

# 地震被害マップを用いた橋梁構造物の地震被害の推定

## その1 地震被害マップ作成のアルゴリズム

Estimation for earthquake disaster for bridges with disaster map

Part 1. Algorithm of earthquake disaster map

(独)寒地土木研究所 ○正員 佐藤 京 (Takashi Satoh)  
 (独)寒地土木研究所 正員 西 弘明 (Hiroaki Nishi)  
 飛島建設(株)技術研究所 高瀬裕也 (Yuya Takase)  
 飛島建設(株)技術研究所 正員 池田隆明 (Takaaki Ikeda)

### 1. はじめに

北海道は日本の中でも比較的大きな地震が頻発する地域であり、これまでに様々な構造物が地震被害を受けている。そのため、構造物の耐震性を高め、出来る限り被害を軽減することは重要ではあるが、被災後に出来る限り早急に復旧活動に取り掛かれる準備をしておくことも肝要である。

迅速な復旧活動を行うためには、被害を受ける構造物とその被害程度を事前に把握しておくことが重要である。対象地域全体の推定被害を網羅できる方法の一つとして、地震被害マップを用いる方法が有用であると考えられる。そこで本研究では、橋梁構造物の地震被害マップの作成を試みる。本報告では、地震被害マップを作成するためのアルゴリズムについて論じる。

### 2. 地震被害マップの概要

地震被害マップといっても、その表示内容や作成手法は様々である。まず、地震被害マップの概要を、次いで実際に著者らが提案する被害マップの作成アルゴリズムについて述べる。

#### 2.1. 作成すべき地震被害マップの概要

本研究で作成する地震被害マップは、主として地震発生後にどの優先順位で復旧活動を行うべきかの判断を迅速に行うための基礎資料とする。

#### 2.2. 構造物の地震被害マップの作成アルゴリズム

図-1に地震被害マップの作成のアルゴリズムを示す。

各構造物の耐震性能は様々な条件により、同じ構造形式であっても異なるが、まずは設計根拠に基づく性能により分類を行う。つぎに、地域特性を考慮した地震動推定手法に基づいて、架橋地点での地震動を算定する。この結果と分類した橋梁の被害履歴との相関分析より、地震被害指標を定義する。次に、個々の構造物における被災の受けやすさを区別し、精度の向上を図るため、橋梁の構造形式などの詳細情報も耐震性能に考慮しながら、上記の被害指標を、これら実際の構造物に当てはめて、地震被害データを作成する。このデータを地図上にプロットし、地震被害マップを作成する。

### 3. 地震被害マップの作成手法の詳細

前章では、構造物の地震被害マップを作成するためのフローについて概説した。ここでは、実際に作成するための具体的な作成手法について詳述する。

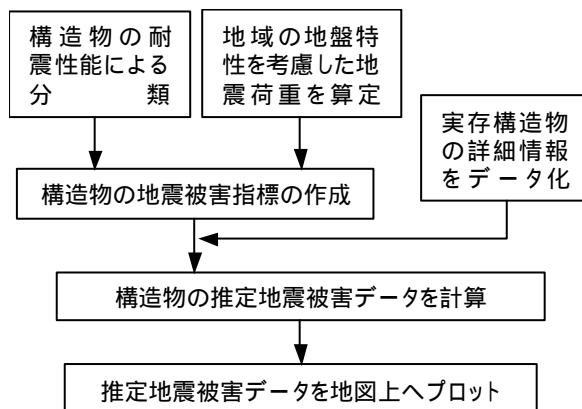


図-1 地震マップ作成のアルゴリズム

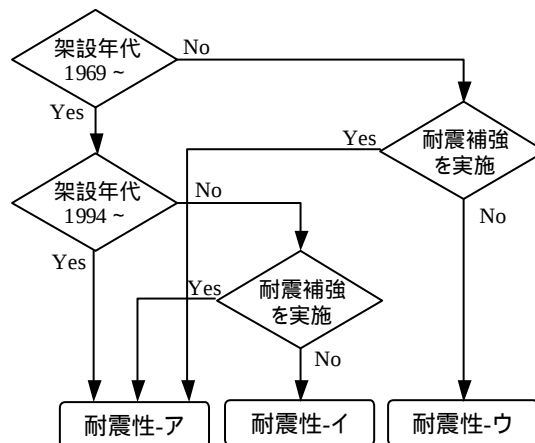


図-2 地震被害想定における橋梁の耐震性能の分類

#### 3.1. 橋梁の地震被害指標の作成

橋梁の地震被害の程度は、各橋梁の構造特性と、地震の規模の組合せにより複雑となり、被害の度合いを正確に予測することは極めて困難である。しかしながら、過去に受けた地震被害の経験から、確率論的に構造物の被害指標を作成することは可能であると考えられ、既往の幾つかの研究や都道府県の被害評価指針などにおいて提案されている。以下に、著者らが提案する被害指標について詳説する。

##### (1) 架設年代による分類

図-2に地震被害想定のための橋梁の分類方法を示す。架設年代によって、老朽化の問題や適用される道路橋示方書の違いから耐震性能も相違する。

表 - 1 耐震設計法の変遷一覧

| 大分類<br>記号 | 番号 | 設計基準・示方書 名称                                     | 外力                                                         | 照査法                           |
|-----------|----|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| T15       | 1  | 道路構造に関する細則案 大正15年                               | 所在地における<br>最強の地震動                                          | 許容応力度設計                       |
| S14       | 2  | 鋼道路橋設計示方書案、鋼道路橋製作示方書案 昭和14年                     | 水平荷重20%<br>鉛直荷重10%<br>但し地点の状況考慮すること                        | 許容応力度設計                       |
| S31       | 3  | 鋼道路橋設計示方書 昭和31年                                 | 水平震度は地盤と地域に<br>よって区別される。<br>(地域係数の導入)                      | 許容応力度設計                       |
|           | 4  | 鋼道路橋製作示方書 昭和31年                                 |                                                            |                               |
|           | 5  | 溶接鋼道路橋示方書・同解説 昭和32年                             |                                                            |                               |
|           | 6  | 鋼道路橋の合成桁設計施工指針 昭和34年                            |                                                            |                               |
|           | 7  | 鋼道路橋設計示方書(改訂) 昭和39年                             |                                                            |                               |
|           | 8  | 鋼道路橋製作示方書(改訂) 昭和39年                             |                                                            |                               |
|           | 9  | 溶接鋼道路橋示方書・同解説(改訂) 昭和39年                         |                                                            |                               |
|           | 10 | 鉄筋コンクリート道路橋設計示方書 昭和39年                          |                                                            |                               |
|           | 11 | 道路橋下部構造設計指針「くい基礎の設計編」 昭和39年                     |                                                            |                               |
|           | 12 | 鋼道路橋の合成桁設計施工指針(改訂) 昭和40年                        |                                                            |                               |
|           | 13 | 道路橋下部構造設計指針「調査及び設計一般編」 昭和41年                    |                                                            |                               |
|           | 14 | 溶接鋼道路橋示方書・同解説(設計に関する追補) 昭和42年                   |                                                            |                               |
|           | 15 | 溶接鋼道路橋示方書・同解説(製作に関する追補) 昭和43年                   |                                                            |                               |
|           | 16 | プレレストコンクリート道路橋設計示方書 昭和43年                       |                                                            |                               |
|           | 17 | 道路橋下部構造設計指針「橋台・橋脚の設計編」 昭和43年                    |                                                            |                               |
|           | 18 | 道路橋下部構造設計指針「直接基礎の設計編」 昭和43年                     |                                                            |                               |
|           | 19 | 道路橋下部構造設計指針「くい基礎の設計編」 昭和43年                     |                                                            |                               |
| S46       | 20 | 道路橋耐震設計指針 昭和46年                                 | 水平震度の計算方法の変更                                               | 許容応力度設計                       |
|           | 21 | 矢板式基礎の設計と施工指針 昭和47年                             |                                                            |                               |
|           | 22 | 道路橋示方書・同解説 共通編、鋼橋編 昭和47年                        |                                                            |                               |
|           | 23 | 道路橋下部構造設計指針「くい基礎の設計編」(改訂) 昭和51年                 | $kh=\mu_1 \times \mu_2 \times \mu_3 \times k_0$<br>鉛直震度の削除 |                               |
| S55       | 24 | 道路橋示方書・同解説 共通編、コンクリート橋編 昭和53年                   | 地域係数の変更                                                    | 許容応力度設計                       |
|           | 25 | 道路橋示方書・同解説 共通編、鋼橋編(改訂) 昭和55年                    | 地盤種別と地盤の特性値                                                |                               |
|           | 26 | 道路橋示方書・同解説 共通編、下部構造編 昭和55年                      | T0で判定                                                      |                               |
|           | 27 | 道路橋示方書・同解説 共通編、耐震設計編 昭和55年                      | 地盤種別の変更                                                    |                               |
| H2        | 28 | 道路橋示方書・同解説 共通編、鋼橋編 平成2年                         | 地盤種別の変更                                                    | 保有水平耐力法の導入                    |
|           | 29 | 道路橋示方書・同解説 共通編、コンクリート橋編 平成2年                    |                                                            |                               |
|           | 30 | 道路橋示方書・同解説 共通編、下部構造編 平成2年                       | 4種別→3種別                                                    |                               |
|           | 31 | 道路橋示方書・同解説 共通編、鋼橋編 平成6年                         |                                                            |                               |
|           | 32 | 道路橋示方書・同解説 共通編、コンクリート橋編 平成6年                    |                                                            |                               |
|           | 33 | 道路橋示方書・同解説 共通編、下部構造編 平成6年                       |                                                            |                               |
| H7        | 34 | 兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る<br>仕様および復旧仕様の解説(案) 平成7年 | 兵庫県南部地震に対応した<br>外力の変更                                      | 震度法による設計と<br>地震時保有水平耐力<br>の照査 |
| H8        | 35 | 道路橋示方書・同解説 耐震設計編 平成8年                           | 復旧仕様対応                                                     | 復旧仕様対応                        |

表 - 1 に示方書の耐震設計に着目した変遷を一覧で示す。その中でも 1971 年と 1996 年の 2 つの改訂は、大きな変更がなされていることからこれらに焦点を絞る。1971 年の改訂においては、耐震設計荷重の緻密化が進んだり、落橋防止対策が規定されたりするなど、設計体系の発展が伺える。また 1996 年に発行された道路橋示方書では、阪神・淡路大地震の被害経験を踏まえ、設計用入力地震動がそれ以前に扱ってきたものから 3 ～ 4 倍に大きく引き上げられた。このような理由から、これら 2 つの年代を被害指標の一つの区切りにする。なお、示方書改訂の年代から区切り年を設定した場合、構造物の設計適用示方書と架設年と同じ年代とならないため、便宜上、示方書で区切った年代より 2 年さかのぼった年を区切りとし、橋梁架設年から条件を設定する。また、阪神・淡路大震災以後、各種の構造物を対象にして耐震補強工事が進んでいる。そのため、耐震補強を施してある橋梁については、架設年代が古いものであっても、耐震性能の等級を上位となるように配慮した。

## (2) 橋梁の地震被害指標

表 - 2 に著者らが提案する橋梁の地震被害指標を掲げる。橋梁構造物の地震被害の程度を区別として、通行するために補修を必要とするかどうかひとつの目安となる。そこで本研究では、無被害の橋梁を指標、補修せずとも使用に耐えられる程の軽微な被害を指標、そして橋脚にせん断破壊が生じるなどの大規模補修が必要な甚大な被害を指標と、3 つの指標で区分する。

この被害指標と地震荷重とが相関関係にあると推察するが、地震動のどのような成分が地震荷重とするか、さらに被害区分の境目と具体的な地震荷重と結び付けるこ

表 - 2 研究で提案する地震被害指標

| 最大速度 (cm/s) | 35 | 50 | 100 |
|-------------|----|----|-----|
| 耐震性-ア       |    |    |     |
| 耐震性-イ       |    |    |     |
| 耐震性-ウ       |    |    |     |

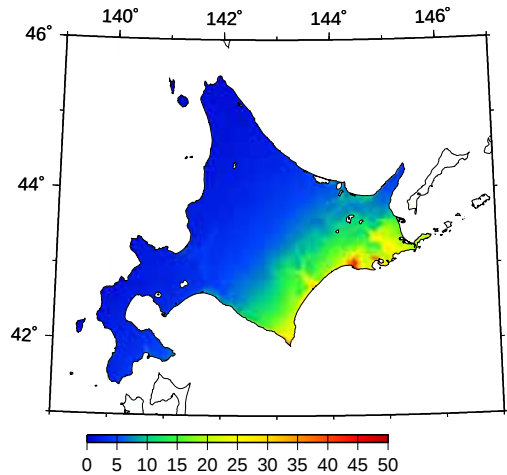


図 - 3 太平洋側沈み込み帯を想定した表層の最大速度の一例

とは極めて困難である。

本研究では最大速度によって地震被害を推定できるものと仮定する。また著者らの過去の研究<sup>1)</sup>より、軽微な被害が見られ始める値より安全側に見た 35cm/s、建築学会などでレベル 2 地震としている 50cm/s、阪神淡路大震災で観測されている 100cm/s の 3 つの数値を、被害指標分類の基準値として用いることにする。

これらの地震荷重の区分と、前項で整理した「構造物の耐震性能」による分類とを総合的に評価し、表 - 1 に示すような地震被害指標を作成する。

## 3. 2. サイト特性を考慮した最大速度の算出

表 - 3 に、直下型地震を想定する際の震源パラメータの一覧を記す。橋梁が建設される各地域の地震荷重は、主に地震の発生源とその規模、そして表層の地盤構造に大きく依存する。したがって、橋梁構造物の設置箇所ごとの地震荷重を設定する必要がある。

本研究では、(i)過去に北海道で経験した地震やその他の資料<sup>2)</sup>を基に震源パラメータを設定する。ただし、直下型地震については、表 - 3 に記すパラメータを用いた。次いで、(ii)司・翠川の距離減衰式<sup>3)</sup>を用いて、各地点における工学基盤の最大速度を求める。続いて、(iii)著者らが過去に求めた北海道の表層地盤の増幅倍率を乗じ、北海道で頻繁に発生する大きな地震を想定し、各地域の最大速度を算出する。

本研究では 42 の震源パラメータを用いて、詳細な地震動分布を算定した。これらの結果を用いて、以下に記す 5 つの「地震種別」に分類し、そのカテゴリー内における最大速度を抽出し、その結果を用いて地震被害マップを作成する。

表 - 3 直下型地震を想定する際の震源パラメータの一覧

| 想定<br>震源 | 断層名称        | 規模  |     | 長さ<br>( km ) | 幅<br>( km ) | 断層基準点   |          | 深さ<br>( km ) | 走向    | 傾斜<br>( 度 ) |
|----------|-------------|-----|-----|--------------|-------------|---------|----------|--------------|-------|-------------|
|          |             | Mj  | Mw  |              |             | 緯度      | 経度       |              |       |             |
| A01      | 標津断層帯       | 7.7 | 7.1 | 52.6         | 14.0        | 43.9425 | 145.0807 | 2.0          | 217.0 | 60          |
| A02      | 十勝平野東縁断層帯   | 8.0 | 7.3 | 84.4         | 20.0        | 42.5470 | 143.2710 | 2.0          | 9.3   | 60          |
| A03      | 光地圏断層       | 7.2 | 6.7 | 27.1         | 20.0        | 42.3070 | 143.3358 | 2.0          | 333.0 | 60          |
| A04      | 富良野断層帯西部    | 7.2 | 6.8 | 28.9         | 14.0        | 43.4540 | 142.4290 | 2.0          | 196.0 | 60          |
| A05      | 富良野断層帯東部    | 7.2 | 6.8 | 26.5         | 16.0        | 43.1465 | 142.4211 | 2.0          | 1.8   | 50          |
| A06      | 増毛山東断層帯     | 7.8 | 7.2 | 58.2         | 20.0        | 43.8546 | 141.8789 | 2.0          | 198.0 | 60          |
| A07      | 沼田-砂川付近の断層帯 | 7.5 | 6.9 | 37.0         | 20.0        | 43.5000 | 141.9380 | 2.0          | 0.0   | 60          |
| A08      | 当別断層        | 7.0 | 6.5 | 18.5         | 19.0        | 43.4330 | 141.5390 | 2.0          | 180.0 | 40          |
| A09      | 石狩低地東縁断層帯主部 | -   | 7.3 | 43.6         | 24.0        | 42.9530 | 141.8000 | 2.0          | 12.6  | 45          |
|          |             | -   | 7.3 | 26.8         | 24.0        | 42.7490 | 141.8830 | 2.0          | 345.0 | 45          |
| A10      | 石狩低地東縁断層帯南部 | 7.1 | 6.6 | 23.7         | 24.0        | 42.6760 | 141.8340 | 2.0          | 340.0 | 45          |
| A11      | 黒松内低地断層     | 7.3 | 6.8 | 31.9         | 14.0        | 42.7469 | 140.2463 | 2.0          | 170.0 | 60          |
| A12      | 函館平野西縁断層帯   | 7.3 | 6.8 | 22.4         | 14.0        | 41.9191 | 140.6293 | 2.0          | 187.0 | 60          |
| A13      | 標津断層帯       | 6.8 | 6.4 | 16.0         | 8.0         | 43.9689 | 144.8640 | 2.0          | 212.0 | 90          |
| A14      | 屈斜路湖地震断層帯   | 6.0 | 5.8 | 5.0          | 3.0         | 43.5774 | 144.3000 | 2.0          | 128.0 | 90          |
| A15      | 幌延断層帯       | 7.1 | 6.6 | 21.7         | 15.0        | 45.4090 | 141.8450 | 2.0          | 164.0 | 90          |
| A16      | サロベツ撓曲帯     | 7.6 | 7.0 | 45.0         | 23.0        | 45.2371 | 141.6950 | 2.0          | 170.0 | 90          |
| A17      | 音威子府断層帯     | 7.0 | 6.5 | 20.0         | 10.0        | 45.0541 | 142.0930 | 2.0          | 186.0 | 90          |
| A18      | 間寒別断層帯      | 6.5 | 6.2 | 10.0         | 5.0         | 44.7327 | 142.2830 | 2.0          | 175.0 | 90          |
| A19      | 吉住布巾断層      | 6.6 | 6.3 | 12.0         | 6.0         | 43.7065 | 142.1150 | 2.0          | 138.0 | 90          |
| A20      | 野幌丘陵断層帯     | 7.1 | 6.6 | 24.0         | 12.0        | 43.1000 | 141.5120 | 2.0          | 166.0 | 90          |
| A21      | 軽舞断層        | 6.8 | 6.4 | 16.0         | 8.0         | 42.6702 | 141.8290 | 2.0          | 125.0 | 90          |
| A22      | 八雲断層帯       | 6.5 | 6.2 | 10.5         | 10.0        | 42.3540 | 140.2740 | 2.0          | 198.0 | 90          |
| A23      | 森断層         | 6.1 | 5.9 | 6.0          | 3.0         | 42.1197 | 140.5390 | 2.0          | 147.0 | 90          |
| A24      | 森越断層        | 5.8 | 5.6 | 4.0          | 3.0         | 41.6652 | 140.4250 | 2.0          | 184.0 | 90          |
| A25      | 羅臼岳断層帯      | 6.6 | 6.2 | 11.8         | 12.0        | 44.1510 | 144.2170 | 2.0          | 220.0 | 90          |
| A26      | 網走湖断層帯      | 6.8 | 6.4 | 15.4         | 15.0        | 44.0010 | 144.2270 | 2.0          | 194.0 | 90          |
| A27      | 常呂川東岸断層     | 6.5 | 6.2 | 10.4         | 10.0        | 44.1020 | 144.0790 | 2.0          | 209.0 | 90          |
| A28      | 三石 - 浦河断層帯  | 6.6 | 6.2 | 12.4         | 12.0        | 42.2410 | 142.5970 | 2.0          | 120.0 | 90          |
| A29      | 尻別川断層帯      | 7.2 | 6.7 | 10.8         | 15.0        | 42.8530 | 140.3880 | 2.0          | 147.0 | 90          |
|          |             | 7.2 | 6.7 | 13.7         | 15.0        | 42.7710 | 140.4600 | 2.0          | 198.0 | 90          |
| A30      | 想定札幌直下地震    | 7.1 | 6.6 | 24.0         | 12.0        | 43.1998 | 141.5020 | 2.0          | 235.0 | 90          |
| A31      | 想定旭川直下地震    | 7.1 | 6.6 | 24.0         | 12.0        | 43.8075 | 142.3290 | 2.0          | 138.0 | 90          |

断層モデルが学説上 2 つあるものについては、両方を検討対象とした。

- A 活断層  
B 太平洋側の沈み込み帯  
C 日本海東縁部  
D その他

図 - 3 に、地震荷重の一例として、太平洋側の沈み込み帯を想定した場合 ( B ) の最大速度を示す。

#### 4 . まとめ

本報告では、橋梁の地震被害マップを作成するためのアルゴリズムについて述べた。この被害マップ作成手法として、個々の橋梁構造物の耐震性能と、設置場所の最大速度を算出し、これらの組合せから地震被害指標を作成する手法を提案した。次報では、このアルゴリズムに従って被害マップを作成し、本被害マップの特徴や北海道における橋梁構造物の被害の傾向について検証する。

#### 【参考文献】

- 1 ) 佐藤京、池田隆明、上明戸昇、石川博之：構造物の被害と相関の高い被害指標の検討、土木学会北海道支部論文報告集、第 63 号、A - 40、2006
- 2 ) 佐藤良輔編著：日本の地震断層パラメータ・ハンドブック、鹿島出版会、1989
- 3 ) 司宏俊、翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式、日本建築学会構造系論文集、第 523 号、pp.63~70、1999.9