

大地震後に想定される地下鉄トンネルの浸水

——東京江東地区の場合——

新井 邦夫* 丸井 信雄*

要 約

都内にある地下空間のなかで最も浸水の危険性の高い江東地区の地下鉄（都営1号線，営団東西線，都営10号線）の，大地震後の浸水危険度について考察した。

これらの地下鉄では高潮や洪水に備え，駅出入口の止水板もしくは防水扉，トンネル内の強制換気法，トンネル内の防水扉等さまざまな防水対策がこうじられている。

大地震後，堤防の欠壊による地表への浸水や，駅出入口や構築の亀裂からのトンネル内への浸水が発生することを想定し，対象となる駅の地表や，トンネル内の標高とその標高以下の空間体積との関係を図化した。これらの図は駅出入口付近や駅ホームが水没するために必要な総水量を与えるものであるが，発災後の対策に際し極めて有用であると思われる。

水没のための必要水量を指標として各駅の浸水危険度を検討した。都営1号線では押上駅の地表部，浅草駅ホーム，東西線では南砂町駅と東陽町駅の地表部，および木場駅ホーム，都営10号線では西大島駅と大島駅の地表部，浜町駅，菊川駅，西大島駅の各ホームが他に比べ早く水没すると結論を得た。

さらにこれらの結論をもとに都営1号線では本所吾妻橋駅，東西線では門前仲町駅，都営10号線では住吉駅を乗客避難の集結地とすべきであり，これらにおける避難誘導法の現実的確立を急ぐべきであることを指摘した。

1 はじめに

一般に地下空間はさまざまな形で存在する水の水面の下に位置するから，浸水に対して本質的に弱い性質を有する。8路線もが複雑に錯綜して走行し，営業キロ数は総計約167kmにも達している東京都内の地下鉄の中にも浸水の恐れのある部分は多数存在する。このためさまざまな防水対策が講じられており，その効力は極めて大きく，今日まで目立った浸水害は発生していない。しかしながら今までの防水対策が対象としてきた水は着工以前に性状が判明している地下水であったり，水防作業に取りかかるまでにある程度の時間がある高潮や洪水のようなものであった。

近年大地震が社会的に大きく取り上げられるようになってきたが，その副次的災害としての浸水も地下空間にとっては極めて深刻な問題である。

地下鉄企業者の意図する現在の防水対策は，いつ起こるかわからない地震時の浸水に対し，果して有効に機能

するであろうか？あるいはこの種の浸水に対して有力な防水対策は確立されているであろうか？残念ながら，このような疑問に対して明快な解答が得られるような調査・研究をいまだ我々は耳にしていない。

本論文は東京において，浸水の危険性の最も大きな江東地区を走行する地下鉄の大地震後の浸水について考察したものである。まず，地下空間浸水の機構を明確にし，次いで，江東地区の地下鉄に備えられている各種防水対策を整理し，さらに駅毎，路線毎に浸水の危険性と乗客避難の問題点を検討する。

2 大地震後の地下空間浸水（丸井，1978）

一般に地下空間に浸水する水は，イ）地下水，ロ）河川水，海水のような表面水，および ハ）上下水道管のような人工水路水，に大別される。そしてこれらの水が地下空間に浸入する場合の経路には，a）構築壁面の破壊口，および，b）地表と地下空間との連絡口，がある。これらの水と浸入経路の組み合わせによって地下空間に

* 東京都立大学都市研究センター，工学部

さまざまな態様となって浸水が生起するが、特に検討を加えておくべき組み合わせは、イ)とa)およびロ)とb)であろう。次にこれらの機構を示そう。

2-1 地下水が構築壁面の破壊口を經由して地下空間に浸入する場合

何らかの外力によって地下空間の構築が破壊されると、その破壊口から地下水が浸入してくる。自由地下水である場合は浸入水量はほとんど問題にならないが、被圧地下水であったり、河川水と密接な関係にあるような地下水(伏流水)である場合には多量の水が浸入する。

現在までのところ完成した地下構築が破壊し、浸水した例を知らないが、掘削工事中に大規模な地下水脈に遭遇したり、矢板の打ち込みが不完全であるなど、設計・施工上の問題によって浸水する例はしばしば耳にすることである。都内では1970年11月27日首都高速4号線一石橋付近および1976年1月30日地下鉄11号線室町駅における事故が知られている(東京消防庁)。幸にも、いずれの場合においても一般市民を巻き込む惨事に至らず、社会的には大きく取り上げられなかったが、水没までの時間の短さから推して、浸水流量は $100\text{m}^3/\text{sec}$ は下らぬ程の大きさであったと考えられ、この種の浸水(上に示した2例の場合は日本橋川の水のパイピングとみられる)の恐ろしさを如実に示す好例である。

2-2 表面水が地表出入口等を経由して浸入する場合

東京・大阪などの大都市には地盤沈下によって0m地帯が出現した。このような地区は、高潮や洪水の襲来がなくとも、何らかの外力によって、堤防が破壊されれば、直ちに水没する運命にある。しかも、東京の場合、その堤防は度重なる嵩上げによって当初の安全度を喪失しており、大地震による堤内氾濫は必至であると予想される(有賀, 1978, P. 423)。

このように浸入してきた水の水面が、地下空間の出入口や通気口等の開口部より高くなれば、当然水は地下空間に流入する。

以上の他上下水道管路の破壊部から噴出した水がトンネル構築の破壊部や路上の通気口を經由して浸入する場合や、ビルなど他の構築に浸入した水がトンネルとの連絡口を經由して浸入する場合が考えられる。これらについてもいずれ詳細な検討が加えられねばなるまいが、ここでは上記2種の機構による浸水を考察の対象とする。

3 江東三角地帯の地下鉄とその防水対策

隅田川・荒川放水路および東京港に接する江東三角地帯は、内部に多数の運河を擁する低地(図-1)であり

その地盤は極めて軟弱である。有賀(1978, P. 417)の推定した大地震後の浸水地域を図中に示したが、この地帯の東側半分は常時海面より低く、堤防が欠壊すれば、たちどころに水没する運命にある。

地下の地震動は地表のその $\frac{1}{2}\sim\frac{1}{4}$ 程度であるために、設計時においてトンネルの一部が地表に露出する部分など特殊な場合以外は一般に地震力は考慮されていない(遠藤他, P. 335)。一方、伯野等は地下鉄10号線をモデルとし、水平方向へ振幅10cmの正弦波を与えた時の構築の応力を算出し、地質が一樣で硬い場合を最も安全であるとした場合、地質が急変し、一方が軟弱で液状化する場合が最も不安であり、次いで地質が軟弱一樣で液状化する場合、地質が急変し一方が軟弱であるが液状化しない場合、地質が軟弱一樣で液状化しない、の順に不安度が小さくなると結論づけている。

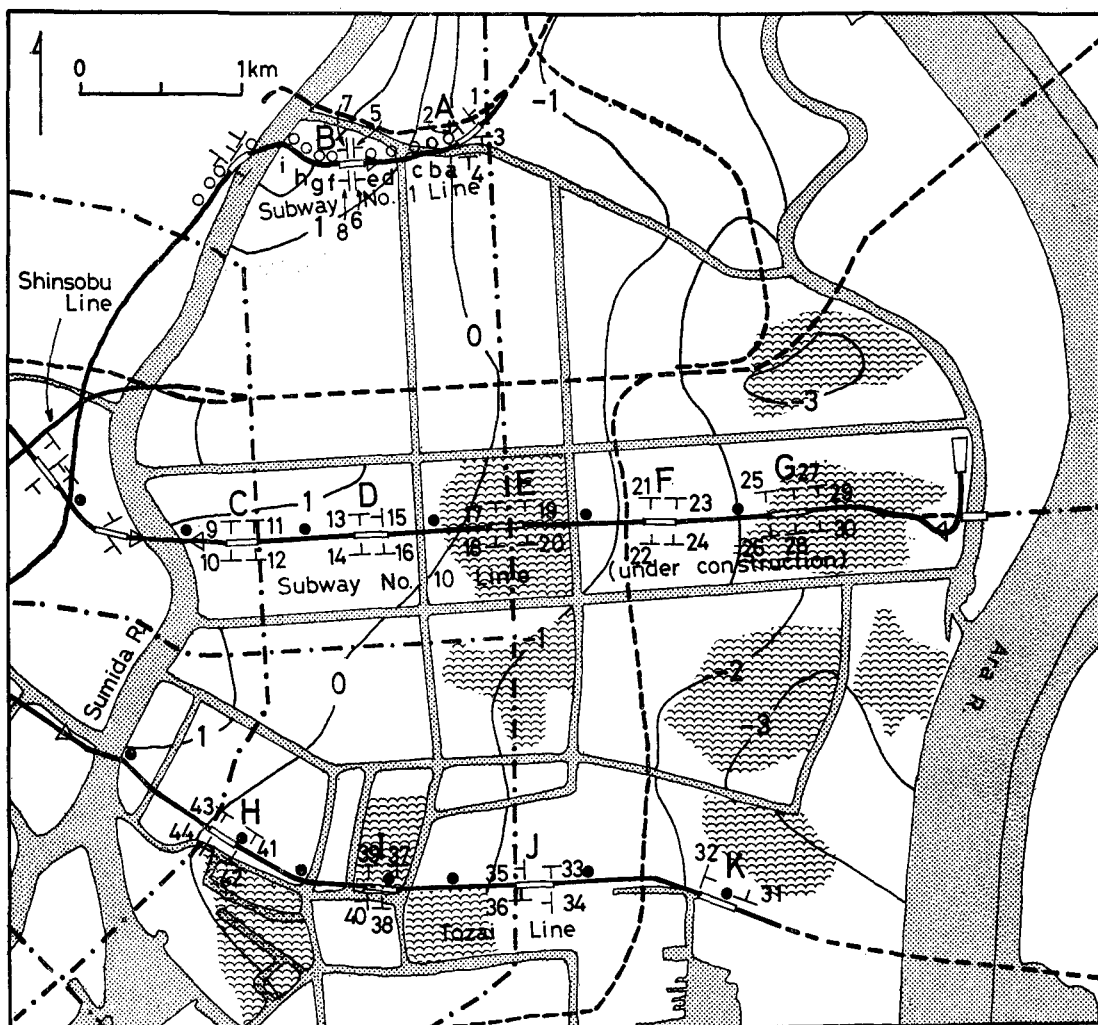
いずれにしても、江東地区の地下のような軟弱層中にトンネルが構築されるようになったのは最近の約20年で、この種の構築が大地震を経験したことは世界的にもない。長手方向の配筋を多くしたり、液状化に対する配慮がなされているとはいえ「元来地中構造物は耐震的である。」とする従来からの考え方が基本となって設計がなされた江東地区内の地下鉄構築が、大地震に対し、いかなる応答をするか現在のところ何人も明らかにすることはできない。したがってより安全側の立場に立つとすれば大地震によって江東地区内において、構築がつぶれるようなことはないとしても、亀裂が入る可能性があると考えておくのは限度を越えた独断ではあるまい。

以上のごとく前節で示された2種の浸水の危険性を同時に有する江東地区の地下鉄には多様の防水対策が備えられている。次にそれらを路線別に整理してみよう(図-1参照)。

3-1 都営1号線

都営1号線は、浅草駅より隅田川河底部を通過し江東地区に入り、本所吾妻橋駅を經由し、押上駅において京成電鉄と接続している。1976年度における1日平均の乗車人員は、本所吾妻橋駅で8,416人、押上駅で14,290人であり、又押上一本所吾妻橋間の輸送力2万人に対し、最混雑1時間における混雑率は110%であった(東京都交通局)。

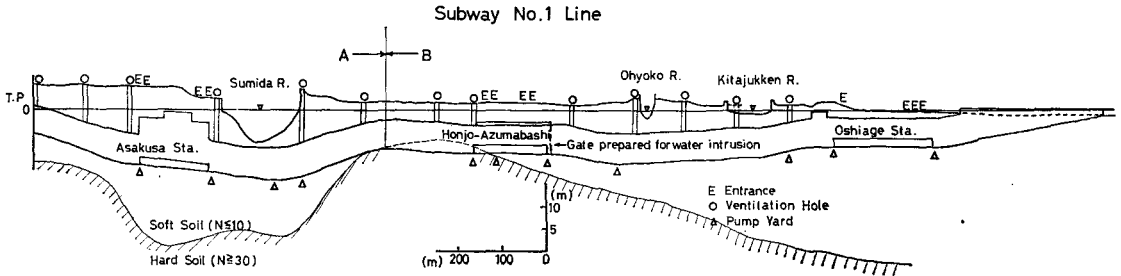
トンネルは本所吾妻橋駅、押上駅それぞれ4か所の駅出入口の他、9か所の通気口、および押上駅北方における開口部によって地表と連絡している。地表の地盤高は最低でもトンネル開口部付近のT. P-0.5mであるから、平時においてはこれらから浸水する恐れは少ないが、高潮、洪水に備え駅出入口およびトンネル開口部には角落しによる防水板が用意され、通気口には非常時に閉鎖される防水板が取り付けられている。図-2-1はトンネ



- Center line (T.P.)
- Railway (underground tunnel)
- - - Railway (ground surface)
- · - · - Subway under plan
- Ventilation Hole (natural)
- Ventilation Tower (artificial)
- ⊥ Entrance
- ▷ Gate within tunnel

- Station
- A. Oshiage
- B. Honjo-Azumabashi
- C. Morishita
- D. Kikukawa
- E. Sumiyoshi
- F. Nishiohshima
- G. Ohshima
- H. Monzennakacho
- I. Kiba
- J. Toyochō
- K. Minamisunamachi
- Estimated pondage area after an hour following a heavy earthquake (after Ariga)

図一 江東三角地帯の地下鉄



図一2-1 都営1号線縦断面図

ルの縦断面を示したものである。隅田川と本所吾妻橋間がN値30以上の比較的硬い層にのっている他は、トンネルは軟弱層中に構築されている。潜函工法によって構築された隅田川河底下では河水と構築の境界厚はわずか1.5mである。トンネル最深部はやはり隅田川下で約T.P-17mである。

本所吾妻橋駅の押上側には、押上方面からの浸水を防止するために防水扉が設置されている。

あるアンケートによれば(日本科学者会議)「関東大地震なみの地震がグラグラときたらどう対処するか」との問に対し、赤坂見付駅、銀座駅の助役は「(地下は)地上より安全であるから客を動かさない」と答えているのに対し、押上駅助役は「乗客は地上に避難してもらう。構造は弱くないが、場所がら水があふれる可能性がある。たいていの場合備えつけの吸上げポンプで処理できるが大量の出水となると別の方法を考えなくてはならない。避難場所として近くの学校などを確保している」との注目すべき見解を述べている。

3-2 営団東西線

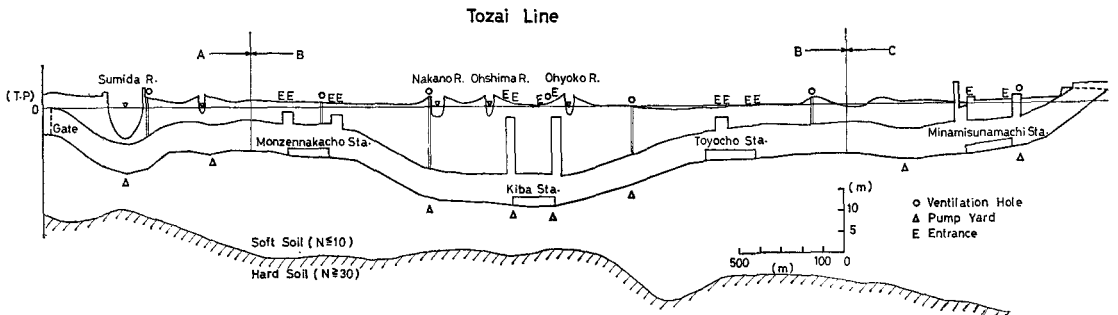
日本橋川沿いに走行してきた東西線は永代橋下で隅田川河底を通過し、江東三角地帯に入り、4駅を經由し、地表に出た後橋梁によって荒川放水路を越える。昭和50年度の1日平均乗車人員は、門前仲町37,551人、木場17,538人、東陽町23,317人、南砂町9,608人であり、西船

橋、東陽町間の最混雑1時間における混雑率は231%であった(帝都高速度交通営団)。駅出入口は門前仲町駅、木場駅、東陽町駅に、それぞれ4か所、南砂町駅に2か所ある。これらの駅入口踏面は周辺の地盤が極めて低いために外水の浸入に備え地表より0.5~2m高くされており、さらに防水扉が設置されている。南砂町東方の開口部は、高さ2mの防水壁によって囲まれている。トンネル内の換気は都営1号線のような自然換気法によらず、強制換気法がとられ、換気口は浸水を防止するために地表より十分高く上げた塔上にある。

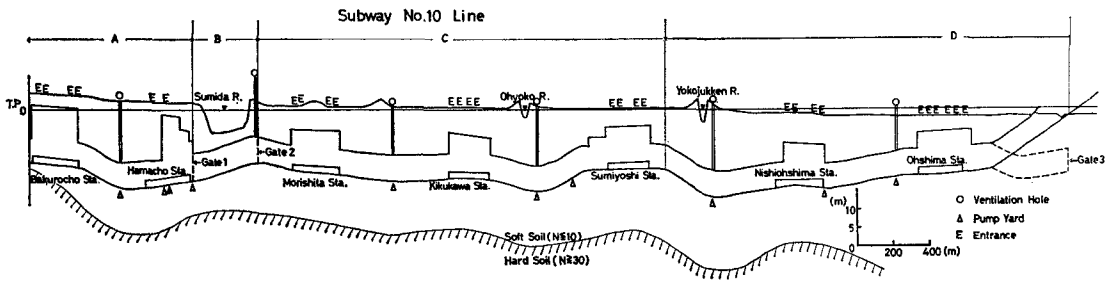
断面を図一2-2に示したが、全線を通じトンネルは軟弱層中に構築されている。木場駅が-24mと最も深い位置にある。隅田川西方には万一トンネル内に浸水した場合、都心への流入を防止するための防水扉が設置されている。

3-3 都営10号線

すでにほとんどの工事を終り、営業開始を待つばかりである都営10号線は、新大橋付近で隅田川河底を通過し、江東地区のほぼ中央を東西に走行する。設置された5駅の4か所ないし6か所の駅入口には全てに防水扉が備えられ、その踏面高は周囲の地盤より推定0.5m高くされている。換気は強制法がとられており、又万一隅田川河底下からの浸水があった場合、他に影響を及ぼさないよう河底直下に2か所の他、車庫への流入を防ぐため



図一2-2 営団東西線縦断面図



図一2-3 都営10号線縦断面図

表一1 江東地区内の地下鉄駅入口の標高および防水施設

路線	駅	駅番号*	入口付近地盤標高 (T. P. m)	入口踏面**標高 (T. P. m)	入口幅 (m)	防水施設
都営1号線	押上	1	0	0	3	角落し (1 m)
		2	0	0	3	" (1 m)
		3	0	0.3	5	なし
		4	0	0	3.5	角落し (1 m)
	本所吾妻橋	5	1.5	1.7	1.5	" (0.7 m)
		6	1.5	1.8	1.5	" (0.6 m)
		7	1.5	1.8	1.5	" (0.6 m)
		8	1.5	1.7	1.5	" (0.8 m)
都営10号線	森下	9	1		3	防水扉
		10	1		3	"
		11	1		4	"
		12	1		4	"
		13	0.5		3	"
	菊川	14	0.5		3	"
		15	0.5		3	"
		16	0.5		3	"
		17	0		3	"
		18	0		3	"
	住吉	19	0		3	"
		20	0		3	"
		21	-1.5		3	"
		22	-1.5		3	"
		23	-1.5		3	"
西大島	24	-1.5		3	"	
	25	-2.0		3	"	
	26	-2.0		3.5	"	
	27	-2.0		2.5	"	
	28	-2.0		2.5	"	
	29	-2.0		3	"	
東西線	南砂町	30	-2.0		3	"
		31	-2.0	0	3	"
		32	-2.0	0	5.5	"

東陽町 木場 門前仲町	33	-0.5	0.5	3	防水扉
	34	-0.5	0	1.5	" (階段下), 角落し(1 m)
	35	-0.5	0.5	3	"
	36	-0.5	0	3	"
	37	0	0	3	"
	38	0	0.5	3	"
	39	0	0.5	3	"
	40	0	0.5	1.5	" (階段中), 角落し(1 m)
	41	1	1.5	3	"
	42	1	1.5	3	"
	43	1	1.5	3	"
	44	1	1.5	2.5	"

* 図-1の駅入口番号に対応する。 ** 都営10号線についてはいまだ不明

1か所の防水扉が設けられている。図-2-3に断面図を示した。東西線と同様、軟弱層中にトンネルは構築されている。最深部は横十間川直下付近で約-25mである。

表-1に図-1で示された駅入口の標高および防水施設の種類をまとめて示す。

いずれのトンネル構築も地下水の浸出を防ぐために防水工がほどこされているため、江東地区内のトンネルから平時湧出する水の量は少ない。営団の資料によれば、1976年度の東西線中野・南砂町間における湧出量は平均520m³/day/kmであるが、茅場町・南砂町間ではその1割にも満たない約30m³/day/kmであるにすぎない。この種の地下水を排出するために設けられた、トンネル延長750m平均に1か所のポンプ場(1~2m³/分×2台)が非常時にも機能するであろうが、原動機を備えている場所が少ないから、停電の場合にはほとんどが機能せず、地震を想定する場合、大きな期待を寄せることは危険である。

以上の3路線の他江東地区内では数路線の新設が計画されている他、現在国鉄新総武線が両国駅より地下に入り、品川駅に通じている。これについては資料不足によりここでは検討しないが、トンネルが途中で経由する新東京駅が約T.P.-60mという極めて深い位置にあることなど浸水の危険性について綿密な検討が加えられる必要がある。

4 標高一空間体積関係

地震に伴う破堤による浸水や、地下空間への浸水に

ついでの問題は現在までほとんど研究の対象となっていなかった。その主要な理由は定量的把握が困難であるところにあると考えられる。すなわち現時点では水理学的解析に問題を限定しても、地震に伴う浸水に密接な関連がある段波の問題は必ずしも明晰な理論が確立されていない上に、数値計算を目指しても浸水する上流端の境界条件が決まらないなど不確定要素があまりにも多く、一定のレベルを越えた研究成果を期待できない。

有賀(1978)はこのような困難を克服し、東京の下町における地震後の浸水による浸水計算をおこない、被害を想定した。しかしながら、彼自身も述べているように、多くの仮定に立脚して出された結果は「実際に起こり得べき被害状況のほんの一例を示すのみと言わざるを得ない」のであって、その結果を使って別な議論を展開するような汎用性はほとんど有していない。筆者等は基本的に江東地帯のような低地における大地震後の浸水は不可避であるとの立場は変わらないが、全く予見できない態様で突然襲って来る浸水に対し、事後の応急対策に有用な資料をそろえておくことは、被害を想定し、その被害を最小にする事業を災害発生以前に進めることに優るとも劣らない程、緊急かつ重要なことであると認識している。つまり地震後、浸水開始が判明した時点で適確な判断に基づく応急対策が実施されねばならないが、この場合おそらく第一に、考える場所に水が来るかどうか、第二に、考える地点に水が来るとすれば、それまでにどれ程の時間的余裕があるかが問題となるに違いない。まさにその時点において使うことのできる対策やその対策のための資料が必要とされよう。破堤部近傍のような瞬時に水が襲来する地点以外では、発災後浸水流量や水位上昇速度が観測されるであろうから、湛水する場所の容量があらかじめ与えられていさえすれば、ある高

さまでに水面が到達する時間を容易に推定することができ、その後の行動が計画的に進められることが期待できる。

このような観点から、駅周辺やトンネル等種々の地点における可能湛水容量を知るために、標高とその標高以下の空間体積の関係を算出した。以下にそれに基づいて検討した浸水の危険性を個々に示そう。

4-1 江東地帯全体 (図-3-1)

この図は主として図-1に示された江東地帯全体について標高と、それ以下の空間体積との関係を示したものである。この図からさまざまなことがわかるが、例えば次のようなことは大いに注目される。

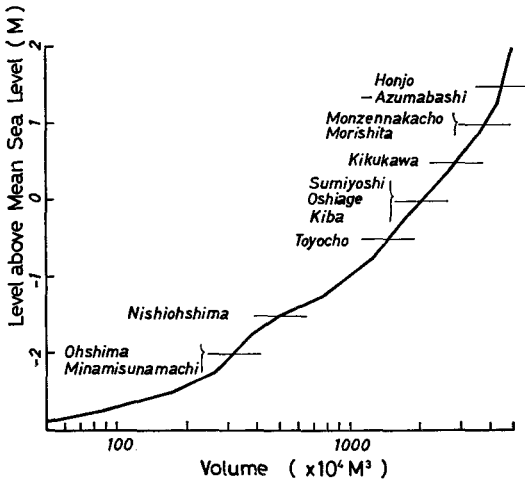


図-3-1 標高と空間体積の関係 (江東三角地帯全体)

1) 海拔0mまで水面が来るためには、総計約2千万m³の水が流入しなければならない。又常時水につかる危険性のある地域が水没した場合には、同じく約9百万m³の水が滞留していることになる。

2) 大島駅および南砂町駅が水没するためには少なくとも総計約3百万m³の水が必要である。かりに江東地区全体で1,000m³/secの流入があるとすれば、1時間足らずで両駅出入口周辺は完全に水没するはずである。

4-2 各駅付近 (図-3-2, 3, 4)

図-1からも明らかのように、江東地帯には多数の運河が縦横に開削されており、これらの運河の堤防が決壊し、それによって区切られた小区域のみが浸水することもある。個々の駅が立地する小区域の標高と空間体積の関係を示した図-3-2, 3, 4は、図-3-1が示す意味とは逆に、駅入口周辺の水没までの最短時間を知るために有用な図である。図-3-2は都営1号線について

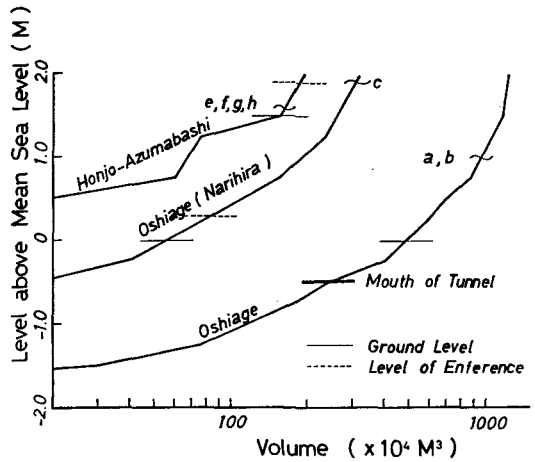


図3-2 標高と空間体積の関係 (都営1号線, 地表)

てまとめてある。一般道路上に設けられた通気口の面および本所吾妻橋駅付近はいずれも高く、満潮時であっても浸水の恐れはほとんどない。なお図中の付号は図-1に示した通気口のそれに対応する。一方押上駅では、外水位が高い場合に浸水する可能性がある。さらに詳細にながめると、北十間川の南側にある業平口 (図-1における4)と北側にある他の3か所の出入口では浸水の様相がやや異なることがわかる。満潮時近傍で南側に浸水が発生した場合には流入水量が60万m³程度で出入口付近は水没するのに対し、北側では、その約10倍の水が流入しない限り出入口付近に水は来ない。又トンネル開口部の地盤高は低く、300万m³程度の水がこの地域に滞留すればトンネル内に流入し始める。

図-3-3は、東西線の各駅について示したものであ

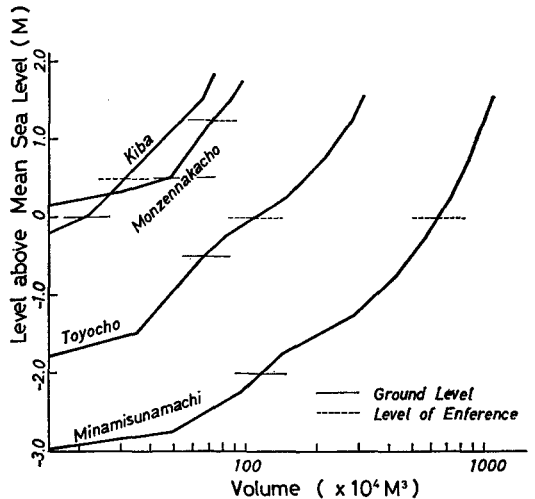


図-3-3 標高と空間体積の関係 (東西線, 地表)

る。地盤の低い木場・東陽町・南砂町駅付近が水没するのに必要な水の総量は次の通りである。

木場	25万 ^{m³}
東陽町	70 "
南砂町	120 "

木場駅は他に比べ少ない量で駅周辺が水没するが、地盤が他の3駅に比べ高いから水流の激しさや湛水深は大きくはならないと考えられる。又東陽町および南砂町駅では満潮時付近で出入口からトンネル内へ浸水の可能性があり、万一かかる事態になる場合には、たとえ出入口からトンネル内へ浸水が始まる以前であっても、地表の湛水深が大きく、駅から他への避難は不可能となる。

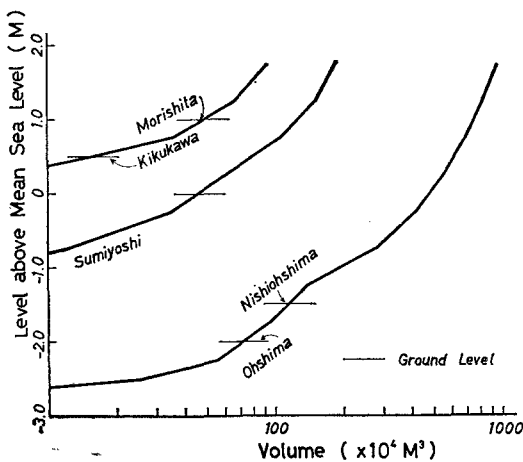


図-3-4 標高と空間体積の関係 (都営10号線, 地表)

図-3-4は都営10号線について示してある。各駅付近が水没するための水の量は次の通りである。

住吉	50万 ^{m³}
西大島	120 "
大島	80 "

森下・菊川駅周辺は水に浸される可能性はほとんどない。住吉駅では満潮時近傍において、又大島・西大島駅では、外水が干潮の場合でも堤防が決壊すれば必ず出入口周辺は水没する。出入口踏面の高さが東西線と同様、すなわち大島・西大島は海拔0mの高さに、他は現地盤より0.5m高にしてあると仮定すれば、大島・西大島では満潮時にこの地域に総計約400万^{m³}の流入があれば出入口からの浸水の恐れが生ずる。

南砂町駅と同様の理由から大島および西大島駅からの避難は極めて困難となることが予想される。

4-3 トンネル内 (図-4-1, 2, 3, 4)

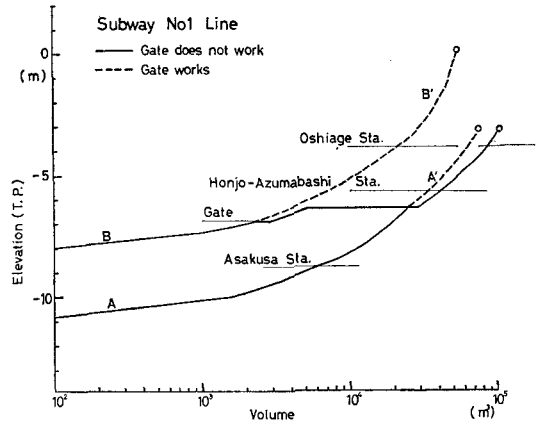


図-4-1 標高と空間体積の関係 (都営1号線トンネル内)

何らかの原因によってトンネル内に水が入りはじめた場合もやはりトンネル内の位置によって危険性が異なることが予想される。

図-4-1は、図-2-1に示した範囲の都営1号線トンネルの標高と内部空間体積の関係を示したものである。図中の付号は図-2のそれに対応する。

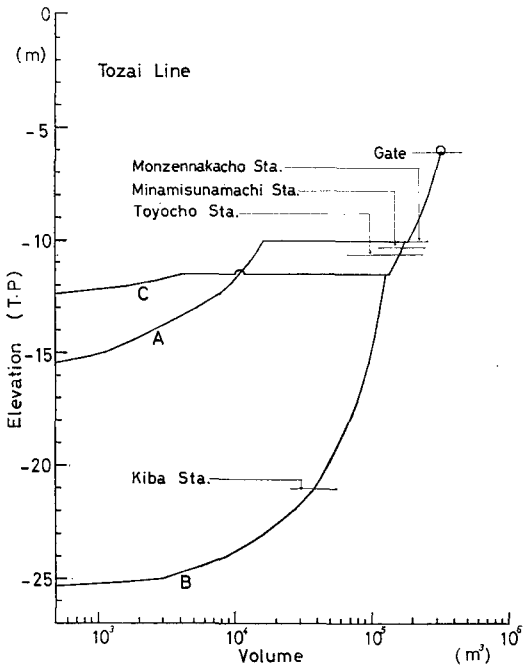
水が押上駅方面から浸入し、本所吾妻橋駅において防水扉が閉じられた場合、浸水区域は防水扉によって2領域に分けられる。防水扉から本所吾妻橋寄りの領域では、水位と水量の関係は実線Aから点線A'につながる関係となり、押上駅寄りでは同様にBからB'の関係となる。

A-A'の関係についてみると、浅草駅ホームに水面が来るまでに総計6千^{m³}の水を必要とし、約3万5千^{m³}の水が入ると本所吾妻橋駅ホームが水びたしとなり、8万^{m³}を超えると都心方面へ水が流出する。一方B-B'の関係についてみると、押上駅ホームに水が来るまでに総計約2万^{m³}の水を必要とし、約6万^{m³}で防水扉から押上側が完全に水没することがわかる。この場合本所側からの浸水が押上側からの浸水より早く、多量であれば、おそらく防水扉は機能しないものと考えねばなるまい。

防水扉が機能しない場合は水位と水量は図の実線の関係で与えられる。図-2においてAとBの境界点を境にトンネルは2か所の凹部に分けられ、このどちらか一方、あるいは両者共に浸水が発生する場合が考えられる。例えば押上側からのみ浸水が始まった場合を考えよう。水位と水量の関係は水位の上昇につれ図-4-1において実線B上を左から右へ移動し、AとBの境界すなわち標高-6.5mに達すると水はAの領域に流入し始める。そしてその領域における水面が海拔-6.5mに達するとはじめてトンネル全体の水位が上昇するわけである。した

がってこの場合、浅草駅が水没するための水量は、B領域の-6.5mまでの水量5千 m^3 にA領域の浅草駅を水没させる量6千 m^3 を加えた1万1千 m^3 ということになる。又、本所吾妻橋および押上駅ホームが水没するためには、それぞれ4万 m^3 、8万5千 m^3 の水が必要である。

以上のことから明らかなように都営1号線では浅草駅ホームが最も少ない量で水没するわけであるが、浸水の発生位置の違いによって、水没までの、総水量は著しく異なるから、発災後浸水地点の確認が急がれる。



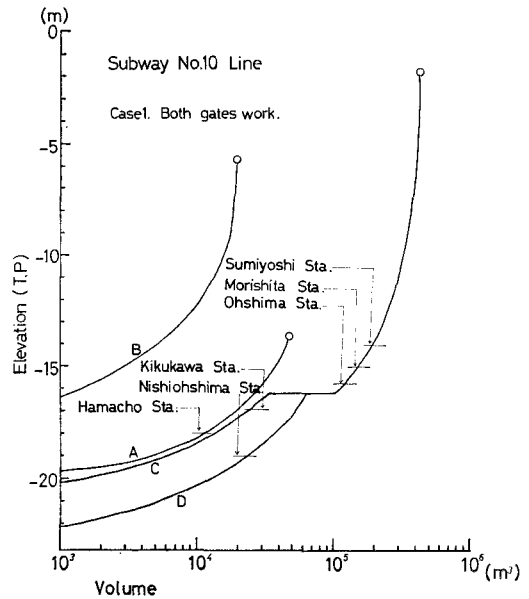
図一四—二 標高と空間体積の関係 (東西線、トンネル内)

図一四—二は同様の関係を東西線について示してある。

東西線では防水扉は隅田川の都心寄りに設置されている。最も深く海拔-21mに位置する木場駅ホームが水没するためにはB地区のみから浸水する場合は5万 m^3 、A地区からの浸水だと5万5千 m^3 、C地区からだると4万4千 m^3 の水が必要で、いずれにしても5万 m^3 程度の浸水があれば木場駅ホームは水浸しとなる。かりに毎秒100 m^3 の水が流入すると仮定すれば、1時間が駅ホームに居る人々にとってとどまる限度である。他の3駅のホームはほぼ同じ高さであり、約15万~20万 m^3 の水がトンネル内に流入すればほとんど同時に水没する。さらに浸水量が30万 m^3 に達すると水面は防水扉に達し、都心方面をおびやかすこととなる。

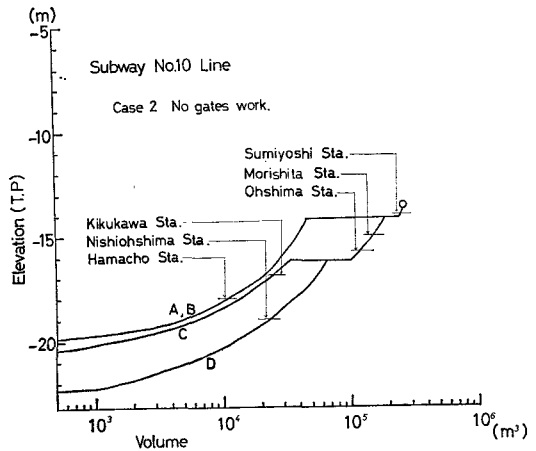
図一四—3、4は都営10号線について示してある。10

号線トンネル内には隅田川下の2か所の他、大島車庫入口にも防水扉が設けられており、これらの開閉組み合わせの相違によって、トンネル内の浸水の態様は異なる。ここでは隅田川下の2機の防水扉が機能した場合と、両者共機能しない場合についてのみ考察する。



図一四—三 標高と空間体積の関係 (10号線、トンネル内、防水扉が機能した場合)

図一四—3は防水扉が機能した場合を示してある。この場合は図一四—2において、CおよびDの領域が主として問題となる。西大島駅が最も深く、菊川駅が次に深



図一四—四 標高と空間体積の関係 (都営10号線、トンネル内、防水扉が機能しない場合)

表一 2 都営10号線トンネルの浸水位置別駅ホーム水没必要水量（防水扉が機能しない場合）

A又はBで浸水する場合		Cで浸水する場合		Dで浸水する場合	
駅	水量 万m ³	駅	水量 万m ³	駅	水量 万m ³
浜町	1	菊川	2.5	西大島	2.5
菊川	7	西大島	6	菊川	9
西大島	10.5	大島	12	大島	12
大島	16.5	森下	15	森下	15
森下	19.5	浜町	19	浜町	19
住吉	26	住吉	26	住吉	26

いが、C領域から水が入ってきた場合には菊川が2万5千m³、西大島が6万m³で水没する。又、D領域から水が入ってきた場合には西大島が2万5千m³、菊川が9万m³で水没する。この後、15万～20万m³の水で大島、森下、住吉の順に水没していく。C、D領域が完全に水没するには40万m³の水が必要である。

図一4-4は防水扉が機能しなかった場合である。この場合さまざまな水の入り方が考えられるが、代表的な3例については表一2のように整理される。

浸水位置が異なっても、住吉駅ホームは最も高い所に位置しているために他の駅が水没しても最後まで残り、浸入総水量26万m³で水没する。浸水位置が異なることで大きく影響されるのは浜町駅である。A又はBから浸水が始まった場合には、わずか1万m³で水没するのに対し、浸水位置が他の場合は19万m³まで水没しない。この浜町の他、菊川、西大島はいずれから浸水しても2.5万～12万m³で水没し、他の駅に比べ相対的に危険であると言えよう。

以上の議論は水が駅出入口や構築の亀裂から浸入することを前提とし、水は静水として溜まり、トンネルの床面からの水位上昇として浸水が進行するとしている。したがって、たとえ実際に、トンネル内に浸水が生起しても、浸水速度は比較的ゆっくりしたものと考えている。

万一大きく破壊した構築壁面や開口部から多量の水が浸入する場合は水は段波となって進行する。トンネルのような線状空間を進行する段波は、破堤して地表面に平面的に広がる場合よりも容易に議論されよう。最大の場合として隅田川の河底でトンネルの崩壊がある場合を考慮しても段波の進行速度は、有質によれば、 $w=1.4\sqrt{gH}$ であるが、筆者等は軌道面には水流に対する種々の障害物があることを考慮してこれを $w=0.8\sqrt{gH}$ 程度と考えている。外水の水深Hを約5mと仮定しても段波は5～6m/sec、時速20km程度の速さで進み、その時の水深は約3mと見積もられる。

普通の開口部や駅出入口などからの浸水の場合は、上の計算値より速度も水深もより小さいものであると考

てよい。

このような浸水の原因となるトンネル大崩壊は現在の土木技術を信ずるかぎり、想像しにくい。それはトンネル構築の剛性が十分大きく、鉄筋量も多く粘性が高く、局部的食い違いも配慮されており、耐震性は極めて高い（渡辺、1971）と考えられるからである。

5 避難対策の問題点

前節までの考察をもとに地表又はトンネル内に地震後浸水が始まった場合を想定し、乗客の避難について各路線毎に考えてみる。

5-1 都営1号線

地表に浸水が発生す可能性があるのは押上駅付近に限られるが、地盤高は海拔0m内外であるから、たとえ浸水したとしても地表の湛水深はそれ程大きくはなるまい。ただ駅から業平口への通路は北十間川の河底部を通過しているため、ここからの浸水の可能性がある。又押上駅北方の開口部における止水作業が不十分である場合には、そこからトンネル内に浸水することも考えられる。出入口の危険度は図一1において1、3、2、4の順に大きくなるものと考えられるので特に1の出入口の安全度を高めるようにしておく必要がある。この場合避難は向島方面に限られることに留意すべきである。

一方トンネル内に浸水が始まった場合には、浅草駅が最も危険である。幸にもこの地表は少なくとも水に対しては安全であるから、駅構内の人間がすみやかに外へ出るような対策を講じておくべきである。

浅草と押上間で地震に遭遇した場合には、水に対してここに示した3駅のうち最も安全な本所吾妻橋駅に誘導することが最上であると考えられる。この場合駅構内で待機中の、および3～4編成の電車に乗車した利用者は最大限5千人程度と予想され、これらの人々が駅出入口から外へ出ることになる。その脱出完了までの時間、安全な脱出先等の確認は平時のうちに用意すべきである。

5-2 営団東西線

門前仲町駅が水に対して最も安全と思われる。したがって本所吾妻橋駅と同様の機能を持たせるべく諸対策を検討する必要がある。

他の3駅はいずれも浸水に対し問題がある。木場駅ホームは最も早く水没する危険があるし、東陽町および南砂町では駅周辺が水没した場合、駅からの避難のための歩行は困難となるものと思われる。東陽町駅を木場、南砂町間の乗客集結地とする他はなからうが、出入口の防水扉を閉鎖する以前に乗客を外に脱出させねばならないという困難な問題が生ずるものと思われる。

また不幸にも東陽町、南砂町駅で構内に利用者を残したまま出入口の防水扉が閉鎖された場合、出入口天井に設けられた直径わずか60cmの脱出口によって外部に誘導しなければならず、この脱出口から単位時間に最大何人の脱出が可能であるかを検討し、さらに周囲が水びたしてであることを想定した、出入口屋上から安全地帯への避難誘導万全策を保持しない限り、発災後これらの駅へ多数の乗客を誘導することは危険が大きい。

又地表全体が防災拠点に計画されている木場駅を避難中心基地とすることも考えられるが、あまりにもホームが深すぎるので問題がある。いずれにしても-20mの位置から単位時間に最大限何人程度が外部へ脱出できるか、又比較的空間が広い階段室に最大何人程度収容が可能であるかも、上・下から、水にはさまれた場合を考えれば必要な確認作業であろう。

5-3 都営10号線

上記2路線に比べ、都営10号線は地震後の浸水について相当配慮されていることがうかがわれる。例えば隅田川下の2か所の防水扉の設置によって、江東地帯内のトンネルが都心方面からの浸水に対して守られていること、又は江東地区の中央に位置する住吉駅は計画されている防災拠点直下にあり、加えて他の駅に比べホームの位置を高くし、トンネル内の浸水に備えていること等は、目立たないことではあるが高く評価されるにちがいない。おそらくこの住吉駅と森下駅が避難の際に中心的役割を果たすよう対策がたてられているものと推察される。又出入口に関する資料が得られていないために、確認できないが西大島駅や大島駅について万一出入口の防水扉が閉じられた場合についての脱出法についても何らかの検討とそれに基づく対策があるものと思われる。

6 結びに代えて

都内の地下空間のうちで、地震後の浸水危険性が最も高いと考えられる江東地帯内の地下鉄トンネルについて、現状の防水対策を整理し、さらに標高と空間体積と

の関係から得た可能浸水量による浸水危険度を検討し、路線毎にとるべき浸水対策の問題点を、浅学をかえりみず指摘してきた。

本論文にはさまざまな未消化の問題があり、決して完全なものとは思っていない。しかしながら、アンケート調査（警視庁警備心理学研究会）によれば、地下鉄利用者は地下鉄の地震に対する安全性に無視できない程大きな疑問を持っており、関係者はその不安を除去するために不断の努力を続けている。

前節に指摘した問題点がすでに検討済みであることを心より願うものであるが、上記利用者の不安を除去する最良の方法は、綿密に検討された非常時の対応策を広く公開しておくことであろう。

平時においても地下空間はそこに居る人々に対し多分に不安感を与えるものであるが、地下空間における停電は、われわれが最も忌み嫌う暗やみを現出させ、しかもそれが大地震に付随する場合にはいわゆるパニックを発生させ易い状況となる。しかしながらビル等とは異なって外部への脱出は重力にさからった上方空間への運動が主体となるので、階段付近に集中する人間密度は最大でも5~6人/m²程度（戸川）で、駅やビル階段などの下り口に比べ圧死というような悲惨な状態は現出しないものと考えられる。それだけに地震発生から浸水などの二次災害発生までの時間を有効に使った利用者の安全地域への誘導が極めて重要な意味を持つことになる。

いずれにしても筆者等の最大関心事は大地震後、都内の地下鉄網のいずれかから浸水が発生した場合、人的被害を皆無にするところにある。このような立脚点を持てば種々の機器をあらかじめ設置しておくといったいわばハードな対応策と同等に、事後の応急対策に有用な資料を整えるといったソフト面からの対策が緊要であるとの結論に達するのである。

謝 辞

本論文を取りまとめるに当たり、帝都高速度交通営団理事柳沢氏、同じく工務部調査役唐沢氏、同じく運転部調査役大塚氏、東京都交通局工務部長小沢氏、同じく工務部土木課長田中氏、運輸省鉄道監督局森下氏、に過分の御高配をいただいた。記して厚く謝意を表する。

又資料の整理に際しては吉野節子、佐藤ゆき江両嬢に御世話をかけた。深く感謝する。

文献一覧

有賀世治

1978 「地震水害」『東京区部における地震被害の想定に関する報告書』東京都防災会議、pp.

- 382~425
- 遠藤浩三, 田中康男, 三好迪男, 西野保行
1973 『地下鉄ハンドブック』山海堂
- 警視庁警備心理学研究会
1971 「大震災対策のための心理学的調査研究」警視庁
- 帝都高速度交通営団
1976 『運輸統計年報』帝都高速度交通営団
- 戸川喜久二
1972 「群衆と密度」『都市計画』73号 日本都市計画学会
- 東京都交通局
1977 『運輸統計年報』東京都交通局
- 東京消防庁防災部防災課
1977 「地下鉄浸水事故概要」東京消防庁
- 日本科学者会議
1971 『東京の地震を考える』クリエイト社 pp. 191~194
- 伯野元彦, 安井将文, 藤野陽三
1974 「地下構造物(地下鉄, 地下街)の地震による危険度」『地震に関する地域危険度測定調査報告』東京都 pp.71~81
- 丸井信雄
1978 「地下街における出水の発生危険について」『地震時地下街の災害発生要因に関する調査研究報告書』日本火災学会 pp. 407~426
- 渡辺時男
1971 「地下鉄と地震」『大地震』全国加除出版社, pp. 258~pp. 265