



技 術 ノ ー ト

(No.30)

平成12年3月

社団法人 **東京都地質調査業協会**

〒101 - 0047 東京都千代田区内神田2 - 6 - 8
TEL(03)3252 - 2963 FAX(03)3256 - 0858

目 次

技術トピックス「首都圏を支える鉄道網」

1 . はじめに	1
2 . 首都圏における鉄道のあゆみ	1
2 - 1 新橋 - 横浜間の鉄道と西洋土木技術	1
2 - 2 山手線の建設と私設鉄道による鉄道網の整備	3
2 - 3 馬車鉄道から路面電車へ	4
2 - 4 鉄道国有化と東京中央停車場の完成	6
2 - 5 関東大震災と郊外電車の発達	7
2 - 6 都市鉄道の再編と太平洋戦争	12
2 - 7 路面電車の衰退と地下鉄の発達	13
2 - 8 国鉄五方面作戦と地下鉄の相互乗り入れ	15
2 - 9 国鉄の民営化と現代の鉄道	15
3 . 東京の地盤と鉄道の係わり	18
3 - 1 東京の地盤の特徴	18
3 - 2 東京の地下水	19
3 - 3 地下構造物と地下水位	20
4 . 将来の地下開発	23
4 - 1 大深度地下の開発	23
4 - 2 必要となる技術的問題	24
4 - 3 地下駅やトンネルを作る	26
4 - 4 環境問題を考える	27
5 . 鉄道の今後と課題	29
参考文献	30
技術フォーラム報告	31
東京都1999技術フォーラム報告	32
セッション報告	33
アンケート調査結果	37
技術ノートのあゆみ	38

技術トピックス

首都圏を支える鉄道網

木谷 日出男*

小野田 滋**

1. はじめに

日本の都市は、世界的に見ても鉄道網が発達していると言われている。とりわけ東京は、一国の首都として明治時代から鉄道網の整備が積極的に推進され、単なる旅客の移動や物流の手段という輸送機関としての本来の目的のみにとどまらず、都市の骨格形成や街づくり、人々のライフスタイルなどにも大きな影響を及ぼして今日に至っている。首都東京の発展は、鉄道の存在なくしてあり得なかったと称しても過言ではない¹⁾。

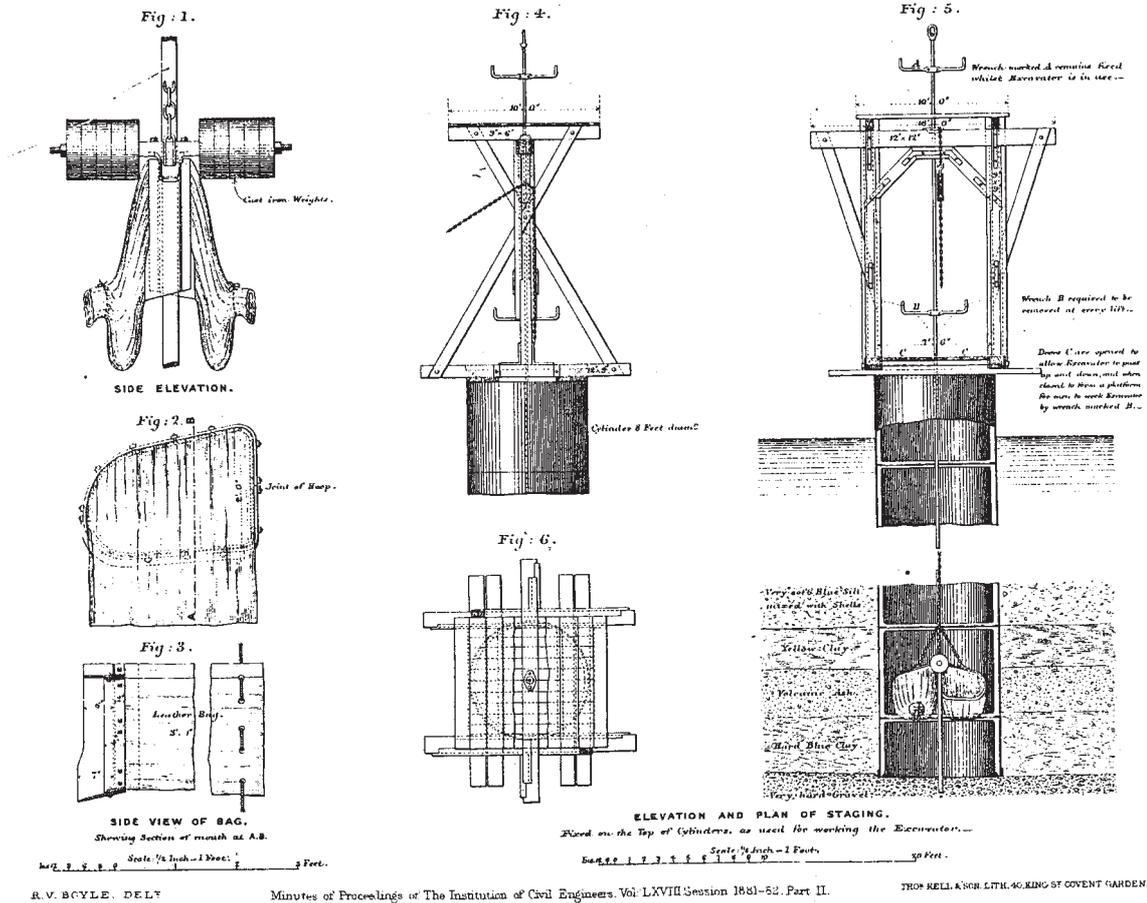
もしこの東京に鉄道がなかったならば、いったいどうなっていただろうか？道路には自動車やバイク、自転車が溢れ、慢性的な交通渋滞と排気ガスによって、深刻な環境汚染がもたらされていたであろうことは想像に難くない。また、交通事故による犠牲者も、今以上に増加していたであろう。現に、都市鉄道の整備が遅れている東南アジアの大都市などでは、道路に溢れる自動車やバイクによる大気汚染が深刻化しており、ようやく近年になって日本などの支援によって鉄道網の整備が開始されているのが現状である²⁾。

今回はまず、首都圏における鉄道網の整備がどのような歴史的過程を経て行われ、私たちの生活や社会にどのような影響を与えてきたかを振り返り、続いて鉄道と地盤との関わりについていくつかの話題を提供してみたいと思う。

2. 首都圏における鉄道のあゆみ

2 - 1 新橋 - 横浜間の鉄道と西洋土木技術

わが国最初の公共輸送を目的とした鉄道が開業したのは1872（明治5）年のことで、この年の10月14日、新橋停車場（のちの汐留）に明治天皇や皇族、各国公使、政府首脳を迎えて鉄道開業式典が盛大に挙行された。そして明治天皇をはじめとする参列者一行を乗せた特別列車は、新橋停車場を午前10時に出発し、11時に終点の横浜停車場（現在の桜木町）へと無事到着した。沿線には、蒸気を吐きながら轟進する陸蒸気をひと目見ようと多くの群衆が集まり、人々は疾風の如くかけ抜けるこの「鉄の馬」に瞠目するとともに、文明開化の到来を実感したのである。この新橋 - 横浜間の鉄道建設は、イギリス人技師を中心とする外国人技師の指導により行われ、最盛期には百数十名の様々な職種の外国人たちが来日した。そして、本格的な海中築堤による土工工事となった高輪付近や神奈川付近の埋立てなどが行われたが、日本側の最高責任者であった初代鉄道頭・井上勝（長州藩の命により伊藤博文らと共にイギリスに密航留学し、鉄道工学と鉱山学を学んだ）は現場の工事全般を指揮しながら、いずれこの程度の土木工事は日本人のみ



R. V. B. CYCLE. DELT

Minutes of Proceedings of The Institution of Civil Engineers, Vol. LXVIII, Session 1881-82, Part II.

TROP KELL & SON LITH. 40, KING OF COVENT GARDEN.

図1 六郷川橋梁の改築工事の際に用いられた基礎の掘削装置（1877(明治10)年)⁴⁾

でできるようになると考え、鉄道技術の自立に尽力した³⁾。また、現場の職人たちも日本の伝統的な石工や左官の技術（のちにトンネル工事では鉋山技術、煉瓦の製造では窯業技術が役立った）を西洋の土木技術と巧みに融合させながらをこれを摂取し、こうした努力が実って早くも明治10年代には特殊な工事を除いてほぼ日本人だけで鉄道建設を行える体制が確立されるようになった。図1⁴⁾は、1877（明治10）年、六郷川橋梁を木桁から鉄桁に架換える際に用いた橋脚基礎の掘削装置で、右下に簡単な地質断面が描かれているのが興味深い。

当時の構造物はすでにその後の改良工事などによって失われてしまったが、旧汐留駅の再開発事業に伴って旧新橋停車場の建物とプラットホームの基礎部分が出土し、国指定の史跡として保存措置がとられている。また、車両やレールの部品類、廃棄された切符、駅弁のお茶に使われた「汽車土瓶」なども出土し、東京都埋蔵文化財センター等の手によって分析作業が進められている⁵⁾。文明開花の象徴だった鉄道も、ついに発掘調査の対象となってしまったかと思うと、まことに感慨深いものがある。

2 - 2 山手線の建設と私設鉄道による鉄道網の整備

さて、東京の都市構造に最も大きな影響を与えた鉄道と言え、山手線であろう。この山手線は、1885（明治18）年に私設鉄道である日本鉄道によって完成した古い歴史を持つ路線で、もともとは機業地として発展しつつあった北関東方面と貿易港である横浜とを短絡する貨物輸送を主目的とした路線として計画された。前章で紹介した新橋 - 横浜間をはじめとする初期の鉄道網は、いわゆる国が管理・運営する官設鉄道として建設されたが、鉄道事業が莫大な利益をもたらすことが認識されるようになると、この事業に参入しようとする動きが活発となり、1881（明治14）年に民間資本によるはじめての鉄道として日本鉄道が設立された。日本鉄道は、当時の華族が組合を作って発起人となり、1883（明治16）年にはその最初の営業路線として上野 - 熊谷間38哩（61km）が開業した。この日本鉄道の設立がきっかけとなって、1897（明治20）年には「私設鉄道条例」が公布され、私設鉄道の設立要件が法規上も明文化されるに至った。

日本鉄道は、明治20年代から30年代にかけて現在の高崎線、東北本線、常磐線などを次々と完成させるが、山手線は品川を起点として当時の東京市街（図2に示すように1932（昭和7）年の市域拡大までの東京市の行政範囲は現在の山手線の内側であった）の外縁にあたる目黒、渋谷、新宿、目白といった郡部を經由して赤羽までを結んだ。当時、東海道の宿場町として栄えた品川、甲州街道の宿場町として栄えた内藤新宿を除けばいずれも武蔵野の寒村に過ぎず、また品川、新宿にしても停車場が設けられたのは宿場のはるか外れというありさまで、今日の発展は想像もつかない時代の話であった。歴史に「もしも」は禁句と言われるが、もし山手線が違ったルートを選んでいたら、東京の骨格も今と大きく異なっていたことであろう。

山手線に続いて、新宿を起点として八王子までを結ぶ甲武鉄道（現・中央本線）が1889（明治22）年に開業し、1895（明治28）年にはさらに都心乗り入れをめざして新宿 - 飯田町間の路線が開業した。営団地下鉄丸の内線四谷駅の荻窪方面行きホームから見下ろすと、中央線（総武緩行線）下り外側線がくぐる煉瓦造りのトンネルが口を開けているが、この御所トンネルは甲武鉄道が1894（明治27）年に完成させた際の構造物で、当時の工事記録によれば直上にある赤坂御所や学習院に振動などの影響を与えないよう、特段の注意を払って施工したと伝えられている⁶⁾。

このほか、千葉方面と東京を結ぶ総武鉄道（現・総武本線）が1894（明治27）年に本所（現・錦糸町） - 佐倉間を開業させたほか、1896（明治29）年には日本鉄道士浦線（現・常磐線）田端 - 土浦間が開業し、民間資本を活用したいわゆる「民活」による鉄道網の整備が急ピッチで進められた。しかし、これらの鉄道は、都市鉄道としての性格よりも東京とその周辺都市、国土全域を結ぶ中・長距離鉄道としての性格が強く、首都の玄関としての新橋や上野といったターミナル周辺を除けば都市との関わりという点ではほとんど接点がなかった。

2 - 3 馬車鉄道から路面電車へ

官設鉄道や私設鉄道による幹線鉄道網の整備が着々と進められていた頃、都市内における鉄道の主役は写真1⁷⁾に示す馬車鉄道であった。わが国最初の馬車鉄道として設立された東京馬車鉄道が新橋 - 日本橋間で運転を開始したのは1882(明治15)年6月25日のことで、さらに同年10月1日には新橋 - 上野 - 浅草 - 浅草橋 - 日本橋 - 新橋の循環線が完成した⁸⁾。馬車鉄道は、動力を容易に確保でき、特別な設備を要しないという利点があったが、糞尿による黄害や歩行者との事故などによるトラブルが多く、東京以外の都市にはほとんど普及しなかった。こうした道路面上に敷設される鉄道に対して政府は1890(明治23)年に軌道条例を公布し、事業への参入を促した。また、馬車鉄道以外にも、軌道上を走行しない一般の乗合馬車が東京と周辺都市の間を結んでいたほか、近距離交通の手段として1870(明治3)年には人力車も登場しており、自動車が登場する以前の都市交通を支えた。

1890(明治23)年、上野公園で開催された第3回内国勸業博覧会で、アメリカから輸入されたスプレーグ式の電車が公開され、会場内に敷設された430mの軌道上を往復した。これがわが国における電車の初登場で、煙を出さず、方向転換も容易で、加減速性能にも優れた交通手段として一躍脚光を浴びた。しかし、電車は諸外国でもまだ普及途上で都市鉄道としての実績に乏しく、電気の安全性に対する不信感などもあってなかなか営業用には用いられず、ようやく5年後の1895(明治28)年に京都市でわが国初めての営



写真1 明治中葉の新橋停車場(初代)と東京馬車鉄道⁷⁾
後方に人力車の姿も見える

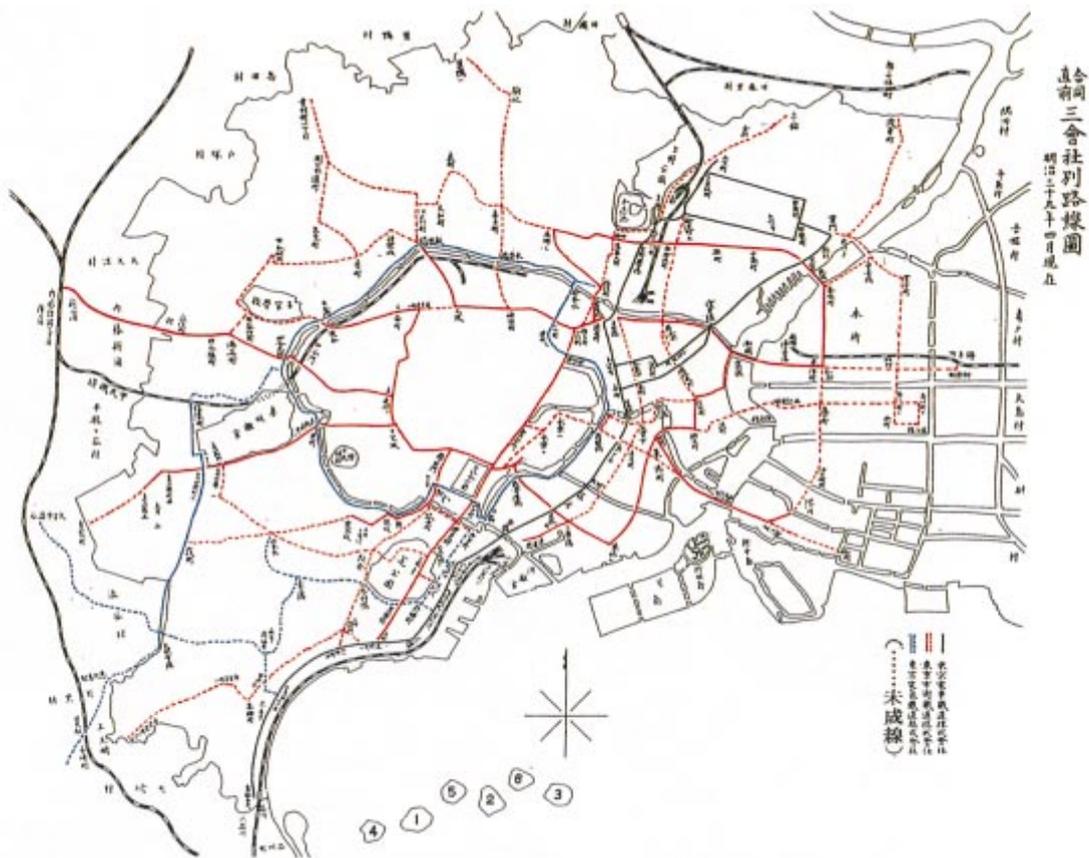


図2 1906（明治39）年の3社合併時における路面電車のネットワーク⁹⁾
 山手線の内側に入組んだ実線が旧東京市と郡部の境界

業用の電気鉄道が開業した。のちに「チンチン電車」とか「路面電車」などと呼ばれるこの交通機関は、その後、小田原、名古屋、大分などにも敷設され、関東地方でも大師電気鉄道（現・京浜急行電鉄）が1899（明治32）年に川崎 - 川崎大師間で営業を開始した。こうした動きの中で1903（明治36）年8月22日、東京馬車鉄道を電化して東京電車鉄道が品川 - 新橋間で営業を開始し、同年9月15日には東京市街鉄道が数寄屋橋 - 日比谷 - 大手町 - 神田橋間で開業、さらに翌年12月8日には東京電気鉄道が土橋 - 御茶ノ水間で開業を果たし、図2⁹⁾に示すように3社鼎立による軌道ネットワークの整備がわずか3年の間に進められた。3社は1906（明治39）年に合併して東京鉄道となったが、こうした民間資本による鉄道網の整備は地域交通を独占する結果となり、公益性よりも利潤追求を優先させるなどの弊害が目立つようになったためついに市民運動にまで発展し、1911（明治44）年8月1日をもって東京市に買収されることとなった。そして、東京市電気局（現在の東京都交通局の前身）が新たに発足し、自治体による都市内軌道網の一元管理が行われるようになった。買収時の路線長は192.3km、車両数は1,054両に達し、乗降者数は1日平均約51万人に及んだ（当時の東京市の人口は約200万人）¹⁰⁾。

また、東京市電と同様に軌道条例によって設立された鉄道の中には、1904（明治37）

年に開業した京浜電気鉄道（大師電気鉄道を改称）品川 - 川崎間、1907（明治40）年に開業した玉川電気鉄道道玄坂上 - 三軒茶屋間、1912（大正元）年に開業した京成電気軌道押上 - 伊予田（現・江戸川）間、1913（大正2）年に開業した京王電気軌道笹塚 - 調布間など、山手線の外側に伸びる電気鉄道があったが、これらの鉄道は東京市電との直通に備えて軌間（レール間隔）1,372mmを採用したのが特徴であった（のちに京浜電気鉄道と京成電気軌道は1,435mmに改軌）。そして、電気鉄道の特徴を活かして高頻度運転を身上とする新しいタイプの都市鉄道として発展し、関東大震災以降に顕著となる都市の拡大にも大きな影響を与えることとなるのである。

2 - 4 鉄道国有化と東京中央停車場の完成

私設鉄道の発達が社会資本整備に大きな役割を果たしたことは先に述べたが、全国の主要都市を結ぶ鉄道網の建設が一段落すると、私設鉄道の乱立によって全国の鉄道網が一元管理されていないことの弊害が目立ちはじめ、私設鉄道の中には資金難から開業に至らない会社も現れはじめた。また軍部は、かねてより軍事輸送を遂行する上で全国の鉄道網が国家管理されるべきであるとの主張を繰り返していたが、日清・日露戦争で鉄道の軍事的役割が重視されるとさらに強硬な姿勢を見せ、1906（明治39）年に鉄道国有法が成立して全国の17社におよぶ幹線系の私設鉄道が国に買収されることとなった。これによって首都圏では、甲武鉄道、日本鉄道、総武鉄道、房総鉄道の各社が国有化されたが、1899（明治32）年に開業した東武鉄道など一部の会社はこれを免れて現在に至っている。

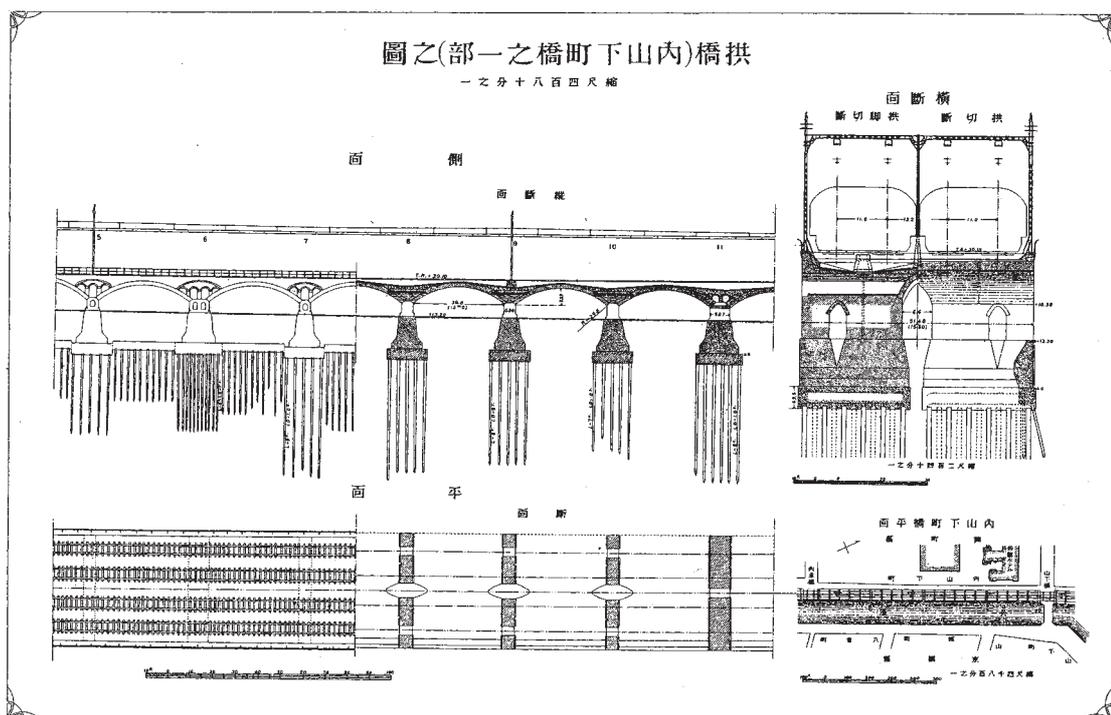


図3 新永間市街線高架における煉瓦アーチ高架橋の断面図と松杭による基礎¹²⁾

一方、こうした鉄道網の拡充に伴って、東京市内を縦貫して東北本線と東海道線を直結する市内縦貫鉄道の建設が進められた。これは、1889（明治22）年に東京市区改正計画で決定されたもので、南のターミナルである新橋と北のターミナルである上野を高架鉄道で結び、その中間に中央停車場を設けようとする本格的な都市鉄道の計画であった。この計画は、ドイツ人建築家エンデ、ベックマンなどによる官庁集中計画などとも絡み、首都にふさわしい近代都市としての姿を整えるための国家的プロジェクトとして行われた¹¹⁾。

新銭座（新橋付近）と永楽町（東京付近）を結んだため新永間市街線高架橋と呼ばれたこの高架鉄道の工事は、1900（明治33）年に開始され、1909（明治42）年に浜松町 - 烏森（現・新橋）間、翌年烏森 - 有楽町間が完成、1914（大正3）年に浜松町 - 東京間が全通した。高架橋の構造は、騒音による都市環境と耐震性を考慮して図3¹²⁾に示すような連続式の煉瓦アーチ高架橋を主体とし、道路と交差する部分是有道床式の鉄桁を用いた。本格的な高架鉄道の建設は初めてのことであったため、モデルとなったベルリンの高架鉄道を担当した技師・バルツァーをドイツから招聘し、その指導を仰いだ。こうして完成したのが現在の東京 - 浜松町間の煉瓦アーチ高架橋で、建設後1世紀を経ようとする今なお、当時の姿のまま現役である。そして、中央停車場として建設された東京駅は、建築家で東京帝大教授の辰野金吾に設計が委嘱され、鉄骨煉瓦造3階建てのわが国最大の煉瓦建築として完成した。その壮麗なファサードは皇居を正面に見据えてまさに「帝都の玄関」にふさわしい偉容を誇り、近代国家に生まれ変わった日本の象徴となったのである^{13) 14)}。

2 - 5 関東大震災と郊外電車の発達

鉄道国有化によって幹線を構成していたほとんどの私設鉄道が国に買収されたものの、近距離の都市間輸送や限られた地域内の鉄道輸送については、国有鉄道を補完するためにも民間資本による鉄道の整備がなお必要であるという認識から、1910（明治43）年に軽便鉄道法が公布され、従来の私設鉄道法よりもゆるやかな基準によって鉄道事業に参入できる制度が整備された。こうした規制緩和政策によって、大正から昭和初期にかけて第二次私鉄ブームがまきおこり、東京近郊にもいくつかの私鉄が新たに登場した。この時期に設立された鉄道としては、1914（大正3）年に開業した東上鉄道（現・東武鉄道東上線）池袋 - 下板橋間、1915（大正4）年に開業した武蔵野鉄道（現・西武鉄道池袋線）池袋 - 飯能間などがあつた。これらの鉄道は当初、蒸気鉄道として開業したが、ほどなく電化されて近代的な都市鉄道へと生まれ変わった。

1923（大正12）年に首都圏を襲った関東大震災は鉄道にも甚大な被害を与えたが、同年11月に発足した帝都復興院（翌年復興局に改称）は後藤新平総裁（元・鉄道院総裁、東京市長）の意向もあって鉄道省からの出向者によって固められ、震災復興橋梁をはじめ、東京の復興計画に鉄道の土木技術者が大きく寄与した。土木部長には太田圓三（鉄道省工務局工事課長から出向したが志なかばで過労により自害し、帝都復興の尊い人柱と称され

た)が就任し、その下で橋梁課長の田中豊(のちに東京帝大教授となった橋梁工学の権威で、土木学会田中賞は氏の業績に因む)、道路課長の平山復二郎(のちに丹那トンネルの工事に活躍し、満鉄理事、土木学会会長などを務める)、隅田川出張所長の釘宮磐(のち関門トンネルの工事に活躍し、その後東京帝大教授となる)らがそれぞれの持ち場で活躍したほか、事務畑には経理部長として十河信二(のちに満鉄理事や西条市長を経て国鉄総裁となり、新幹線の父と称される)が在籍していた。特に、軟弱地盤上における橋梁の基礎工事に用いられた空気ケーソン工法や、それぞれ異なる構造形式を採用した隅田川橋梁群のデザインなどは、その大きな成果として語り継がれている¹⁵⁾。また、この震災復興を契機に、小回りのきく利便性の高い交通機関として自動車が注目され、やがてバスやタクシーなどの公共交通機関を中心として急速に普及することとなるのである。

関東大震災では、当時における市民生活の中心地であった下町の被害がひどかったため、山手のより安全な土地を求めて郊外へ移転する人々が急増した。また、地方から東京に流入する人々の数も年々増加し、東京の都市機能は拡大の一途をたどった¹⁶⁾。これと併せて、都心にあった軍事施設、学校、病院、工場などの郊外移転も活発となり、これまで職場と住居がほとんど接近してごく限られた地域での移動のみで事足りていた生活環境から、鉄道を利用して通勤・通学するライフスタイルへと大きく変化することとなった。そして、通勤・通学輸送という新たな需要が喚起され、こうした動きに呼応するかのよう、山手線のターミナルから郊外へ伸びる鉄道網が整備された。おりしも神



図4 1925(大正14)年の山手線環状運転開始時における東京の鉄道網¹⁷⁾
小田急や東急東横線、京王井の頭線、西武新宿線などはまだ開業していない



写真2 新しい盛り場として急速に発展した新宿東口のにぎわい(昭和初期)¹⁸⁾
 右に三越(1930(昭和5)年竣工)、左に伊勢丹(1933(昭和8)年竣工)がそびえる

田 - 秋葉原間の高架線の完成によって、1925(大正14)年より図4¹⁷⁾に示すように山手線の環状運転が開始され、私鉄の開業とともに東京をめぐる鉄道は急速に利便性を増した。

特に東京の西南部へ伸びる私鉄はこの時期に整備され、1922(大正11)年に開業した池上電鉄(現・東急電鉄池上線)をはじめ、1923(大正12)年に目黒蒲田電鉄(現・東急電鉄目蒲・大井町線)、1926(大正15)年に東京横浜電鉄(現・東急電鉄東横線)、1927(昭和2)年に小田原急行鉄道(現・小田急電鉄)、西武鉄道(現・西武鉄道池袋線)、1933(昭和8)年に帝都電鉄(現・京王電鉄井の頭線)などが次々と開業を果たした。そして山手線の各駅には、郊外電車と市内電車を結ぶ交通結節点としてターミナルが形成され、写真2¹⁸⁾に示すようにデパートや映画館、商店・飲食店街が謂集して新たな盛り場が成立した。ターミナルには、郊外電車、市内電車、バス、タクシーなどの交通機関が集中したため、都市計画東京地方委員会では駅前広場計画を立案してその整備をうながした^{19) 20)}。

一方、郊外にはE・ハウードの田園都市論などに触発されて私鉄資本による郊外住宅地が誘致され、目黒蒲田電鉄による田園調布、図5に示す箱根土地(のち西武鉄道に資本参加)による国立、東武鉄道による常盤台などの住宅地が大正末から昭和初期にかけて分譲を開始したほか、遊園地や競輪場などの娯楽施設も郊外に立地された^{21) 22)}。また、東京市電気局をはじめ一部の電気鉄道では、図6に示すように関連事業の一環として売電事業を兼業し、電灯の普及や電化生活に大きく寄与したが、電灯事業の統制とともにこれらの役割は電力会社に統合されて今日に至っている。

こうした都市交通網は、基本的に山手線の内側を市内電車、山手線の外側を郊外電車

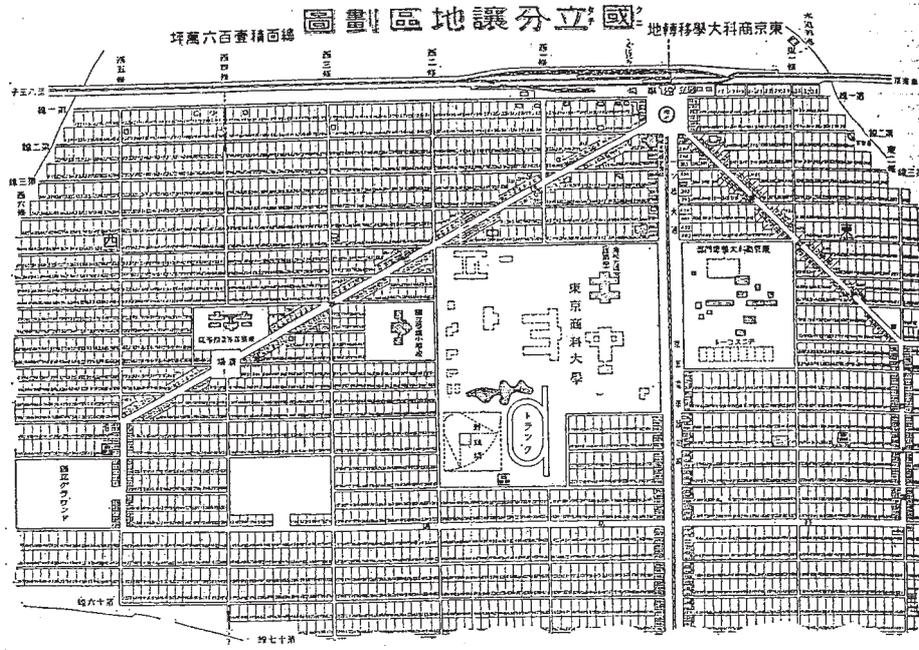


図5 箱根土地による国立分讓地区画図 (1927(昭和2)年)²²⁾
 東京商大と東京高等音楽院を誘致した学園都市でドイツのゲッチンゲンに範をとったと伝えられる

大東京市内各電氣供給事業者給電区域圖

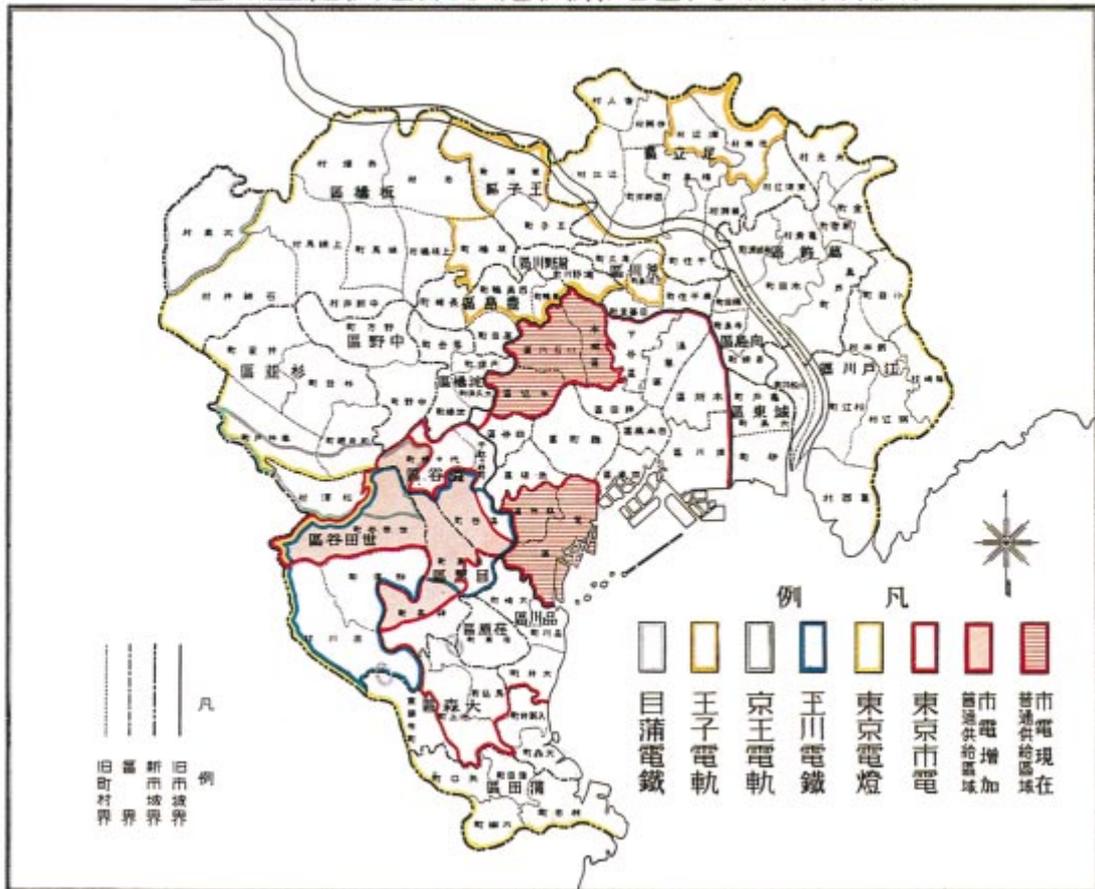


図6 東京市内における電力供給事業の分担区域 (1932(昭和7)年頃?)⁹⁾
 東京電燈を除いて東京市電気局または電鉄会社が電力を供給していた

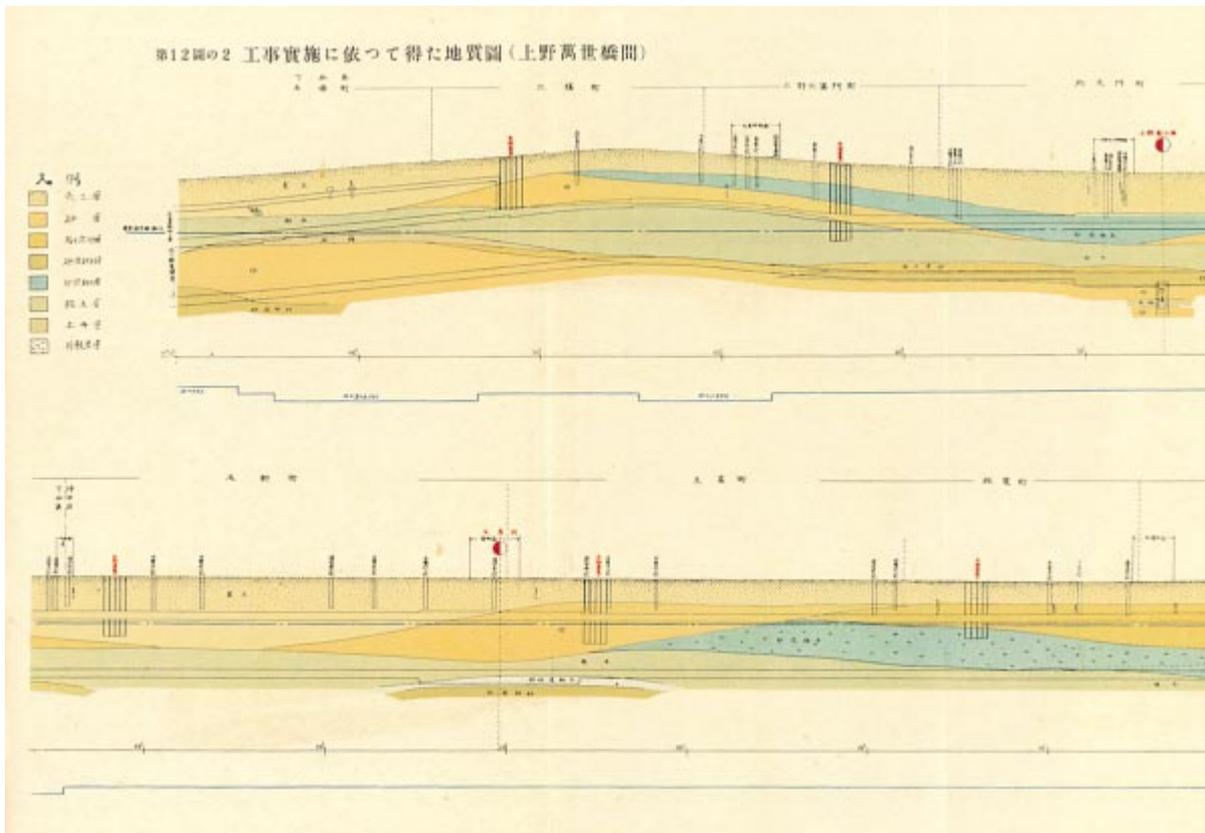


図7 東京地下鉄道上野 - 万世橋間の地質縦断面図 (部分)²⁴⁾

震災復興や地下鉄工事、丹那トンネルの工事などを契機として土木工事における地質調査が徐々に一般化した

が分担していたが、従来の市内電車に代わる新しい都市内高速交通機関については1903（明治36）年頃から議論が開始され、中でも地下鉄の建設が有望視されていた。1925（大正14）年には内務省より5路線の高速交通機関の整備計画が告示され、この計画はその後幾多の改定を繰り返しながら地下鉄整備計画の基本となった²³⁾。そして、わが国最初の地下鉄道として1927（昭和2）年に東京地下鉄道浅草 - 上野間が開業し、1938（昭和13）年には東京高速鉄道青山六丁目 - 虎ノ門間が開業したが、戦前の地下鉄はこの2路線（のちに接続して現在の有楽町線となる）にとどまり、本格的に普及するのは戦後まで待たなければならなかった。図7²⁴⁾は、東京地下鉄道上野 - 万世橋間の地質縦断面図を示したもので、土木工事における地質調査のさきがけとなった。

このように、鉄道事業は関東大震災を契機とした都市のスプロール化に大きく寄与し、通勤・通学の一般化、盛り場や郊外住宅地の形成、レクリエーション施設の誘致などを通して、都会人のライフスタイルを大きく変えていったのである。そして、東京をめぐる都市鉄道はこの時代にほぼ現在の骨格を整え、1932（昭和7）年には周辺の5郡82町村を東京市に編入する市区拡大が行われて現在の東京23区の姿に近づくのである。

2 - 6 都市鉄道の再編と太平洋戦争

活発だった都市鉄道の建設ラッシュも、1927（昭和2）年にはじまる金融恐慌と引き続く不況によって急ブレーキがかかり、路線の延伸や新線の建設を目論んでいた多くの私鉄の事業計画は放棄されるか延期・縮小されるに至った。こうした中で、東京 - 浜松町間の完成後も鉄道省の高架鉄道は継続して進められ、1919（大正8）年に東京 - 万世橋間、1925（大正14）年に東京 - 上野間、1932（昭和7）年に御茶ノ水 - 両国間の高架線が完成して南北と東西を縦貫する都市鉄道が完成した。このうち、御茶ノ水 - 両国間の高架橋は、不況に伴う失業救済事業として行われたものであった。これらの高架橋群は、土木用の構造材料が煉瓦・石材から鉄筋コンクリートへと変化する時代に建設されたため、東京 - 万世橋間では鉄筋コンクリートアーチまたは鉄筋コンクリート桁 + 煉瓦張り構造を主体としていたが、東京 - 上野間、御茶ノ水 - 両国間では、図8²⁵⁾に示すように鉄筋コンクリート桁または鉄筋（鉄骨）コンクリートラーメン構造を主体として完成した。

1931（昭和6）年に勃発した日華事変以降、鉄道は戦争遂行のための重要な補給路としての存在意義を強め、戦時体制による国家の統制が厳しくなった。明治末から昭和初期にかけて形成された私鉄の鉄道網も、1938（昭和13）年に成立した陸上交通事業調整法によって再編されることとなり、1942（昭和17）年に東横電鉄、小田原急行電鉄、京浜電気鉄道、京王電気軌道が合併して東京急行電鉄となり、武蔵野鉄道と西武鉄道が合併して西武鉄道となった。また、地下鉄も1941（昭和16）年に成立した帝都高速度交通営団法によって東京地下鉄道と東京高速鉄道が合併し、帝都高速度交通営団が発足した²⁶⁾。

一方、戦時体制の強化に伴って、私鉄のうち軍需産業や石炭輸送と関わりの深い路線を中心に買収が行われ、全国で22社の鉄道がほぼ強制的に国有鉄道へ移管された。東京周辺では、青梅電気鉄道（現・青梅・五日市線）、奥多摩電気鉄道（現・青梅線）、南武

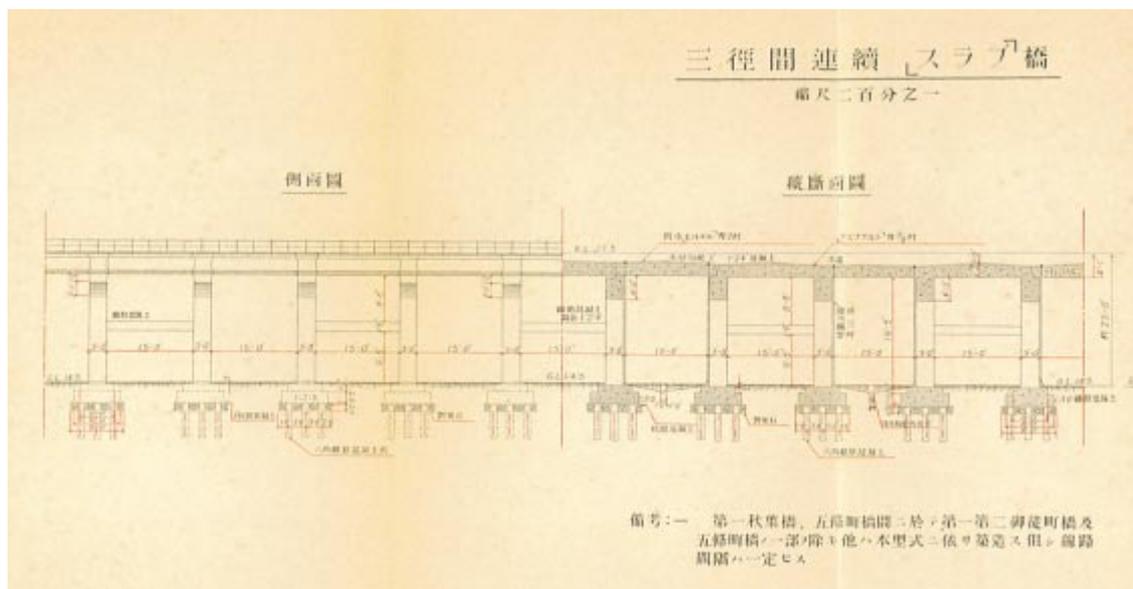


図8 神田 - 上野間高架工事で用いられた初期の鉄筋コンクリートスラブ式高架橋²⁵⁾

鉄道（現・南武線）、鶴見臨港鉄道（現・鶴見線）、相模鉄道（現・相模線）がその対象となり、1943（昭和18）年度～1944（昭和19）年度にかけて買収された。これらの鉄道は、戦後も私鉄に再分離されることなく国鉄・JRが継承し、今日に至っている。

そして、1945（昭和20）年の東京大空襲をはじめ、あいつぐ空襲によって鉄道施設は甚大な被害を被ったが、そうした中であって終戦の日もいつものように列車が走っていたという事実は、敗戦にうちひしがれた国民に明るい希望の灯をともしたのである。

2 - 7 路面電車の衰退と地下鉄の発達

昭和20年代の鉄道は、被災した鉄道施設の復旧と大陸や戦地からの引揚者の輸送、生活物資や石炭輸送、連合軍の軍事輸送などに忙殺されながらも、焦土と化した国土の復興に貢献した。こうした中で、戦時体制によって統合された私鉄の再分割が行われ、1948（昭和23）年に東京急行電鉄から小田急電鉄、京王帝都電鉄、京浜急行電鉄が分離して現在の体制となった。また、GHQ（連合軍総司令部）の意向によって国有鉄道も公共企業体として新たに発足することとなり、1949（昭和24）年に運輸省から鉄道部門が独立して日本国有鉄道が発足した。

戦後復興が一段落して講和条約が発効すると、再び都市鉄道の整備が開始されるようになった。この時代になると、欧米ではすでに自動車交通の発達による道路の渋滞が深刻化し、写真3²⁷⁾に示すように近い将来わが国も本格的な自動車社会に突入するであろうと予測された。1959（昭和34）年の都市交通審議会では『路面電車はその運行方式、速度から見て路面交通における異質的な存在であり...（中略）...公共輸送の使命を果た



写真3 自動車の普及と都電の衰退（昭和40年代の小石川付近）²⁷⁾

すため及び道路混雑の緩和を図るためには路面電車を撤去して、他の交通機関をもってこれに代替せしめることが適切である。』との考えを示し¹⁰⁾、交通渋滞の一因となっている路面電車を撤去して、その代替交通機関として地下鉄の建設が促進されることとなった。そして東京都電は、1967（昭和42）年の第一次撤去路線を皮切りとして1972（昭和47）年まで六次にわたって路線の廃止・縮小が行われ、長年にわたって都民の足として親しまれた都電は、またたく間にその姿を消してごく一部の路線を残すのみとなってしまった。また、1969（昭和44）年には私鉄の軌道として戦後も残っていた東急電鉄玉川線（元・玉川電気鉄道）が一部を残して廃止され、地下鉄道として東急電鉄新玉川線の建設が開始された。

一方、代替交通機関としての地下鉄は、1954（昭和29）年に営団丸の内線が開業したのをはじめ、1960（昭和35）年に都営浅草線、1964（昭和39）年に営団日比谷線、東西線、1972（昭和47）年に都営三田線、1974（昭和49）年に営団有楽町線が開業するなど、地下鉄の整備が積極的に推進された。これらの地下鉄は、図9²⁸⁾に示すようにはじめの頃はほとんどが開削工法によっていたが、次第に地下埋設物を避けるためにより深部の地盤を掘らなければならなくなり、様々なシールド工法が開発・導入されて地下鉄の建設に不可欠な工法として急速に普及した。

この時期には鉄道車両の改良も進み、より高加速・高減速性能に優れ、騒音や振動の少ないカラフルな電車が次々に登場して好評を博したが、その一方で慢性的な通勤ラッシュはほとんど極限状態に達していた。

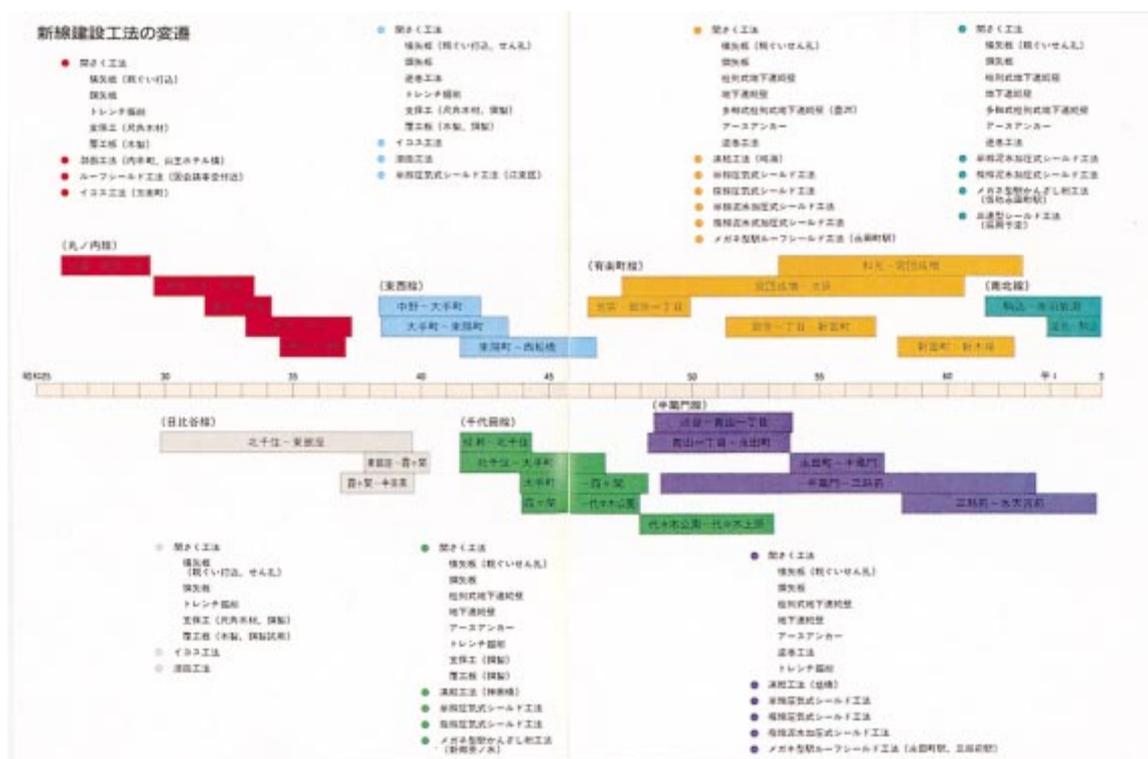


図9 営団地下鉄における地下鉄建設の進展と施工法の発達²⁸⁾

2 - 8 国鉄五方面作戦と地下鉄の相互乗り入れ

国鉄では、慢性的な通勤・通学ラッシュの解消を図るため、1965（昭和40）年度から始まった第三次長期計画で、東海道本線東京 - 小田原間、総武本線東京 - 千葉間、常磐線綾瀬 - 取手間、東北本線赤羽 - 大宮間、中央本線中野 - 立川間を複々線化することとした。俗に「五方面作戦」と呼ばれたこの計画は、1965（昭和40）年から工事が開始され、一部の路線を残して昭和50年代前半までにほぼ完成した²⁹⁾。このほか、編成の長大化や運転間隔の短縮、列車種別の多様化などの努力が行われ、うなぎ上りであった混雑率はしだいに緩和傾向へと転じた。

一方、地下鉄と在来鉄道とを直通させ、相互乗り入れを行うことによって混雑緩和と利便性の向上を図ることとなり、これによって山手線の各駅を起点とする私鉄の各路線は、念願の都心乗入れを果すこととなった。そのさきがけとなったのは、1960（昭和35）年に開始された京成電鉄と都営浅草線の相互乗入れで、以後1962（昭和37）年の東武鉄道と営団日比谷線、1964（昭和39）年の東急電鉄と営団日比谷線、1966（昭和41）年の国鉄中央線と営団東西線、1968（昭和43）年の京浜急行と都営浅草線、1971（昭和46）年の国鉄常磐線と営団千代田線など、この間に開業した地下鉄のほとんどが相互乗入れを前提として建設されるに至った。地下鉄と在来鉄道との相互乗り入れはその当時、海外でもあまり実施例が無く、この方式はやがて大阪市や神戸市、名古屋市など全国へと広まった。

このほか、国鉄でも五方面作戦に併せて横須賀線と総武線を地下線で直通させる工事が1965（昭和40）年より開始されたが、15両の長大編成の列車が地下4～5階に相当する地下駅から発着することとなるため、火災をはじめとする防災対策に万全が期された。また、この工事ではシールド工法が全面的に採用され、続く東北・上越新幹線の上野駅乗入れ工事では外径12.84mの世界最大（当時）のシールド機が用いられるに至った。

2 - 9 国鉄の民営化と現代の鉄道

戦後の鉄道は、近距離輸送において自動車交通、長距離輸送において航空機といった代替交通機関が著しい発展を遂げたため、陸上交通機関としての独占的地位を失い、経営的にも行き詰まりを見せるようになった。このため、私鉄では百貨店や不動産などの関連事業を拡大して鉄道依存からの脱却を図ったが、全国の鉄道網を管理していた国鉄では、地方交通線の赤字や膨大な新幹線建設費の負担、硬直化した経営体質などによって累積赤字は雪だるま式に増え、ついに国鉄再建管理委員会は1985（昭和60）年に国鉄の民営・分割化を答申するに至った。そして、1987（昭和62）年3月末をもって日本国有鉄道はその幕を下ろし、6社の旅客鉄道会社と1社の貨物鉄道会社が誕生した。

首都圏の鉄道は東海道新幹線といくつかの貨物線を除いてJR東日本（東日本旅客鉄道）がこれを継承することとなったが、新体制の移行とともに鉄道の活性化も促され、川



図10 東京圏高速鉄道網計画図³⁰⁾
1985(昭和60)年運輸審答申第7号によるもの

越線、八高線、相模線などの首都圏周辺線区の電化や、自動改札機の導入による省力化、イオカードと呼ばれるストアードフェアカードの普及による利便性の向上など、新たな施策が次々に展開された。さらに、東北本線の池袋乗入れや、新宿、大船方面からの成田エクスプレスの発着など、既存の鉄道設備を活かした鉄道ネットワークの再構築も行われ、より便利で快適な鉄道が実現した。また、高騰する地価を背景として首都圏の居住範囲はさらに拡大し、新幹線による通勤・通学といったこれまでにはない新たな輸送需要も生まれている。

一方、国鉄民営化によって不要となった鉄道用地は国鉄清算事業団がこれを継承し、その売却益で累積赤字を補填することとなった。こうして、旧汐留貨物駅跡地、旧新鶴見操車場跡地、旧大宮操車場跡地、旧武蔵野操車場跡地などが新たな都市空間として生み出されたが、これらは都市部における貴重な社会資本としてその再開発が進められている。

また、私鉄各社や地下鉄も新路線の開業や相互乗り入れの拡大が図られたが、ことに地下鉄では戦前に立案された地下鉄の各路線がほぼ完成し、図10³⁰⁾に示すようにさらに南北線や大江戸線(都営12号線)といった新しい路線が建設されるに至った。中でも大江戸線は、地下鉄の建設費を節約するためリニアモーターの推進によるいわゆるリニア地

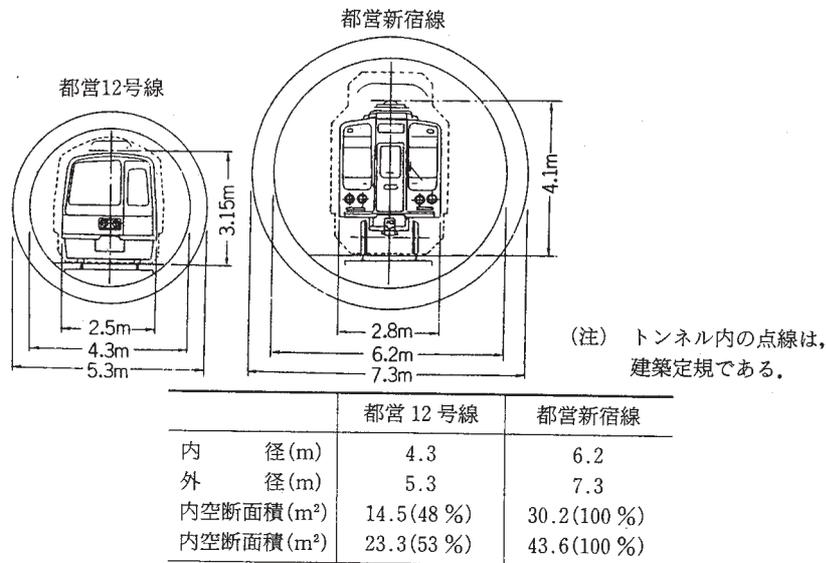


図11 リニア地下鉄と一般の地下鉄におけるトンネル断面の比較³¹⁾

下鉄（または小断面地下鉄）方式を採用し、特に台車の小型化による車両高さの低減によって図11³¹⁾のようにトンネルの掘削断面積を従来の半分とした。同様のシステムは大阪市営の長堀鶴見緑地線でも採用され、新しい地下鉄のあり方として注目を集めている。

このほか、従来の都市鉄道を補完する交通手段としてモノレールや新交通システムの建設も本格化し、1964（昭和39）年に東京モノレール（跨座式）が開業したのをはじめ、1988（昭和63）年には千葉都市モノレール（懸垂式）、1998（平成10）年には多摩都市モノレール（跨座式）がそれぞれ開業を果たした。また、新交通システムとしては、1983（昭和58）年に埼玉新都市交通が開業したほか、1995（平成7）年にゆりかもめ（東京臨海新交通）が開業し、ウォーターフロントへの新しい足として活躍している。モノレールや新交通システムは、鉄道事業法施行規則の中で鉄道の種類のひとつとして位置付けられているが、他の鉄道に乗り入れることができないという欠点があるため、主として空港や遊園地、団地などの起終点がある程度明確な地域のアクセス手段として用いられている。また、路面電車を先端技術でリニューアルし、バリアフリー対策などの利便性に優れた交通機関として甦らせたLRT（Light Rail Transit）も注目を集めており、ヨーロッパやアメリカの諸都市ではLRTを核とした都市開発がさかんに行われている。近年、東京急行世田谷線でも超低床式LRT車両が登場し、環境や人にやさしい交通機関である路面電車の復権が都市再生の鍵のひとつとなることが期待されている³²⁾。

このように首都圏の鉄道網は、過去130年間にわたる長い歴史の中で育まれてきた重要なインフラストラクチャーであり、地球環境に対する負荷が少なく、渋滞に関係のない定時制に優れた交通手段として、21世紀に向けてその役割はますます重要となっていると言えよう。

次に、東京の地下は下部更新統の上総層群を基盤とし、その上位に江戸川層、東京礫層さらに東京層と呼ばれる中部更新統の地層群が分布する。これを七号地層や有楽町層と呼ばれる沖積層が埋没谷を埋め、沖積低地を形成している³⁶⁾。

これらの地層は、固結程度は時代が古いほど高いものの、未固結の砂、礫および粘性土が層状に分布する軟弱な地盤である。

3 - 2 東京の地下水

東京低地等の沖積低地は、前述のように軟弱な沖積層が厚く堆積しており、主にその地層の圧密沈下により、従来から地盤沈下を生じてきたことで知られている。地盤沈下は、大正年代から顕著であったが、昭和30年代に入り、地下水の揚水量が急速に増加したことによって急激な沈下をみた。これに伴い地下水位も低下し、例えば東京駅付近では、1970（昭和45）年頃でT.P.-30mまで低下した。一方、1971（昭和46）年から実施された東京都公害防止条例による揚水規制により、現在では、地盤沈下は東京低地ではほぼ収束し、地下水位も上昇に転じている。例えば、東京駅付近ではT.P.-10～15m付近まで回復している。図13³⁵⁾、図14³⁷⁾は、東京低地部、武蔵野台地の地下水位の変化を示したものであるが、水位の回復と圧密沈下の収束が示されており、現在の水位はほぼ静水位に近い状態まで回復している。

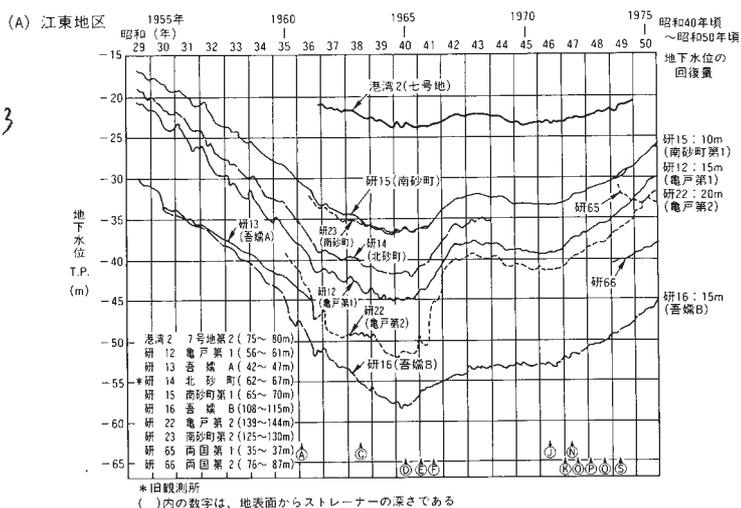


図13 東京低地における地下水位の経年変化³⁵⁾

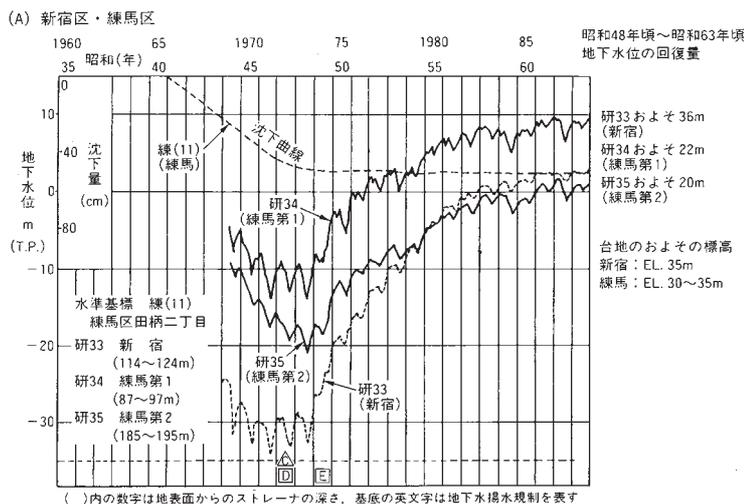


図14 武蔵野台地における地下水位の経年変化³⁷⁾

3 - 3 地下構造物と地下水位

以上に述べた東京の地形・地質と地下水は、様々な都市機能に関連をもって東京を育ててきた。特に台地や沖積低地の地下に存在する洪積層中の豊富な地下水は、様々な産業の育成過程で貴重な資源となり、その結果、前節で述べた過度の汲み上げによる水位低下とこれに伴う地盤沈下をもたらすこととなった。これらは一種の都市型地盤災害ともいべき現象である。このような揚水に伴う地盤沈下は東京に限らず大阪ほかでも発生し、同様の行政的な規制のもとで対策が講じられている。ところで、地下水位は建設工事の関わりから見ると必ずしも高い地下水位は有利な条件とはならない。ここでは、地下水位の上昇により発生した地下構造物の問題を紹介する。



写真4 新小平駅災害発生時の状況（JR東日本による）³⁸⁾

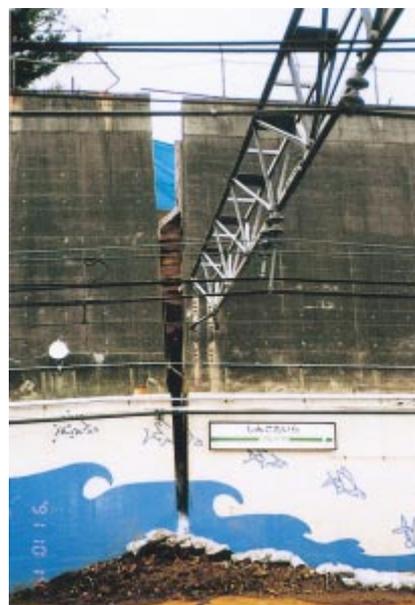


写真5 新小平駅上り線側
ブロック間の目開き
（JR東日本による）³⁸⁾

(1) JR武蔵野線新小平駅の浮き上がり^{38) 39)}

JR武蔵野線は東京の外環状線として1966(昭和41)年に着手され、1976(昭和51)年に完成した。新小平駅は武蔵野台地にU型RC構造の半地下式の駅として建設された。1991(平成3)年10月に日本列島を襲った台風21号の影響による降雨は10月6日から11日まで連続雨量227mmに達し、さらに先立つ8月から9月末までの累積雨量も724mmと多かったために、周辺の地下水位が著しく上昇し、11日23時15分に駅部のU型よう壁が延長120mにわたり最大1.3m隆起した。このため、よう壁の伸縮目地の上部に最大70cmの開口を生じ、大量の地下水と土砂の流入により駅部は冠水するに至った(写真4、写真5³⁸⁾)。この災害により、武蔵野線は2ヶ月間不通となり、周辺利用客、貨物輸送に多大な影響を与えたことは周知のとおりである。なお、この2ヶ月間に災害箇所の発生原因調査と十分な対策工が講じられている。

新小平駅は標高76~78mの平坦な武蔵野台地に掘り割って建設され、周辺の地質は地表から表土の下に3~5mの関東ローム層(Lm)、火山灰質粘土層(Dt₃)、武蔵野礫層(Dg₂)、粘土層(Dm₃)、東京礫層(Dg₂)、シルト層(Tm)、細砂(Ts)が続く。図15に示すように、駅部のU型よう壁の底面は、武蔵野礫層のほぼ中央部にある。周辺地盤の常時の地下水位は武蔵野礫層中をゆるやかに東方に流れており、台地末端部や谷頭で湧泉や池を形成する。この地下水位は降雨の影響により大きく変動することが、新小平駅の東方約1kmの位置での長期水位観測結果から分かり、それによれば通常冬期の渇水期には地表下-10~12mである水位が、梅雨期から台風時期には6m程度上昇する。これに対し、災害発生時には同観測位置で渇水期より9m高い状況であったことが明らかとなった⁴⁰⁾。この状態は約70年に1回の発生確率に当たると試算されている。

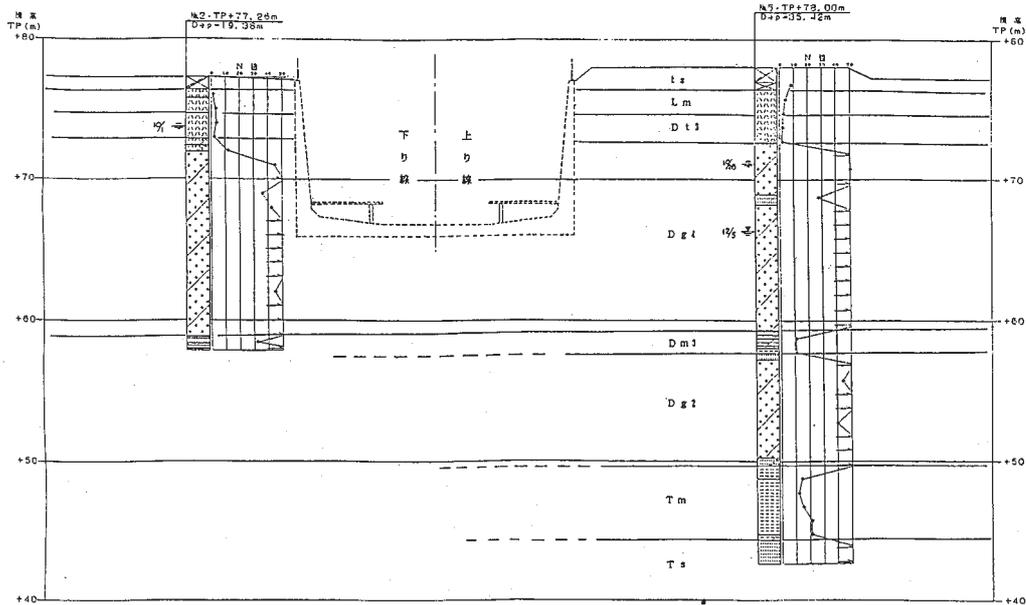


図15 新小平駅周辺の地質断面図(線路横断方向)³⁹⁾

ここにあげた事例は、設計時の地下水の変動や回復状況の予測を大きく越える状況のもとで発生した点では、自然災害的な要素の高いものである。その点では発生当時には不思議な現象と考えられた。しかしながら、それぞれの事例で採られた対策工は、長期間の運休や短い列車間合いでの施工が必要であったことから、今後の建設工事を計画、設計する上での貴重な教訓としてとらえるべき問題とされている。また、要因となった高い地下水条件については、揚水規制を必要とする都市の一面とともに、私見ながら都市機能の保持や例えば液状化に対する防災対策というような観点からも適正な地下水位のあり方に関する議論が必要な時期にあると考えられる。この場合にも、地下水は社会共通の資源であるということがその前提となろう。

4．将来の地下開発

首都東京を取り巻く状況は、ここまで述べてきた鉄道を含む交通機関の発達や地盤の条件以外にも、文化、産業あるいは情報の集積・発信地としての機能等、枚挙のいとまのないほど多様化した社会形態をとっている。換言すれば、混在の中でバランスする社会を作り上げてきたように思われる。一方、東京は限られたスペースの中で一部の機能はすでに飽和状態にあり、それが他の機能の新たな展開に重大な制約として作用している状況がある。現在さかんに議論されている首都機能の移転問題はその延長線上にあるとも考えられる。

これに対し入れ物を大きくしようとする構想は、過去からの海浜地帯の埋立てや台地、丘陵地の開発により、主に平面的な拡大が進められてきた。しかしながら、これにも限度があり、特に周辺環境とのバランスを考えれば、その展開はこれまでのような速度では期待できないのが現状である。このような背景を出発点とするものに「大深度地下利用」がある。ここでは、鉄道における大深度地下利用という観点からいくつかの話題を紹介する。

4 - 1 大深度地下の開発

「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法案」が2000（平成12）年3月10日閣議決定された。この法案は電線、上下水道管、地下鉄などの公益事業のため、深さ40mを越える地下利用のあり方を定めるものである。その主な内容としては、東京近郊、名古屋市、京阪神の三大都市圏を主な対象とすることや、事業者による土地所有者への事前補償を原則として不要とすることがあげられる。なお、事前補償が不要な大深度地下の範囲とは 通常、地下室が建設されない地表から40mを越える深さ、 通常、マンションなどの大型建築物の基礎杭が設置されない深さ（杭を支える地盤の上面から10m以上深い地中）、のいずれか深い方とされている（日本経済新聞⁴¹⁾より）。

一般に民地の下に地下鉄を建設する場合は、区分地上権を設定し、土地の利用を阻害

する割合に応じて補償をすることが必要となる。このため、都市部のような土地利用の密度が高い場所ではいわゆる用地交渉が極めて困難な場合が多く、これまでの地下鉄は、主に道路用地等の公共的空間の地下を利用して計画、建設されてきた。さらに、建築物の高層化による支持層の深度化や既存地下構造物との近接等から、地下鉄はより深い位置に設けられる傾向がある。そこで、地権者の地下の利用を阻害しないことを前提として、上記のような大深度地下を公共性の極めて高い分野に限定して事前補償なしに利用できるようにする点はその大きな目的である。また、その利点として、線状の構造物である鉄道の線形を道路下等の限定された条件から、直線性をよくすることにより速度の向上も期待される⁴²⁾。

4 - 2 必要となる技術的問題⁴³⁾

東京をはじめとする日本の主要な都市部の地盤は、それぞれ個性をもつものの前述の3 - 1、3 - 2で紹介したような未固結の地盤や地下水条件にある場所が多い。そのような状況の中で、日本の土木工事では都市土木と呼ばれる、主にこれらの地盤条件を対象として発達した様々な技術がある。このうち、地下開発を進めるための地下掘削技術は、都市トンネル工法とも呼ばれるシールド工法、開削工法を中心に世界的にも注目されている。これらの工法は従来、東京の低地を構成する沖積地盤などの軟弱な地質下で使用されることが多かった。

これに対し、大深度地下鉄道ではより深部の固結度の高い地盤を対象とし、さらに高い地下水条件のもとでの掘削となる等、従来の地下鉄建設と異なる条件での計画が必要となる。そのためには、計画段階でより広範囲な地盤情報を得ることが必要となるが、都市の調査には多くの制約があるため次のような技術的な課題がある。

地質情報のデータベース化

ボーリング情報の精度向上

調査の改善および施工中の調査

このほか、大深度地下鉄道には、駅設備、防災、さらに振動・騒音の低減等の技術的課題がある。

表1 主な東京周辺でのトンネル事例設計・施工条件総括表⁴⁴⁾

工法種別	位置 トンネル名 (各番号は位置 平面図に対応)	施工時 期(着 工期)	土被りH (m)	土被り比 H/D	容積率 最大値 (%)	地質	切羽付 近N値	切羽付 近 q_u (kg/cm ²)	切羽付近E (kg/cm ²)	初期地 下水頭 (天端上 高さ) (m)	補助工 法併用 数	トンネ ル延長 (m)	断面 (単線T ×2)	一次覆 工厚 (cm)	二次覆 工厚 (cm)	覆工厚 (一次+ 二次) (cm)	記 事
N A T M	①横浜市 三ツ沢上町 一般部	80.8	25.0~26.0	2.4~2.5	300	三浦層	50<	30~40	3 000~4 000	28.0	1	693	60	吹付厚 20	40	60	(ショートベンチ NATM)
	②横浜市 三ツ沢上町 駅部	80.8	21.5~22.5	1.3	300	三浦層	50<	30~40	3 000~4 000	28.0	1	105	146	25	50	75	(サイロット NATM)
	③横浜市 岸根	81.5	14.0~32.5	1.3~3.0	100	三浦層	50<	13~50	600~4 000	12.0	1	1 062	69	20	40	60	(ショートベンチ NATM)
	④横浜市 篠原	82.12	28.0~35.5	2.2~2.8	80	三浦層	50<	30~40	3 000	12.0	1	70	88	20	50 30	70 50	(ショートベンチ NATM) (サイロット NATM)
	⑤京葉線 東京駅 京橋工区	87.11	15.0~25.4	1.2~2.3	890	江戸川層	50<		300	16.0	4	67.7	91 117	20	80	100	(中壁工法)
	⑥京葉高速鉄 道 習志野台T	87.3	2.7~12.7	0.6~1.0	200	成田砂層	20~50		500	10.0	2	678	72	25	45	70	(CRD工法)
	⑦北総開発鉄 道 栗山T	84.3	5.0~14.0	0.4~1.1	200	成田砂層	20~50	0.4-1.0		8.6	3	1 160	72~90	20	50	70	(CD工法)
	⑧国分川分水 路T	82.3	17.0~22.0	2.1~2.8	200	成田砂層	20~50		300	1.0~ 3.0	3	2 555	62	20	30	50	(ショートベンチ NATM)
シ ー ル ド 工 法	⑨横浜市 新横浜	82.3	11.0~37.5	1.7~5.7	200	三浦層	50<	30<	1 000~4 000	9.6		382 ×2	36 ×2	セグメント 30	20	50	新幹線高架橋との交差 部 (泥水シールド)
	⑩宮田 8号 赤川台シールド	80.1	8.0~18.8	0.8~1.9	200	東京礫層	50<			21.7		884	79	40 55	20 60	50	(泥水シールド)
	⑪宮田 11号 九段上シールド	86.1	10.0~30.4	1.0~3.1	700	東京礫層	20~50			21.8		994	79	45	20	65	(泥水シールド)
	⑫宮田 8号 馬田川シールド	83.5	14.6~24.1	1.5~2.5	400	東京礫層	20~ 50<			25.8		930	79	40 45 55	20 20 0	60 65 55	(泥水シールド)
	⑬都営 12号 豊島園シールド	89.5	12.6~24.1	1.5~2.8	400	東京礫層	35~ 50<	5~18	950~1 250	5.0		1 240	57	35	25	60	(泥土圧シールド)
	⑭都営 12号 春日町シールド	88.4	9.1~16.0	1.7~3.0	100	東京礫層	2~19 36~50		1 250	4.0		1 265 ×2	22 ×2	25	25	50	(泥土圧シールド)
	⑮東葉高速鉄 道 海神T	89.3	4.8~21.0	0.5~2.1	300	成田砂層	10~50		180~260	25.8	1	496	79	40 50	20	60	(泥水シールド)
	⑯京葉線 京橋 T (MFシールド)	85.3	23.0~26.5	1.9~2.2	890	江戸川層	50<			18.0	1	619	76	30	20	50	(泥水シールド)

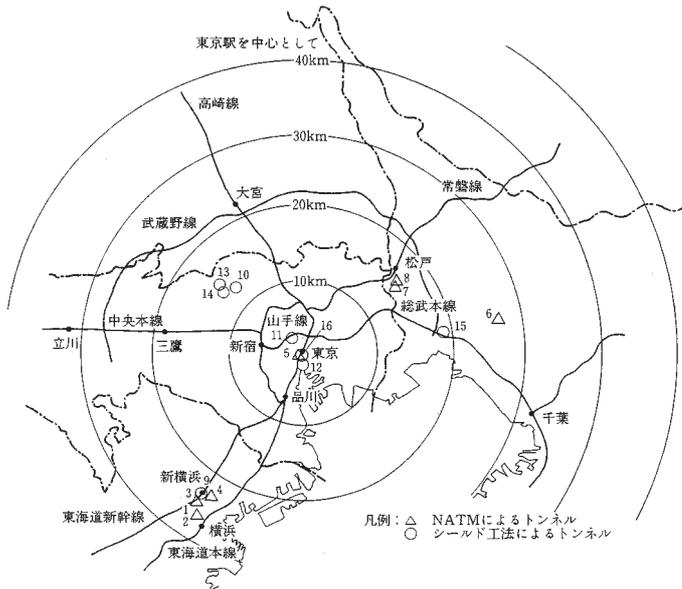


図17 東京周辺でのトンネル位置平面図⁴⁴⁾

4 - 3 地下駅やトンネルを作る

深部地下鉄道は、首都圏では主に東京層群や上総層群中を通過することになる。前述のように、これらの地層は一般に未固結で地下水頭も高く、かつ都市中枢部の地下の施工となるため、トンネルの工法としてはシールド工法が標準的な工法と考えられる。しかし、固結度が高く透水性の小さい粘性土質の地層中や、延長の短いトンネル、偏断面、拡幅施工箇所等では十分な補助工法を駆使することにより、山岳工法の採用を検討することも必要となる。例えば、横浜市営地下鉄では、固結度が高く、透水性の小さいシルト、粘土層（土丹）からなる上総層群を駅部も含めてNATM（New Austrian Tunnelling Method）で施工している。

シールド工法は従来の軟弱な地山条件からより硬い地山に、NATMは都市部での施工例の増加や補助工法の技術開発に伴い、より軟弱な地山にそれぞれ適用範囲を広げつつある（表1、図17）⁴⁴⁾。なお、地盤の条件に伴う工法選定という点では、NATMの適用範囲は現状では一軸圧縮強度で0.1Mpa、変形係数で10Mpaが、その適用の実績から見た下限値といえそうである⁴⁵⁾。

一方、シールド工法は多くの軟弱な未固結地盤中や駅部大断面部で用いることとなる。写真6に3心円MF(Multi-Face)シールドの基本構造を示す。これは、駅部トンネルの構築方法として、従来のシールド工法による地下駅の建設方法に代わって、複数のシールド断面を結合させたMFシールド工法を用いて安全かつ経済的な断面の確保を目的としたものである。この工法はすでにJR京葉線京橋で2心円MFシールドが施工され、その有効性は確認されるとともに、3心円を含む様々な掘削断面形状に対応した工法が使用され、あるいは提案されている^{46) 47)}。

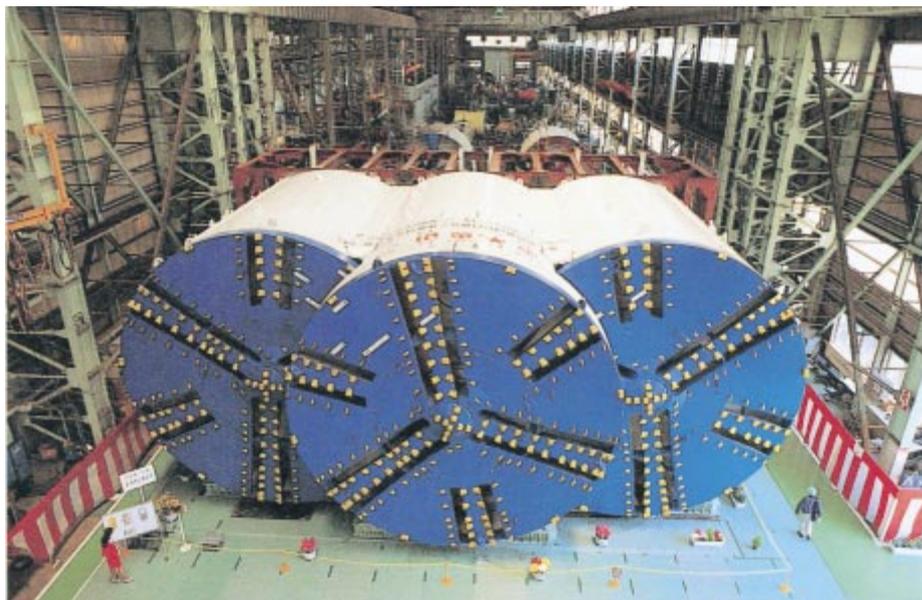


写真6 3心円MF(Multi-Face)シールドの基本構造⁴⁶⁾

4 - 4 環境問題を考える

トンネル工事に係わる周辺環境問題は、深部地下開発に限らず、常に細心の注意を必要とする問題である。特に、都市部では、社会に与える影響が大きいため、発生からの対処ではなく様々な観点からこれを予測し、未然に防ぐことが最大の課題である。以下に大深度地下利用に伴う主な環境影響を考えてみる。

(1) 構造物による地下水流動阻害

滞水層内に構造物を設置した場合、地下水流動を阻害し、流動の遮断及び地下水位の低下といった現象が生ずる可能性がある。これは、トンネル等の線状構造物が滞水層をかなりの割合で遮水する場合や、構造物が輻輳する駅部等で生じやすいと考えられる。前述の3 - 3 (1) に示した新小平駅の災害事例は類似の原因から発生したものと考えられる。

(2) 地下水の低下

大深度地下鉄道は原則として防水構造が原則となる。しかしながら、施工中や供用後の部分的な漏水の可能性は否定できない。この問題については前述の地下水流動支障の問題とともに、数値解析手法を用いたシミュレーション等による十分な検討が必要であり、水位の変動を様々なパラメータの組み合わせにより予測する必要がある。さらに、地下水の流動や水位変動については、計画段階の調査から施工中、供用後に至る帯水層別の間隙水圧測定等のモニタリング手法の基本的な考え方の整備が必要である。

また、地下水位の低下は地盤沈下、地下水利用障害、礫層の酸化・酸欠層の発生などの問題を伴う場合がある点で注意が必要である。

(3) 地下水質の変化

地下水質の変化は、工事に伴う薬液注入等工事に起因して生じる可能性がある。大深度においては、地下水低下を最小限に止めることが必要となり、結果として高水圧中での止水対策が重要になる。この薬液注入工法は、施工の状況、地質・地下水条件によっては周辺の地下水の水質に影響を与え、地下水利用障害等の影響を引き起こす原因ともなる可能性がある。さらに、工事中や供用後の問題として地盤中の酸素が漏出し、地盤中の硫化物などとの化学反応によって硫酸が生ずる可能性があり、地中構造物や埋設物の腐食が促進されることも考えられる。

(4) その他の影響

大深度地下利用による環境影響としては、地盤環境に関するものばかりでなく、地上の環境に関するものもある。主なものを挙げると大気汚染、騒音・振動、水質汚濁・自然環境の改変などである。このほか、建設残土の水域、山間部への不適切な投棄が水質汚濁・自然環境の改変につながる可能性もある。また、大深度地下鉄道では、換気に関連した問題についても考える必要がある。

以上、周辺環境への影響は一旦生ずると広範囲に及び、その改善には多大な労力と経費

を伴う。さらに、その社会に及ぼす影響を考えると、この問題に関する検討は、大深度地下開発を計画するうえで最も重要なテーマの一つである。今後の問題として、計画段階での調査技術やシミュレーション技術のさらなる技術開発と、物理的、化学的なセンシング、モニタリング技術の開発が急務である。



写真7 リニアモーターカー・マグレブの山梨実験線での走行試験状況⁴⁸⁾

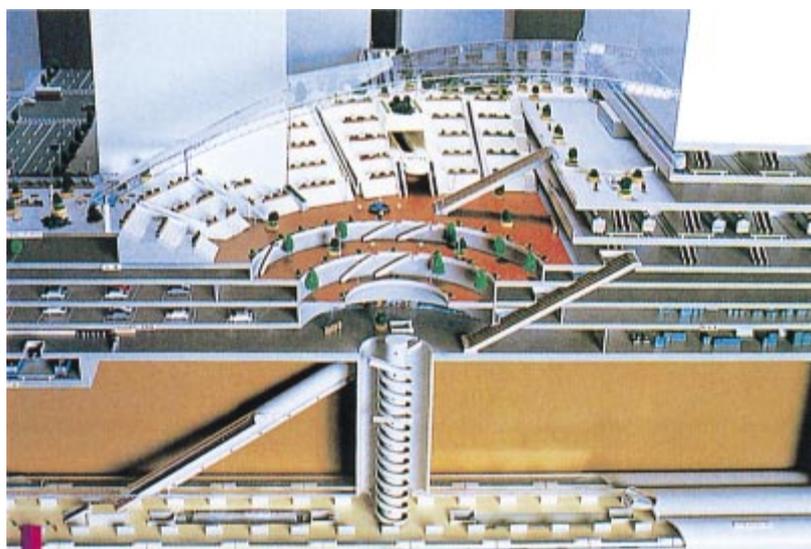


写真8 大深度地下鉄道(地下駅の模型)⁴⁸⁾

写真9
旅客流動シミュレーション
結果の例⁴⁸⁾



5. 鉄道の今後と課題

以上のように、首都圏における鉄道の役割を様々な話題とともに紹介した。その中から、少しでも鉄道の貢献を読み取っていただければ幸いである。それは社会に対する価値観が多様化する現在にあっても少なからず引き継がれており、例えば都市の機能を維持、向上させることへの要求として、今後の鉄道のあり方についても様々な課題を残している。4章に述べた「大深度地下鉄道」も、鉄道の持つ公共性を前提とする構想である。ここでは、本文のまとめとして、近未来の鉄道技術を紹介する。

写真7は1997(平成5)年4月より山梨実験線の先行区間(18.4km)において走行実験を進めているリニアモーターカー・マグレブである。現在は、将来の営業最高速度である時速500km/hを越える速度域で、安全かつ安定に走行できることを実証するために各種の確認試験を行っている。また、写真8は前述の大深度地下に構築する駅とこれに伴う諸設備、空間利用をイメージした模型である。駅を単なる交通のポイントとするのではなく、より多機能なエリアとして都市機能の可能性をさらに向上させることが一つの課題であることが示されている。また、駅としての利便性や効率化を検討する技術として、写真9のような旅客流動シミュレーションがある。これは駅における人の動きが集中する規模と動きの多様性を持つことを前提として、実態に合ったダイナミックな旅客流動解析によりシミュレーションすることにより、駅の構造の問題点や改良点の抽出あるいは新駅的设计に生かすための技術で、すでに実際の駅の構造決定に用いられている⁴⁸⁾。これらの技術が結集されることにより、近い将来には多機能を有する快適で、混雑の緩和が進んだ駅からリニアモーターカーに乗り込む時代が来ることを願うものである。

参考文献

- 1) 中村英夫編『東京のインフラストラクチャー - 巨大都市を支える - 』技報堂出版 (1997)
- 2) 武内利彦, 林良嗣編『地球環境と巨大都市 (岩波講座・地球環境学 8)』岩波書店 (1998)
- 3) 村井正利『子爵井上勝君小伝』井上子爵銅像建設同志会 (1915)
- 4) Boyle, R.V. 「The Rokugo River Bridge and Foundations on the Tokio-Yokohama Railway, Japan (paper No.1685)」『Min.of Proc.of I.C.E.』Vol.68, Part (1881-1882)
- 5) 『汐留遺跡』東京都埋蔵文化財センター (1997)
- 6) 菅原恒覧『甲武鉄道市街線紀要』三間七兵衛刊 (1896)
- 7) 『日本鉄道紀要』小川一真刊 (1898)
- 8) 『東京馬車鉄道 (都史紀要33)』東京都 (1989)
- 9) 『東京市電気局三十年史』東京市電気局 (1940)
- 10) 『東京都交通局80年史』東京都交通局 (1992)
- 11) 藤森照信『明治の東京計画 (同時代ライブラリー18)』岩波書店 (1990)
- 12) 森早苗「東京市街高架鉄道建築概要」『帝国鉄道協会会報』Vol.18, No.1 (1915)
- 13) 『新永間建築事務所初代工事写真集』国鉄東京第一工事局 (1978)
- 14) 島秀雄編『東京駅誕生』鹿島出版会 (1990)
- 15) 伊東孝「田中豊と鉄道省の仲間たち」(「東京人」編集室編『江戸・東京を造った人々、都市のプランナーたち』都市出版 (1993) 所収)
- 16) 岩淵潤子編『東京山の手大研究』都市出版 (1998)
- 17) 『東京付近鉄道線路図 (市街線東京上野間線路開通記念)』鉄道省 (1925)
- 18) エハガキ
- 19) 越澤明『東京都市計画物語』日本経済評論社 (1991)
- 20) 越澤明『東京の都市計画 (岩波新書200)』岩波書店 (1991)
- 21) E.ハワード (長素連訳)『明日の田園都市 (SD選書28)』鹿島出版会 (1972)
- 22) 『国立市史・下巻』国立市 (1990)
- 23) 八十島義之助「東京の通勤鉄道路線網計画に関する研究」『土木学会論文集』No.371/ -5 (1986)
- 24) 『東京地下鉄道史 (坤)』東京地下鉄道 (1934)
- 25) 『東京市街高架線東京上野間建設概要』鉄道省 (1925)
- 26) 渡邊伊之輔『東京の交通』都政通信社 (1954)
- 27) 『わが街わが都電』東京都交通局 (1991)
- 28) 『営団地下鉄五十年史』帝都高速度交通営団 (1991)
- 29) 蓼沼慶正「国鉄の通勤輸送力増強投資の事後評価 - 東京圏の五方面作戦について - 」『運輸政策研究』Vol.1, No.2 (1998)
- 30) 『東京地下鉄道有楽町線建設誌』帝都高速度交通営団 (1996)
- 31) 上浦正樹, 須長誠, 小野田滋『鉄道工学』森北出版 (2000)
- 32) 交通研究会編『交通 (軌道系編)』工業時事通信社 (1999)
- 33) 日本の地質「関東地方」編集委員会編『日本の地質3・関東地方』共立出版 (1986)
- 34) 高橋彦治『川と平野の地学・第四紀層』山海堂 (1999)
- 35) 東京都土木技術研究所『東京総合地盤図』技報堂 (1977)
- 36) 『東京深部地質報告書』国鉄東京第二工事局 (1980)
- 37) 東京都土木技術研究所『東京総合地盤図』技報堂 (1990)
- 38) 『武蔵野線新小平駅災害復旧工事誌』東日本旅客鉄道 (1992)
- 39) 池田俊雄『[新編]地盤と構造物』鹿島出版会 (1999)
- 40) 細野義純『消防科学総合センター資料』(-1999まで)
- 41) 「大深度地下利用「事前補償不要に」(記事)」『日本経済新聞』(1999.3.10付)
- 42) 『大深度地下鉄道 - 技術と課題 - (セミナー講演資料)』鉄道総合技術研究所 (1988)
- 43) 大島洋志, 木谷日出男「深部地下鉄道の建設と地下水問題」『(財)日本地下水理化学研究所論文収録集 (第1集)』pp.56-66 (1993)
- 44) 『都市NATMとシールド工法との境界領域 - 設計法の現状と課題 - 』土木学会 (1996)
- 45) 櫻井春輔, 足立紀尚編『都市トンネルにおけるNATM』鹿島出版会 (1988)
- 46) 松本嘉司『最新シールドトンネル・ハイテク技術が地下を掘る』日経BP社 (1994)
- 47) 河田博之, 松本吉雄「MFシールド駅の構造の構造計画」『鉄道総研報告』Vol.5, No.2 (1992)
- 48) 鉄道総合技術研究所『鉄道に、新技術』鉄道総研広報パンフレット

執筆者

(財) 鉄道総合技術研究所

* 環境防災技術開発推進部環境地質担当主幹技師

木谷日出男

博士(工学), 技術士(応用理学)

** 技術支援部技術情報センター主任技師

小野田 滋

博士(工学)

「技術フォーラム報告」

『東京都1999技術フォーラム報告』

社団法人 東京都地質調査業協会では、技術の向上を目的として「東京都1999技術フォーラム」を平成11年11月19日に開催しました。年末のお忙しい中多数の参加をいただき、幸いにも盛況の内にフォーラムを終えることができました。

今回のフォーラムでは12編の一般発表と特別講演を行いました。一般発表では、様々な調査手法や新技術の基礎研究や現場での適用例が報告されました。特別講演は基礎地盤コンサルタンツ株式会社海外事業部長の藤堂博明氏に、海外における地盤調査を東南アジアを中心としてお話しいただきました。この場をお借りしてあらためてお礼を申し上げます。

以下、「東京都1999技術フォーラム」について、紙面を借りて振り返らせていただきます。また、フォーラム終了後に実施したアンケート調査の結果についても、ご報告させていただきます。

「東京都1999技術フォーラム」講演会

開催日：平成11年11月19日 会場：大井町きゅりあん

< 第1セッション > 10:20～12:20

< 第2セッション > 13:20～15:20

< 特別講演 > 15:30～17:00

『海外の地盤調査 - 東南アジアを中心として - 』

基礎地盤コンサルタンツ(株) 海外部長 藤堂博明



『セッション報告』

<第1セッション> (入野記)

【1】同一層におけるN値のバラツキについて

(株)東京ソイルリサーチ 向江 哲

同一の敷地内の同一土層で実施した標準貫入試験において、わずか1m程度離れただけでN値が10~20も変化している事例が報告された。調査地は千葉県袖ヶ浦市の低地部にあり、深さ11mまでは沖積層、その下位に砂層を主体とした洪積層(成田層群)が分布している。N値のバラツキは、この洪積層の砂層にみられた。N値のばらつきの原因として、オペレーターの相違、モンケン落下方法の相違、ロッド等ねじのゆるみ、落下高さの微妙な相違、先端破損シューの使用などの機械的・人為的な影響についての検討がなされ、これらの可能性がないことが説明された。その結果、土層の不均一性がN値バラツキの主要因との判断が示された。

【2】粘性土地盤に対する小径倍圧型水圧ピストンサンプラーの適用性

興亜開発(株) 八代 修

66mmのボーリング孔で45mmの乱さない試料を採取できる水圧サンプラーの紹介とこのサンプラーで採取した試料と通常の固定ピストンサンプラー(試料径75mm)で採取した試料の品質の比較が報告された。試験試料は千葉県佐倉市の沖積層の粘性土である。サンプラーの深さ方向と横断方向で自然含水比 W_n や一軸圧縮強さ q_u 、変形係数 E_{50} 、破壊ひずみ ϵ_r について検討がなされ、通常の固定ピストンサンプラーと同等以上の品質の試料が採取できるとの報告がなされた。

【3】フラットダイラトメーター試験を用いた地盤改良効果の評価

基礎地盤コンサルタント(株) 藤田 行弘

地盤改良効果の評価手法として、フラットダイラトメーター(DMT)を用いた例が報告された。DMT試験で得られる値から提案されているDMTインデックス(I_D , K_D , E_D)のうち、ダイラトメーター係数 E_D についてN値と q_c との相関を、地盤改良前後の砂地盤について比較した結果が報告された。これらの関係は多少のバラツキは認められるものの相関関係が認められ、複雑な計測をとまなわないDMTが他の手法に比べて経済的・時間的に優れていることが報告された。

【4】ボーリング調査における最大礫径の妥当性について

サンコーコンサルタント(株) 田中 幸男

シールド・推進工法の設計施工のために、砂礫層の礫径について、ボーリング調査と 1500mmの大口径掘削調査(CD工法)により比較検討した事例が報告された。対象とした地層は、相模層群の大庭砂礫層である。その結果、大口径掘削によって得られた最大礫の厚さとボーリングによる礫の最大コア長はほぼ一致すること、礫の長径は礫の厚さの1～4倍、平均2倍程度であり、礫径が大きいほど平均の2倍に近づく、したがって最大礫の長径は、最大コア長の2～3倍程度、目安として3倍程度であることが明らかとなった。

【5】圧密試験と K_0 圧密試験の一事例

川崎地質(株) 柴田 耕三

より精度の高い圧密特性の把握を目的として、三軸圧縮試験機を用いた K_0 圧密試験が実施され、標準の圧密試験の結果との比較検討が報告された。試験試料は、沖積粘性土層である。その結果、圧密降伏応力はほぼ同様の値を示す、初期状態から圧密降伏応力までの間隙比や体積圧縮係数は、 K_0 試料の方がやや小さい値を示すが、圧密降伏応力をこえると両者はほぼ同様の曲線に重なってくる事が報告された。の原因として、試料高さの小さい標準圧密試験試料は、より応力解放の影響が大きいことが想定された。

【6】孔内閉塞に関する室内試験及び現地との比較

梶谷エンジニア(株) 伊藤 健

これまで経験的に行われてきたボーリング孔の閉塞を、効果的かつ確実にこなえるよう、室内試験を実施し、さらに現場での検証をおこなった。室内試験は、セメントと水の割合を種々変えて、注入後の閉塞率や圧縮強度、単位体積重量を測定した。その結果、水1ℓに対するセメント重量比が1.00までは、閉塞率はほぼ直線的に増加するが、それ以上となると閉塞率の増加割合が小さくなること、固化したセメントの圧縮強度・単位体積重量は、下部が上部より大きな値を示すこと、フライアッシュを添加しても、粘性は低くなるが閉塞率の向上はみられないことが明らかとなった。また、現場では、室内実験と同じ閉塞率を得るためには、1.0～1.2倍のセメント量が必要なことが明らかとなった。

<第2セッション> (桜井記)

【7】膨張性止水材の乾湿および圧力下における特性

サンコーコンサルタント(株) 平木 伸明

観測井などで用いられる膨張性止水材は、設置期間が長期にわたる場合に地下水の低下によって乾湿が繰り返されることが考えられる。本稿は、この点を明らかにするため、乾湿繰り返し試験を実施し、乾湿繰り返し回数が増すと膨張倍率が減少する傾向が見られたことや、静水圧の増大に伴い、膨張量の減少、膨張時間が遅れる傾向があったことなどが判明したことを報告している。

【8】GPSを用いた火山ガス調査

日本物理探査(株) 内田 篤貴

本件は、1973年の浅間山噴火による入山規制を解除するための検討資料を得ることを目的として、GPSを利用し火山ガスの噴出状況を調査したものである。本調査により硫化水素、二酸化炭素、二酸化硫黄の濃度と測定地点がGPSにより水平精度1m以内で測定できることが立証された。今後衛星信号が整備されれば、さらなる発展が期待でき、災害防止に寄与できるとしている。

【9】橋梁基礎構造の調査に関する研究

梶谷エンジニア(株) 田口 雅章

ボア・ホールカメラは、孔壁の損傷状態を確認する手法として非常に有効であるが、ボーリング削孔時にクラック部が拡大したり、切りくずなどがつまり、実際のクラックよりも小さく評価してしまうことなどがある。本稿は、クラックの角度を人工的に変えた供試体を作成し、回転速度を変えたボーリングマシーンを用いて削孔した孔を、ボアホールカメラで測定した結果を報告したものである。

【10】有限要素法による地震時安定性解析事例と等価深度計算法の提案

基礎地盤コンサルタンツ(株) 音 勇一

高盛土や傾斜地盤上の盛土では地震時の挙動が複雑となるため、有限要素法による地震応答解析法を用いて地盤内応力を算定し、斜面安定解析を行うことが多い。本稿は、ゾーニング盛土に対して行った有限要素法による地震時斜面安定解析事例を示すとともに、すべり線上のせん断滑動力から等価震度を算定した事例を紹介したものである。

【11】掘削場内における鋼管矢板背面の水圧低下工法の紹介

大成基礎設計(株) 廣田 雅彦

掘削場内において、掘削途中から水圧を低下する必要が生じた場合、緊急に深井戸を設置することは困難が伴う。本稿は、山留め壁として使用した鋼管矢板にバルブを設置し、地下水を抜くことにより、鋼管矢板背面の水圧低下を図った事例を紹介したものである。本工法は、「ツインバルブ工法」の名称で、現在、特許を申請中である。

【12】3軸フラットゲート型磁力計による埋没鉄類磁気探査

日本物理探査(株) 吉田 和正

比較的浅部に敷設されている上・下水道管、ガス管、パイプライン等の地下埋設鉄類の磁気探査は、短時間である範囲を面的に調査できるため、土工事ならびにボーリング調査の事前確認調査として有効である。本稿は、3軸フラットゲート磁力計により地表での磁気探査を行い、目的とする浅所の鉄類を的確に捉えた事例を紹介したものである。

『アンケート調査結果』

1. 構成（アンケート回収 36名）

年齢	20～30才未満	13名
	30～40才未満	13名
	40～50才未満	5名
	50才以上	5名
性別	男性 34名	女性 2名

2. 今回の技術フォーラムに参加してのご感想

（1）発表内容

良い 9名 普通 25名 改善を要する 2名

・発表内容については、「毎年テーマを決めて実施する」、「全地連のフォーラムと内容を合わせる」等の意見がありました。

（2）発表方法

良い 9名 普通 27名 改善を要する 0名

・発表方法については、「パソコンとプロジェクターを使用したい」との意見が多数寄せられました。また、OHP画面が小さくて見辛いとの指摘もありました。

（3）会場について

設備 良い 21名 普通 15名
広さ 良い 20名 普通 16名
場所 便利 33名 不便 3名 遠い 1名

・会場については、概ね、評判は良かったようです。

3. その他今後の技術フォーラム・協会活動に対してのご意見

参加名簿があればいいと思う。

継続してほしい。また、是非、参加したい。

現場見学会をしてほしい。

技術講習会（現場・解析・講演等を開いてほしい。）

若手技術者の教育・指導の場をもっと多く企画してほしい。

等のご意見をいただきました。

以上、アンケートの集計結果です。協力していただいた皆様、本当にありがとうございました。

（以上 文責森口）

技術ノートのおゆみ

技術ノートは、当協会技術委員会が技術情報誌として昭和62年12月に創刊号を発行して以来、平成12年3月までで第30号に達しています。

創刊号から第30号までの内容は、既刊リスト表のようになっていました。トピックスの内容は、東京を舞台とする様々な話題の中に地形、地質との関連または基礎工学的な話を織り込みながらその歴史や現在を伝える内容となっています。各号とも写真や図にカラーをふんだんに使い、明るい紙面となっています。

技術ノートは、一般の方々に地質調査業を理解していただくとう始めた行事であります。今後も、たくさんの人たちに読んでもらえるよう、内容を充実させて地域社会に貢献していきたいと思ひます。

技術ノート既刊リスト表（バックナンバー）

No.	発行年月	技術トピックス
1	S. 62. 12	東京都の地形区分図・地質断面図
2	S. 63. 3	超高層ビルの地質の基礎形式
3	S. 63. 7	江戸城なりたち、その地形・地質との関係
4	S. 63. 10	東京湾の埋立、その歴史
5	H. 1. 3	東京の川と水
6	H. 1. 8	建築基礎工法の変遷、その地質との関係
7	H. 1. 12	隅田川の橋、その地質と基礎形式
8	H. 2. 5	東京の地下鉄
9	H. 2. 11	東京の石
10	H. 3. 3	新東京都庁舎
11	H. 3. 7	東京の遺跡
12	H. 3. 12	東京の高速道路
13	H. 4. 3	東京の温泉
14	H. 4. 9	都内の庭園
15	H. 5. 3	山手線
16	H. 5. 10	東京のベイエリア
17	H. 6. 3	東京の下水道
18	H. 6. 9	東京のエネルギー
19	H. 7. 3	東京の山
20	H. 7. 9	東京の上水道
21	H. 8. 3	東京の低地
22	H. 8. 10	東京の運河
23	H. 9. 3	東京のトンネル
24	H. 9. 9	東京の防災
25	H. 10. 3	東京の川 神田川
26	H. 10. 10	東京の台地
27	H. 10. 12	東京の道
28	H. 11. 3	東京の水辺
29	H. 11. 10	東京のまちなみ
30	H. 12. 3	首都圏を支える鉄道網



編集後記

今回は、「首都圏を支える鉄道網」として、その歴史的歩みと地盤との関わりを紹介いたします。

新橋停車場より、我が国で初めて蒸気機関車が出発してから約130年が経過しました。現在に至るまで、鉄道技術の発達は、私たちの生活に大きく貢献してきました。地質調査も、大正時代の地下鉄建設に見られるように、東京の地下の状況を把握するために、当時から重要な役割を担って参りました。

今後は、来るべき新しい世紀に向け、それぞれの技術が更に発展していくことが期待されます。

さて、次号は「東京の公園」を紹介する予定です。ご期待下さい