

# 道路盛土の性能設計

## Performance Based Design of Road Embankments

松 尾 修 (まつお おさむ)

御土木研究所 耐震研究グループ長

### 1. はじめに

一般の道路における土工構造物の新設などにおいて広く参考に供されている「道路土工指針」(社)日本道路協会)<sup>1)</sup>があるが、これは現在改訂作業中である。本稿では、その中で道路盛土の性能設計に関してなされている議論・検討の動向と課題などについて述べることにする。

### 2. 道路土工構造物への性能設計導入をめぐる状況

道路盛土は道路を構成する構造物の中でもその延長距離において最も主要な構築物である。我が国において道路盛土の設計技術は、幾多の試験盛土、試験施工、あるいは豪雨や地震等による災害等の経験を踏まえて形成されてきた<sup>1),2)</sup>。また、このように経験技術を主体に構築されてきた道路盛土は異常な豪雨や地震時を除けばおおむね健全であるという実績を示してきた。このため、我が国の道路盛土に関する主要な設計指針類<sup>1),3)</sup>においては、現在でも経験技術を主体に設計するようになっている。

しかしながら、1995年兵庫県南部地震の発生以後、道路盛土といえどもレベル2地震動を設計において考慮する必要があるという認識が広まってきたこと、各種道路構築物の間で設計に関する基本的な考え方は整合させるべきであるという認識、さらには国土交通省より構築物の設計は今後性能設計を指向すべきとの考え方が表明されたこと<sup>4)</sup>、多くの新技術が開発・提案されてきており、それら技術の妥当性を検証するための判断基準を明示する必要に迫られる機会が多くなってきたこと、等々の状況があり、現在改訂作業中である道路土工指針(社)日本道路協会)においても、性能設計の考え方を適切な範囲で取り入れるべく検討が進められているところである。

道路盛土のような土構築物に性能設計の体系を持ち込むというのは理念として望ましいことではあるけれども、性能を照査することを可能にする道具立てが整っていないなど現実がついていけないというような部分も多く、悩ましい点も少なくない。なお、道路盛土を含む盛土構築物ないしは土構築物への性能設計の導入の現状や課題などについては最近も立派な報告がなされている<sup>5),6)</sup>。これらの報告書の中で整理・議論された論点と重複する点も多いと思うが、課題のいくつかを以下に述べてみる。

### 3. 道路盛土の設計の現状と盛土の安定性確保の基本要件

現行の道路土工指針の記述をもとに道路盛土の設計施工の流れを概説する。

盛土の安定性確保の観点から整理された検討のフローチャートは図-1に示されるとおりである。まず以下に示す諸条件の検討が行われる。

- 盛土自体の条件：盛土が経験的な高さを越えている、盛土材料が高含水の土である、
- 盛土周辺の地盤条件：基礎地盤が軟弱地盤や地すべり地である、地山からの湧水の影響を受けやすい、洪水時に冠水したり法尻付近が浸食されるおそれがある、
- 盛土の崩壊による影響：万一崩壊すると隣接する施設等に重大な損害を与える場合や、迂回路がなく交流ができなくなる、あるいは復旧に長期間を要し、道路機能を著しく阻害する。

以上の条件のいずれにも該当しない場合には、長年の経験により設定された「標準のり勾配」に従った盛土を構築してよく、他方、いずれかの条件に該当する場合には、常時(降雨時)・地震時の安定検討や、法面勾配や盛土材料の変更、あるいは補強土工法等の採用、さらには地盤改良などの適用を検討し、設計計算する、という流れである。

この設計の流れは経験技術を重視するというのが中心にあり、定量的な設計計算を行うのは(明示的には書かれていないが)、あくまでも例外的な条件の場合である、

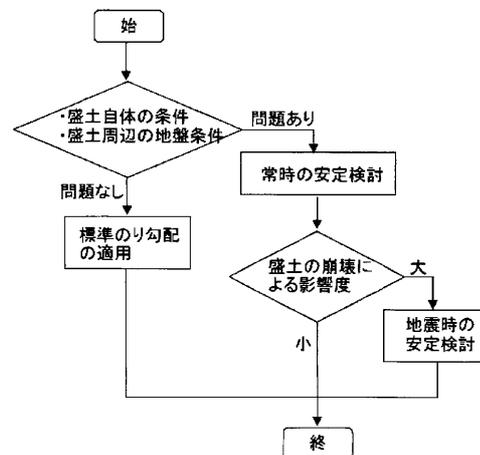


図-1 盛土の安定検討の流れ  
(文献1)より引用、簡略化)

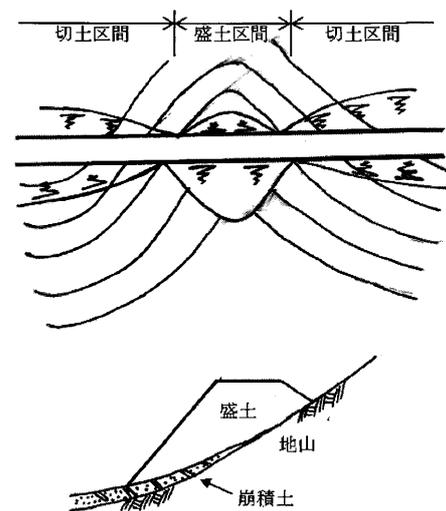
というのが基本姿勢である。この背景として、盛土法面などの安定性を調査・数値計算により定量的に評価し得る度合いはまだ低く、既往の実績・経験等に照らし合わせて総合的に判断すべきであるという基本認識、および、土工構造物の品質は施工段階になって遭遇する、あるいは明らかになる現場条件に対していかに適切に対処するかなど施工に依存する程度が大きいという基本認識に依っている。

上に述べた、盛土や基礎地盤に特に弱点となる要素がない範囲においては経験技術に基づいて構築してよいという考え方は、近年の兵庫県南部地震などの激甚災害の経験を踏まえても妥当なものであるように思える。すなわち、地震で被災した盛土は、沖積低平地地盤においては地盤の液状化が原因となっており、山地部においては、軟弱な崩積土や盛土に地下水が浸透している状態にあることが原因となっていることがほとんどである。また、豪雨時に被災した盛土では集水地形でありながらも地下排水施設が十分に機能していなかった事例が報告されている。逆に、1995年兵庫県南部地震や2000年東海豪雨あるいは山陽道で道路盛土を崩壊に至らしめた2005年台風14号のような異常地象・気象時においてさえも、ほとんど無傷でいた道路盛土が大部分であったという事実を認識することは大切であると思う。筆者が考えるに、これらの盛土は弱点となるべき要因を持っていなかったか、あるいは持っていたとしても災害に至らしめる要因が幸いにも複合しなかったためであろう。これらのことを総合して考えれば、基礎地盤を適切に処理し、適切な盛土材料を用いてよく締め固め、地下排水・表面排水などの排水処理を適切にしておけば、それに加えて特別な地震対策や豪雨対策を施さなくとも、道路盛土は十分に安定な構造物たり得ると言えるであろう。(ただし、基礎地盤の液状化については例外であり、特別な地震対策である液状化対策が必要となる。)

しからば道路盛土は今後とも経験技術でやっていけばよいのかと問われれば、単純に肯定することもできない。想定する外力が従前に比べてはるかに大きくなっている現在、経験技術といえどもそれに合理的な裏付けをする必要があり、さらには性能を説明できるようにすることが望まれているのである。また、最近では従来の枠組みで整理しきれないような新技術が数多く提案されてきている。このような新工法の適合性を適正に評価し、よい工法は積極的に活用することができるようにするために、構造物にどのような性能を求めるのかということを明確にすることが求められている。

#### 4. 実務における性能照査の難しさ

例題として、図一2に示す沢部に盛土を実務レベルで性能設計することを想定してみる。その前後は切土区間である。調査段階では切土、盛土区間のそれぞれにおいて1本のボーリングがなされており、地質(土質)とその物理特性試験結果は得られているものとする。また、配土計画では隣接する切土区間の発生土を盛土材として



図一2 沢部における盛土の例

使用する予定である。

性能規定として、たとえば、レベル2地震動に対して盛土は「有害な変形が発生するが、短期の補修で機能が回復する性能」(許容沈下量として約○cm)、レベル2豪雨に対しても同様、と設定されているとしよう。

まず設計段階では基礎地盤の詳細な力学試験データが得られていないことが一般であり、あるいは力学試験を行おうとしても沢部に堆積した崩積土の不攪乱試料を得ること自体が容易でない。従って、往々にして標準貫入試験のデータから概略の力学定数( $c, \phi$ )を設定せざるを得ない。ここでこの崩積土は軟弱であるか、あるいは除去ないし何らかの安定処理をすべきかの判断を行う。

つぎに盛土材については、切土区間で行われたボーリング試料から得られた地質(土質)データに基づき盛土材として適する土質であるかどうかの判断を行う。そして、この盛土材をどの程度に締め固めたらどの程度の力学特性(強度定数 $c, \phi$ や透水係数)が得られるかを知る必要があるが、これは現実にはほとんど困難である。それは、そのような一連の力学試験を行うのに十分な量の試料が得られていないこと、また、わずかのボーリング試料が(盛土材として使用されることになる)切土材の代表(平均)的なものであると言い難いこと、等のためである。したがって、盛土材については、あらかじめ系統的な室内試験に基づき構築された(土質材料-締め固め度-力学特性値)の経験値表が必須となる。この経験値に従来から安全側として用いられてきた値を用いても用をなさないのは自明である。高速道路<sup>3)</sup>や鉄道盛土<sup>7)</sup>で採用されているような締め固めの効果を加味した力学特性値の設定法を構築していくことが望まれる。

基礎地盤の性状を把握し、盛土材料とその力学特性を設定したら、つぎに性能照査の段階に至るが、ここでもさらにいくつかの仮定を導入せざるを得なくなる。まず豪雨時における地山からあるいは盛土表面からの水の浸透条件である。山岳部の盛土では浸透水が盛土の安定に大きく影響するが、豪雨時における地山からの湧水がどの程度になるのかを定量的に推定するのはきわめて難し

## 論 説

いと言わざるを得ない。仮に地山と盛土を含む浸透流解析により浸透水の侵入状況を予測しようとするれば、盛土の浸透特性はもとより、地山の透水特性と境界条件の設定が必要となる。特に後者を合理的に設定することは通常は困難である。それから盛土の安定性の評価（たとえばすべり安定計算）の段階となるが、ここに至るまでに多くの仮定を導入せざるを得ない状況からすれば、豪雨時の盛土の安定性を設計段階で定量的に評価しようとすることの難しさは明らかであるように思える。ここでは豪雨時の盛土の安定照査を例にあげて述べたが、地震に対する安定照査の場合も大同小異である。

施工段階に入れば、盛土材料の性状や基礎地盤の状況などについてより詳しい情報が得られ、当初の設計条件と見比べて大きな相違がないか確認がなされる。しかし、それらの差異を定量的に確認するために土質調査試験を追加的に実施するようなことはまれには行われても、ルーチン的に行うのは実際的ではない。

以上に述べた例題は、実際に道路盛土を性能照査により設計することは容易でない場合があることを具体的に述べようとしたものではあるが、そうであるからといって性能設計の導入はすべて無理であると主張したいわけではない。沖積地盤上の盛土などは性能設計に馴染みやすいであろう。現在の技術レベルでは盛土工については性能照査ができるものと、性能照査が困難であるものが混在している。このような状況の下では性能照査を可能にするような要素技術（調査法、試験法、解析手法）を整備していく必要があるのはもちろんであるが、他方、大多数の現場では詳細な地盤調査試験および解析を伴う性能照査で設計するよりも、経験則（みなし規定）に基づく設計・施工を行うことが実際的であるとも考えられ、そのためにはそれらに「性能」という裏付けを付加していくことも今後の大切な技術課題である。

## 5. 仕様規定について

道路盛土を定量的な性能照査により設計することが実際には容易でないことは上に述べたとおりであるが、それに代わるものとして仕様規定がある。上述した山地部盛土の例では、盛土の安定性を確保するために必要な処置は、基礎地盤の処理、盛土材の適切な締め固め、そして排水施設を適切に配置することである。これらのことは現行の道路土工指針では必ずしも定量的に規定されているわけではなく、現場技術者の判断（裁量）に委ねられている部分も多い。したがって、たとえばどのような地山・盛土条件のときには所定の盛土材をどの程度に締め固め、かつ排水施設をどの程度綿密に配置すれば、最低限どの程度の性能を確保しているとみなすことができるかと問われても、それに明確に答えるのは現時点では難しい。現段階でとり得る対処として、現場技術者が必要な処置を見落とさず、かつやや安全側の対応となるよう、これまでの実績と工学的な判断を加味した仕様を設定することであろうと思われる。この仕様をもって言えるこ

とは、「おおむね〇〇の性能を確保するとみなしてもよいであろう」という辺りが正直なところであり、「〇〇とみなすことができる」と言い切るためには厳密に言えば事例の分析による裏付けが望まれるところである。

盛土のような土構造物の設計では、経験に基づく仕様は今後も主要な役割を占めると考える。しかしながらそれらの仕様に基づき構築された盛土がどのような性能を有しているかについて明確にしなくてもよいというわけにはいかない。より合理的な構造物の構築・維持管理を遂行していくためには、この点の明確化が必要となる。このためには、地道ではあるが、模型実験、数値解析や被害事例の調査解析等を積み重ねていくことが必要である。

## 6. おわりに

道路盛土の性能設計という題で、道路土工指針の改訂作業でなされている主な論点などについて率直なところを述べた。性能設計の基本的な枠組みの説明についてはあえて割愛させていただいた。道路盛土の有するべき性能を明示し、かつ新しいよい技術を積極的に導入しやすくするために、性能設計の考え方を導入すべく検討しているところである。しかしながら技術的課題も多い。実務書においては、それを現場技術者が運用することができ、かつ総合的にメリットをもたらすように配慮しなければならない。現状では性能照査型設計が主体とはなるような段階ではなく、いわゆる経験技術に依存していかざるを得ない部分が多い。今後は、経験技術がより合理的な裏付けを持つように洗練していくこと、および性能照査型設計に必要な要素技術（照査法）の開発・改良とそれを具体的に運用する方法の確立などを目指していくことが望まれる。また特に、照査法に見合った適切な土質定数の設定法、締め固め基準の見直し、既設の道路盛土の性能評価技術なども今後の重要な技術課題である。

## 参 考 文 献

- 1) ㈱日本道路協会：道路土工一りの面工・斜面安定工指針，1999.
- 2) 藤岡一頼・大窪克己：道路における盛土構造物の変化・変遷，土と基礎，Vol. 54, No. 9, pp. 16~18, 2006.
- 3) 東・中・西日本高速道路㈱：設計要領 第一集 土工編，2006.
- 4) 国土交通省：土木・建築にかかる設計の基本について，2002.
- 5) 土構造物の地震時における許容変形と性能設計に関する研究委員会：土構造物の地震時における性能設計と変形量予測に関するシンポジウム発表論文集，地盤工学会，2007.
- 6) 地盤工学委員会・土構造物の性能評価に関する研究小委員会 WG (1)：盛土構造物の性能規定化における課題と展望，土木学会論文集 C, Vol. 63, No. 4, pp. 993~1000, 2007.
- 7) 国土交通省鉄道局監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物，2007.

(原稿受理 2008.2.27)