

## 4. 地震災害に対する研究

### 4.1 はじめに

日本は世界でも有数の地震常襲国であり、これまで地震による被害を多く受けてきた(表 4.1-1 参照)。戦後最大の犠牲者を出した平成7年の兵庫県南部地震以降も、鳥取県西部地震、芸予地震、十勝沖地震、新潟県中越地震等、大規模地震が頻発している。一方で、図 4.1-1 に示すように東海地震、東南海、南海地震等、さらなる大規模地震の切迫性も高まってきている。

都市域には社会経済的な諸機能が集中しており、大規模な地震が発生すると被害は深刻なものとなる。兵庫県南部地震では、多くの犠牲者が発生したほか、木造家屋密集地での火災、道路・鉄道等の交通施設やライフラインなど都市基盤の損壊、行政機関等中枢機能の麻痺、商業・業務機能の停滞、被災地外部への経済的影響といった被害が見られた。このように、都市域では施設の被害や人命の損失などの直接的な被害のみならず、二次災害による都市機能損傷が都市内外の社会経済活動へ波及し、被害をさらに大きくしている。

兵庫県南部地震の教訓を踏まえ、地震防災対策特別措置法(平成7年)、密集市街地における防災街区の整備に関する法律(平成9年)、建築基準法の改正(平成10年)等法律の整備や、政

表 4.1-1 日本の主な被害地震

| 地震名      | 発生年月日             | 規模(M) | 死者・行方不明者(人)             |
|----------|-------------------|-------|-------------------------|
| 関東大震災    | 大正12(1923)年 9月 1日 | 7.9   | 死者<br>行方不明者 105,385     |
| 北但馬地震    | 大正14(1925)年 5月23日 | 6.8   | 死者 428                  |
| 北丹後地震    | 昭和 2(1927)年 3月 7日 | 7.3   | 死者 2,925                |
| 昭和三陸地震   | 昭和 8(1933)年 3月 3日 | 8.1   | 死者 1,522<br>行方不明者 1,542 |
| 鳥取地震     | 昭和18(1943)年 9月10日 | 7.2   | 死者 1,083                |
| 東南海地震    | 昭和19(1944)年12月 7日 | 7.9   | 死者 998                  |
| 三河地震     | 昭和20(1945)年 1月13日 | 6.8   | 死者 1,961                |
| 南海地震     | 昭和21(1946)年12月21日 | 8.0   | 死者 1,330<br>行方不明者 113   |
| 福井地震     | 昭和23(1948)年 6月28日 | 7.1   | 死者 3,769                |
| 予り地震津波   | 昭和35(1960)年 5月23日 | 9.5   | 死者 122<br>行方不明者 20      |
| 日本海中部地震  | 昭和58(1983)年 5月26日 | 7.7   | 死者 104                  |
| 北海道南西沖地震 | 平成 5(1993)年 7月12日 | 7.8   | 死者 201<br>行方不明者 29      |
| 兵庫県南部地震  | 平成 7(1995)年 1月17日 | 7.2   | 死者 6,434<br>行方不明者 3     |
| 鳥取県西部地震  | 平成12(2000)年10月 6日 | 7.3   | 0                       |
| 芸予地震     | 平成13(2001)年 3月24日 | 6.7   | 死者 2                    |
| 十勝沖地震    | 平成15(2003)年 9月26日 | 8.0   | 死者 1<br>行方不明者 1         |
| 新潟県中越地震  | 平成16(2004)年10月23日 | 6.8   | 死者 59                   |

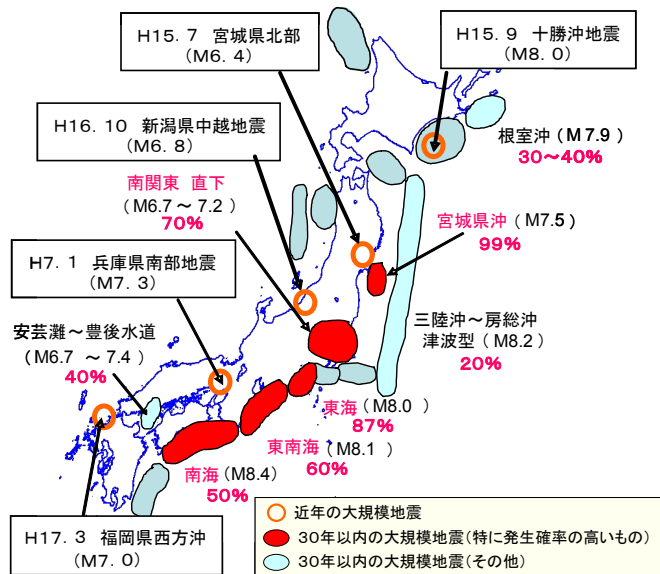


図 4.1-1 近年発生した大規模地震と想定される大規模地震

府の中央防災会議，地方自治体による地震被害想定の実施，想定結果を踏まえた防災計画の策定等が積極的に進められてきた．例えば，中央防災会議では，平成13年以降「東海地震に関する専門調査会」，「東南海・南海等に関する専門調査会」を設置し，被害想定の実施，対策大綱，行動計画の策定など地震対策の充実強化の検討を行っている．

地震発生の予測は一般に困難であることから，発生するリスクを十分に把握した上で事前の対策を進めておく必要があることは言うまでもない．そこで，防災事業計画策定の基本となる被害想定・リスク評価の実用的な手法について検討した成果を4.2で述べる．また，大規模地震が発生した際には同時に多数の火災が発生し，大被害が発生する危険性があることから，地震時火災による被害とその対策について4.3で述べる．さらに，北海道南西沖地震（奥尻島等の津波被害），スマトラ大津波等，地震と同時に発生する津波が地震そのものの被害よりも甚大な被害を及ぼす場合がある．そこで，津波による被害とその対策について4.4で述べる．

## 4.2 地震動に関する災害と対策

4.1で述べたような被害を防止・軽減するためには，地震動により発生しうるリスクを十分に理解した上で，適切な防災対策を講じる必要がある．地震動に対するリスクを評価するためには，図4.2-1に示すように，構造物自体の耐震性，構造物の被災が緊急の救援活動を含め社会に及ぼす影響の大きさ（構造物の重要性），およびそもそもの構造物が地震を受けるリスク（地震ハザード）を評価する必要がある．

ここでは，構造物管理者が容易に集めうるデータを用い，かつ現実的なコストで実施可能な評価方法について研究した成果を紹介する．

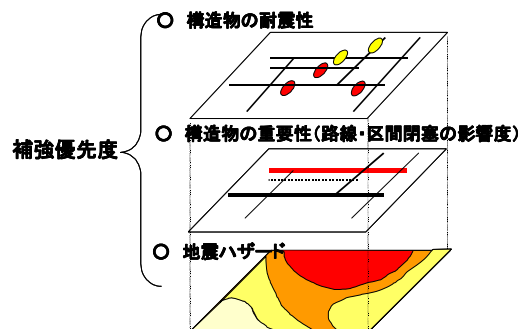


図 4.2-1 リスクを評価する3要素

### 4.2.1 ハザード評価

#### 1) 地震動強さの距離減衰式

地震動強さの距離減衰式は，対象地点における地震動強さ，あるいは地震動強さの分布を簡単に推定することができるため，設計地震力の設定や地震被害想定に広く活用されている．距離減衰式による地震動強さの推定では，複雑な震源過程や地盤構造の影響を考慮することはできないが，実際に観測された地震動強さに直接基づいたものであることから，距離減衰式は依然信頼性の高い地震動推定手法の一つである．

ここでは，1978年宮城県沖地震以降の大規模地震を含めた強震記録約11,000波を用いて，計測震度の距離減衰式を作成した．また，3つの地盤種別，工学的基盤(S波速度700[m/s]程

度)を対象とした地盤補正係数を算出した. この距離減衰式は, 地点ごとの地盤特性の違いを考慮した, 高精度かつ簡便な地震動強さの推定を可能とするものである.

地震動強さの震源深さ依存性が見られた海溝性地震については式(4.2.1-1), 依存性が見られなかった内陸地震については式(4.2.1-2)の回帰モデルを用いて, ダミー係数を用いた二段階回帰分析手法で回帰分析を行った.

$$I_{ij} = a_1 M_w + a_2 D - bX + c_0 - \log_{10}(X + d \cdot 10^{0.5M_w}) + \sum_k \delta_{kj} c_k \pm e \quad (4.2.1-1)$$

$$I_{ij} = a_1 M_w - bX + c_0 - \log_{10}(X + d \cdot 10^{0.5M_w}) + \sum_k \delta_{kj} c_k \pm e \quad (4.2.1-2)$$

ここで,  $I_{ij}$ は  $i$  番目の地震の  $j$  番目の観測点における計測震度,  $X$  は断層面最短距離[km],  $D$  は震源深さ[km],  $c_k$  は  $k$  番目の観測点の地点補正值,  $e$  は標準偏差,  $a_1, a_2, b, c_0, c_k, d$  は回帰係数である. 回帰分析の結果, 次の距離減衰式が得られた. 式(4.2.1-3)は海溝性地震, 式(4.2.1-4)は内陸地震を対象としたものである.

$$I = 1.09M_w + 0.0118D - 0.0118X - 0.94 - \log_{10}(X + 0.0024 \cdot 10^{0.5M_w}) \pm 0.33 \quad (4.2.1-3)$$

$$I = 1.35M_w - 0.0102X - 2.56 - \log_{10}(X + 0.0024 \cdot 10^{0.5M_w}) \pm 0.40 \quad (4.2.1-4)$$

また, 距離減衰式の地盤補正係数は表4.2-1の通りである.

表4.2-1 距離減衰式の地盤補正係数

|       | I種地盤  | II種地盤 | III種地盤 | 工学的基盤 |
|-------|-------|-------|--------|-------|
| 海溝性地震 | ~0.08 | 0.12  | 0.36   | ~0.32 |
| 内陸地震  | ~0.09 | 0.16  | 0.38   | ~0.38 |

例として, 工学的基盤(S波速度 700m/s 相当)における地震動の計測震度を推定した距離減衰曲線を図 4.2-2 に示す.

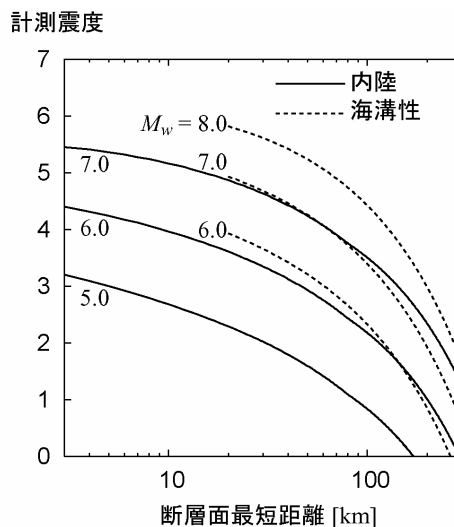


図4.2-2 計測震度の距離減衰曲線(工学的基盤)

## 2) 確率論的地震ハザード解析

将来発生する地震動強さを確率論的に評価する地震ハザード解析は、設計地震動あるいは設計地震動の地域別補正係数の設定など、実務においても広く活用されている。ここでは、同じ位置で繰り返し発生する活断層の地震及びプレート境界地震、並びにバックグラウンドゾーン内のランダムな位置で発生する地震を考慮した地震ハザード解析<sup>1)</sup>を行う。

活断層としては、起震断層<sup>2)</sup>に加え、新編日本の活断層<sup>3)</sup>に記載されている長さ10[km]以上の活断層(起震断層に含まれないもの)を考慮した。またプレート境界地震としては、宮城県沖地震、三陸沖北部地震など、繰り返し発生している大規模な地震を考慮した。これらは地震調査研究推進本部による長期評価結果<sup>4)</sup>に基づき、最新活動時期が特定されている場合には活動間隔がBrownian Passage Time(BPT)分布で表されるものとし、そうでない場合には地震の発生が定常Poisson過程に従うものと仮定した<sup>5)</sup>。

日本及びその周辺部を、地震活動がそのゾーン内で概ね均一と考えられる34のゾーンに分割し、さらにこれらを深さ30[km]以浅の上層と30~100[km]の下層に分割した計68のバックグラウンドゾーンを設定した。各ゾーンでの年平均地震発生回数をGutenberg-Richter式でモデル化し、地震の発生は定常Poisson過程に従うものとした。これら地震活動のモデル化の詳細については参考文献<sup>1)</sup>を参照されたい。

このような地震活動のモデル化により、日本周辺における地震の発生位置、規模(マグニチュード)、発生確率が設定される。これに加えて、個々の地震が発生した場合の地震動強さの確率分布を1)の距離減衰式により推定することにより、確率論的地震ハザード解析を行うことができる。

まず工学的基盤における計測震度を指標とした地震ハザードを計算し、それに表層地盤のゆれやすさ<sup>6)</sup>を加算したものが図4.2-3である。図の(a)は2006年1月から100年間の超過確率63%(定常Poisson過程に換算すれば100年に1回発生する)、(b)は同様に超過確率5%(定常Poisson過程に換算すれば2000年に1回発生する)の計測震度の分布を示したものである。



(a) 今後100年の超過確率63%

(b) 今後100年の超過確率5%

図4.2-3 表層地盤の揺れやすさを考慮した地震ハザード解析結果

### 3) 長周期地震動の増幅率の地域性

マグニチュード8程度以上の巨大地震では、震源域から数百km離れた地点でも、大きな振幅のやや長周期地震動(周期数秒～数十秒程度)が観測されている。減衰の小さい長大構造物は、その固有周期と地震動の周期が一致すると共振し、使用性や安全性が脅かされるおそれがある。そのため、地点ごとにどの周期帯の地震動が、どの程度大きくなるかを予測しておく必要がある。

ここでは、既往の観測記録をもとに、周期2～20秒のやや長周期地震動の速度応答スペクトル(減衰定数1%)を推定する距離減衰式を作成した。また、観測記録と距離減衰式による推定値との比から、各周期の増幅率を全国591観測点で算出し、やや長周期地震動の振幅が大きくなる地域やその程度(増幅率)を示すとともに、地震の発生地域により増幅率がどのように変化するかを検討した。

次式の回帰モデルを用いた二段階回帰分析により距離減衰式を作成した。

$$\log_{10} S_V(T) = a(T)M_w - b(T)X + c(T) - d(T)\log_{10} X \quad (4.2.1-5)$$

ここで、 $T$  は固有周期[s] ( $T=2, 3, 4, \dots, 20$ )、 $S_V(T)$  は減衰定数 1% の速度応答スペクトル [cm/s]、 $X$  は震源距離[km]、 $a(T)$ 、 $b(T)$ 、 $c(T)$ 、 $d(T)$  は回帰係数である。速度応答スペクトル  $S_V(T)$  は、水平 2 成分それぞれの観測記録に対する一自由度系の速度応答波形(減衰定数 1%)を計算し、この応答波形の水平 2 成分合成の最大値をとったものである。

作成した距離減衰式から推定される速度応答スペクトルを、気象庁一倍強震計の記録に基づく距離減衰式<sup>7)</sup>から推定したものと比較して図4.2-4に示す。内陸地震については、記録を用いた地震の規模の範囲外であるが、参考に示している。

佐々木・他の距離減衰式は減衰定数2%の加速度応答スペクトルを推定する式であるため、推

定した加速度応答スペクトルに減衰定数の補正を行った上で疑似速度応答スペクトルに変換して比較している。また、佐々木・他の式は気象庁マグニチュード $M_J$ と震央距離をパラメータとしているため、ここでは $M_J=M_w$ とし、震源深さを20[km]として同じ震源距離で比較している。

この図によると、同じ地震規模では内陸地震の方が大きな速度応答が推定されている。これは震源の浅い内陸地震の方が、表面波を励起しやすいことを反映したものと考えられる。

佐々木・他の距離減衰式は5つの海溝型地震の地震記録をもとに作成されており、本研究の海溝型地震の式により近いものとなっている。ただし、本研究で用いた記録は平野部で得られたものを比較的多く含むため、海溝型の式でも佐々木・他の式より大きな速度応答が推定されている。

なお海溝型の式で比較してみると、 $M_w=8.0$ では $M_w=7.0$ の6~9倍程度の値となっている。

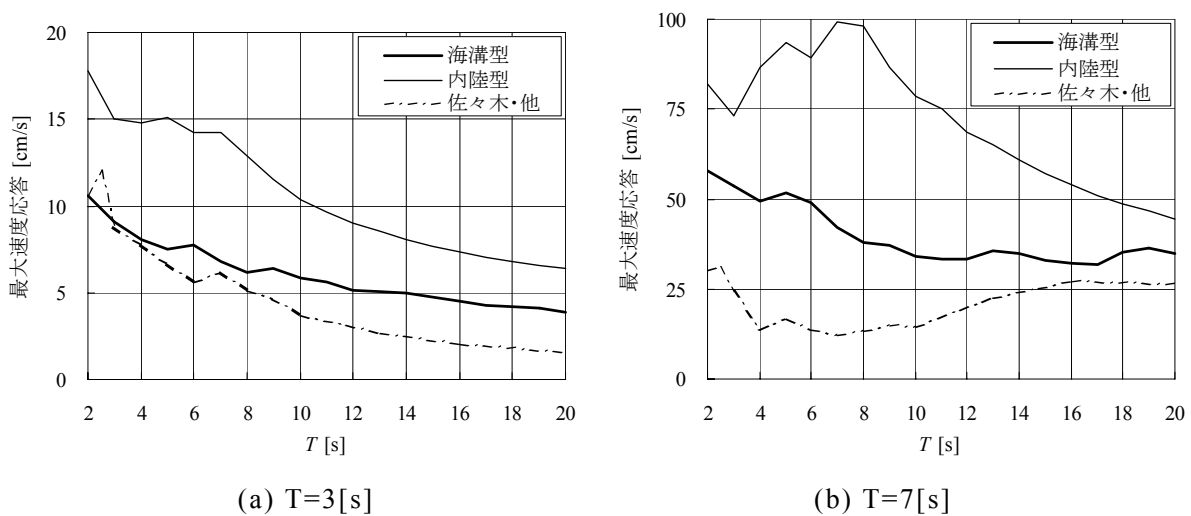


図 4.2-4 推定される速度応答スペクトル (減衰定数 1%) の比較

距離減衰式は全観測記録の平均的な傾向を表すものであるが、実際には周辺の地盤構造等の影響により、やや長周期地震動の振幅が大きく増幅されやすい地点やそうでない地点がある。またその増幅の程度は地震動の周期によって異なる。ここでは観測記録を用いた全国591観測点における地震動の増幅率を周期ごとに計算し、その地域性を検討してみた。

各観測点で得られた記録の速度応答スペクトルを、前述の距離減衰式による推定値で除した値を距離減衰式に対する増幅率と考え、複数の記録が得られている観測点については平均することにより、各観測点における速度応答スペクトルの増幅率を計算した。

この結果の一部を図 4.2-5 に示す。図の(a)は T=3[s]、(b)は T=7[s]の速度応答スペクトルの増幅率を示したものである。これらの図によると、わが国の主要な平野部では増幅率が 1.5 以上となっており、山地部の増幅率よりも明らかに大きい。また、T=7[s]では石狩平野、勇払平野や関東平野など、特に地震基盤が深い平野部にのみ増幅率が 5 倍以上の観測点がみられ、地盤構造により特定の周期の地震動が大きく増幅されることが分かる。

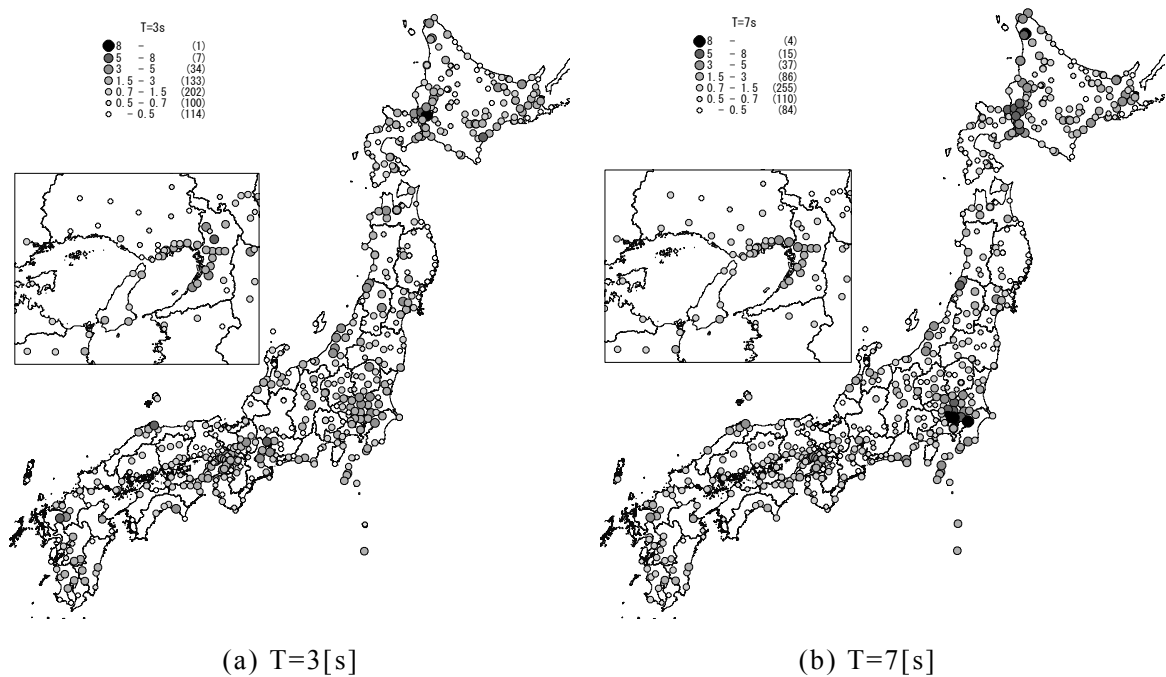


図4.2-5 各観測点における速度応答スペクトル増幅率の分布

#### 参考文献

- 1) 中尾吉宏, 日下部毅明, 村越潤, 田村敬一: 確率論的な地震ハザードマップの作成手法, 国土技術政策総合研究所研究報告, Vol. 16, 37p., 2003.
- 2) 松田時彦, 吉川真季: 陸域のM $\geq$ 5地震と活断層の分布関係—断層と地震の分布関係—その2, 活断層研究, Vol. 20, 2000.
- 3) 活断層研究会: 新編日本の活断層, 東京大学出版会, 1991.
- 4) 地震調査研究推進本部: <http://www.jishin.go.jp/main/index.html>
- 5) 地震調査研究推進本部地震調査委員会: 長期的な地震発生確率の評価手法について, 2001.
- 6) 内閣府防災担当: 「表層地盤のゆれやすさ全国マップ」について, <http://www.bousai.go.jp/oshirase/h17/yureyasusa/index.html>, 2005.
- 7) 佐々木康, 田村敬一, 相沢興: 気象庁一倍強震計記録に基づく長周期地震動特性の解析—(その5)1978年宮城県沖地震記録の解析—, 土木研究所資料, 第2664号, 1988.

#### 4.2.2 対象物の被災度評価

大規模地震発生直後においては、道路ネットワークの確保が避難や救助救援活動、緊急復旧活動における最重要課題の一つといえることから、本研究では道路施設の被災度評価について述べる。また、道路ネットワークとしての機能を考慮した道路防災事業のリスク評価手法について述べる。

○被災度評価

道路施設の耐震性評価手法は、

- ・ 既往の震災経験による被害の影響要因を統計的に分析した結果に基づいて、簡便に道路施設の耐震性を判定する方法
- ・ 個々の道路施設においてその構造条件や地盤条件の調査を行い、耐震計算を実施して道路構造物の耐震性を判定する方法

に大別できる。

既往の道路施設を対象とする場合には数多くの箇所の耐震性評価を簡便に行うことが要請されることから、1つめの方法が用いられることが多い。ここでは、橋梁・盛土について地震ハザードと道路施設の諸元から被災度を評価する手法を紹介する。

橋梁については、既往の地震による被害事例を調査・整理し、橋梁位置での地震ハザードと各橋梁の基本的な諸元情報という施設管理者が容易に集めうる資料を用いて被災度を簡便に推定する手法が提案されている<sup>2)</sup>。評価手法の全体構成を図4.2-6に示す。構造的な被災度を判定する被災度評価と走行性を判定する評価から構成し、それぞれチェックシートを用いて、構造特性に応じてより詳細な被災度評価を行う流れとなっている。図4.2-7に構造被災度の判定フローを示す。被災度A、B、Cの分類は、道路震災対策便覧<sup>1)</sup>に従い、以下の通りとなっている。

A: 大被害・・・耐荷力の低下に著しい影響のある損傷を生じており、落橋等致命的な被害の可能性のある場合

B: 中被害・・・耐荷力の低下に影響のある損傷であり、余震や活荷重等による被害の進行がなければ、当面の利用が可能な場合

C: 小被害・・・短期間には耐荷力の低下に影響のない場合

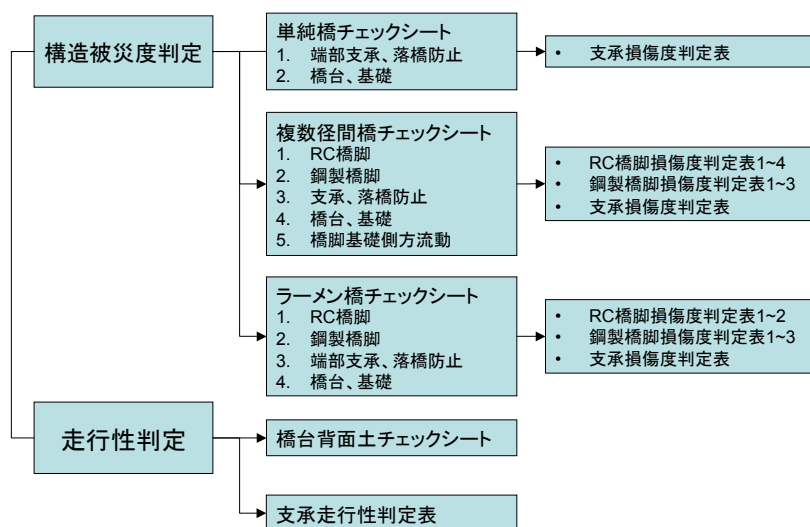


図 4.2-6 橋梁の被災度評価手法全体構成



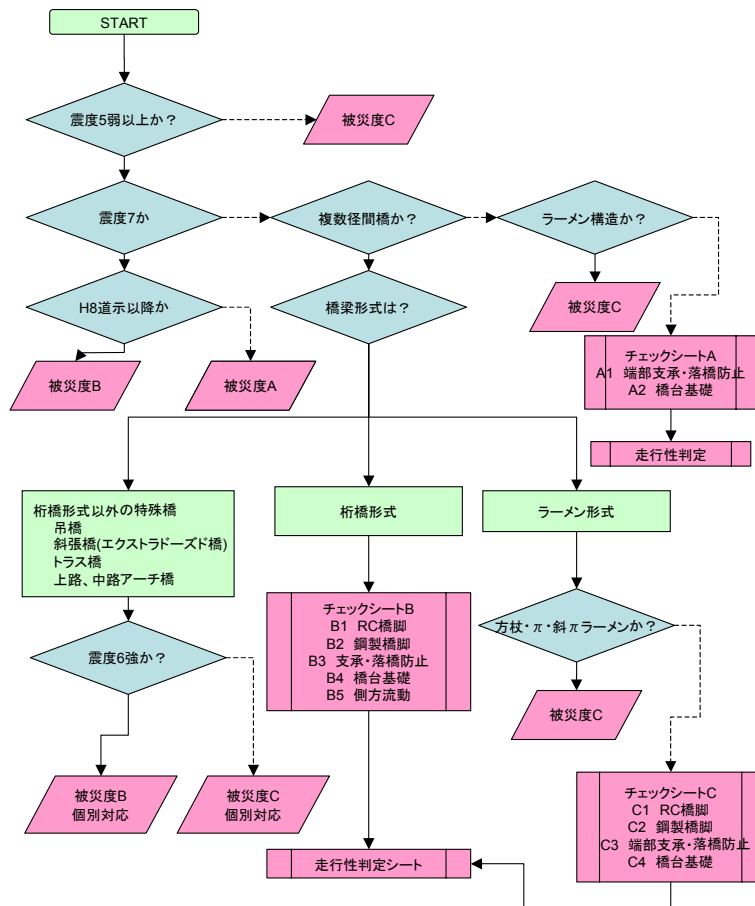


図 4.2-7 構造被災度の判定フロー

また、近年の被害地震に適用して手法の有効性を検証した。その結果、安全側の評価にはなるものの、7割弱と概ね妥当な精度で被災度の予測が可能であることが分かった。

盛土については、既往地震での被災事例による沈下量と道路防災総点検評点の関係を照査し、道路防災総点検の評点および地震動の関数として沈下量を算出する評価式を用いた評価手法を提案している<sup>3)</sup>。評価のフローを図 4.2-8 に示す。

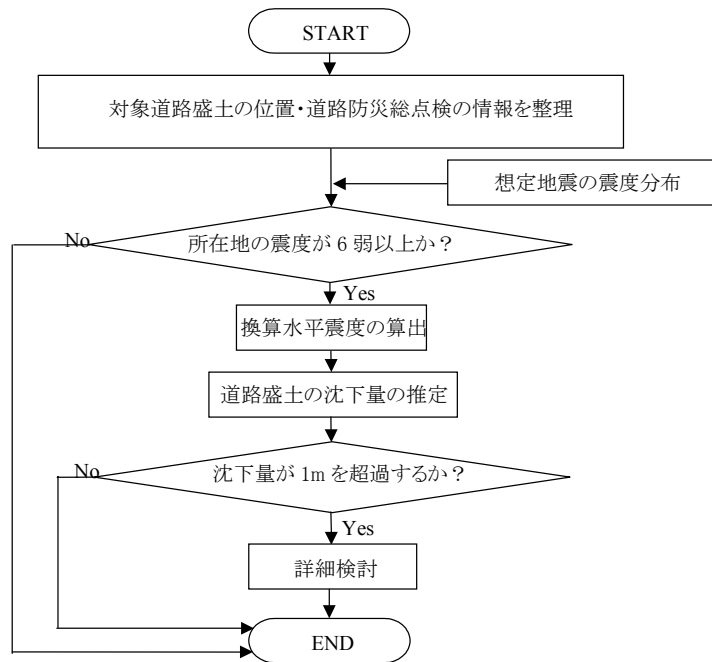


図 4.2-8 盛土の被害推定フロー

① 対象道路盛土の位置，道路防災総点検データの整理

道路盛土区間の位置(緯度・経度)，平成8年度道路防災総点検等の簡易耐震性評価に必要なデータを整理し，平成8年度道路防災総点検の評価点数を算出する。

② 計測震度の確認(震度6弱以上)

想定地震の震度分布データから，対象道路盛土が位置するメッシュの計測震度を読みとり，メッシュの計測震度が5.5以上(震度6弱以上)か否かを判断する。

③ 換算水平震度の算出

②で読みとった当該地点の計測震度から，表4.2-2に従い換算水平震度を求める。

表 4.2-2 計測震度と換算水平震度の関係

| 計測震度(気象庁震度階級) | 換算水平震度 $k_h$ |
|---------------|--------------|
| 5.5以上 6未満(6弱) | 0.40         |
| 6以上 6.5未満(6強) | 0.60         |
| 6.5以上(7)      | 0.80         |

④ 道路盛土の沈下量の推定

道路防災総点検の評価点数および換算水平震度を用いて，道路盛土の沈下量を次式により推定する。

$$d = 0.165(p - 2) \cdot k_h^{0.6}$$

ここに，

d: 盛土の推定沈下量(m)

p: 道路防災総点検の評価点数

$k_h$ : 換算水平震度

⑤ 盛土の推定沈下量と判定値の比較

道路盛土の耐震性は盛土の沈下量で評価するものとし、推定沈下量が判定値を上回る盛土については、詳細な検討が必要と判断するものとする。判定値は過去の盛土の被害事例等を勘案し1mとする。推定沈下量>1mを被災度大、 $\leq 1m$ を被災度小としている。

○被災度評価結果の図化

現場において道路管理者が道路ネットワークの脆弱性および耐震対策の実施状況をイメージし、確実に耐震対策を実施しつつ、災害対応にも活用して行くことを狙い、結果の統一の書式による図化(図4.2-9参照)についても提案している。

このマップには、地震ハザード評価から得られた地震動分布、道路施設の被災度評価結果及び道路施設の補強実施状況を記載しており、管理エリア内の脆弱ルートを一目で把握することが可能である。また、被災履歴や補強実施状況を逐次更新することで、関連データの管理が容易となる。

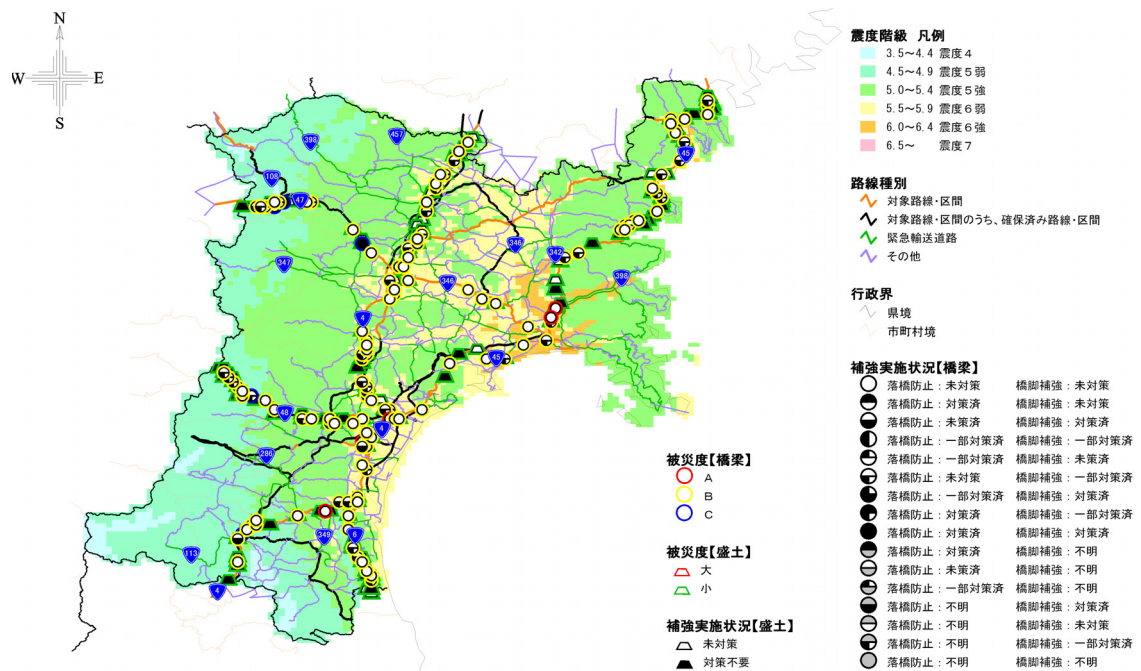


図4.2-9 防災マップ(例)

マップ作成に必要なデータとその入手方法、管理が容易なデータのフォーマットを整理するとともに、道路施設の被災度評価手順と合わせた防災マップ作成マニュアルとして取りまとめた。

## ○リスク評価

多岐にわたる被災の影響を評価するためには、考慮する項目を貨幣換算し、これによって損失額を評価する方法と、貨幣換算できないものについても定性的評価を行う方法がある。本研究では、社会経済的視点から見て可能な限り客観的な評価を目指し、定量評価手法を検討した。また、防災事業の効果を費用便益分析を用いて評価する手法についても検討し、評価マニュアル(案)として取りまとめた。

評価手法の検討にあたっては、地方整備局の各事務所や地方自治体等の現場に適用することを想定して、データ収集・加工作業の簡略化や算定負荷の軽減など実用化を図った。また、道路のネットワークとしての機能を評価するために交通量推計を行い、迂回や混雑による損失を算出することとした。評価フローを図 4.2-10 に示す。

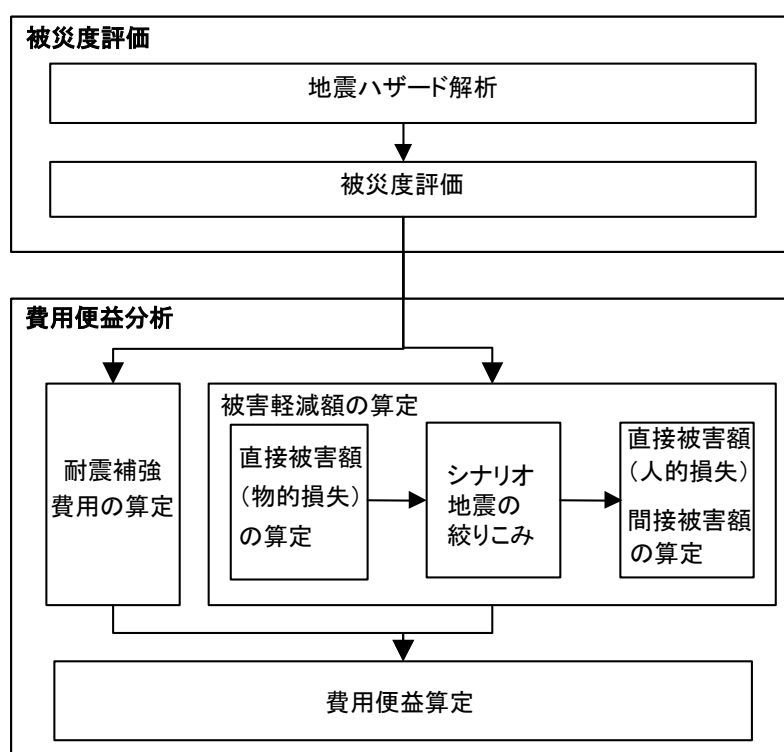


図 4.2-10 リスク評価フロー

### ① 地震ハザード評価

対象地域における地震の設定は、道路施設に被害を及ぼす恐れのある地震(シナリオ地震)をすべて考慮する方法と、代表的な1シナリオ地震を用いる方法がある。現段階では、防災事業の効果を評価する場合にはすべての地震の被害を考慮できる前者の評価方法が妥当と考えている(4.2.1 参照)。一方後者は、対象道路網において特に対応を急ぐ地震について、道路ネットワークの脆弱性、耐震対策事業の効果を評価したい場合に活用する。

道路施設位置における地震動強さ(最大速度, 最大加速度, SI 値, 計測震度)は, 各震源のデータから距離減衰式<sup>4)</sup>により推定する. また, 推定結果より, 道路施設に被害を及ぼす恐れのあるシナリオ地震を設定する. ここでは被害発生のおしきい値として最大加速度 250gal<sup>5)</sup>を設定している. なお, 震源モデルは, 活断層, プレート境界型地震のほか, 伏在断層等震源を特定できない地震(バックグラウンドゾーン地震)についても過去の地震記録をもとに考慮<sup>6)</sup>している.

② 被災度評価

①で求めた地震動強さと上述した被災度評価手法より, 橋梁・盛土の被災度を評価する.

③ 便益の算定

地震被害を起因とする道路施設の損失評価項目として, 道路施設の被害が直接原因となる直接損失と, 道路施設が有していた機能の低下が波及することにより生じる損失等の間接損失に大別して抽出した. これらの項目について, データの収集および評価の難易度, 損失の大きさ, 貨幣価値化の可否から, 評価項目としての選定を行った. 結果を表 4.2-3 に示す.

表 4.2-3 道路施設の地震被害を起因とする損失項目

| 損失項目          |                  | 被害額評価の難易度   | 被害額の大きさ      | 評価項目としての考慮 | 評価内容および評価項目○としなかった場合についてはその理由   |  |  |
|---------------|------------------|-------------|--------------|------------|---|--|--|
| 直接損失          | 道路施設本体の物的損失      | 普通          | 中            | ○          | 橋梁, 盛土等の津路施設が損傷することにより生じる被害額  |  |  |
|               | 道路施設の損傷に起因する物的損失 | 跨線橋下部の鉄道施設  | 困難           | 大          | △   | 落橋時に被災する鉄道車両の被害額および乗車人員の被害額. 被害額の設定が難しいため, 可能であれば評価する.   |  |
|               |                  | 添架ライフラインの損失 | 普通           | 小          | △   | 道路施設に添架しているライフライン配管の物的被害額. 添架位置および地震動の大きさに応じた被災状況の設定が難しいため, これらの設定が可能であれば評価する                  |  |
|               | 道路施設の損傷に起因する人的損失 | 普通          | 大            | ○          | 道路利用者が道路施設の損傷により死傷することによる被害額  |  |  |
| 間接損失          | 交通機能低下による損失      | 通常交通の通行障害   | 迂回           | 普通         | 大   | ○  | 道路施設の損傷により生じる迂回交通の走行時間, 走行経費の増加等による被害額   |
|               |                  |             | 交通の取り止め      | 普通         | 大   | ×  | 道路利用者が地震後に道路を利用することをやめたことによる損失であるが, 道路利用者の交通需要の変化を計測することは一般に困難である.               |
|               |                  |             | 公共サービスの低下    | 困難         | 小   | ×  | ごみ収集等の公共サービスレベルが低下することによる損失であるが, 通常の道路投資の評価においても計測が困難である.                        |
|               |                  |             | 交通事故の増加      | 困難         | 小   | ×  | 道路施設の損傷を原因とした交通事故による被害額であるが, 道路施設の損傷と交通事故の因果関係を評価することは困難である.                     |
|               | 緊急車両の通行障害        | 消防活動車両      | 普通           | 中          | △   | 消防隊が消火可能時間以内に到達できず家屋等が焼失することによる被害額. 建物棟数データ, 消防署位置と道路ネットワークデータのリンク付けに手間を要するため, 必要に応じて算定する.     |  |
|               |                  | 救護輸送車両      | 普通           | 中          | △   | 救急搬送車が救護可能時間以内に病院に到達できず死傷することによる被害額. 建物棟数データ, 救急医療機関位置と道路ネットワークデータのリンク付けに手間を要するため, 必要に応じて算定する. |  |
|               |                  | 復旧工事車両      | 困難           | 大          | ×   | 復旧機材等の輸送に時間を要し, 復旧工事が遅延することにより生じる被害額. 復旧工事の内容が対象施設により異なり, 一貫性のある評価の適用が困難である.                   |  |
|               |                  | 緊急物資輸送車両    | 困難           | 小          | ×   | 緊急物資の輸送が遅延することにより生じる被害額. 時間価値原単位, 走行経費原単位の客観的な設定が困難である   |  |
|               |                  | 避難支障        | 困難           | 小          | ×   | 住民等の避難が遅延することにより生じる被害額. 時間価値原単位, 走行経費原単位の客観的な設定が困難である  |  |
|               |                  | 空間機能低下による損失 | 跨線橋下部の鉄道機能停止 | 普通         | 大   | △  | 鉄道の運行がストップすることにより生じる鉄道利用者および鉄道事業者の被害額. 鉄道の利用者数等のデータを入手することは容易ではないため, 可能であれば評価する. |
| 添架ライフラインの供給停止 | 普通               |             | 大            | △          | 配管・配線等が破断されることによるライフライン事業者・利用者の被害額. 水道幹線網等のデータを道路管理者が入手することは容易ではないため, 可能であれば評価する. |  |  |
| その他           | 自然環境の悪化          | 困難          | 小            | ×          | 大気汚染, 騒音, および地球温暖化への影響等が考えられるが, 地震後の道路施設の被害との因果関係の評価が困難であることから評価しない.              |  |  |

以下に、表中評価項目として○をつけたものについて評価手法を述べる。

・直接被害額の算定

直接被害額の評価項目は、

- i . 道路施設本体の物的損失
- ii . 道路施設の損傷に起因する人的損失

とする。

i は施設が損傷することにより生じる被害額であり、施設の復旧に要する費用がこれにあたる。被害額の算定にあたっては、②で求めた被災度に応じた復旧費用を適用する。

ii は道路利用者が施設の損傷により死傷することによる被害額である。②で求めた被災度に応じた被災率に、利用者数及び被災状況別の金銭的対価を乗じることにより算定する。ここでは、

a) 落橋する橋梁上を通行する利用者

b) 落橋する橋梁の下に道路があった場合(跨道橋)、その道路を通行する利用者について、人的損失額を算定する。

人的損失額は、次式により算出するものとする。

人的損失額 = 施設利用者数 × 被災率 × 被災状況別の金銭的対価

道路施設の利用者数は、地震発生時に施設上を通過する交通量および跨道橋下を通過する交通量から設定する。交通量は、次項に述べる迂回損失額算定で実施する交通量推計結果を適用する。

・間接被害額の算定

間接被害は、地震により道路施設に被害が生じ、道路の機能が低下することにより生じる被害であり、金銭的評価が可能な下記項目について被害額の算定を行う。

- i . 迂回による損失

平常時の道路状況に置ける移動費用と、道路施設の損傷により交通規制が実施された場合に影響を受ける道路利用者の移動費用を、交通量推計に一般的に用いられている交通量配分シミュレーションを用いて算定し、その差を迂回による被害額とする。防災事業の実施前後それぞれの被害額を比較することにより、道路のネットワークとしての機能向上を示すことができる。

交通規制の期間は、②で求めた施設の被災度に応じて設定する。

また、確率論的なハザードを想定する場合、対象道路網によっては被害を及ぼすシナリオ地震数が膨大となり、すべての地震について交通量配分シミュレーションを行うと計算コストが大きくなる恐れがある。このような場合には、比較的計算の容易な直接被害額を算定し、その結果から期待被害額が大きく、対象エリア全域をカバーできる地震を以下のように絞り込むことで、間接被害額の算定負荷を軽減できるようにした。

- 1) 対象地域をゾーン分割し、選定したシナリオ地震を各ゾーンに割り当てる(図-2参照)。ブロックの大きさは、バックグラウンドゾーンメッシュのサイズを目安にする。
- 2) 地震ハザード解析で設定したすべての地震について2.3.1で述べた直接被害額(物的損失)を算定し、それぞれの地震の発生確率を掛け合わせて被害額の期待値を求める。
- 3) 1)で設定した各ゾーンから、被害額の期待値の大きい地震(ゾーン代表地震)を1つ以上抽出する。
- 4) ゾーン代表地震について交通量配分シミュレーションを実施し、直接被害額(人的損失)および間接被害額を算定する。
- 5) その他の地震の直接被害額(人的被害)および間接被害額は、ゾーン代表地震の直接被害額(物的損失)～{直接被害額(人的損失)+間接被害額}の比率から推定する。

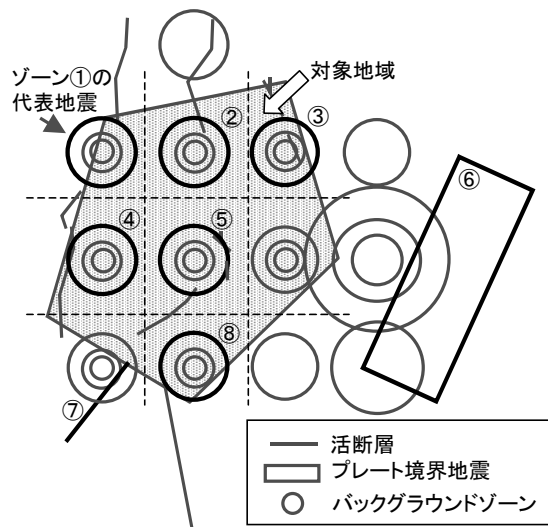


図 4.2-9 ゾーン代表地震の抽出イメージ

#### ④ 費用便益算定

費用便益分析は、耐震補強事業による防災投資効果を評価することを目的とし、便益として耐震補強実施による被害減少額(対策効果)に想定地震の発生確率を乗じた期待額、費用として耐震補強にかかる費用を考慮した。

#### ⑤ 試算例の紹介

評価手法の妥当性を評価するために、ケーススタディーを実施した。

##### 【解析対象】

- ・ 大規模地震の発生確率が高まっている地域から1国道事務所程度のエリアを選定
- ・ 主要地方道以上の道路ネットワークを設定

##### 【計算条件】

- ・ 確率論的なハザードを想定
- ・ 補強路線を選定し、当該路線にある橋梁を耐震補強した場合を設定
- ・ 費用便益分析の評価期間は50年、社会的割引率4%

## 【解析結果】

地震ハザード解析により抽出された地震は 79 あり、これらすべての地震について被災度評価を行い、補強前後それぞれの道路ネットワークの状況を推定した。

被害額については、道路施設の物的損失についてはすべての地震で算定、人的損失および迂回損失については、代表地震の絞りこみを行い、10 地震について算定した。

ある地震の場合の結果を示す。図 4.2-12 は道路施設の被災推定結果、図 4.2-13 は被災後の交通量分布である。

補強前後の被害額および費用を算定した結果、 $B/C = 5.5$ と導出され、補強による効果を定量的に示すことができた。なお、この数値はいくつかの仮定の上導出されたものであり、取扱いについては検討が必要ではあるものの、補強事業を実施する効果が大きいことが示された。

一方で、同エリアは地震の切迫性が指摘されている地域であるため、実情に合致する結果となったが、一般に地震の発生確率を乗ずると  $B/C$  で算出される投資効果は低くなることから、カタストロフィックリスク効果の考慮について今後検討が必要である。また実際には、道路施設の被災による間接損失は迂回損失以外にも波及していることから、これらの損失評価および被害の軽減効果についても別途評価手法を検討する必要がある。

### (成果の活用)

道路防災事業計画の策定にあたって、複数案の比較や、事業実施効果の評価、説明に利用することができる。また、橋梁耐震補強3箇年プログラム(平成 17~19 年度)の実施効果の評価への活用も期待される。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会:道路震災対策便覧(震災復旧編), 318p, 2002.
- 2) 小林寛, 運上茂樹:大地震時における道路橋の被災度推定手法, 土木技術資料, Vol.47, No.12, 2005.
- 3) 土木研究所:道路盛土の簡易耐震性評価法(案), 2003.
- 4) 片岡正次郎, 佐藤智美, 松本俊輔, 日下部毅明:短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式, 土木学会論文集A, Vol.62, No.4, pp.740-757, 2006.
- 5) 建設省土木研究所耐震技術研究センター・防災技術課:占用施設・沿道施設の耐震性評価に関する調査(その1)平成7年兵庫県南部地震における被災調査, 土木研究所資料第 3557号, 1998.
- 6) 中尾吉宏, 日下部毅明, 村越潤, 田村敬一:確率論的な地震ハザードマップの作成手法, 国土技術政策総合研究所研究報告, Vol. 16, 37p., 2003.



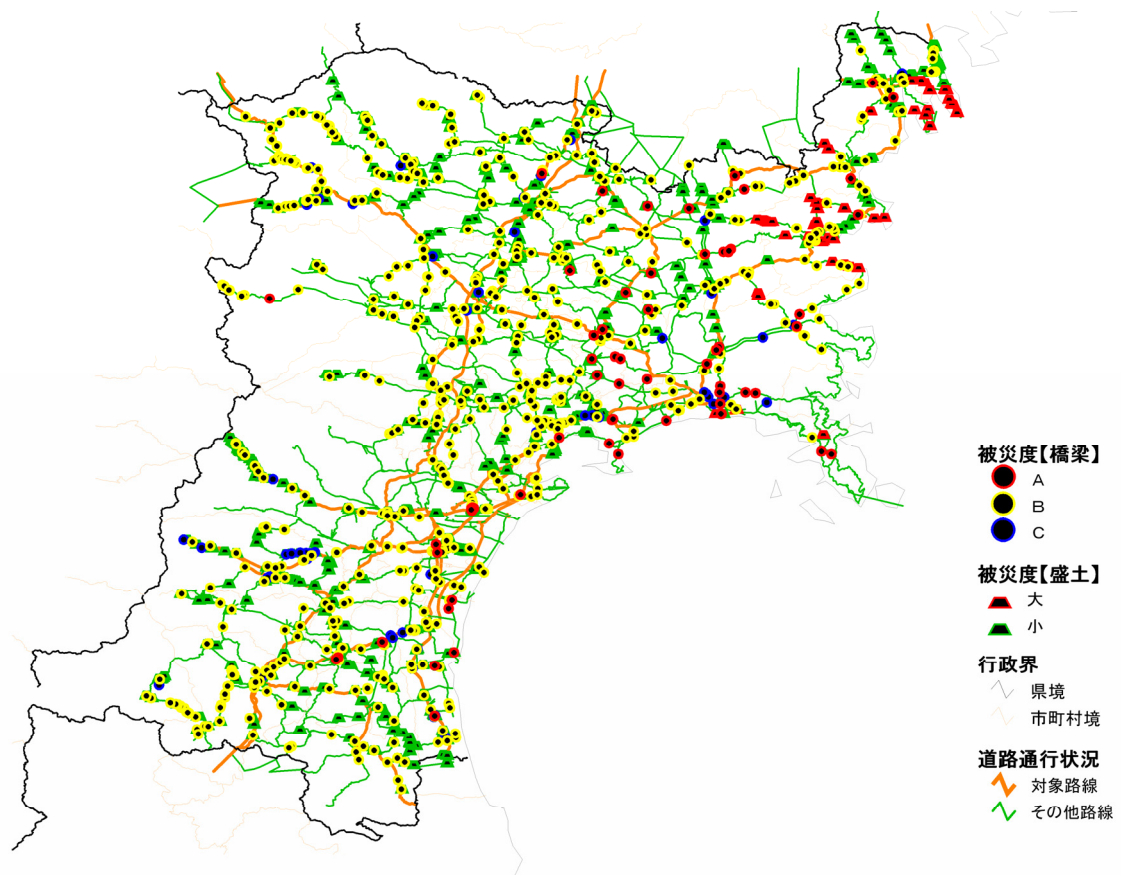


図 4.2-12 道路施設の被災推定結果

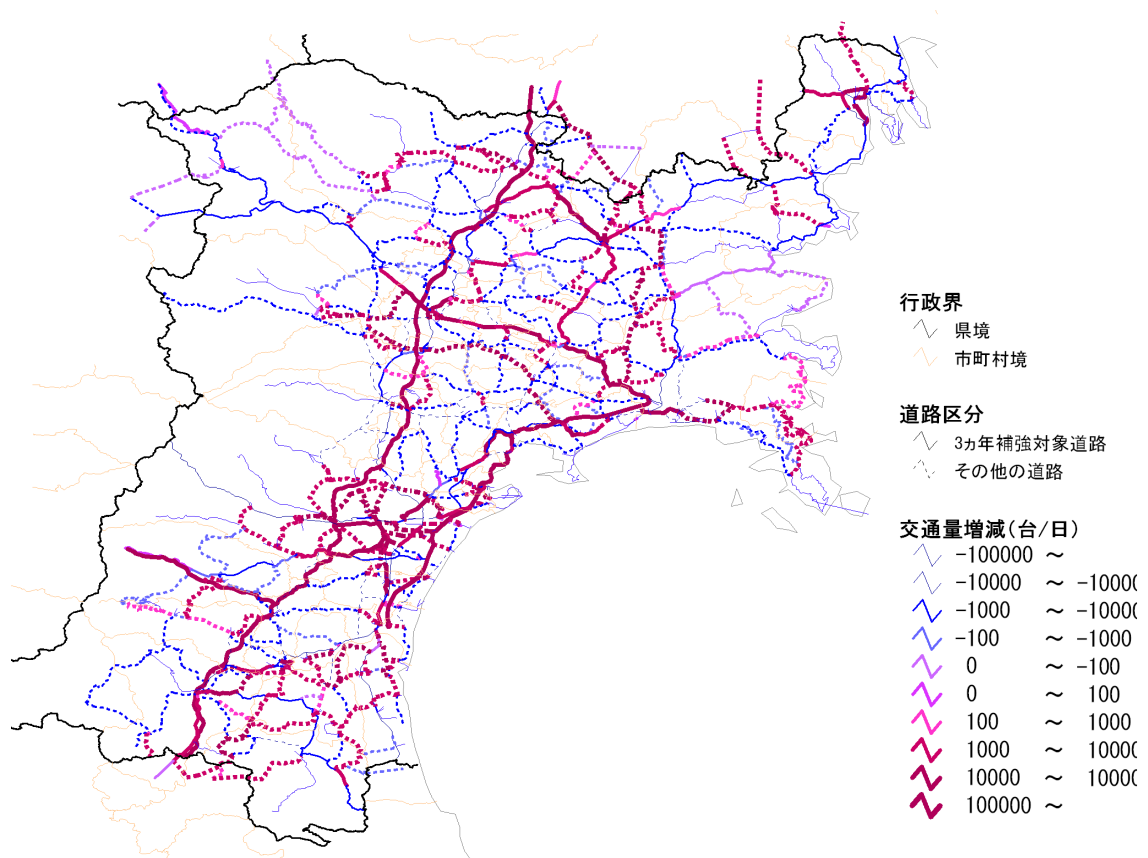


図 4.2-13 被災後の交通量分布

#### 4.2.3 被災低減のための対策

現在国土交通省では、H17年度からH19年度までの期間で「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」を実施している。本プログラムは、兵庫県南部地震と同程度の地震動に対しても落橋等の甚大な被害を防止し、緊急輸送道路としての機能を確保するため、早急に橋梁の耐震補強を進めることを目的としている。具体的には緊急輸送道路の耐震補強を、直轄国道についてH19年度までに概ね完了し、都道府県管理道路は、主要な防災拠点等を結ぶ「優先確保ルート」を選定し、この優先確保ルートに対してH19年度までに概ね完了しようというものである。あわせて新幹線、高速道路をまたぐ橋梁の耐震補強3箇年プログラムも実施している。

#### 4.2.4 行政施策への対応

「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」の策定にあたっては、4.2.2で述べたような事業効果の定量的な評価は実施していないものの、橋梁の有すべき耐震性能を設定し、路線の重要性を考慮し耐震補強を実施して行くという点で考え方に共通性がある。今後は、より効率的かつ透明性の高い防災投資を実施していくことが求められると思われることから、4.2.2で述べた事業効果の定量的評価を行うための実用的なマニュアルを整備していく予定である。

さらに右図に示す現状を把握する基本マップと管理マップで、ネットワークの補強達成状況を把握して行く点で前々項の防災マップの先駆的な取り組みと捉えることができる。この管理マップと本プログラム策定過程で整理したデータを活用すれば、脆弱性評価およびリスク評価が実施可能となることから、今後耐震補強事業の評価、次期補強計画、更には応急復旧シナリオの策定など震後の的確な対応の事前検討を実施できるようになる。このような防災マップの作成を支援するためのマニュアルを整備していく予定である。

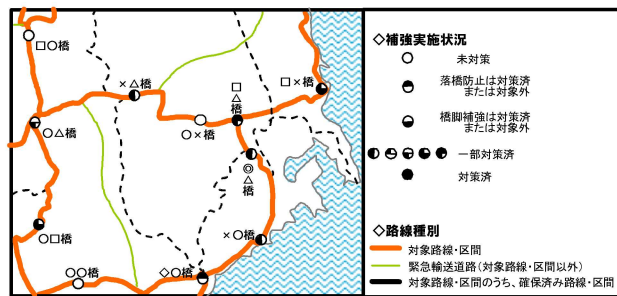


図 4.2-13 基本マップ

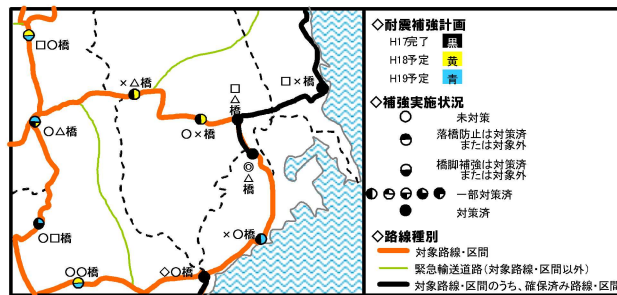


図 4.2-14 管理マップ