

技術展望

土工技術の進展から見たこれからの道路技術について

ON THE ROAD ENGINEERING IN FUTURE BASED ON THE DEVELOPMENT OF THE SOIL ENGINEERING

持永龍一郎

Ryuichiro MOCHINAGA

正会員 工博 道雄エンジ(株) 特別顧問 (〒110-0016 東京都台東区台東2-7-1)

Key Words : road earthwork soil engineering traffic density experience

道路技術の目的は安全を確保することであり、通行者へサービスすることであり、さらに自然環境を守ることである。日本の高速道路の土工技術においてその目的達成のための経緯について述べ、今後のあり方について経験を重視することの必要性について述べる。

1. 前書き

日本の高速道路は全国に広く展開され、その延長は約7000 kmとなっている。そして高速道路を建設する技術は時代とともに急速な発展を遂げつつある。最近の橋梁技術は長大橋の建設を初めとして、格段の進歩を遂げている。またトンネルについては、NATM工法の進歩によって、工期の短縮と同時に工費の削減にまで及んでいる。そのような中で、これら各構造物の全延長に対する比率を見ると、橋梁区間が14%、トンネル区間が9%であるのに対して土工区間は77%となっている。山岳部を通る路線が多くなった、あるいは技術が進歩したなどの理由で橋梁、トンネルという構造物が多くなったとはいえ、やはり主体を占めるのは切土、盛土という土構造物であり、土工の問題というのは道路技術の持つ本質的な課題であることには変わりがない。

土工については解決すべき三つの課題がある。第一は路床を含めて盛土の締固めの問題であり、第二に軟弱地盤における盛土の沈下と安定に関する問題であり、そして第三に切土斜面の安定の問題である。

第一の課題、盛土の締固めについては、土質工学による締固め理論を適用し、現地における嚴重な施工管理体制を採ることによって、一般土はもちろん含水比150%という関東ロームをはじめとする火山灰質粘性土の処理に成功した。実用上は盛土の締固め技術は確立されていると言ってよい。

第二の軟弱地盤の問題については、全国各地でいろいろな経験を積み重ねてきた。大規模な軟弱地盤においては、本工事に着手する前に、現地で実物大の試験

工事を実施して、設計施工の指針を得るという手法を採用した。土質力学上は多くの疑問は内蔵しながらも、含水比1000%という泥炭の処理についても、通常の軟弱地盤対策工法で対応するという高度の情報処理工法を確立した。供用後に生ずる残留沈下についても、適切なオーバーレイを行うことによって安全に高速交通の用に供している。軟弱地盤では破壊の危険もあるので、盛土を立ち上げるまでは苦勞するが、いったん盛土が完成すると基礎地盤は固くなる一方である。供用した後に特に安定上問題になることはない。すなわち、残留沈下の処理に問題は内蔵しながらも、実用上の処理法は確立していると言ってよい。

第三の切土斜面の安定というのは、山岳地を通る機会が多い、あるいは切土高さが高くなるなどの条件が重なり高度の技術が要求される。しかし建設機械や処理工法の発達もあって全国各地に多彩な対策工法が展開され建設は進んでいる。しかし、供用後の法面の安定の確保という点については、予測についての科学的限界もあり、地すべり対策を含めて土工技術上もとても難しい問題として、対応に苦慮しているというのが現状である。

私は高速道路の建設ならびに維持管理に長らく従事した経験を持つ技術者である。日本で初めての高速道路である名神高速道路や東名高速道路を建設する頃、高速道路試験所の土質試験室に勤務した。その後九州道のしらす処理の問題や、北海道道央道の泥炭の処理など、何かにつけて土質問題に対処する機会が多かったという経歴を持つ。このような経歴を持つ技術者の視点から土工技術の進展の跡をたどり、道路技術のあり方について検討を加えてみたい。

2. 道路技術の目的

(1) 技術の目的は玉ねぎの皮のように何枚も現われる

数年前、私は英、仏、独、伊のヨーロッパ4カ国の高速道路事情を視察する調査団に参加したことがある。フランスを訪問したとき、イル・ド・フランス地方の出先の事務所で、担当者から現況についての説明を聞いた。

そのとき「道路技術とは玉ねぎのようなもので、最初はただの単質の丸い球だと思われていたものが、表の皮をむいてみたら、その中から次から次へと新しい技術の皮が現われてきた」ということである。

すなわち、道路の技術とは、最初はまず自動車の走る機能だけを重視した「作る技術」であった。これが時代とともに自動車の通行台数が増えるにつれて、「安全」という問題への対応を要求する新しい皮が現われてきた。そして建設コストがかさみ、渋滞などの現象が起こるにつれて、「サービス」という概念に対する新しい皮が現われてきた。さらに時代が経つにつれて「環境」という新しい皮が現われ、現在は地球環境の問題として、全世界がその解決に取り組んでいるという話であった。話を聞いて、おおいに共感を覚えると同時に、一出先の事務所でこのような技術論というか文明論を、外国調査団に話しをする文化に、納得しながらも驚いた記憶がある。フランスでのこの発言の奥には、やはり道路についての伝統の重みというか、先達者としての自負があるのであろう。

これまで意識の中で、安全や環境あるいはサービスなどという概念がないわけではなかったが、はっきりと道路技術の目的であるという認識は持っていなかった。このように整理されてみると、作るということ、ないしは重要ではあるがそのための品質管理というのは、手段であり、目的ではない。道路は国民へサービスするというのを目的にして作られているのであり、そのためには、まず安全な施設でなくてはならない。車社会の負の遺産として、人類の安全のために環境問題というのを重要な技術と位置づける必要があるということである。

時代を経るとともに次から次へと新しい要素が加わってきて、まるでむいてもむいても新しい皮が現われる、玉ねぎのようなものだというこの玉ねぎ論を、土工技術の視点から、我々なりに敷衍してみることにする。

(2) 作ることそのものは目的ではない

有史以来日本でも徒歩旅行に関する街道は、治安の

よさと相まってそれなりに立派な道路網を組織していた。しかしながら古来、車による移動の習慣を持たず、また明治以来鉄道による富国強兵を図った日本では、自動車道路に関する技術を全く持っていなかった。太平洋戦争末期、日本海軍の「ゼロ戦」は世界最高の威力を誇る戦闘機であった。それにもかかわらず、名古屋工場で製作された新鋭機は、岐阜の各務原飛行場まで運ぶのに、分解されて、24時間かけて牛車で運ばれたという。道路が凹凸だらけで、トラックで運ぶと機体が損傷するためである。そのような技術的に片寄った歴史しか持っていなかった日本の道路技術陣が、いきなり世界最高レベルの高速道路である、名神高速道路の建設に挑んだ。

道路の技術というのは、最初は地形地質に合わせて、いかに車を快適に走らせる空間を造成するかという、いわば建設だけの、単一材料から成る丸い玉ねぎであった。初めて高速道路を造るとき、人力施工を主体とする日本の土木工事に、戦後米国から導入されたブルドーザーやダンプカーなどによる機械化施工という新しい技術を導入した。

機械化施工というのは、これまで不可能であった大型の道路断面を可能にし、そして工事の大量化と、施工速度の急速なスピードアップを意味する。このために必要なのは、材料の適正な選択と、作り上げる構造物の品質管理ということである。品質管理という概念は手作業から機械作業へ画期的な意識転換を図った戦後の日本のすべての工業界が取り組んだ課題である。

名神高速道路を造るころ、日本は貧しかった。そのため資金を世界銀行から借り受けた。第1回の借入金は4000万ドル(144億円)である。2回にわたって借り受け、名神で合計8000万ドル(288億円)を借りた。これは全建設費の25%にあたる。東名の借入金は3億ドル(約1080億円)で全建設費の32%にあたる。このころの世銀からの借り受け国をみると、コロンビア、エクアドル、エチオピア、イランなどであり、当時の日本の経済力は中南米や中東諸国なみであったことがわかる。世銀は日本の建設能力に疑問を持ち、国際的なコンサルタントの指導を受けることが義務づけられた。道路線形についてはドイツの技術者から、土質、舗装についてはアメリカのコンサルタントから、その基本的な考え方をはじめとして指導を受けねばならないことは多かった。

着手にあたっては、まず、品質管理の徹底というテーマを掲げて、わずか190kmの高速道路一本のためにわざわざ専用の試験所を設けた。そしてまた、この試験所は研究所でなく、建設の現場の測定を直接担当する試験所として位置づけられている。他地区より先行して工事の進んでいた京都地区の山科工事および逢

坂山工事の二つの工事事務所を試験所の直轄とし、土工、舗装、コンクリート工事の品質管理手法の確立を直接自分たちで担当した。この他に、すべての工事事務所を試験室を設置し、施工管理に関する各種の測定や材料試験を行った。

土工事が進行してそろそろ舗装工事の始まる1960年4月にはアメリカ人のコンサルタントが来日し、1年間試験所に常駐した。防塵処理の技術しか持っていなかった日本の舗装技術が初めて本格的な工事を始めるにあたり、山科工区を試験工区として外人コンサルタントの直接の現地指導を受けた。当然のことではあるが、日本にまだ高速道路が無い時代、「作ること」だけが技術の目的であった時代である。

ここであらためて、作ることそのものはきわめて重要ではあるが、手段であって目的のものではないことを強調しておきたい。

(3) 道路はまず安全でなければならない

自動車が道路を通行するにはまず「安全」という課題が解決されていなければならない。自動車の走る空間の構成については、道路横断面の形状の確定に始まり、立体交差、線形の縦横断の調和など線形計画についてのいろいろな計画はすべて安全という価値観のもとで判断される。さらに、舗装面のすべり、雪氷対策、斜面の崩落、橋梁の破損、そして交通事故対策など安全についての課題は尽きない。道路の技術はすべて安全対策のためにあるといっても過言ではない。現実には錯綜する諸条件のなかから判断を迫られた場合、まず安全という目的をいかにして達成するかという視点が重要であることはいうまでもない。

日本道路公団が発行した道路公団30年史(1986年)を見てみると、建設に関していろいろな記述が見られるが、その中から維持管理に関する項目を拾い上げてみると、次のように分類される。

組織・制度の制定に関すること	33件	25%
基準・要領の制定に関すること	27件	21%
安全に関すること	49件	38%
清掃に関すること	14件	11%
環境に関すること	7件	5%

創設期であるので組織・制度あるいは基準・要領の制定が46%と主体を占めている。清掃については効率化のための機械の導入を記録したものである。環境についての記述も見られるが、ほとんどが排ガス、騒音についての国の基準の設定を記録したものである。結局、高速道路の管理において重要な項目として特記されたのは、安全に関することだけであるということが特徴である。安全の中味については雪氷対策16件、舗装の段差修正16件、防護柵など防護施設の整備を

主とする交通安全関係が13件、それと落石・地震対策が4件となっている。道路を開通すると同時に、雪氷対策と舗装路面のオーバーレイが維持管理作業のメインとして登場してきている。これらはどちらも走行上の安全を確保するための課題であり、安全という命題は道路管理で守らねばならない第一の課題であることを示している。

橋梁の疲労の問題もある。増える一方のトラック荷重と交通台数という重交通は、橋梁の疲労を速めていることは間違いない。計画以上の交通荷重により疲労度は増し、年代の経過とともに老朽化は進んでいることは確かである。定時、臨時の点検を行って万全を期しているが、経験のない崩壊の予測は難しい。疲労度を定量化する手法の開発が急がれるところである。

そしてまた、一般道を含めて、交通事故による死者が年間1万人を前後している。増える一方の交通事故について、最近、年間死者が1万人を切ったことを高らかに謳っているが、阪神大震災の死者が6000人であったことを思うと、この数字はなかなか大変なものであることが伺える。

この交通事故という点についての道路技術自体の関心は高いとはいえない。事故がすべて人間の錯誤によるものであれば、道路技術者としてどのように対応すべきなのか。事故への対応としてハードの対策については、いろいろ研究が進められている。しかし事故はもともと走行者の不注意によるものが大半である。免許取り立ての人も、プロのドライバーも道路利用者としては同一のレベルにある。防護策などによる受動的な対策だけでなく、PRというソフトを主とする手段についても効果的な交通技術として認知する時期となっているのではないか。わき見運転の防止、安全運転のキャンペーンなどに道路技術者がどれだけの技術を持っているか疑問である。道路技術者がソフトの安全対策について、重要な技術の目的であるとの認識を持つことが望まれる。

今後、安全問題についてどれほど管理する側の責任が追及されるのか予断は許されない。しかも各種構造物の破壊や崩壊についての予測は不可能である。そのような不確定な対象に対してどのような事前策あるいは事後策をとるのか、重要な課題として問われている。安全が道路技術にとってまず当面する第一の目的であることを強調しておきたい。

(4) サービスすることは義務である

道路における「サービス」という概念は、車に燃料を補給し、運転者に休息の場を与える技術として出発した。そして、利用者への快適な走行を提供することを目的として、サービスエリアやガソリンスタンドの

設置、交通情報の提供、利用者の声の収集などいろいろな試みがなされてきた。加えて最近の重交通時代においては、渋滞の解消ということが大きな課題となってきた。しかし、渋滞箇所でも物理的に道路スペースを広げることには自ら限界がある。情報の処理などソフト技術によって、どのようにこの問題を処理するのか今後の重要な課題である。

さらに一歩進んで、このサービスという技術は、今日においては技術者がまず考慮すべき重要な目的となってきたことを強調しておきたい。道路が重要な社会資本であることはいうまでもない。もともと社会資本をつくる目的は住民福祉の向上である。社会資本とは国民の生活や生産活動にとって不可欠なものであり、かつ公共的に利用可能な施設である。そのため、税金あるいは料金を徴収してその費用をまかない、道路を円滑に通行できるサービスを提供するのである。このように社会資本にはもともと明瞭にサービスという概念が義務づけられているのである。

現在の緊迫した社会情勢においていろいろな改革が進められているが、この中でも、もっとも急務とするサービスとは、「安く」作り、「安く」管理するコスト削減の技術であろう。安くという言葉には安物、安易というような連想が浮かんできて、なんとなくためらいを感じる。しかし、国民の福祉に奉仕するという視点に立って、いかに廉価に作り、そして管理するかというのは、今、高度の技術としてその確立が求められているのである。

単純なコスト削減は品質の劣化に繋がる。安全と環境を保持したうえでいかにコストを削減するかというのはなかなか難しいことであり、さらに今まで以上の高度の技術が必要とされるゆえんである。道路技術の目的である安全を確保し、そして環境に配慮したうえでのコスト削減という技術が今後ますますその重要性を増すことは疑いない。

(5) 道路は自然環境に配慮して作られねばならない

日本で初めて高速道路を作るとき、先進諸国の完成に近づきつつある最高の技術を、途中の試行錯誤の過程を経ることなしに採り入れた。そのため最初から理想的な道路像を抱いていた。環境問題についても、当時としてはできる限りのきめ細かい配慮をしている。道路が自然を破壊する著しい例は、赤茶けたむき出しの切土法面であるという指摘を当初から意識している。そのために路線を少しずらして、山の樹林をそのまま残したという例も名神時代から記録されている。切土法面の、法肩部分には丸みを付けるラウンディング手法を採用している。さらに道路の美的設計ということについては関心を持ち、高度の専門家からなる審

美委員会を設けて判断を求めている。中央分離帯と路側の植栽による緑化や、橋梁やオーバブリッジの形状と色彩、インターチェンジの様式など今日見慣れた道路景観も審美的環境テーマとして検討を重ねた結果の成果である。

そして緑化についても当初から大きな関心を持っていた。道路の大部分を占める土工区間の緑化のためには大量の芝を必要とするが、これだけの大面積の芝を提供できる市場は存在していない。しかも工事は機械化によって急速度で施工される。そのために、粘土、種子、肥料、水を混ぜ合わせて泥状にして、圧搾空気法で法面に吹きつけるという法面急速緑化工法を確立した。切土、盛土法面の安全を確保して、さらに環境を維持するための重要な技術であり、今後ますますその重要性は大きな位置を占めることになる。もし緑化技術がなかったら、コンクリートで吹き付けた法面が連続する風景が国土の中を走り回っていることであろう。

しかし一般的に言って、環境というテーマについて知ってはいるが、具体的には公害問題として地域との協議の対象となった場合にのみ関心があるという、受動的な立場が多く、道路、特に道路技術が環境について自ら積極的な対応を考えたことはないというのが大方であろう。

私が、昭和33年名神高速道路の建設のためアメリカのコンサルタントにはじめて出会ったころ、軟弱地盤問題を担当していた。そのとき、このような湿地に盛土をしてよいのかと聞かれて面食らったことがある。当時、湿地というのは用地上の問題もなく、地価も安い最適の道路用地であった。全く思いもよらない発言に驚いた記憶がある。現在の湿地についての各地の論争を聞くにつけても今昔の感が深い。

車の増加につれて環境問題としてまず直面したのは、道路沿線の公害対策である。これへの対応は当然のこととして、今問われているのは地球規模の責任問題である。自動車保有台数の推移に見るように車の増加は全世界的なものである。地球環境問題において、CO₂による温暖化の危機が叫ばれているが、対策としては燃料を少なくする生活を営むことであり、CO₂の還元対策としては植生しかないと言われている。今まで高速道路では樹を植え草を生やすという技術を積極的にやってきた。今後は有るのが望ましいという受動的な造園という立場でなく、排ガス処理への環境技術として積極的な視点が必要となる。環境問題が全地球的な問題となっている今日、将来へどのような道路環境を残すか道路技術の目的として正面に据えておく必要がある。

(6) たまねぎの皮はいくらでも出てくる

土木工事がどのように環境に影響を与えてきたか、高橋裕著『国土の変貌と水害』²⁾の中で利根川の計画高水流量の変遷に触れ、降る雨の量は、昔と変わらないのに、流域の土地利用度が高まるにつれて洪水量はだんだん大きくなっていると述べている。本書の中で“土地に直接記録を刻む人々は、その記録が今後の自然と社会に与える影響について読む力をそなえ、かつそれに対して打つ手を提案できるようにならなくてはなるまい。かつて技術者は「建設する」ことに技術の目的を設定し、そこに建設もしくは開発の意義を認め、かつそれに生き甲斐を感じてきた。技術者の使命の大部分が「つくること」である時代は過ぎた。逆にいえば、つくったあとの技術的処置について、方策を提供できないようでは、技術者は今後の社会における発言権を徐々に失っていくであろう。”と指摘されている。また“好むと好まざるとにかかわらず道路の建設という行為は自然環境を破壊せざるを得ない。これに対する復元の技術を持っていなければ道路自体の存在が否定され道路技術者が世の中に対して発言力を持たなくなるであろう”という指摘は河川技術者に対して発せられた警告を、道路という文字で置き換えたものであるが、まことに鋭く我が身に迫るものがある。

時代の進歩は早い。新しい玉ねぎの皮は次から次へと出てきて、すでにいくつかその萌芽が認められる。まず、エネルギーという芽が見られる。ぼう大なエネルギーを使って処理する機械や施設はもう過去のものである。いかに少ないエネルギーで物事を達成するかが、新しい視点として要求されている。そして、次の皮としてリサイクルという概念が、重要視されてきつつある。家庭レベルであったりリサイクルという概念が、巨大施設にも要求されるようになってきた。重くなり、大きくなる一方の重交通と、老朽化の進む道路に対して、特に橋梁などでは、今後架け替えということが日常茶飯事となるであろう。古い橋梁をただ捨ててよいのか。リサイクルという概念をどのように適応させていくのか、当事者の真価が問われることとなる。

さらに今、人間のマインドとどのように道路が対応するのかが問われている。自動車の機能だけを追及する施設のためだけの技術でよいのか。経済的インフラにたいして、文化的インフラという言葉も見られる。標語としては「優しい」「うつくしい」「感性」「人との調和」などとあふれている。道路に対する時代の要求が、このようなメンタルなものになってきたということである。人間に優しい道路技術とは具体的にどのようなものであるのか。標語としてはわかるが、具体的にはどのようなものであるかまだ明らかでない試行

錯誤の段階である。しかし、判断する場合にこのような意識が有るか無いかは後世大きな成果をもたらすであろう。むいてもむいても現われてくる新しい皮に向かっただけの検討課題は尽きない。

3. 高速道路における土工技術の考え方の変遷

先述のとおり土工技術については解決すべき三つの基本課題がある。第一に路床を含めての盛土の締固めであり、次に軟弱地盤における盛土の安定と沈下の問題であり、そして地すべりを含めて切土法面の安定の問題である。これらの課題について過去にどのような経過を辿ってきたか状況を述べ、それについての評価を行ってみる。

(1) 盛土の施工と締固め

a) 盛土構造

日本では、ほとんどの所で交差する道路や鉄道などの横断施設の上を高速道路が走るという特色がある。平地では平均150mに1カ所の交差施設を内蔵しながら、延々と高い盛土が続く。このため、大量の土を必要とし、この土をどのようにして合理的に経済的に処理するかは建設工事において最初に遭遇する重要な課題である。

最初にまず土工定規を作成し各断面を定義する必要がある。今までの経験則と新しい外国技術を融合して、構築物の形状や寸法の基準となる「土工設計基準」を定めることから始まった。盛土勾配は今まで1:1.5以下というのが常識であったのに対して、1:1.8と設定した。これは機械化施工による転圧のために採用された緩い勾配である。盛土の断面は上から順に路盤、路床、路体という構造になっている。これら構成要素の材質は目的によってそれぞれ異なり、それぞれの部分で分担して上からの荷重に対応する。路床と路体部分を土工事、路盤以上を舗装工事で施工する。本体を形成する路体部分の材質は地域によって千差万別で、硬軟いろいろな値をとる。したがって路体部分の品質の差を消去し、舗装の厚さを一定にするために、路床部を設ける。すべてこれらは路面の平坦性を保持して、自動車走行の安全を確保することを目的とする。そのうえでいかにしてコスト削減を達成できるかという目的を持った技術である。

路床については自動車荷重の影響を受けるので、原則として砂質の良質土を充当するのが原則である。しかし何処でも良質土が得られるとは限らず経済的に限界がある。したがって、発生材について安定処理をするという技術が必要となってくる。関東ローム地帯で

の東名高速道路が始まると、生石灰による路床の安定処理に着手した。その後この安定処理工法は一般化し各地でいろいろな工法が開発されている。舗装表面の平坦性、すなわち自動車走行の快適さに路床部の果たす役割は大きい。走行の安全に直接影響する技術である。

b) 締固めと品質管理

路床、路体が目的を達成するために、重要なのは締固めを十分にすることである。土を締め固めるということは、土中の空気間隙を減少させ、加わる荷重への支持強度を増すと同時に、将来の雨水による浸透防止効果を期待し、路体の安定を確保する、安全のための技術である。大型締固め機械の採用により施工速度は格段の進歩をとげたが、その転圧効果を判定するのは重要な手段である。そのため、盛土の締固め基準として土質工学の締固め理論が最新の科学的手法として採用された。土の締固められた密度は含水比に左右されるのは当然のことであるが、最大の乾燥密度は、最適の含水比の場合にのみ得られる。それ以下でも、以上でもないという含水比—密度の関係を室内試験によって求め、これを現場に適用して品質を管理するという手法である。この締固め理論を現地に適用することにより科学的根拠に基づく施工管理体制を作り上げた。

目的とする締固め度を達成するために、できるだけ薄層にして丹念に転圧することが求められる。このために路体部では敷き均す1層の厚さを30 cmと設定し、路床についてはより精密さを求めて20 cmと設定した。基準値を得るためには水分を調整し、それに応じた転圧回数を決定することが必要であり、その値は各地の発生材によって異なる。そのため土質工学理論を根拠として、これを現地試験によって実証したうえで設計施工に取りかかるという手法を取った。

東名高速道路の建設に着手すると関東ロームの処理という問題が発生した。盛土に使われる一般の土の自然含水比は10~30%くらいの値をとるのが普通である。それに対して関東ロームの自然含水比は100%前後であり、特に富士山麓の愛鷹ロームは150%の値を示す。このような高含水比の土は名神高速道路では捨土としていたものである。

関東ロームのように粘土鉱物を含み、多量の結晶水を含む火山灰質土では、試験前に炉乾燥をさせると本来固体部を構成する結晶部分まで脱水して、自然状態の土とは全く初期条件が違った土となる。そのため、初期乾燥状態が違うため、求められる乾燥密度曲線は全く異なったものとなる。そこで初期条件とは関係しない飽和度による規定という新しい基準を設け、愛鷹、八王子、川崎などで関東ロームの試験工事に着手した。その後この飽和度による品質管理の手法は阿蘇

の「灰土」をはじめとして、全国各地に散在する各種の火山灰質粘性土の管理に成功している。

c) 盛土の施工システム

これまでの日本の道路工事は表層舗装による防塵処理程度が主体であり、建設機械による大型工事を全く経験していない。これに対して機械化施工において大量かつ急速に工事を実施し、上記の品質管理を行うには現地施工体制をシステム化することが前提となる。経済性と安全性を追求するためにいろいろな試みがなされている。施工計画書の作成をはじめとして、工事用道路、含水比調節などの土工施工法などが徐々にシステム化されていった。工事中降雨に出会うと路体面は泥濘化する。そのため土質に応じていろいろな工法を工夫したが、工事中における排水処理は品質確保のためには重要な技術である。

関東ロームなどのような特に軟弱な土の場合には、そのままトラックを走らせるのは不可能であり、盛土材の運搬路についての特別な配慮が必要である。火山灰質粘性土のような粘土質の土質が多いとか、降水量が多いという特殊条件下にある日本では工事方法のシステム化は今後とも改良を要する重要課題である。

地山から土砂を掘削すると周辺の拘束から放たれて土は膨張する。運搬するのはこの膨張した土である。そしてこの土は締め固めることによって再度圧縮される。もともとの地山の体積1に対して膨張比を L とし、圧縮比を C とするとこの値は土質によっていろいろな値を取る。このため土量変化率という常数を経験から案出した。

はじめの機械化施工に直面して全てが未知の作業である。粘性土と砂の混合盛土、チャートのずり盛土など、今日ではほとんど問題とならないような土質についても試験工事を実施した。土丹や泥岩など岩の土質の処理に課題は残っているが、管理手法の発達によって欠点を補っている。

盛土の締固め不足による、盛土本体の沈下や盛土法面の崩壊が生じた例もある。最適含水比よりも乾燥側で転圧されると、砂質の土ではたわみも少なく品質は確保されたように見える。しかし最大密度でないために空隙が存在し、供用後降雨により吸水し脆弱化する場合が見られる。また施工の不良により橋台の裏込めが流出した例もある。さらに、腹付け盛土部の崩壊がしばしば見られるが、これは当然考慮すべきであった地下排水の処理を誤ったための結果である。これらの崩壊はいずれも事前の予測あるいは対策が可能な問題であり、慎重な品質管理で避けられる問題である。

盛土に関していえば、現行の品質管理体制によって、全国7000 kmの高速道路を建設してきた。供用された道路は、一般論として安全に自動車交通の場を

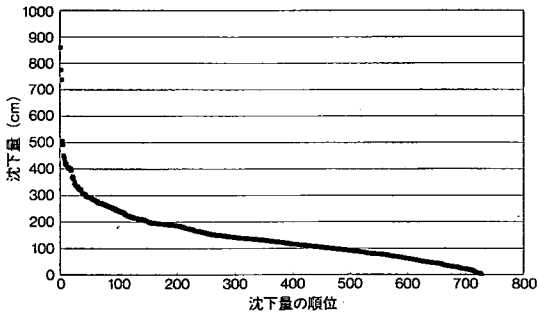


図-1 軟弱地盤における高速道路盛土の沈下量

提供している。当然、何らかの問題は派生するであろうが、基本的には、土質工学を基本とする現行体制によって土の締固めの技術は実用上確立していると評価できる。

(2) 軟弱地盤における対策工

a) 沈下量の全体像

日本の都市は海岸沿いの沖積平野に展開している場所が多い。そのため高速道路の路線も至るところで軟弱地盤地帯を通過している。また、山間部でも谷間では高含水の有機質土が堆積しているという地形は多い。軟弱地盤上に盛土をすれば、基礎地盤は沈下し、場合によってはすべり破壊を起こす。軟弱地盤の処理というのは土工技術でもっとも緊張を強いられる問題である。

高速道路は全国各地でいくつかの軟弱地盤地帯を通過してきた。これらの各地で測定された約700点の沈下記録がある。一体どの程度沈下しているのだろうか。結果は図-1に示すとおりである。図は沈下量を大きい順に並べたものであるが、きれいな凸凹のないなめらかな曲線を描いている。最大は860 cmであり、774 cm、737 cmと続く。いずれも北陸道西山～柏崎間のデータである。

この区間の盛土高は約8 mとなっている。すなわち8 m程度の盛土をすると8 m沈下しており、合計16 mの盛土材を投入したことになる。続いては北海道札幌～岩見沢間の泥炭地で5 m程度の沈下が続いている。

これらの沈下量全体の平均は144 cmである。800 cmもの大きな沈下が見られる中で、平均値は意外に低い。中央値はさらに低く $M=127$ cm となっている。標準偏差は $\sigma=98$ cm である。全体が正規分布をすれば、全体の大体70%を占めるのが、中央値プラスマイナス 1σ の間の値、すなわち225 cmから29 cmまでの値である。経験的に見て1 m以下の沈下を示すところは、ほとんど無処理のままで盛土し

て問題はない。

したがって、軟弱地盤として一応の検討の対象になるのは、だいたい1 mから2 mくらいの沈下を示す場合と考えられる。そして、沈下量220 cm以上を示すような軟弱地盤は、特別な問題地として高度の検討を必要とする場所であることを統計値は示している。

b) 未経験者の判断

名神高速道路に着手するにあたり、軟弱地盤では事前に試験工事を行って、設計施工の指針を得るという現実的な方策をとった。大阪平野で最初に遭遇した尼崎地区、続いて似たような地盤の京都近郊の乙訓地区でも試験工事³⁾を行った。高速道路の試験工事では何らかの地盤対策工で処理した区間の他に、比較のために必ず無処理のままの区間を設けている。

乙訓試験工事では本線の計画高が7 mで、沈下量は50 cmと予測され、安定計算によると、無処理のまま盛土したときの安全率は1以下である。今日から見るとまったく軟弱地盤の範疇に入らない地盤であるが、経験のないものにとっては土質工学の計算結果を信用するしかない。そのまま7 mの盛土をすることは不可能と判断されたので、無処理区間の盛土高は4 mに止めてある。このような不安を抱えながら施工したにもかかわらず、実際の盛土は何の支障もなく安全に完成した。

また測定された沈下曲線をもみても、サンドドレーン区間と無処理区間とでは理論の示すようなはっきりした有意差は認められない。このため測定法が間違っているのではないかなどとあらぬ疑いをかけたり、自分の学力の未熟さを嘆いたりしたものである。実際問題として、全沈下量30 cm程度の測定結果から、初心者何らかの結論を見いだすことは難しい。今としてみるとわかるはずがないというのが正直な感想である。

乙訓地区の本線工事については、試験工事のデータの示す真意を理解する能力がなかったので、沈下量が30 cm程度で、含水比が50%以下という今なら軟弱地盤の範疇に入らない地盤であるにもかかわらず、土質工学の教科書の示すとおりサンドドレーンによる軟弱地盤対策工法がとられた。

特に国道と併行する3 kmの区間では、本線盛土が計算どおりすべりだして国道交通に支障を及ぼすことを恐れた。そのため国道に面する両側にはサンドコンパクションパイルを打設するという最大級の軟弱地盤対策工が実施された。今から見るとはなはだ過大と思われる対応である。

c) 測定されたデータを直視する

昭和35年から36年にかけて大垣試験工事⁴⁾が行われた。濃尾平野の中央を貫く路線は、全線が深さ30

mにおよぶ沖積地を走っている。粘土層も中間に砂層を挟んで上下2層あり、7mの盛土をすると沈下量も1mに達するという今までと比較にならない本格的な軟弱地盤である。ここでも前例にならないサンドドレーンと無処理の効果の比較を行った。この試験工事では地盤の規模が大きかったために、測定結果にはっきりとした傾向が認められた。それはサンドドレーンを打設した区間と、打設しない区間の沈下の傾向にはほとんど目立った差は認められないという、予想に反する現象が観測されたことである。サンドパイルは沈下の促進についてほとんど効果は無いのではないかという結果である。

結論として認識するには多少の時間を要しているが、その結果を直視して、その後の高速道路の軟弱地盤対策工の基本となる指針を打ち出している。

その第一は、今まで常識であったサンドドレーンの沈下促進効果について、はっきりと疑問を呈していることである。そして、沈下対策としてサンドドレーンを打設しない「無処理工法」を打ち出している。第二に沈下対策として「余盛工法」を採用している。工事中に計画高以上の盛土を行って沈下の促進を図り、供用後の残留沈下量を減少させようとする工法である。第三にカルバートなど横断する構造物については事前盛土工法を採用している。構造物設置場所には前もって計画高以上の盛土を行い、沈下がある既定値以上に達してから、盛土を取り除き所定の構造物を建造する。すべて今までの常識を否定する工法である。

路面の平坦性を維持するためには横断構造物の下に基礎杭を置かないという工法が妥当であることは自明であるが、これを実際に適用するにあたっては相当な戸惑いがあったことも事実である。基礎杭を置かずに地中にコンクリート構造物を設置するなどということはきわめて破天荒な考えであった。このような今までの常識、権威に反する工法を採用するにあたっては指導した米国コンサルタント・ソンドレーガー氏が外国人であったという存在は大きかったものと思われる。

d) 軟弱地盤の地形解析

東名高速道路沿線でいくつかの軟弱地盤を経験したが、航空写真という新しい技術によって何か有益な知見が得られるのではないかと、東名高速道路沿線の膨大な柱状図を整理し、地形との関係を検討した。そして空中写真判読と同時に行った地形解析の結果からは重要な指摘が行われた。すなわち、ボーリングによって得られる柱状図は場所によって千差万別である。しかし沖積層の土層の構成は周辺の地形による堆積条件によって決まるものである。周辺の地形が同じであれば柱状図も似たような形をとり、ひいては盛土による沈下、安定についても似たような傾向をとることにな

るであろう。

この地形判読という手法を用いることによって、今までばらばらであった個々の柱状図を、ある処理方針をもってはっきりと整理し、地形と整合する土質縦断図を作製することができるようになってきた。個々の柱状図よりも大局的な地形条件を重要視する設計法の確立である。その後の設計指針の確立に重要な位置を占めることとなった。

地形という判断基準に基づいて今までの沈下データを眺めてみると、新しい視野が広がってきた。厚さ10m以下の浅い沖積層ではどのような土質構成であっても沈下はほとんど急速に収束する。たとえば河川の氾濫による後背湿地では粘土層と砂層が互層になっている。この途中に存在する砂層は土質問題としては安定側に大きく寄与するので対策工に腐心することはない。一方均質な粘土が厚く堆積したおぼれ谷では沈下はいつまでも永続するという典型的な傾向がある。

土層の薄層と深層という概念は非常に価値の高い技術的判断基準であり、それは地形を判読することから得られる情報である。浅層と深層という概念はその後の要領などで大きな判断材料と位置づけられている。

e) 泥炭地での情報化施工

その後、全国各地でいろいろな経験を経た後に、昭和50年代になって直面したのが北海道の泥炭処理の問題である。石狩川の後背湿地となっている石狩平野は全面泥炭の堆積地である。現地を見ると、併行する国道はすべて低盛土であり、高い盛土は鉄道との交差部分のみである。このために現地では、2カ所で試験工事⁴⁾を実施することから始めた。

敷砂を撒きだすのに小型バックホウを使うが、動かそうとしても沈みこんでしまう。なんとか敷砂層ができて、砂の自重で横方向へはらみだしてしまう。排水のために準備した幅1mの側溝がたちまち潰れてしまうので、そのたびにまた掘削し直すという超軟弱土である。試験工事においてはサンドドレーン、ペーパードレーンとサンドコンパクションパイル、セメントによる深層混合処理杭区間も設置してそれぞれの効果を比較した。

これらの検討の結果、本線に採用した対策工法は沈下量が2mから6mもあると予測されている本格的な軟弱地盤であるにもかかわらず、サンドドレーンと押え盛土だけというきわめてありふれたものである。そして泥炭の堆積が比較的少なく、沈下量が2m程度という場所には、無処理のままでも計画高以上の余分な載荷重を加えるだけという、一般の軟弱地盤なみの対策工法を採用している。

このような恐竜に素手で立ち向かうような建設手法には、きわめて高度の施工技術を必要とする。このた

め採用したのは、破壊しないぎりぎりの速度で盛土する緩速施工であり、これを徹底的にコントロールするデータ管理法である。このような極限設計による泥炭処理は現地における今までの常識を破るものである。一抹の不安はあったが、今までの高速道路の経験から成功するとの確信のもとに本線工事に着手した。

全線 27 km にわたって土圧計、水圧計など各種の計器を設置した。特に盛土中央の沈下計と、法尻の変位計が重要である。路線の両側に 120 カ所の側線を張り、変位量を毎日測定した。1 日の計測データは 900 点に及ぶ。土工量 700 万 m^3 という大量の盛土を施工すると、地盤はいろいろな動きをする。そのために毎日測定されるデータは工事事務所試験室に報告される。個々のデータは、試験工事から作り上げられた判別式に従ってコンピューターに判断させるという集中管理方式を作り上げた。地盤の変位を見ながら許容範囲内の速度でゆっくりと盛り上げるという緩速施工法である。1 日当りの盛土速度は 10 cm 単位であり、全体の平均は日当り 5 cm 程度という超緩速な盛土速度である。

昭和 50 年代、パソコンのないころのことで、コンピューターとは IBM の大型コンピューターのことをいう。電送されて東京の電算室で処理された。稼働させるのに 2 億円を要したと報告にある。とにかく内外一体となって、今までにない施工管理体制を作り上げた。情報化施工のはしりである。後年、この工事について札幌建設局が土木学会賞を受賞した。一体に、このような土木学会賞は歴史に残るような巨大建造物に対して贈られるのが通念である。これに対し札幌の場合は押え盛土とサンドドレーンというきわめてありきたりの対策工法で軟弱地盤工事を行っている。そして、それを遂行するための情報化施工というソフトな技術について受賞したということはきわめて異例である。これらの高度の技術が組織としては確立されマニュアル化されているが、しかし、デジタル化できない微妙な問題が多い。高度のノウハウが今後どのように継承されていくのか、工事に従事した技術者の、単なる個人の経験としてタンスの奥深くしまわれているのではないかと危惧するものである。

f) 失敗の経験

これらの成功の陰にいくつかの失敗例も報告されている。最も大きな失敗例は東名道の袋井地区での調査不十分による地盤判読の誤りという事例である。

袋井地区は含水比 300~1000% という暖地では珍しく本格的な泥炭が堆積している場所である。その所在はわかっていたので、ほとんどの区間は高架構造とされた。高架が終わり橋台となっている地点から後ろの山地までの約 200 m の区間は田んぼが残っている。

しかし橋台部での軟弱層の深さが 5 m しかなかったため、残りの田んぼの地下も同程度の地盤であると判断した。泥炭地の続きであるので基礎地盤には最大の対策工法であるサンドコンパクションパイルを打設し、さらに両側に幅 40 m の押え盛土を置くという最大の対策をしたうえで盛土構造とした。

ところが、実際には泥炭層 5 m の下にさらに事前には予測されていなかった粘土層が 10 m も堆積しているという超一流の軟弱地盤であったのである。サンドマットを敷設しただけで 2 m の沈下が起こり、盛土高が 4 m に達した時には押え盛土とともにすべりだした。盛土工事を一時中止して放置期間をおいた後、様子を見ながらの緩速施工としたがなかなかすべりは収まらない。結局、強制的に盛土工事を強行して軟弱な基礎地盤をすべて盛土材で置き換えるという置換工法をとることになった。地中にある泥炭・粘土層 13 m をすべて盛土材で置き換えたことになった。

なぜこのようなことになったか。きわめて教訓に富む事例である。当初ボーリングの結果、軟弱層の深さが 5 m となったので高架はこの地点までとして橋台を置いた。それより山寄りには層厚 5 m 以下の沖積地と判断して、田んぼが続くことはわかっていたがボーリング調査を省略した。ところがこの 5 m の基盤は潜丘だったのである。一寸だけ顔を出した潜丘の後ろはやはり深い泥炭層だったのである。もう山地にたどり着いたとボーリングを省略したための誤判断である。

g) 残留沈下対策が問題である

以上のような経過を経て、高速道路の建設と管理について試行錯誤を繰り返す、経験を積み重ねたうえで確立された対策工法は以下のように総括される。

① 無処理工法 ② 余盛工法 ③ 事前盛土工法 ④ 地盤の強度増加対策工法 ⑤ 緩速盛土施工法

そして、大規模な軟弱地盤地帯で、供用後の残留沈下が大きくかつ永続するような地盤においては舗装表面の損壊も大きいので、建設当初に本格的な表層を設置せず、表面だけを処理した基層部でとりあえず供用する。5 年程度の年数を経た後に本格的な表層を設置する。このような仮舗装による処理システムも名神高速道路時代濃尾平野の大垣地区で試みられ、さらに北海道泥炭地区で本格的に施行された。

さらにきわめて軟弱な泥炭地については、工事の困難さと供用後の維持管理の煩雑さを選んで高架構造を採用するというのも選択肢の中にあり、この判断は高度の経験の結果の技術であると位置づけられる。

ただ管理する時点では永続する沈下が問題を提起する。現在未解決の問題として

① 実測値から求める沈下予測手法とその精度

- ② 沈下した横断構造物のクリアランスの不足
 - ③ 各所に生じた空洞の処理
- などがあげられている。

以上のような軟弱地盤処理システムを長い年月を掛けて徐々に作り上げてきた。定期的に路面をオーバーレイすることによって路面の平坦性すなわち走行の安全性は保たれている。仮舗装形式を算定したところによると、経済的に見てもきわめて妥当な工法であると評価されている。環境問題としても特に指摘されるような弊害は見られない。軟弱地盤処理の技術は現行体制で十分実用的であると評価できる。

(3) 切土斜面の安定

a) 法面対策はまず自然環境を守ることである

機械化施工に伴い高い切土法面が出現するようになった。ただ当初、名神地区では平野部が多く、切土区間もほとんどが洪積層地帯であり、それほど大きな技術上の問題とは認識していなかった。当然、いくつか安定上問題のある箇所もあったが、これらは土木工事として処理できる問題であると考えていた。土質工学という科学的手法を用いれば、全て解決すると考えられていたので、各工事事務所の担当技術者を京都山科の試験所に集め、全ての切土法面について円弧すべり面法による安定計算を行った。土質工学が厳密に現地へ適用できると考えていたのである。

また最新技術として修景という概念を導入し、切土法面の法肩部分には丸みを付けるラウンディング手法をドイツから学んでいる。道路景観を意識して緑化を主体とし、セメントモルタルによる吹付け工は明らかに崩落の恐れのある場所に限定した。緑化のためには大量の芝を必要とするが、そのために、粘土、種子、肥料、水を混ぜ合わせて泥状にして、圧搾空気で法面に吹き付けるという法面急速緑化工法を確立した。1m²当たり1万本以上の草が生えれば、雨水に対する浸食防止効果は絶大である。切土、盛土法面の安全を確保し、環境を維持するための重要な技術である。

b) 多様化する法面对策工

高速道路が全国に広がり、山地を通過するようになると、いろいろな地質に出会い、切土の高さが高くなるにつれて、いろいろな問題が発生するようになった。今日、高速道路において土工上問題となるのはほとんどが斜面安定についての現象である。たとえばある年度において問題となった土質についての項目をあげると、地すべり対策：24地区59%、切土法面对策：16地区33%、盛土対策：3地区6%、トンネル：4地区8%、落石対策：1地区2%、路線調査：1地区2%という分布となっており、全国的にどのようなことが問題となっているかがわかる。

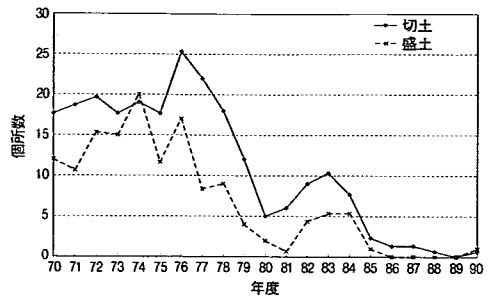


図-2 東名高速道路における法面災害の経年変化 (3年移動平均値)

崩壊を支配するのは、一義的に岩質によることはもちろんである。崩壊しやすい岩質を分類すると、次のようになる。

- ① 侵食に弱い土質
- ② 固結度の低い風化岩
- ③ 風化の早い岩
- ④ 割れ目が流れ盤となっている岩
- ⑤ 断層破砕帯にあり構造的な弱線を持つ岩

これらの多様な性状をとる岩質を、どのように区分するかは、技術上の重要な課題である。これに対して、各地の岩質ごとに弾性波速度を測定した。この結果から岩質を定量的に評価し、掘削の難易度や、法面勾配を選定する判定法を開始した。

高速道路が全国へ展開し、山地部を通過する路線が多くなるにつれて、植生工あるいはセメントモルタル吹付け工によって保護できない法面が多くなる。このために各種の保護工法が時代とともに開発されてきたが、切土の高さが高くなるにつれて問題も多く、現在もいろいろな挑戦がなされている。これらの対策工法は一般的に次のように分類される。

- ① モルタル、コンクリート吹付け工
- ② 張工：石張工、ブロック張工、コンクリート張工
- ③ 法枠工：プレキャスト枠工、現場打ちコンクリート枠工、吹付け法枠工
- ④ 網柵工
- ⑤ 法面蛇籠工
- ⑥ 擁壁工
- ⑦ グランドアンカー工
- ⑧ 杭工
- ⑨ 補強土工

これらの各種の対策工法を駆使して全国各地の切土の法面に対応してきた。図-2は東名高速道路の東京～三ヶ日間250kmの切土、盛土について20年間の崩壊例を調査したものである。

開通初期においては10kmに1カ所程度の崩壊が切土区間に起きていることがわかる。しかし10年以上経つと自然と崩壊件数は少なくなっていく。数値的に少ないが盛土も同様な傾向をたどっている。

作られたものにはどうしても初期故障という経過は避けられないものようであり、自然と馴化するのに多少の時間、10年程度の時間が必要であるということであろう。しかし一方において、切土法面に弾性波調査をした結果によると、年を経るにつれて速度は鈍

化していく。風化が進むということであり、別の要因による崩壊が展開されてくることになる。以上が一般的な傾向であるが、建設を進めるについて現行の設計施工体制に特に目立った支障はないということはいえる。

c) 切土法面は崩壊の恐れがある

自然斜面の崩壊を含めて全国各地で切土法面崩壊が頻発している。地すべり、特殊土対策、地震、豪雨災害、落石事故など多様であり、また、蛇紋岩、膨張性岩、崩積土、断層破砕帯など地形地質は多岐にわたっている。これについて後からの推論は詳細に行われているが、これを事前に予測することは、きわめて難しい。土質定数をいくらいじっても自然を説明するには限界がある。崩壊を支配する要因についての総合的な研究が改めて要望される場所である。

このように切土法面については未解決のテーマがたくさんあるが、

- ① 地すべりなど変位についての測定手段あるいは観測体制が確立されていない。
- ② 切土法面点検手法の確立が望まれる。
- ③ 予測が難しいだけ、経験にたよらざるを得ない部分がある。そのために法面防災に関する熟練者の経験をどのようにして活用するか、エキスパートシステムの活用ということが実用問題として重要になってくる。
- ④ 切土法面は崩れる可能性があるという視点で管理体制を構築する必要がある。

などが当面の急務として上げられる。

適切な設計と、良好な品質管理で完成された土構造物は崩れないということが前提となっている。しかし自然は風化し、いずれは崩壊するというのが現実であり、さらにその崩壊の予測はきわめて困難であるという事実を直視することが必要である。適切な設計と十分な施工管理によって作られた構造物は未来永劫安全であるという考え方は成立しない。信仰にすぎない価値観の転換が求められる。

4. 土質問題解決への提案

(1) 自然は複雑である

高速道路の土工技術は機械化施工という手段を活用し急速な進歩をとげた。そして土質工学という科学を根拠として設計施工の指針を作り、また厳密な品質管理を実施して7000 kmの安全な高速道路を作り上げてきた。近代科学の大きな成果の一つであるといえる。

ところで、科学というのは連続的なものの考え方の

上に立つ。すなわちある点の座標がわかれば、将来の座標は理論の示す数式によって、自ら決まってくるということが原則となっている。しかしながら、科学の進展によりコンピューターが開発され、その結果科学的な連続的な考え方にも限界があることが認識されるようになった。昔といってもつい最近まで、我々一般人が高次式の解を計算できるのは、せいぜい三次式程度までであった。しかしコンピューターの発達によって、高次の計算がいくらかでもできるようになった。そして最近の複雑系の物理学に関する解説書を見ると必ず次のような式が出てくる。

$$X_{n+1} = aX_n \times (1 - X_n)$$

この式は成長曲線といい、物事の成長する過程を追跡する式である。すなわちある世代の数量 X は係数 a に比例して増大する部分と、 X が大きくなるにつれ無限大になるのを抑えようとする $(1 - X)$ に比例する部分との相乗積であるという仮定である。この簡単な二次式がいろいろな現象を説明してくれる。

係数については4以下の任意の値をとりうるが、簡単のために $a=4$ として計算してみる。

初期値を $X_0=0.5$ として計算すると、第1世代は

$$X_1 = 4 \times 0.5 \times (1 - 0.5) = 1$$

となる。第2世代は

$$X_2 = 4 \times 1 \times (1 - 1) = 0$$

となってこの計算は2回で終わってしまう。ところがこの初期値0.5を

$$X_0 = 0.5001$$

とほんの僅か変えてみると、

$$X_1 = 0.99999960, X_2 = 0.000000160$$

となる。第1世代は1に近く、第2世代は前と同様にほとんどゼロに近くなり、 $X_0=0.5$ の場合とあまり変わらない。手計算ならここで打ち切るところである。しかしコンピューターでは、ただコピーを続けるだけなのでさらにこの計算を続行すると、

$$X_3 = 0.00000064$$

となり、前より少し大きくなる。さらに続けると、第10世代は

$$X_{10} = 0.010449161$$

と息を吹き返し、さらに計算を続けると第14世代では

$$X_{14} = 0.995436700$$

となる。いったんゼロに近くなったのがまた極限の1に近い値にまで戻ってくる。さらに計算を続けると、その後は減少したり、増加したり勝手な値を取って収拾はつかない。0.5と0.5001というほんのわずかの違いで、何世代か後では似ても似つかぬものになってしまう。これを物理学では渾沌を意味する「カオス」という言葉で表わし、専門的には「初期値に対する非

常に敏感な依存性」と表現している。

自然現象は複雑であり、われわれの直面する土工問題もいろいろに複雑な動きをしていることになる。今まではニュートン力学の特徴として、初期条件すなわち対象とする系の現在の条件さえわかっているならば、未来におけるその系の振舞いは全部予測ができるということが前提にあった。これに対して、ほんのわずかの条件の違いが、将来の運命を全く別なものに変えてしまうという現象が存在することが視覚的に認識されるようになった。そしてこの不思議な現象が一般の社会現象にもあるのではないかという研究が各分野で行われている。伝染病の流行や、経済予測、社会の動向などにカオスが現われてきているという。

我々の道路の建設、管理の場合についていえば、同じ仕様書に従って、ていねいに作られていても、条件次第では壊れるものもあり、壊れないものもあるということに繋がるのではなからうか。今まで壊れるものは特別な場合で、設計ミス、施工ミスが原因として処理されてきたが、そのようなはっきりした原因がなくても、壊れる場合がありうることを示唆している。われわれの取り組む土質問題というのは、まさに対象は不連続な離散値であり、斜面が壊れる場合もあれば壊れないところもあり、ましてや室内試験で求められた値に基づく計算の延長上にあるものではないことは確かである。

科学の成果である土質工学については、早くから適用の限界について注意が促されている。1968年土質工学会発行の『土質試験結果の解釈と適用例』の中で、当時の国鉄の土質グループの指導者である斎藤迪孝氏は次のように述べている。「物事を進める場合、わからないことは推定や仮定で繋いでいく。しかし仮定が入っていることを忘れて、それから引きだされる結果を正しいものだと思ってしまう誤りはないだろうか」「計算に用いる土質常数は一義的に決まるのではなく、判断に頼らざるをえない種々の要素を含んでいる。また、計算に乗らない要素も多い」「技術者は単なる知識だけでなく、豊富な経験と的確な判断を必要とする点で、確たる存在意義を有するのである」。このことは30年以上たった今でもそのまま残された問題であり、今後ともこれへの解決への努力は続けられることになるであろう。

(2) マニュアルには限界がある

先述のとおり、軟弱地盤における高速道路の建設にあたっては、高度の技術を確立した。そして、軟弱地盤対策設計というのは、端的にいうとサンドドレーンを採用するか、無処理のまま盛土するかを判断することである。全国各地でいくつかの軟弱地盤に遭遇し

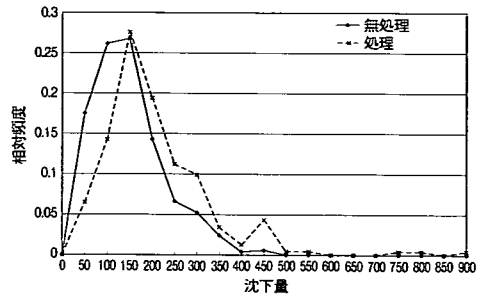


図-3 軟弱地盤処理の有無と地盤沈下量の頻度

たが、これらの地区においてどのような対策工法が取られてきたか興味のあるところである。これに対する解答として、一つのデータがある。JH試験研究所土工試験室が報告した「平成5年度 軟弱地盤の沈下・変形特性に関する事例解析」という報告書に、1992年までのデータ約700件が集録されている。

図-3はサンドドレーンその他の何らかの対策工法で地盤処理した場合と、何らかの対策工をしなかった無処理の場合の沈下量の頻度分布を示すものである。高速道路においては無処理を原則としているので無処理の場合が約500点ある。一方何らかの処理をした区間の測定値は230ある。これについて相対的な頻度分布を見ると、図-3のとおりとなっている。

沈下量が4m以上という超軟弱地盤ではすべて何らかの処理工が実施されている。しかし、4m以下の沈下量の並び具合を見ると、両者ともにほとんど似たような形をとっている。沈下量が100cmから300cmという軟弱地盤の主体を占める部分について見ると、サンドドレーンを打設した所もあれば、まったく無処理で盛土した所もあるということである。

このことはきわめて興味ある現象である。高速道路の建設にあたっては、同じ設計要領を使用し、また設計施工に関与する担当者の技術的レベルは相対的には高位にあったと思われる。このような集団が、同じ手続きの審査を経た結果である。そのような高度な技術環境にありながら、同じような地盤にサンドドレーンで処理した場合も在れば、無処理の場合もあるという結果を示している。要領、基準の適用には限界があるということの証左であるといえる。

(3) 自然は幅広い分布をしている

このような複雑な現象に対して、高速道路の交通量という社会現象を通じて土工環境を類推してみたい。今、全国7000kmの高速道路では約700のインターチェンジ(IC)がある。このインターチェンジの間を通過する断面交通量の、上下合計1日当り年間平均値を交通量と定義する。交通量は季節変動や、気象状

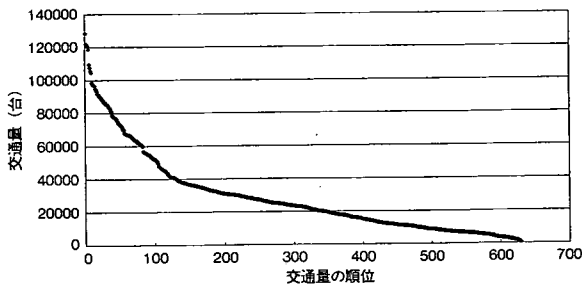


図-4 2000年交通量のランクサイズ曲線

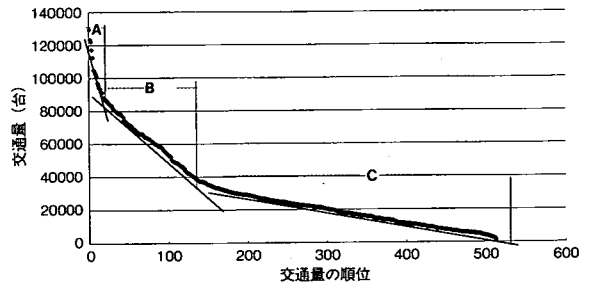


図-5 89年交通量ランクサイズ曲線

況などいろいろな条件によって、日交通量はいろんな値を取る。しかし年間を均した平均を見ると同じ区間にはだいたい同じ交通量が通るという結果になる。人為ではどうしようもない自然現象の一部をなすものと考えられる。

この交通量を大きさの順に並べると図-4の全国IC間交通量ランクサイズ曲線が得られる。縦軸のサイズは交通量の大きさであり、横軸のランクは交通量の大きさの順位である。図でわかるように、これらの交通量は一連の連続した滑らかな形をとっている。このようなランクサイズ曲線については、ジップの法則という経験則があり、自然現象はいずれもこのような形をとるといえる。

たとえば、個人所得高の分布、都市の人口の分布、本や新聞に出てくる単語の頻度分布、英語のアルファベットの使用頻度、川の長さ、湖沼の面積などいろいろの例がある。すでに図-1で見たように高速道路の全国軟弱地盤における沈下量もきれいなランクサイズ曲線を描いていた。

この図を見ると高速道路の交通量といっても、東名高速道路の起点にある東名バリアの13万台から、北海道の道東道の1000台に至るまで幅広い分布を示している。最大と最小の比は130倍になっていて、一口に高速道路交通量といっても天と地ほどの差があることを示している。すなわち自然は幅広い分布をしていることの具体的な類似である。

土工問題に限れば、軟弱地盤において、自然含水比は100%もあれば1000%もあるし、沈下量といっても40cmの所もあれば800cmの所もある。土質、地質、地形など場所によって自然は全てこのような幅広い分布をしているものであつてこれを認識しておく必要がある。

あるいはまた、対象とする地すべり、土砂崩壊がどのような形態で分布しているのか。個々の例は報告されているがこれらを総括する全体像についての認識はまだ明確ではない。そして、今対象としている数値は全体の中でどのような位置にあるのか確認しておく必

要がある。

数値として定量化できない対象について、どのように対処するか。たとえば切土斜面を対象とするとき、現在、リモートセンシング技術において次のようなデータを要因として採用している。地理データとして標高、斜面方位、傾斜、起伏量、谷密度、表層地質、土壌、地形分類、植生をあげ、衛星データから植生指標や土地被覆状況を分類している。これらの多種の要因について、数値的に分類し、数量化理論により総合指数を求め、斜面の崩壊、あるいは健全度を評価しようとするものである。数値化できない現象への評価法として、このような手法が一般化されることが強く望まれる。

このように判断の対象となるものは数多く存在する。そのためにはまずデータを集めることから始まる。集めるといってもデータは道路、鉄道など全国各地に散在していて、これらを全部一箇所に集めることは難しいだろう。すなわち、現在すべてを網羅する全体像を一気に作り上げることはまず不可能である。完全を期することは難しい。不完全でも良いから、手近な地域だけの全体像だけでも作り上げることから始まる。得られた全体像は、それはそれなりに現代技術の水準を示すものと理解すべきであろう。

(4) 自然は単一ではない

図-4でグラフ化されたランクサイズ曲線を仔細に見ると、図-5に示すように、3個の直線に分けられることが認められる。この3直線を大きい方から順にA、B、Cと名づけることとする。3直線の回帰を計算すると、相関係数はいずれも高く、順に0.974、0.995、0.996となっていて、高い直線性を持っていることが証明される。直線であるということは、3区間相互の属性はそれぞれお互いに無関係であるということである。一つの同じグループに属すると思われていた一連の曲線が、実はお互いに不連続な3個の集団から構成されているということである。同じ高速道路の交通量として表わされているが、実は鉄道でいえば

新幹線、在来線、第三セクター線のようなそれぞれ異質のものの集合であるということを示唆している。土工作業において、ある地点についての土質工学上の法則が発見されたとしても、それは当該地点の限られた条件のもとでは適合するであろうが、条件の違う隣接地あるいは違う土質への適用はできない場合が多い。

1975年、中国の遼寧省で起こった海城地震(M7.2)では、直前の予知によって災害を大幅に軽減することに成功し、世界を驚かせた。ところが、翌年、1976年中国の唐山地震では、予知に失敗して24万人の死者を出す今世紀最悪の大震災となった。前者の場合は非常に顕著な前震が発生したため、推定が可能であった。ところが後者の場合は前兆となる前震がなく、突然発生したためである。このように地震予知については予測できる場合もあればできない場合もあるというのが地震学会における現在の結論であるという。

軟弱地盤の処理にあたっては泥炭地区の情報化施工に見るように、本工事に先行する試験工事を行って超軟弱地盤でも成功を取めた。これは隣接した同じ条件にある地区での情報に基づいて盛土速度をコントロールしたためである。すなわち、同じ直線群に属していたため同じルールが適用できたと考えられ、他地区にまでそのルールが適用できるかどうか慎重にならざるをえない。あるいは逆にいえばある区間の直線性が認められれば類似区間への推定は可能ということになる。軟弱地盤の処理について、大体実用的な手法は確立していると結論したが、しかし今まで経験したことの無い条件についてはやはり確信は持てない。

名神高速道路の乙訓地区の場合、今から見るとランクサイズ曲線での最小部分にあたるC区間にあったのに、未経験のために、軟弱地盤とはすべてAグループに属するようなものだと過大評価し、わずかに沈下量40cmの区間にサンドドレーンやサンドコンパクションパイルという最大の対策工法を実施した。経験を積んで全体像が広がったため、大垣地区はB区間として正当に評価したケースに相当するだろう。石狩平野の泥炭工事はA区間にあり、交通量にして10万台程度の区間に相当するのだろう。それ以上の13万台に近い区間では盛土をあきらめ高架構造とするというような全体を見渡したうえでの判断が必要となろう。

切土斜面については、今まで崩壊の予測は可能であるという前提に立って物事を処理してきたが、極端な場所、A区間に属するような所では条件が複雑で予測は不可能である。すなわち、予測は不可能な場合もあるということ全体システムの上で認知しておく必要がある。予測不可能な地点については、路線の変

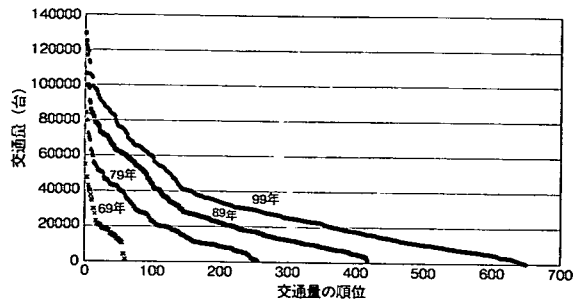


図-6 10年ごと交通量の推移

更、構造形の変更など目的に応じた自由な対応が望まれる。そして得られた安全率は絶対値ではなく、相対的な確率統計値であることを承知しておく必要がある。

(5) 過去に遡ってみる

このランクサイズ曲線を東名高速道路の開通した1969年から現在まで10年おきに図示すると、図-6のとおりとなる。年を追って全体像は成長しているが、これらの曲線群はすべて相似な形をとっている。不思議なことに、インターチェンジが僅か60しかない開通早々からすでに3本の直線群に分れている。このような相似の形をとりながら高速道路の交通量が進展するという事は、この図示法が何らかの本質的な意味を内蔵しているものと考えられる。

この図を道路技術問題へ適用してみると、次のようなことが問題解決のための考え方の一つとして浮かび上がってくる。

曲線の代表値として昭和44年名神・東名が開通した日本の中央部に高速道路が誕生した1969年をとる。そして10年後の1979年、1989年ととり、そして現在値として1999年データを取り上げてみる。この曲線が座標軸との間で囲む面積は、その年度における管理の規模を表わすものと考えられる。最初の1969年の面積は全IC数61で、日本で初めての高速道路が本格的に出発したときの交通エネルギーである。現在に比べて約十分の一の規模である。この交通エネルギーを処理するために、当時の先進国欧米から最新の建設・管理手法を導入して模倣しながら技術の転移を図った。これは守るべき大前提がすでに存在するという、いわば演繹的手法によって処理したものである。

この演繹的手法で作られた69年体制に対して、現実に応じていろいろな改良が加えられてきた。研究結果、あるいは現地での現象を解析した結果、いろいろな新しいルールを設定し改良に努めてきた。10年後、20年後の体制はこのような実測結果に基づく帰納的手法によって発展してきたといえる。改良を重ねて

1999年図に達したわけであるが、しかし初期の69年図と比べて見るとあまりにもかけ離れおり、69年体制の単純な延長線上にないことは歴然としている。

ところで、現在の高速道路はどのようなイメージで計画されたものか、過去に設定された計画交通量を見ると、4車線区間については、名神高速道路では39000台とし、東名高速道路では48000台としており、これ以上の交通量は念頭でない。これに対して現在最高8万台の車が走っている。東名高速道路の6車線区間については88000台と設定しているが、現在13万台が走っている。当初、4車線で約4万ないし5万台程度を最高値として作られたルールを、8万台にまで適用することが適切であるだろうか。時代とともに改良が加えられたといっても、基本的な部分については変わらない本質を内蔵している。あるいは逆に1000台程度の閑散路線にまでこのルールを適用する必要があるかどうか、自ら限界があるであろう。試験器という小さな器の中で見いだされた法則を、自然界にまで適用するには限界がある。69年体制あるいは室内試験結果にいくら改良を加えても自ら限界があることは自明である。

(6) 経験からの仮説設定

このような状態の解決のためには、理論にとられない現実重視の体系を取ることが望まれる。論理的には、演繹、帰納の手法について新しい考え方として、アブダクションという仮説設定の考え方が適用されることが望まれている。

アブダクションという仮説設定の手法を利用した例としては地球が動くというプレートテクトニクス理論が象徴的である。現在、海底は動きそれによって地震が発生するという事は周知の事実となっている。しかし海底そのものはボーリングしても玄武岩であり、これをいくら試験しても海底が動くという結論には至らない。しかし、対応する大陸地形の凹凸はきれいに一致し、対応する山脈の地質や残された生物の痕跡は同じである。いろいろな状況から大陸は移動するという仮説を設定する。その仮説にしたがって、改めて全体を見直してみるとすべての現象を整然と説明することができる。現在この説を疑うものはいないが、海底を動かす原動力が見当たらないまま、大正時代1915年に発表されたこの理論は1950年まで長く放置されたままになっていた歴史を持つ。

今までの科学の発展に寄与してきた室内実験による帰納の手法によってだけでは限界があることが認識されるようになってきた。そして現在、第三世代の学問⁹⁾としてこのような仮説設定によるアブダクションという総合化が新しい考え方として登場してきてい

る。高速道路においても、過去のルールを乗り越えて、13万台から800台までを処理するために、どのような仮説を設定するかが問われている。切土法面の崩壊の予測については、いろいろな問題が内蔵されている。現実をはっきり認識したうえで、自由な発想に基づく新しい解決策を採らねば解決できないほど、問題は山積していることをこの図は何わせている。

前例にとらわれず、目的意識を持った自由な発想からの法面対策例として、南九州のしらすの例をあげておこう。しらすとは鹿児島湾を噴出原とする砂質の火山灰である。砂質のために堅いが、逆に水には容易に溶ける。いわば角砂糖のようなものである。昭和44年、高速道路の調査に着手したころ、南九州では雨のたびに崖崩れが起き、人命にかかわる社会問題としてしらすは大きな関心を持たれていた。

しらすの自然斜面は雨水の侵食を受けて真っ直ぐに切り立っているのが普通である。この形が雨の当たる面積が少ないため最も安定した断面であるとされていた。したがって、この地方の長年にわたる経験に従うとすれば高速道路の法面も鉛直でなければならない。しかしながら、鉛直に切り立った高い法面は自動車の運転者に圧迫感を与え、ひいては事故の発生にもつながるし、いったん崩れたら事故も大きく社会に及ぼす影響は大きい。安全を目的とするとき、法面はいかにあるべきか議論は尽きない。

しらすの設計にあたっては、まず現地の実情を徹底的に調査し法面台帳を作成した。さらに土質、地質などについて各種の調査試験を行った。また、九州大、鹿児島大、宮崎大をはじめとする学識経験者にも広く意見を求めた。

そして、部内では細部の討議を繰り返した。どのようにするか、そのため、われわれが手にしたのは、土質工学の教科書ではなく、川喜田二郎氏の「発想法」という中公新書である。プレーンストーミングによるK.J.法によって衆知を集めて、この初めての難問を克服しようとした。手あきの技術職員を会議室に集め、そして土質や植栽のコンサルタントなど外部の技術者にも広く参加してもらった。やりとりを重ねているうちに、雲をつかむような混沌の中から自ら答えは出てきて、そして次第に確信を持つようになった。結論は「しらすの表面を水に濡らさない」ということである。そのためには「表面を被覆する」そして「水路を完全に作る」ということである。水から法面を守るためには植生で覆うのが、今までの経験からもっとも効果的であり経済的である。そのためには緩勾配でなければならない。しらす地帯の道路法面は緩い勾配で作るべきであり、そのほうが安定であると結論した。在来の鉛直な法面を是とする構造体系に対して、侵食

されやすいという理由で積極的に避けてきた緩斜面を、あえて採用するというのは相当な抵抗があったのは確かである。

最後にこれまでに至った我々の結論を実証するために、現地で盛土延長 128 m、切土延長 155 m の試験工事を行った。結局、しらすを水から守るという単純な命題のもとに、地域独自の設計要領を作り上げた⁷⁾。法面勾配を緩勾配として、植生で表面を覆い、排水路を完備するというきわめて簡単な基準である。開通後 30 年近く、他の地域と同様な小崩落はあるとしても設計思想そのものを否定するような根本的な崩落はどのような豪雨についても生じていない。水への対応を主眼とした設計法は現実的には使用可能と判定される。

(7) 崩壊を支配する本質的な要素への追及

現在、土の崩壊に対して説得力のあるのは、その強度論であり、崩壊のまず第一の要素であることは論をまたない。しかし、強度は含水比の関数であることもまた事実である。にもかかわらず、現地の湿潤の状態がどのような具合で進行するのか、崩壊するときの強度がどのような状態にあるのかは検討の対象となっていない。試験室で測定された、ある条件における強度のみが、その土固有の常数として、何時でも何処でも処遇される。周辺山地の水の流れ具合、谷密度、動水勾配などの情報、降雨データなど主因となる水の情報が、いっさい欠落したまま予測がなされている。予測の可能性に限界があることは明白である。

しらす地帯の高速道路の切土断面では何度か豪雨を経験したが、「水に濡らすな」という大前提に基づく設計思想は、成功したと証明されたものと認められる。しかしながら現実には、平成 5 年の災害においては高速道路の数箇所では崩落土砂によって交通は遮断された。これらは道路斜面そのものが崩壊したのではなく、いずれも高速道路の区域外にある自然斜面の崩壊に伴うものである。このことは自然と対応する技術者にとっていくつかの教訓を示すものである。特に、検討の対象に対する基本的な情報が欠如しているということである。自分の用地内については十分な調査設計を行うが、用地外については全くの空白地帯となる。他者が適切に対応してくれるものと勝手に解釈する。また、他者の領域には踏みこめないという潜在意識がはたらき、結局情報が不足したままとなる。

崩壊に対する要因は数多くある。それらを並べるとある種のランクサイズ曲線を描くであろう。そのとき何が A 区間に相当するのか、何がもっとも支配的であるのか見極めることが重要である。支配的でない C 区間の要因を並べ立てて対策を講じても本質的な対策

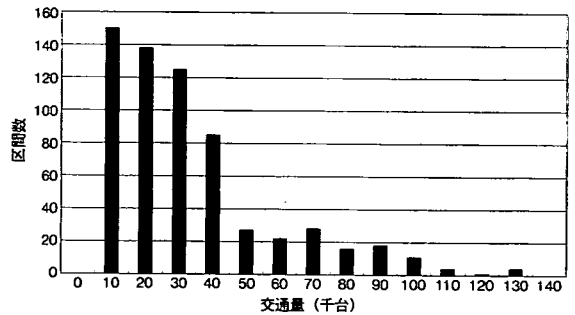


図-7 2000 年交通量の頻度

とはならない。

周辺山地の植生状況、谷密度、動水勾配、降雨データなど崩壊を支配する要因を大きさの順に並べると、ひとつのランクサイズ曲線を描くと思われる。何が最大の要因か見極める技術が必要となる。各地のデータを集めるとどのような要素が支配的であるか、自らわかってくるものと期待される。

(8) 技術レベルの維持について

図-4 で示されるようなランクサイズ曲線を示す交通量について、頻度分布を示すと図-7 のとおりとなり、また別の視点の重要性を指摘する。

13 万台という過熱を示す最大数が存在するにもかかわらず、100 千台以上の値に相当する A 区間の存在感は薄い。そして中央値は 2, 3 万台と意外に小さく、1 万台から 4 万台の間の交通量が主体を占める。この図の示すように平均値周辺の値が主体を占め、最大値あるいは最小値は統計的には特異値であるという認識が必要である。

経年変化を示す図-6 に見るように開通当初の 69 年体制に比べて、年を追って年々全体量を示す面積は増大していることははっきりしている。しかしながら、年度ごとの中央値の値を見るとまた別の視点を提供する。69 年のインター数が 61 あり、最大値が 45 000 台である。その時の中央値は 18 400 台である。これが 2000 年になるとインター数が 629 となり、最大値は 128 411 台と大きく増大している。それにもかかわらず、中央値は 22 553 台である。40 年近く経ち最大数は 3 倍に増えたにもかかわらず、中央値は 2 万台前後とほとんど変わらないままである。

全体の技術は昔に比べて非常な発達を遂げている。その華麗さに目を奪われて全体がそのようなレベルにあるかと錯覚しがちである。しかし主体を占めるのは 2 万台程度の交通量に匹敵する技術である。技術問題への比喩として土工技術でいえば、盛土の締固めとか、法面緑化というような基本的な技術のことであり

うか。初期の頃地道に、愚直に取り組んでいた品質管理体制がそれに相当するであろう。

その愚直さが7000kmの延長を安全に供給しているのである。アウトソーシングの時代、そしてITの時代となり、作業の主体は外部のコンピューターによるマニュアル判断が主体となりつつある。そのためにも基本的な技術のレベルの維持ということが非常に重要な位置を占めることになる。

(9) 経験は学理に勝る

明治時代の軍隊においては、脚気という病気が想像もつかないほどの猛威を振るっていたようである。明治38年(1905年)の日露戦争において、戦闘による戦死者が4万7000名もあった⁹⁾というが、このほかに脚気による死者が2万7000名という数字は想像を絶する。このような陸軍の悲惨さに対して、海軍での脚気による患者は87名、死者は3名と記録されているだけである。陸軍と海軍のあまりにもの違いに、どうしてだろうかという疑問が湧く。

そもそも軍隊における兵食は、軍隊の士気を維持するために非常に重要な課題である。したがって陸軍においては、過酷な条件のもとでの訓練に耐えるために、1日に白米を6合支給するという兵食を実施した。当時の最新の西洋医学に基づいてカロリー試験を行い、栄養価は米食が第一であり、麦食はこれに次ぐという科学的な判断に基づいている。これに対して、海軍でも脚気が横行していたが、漢方医学からのヒントに基づき、麦を混合した。遠洋航海において比較実験を行いながら、米麦食を採用することによって脚気を劇的に減らすことに成功していた。

このような海軍の成果を持ちながら、なぜ陸軍中央は米麦食を採用しなかったか。これは海軍が試行錯誤の末に到達した栄養原因説に理論的な裏づけがなかったためである。理論先行型のドイツ医学に凝り固まった陸軍の医学官僚は、海軍の旧来の漢方を尊重する経験主義を軽べつた。かれらは当時勃興してきた細菌学に心酔し、脚気が細菌によるという細菌原因説を主張した。事実よりも理論を尊重し、経験主義を俗説として排除した。しかし、脚気はビタミンB不足による日本ないし米食地帯に限られる風土病である。したがって西洋医学の論文には脚気についての知見を持っていなかった。人間の思い込みの恐ろしさを痛感する。

結局のところ総括すると、科学的な検証を得た理論は疑う余地はないと頭から信用する。しかし、科学的手法から得られた数式は、複雑な自然の中の限られたある一面を示しているにすぎない。にもかかわらず、現場から報告された実測データよりも権威を持つ。計

算式での裏づけがないと、本質を説明したことにならないと位置づける。作っただけ、処理しただけという単なる経験を軽べつするということになる。

(10) 新しい技術の創設

ところで、最近、失敗という現象について、正面から見直してみようという研究がいろいろ試みられている。機械工学における研究結果⁹⁾によると、すべての技術は、萌芽期、発展期という過程を経て成熟期に至るが、残念ながらそれから衰退期に入るといふ。技術が発展期に入ってから、衰退期に移行するまでの期間は大体30年程度といわれる。われわれの土工技術の経過を辿ってみよう。

まず、最初の名神時代、諸外国の基準を参考にしながら機械化施工という大量の土工事に挑戦した。土質工学を拠るべき基準としてシステムを作り上げた。図-6の69年体制に見るような技術像であり、萌芽期の技術といえよう。そしてその後、科学的理論を尊重しながらも、現地試験で観測された結果を設計施工の指針として、独自の設計要領、施工指針を作成して各地の建設に従事した。新しい技術を創設した発展期の時代である。図の89年体制がこれに相当する。このようにして作成されたマニュアルは全国へ適用され高速道路技術は成長期をばく進し、技術は成熟期に入る。

実績の裏づけを持って完成した技術は、それ自体権威を持ってくる。マニュアルが権威を持ってくると、一般土工の大部分については完成されたものとして改良、訂正の対象から外れる。そして、今までに経験したことのない新しい問題に出会っても、これまでの権威あるマニュアルで処理することができる、あるいは処理すべきであるという雰囲気为主体となる。新しい問題に対する新しい挑戦という選択が行われなくなる。そしてまた、あまりにも高度化したために、今、自分の使っている技術に対して深い理解ができなくなる。予期せぬ事態に対しては狭い知識しかない技術者では対応できない。このような状態が長く続くと技術はやがて衰退期に入るといふことになる。コンピューターの時代であり、コンピューターの計算結果は疑う余地はないものと信ずるしかない。そしてまず、疑う知識も経験も持ちあわせていない。

萌芽期にあって技術創設の時代を経験した技術者は、システム全体が小さかったので、程度の差はあれ、全体の構成を何とか認識することが可能であった。そのため技術が成熟し、広がりを見せても、おぼろげではあるが全体の構成を認識することができる。しかし発展期以降に、このシステムに参加した技術者にとっては、高度ではあるが、部分的にしか対応したことはないので、システム全体を見渡す能力が養われ

ることがない。

そのため、ある動機によって部分の合理性だけを追求すると、全体のバランスを失うことが多い。たとえば、コストの削減のための装置の無人化は手段であって目的ではない。目的と錯覚したために、本来の目的である安全の確保が難しく、かえって費用が高むということもありうる。全体を把握していないと失敗するということである。

社会現象の必然の帰結である衰亡期をどのように克服するのか。そのためには新しい技術を創設して萌芽期に持ち込むことである。新しい技術とは、各界、各地に広く広がる経験を集めて新しい道路技術を創設することである。

現代は科学が学問のヒエラルキーの頂点にあり、科学的であるかどうかが価値判断の基準となっている。しかしまた科学技術という言葉で象徴されるように、技術の存在が認識され始めている。第四の体系としてテクノロジーというものが時代をリードする原理になりつつある。物事を細分してその本質を探ろうとする科学に対して、とにかく物事を処理しようとする能力を技術という。前例のないもの、操作が指示されていないものについてコンピューターは答えてくれない。そしてこれらの技術は知識ではなく、経験の積み重ねによってのみ解決されるものである。

(11) 技術の独立について

図-4 に示す滑らかなランクサイズ曲線はある種の指数関数で近似することができる。一般に自然現象はこのような曲線形を示し、何らかの指数関数で表現することができる(ジップの法則)。図-4 に見るランクサイズ曲線は三次式で近似することができ、相関係数は0.99という高位の相関関係にある。自然現象が複雑な式で表わされるようなある種の流れの中にあることは否定できない。すなわち、前に見たように内実は異質の3種の直線の集合体であるが、しかし全体はある種の同じ流れの中にあるということである。

斜面の崩壊はとっぜん現われるものではなく、何らかの原因の結果訪れるものであることも確かである。そして、今問われているのは、可能な部分については万全を期すということであり、不可能な部分については、不可能であるという前提に立って、安全のためにどのような対策を立てるかということである。全体の流れを統括しその個々の内容を問わない「技術」は華麗な数式を駆使する現代科学の中では存在感が薄い。しかし自然現象をそのまま観察し、全体を現実的に処理する手法が技術としてその位置を確立することが望まれる。

現地で直接機械を動かす、あるいは直接点検をして

いる技術者の経験とカンをどのようにシステムの中に拾い上げることができるか。その中からどのような技術体系を作り上げることができるか。現場の経験を集めて、それを総合するという技術が研究の場でも取り上げられることが望まれる。新しい技術にとって重要な課題である。

以上いずれもそれが必要であることは論を待たないが、実際問題としてはいろいろな問題が多いことも確かである。学・官・産における情報の共有化ということがまず着手する第一歩であろう。官・産の所有する豊富な材料を学という包丁によっていかに壮大な料理を作り上げるのか。その料理によって、いかに国民の豊かさに貢献するかが、道路に従事する全ての技術者に課せられた課題である。

5. むすび

日本の道路における土工技術は、欧米先進諸国からの技術転移に始まったが、工事の機械化と土質工学という科学的理論を背景にして長足の進歩を遂げた。火山国であるという地質・地形の複雑さやヨーロッパ諸国の倍に近い降雨量など特殊な風土条件も克服し、全国に安全な道路網を展開している。

ところで今、ITの発達や、コスト削減を求める社会情勢など道路技術に対する客観的位置は大きく変化している。そのため現在の基準をはじめとする建設・管理のシステムは大きく変化が求められている。このような変革に対して、注意しておかねばならないのは一面の合理性だけを追求すると、全体のバランスを崩しかねないということである。

連続的なものの考え方に立つ科学に限界があると認識されている現代において、目的達成のために必要なのは、細部は問わずとにかく物事を処理する技術を確立するということである。

そのためには過去に経験してきた記録は貴重である。まず全国の各分野に広がるいろいろなデータを集めることから始まる。記録に残されたデータはもちろん、現場の技術者が経験した成文化されていない情報をどのようにデジタルなデータとするか、科学的手法の活用が期待される。集約されたデータから処理するための仮説を設定し、それを科学的手法によって理論的に整備する。その時どのような新しい技術像が展開されるものであろうか期待は大きい。

経験を経とし、学理を緯とする壮大な新しい織物が織り上げられることが強く望まれている。

謝辞：本文の作成にあたっては道路公団において土工

技術の創設に共に参加した稲田倍穂，奥園誠之，世良至，栗原則夫の各氏の助言を頂いた。また本稿の作成には中島将博氏の直接の協力を頂いた。厚く御礼を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 全国高速道路建設協議会：高速道路便覧，全国高速道路建設協議会，2001.
- 2) 高橋裕：土の変貌と水害，岩波新書，1971.
- 3) 持永龍一郎：丘蜜による軟弱地盤の改良効果について，土と基礎，土質工学会，1972.
- 4) 栗原則夫，持永龍一郎：北海道縦貫自動車道（札幌・岩見

- 沢）における軟弱地盤対策，道路，道路協会，1979.
- 5) 米沢富美子：複雑さを科学する，岩波書店，1995.
- 6) 竹内均，上山春平：第三世代の学問，中公新書，1977.
- 7) 山内，持永，河村：シラス地帯における九州縦貫自動車道の設計施工，土木学会誌，1972.
- 8) 坂内正：鷗外最大の悲劇，新潮選書，2001.
- 9) 畑村洋太郎：失敗学のすすめ，講談社，2000.

(2002.4.5 受付)

The main objectives of the road technology are to achieve the following three subjects: i) to secure the road, ii) to serve the user of the road, and iii) to preserve the natural environment. This paper presents the past results of how those are accomplished based on the earthwork-technology for the expressway, as well as the expectation on the way that the road technology should be in the future.