

地下空間における浸水対策の昨今の動向

国土交通省 国土技術政策総合研究所
危機管理技術研究センター 水害研究室
館 健一郎

1. はじめに

平成11年6月の福岡水害、同7月東京都新宿区での死亡事故の発生により、地下空間の浸水が全国の耳目を集めることとなった。これらの災害以降、以前に増して都市型水害や地下水害に関する議論が活発化してきている。地方自治体でも、福岡市の「福岡市地下空間浸水対策検討」を始め、自治体と地下空間管理者との連絡体制、避難計画等を主とした具体的な対策検討が実施されている。

地下水害の被害を軽減するためには、対策の方針を明確にし、官民が分担して効率的に対策を進めていかなければならない。対策策定には、まず、都市における浸水発生リスクの定量評価が不可欠であり、そのために必要な地盤高をはじめとする基礎的なデータ整備を進める必要がある。また、都市部の浸水を精緻に予測できる氾濫解析モデルや、地下空間の浸水被害を防ぐための対策手法など、研究開発すべき技術は多数残されている。

ここでは、地下水害対策の昨今の動向（特に国の取り組み等）について紹介し、今後の対策の実施とそのために必要な技術開発等について議論したい。

2. 福岡水害以降の施策の流れ

福岡、東京での災害発生後の平成11年8月、建設省、国土庁、運輸省、消防庁の4省庁からなる地下空間洪水対策研究会は「地下空間における緊急的な浸水対策の実施について」と題する提言をまとめ、「①地下空間での豪雨及び洪水に対する危険性の事前の周知、啓発」、「②洪水時の地下空間の管理者への洪水情報等の的確かつ迅速な伝達」、「③避難体

制の確立」、「④地下施設への流入防止等浸水被害軽減対策の促進」の必要性を指摘した。

上記提言の①を受け、日本建築防災協会では「浸水時の地下室の危険性について」と題したパンフレット及びホームページで危険性、対応策を広報している¹⁾(図-1)。この中では、地下室の水深上昇が急激であること、水圧によりドアが開かなくなること等、地下室の浸水で特徴的な危険性が解説されている。

一方、平成12年9月に発生した東海豪雨災害では、新川における破堤によって都市部が浸水し、大きな被害が生じた。また、外水氾濫以外にも内水氾濫が各所で発生し、地下空間(地下鉄)の浸水も生じた。内水及び外水氾濫の危険性、地下水害を始め都市型被害への脆弱性が再び明らかになった。この災害を受け、「都市型水害対策に関する緊急提言」が出された。浸水リスクの基礎調査に基づく対策メニューとなすべき検討事項が示されており、地下空間についても、現状点検、耐水化対策の推進、情報連絡体制の整備等の必要性が指摘されている。また、現行の災害関係法規等には地下空間の水災対策について明確な規定がないことから、制度面の検討、



図-1 パンフレット「浸水時の地下室の危険性について」¹⁾

表-1 氾濫水の流入箇所と対策²⁾

施設名	氾濫水の流入箇所→主要な対策
地下鉄	出入口→ステップ, 防水板 換気口→浸水防止機 (手動, 自動) 接続する施設→防水扉, 防水シャッター 隧道内→防水扉 (通路内, トンネル内)
地下街	出入口→ステップ, 防水板 排気・吸気塔→通常高さが高いので問題なし 接続する施設→防水扉, 防水シャッター
地下ビル	出入口→ステップ, 防水板, 防水扉 地下→地下貯留槽
地下室	出入口→ステップ, 防水板, 防水扉
共通	標高の低い所に排水ポンプ 内部に非常階段 (はしご)

整備が望まれるとしている。

平成13年7月には、東海豪雨の経験を踏まえ、水防法の改正が行われた。水害時の効果的な避難のため、河川の浸水想定区域（計画降雨の浸水が想定される区域）の公表及び当該区域の避難体制の整備が義務付けられた。水防法改正に伴う「ハザードマップ作成要領」の改訂では、地下街その他の不特定かつ多数の利用者が利用する地下の施設がある場合には、地下空間に関する情報を必要に応じて記載するものとされた。ハザードマップの作成・普及の推進とともに、行政及び地下空間の管理者間の連絡会議の開催により、地下空間における情報伝達、浸水対策計画の作成及び広報・啓発活動の推進が目指されている。

3. 何が必要とされているか？

地下空間の浸水による被害には、様々な形態がみられる。地下街における商品被害等の資産の被害、地下に設置された電気設備機器の被災による建物の機能停止、それに伴う長期の営業停止、地下から逃げ遅れた人の人命損失などがある。これらのうち、最低限防がなければならないのが人命損失であることに異論を挟む余地はないだろう。

地下水害が発生しないようにするには、浸水の流入が予想される出入口等にもれなく防水板等を設置することが最も効果的である

(表-1)。しかし、福岡水害に関して実施したアンケート調査（福岡市役所及び旧土木研究所）の結果によると、経済的な理由や地下水害の危険性を感じていないことから、対策を実施していない管理者も多かった。

大都市のどこで災害が発生してもおかしくないのが現状であるが、それに対する一般の認識は低いと言わざると得ない。個々の施設の住民や管理者、施設利用者に的確な情報を提供することで、的確な対策の実施を促すことが必要とされている。即ち、個々の地下空間を対象として、その位置及び地下空間構造に応じ、地下空間の浸水が発生する危険性を的確に知らしめるとともに、実施可能で効果的な対策手法メニューを提示することが必要とされているのである。

4. 地下空間における浸水対策検討委員会

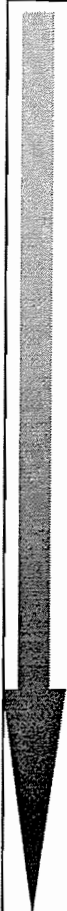
(1)地下空間における浸水対策ガイドライン

国土交通省では、平成12年2月より地下空間における浸水対策検討委員会（委員長塚越功慶応大学教授）を開催している。委員会には、同省河川局、都市・地域整備局、住宅局、国総研等の関係部局が参加しており、検討を通じて「地下空間における浸水対策ガイドライン（案）」の策定を目指している。

地下空間の浸水は、生命への危険性が高いため、地下空間からの脱出・避難を第一に考えた対応策を講じる必要がある。このガイドラインは、浸水危険性の高い場所の地下空間における生命の安全性の確保を目指し、建築物の構造及び維持・管理方法についての指針を示し、建築物の設計を行う場合の技術的情報、管理者等が管理上注意すべき情報としての活用に資することを目的としている。

対策を考える上では、地下空間における浸水被害が地上とは異なる災害特性を有していることを踏まえておかなければならない。それらは、①避難経路が限定されること（避難

表-2 地下空間の浸水状況（時系列）に応じた対策と効果

時間	状況	要求性能	必要な浸水対策一覧	
			地下空間への浸水阻止	避難安全の確保
	平常時	・大雨時の氾濫水位予測	○行政による水害ハザードマップの充実	
	降水開始	・当該雨量の推移状況予測	○行政による降雨状況に関する情報提供体制の整備	
	地上の浸水開始	・浸水の危険性の早期知覚	●地上浸水センサー（超音波計等を含む）等の設置 ○警備員の配備（地上の水位監視・誘導）	
	地上での溢水	・地下空間への浸水時期の遅延	●地下空間へ降りる階段の前室の拡張 ●マウンドアップ（地下への浸入口） ●自動立上げ防水板（警報センサー付き）設置 ●地上からの直通出入口の閉鎖 ○土嚢等の常備，敷設体制の整備	
	地下への流入開始	・地下空間への浸水の早期知覚 ・地下空間への浸水（水位上昇速度）の低減	●地下空間の開口総幅の縮小	●ドア改造（防水対策型防火戸の開発・設置） ●E Vに頼らない避難経路の確保
	浸水深の増大	・地下空間への浸水（水位上昇速度）の低減 ・浸水している状況での安全な避難経路の確保 ・安全な避難誘導	—	●死角の無い空間の設計 ●内部階段の設置 ●避難完了まで水が入ってこない階段等（昇降装置）設置 ●避難階段等（昇降装置）までの通路の安全性の確保
移動限界水位	・地上への緊急通報	—	●緊急避難用脱出装置（上階への避難ハッチ等）の設置 ○地上へ向けての緊急通報体制の整備 ○消防署・警察署等との連携に	

方向は、基本的に地上へ向かう開口部のみに限定され、水の流入経路と人の避難経路が重なる可能性が高い、②状況判断が難しいこと（地上と隔絶されている状況下にあるため、外界からの情報が入りにくく、災害の状況の把握が遅れ、避難行動の開始が遅れる傾向にある）、③時間の猶予がないこと（密室状態にあるため、一旦開口からの浸水が始まると、氾濫水が一気に流れ込む）、④設備機能が停止すること（機械電気施設の中核部分は地下にある場合が多く、浸水とともに機能停止する恐れがある）等である。

地下水害の発生を時系列でみると、①浸水開始前→②地下空間への流入開始→③地下空間の大量浸水→④水没といった過程を辿る。それぞれの時点に応じた対策として、①では

地下空間への水の進入防止・遅延（例：地上の浸水センサー等で浸水可能性を知り、防水板等で水の進入を防ぐ）、②では避難行動の円滑化（警報システム等で地下空間への浸水を知らせるとともに、地下空間内の避難ルートを確認する）、③では地上への脱出口の確保（地上と通じるハッチ等の最終脱出路）等が考えられる。地下浸水深の上昇と、それに対応した浸水対策を示したのが表-2である。

上記を考慮し、ガイドライン（案）では、浸水危険性の調査結果に基づいて、浸水危険性が大きい場合には地階を設置しない、もしくは、対策措置によって一定の安全度（浸水を可能な限り生じさせないレベル、避難を用意に行えるようにするレベル、避難を可能とするレベル等）を確保すべきことが示される

予定である。現在、委員会では、それらの安全度に関する技術基準が検討されている。

(2) 避難安全検証法の検討

上記ガイドラインに示される基準の設定のためには、対策実施の効果、即ち安全な避難の可否を定量的に評価する必要がある。同検討委員会では、地下空間における浸水時の避難安全性を検証する手法の検討を行っている。

この手法は、火災の避難安全検証で行われている方法（建築基準法施行令第129条の2「避難上の安全の検証を行う建築物の階に対する基準の適用」、平成12年建設省告示第1441号「階避難安全検証法に関する算出方法等を定める件」）を参考にしたものである。

安全検証の考え方は、地下空間にいる人が、“避難行動に重大な影響を及ぼす浸水状況”が生じる前までに、地上への避難が完了できるかを検証するものである。避難行動に重大な影響を及ぼす浸水状況としては、ドアが開かなくなる可能性があり歩行しにくくなる浸水や、階段を昇るのが困難となる階段上流れの発生が考えられる。例えば、ドアが開かなくなる水深は、外開き扉の場合26cm、内開き扉の場合47cm¹⁾と設定できる。なお、氾濫水が流入する階段を避難する際の行動限界水深の検討例については、本報の最後に参考として紹介している。

避難行動余裕時間（避難行動に重大な影響を及ぼす浸水状況が発生するまでの時間）を避難行動所要時間（危険性を認知し、行動を

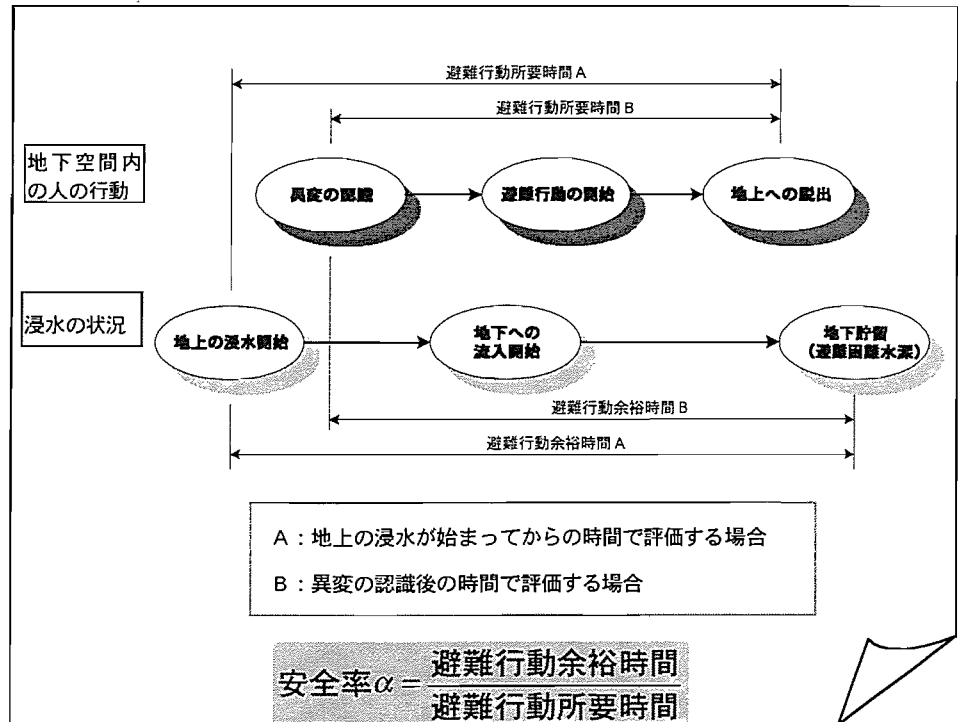


図-2 安全率の評価

起こし、地上に脱出するまでに時間)で除した値を安全率 α とすると、その値を用いて安全な避難可能性が評価できる(図-2)。

5. まとめ

前章で紹介したガイドラインで示される対策を進めていくためには、解決すべき技術的課題が存在する。適切な浸水対策の選定のためには、まず場所毎の浸水危険性を知ることが必要となる。現在、洪水ハザードマップ等の整備が進められているものの、任意の場所に関する浸水リスク情報が誰にでも手に入られる状況ではない。

都市部で発生頻度が高い内水氾濫も含む浸水リスク評価技術の開発が望まれる。精度の高い解析には、微地形まで分かる標高モデル整備が大前提となる。そのためには、レーザースキャナー等の測量システムの活用手法の確立が必要となる。また、地下空間の浸水を予測するためには、地下空間構造調査に基づく構造データベース整備が必要である。

将来的には、地下空間の所在地が分かれば

浸水リスクが容易に分かるような状態にする（解析ソフトやデータベースの公表）のが理想であろう。浸水リスク情報が一般化されれば、ハード・ソフトを含む地下空間の防災手法が民間企業等によって行われるようになるものと考えられる。

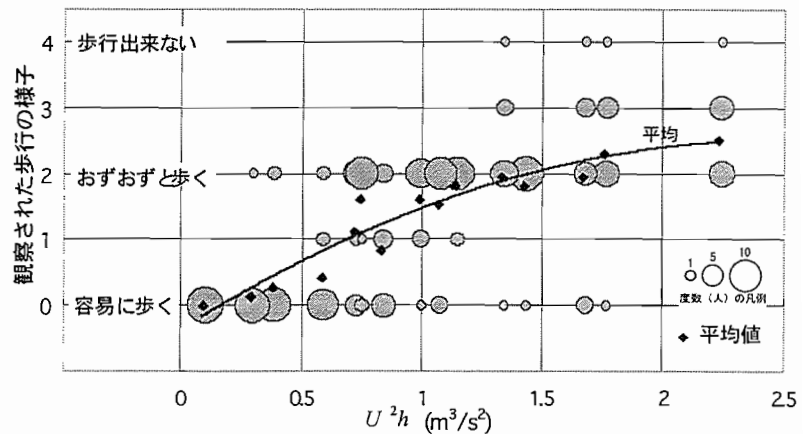


図-3 踏み面上の U^2h と階段上歩行の関係（実験より）

参考 危険度実験結果

旧土木研究所都市河川研究室では、地下空間へ流入する氾濫水が階段上歩行者に与える危険性を把握するための模型実験を行った³⁾。

水路内に設置された実物大の階段模型（段数5段）に水を流し、被験者が階段上を歩行する実験を行った。その結果、階段踏み面上の流れの U^2h (U : 流速, h : 水深) が概ね $1.5\text{m}^2/\text{s}^2$ 程度以上で歩行が困難となっていた（図-3）。

また、1/3 縮尺の階段模型（段数17段）を用いて、階段上の氾濫水の流れを計測した。地上浸水深 H と地下への単位幅当りの流入量 $q(\text{m}^2/\text{s})$ の関係は次のとおりであった。

$$q=1.59H^{1.65} \quad (1)$$

階段最上段からの落差 z と踏み面上水深 h の関係の近似式を求めると以下となった。

$$h=0.2305q^{0.9728}z^{-0.4021} \quad (2)$$

これらをもとに、階段最上段からの落差 z と踏み面上の U^2h の関係を示したものが図-4である。階段上の U^2h を用いてそこでの歩行可能性が判断できる。例えば、地上水深が0.3mの場合、落差 z が3.5mで U^2h が $1.5\text{m}^2/\text{s}^2$ 程度となり、階段を上ることが困難かつ危険

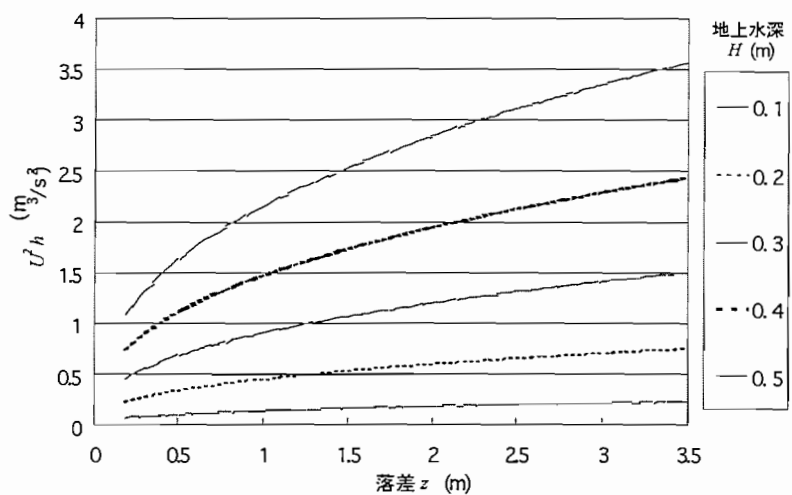


図-4 流下落差と踏み面上の U^2h の関係（実験より）

になることが分かる。

参考文献

- 1) 地下室の洪水時における注意事項検討会：浸水時の地下室の危険性について、（財）日本建築防災協会，2000.6.
- 2) 末次忠司：都市型地下水害の実態と対策，雨水技術資料，Vol.37，pp.7-18，2000.6.
- 3) 館健一郎・武富一秀・水草浩一・末次忠司・吉谷純一：階段を通じた地下空間への氾濫水流入に関する実験，土木技術資料，43-2，pp.30-35，2001.2.