

土構造における安全率の考え方

中 澤 裕*

1. はじめに

土は、古くから手近かで安価な天然の材料として用いられてきたが、日本において理論的な研究が活発に行なわれるようになってから比較的日子が浅く、また土の複雑さもあって、解明されていないことが非常に多い。昭和20年代に諸外国からの理論と技術の導入によって、それまで技術のほとんどを経験に頼っていた土質工学が、長足の進歩をとげたことは衆知のことである。研究が進むにつれて、日本特有の土質の複雑さがわかり、画一的な取扱いが困難であることが、いっそうはっきりしてきたが、土木における早く、安く、より良いものをの要求に応じて地方色豊かな材料としての土に合った設計が行なわれるようになってきたのは、当然であろう。このような土に対する設計の考え方も、多種多様な土質に目が向けられ、設計の基本的事項の一つである安全率については、まだまだ深く究明されていないように思われる。もちろん、設計計算では安全率が考えられ、具体的数値を用いて計算されているが、安全率という概念を明らかにするには、非常に困難な問題が多く含まれていることから、設計は設計として実際に施工してみなければわからないと考えたり、設計計算より過去の実績や経験に重きをおきすぎる傾向が強い。この傾向は、土木の他の分野に比べて、とくに土質関係に強くあるように思われるが、問題の複雑さを考えれば、致し方ないことかも知れない。しかし、幾多の貴重な設計・施工の経験を積み重ねてきた土構造物に対する安全率の考え方を整理し、問題を提起、解明することは重要なことと考えられる。

2. 土質工学における安全率

一般に安全率は、材料の極限強さと許容応力との比として定義する場合が多い。土質工学において安全率が問題にされるのは、主として基礎の設計と基礎地盤を含めた斜面の安定を検討する場合である。基礎の設計の場合には、上部構造物の安全率と同程度の値が採用される場合が多い。この場合、土の複雑さは問題になるが、支持

* 正会員 日本道路公団試験所第二土質試験室 室長

されるべき構造物と支持する土に分けて考えることができ、上部構造物に対して破壊を生じさせない程度の変形や沈下量の範囲内で極限強さ・極限支持力を決め、構造物の重要度、荷重の大きさや条件(長期、短期の別)、種類(静的、動的の別や繰返しの回数)などを検討して、採用安全率を決めて設計する。一方、基礎地盤を含めた斜面の安定を検討する場合には、盛土上に橋台や擁壁などの構造物を設計する場合のように、比較的大きな外力を考慮しなければならないような場合もあるが、大部分の場合は、荷重を支持する土と、荷重となる土が同一であり、土構造物としての自重を支える場合である。土粒子の集合体としての土構造物を考えた場合には、自重に比べて土の有するせん断強さはきわめて小さいために、せん断強さを動員する場合に、かなり大きな変形を伴うのが特徴であり、特有のゆるい斜面をもった台形断面が土構造物の必要条件となる。

安定の検討の対象となる斜面には、切土のり面と盛土のり面の2種類があるが、前者には、のり面内に発生する小崩壊から、切取背後の地山まで含む地すべりに近いものまで含まれ、問題がいっそう複雑になるので、ここではおもに盛土のり面についての問題点をあげてみたい。安定性について、切土のり面と盛土のり面とで明らかに異なる点は、一般に切土のり面の場合には、施工直後が最も安全率が高い状態であり、年月を経て土の風化が進むにつれて、安全率が低いほうへ変化する傾向にある。これとは逆に、盛土のり面の場合には、施工直後の安全率が最も小さいと考えられ、時間の経過とともに、安定の度合を増すのが普通である。

3. 盛土の安定計算とその問題点

現在一般に行なわれている安定検討の方法には、摩擦円法や分割法による円形すべり面法と、斜面内の比較的浅いすべりを検討する場合に用いられる直線すべり面および両者を組み合わせたすべり面を仮定する方法などがあるが、なかでも多く用いられるのは、分割法による円形すべり面法である。この方法は、斜面内に崩壊を起こす可能性のある多くの仮想すべり面を考え、これらの面に

計算の結果、求めた安全率が設計者の考える安全率に近づくように、斜面の勾配を変えたり、基礎地盤に処理工を入れたりして設計する。この過程において、仮定したある断面についての最小安全率に影響を及ぼす要因としては、① 盛土材料を採取する土取箇所および基礎地盤の調査の精度、② 試料採取と試験の方法、精度および設計に用いる強度、③ 実際の破壊と円形すべり面法の適合性、④ 設計計算に組み入れられていない土の強度変化や荷重などが考えられる。

まず、調査においては、直接施工の対象となる区域とその周辺の影響範囲を含めて調査の対象とするが、対象地域を適確に把握した調査が行なわれているかどうかの問題になる。土取箇所については、調査結果と施工時の材料に差が生じた場合に、その段階で安定計算を再度行なって検討することも可能であるが、基礎地盤の調査もれや誤調査は、盛土が破壊して初めてわかる場合がほとんどである。かといって、いたずらに調査地点を増しても、詳しい結果が得られるとは限らないし、費用や時間の浪費となる。しかし、現実には地層が複雑な地域などの程度の調査で設計を行なうか、この仕事にたずさわるといって、判断に苦しむ地域が多い。

次に、土質試験に用いる供試体は、その土層を代表するものでなければならぬし、試料採取の際に乱されたりした場合には、土の真の強度は求められない。土のせん断強さは、何個かの供試体について試験を行ない、土層ごとに求めた強度の平均値または、最低値に近い値をとって設計強度としている。この場合、土層ごとにあるいは供試体ごとに異なったひずみに対する強度を採用していることになるが、破壊に際して、前述の円形すべり面に沿う各部分で、極限の強さが発揮できると仮定している。

破壊の形態について、すべり面法では一般に盛土の断面や基礎地盤の形状によって円や直線またはそれらの組合せ(複合すべり円)と仮定しているが、実際のすべり面は、その各部分で半径の異なる、らせんに近い形であるといわれている。しかし、その形状は複雑であり、設計に取り入れられるまでには究明されていないが、安定検討の計算結果に影響を及ぼすであろう一要素である。また、すべり面法では、最も安全率の低いと考えられる代表的な断面について二次元で計算を行なうが、実際の破壊は、三次元の形で起こる。このことに限れば、実際の安全率は計算の結果より高い値であると推定される。

さらに、安定の検討上問題になることに、土の強度増加や強度低下、設計荷重と実荷重の違いがある。一般に、基礎地盤が粘性土である場合には、試験で求めたせん断強さは、盛土荷重による圧密を考え、強度増加を考慮して設計に用いるが、圧密を促進させるためのパーチ

カルドレーン工などの処理工を施工する場合に起こるであろう基礎地盤の乱れによる強度低下については、考慮されていない場合が多い。また荷重である盛土の単位体積重量を、試験盛土などによって確かめて設計を行なうことも必要であり、降雨などによる重量の増加を考慮して検討する必要がある。軟弱地盤のように盛土することによって、基礎地盤が沈下して盛土がめり込む場合などの荷重の取り方も安全率に影響する要素であろう。さらに設計計算に入れていない荷重に施工機械の重量があるが、比較的低い盛土や施工中の安全率に及ぼす影響は大きいと考えられる。

(3) 土構造物の重要度と設計条件

これら以外の要因として、災害的要因があげられる。そのおもなものは地震であるが、地震に対する考え方は土構造物の種類や重要度によって異なっている。すなわち、地震によって土構造物が破壊した場合の構造物自体の被害や、周辺に及ぼすであろう影響が大きいほど問題になるわけで、たとえば、アースダム関係では、常に地震荷重を考慮しているが、道路の場合には、破壊による人的被害の考えられる箇所や、主要交通路への影響が大きいと考えられる場合など、重要度が高い盛土・切土に限って考慮している。具体的方法としては、ほかに簡便な手段がないため、欠点はあるとしながらも、円形すべり面法に震度法を加味して設計しているのが現状のようである。

3. 安全率における確率の導入

上述のように、土構造物に対する安全性の考え方は、多くの問題を含みながら経験を加味した技術者の判断によって決定されてきたが、最近の土木構造物の建設に伴

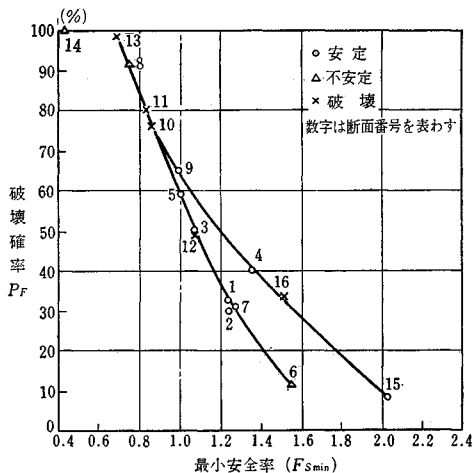


図-2 東名高速道路の盛土についての最小安全率と破壊率

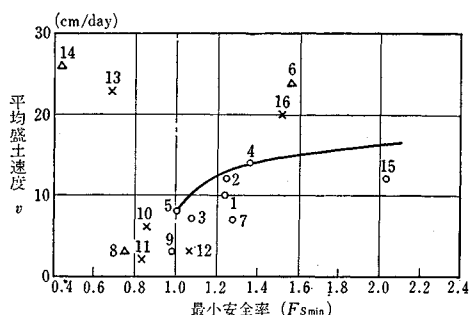


図-3 東名高速道路の盛土についての最小安全率と平均盛土速度

土質調査について、調査方法と規模を決定するための合理的的方法論を確立する試みの手始めとして、土構造物についての土質調査結果のばらつきを考慮した盛土の破壊確率や土質試験個数との関係について研究成果が発表された。この論文²⁾で松尾らは、安全率 F_S を新しく定義しなおし、

$$F_S = \frac{c_u}{S} = \frac{1}{2 \cdot f(R)} \cdot \frac{q_u}{r_b}$$

とした。ここに、 F_S ；安全率、 c_u ；土の粘着力、 S ；すべり面上に働くせん断強さ、 R ；すべり円の半径、 q_u ；一軸圧縮強さ、 r_b ；盛土の単位体積重量、である。そし

て、破壊確率 P_F を $P_F = P_f[F_S \leq 1.0]$ と定義している。これとほぼ同じような考えで計算した東名高速道路の軟弱地盤地帯の盛土（試験盛土を含む）についての最小安全率 $F_{S \min}$ と破壊確率 P_F の関係を図-2に示す。

さらに図-3は、施工の一つの指標としての平均盛土速度 v と $F_{S \min}$ の関係をプロットしたものである。これらについては、対象箇所数も少ないし、現在検討中であるので詳しくは述べられないが、安定性についての一つの判断基準を示しているように思われる。実際の施工にあたっては、破壊確率がある値である場合に「数か所に1か所あるいは、数 km に 1 km の割合で破壊するかもしれない」ではすまされないが、危険度に応じた施工管理や動態観測で破壊を未然に防ぐ体制をとることが可能であろう。

以上、筆者の浅学のため問題点をあげるにとどまったが各位のご叱正、ご教示がいただければ幸いである。

参考文献

- 1) 土質工学会：設計施工基準（設計編）土工，昭和44年10月，同〔改訂部分の抜粋集〕昭和47年1月。
- 2) 松尾 稔・黒田勝彦：盛土建設のための土質調査と盛土の安定性に関する研究，土木学会論文報告集第196号，pp. 75~86，1971年12月。

鋼構造による 仮設工事実施例集

日本鋼構造協会 仮設構造物特別委員会編

B5・300頁 定価3,000円

構造物本体の研究開発や技術革新にはめざましいものがある。しかしその施工性を向上し工事の安全を確保し、本体の品質に大きく影響する仮設構造物に対しては、全般的には安全性や経済性などの面で解決を迫られる問題や制度的に整備を要する点が多い。これらの問題解決の一助として、また将来仮設構造物に関する設計施工指針などへと発展させるべく、土木各分野における鋼製の設計施工の実例を収録し考察を加えた。【主要目次】 支保工および型わく・土留・締切・護岸・仮橋および仮橋脚・アンカー・覆工・その他



技報堂

東京都港区赤坂1-3-6/〒107
電 585-0166/振替東京10

建築設計のための基礎データ

日本建築学会 建築計画委員会 A4・100頁 定価1,500円

今日のような社会変化の激しい中で、建築の設計活動を行なっていくには、設計計画の基礎的データが常に新しいものであることが要求される。本委員会はこの要望に答えるべく3年前より小委員会を設け、検討の結果発行のはこびとなったものである。日本建築学会編「建築資料集成」「建築便覧」とともに建築計画や設計にたずさわる人々の座右にあって三つどもえの関係において利用していただければ、いっそうの効果を発揮する。【主要目次】 1.住宅 2.学校教育施設 3.医療・福祉施設 4.社会教育施設 5.図書館 6.宿泊施設 7.事務所 8.文献