

京都大学大学院 学生員 ○能島 暢呂

京都大学防災研究所 正員 亀田 弘行 岩井 哲

北原 昭男

1. はじめに 「都市型地震災害」の被害は多様な側面を持ちしかも連鎖的に拡大・波及するという性質を持つため、その予測・防止・軽減のためには学際的な観点からシステム分析を行う必要がある¹⁾。本研究では広範な都市施設の中から地下街に対象を絞り、その現状を把握した上で地震災害の波及をシステム論的手法を用いて明らかにするものである。

2. 地下街の現況と安全対策 本研究で地下街を取り上げた理由は、①限られた空間の中に都市施設が高度に集積しており都市の縮図的存在であること、②火災・ガス漏れ・停電などの被害が地震時に同時多発する可能性があること、③不特定多数の人が集まるため群集災害が憂慮されること、等である。まず地下街の構成と人・情報・供給処理の流れの概略を図1に示す。地下街は公共通路や、飲食店・衣料品店などの店舗、地下駐車場等の用に供されている。また地上・地下の交通機関やビル地下街など多数の施設と接続しており、全体として地下活動空間を形成している。災害時には防災センターが中心となり、隣接施設・消防・警察・ガス事業者などと情報交換を取りながら災害対応にあたる。

3. 地下街の地震災害分析 地下街における地震災害は、関与する要因、時系列的展開ともに複雑多岐なものになると予想されるため、システム手法を用いた解析を行う必要がある。以下にISM, FTA, ETAの3手法による地震災害分析を示す。

(1) ISM²⁾ (Interpretive Structural Modeling) による被害波及構造 …… ISMは複雑な社会システムに見られる諸問題の構造化のために開発された手法である。本研究では、まずISMを用いて地下街の地震災害波及の要因の階層構造化を試みた。地下街における地震災害に関わる項目として表1に示す66項目を抽出し、図2の多階層有向グラフを得た。レベル16の地震発生からレベル1の人的被害に関する項目までの波及構造が明らかにされた。レベル11に現れる6項目(36, 41, 42, 44, 45, 47)は、「災害→防災設備破壊→未然防止失敗→新たな災害発生」という悪循環が生じるおそれがあることを表している。なおISMの手順については参考文献2)等を参照されたい。

(2) FTA³⁾ (Fault Tree Analysis) による被害要因分析 …… FTは、解析の対象とする災害の発生を頂上事象としてその原因となる事象を段階的に明らかにし、ANDゲート(□)とORゲート(⌋)で結び付けて樹木状に図示したものである。ISMの結果得られた図2の多階層有向グラフに基づいて構成したFTの一例として、ガス爆発を頂上事象とする部分FTを図3上に示す。被害の原因として疑わしい項目群がORゲートで結ばれ、原因と防災対応行動の失敗がANDゲートで結ばれることが分かる。事象の中で△のついているものは、別のFTでさらに分析を行ったことを表すものである。

(3) ETA³⁾ (Event Tree Analysis) による被害波及分析 …… ETは、災害の発端となる初期事象から、安全手段の成否などによって分岐し、最後に災害事象に達する流れを図示したものである。様々なレベルの結果を明示できるため、潜在災害の発掘や災害拡大要因の発見が期待できる。地下街の防災設備・防災体制を詳細に検討したうえで構成したETの一例として、ガス爆発を初期事象とするETを図3下に示す。図中の数字は、地震によってガス漏れが発生したという条件のもとでの爆発の発生確率を試算したものである。

4. むすび 都市の耐震化のためには震害自体の全体像を明確に捉えておく必要がある。都市震害を包括的に扱ったシステム分析も別に発表している⁴⁾ので参考にされたい。本研究では地下街を対象を絞って、災害現象の定性的理解に重きを置いたシステム分析を扱った。今後さらに、被害波及構造の中での弱点項目の抽出や種々の震害形態の発生確率の定量的評価を目的とした分析を進める方針である。

表1 地下街における地震災害関連項目

No	項目	No	項目
1	地震動 (M, A, 地震条件)	30	構造部材損傷 (ラーメン構造)
2	地震設備	31	非構造部材損傷
3	震害調査命令	32	通廊の陥没・陥没
4	日時 (季節, 曜日, 時間)	33	地下街閉鎖
5	来街者数・分布 (性別, 年齢別, 時間帯別, 週間別)	34	落下物, ガラス破損
6	災害弱者数・分布	35	出口閉塞
7	地下街規模 (延長距離, 面積)	36	防災設備破損 (スプリンクラー等)
8	地下街全体の平面構成・形態 (通廊の構成, 交差点, 広場)	37	水道管損傷
9	通路幅員・高さ	38	水道管損傷
10	ビル地下階との接続 (数, 分布, 形態)	39	送配電線・系統設備損傷
11	交通機関との連絡 (数, 分布, 形態)	40	交通機関施設被害 (軌道, トンネル)
12	地上連絡口 (数, 分布, 形態)	41	出火
13	通路のディテール (段差, 斜路)	42	煙の発生・波及
14	案内板・標識 (接続, 平面図)	43	ガス漏れ
15	構造設計 (構造形式, 設計基準)	44	ガス漏れによる爆発
16	構造部材 (SRC/RC/ラーメン)	45	停電
17	非構造部材 (配管のアンカー等)	46	浸水
18	内装材 (物, パネル, 天井等)	47	交通機能マヒ
19	付帯施設 (照明器具等)	48	災害原因の空間的拡大・波及
20	飲食店数・分布	50	空間的認知力
21	衣料品店数・分布	51	災害対応行動力
22	ガス供給施設の系統, 街内配管網	52	群衆規模・密度
23	水道施設の系統, 街内配管網	53	誘方向・異質群集流
24	電力供給施設の系統, 街内配管網	54	歩行困難 (障害物・停電等による)
25	ガス使用状況	55	群衆のターミナルへの過集中
26	水道使用状況	56	群衆の移動 (災害原因による)
27	電力使用状況	57	未然防止の成否
28	防災設備 (設置の有無, 維持管理)	58	拡大防止の成否
29	防災体制 (対応行動力, 誘導体制, 共同管理体制, 賛成体制, 終業点検)	59	安全避難の成否
30		60	避難行動に対する誘導
31		61	消防・救急活動
32		62	落下物・ガラス破片などによる死傷
33		63	火災・一酸化炭素中毒による死傷
34		64	ガス爆発・ガス中毒による死傷
35		65	生き埋め, 窒息
36		66	群衆災害 (群衆管理・誘導制)

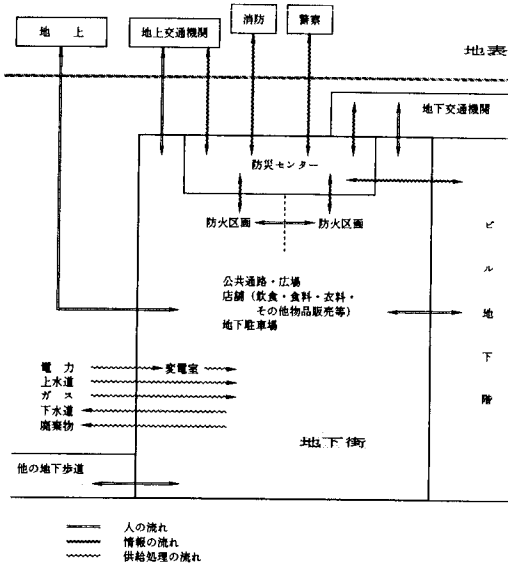


図1 地下街の構成と人・情報・供給処理の流れ

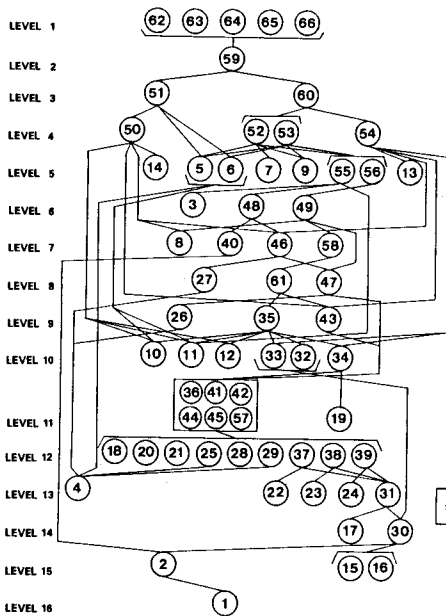


図2 ISMによる多階層有向グラフ (番号は表1に対応)

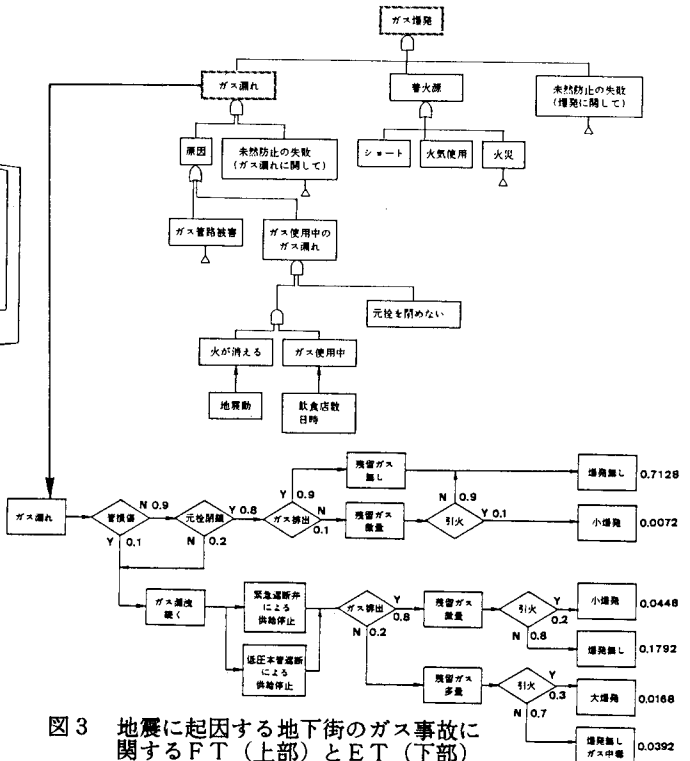


図3 地震に起因する地下街のガス事故に関するFT (上部) とET (下部)

参考文献 1) 亀田・岩井・北原・能島：都市耐震のための研究領域の分析, 土木学会関西支部都市防災シンポジウム講演集, pp. 207-216, 1987. 10. 2) 吉川：土木計画のシステム分析, pp. 29-56, 技報堂出版, 1980. 3) Ang and Tang, "Probability Concept in Engineering Planning and Design, Vol. 2 - Decision, Risk, and Reliability", pp. 485-504, John Wiley & Sons, Inc., 1975. 4) 亀田・岩井・北原・能島：都市被害のシステム分析序論, 土木学会第43回年次学術講演会講演概要集, 1988. 10