

鉄道システムの地震時信頼性評価法の基礎的考察

広島市役所 ○森田 環  
 京都大学防災研究所 亀田 弘行  
 京都大学防災研究所 北原 昭男  
 京都大学大学院 能島 暢呂

1. はじめに 都市部における重要な輸送機関である鉄道に対する地震時信頼性評価は、ライフライン地震工学の大きな課題である。これまで鉄道の個別分野における耐震構造論では多くの成果が得られてきたが、鉄道システムを全体として横断的に見た総合的研究は少なかった。本研究は、この点に注目し、鉄道システム全体の地震時信頼性評価法を提案することを最終的な目標としている。今回はその第一段階として行った研究について発表する。

2. 鉄道システムの地震時被害波及構造 鉄道システムを表1の7つのサブシステムから構成されていると考え、それらの要素構造物及び地震被害に関係する項目を表2のように抽出して、ISM法<sup>1)</sup>によって地震時被害波及構造を分析した。表中の直接到達項目とは、その左側の項目によって直接影響を受ける項目である。この関係の設定は過去の地震被害例に基づいて行った。図1は構造物被害の波及についての解析例である。

多くの被害へ波及する可能性のある構造物としては地盤変状、路盤変状が挙げられる。図2に機能的被害の波及についての解析例を示す。ここでは簡単のため構造物被害と機能的被害とを切り離しているが、両者は独立ではなく相互に関連があるので、その間を埋めることがこれからの課題である。

表1 各サブシステムの役割

列車走行システム	列車とその走行を変える構造物からなるシステム
CTCシステム	中央から信号機、ポイントを選線制御するシステム
信号保安システム	閉塞信号機、踏切によって列車を防護するシステム
き電システム	電気車に動力用電力を供給するシステム
CSCシステム	中央から変電所を選線制御するシステム
配電システム	信号機、ポイント、駅等に電力を供給するシステム
駅施設	駅本屋、乗降場、待降橋など

表2 被害関連項目及び項目間の関連

被害関連項目	直接影響項目
1 地震動	4 5 6 7 8 10 11 12 13 15 18 17 19 20 21 22 24 25 28
初期条件	
2 乗客密度	38 42 43
3 運送モードの稼働量	4 4 6 7 28
境界条件	
4 地盤揺動	7 10 11 15 19 22
5 電力供給の配電停止	28 29
6 踏切の閉塞解除	37 38
7 路盤変状	9 14 18 24 25 28 27 38
8 軌道低い	28 29 37 38
9 グレイト変状	20 27 28
10 駅本屋変状	27 28 42
11 乗降場変状	12 27 28 29 43
12 待降橋変状	27 28 29 43
13 電車線架下(下がり、新線)	28 29
14 電柱倒壊	13 18 17
15 変電所破壊	20 21 28 29
16 配電線架下(下がり、新線)	29 38
17 通信ケーブル架下(下がり、新線)	34 35 28
18 トラフ変状	23
19 CTC制御装置破壊	24
20 電力供給制御装置破壊	25
21 変電所配電装置破壊	28 29
22 中央制御装置破壊	34 35 41
23 信号ケーブル断線	31 32 23
24 踏切変状	31
25 構内・出発信号機変状	32
26 踏切信号機変状	33

被害関連項目	直接影響項目
27 駅のサービス機能低下	42
28 3電停止	28
29 配電停止	27 30 31 32 33 34 35
踏切・構内	30
ポイント制御不能	38
踏切の閉	31
踏切制御不能	38
踏盤下	32
構内・出発信号機制御不能	38
踏切信号機制御不能	38
34 列車集中制御装置	20 32
35 変電所集中制御装置	28 29
列車走行	
36 列車停止の失敗	37
列車の被害	
37 車両の脱線転覆	38 40 43
38 列車運行不能	42
鉄道関係者の被害	
39 駅員負傷	27
40 乗客負傷	38
41 駅員負傷	34 35
社会影響	
42 輸送能力の低下	44 45
43 乗客負傷	44 45
44 生活の不自由	46
45 多岐回線の障害	46
46 広域にわたる社会経済的閉塞の発生	

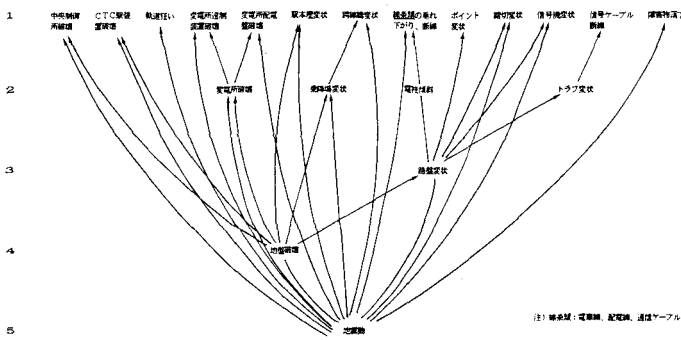


図1 構造物被害の波及についての多階層有向グラフ

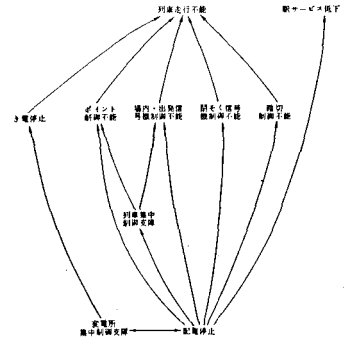


図2 機能的被害の波及についての多階層有向グラフ

Tamaki MORITA, Hiroyuki KAMEDA, Akio KITAHARA, Nobuoto Nojima

### 3. 事象樹木解析 (ETA) I SM

法によって得られた地震時被害波及構造を参考にして、事象樹木解析<sup>2)</sup> (ETA) を用いて各被害に至るまでのプロセスを整理した。図3は構造物の被害波及についての事象樹木であり、構造物 j に支えられた構造物 i の被害確率が次式のように求められる。

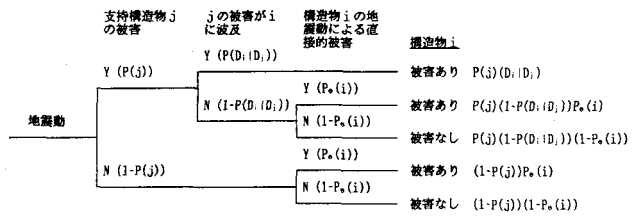


図3 構造物被害についての事象樹木

$$P(i) = (1-P(j))P_e(i) + P(j)P(D_i | D_j) + P(j)(1-P(D_i | D_j))P_e(i) \\ = P_e(i) + P(j)P(D_i | D_j)(1-P_e(i)) \quad \text{----- (1)}$$

ここで  $P_e(i)$  は構造物 i の地震動による直接的な被害確率、 $P(D_i | D_j)$  は構造物 j の被害が構造物 i の被害へ波及する確率である。式(1)にあるように、構造物 i の被害確率を推定するには支持構造物 j の被害確率が必要で

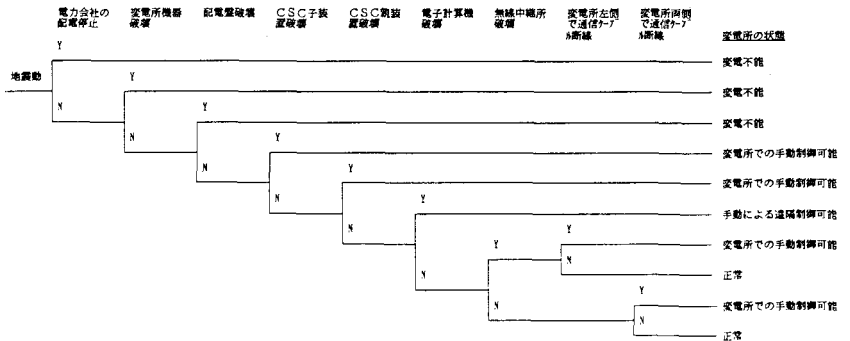


図4 変電所機能低下についての事象樹木

あるから、図1の多階層有向グラフにおける下位の被害の確率から順に上位の被害の確率を計算していくことで、最終的には全ての構造物の被害確率が推定できることになる。図4は変電所機能低下についての事象樹木である。多くの被害波及パターンが存在していることがわかる。

4. まとめ I SM, ETAの手法を用いて、地震が鉄道システムに与える影響について様々な角度から分析し、鉄道システム全体の地震時信頼性を評価する可能性を示した。本研究は、鉄道という一つの高度にシステム化されたライフライン系の地震時信頼性を扱っているが、ここに示した手法を実際の問題に適用するためにはなお多くの問題について、定性的分析・定量的評価の両面から研究を進めることが必要である。具体的には、地震時被害波及における構造物被害と機能的被害との連関について、特に人的要因が介在するメカニズムを明らかにすること、物理的事象の被害波及についても定量的評価を進めることなどが重要と考えられる。後者については、従来の震害データから軌道・路盤構造物の被害発生確率を推定すること、軌道破壊箇所への列車の進入確率に関する従来の研究<sup>3)</sup>を数えんし、都市系鉄道の問題に適用し得るよう展開することなどの研究も行ったが<sup>4)</sup>、紙面の関係でここでは割愛する。最後に研究の過程において種々の有益な御助言をいただいたJR西日本施設部工事課の得津明弘氏、同総合企画本部投資計画室の内海利也氏他の方々には深謝の意を記します。

参考文献 1) 吉川和弘：新体系土木工学52・土木計画のシステム分析、技報堂出版、1980 2) 伊藤学・亀田弘行他訳：土木・建築のための確率統計の応用、丸善、昭63 3) 亀田弘行：鉄道交通の地震時安全度に関する確率論的解析、成果 A-61-4 (代表 山田善一)、昭62.3., pp.104-114. 4) 森田環：鉄道システムの地震時信頼性評価法に関する基礎的研究、京都大学修士論文、平2.2.