

座談会

道 路*・鉄 道**

問題点をめぐって (3)

招待者

中央大学	久野 悟 郎 氏
日本舗道(株)	竹下 春 見 氏
国鉄本社	大 山 忠 氏
国鉄本社	西 亀 達 夫 氏
司会	高瀬編集委員長

編 集 委 員 会

はじめに

高瀬 先生がたにはご多忙のところをご出席いただきましてありがとうございます。設計、施工および調査の面から、道路と鉄道について「問題点をめぐって」の座談会を開催したいと存じます。

道路と鉄道は本来別個に取り扱うべきでしょうが、長区間にわたる盛土や走行する荷重など共通点も多いと思います。それぞれの分野の専門家でいらっしゃる先生がたに、道路・鉄道を一しょに考えての問題点というところまで展開したご意見をいろいろお伺いしたいと思っております。

最初に「土と基礎」66号と68号に掲載されました「問題点をさぐる」について、主に執筆した編集委員に主旨の説明をしていただきます。

「問題点をさぐる」の主旨

鈴木 道路の上層を担当しました。道路の路床を含めて、路盤、基層、表層に関して道路破壊の原因と路床の問題点、設計 CBR、路盤材料の締固めなどについて触れてみました。

たとえばアスファルト舗装の合理的設計をするに当たって現在は路床土の設計 CBR を求めて、66号の38ページにある設計曲線によって構造厚を求めることになっていますが、在来砂利道を新設舗装する設計では、その砂利道を掘って路床土の乱さない試料をモールドで採取し、そのままの含水比の支持力比と4日間水浸の支持力比との比を求め、これを現場 CBR に乗じて設計 CBR とします。この試料採取は試験班1隊で1日2個所ぐらいしかできないこと、4日間も水浸すること、また、道路調査となると測点を多くとらなければならないことなどから、試験法自体はむずかしいものではないが、さらに合理的な方法はないかということが、しばしば現場関係者で問題になっております。

*「土と基礎」66号、**「土と基礎」68号、「問題点をさぐる」を参照されたい。

路盤の締固め度に関しては、現場では40mm以下の粗粒材料を締固めています。基準としての室内突固め試験では4.76mm以下材について行ない、現場密度測定の際に4.76mm以上材の混入率を求め、これによって補正しています。通常ウォーカー・ホルツの補正法を用いておりますが、現場で入念に施工した良好粒度粗粒材の締固め度の補正值が低く出る場合がありますので、規定フルイ以下材についての突固め密度をそれ以上の粗粒材の混入率で補正した値と、実際にその粗粒材を混入したものの突固め密度との比較などを問題点としてあげてみました。

土肥 道路土工指針の締固め規定

66号39ページの表-1では、最大乾燥密度1.40未満の土は捨てなくてはならないとされていますが、これによると関東ロームなどはほとんど捨てなくてはならない。また締固め度については、含水比の非常に高い粘性土の多いものを最大乾燥密度の95~100%に締固めるのは非常にたいへんです。このような粘性土に対しては他の規定の方が合理的で、たとえば飽和度、空気間ゲキ率で管理するのがよいとされています。道路公団でもこれを用いて仕様規定をしています。盛土材料に必要な条件をあげますと、

- (1) 施工中の建設機械のトラフィカビリティを確保できること。
- (2) 盛土に必要なセン断強さを有すること。
- (3) 完成後の交通荷重に耐えうる強さを有すること。
- (4) 盛土の自重による圧縮性が完成後の路面に悪影響を及ぼさないこと。

ということになります。

たとえば、非常によい土を90%締固めたものと、悪い土を飽和度で、もしくは100%締固めたものとを比較した場合に、この(1)~(4)の条件に対してどちらがすぐれているかということが一番問題になると思います。私の考えでは、悪い土を無理して締固めたとしてもこれらの条件において、よい土、程度の問題ですが、あまり

問題点をめぐって

締固めもしないよい土に及ばないのではないかと考えています。そうすると、よい土は無理に締固めることはいないということになってしまうのです。ともかく、実際に道路盛土としての締固めはなにを基準に行なえばよいか、という原則的なことが問題点の一つではないかと提案してみたわけです。

プルフローリングについては、これが路床、路盤の支持力の定測法に代わって採用されれば効果的ではなからうかと思って書きました。

土の土量変化率については、名神高速道路の盛土工事で求めたものと道路土工指針に掲載されているものと少し違いますので、これに関する実績データをあげました。最後は、一括して関東ロームと称されている土でもそれぞれ工学的性質が異なること、施工に当たってはその分布などを調べておいた方がよいのではないかということを書きました。

渡辺 私は主として国鉄の新幹線工事で問題点として指摘されているものの中8項目について紹介しました。

「土質工学の成果をどうとりあげていくか」は一般的な問題提起です。「国鉄の軟弱地盤対策」は道路のそれと対比しながら検討してみました。3項の沈下の問題はたとえばサンドドレンのような一次圧密の促進だけでは不十分な場合が多く、また沈下量の測定が施工をかなりじゃますることなどから、沈下の問題を積極的に解決するにはどうしたらよいかを、二、三の例をあげて書いてみました。基礎の問題はなまかじりなのでまちがっているかも知れません。

腹付け盛土については鉄道技研でも模型実験的なものをやっていますが、これが必ずしも常識的な動き方をしない、たとえば左側から荷重を加えるのだから右側に動くのだというような簡単な結論にはならないのです。土留め壁の問題は、土木工事の方法なり材料なりが歴史的にかなり変わってきていますので、そういう変化と関連した問題点の一つとして考えてみました。盛土の機械化施工では、昔はモッコ式の人力施工による盛土締固めをやっていたのですが、そのよい点が、現在の機械化施工では必ずしもおおわれていないのではないか、それをどう克服したらよいかということを書きました。

最後はアーストンネルです。これも堅い岩盤をくり抜く普通のトンネル工事と同様な施工をしているようですが、本来は土質工学的な土として検討すべき問題が多いはずで、現在は設計までの段階と施工とが別々に検討されているので、いろいろと技術上の問題を起こしています。アーストンネルを造ることも多くなっていますので社会的に考えても解決していかなくてはならない分野としてあげてみました。

高瀬 執筆者の説明が一通り終わりましたので、これ

らについてのご意見をお伺いしたいと思います。

盛土の締固めと CBR 試験



竹下氏

竹下 道路破壊の原因と路床の問題点についてですが、例の AASHO の試験道路は画期的な大試験舗装で、道路の破壊に対しては舗装構造は上部になるほどウェイトが大きいという結果になっています。下部の方は影響がないというわけではありませんが、日本の道路舗装の場合には悪い土が多いものですから、AASHO の結果がそのまま適用されるとは限りませんが、ある程度はあてはまると思います。「問題点をさぐる」では路床の影響が少し強調され過ぎていると思います。

設計 CBR は、これより簡単で適切な方法があればいいのですが、一般的には研究が進んでまいりますと試験法もむずかしくなる方向にあります。土の強さのリカバーの影響などの因子が含まれていない点からみても、今の設計 CBR がとくにすぐれた方法とは思われませんが、現在としては一応この程度の努力は必要だと思っています。

路盤材料の締固め補正については、半理論的な方法よりもむしろモールドの寸法を大きくして、実際の使用材料について、締固め試験を行なうべきであろうと思います。プルフローリングは道路公団で盛んに研究されていますが、将来は路盤工の施工管理や検査などに大いに利用されることと思います。道路公団の結果の発表を待っています。



久野氏

久野 「問題点をさぐる」では内径 15 cm、高さ 12.5 cm のモールドで 38.1 mm 以下の混合物について締固め試験をされているのですが、土質工学会の CBR 試験法では、19.1 mm 以下の材料について行なうことになっておりますので、この辺が少し説明不足であり、読まれるかたに誤解のないようにと思います。66 号の 図-3 にはこの補正曲線に r_{dmax} と記されておりますが、これは r_{dmax} ではないかも知れず合成された乾燥密度ともいうべきものです。この締固め度の補正に関して大型モールドを使用してはとの提案は全く同感です。この問題は、慎重に追求すればここに書かれたようなこととなりますが、また考え方によりますと、4.76 mm 以下材料で最も良好な条件で締固めておいて、その中にそれより

性質のよい粗材料が入っているということでもありますから、施工管理上の問題もあり、むしろウォルカー・ホルツの補正法ぐらいの簡単なもので補正值を出して、締固め度の基準はある程度下げて実施するという方法が実際的ではないかと思えます。粗粒材の混入率が 30~40% まではウォルカー・ホルツでもハンプレスでもほぼ適合いたします。混入率がそれ以上になってきた場合には、締固め度規定というものがあまり重要ではなくなってくると思えますので、この場合には締固め度の適用はあらかじめ他の施工管理方法で行なうことが妥当と思えます。

土質別の締固め度については、たとえば砂質土ほど高い締固め度を要求して、粘性土ほど低い締固め度を適用する規定方法もあります。粘性土は悪い土だからよく締めなければならぬという感じがするものですが、たとえば同程度の機械化施工をする場合、砂質土の方が機械的にはよく締まるので、高い締固め度を要求してもよいということになります。

66 号 43 ページの (4) の「圧縮性は含水比の高いものほど大きいようである」という点は同感ですが、「沈下に要する時間も長いようである」については土によって差があります。たとえば関東ロームの圧縮試験を行なって圧密係数 C_v に相当するものを求めると $10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/sec であり、一方、名神高速道路沿線の粘性土には $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/sec の例もあります。したがってその C_v が飽和していない土の圧縮性、とくに時間を支配するものであると考えますと、この例では含水比の高いものが逆に 10 倍ほど早く沈下することになります。

高瀬 砂質土とか、粘性土とかいう定義はあるのですか。

土肥 名神高速道路では 200 番フルイ通過量が 60% 以内、P.I. が 30 以下が砂質土、その他が粘性土と定義しています。

高瀬 砂質土、粘性土などを考えますと、よい土なら放っておいても ϕ が 30 度も出るでしょうが、不良なものでは 10 度であるかも知れません。その辺は設計にはどのように影響しますか。

竹下 舗装厚の設計曲線の図がありますが、これでわかるとおり、よい土に対しては経済的な断面となります。よく締まるものなら締めた方がよく、それだけその上の舗装厚も薄くなるのです。悪い土は手の下しようがなく、締めても締まりません。だから、その強さに応じてどの程度厚くしなければならぬかが、CBR による設計曲線から決まるのです。

土肥 CBR は突固め 55 回の最適含水比で突固めを 10 回、25 回、55 回と行なって、55 回の場合の最大乾燥密度の 95% に相当する突固め回数に対するの支持力

比を修正 CBR としていますから、現場の締固めも最適含水比で行なわなくてはならないことになっていきます。

竹下 アスファルト舗装要綱では、そうなっています。路盤材料のいわゆる粒状材の碎石、砂などは最適含水比で施工ができるのでこれで行なうのです。粘性土については最適含水比で施工することができないので、現場の含水量で行なうことにしています。

久野 必ずしもその粘性土ばかりが路床土ではないので、含水量調節という要素の必要な土があると思えます。

竹下 そのためには要綱中の締固めるほど水浸 CBR が増加する場合を適用するのです。

久野 関東ロームのような悪い土では現場含水比で行なう方法が便利だと思います。

竹下 JIS にはこの現場含水量による方法が書いてありませんので、改訂しなくてはならないとは思っています。新しくつくる盛土の場合には舗装厚が決まらなないと道路のフォーメーションが決まらない関係もあり、乱した試料を突固める方法で設計 CBR を求めますが、現在ある道路を舗装する場合には、路床の乱さない試料を採取しての設計 CBR による方が合理的でしょう。4 日間水浸が国によってはシビヤ過ぎるともいうし、4 日間では不足で、モールドの側面に穴をあけて行なっているところもあるようです。現在のところ、その中間をとって 4 日間で行っているのです。設計 CBR 法による設計曲線はアスファルト舗装に対して使っています。コンクリート舗装のコンクリート版は、弾性体に近いものですから、繰返し荷重を受けても復元性がいいのです。ところが、その下の復元はそれほどよくないからコンクリートとの間に空ドウができる可能性があります。アスファルト表層は剛性がそんなにはありませんから、繰返し荷重を受けるとその下の層と同じようにたわむ点がコンクリート舗装と異なります。このアスファルト系の舗装についての設計 CBR 曲線は、実際の舗装道路についての広い範囲にわたっての調査結果から統計的に求められたものです。



大山氏

設計は、現在線の十分落ち着いた路盤で、かなり一様になった底面反力の実測値をもとにしてやっております

大山 建設線で厳格な施工管理を行なわなかった場合の例で、だいたい昔のことですが、できあがってから現場 CBR とスウェーデン式貫入試験その他を併用して 22 km についてチェックした結果では、路線の横断方向に著しい差がありました。現在、コンクリートマクラ（枕）木の

問題点をめぐって

が、道床の下の岩が傾斜している場合には、床版には変わった応力が生ずることと思います。このように、CBRの絶対値よりは片切り、片盛りのように CBR 値のイレギュラリティが大きな場合こそ問題があると思います。道路では、どうしておられますか。

久野 道路では片切り、片盛りの接続部に緩和区間を設けてすりつけるなど土工で調整しておくので、その上の舗装体構造でイレギュラリティをカバーするということは少ないと思います。CBR 試験はもともとは現場 CBR 試験から起こったものであると竹下さんから伺っていましたが、材料試験と考えることはできませんか。

竹下 今は材料試験的な意味の方が多いのではないですか。

CBR の換算係数と回復の問題



西亀氏

西亀 東海道新幹線でも盛土の一要件として CBR の規定があり、できあがったところの CBR 値を測定しています。その際、正確には設計 CBR を求めて検討すべきだと思うのですが、これを求めることはやはり大変なことなので、実際には現場 CBR を求めるだけで終わっ

ています。現場 CBR から設計 CBR を求めるときにかける数は1以上になることが絶対ないわけではありませんが、普通は1以下のある数に落ち着くことになりま

すので、いろいろな土の性質を調べて、この係数が土の性質の何に関係しているかを統計的に求めたらどうだろうかと考えておりますが、そんなデータはないでしょうか。

竹下 現場 CBR はその時に測った状態を表わしています。だから、最悪の場合を予想してこのようなあるパーセンテージで下げるよう、という趣旨とも考えられますね。

久野 関東ロームについて CBR 試験を行なった中の一つですが、4日間水浸させましたら水浸前よりいくらか値が大きくなったのがありました。この実験と並行して一定含水量のまま40日間測ってみましたら、CBR が0.5 ぐらいの土ですが、1カ月で2.5 倍にふえます。吸水して弱くなるよりも回復して強くなった分がきているようなデータになりました。

竹下 それは西亀さんのおっしゃいました係数が1より大きくなったということに当たりますが、そういう場合には1として取り扱っています。関東ロームのような土ではこの係数は、ほとんど1としてもよいと思ってい

ます。

山内 久野さんの紹介されたような土に黒ボクがございます。黒ボクは雨にさらした方が強くなります。掘りたてでは歩くこともできませんが、雨が降れば歩けるようになります。

竹下 水浸の影響がでてくる土とでてこない土があって、大きっぱに言えば自然含水量の多い土は影響がでてこないと思います。

久野 初めの CBR 値が小さいほど回復率が大きいようですか。

竹下 回復率は大きいですが、もともとには戻ってこないのです。

久野 東名高速道路の調査で感じたのですが、CBR のその回復の見方によって舗装の構造設計が違ってくると思います。たとえば、舗装期間までに2カ月あると回復もかなり大きいと思うのです。

山内 現在のところ、強さ回復は安全率の中に入るという思想ですね。

竹下 そうですが、土質力学としては強さ回復の研究があまり行なわれていません。その回復の影響をどう取り扱うかが問題です。ある特定の土を、その土を使用する場所で実験した結果、たとえば2カ月にどれだけ強さが上がった、実際に施工するのも2カ月後だとすれば、そのデータを使って設計してよいわけです。

久野 一軸圧縮試験では強さがふえています。応力-ヒズミ曲線のコウ配の増加率の方が大きいようです。したがって強さよりも変形抵抗の方がふえていくような感じになります。道路の問題としては有効なものと思っています。

竹下 荷重そのものにも問題があります。タイヤには細いワイヤがプレストレスの形で納まっています。このタイヤに荷重がかかると接地面積が広がるとともに、そのプレストレスが減るわけです。その影響で中心方向にシャーが働き、そのため垂直応力がプラスされるので、単純な垂直応力の何割増しにもなってきます。等分布荷重ではなくなって、それに対応する沈下量も大きくなります。それらを考えると、安全率という意味でさきほどの回復の問題もカバーさせる必要があると思われます。

大山 クイの場合にも摩擦力の回復の問題が盛んに検討されていますが、多くの因子が入るので決定的な考え方はないようです。

土量の変化率はどうかとらえたらよいか

西亀 土量の変化率は設計でよく問題になる点です。新幹線工事でも扱う土量が多いので、この C の値をいろいろな土について決める必要がありました。地山の土の単位体積重量はわかるのですが、実際に締固め盛土

を行なって C を求めるのが大変なので、自然含水比における突固め試験で代用してみたりしました。

大山 ここに報告されている C は私たちがこれまでに求めたものと比較しますと少し小さいようです。このデータには原地盤へのめり込みなどが相当入っているのではないかと思うのですが。

土肥 実際に施工した盛土について測った結果なのですが、この中にはトラック運搬中の飛散、降雨による流失、その他たとえばたんぼの上の盛土のめり込みなども入っています。

西亀 軟弱地盤といいますが、原地盤のめり込みはファクターが違うので別に計算すべきだと思います。

土肥 軟弱地盤で 50 cm とか 1 m とか沈下する場合には、当然初期の沈下のカーブを求めて、それによる土量をプラスしなければなりません、ご紹介しました変化率についてはいわゆる軟弱地盤は入っておりません。

大山 同じようにして C を求めたことがあります、とくに粘土ではこのデータより 1 ランクぐらい大きいようです。

土肥 道路公団の設計要領では道路土工指針に準じて行なっていますが、その変化率の値では實際上都合が悪いこと、それから、軟岩、硬岩ぐらいで分けるのは結構ですが、あまり土質を細分しても地山の密度が、同じ土の種類でも異なるものですから、あまり意味はないように思います。

西亀 国鉄の場合は道路土工指針の変化率 C に相当するものを、ある範囲で示していますが大規模な工事では実験により求めています。これに地盤へのめり込みと途中のロスを別に計算しています。

大山 運搬途中の変化に関してはトラックの大きさとか積み込みの方法によってそれぞれ計算しています。

高瀬 ダムの場合、土取場は実土量の 2 倍は見ておけといえます。

西亀 下のめり込み、途中のこぼれ、土取場の土が完全に使えるとは限らないことなどがあるので、地山購入の交渉の場合は 2 倍ぐらいになることはよくあります。

高瀬 あらかじめ沈下を想定してこの分を余盛りしておく場合にその数量は加算しておくのですか。

西亀 加算するのですが、工事の契約数量としてはあげません。たとえば設計数 1 に対して余盛り量を見込むと 1.2 になるとすれば、この 1.2 を施工するのに必要な経費を計算し、これを設計数 1 当たりで換算するのです。単価の中に余盛り分が含まれているのです。余盛りの場合はそれでいいのですが、圧密沈下の場合にはそれをどこまで見込むかという問題があり、現在のところ定説がありません。

竹下 道路土工指針は約 10 年前に編さんされたもの

で、当時は日本としてのデータがないために外国のデータをそのまま直したものがほとんどでした。66 号 39 ページの表-1 など現在からすれば妥当でない点が多いのですが、当時としてはやむを得なかったのです。土量変化率についても 10 年前には機械化施工を行なったのデータはなかったわけです。土工指針は改訂される時期になっていますね。

軟弱地盤と路盤の沈下

高瀬 68 号の「国鉄の軟弱地盤対策——道路との比較」を見ますと、道路の方が厳格で鉄道の方がそうでないようにとれるのですが、その一つの原因としては、若干の継続沈下は軌道をコウ（扛）上することによって打ち消すことができるけれども道路ではこの保証は全く考えられないからだと書かれています。これはどう理解したらいいのでしょうか。ある意味では線路が少しでも狂ったら事故も大きいからと考えると、鉄道の方が厳密でなくてはならないということになるのですが。

大山 急激な沈下については確かにそのようなことがいえますが、軟弱地盤のような非常にゆっくりした沈下については、ある程度ここに書かれたようなことがいえます。もちろんこれには限度があり、沈下しない構造物が途中にあれば問題は変わってくるわけです。

高瀬 鉄道では線路工夫がいろいろとインスペクションをやって、おかしい所があればすぐ直すという管理をしておられるので、施工の時はいくらか不満足でも後で保守できるのだからということはないのでしょうか。

大山 鉄道の場合、災害などで路盤が陥没するとすぐ脱線事故に結びつくのです。カットが崩れてきても道路の場合はこれをよけて走行することができますが、鉄道の場合はたいてい脱線となります。ですから厳重な保守を行なっているのです。ここで問題にしている継続的な沈下については、たとえばバラストのタンピングなどによってかなり調整できるという意味で書かれたものと思います。

西亀 鉄道ではレールに動荷重がかかることによって少しずつ変形して行くので、ある程度変形して保守の限度にきた時に直すことにしています。しかしこれは軌道構造そのものの相対変位だけを考えているのです。だからそれに圧密沈下などが加わってくれば困るわけです。軌道の狂いが大きくなった個所から随時直すというやり方では能率的でないので、たとえば半年に 1 回というふうに定期的に直す方法にしようとしているのですが、そうすると、半年の間は狂いが保守の限度に到達しないという保証が必要になってまいります。狂い量の限度は狂いの種類によって異なりますが数 mm というオーダーのもので、だからでき上がりが不正確でよいというも

問題点をめぐって

のではありません。

竹下 道路は壊れると補修のために交通止めをしなければならぬのですが、交通量が多く、面積も大きいので、交通止めをしての補修は一般にはやっかいなのです。ですから、はじめから沈下量をできるだけ少ない限度におさえるという考えでやっています。名神高速道路の盛土では、この意味で施工管理を厳重に行なっています。

土肥 鉄道の問題点としてここにあげられたのは、主として高速道路と鉄道の比較ということで書かれたと思います。一般の道路との比較ではないのでしょうか。竹下さんのお話にありますように、高速道路の舗装であれば少なくとも鉄道より厳重に施工を管理して沈下量を少なくしておかないといけないわけです。道路公団では仕上がってからの沈下量は 5 cm 以内におさえなければならないと考えています。

大山 その場合、絶対沈下量でおさえるのですか、相対的に沈下するのはかまわないと思います。

土肥 絶対沈下量です。構造物の取付けとの関係がありますので。

西亀 鉄道の場合には相対的な沈下量が主として問題になるのですが、前に述べましたように、軌道狂いの進む速度が重大な問題となります。新幹線では軟弱地盤での沈下速度が1年で 100 mm 以下になることを目標にして設計しています。

竹下 われわれは沈下量の多い所は不等沈下も大きいであろうと常識的に考えるのですが。

山内 沈下量とは、弾性沈下ですか。軟弱地盤のですか。

竹下 軟弱地盤の場合の圧密沈下とか、あるいは地盤そのものが悪くなくても盛土自体の締固めがよく行なわれていないと、長年にわたって圧密あるいは圧縮により盛土自体が沈下します。それらを含めての沈下量です。一がいに軟弱地盤だから非常に危いと考へなくてもよいが、不等沈下が危険なのです。

大山 大阪付近の東海道線の例では 1.5 m ぐらい沈下しているのですが、その間に構造物があって、これはほとんど沈下していない、そのような場合でもなでつけて済ませています。道路もこのようなやり方でよいのではないか、現在の沈下量の規制は少しきつ過ぎるのではないかという気がします。沈下に対して厳しくて、その他の点、たとえば災害などの対策については緩いように思うのです。たとえば切り取りの傾度が適切でなくて降雨によって落石などが始終あるように思います。

山内 私もそう思います。路体そのものが悪くて交通遮断されることはほとんどなく、たいていは斜面が崩壊してカットの土が落ちてくる場合です。

竹下 これは土質力学以前の問題でして、名神高速道路とか一級国道などでは注意が払われていますが、地方道路ではまだまだ問題が残っています。

久野 68号では、道路がよく試験盛土をして対策を決めているのに対して鉄道はあまり試験盛土をしないということが書いてありますが、道路でも表の A, B に入るもの必ずしも試験盛土をしているとは限りません。実情は鉄道の場合と同じことが多いのです。

土肥 渡辺さんのご紹介になった国鉄の軟弱地盤の定義も、これは新幹線の場合とっています。軟弱地盤というのはその上にできる構造物が盛土を含めてどのようなものであるかによってそれぞれ異なってくると思います。軟弱地盤がクローズ・アップされてきたのは、東海道新幹線にしても高速道路にしても高い盛土を造らなくてはならないこと、機械化施工によって早く仕上げ、早く使用しなくてはならないことなどによるものでしょう。昔のようにやっていたら大きな問題にはならなかったとも思えるのですが。

西亀 それに加えて、昔は軟弱地盤をよけられたのですが、新幹線の場合は路線の選定に当たって避けることのできない要素がたくさんあって、軟弱地盤とわかっていても通らなければならないことが多かったですね。

振動の影響

山内 鉄道は高速ですから、その振動によって盛土がしだいに塑性変形なりあるいはパンピング・アクションを起こすのでしょうが、道路の場合には、アメリカのデータでは 90 km/hr 以上でないとは振動によるタワミは問題にならないとされているようです。この点、列車の振動によって盛土はどうなりますか。

西亀 昔風な造り方では、造りたてのときに列車の振動によって盛土そのものがしだいに下がって行くことがあります。まもなく飽和点に達します。その後は高速で走行させても沈下はあまり進行しません。

山内 道路の場合は振動ではなく繰返し荷重で、塑性変形が 10 万回、100 万回と累積されることとなります。鉄道は高速ですが、その振動をとくにとり上げる必要はないのですね。

西亀 振動によって大きな影響を受けるのはバラストなので、道床バラストの方が先に痛んできます。路盤を造ったばかりでそこにバラストがめり込んで行く段階では、その分だけ沈下しますが、ある程度めり込むと限界に達します。材料が悪いときにはそれが際限なく進行し、それに加えてパンピング・アクションで噴泥が上がってきます。それを防ぐには、路盤表層部に適した材料を使うことで十分だと考えられています。

山内 鉄道路盤に粘土的な材料がある場合、その粘弾

性からくる塑性変形の累積は、深いから問題ないということですか。

西亀 鉄道路盤については、表層を 30 cm でよいという人もあり 60 cm という人もありますが、ともかくその程度の分がよい材料であればあまり心配はないとされています。

大山 たとえば、3 m 下がったところでは、衝撃も含めて車輪の荷重は路盤の重量のほしい 10% ぐらいのもので。振動で噴泥の上がってくるのは路盤表層 30 ~ 50 cm の間の問題です。

斜面防護

久野 68 号の「盛土の機械化施工はノリ面を不安定にする」という点は、確かにそういう面もありますが、適切なノリ面締固め施工機械が開発されてくれば解決します。人工施工による締固めがブルドーザーの接地圧を利用した締固めよりよくきくかどうかは疑問があります。実際のブルドーザー接地圧は全重量を機体の接地面積で割った値よりはるかに大きくなっています。機体をささえている車輪の下の土圧がピークになり、平均接地圧の 2~3 倍になっているようです。一般的にはやはりブルドーザーの方がよく締まるといえます。

大山 しかし最近の機械化施工になってから、ノリ面のくずれる事故が非常に増えているようです。やはり今でも人力施工している、ドハと盛土本体との差が大き過ぎるのではないかという気がします。昔の建設線で人力施工で行っていた当時に比べて、最近では、とくに機械転圧をいねいに行なった現場で、このような斜面崩壊の事故がむしろ多いのです。

西亀 そういう点で斜面防護ということが大切な問題になっていると思います。それに関連して 68 号に紹介されている排水ブランケットについて補足的な説明をします。雨が降ったとき、雨水が堤体の中に浸透して行き、排水不十分のときに斜面から崩壊して行く現象が起こるのです。その場合に、斜面ジリ（尻）にブランケットを設けることによって、斜面の崩壊を防ぐべきだということになるのですが、斜面が崩壊するのは、堤体の透水係数がほしい 10^{-4} cm/sec より大きい場合です。堤体がそれ以上によく締まっていれば透水係数が 10^{-5} ~ 10^{-6} cm/sec になっていれば崩壊の心配はほとんどないわけです。ですから、細粒部分の少ない非常にあら材料を使って、堤体を造っておくと、むしろ崩壊しやすいのです。試験的に 74μ 以下の土の含有率を少なくとも 10% という限界をつけて実施しています。そのくらい細粒部分が入っていますとほしい 10^{-5} cm/sec 以下の透水係数になります。このような場合には排水ブランケットを必要としないのです。すべてにわたって排水ブランケッ

トを設けているという意味ではないことを補足いたします。

土肥 名神高速道路の調査結果では 200 番フルイが 30~60%, P.I. が 10~30 ぐらいの砂質ロームあたりが一番崩壊現象が起きやすいようです。透水係数が大きくて雨が降ると水が入りやすく、水が入ると非常に弱くなるような土が一番危険であるということなのです。

高瀬 排水ブランケットは断面のどの辺まで入れるのですか。

大山 斉藤さんの、長さを決める式がありますね。

土肥 斉藤さんの説では 5~6 m です。

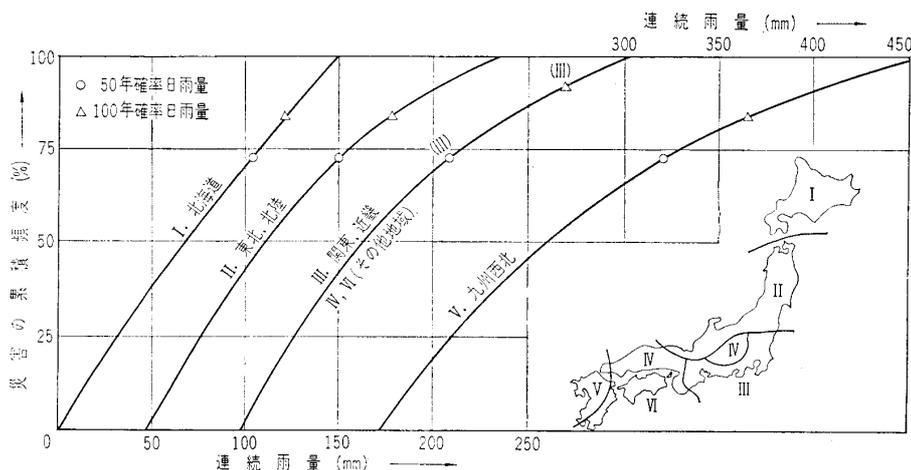
山内 かなり粗い方になってくると浸透圧でしょう。これは厳密に計算してやっている問題です。 10^{-4} cm/sec 以上の透水係数をもつ土は浸透圧で崩壊しやすくなりますがそれらを一しょにして浸透圧を下げて防ぐわけですね。

西亀 斜面の防護に関してはどのくらいの日雨量、あるいは連続雨量に耐えるかということは、植生の問題を無視しては取り扱えません。芝をいかにうまくはやして水が堤体に浸透するのを防ぐかということになります。斜面の傾度は、道路では一般に 1 割 8 分ぐらいと思いますが、鉄道では 1 割 5 分で造っています。これは 1 割 5 分が適切だというのではなく、歴史的な過程でこうなったものです。今まで、純築堤の高さは 6~7 m もあれば比較的高い方でした。しかもその延長が非常に短かったのではなんとか安定していたというわけです。新幹線は高い位置を通り、6~8 m の高築堤が長い延長にわたって連続していますので、斜面傾度はこれまでのものよりゆるくした方がよいと思われそうですが、現実は今お話ししたように 1 割 5 分で押し切って造っているのです。問題はまだまだ残ることと思います。

防災強さ

大山 土質力学以前の問題ともいえるし、また土質力学の本質ともいえる問題点があります。国鉄の構造物の基礎の設計は地震の水平力で決まっていますが、実際の過去の災害を調査してみると、地震で破壊したために橋脚を取替えねばならない例はほとんどなく、多くは基礎の洗掘によります。そうすると橋脚の設計は地震よりは洗掘から決まるのが当然ではないと言えます。同様に盛土では自然沈下によって保守費が余計にかかるということはあると思いますが、それはむしろ二義的な問題で、国鉄では、切取りや盛土が水害や降雨によって崩壊する事故が、毎年 2,000 件ほど起こっています。このうち 600 件は列車に支障を起こしています。沈下そのものよりも雨に強い路盤を造る方がさらに重要となってきます。統計をとって調べたデータをご紹介します。

問題点をめぐって



国鉄における築堤の災害と連続雨量の関係(昭和 33~35)

気象庁の分け方で日本を6カ所に分けて、横軸に連続雨量、縦軸に築堤の災害の起こるパーセントをとると、図のような曲線が得られます。これで見ると、たとえば北海道では災害の半分は、わずか60mmぐらいの雨で起こっているのに、九州では250mmぐらい降らないと半分は起きません。図中の○印は50年確率の日雨量で、適切ではないのですが、連続雨量の統計がないのでこれを用いたのです。日雨量は連続雨量より少し小さいのですが、I, II, III および V の4地域ではいずれも災害の75%は50年に1回の雨が降ると起こっています。つまり各現場では知らず知らずのうちに各地の雨の降り方に対して同じような強さの路盤を造っていることになり、雨の少ないところでは絶対的強さとしてはそう強くしなくてもよいということです。しかし、同じような地盤の上に同じように土で造った築堤の強さの絶対値が、たとえば北海道では非常に小さくなっているのは何で決まるかと申しますと、盛土の場合、これを防護する施設に土留壁とか格子枠コンクリートとかありますが、これらの設備数量が異なるのです。北海道ではこれらの数が全国平均の1/6~1/15なのです。

非常に簡単に考えますと、国鉄で一番強いのは450~500mmの雨量に耐える雨量強さをもっている施設です。500mmの雨量に耐える施設を100点としてみますと500mmの雨量は10点となります。たとえば、北海道では150mm以上の雨はほとんど降らないのですから30点で十分です。また、東海道線のような重要な路線と地方の閑散線とは違えなくてはならないかも知れません。こうして、強さを支配するいろいろの要素にそれぞれ点数を与えて集計してみるのです。裸の築堤や切取りの基本的に、防護施設をつけたら点数を加えるというふうに行ないます。基本点というのは、土質、斜面高、斜面傾度、斜面の湧水状況とかいった条件によって与え、防護点は防護施設の種類に応じて決めるわけです。このような作業を行なって、これをさらに全国的な統計

と照合して、雨量の強さで築堤や切取りの強さを表わせないものか、そうすれば各地域の雨の降り方に応じた適切な設計ができるのではないかと。こういう目的で現在作業しているのですが、このような面からの検討が残っているように思います。

山内 たとえば、南九州のシラス地帯は、私たちの常識で50mmでもすぐに侵食を受けて災害が起こるのですが、その対策がすでになされているから50mmの雨で

も路盤は災害が起きないのですか。

大山 そうです。防護施設を備えた現在の線路についてです。

山内 防護施設を考えない新しいものをまた別に造りたいということですか。

大山 そうではなくて、たとえば土留壁を設けたら雨量何ミリの強さがふえるかということまで造りたいということです。シラスの場合に、土留壁を造った場合と張りコンクリートをした場合とでは、雨量に対する強さが異なるわけで、それを定量的に定めたのです。

もう一つ行なっているのは、ある特定の線区ですが約40kmの線区を3,000枚のカードにして、防護施設と土質その他災害に関係ありそうなあらゆる要因をすべて記入し、防護施設別あるいは土質別、高さ別と分類し、過去40~50年間の災害の起こり方との対比をしてどの要因がどのくらい利いているかを電子計算機で求めています。こういうことによって、たとえば粘性土の場合、連続雨量に関係があるのか時雨量に関係あるのか、また、できあがったもの、あるいはこれから造るものに対して、形や、土質防護施設などの状態から雨量強さを出せないものかなど、いろいろな分析ができると思います。

水平力と地震

大山 68号33ページの「水平力をうける基礎の支持力」という項で「従来、基礎の支持力は鉛直荷重に対してのみ検討され、水平荷重に対しては必要に応じて別個に考慮されてきた」とありますが、先ほどもお話ししましたように、鉄道の場合は地震の水平力で設計が決まる場合が多いのです。むしろ水平力で決まって鉛直荷重でチェックするという場合が多いと思います。鉄道では水平震度を地域によって分けておりましたが、0.3などという水平震度をとりますとほとんどそれで決まってしまう。また現在線では列車の制動荷重のような水平力は

むしろあまり問題にならない場合が多いと思います。

高瀬 東海道新幹線でも地震と比べれば問題はないのですか。

大山 新幹線では水平震度を 0.2 にとっていますから、現在線と比べると制動荷重の影響はかなり大きくなるはずで、橋の基礎でも、有道床の場合は設計が地震で決まりますが、無道床で重量が軽いと、制動荷重で決まるようです。

大山 鉄道では構造物の設計には、地震の影響を相当に研究してとり入れています。築堤、切取りについてはやっています。ソ連では築堤について地震の影響を入れた、かなり大胆な基準を設けております。鉄道のように相当なスピードで走っている場合に、地震で築堤や切取りが崩壊すると非常に危険です。貨物列車が地震によって脱線や転覆をしていることはよくありますから、新幹線での問題点でもあります。

その他の問題点

久野 鉄道と道路と全く共通の問題点として、構造物と盛土の接続部分、切取りと盛土の接合部分に関するものがあります。たとえば、カルバートの設計自体の問題点でもあります。このような堅い構造物と盛土の共同効果をどう考えるかということです。

西亀 接続部分の設計についてはとくに力を入れようということで、鉄道では構造物設計事務所に新しい部門をつくって取扱うようにしています。

久野 設計の段階では土質の分類が問題になってきます。名神高速道路の場合には単に土砂とか硬岩とかに分けていますが、これは設計と積算に結びついた土質工学的な土質分類であってほしいのです。さらには日本の各分野でそれぞれ行なっている分類が統一されると理想的なのですが。

土肥 道路公団の例では、土砂、軟岩、硬岩というのが設計のための分類で、積算要領では土砂を粘土、普通土、砂、砂利、軟岩は軟岩、硬岩は硬岩 1、硬岩 2 と分けてブルドーザー施工のときや、キャリオールスクレー

パーのときには、それぞれの係数をかけることにしています。こういう分類では土質調査のデータとどう関連づけていいのかわかりません。整理しなくてはならないと思います。

高瀬 鉄道では道床と路盤、道路では路盤と路床と呼んで、いわば全く反対の用語がありますね。

西亀 道床は碎石、砂利で土ではないのです。道路の路床とは違うんですね。鉄道では用語の統一をはかって土質工学的の狭い意味の路盤と広い意味の路盤に分けています。狭い意味の路盤とはいわゆる路盤表層であって、30~60 cm 厚の部分で、広い意味の路盤はそれより下の部分も含めて使っています。道床はバラストといっています。これに加えて、サブバラストという概念もありましたが、路盤表層をよいものに造りあげるという前提に立つようになりまして、サブバラストは設ける必要がないという考えになってきています。

大山 最近地下鉄などでの切取り施工中に事故が起こったり、ウェルやケーソンを現在線のそばに沈める時に周囲地盤に影響を及ぼして事故が起きている例があります。このような工事の施工中の事故あるいは周囲に与える影響を予知し、また防ぐためには、今後相当の調査、研究を要すると思います。また最近岩盤力学が大きく取扱われていますが、斜面切取りや深い所の大基礎の場合は岩を含んだ土ですので、岩盤力学と土質力学の境目になり色々な問題があると思います。

竹下 鉄道にも道路にも共通な問題点として凍上融解があります。これも重要な問題だと思います。

西亀 これは土質試験方法の簡素化という部門の問題かと思いますが、最近スウェーデンでは粘土の液性限界を求めるのにコーンテストを利用しています。とくに one point method と称して練返した粘土に 1 度コーンテストを行なうだけで、貫入量と含水量とから計算により液性限界を求めているのですが、非常に短時間で結果が出るので、わが国でも大いに検討して普及してはどうかと思います。

高瀬 どうもありがとうございました。