

盛土に対する軟弱地盤処理

持永 龍一郎*

1. 軟弱地盤上の盛土の問題点

軟弱地盤上に盛土などの荷重を加えるといろいろやっかいなことが起る。すなわち、盛土の滑りあるいは破壊が起るし、破壊しないまでも基礎地盤の沈下は至る所で見受けられる。極端な例であるが、東名高速道路建設の際、静岡県袋井地区¹⁾で起きた盛土破壊の場合を見てみよう。この地区は含水比が 700~1000% という高含水を有するピートが約 5m 堆積し、その下に海成の均質な粘土層が約 10~13m 堆積している超軟弱地盤である。盛土中央部をサンドドレーンで押え盛土部をサンドコンパクションパイルで処理したうえで盛土を開始したが、地盤の沈下流動がはなはだしく、盛土高約 4m で滑り破壊を起した。押え盛土を追加しながら高さ 9m の盛土を強行したが、最終的にでき上がった形をボーリングにより推定した結果は図-1 のとおりである。盛土材料は

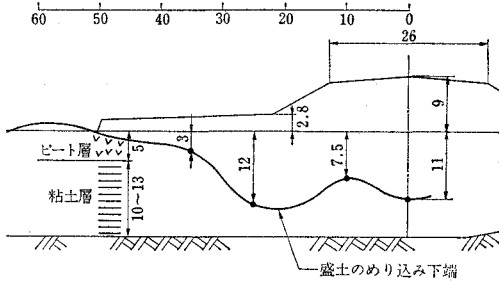


図-1 盛土のめり込みの例 (1)
(東名袋井の場合・単位 m)

ピート部だけでなく下部の粘土層にまで貫入しており、結局、基礎の軟弱部をすべて盛土材で置き換えたような形になっている。

図-2 は北海道江別市の国道 12 号の現道をボーリン

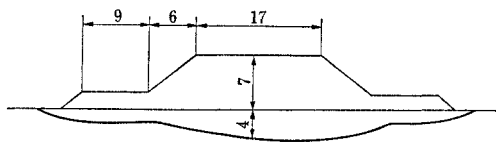


図-2 盛土のめり込みの例 (2)
(北海道 12 号の場合・単位 m)

* 日本道路公団 建設部建設第二課長

グした結果である²⁾。この地区も厚さ 7m のピート地帯であるが 7m の盛土高に対して盛土中心部では約 4m もぐり込んでいる。また、同地で高さ 1.5m の盛土高に対して盛土材は約 2m めり込んでいる。計画断面に対して 70~100% ぐらいの追加土量が必要となってくる。

軟弱地盤では、このような破壊のほかに沈下もまたなかなかやっかいな問題である。図-3 は東名高速道路の

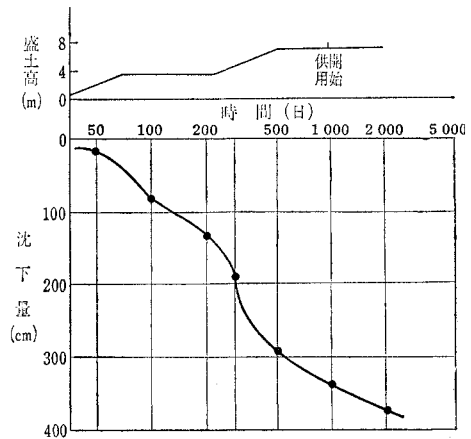


図-3 盛土沈下の例

静岡県下における沈下記録の一例である。沖積層の深さは約 30m と深い、この地点に約 500 日を要して高さ 7m の盛土を行っている。この建設期間中に地盤は約 3m の沈下を生じている。供用開始後もこの沈下はとどまることなく続いており、2000 日目沈下は 370cm に達している。すなわち、盛土終了後約 4 年の間に 70cm の沈下を生じており、しかも図に見られるように半対数目盛で直線的に沈下は進行しつつあり、今後もそのまま当分は続きそうな気配である。

名神高速道路大垣地区³⁾では沖積層の深さが 30m に及んでおり、沈下が相当長時間続くことが種々の調査結果から予測されていた。したがって、供用後も沈下のため舗装面がたちまち凹凸になることが予想されたので、仮舗装で供用した。この場合、仮舗装とはアスファルト表層 10cm のうち下部 6cm のバインダー部のみを表層材料で舗設し、上部 4cm を舗設しないことをいう。供用後、予期したとおり沈下が続き、橋梁取付部での段

差が至る所で見られた。段差が約 2 cm になると、アスファルト合材でパッチングを行ったが大体年 3 回ぐらいの頻度で補正している。これは、橋梁の前後約 20 m の間に薄い舗装を行う工事であり、金額的には大した額には上らないにしても、補正作業の難しさや交通規制等、危険を伴う仕事であり、担当者にとっては相当にやっかいな作業である。この地区では、供用後 4 年目に全面的なオーバーレイをやって本舗装を行い、路面の修正を実施した。沈下しすぎて追加舗装厚が 30 cm にもなる所があり、ガードレールのポストが半分にかくれたという珍事もある。また、オーバーレイした分だけ側溝は全面的にかさ上げする必要がある、非常に手間を要する作業である。このほか、盛土本体が沈下すると、周辺地盤も引きずられて沈下するという現象も見逃がせない事項であり、のり尻より数十 m 先まで、なんらかの影響を受けている場合がよく見られ、補償上も難しい問題となる。

以上、高盛土を主とする高速道路の弊害の例を述べたが、低盛土を主とする一般道路でも、路面の凹凸、舗装の破壊、あるいは橋梁取付部での段差などは、軟弱地盤地帯では至る所で見受けられる現象である。そして、落ち着くまでに相当の長年月を要し、現場担当者が維持補修に苦労しているのが現状である。

以上のように、軟弱地盤上に盛土すると、いろいろやっかいなことが多い。避けるに越したことはないが、逆に最近はずますずふえてきているという現象が目立つ。別に軟弱地盤の絶対値がふえたわけではないが、① いままで手つかずであった僻地にまで開発の手が伸び、軟弱地盤に遭遇する機会が多くなったこと、② 経済的・社会的条件の制約から、各種の事業が放置されていた湿地帯に進出せざるを得ないという事情、また、③ 構造物や盛土の高さなど上載荷重がふえてきたため、比較的硬い沖積地でも軟弱地盤としての考慮が必要となってきたこと、さらに、④ これらを克服する土木技術が進歩して、経済的に軟弱地盤へ進出することが可能になってきたこと、などの状況の変化に起因すると思われる。そして、前述のようにいろいろやっかいな問題を抱えながらも、土木工事の中に含まれる軟弱地盤の割合は、ますますふえつつあるというのが現在の情勢である。

2. 軟弱地盤対策工法

軟弱地盤の設計にあたって考慮すべき基本的条件は、

① 工期、② 工費、③ 維持補修、の 3 項目であり、軟弱地盤処理の方法としては、国鉄池田博士⁴⁾の表現を借りれば

- ① 時間をかける
- ② 金をかける

③ 維持補修に手間をかける

ということになる。このうちのどれかひとつを満足すれば、たいていの軟弱地盤は処理できることになる。

最も手っとり早いのが、時間をかけるということだろう。地方の道路で、盛土をしたまま放置し、数年がかりで沈下の落ち着いた所から舗装をするという方法は生活の知恵として自然発生的にとられてきた緩速施工法である。しかし、最近はずせかく取得した用地を盛土したままほったらかしておくほど余裕はない。金をかけてでも早く供用する方法がとられる。金をかけるとすれば、まず高架等の構造物にする方法がある。硬い地盤まで基礎をおけば最も確実な軟弱地盤対策工法となり、治水上問題のある所では避避をかねるので最近使われる割合が多くなっている。上記の表現において最もよく使われるのは、維持補修に手間をかけるという方法であろう。これは、むしろ安価で確実な対策工法がないままに、やむを得ず使わざるを得ない状態にあるのが現状であるが、先述のとおり、構造物取付部の段差修正や舗装のやりかえ、側溝の修正など、なかなかやっかいな仕事である。一般に、軟弱地盤対策工法とは、いわゆる金をかける工法によって短期間に確実に地盤を処理する方法であるが、その目的としては、① 沈下を促進させることと、② 土の強度を急速に増加させること、の 2 点である。この目的を達成する方法として土質力学の進歩とともにいろいろな工法が開発されている。各種の工法を目的別に分けると——いろいろな分類法があるが——現在、土工指針改訂委員会へ表-1 のような分類表が提案されている。沈下を促進させることと強度を増加させることは、大体同時に目的を達成できる場合が多いが、工法によっては独立している場合もあるので、対策工法は目的に応じて使い分けられるべきである。

表-1 において、盛土の場合多用される工法を順に述べると次のとおりとなる。工期の許す場合、緩速施工がとられるのは常識であるが、これはまたきわめて軟弱な地盤の場合、他工種、例えばサンドドレーンや押え盛土との併用によって安定を図らざるを得ない場合の必要最少限の工法でもある。

安定対策上の押え盛土は最も多用される工法である。

置換工法は盛土高の低い場合、軟弱層の全部あるいは一部を掘削除去して砂などの良質材で置き換える工法であり確実な処理法である。ただし、盛土高の高い場合には、ほとんど意味はないことに留意する必要がある。爆破により置換する方法は、土が多孔質のためそれほど期待できるものではない。

プレロード工法は、土工工程が二度手間になるため複雑ではあるが、安価にできる効果的な工法である。例えば、カルバートをつくる場合、前もって盛土を施工し、

表-1 対策工法と効果

工法区分		沈下対策		安定対策	
		せん断変形抑制	圧密変形促進	せん断抵抗付与	強度増加促進
緩速施工		○			
押え盛土				○	
地表強化	サンドマット	○		○	
	シート, ネット				
	敷そば, いかだ				
除去置換	掘削除去	○		○	
	載荷強制除去				
	爆破除去				
プレロード	盛土載荷		○		○
	真空圧載荷				
	水位低下				
パーチャルドレン	サンドドレーン	○			○
	カードボードドレーン				
	その他				
締め固め	サンドコンパクションパイル	○		○	
	石灰杭その他				
	バイプロフローテーション				
排水	ウエルポイント		○		○
	その他				
その他	杭打ち矢板	○		○	
	固結				

将来沈下に見合う分だけ事前に基礎地盤を沈下させておく。その後で盛土を除去してカルバートを築造する。道路の場合、カルバートの下に基礎杭を打って沈下を防止するよりも、プレロード工法によって処理して、将来、盛土部と同様に沈下させる方が路面の平坦性を保ちうる長所を有するので、高速道路のカルバート、管路などはすべてこの工法によっている。一般盛土部でも、供用後の残留沈下をなくするために計画盛土高以上の盛土を前もって施工し、沈下が進行した後に余盛部分を取除く工法がよく使われる。真空圧を用いて地盤にプレロードを加える方法も原理的には可能であるが、実用上はいろいろな問題があるようである。

対策工法として最も多用されるのはパーチャルドレン工法であり、とくにサンドドレーンは軟弱地盤対策工法と同義語の感さえる。地中に砂杭を打ち込んで過剰な間げき水の脱水を図り、圧密を促進させることによって沈下を早め、また土の密度を増大させようとするもので、最も合理的な方法である。砂杭の代わりに厚紙を地中に圧入して脱水を図ろうとするのがカードボードドレーン工法であり、ペーパードレーンという呼び名で最近各地で使われている。

基礎地盤をなんらかの物理的方法で締め固めて密度を増加させ、支持力を増加させようとするのが締め固め工法である。サンドコンパクションパイル工法は、砂を機械的に強制圧入して密度の高い砂杭をつくり、周辺の基礎地盤の密度を増大させるとともに、砂杭自体の支持力も期待しようというものである。この工法は、シルト質地盤の場合に最も効果があるとされており、PEAT地盤のような超軟弱地盤にまで締め固め効果を期待するには無理がある。基礎地盤を振動により締め固めるのがバイプロフローテーション工法であり、砂質地盤の地震対策として有効に使われている。

排水工法は仮設工事によく使われる。とくにウエルポイント工法は砂質系の地盤の基礎掘削に有効であり、鋼矢板で締め切る必要もなく、安価な工法として定着している。

このほかにも、いろいろな工法が土質力学の発達に応じて案出されている。とくに、電気的あるいは化学的に特性を生かして土を固結させる方法が数多く提案され、基礎工事の場合に成功を収めているようである。しかし、これらの工法を盛土工にまで応用するには、効果的であるかどうか、また経済的にもまだ実用の段階には入っていないというのが現状である。

3. サンドドレーンの有効性

先述のとおり、軟弱地盤対策工法として近年いろいろな方法が開発されてきた。しかし、それでも軟弱地盤対策工法といえばサンドドレーンやカードボードドレーンなどの排水工法が使われることが圧倒的に多い。この種の工法のうちの一例について最近の伸び率を見ると図4のとおりとなり、全国の建設投資額と同じ傾向で伸び

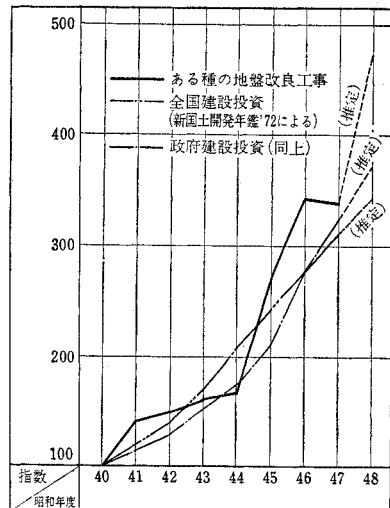


図-4 建設投資とある種の地盤改良工事額との関係

ており、年ごとに多量に使われる傾向にある。

ところで、このサンドドレーンが果して効くのか効かないのか、という議論が最近の土質工学界を賑わしている。名神高速道路建設の際、濃尾平野の大垣地区で深さ30mの軟弱地盤地帯を延長7kmにわたり通過することとなった。当時、沈下の推定法としては——現在もそうであるが——テルツァギーの圧密論を用いた計算法が最も理論的な方法として考えられており、またサンドドレーンの計算法もバロンによる理論が明確に確立された状態にあった。したがって、種々の土質調査や詳細な圧密計算の結果、当地区の沈下には相当な長時間を要することが予測されたのでサンドドレーンで処理する計画をたてた。しかし、排水層の決め方、異なる土質常数をいかにして平均化するか、その他具体的問題についてはいろいろな疑問が残っていたので、昭和36年に実物大の試験工事を行い、設計施工の指針を得ることとした⁹⁾。サンドドレーンは打設間隔の短い場合(1.6m)と長い場合(2.4m)、打設長さの短い場合(8m)と長い場合(22m)という条件とし、比較のために無処理区間を設けて延長170mの試験工事を行った。結果は図-5のとおりである。この図でサンドドレーンを長く打設したB区間の沈下量の絶対値がいくらか大き目ではあるが、これは地盤の差によるものであって時間-沈下の相対的な関係については四者ほとんど同一傾向であり、相互の間に有意な差を認めることはできない。すなわち、理論に反してサンドドレーン間隔が広かろうと狭かろうと、さらにはそのうえサンドドレーンを打とうと打つまいと、沈下の形はほとんど同じであるという結果が出た。理論値が実測値よりも優先するような理解をしていた当事者にとって、これはきわめてショッキングな結果であったが、事実はそのまま認めざるを得ず、この地区の盛土はすべて無処理のまま施工することとした。

昭和39年に東名高速道路厚木地区で当時使われ始めていたカードボードドレーンを採用し、サンドドレーンとの比較試験工事を行った⁹⁾。結果は図-6に示すとおりである。この図でも、前図同様カードボードドレーンとサンドドレーン区間の沈下曲線は無処理区間の曲線とほとんど似たような形をとっており、三者の間になんら有意の差は認められず、ドレーン工法が効かないというデータを

示している。

昭和47年に土質工学会でこの点に関して各方面の担当者に報告を求めた⁷⁾。その結果、建設省6例、道路公団5例、国鉄3例、計14例の比較試験を行った結果が報告された。これらはいずれもサンドドレーンと無処理との間に有意差はなく、サンドドレーンは効かないと結論している。

これに対し、港湾、埋立地など臨海部からの報告は効

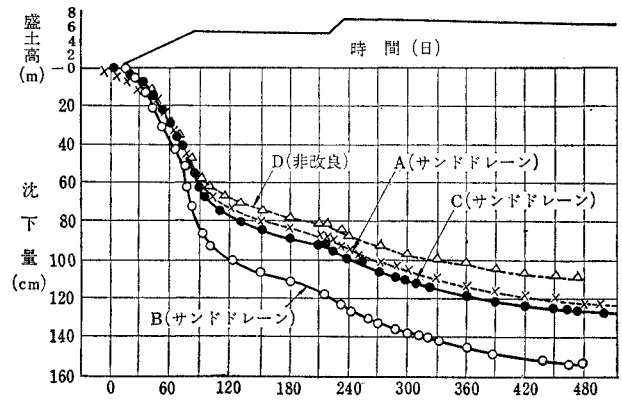


図-5 大垣試験工事の沈下曲線

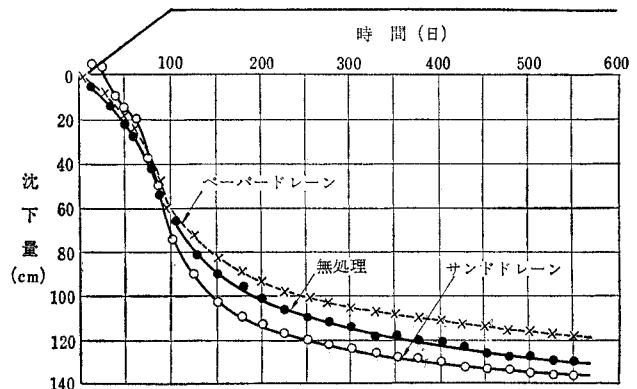
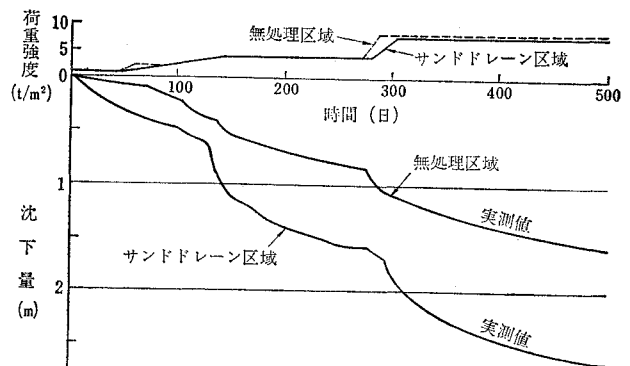


図-6 厚木試験工事の沈下曲線



(広島空港)

図-7 沈下記録の一例

果ありとしている。例えば、運輸省から報告された広島空港拡張工事⁹⁾の例は図-7に示すとおりであり、明らかにサンドドレーンの有効性を示している。

このような食い違い、すなわち道路・鉄道などの山側では効かないといい、海側では効果ありとする意見はそのまま工事面に反映され、山側ではほとんど無処理で盛土を行い、海側ではサンドドレーンなどで処理して盛土するのが一般的傾向である。

この工法の創始国アメリカでも同様に意見は分れているようである⁹⁾が、何故にこのような差が出るのか今のところ説得力に富む説明は見当らない。現在考えられることとして海と山との土質の相違によるのではないかということ、海と山とでは盛土の形が異なるので荷重の差によるのではないかという2点が考えられる。後者について、海側の工事は、空港とか埋立地などのように広い範囲の盛土、すなわち応力上は無限に広がる荷重が加わるのに対し山側では道路盛土のように有限の形をした帯状荷重が加わることになること等が考えられている。そもそも盛土荷重を加えたときの沈下とは、間げき水の脱水に伴う体積収縮、すなわち圧密現象による鉛直変位が生ずるとして、沈下計算は行われるが、このほかに荷重を加えたことによるせん断変形、すなわち横方向への流動による鉛直部分の変位が生ずる。ピート地盤のように、土の持つ抵抗が弱ければ弱ほど流動に起因する鉛直変位が大きくなる。図-1で示したピート地盤でのめり込みは、まさしくこの例である。盛土荷重を加えた場合にどの程度のせん断変形が起るのか正確に確かめる方法はないが、弾性論によると、荷重の形によって生ずるせん断応力は大きく異なってくる。すなわち、無限に広がる荷重が加えられた場合、地下水位以下の地盤には等方圧力が加わりせん断応力はゼロになる。圧密が進むと異圧力となり、せん断応力が働くようになるが、側方変位を拘束されているために、変位は鉛直方向にしか生じない。これに反し、道路盛土のように台形荷重の場合にはのり面直下に大きなせん断応力が生ずる。例えば、標準的な例として天端幅 25 m、盛土高 7 m、のり勾配 2 割の場合について弾性論によりせん断応力 τ_{xy} を求めるとほぼのり面中央部の真下に最大値が生ずることになる。この場合、盛土荷重の 25% のせん断応力が働くが、盛土の単位体積重量を 2 t/m^3 とすれば、このせん断応力は $2 \text{ t/m}^3 \times 7 \text{ m} \times 0.25 = 3.5 \text{ t/m}^2$ の値となる。これに対し、軟弱地盤での土の粘着力は 5 t/m^2 以下、ピートな

ど場合は 1 t/m^2 以下であることを考えると、地盤によってはせん断応力による変位が相当量に達することは容易に推定される。これに反し、テルツァギーの圧密論は、その適用の条件として荷重が無限に広がるという場合に限定した理論である。したがって、圧密論による沈下計算値が実測値に合わないという議論はむしろ見当はずれであり、適用を誤っているわれわれの方に責任があるようである。このほかに、土質の堆積条件の差から、山側では砂層の存在が見られ、海側では見あたらないという土質の差も相乘されてくるものと思われる。

4. む す び

軟弱地盤対策は土木工事において最も問題となる重要な分野であり、土質工学とは軟弱地盤対策のための工学がそのほとんどである。土質工学の発達とともにいろいろな対策工法が開発されたが、実用上の効果としては未だしのものが多く、とくに盛土など大規模の場合、特殊な対策工法を使うことはコストの面からもほとんど採用されないのが一般的である。したがって、盛土の場合の対策工法としては、サンドドレーン、カードボードドレーンが採用されるのが実状である。この工法は、戦後急速に普及して相当の実績を持つものであるが、これを無批判に採用するには問題があり、場所により使い分けられるべきだという意見で、それぞれ勝手な使われ方がしているが、経済の見地からしても何とかすっきりした結論が待ち望まれる次第である。

参 考 文 献

- 1) 日本道路公団静岡建設局：東名高速道路袋井工事動態観測報告書、昭和 44 年。
- 2) 日本道路公団札幌支所：北海道縦貫道（札幌一岩見沢）軟弱地盤基礎調査報告書、昭和 48 年。
- 3) 日本道路公団名古屋建設局：名神高速道路大垣試験盛土報告書（中間、第 1 次～第 3 次）、昭和 36 年。
- 4) 池田俊雄：軟弱地盤と構造物、軟弱地盤の設計と施工の問題点、土木学会関東支部、p. 2、昭和 48 年。
- 5) 3) に同じ。
- 6) 日本道路公団京浜建設局：東名高速道路厚木試験盛土工事報告書、昭和 39 年。
- 7) 土質工学会：軟弱地盤小特集号、土と基礎、Vol. 20、No. 8、1972。
- 8) 中瀬明男・小林正樹：圧密による軟弱地盤の改良効果、土と基礎、Vol. 20、No. 8、1972。
- 9) 網千寿夫：パーチカルドレーン工法による軟弱地盤の改良について、土と基礎、Vol. 2、No. 8、p. 8、1972。

ダム基礎岩盤グラウチングの施工指針 900 円 会員特価 800 円 (〒 90)

ダム基礎岩盤グラウチングの施工実例集 13 000 円(〒とも)

土木工事の積算 2 200 円 会員特価 2 000 円 (〒 170)

市街地土木工事の仮設と安全対策 2 200 円 会員特価 2 000 円 (〒 170)
