

## 地盤工学における常識と非常識

## Common General Knowledge or Lack of It in Geotechnical Engineering

熊本直樹 Naoki KUMAMOTO (広島工業大学工学部)



公共投資が激減し、ビッグプロジェクトがほとんどない現在、我が国の建設業界が活力を維持していくためには、海外事業も手がける必要があると考えている。しかし海外で仕事をしていくと、言語の問題だけでなく、同じ用語を用いても連想する現象が異なりいろいろな食いちがいが生じる。

この論文はこれから海外事業に従事しようとする若い技術者を念頭に置いて執筆したもので、著者の経験をいくつか紹介し、自分の「常識」が相手にとっては「非常識」ということが有り得ることを述べた。また、我が国の技術を海外に広く展開していくためには、「多様性にタフになること」と「文書化すること」が重要ではないか、という著者の私見も述べた。

キーワード：地盤工学，杭の水平抵抗，特殊土，沈下

(IGC : A01, A06, A07)

## 1. はじめに

著者が大学の4年生になって広島大学の地盤工学研究室に入ったのは1971年4月である。研究室に入った頃は広島湾岸で埋立工事が盛んに行われており、また研究室のメインテーマのひとつが軟弱地盤に関する研究であったので、研究室は活気に満ちていた。広島地域外に目を向けると、ポートアイランドが第一期工事中であり、六甲アイランドの工事が控えており、「関西第二空港」(現：関西空港)の調査検討が行われているなど、日本中に軟弱地盤に係わるビッグプロジェクトが満ちている時代であった。

著者は1974年に修士課程を修了して社会に出た。当時は、土質工学会(現：地盤工学会)の会員が力強く増加しており、また土質工学会は土木系の技術者だけでなく建築系や農業系の技術者からも構成されていて、「土木学会よりも大きくなるのではないかなどと夢みたいなことを考えていた。社会に出て4年目の1977年には東京で国際会議(IX ICSMFE)が開催され、その華々しさに感激し、土質工学会の発展を信じて疑わなかった。現在のように会員数が激減して深刻な事態が懸念されるなど、考えたこともなかった。40年余で様変わりしてしまったものである。

広島大学の地盤工学研究室だけでなく、日本の地盤工学に多大なる貢献をされた網干先生がお亡くなりになる数年前に、広島大学地盤工学研究室の学生及び卒業生に対して、研究室の進むべき方向について講話されたことがある。その内容は、海砂採取で荒れてしまった瀬戸内の海底地盤の復旧を例にあげて、今後は地元(地域)の地盤の問題に密着した研究をすべきとのことであった。地方大学のミッションを的確に述べた講話であったと考えているし、著者

自身もそのように努力していく所存である。一方、地盤技術者個人のミッションは少し異なった要素もあると考えている。公共投資が激減し、ビッグプロジェクトがほとんどない現在、我が国の建設業界が活力を維持していくためには、海外事業も手がける必要がある。したがってこれから学窓を巣立つ学生は、海外事業への関心を抱くべきであり、国際化時代を生きていく心構えも必要であると考えている。

前述のように著者が地盤工学の分野に足を踏み入れてから40年余経過し、この間種々の経験をした。著者が活動してきた時代とこれから地盤工学分野で活動する若い技術者たちの時代は40年強の差があり、取り巻く環境は高度成長から維持補修の時代へと大きく変化した。したがって、若い技術者が著者と全く同じ経験をするとは思わない。しかし、著者の失敗談の中から若い技術者の参考になることがあるかもしれない。著者の経験の一部を以下で紹介する。

## 2. 著者の「常識」が通じなかった初体験

## 2.1 常識と非常識

「学会の論文報告集に上記のような題目の文章を書くことが「非常識」なのだ」と、編集者からお叱りを受けそうな気がする。が、招待論文という立場に甘えて、人目をひくための「非常識」な言葉遣いをお許し願いたい。

今では私たちの「常識」になっていることが時代を少し遡れば逆に「非常識」であったり、反対に今、「非常識」と思われていることが、昔は常識だったことが沢山ある。

例えば運動時の水分補給で、昔は水分をとってはいけないと教えられていたような記憶がある。今だとこのような指導をすると「熱中症」を誘発し、大問題になるであろう。この論文でいう「常識」と「非常識」はこのような時間の経過に伴う変化ではなく、同時刻に立つ位置の違いによる不一致を取り上げる。

地盤工学に関する業務を行って行く中で、著者が「常識」と思っていることが相手に認められなかったり、逆に相手が「常識」と思っていることを著者が知らないという、かみ合わない場面が度々あった。振り返ってみるとこの不一致は著者の未熟さに起因していることが多かったのだが、業務を行って行く上で少なからず支障になった。以下ではこの「不一致」の例を紹介し、どちらが「常識」か、という議論ではなく、なぜそのような不一致が生じたのか、考えてみる。

## 2.2 経緯

著者が入社した頃は第一次オイルショックの直後で、海洋での石油の試掘や生産が活発におこなわれていた。30～400m 程度の水深での石油生産用として「ジャケット」と呼ばれる形式の構造物が使用されており、その構造計算は図-1 に示すようなモデルを用いて行われていた。この構造物は杭で支持されており、上部構造と基礎構造を一体化して計算していた。

著者が入社2年目あるいは3年目頃の出来事である。大型のジャケット式海洋構造物に関する商談があり、オーナーである Royal Dutch Shell Group の技術者が、著者が所属している会社の技術レベルを評価するために派遣されてきた。あいにく著者の上司である会社の地盤技術者は海外留学中で、入社間もない若輩の著者が対応することになった。杭の設計法を問われて、国内でよく用いられている方法、すなわち鉛直支持力は  $N$  値を用いた方法で、横抵抗は弾性支承上の梁理論（いわゆる Chang の方法）を用いて計算していると答えた。すると審査技術者は驚いたような様子で「Reese を知らないか、Matlock を知らないか」と問うてきたので「知らない」と答えると、あきれられてしまった。さらに「 $N$  値は非常に精度が悪い、ダッチコーンを使うべきである」と追い打ちをかけた。

結果、「非常に poor である」という評価を受け、会社からはきつく叱られ、ひどく落ち込んだ。

## 2.3 審査技術者と著者のどちらが正しかったか

結論から先に言うと、審査技術者の方が正しかった、と考えている。

Reese と Matlock は、横方向に載荷された杭（laterally

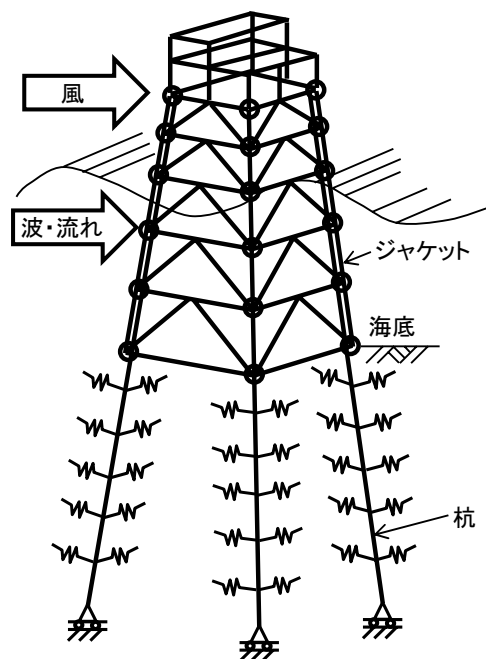


図-1 大型固定式海洋構造物の構造モデルの例

loaded piles) の挙動に関する研究を鋭意行っていた研究者である。

アメリカ石油協会(American Petroleum Institute, 略称 API)という協会がある。我が国ではエンジンオイルのグレードを定めている協会として知られているが、APIは油田における原油生産設備からパイプライン輸送、石油製品の製造まで、数多くの規格を定めている。制定している規格の中に Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms (RP2A, 通称: ジャケットの API ルール) という、固定式海洋構造物に関する規格があり、初版は 1969 年に発行されている<sup>1)</sup>。著者が技術審査を受けた頃は第 6 版<sup>2)</sup>あるいは第 7 版<sup>3)</sup>が発行されていた。1970 年に Matlock が発表した<sup>4)</sup>柔らかい粘土 (soft clay) 中の、及び 1974 年に Reese らが発表した<sup>5)</sup>砂の中の、横方向に載荷された杭 (laterally loaded piles) の挙動に関する理論が、著者が技術審査を受けた頃の版には既に設計法として採用されていた。いずれもいわゆる  $p-y$  曲線設計法である。あとで調べて、論文が発表されてから規格に採用されるまでの期間が極めて短いことに著者は驚いた。逆に審査技術者はジャケットに関する技術審査を受ける者がジャケットの規格である API ルールを知らないことに驚いたのであろう。

ダッチコーンという調査法があること、また日本ではあまり使われていないがヨーロッパではよく使われていることは学部の講義で聴いて知っていた。しかし計測精度ま

では考えたことがなかったことと、Reese と Matlock の件で頭が真っ白になっていたので、十分な対応ができなかった。

今にして思えば、適用する規格が採用している設計方法は知っておくべきであったし、少なくともその方法を提案した研究者の名前は知っておくべきであった。また、杭の鉛直支持力推定用としては  $N$  値よりもダッチコーンの方が優れているという人があるのは事実であるし、特にダッチコーンを開発した国の技術者であれば前述のような評価を行っても不思議ではない。したがって Royal Dutch Shell Group から派遣された審査技術者が著者に下した評価は全く正しかったと思う。しかし、社会に出て 2, 3 年の技術者が数年前に提案された外国の設計法や提案した研究者の名前など知るはずもなく、悔しい思いだけが残った。

狭いムラ社会の常識が外の広い世界では通じないことがある、ということをお願い知らされた最初の経験であった。それから退職するまで自分の常識と相手の常識が異なるという経験を何度もした。

## 2.4 何が違ったか

横方向に荷重された杭の挙動に関する当時の検討方法を紹介する。

現在は構造物の地震時の挙動を検討するために、杭軸方向、杭軸直角方向ともにバイリニアやトリリニアのような非線形の荷重・変位関係がごく普通に用いられている。1974 年頃、すなわち著者が社会に出た頃の、杭軸直角方向の検討方法は、①極限平衡法、②複合地盤反力法、③線形又は非線形弾性地盤反力法の三つに大別できる。

①の極限平衡法は杭に作用する地盤反力  $p$  を杭のたわみ  $y$  とは無関係に、深さ  $x$  のみの関数として扱うもので、地盤の極限状態における地盤反力の分布形状を土圧論などを用いて仮定し、杭に作用する外力との釣り合いから水平支持力を求めるものである。この方法の例としては短杭に作用する横力に関する Broms の方法があり、著者が学部生のときに使用していた教科書<sup>6)</sup>に既に紹介されていた。この方法は杭のたわみを無視しているので長杭に適用することは難しく、短杭、あるいはウェルやケーソンなどの検討手法として用いられていた。

②の複合地盤反力法は、変形の大きい地表面近くの地盤は塑性領域にあるものとして①の極限平衡法を、その下方の変形の小さい地盤は弾性領域にあるものとして③の弾性地盤反力法を用いる方法である。この方法の例としては、文献 7) などがある。

③の線形又は非線形弾性地盤反力法は、地盤反力  $p$  を

深さ  $x$  と杭のたわみ  $y$  の関数として表し、

$$p = P(x, y) \quad (1)$$

とおく。この方法は関数  $P(x, y)$  の取り扱いで、さらに線形弾性地盤反力法、非線形地盤反力法、 $p-y$  曲線法の三つに分類できる。線形弾性地盤反力法は、地盤反力  $p$  を

$$p = K(x)y \quad (2)$$

と、たわみ  $y$  の 1 次形とおくものである。 $K(x)$  の形としては、 $K(x) = k$  ( $k$ : 横方向地盤反力係数 (定数)) とおく Chang の方法から、 $K(x) = kx$  とおくもの、 $K(x) = kx^m$  ( $m \neq 0$ ) とおくものなど、種々提案されている。この線形弾性地盤反力法は数学的取り扱いが容易であるが、 $p$  と  $y$  の関係が完全な直線となり、杭の荷重試験結果とは一般には一致しない。非線形地盤反力法は、土の非線形性を考慮して、

$$p = K(x)y^n \quad (0 < n < 1) \quad (3)$$

とおくもので、この方法の代表例として当時は既に港湾関係で用いられる「港研方式」があった<sup>8)</sup>。この港研方式では  $n = 0.5$  とおいている。 $K(x)$  としては深度方向に一定とするものや、深度方向に直線的に増加するものなどがある。 $p-y$  曲線法は任意の深さの地盤反力-変位関係 ( $p-y$  曲線) を設定し、図-1 に示す構造モデルに適用するもので、API に採用されている方法は  $p-y$  曲線法であった。

API の方法を簡単に説明すると、以下の通りである。API は軟弱粘土に対しては図-2 の、砂質土に対しては図-3 の  $p-y$  曲線を定義していた。

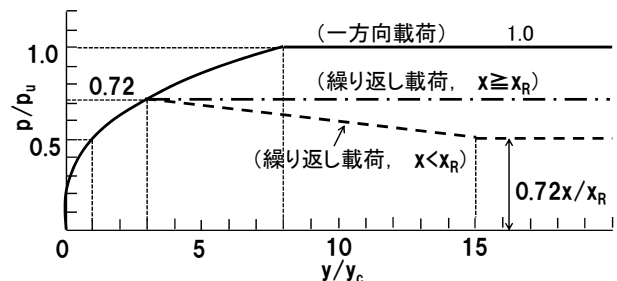


図-2 API 規格の軟弱粘土に対する  $p-y$  曲線

まず軟弱粘土のケース、すなわち図-2 について説明すると、地盤反力  $p$  はたわみ  $y = 8y_c$  までは API が定める式に従って増加し、 $y \geq 8y_c$  では  $p = p_u$  と一定値になる。 $p_u$

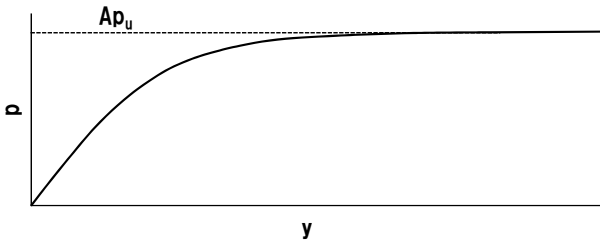


図-3 API 規格の砂質土の  $p-y$  曲線

は、 $x=0$  すなわち地表面（海底面）では  $3c_u$  で、深さ  $x$  が  $x=x_R$  までは API が定める式に従って増加し、 $x$  が  $x_R$  を超えると一定値  $9c_u$  になる。 $x_R$  は杭径、地盤の単位体積重量及び粘着力  $c_u$  の関数である。 $y_c$  は、一軸圧縮試験の応力歪み関係で一軸圧縮強さの 1/2 に対応するひずみ  $\epsilon_c$  と杭径の関数で与えられており、 $\epsilon_c$  あるいは杭径が大きくなると  $y_c$  も大きくなる。波浪等の影響を考慮できるように繰り返し載荷の  $p-y$  関係も定められており、たわみ  $y$  がある値を超えると  $x=0$  すなわち地表面（海底面）では  $p=0$ 、 $x \geq x_R$  では  $p=0.72p_u$  と一方向載荷時よりも低下させている。

図-3 は砂質土の  $p-y$  曲線である。Reese らの論文<sup>5)</sup>で折れ線で図示されていた  $p-y$  関係を、取り扱いやすくなるために双曲線関数を用いて式(4)のように式で表現されている<sup>9)</sup>。

$$p = Ap_u \tanh(kxy / (Ap_u)) \quad (4)$$

$A$  は繰り返し載荷を考慮する係数で、繰り返し載荷時は  $A=0.9$  を、静的載荷時は規格に定められた式を用いて 0.9 以上の値を使用する。 $p_u$  は極限抵抗で、深さ  $x$  が浅い場合と深い場合用の 2 種類の式が提示され、深さ、単位体積重量及び内部摩擦角の関数になっている。 $k$  は初期せん断抵抗で、地下水面から上と下に分けて、相対密度の関数として与えられている。

以上が API が採用している  $p-y$  関係であるが、よく調べてみたらノルウェー船級協会 (DNV) も図-4 に示す  $p-y$  曲線を海洋構造物用のルール<sup>10)</sup>に採用していた。図-4 の詳細な説明は省略するが、例えば係数  $\beta$  は、土質は砂質土、正規圧密粘土、過圧密粘土に、載荷条件は static と cyclic loading に分けて定められている。砂質土の地盤反力  $p$  はたわみ  $y$  が  $\beta D$  に達するまではたわみに従って増加し、たわみが  $\beta D$  より大きくなると  $p=p_d$  になる。粘性土の地盤反力  $p$  はたわみ  $y$  が  $\beta D$  のときは  $p=p_d$  であるが、それより大きいたわみでは  $\beta'D$  までは  $p$  は減少し、たわみが  $\beta'D$  を超えると  $p=p'_d$  になる。 $p_d$  や  $p'_d$  も、砂

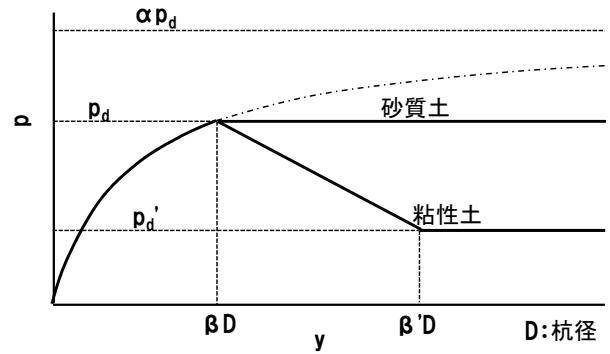


図-4 DNV ルールの  $p-y$  曲線の例

質土、正規圧密粘土、過圧密粘土、static、cyclic loading に分けて定められている。以上から分かるように、API だけが先走っていたのではなく、世界の海洋構造物の分野では地盤の非線形性や繰り返し載荷などを考慮した  $p-y$  曲線法用いることが 40 年近く前に既に「常識」となっていたのである。

一方我が国では、当時既に港湾関係の基準に地盤の非線形性を考慮した「港研方式」が取り入れられていた。これには繰り返し載荷に関する規定はなかったが、地盤の非線形性を考慮した先進的な規定であったと思う。しかし実務ではこの港研方式はほとんど使われておらず、 $p=ky$  とした Chang の方法がもっぱら使用されており、Royal Dutch Shell Group から派遣された審査技術者から「非常識である」と判定されてしまったのである。

API の方法と DNV の方法はかなり異なるので著者らは実測例について比較計算を行ったことがある。その結果は文献 11)にとりまとめており、この二つの方法に優劣をつけることができなかった。

### 3. 特殊土

#### 3.1 「特殊土」という特殊な用語

「特殊土」という言葉は難しい。

土質工学用語事典では、特殊土とは「在来の土質工学だけでは設計施工ができないような土」、「普通でない土」、「問題土」のこと、と書いてある<sup>12)</sup>。文献 13)では、特殊土の概念として、「災害を受けやすい土」、「扱いにくい土」、「施工性の悪い土」、「教科書や試験法に一般に書かれている性状とかなり異なる反応を示す土」、をあげている。そもそも「特殊」とはどういうことであろうか。広辞苑には次のように書いてある。

- ① 普通と異なること、特別であること。
- ② 全体に共通するものではなく、そのうちの若干のもの

についていえる性質のこと。

著者は「特殊土」という言葉には、「問題のある土，取り扱いにくい土，特別な注意が必要な土」というイメージを持っていた。一方、「特殊」という言葉には「普通でない」，「普通と異なる」，「若干のものについていえる性質」というイメージも持っていたので，「特殊土」に遭遇する頻度については「極めて稀」と考えていた。

「普通」か「特殊」か，という議論をしだすと，この論文のテーマである何が「常識」で何が「非常識」か，ということと同じ問題にはまり込んでしまう。これまでに業務を遂行していく中で，「特殊土」と思っていた土が，実は自分がよく知らないだけで，客観的にグローバルな目で見ると「よく遭遇する普通の土」ではないか，と思うことが何度かあった。

そのひとつの例を以下に紹介する。

### 3.2 炭酸塩含有土

1980年前後の頃だったと思うが，海外工事の杭の業務で，*calcareous sand* というものが外国にあって，杭の鉛直支持力が小さく，しかも水の流れがあると溶けるらしい，という情報が入ってきた。これが著者が炭酸塩含有土に関する業務に関与するスタート点だった。著者らはキャリキアスサンドと呼び，舌をかみそうな変な名前の砂だなどと思うと同時に，支持力を推定できないとはこれは恐ろしい土だ，とも思った。すなわち「特殊土」と思ったのである。どのような土がよく分からないので，三軸試験を行ったり，リーチング試験を行ったりした。我々の近くでは安福先生が山口大学におられた頃からカーボネイト系砂中の杭の先端支持力の研究に取り組んでおられた<sup>14)</sup>。この問題がクローズアップされた背景としては，世界各地で杭を用いた石油関連施設用の大規模海洋構造物が構築されるようになったことがある。

一般に，炭酸塩含有土はポーラスであると同時に粒子の強度も低いことが多い。したがって間隙がつぶれ，粒子も破砕されるので，打設杭の先端支持力は一般の静的支持力公式から得られる値よりも小さくなるといわれている。当然，APIの規格(RP2A)にも関連する記述があり，炭酸塩含有土中の *driven piles* の支持力は通常土の支持力よりもかなり小さくなることもあること，しかし *drilled and grouted piles* の支持力は *driven piles* の支持力よりも大きくなることもあること，支持力はその地域の経験などを考慮して決定すべきであること，などが述べてある。

炭酸塩含有土と一口で言っても，石灰岩を主体としたもの，砂や粘土が混じったコーラル，あるいは逆に砂や粘土に貝殻やコーラルが混じったものなど様々で，炭酸塩の含

有量や硬化度も異なるので，先端支持力の低下度合いも千差万別である。したがって載荷試験によって最終決定することを求められることが多い。

### 3.3 炭酸塩含有土は特殊土か

*calcareous sand* の支持力で悩んでいるときに，当時の土質工学会から炭酸塩含有土について記述のある図書が刊行された<sup>15)</sup>。文献(15)には炭酸塩含有土の，成因と分布，工学的性質，杭の支持力に関する問題，などが記述しており，大変参考になった。

炭酸塩含有土が特殊土か，という疑問を持ったのは，文献(15)の中の，炭酸塩含有土は「北緯30°から南緯30°の間に多量に存在する」という記述を読んだときである。北緯30°から南緯30°の範囲は図-5に示すようになるが，地球は「球」であるので，地球の表面積の半分を占める。すなわち北緯30°から南緯30°の間に多量に存在するということは，「地球の表面積の半分に多量に存在する」ということではないか。地球の半分に存在するということが「ごく普通に存在する」ということであり，「若干のものに存在する」ということとはほど遠い。

炭酸塩含有土の他に，サブカ土や膨張土や，最近ではアルジェリアの高速道路建設で我が国の業界が難渋した *marl* など，国内ではあまり聞かない土が世界にはある。「扱いにくい土」という意味では特殊土かもしれないが，その地域に行けばごく普通に存在する土なのだから，「特殊土」という言葉で片付けるのはエクスキューズに聞こえる。

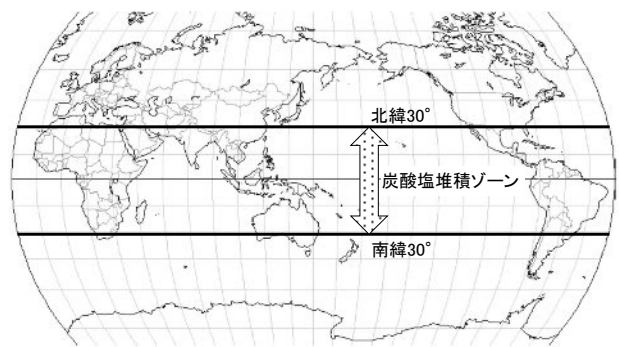


図-5 炭酸塩堆積地域

## 4. 粘土地盤の沈下

### 4.1 「圧密沈下」という言葉から連想する現象

著者だけかもしれないが，「圧密沈下」という言葉を聞くと，5m前後の一次圧密があり，引き続いて30cm～50cm程度の二次圧密があるのが普通だと思っていた。したがっ

て、5cm 前後の推定誤差を問題にする人は常識外れで、そんな些細なことを問題にする人はおかしい、と思っていた。そのくらいどうでも良いではないかと。広島近辺で行われていた埋立工事では 3m とか 5m の沈下は珍しくなく、広島市西区の商工センターでは 6m 規模の沈下量が発生した位置がある。広島近辺では残留沈下で裁判になった宅地もあった。さらに我が国では 10m を超える関西空港の沈下があり、洪積層の沈下はまだ継続している。

以上のような事例は枚挙にいとまがなく、知らず知らずのうちに圧密に対する著者の概念が出来上がっていったのだと思う。言い換えれば、粘土地盤の圧密といえば「軟弱地盤の圧密」のことであり、硬質粘土の圧密など検討の必要なし、というのが著者の常識であった。ところが、それが間違いであることに気がつかされた。世の中には「圧密沈下」といえば数 cm 程度の沈下量を連想して、さらに問題にする人もいたのである。

#### 4.2 「圧密沈下」に関するイメージの食い違い

海外工事の場合、発注者が欧米のコンサルタントを雇って、受注者はそのコンサルタントと技術的な協議を行ったり、検査を受けたりすることが多い。コンサルタントは別のプロジェクトでもコンサルタント業務を受注しようとして、明確に発注者側に立って、やり過ぎるくらい強硬に受注者に接して発注者の信頼を勝ち取ろうとする。

発注者はさらに高度な専門技術を有する「技術者」(the Engineer) を雇って、発注者側のコンサルタントと受注者の技術者の意見を公平に判断させることもあった。1999 年以降は「the Engineer は発注者のために行動する」ということになったようだが、ここで紹介する the Engineer は 1999 年以前の、発注者と受注者間の中立的な役割のために雇用された技術者である。

博士の学位を持つドイツ人が the Engineer として雇われていた中近東の工事を、著者が属していた会社が受注したことがあった。日常の細々とした技術検討書を the Engineer のチェックを受けて、サインを貰ってから客先に提出していた。温厚で親切な技術者で、技術検討に使用している公式類が適切か、あるいは設計定数の決め方に問題がないか、などをチェックし、問題がある場合は丁寧に指導してくれる人だった。

ただひとつどうしても意見が合わなかったのが、「硬質粘土」の「圧密沈下」である。粘土が硬質で沈下が発生しても 1cm レベルだろうから、試験や計算を行う必要はないと著者らは思うのだが、the Engineer はやれという。ヤング率を用いた計算式まで提示して、ヤング率はこういう方法で決定しろ、と執拗に細かく指示してきた。指示され

たヤング率を定める式をよく見たら、真の意味の E ではなく、体積圧縮係数  $m_v$  の逆数であった。それはともかく、どうしてここまで硬質粘土の圧密沈下検討にこだわるのか、不思議だった。

あとで教えてくれる人がいたのだが、the Engineer が育ってきた地域(ヨーロッパ)は厚い氷河で圧密された「超」過圧密粘土が多く、粘土の圧密とは「硬質粘土の圧密」をイメージするのが普通ようだ。前述のように著者は「圧密沈下」といえば「超」軟弱粘土地盤を埋め立てたときの沈下量をイメージする。「圧密沈下」という同じ言葉を使用しても、育ってきた環境の違いによって別の現象をイメージするという例である。

## 5. 砂地盤の沈下

### 5.1 著者らが使用していた砂地盤の沈下量計算方法

著者が学生時代に使っていた教科書では、砂地盤の沈下量については「砂地盤の沈下量を解析的に求めることの合理性は疑わしい。むしろ経験的な立場で提案された公式が信頼性があるとされている」と前置きして、De Beer の提案式、Terzaghi-Peck の提案式、地盤反力係数を用いる方法などを紹介し、弾性解も示していた<sup>16)</sup>。

就職してからは、砂地盤上の基礎の沈下については道路橋示方書に基づいて地盤反力係数を用いる方法を多用し、De Beer の方法を時々使用していた。「解析的に求めることの合理性は疑わしい」という言葉を信じて砂地盤には弾性解は用いなかった。また、Terzaghi-Peck の方法は有名だが実際とあまり合わないと言われていたので、ほとんど使わなかった。著者らは砂地盤の沈下計算は上記の方法が普通と思っていたのだが、杭の横抵抗の話と同様に、上記の方法とは別の方法をごく普通に用いていた人達がいたのである。

### 5.2 Schmertmann の方法

海外現地工事に派遣していた部下から、「客先から砂地盤の沈下計算にクレームがきました。コーン貫入試験結果を使って計算しろと言っています。計算方法を教えて下さい」という連絡が入った。

「またダッチコーンか」と思ったが、コーン貫入抵抗値を  $N$  値に換算して、De Beer の方法を使ったらどうか、と回答した。すると「式が違うと客先が言っています。Schmertmann の方法を使えと客先が言っています。Schmertmann の方法というものを調べて下さい」との連絡があった。我々が知らない沈下計算方法があったと驚いて

調べたところ、文献 17)に Schmertmann の方法が載っていた。ハンドブックに載っているくらいだから、欧米では普通の計算方法だったようだ。この方法を現地に連絡したところ、「客先がこの方法は古い。改訂された方法があると言っています」と言ってきた。再度調べたところ確かに改訂された方法が文献 18)に書いてあって、ひずみの影響係数が平面ひずみと軸対象に分けて新たに示されていた。このケースも著者らの常識と客先の常識が食い違った例である。なお余談になるが、山口柏樹先生の教科書の第 3 版にはこの Schmertmann の方法が紹介されている<sup>19)</sup>。しかしこの教科書に掲載されている方法のひずみの影響係数は古い方法であるので、文献 18)に示されている影響係数を使う必要がある。

## 6. 次世代を担う地盤技術者へのメッセージ

### 6.1 海外でも活躍して頂きたい

少子化の影響で大学の定員割れがニュースになり、また団塊の世代が 65 歳を超え、社会に閉塞感が漂っている。また最近では少し状況が変わってきたが、公共投資が激減し、国内のビッグプロジェクトもほとんどないという状況である。

このような状況の中で我が国の建設業界が活力を維持していくためには、海外事業も手がける必要があると考える。国が発展しようとする、治山治水はもちろん、物流のために道路を建設したり、輸出入のために港湾を整備したり、電力を供給するために発電所を作ったりするので、発展途上国にはやるべきことがたくさんある。これらの社会資本整備に我々は貢献できると考えているが、自然環境や文化が異なる海外で仕事を行う場合、相手が思っていることと自分が思っていることがうまくかみ合わず、仕事がうまく回らないことがある。

この論文ではこのうまくかみ合わないことを「相手の常識と自分の常識が異なる」という形で表現し、著者が遭遇したその例をいくつか紹介した。土木工学、特に地盤工学は地域性を含んだ経験工学的な要素が強いので、自分の常識だけを振り回して行動すると仕事がうまく回らないことがあるということを読者に伝えたかった。

僭越ながら、これから海外で日本が主体的に活動していくためには次の二点が必要ではないかと著者は思っている。

### 6.2 (その 1) 多様性にタフになる

気候、言語、文化、地盤条件、資金力など国や地域によ

って大きく異なる。日本の自然条件は恵まれていると思う。強烈な地震や津波に襲われているのにどこが恵まれているか、と激怒される人がいるかもしれない。しかし著者はやはり日本は恵まれており、海外で仕事を行うときは原点に戻って考える必要があると思うのである。

例えば国内の基準類やマニュアルをそのまま海外に持っていくことは危険だと思う。著者は若い頃、どうして BS が世界中で使われているのだらうと疑問に思ったことがあった。一時期は英国が植民地に押しつけたからだ、と思っていた。しかし今は考えが変わり、「太陽の沈まない国」と言われていた英国は、世界のいろんな場所で建設工事などを経験し、そのノウハウがあるために BS は多様性に強かったのではないかと思っている。米国も然りである。米国で基準類を作ろうとすれば、酷寒のアラスカから灼熱のテキサスまで考慮する必要がある。

これに比べると我が国は穏やかで恵まれていると思うのである。したがって我が国で培った基準類やマニュアルをそのままの形で海外で使用して良いかよく考えてから適用すべきと思う。我が国の豊富な知識や経験をさらに多様性に対して展開して欲しい。

また国内の常識に合わないことを「特殊」なケースといいがちだが、相手にしてみればそれが「普通」かもしれない。アルジェリアの高速道路建設で我が国の業界は困難な状況に陥った。その原因のひとつに「marl」という土があげられている。このような失敗を繰り返さないためにも多様性を認め、それへの対応をとる必要がある。

### 6.3 (その 2) 文書化する

熟練技術者のノウハウ、いわゆる「暗黙知」は言語や文章で表現することが難しく、「俺の背中を見てついてこい」というような指導を行うことがよくある。我が国の技術規格の体系にもそのような面があって、規格やマニュアルをみただけではどうしたらよいのか分からず、その道のベテランに聞いて「それはこうすることになっている」教えられることがある。

狭いムラ社会ではそれでよいかもしれないが、海外で仕事をするとき、検討方法を「通常、日本ではこうしている」というような説明だけでは納得して貰えない。「どこにそんなことが書いてあるのだ」と厳しく追及される。発注者側のコンサルタントが意地悪をしているのではなく、彼らは発注者に採用する工法の妥当性を説明する必要がある、口頭の説明だけでは発注者を納得させることができないので、文書化された根拠がないと困るのだ。場合によっては発注者は融資先に採用している工法の妥当性を説明する必要があり、さらに追求が厳しくなる。

これは一個人の問題ではなく、基準やマニュアルを作る人へのお願いであるが、「文書化する」ということを心がけて欲しいと思う。文書で規格化することが難しい場合は、こういう実測例があるとか、実例などを参考資料として付けておいていただくと非常に助かる。

「オレを信じろ」的なやり方は通じない。

## 7. おわりに

公共投資が激減し、ビッグプロジェクトがほとんどない現在、我が国の建設業界が活力を維持していくためには、海外事業も手がける必要があると考えている。しかし海外で仕事をしていくと、言語の問題だけでなく、同じ用語を用いても連想する現象が異なりいろいろな食い違いが生じる。

この論文では著者の経験をいくつか紹介し、自分の「常識」が相手にとっては「非常識」ということが有り得ることを述べた。

また、我が国の技術を海外に広く展開していくためには、「多様性にタフになること」と「文書化すること」が重要ではないか、という著者の私見も述べた。

技術論文集には不適切な雑駁な文章になってしまったが、皆様の何かの参考になれば幸いである。

## 参考文献

- 1) API : Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms, API RP2A, 1st Edition, American Petroleum Institute, Washington, D. C., 1969.
- 2) API : Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms, API RP2A, 6th Edition, American Petroleum Institute, Washington, D. C., 1975.
- 3) API : Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms, API RP2A, 7th Edition, American Petroleum Institute, Washington, D. C., 1976.
- 4) Matlock, H. : Correlations for Design of Laterally Loaded Piles in Soft Clay, Proceedings Second Annual Offshore Technology Conference, Paper No. 1204, 1970
- 5) Reese, L. C., Cox, W. R., and Koop, F. D, Analysis of Laterally Loaded Piles in Sand, Proceedings Sixth Annual Offshore Technology Conference, Vol. 2, Paper No. 2080, 1974.
- 6) 山口柏樹：土質力学（講義と演習），第1版，第1刷，pp.300-302，技報堂出版，1969.
- 7) 勝見雅：地盤の非線形的性質を考慮した単杭の水平抵抗に関する研究，土木学会論文報告集，第223号，1974.
- 8) 久保浩一：杭の横抵抗の新しい計算法，港湾技術研究所報告，Vol.2, No.3, 1964.
- 9) API : Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms, API RP2A, 17th Edition, American Petroleum Institute, Washington, D. C., 1987.
- 10) Det Norske Veritas : Rules for the Design, Construction and Inspection of Offshore Structures, Appendix, 1977.
- 11) 熊本直樹，宮越一郎，吉森幸浩：地盤の非線形性を考慮した杭に支持された構造物の設計法，地盤と建設，Vol.10, No.1, pp.65-70, 1992.
- 12) 土質工学会：土質工学用語辞典，第1刷，p.67，土質工学会，1985.
- 13) 大平至徳：日本の特殊土，土木学会誌，Vol.59, No.6, pp.48-50, 1974.
- 14) 安福規之，田中邦博，村田秀一，兵動正幸：圧縮性の卓越した砂中の杭の先端支持力とその評価，土木学会論文集，No.505/III-29, pp.191-200, 1994.
- 15) 土質工学会：海外工事と土—東南アジアと中近東のケース，土質基礎ライブラリー 25，pp.225-231，土質工学会，1984.
- 16) 山口柏樹：土質力学（講義と演習），第1版，第1刷，pp.159-168，技報堂出版，1969.
- 17) Winterkorn, H. F, and Fang, H : Foundation Engineering Handbook, pp.155-157, Van Nostrand Reinhold Company, 1975.
- 18) Schmertmann, J. H., Hartman, J. P. and Brown, P. R. : Improved Strain Influence Factor Diagrams, Journal of Geotechnical Engineering. Division, ASCE, Vol.104, No.GT8, pp.1131-1135, 1978.
- 19) 山口柏樹：土質力学（講義と演習），第3版，第1刷，pp.355-357，技報堂出版，1984.

(2014年9月11日 受付)