

II-355

都市地下空間における氾濫水伝播シミュレーションの試み

京都大学防災研究所 正員 河田恵昭
 京都大学防災研究所 正員 土屋義人
 清水建設株式会社 正員 法花眞治

1. 緒 言：東京，名古屋及び大阪の臨海部では，明治末期以降の江東デルタの約4.5mを筆頭にして，地盤沈下が累積し，それが都心部から周辺部に及んでいる．これらの地下空間には現在，地下鉄網や地下街のみならず，高速道路や駐車場などの施設が位置し，世界でも例を見ない地下空間の高度利用が進み，さらに大深度まで及ぼうとしている．これらの低平地では，洪水・津波・高潮による氾濫災害を繰り返してきた．したがって，もし何等かの原因で氾濫が再び発生すると，それが地下空間に伝播し，未曾有の人的・物的被害発生が懸念される．本論文では，氾

表1 東京（23区）と大阪市の氾濫原の特性

	満潮位以下の面積	常住人口（推定）	最大累積地盤沈下量
東京(23区)	124km ²	182万人	4.57m（江東区）
大阪市	55	73	2.80（此花区）

2. 氾濫原因と氾濫原の特性：歴史的事実を踏まえて，東京と大阪を例にとり，臨海・都心部で発生が憂慮される氾濫原因を挙げると，つぎのようである．東京：利根川右岸の決壊，大阪：淀川左岸の決壊，両都市に共通：高潮，津波（地震による防潮施設の破壊に伴う浸水を含む）．このように全く共通していることがわかる．その氾濫原の特性を表1に，図1に昼間/夜間人口の比 α 2の経年変化を示す．地震と同じく，氾濫の発生時刻によっては被害が増幅される恐れのあることがわかる．

3. 氾濫水伝播シミュレーションの試み：ここでは，主に津波あるいは高潮来襲時に湾岸境界で波高（潮位）と流速が既知として，氾濫シミュレーションにおいて重

表2 氾濫水の到達時間と最大水深

路線名	駅名（地点名）	氾濫水到達時間	最大水深
A	A-1	26.5min	1.35m
B	B-1	19.2	1.25
	B-2	17.5	1.35
	B-3	26.5	1.35
	B-4	24.0	1.35
	B-5	22.6	1.50

要となる事項について示す，（1）氾濫水の到達時間：いま破堤あるいは越流によって低平地への氾濫が発生した場合，地下空間への入口への到達時間が問題となろう．表2は図2の簡略化した室戸台風高潮の潮位変化に対して，氾濫水の特定の地上の地下鉄階段入口への到達時間をまとめたものである．もちろん，先端条件や粗度の取り扱いによって若干変化すると考えられる．さらに，少なくとも波高（潮位）

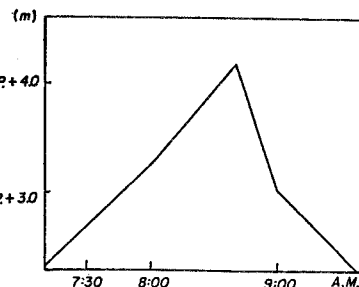


図2 室戸台風によるモデル高潮

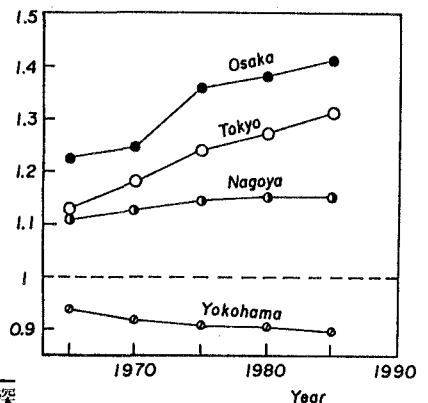


図1 昼間/夜間人口比の経年変化

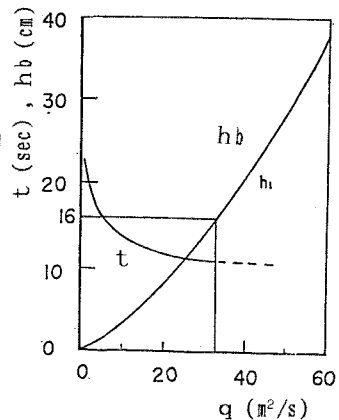


図3 階段での氾濫水流下所要時間

に相当する等高線の地盤まで浸水すると考えてよいことも見いだされた。(2) 地下空間への侵入: 地上から地下への浸水経路としては、階段が多く、ほかに吹抜け構造や地下鉄・高速道路のスロープなどが挙げられる。建物外周に設置される階段での侵入方向は1方向であるのに対し、街路に設置された入口は浸水深が大きくなれば全方向からとなり、大変複雑である。図3は1方向からの侵入として地上と地下の標準落差6.5mの所要時間 t を計算したものである。図中の h は階段のステップの背後に見られる水深で、16cmは個々のステップの高さである。初期には個々の階段のステップでナップを形成する流れとなるが、水深の増加とともに三角粗度上の流れに近くなると推定されるので、この点は水理実験で確かめる必要がある。いずれにしても、射流になれば約10sあるいはそれ以下で地下空間に到達すると判断される。(3) 地下鉄路線内での伝播: 差分や数値粘性などの取り扱いなどの問題はあがあるが、風上差分のLeap-frog法で求めた水位の時間変化の1例を図4に示す。伝播特性としては、縦断勾配がゼロかそれに近いため、先端の伝播速度はそれほど速くなく、また高さが限定(約5m)されているので、浸水の進行とともに一部の区間で開水路から管路流れに変化する現象が発生する。さらに、地下鉄路線相互は立体交差であるので、下部から上部の路線への氾濫水の侵入が起こり、図中にそれを示している。

4. 防災・減災への指針: 数値計算の精度は、水理実験の併用とともに今後改良されようが、オーダリングは変わらないと判断できるので、これらに基づいて考察する。(1) 大量の侵入水: A市の地下鉄B路線が台風モデル高潮で、防潮堤を越流した場合を想定した。図5はある階段からの流入量変化であり、氾濫開始1時間で、地下空間への流入量は23箇所(の入口からおよそ70万 m^3)となった。実際の高潮では、高潮位が数時間継続することや、氾濫水域内ではさらに別の地下鉄路線があることを考えると、その排水対策が問題となろう。もちろん地盤沈下のため、外力の規模が同じでも浸水深が深くなるので、冠水状態の長期化はまぬかれないので、長期にわたって運休せざるを得ないだろう。(2) ターミナルでの連絡通路の集中: モデル計算では、地下鉄路線を伝播する氾濫水先端の伝播速度は2m/s程度であるから、流入地点から遠く離れた地下街やターミナルに達するまでにかなりの時間的余裕があるといえる。逆に言えば地上の浸水が広範囲に発生し、これらの地上あるいはその付近に達した場合、地下空間への大量の氾濫水の流入が起こると、事情は激変する。ここでは100箇所以上の地上との複雑な連絡通路があり、最大規模の地下空間でも容積が20万 m^3 程度であることを考えると、前述の計算結果から避難等の時間的余裕があまりないと言える。これを防ぐ1つの方法は、氾濫危険地域にある地下連絡口を早期に閉鎖することであって、経済活動と防災の観点からの調整がこれからの防潮対策の1つの大きな課題となろう。

5. 結 語: 以上概括的に述べた諸点について、今後、実験と数値計算から精度をより高めるつもりである。

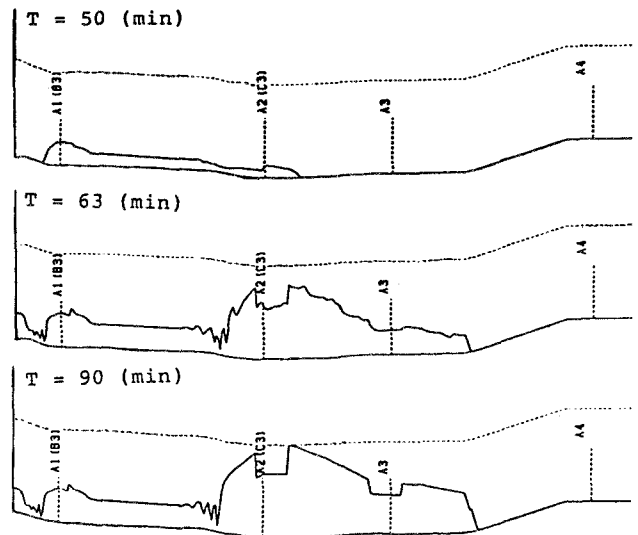


図4 地下鉄路線での氾濫水伝播

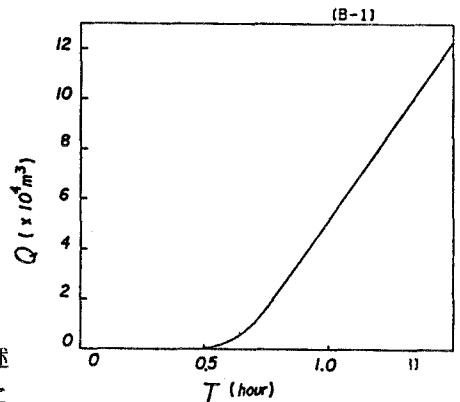


図5 地下鉄入口からの氾濫水流入量