

地下防災における浸水災害の経済的損失に関する研究

(株)奥村組土木技術部 正会員 中山 学
 京都大学防災研究所部 正会員 戸田 圭一
 竹中工務店技術研究所 正会員 下河内隆文
 (株)奥村組土木技術部 正会員 ○岡村 正典

1. まえがき

地下空間の利用が増大するに伴い、防災面の課題が指摘され、地下空間の防災に関しては主に火災に対して多くの調査研究がなされてきた。兵庫県南部地震などを契機に都市の防災への関心が高まっており、地下空間も都市レベルでの防災上の要素として考えられるようになってきている。しかし、一度災害が発生すると、経済的影響が大きいことは、阪神・淡路大震災の事例でも明らかとなり、震災対策も徐々に実施されてきている。

平成11年6月29日の午前7時頃から梅雨前線の影響により、九州北部に激しい雨が短時間の内に降った結果、豪雨によって河川からの溢水等を原因とする浸水被害が福岡市内で発生し、周辺地域の社会経済活動に大きな影響を及ぼし、地下飲食店で勤務中の1名の尊い人命が失われた。続いて、7月21日東京都内では雷雨とともに発生した集中豪雨によって個人住宅の地下室が浸水し、ここでも1名が死亡した。さらに、平成12年9月11日に東海地方を襲った集中豪雨では、幸い地下街に大きな被害は発生しなかったが、名古屋市営地下鉄では駅舎ならびに軌道が水没したことによって2日間運行停止を余儀なくされた。これらの浸水による被害では、人的・物的被害（直接損害）は地震ほど顕著ではないが、周辺地域を含めた経済活動等への影響（間接損害）を無視することはできず、地下空間の有効利用を議論するためには、被害発生に伴う波及効果による間接損害の軽減も視野に入れ、都市内の防災に対する投資効果を検討しなければならない。

本稿では、地下の浸水対策に対する費用対効果をどのように考えて行くべきかという方向性について述べた。

2. 被災事例

火災、地震、浸水を発生する主な原因とする事例を表-1に示す。以前は火災による事例が多く見られたが、近年、地下鉄、地下街をはじめとする地下空間の活用が進むにつれて、浸水による災害が発生してきたことがうかがえる。

したがって、合理的な浸水対策を立案するためには、直接損害（浸水による建物などへの影響）、間接損害を計測することによって、対策に要する費用をどの程度とするかという議論を十分に尽くすことが重要である。

そこで、「間接損害」を定義し、計測する手法を確立する案を次節に示すような項目で提示することが有効と考えた。なお、基本的には、被災前に利用者が受けていた便益の損失を間接損害として計測することを狙っている。

表-1 被災事例

災害種類	物件名	発生年月日	場所
火災 (爆発を含む)	東名日本坂トンネル	1979.07.11	静岡県
	静岡駅前ゴールデン街	1980.08.16	静岡県
	世田谷電話局洞道	1984.11.16	東京都
	地下鉄キングスクロス駅	1987.11.18	英国
	阪急三番街	1988.05.19	大阪府
	ワールドトレードセンター	1993.02.26	米国
	ユーロトンネル	1996.11.18	英仏国境
	ケーブルカー事故	2000.11.11	オーストリア
地震	六甲アイランド再生水施設	1997.01.17	兵庫県
	神戸高速大開駅	1997.01.17	兵庫県
浸水 (水害を含む)	地下駐車場・飲食店	1993.08.06	鹿児島県
	営団地下鉄赤阪見附	1993.08.27	東京都
	博多駅構内	1999.06.29	福岡県
	個人住宅地下室	1999.07.21	東京都
	名古屋地下鉄駅構内	2000.09.11	愛知県

Keywords : 地下空間、防災、浸水、経済影響、間接損害

連絡先 : 〒545-8555 大阪市阿倍野区松崎町2-2-2 TEL:06-6625-3898, FAX:06-6621-9315

3. 検討方法

表-1に示すような浸水被災事例からは間接損害として表-2のような項目が考えられる。この中で、地下鉄の場合、施設が被災することによって、乗客は平常時に施設を利用することによって受けている利便性を享受できないことを如何に定量的に評価・計測するかという課題が残る。そこで、地下鉄網の中で乗客の乗車および下車の駅を起点、終点とするOD網におけるLPモデルとして検討を進めている。

3-1. 発生・集中可能輸送量の算定

発災後に平常時の運行サービスも要求されるような時の発生・集中可能輸送量の算定について考える。この時、各ODの発生・集中可能輸送量は次の2つの輸送量によって算定される。

① 平常時の相対的比率としてのOD構成比を踏まえた輸送量 $P_{ij} \cdot F$ である。ただし、 F が目的関数である。

② OD構成比に対応する輸送量が配分された上で、各リンクの残余容量を利用してできるだけ多くのOD輸送を発生・集中させようとした時の輸送量 Y_r である。

そこで、各OD輸送の構成比を踏まえた輸送量を考慮したLP問題は右のように定式化できる。

(1)はOD構成比に対する需要輸送量 F を配分するために、満足しなければならないOD輸送量に関する連続式である。(2)~(3)を制約条件として式(1)の F を最大化する問題に帰着する。

3-2. OD輸送量の算定

発災後のOD輸送量を予測することは難しく、平常時におけるOD輸送量からどの程度の総輸送容量が低減し、各復旧過程で回復してゆくかについて、考察する。

また、地下街や商業ビルにおける営業損益は、通常の営業時における収益（例えば、前年度）を考慮して推定することがより現実的と思われる。なお、商業施設であれば、被災することによる「イメージダウン」が発生することが想像されるが、現在のところでは定量的把握は難しいと思われる。

4. 今後の課題

本研究は、浸水による地下防災減少のためにどの程度の対策費を投入することが、より合理的であるかという費用対効果の観点から行っている。今後、輸送手段のネットワーク化も課題として残ると考える。

また、地下空間の浸水被害の軽減を今後考えていくにあたっては以下の内容が課題として残っている。

- ①地下街・地下鉄・商業ビルなど管理者が異なる複合地下施設における各々の浸水対策に対する考え方の整理。
- ②現況における危険性を広く周知・徹底するために、不特定多数の人間が利用する施設であることの広報。
- ③微地形も考慮して浸水しやすい地域をゾーニングすることによって浸水対対象地区を指定し、対策の必要箇所決定に「めりはり」を付ける（各施設周辺のハザードマップ作成）。
- ④浸水災害は突発的に発生することの広報。

(参考文献) 1)土木学会地下空間研究委員会：地下防災を考える一特に都市における水害対策への提案一、2000.12 2)中山学、下河内隆文ら：地下空間に関わる防災上の対策について一事故・災害事例から学ぶ一、土木学会第54回年次学術講演会共通セッション, pp.120-121, 1999.9 3)環境・防災小委員会報告：地下空間ソボジウム論文・報告集一第4巻一土木学会地下空間研究委員会、1999.1 4)中山学ら：震災時における都市道路網のリンク容量低下の経済的評価に関する研究、I-B267、2000.9

表-2 施設別 間接損害項目

地下街	営業収益の減少
	商品の損害
	清掃(消毒)費用
	機器修理費用
	イメージダウン
地下鉄	運営営業収益の減少
	清掃(消毒)費用
	機器修理費用
	利用者便益の低減
	代行運行費用
ビル(商業用)	営業収益の減少
	商品の損害
	清掃(消毒)費用
	機器修理費用
	イメージダウン

$$\sum_{r \in n_k} Y^{ij}_r = P_{ij} \cdot F \quad \text{OD条件式} \dots\dots\dots (1)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{r \in R} a \delta^{ij}_r \cdot Y^{ij}_r \leq C_a \quad \text{リンク容量制限式} \dots\dots\dots (2)$$

$$Y^{ij}_r \geq 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Y^{ij}_r : OD輸送量 ij の r 番目の経路の経路輸送量
 P_{ij} : OD輸送 ij の構成比 $(\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} P_{ij} = 1)$
 F : OD輸送量に対する需要輸送量
 $a \delta^{ij}_r$: OD輸送量 ij の r 番目の経路輸送量がリンク a を通過する場合は 1、通過しない場合は 0 を取る定数
 C_a : リンク a の輸送容量