

市街地氾濫時の地下空間浸水過程と被害軽減

河 田 恵 昭*・後 藤 隆 一**

1. はじめに

わが国の多くの大都市は臨海部の沖積平野上に立地しており、津波や高潮等による市街地氾濫災害を受ける危険が高い。実際、大阪市や名古屋市等、過去に津波や高潮災害による大きな被害を経験している都市もある。また、近年、都市空間の高度利用化が進み、多くの都市機能が地下空間へ集中している。そのため、津波や高潮災害が発生した場合、地下空間の浸水が発生し、人的被害の発生、都市機能のマヒなどの大きな被害につながる可能性が高い。

いままで地下空間におけるリスクの対象は、主に火災であった。それゆえ、地下街を始めとする地下施設の防災対策は、火災対策が中心であり、浸水災害に対して十分な対策がとられていないのが現状である。地下空間の浸水災害は、都市において発生する災害の盲点になってしまっている。

本研究では、既存の地下街における水防対策の問題点を整理するとともに、FT 解析の手法を用いて、地下空間浸水災害の被災過程についての分析を行い、その被害軽減策についての検討を行う。

2. 過去の地下空間浸水事例

地下空間が浸水するという災害事例は、これまであまり社会的に重要視されてこなかった事例である。しかし、水害時に地下施設が浸水するという事例は、建設省の水害統計調査等によれば、1998 年 1 年間だけでも 8 地区 43 施設で報告されている。

いままでの水害時における地下空間浸水事例は、主に、集中豪雨などによる内水氾濫や河川の溢水などを原因として発生している。ここでは、それら過去の浸水事例の中から 3 つの事例をとりあげて、地下空間浸水時に発生する被害について述べる。

2.1 1994 年 9 月の集中豪雨災害の事例

局地的な集中豪雨により、大阪空港の地下の受変電施設などが浸水、バックアップ設備も地下にあったため同

時に浸水した。そのため、空港全体が停電し、丸 1 日にわたって空港の機能がマヒした。国内航空路の要の空港であっただけに、空港機能のマヒは様々なところに影響を与えることになった。

受変電設備など建物の心臓部ともいえる施設は、地下部分に設置されることが多く、一度それらの施設が被災すると、建物全体の機能が失われる。特に社会的に重要な施設であった場合は、様々なところに影響が及ぶことをこの事例は示しているといえる。

2.2 1999 年 6 月集中豪雨災害の事例

福岡市周辺を襲った集中豪雨による内水氾濫と、市内を流れる御笠川の溢水により、博多駅周辺の地下街やビルの地階が軒並み浸水する被害となった。

地下街や地下鉄は営業ができなくなり、電気、電話などのライフラインの寸断も相次ぎ、福岡市中心部の都市機能は一時マヒ状態になった。都市機能が集中する地下空間での災害は、都市機能のマヒへとつながる可能性がある。この水害により、浸水災害もその例外ではないことを示されたといえる。

また、地下街の浸水が発生した当時、地下にいた人には、大雨や御笠川の溢水の情報は全く入らず、知人などからの口伝えがたよりの状況であった。この水害は、地下空間にいる人たちへの気象・洪水などの災害情報伝達の問題が表面化した事例である。

2.3 1999 年 7 月集中豪雨災害での事例

この事例では、市街地氾濫水が急激に地下に没入し、自宅の地下室の様子を見に行った男性が逃げ遅れ水死する事故につながった。地下にいた人が逃げ遅れ死亡する事故は、1999 年 6 月の福岡市における水害事例でも発生している。いずれの事例も、狭い地下室で水位が急激に上昇した上、停電に伴うエレベーターの停止や、水圧で外開きのドアが開かなくなるなど、限られた避難路が閉塞されてしまうという条件が重なって発生した。

地下空間には、地下街や地下鉄など不特定多数の人が利用する施設も多くあり、多くの人的被害の発生に至る可能性がある。これらの事例では、特に狭い地下室などは、水位の上昇が急である上、避難路が閉塞されやすいという危険を示されたと言える。

* フェロー 工博 京都大学防災研究所

** 学生会員 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻

3. 地下空間浸水対策の問題点

ここでは、地下空間の浸水災害対策の現状と問題点について、大阪梅田地区の地下街管理会社へのヒアリング調査結果と既存の研究成果をもとに整理し、考察する。

3.1 地下街の浸水対策の現状

現在、地下街などにおいてとられている浸水対策としては、地上への出入口の階段の最上段を歩道面より少し高くしておくことと、浸水発生が予想される際に出入口に設置される防潮板による対策があげられる。いずれも集中豪雨などによる内水氾濫や高潮災害を想定したものであり、地下空間に水をいれないことが対策の中心となっている。

これらの対策については、防災センターの少ない人手で多数の出入口を閉鎖しなくてはならない上、出入口ごとに防潮板の形が違う、作業員が作業に対して不慣れであるなどの問題が存在する。

3.2 既存の地下街の浸水対策の問題点

a) 地下に水が入った際の対策の不備

現在の地下街の浸水対策は、前述の通り、地下空間に水を入れないことが対策の中心になっている。一方、地下に水が入ったときの対策は、わずかに地下水などの漏水に対する対策があるだけである。

地下空間を完全に水密にすることは、非常に難しく、また、河田・石井(1999)が指摘した、地上と地下のどちらを守るかというトレードオフも存在する。市街地氾濫災害における被害軽減を考えれば、利用客の安全確保のために浸水深の急上昇を抑える対策や、復旧がスムーズにいくために重要設備だけでも守る対策など、地下空間に水が入ったときの対策を充実させる必要がある。

b) 隣接地下空間の問題

大阪市などの大都市部では、地下街や地下鉄駅など複数の管理者にまたがる地下空間が複雑にネットワーク化されているのが普通である。しかし、地下空間の浸水防止体制の確立は、個々の管理者の判断にゆだねられており、管理者間において防水体制に格差があるのが現状である。そのため、単独の管理者の努力だけでは浸水防止に限界があり、法律や条令などで最低限の浸水防止体制の基準を作る必要がある。

また、隣接する地下空間における問題として、河田・石井(1999)によって、隣接地下空間への排水による浸水深抑制の効果と浸水域拡大による損失拡大のトレードオフの存在が、指摘されている。隣接する地下空間への排水を行うかどうかは、利用客の避難状況や流入先の地下空間の役割などを考慮して慎重に判断する必要がある。

c) 避難場所の問題

市街地氾濫時における地下街利用者の避難場所は、明確に決まっていないのが現状である。

大阪梅田地区の地下街では、ピーク時には1万人規模の利用者がある。これだけの人数の避難場所を、災害の状況に応じて、瞬時に、そして適切に判断するのは非常に難しい。あらかじめいくつかの被災シナリオを用意しておき、それぞれに応じた避難計画を作っておくことが望ましい。

地下通路などでつながっている隣接ビルへの避難については、河田・石井(1999)によって指摘された防犯上の問題、長期間にわたり孤立する危険があるという問題がある。やむをえず、隣接ビルへの避難が行われた場合に備えて、孤立者の迅速な救出や、物資補給を行う態勢を整えておく必要がある。

d) 情報伝達体制の問題

気象や津波、市街地の氾濫状況に関する情報は、水防活動や避難行動にとって重要な情報である。しかし、これらの情報を地下街管理会社や利用客に伝える体制がきちんと整っているとはいえない。たとえば、大阪梅田地区の地下街の場合、これらの情報は大阪市の担当部局から伝わることはなっているものの、そのことは、大阪市の地域防災計画には明記されておらず、地下街管理会社は「住民・その他」の扱いになっている。

市街地氾濫時に地下街などの地下空間が、情報過疎になりやすいことは、1999年の福岡市の事例でも示されている。地下空間の管理者や利用者への情報伝達体制の整備は早急な課題である。

3.3 火災対策との比較

地下空間における防災体制は主に火災を対象として整備されてきた。そのため、避難誘導設備などの既存の防災設備は、火災報知機など、地下空間内部の災害検知機器と連動するシステムになっている。しかし、浸水災害の場合は、災害の発生源が地下空間の外部にあるため、地下空間内の災害検知機器と避難誘導設備の連動による既存の防災システムは役に立たなくなってしまう。

また、火災対策では、利用客をいち早く外へ避難させることが基本であり、利用客を迅速に出入口まで導く避難誘導が行われる。一方、浸水災害時では、水の流入が始まっている出入口は避難ルートとして使えないため、水の流入状況や地上の浸水状況などに応じて、避難可能な出入口や避難ルートを選択する必要がある。

4. FT解析による被災過程の分析

災害による被害が大きくなっていく過程には、様々な要因が作用していると考えられる。ここでは、FT解析手法を用いて、地下空間浸水災害の被災過程の分析することにより、被害拡大につながる要因の関係を調べ、被害

た。

原因事象の書き出し、及び事象の論理関係の決定は、新聞報道を中心に調査した過去の地下空間浸水事例をもとに決定し、必要に応じて地下街管理会社ヒアリング調査結果などで補った。図-1は、「営業・業務が再開できない」をトップ事象としたFT図の「施設全体の閉鎖」以下の部分である。

4.2 最小カットセット分析と最小パスセット分析

作成したFT図について、「営業・業務が再開できない」のFTは、「施設全体の閉鎖」以下の部分について最小カットセット分析を、また「危険なレベルまで水位が上昇する」のFTは、最小パスセット分析を行った。表-1、表-2はそれぞれの結果である。

「施設全体の閉鎖」の最小カットセットからは、4の「消毒・清掃作業」と、8の「停電」が「施設全体の閉鎖」の発生に直結するクリティカルな事象であることがわかる。

現代社会において、電気は欠くことのできないものであり、停電がクリティカルな事象としてでてくるのは、当然の結果であるといえる。このことは、災害の被災過程を分析する上で、FTの手法が有用であることを示しているといえる。

「水位が上昇する」の最小パスセットは、パスセットを構成している事象の内容から、(1)地下空間の床面積など、地下空間の構造に関するパスセット、(2)排水設備の能力や排水先の有無など、地下空間に流入した水の排水に関するパスセット、(3)想定外の外力や防水措置がとれないなど、外力や浸水防止活動に関するパスセット、と大きく3つの種類のパスセットに分類することができる。

地下空間の構造に関するパスセットは、床面積が狭い地下空間や、最下層に位置しているなど、隣接する地下空間へ水が流出しにくい条件がそろった地下空間は、水がたまりやすく、浸水深が急激に上昇しやすいことを示しているといえる。

地下空間に流入した水の排水に関するパスセットは、

表-1 「施設全体の閉鎖」の最小カットセット

1	{排水設備の能力が小さい、ポンプ・人が動員できない}
2	{排水設備が未整備、ポンプ・人が動員できない}
3	{排水設備の本体・配線・電動機・操作盤等の故障、ポンプ・人が動員できない}
4	{消毒・清掃作業}
5	{水道の断水・ガスの供給停止、水道・ガスを使う設備が必要}
6	{浸水による設備の水損の発生、水損部品の修理・取寄せに手間取る}
7	{防災センターの浸水の発生、代わりの安全確保ができない}
8	{停電}

地下空間の排水能力に関する事象と、排水先に関する事象の組み合わせで構成されている。これは、水を一時的ためておける場所とそこへの排水手段を準備しておくことは、被害の拡大を防ぐという点で重要であることを示しているといえる。1999年6月の福岡市における水害の際、博多駅地下街では、貯水槽への排水作業を行い、浸水深の上昇を防ぐのに効果があったという報告もある。(博多駅周辺浸水調査連絡会、1999)

11のパスセットには、「避難を優先する」という事象が含まれている。これは、浸水防止活動と避難のトレードオフ関係を示している。11のパスセットの他の事象は、現有の防水対策では、発生している氾濫災害に対処できない状態になっていることを示す事象であり、そういう事態になった時は、いち早く避難することが大切であることを示している。

4.3 長期間の営業休止に陥る悪循環

地下の電気設備の水損による停電が発生した場合、営業・業務が長期間にわたってできなくなるという悪循環に陥る危険があることが、図-1の「施設全体の閉鎖」のFT図の中に示されている。

すなわち、停電により排水ポンプなどが停止し、排水作業が遅れる。そのため、水損設備の修理が行えず、停電が長引いて、さらに復旧が遅れるという事象のつながりである(図-1の色つきの部分)。

過去の浸水災害事例においては、この悪循環を断ち切るために、仮設の受変電設備を設置する(1994年9月大阪空港地下施設浸水事例)、大量の職員を動員して排水作

表-2 「水位が上昇する」の最小パスセット

<地下空間の構造的条件>	
1	{狭い地下空間}
2	{隣接する地下空間への流入を少なくする条件}
<排水に関する条件>	
3	{排水作業を行う人手が足りない、湧水層が満水}
4	{排水作業を行う人手が足りない、広い空きスペースがない}
5	{排水作業を行う人手が足りない、貯水槽がない}
6	{排水作業を行う人手が足りない、下水道等に排水できない}
7	{排水設備が未整備、排水設備の能力が足りない、排水設備の停止、湧水層が満水}
8	{排水設備が未整備、排水設備の能力が足りない、排水設備の停止、広い空きスペースがない}
9	{排水設備が未整備、排水設備の能力が足りない、排水設備の停止、貯水槽がない}
10	{排水設備が未整備、排水設備の能力が足りない、排水設備の停止、下水道等に排水できない}
<外力と浸水防止活動に関する条件>	
11	{想定外の外力、防水対策の対象事象が違う、浸水に対する設備・準備がない、対応方法がわからない、避難を優先する}
12	{想定外の外力、防水対策の対象事象が違う、浸水に対する設備・準備がない、止水措置に手間取る、止水措置開始が遅れる}
13	{地上の浸水が続く}

業を行う(1987年京阪電鉄地下駅浸水事例)などの対策がとられている。しかし、いずれも社会的に重要な施設である場合や、組織力がある場合に可能な対策である。

この悪循環は、特に、重要性が劣る施設で、かつ管理者の組織が小さい場合に、長期の営業・業務の停止に追い込まれ、大きな被害をこうむるという事態につながりかねないことを示している。

5. 結 論

現在の地下街をはじめとする地下空間の浸水対策の問題点としては、次の点が挙げられる。

(1) 地下に水を入れないことが対策の中心となっていて、地下に水が入ったときの対策がほとんどなされていない。また、地上を守るか地下を守るかというトレードオフが生じている。

(2) 複数の管理者にまたがる地下空間が複雑にネットワーク化されている上、管理者間に浸水防止体制の格差が生じているため、単独の管理者の努力だけでは、浸水防止に限界がある。また、浸水深を抑えるために、隣接地下空間へ水を排出すべきかどうかの判断を迫られる場合もある。

(3) 避難場所をはっきりさせることや、情報伝達手段の整備は早急に解決する必要がある問題である。

火災対策との比較においては次のような結論を得た。

(1) 災害発生源が地下空間外部にある浸水災害では、地下空間内部にある災害検知機器と避難誘導設備を

連動させる既存の防災システムは役に立たなくなる。

(2) 地下空間浸水災害では水の流入などにより、避難ルートとして活用できない出入口がでてくるため、地上や地下の浸水状況に応じて避難可能な出入口や避難ルートを選択する必要がある。

FT解析では次のような結果を得た。

(1) 浸水深を上昇させる要因としては、外力や浸水防止活動の成否以外にも、地下空間の構造的条件や、地下に流入した水の排水に関する条件がある。ゆえに、流入した水を一時的にためておくスペースを確保しておくとともに、その場所への排水手段を準備しておくことは、被害軽減という点で重要である。

(2) 浸水防止活動と避難はトレードオフであるが、氾濫災害が現有の防水対策では対処できない規模になった場合は、すみやかに避難することが大切である。

(3) 地下電気設備の水損は、ポンプの停止から、排水の遅れへとつながり、特に社会的重要性が低く、地下空間管理者の組織力が小さい場合に、影響の長期化という形で被害を大きくする。

参 考 文 献

- 井上威恭 (1979): FTA 安全工学, 日刊工業新聞 pp. 29-54.
河田恵昭・石井 和 (1999): 津波・高潮・洪水氾濫による地下街水害対策の提案, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 356-360.
博多駅周辺浸水調査連絡会 (1999): 博多駅周辺地下空間浸水状況調査結果, 56 p.