

複雑な構造を有する地下鉄駅構内における浸水過程に関する数値解析

早稲田大学理工学部 正会員 関根 正人
早稲田大学大学院 学生会員 ○中村 淳

1. 序論

著者らはこれまで新宿や渋谷にある大規模地下街が浸水に見舞われる可能性の検討と、万一の場合を想定して浸水が進行するプロセスの解明とに取り組んできた^{1), 2)}。しかし、東京都内にはこのほかにも浸水被害が懸念される地域がある。たとえば、東京の地下には複数の地下鉄路線が網の目状に延びており、その相互が駅構内（地下空間）で立体的に接続しているために、連絡通路や階段が複雑に広がっている。このことは、駅構内がひとたび浸水に見舞われたときの流況が様ではないことを意味し、いくつかの区域が局所的に水没するなど避難に使えなくなり、通路の連続性が失われることになる。以上のような事情から、浸水が今後懸念される地下鉄駅を特定すること、ならびに、そのような駅構内における浸水パターンを明らかにしておくこと、の二点が重要ではないかと考えている。

2. 解析対象

本研究では、これまでも浸水被害を経験している東京都千代田区と港区の境に位置する溜池山王駅構内ならびにその周辺地域を検討の対象として数値解析を行った。地上の対象区域は図-1に描かれた地域であり、図中の折れ線が実際の道路ネットワークを、黒丸が解析の際に計算点となる交差点をそれぞれ表す。この区域の地下には地下鉄銀座線、南北線、千代田線ならび丸の内線が図のような位置を通っている。これらの地下鉄は、図の中央右上の位置で立体交差しており、そこに溜池山王駅がある。この駅構内（地下空間）は図中の赤線で示した「ト」の字形をしており、その詳細は図-3に示されている。この地下空間は新線の開通に伴い拡大してきた経緯などから複雑な構造をしている。銀座線は、その改札口が地下3階にあり、階段を上った地下2階にホームがある。一方、南北線は地下2階に改札口があり、階段を下りた地下3階にホームがある。なお、この南北線のホームには転落防止用の隔壁が設けられており、電車到着時にのみゲートが開く構造となっている。そのため、このホームに流入した水は線路に落ちることなくホームに貯まってしまうことになる。

本研究で検討の対象とする降雨は、1999年8月29日に観測された実績の降雨であり、そのハイトグラフを図-2に示した。降雨継続時間は1時間程度と短い、時間雨量が約100 mm/hrという典型的な集中豪雨であった。

数値解析の骨格は、道路上の氾濫水の流動の解析と地下空間内の氾濫水の伝搬過程の解析とからなる。道

路上の流れに関しては一次元流れとして、地下空間における流れに関しては平面二次元流れとして、それぞれ非定常流解析を行った。基礎式の解法に当たっては、著者らはこれまで Diffusion wave 近似を適用してきたが、本研究ではこれに代わって、運動方程式における移流項以外のすべての項を考慮した解析を行うこととした。なお、地上から地下空間への氾濫水の流入は連絡階段を通じて生じる。連絡階段入り口近傍の地上の計算点における水深が0.4 m（これは、車道と歩道の標高差に、連絡階段入り口のステップ高を加えた値に相当する）を超える場合に、この地下空間へ浸水が始まる。その流入水量の評価に関しては、いわゆる段落ちの考えを適用して解析を行った。

3. 実績降雨に対する解析結果

図-2に示した降雨データに対して得られた地表氾濫水の水深コンター図を図-1に示した。ここには、降雨開始から120分後の結果が示されている。図よりわかるとおり限られた区域で深刻な浸水深となる一方で、それ以外のほとんどの区域ではさほど問題となるような水深にはならない。このうち、水防災上問題となるのが溜池山王駅の真上に位置する区域である。計算の結果、降雨開始から84分後にこの区域の水深が0.4 mを越えるため、その直後から地下への浸水が始まることになる。

地下空間における浸水状況については、浸水開始60分後における浸水深のコンター図および流速ベクトル図を図-4に示した。この図より、この地下空間内の浸水に関して次のようなパターンを見てとることができる。(1) 浸水深が大きくなるのは、地下3階の銀座線改札口付近と、地下2階の南北線改札口付近ならびにそのホームに限られること、(2) 地下鉄ホームとしては南北線のみが浸水被害に遭う可能性があること、などである。銀座線改札口付近の地下3階部分での浸水深は最大で0.35 mとなった。また、図-5には、南北線の地下ホームにおける氾濫水の水深の時間変化を示している。ここでの解析条件下では、この水深は最大で0.09 m程度であったが、後述する降雨条件によってはさらに深刻な値となることもあり得る。

4. 想定降雨規模の違いが結果に与える影響

本研究では、図-2に示した降雨データを対象とした解析に加えて、これを一律に1.1倍(110%)あるいは1.2倍(120%)となるように引き伸ばした降雨を対象とした解析も行った。解析結果のうち重要な意味を持つ数値のみ比較した結果を表-1ならびに図-5にまとめて

キーワード：浸水被害、地下鉄駅構内、地下空間、避難

連絡先：169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1, TEL 03-5286-3401, FAX 03-5272-2915

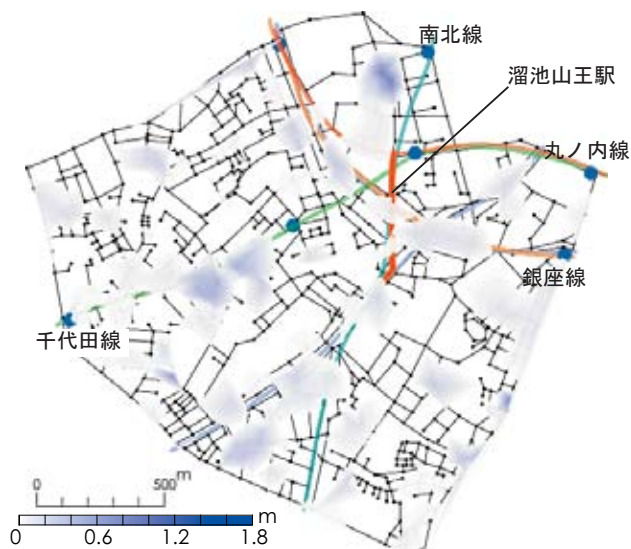


図-1 解析対象区域の概要と浸水深コンター図：
降雨開始から120分後

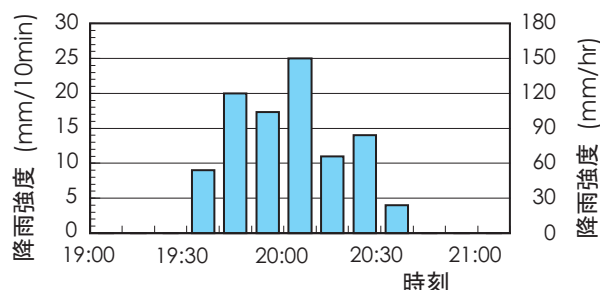


図-2 解析の対象とした実績降雨（1999年8月29日）

示す。連絡口付近の地上水深の値を見ると、実績降雨データの場合には、この地下空間に水が入り込む限界の値0.4mをわずかに越えた程度に留まるため、軽度の被害ですむことを意味している。一方、実績降雨より10%だけ降雨強度が増大しただけで、地下空間の浸水被害状況は急変し、被害が拡大してしまうことがわかる。すなわち、降雨強度を110%に引き伸ばしただけで、浸水が始まる時刻が15分も早まり、地下3階の銀座線改札口付近の水深ならびに地下空間への流入水量は2倍以上にも及ぶことがわかる。なお、降雨データの規模を引き伸ばしたことに伴う地上の連絡口付近の水深の増加は0.03m程度に過ぎない。このことは、見方を変えれば止水板や土嚢を適切な時刻に設置し、これらを有効に機能させるならば、被害を最小化することも可能であることを意味する。一方、想定規模を大きく越えた豪雨に見舞われると、ほんのわずかな地上水深の違いであっても地下空間の浸水状況が極端に深刻なものとなるとも言える。

5. 結論

本研究では、地下鉄駅が立体的に交差連絡する溜池山王駅を検討の対象として、この地下空間の氾濫水の挙動について検討した。地下空間が浸水被害に見舞われると、利用者がどの経路をたどって避難すべきかを判断することは容易でないのが現状である。そこで、

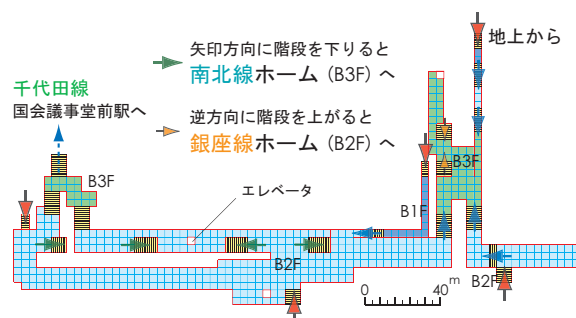


図-3 解析対象となる地下空間の主要区域の概要：
図-1に描かれた地下鉄駅を反時計まわりに
90°回転して表示してある。

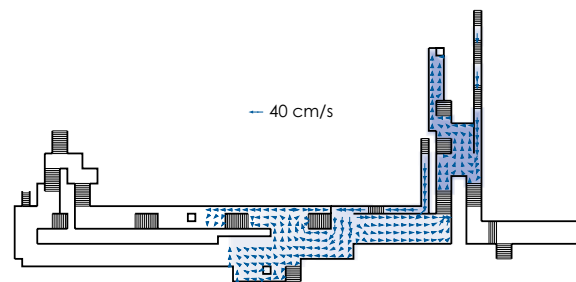


図-4 地下空間内の浸水深のコンター図と流速ベクトル：
降雨開始から144分後（浸水開始から60分後）

表-1 降雨データの規模の違いによる浸水状況の変化：
浸水開始時刻は降雨開始時刻を0として表示

降雨強度 引き伸ばし率 (%)	浸水開始 時刻 (min.)	溜池山王駅前 最大浸水深 (m)	流入総体積 (m ³)	降雨開始180分後 銀座線改札口浸水深 (m)
100	84	0.47	580	0.35
110	69	0.50	1397	0.89
120	61	0.53	2452	1.56

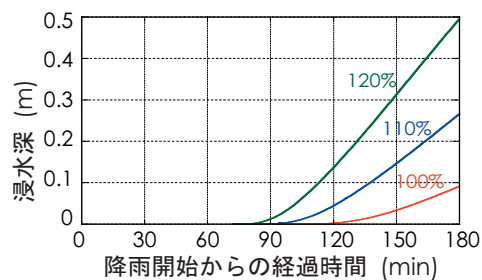


図-5 南北線ホームにおける浸水深の時間変化：
図中の数値は表-1中の降雨強度の引き伸ばし率

浸水が懸念されるような地下鉄駅では、本研究で行ったような浸水シミュレーションを行い、避難誘導に役立てることが有効ではないかと考えている。

参考文献

- 1) 関根正人，河上展久：地下街を抱える高度に都市化された地域の内水氾濫に関する数値解析，土木学会論文集，No. 789/II-71，47-58，2005。
- 2) 関根正人，河上展久：都市域における内水氾濫と地下鉄に接続する地下空間の浸水に関する数値解析，水工学論文集，第49巻，595-600，2005。