



## 土質基礎の回顧と点描

## 3. 鉄 道 関 係 (その2)

(株)応用地質調査事務所・工博	さい 齊	とう 藤	みち 迪	たか 孝
国鉄・鉄道技術研究所・工博	むろ 室	まち 町	ただ 忠	ひこ 彦
国鉄・鉄道技術研究所・農博	こ 小	はし 橋	すみ 澄	じ 治

## 3.7 戦後の建直し

最初に文献入手難のことにふれておこう。終戦直後、現代土質力学の内容を備えた文献は1940年に出されたクリナインの土質力学だけであって、その海賊版が戦時中に出ていたが、入手はかなりむずかしかった。これには中立応力の考えがとり入れてあり、圧密試験結果から先行荷重をきめるカサグランデの方法もっていた。これについて感心したのは、鉄研の上沢弘氏がこれを全訳しており、昭和21年広島鉄道局の新庁舎の地盤調査に先行荷重を考えた圧密沈下の計算をとりいれていたことで、現代土質力学のいぶきがここでうかがえるのである。

昭和22年三沢飛行場の建設に国鉄から齊藤と浅間敏雄氏が参加した。そのいきさつは、三沢の米軍司令官から工事施工の西松組に土質技術者を常駐させるようにとの指示があったので、最初は早大の南和夫教授に頼むつもりだったが、常駐をことわられたので、西松三好社長→岡田信次施設局長の線で国鉄へ話が来て、国家的事業だから援助しようということになり、白羽の矢が前記の2人にたったというわけのようである。当時、土質の新知識は横浜駐屯の米第8軍から土木研究所などの試験依頼先へ渡されたであろうものが唯一のもので、国鉄では入手のすべがなかった。それで、僻地の三沢へ何年も行くのはいやだという気もあったが、文献入手の好機でもあるので、とうとう行くことにした。ここでは、滑走路の盛土ならびに路盤に関する調査、試験、解析、設計等の最先端の知識が得られ、その後、鉄道路盤の規格にCA法分類やCBRを導入するなど大いに役立ったほか、文献についても膨大なコピーを得て、大いに活用することができた。

1948年ロッテルダムで開かれた第2回国際土質基礎工学会議のプロシーディングは連合軍総司令部のケーシー少将を通じて10部わが国に贈られ、建設省を通して東大、京大、北大、九大、早大、日大、土木研究所に配布され、あとは建設省が1部使用、2部保管ということで、国鉄には配分がなかった。当時建設省技監の阿部美樹志氏に齊藤が直接お伺いして配分を依頼したが、満足な返事が得ら

れなかった。しかし、当時建設省次官の岩沢忠恭氏が土木学会会長だったので、学会副会長の国鉄技師長田中茂美氏を通じて話を進めていただき、ようやく1部鉄研に入手することができたいきさつがある。

アメリカにおける土質力学の教科書は、テルツァーギの理論土質力学がすでに1943年に出版されていたが、テルツァーギ・ベックおよびテイラーの両名著はいずれも1948年に出され、何かの機会でその書名を見るにつけ、現物を見たい気がしてならなかった。最初にこれらの本を見たのは東大図書館に贈られたもので、ついでアメリカ文化センターにもそろえられ、また、書籍輸入商を通じて入手も可能になったので、この頃からわが国における土質力学の近代化が急速に進められた。昭和25年夏、土木学会と土質基礎工学委員会の共催で開かれた夏期講習会のテキスト「最新土質工学」はこれらの文献から得た新知識を盛り込んだ最初のものであったといえよう。

戦後の国鉄復旧のための研究推進には昭和21年7月に運輸省内に技術協議会が設置され、その土木専門委員会で土砂崩壊の研究がとり上げられたが、たまたま昭和21年12月には北陸本線筒石駅裏山の2回の地スベリによる駅構内の埋没、信越本線田口ー関山間の高築堤崩壊による列車脱線転覆などの大災害が相次いだこともあって、現地実験所の設置が促進され、新潟鉄道局の後援をうけて地スベリ研究のための能生実験所が開設された。また、昭和24年1月には施設局、土質研究室を合わせて土の研究會が設立され、研究推進体制が強化された。これらの強力な支援をうけて、能生実験所を拠点として、昭和23年の地スベリ地域の調査や測量、昭和24年と26年の地スベリ実験などが行なわれた。この実験の意義は、この西頸城地方は間欠的な地スベリが多く、当時は安定しているので、発生の時期を気長に待つよりは、人工的な盛土に人工降雨で崩壊を起こさせ、各種変量の観測を行なおうとするもので、本物の地スベリとはかけ離れたものであるが、崩壊に至るまでの土の斜面の挙動を知るには必要なものと考えられたのである。この時の変量の観測は可能なものは全部行なった。すなわち、含水量計2種、土圧計3種、変位計2種、傾斜

## 講 座

計3種、地表ヒズミ計(伸縮計)、水位計などを用いたが、この中で崩壊時期の予知に役立ち、また、研究推進が容易なものとして地表ヒズミをとり上げたが、これが後の予知方法開発の糸口になったのである。

そのつぎに大きいプロジェクトとしてでてきたのが信濃川発電第3期工事の山本調整池のアースダムであって、従来の経験的な基準を排除して、プロクターの突固め理論による合理的設計方法を取り入れた。すなわち、当時大勢を占めていた心壁材料は粘土分(ただし0.1mm以下)60%以上というようなものであったが、クリーガーその他のアースダムの教科書を参考にして、粘土分(0.05mm以下)を30%でおさえて心壁の施工を容易にし、かつ粘土量を節約するためには切込砂利を混入したのも当時としては画期的なことであった。また、施工の進むにつれて土圧計および間ゲキ水圧計を埋設し、全断面構築後は天端および斜面に地表ヒズミ計、傾斜計を取り付けて観測し、測量による移動観測と合わせて湛水ならびに放水の際のアースダムの挙動を調べ、正常なことを確認した。指針の作成は昭和24年1月、ダムの完成は昭和29年9月であり、このような近代工法を取り入れたのはわが国ではきわめて早い時期であったといえよう。

信濃川の工事に続いて、昭和24年頃からは各種の調査研究が行なわれるようになった。路盤噴泥の調査は昭和24年以降都淳一氏により、大阪駅高架橋沈下対策のための軟弱地盤総合調査は昭和27年以降白石俊多氏により継続実施された。調査機器の試作は終戦直後の頃は海外技術の導入が主で、三沢の資料に基づくポータブルコーンペネトrometer(昭24、山田)、イギリス国鉄で使用していた地スベリ面測桿(昭26、斉藤)などはその頃の産物である。標準貫入試験を初めて行なったのは昭和27年隅田川用品倉庫敷地で池田俊雄氏により、ストレスコントロール型のペーン試験機は昭和28年に製作し、赤穂線日生の軟弱地盤において斉藤により使用された。

この頃の特筆すべき事柄は、新潟駅の移転に伴う地盤調査であろう。これは白新線の建設に伴い新潟駅を移転し、新構内に地下道ならびに駅本屋を新設することになり、昭和29年10月から昭和30年4月にかけて主として室町が担当して地盤調査を実施した。試験項目は標準貫入試験、底面1m×1mの大型載荷試験、現場透水試験、不カク乱試料採取ならびに限界間ゲキ比試験、およびクイ打載荷試験であって、その結果は現在では周知のとおり、深さ10mまではきわめてゆるい砂で、中間に何枚かのシルトの薄いはさみ層があり、地下水位は非常に高く、地表面下0.50m程度である。載荷試験の結果、破壊に対しては安全率3を見込んで7~10t/m<sup>2</sup>となるが、沈下は10cm程度を見込まなければならない。また、沈下を20mmでおさえると、安全率2として2.8~1.9t/m<sup>2</sup>という結果になった。液状化の危険については当時は限界間ゲキ比で判断したが、こ

れが0.85~0.90であるのに対し、シルトのはさみ層ではさまれて上ってきた試料で求めた自然間ゲキ比が0.87~0.90であり、液状化の危険は十分あると思われた。このようなデータを前して、建築屋の主張は、沈下を多少見込めば5t/m<sup>2</sup>はとれるのではないかと、建築基礎構造設計基準に書いてあるとおりやればそれでよいのではないかというが、われわれ土質屋は納得しない。水で飽和したゆるい砂は液状化を起こすと物の本に書いてあり、これが本当かどうかはわからないが、その危険を承知の上で何も手を打たないのは辛抱できない。当然締め固めて間ゲキ比を小さくするか、液状化しても差しつかえないようクイ打基礎とするかのどちらかをとるべきだと主張した。双方の意見が対立して相ゆずらないので、当時の施設部長はじっと考えた後、専門家の意見に従おうとはっきり断を下した。その人の名は石田一郎氏、このとき本当にえらいと思った。この結果、地下道底面も、地上4階、地下1階の駅本屋基礎も、1.5m間隔正方形配置で長さ7.5mの松グイをベタに打った。国鉄でウェルポイントを初めて使ったのもこの現場だった。

このことがあってから約10年の後、例の新潟地震が起こった。甚大な被害をきくにつけ、私達は新潟駅が心配でならなかった。鉄研からの調査第2陣として斉藤・室町が新潟へ着いて、一番先にかけてしたのは新潟駅であった。遠くから見ると被害があるようにも見える。近づいてみるとその理由がわかった。正面の建物は駅本屋だけでなく、その左にベタ基礎の平屋の手小荷物扱所、本屋の右に4階のコンコースと6階の支社建屋があり、後の二つはいずれも地下室なしで、6mもの2本のコンクリート継クイ基礎だということだった。そして支社建屋は前方へ傾斜し、コンコースおよび手小荷物扱所は大きく沈下し、隣接建屋との継手ははなはだしく破壊されていたが、4階建の駅本屋は全く無被害であった。地下道は地盤の液状化のために多少浮き上がり、ボックスラーメンの継手がゆるんで砂が地下道内にはいつていたが、そのまま使用可能であった。液状化に対する判断と対策がこれほど適切であったとは、われながら全くの驚きで、土質屋冥利につきると思った。その少し後で石田氏に逢ったとき、異口同音に出たのが“本当によかったね”という言葉だった。

昭和30年4月、地質研究室が土質からわかれてからは、それまでよりもかえって増員されたことになったので、いろいろの分野に手が出せるようになった。その代表的なものが不良路盤の実態調査である。路盤噴泥の調査は前述のとおり昭和24年から行なわれていたが、路盤の現象を噴泥、振動、沈下に向け、全国的な調査を実施し、西亀達夫氏を中心に研究室の半数以上がこれに従事した。このほか路盤土に作用する動土圧の測定なども都淳一氏によって行なわれ、これらの調査ならびに実験路盤での試験結果が後に新幹線の路盤土の適否基準を定めるのに役立った。

また、土質調査ならびに試験の技術を工事実施機関に普

及するために講習会を計画し、各管理局ならびに工事局から人選し、本社土木課の主催で昭和29年8月西日本を対象として大阪で、また、昭和30年7月には東日本を対象として熱海で講習会を開催した。昭和34年には新幹線要員を対象として熱海で講習会を開き、土質技術の普及を促した。

### 3.8 新幹線時代

新幹線の構想が公表されたのは、鉄道技術研究所の創立50周年記念として昭和32年5月30日銀座ヤマハホールで「超特急列車東京—大阪間3時間への可能性」と題して行なわれた講演会においてである。講演は車両、線路、乗心地と安全、信号保安の4題目について行なわれ、平均時速200 km/hr、最高速度250 km/hrという高スピードを目標として研究した結果の技術的立場から可能であるという結論が出された。これを契機として組織機構の整備のほか、実施体制として昭和32年7月本社内に幹線調査室が設けられ、調査が開始された。

新幹線建設関係の土質業務は大別して土構造物設計基準の作成、地盤調査、工事ならびに試運転に伴う土構造物挙動の調査の三つになる。ここで新幹線と在来線とでどこが違うかがまず問題になった。軸重は当初10 tということでは在来線より小さかったが、次第に大きくなり、12 tから最後は16 tになったが、これも在来線と大して変わらない。衝撃は速度に関係せず、橋りょうのスパンに関係するが、土構造の場合、通常はこれも考えていない。軌道重量は増大するが、これは量の問題で質の問題ではないなど、構造物としては在来の設計方針を変える必要はなく、量が多少変わり、また、精度が要求されるだけではないかと考えられた。

土構造では第1に軟弱地盤上の盛土の沈下が問題になる。沈下を完全に終了させることはむずかしいので、どの程度まで許されるかを議題に出したが、軌道の方からも運転の方からも何の提案もないので、土質の方から施工可能な限界として、開業後1年間の沈下量を10 cmではどうかと持ち出したが、何の反論もなくそのままおった。これは軌道保守の方からも、許容狂量2 mmとして週1回補修をすれば可能との裏付保証がなされた。沈下速度を10 cm/年以下におさえるために、目標をこの半分の5 cm/年として工事が進められた。

軟弱地盤の調査は昭和33年9月相模川地区から着手、逐次西の方へ進めていったが、不良区間は意外に多く、 $N$ 値が5以下のいわゆる軟弱地盤は約70 km、 $N$ 値が0～2程度のピート質土よりなる超軟弱地盤の区間が15 kmもあることがわかった。軟弱地盤上の盛土が土質の教科書に示す設計計算どおりにいくものなら何の心配もないが、多大の不安が残っているので、これを確認するために試験盛土を行なうことを提案したが、今さらこれを実施する必要

があるとは言う幹部が多く、何回も説明を繰り返した後やっと承認が得られ、サンドドレーン工法も含めて相模川支流の目久尻川沿いの軟弱地盤で昭和36年から37年にかけて試験工事を実施した。観測の結果、粘着力増加率についても沈下速度についても修正を要することがわかり、毎度前回の測定結果を次回に適用して予測の確度を高めるようにした。また、サンドドレーンの効果については、昭和37年から38年にかけて愛知県幸田南方の野場地区のピート質軟弱地盤で、ドレーンのある所とない所の双方について試験盛土を行なって比較したが、ドレーンの効果が認められない結果となり、ピート質地盤では適切な工法ではないと判断された。その他米原地区ではブロードの有効性を確認し、沼津地区ではコンポーザーの仕上りの掘削調査を行なった。また、掛川地区では軟弱地盤地域で東海道本線に新幹線盛土が腹付したため、在来線の盛土が腹付の方へ傾斜して沈下し、大問題となったが、両盛土間にシートパイルを打って、腹付盛土によって生じる鉛直応力を矢板を通じて支持層に伝え、在来盛土と縁を切る工法を採用した。これを応力しゃ断工法と名づけ、その後各所で用いられるようになった。

つぎに路盤土の規制は昭和30年から始められた不良路盤実態調査のデータを再検討して、液性限界とCBRによる基準を定め、これに適合しないものには保護土層を置くという暫定案を作り、一方、実験用路盤でビブロジールと称する路盤加振機を用いて繰返し載荷試験を行なって、前述の暫定案を検討し、土工定規が定められた。

降雨による盛土斜面の崩壊については、在来線を対象として昭和32年以降スプリンクラーによる人工降雨を用い、津田沼における室内実験、福島における現場実験、国立における野外実験を行ない、これらの結果と理論解析から崩壊機構が逐次明らかにされ、盛土転圧の効果やノリ尻ブランケット、パイプなどによる排水工法の効果が得られていたので、新幹線に対してもこれらの方法を採用することとし、排水ブランケットを第一位の工法として提案し、マサ土で構築された琵琶湖沿岸の野洲、草津付近、木曾川砂で盛土された濃尾平野、その他蒲郡、沼津などでも実施された。

このほか、電柱建植のための地盤調査ならびに解析方法の開発が在来線と新幹線とを兼ねて白石俊多氏によって実施された。

高速運転時の路盤の挙動は新幹線での試験運転以前に在来線の藤枝—島田間の新幹線と同じ線路規格で作った通称第3線で測定が行なわれ、列車速度とレール圧力、路盤圧力、路盤表面の変位、加速度などの関係が求められたが、この面からの高速度運転を制約する要素は出てこなかった。新幹線高等町—鴨宮間のモデル線ができた昭和38年3月には同様の試験がここでも行なわれたが、その結果は上述と変わりはない。

以上のように新幹線に関連した土質研究ならびに調査に

## 講座

については、土に対する列車速度の影響が主役をなさないために、従来の知識やデータが一応有効に利用されたが、ここでは列車速度が土の挙動に影響するというよりは、土の挙動が列車の高速運転にどのように影響するかの方が重要な問題であることを新幹線開業後改めて見直したのであった。

## 3.9 新幹線時代の周囲

新幹線工事ははなばなしく登場した一方では、在来線の線増ならびに保守に伴う調査研究が地道に進められていた。

昭和30年以降白石俊多氏を中心にして橋脚の健全度判定のために実物橋脚の引倒し試験が水郡線久慈川橋リョウ(昭30)、常磐線室原川橋リョウ(昭33)、信越本線犀川橋リョウ(昭33)などの廃棄橋脚で実験され、また突張り、引張り力切断、あるいは振動による試験が川崎火力発電所のケーソン(昭32)、大阪環状線の安治川近くの井筒基礎(昭34)、北陸本線小矢部川橋リョウ(昭36)および九頭竜川橋リョウ(昭36)で実施されたが、これらは深い基礎についての白石理論の裏付けになったものである。

また、調査観測機器の考案試作も新幹線の前後を通じて絶えず進められた。油圧式二重管コーンペネトロメーター(昭29、室町)、鉄研型イスキメーター(昭36、室町)などのほか、独自の構想によるものとしては、斜柱式から差動トランス型に至る一連の土圧計(昭28以降、針生幸治氏)、ヒズミ速度式地スベリ予報装置(昭30、斉藤、針生)、鉄研型動的円錐貫入試験機(昭31、池田俊雄氏)、自記式連続沈下計(昭37、室町)、水圧計式盛土底面沈下帯(昭40、渡辺進氏)等数多くの機器が考案試作され、調査、試験、観測に使用された。

しかし、この時期だけでなく、その前後を通じて記録にとどめなければならぬのは、地スベリとの長い対決であろう。前に記したように、終戦後土砂崩壊の研究に重点が置かれ、能生に地スベリ実験所が設けられても、地スベリあるいは崩壊が相変わらず発生し、とくに著名なものを取り上げて、昭和25年6月の信越本線熊の平駅構内の地スベリで50名埋没死亡、昭和27年10月松浦線浦ノ崎—今福間の200万 $m^3$ の地スベリで2カ月不通、昭和28年6月松浦線浦ノ崎—今福—調川間の地スベリで167日不通、昭和32年8月飯田線大嵐—小和田間の地スベリで第1西山ずい道の半分、約80mを圧潰したものなど、大災害の中に必ず数えられるものが多くある。

第1西山ずい道の場合は、パルス型遠隔記録式地スベリ計ができたばかりだったので、管理局より連絡をうけて、夜行で豊橋経由で現地へかけつけたのも、今から思えばこんな近くなのにと、今昔の感にうたれる。ともかく計器を設置して記録を書かせたが、その判読方法がわからない。トンネルはミンミンと音がするし、時折木の根のさける音がする。いつ崩壊するかわからず、不安な気持ちをいだいた

まま、本社の課長や管理局の幹部たちと夜半に宿へ帰った。翌日未明に電話で起こされ、トンネルが崩壊しそうだから計器をはずすという。返事をする間もあらず、あぶないからはずさせましたとあって電話が切れた。急いで全員で現地へかけつけてみると、崩壊土量は約40万 $m^3$ で、天竜川に押し出し、トンネルは切断されて、遠方に丸い孔が見えるだけだった。このときの記録は崩壊の2分前までとれていたが、このときの暗中模索の検討は昭和34年8月の「土と基礎特集号 No. 1」にのせたとおりである。

崩壊時期の予知が焦眉の急になってきたが、実斜面の崩壊記録を集めて解析すれば、予知方法が見つかるのではないかと甘い考えでは、全く前進しないことがわかってきたので、最初から出直して、土のクリープ破壊特性を明らかにすることから始めようと考え、昭和32年10月から試験を開始した。この試験を直接担当したのが上沢弘氏で、2年余の間この忍耐を要する仕事に専念してくれたことは今でも感謝しているし、また、データのまとめ方も全く上沢氏の功績であるといえよう。このようにして昭和35年には一応の予測方法ができて上がっていた。たまたまその年の12月に、大井川鉄道での高擁壁の崩壊の際に相談をうけたので、この方法で予測し、崩壊の前日列車運転を中止したので、人命車両の損傷は全くなかったという実績を得て、予測の将来に明るい希望が持てるようになった。

昭和37年2月には、土讃線土佐岩原—豊永間で高さ90m、幅120mの斜面が崩壊した。崩壊土量は10万 $m^3$ といわれ、職員2名が殉職し、落石おおい、橋台が埋没し、不通日数は41日に及んだ。この事故の重大性と土讃線にはなおいくつもの危険地帯があることから、土讃線の防災対策を根本的に検討する必要性が認識され、国鉄本社技師長を委員長とする土讃線防災対策委員会が発足した。この委員会は国鉄部内の土質・地質・工事の専門家のほか、10名を越える部外の各界の権威者を網羅した大規模なもので、東京大学の最上武雄、岡本舜三、丸安隆和、八十島義之助各教授、京都大学の村山朔郎教授、建設省の谷口敏雄氏、文部省統計数理研究所の青山博次郎氏、現地の地質の権威である広島大学小島丈児教授、高知大学の沢村武雄教授、元高知女子大学の中村慶三郎氏らが参加された。委員会は地質、土質、対策の三つの専門委員会に分かれ、精力的に調査検討が進められ、昭和39年には最終答申が出された。国鉄ではその成果をうけ、斜面崩壊、地スベリ等の危険地帯を大小6本(延長約12km)のトンネルにより路線変更した。この委員会の成果は土讃線の防災対策を確立したということのみにとどまらず、斜面災害予測の手法として統計的手法や空中写真を利用する手法など新しい試みが行なわれ、その後の研究の進展に大きく寄与したことを忘れてはならない。

昭和38年3月には北陸本線能生—筒石間で大規模な地スベリが発生した。崩壊土量は15万 $m^3$ 、機関車および客

車1両が海まで押し出され、不通日数は20日に及んだ。この頃北陸本線複線化工事の計画があり、特に糸魚川—直江津間は地スベリ等防災上の危険度が高く、路線選定上十分な検討を必要とされた。このため北陸本線糸魚川—直江津間地質調査委員会が発足した。この委員会には部内専門家のほか、建設省高野秀夫氏、新潟大学西田彰一教授、金沢大学市川渡教授らが参加された。そして調査検討の結果、路線選定上避けるべき地域が示され、その趣旨に沿ったルートが決定された。そのため複線化工事完成後はこの区間の地スベリ、土砂崩壊の危険性はほぼ解消した。

昭和41年7月には東北本線浅虫—野内間で崩壊土量10万 $m^3$ に及ぶ大崩壊が発生し、不通日数27日間に及んだ。この期間中に奥羽本線にも災害が発生し、一時は東北の表裏の大幹線がストップし、大問題となった。復旧工事として地スベリ末端の崩壊土を路盤まで排土し、H型鋼製門形工を新設し、トンネル方式で開通させる方式が採用された。この工事は進行中の地スベリの動きを慎重に監視しながら、短期間のうちに膨大な土量(約4万 $m^3$ )を排土するわけで、それが成功したことは地スベリ性状の綿密な観察調査の結果と、大規模な機械土工の偉力とあってよいであろう。この崩壊には事前にいくつかの小崩壊があり、後背斜面の検査によりクラックの発生やその拡大の経過が記録された。このときにも崩壊時期の予測はほぼ適中したが、部外発表をさし止められ、同年秋の研究発表に差しつかえるので、苦心<sup>ツラ</sup>惨胆の末、第3次クリーブ領域での予測方法を思いつき、昭和41年10月秋田での地スベリ学会の研究発表会にやっと間に合わすことができた思い出がある。

昭和45年1月22日には飯山線高場山トンネルが地スベリにより崩壊した。このトンネルは古くより変状が進んでいたが、昭和44年8月の豪雨以降地スベリの様相が明確になり、地スベリ計、パイプヒズミ計、その他の計器による調査が系統的に行なわれた。その結果から崩壊時期の予測がきわめて的確に行なわれ、列車運行停止の時期、応急対策工の作業中止の時期を明確に示し、人命を守ったことは特筆すべきである。現場の飯山保線区はこの高場山トンネルの綿密な検測、安全に関する適切な措置に対し、昭和45年9月1日防災の日に内閣総理大臣表彰を得た。また、終始調査を指導し、崩壊予測を検討した山田剛二氏をはじめとする鉄研防災研究室には土質工学会より技術賞をおくられた。崩壊時期の予測には斉藤の地表面ヒズミ速度による崩壊時期予測の理論がはじめて実際の地スベリの進行中に公に適用され、その適合性が立証されたことや、地スベリの初期から崩壊まで数かずの貴重なデータが得られたことも特筆すべきであろう。

以上の地スベリ、崩壊はその規模あるいは社会的影響の大きさから、関係者にはよく知られたものであるが、そのほかにも調査あるいは対策で特記すべきものはいくつかある。一般に地スベリ、崩壊は発生したものは世間のはなば

なしい注目を集めるが、防災技術者の立場から見れば、それは敗北の記録であり、崩壊の徴候をいち早く察知し、未然にそれを防いだ場合は、技術者の功績はほとんど知られることがなく、十分な評価を受けにくい傾向がある。これは防災技術者の宿命といえよう。

たとえば、山陰本線小田—田儀間の地スベリでは、くわしい調査から降雨—地下水圧変動—地スベリ移動の関係を明らかにし、その結果から排水工の有効性を立証している。そのほか地スベリ、斜面崩壊の前兆を早く察知し、移動量の測定を行なった例はいくつかあり、それらの豊富な資料が崩壊時期予測の斉藤理論の裏付けデータになったことも認識しておくべきである。

この時期の国鉄沿線に発生した地スベリ、斜面崩壊のほとんどすべてには、昭和48年10月2日に急逝された山田剛二氏が関係され、現地での指導、対策の検討にたずさわられた事例はきわめて多く、氏の指示により重大事故を回避できた事例もかなりある。国鉄の地スベリ、斜面崩壊対策に果たされた山田氏の功績は永く銘記されなければならない。

### 3.10 新幹線開業後の諸問題とそれ以後

新しい日本の大動脈—東海道新幹線は、東京オリンピック開会の10日前、昭和39年10月1日に晴れて開業の運びとなった。弾丸列車の構想が生まれてから26年、着工から5年半、3,800億円の巨費と最近の技術を結集して完成した「夢の超特急」の誕生である。

開業後しばらくは、東京—新大阪がひかりで4時間、こだままで5時間の暫定ダイヤであったが、用地問題で難行し、ギリギリにでき上がった盛土路盤もあったなどの実状を考慮した安全運転措置で、やむをえないものであった。

開業後土質関係で最初に問題になったのは軟弱地盤上の盛土の沈下であった。沈下速度はいずれの場所も制限の年間沈下速度10cm/年以内におさまったが、道床材料の補充が続かない。やむをえず段差の大きい橋台裏に集中して道床材料を補充して線路の保守を行なったので、速度制限中のことでもあり、乗心地が多少よくなかった程度で、とくに大きな支障はなかった。これは土質は予想どおりのできだったが、それが軌道保守ならびに運転上の支障を生じたことになり、この後はその方面の専門家の間で土質に対する条件を出すようになった点は一進歩といえよう。

明けて昭和40年4月頃には心配していた噴泥が認められるようになり、4保線所の調査結果ではその全延長は23kmにも達することがわかった。噴泥の最も集中多発したのは静岡保線所管内の掛川地区の泥岩ズリ(L.L.45~48)盛土区間で、路盤噴泥に関する土質規制値(昭和30年度不良路盤実験調査で得られた基準)を土取の実情を考慮してゆるめたことが、全くの失敗であることを思い知らされた。

## 講 座

この噴泥はその後、雨後の筈のように続発し、40年夏には延長 55 km, 41 年春には 100 km を越え、線路徐行の 5 割近くが噴泥に原因があるという全くひどい状態に追い込まれてしまった。路盤噴泥がひどくなると、軌道狂いは急激に増大し、その区間の保守は困難となるので、各保線所は懸命の補修作業を継続実施していたが、抜本的な改造を行わない限り見通しは暗いと判断せざるをえなかった。

以上のような状況に当面し、噴泥対策のための大手術を行なうにあたり、昭和 41 年 11 月、新幹線支社内に「路盤委員会」を設置し、今後の対策を強力に推進することとした。この委員会の委員長には東大最上教授が、委員には京大村山教授、東大八十島教授および三木助教授が部外から就任された。

路盤委員会は昭和 42 年なかばまで続いたが、推進役は松原副技師長で、技研から斉藤、山田両室長、都、室町両主任研究員が、構造物設計事務所から西亀所長、池田次長が土質の直接担当者として参加し、噴泥発生の原因、路盤土や路盤排水条件の調査ならびに有効な対策工法の提案を行なった。

この噴泥の問題はその後ますます重大な支障をきたし、もはや一刻の猶予もならぬ事態となったので、昭和 42 年 8 月本社施設局に新たに「路盤委員会」を設け、すべての工事に優先して新幹線の噴泥絶滅工事を早急にかつ強力に推進することが決定した。この委員会では発生原因と対策上の細目まで検討されたが、機械化土工で盛土の締固め度が格段に向上した反面、透水性が低下し、切取と盛土との相違がほとんどなくなったこと、未経験の列車スピードによる間ゲキ水圧の異常上昇の 2 点が有力原因であると判断された。

対策工法としては、技研における基礎実験と間ゲキ水圧現地測定結果を基とし、重噴泥区間に適用する A 工法（クロプレン膜使用しゃ水工法）、中噴泥区間に適用する B 工法（砂置換と排水管）および軽噴泥区間に適用する C 工法（排水管）の 3 工法を採用することを決め、掛川地区の重噴泥区間を皮切りに、夜間作業の突貫の連続で約 1 年かかってほぼ完全に処置することができた。

一方、噴泥と相前後して、昭和 40 年 5 月以降たびたびの集中豪雨によって盛土ノリ面の崩壊が相ついで列車運行に支障をきたし、「雨に弱い新幹線」と新聞でたたかたかたかれた。その最初は 5 月末の台風 6 号によるもので、連続降雨量は 192 mm、被害は砂質土とマサ盛土の多い名古屋および大阪保線所管内に集中発生した。このため 6 月初めに急拠全線にわたる防災診断を実施し、崩壊原因の推定と対策の指示を行なった。

この年は皮肉にも台風の当たり年で、6 月 20 日に台風 9 号、6 月 27 日に台風 10 号と相つぎ、復旧に次ぐ復旧で現場は休むひまもなかった。9 月にはいつてからは一段と勢力の大きい台風 24 号、25 号が同じく東海道めがけて来襲

し、最大 356 mm の連続降雨量で、各所に大被害を生じ、ノリ面崩壊の総数は 335 件にも上がった。

被害の様相は毎回同じではなく、最初はノリ肩付近の浅いスベリが多かったが、その後はノリ面の格子わくまで持ち上げるような全面に及ぶ崩壊が多くなり、24 号台風では崩壊の規模もこれまでの最大となり、スベリ面は枕木端から土留壁底にまで達した。

このような重大事態に直面し、一刻も早く有効な対策を実施する必要に迫られ、斉藤を中心として盛土の実態調査を行なうことになり、全線にわたって崩壊箇所、無被害箇所を含めて 22 断面について、締固め度をスウェーデン式サウンディングで求め、あわせて試料採取、分類試験を行なう一方、被害箇所 4 地点を選んで各種計器を設置し、降雨時の間ゲキ水圧、斜面ヒズミなどの変動の継続観測を開始した。しかし、この時はすでに台風一過の 10 月末、実態解明を翌年の豪雨時までのばすわけにはいかないので、新幹線のノリ面そのものを使って、人工降雨現場実験を行なうべきことを提案し、新幹線支社の同意を得て急拠実施することになった。その場所は名古屋保線所管内の安城一刈谷間で、開業前の昭和 39 年に災害の多発した地域にあたる。現場実験は新幹線列車を通しながら昭和 41 年 3～4 月の間に都合 3 回実施され、豪雨時の盛土内間ゲキ水圧の変動状況、排水パイプの効果などが実測された。この実験時の連続降雨量は最大 549 mm にも達するもので、当初運転関係者が実施をしぶったが、やっと説得して最初はノリ面だけの散水を実施したが、何の危険も生じないことを確かめてから片線、ついで全線に散水を行なった。

この一連の現場実験と盛土実態調査の結果から、新設砂質盛土のノリ面崩壊は、締固めの不足とむらに起因する局部間ゲキ水圧の異常上昇が原因であり、対策としては排水パイプ打設による間ゲキ水圧低下工法が有効であることを証明した。

この成果に基づき、全線にわたりノリ面崩壊要注意個所に長さ 3.5 m の排水パイプを総数 60 万本を打設したが、その年の豊橋地区の集中豪雨ではこの打設区間の災害は全くなく、工法の有効性が明快に立証された。

山陽新幹線の建設にあたっては、これら東海道新幹線の苦々しい諸経験が徹底的に考慮され、路盤構築基準は大幅に改められた。東海道新幹線の場合に比べると、噴泥完全防止の立場から路盤土質規制をきびしくしたこと、盛土の圧縮沈下を小さくし、かつむらをなくするため、盛土上層部と下層部に分け、それぞれ締固め度を明示したこと、土羽部分に使用する土を規制したこと、ノリ尻部に排水ブラケットを入れることを定位としたこと等が主な改正点である。昭和 47 年に開業した山陽新幹線新大阪一岡山間はこのような基準で施工されたため、開業後この種の初期障害はほとんど生じていない。

一方、昭和 43 年頃から、鉄道保線の省力化に端を發し

て軌道の無道床化（バラストをなくする）が提唱され、その場合の路盤のあり方が継続して討議されていたが、昭和45年中に実施案がほぼまとまり、昭和46年3月に国鉄としては東海道本線平塚—大磯間に初めて「土路盤」上にコンクリートスラブ軌道が試験敷設された。各種盛土・地盤条件に対応した「土路盤」上スラブ軌道の試験敷設はその後相つぎ、現在では東海道新幹線2箇所のほか、在来線線増区間5箇所に及んでおり、敷設後の列車荷重による変位・土圧などが継続して観測されている。

鉄道線路のバラストをなくするという考え方は、100年続いた鉄道保線のフィロソフィーを根本的に変える一大革命であって、単なる置換えでは済まされない大問題をかかえている。見かけ上は確かにバラスト部分がコンクリートスラブとゴムパッドに置換えられた格好にはなっているが、スラブ上面に許容される変位量はいずれもmmのオーダーであり、舗装面以下の締固めを徹底しない限り、切替えはそう簡単にはできないという困難な条件がつきまとう。

土路盤上スラブ軌道区間における路盤構築標準は、前の山陽新幹線の場合と比べ路盤土および盛土の土質選択と仕上がり条件が一段ときびしくなり、路盤土は粒径加積曲線の範囲で、締固め度は乾燥密度で、仕上り強度は $K$ 値で規定しており、締固めの施工面だけを取り上げてみても、従来の鉄道盛土の概念とは著しく異なるものがある。

つぎに、新幹線開業時点以降における在来線の土質上の諸問題を簡単にふれておこう。まず昭和41～43年度には、長崎本線の複線化工事にあたり、有明海沿岸に発達した通称「ガタの土」と呼ばれる超鋭敏軟弱粘土層をどう処置すべきかという問題が起こった。このために本社技術課題の一環として久保田—肥前山口間の代表的3地点で試験盛土を行ない、考えられる軟弱地盤対策工法の大規模な比較実験を実施した。この実験には下関工事局町田次長を初め牛津工事区の全面的応援を受け、技研からは都、室町、渡辺らがその任に当たった。この実験により従来あまり明確とはいえなかった各工法の効果、適用条件、優劣の程度を明らかにすることができ、その後の各地の軟弱地盤対策に有

効に活かされている。

昭和43年5月には十勝沖地震が発生し、東北本線はじめ、大湊・大畑線の軟弱地盤上の盛土は大被害を蒙った。これを契機として昭和43年10月に盛岡工事に「東北本線十勝沖地震調査に関する研究委員会」（委員長は東大岡本教授、委員兼幹事長は東大久保教授）が設けられ、盛土震害の多面的研究に手がつけられた。この委員会はその後、研究内容の重要性が認められて、本社施設局に移管され、「軟弱地盤上の耐震設計に関する研究委員会」となり、破壊のメカニズムに関連して膨大な関連土質試験調査が実施された。

本社池原副技師長、久保村土木課長は研究行程推進役となり、技研からは都室長のほか室町、上沢、小林（芳）、藤原らが参加し、技研西亀所長の強い要請により所内に設置された大型振動台を駆使して、耐震盛土工法に関する振動実験を強力に推進し、軟弱地盤上の盛土の耐震性を向上する具体的手段を明らかにすることができた。この成果はその後、東海道新幹線盛土の耐震補強問題に全面的に取り入れられることになっている。

### 3.11 む す び

鉄道土質は工事に関するものだけでなく、できたあとの構造物の保守および防災もきわめて大きい比率を占めている。建設を主な対象として育ってきた土質工学だけで鉄道を守ることはむずかしく、長期の挙動を監視し、適切な措置を講じていくことが必要であり、土質工学がこの方向へ進んでくれないければ、自らの手で開拓していかなければならないこともある。そういった意味で、考えが浅かった点や事後処理に追われた点もかくすことなく書いたが、現実はいまいくことばかりではないことを知っていただければ満足である。

（原稿受理 1974.1.11）

なお、本文執筆予定だった山田剛二氏が昨年10月2日に急逝されたので、急ぎ代筆を小橋澄治氏にお願いしたことをおことわりいたします（講座委員会）。

\*

\*

\*