

# 津波・高潮・洪水氾濫による地下街水害対策の提案

河田 恵 昭\*・石 井 和\*\*

## 1. はじめに

近年, 市街地において, 地震に対する安全性が比較的高いということもあり, 地下空間が複合化, 深層化し, その空間に都市機能を集約する傾向にある。これまで, 地下空間において重要視されるリスクは火災であったが, 津波や高潮, 超過洪水による氾濫被災シナリオを考慮すれば水害リスクもその対象となろう。地下利用者の多くはその空間特性に不案内であり, 水没する可能性があることすら認識していないことから, 非常時ともなると, パニックが発生する可能性もある。また, 地下空間において, 水災害に対する具体的な防災計画等はなく, その方策すら明らかではない。このような背景から, 地下空間の防災概念を問い直す時期に来ていると言える。起こりうる被害シナリオを想定し, 情報開示すること, 具体的な対応計画を策定しておくことが極めて重要であろう。

そこで, 本研究では市街地と地下空間に関して行った津波や洪水による氾濫シミュレーションの計算結果より, 市街地における具体的な被災シナリオを提示する。さらに, いくつかの条件を変えて計算を行うことにより, 減災方策の検討に必要なインデックスを定量化し, 地下空間の水防災における各種トレードオフを整理する。そして, 具体的な対応計画策定への第一歩として, 現行市街地における減災方策の検討を行う。

## 2. 地下空間を含む市街地の氾濫被災シナリオ

### 2.1 津波の氾濫シミュレーション手法

ここでは, 河田ら (1999) が行ったシミュレーション計算結果 (ケース 1 とする) に基づき, 大阪市北区の市街地の津波による氾濫被災シナリオを考察する。想定外力は  $M 8.4$  の南海地震とする。なお, この市街地において, 地震動による建築物への被害は, 事前の被害想定結果からないものと仮定してよいことがわかっている。シミュレーション計算は以下の手法を用いて行われている。

・市街地氾濫計算 (有限要素法)

・地下空間氾濫計算 (越流タンクモデル)

### 2.2 氾濫被災シナリオ

対象地域の被災シナリオは以下の通りである。地震発生時刻を 0:00 とする。図-1 に大阪市北区市街地と地下街を示す。

- 0:00 地震発生。堂島川右岸渡辺橋下流側堤防が破堤。津波が発生し, 太平洋を北上。
- 1:40 津波が大阪湾に進入, 第 1 波が各河川を遡上し始める。
- 2:10 堂島川水位が堤内地標高 O.P.+2.4 m (T.P.+1.1 m) に達する。以後約 40 分間堤内地に流入する。
- 2:30 破堤口地点において, 河川水位はピークの O.P.+3.92 m (T.P.+2.62 m)。
- 2:50 堤内地への流入止まる。総流入量は, 50.4 万  $m^3$ 。破堤口幅 1 m 当たりの流入量は 0.4 万  $m^3$ 。

### 2.3 市街地氾濫被災シナリオ

ここでは, ウィークデーの昼間に津波が市街地を来襲するとして, 地下空間への通路は全て開いていると考える。

- 2:10 破堤口から流入開始。
  - 2:20 氾濫流が四ツ橋筋を北上, 国道 2 号との交差点に達する。堂島地下街で浸水開始。浸水域内人口は, 昼間人口 10.2 万人, 夜間常住人口 471 人。ほとんどの浸水地域で水深が 0.5 m 以上となり, 自動車通行が不可能。
  - 2:30 河川水位がピークを迎え, 浸水域拡大。氾濫流が大阪駅周辺に到達, ディアモール大阪への浸水開始。西側の低地で浸水域が一気に拡大。
  - 2:50 流入止まる。西側の低地でなお浸水域拡大。
  - 3:10 破堤口より東側は, 地下空間への流入もあり, 浸水深は平均 0.5 m 程度。西側の低地では浸水深 1-1.5 m の範囲が多い。浸水域内人口は, 昼間人口 14.5 万人, 夜間常住人口 1.7 万人。
- 浸水深の目安とその時の行動様式等は次のようになる。
- 0.2 m…大人の足首程度。車のブレーキが効きにくい。
  - 0.5 m…大人の膝程度。歩行困難。車浮く。床上浸水。

\* フェロー 工博 京都大学教授 防災研究所巨大災害研究センター

\*\* 正会員 工修 三菱総合研究所



図-1 大阪市北区市街地

- 1.0 m…大人の腰程度。歩行が危険。
- 2.0 m…1階の軒下までの浸水。

#### 2.4 地下空間氾濫被災シナリオ

- 2:10 市街地浸水開始
- 2:15 破堤口に最も近い堂島地下街浸水開始。地下空間の標高は、北方面が高く、氾濫流の広がり遅い。
- 2:20 東西線「北新地」、四ツ橋筋「西梅田」コンコースが浸水開始。
- 2:25 大阪駅前西に延びる地下連絡通路が浸水開始。地上部からの流入量が多い。
- 2:30 堂島地下街の浸水深1 m。ディアモール大阪、大阪駅前地下街が浸水開始。
- 2:40 堂島地下街の浸水深がピークの1.5 m。地下連絡通路、「西梅田」、「北新地」の浸水深それぞれ0.6 m。御堂筋線梅田駅コンコースで浸水開始。
- 2:50 各地下街において定常状態。地上部からの流入量と地下階下層への流出量がつり合うため。ホワイティ梅田において、御堂筋線梅田駅コンコースからの流入により浸水開始。
- 3:10 各地下街浸水深は、堂島地下街1.4 m、地下連絡通路0.8 m、「北新地」・「西梅田」0.7 m、御堂筋線「梅田」0.3 m、ディアモール大阪・ホワイティ梅田0.2 m、大阪駅前地下街・谷町線「東梅田」0.2 m  
地下空間への1時間総流入量は13.4万 $m^3$ である。

#### 2.5 高潮・洪水氾濫の場合

ここでは、市街地氾濫を想定しているのは大阪市北区ということであり、そこでの氾濫危険性は歴史的な被害の発生状況から、津波、洪水氾濫、高潮の順であると考えられる。高潮の場合は、事前対応の時間的余裕がほかの2つの場合に比べて多いということ、臨海部に防潮水門と防潮堤のシステムが完成していることから、このような位置づけとなるのである。淀川の場合、下流部の計画洪水流量が12,000 $m^3/s$ に対し、現状の疎通能力は8,000 $m^3/s$ と推定されている。1950年以降7,000 $m^3/s$ を超える流量は4回記録されており、このことから治水安全度はそれほど高くないといえる。仮に淀川左岸の9.2 kmで破堤した場合、12,000 $m^3/s$ の洪水は、いま解析の対象をしている地域におよそ0.5~1時間で到達し、地下空間へは1時間で浸水が開始される。このような状況は、津波氾濫の場合とよく似ているので、ここでは主として津波を対象とした地下街水害対策を示すことにしたい。

#### 2.6 地下空間を含む市街地水防災の現況

##### a) 地上市街地

超過洪水、地震津波などによる被災の可能性があるにもかかわらず、それら外水氾濫への具体的な対策は皆無である。現在指定されている避難所は、主に地震時を想定したものであり、水害時に利用可能な数は十分とはいえない。さらに、昼間人口の多い現地市街地においては、地域外の人々を一時的にどこに避難させるのかという問題も生じてくる。

##### b) 地下空間

大阪市域の氾濫想定区域には、現在13の大規模地下街が存在しているが、現段階では津波や河川氾濫等の外水氾濫を対象とした水害対策は行われておらず、せいぜい内水氾濫程度の雨を止水板の設置や土壌によって防ごうとするものである。計算結果から、大阪駅以西の低地では浸水深が1 mを越える。さらに近畿地方建設局(1998)の報告によれば、淀川洪水氾濫でも浸水深1~2 mが予想され、これでは十分な対策とはいえない。

### 3. 各種インデックスの算定

#### 3.1 地下空間からの避難所要時間の推定

いざ避難行動を開始したとき、どの程度の時間を要するのか、明らかにしておく必要がある。そこで室崎ら(1998)の方法で、現地地下空間の避難所要時間を推定した。

##### a) 要避難者数の推定

ピーク時を想定し、人口密度(人/ $m^2$ )を1.5(商店街、百貨店等)、1.0(飲食店街等)、0.1(駐車場等)と仮定すれば、要避難者数は44.5万人と推定される。

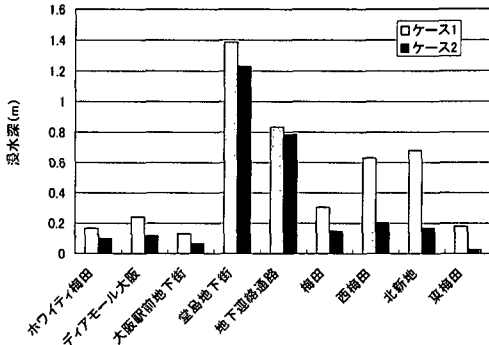


図-2 主な地下街のケース別浸水深

b) 流出係数

避難時間は扉や階段の出入口などのネック部を群衆が通過する時間に支配されるとみなす。ネック部の通過時間は、幅1m当たり1秒間に何人通過できるかという流出係数  $F$  (人/m/s) によって決定される。ここでは、不案内な地下空間という特性から、 $F=1.2$  と設定した。

c) 避難所要時間の推定

地下空間から地上部へ階段がネック部であるから、今回は階段の総幅員401.9mをネック幅とする。この結果、避難所要時間は15分23秒と推定された。

d) 考察

本節で求めた避難所要時間は、各階段に対し避難者を理想的に分配したものである。しかし、現実には、ある階段に避難者が集中し、そこがクリティカルパスとなり、避難完了を遅らせる。

また、ある階段から浸水が始まれば、避難に有効な階段幅が狭まる。計算結果から、市街地流入開始40分後に階段有効幅は半減している。有効幅が狭まれば、それだけ避難所要時間を要することになる。つまり、浸水前の早期の避難と、適切な避難誘導が避難所要時間を最小とするといえる。

3.2 地下鉄網への排水効果

地下空間には地下鉄網が存在し、各駅ホームまたは、トンネル部には防水扉が設置されている。地下空間に氾濫流が浸水する場合、地下鉄網へ排水を行うかどうかの議論が生じてくる。地下鉄網へ排水した場合をケース2として計算を行った。地下鉄への総流入量は5.7万m<sup>3</sup>である。直結するコンコース部の水深は減少するが、その他の地下街における浸水深にはそれほど影響しない結果となった。図-2に主な地下街の各ケース別浸水深を示す。

3.3 止水板・止水扉の効果

水災害の場合、氾濫流の地下空間への流入を防ぐために、止水板等を設置することになっている。しかしながら、避難完了の遅れや、緊急時の職員数などの制約条件

表-1 20分後総流入量ランク

順位	属性	名称	20分間流入量 (m <sup>3</sup> )
1	四ツ橋線西梅田駅	6-79	3431
2	地下連絡通路	6-13	1554
3	堂島地下街	C-60S	1540
4	堂島地下街	C-80	1165
5	JR東西線北新地駅	11-5	1159
6	堂島地下街	C-60N	1106
7	地下連絡通路	6-19	1101

表-2 氾濫流量の比較

	総流入量	市街地流入量	地下空間流入量 (万 m <sup>3</sup> )
ケース1	50.4	37.0	13.4
ケース2	50.4	37.0	13.4 (うち地下鉄へ5.7)
ケース3	50.4	40.8	9.6

より、全ての出入口に止水板等を設置することは、まず不可能である。事前にその設置箇所を優先順位を決めておき、人的・物的被害軽減の効果を評価しておく必要がある。

a) 総流入量ランク

ケース1における各出入口における氾濫開始20分後の総流入量ランクを表-1に表す。

b) 止水効果の測定

人的被害軽減を目的とするため、氾濫開始20分後の総流入量ランク上位7箇所の出入口に、止水板を設置したとし、これをケース3として氾濫計算を行った。

主な地下空間の浸水深はそれぞれ抑制されている。これらは止水板の効果である。表-2にケース1とケース3における市街地、地下空間それぞれの氾濫流量の比較を示す。また、図-3にケース1とケース3における各地下街への総流入量の比較を示す。注目すべきは、出入口を閉めた地下空間では流入量が減少しているが、ダイヤモール大阪、御堂筋線梅田駅コンコース等では、逆に流入量が増加していることである。これは止水板の設置が、直結する地下街への流入を抑制する反面、市街地の浸水深を増加させ、その結果、他の出入口への流入を増加させることを意味している。

4. 減災の方策

地下空間を含む市街地における水防災には、トレードオフとなる課題が山積し、具体的な防災計画はもちろん、有効な方策すら見いだされていない。そこで、これらのトレードオフの関係を整理し、現地市街地における減災方策も絡めて検討する。

地下空間の水防災において、トレードオフとなる課題

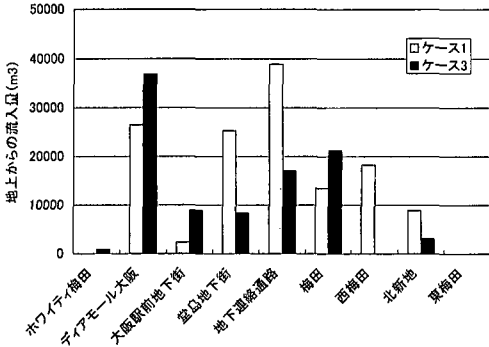


図-3 各地下街への流入量の比較

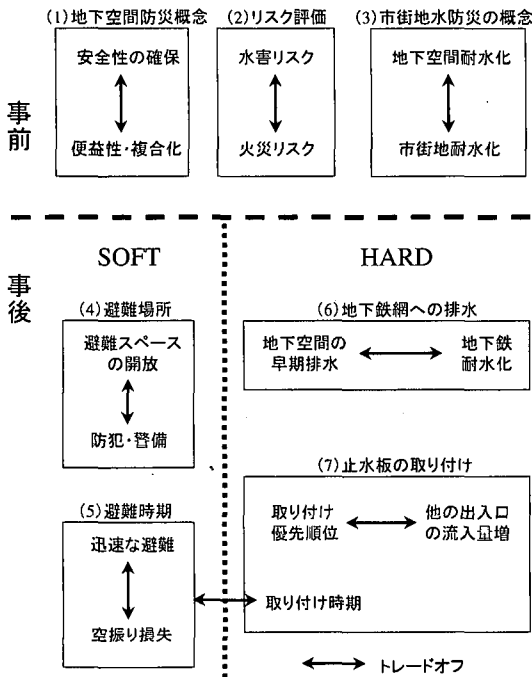


図-4 地下空間の水防災に関するトレードオフ

を図-4に整理した。これらに対する見解を、行政・管理者・利用者で共有しない限り、減災の方策は成立し得ない。

#### 4.1 地下空間の防災概念

##### ◆「地下空間に何を求めるか」という視点

近年、都市域における地下の開発が大規模化、深層化、複合化の傾向にある。ここで問題なのが、便益性と安全性がトレードオフになることである。便益性を追求するあまり、複合化、深層化を促進しては、安全性の確保ができない。そのバランスが重要である。現都市街地の場合、都市機能が地下空間に依存する割合が高く、安全性の向上が望まれる。現段階において、かなりの利便性が確保されているので、安全性の検討に入るべきである。

#### 4.2 リスク評価

##### ◆「何が危険なのか」という視点

現在、地下空間利用上、最も重視されているリスクは火災である。快適性も考慮し、出入口を広くとるような方策がなされている。しかし、水災害のリスクを考慮すると、出入口を広くするのか、狭くするのかというトレードオフが生じるのである。1つの案として、広幅の出入口では、地上に接する階段踏面の床上げを行うなどの対策が挙げられる。前述したように現都市街地においては、水災害ポテンシャルが非常に高く、淀川破堤氾濫、地震津波氾濫ともに、早急な対策が必要である。

#### 4.3 市街地水防災の概念

##### ◆「上と下どちらを守るのか」という視点

現都市街地において、氾濫流量の1/4が地下空間に浸入していることになる。地下空間を完全に締め切ると、市街地の浸水深が増大する。どちらを守るべきなのか、難しい問題ではあるが、現状の防災体制において、氾濫流から地下空間を完全に防御することは不可能である。しかし、その機能集中度からみて、できる限り地下空間に水を入れない方向が望ましい。ただ、流入量によっては、地下街が浸水しても大きな被害を受けないということも考えられ、地下何mに何があり、水深がどの程度でどんな被害を受けるのか、というようなことを事前に評価しておくことが重要である。

#### 4.4 避難時期

##### ◆「いつ逃げるのか」という視点

ここで生じるトレードオフは、身の安全確保につながる迅速な避難と、空振りに終わった場合の損失である。現地下空間においては、店舗数も多く、警備・防犯等の問題もあり、避難勧告が発令されても、店を閉鎖して避難するのか、身一つで逃げるのか、大きな問題である。原則としては、地震直後の津波警報を受け、市街地氾濫の可能性が分かった時点で、店舗等を一時閉鎖し、速やかに地上部へ避難することである。避難所要時間は最低でも15分を要するが、淀川破堤氾濫、津波氾濫ともに、第一報から地下空間氾濫までに2時間余りあり、迅速な避難行動をとれば、後に述べる各種トレードオフの問題を全てクリアできる。情報提供者は、警報が発令された段階で、避難の必要性を告げるべきである。

#### 4.5 避難場所

##### ◆「どこへ逃げるのか」という視点

地下空間には、地理に不案内な者が多く、個人レベルで避難先の選択を行えない場合が多い。早期に地上への避難が行われれば、氾濫領域外への2次避難が行える。2次避難先は、津波氾濫の場合、新御堂筋以東が安全である。しかし、緊急時は近隣の駅・ビル・デパート、マンション等への避難が必要となる。公共性を考慮すると、

JR大阪駅、阪急梅田駅のコンコース、ホームへの避難誘導が有効である。ビルやデパート、マンション等への避難を防災計画に組み込むことは、防犯・警備等の問題もあり、現実味を帯びない。

#### 4.6 地下鉄網への排水

##### ◆「地下鉄に水を入れるのか」という視点

地下空間の排水のため、地下鉄トンネルに排水するのか、地下鉄への影響を防ぐために止水板を設置するのかという問題がある。管理主体の違い等から、地下鉄網への排水という取り決めは認可されにくい現状にある。浸水開始段階で、避難が完了していれば、長期間の停止による損失の大きい地下鉄への流入は避けるべきであるが、緊急事態の場合は認可すべきである。現地地下空間の場合、北新地駅ホームへの排水が効果的といえる。

#### 4.7 止水板の取り付け

##### ◆「いつ閉めるのか」という視点

出入口を閉鎖することで、直結する地下空間への総流入量を、効果的に減少させることは明らかである。しかし、避難行動が完了していない場合は注意を要する。迅速な避難が前提条件となる。避難が完了していない緊急の場合は、浸水の順序から考えて、津波氾濫の場合、破堤口に近い堂島地下街、四ツ橋線西梅田駅コンコースへの出入口を即閉鎖し、避難者をホワイティ梅田以北の出入口へ誘導することが有効である。しかし、現実的には次項で述べるような問題が発生する。

##### ◆「どこから閉めるのか」という視点

計算結果から、止水板の設置により、他の地域へ氾濫流を誘導し、他の出入口への流入量を増加させるということがわかる。また、緊急時の人員などの制約条件が加わり、完全に設置することは不可能である。要するに、各地下空間の地盤特性と重要度に応じて、流入をある程度認めるか、全く認めないか、何を守るのか、を決めておき、優先順位に基づいて、止水板の取り付けを行うべきである。

#### 4.8 まとめ

事前に行政・管理者・利用者間において、各トレードオフに対する見解を共有しておくことが重要である。また、人的被害軽減に関するトレードオフは、早期の避難という原則のもとに解消されることが明らかであり、早期の避難を実現するには、利用者が地下空間における被災シナリオを十分理解しておくことである。

#### 5. 結論

本研究で得られた結論を以下に述べる。

- 1) 津波氾濫シミュレーション結果から、津波の河川遡上によって、市街地が氾濫し、地下空間が浸水するというシナリオを提示した。
- 2) 地下鉄網へ排水を行った場合、直結するコンコース部の水深は減少するが、他の地下街への効果は余り見られない。
- 3) 止水板の取り付けは、その出入口が直結する地下空間への流入量を減少させる効果があるが、逆に市街地の浸水深や、他の地下空間における浸水深を増加させることになる。どこを守るのか、何を守るのか、ということ認識した上で対策を行うべきである。その際、本研究で求められた、流入量ランクなどが参考になるものと思われる。
- 4) 地下空間の減災に関して考察を行った。計算結果より認められたものを含め、地下空間水防災には各種トレードオフの問題が存在することを明らかにした。これらに対する見解を、行政・管理者・住民が共有しておくことが減災への第一歩である。

#### 参考文献

- 河田恵昭・石井 和・小池信昭 (1999): 津波の市街地への氾濫と地下空間への浸水過程のシミュレーション, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 346-350.
- 建設省近畿地方建設局 (1998): 淀川洪水危機管理報告, pp. 52.
- 室崎益輝・安野健次郎 (1998): 新版建築防火, 朝倉書店, pp. 93-116.