

土質データーのばらつきと設計

講座を始めるに当たって

まつ お
松 尾みのろ
稔*

設計法の質的向上に伴い、土質データーのばらつきの処理の仕方に対する関心が高まってきている。まだ限られた分野ではあるものの、土木工学全体の流れとして、信頼性解析や信頼性設計を導入しようとする試みが増えてきたこともこの傾向に拍車をかける理由となっている。その意味で表題の講座を開講することは時宜を得ていると思われ、企画された講座委員会に敬意を表したい。

講座委員会から最初に依頼を受けた時は、テーマは「土質のばらつき」ということであった。「設計」の見地を抜いてこの課題で書くのであれば、責任も小さくて気楽ではある。しかしその場合には、ばらつきの統計処理に関する数学的手法が中心になるであろうから、講座をある程度一貫したストーリーでまとめるのは大変難しいし、多分各号が散発的で無味乾燥なものになる恐れがあった。そのため、ばらつきの処理の工学的目的、すなわち、地盤問題の各種設計に関連させてこれを取り上げることをお願いし、「土質データーのばらつきと設計」として認めていただいた。

ただし、設計と絡めて「土質のばらつきの処理」を議論するのは、現在のところまだ冒険に過ぎる面のあることは否めない。なぜなら、設計の対象も設計法の精度も異なる多様な設計問題に普遍的に適用できるような考えがにわかに確立できるわけではないし、それにまず第一に、ともかくそのような試みは多分初めてであって、学会において市民権を得ているような、いわゆる常識的知識をまとめればよいというわけにはいかないからである。

担当者打合せ会ならびに執筆委員会で何度も議論したが、議論を重ねるにつれて、これは大変手強い課題であると、全員が感ずるようになった。しかし、懸命に取り組んでみる価値はあるとする点で全員が一致したことも事実である。多様な設計問題を講座の形で取り上げる場合、設計法や土質調査・試験法の分類の問題を基礎に、データーのばらつきと設計を結びつける基本となる考え方そのものが重要である。その点を十分自覚し、何とか工学的に無理のない普遍性のある考え方を組み立てようと全力を尽くしたが、それでもやはり独断的に過ぎる点もあるかも知れない。しかしこれは、執筆者個々が負う責任ではなく、主査としての筆者が負うべき責任である。

特に、設計法を分類するための便宜的指標として、現行

表-1 「土質データーのばらつきと設計」掲載予定表

章・節	表 題	執 筆 者	掲 載 号
	講座を始めるに当たって	松尾 稔	61年12月号
1 章	設計法および地盤の不確実性と設計地盤諸係数の評価	松尾 稔 上野 誠	12月号
2 章	地盤データーのばらつきの原因と一次処理	日下部 治 正垣 孝晴	62年1,2月号
3 章	地盤データーの二次処理(統計的処理手法と実例)		
3.1	統計的処理法	上野 誠 伊藤 洋	3月号
3.2	土質データーの統計的性質		4月号
3.3	岩石・岩盤物性値の統計的性質		
4 章	土質データーのばらつきを考慮した設計	伊藤 洋 本城 正明 山本 龍二 磯山 栄一	5月号
5 章			
5.1	土構造物	本城 勇介 松本 徳久	6月号
5.2	構造物基礎	堀内 孝英 中島 英治 前田 良刃	7月号
5.3	抗土圧構造物	堀口潤一郎 山本 正明	8月号
5.4	地震動および動的土質係数のばらつきと設計	磯山 龍二 谷口 栄一	9月号
	信頼性設計の考えかた(終わるに当たって)	松尾 稔	9月号

設計法で通常採用されている安全率値を用いている点に、やや問題があると感じている。設計法の「良し悪し」という意味で安全率の大小に着目して分類したわけではないので、その点、できるだけ注意深く表現するよう努力したが、誤解を招かないとも限らないという心配がある。今後、更に斉合性のある、より良い指標による分類を考究したいと考えているが、残念ながら現時点では安全率使用に代わる案を思い付かない。この点お許しいただけるようお願いするとともに、読者におかれても誤解のないよう注意深く、かつ批判的精神で読んで下されば幸甚である。なお、本講座を読まれまして、御意見が出ましたら本誌「ひろば」欄へどしどしお寄せください。

ただ、こういうものが何か一つ表に出ると、「こういう点が駄目だ、ああいう点が駄目だ」という具合に、更に良い考えが次々出てくる可能性がある。弁解の繰返しになるが、このような利点を信じたいのである。すなわち、現時点では、土質データーのばらつきと設計を結びつける基本的な手法や考え方かなり粗さがあることは十分に自覚

*名古屋大学教授 工学部地盤工学教室

講座

しつつも、設計に際して考えを整理する上で参考にしてもらえると信じ、また、これを契機に、設計との関連でデータの取得と処理を実施する、より良い考え方が読者の中から生み出されることを期待したい。

本講座では、上記のような経緯のもとに、表に示す内容を今後の各号に順次掲載する。執筆者には、それぞれの分野で多くの実績をつんでこられ、現在第一線で活躍中の方々にお願いした。具体的に各章の課題で執筆していただ

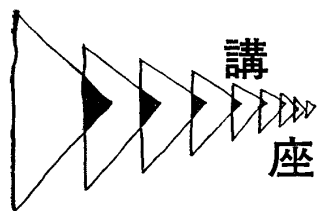
ているのは表のとおりだが、先にも述べたように、講座全体の流れや基本的な考えに関する議論と理解を経てまとめてもらっており、更に、各章間に重複や不統一がないよう種々の調整を図った上のものであることは言うまでもない。

各章の内容や互いの関連については、第1章の中で簡単に説明する。実務や将来の展開に参考にしていただけることを願っている。

本講座企画担当委員：西村昭彦，藤田久也，見波 潔

土質データーのばらつきと設計

1. 設計法および地盤の不確実性と設計地盤諸係数の評価



まつ

お

みのる

うえ

の

まこと

松

尾

稔*

上

野

誠**

1.1 序

(1) 設計地盤諸係数設定の現状

土質や岩盤など地盤を対象とする各種構造物の設計に際し、地盤諸係数がばらつくことはよく知られている。通常の設計では、ばらつきのある地盤データーから、設計に用いる諸係数をばらつきの程度や構造物の重要度などをふまえて設定し、設計計算の結果に安全率のような設計余裕を見込んで設計案を採択する。設計用地盤諸係数を設定するために、現状では地盤調査や試験から得られたばらついたデーターに対し、次のような処理を行っている。

- i) 平均値を採用する方法：通常よく用いられている方法である。
- ii) データーの最小（最大）値を設計値とする方法：得られたデーターのうち、抵抗側の諸係数に関しては最小値またはそれに近い値を、荷重側の諸係数に対しては最大値もしくはそれに近い値を採択する方法である。この方法はデーターが少ない場合や、地盤の最弱点が構造物の力学的挙動や安全性を支配している、いわゆる“極値問題”¹⁾を扱う場合によく用いられる。
- iii) データーの平均と分散を考慮して設計値を設定する方法：データーのばらつきを統計処理し、標準偏差を用いて平均値を補正し、統計値とする方法である。たとえば、フィルダムの例では²⁾

$$\text{設計値} = \text{平均値} - \frac{1}{2} \times (\text{標準偏差})$$

としてデーターのばらつきの影響を設計値の設定に反映させており、建築基礎などでも同様な提案が行われている³⁾。

以上、i)～iii)に示した現行の考え方は、ばらつきのある地盤データーからある確定的な設計値を得るための便法であるという側面は否定できない。また、ばらつきという概念を設計値の設定に直接導入した iii)の方法でも、平均値を補正する標準偏差の重み係数（フィルダムの例では1/2）の選び方にはいろいろな議論がある。ただ、現行設計においても、全体的には不確実性の存在を考慮に入れながら設計地盤諸係数を推定しようとする傾向にあることは疑いない。この点については、本講座“5.2 構造物基礎”の基礎設計におけるデーターのばらつきの処理に関するアンケートからも裏付けされている（詳細は5.2に述べる予定）。

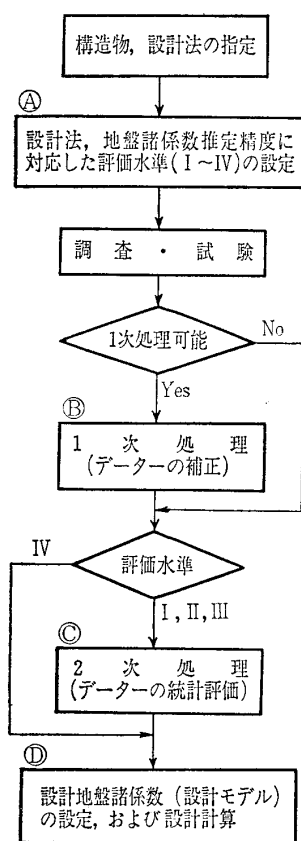
(2) 設計地盤諸係数の評価の手順

最近、地盤の不確実性だけでなく、荷重の不確実性や設計法の不確実性も考慮に入れ、構造物の安全性を信頼度によって定量的に評価するとともに、信頼度をベースにしてより合理的な意思決定を行うために、信頼性設計法が提案されてきている。この方法は、抵抗や荷重の統計処理を基礎にしているが、いかなる場合にも、このような処理が妥当であるとは限らないことに注意しなければならない。設計上の不確実性が大きく、地盤諸係数の推定精度が低い場合には、統計処理や確率論的な扱いがほとんど意味をもたないこともある。また、地盤諸係数のばらつきの原因や発生プロセスを無視して不確実性の評価を行うと、不合理な設計になることもある。要するに、設計法や地盤諸係数推定法の精度に対応した設計地盤諸係数の評価が望まれる。信頼性設計のような高度な数理設計を行う場合には、ばらつきの原因や発生プロセスの分析と処理によりさらに精度の高い設計諸係数の推定も必要となる。

以上述べてきた現状と今後の動向をふまえ、ばらつきのある地盤データーから設計値あるいは設計モデルを採択するフローを図1.1に示す。フロー中の各項目の内容は次

*名古屋大学教授 工学部地盤工学教室

**大日本土木学会 技術室第一技術課長



図—1.1 設計における地盤諸係数の評価

のようである。

①：当面する設計問題において、地盤諸係数のどのような性質が必要かを概略評価する部分である。例えば設計地盤諸係数の平均値だけが必要なのか、あるいは分散や分布型まで正確に推定する必要があるのかなどを判断するのである。このような設計地盤諸係数の評価水準は、後に詳しく述べるが、地盤諸係数の推定精度と、設計上考慮しなければならない不確実性および構造物の破壊に伴うリスクの大きさから決まるものと考えられる。そこで、地盤諸係数の推定精度と、設計上の不確実性や破壊に伴うリスクの大きさを表わす指標としての設計安全率に着目して、設計地盤諸係数の評価水準（Ⅰ～Ⅳの4段階）を提示している。

この評価水準Ⅰ～Ⅳの内容については、1.3で述べる。

②：評価水準が決まると、生データの事前処理が必要となる。これを「一次処理」と名付ける。これは、地盤の調査・試験の過程でデータに生ずる真値からの乖離や誤差の修正、設計に用いるべき地盤諸係数への換算など各種の補正を行うことを意味する。特に「一次処理」は、地盤諸係数の平均的性質の補正という側面が強い。

③：「一次処理」により補正が行われた地盤諸係数に対し、不確実性の評価を中心とした処理を行うのが「二次処理」である。すなわち、ばらつきの特性の解明とモデル化がこのステップで行われる。なお、評価水準Ⅳではデータの最大値や最小値を設計値とするため、このステップは不要である。

④：「一次処理」、「二次処理」によって得られた地盤諸係数の各種（統計的）性質を基にして、設計用の地盤諸係数値または確率モデルを設定し、設計計算を行うのがこのステップである。

以上、ステップ①～④を経て、設計用の地盤諸係数値あるいは確率モデルが決定され、これを用いて設計計算を行うことになる。なお、ステップ①、②、③、④の内容はそれぞれ、本講座の1、2、3、4章と対応しており、図—1.1のフローの全部かまたは一部に沿って設計評価を行った事例を、地盤との関連が深い代表的な構造物ごとに5章で述べている。なお、5.1では設計だけでなく、土質データのばらつきの性質に着目した施工管理の事例も示される。

本講座の内容は、あくまで地盤諸係数の不確実性評価と設計に関することが中心であるが、現状では図—1.1の評価フロー通りの一、二次処理が可能なのは粘性土の非排水せん断強度 c_u や N 値など一部の土質諸係数に限られ、それ以外の土質諸係数や岩盤諸係数は、この処理フローが適用できるまでに至っていない。これとは別に、構造物や設計法によっては地盤諸係数はもちろん、荷重の評価が非常に重要な場合もある。ただし、荷重に関し同様な評価を行うことは本講座の範囲外でもあるため、荷重の中でも特に構造物に対するインパクトが大きく、しかも不確実性が高い地震荷重や、動的な地盤特性と設計の関連についてのみ5.4で別途述べることにする。したがって、本章では静的な地盤諸係数と設計法に議論を限定する。

1.2 不確実性に着目した設計法，地盤諸係数の分類

1.2.1 分類の目的

荷重による影響を除外すれば、設計に用いる地盤諸係数の設定に影響する要因として次の二つが考えられる。第1の要因は、設計地盤諸係数の推定精度である。この場合の推定精度の良し悪しとは、ばらつきの大小を示すのではなく、母集団の性質を統計的に推定するときの精度の高低をいう。推定精度は、地盤諸係数の特性、調査試験方法、データ数、データからの設計値の推定あるいは換算方法などによって左右される。

第2の要因は、地盤諸係数が設計結果に及ぼす影響度である。これは次のようなことを意味する。いま、設計地盤諸係数の推定に誤差があったとしても、それが設計結果に与える影響が小さい場合には、推定そのものに神経を使わなくてもよい。しかし、地盤諸係数の推定が設計結果に敏感に影響する場合は、推定精度が重要な問題となる。本来は地盤諸係数の設計値を定めてから設計を行うのであるが、設計法の側から逆にみれば設計計算に必要な地盤諸係数の質（あるいは推定精度）がどの程度であるのが妥当かを判断できるわけである。

設計安全率は、強度、荷重、設計式などの不確実性の大きさと、対象とする構造物の重要度や破壊時の損失と補修性すなわち破壊に伴うリスクの大きさより決まる。設計安全率が大きく採られている構造物は、設計における不確実性の程度が高いか、あるいは不確実性自体はそれほどではなくても破壊に伴うリスクが大ききものであると考えられる。全体の不確実性が大きい場合には、地盤諸係数のばらつきや分布型まで正確に推定しても、その情報が設計に生かされない。また、破壊に伴うリスクの大きな重要構造物では、当然高い信頼度で設計されるべきであるが、各種不確実性に関する研究の現状からみればこの信頼度（＝1－破壊確率）を厳密に求めることは困難である。それゆえ、調査・試験数を増やして地盤諸係数の分散や分布型の推定精

講 座

度だけを高めたとしても、他の不確実性を正確に求めない限り設計信頼度の精度向上への貢献度は低い。このような場合はむしろ平均値の推定が重要であり、破壊に伴うリスクの大きさは従来の実績や経験で保証された安全率によってカバーするのが妥当と思われる。要するに、設計安全率が大きな構造物の設計では、地盤諸係数の分散や分布型まで評価する必要性は低く、むしろ平均的性質の評価が重要であると考えている。

設計安全率の小さい構造物は、通常不確実性の程度が低いか、あるいは破壊に伴うリスクが小さい。不確実性が低い場合、その大部分が地盤諸係数の不確実性によるものと考えられるので、地盤のばらつきに関する情報を設計に反映させる価値がある。また、破壊に伴うリスクが小さい構造物では、比較的大きな破壊確率を許容しているが、このような場合はある程度の不確実性があっても比較的精度よく信頼度を求めることが可能である。したがって、設計地盤諸係数に関する情報として、平均値だけでなく分散や分布型も有用となるのである。

“講座を始めるにあたって”でも言及しているが、現在のところ設計安全率が設計地盤諸係数の評価の上で重要な指標であると著者は考えている。そこで、やや議論が粗すぎることや、安全率の値が定義により変わること⁴⁾などを自覚しつつも、試みとして設計安全率の大きさに着目して設計法を分類し、設計地盤諸係数の評価のための要因の一つとして採り上げた。

以上述べてきた二つの要因によって設計地盤諸係数の評価が影響を受けるため、評価水準は両要因のランクに対応したものとなる。そこで、地盤諸係数の推定精度のレベルと、設計安全率のランクの組合せによって、設計地盤諸係数の評価方法をガイドライン的に提示する。

1.2.2 設計安全率による設計法の分類

(1) 分類方法

我が国の地盤に関連する主要な構造物の設計法として表一1.1に示す設計規準、指針等を取り上げ、設計安全率に着目した分類を行う。表一1.1以外にも、各企業体等で独自の設計規準を定めている例があるが、内容的には表一1.1に示す規準と差はないので、設計法分類のためには表

表一1.1 設計規準一覧

設計規準・指針	
道路橋示方書	日本道路協会
道路土工指針	〃
設計要領	日本道路公団
建築基礎構造設計規準	日本建築学会
建造物設計標準	日本国有鉄道
港湾構造物設計基準	運輸省港湾局
土地改良事業計画設計基準	農林水産省
仮設構造物設計指針	地下鉄技術協議会
仮設構造物設計基準	首都高速道路公団
河川砂防技術基準	建設省河川局
ダム設計基準	日本大ダム会議

一1.1の範囲で規定されている設計安全率を調べれば十分であろう。

設計法の分類に関して、いろいろの考え方があると思われるが、基本的には次の方針に従うことにする。

- ① 構造物、安全照査モードごとに分類する。
- ② 同種の構造物に対しては、各設計規準別の区分は行わず、一括して分類する。
- ③ 常時を対象として分類する。地震時に関しては、まず地盤諸係数の動的性質が不明確なものが多いのに加え、設計荷重の不確実性と設計結果への影響が非常に強いからである。地震時の地盤諸係数や地震荷重の不確実性と設計の関連については、本講座5.4で別途述べる。
- ④ 各設計規準(表一1.1)で用いられている設計安全率の範囲や、最も多く採用されている設計安全率の値(代表値)から、総合的に判断して安全率による設計法の分類を行う。
- ⑤ 設計法は原則として表一1.2に従ってD₁～D₄の4タイプに分類する。ただし、設計法によっては必ずしも表一1.2の分類に従わない場合もある。

表一1.2 設計法分類の目安

設計法分類	設計安全率の範囲
D ₁	1.0～1.5
D ₂	1.5～2.0
D ₃	2.0～3.0
D ₄	3.0～

表一1.3 設計安全率に着目した設計法分類(試案)

構造物	安全照査モード	安全率		設計法区分
		範囲	代表値	
盛土・のり面	安定	1.2～1.3		D ₁
フィルダム	〃	1.2～1.5	1.2	D ₁
コンクリートダム	せん断摩擦抵抗		4	D ₄
	局部破壊	(2)	(2)	D ₂
直接基礎	鉛直支持力	2.5～3	3	D ₃
	水平 〃	1.2～2	1.5	D ₂
杭基礎(単杭)	鉛直 〃	2.5～4	3	D ₃
	水平 〃	3～4		D ₄
	引抜き 〃	3～6	3	D ₄
ケーソン基礎	鉛直 〃	3	3	D ₃
	水平 〃	1.5～3		D ₃
擁壁	滑動	1.5	1.5	D ₂
	転倒	1.5	1.5	D ₂
	基礎支持力	3	3	D ₃
土留め工	ヒーピング	1.2～1.5	1.2	D ₁
	ボーリング	1.2～1.5	1.2	D ₁
	根入れ安定	(1.2)	(1.2)	D ₁

(): は安全率として厳密に定義されたものでなく、参考値である。

(2) 設計法の分類

上述の方針に従って、設計法を安全照査モードごとに分類した結果を表—1.3に示す。構造物、安全照査モード共に主要なものを選んで示しているが、これ以外のものについては表—1.2を参考に設計安全率の値に応じて分類すればよいと考えている。

表—1.3に示した分類はあくまで現行設計規準に準じたものである。杭の現場載荷試験など実規模に近い試験により耐力が確認されている場合や、高精度の数値解析によって設計計算を行う場合などでは、表—1.3の設計法分類にとらわれずに設計地盤諸係数の評価について検討することも可能である。

1.2.3 推定精度による地盤諸係数の分類

(1) 分類方法

設計に用いる地盤諸係数を推定する方法として、調査・試験データから直接推定する方法（ケース1）と、ほかの地盤諸係数から相関関係を利用して推定する方法（ケース2）の2通りが考えられる。そこで、地盤諸係数の分類はこの2通りの方法ごとに検討する。

i) ケース1による分類

地盤諸係数自体の推定精度によって分類するが、分類の要因としては設計値の設定上重要な平均、分散（標準偏差）、分布型をとり上げ、それぞれの推定精度に着目する。表—1.4に4段階に設定した分類方法を示す。表より明らかなようにE₁が最も精度の高い推定に、E₄が最も低い推定に相当する。E₄よりも低い推定法（例えば平均的性質もおおよそその範囲でしか分からない場合）も考えられないこともない。ただ、本講座では不確実なデータから設計値を設定するための評価方法や、それに基づく設計の内容に関して述べるのが本来の趣旨であるので、原則的にはE₄より低い精度の推定は本章では除外した。

ii) ケース2による分類

ケース2では、調査・試験から直接推定される地盤諸係数Yと、Yとの相関性を利用して設計地盤諸係数Xの推定を行う。例えば、砂質地盤においてN値(Y)との相関性($\phi = \sqrt{20N+15}$ 等)を用いて、せん断抵抗角 ϕ (X)を推定する場合などがこのケースに相当する。そこで、XはYの推定精度と相関性の2要因に着目して分類すればよいことになる。Yに関してはケース1と同様の分類に従うが、このタイプの推定の限界を考えE₁は評価の対象外とした。これはE₁に対応する信頼性設計を行うためには、少なく

表—1.4 地盤諸係数推定精度の分類の目安

分 類	平 均	分 散	分 布 型
E ₁	高精度で推定可	高精度で推定可	推定精度良好
E ₂	“	中精度 “	推定可
E ₃	中精度 “	推定精度が低い	推定は困難
E ₄	概略推定可	推定は困難	“

表—1.5 ケース2における地盤諸係数の分類方法

設計地盤諸係数(X)の推定精度ランク	相 関 性	地盤諸係数(Y)の推定精度ランク
E ₂	H	E ₂
E ₃	H	E ₃
	M	E ₂
E ₄	H	E ₄
	M	E ₃
	L	E ₂

表—1.6 地盤諸係数推定精度の分類（試案）

地盤諸係数	推 定 方 法	試験による推定精度	他のパラメーターからの推定精度 他のパラメーターとの相関性	評価
粘 着 力	三軸圧縮試験より推定	E ₂		E ₂
	一軸圧縮試験より推定 $c_u = q_u/2$	E ₁		E ₁
	コーン貫入試験より推定 $c = 0.1q_c$		E ₂ M	E ₃ *
	一面せん断試験より推定	E ₁		E ₁
内 部 摩 擦 角	三軸圧縮試験より推定	E ₂		E ₂
	一面せん断試験より推定	E ₂		E ₂
	N値から推定		E ₂ M	E ₃
単位体積重量	土質試験	E ₁		E ₁
強度増加率	圧密非排水三軸試験より推定 $c_u/p = \sin\phi_{cu}/(1 - \sin\phi_{cu})$	E ₂		E ₂
	塑性指数 I_p による推定 $c_u/p = 0.11 + 0.0037 I_p$		E ₃ M	E ₄
基礎と地盤の付着力	粘着力、一軸圧縮強度より推定		E ₃ M	E ₄ *
基礎と地盤の摩擦角	内部摩擦角より推定		E ₃ M	E ₄ *
N 値	標準貫入試験より推定	E ₁		E ₁
杭周囲摩擦力 f	N値(砂質土)、 c (粘性土)より推定		E ₂ L	E ₄
側 圧	Rankine-Resal 式より推定		E ₂ M	E ₃
変 形 係 数	三軸圧縮試験より推定	E ₂		E ₂ *
	一軸圧縮試験より推定	E ₂		E ₂ *
	N値より推定		E ₂ L	E ₄
圧 縮 指 数	圧密試験より推定	E ₄		E ₄
	w_L より推定		E ₃ M	E ₄

とも設計諸係数は直接試験から推定すべきであるという観点による。

相関性に関しては、相関係数 ρ の大きさに対応して、次の3ランク（H, M, L）に区分した。

H：相関性が高い ($0.8 \leq \rho$)

M：相関性がある ($0.5 \leq \rho < 0.8$)

L：相関性が低い ($\rho < 0.5$)

なお相関性に関しては、地盤種別、試験者、試験方法、試験地域等により差の見られる場合もあるが、このランク分けでは各種の実績データを総合的に判断して相関性の強弱を評価した。

講 座

Yの推定ランク ($E_2 \sim E_4$)、相関性 (H, M, L) の組合せにより、設計地盤諸係数Xの推定精度を表—1.5のように区分した。Xの区分 ($E_2 \sim E_4$) の内容は表—1.3に示すものと全く同様である。ケース2においては、ランク E_2 すなわち平均値、分散を正確に推定できるのが最も評価レベルが高いということとなる。表—1.5以外の組合せは、評価方法として現実的でない、あるいは妥当でないと考えられるので除外した。

(2) 地盤諸係数の分類

(1)で述べた方法で、設計地盤諸係数を推定精度を主とし、実務面も配慮して分類する。実務面というのは、調査・試験の難易度、経費、既往データの整備状況等から判断した常識的な試験個数や試験方法など、実際の地盤調査・試験の実施の状況を考慮に入れたものである。

著者らの私案ではあるが、表—1.6に地盤諸係数の分類結果を示す。表示した地盤諸係数は直接設計計算や解析に用いられ、かつ標準的な調査・試験によるものであり、特殊な試験が必要となるものは除いている。また、ケース2による推定では、一般に用いられ実績を有する推定法だけを取り上げており、限られた地域や地盤で提案された推定法は扱っていない。表—1.6中、右欄の評価が最終的な地盤諸係数の分類を示す。同欄中、*印を付けたものは、工学的な有用性を考えた場合、状況に応じ1ランク下の評価も必要となることを表す。例えば、コーン貫入試験値 q_c から粘着力 c を推定する場合、 q_c の推定精度や c との相関性から見れば評価ランクは E_3 (中精度で平均値の推定が可能) となる。しかし、その結果を実際の構造物に適用する場合、

- ① 非排水せん断強度 $c_u (=1/2 q_u)$ を用いる設計法と比較すると、設計、施工実績が乏しい。
- ② せん断抵抗角 ϕ の大小により、 q_c と粘着力の相関性が変化する。

などの点があり、工学的判断を込めて評価水準としては1ランク下げた方が妥当な場合もあるからである。

表—1.6は、現在の実務的な調査・試験の個数と推定精度を考慮して分類を行ったものである。表中で、例えば粘着力の推定においては一軸圧縮試験の方が三軸圧縮試験よりランクが高くなっているが、これは粘着力の分布型を正確に推定できるほど多数の三軸圧縮試験を実施するのが現実には難しいと判断したためである。したがって、特別に頻度や精度の高い調査・試験を行う場合や、試験結果の信頼度が通常より高い場合には、表—1.6に示したものより1ランク上の評価を行うことも可能である。また、個々のデータの信頼度は高くても、地盤諸係数の性質を正確に把握するのに必要な数の調査が行われていない場合は、逆に評価ランクを下げることも必要であろう。なお、表—1.6は、限られたデータと著者の経験から推論した試案である点に留意されたい。

1.3 設計における地盤諸係数の評価

(1) 評価水準の設定

前述したように、本章の目的は設計法と地盤諸係数の推定精度の組合せにより、設計地盤諸係数の性質 (平均、分散、分布型など) の合理的な評価水準がどの程度であるかガイドライン的に示すことにある。例えば、地盤諸係数の推定精度が高いのに設計安全率が高くとられている場合は、地盤諸係数の分散や分布型まで調べたところで設計にその情報が反映されることが少なく、むしろ平均値の推定程度が妥当であると考えられる。また、その逆の場合も当然考えられる。

次に、地盤諸係数の評価は当然設計法を想定したものとなる。現状の安全率法に従って設計を行うのなら、地盤諸係数の分散や分布型まで推定する必要はなく、平均値の推定だけで十分な場合が多い。これに対し、信頼性設計法のような高度の数理設計を行うためには、各種の統計的性質を精度よく推定しなければならない。このように、地盤諸係数の評価は設計法と不可分であり、設計法と推定精度に応じて設計地盤諸係数の評価水準が決まるのである。また、あるレベルの設計を行うためには、設計法や地盤諸係数の推定精度がどの程度でなければならないかを知ることでもできる。

以上の観点から、設計地盤諸係数の評価水準を表—1.7に示すような4段階 (I~IV) に区分し、対応する設計法のレベルを設定した。なお、設計法の詳細は4章で述べることにする。この表で、各レベルに相応する設計地盤諸係数の評価が行われれば、対応する設計法の適用が可能であることを意味する。逆に、地盤諸係数の評価水準が低いのに、信頼性設計法のような高度な設計法を適用することはできない。また、評価水準の高い地盤諸係数であっても、調査試験の個数が不十分な場合は統計処理の精度が低下す

表—1.7 設計地盤諸係数の評価水準と設計法

地盤諸係数 評価水準	地盤諸係数の評価	対応する設計法
I	分布型も考慮した評価	信頼度を用いた設計法
II	平均、分散を中心とした評価	安全性指標を用いた設計法
III	平均値に着目した評価 (分散を考慮する場合もある)	荷重耐力係数を用いた設計法 安全率を用いた設計法
IV	最小(最大)値に着目した評価	安全率を用いた設計法

表—1.8 設計地盤諸係数の評価方法

設計法分類 地盤諸係 数の推定精度	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
E ₁	I	I	II	III
E ₂	I	II	II	III
E ₃	II	III	III	IV
E ₄	III	III	IV	IV

るので、設計法の水準も下げなければならないことはいうまでもない。要するに、表—1.7に示した内容は十分な調査試験が行われるという条件下での評価を表しているわけである。

(2) 設計地盤諸係数の評価

設計法分類 ($D_1 \sim D_4$)、地盤諸係数の推定精度 ($E_1 \sim E_4$) の組合せにより、現在の技術レベルで考えられる設計地盤諸係数の評価水準 (I ~ IV) を表—1.8に示す。表—1.8の見方は次のようである。例えば、分類 D_3 の設計法で構造物を設計する場合、地盤諸係数の推定精度が E_2 ならば設計地盤諸係数は、水準IIの評価(平均、分散を中心とした評価)が妥当であり、対応する設計法としては安全性指標を用いる方法(4章で詳述の予定)が適していることを示す。また設計法が同じでも、推定精度が E_3 の地盤諸係数

を設計に用いるならば、水準III(平均値中心)の設計地盤諸係数の評価が妥当で、設計法としては安全率法が相応である。

表—1.8に示す評価方法は、かなり大胆な割り切りを行った面は否定できず、多少の異論もあるだろうが、設計における地盤諸係数の評価がいかにあるべきかのガイドラインとなるであろう。

参考文献

- 1) De Mello, V.F.B.: Reflections on design decisions of practical significance to embankment dams (17th Rankine Lecture), Geotechnique, Vol. 27, No. 3, 1977.
- 2) 川口徳忠: 設計における土質定数の考え方, 6 アースダム, 土と基礎, Vol. 28, No. 1, pp. 71~78, 1980.
- 3) 大崎順彦: 基礎構造, コロナ社, pp. 286~288, 1961.
- 4) 山口柏樹: 安全率を考える, 土と基礎, Vol. 30, No. 9, pp. 3~8, 1982.

<講演集・シンポジウムテキスト在庫一覧>

○第10回土質工学研究発表会発表講演集(昭和50年度)	B 5判 1026頁 定価 ¥5,200 会員特価 ¥4,000 千 ¥450
○第11回土質工学研究発表会発表講演集(昭和51年度)	B 5判 1136頁 定価 ¥5,800 会員特価 ¥4,500 千 ¥450
○第17回土質工学研究発表会発表講演集(昭和57年度)	B 5判 2716頁(2の1+2の2) (1セット) 定価 ¥14,000 会員特価 ¥10,800 千 ¥900
○第18回土質工学研究発表会発表講演集(昭和58年度)	B 5判 1598頁(2の1+2の2) (1セット) 定価 ¥8,600 会員特価 ¥6,600 千 ¥500
○第19回土質工学研究発表会発表講演集(昭和59年度)	B 5判 1670頁(2の1+2の2) (1セット) 定価 ¥8,600 会員特価 ¥6,600 千 ¥500
○第20回土質工学研究発表会発表講演集(昭和60年度)	B 5判 1758頁(2の1+2の2) (1セット) 定価 ¥9,000 会員特価 ¥7,000 千 ¥500
○第20回土質工学研究発表会特別セッション テーマ: 長野県西部地震における斜面崩壊の実態とその教訓	B 5判 54頁 定価 ¥ 650 会員特価 ¥ 500 千 ¥300
○第21回土質工学研究発表会発表講演集(昭和61年度)	B 5判 2008頁(2の1+2の2) (1セット) 定価 ¥9,000 会員特価 ¥7,000 千 ¥550
○第24回土質工学シンポジウム(昭和54年度) テーマA: 構造物と基礎のケース・ヒストリー(Case History) テーマB: 土質試験の新しい方法及び計測技術	B 5判 204頁 定価 ¥3,700 会員特価 ¥3,000 千 ¥300
○第25回土質工学シンポジウム(昭和55年度) テーマ: アースアンカー工法	B 5判 82頁 定価 ¥1,700 会員特価 ¥1,300 千 ¥300
○第26回土質工学シンポジウム(昭和56年度) テーマ: 掘削および盛土時の地盤挙動予測と実測との対比	B 5判 76頁 定価 ¥1,700 会員特価 ¥1,300 千 ¥300
○第27回土質工学シンポジウム(昭和57年度) テーマ: NATM工法の設計と実際	B 5判 68頁 定価 ¥1,600 会員特価 ¥1,200 千 ¥300
○第28回土質工学シンポジウム(昭和58年度) テーマ: 原位置試験の新しい方法, 計測技術および結果の解釈	B 5判 164頁 定価 ¥3,500 会員特価 ¥2,700 千 ¥300
○第29回土質工学シンポジウム(昭和59年度) テーマ: シールド工事に伴う周辺地盤への影響	B 5判 101頁 定価 ¥2,200 会員特価 ¥1,700 千 ¥300
○第30回土質工学シンポジウム(昭和60年度) テーマ: ジオテキスタイルを用いた工法—新材料・工法に関する技術的諸問題—	B 5判 135頁 定価 ¥3,100 会員特価 ¥2,400 千 ¥300
○第31回土質工学シンポジウム(昭和61年度) テーマ: 軟弱粘性土地盤における沈下予測と対策	B 5判 168頁 定価 ¥3,800 会員特価 ¥2,900 千 ¥300

問合せ・注文先: (社) 土質工学会販売係 電話 03-251-7661 FAX 03-251-6688