

総合研究 関東ロームの地質工学的研究

産業地質グループ

551.79 : 551.216 : 624.13(521.25+521.29)

「関東ロームの地質工学的研究」に関する序説および総括

尾原 信彦*

Preface and Completion Concerning the Synthetic Researches for "Kwantō Loam"

By

Nobuhiko OBARA

Abstract

"Kwantō loam beds", which cover all over hilltops in Kwantō Plain, consist of the aeolian strata of volcanic ashes, having been ejected out of Mt. Hakoné and Mt. Fuji in about the end of Pleistocene epoch. They have the thickness of 3 ~ 4 m even in the eastern and northeastern districts, extending far from Tokyo City. This special soil has hindered evidently various kinds of engineering works, such as road construction, mansion building and factory foundation. Basic studies are demanded as to "Kwantō loam beds", accordingly two model fields for experimental study are chosen at Sawara (Chiba Prefecture) and Iwatsuki (Saitama Prefecture). The leader of the project team has brought forward such methodology that the team must start from the fundamental consideration <<geology>> and approach to technical contemplation, i.e., static conception ought to be convertible into dynamic fancy through mental process, when the team is confronted with the case of regional development. Every member of this team has paid sincere efforts to create newer technique or more rational device with successful consequences.

1. 研究の動機

東京周辺の地域開発の動向は最近ますますそのテンポを早め、かつての摘草の名所は今や黄褐色の煙を吐く化学工場に取って代わり、栗拾いに行った雑木林には高速道路のインターチェンジが造られ、また早春に散歩した麦畑は、晩秋には殺風景な住宅団地に変貌したなどという会話が、日常茶飯事となってきた。

さて、はてしなく続く関東平野一帯の丘陵地、台地の頂部は「関東ローム」と呼ばれる煉瓦色の赤土で覆われているのを見るのが常である。ところが意外なことに、道路・溝渠の開鑿あるいは高層ビル・巨大工場の建設に際して、この赤土が必ずしも望ましくない阻害要因となって登場するのである。というのは火山灰起源のこの赤土

は、あらゆる点で沖積土とは性質が異なり、とくに雨水・地下水に弱点を露呈し、こね返えしが加わった場合には、締固めができなくなるものなので、近代装備をもって臨んだ各種工事に、“待った”が掛かったり、また莫大な失費の原因となるという厄介な特殊土なのである。

この“関東ローム”の鉱物的本質は物理性・力学性と絡み合って、今なお未知の点が多く、ここ数年来各方面から本格的な基礎研究が要望されてきた。そこで産業地質グループでは、改めてその取組み方を考慮して、2カ年にわたり、下総台地および大宮丘陵にモデル地区を設定し、地質工学的な研究を実施することになった。初年度は佐原市与倉および成田市酒々井・千葉市四街道、次年度はこれらと少し距離をおいて、岩槻市近傍を選定することができたので、各種の試験を実施し、かなりの成果を収めることができた。

* 応用地質部

2. 方法論

基礎知識から応用面への展開過程に関する研究の意義づけ

この総合研究で採上げようとする主題は、“関東ローーム”にどのような現代的課題があるかを意識しながら、当面する地域開発にも焦点を当てて、新しいアプローチの方向を模索することである。

“関東ローーム”と地域開発との結びつきについては、前述のように両者には最近の土木工事の進行状況をみれば、深い関係の存することが判るであろうし、今後の“関東ローーム”論は地域開発を十分に解析しうるだけの視野を拓げ、実証研究を積み重ねる必要がある。われわれ研究者としての姿勢は狭義の学問領域にはあまりこだわらない方が適切であり、したがってこれから各メンバーが論じようとする主題も、通常的地質学の枠からはみ出す部分もあろう。あえていうならば、そういうところが現代的課題なのである。

一方地域開発という緊迫した多元的な問題にとっては、以下数篇にわたり展開される各メンバーの考察は、そのごく一面を採上げうるに過ぎないし、今のところ、開発自体を正面から論ずるのでもない。ここでの課題は、各メンバーの最も専門に近い分野から接点をみだし、それを窓口として今後の研究課題を探り、かつ拡大して行くことである。

この総合研究の意図は、そもそも“関東ローーム”とはいえ、それ自体地質学の原点から出発し、技術的な接近

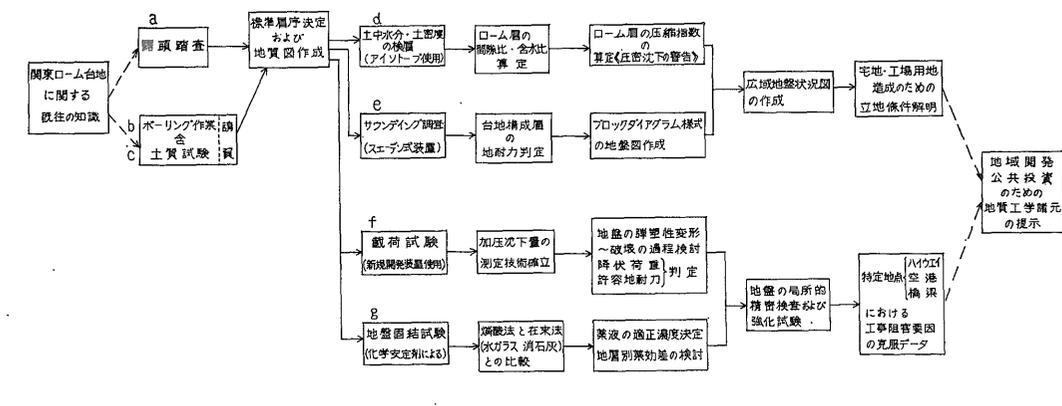
をはかって、完結に導こうとする応用地質学の1触手の発展過程を呈示するのである。まず関東ローーム層の本質(静的解明)から開発技術への発展(動的解決)を示して、そのうえで視点の移動の必要性を強調する形を採るが、さらにこうした議論の中で、とくに技術論に言及することが副次的な意図でもある。

関東ローームの技術的窮極解決は、地域開発における阻害要因を克服するための新規手段を創始することに相当し、学問体系の転換を意味する位の努力が払われて、初めて解決の目途が立つことを、ここに強調しておきたい。一般的に言って、研究開発に際しては、著しい不確実性が伴われるもので、一気呵成という進歩はなかなか望めないのは当然である。すなわち結論の凝固は逐次的段階的であるべきであり、またそれに関連してある程度の重複は、結果的には却って進歩を早めることにもなる。

以上、認識論的な純粹論理を開陳しながら、基礎知識から応用分野への展開を企図する場合の深層心理<意識>の動き方を述べたまでである。これは、今回の研究の進め方を総括するに際して、応用分野への展開がいかに至難であるかを、各メンバーの心情にまで立入って、理解し得たことを改めて述べてみたものに過ぎない。

3. 実地研究計画

下総台地と大宮丘陵の各モデル地区における2カ年懸りの研究内容を括めるに当たり、さらに具体的な進め方を詳述しておこう。



i	ii		iii	iv	v
前提	現地野外調査		地質工学的実証	産業地質的判定と調査資料提出	目標
	A 一般地質(原点)	B 土木地質的アプローチ			

第1図 関東ローームの地質工学的総合研究の進歩過程を示すフローチャート

体系的過程を経たうえで、目標に到達しようとの筋立てを予め論理的に説明しておく意図のもとに、前節では敢えて方法論の展開を試みた。これを現地において実現させるには、どのような具体性をもって取組むかを示さねばなるまい。研究計画を開始するに先立ち、なるべく現実に即しうるように、個別的野外作業ならびにその解析なり演習なりを織込んだ脈絡系を、フローチャートの枠組で示すこととし、これを別図（第1図）に示しておいた。

前提〔1〕から目標〔5〕までの中間に、現地野外調査〔2〕、地質工学的実証〔3〕、地域開発用の産業地質的判定ならびに調査資料提出〔4〕という3段階の発展過程をたどる。このチャートを眺めると、各メンバーの出張中の野外作業は〔2〕に一括され、帰庁後〔3〕から〔4〕にかけて、室内にて手を動かす操作（作図・試験・演算・作表等）から、さらに頭脳を働かせる判断要素の多い仕事（文献渉読・演繹推理など）に進む状況が明確になる。

このチャートに示した思考過程は、応用地質調査研究の分野では、一つの合理的なパターンとして普遍性をもち、したがって類似研究のテーマに際しても適用させることができよう。

4. 現場実験の状況

4.1 前提〔1〕

既往文献などから問題点を整理してみると、

- (イ) 関東ローム層が通常の沖積土（河・湖・海成層）に較べて、いかに隔絶した特異性をもっているかを量的に示しうるか。
- (ロ) 関東ローム層と台地構成層に関する特色が、工学的パラメータで表示でき、それがどのように地域開発工事などを制約するか、あるいはまたそれが難工事などの対策にいかん利用できるか。

上述の2つの点を中心にして、現地調査研究計画を立てることになった。

4.2 現地地質調査段階（〔2〕の前半…原点）

前半では露頭調査（チャートの記号a）と地質ボーリング(b)（土質試験(c)を含む）を行なった。モデル地区に関する地質概念を念頭に収め、一応岩相・層序などを確認して、地質図を作成した限りでは、およそ次のようであった。

坂本技官は佐原から酒々井にかけての下総台地および大宮丘陵の一般地質を、自らの踏査と既往資料とを巧みに融合させつつ、この方面の関東ローム台地の実情を解明した。すなわち両地区とも、下末吉面に相当する段丘

性の台地の地表から数mまでは、立川・武蔵野ロームで覆われ、その下には凝灰質粘土（下末吉ロームに相当、層厚2～5m）が見られ、以下には台地構成層（層厚10m内外で砂層からなり、下総台地では成田層、大宮台地では東京層）が現われ、佐原では基底の不整合面を隔てて成東層（砂鉄質粗砂層）に替り、岩槻では東京層下部は介殻混りのシルト層に移行する。関東造盆地運動の中心部に当たる岩槻近傍は、台地面標高が12～15mと低く、外縁部を占める佐原付近の台地面標高は35～40mで解析が進み、成田層基底面も20～25mに上昇し、台地構成層は西方に緩く傾き、酒々井では成田層は層厚を増し（25m）、その基底面は沖積面下に没する。なお岩槻北方の慈恩寺台の東半には、低位の武蔵野面が指摘された。

4.3 野外実験段階（〔2〕の後半…土木地質的アプローチ）

フローチャートに示される〔2〕の後半において実施された4種類の計測研究のうち、(d)と(e)とは広域にわたる一斉調査であり、(f)と(g)とは特定地点で行なわれた実験であった。

密度・水分検層（d） 金井技官実施

関東ロームは鉱物学的にはほぼアロフェインからなる多孔質の風成層で、拘束水に富み、含水比が80～180%と高いので、仮比重が大きい特徴をもつことから、γ線密度計と中性子水分計を使って、ロームの密度 γ_t と地中水分Hの検層を行なえば、ある程度は層序判定を定量的に探知する端緒が得られ、ひいては軽石をkey bedに利用する在来の視覚判定と並んで、新たに有力な原位置判定法を開発するに至るかも知れないとし、すでに層序の決定された代表的な露頭について、照合テストを行ない、地層の細分を試みた。

γ_t とHとから間隙比 e が求められ、おおよその規準を出してみたところ、下表の通りとなった。

層名	関東ローム層			成田層
	立川ローム	武蔵野ローム	下末吉ローム	
平均間隙比 e	3.20	2.80	1.60	0.80

スエーデン式サウンディング調査（e）

宇野沢技官実施

関東ロームは鉱物組成が沖積土とは著しく異なり、また粒子の加水膨張性なども作用するため、スエーデン式サウンディング測定値のN値換算に上田実験式を使っても、真の地耐力を表わさないという疑問が提起され、宇野沢技官はこの問題に敢えて探求を挑んだ。

そもそもこの計測法はねじり貫入による静的測定技術

であり、孔壁とロッドの摩擦および土の粘着力との総合値が一定層厚に対する廻転数として表わされる。上田公式で換算値を出しても、かなり小さく出るほか、深部に向かつては、より大きな周面摩擦のために、ますます懸け離れた値となり、誤った判断を招くに至ることが明らかとなった。したがってローム層に関しては既存ボーリング資料の標準貫入試験値を集め、その平均値を利用するとともに、台地構成層（水成地盤）にのみ、スウェーデン式サウンディングの計測値を使うことになった。

立川ロームに対する載荷試験 (f) 安藤技官実施

元來載荷試験は建物の基礎地盤の強度を知るため、またハイウエイ・滑走路における安全舗装厚決定などに必要な動弾性の諸元を得る目的で行なわれる大がかりな野外実験である。このたび時間と労力が節減できるよう、筆者と安藤技官との共同設計で開発した新型装置を使って、立川ロームに対し加重沈下量の測定実験を行なったところ、迅速でしかも正確に目的を達成できる見通しが得られた。ジャッキ・環状力計・載荷台の接点を遍心せぬよう修正を施しつつ、反力を正しく鉛直に作用させて、測定値を出す操作には、高度の知識と技術が必要である。

佐原では荷重段階を6段に区切り、順次に加圧するようにして、 20 t/m^2 までの沈下量測定を行なった。岩槻では10段階に分けて加圧する試験を行ない、薬品処理地盤（後述）にも6段分割加圧試験を行なって、比較データを出した。

化学安定剤による立川ロームの固結 (g)

渡辺・竹田・相原技官実施

風化火山灰が沖積土に比べ、磷酸吸収能が遙かに大きい点に着目して、磷を架橋剤にして粒子を結び付ける方法を採択した。低廉な肥料である過磷酸石灰を原料とし、珪弗化ソーダと塩化第一鉄を触媒として加え、硫酸酸性にしてから、地中に自然流下させてみた。佐原では比較のために在来の珪酸ソーダを利用する方法を平行して実験し、岩槻では適性濃度を知るために、磷酸塩の濃度をいろいろと変動させてみた。

5. 地質工学的実証段階 [3]

一通り現地作業を遂行し、出張先から引揚げ、帰庁後に技術的検討が加えられた。両地域の精密な地質図が完成されて、各メンバーはそれぞれの計測実験データとの照合を行ない、次のような前向きな研究に進んだ。

金井技官はアイソトープによる密度 γ_t ・水分 H 検層データを処理して、まず立川ロームの下限で γ_t が低下する

特色を利用すれば、武蔵野ロームとの境を確定することができ、武蔵野ローム層では $\gamma_t \cdot H$ の両方も値が増大するが、その下限近くの東京軽石では γ_t が減少する特色を擲んだ。下末吉ロームでは H は武蔵野ロームにおける値と等しいか、あるいはやや大きいかであるが、成田層に入ると、 H が減り却って γ_t が急増する。 γ_t と H とが判れば、前述したように間隙比 e と含水比 w が求められるから、これらを測線断面にプロットして、より明確な層序細分ができた。

宇野沢技官は関東ロームでは換算 N 値の適用に問題があることを認めながらも、23個の土質試験データと対応させ、含水比 w と間隙比 e とはともに N 値と正の相関をなし、また粘着力 C と一軸圧縮試験値 qu との間に存する因果関係を擲んだ。この事実から関東ロームの支持力は含有水分に影響され、その水分は吸着水と考えれば説明できなくはないが、火山灰土とスウェーデン式サウンディング値との関係を、これ以上追及することはできなかった。

しかし彼は関東ローム直下の台地構成層（水成）については、上田実験式を用いて N 値に換算し、それを測線断面に投影した図に基づいて、地層累積の状態のパターンを記載し、各地区の支持地盤の伏在位置をブロックダイアグラムに表現し、さらに地表からの深度および標高（海面更正値）で示した。

安藤技官は、新規に開発した装置の性能が目的を果すのに十分な精度を発揮するかどうかを、すぐ脇で行なわれたボーリングならびにコアの土質試験値と対照しつつ検討を加えた。測定データを荷重—沈下曲線としてプロットしたところ、佐原では $16 \sim 20 \text{ t/m}^2$ で地盤の極限支持力が推知され、岩槻では 22.5 t/m^2 で地盤破壊が起こった。そこで立川ロームに関する限り、距離が隔てられていても、おおよそ等しい強度を保っていることが判った。ただし両地区のデータは、曲線に表現すると、曲線の途中経過が異なっており、弾性変形の詳細な差異をグラフの形状で確かめ得たことは、地域差の現われとして興味深い。

渡辺・竹田・相原の3技官による火山灰地盤の固結化実験の1カ月のちに、スウェーデン式サウンディング法による相対倍率で固結度を比較した。今回採択した過磷酸石灰法が、従来の水ガラス法・消石灰法などより優秀であり、かつ関東ローム層の地耐力を2～3倍に強化するのに十分な適正濃度を決定するのに成功した。

6. 産業地質的判定と解説報文提出段階 [4]

前節では、地質工学的実証の側から、各種の計測デー

タを、個別に検討したえたので、ここでは地域開発に直結する判定に持込む整理段階に移ることとなる。

6.1 広域調査の成果

地表地質踏査とボーリング成果は、すでに対象地区に関する地質図として表現され、アイソトープ検層からは関東ローム層の地質工学的諸元が明らかにされ、一方スエーデン式サウンディング成果よりは台地構成層の地耐力分布図が作られた。こうして広域にわたる地盤強度の判定に際しては、それぞれの分野を分担して解明することができた。

さらに金井技官はボーリングによる不攪乱試料の三軸圧縮試験値を解析して、一定の垂直応力（例えば 2 kg/cm^2 ）に対する剪断応力を算定したところ、立川・武蔵野ロームの示数を 100 とすれば、下末吉ロームで 76 程度に減少し、成田層で 161 と増すことを知った。また間隙比 e を使い、圧縮指数 C_c を算出する一般沖積土用の公式

$$C_c = 0.6 (e - 0.5)$$

は台地構成層（成田層・成東層）には適用できるが、立川・武蔵野ロームには金井修正式

$$C_c = 0.6 (1.11e - 1.45)$$

によらない限り、真の値が得られないことを明らかにして、ここに新期ロームの力学的特異性を立証した。金井公式で算定して得られる桁ちがいに大きな圧縮指数を示した地盤は、外力のいかんによれば、圧密沈下の発生するおそれのあることを警告している。

宇野沢技官の作画したブロック・ダイアグラムから、関東ロームの平均層厚を読取ると、下総台地で 5.0~5.5 m、大宮台地で 6.0 m となる。また新期ロームの N 値を過去のボーリング資料から抽出して整理したところ、下総台地では $N \approx 7$ ぐらい、大宮台地では $N = 2 \sim 9$ （平均 4）となり、降下風成層の特色として立川ローム層から下末吉ローム層に至るまで、N 値の垂直分布に著しい増減がないことを力説している。

6.2 特定地点における成果

載荷試験は一般地耐力調査に較べれば、さらに進んだ精密測定に属し、地盤の弾性変形要素が判るから、特別

の用途があるわけである。“長期許容地耐力度は極限支持力の 1/2 とする” という建築基礎構造設計基準に則して、安藤技官は佐原・岩槻の立川ロームの安全荷重を $6 \sim 7 \text{ t/m}^2$ と考えてよろしいと判定したが、舗装厚の計算まではやらなかった。

河砂との置換とか、火焰による焼却などという原始的で採算を無視した非科学的工法が、関東ローム対策として現に関東各地の工事現場で採用されている現状に堪がみ、化学安定剤による地盤固結実験は、とくにコスト節減という要請を念頭において試みられた。関東ロームを構成する土粒子は隣に結び付きやすく、沖積土に較べて、3~6 倍の隣接吸収能があるのに着目し、自然流下様式により現位置で土粒子に吸着させ、在来法との比較テストも行なってみた。透水性の大きい浅層では、薬液の降下速度が大き過ぎ、一定の深度以下からでないとい、薬効が現われず、浅層では固結不足を招いたことの対策は、今後の課題となろう。

7. 結 言

このようにして工場用地・住宅団地に関するローム地盤の条件は、図面あるいは工学的パラメータで表現されて知らされ、他方ハイウェイ・空港・溝渠の建設についての適否判定データも加えられ、また特殊の制約条件下で局所的に強化を必要とする箇所のために、化学安定剤で固結させる過燐酸石灰法も開発することができた。ここに地域開発に際し、既往の基本知識→現地調査→地質工学的実証→産業地質的判定→目標という一連の体系的モデル研究の過程を完了することができた。

今回の関東ローム層に関する総合研究の内容は、行政担当者および計画者、もしくはその委託先であるデベロッパーにとっては、これまでに余り知られなかった予想外の新知識・新事実もあろうし、かつまた地域開発実現という窮極の目標にとり貴重な創意に富む根本資料として、受入れられる事項も少なくはないと確信するしだいである。