

## (139) 道路網の震害予測とその強化・復旧戦略に関する一考察

金沢大学工学部 正員 北浦 勝  
金沢大学工学部 正員 ○池本敏和

### 1. はじめに

道路交通網は平常時には物資の移動、通勤、レジャーなど一般の交通を受け持ち、地震後には消防、救援、復旧作業や緊急物資の輸送路となる。このように道路網のもつ機能は多種多様であり、その重要度はきわめて高いことから、地震時の道路網の被害を最小限にとどめること、いったん災害が発生したら、機敏に交通機能を復帰させること、が防災対策上重要となる。このような観点から、本論文では以下の点に注目して研究を進めた。(1)リンクの抵抗強度や入力強度の平均値のばらつき(不確定性)を考慮した道路網の被害予測法を提案する。(2)地震後の道路網の機能低下を最小限に抑えるために、強化や復旧戦略が地震後の道路網の機能回復に及ぼす影響について検討する。具体例として1978年の伊豆大島近海地震を取り上げ、伊豆半島の道路網に適用する。

### 2. 地震時における道路網の被害予測

道路網のモデルは次の3つの要素、すなわちノード、リンク、インナーリンクからなると考えられる。リンクは複数のインナーリンクで連鎖され、両端でノードと接続している。また、道路網を2地点間を結ぶいくつかのタイセットで表す。基本的なモデルを図1に示す。

道路網に作用する外力加速度や網自身の抵抗強度には不確かさが含まれる。本論文ではこれを、十分にわかっていない分布形の平均値が標本数が少ないがゆえにばらつく「不確定性」と考え、本評価法に取り込んだ。ただし、外力加速度や抵抗強度の分布形状そのものは正規分布をなすと仮定する。また、両者の標準偏差については、その不確かさが破壊確率に及ぼす影響が平均値のそれよりも小さいことがわかっているため、ここでは取り扱わない。したがって図2に示されるような平均値のばらつきを考慮していることになる。また外力加速度や抵抗強度の分布の平均値は $\beta$ 分布に従うと考える。このとき1978年伊豆大島近海地震に関する報告書<sup>1)</sup>から判断して、道路網の抵抗強度の平均値の最小値と最大値、標準偏差をそれぞれ250, 400, 70 galと仮定した。外力加速度の平均値には最大地表面加速度を建設省土木研究所による距離減衰則<sup>2)</sup>によって算定した値を用いた。

外力加速度と抵抗強度の平均値がばらつくと考えているため、リンクの破壊確率は当然ばらつきを持って求められる。すなわち、リンクごとの破壊確率の平均値と標準偏差が求まる。

地盤条件やリンク長が破壊確率に大きく関与していると思われるため、これらの要因を以下のように考え解析に取り入れた。長さ1kmの道路の破壊をポアソン過程を用いて表す。このとき、地盤種別ごとに被害発生率を与えることによって地盤条件を考慮した。地盤は、沖積層、洪積層、第3紀層の3つに分類した。宮城県沖地震および伊豆大島近海地震の被害を基に、被害発生率として、沖積層では1.67、洪積層では1.00、第3紀層では0.33の値を用いる。

マグニチュードを変数として1978年の伊豆大島近海地震と同位置に地震を発生させた。対象とした道路網は図3に示すような主要国県道である。また、主要都市としては人口、経済を考慮して、沼津市、下田市を選んだ。2地点間を結ぶ代表的なタイセットを1~7とした。各タイセットのノードとリンクの構成は表1のようである。

1978年伊豆大島近海地震と同じマグニチュード( $M=7.0$ )に注目した場合の破壊確率の平均値を図4に表した。通行止を含めて被害のあったリンクおよび無被害リンク(図3参照)と破壊確率の平均値がよく対応していることがわかる。このことは本予測法がほぼ妥当であることを示している。マグニチュード

を5.6～7.4の範囲内で変化させたときのタイセットの破壊確率の平均値と標準偏差の一例を図5に示す。この図から、強度および外力の不確定性が破壊確率の分布に及ぼす影響は小さいことがわかる。したがって以下の検討においては破壊確率の平均値にのみ注目し、検討を進める。

### 3. 道路網の強化

道路網の強化をモデル化するに当たって、本文では、タイセットごとに強化するリンクを選定するとともに、そのリンクの抵抗強度を単純に100 gal 上げることで、リンクが補強されると考える。解析では、タイセット別にどのリンクの強化が網全体に対して有効かを破壊確率の平均値を用いて検討した。その結果、タイセットの破壊確率の平均値を低減させるには破壊確率の平均値の大きなリンクを強化することが必要である。

### 4. 地震後における道路網の機能復旧

2. で行った予測結果を想定被害として伊豆半島の道路網における機能復旧シミュレーションを行う。なお、2. ではリンクごとの破壊確率と被害程度を求めているが、ここではリンク内の被害箇所を具体的に特定する必要がある。そこでシミュレーションによって、リンクを構成するインナーリンクに被害箇所を割り当てた。結果を図6に示す。

復旧を行う際にはどの被災リンクを優先させるかが問題となる。当然のことながら、復旧方針の立案次第では復旧日数が大きく異なることが予想される。本論では、文献<sup>3)</sup>に述べられている方針を参考にし、表2の4つの復旧方針に基づき復旧をシミュレートし、復旧方針が復旧過程に及ぼす影響を明らかにする。

復旧の進行によって道路網の機能がどの程度回復したかを知る指標として、2地点間の最短所要時間とタイセットごとの所要時間に注目した。2地点間の所要時間を求めるにあたっては、対象道路網に交通量配分を行った。

4つの復旧方針に基づいて復旧シミュレーションを行った結果を図7に示す。復旧方針2や4では、復旧の初期段階において最短所要時間の長い状態が続いているが、これは復旧日数の長いリンクから復旧を始めたために、復旧に取りかかれぬリンクが多くなるためである。一方、復旧方針1や3では最短所要時間の変化がほぼ同じであり、かつ復旧完了日数も短いことから、復旧方針2、4よりも優れているといえる。

2地点間の最短所要時間の経過だけでは各ルートの復旧進行状況が不明確なため、タイセット別の所要時間を復旧方針1と3の場合を比較した。その結果が図8である。初期段階においては復旧方針1の方がタイセットの3、7に対して有効であるが、全体的には復旧方針3の方が優れているといえる。実際の復旧もほぼ復旧方針3のように行われたらしいが<sup>1)</sup>、復旧初期に発生した度重なる余震によって崩土、落石が続き、また梅雨時期による豪雨で工事が予定どおり進まず、結局タイセット1、2に含まれるリンク13の啓開作業には相当の日数を費やしている。したがって、実際にはタイセット1、2はタイセット4よりあとで通行可能となった。

以上のシミュレーションの結果から、道路網の機能面からはタイセット1や2は2地点間を結ぶ最短ルートとして重要であること、またタイセット3や7は所要時間は長い、今回壊れにくいルートとして復旧初期段階において重要であること、がわかった。

### 5. まとめ

本研究では、道路網の被害予測とその強化、その後の復旧シミュレーションを一緒に考えた方法を提案し、1978年伊豆大島近海地震を事例に取り上げ検討を加えた。

最後に本研究を遂行するにあたって貴重な資料を提供して頂いた京都大学工学部野田 茂助手ら、なら

びに本解析を実施するにあたり助力して頂いた根田稔也君（元本学学生，現三協アルミ株式会社）に感謝の意を表します。なお，本研究の一部は文部省科学研究費総合研究（A）（代表者 金沢大学工学部小堀為雄教授）の支援を受けた。本解析には金沢大学情報処理センター（FACOM-M360AP）を用いた。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路の震災対策に関する調査報告（I） 1978年伊豆大島近海地震災害，1978。
- 2) 建設省土木研究所：新耐震設計法（案），土木研究所資料，第1185号，1977。
- 3) 山田善一，家村浩和，野田 茂，伊津野和行：道路交通網の最適な震後復旧過程の評価，土木学会論文報告集，第 368号，pp.355 ~ 362，1986。

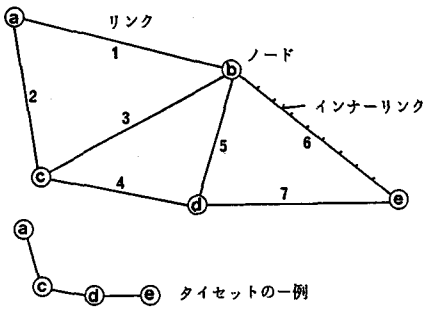


図1 道路網のモデル化

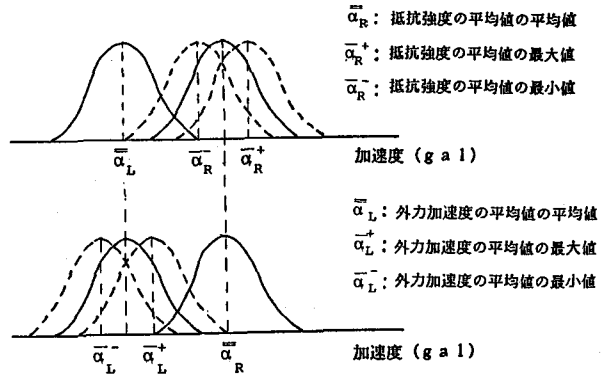


図2 外力加速度と抵抗強度の不確定性

表1 タイセットを構成するノードとリンク

|   | ノードおよびリンク |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
|---|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 17        | 24 | 15 | 19 | 13 | 18 | 12 | 13 | 9  | 9  | 8 | 7 | 4 | 1 | 1 |   |   |
| 2 | 17        | 23 | 16 | 20 | 13 | 18 | 12 | 13 | 9  | 9  | 8 | 7 | 4 | 1 | 1 |   |   |
| 3 | 17        | 23 | 16 | 21 | 11 | 16 | 14 | 15 | 10 | 11 | 7 | 6 | 3 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 4 | 17        | 24 | 15 | 14 | 6  | 5  | 5  | 4  | 4  | 1  | 1 |   |   |   |   |   |   |
| 5 | 17        | 25 | 19 | 26 | 18 | 22 | 14 | 15 | 10 | 12 | 9 | 9 | 8 | 7 | 4 | 1 | 1 |
| 6 | 17        | 23 | 16 | 21 | 11 | 16 | 14 | 15 | 10 | 12 | 9 | 9 | 8 | 7 | 4 | 1 | 1 |
| 7 | 17        | 25 | 19 | 26 | 18 | 22 | 14 | 15 | 10 | 11 | 7 | 6 | 3 | 3 | 4 | 1 | 1 |

○はノードを表す。

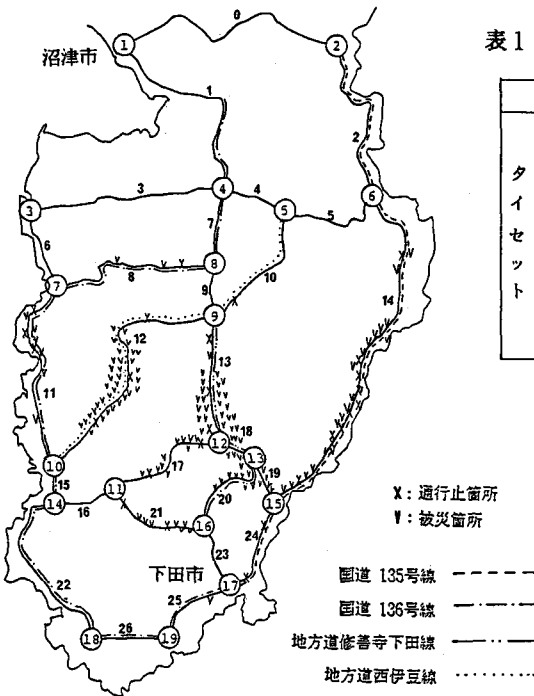


図3 伊豆半島の道路網と1978年伊豆大島近海地震の際の被害状況

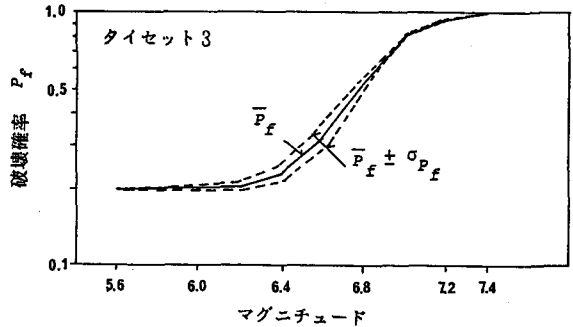


図5 不確定性を考慮したタイセットの破壊確率

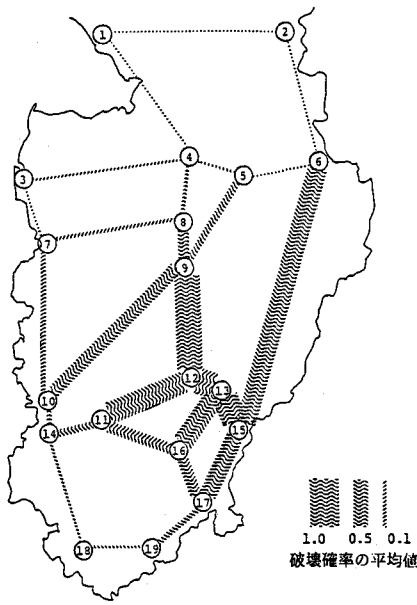


図4 マグニチュード7.0に対する  
道路網の破壊確率

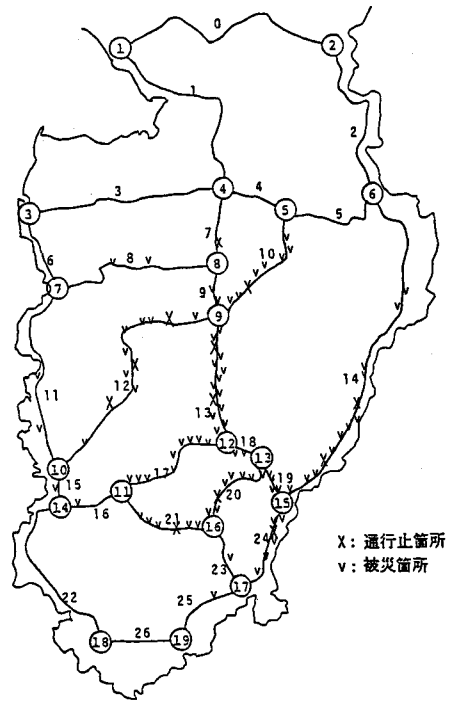


図6 想定被害

表2 復旧方針

|  |
|--|
| <p>復旧方針1： 通行止箇所の開通作業と被災箇所の復旧作業を平行し、復旧日数の短いリンクを優先に復旧する。</p> <p>復旧方針2： 復旧方針1において、復旧日数の長いリンクから復旧する。</p> <p>復旧方針3： 通行止箇所の開通作業を優先させ、復旧日数の短いリンクから復旧する。</p> <p>復旧方針4： 復旧方針3において、復旧日数の長いリンクから復旧する。</p> |
|--|

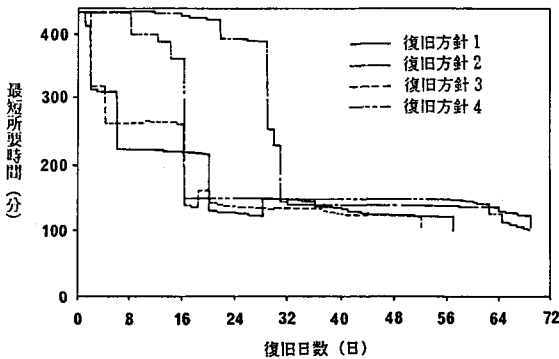


図7 各種の復旧方針による最短所要時間の変化

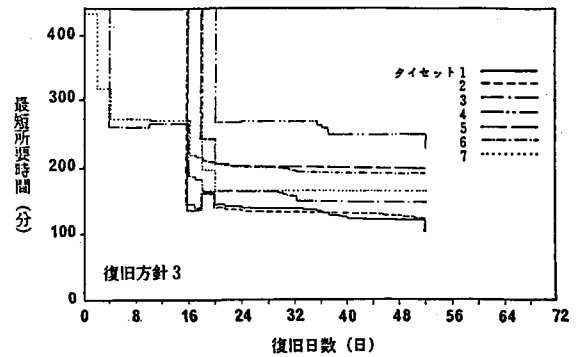
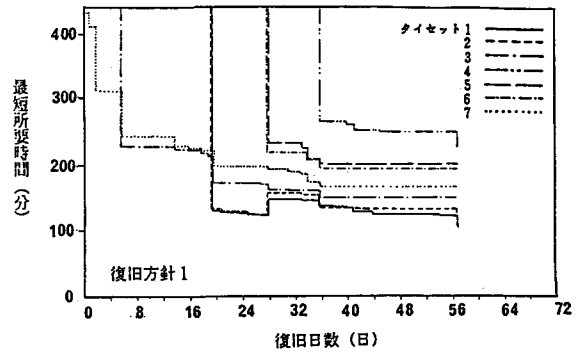


図8 タイセットごとの最短所要時間の変化