

土質工学序説

土質工学という新興學問が現われ、大いに隆盛に向いつつある。ある人はこれを使うことに急であり、ある人は面倒なものが現われやがつたといふ。この気運を利用しようとする一群の人達もあるといつた状態だと思う。

いろいろな仕事について土質調査が行われるような姿になつてきたことは喜ばしいが、試験の仕方、その結果の見方等に納得のできないようなこともある。まだ発達途上の學問だから不満な点も多々あるが、うまく育ててゆきたいものである。本文は編集部からのご注文で土質工学の考え方、それによつて立つ原則、利用の仕方の荒筋等をおよぶかぎり平易に書いてみた。筆者の力の足りないために、とんでもない感違ひもあるかと思うが、あらかじめ御寛容を願つておく。

土質力学に関する書籍もかなり出版されているし、ページ数の関係もあるから細部についてはそれらの書物によつていただくこととし、ここではそれらの書物を読む前に一応土質工学の概観を得、重点がどこにあるかということを、のみこむのに必要なことを述べた。

1. なぜ土質工学が盛んになつたか

土質工学という名前そのものが最近のものである。しばらく前まではこんなものはなかつた。学校の講義でも土に関するものといつては施工法の中に若干、応用力学の付録然としたところに Coulomb, Rankine 等の名前が少し出るくらいのものであつた。実際の仕事においてもまず名人芸で、経験に富んだ大家が、しばらくにらみ、ちよつと土をつまんでみて、まあこの地盤の耐力は 1 m^2 当り何トンという調子だつたのだろう。この間あるオランダ人も、自分の国でも 20 年前まではそうであつたと語つていたから、日本だけのことではなかつたのだ。

土木という名前は土と木なのだから土に関する學問の発達が遅れたのはおかしいといふ人があり、たしかにそのような気もするが實際はこうなのだ。つまり必要にならなければ物は発達しないものなのである。どこかで聞いたことのある諺“必要は發明の母”といふ言葉はこの場合にも真理である。われわれが今日東京の街で、見なれたため大昔からあると思つているものでも、考えてみると案外新しいものが多いのにいまさらのように驚くことがある。地下鉄、コンクリート舗装、ラジオ等々皆そうである。自動車なども正確には知らないが、まずこの 50 年くらいの発達であろう。

交通が激しくなければ立派な道路も要らない。重い建物がなければ、基礎も簡単でよいのである。このように

最上 武雄

交通その他文化が進むにつれて、それに関連した研究が行われ學問も進んでくるのである。ポケットブックあたりに載つている地盤の地耐力なる考え方方が生れてから、まだ 60~70 年しかたつていない。

土質力学の急激な進歩は今世紀からである。しかし今日の盛觀を見るに至つたのは、この約 20 年くらいの間のことである。理論と實際とは車の両輪のごとく相助けて進むものである。理論がなければ仕事の方もいわば暗夜に灯なきがごとく、ただ手探りでやるより仕事なく、また實際の仕事に應用した実績を持たなくては理論も空論あるいは自信なき議論に終つてしまうものである。

地盤相手の仕事のごとく相手が十分にはわからない場合は、特にその傾向は大きいのである。

この 20~30 年の間に土質力学の應用に関する実績が大分できてきて、それらにすじを通す一応の考え方が Terzaghi の圧密理論あたりからやや整い始めたのである。それにもまして土の試験法の進歩に大きなものがあつた。土は試料の採り方でその性質を大変かえてしまうものである。天然の土にはその堆積の歴史によつて定まつた組織がある。ある場所におけるその土の性質は、その土の経てきた歴史によつてきまるのである。従つて、それを採集する場合に、下手をして現状を大きく変えてしまうような攪乱を与えてしまつたとすると、せつかく苦労して採集した試料も、その本来の性質を持つていないのである。そうなれば、そのような試料についていくら丁寧な試験をして見たところが何の役にもたたない。いくらい公式があつたとしても、その公式の中に入れる数値に誤りがあれば、計算をいくら刻明にやつたとしてもあてになる結果は出てこない。そればかりではない。その公式がよいものか悪いものかを決めることさえもできない。

よい試料を採集することができるようになり、試験法もすじの通つたものになつてくると、頭で考えた公式が使えるものかどうかということが批判されるようになつた。その結果若干のものは設計の根本として使いうるということがわかつてきた。これは公式がその本来の意味で正しいということと同義ではない。自然の地盤は公式が作られるときに仮定されるような単純なものではないからである。例えれば一様な地盤といふようなものはまづ考えられないが、多くの公式では一様地盤といふように対象を簡略化して考えているのである。従つて使えるということと正しいということは必ずしも同義語ではない。だからこの意味で土質工学では、何の工学でもそうなのだろうが、やはり経験が大切な役をしている。このような経験も“理論”によつて実績にすじが通されるようになつてくると、よく整理されてきた。

以上述べてきたような多くのことがらが、土質工学は

近來大いに発達してきたと一口に言わされることの内容である。いつまでも経験から離れられないという意味で、若干の逆説好みの土質工学者が、なあに発達したといつたつてタカの知れたもので“土質力学”なんて大して役には立たない、という意見もあるが、公平に見て土質工学は進歩しているのだから聞く人がその意味を感違ひすると間違いをきたす。

2. 土質工学の理論(原則)とはどんなものか

土質工学が進んできたことにはその理論が大きな役目をはたしたということを述べたが、それでは一体土質工学の理論(原則)とはどんなものであろうか。土質工学の理論というと人によつては地耐力の公式とか、土圧の公式とかを思い浮べる人もあると思われる。それらが理論ではないとはいわないが、筆者が主としてここで述べようとしているものはそれらではない。順を追つて考えてゆこう。

まづ第一に述べねばならないのは地盤というものは厄介なものだということである。決して一様なものではない。一様でないということはその地盤の歴史、堆積状態等々が違うということである。こんなことをいうと、わざわざいうまでもなく当り前のことだと叱られるだろうが、約50年にはどんな土に対しても同じ土圧の公式を使うことが常識だつたし、ついこの間までは砂については摩擦角何度というような表が大した批判なしに使われていた。

一般にいつて量的なものをあつかう学問では、量的に区別できなければ意味はない。それぞれの土が、現在ある状態における性質を絶体的または相対的に知る必要がある。砂層の下に粘土層があるというような定性的なものでなく、同じ砂層でも上の方はこの程度の締り方、下はどうというようなことが知りたい。つまり土の現在の状態を変えないで、調べるべき試料をいかにしてうるか、得られた試料についてどのような試験をして、得た結果をどのように使うかということが非常に大切なことである。以上のことが第一の原則から結論される。

第二に述べねばならないことは、一概に土といつてもいろいろあるということである。そしてまづ粒子の大きさが土の性質に絶大な影響を持つているということである。一般には土は大小さまざまな粒子が混つている。それらを分析して大きい順に並べ粗い方から礫、砂、シルト、粘土、コロイドというように名前をつけるのが便利である。常識的に粗いものは集つたときサラサラしている。ごく細かいものでは水分がいくらかあると粘り気が出てくる。従つて土を分類する場合には、粘らない土と粘る土とに分けることもできるわけである。大昔はごく大ざつぱで、土をすべて粘らないものと考えた。粘らないものと考えた方が安全側の結果がでると考えたので

もあろうか(実はそうではないのだが)。粘らぬ土、粘る土と分けて考えるようになつたということは非常な進歩であつた。

われわれに大切なことの一つは土で作つた構造物(築堤、基礎、道路等)の安定ということである。抽象的にいふと、土の強度である。これを考える場合に土を以上2種に大別しておくことは大変便利なのである。粘らぬ土、粘る土の典型的なものが砂と粘土であるから、そのように略称すると、強度がよつてくるところが両種の土について異なる。砂のように粒子の大きいもので、しかも粒子が丈夫なものからできているときに、その強度を支配するものは大体において密度であると思えばよい。よく締つているものはお互いによく噛み合つていて、外力に対して動きにくい、つまり強度が大きい。ところでこの種の土で密度が大きくなるためには粒子の配合が適当でなければならない。まづ大きな粒子を並べると、その間にできる隙間は大きい。やや小さ目の粒子はこの隙間に入りうる。これらでできる隙間にさらに小さな粒子が入れる。このようにして大小さまざまな粒子を含む土での密度は、一様な粒子から成る土よりよくつまりうるといえる。すなわち、砂の強度の一要素は粒度配合であるといえる。

砂が乾いているときには、粒子同士はバラバラであつて塊りを成さない。これは粒子同士を結合するなんらの力も存在しないためである。従つてせつから粒度の配合状態がよくとも結合力、すなわち粒子をくつづける糊の役をするものがなければ強度はでない。

粘る土つまり粒子の非常に小さい土は砂と異なつて、粒子同士に結合力が働く。従つて、このような土が砂に混つていれば砂の粒子をくつづける糊の役目をする。また適量の水分があれば水の表面張力も糊の役をする。

また砂の場合に粒子の形も大切な要素である。つまり細張つた砂の粒子は丸つこい粒子に比して噛み合いがよい。

以上をまとめれば、粘らぬ土の強度は、1) 粒子配合 2) 粒子の形、3) 粒子を結合する糊の強さ、によるといえる。これに対し粘る土ではどうであろうか。

粘る土においては強度に関しての性質がやや異なる。このような細かい粒子よりなる土では粒子間の結合力はかなり大きく、かつまた粒子そのものの重量がそれほど大きくなつたために、この種の粒子よりなる土の構造は砂に比してずつと隙間の大きなものとなる。粒子でできた骨組の抵抗もそれほど多くはないと思われる。隙間の容積の絶対値は当然小さいから、透水に対する抵抗は砂に比して非常に大きい。

大体粘土の隙間には水が一杯入つていることが多い。外力をうけて変形しようとする場合粒子構造そのものはそれほど強くはないが、なかにはほとんど不圧縮な水が入

つっているために容積変形に対する抵抗はかなり大きくなる。従つてこの種の土の変形は容積変形のほとんどないすべりによつて行われることになる。また容積変化が行われるとすれば、なかの水の透み出しをともなわざるを得ない。なかの水が外に出るということは、間隙の中の水圧が高いということである。このことから間隙水圧の概念が生れる。

以上が土を粘らぬ上、粘る土に分けた場合にそれぞれの土の強度に対しての特性を述べたものである。一般的の土は、これら典型的な2種の土の中間にあることが多いのであるから、これらの土の特性がいろいろの割合で混ざつたような性質を示すものであろう。だが、中間の土に対する考え方はまだ確立されていない。

第三の原則は土の中を透み通る水に関するものである。土の中にある水はいくつかの種類に分けられるが、そのうちで間隙を一杯に満して重力の作用で動ききる水を重力水といふのだが、この種の水の移動法則がダルシーの法則といわれるものである。すなわちある断面を通じて流れる単位時間当りの水の量はその点での水頭勾配に比例するというのである。そのときの比例常数を透水係数と称し、この大小によつて土が水を透しやすいか、むづかしいかを比較する。

他の種類の水、例えは毛細管作用で粒子にくつついている毛管水等の移動についての法則はまだわかつていな。また土の中を水が流れると、流水が土に力を与えるが、その大きさはやはり圧力勾配に比例する。

第四には圧密に関するものである。さきにも述べたとおり粘土では粒子同士を結合する力は強いが、粒子それとの重量は小さいから、砂に比し間隙の割合が大きく、間隙には一様に水が入つていることが多い。このような粘土に外力を加えると、水の圧縮性はごく小さいから容積は力を加えた瞬間に変らない。粒子でできた骨組は変形しないと外力に抗し得ない。従つて力を加えたときその力は水によつて受けもたれる。つまり間隙中の水の圧力は上る。これが間隙水圧、特に過剰水圧といわれるものである。この圧力のため水は外方に流れ初める。水が出ればそれだけ隙間の容積が減少するから、それに応じて骨組が変形し、その分だけ骨組が外力を受けもつこととなる。このような圧力分担の肩代りは間隙中の水圧が0になるまで続く。これは粘土の透水性が小さいため相当の時間がかかる。粘土地盤上に載荷した場合の沈下の大きな部分はこの種のものである。このような現象を圧密、これにもとづく沈下を圧密沈下といつてゐるのである。

第二と第四すなわち強度と圧密とは粘土の場合には特に深い関係がある。砂の場合に強度は粒子同士の摩擦、粒子の噛み合いに依存するが、粘土の場合には粘土粒子同士の結合力によることはすでに述べた。そこで両方と

も密度が大きく、つまつてはほど強度は大きいのである。おそらく結合力も粒子が近づくほど強いものと思われる。従つてなんらかの方法で土を締めれば強度は増加する。

第五に地盤上に載せた力は地盤内を伝播する。つまり地中に入るほど拡がつてゆく。土質力学でこの問題を取り扱う場合には弾性力学における Boussinesq の理論を用いる。

3. これらの理論からどんなことが 出てくるか

まず第一に地盤が複雑で、それが土に關係のある構造物に重大な關係があるのであるから、地盤がどうなつてゐるかを調べなくてはならない。従つてこれを調べる方法をどうするかということが問題である。昔からボーリング等があつて岩盤の調査が行われてきたのである。しかし、土は軟らかく普通のボーリング等では自然状態を乱し、採集した試料が自然状態をあらわすとはいえない。この方向の研究から、まずまず使える段階まで持つてゆかれたのが乱されない土の試料採集法 (Undisturbed sampling) である。この主要点は可能なかぎり薄いチューブを、できるだけ攪乱しないような方法で地中に押し込むにある。従つてせつかく薄肉サンプラーを使つてもこれを叩き込んだり、抜つて入れたりしては意味がない。またサンプリングは行わず一定の棒、チューブ等を叩き込んだり、押し込んだりして地盤の強弱の相対値を求める事もできる (これを sounding という)。これはあくまで相対値であるから、一定の物を一定の方法で叩き込んだり、押し込んだりすることを数多くの土について行つたデータをたくさん持つてゐる必要があり、持つてゐる方が勝である。この方法の方が Sampling より簡単であるから便利に用いられる。また地盤が非常に軟かくてサンプリングができない場合、またはできても簡易のため現地でセン断強度を求める方法も行われる。vane shear はこれである。このようにして地盤の概況を調べ問題により必要と思われる場所から、必要な本数だけ必要な深さから採られた試料については土質試験を行わねばならない。そしてこれらの試験は設計施工に役立つものでなくてはならず、設計施工に反映させるべきである。

土を粘り気のないものと粘り気のあるものとに分けて考えたことは土の力学的特性を考えやすくした。砂や粘土の強度は前節で説明したようなものだか、これを測るには砂では内部摩擦角、粘土では粘着力なるものを用いる。砂では粘着力は0、粘土では摩擦角を0とする。

もつとも土のセン断強度を求めるセン断試験のやり方によつては粘土においても内部摩擦角は0にはならない。このようにセン断の起る様式によつて強度のあらわれ方に差が生ずる。この辺のところは土質力学の面倒な

問題である。実際に破壊の生ずる場合と同じ様式で破壊が起るようセン断試験を行なうべきなのである。これらのことを見ると、多くの場合に対し砂質土では摩擦角、粘土では粘着力を考えるのが合理的なのである。もちろんこの辺のところは土質工学で興味津々たるところだと思われ、将来多くの議論のあるところだろうが、今まで相当多くの場合について検討された結果、粘土では不攪乱試料について一軸圧縮試験を行つて得た圧縮強度の $1/2$ を粘着力としてとれば大体よさそうである。

なお、強度について今まで触れるべくして触れなかつたことに間隙水圧の影響がある。砂の強度は内部摩擦によることはすでに述べたところであるが、これは粒子と粒子の間に働く力から生ずるのであるから間隙に存在する水の圧力、すなわち間隙水圧は砂の強度には寄与しない。もう少し詳述するならばつぎのとおりである。外力が砂に加わるとすれば、これは砂の粒子同士の押し合いで伝達されるものと水を通して伝達されるものとある。これらのうち前者だけが摩擦に関与するのである。

さてつぎに水の問題であるが、土質工学として大切なのはアースダム、堤防等の透水量を決定するような直接なもの、建築の根切り底が水で噴き上げられるかどうかという、水が土に与える力に関する問題があるのであるが、排水に関するものも重要である。排水の可能性はその土の粒子の大小と関係が深い。砂は排水しやすく、粘土の排水は不可能に近い。重力の作用のみで排除されるのは重力水であり、熱を加える等、他のエネルギーを加えなければでこない水もある。

排水の一途に地下水降下がある。これは建築根切底の安定や地盤改良等に対してとられる手段である。ウエルポイント工法等の発達はこれを大いに発展させ、現在ではウエルポイントはごく常識的なものになつた。

サンドドレーンも一種の排水には違いないが、水をしほつて粘土の間隙を小さくすることによる強度増加が第一のねらいである。すなわち粘土地盤に砂柱を作り、地盤上にのせ大載荷による間隙水圧の増大により粘土中の水を砂柱に向けてしぱり、砂柱を通じて地盤外に水を導く。この工法等は特に前節に述べた土質工学の諸理論を巧みに組合せたものといえる。濾過層(filter)も排水に関連して大切である。フィルターの不良はときに大問題を起すこともある。

土の強度が内部摩擦、粘着力に依存するという土質工学の根本理論と力学の原理を組合せて土圧、地耐力等を表わす公式を求めるることは古くから行われてきていた。土圧論、地耐力論が一昔前の土質力学の全部であつたといつてよい。もつとも土圧にしても実際問題にててくるのは相当複雑で非常に簡単な場合だけが現在わかっている。しかしいづれにしても、これらの諸公式も前節の原則からでてくるものには違いない。この種のものと

してはこれらのほか、杭の支持力、斜面の安定論等もある。いづれも歴史は古いものであるが、一般にいえままだ不明の点が多いといわざるを得ない。

4. 土質工学の問題はどのように取扱われるか

築堤を作る、建物の基礎を作る等々、土質工学的な問題はいろいろある。これらの問題を土質工学的に扱うのはどのようにするのであるか。古くは例えばつぎのように行つたこともある。少し地盤が悪いから、まあ $5,6$ mの杭でも打つてみよう。1本当たり木杭 $5t$ くらい持たせよう、というように全く経験のみに依存した。現在なおこのような方法が行われることもあるけれども、いわゆる土質工学的な取扱いをするのであればつぎのようにでも行うのであろうか。

問題が大きいから一概には説明しにくいので基礎を例にしよう。まづ現場の地形、地質についての概念を頭に入れる。この場合には地質学者の助言を仰ぐこともある。現場の地盤がどのような地質的構造を持っているかを知ることは地下の地層の状態を考える場合に大変助ける。つぎに敷地内の地盤の構成を知らなければならない。それには sounding を数カ所行う必要がある。

その本数、場所、深さは地盤の構成状況、建物の種類、平面の形、大きさ等によって異なるからそれによつてきめる。sounding を行うときに攪乱した試料はそれから、それを使つてできるような試験は行つておく。例えば粒度分析、比重、液性限界、塑性限界等々である。しかし sounding の主目的は地層の構成の概略および砂層ならばその繰り方、粘土層ならば粘着力の概略の値を求めるにある。sounding の結果をみれば、地層が簡単な構成をしているかどうかわかるし、つぎの sampling を行うかどうか、行うならどこからどれくらいの深さまで sampling を行うかということがわかる。例えばかりなりの深さまで砂層であり、建物の荷重が深さとともに減少して、もはやその下の粘土層(かりにあつたとして)の圧密に大して影響しない程度で、しかも建物そのものが多少の沈下は問題でないといつてあれば、それ以上 sampling は必要ないということが sounding だけで明らかになる。下の層がかなり複雑ならば、さらに多くの sounding を要し sampling の本数も多くなる。

さて sounding で一応地層の概念を得、地下水位の位置もわかつたとすると、基礎の型式をどうすべきかということも大体きまつてくる。そして、その形式を実施する場合に、どんなことを知らねばならないかがわかるのである。例えば、地層はやや複雑であるが比較的浅い所に硬い層がある場合ならば、硬い層まで杭を打つてしまえば、途中の土が軟かくてもかまわないといった具合である。硬層が深く、途中に軟かい粘土層を噛んでいる場合には、この層の圧密による沈下は重大となる。従つ

て、少くもこの層からは *undisturbed sample* をとつて圧密試験をしてみなければならない。

また、ヘドロが非常に軟かい場合には、おそらく *undisturbed sample* をとることすらむづかしいだろう。この硬軟の程度によつて sample の種類も考えねばならないだろうし、場合によつては強さを調べるのには *vane shear* のような現場試験の方がよからうということになるかもしれない。いづれにしても、このようにして *sampling* または現場試験の計画をたてる。杭打ち試験、載荷試験が場合によれば便利であることも必要になるかもしれない。*sampling* を行つて得た試料については適切な試験が行われる。試験の方法についても、その仕事の性質に合つた方法をとるべきであるのは当然である。それはすでに 2. で述べたように土の性質は複雑だから、試験の方法によつて得られる値が異なることがあるからである。試験の方法によつて試験結果が異なる理由については明らかになつていない点も多々あるが、わかつている原因の一つは試験速度と土中の水の移動速度の関係である。つまり水の移動速度よりも試験速度、すなわち土の変形速度が早ければ、土の間隙に入つてゐる水の圧力が増加または減少して粒子を伝わる力が變るのである。すなわち間隙水圧の変化が試験結果に影響するのである。例えば粘土でもごくゆつくり排水を許してセン断すれば内部摩擦角が出るが、速くセン断すれば内部摩擦角は 0 となる。粘土地盤でスベリが比較的速く生じるときには内部摩擦角を 0 とし、比較的速く行つたセン断試験で得られた粘着力をとるとするのが合理的である。これらは一つの例であるが、このように試験法もそれぞれの場合において適當のものを採るべきなのである。

さて sounding と試料を採集して試験する（これには現場試験を含む）ことにより必要な資料がそろひから、前に大体きめた基礎の型式を再検討し、基礎の設計をする。この場合に主として研究の対象となるのは地耐力と沈下および施工時の安全性である。地耐力は土の摩擦角、粘着力によつて定まるが、通常地層は一様な土からできていながら、それらの値のとり方には判断にまつ部分がでてくる。

沈下の方も同様で、載荷後、ただちに起る接触沈下、長年にわたつて起る圧密沈下を考える。接触沈下については現在決定的なよい計算方法はないが、いくつかの方法は考えられるから、これで当つて見る。圧密沈下の方は圧密試験の結果を利用した方法で計算するのが普通である。

かりに地耐力が不足した場合には地盤の状況に応じて杭打ち、ウェル、ケーソン、深廻等の工法を用いるか、または場合によつては地盤改良工法によつて地盤を強化する。

地盤改良の方法には compaction piling, vibroflotation が砂質土では考えられる。いづれも砂の強度はその密度を大とすれば増加するという原理にもとづくものである。粘土地盤では杭打ちや振動くらいでは、なかなか間隙の水は抜けず、水が抜けなければ締まらないのだから積極的に水を抜く工作をしなければならない。そのためには通常用いられるのがサンドドレーンである。これらの工法を採用する場合でも、この工法の設計を行わなければならないが、これも土質調査、試験にもとづき従来の経験を参考にして行われ、また工法実施の場合にも仕事の管理についての土質工学の方法がとられる。

場合によつては試験用の小工事を行つて必要なデータを求める方が賢明なこともある。

つぎに施工についての土質工学的検討が行われる。根掘りの方法、その場合に根切り底が水でふかれることはないが、土留めの矢板の安定性はどうか、土の持上り(Heaving)の心配はないか、周囲の建物への被害を最小に止めるにはどうするか、等の考慮がなされ、これらの検討にはすでに行われた土質調査、土質試験の結果が利用される。そしてもし必要ならば、ウェルポイント工法が用いられたり、ジーメンスウエルを利用されたりする。施工の順序等についても土質調査の結果は有益な資料を提供する。また施工実施中に現われる諸問題についても、土質に関する考慮は大切であり適切な手を打つてゆかねばならない。

さて、以上は基礎工事を例にしたアウトラインであるがアースダムでも築堤でも、要領は同じである。要するにその工事に關係のある土質工学的重要点は何であるかをつかむこと、これを適當な数値であらわすこと、すなわち調査試験を行うこと、その結果にもとづいて第一近似的な設計を行うこと、その施工計画をたてること、実施に當つて土質工学的管理を行うことである。

これら全般にあたつては鋼構造物の設計の場合のようないい“公式による設計”もあるが、土の場合には、計算をおつぱなしてしまうことができないところが大きな違いではなかろうか。また公式に入れる数値そのものもそれぞれの場合について調べ、公式の使い方にもおののおのの場合において多少の工夫が必要である。しかし、そのような“目を配る”場合、もとになる原則は現在のところ 2. にあげたようなことからそれほど外れることはないと思われる。

つまり初めに大体の設計をし、施工の途中に次第にこれをよりよいものに直してゆく。いわゆる design as you go の方法であり、試験や調査が設計や施工との工学に比してより密接であるといふところが土質工学の重要な特質であろう。

(筆者：正員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科)