

ライフライン地震工学のための鉄道システムのモデル化

京都大学防災研究所 正員 亀田弘行
㈱中央復建コンサルタンツ 正員 ○沢野嘉延

1 はじめに

大都市圏における鉄道は、都市ライフラインとして重要な役割を担っており、その地震時信頼度を評価することは、ライフライン地震工学の重要な課題と考えられる。そのための第一歩として、本研究では、鉄道システムの地震時信頼度を総合的に評価するためのシステムモデルを同定した。また、このシステムモデルを用いて、ISM (Interpretive Structural Modeling) の手法で地震時の被害波及を解析し、地震時の被害発生における因果関係の連鎖構造をFT (Fault Tree) によって分析した。

2 鉄道システムのモデル化

典型的な都市系郊外型鉄道を例にとり、その構成要素が表-1のような列車走行システム、CTCシステム (centralized traffic control)、信号情報システム、き電システム、CSCシステム (centralized substation control)、配電システムの6つのシステムからなる場合を考えた。その結果、鉄道システム全体は、図-1のようなモデルで考えることができ、各システムがノードやリンクによって、互いに密接に結び付いていることが分かる。

表-1 各システムの内容

列車走行システム	列車とその走行を直接支える構造物とを合わせた最も基本的なシステム
CTCシステム	中央制御所が広範囲の区間のポイントを、ケーブルを通して遠隔制御するシステム
信号情報システム	列車自体が信号機に、レールやケーブルを通してその存在を伝えるシステム
き電システム	変電所から列車に、き電線を通して電力を送るシステム
CSCシステム	中央制御所が変電所を、ケーブルを通して集中管理するシステム
配電システム	変電所から電力を必要とする施設や装置に、配電線を通して電力を供給するシステム

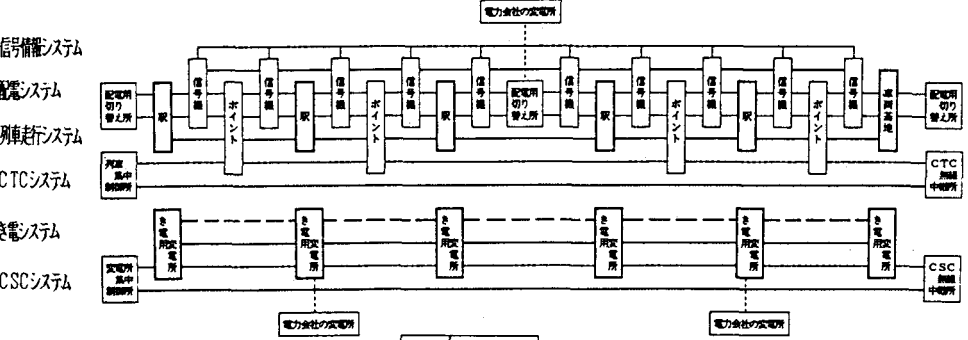


図-1 鉄道システムモデル

3 ISMによる地震被害波及の解析

過去の鉄道地震被害を詳しく調査することより、表-2に示すように、被害に関係のある項目を抽出し、その後、各項目間の関連を設定し、ISM解析を行った。その結果、図-2に示すように、これらの項目を階層構造で表すことによって鉄道システムにおける地震時の被害波及形態の全体像を明確にした。すなわち、被害が広範囲に拡大する可能性のあるものとしては、路盤や路盤支持構造物の被害を、また被害の拡大を促進する可能性のあるものとしては、軌道やトラフや支持物の被害を挙げることができた。また配電システムの機能被害は、その他の全てのシステムの機能被害に波及することが明確になった。

Hiroyuki KAMEDA, Yoshinobu SAWANO

表-2 被害に係のある項目とその影響項目

NO.	項目	影響項目
1	地震動	2 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 16 17 18 19 20 22 23 24 26 28 31 32 5 9 10 12 14 18 23 28 31 2 5 6 37 38
2	地震破壊	
3	気象条件	
4	電力会社による配電	
5	路盤支持構造物	6 9 10 12
6	路盤	7 8 17 26 32
7	軌道	13 45 46 47
8	ポイント	13 39
9	駅本屋	34 49 50
10	プラットフォーム	7 11 12 34 49 50
11	プラットフォーム上屋	34 49 50
12	路線橋	7 34 49
13	崖	36 49 52
14	車両基地構造物	35 51
15	駅区画	47
16	駅区画	47
17	駅区画(地下)	15 16 21 22
18	駅区画	19 20 37
19	駅区画	37
20	駅区画	37
21	駅区画	48
22	駅区画	21
23	駅区画	24 38
24	駅区画	38
25	駅区画	43
26	トラフ	25 29 33
27	列車集中制御装置	41
28	列車集中制御装置	27
29	信号ケーブル	44
30	変電所集中制御装置	42
31	変電所集中制御装置	38
32	信号機	40
33	信号ケーブル	45
34	駅	46
35	車両基地	36
36	車両基地	46
37	変電所	47
38	変電所	48
39	ポイント	46
40	信号機	45
41	列車集中制御装置	43
42	変電所集中制御装置	44
43	CCTVシステム	39
44	CCTVシステム	37
45	信号機システム	36
46	列車走行システム	53
47	電気システム	36
48	配電(鉄道)システム	34 35 39 40 41 42
49	乗客	53
50	駅従業員	34
51	車両基地従業員	35
52	列車乗務員	36
53	鉄道システム	

LEVEL

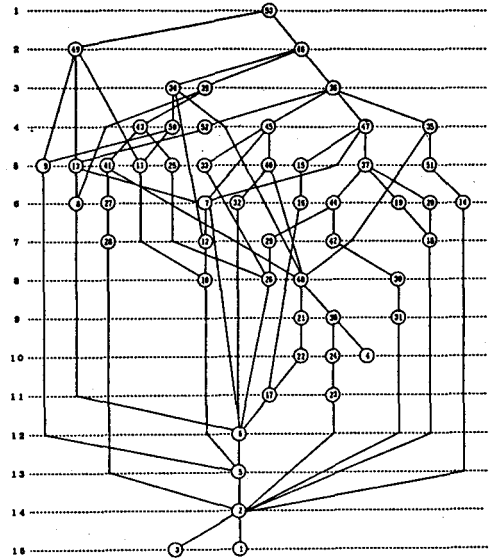


図-2 ISM解析結果(多階層有向グラフ)

4 列車走行システムの機能被害を

頂上事象とするFT作成

ISM解析結果を参考にして、図-3のようなFTを作成することによって次のようなことが確認された。

1) FT上に被害の程度を表す抑制ゲートが多く表れた。すなわち、地震被害波及を食い止めるには、個々の鉄道施設をどの程度、耐震的に強化すべきかといった相対的半断が重要である。

2) 地震被害発生の原因には、地震動以外に地震時の人間の行動が省略事象として挙げられた。すなわち、地震時を想定したトレーニングなどの行動科学的側面を含む総合的な分析や半断が重要である。

5 おわりに

今回は、鉄道システムにおける地震時の被害波及の基礎的分析を行った。今後は、個々の地震被害の発生やその復旧の物理的過程や上記の行動科学的分析を加えた地震危険度評価モデルを開発して行く方針である。

参考文献

- 1) 能島暢呂・亀田弘行・岩井哲・北原昭男：都市震害のシステム分析モデルに関する基礎的研究、京都大学防災研究所都市耐震センター研究報告 別冊第1号、1988-4
- 2) 吉川和弘：新体系土木工学52 土木計画のシステム分析、技報堂、pp. 29-55
- 3) 井上威恭：FTA安全工学、日刊工業新聞社

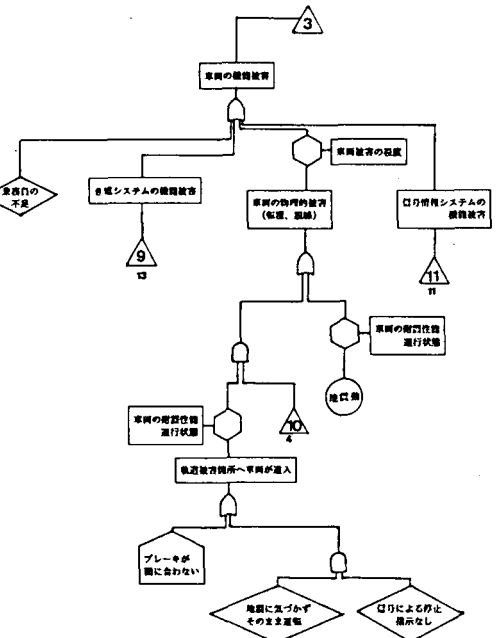


図-3 車両の機能被害を頂上事象とするFT