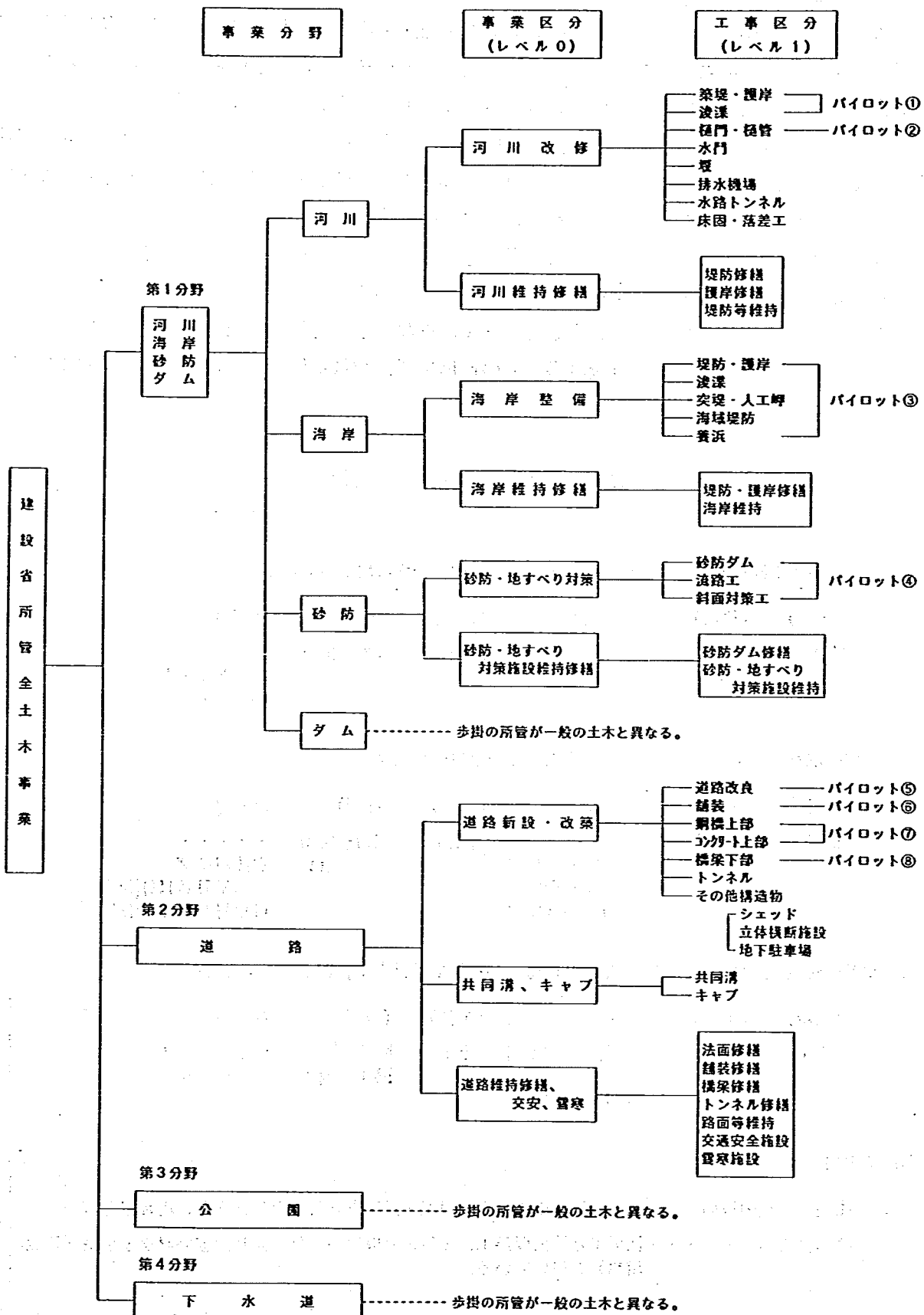


図-4 工種分類とパイロット工種

4-1 工事工種の体系化

4-1-1 工種体系の必要性

建設省をはじめとする各公共発注機関が土木工事を発注するにあたり、当該工事の内容を示すものとして、「工事数量総括表」がある。これは、入札時に入札参加者が工事価格を見積もることとなる重要な書類であり、発注者の積算結果である「積算設計書」の体系を基に作成される。

しかし、土木工事がさまざまな現地条件下で単品的に生産されることなどから、この標準的な記述方法がなく、各発注機関での工事目的物の表現方法は、工種の構成・使用する用語の名称や定義・同じ用語が異なる階層（レベル）で用いられているなどの現状にある。

この場合、入札参加者の工事価格の見積り業務を煩雑にするばかりでなく、発注者側にとっても、積算業務が煩雑となり、効率的な積算業務の障害となっている。

このため、「工事工種の体系化」と称して、さまざまな工事目的物の構成を工種ごとに体系的に整理し、「工事数量総括表」と「積算設計書」での使用用語、数量単位など記述方法を標準的に規定することとした。

表-2 工事数量総括表の現状

(1) 同一の用語が異なるレベルに出現・・・土工が工種、細別に出現している

(工種)	(種別)	(細別)	(工種)	(種別)	(細別)
<u>土工</u>	切土工 盛土工	土砂 軟岩 (I)	擁壁工	重力式擁壁	<u>土工</u> コンクリート

(2) 単位の取り方の不統一・・・同じ細別項目で表示単位が異なる

(工種)	(種別)	(細別)	(工種)	(種別)	(細別)
擁壁工	重力式擁壁	 水抜パイプ <u>[(か所)]</u> 目地材 <u>[(式)]</u>	擁壁工	重力式擁壁	 水抜パイプ (V U ϕ 150) <u>[(m)]</u> 目地材 (t=10mm) <u>[(m)]</u>

(3) ツリー構造の違い・・・細別の盛土法面整形が種別では盛土工、盛土法面工と異なる

(工種)	(種別)	(細別)	(工種)	(種別)	(細別)
土工	<u>盛土工</u>	盛土・流用土 : 盛土法面整形	土工	<u>盛土工</u> <u>盛土法面工</u>	盛土・流用土 盛土法面整形

(4) その他

①用語定義の違い・・・切土工に掘削後の土の運搬・処理を含む場合と含まない場合がある。

②類似用語・・・法面工と法面保護工、土留工と仮締切工など同じ内容で異なる用語（類似用語）を用いている。

4-1-2 体系の構築方針

工事工種の体系は、新大系を構成するすべてのものの基礎となる重要なもので、体系の考え方の修正は、体系のみならず、新大系の全実施項目に重大な影響をもたらすため、体系の構築方針について、実際の工事を想定するなど、さまざまな角度から検討した。ここでは、構成方法や表示階層（レベル）数など、さまざまな工種を体系的に整理するための、体系の基本的な方針（ルール）について述べる。

(1) 構成方法

構成方法を大別すると、ある一定の構造を持つ目的物から、これを構成する作業項目に細分化した体系とする方法（目的物毎の体系）と、コンクリートなど同じ作業項目で分類し、その規格など項目の内容が同じであれば、目的物が異なっても、集計表示した体系（作業項目毎の体系）とする方法に区分される。目的物毎の体系は、わが国では一般的な構成であり、目的物毎の価格が認識しやすく、数量算出項目に対応した構成である。

一方、作業項目毎の体系は、欧米などに多く、取引上の項目毎の数量や、単位が明確となり、集計数量表示のため、目的物が反復されず簡素な構成となる。

工種体系の構築にあたっては、現行の目的物毎の構成を基本とするものの、細分化方法についても各工事目的物で共通の法則で行うこととし、同じ作業項目であれば別の目的物であっても、同じ記述方法となるよう規定することとした。これにより、工事目的物と取引単位項目のいずれについても価格に対する認識が得られ、契約内容の明確化にもつながる。

また、工事目的物毎の構成のため、コンクリートなど複数目的物で出現する作業項目も生じるが、わかりやすい体系とするため、反復はやむを得ないことと判断した。

表-3 体系の構成方法例

目的物毎に記述	取引単位別にまとめて記述
橋脚工 - コンクリート 【規格1】 - 鉄筋 【規格a】 ... 擁壁工 - コンクリート 【規格2】 - 鉄筋 【規格a】 ...	コンクリート 【規格1】 【規格2】 ... 鉄筋 【規格a】 ...

工事に含まれる各構造物の集計値を数量欄に記入

(2) 階層（レベル）の考え方

現在の「工事数量総括表」においては、工種、種別、細別、規格という4つの階層（レベル）で各工事の構成を示すこととしている。新たな体系では、この階層を基本に、さらに、「工事ロットを示す区分」と、発注者側が「積算設計書」を作成するために必要な「事業費目の区分」および「積算用条件の区分」の3つを追加し、合わせて7つの階層で構成することとした。また、体系の表示は、樹形図状のツリーで示すものとし、包含関係をわかりやすくしている。

各階層は、さまざまな工事の内容を汎用的に規定できるよう定義し、同じ内容の工種であれば、別

の工事であっても同じ構成で表示していくこととした。

このうち、レベル4（「細別」区分）は入札参加者がこの項目の数量で工事価格を見積るレベルと考え、コンクリート、鉄筋など、取引単位で設定し、「工事数量総括表」において所要数量・数量単位も合わせて表示することとしている。

また、実際の工事では、橋梁下部工事における橋脚の施工など、体系上は同じものを1件の工事で複数生産する場合があるため、レベルとしては位置づけてなく体系上の表示もないが、「工事数量総括表」においては、レベル間に補助的な表現欄を設定し、橋脚毎の数量把握など、数量のとりまとめのための構成で表示する対応を考えている。

表-4 工種体系レベルの考え方

レベル	名 称	内 容	内 容 の 説 明
レベル0	事業区分	予算制度上及び事業執行上の区分を中心とした事業区分	(例) 河川改修、道路新設・改築
レベル1	工事区分	工事発注ロット及び受注者を考慮した「事業区分」(レベル0)の分割	一件の工事として通常、発注されるロットの内容を表す。 (例) 築堤護岸、道路改良
レベル2	「工種」区分	工事区分(レベル1)を構成する要素のうち、一定の構造を持つ部位を施工するための一連作業の総称	(例) 道路土工、擁壁工
レベル3	ワークグループ 「種別」区分	体系全体の見通しをよくするためのワークパッケージ(レベル4)の集約	可能な限り、施工順序に応じた構成とする。 工種によってはこのレベルが現れない場合もありうる。(必要に応じて記述) (例) 現場打組土工、土留仮締切工
レベル4	ワークパッケージ (単位目的物及び単位仮設物) 「細別」区分	工事を構成する基本的な単位目的物及び単位仮設物であって、単位とともに契約数量を表示するレベル	「工種」区分(レベル2)を(単価算出、出来形・品質、工程等の面で)管理可能な扱いやすい単位にまでさらに分割したもの。 検収対象となるもの(単位目的物)とならないもの(単位仮設物)の2種類が存在する。 (例) コンクリート、鋼矢板
レベル5	材質・規格、 契約対象条件 「規格」区分	単位目的物(レベル4)を構成する材料等の客観的な材質・規格ならびに契約上明示する条件等	単位目的物(レベル4)に付随して表示。 グルーピングした上で並列に記載する。 各グループは上下関係を持たない。 (例) コンクリート規格、矢板形状規格
レベル6	積算用条件	単位目的物及び単位仮設物(レベル4)の価格算定上の条件であって、契約上明示しないもの	歩掛適用上の条件区分、契約上受注者の任意による施工手段の区分等 グルーピングした上で並列に記載する。 各グループは上下関係を持たない (例) コンクリート打設方法

(3) 体系に使用する用語

新たな体系では、工種・工事目的物毎の仕様などにより分類することとしているが、各体系項目についても、名称や定義を明確に区分する必要がある。

体系項目の名称については、今後予定している単価データベースなど、積算結果を活用したシステムの構築などを考慮して同じ用語を違うレベルで使用しないこと、一般的で平易な用語を使用するなど、わかりやすく、体系的に規定できる用語で構築することとした。

4-1-3 体系の構築

以上の体系構築の方針に従って作成した橋梁下部工事の体系ツリー例を表-5に示す。

体系の構築は、築堤護岸、道路改良など、汎用的な8工種をパイロット工種としてすでに完了しており、これに沿った新たな積算システムの開発後、実際の工事に適用していく予定である。また、これにつづく工種についても現在体系化作業を、順次行っているところである。

表-5 体系ツリーの作成例（橋梁下部工事・橋台工）

（レベル0：事業区分：道路新設：改築）

レベル1 工事区分	レベル2 工 種	レベル3 種 別	レベル4 細 別	レベル5 規 格	単 位	レベル6 積算用条件
橋梁下部	...	橋台工	作業土工	床掘り	m ³	(施工方法)
				埋戻し	m ³	(施工方法)
			既製杭工	鋼管杭	本	(機種、工法、種別等)
				既製コンクリート杭	本	(機種、工法、種別等)
				般運搬処理	m ³	(運搬状況等)
			場所打 杭工	オ-ル-シ-ク-杭	本	(機種、工法等)
				リバース杭	本	(土質区分、使用電源等)
				杭土処理	m ³	(運搬距離、土質区分等)
				般運搬処理	m ³	(運搬状況等)
			躯体工	基礎材	m ²	
				均しコンクリート	m ²	(打設方法、型枠数量)
				コンクリート	m ³	(打設方法、養生等)
				鉄筋	t	(施工条件等)
				型枠	m ²	(種別、設置高等)
				足場	掛m ²	(種別、設置高等)
			土留・ 仮締切工	仮設鋼矢板	枚	(機種、施工条件等)
				切梁・腹起し	t	(機種、施工条件等)
				ア-ル-	本	(削孔方法、定着方法等)
			水替工	ポンプ排水	日	(使用電源等)

表-6 パイロット8工種

事業費目の区分	工 種 の 区 分
河川改修	築堤・護岸、樋門・樋管
砂防・地すべり対策	砂防・地すべり
海岸整備	海岸整備
道路の新設・改築	道路改良、舗装、橋梁上部、橋梁下部

4-2 積算基準書の再編成

発注者が工事価格を算定するため、施工条件ごとに平均的な施工実態を反映し、所要の労務量、資材量、使用機械による費用などの算出基準を定めたものとして、土木工事積算基準書がある。

現行の土木工事積算基準書は、個々の作業に必要な労務などの施工歩掛ごとの構成となっているため、1件の工事を積算するため担当者は、各章を参照して組み合わせる必要があること、積算時に全体の積算構成を把握しなければならないことなど、積算業務を煩雑化しベテラン技術者に依存する原因の一つともなっている。

一方、社会資本整備事業量の増大が見込まれる中で、積算実務を担当する職員数の増加は期待出来る状況になく、現有の体制での効率的な業務の実施も求められている。

このため、工事工種の体系に沿った構成に再編成するとともに、施工歩掛毎から取引項目となる単位目的物毎の単位で編成し、わかりやすい構成とすることにより、積算業務を若年担当者などでも容易に行えるものとするなど、積算基準書の再編成を行うものである。

再編成にあたっては、工事工種の体系を基本としているため、体系の完了した工種から新たな積算システムと併行して順次行うこととしており、システム開発後に行われる、新たな体系・システムを用いた工事を発注する際に支障とならないよう進めていく。

4-3 土木工事共通仕様書の再編成

土木工事共通仕様書は、契約図書の一部をなしており、土木工事における契約書の補完および施工の実施にあたり発注者が必要とする施工水準、品質基準の技術的要求などを規定しており、工事の円滑な実施に大きな影響を持つ重要な書類である。

一般的に言って、日本では契約上規定されていない事項に対しても当事者間の協議が大きな役割を演じる場合があった。一方、欧米をはじめとする海外では、日本とは大きく異なり、信頼できる唯一のものが契約書類であるという認識であり、規定のない事項は基本的には契約上拘束されないとの考えとされている。

このようなことから、これまでの建設省の仕様書では、わが国で不文慣習化しているものなど不明確な表現も散見され、国内企業を念頭においた記述と言わざるを得ない部分もあった。

このため、今後の海外企業の国内建設市場への参入拡大に備え、契約上の相互の権限、契約条件、および業務処理手続きについて明確化を図ることにより、工事契約に関する問題発生を未然に防止す

るなど、仕様書の記述内容を、契約の透明性向上の観点から見直すこととしたものである。

また、仕様書の構成についても、現在構築中である工事工種の体系に沿った構成としていき、契約内容をわかりやすいものとする予定であり、大幅に再編成していく予定である。

再編成作業については、総則はすでに完了し平成6年度より実際の工事に適用しているところであり、総則以外についても、工種体系の完了した工種から順次構成替えなどを行っていく。

4-4 数量算出要領の作成

数量算出要領は、工事積算を実施する際に必要不可欠となる数量の算出方法を定めたものであり、算出する項目およびその数量単位、算出基準などを規定している。

工事工種の体系化では、工種ごとに項目名称、数量単位などを標準化していくため、これに沿った数量算出要領を整備していくものである。

また、建設事業のプロセスを考慮して、設計時にコンサルタント会社で算出した数量を電子媒体を使用することにより、発注者側の積算時に利用するなど、数量算出フォーマットの検討もしていき、積算の合理化・省力化を目指していくこととしている。

4-5 新土木工事積算システムの開発

4-5-1 新たなシステムの必要性

積算業務は、多くの労力と時間が費やされる。現在、建設省をはじめとする公共発注機関においては、大型汎用コンピューターを用いるなど積算業務の効率的な遂行に取り組んでいる。しかし、この領域においても近年のコンピューター技術の革新による、オープン化（異なる機種間での相互運用が可能となる）・ダウンサイジング化（小型機種の高性能化）などが急激に進展しており、これら最新の技術を吸収することが望まれている。

また、工事工種の体系化をはじめとした積算の枠組みが大きく変わる中で、積算システムも設計思想の根本的な再検討が必要となってきた。加えて、公共発注機関が同一システムを共有することによりシステム開発・更新の合理化、費用の低減を図ることも望まれている。

このようなことから、「新土木工事積算システム」と称して、新たな積算システムを開発中であり、工事工種の体系と並んで、新大系を構成する柱として位置づけている。

4-5-2 システムの現状と課題

新たなシステムでは、建設省のみならず、将来的には地方自治体への普及も想定しているため、開発にあたり、各機関のシステムの現状と課題を実態調査した。

平成4年度における建設省および地方自治体での積算業務のシステム普及状況は表-7のとおりであった。積算業務の効率化・省力化が求められている現状では、今後ますますシステム化は進んでいき、また、システムがすでに普及している機関においても、その依存度合いが高まっていくと考えられる。

表-7 各発注機関におけるシステム普及率（平成4年度）

発注機関	電算化率	備 考
建 設 省	100%	
都道府県等	約 90%	開発中のものも含む。一部分散型あり。
市 町 村	約 30%	一部、民間開発システムを導入。

※電算化率とは、自治体等の機関数の百分率を示す

このうち、建設省においては、昭和63年1月より標準土木積算システムが稼働しており、地建毎に大型汎用コンピュータ（ACOS）を設置し、各事務所には端末機を配置して、地建・事務所間をマイクロ回線にてオンライン化し、データのやりとりを行っている。

実態調査結果から、各発注機関での現行の積算システムの課題を述べると以下のとおりとなる。
まず、建設省においては下記の項目があげられる。

- ① 現行の積算処理システムが中央一括処理方式のため、端末機において積算集中時などに効率的な利用が図れない。
- ② 導入した機器構成が昭和60年初期のものであるため、目ざましい発展を遂げている最新のコンピュータ技術の導入が難しい。
- ③ 今後増大する積算情報、積算業務に対して、現行の精緻な積算方法ではますます多くの時間と労力を費やすこととなる。
- ④ 頻繁に行われるデータ改訂作業に対して、現行のシステムメンテナンスでは多くの時間と労力を要しており、今後ますますそれらに要する時間が増えることとなる。
- ⑤ 積算結果については、出力するまで確認ができないため、訂正等の確認に手間がかかる。

また、地方自治体においては、そのほとんどが建設省が制定している「土木工事標準歩掛」を準用しており、その積算基準を地方自治体固有のシステムにて、コンバージョン（システムの変換等）し運用しているため、歩掛改訂時などには、多くの時間と労力を費やしており、改訂歩掛等の運用時期に遅れが生じ、円滑なる運用が図れない状況にある。

従って、積算業務の効率化を図るため、積算体系の見直しとともに積算システムの機能の面でも改善を図ることが重要な課題となっている。

4-5-3 目 的

新たな積算システムは、このようなシステムの現状と課題を踏まえ、システム的な基本思想を見直すとともに、現在、順次構築中である工事工種の体系化に沿った画面表示とするなどのソフト面での対応も図るなど、抜本的な改善を推進していく。また、地方自治体での現在のシステム運用状況を考慮して、将来的には地方自治体まで普及可能なシステムとして、効率的な全国ベースでのシステム構築を念頭においた開発に取り組むこととした。

システム開発については、これまでにシステムの基本設計思想の検討を終えており、現在、平成6年度末を目標に工種体系の完了したパイロット8工種について、システム化を進めているところである。また、これ以外の工種についても、工種体系の進捗状況に合わせて順次システム化を図り、システム化が完了した工種から実際の工事に適用していく予定である。

新たな積算システムの開発目的は、以下のとおり。

- ① 積算業務の合理化、省力化を図る。
- ② 積算集中時においても、各事務所等で円滑な利用が図れる。
- ③ 工事工種の体系化に対応し、積算結果の実績データが統計的に集約でき、データベース化が可能となるとともに概算工事費等の算出が容易となる。
- ④ 積算上のミスを減らすための自動チェック機能が付加できる。
- ⑤ 施工歩掛制定、改訂等が迅速に行える。
- ⑥ メンテナンスに要する費用の低廉化が可能となる。
- ⑦ 機種依存性が無く、ほとんどのメーカーで対応可能となる。
- ⑧ 建設省から各地方自治体まで普及拡大が容易となる。

4-5-4 開発内容

システム構築の検討を行う場合、工事の積算など操作者の業務の合理化・省力化の視点で進めていくとともに、システム自体のメンテナンスなど管理者のサイドからの視点も重要である。

このため、新土木工事積算システムの開発内容の具体的な項目整理にあたっては、開発の目的毎にシステム利用者側、システム管理者側の視点で抽出した。それらの内容については表-8のとおり。

4-5-5 システムの構成

効率的なシステムを構築する場合に重要となるのは、その構成である。

現行システムではホストコンピュータの中央集中処理方式が主流をなしているが、今後増大する積算業務を一度に処理するとその処理速度が極端に落ち、端末での能率的な利用が困難となり、使いやすさ、費用対効果面において、限界が見えてきているのが現状である。

一方、近年の驚異的ともいえる半導体技術の進歩による情報機器の小型化、低価格化、高性能化及びネットワーク技術の発達により、パソコン等を使った積算処理の分散化が可能となってきている。

分散処理システムとした場合、積算処理が各事務所毎に処理できるシステムとなり、複数でデータを保有することができ、積算集中時でも円滑な積算処理及び積算担当者の要望にタイムリーに対応できるものとなる。

建設省においては、大規模工事等積算内容が膨大かつ複雑化していく中でのシステム構成タイプとして、本省と各地建及び各地建相互間、あるいは、地建と各事務所間のオンライン化や地建内及び事務所内のLAN（ローカル エリア ネットワーク）接続にて基礎データ等の円滑な更新作業が行えることが不可欠である。

このため、新たな積算システムにおいては、親マシンで基礎データを保管し、子マシンで計算処理等を行う分散型のシステム（クライアント／サーバシステム）を採用することとし、今後の積算業務量の増大などに対応していくとともに、積算結果を活用した積算実績データベース（類似積算検索、概算工事費算定等）など、新たな機能の追加についても検討している。

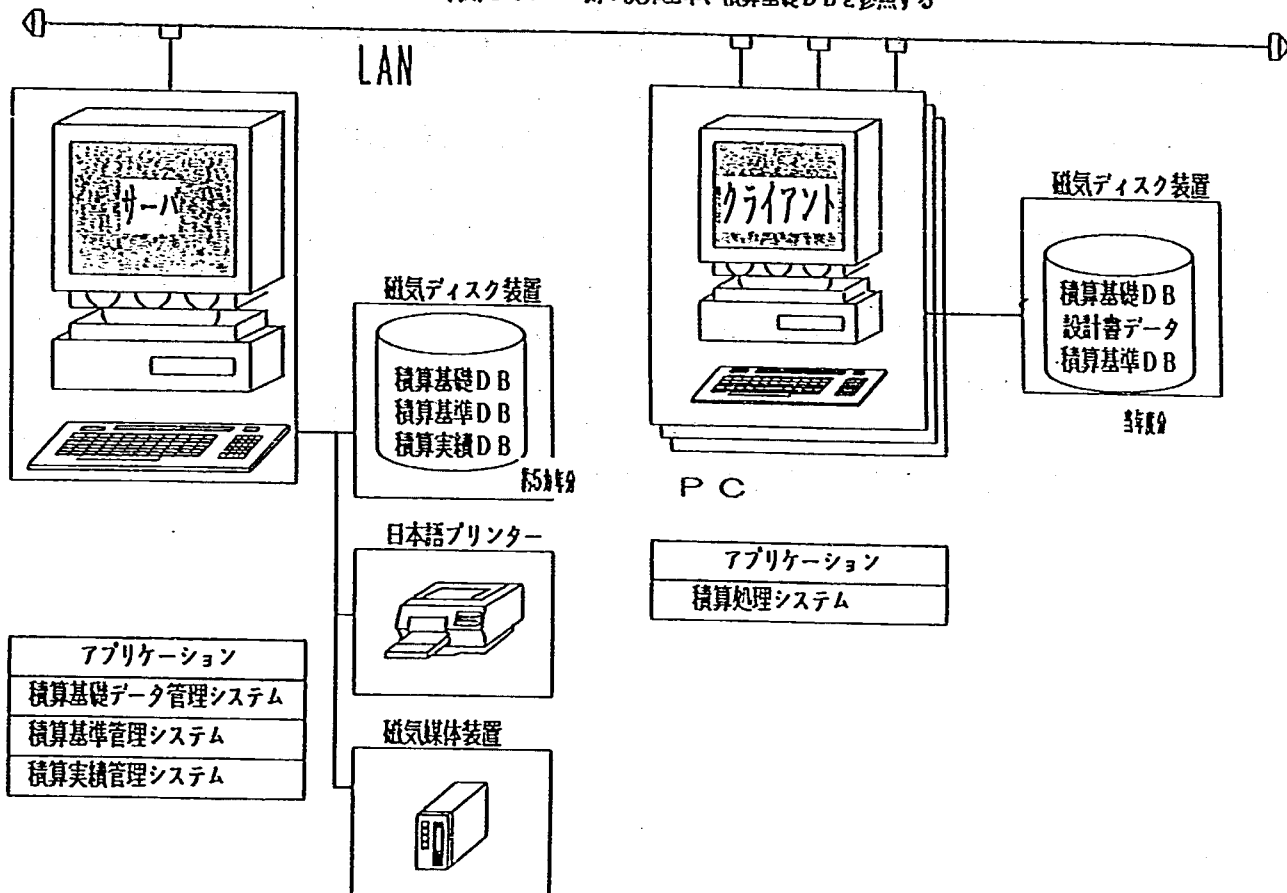
新たなシステムの構成は、図-5のとおり。

表-8 新土木工事積算システムの開発内容

	開 発 目 的	具 体 的 な 項 目	内 容
シ ス テ ム 利 用 者 側	①積算業務の効率化を目指すためにユーザの操作性を向上させるシステム	a) 対話形式による積算 b) 操作性の簡素化	a) マニュアルレス化、コードレス化により、ユーザがシステム画面のみで積算ができる。 b) キー入力の煩わしさを極力なくすためにマウス等の利用により業務時間の短縮が図れる。
	②常時、端末における効率的な利用が図れるシステム	a) 積算業務処理の分散化	a) 分散処理等のシステム形態とすることで、積算集中時にも円滑な処理ができるようになる。
	③工事毎の実績データが体系的に集計でき、概算工事費等の算定が容易となるシステム	a) 積算結果のデータベース化 b) 施工単価等のデータベース化	a) 積算結果の集積、統計処理により積算結果データベースを構築し、請負者等の見積等に利用し、概算工事費等が算定できる。 b) 施工単価等をデータベース化することにより、施工単価等のチェック範囲が自動的に設定できる。
	④自動チェック機能等の付加機能	a) チェック機能の強化 b) 判断材料の提供逆算機能	a) 入力単価、入力数量、施工単価等の自動チェック機能を持たせることにより、入力ミスを未然に防止する。 b) ヘルプキーによる判断材料の提供を行い、条件等の選択支援機能や予算額に合わせた逆算機能等を付加する。
シ ス テ ム 管 理 者 側	⑤積算基準制定、改訂作業が迅速に対応可能なシステム	a) 迅速な対応 b) DBMS（データベース管理システム）の利用を図る	a) システムのモジュール化、積算基準情報のデータベース化をすることで改訂作業を容易にすることができる。 b) データの更新、追加等の処理が容易となり、検索が効率的となる。
	⑥メンテナンスに要する費用の低廉化が可能となるシステム	a) 機器のダウンサイジング化 b) 歩掛改訂等の一括コンバージョン	a) 最近のコンピュータの実状を反映させ、汎用的なパソコン等で使用可能なシステムとするのでハードのリース料等の低廉化が図れる。（汎用大型コンピュータに対して） b) 全国的にシステムの統一を図ることにより、地方自治体一斉改訂が可能となり、その改訂費用の低廉化が図れる。（現行の各地方自治体別個の改訂費用に対して）
	⑦機種依存性が無く、ほとんどのメーカーでの対応可能なシステム	a) 機種依存性の無いオープンシステムを採用	a) 汎用OSを利用することによりいろいろな機種、システムが自由に利用することができる。
	⑧建設省から各地方自治体への普及拡大も可能となるシステム	a) 予算処理が容易 b) 容易なメンテナンス	a) 汎用パソコン等にて対応可能なハードにより予算の低廉化が図れる b) システムを全国統一することで容易なメンテナンスが可能となる。

地方建設局・工事事務所

クライアントはネットワークを利用してサーバ側の積算基準、積算基礎DBを参照する



基 幹 シ ス テ ム	機 能 概 要
積算基礎データ管理	①労務費、材料費、機械損料等積算に必要となる単価情報の管理 ②年度改訂及び地区別分類等の単価管理
積算基準管理	①標準歩掛の基準（歩掛構成、歩掛員数、歩掛作成手順等）をデータベース化する。 ②体系化された工種体系をデータベース化する。
積算実績管理	①積算結果を一括管理し、概算工事費等算出のためにデータベース化する。
積算処理	①直接工事費、間接工事費等の積算を行う。 ②設計書の印刷を行う。

図-5 新土木工事積算システム構成タイプ

5. おわりに

建設事業の国際化への対応、労働力の不足、施工形態の変化、工事中の制約条件の増加を考慮にいられた適正な予定価格の設定、社会資本の量・質の充実に対する社会的要請という諸課題に対応していくうえで、積算はすべての面に密接な関わりを有している。

積算は調査、設計、施工、管理といった建設事業の各プロセスと有機的に連係しており、新しい積算大系の構築を進めるためには、これを念頭に置き、理論的分析を踏まえて、体系的・総合的な整理検討がつよく望まれる。また、一方では制度の改定などに的確に対応でき、業務の軽減につながる大系ともしていかなければならないなど、新たな積算大系に求められている課題は山積している。

新大系は、積算の実務者を対象としており、これに携わる方々は、建設省・地方自治体などの発注機関、施工業者、設計会社など、さまざまな機関に亘っている。

このため、官民をとわず、さまざまな立場の方々からの貴重なご意見を頂き、新大系の構築を推進し、効率的で合理的な積算の環境を整備できれば幸いであると考えている。

土木研究所講演会
講演集

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3327号
平成7年2月(1995)
企画部企画課

要 旨

本資料は、「平成6年度土木研究所講演会」の講演内容をまとめたものである。
この講演会は、土木研究所が実施している調査研究の成果や最近の土木技術に関
する話題、動向などを各方面に紹介することを目的として、毎年1回開催してい
る。

キーワード：土木研究所講演会、河道設計、ダム、建設副産物、環境、交通事故、橋梁、
積算



郵便はがき

切手をは
つて下
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

企画部企画室 御中

Na _____

Na _____

配布先氏名

配布先住所



○

土木研究所資料第3327号(土木研究
所講演会講演集) 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

○

土木研究所資料第3327号

土木研究所講演会講演集