

◆ 性能規定特集 ◆

道路盛土の性能規定化と品質管理・検査

大下武志* 青山憲明** 橋本 聖*** 森 芳徳****

1. はじめに

道路土工要綱¹⁾、指針類²⁾や共通仕様書³⁾等は道路土工の標準的な設計・施工法を記述した技術基準類であり、多くの関係者が設計、施工のよりどころとしてできている。これらは一般的な土構造物の設計、施工法の標準を示したものであり、一部には具体的な施工方法を示した内容も含まれる。このため、これらに記載されない新技術、新工法で品質向上、コスト縮減の効果が見込まれる場合であっても、採用に踏み切れないケースが多い。こうした問題を解決するために、従来の詳細な仕様に拘束されず、土構造物に要求される性能あるいは品質を明確にし、これらを合理的な方法で検証、確認するような性能規定型の設計・施工システムがあれば、新技術・新工法の導入が促進できると考える。

このため、建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業の品質管理体系に関する技術開発」(以下、品質管理総プロとよぶ)の中で、道路土工、特に盛土工を事例として性能規定化にともなう設計、施工、品質管理・検査の体系化について検討してきた。本報文では道路土工(盛土工)の特徴や性能規定化へ対応するための課題を整理し、技術基準類が性能規定化に対応するための変更点と品質管理・検査のあり方について検討した結果を報告するものである。

2. 性能規定化からみた道路土工の特徴と課題

2.1 設計段階の特徴と課題

道路土工は、人工材料を用いた構造物と違って自然にある地盤材料をその主原料としていることなどから、特に念頭におく必要のある道路土工の特徴、課題は次の通りである。

- ① 他の公共工事と比較した場合、道路土工は設計段階における変動要素、不確定要素が非常に多い。

- ② 土工区間が圧倒的に多いために、他の工事と比べて特に経済性を追求しなければならない。
- ③ 大規模土工になれば周辺の環境との調和を図る必要がある。
- ④ 安全性や変形等の評価は、土質力学の理論的解明が十分でないために、定量的な評価が難しい。

- ⑤ 材料や地盤を構成する土は降雨や地震に対して比較的弱いために、小規模の崩壊は避けられない。また、材料に圧縮性があるために多少の沈下・変形も避けられない。

このうち、①の「不確定要素、変動要素が多い」は、性能規定化を考える上での大きな課題と考えられる。変動要素とは、対象とする地盤の性質が多様であること、扱う材料も自然の土や岩など多様であること、土の性質が天候や水の影響によって変わること、周辺の環境条件によって工事そのものの難易度が変わることなどである。これらの変動要素を事前の調査で明らかにしようとしても、十分に調査しきれないことが多い。このため、設計段階で性能の照査を行っても、精度の高い照査は困難である。従来、ある仮定の基で設計し、施工時に設計条件を確認したり、設計で設定した条件と異なる場合には施工方法で対応したり、あるいは定量的な設計は行わないが構造細目を設計に取り入れて盛土の安定性をカバーするなどして、土構造物の性能・品質を確保してきている。

2.2 施工段階の特徴と課題

施工段階では、品質管理、検査に対する課題も数多く存在する。性能規定化に際しての品質管理、検査の一般論として、「性能規定化を進める前提として、成果物の性能が何であるかを明確にし、その性能を確認する検査手法も明確にする必要がある」といえる。性能規定化における検査は、仕様に縛られず施工の自由度を増加させる代わりに、完成時の検査をきちんと行って合否を判定することが理想であるが、道路土工の検査は、完成時にいて成果物の目視による検査が困難という根本

的な問題を抱えている。また、今ある品質管理・検査手法においても、以下のような課題を抱えている。

- ① 今ある技術では工事完了後の検査が困難な場合が多く、土構造物は施工段階毎に品質管理を行わざるを得ない。
- ② 従来は、品質管理に人手と時間がかかることから、品質管理・検査は抜き取り検査にならざるを得ない。土構造物全体の品質は管理しにくく、施工不良箇所の発見が難しい。
- ③ 結果が得られるまで時間がかかり、施工へのフィードバックが不十分となることが多い。
- ④ 工事完了後のやり直しの困難さがつきまとうことから、施工手順を厳しく管理・監督するとともに安全率を多く見込まざるを得ない。

以上のような課題から、土工では施工途中段階で品質管理、検査を即時にきちんと行って、施工にフィードバックできるような品質管理・検査の仕組みが現実的であり、合理的と考えられている。

3. 盛土工における性能規定化

道路土工要綱・指針、舗装技術基準(案)⁴⁾、ISO2394⁵⁾等の内容を参考に、道路盛土の性能規定化の具体的検討を以下に示す。

3.1 盛土の基本的な要求性能

道路土工要綱では、盛土の基本的な考え方の中に①供用後の交通荷重に耐え、交通車両の円滑でかつ安全な走行を確保するための舗装の基礎としての機能をもつ、②降雨、地震などの自然災害による道路の被害を最小限にとどめる、③施工中及び完成後の周辺環境との調和を図る、といった具体的な要求性能が述べられているが、実際の設計では軟弱地盤上の盛土は別として、一般の盛土は盛土のり面の安定を設計しているにすぎない。盛土

の沈下に関しては特別の場合を除いて設計しておらず、盛土材料の締め固めの品質管理基準値を満足すれば大きな圧縮沈下は生じないといった考え方で対処されている。このため、性能規定化の検討において盛土の基本的な考え方方に立ち戻って、降雨や地震による盛土の安定だけではなく、道路車両の円滑でかつ安全な走行の確保や、周辺の環境との調和についても盛土の性能として認識する必要がある。

そこで、道路盛土に要求される機能について考えると、供用期間中に降雨、地震、交通荷重等の外力に対して安全であること(安全性)、供用期間中に交通車両の円滑かつ安全で快適な走行ができるように舗装を支持すること(供用性または使用性)、周辺環境に与える負荷が社会的な受容の範囲であること(環境適合性)、さらには建設、維持管理を含むライフサイクルコストが低廉であること(経済性)等が挙げられる。

3.2 道路の重要性を考慮した要求性能

道路土工要綱、指針は一般的国道を対象としているが、実際の運用は国道以外の道路にも適用されている。このため、道路の重要度に応じた要求性能を検討する必要がある。すなわち、重要性の高い道路とは、道路ネットワークを構成する上で重要な道路や、万一崩壊すると復旧に長時間を有したり迂回路がなく交流ができなくなる道路、及び緊急輸送道路などであり、これらの重要な道路とそれ以外の道路で道路盛土の要求水準に差を設けることが合理的と考えられる。

重要性の高い道路では、橋梁、トンネル等の道路を構成する構造物と同様の災害に対する性能が要求されるものと考える。道路の重要性の違いによって要求される水準を検討した結果を表-1に示す。表-1のような平常時と異常時を想定した具

表-1 道路の重要度に応じた要求性能の例

道路の種類 レベル	重要度の高い道路 (幹線道路等)	その他の道路 (枝線道路等)
平常時 (供用期間中に発生する確率の高い地震や強雨を含む)	設計速度で自動車が安全、快適に走行できる。健全性を保持する(使用限界)	設計速度で自動車が安全、快適に走行できる。健全性を保持する。(使用限界)
異常時 (供用期間中に数回程度発生する地震や豪雨)	設計速度で自動車が安全、快適に走行できる。健全性を保持する(使用限界)	速度制限等が必要など道路の機能は限定的となるが、短時間で修復可能な損傷にとどまる(修復限界)
稀な異常時 (発生確率は低いが大きな強度をもつ地震)	速度制限等が必要など道路の機能は限定的となるが、短時間で修復可能な損傷にとどまる(修復限界)	道路の機能は喪失するが盛土の崩壊等の致命的な被害の安全性は確保される(終局限界)

表中()の限界状態は3.6で定義されたものである

体的でわかりやすい要求性能が提示できると考える。

3.3 盛土の部位による要求性能

道路盛土は、路床、路体、のり面、構造物の裏込め部、基礎地盤との各部位に分けることができる。各部位はそれぞれ特有の機能があり、盛土として求められる機能を満たすために、部位毎に機能が満足されなければならない。以下に、各部位の具体的な要求性能を示す。

(1) 路床の要求性能

路床の役割は、交通荷重を受け持つ舗装を支持することであり、その性能は舗装から伝達されてきた荷重を路体に無視できるほど十分に分散させ伝達することである。また、路床の支持力やその均一性は、舗装の耐久性にも影響を及ぼすと言われており、路床改良等で積極的に路床に手を加えて舗装を構築することも一般的に行われている。このため、舗装技術基準(案)では、改良された路床も舗装の軸体として設計することにしている。一方、盛土によって構築された路床は手を加えるという意味では改良された路床といえるが、路床として有するべき支持力などを考慮して構築していないという理由から、原地盤として扱われる。このため、改良した路床と改良しない路床の要求される機能は表-2、表-3のように考える。

(2) 路体の要求性能

道路土工指針によると、「路体」とは盛土における路床以外の土の部分としている。路体は道路盛土の主となる部材であり、基礎地盤とともに上部の舗装を支持する基礎となる部分である。そのため、表-4に示すように交通荷重及び自重等により有害な沈下、変形を起こさないこと、地震や降雨などの自然条件に対し十分な安定性を保有している等の機能を保有しなければならないと考えられる。

(3) のり面の要求性能

のり面は盛土の安定に最も影響する部位であり、安定勾配のあるのり面によって盛土の安定が確保

表-2 改良した路床(軸体の一部)の要求される性能

機能的 requirement	<ul style="list-style-type: none"> 交通荷重を受け持つ舗装の一部として交通荷重を支持する 原地盤等の支持力の強化・均一化
性能表現による要求水準	<ul style="list-style-type: none"> 舗装の一部としての必要な強度と支持力が確保されている 凍結融解の影響を緩和する 道路占用埋設物件への交通荷重を緩和する 原地盤等の支持力の不均一に起因する部分的破損を減少させる

表-3 路床(原地盤、盛土による構築路床)の要求される性能

機能的 requirement	<ul style="list-style-type: none"> 上部の舗装と一緒に交通荷重を支持する 路体に交通荷重の影響を過大に与えない
性能表現による要求水準	<ul style="list-style-type: none"> 舗装と一緒に下層に交通荷重を無視できる程度に分散する 交通荷重を分散させるための必要な強度と支持力を保持、変形量が少なく、水が侵入しても膨潤化しない

表-4 路体に要求される性能

機能的 requirement	<ul style="list-style-type: none"> 供用期間中に有害な沈下及び変形を起こさない 地震、降雨などの自然条件に対し安定している
性能表現による要求水準	<ul style="list-style-type: none"> 交通荷重・自重に対し有害な圧縮沈下を起こさない 横断・縦断方向に対し均一な構造とする 雨水、地山の湧水等の浸透に対しすべり破壊をしない 所定の地震動に対し有害な変形を起こさない

されている。また、道路のり面は降雨が直接浸透する、地表水がのり面を流れるなどのために、降雨によって崩壊や侵食が生じることの多い部位である。このため、降雨や地震によるのり面崩壊や侵食に対して、ある程度の安定性は保有しなければならない。また、のり面は直接目に触れる部位であるために、盛土高さが高くなれば周辺環境との調和を図ることを求められることもある。

(4) 構造物裏込め部の要求性能

橋台やカルバート等の構造物背面の盛土は、構造物が沈下しないために盛土が沈下すると不同沈下のために有害な段差が生じ、交通の障害となることがある。また、沈下が長期化すれば維持管理が大変となる。このため、構造物背面の盛土は有害な段差が生じないような強度と耐圧縮性が求められている。通常は、圧縮性が小さく、水の侵入によっても軟弱化しにくい材料によって、薄層で入念に転圧するといった仕様規定による適用みなしの検証が行われている。

3.4 道路維持管理の観点から要求性能

道路盛土はその特徴から完成後も多少の沈下は避けられず、沈下が生じないためにはその対策に多くの費用をかけなければならない。このため、実際にはある程度の盛土の沈下を許容し、維持管

理段階では不同沈下量や段差を計測し、管理水準を上回ればオーバーレイ等で補修してきている。従って、道路の維持管理上の観点より現実的な要求性能を設定することが必要である。

3.5 設計期間の導入

盛土材料として軽量盛土材や補強材などの新材料を用いる場合の耐久性評価や、設計期間内に生じる外力の大きさを設定するために、設計期間を明示しておく必要がある。従来は設計期間の明示がなかったが、概念的には50~100年程度の耐久性を有することなど暗黙の設定があったと考えられる。それを具体的に明示する必要がある。

3.6 限界状態設計法の導入

道路土工指針の改訂にあたっては、上位コードの設計思想、概念を参照したものでなければならない。道路土工指針は、団体規格であるために、上位コードであるISO規格、国家規格等の連携を図る必要があるが、道路土工に関する上位規格は現在のところ存在していない。唯一関係する設計基準としてISO2394(構造物の信頼性に関する一般原則)があるが、これによると構造物の設計は限界状態設計法としている。この中では限界状態として終局限界状態と使用限界状態の2つを考え、その設計計算の計算法は確率論的方法か、部分係数法に基づくことを規定している。

また、道路の機能が低下、あるいは喪失する程度をもとにして道路盛土の性能を評価する、あるいは道路の重要性に応じた道路盛土の性能を評価するために、使用限界、終局限界などの限界状態を設定し、評価することが合理的と考えられる。そこで、道路土工要綱・指針は少なくともISO2394の限界状態設計法の導入を念頭におく必要があろう。

ただし、道路土工指針の大幅な見直しは、発注者、設計者の混乱を大きくすることから、従来通りの許容応力度設計法やこれまでの実績、経験に基づく設計法、盛土の沈下を少なくするための材料や締め固め方法の規定した仕様規定期的な設計法についても、検証方法のひとつとして利用できるようにしておく必要がある。この場合、例えばのり面安定検討の許容応力度法の設計安全率は、どのような限界状態に対して検証しているのかを明確にしておく必要がある。また、従来の設計法がどの程度の品質が確保されば道路盛土の性能を

満たしているのか検討しておくことも必要である。これによって、施工中の品質管理・検査が盛土の性能を間接的に検証しているという位置づけが明確になる。

限界状態設計法に移行する場合、必要と思われる限界状態を想定する必要がある。現状では、以下のような限界状態を想定することが道路盛土には適正であると考える。

- ・ 使用限界状態

⇒設計速度で自動車が安全、快適に走行できるような道路の機能を確保するために、盛土の安定性を保つとともに、道路の平坦性に影響を及ぼすような不同沈下量を許容値以内に抑える。

- ・ 修復限界状態

⇒道路の機能は限定的となるが、道路の機能を速やかに回復できるような損傷に留まる。盛土のり面の小崩壊や走行に支障となるような道路の段差などがこれに当たる。

- ・ 終局限界状態

⇒道路の機能は消失するが、盛土の大崩壊など致命的な被害に対する安全性を確保されている。道路空間として必要な幅員が確保されないような崩壊や自動車の走行ができないような盛土の大変形などがこれに当たる。

3.7 沈下量の照査

盛土の沈下量の設計は、軟弱地盤上の盛土では地盤の圧密沈下量を求めて、許容沈下量と照査するが、一般的の盛土では特別の設計は行っていない。これは、盛土の圧縮沈下量が軟弱地盤の圧密沈下量に比べて極めて小さく、問題となることは少ないためである。

沈下量の少ない盛土であることを検証する方法として、将来作用する荷重(例え盛土荷重や交通荷重)がすでに載荷されている状態になっていることを確認することが考えられる。具体的には、締め固め時の先行圧縮応力を管理する、圧密降伏応力 P_y を圧密試験で確認することによって検証することができる。また、沈下しない盛土は、土粒子が密実であって、これ以上締まる可能性の低い状態になっている盛土と解釈できることから、現場の密度管理を行うことで間接的に検証していると考えられる。

3.8 NKB アプローチ手法による性能整理

NKB アプローチ手法は、「ノルディック建築基準

委員会が発案した要求性能と検証方法を階層構造として表す一方法である。品質管理総プロでは各構造物の性能規定に関する共通の手法として本手法を用いた。本手法で道路盛土の性能と検証方法を分類すると、図-1のような整理が考えられる。ここで問題となるのは、レベル3の「性能表現による要求水準」で具体的な要求が示されるかどうかである。これまでの実績、経験から通常設計された道路盛土では、特別な異常降雨、地震以外では大きな支障となる被害は避けられていることから、具体的な数字の設定は可能と判断される。また、沈下量についても維持修繕補修の実績等からある程度の数字を示すことは可能と考えられる。

レベル4の「検証方法」では、設計段階と施工段階との2段階で検証を行うことが道路盛土では一般的である。すなわち、設計段階で盛土の安定を照査するとともに、盛土のすべりや変形、圧縮沈下に対するせん断強度や変形性は、締め固めによって大きく影響を受けることから、施工段階で品質管理・検査することで検証が行われている。このため、検証方法は設計段階と施工段階の2段階を考えた。

4. 品質管理、検査方法

既往及び新たに提案されている品質管理手法をその規定方法により大きく3つに区分し、これらの長所及び短所を表-5に整理する。3つの品質管理方法のうち、締め固め度管理は、盛土材料の強度を直接測定するものではないが、締め固め度が

大きく密な土は、強度が大きく、透水係数が小さいので雨の侵入が少なく脆弱化しにくい、圧縮性が小さいなど、盛土として好ましい性質をもつために、最も一般的な品質管理方法として用いられている。また、RI計測器による密度管理は砂置換法に比べて測定時間が短縮されているが、面的な管理を行うためには手間がかかる。一方、強度管理方法は、各種の計測方法の開発が進められており、その種類が多い。測定時間は短時間で、測定個数を増やすので面的管理がしやすいが、含水比の変化によって強度変化が大きいので、最適含水比より小さい含水状態の盛土材料、特に粘性土では強度が大きくなるので適用に当たって注意が必要である。また、路床の支持力確認は平板載荷試験で実施されてきたが、衝撃加速度やたわみ量を測定して支持力を推定する簡易な試験方法も導入されている。工法管理は、ローラーの転圧回数や締め固め厚さを決まった仕様のもとで施工されているかを管理するもので、前もって転圧回数と盛土の締め固め度との関係を求めておく。この方法では品質管理のために施工を中断する必要がないので施工効率がよいこと、GPSによってローラーの稼働状況が自動的に計測できる技術で現場管理の省力化ができるといった特徴をもつ。

性能規定化にともなって、道路盛土ではどのような観点から盛土の品質を確認するのがよいか十分に議論しておく必要がある。従来は、共通仕様書等で締め固め厚さが規定されたり、転圧回数が暗黙で規定しているなどの工法規定の部分があり、締め不足による施工不良個所は総じて少ないと考えられる。このために、抜き取り検査で確認しておけば良かったが、性能規定化によって工法規定によらないで施工の自由度を増した場合には施工不良個所の発見が重要になると思われる。ここにポイントを置くのであれば、従来の砂置換

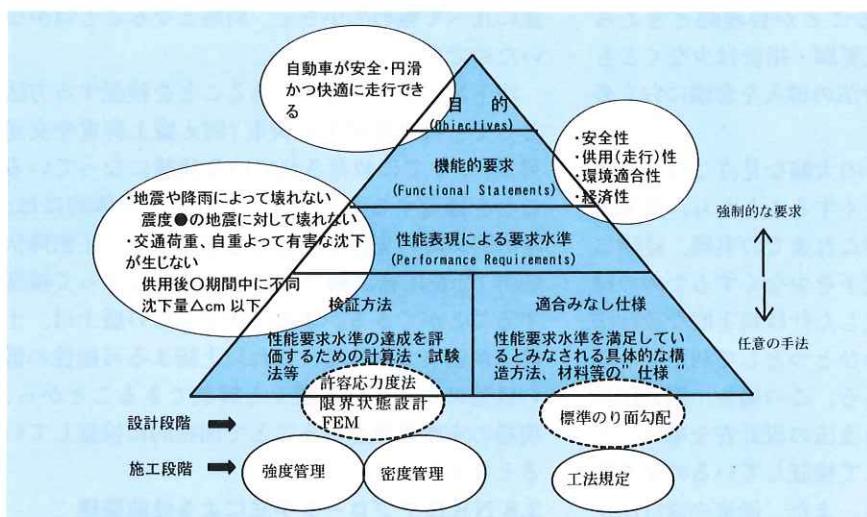


図-1 NKB アプローチによる盛土の階層分類の例

表-5 品質管理手法の長所及び短所

管理規定	長 所	短 所	摘要
締固め度、飽和度、空気間隙率の規定	含水状態に対して鈍感であり、長期安定性を保証しやすい。室内締固め供試体より、せん断試験、透水試験等が実施できることから、目標とする品質(せん断強度、変形性、透水性)を予測しやすい。	すべりに対する直接の盛土の品質であるせん断強度等は確認できない。土質材料の違いによって変化、測定に手間がかかる。含水比が最適含水比よりも高い粘性土の飽和度や空気間隙率での管理は、締固め度や強度に関係なく、オーバーコンパクションにならない範囲でよく締固めるための目安でしかない。(施工含水比の上限を設定しない飽和度、空気間隙率の規格値は意味がない。)	R.I.計測器による湿润密度、含水比測定 砂置換法による密度測定
強度・変形の規定	直接の盛土の品質管理を確認する。測定が簡単なものが多いので、測定個数が増やせる。試験結果が短時間で現場で得られ、施工へのフィードバックを行いやすい。	土質材料の違いによる強度変化や含水比の変化によって強度変化が大きい。含水比が最適含水比よりも小さい場合は強度を大きくとるので、長期安定性の保証にはならない。振動加速度法などと盛土材の品質(せん断強度、変形性、透水係数)などが直接的には関係せず、また双方の関係を求めることが困難である。	衝撃加速度法、貫入試験、ブルーフローリング等
工法の規定	工事の監督並びに施工の管理が上記品質規定の場合より、直接的でわかりやすい。	盛土の品質を直接確認するものではない。別途、締固め試験によって盛土の品質を確認し、仕様の適合をチェックし、最終的に締固め機種と締固め回数を決定することが原則である。	GPSによる転圧回数、締固め層厚管理

法、RI計測器による密度管理などの抜き取り検査的な方法より、衝撃加速度法等の強度試験、GPSを用いた転圧回数管理などの面的管理が行える方法が有効である。

今後は性能規定化に伴う品質管理・検査の方を議論するとともに、品質管理・検査基準の見直しなどを行って、表-5に示すような新しい技術が導入されやすい環境整備が重要である。

5. おわりに

道路土工の性能規定化を検討した結果、土工に関する特徴、すなわち性能に影響を与える変動要素が多い、このため設計段階での定量的な検証が困難であるといった問題があるものの、これまで土工で行ってきたとおり、施行段階での品質管理をきちんと行うことでカバーできるといった結論に至った。また、道路土工指針等の技術基準を性能規定化するために、盛土の性能、要求水準をこれまで明確でなかったことから再度整理、検討する

とともに、性能と施工時の品質管理方法・基準値との関係を整理、検討することで性能規定化は可能であると判断される。今後は、道路土工指針改訂において本研究成果を十分に活用していく予定である。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会: 道路土工要綱
- 2) (社)日本道路協会: 道路土工 土質調査指針、施行指針、軟弱地盤対策工指針、のり面・斜面安定工指針、擁壁工指針、カルバート工指針、仮設構造物工指針、排水工指針
- 3) 関東地方建設局企画部: 土木工事必携平成10年度版
- 4) 補装技術基準解説(2次案)
- 5) (財)日本規格化協会: ISO2394:1998 General principles on reliability for structures 邦訳

大下武志*



独立行政法人土木研究所
技術推進本部施工技術主
席研究員
Takeshi OOSHITA

青山憲明**



国土交通省国土技術政策
総合研究所高度情報化研
究センター情報基盤研究
室主任研究官
Noriaki AOYAMA

橋本 聖***



独立行政法人土木研究所
技術推進本部施工技術研
究員
Hidetaka HASHIMOTO

森 芳徳****



国土交通省関東地方整備
局常陸工事事務所
Yoshiinori MORI