

4. 東北地方における代表的工事の概要 石油備蓄関係の土木工事に関して

Chap. 4 Representative Construction Works Civil Engineering Works of Oil Storage Facilities

なが た ひで とし ちよう なん かつ お
 永 田 英 敏* 長 南 克 夫**
 く の ひで さと よし だ たけ ひさ
 久 野 英 郷*** 吉 田 剛 寿****

1. まえがき

我が国の石油国家備蓄計画は、昭和53年に制度化され石油公団による国家備蓄が開始された。この国家備蓄制度は、昭和63年度末までに3000万klの原油を貯蔵することを目標とするもので、以来、国家備蓄基地建設については、これまでに10地点の立地決定がなされ、現在建設が進められている。また、10地点のうち既に3地点では備蓄が開始されている。

東北地方では、むつ小川原（青森県）、秋田（秋田県）、久慈（岩手県）の3地点が選定され、各地点固有の条件をもとに検討された結果、地上式、地中式、地下式と異なった形式のタンク構造となった。現在、むつ小川原基地ではすでに運転中であり、秋田、久慈の各基地で建設中である。

ここでは、現在建設中の秋田および久慈の2地点の工事計画について概要を報告する。

2. 秋田石油備蓄基地

秋田石油備蓄基地は、現在、秋田県男鹿市船川地区において建設中である。当基地は、総容量約450万klの備蓄基地となるもので、昭和57年1月に立地が決定され、翌年昭和58年5月に着工した。基地全体は、西基地と東基地および海上の受払施設から成っている（口絵写真-7）。

当報告は、このうちの西基地地中式原油タンク工事（30.5万kl/基×4基、総容量122万kl）についてであり、1工区と2工区に分け、それぞれ2基ずつ建設している。現在は、タンク本体の構築がほぼ完了し、平成元年度オイルインの予定となっている。

当タンクは、岩盤（泥岩）中に建設される円筒型の地中式タンクであり、アンカー山留めにより岩盤を直掘りした後、タンク本体を順巻きで構築する工法を採用した。岩盤部の掘削規模は、直径約96m、深さ36~39mであり、直掘りとしては我が国でも最大級の掘削工事といえる。このような大規模掘削では、事前の調査ボーリング等により



図-1 国家石油備蓄基地位置図

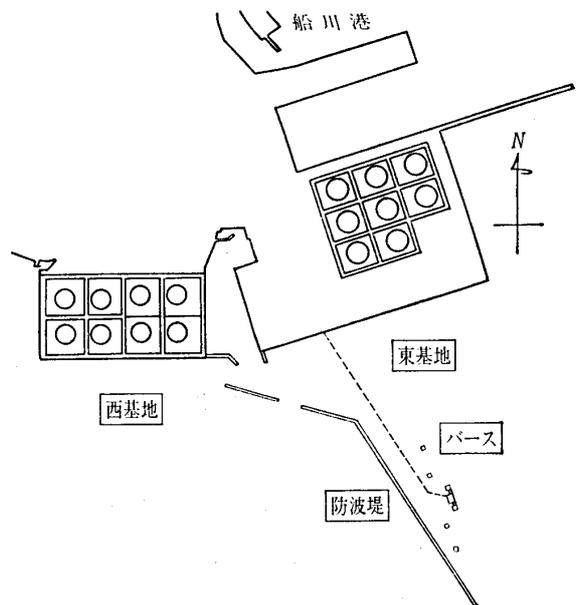


図-2 秋田石油備蓄基地の概要

詳細な地盤条件を把握することには限度がある。そこで本工事では、掘削の進捗に伴う地山挙動の動態観測および掘削壁面観察の結果を、工事にフィードバックする情報化施工を実施した。その結果、岩盤の局所的な弱部を早期に探知して適切な補強を講じることができ、昭和60年10月に無事掘削工事が完了した。

本稿は、この大規模軟岩直掘削工事の実績を、1工区を例にとりて報告するものである。

*秋田石油備蓄幹 建設部調査役

**日本地下石油備蓄幹 久慈事業所土木工事課長

***鹿島建設幹 土木設計本部設計長

****久慈地下石油備蓄基地 鹿島・西松・熊谷・奥村・青木・国土共同企業体工事事務所次長

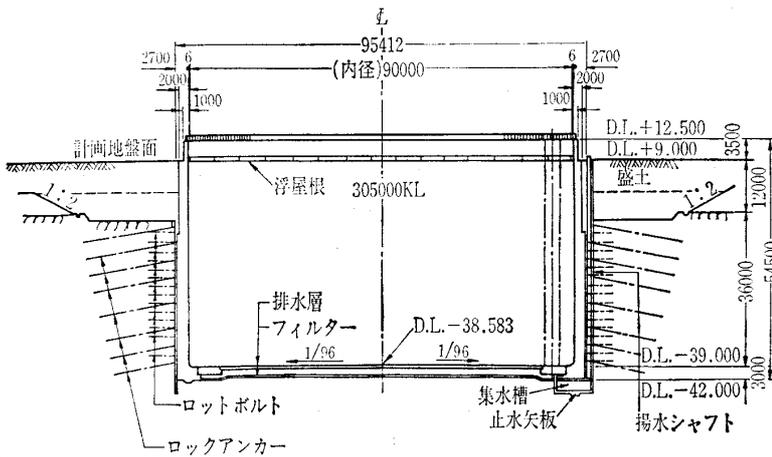


図-3 地中タンク構造概略図

2.1 工事概要

タンクの諸元は次のとおりである。

公称容量：30.5万kl

型式：揚水式地中タンク

内径：90.0m

側壁高さ：54.5m

最高液深：48.0m

一方、土留め工は次の仕様である。

形式：親杭アンカー山留め方式

親杭：鋼杭(2-[380×100])

ロックアンカー：SEEE ストランド (F 130~F 270)

ロックボルト：異形鉄筋 (D32)

吹付けコンクリート：t=80 mm

2.2 地盤条件

当地点の地盤は、新第3紀の船川層(厚さ約600~800m)が分布している。船川層は主として黒色泥岩から成っているが、所々に凝灰岩あるいは凝灰質砂岩の薄層を挟んでいる。地層は走向がほぼ東西方向で、傾斜が北落ち8~10°の単斜構造となっている。

泥岩の一軸圧縮強度(q_u)は20~50 kgf/cm²で、凝灰質砂岩は $q_u=100$ kgf/cm²近い強度を有している。一方、泥岩の圧密降伏応力(p_c)は、深度に関係なく $p_c=70\sim100$

kgf/cm²の範囲にあり、比較的高い応力履歴を受けていることがうかがわれる。また、その他の特徴としては、乾湿を繰り返すとスレーキング現象を起こしやすいことなどが挙げられるが、全体的には、ほぼ様な岩質を有する岩盤である。

2.3 山留め工

親杭は、外径95.4mの地中タンクの外周円に沿って5mピッチに設けられるもので、2本だき合わせの溝型鋼([380×100×13×20])を場所打ち杭工法で建て込んで設置した。親杭は、ロックアンカーの定着部となる一方、直掘削の定規の働きを持たせた。つまり、当工事では、掘削壁面を側壁コンクリートの外型枠としているため、親杭の建込みは高い鉛直精度が要求された。したがって、

削孔方法の選定に当たっては、施工精度が保て、しかも、泥岩地盤で大口径、大深度を効率よく掘れる新型リバーシ機を開発して削孔を行った。

一方、ロックアンカーについては、その基本となる導入力の設定を、FEMによる岩盤安定解析およびすべり計算法を併用して行い、1.5~4.0 tf/m²に設定し、さらに、アンカー導入後の張力増加(あと荷)を10%見込んでアンカーの仕様を決定した。しかし、初期の掘削段階における計測の結果、あと荷が10~40%程度見込まれたことと、総導入力が同じ場合、掘削上部の導入力が大きい方が地山安定上有利であると判断し、アンカー導入力の見直しを行った。

掘削中は、2mの掘削ステップごとに掘削壁面の地質、地層等の観察を行い、また、後述する計測管理と併用して、安定管理を行った。その結果大部分は事前の地質調査結果で想定した地層構成であったが、一部岩盤の弱層箇所が確認された。そのため、この部分について最終掘削までの予測解析を行い、安定上問題となる箇所についてはアンカーの増打ちによる補強を行い、何ら問題なく最終床付け面に到達した。

さらに、掘削壁面の肌落ち防止および劣化防止としては、厚さ80mmの吹付けコンクリートを行った。また、掘削から吹付けまでの期間が、壁面でのほかの工種との関係で、3日から1週間程度要したため、この間の一時的なスレーキング防止を行う必要があり、現地での対策工法比較試験の結果、有効であった「特殊アクリル樹脂プライマー」を下地吹付けとして採用した。

2.4 計測工

岩盤掘削工事期間中に実施した計測内容は、大別して掘削による地山変形挙動と地下水の挙動観測であり、十数項目の測定データを総合的に活用して管理した。

地山変形挙動に対する安定管理は、地山のひずみ、ロックアンカー張力、地質観察を対象にして行った。このうち地山のひずみについては、地山の変形モードを4種類に分

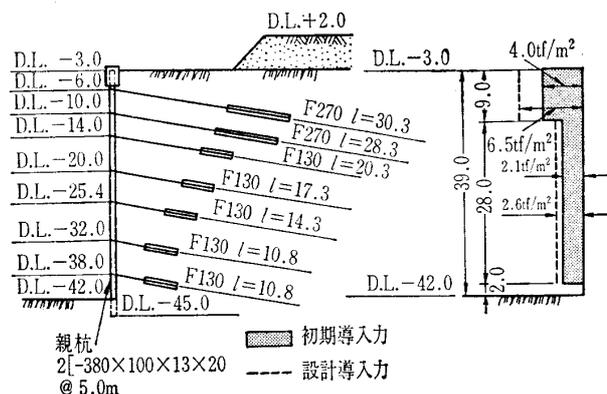


図-4 ロックアンカー計画(見直し設計)

モード分類	一様変形	全体すべり		薄層すべり
		前倒れ	中はらみ	ずれ変形
γ	なし	δ_H/H	δ_H/h	δ_H/T

γ : 岩盤のせん断ひずみ

図-5 地山変形モードとせん断ひずみ

表-1 直面掘削時の管理基準

管理項目		STEP-I	STEP-II	STEP-III
地質調査		・割れ目、弱部は若干あるが、その連続性はない。	・注意すべき割れ目、弱部が確認され連続性がある。	・警戒すべき明確な割れ目、弱部が確認される。
計測変形	前倒れ 中はらみ パターン	$\gamma = 0.27\gamma_0$ (γ_0 : せん断ひずみ γ_0 : 限界ひずみ 1.0%)	$\gamma = 0.47\gamma_0$	$\gamma = 0.67\gamma_0$
	ずれパターン	$\gamma = 0.33\gamma_0$ ($\gamma_0 = 2\%$)	$\gamma = 0.67\gamma_0$	$\gamma = 0.83\gamma_0$
管理	でき型	最大変位量 13cm	側壁増鉄筋で対応	同左
管理	ロックアンカー張力	$0.9p_0 < p < 1.1p_0$ (p : 実測値 p_0 : 初期導入力)	$0.70p_u$ または $0.85p_y$ (p_u : 極限引張り力 p_y : 降伏引張り力)	p_y

類し、それぞれのモードごとにひずみを算定して、それと泥岩の限界ひずみから設定した管理基準と照らすことにより行った。当地点の泥岩の限界せん断ひずみは、一軸圧縮試験結果から1.0%に設定した。

当工事で採用した管理基準を表-1に示す。

地山変形測定の結果、最終掘削状態における壁面の最大変形量は約3~10cm程度であるが、その内訳は、弾性的変形量が3~5cm、ずれ変形量が0~5cm程度となっている。ずれ変形は、不連続面の存在等局所的な地質要因によるものであり、この部分の変形を除けば、当初FEM解析で予測した値に近い値であった。

一方、ロックアンカーの張力については、アンカー導入後の張力増加荷重(あと荷)は、弱層等が関係している箇所では40%程度に達している例もあったが、一般部では平均15%程度であり、計画荷重以内であった。

2.5 あとがき

本掘削工事は、事前の確認調査試験および掘削途中の動態観測を実施し、諸条件の早期把握と対策を講じたことにより、無事所定工期内で終えることができた。今回の大規模な軟岩掘削工事で得られた数多くのデータおよび経験を今後の同種工事に反映させていく予定である。

3. 久慈地下石油備蓄基地

久慈地下石油備蓄基地は、岩手県久慈市の北東部に位置する半崎地区に、現在建設中である。本基地は、菊間基地・串木野基地とともに、我が国には前例のない地下岩盤備蓄方式の原油貯蔵施設である。

地下備蓄方式は、保安防災と環境保全の面で特に優れており、規模が大きくなれば経済的にも有利であると言われており、欧米ではすでに実用化されている。我が国においては、石油公団により、太陽石油(株)菊間製油所敷地内において、昭和55年から57年にかけての実証実験が行われ、我が国においても適用可能であることが確認された。久慈地区は、昭和56年より立地可能性の調査が行われ、昭和61年4月に立地が決定した。

本基地は、地下水面下の岩盤内に掘削した10本の空洞の原油貯蔵施設、基地沖合2.2kmに設置される10万DWT級係留施設および海底パイプライン、基地に隣接する県の埋立造成地に設置される地上施設よりなる。

昭和62年1月に非常用トンネルが着工されたのに引き続き、東杭口の各アクセストンネル、水封トンネル、貯油槽と順次着工され、平成5年2月のオイルインの予定となっている。

3.1 工事概要

久慈基地の貯油槽は、掘削断面が卵型で花崗岩中に掘削された10本の地下式タンクから構成され、備蓄容量は175万klとなっている。岩盤タンクおよびその他の付帯するトンネルは、坑口部を除いて全面的に吹付けコンクリートとロックボルトを支保工とするNATM工法が最終支保工として採用されている。岩盤タンクの掘削は、断面積約330m²の地下空洞を総延長5400m掘削するというものであり、我が国では前例のない岩盤掘削工事である。

本文においては、貯油槽の岩盤タンクを中心に、計画の概要について報告する。

原油貯蔵施設の全体鳥瞰図は図-6に示すとおりであり、

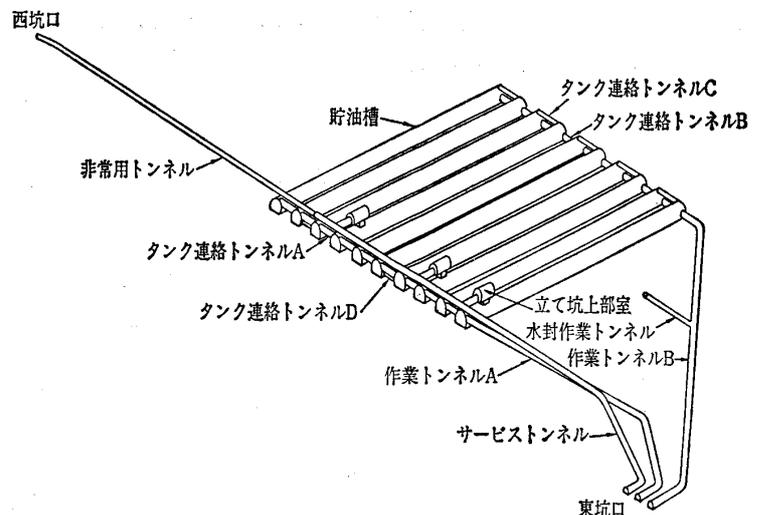


図-6 久慈地下石油備蓄基地全体鳥瞰図

表-2 施設計画概要

敷地面積	地上部 (ha)	約 6
	地下部 (ha)	約 26
貯油施設	全備蓄施設容量 (万 kI)	175
	岩盤タンク	横穴式水封貯蔵
	水床方式	固定水床式
	貯蔵圧力 (kgf/cm ²)	-0.1~0.4
	水封方式	人工水封
	設置深さ(天端)	海面より (m) 約-20
		地表より (m) -100 以深
	寸法:幅×高さ×長さ (m/ユニット)	18×22×1 100~2 200
貯蔵容量 (万 kI/ユニット)	34.3~69.0	
ユニット数	3	
備蓄施設容量 (万 kI)	175	

表-2 に施設計画概要を示す。口絵写真-8 参照

貯油施設は、貯油槽、貯油槽を掘削するための作業トンネルA・Bならびにタンク連絡トンネルA・B、貯油槽のユニット間を接続するタンク連絡トンネルC・D、火災等の緊急時のための非常用トンネル、原油受払い用配管を設置するサービストンネルおよび貯油槽を人工水封するために設けられる水封トンネルならびに水封作業トンネルより成っている。

3.2 地形・地質について

貯油槽は、久慈市北東部の丘陵地に位置し、東側は太平洋に、南側は久慈湾に面している。丘陵地は標高 200m 以下であり、東北東-西南西の主沢によって開析されている。

山頂部は定高性を示し、海岸沿いには高さ70~80mの海食崖が形成されている。

貯油槽付近に分布する海岸段丘は、高位と低位に大別され、それぞれ戸段丘、白前段丘に対比される。高位段丘面の標高は170~180mであり、面の傾斜は極めて緩い。低位段丘面は標高 80~150m を示し、高位段丘の周辺部に位置し、海岸へ向かって緩やかに傾斜している。低位段丘は、場所によって標高 135~150m の面と 80~110m の面とに 2 分される。

貯油槽の地質は主として花崗岩からなる。

表-3 力学物性

断岩試験せん		モール・クーロンのせん断抵抗式 (kgf/cm ²)			
	C _M 級岩盤	$\tau = 33.6 + \sigma \tan 51.4^\circ$			
	C _M 級岩盤	$\tau = 39.0 + \sigma \tan 60.1^\circ$			
岩盤変形試験		変形係数 D(×10 ⁴ kgf/cm ²)		弾性係数 E(×10 ⁴ kgf/cm ²)	
		範囲	平均値	範囲	平均値
	C _M 級岩盤	4.6~14.5	8.2	9.9~15.3	12.1
	C _M 級岩盤	9.9~22.5	14.9	18.4~58.9	27.8
初期地圧測定		貯油槽横断方向の水平応力 σ_H (kgf/cm ²)	鉛直応力* σ_V (kgf/cm ²)	水平応力と鉛直応力の比 $\lambda(=\sigma_H/\sigma_V)$	最大水平応力の方向
	オーバーコアリング法	30.2	32.7	0.92	N49.2E
	A/E法	38	39	0.97	-

*測定深度での土被り圧は 3.5 kgf/cm²

表-4 貯油槽計測項目一覧表

計測項目	頻度	期間・その他
切羽部地質観測		
① 目視・スケッチ	1回/1進行長 連続スケッチ	全掘削期間 頂設導坑掘削期間
② カラー写真	全断面部、導坑部、切 抜部 4枚/1進行長 盤下げ部 2枚/1進行長	全掘削期間
既施工区間変状観察	1回/半月~1回/月 (一般部)	掘削期間(1回/半月) および掘削完了後観察 可能期間(1回/月)
・吹付けコンクリート 面の亀裂状態、ロック ボルトの変状の有 無を確認するパトロ ール	1回/日(必要箇所)	掘削期間
・変状部の追跡記録	1回/日~1回/2日 (必要箇所)	変位が終息するまでの 間(1回/日)および 変位終息後6日間(1 回/2日)程度
内空変位計測		
天端下量計測	1~2回/月(必要箇所)	掘削期間
埋設計器計測	1回/日・定時および必 要時(必要箇所)	掘削期間
① ロックボルト軸力計		
② 地中変位計		
弾性波探査	特記仕様書に基づく	掘削期間

本工事に先立って、調査横杭を貯油槽の頂部の深度まで掘削して構築したが、これによると、花崗岩はC_M級を主体とし、貯油槽設定対象区域を含めた広い範囲で、ポーリ

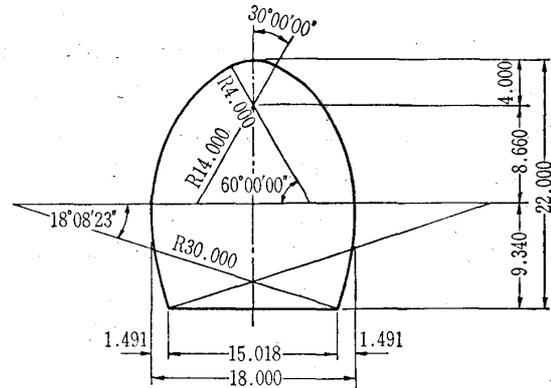


図-7 貯油槽標準断面

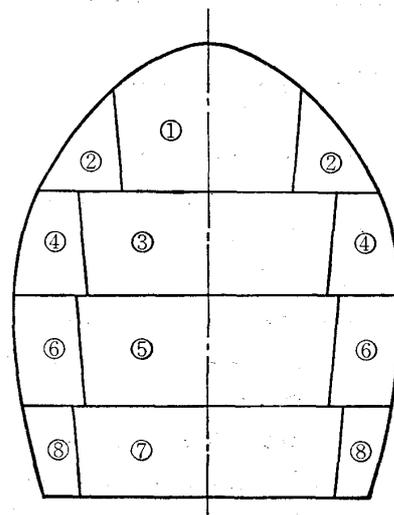


図-8 貯油槽加背割図

ング調査によって求められた岩盤等級の頻度分布とほぼ一致している。調査横杭における岩質、力学物性を表-3に示す。

3.3 工事計画と計測計画

本基地の貯油施設建設工事は、規模および施工速度において、我が国では前例がない岩盤掘削工事である。その内、主要施設であるアーチ部①を頂設として掘削後、土半発破およびベンチカット発破を行い、順次切り下げて大断面を掘削する。

次に、貯油槽で計画されている計測項目を表-4に示す。

内空変位および天端沈下測定は、貯油槽30mに1断面のピッチで設置される計測断面で行う。内空変位測定は、プリズムと光波測距器によって行う計画である。

また、埋設計器による測定は、貯油槽1本当たり2~3測線設置して実施する。測定項目は、ロックボルト軸力お

よび岩盤変位が計画されており、測定データはトンネル坑外の計測室で自動計測される。

さらに、切羽部地質観察については、1発破進行ごとに地質状況を目視によって確認して、地質展開図に詳細を記録することとしている。

3.4 あとがき

本基地建設工事は、地下備蓄方式の石油貯蔵施設であり、我が国初のプロジェクトである。本基地建設に当たっては、実証プラント建設・立地可能性調査等建設に関する研究調査は長年にわたって行われ、種々の検討がなされてきた。工事は貯油槽に着手したばかりであり、今後工事の進捗に伴って、幾多の問題に遭遇すると思われるが、オイルインに向けて努力してゆきたい。各方面の御援助をお願いしたい。

書籍紹介

土壌地理学序説

松井 健著

土壌学は土質工学の周辺関連分野の一つとして位置付けられ、その接点は土の物理化学的性質をはじめ、生成、分類などの本質論や土質改良、地すべり、のり面緑化などの工学的課題にも及ぶ。しかし、接点の多さにもかかわらず、土質工学分野への土壌学の研究成果、手法の移転は必ずしもスムーズとは言えない。この理由にはいくつかの原因があるが、土壌学が農学部で農芸化学科で教育され、実用上の成果の多くが農林関係で生まれていることと無関係ではないであろう。必然的に土壌学の教科書、研究書も主な視点を農業に向け、特に、化学、植物栄養、肥培管理に重点が置かれ、土質工学関係者にはとっつきにくいものとなっている。

ここに紹介する『土壌地理学序説』はこれまでの土壌関係書とちがひ、野外科学としての土壌学の確立を試みる著者の長年のフィールドワークの集大成の序論である。著者は土壌を単に作物栽培の場としてではなく、動植物と同様な自然体としてとらえるペドロギーの日本における創始者の一人であり、この本は土壌の生成、分布の地理的法則性に視点を置いたユニークなものとなっている。

まず土壌地理学の性格について紹介したのち、野外での調査法を実践的に述べている。土質調査の際の観察、記述の手法にも参考になろう。つぎに、土壌の構成成分、性質の記載があるが、これは最小限に止めている。土壌の生成過程、因子についての記述は従来の教科書より密度が高

く、土質力学的性質の持続性、土構造物の耐久性を考える際のヒントを与えてくれる。つづいて、土壌の分類方法を紹介している。ここでは、土壌を素材、成因、気候などの生成因子によって生じた自然体としてとらえる立場と実用的分類に徹する立場の両方が述べられている。日本の水田土壌のように人為的影響の強い土の分類では独特の分類法が提案されて興味深い。最後に、世界と日本の土壌の分布が述べられ、まさに、土は動植物と同様に地球上の緯度と高度によってバラエティーが生まれており、同じような外見でも土の種類、性質は異なることを教えられる。海外での建設工事、コンサルタント業務がますます多くなる昨今、外国の土に対する正確な知識が必要とされるが、個々のサイトの土質調査データの解析にも、この種の知識は必須となる。

土質工学では土は素材、材料にすぎず、工学的性質はその粒度、物理・化学組成、水分状態などに支配されると考え、土質調査ではこれらを調査項目に組み込んでいる。しかし、土のこのような材料特性が一定の法則性にしがって地理的に分布するものなら、これを利用しない手はない。本書には土質工学的データの記載はないが、ここに記載された土壌分布との重ね合わせができれば有効性がさらに増すであろう。今後の土質工学の発展の一方をも示唆しているように思う。

(川地 武)

A 5 判 316ページ 1988年3月発行
定 価 2,900円
発行所 築地書館(株) 03-542-3731
東京都中央区築地 2-10-12