

## 4. 入力する荷重の確率モデル

### 4.1. 荷重の種類と季節区分の考慮

各種荷重の同時載荷状況は、一定時間間隔で離散化した B-C モデルを用いてモデル化する。本研究では、1 年間を 4,380 の互いに独立した時間区間に分割した B-C モデルを用いる。各種荷重は、それぞれ独立した確率過程として、発生頻度と時刻、規模（荷重の大きさ）を表 4.1.1 に示すように与える。ある部材の断面力 100 年最大値を求めるときには、時刻  $t=0$  にて当該橋梁の死荷重を確率的に与えたうえで、そこにその他の変動荷重を時々刻々と与えていく。そのため、変動作用の規模が死荷重に起因している場合は、時刻  $t=0$  にて確率的に与えた死荷重を用いて算出するのが実態に合った状況となる。また、地震の影響は、その発生時刻において生じている作用による慣性力として、時刻  $t=0$  にて確率的に与えた死荷重、活荷重、および雪荷重による慣性力を考慮するのが実態に合った状況と考えられる。しかし、本研究は荷重組合せと荷重係数のおおよその範囲を推定するものであり、ある荷重によるその他の荷重への影響は考慮せずに、各種荷重は互いに独立（連動しない）であるものとしてシミュレーションを実施する。なお、各種荷重の確率モデルの詳細は 4.2 から 4.7 に示す。

本研究では、各種荷重の発生頻度は 1 年間の発生時間区間数によって設定し、1 年のうちの発生時刻はポアソン過程を用いて設定することを基本とする。これを年ごとに更新しながら 100 回繰り返すことで、100 年間のシミュレーションとなる。なお、ポアソン過程を用いて 100 年のうちの発生時刻を設定することが直接的であるが、ここで行うような仮定で計算した結果であっても多数回シミュレーションした結果を最終的に用いることを考えれば、100 年のうちの発生時刻を直接設定した結果とほとんど差がないと考えている。

表 4.1.1 各種荷重の発生頻度と値の設定

| 荷重の種類 |                          | 発生頻度（1 年間）                  | 発生時刻                                                                                     | 規模（荷重の大きさ）                                               |
|-------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 永続作用  | 死荷重(D)                   | 全区間                         | 死荷重の確率分布モデルを用いて $t=0$ にて 100 年間の初期値を確率的に与える。その後の 100 年間は一定とする。（次の 100 年では $t=0$ にて更新する。） |                                                          |
|       | 活荷重(L)<br>【渋滞時】<br>【通常時】 | 【渋滞時】 730 区間<br>【通常時】 渋滞時以外 | 渋滞発生時刻をポアソン過程により与える                                                                      | 平均大型車混入率を 10%, 30%, または 50% とした車両列スナップショットを確率的に構成し、与える   |
| 変動作用  | 温度変化の影響 (TH)             | 全区間                         | 日最大・最小値を 6 区間ごとに交互に与え、その他の区間は正弦波で補間する。                                                   | 日最大・最小値分布（日最高・最低気温の月平均値に関する年ごとの最大・最小値の分布）の確率分布モデルによって与える |
|       | 風荷重(W)<br>【季節風】          | 12 区間                       | ポアソン過程による                                                                                | 月最大値分布（10 分間平均風速の月最大値の分布）の確率分布モデルによって与える                 |
|       | 風荷重(W)<br>【台風】           | 表 4.1.2 に示す台風発生期の中で 3 区間    | ポアソン過程による                                                                                | 月最大値分布（台風の 10 分間平均風速最大値の分布）の確率分布モデルによって与える               |
|       | 地震の影響(EQ)                | 12 区間                       | ポアソン過程による                                                                                | 月最大値分布（加速度の月最大値の分布）の確率分布モデルによって与える                       |
|       | 雪荷重(SW)                  | 表 4.1.2 に示す積雪期の全区間          | 道路橋示方書・同解説（平成 24 年）I 共通編 2.2.12 解説に示される十分圧縮された雪の上を自由に車両が通行する場合による確定値                     |                                                          |

各種荷重がそれぞれの時刻で発生するときの規模（荷重の大きさ）は、観測記録等の実現象に基づくデータに確率分布をあてはめた分布モデルを用いたモンテカルロシミュレーションで都度与える。台風や雪荷重のような季節性の影響を受ける荷重を考慮するときには、表 4.1.2 に示す季節区分を設けて各種荷重の規模の確率分布モデルを使い分ける。

表 4.1.2 に示した台風発生期は、気象庁が公表している 1951～2007 年までのデータ（<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/statistics/accession/index.html>、2017 年 12 月 4 日時点）を基に設定した。全国的な台風発生時期の傾向を確認する目的で、4 つの想定地域（関東、東北、近畿、九州）ごとに台風発生時期を比較した結果を図 4.1.1 に示す。ここで、台風接近数は台風中心が気象官署から 300km 以内に入った数である。この結果から、4 地域とも年間の台風のうち 6～10 月に 90%以上が集中しているため、本研究における台風発生期は 6～10 月を想定した。また、表 4.1.2 に示した積雪期は、積雪の多い東北・北陸・北海道より、青森・新潟・札幌の月平均積雪日数を基に設定した。図 4.1.2 に示す結果から、年間の積雪の約 9 割は 12～3 月に発生しているため、本研究における積雪期は 12～3 月を想定した。

表 4.1.2 各種荷重の季節性を考慮した入力データの使い分け

| 荷 重         |     | 右記以外      | 台風発生期      | 積雪期        |
|-------------|-----|-----------|------------|------------|
| 温度変化の影響(TH) |     | 右記以外の気温分布 | 台風発生期の気温分布 | 積雪期の気温分布   |
| 風荷重(W)      | 季節風 | 右記以外の風速分布 | 台風発生期の風速分布 | 積雪期の風速分布   |
|             | 台風  | 考慮しない     | 台風発生期の風速分布 | 考慮しない      |
| 雪荷重(SW)     |     | 考慮しない     |            | 現行基準による確定値 |

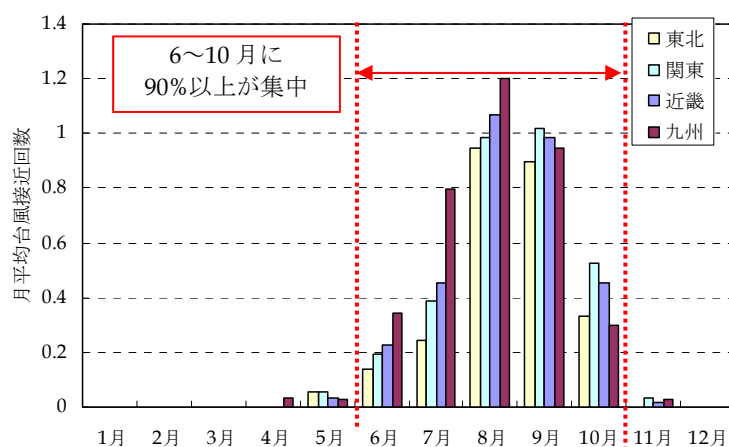


図 4.1.1 全国的な台風接近回数の傾向

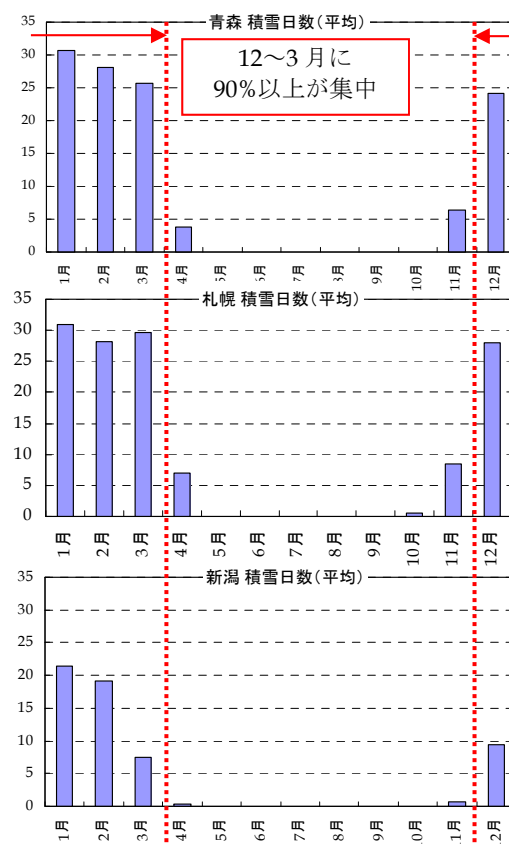


図 4.1.2 積雪の多い地域における平均積雪日数の傾向

## 4.2. 死荷重(D)

### 4.2.1. 死荷重のばらつき要因

道路橋示方書（平成 24 年）Ⅰ共通編 2.2.1 の条文では、死荷重は材料の単位体積重量を適切に評価して設定するものとしており、具体的には表 4.2.1 に示す単位体積重量を用いても良いとしている。

表 4.2.1 材料の単位体積重量（単位：kN/m<sup>3</sup>）

| 材料              | 単位体積重量 |
|-----------------|--------|
| 鋼 ・ 鋳 鋼 ・ 鍛 鋼   | 77.0   |
| 鋳 鉄             | 71.0   |
| ア ル ミ ニ ウ ム     | 27.5   |
| 鉄 筋 コ ン ク リ ー ト | 24.5   |
| プレストレストコンクリート   | 24.5   |
| コ ン ク リ ー ト     | 23.0   |
| セ メ ン ト モ ル タ ル | 21.0   |
| 木 材             | 8.0    |
| 歴 青 材 （ 防 水 用 ） | 11.0   |
| ア ス フ ァ ル ト 舗 装 | 22.5   |

死荷重は、本体死荷重（構造物自身や舗装、地覆等）と付加死荷重（添架物や検査路、遮音壁等）に大別される。本体死荷重のばらつき要因は、製作・施工上のばらつきである寸法のばらつき、あるいは単位重量のばらつきなどが挙げられる。本体死荷重は、橋梁本体ならびに舗装、地覆等の全ての固定部分の重量であるため、橋梁の供用中に持続して作用し、供用中の変動はあまり考えられない。単位重量のばらつきは表 4.2.1 に示した値との差が小さく、標準偏差もほぼ無視できるほど小さい<sup>1)</sup>。また、付加死荷重は供用後に設置される構造物によるものであり、寸法のばらつきや単位重量のばらつきが死荷重のばらつき要因となる。供用後に何らかの理由で付加される死荷重を想定できればよいが、設計時点で付加死荷重を想定することは難しい。以上を総合的に考慮し、本研究における死荷重の確率モデルは、これだけとは言わないが検討の単純化のために、主には部材寸法のばらつきから仮定することにした。

#### 4.2.2. 材料・部材別の死荷重のばらつき

##### (1). 上部構造に関する材料・部材別の死荷重のばらつき

既往の統計調査結果<sup>3)4)</sup>では、上部構造に関する死荷重のばらつきとして、表 4.2.2 に示す部材寸法のばらつきが示されている。なお、表 4.2.2 に示す値は設計値に対する実測値の比率の統計量を示しており、鋼部材およびコンクリート部材は断面積（幅と厚さの積）、鉄筋コンクリート床版および舗装は厚さに着目した調査結果を用いている。

本検討では、年代の違いによる死荷重特性の違いはないと考え、既往資料の統計量を用いて死荷重のばらつきを算出した。死荷重のばらつきは、構造あるいは材料によって異なる。例えば、鋼橋での鋼部材と鉄筋コンクリート床版、また舗装について、それぞれ死荷重のばらつきが異なるため、その比率により上部構造としての死荷重のばらつきが変わる。そのため、上部構造としての死荷重のばらつきは、鋼橋およびコンクリート橋の実橋における死荷重の内訳を基に設定するものとした。

表 4.2.2 上部構造に関する材料・部材別の死荷重のばらつき

| 材料・部材      |            | 分布型  | 平均値    | 標準偏差    |
|------------|------------|------|--------|---------|
| 鋼部材        |            | 正規分布 | 1.0098 | 0.0177  |
| コンクリート桁    | プレテンション方式  | 正規分布 | 1.0051 | 0.00364 |
|            | ポストテンション方式 | 正規分布 | 1.0043 | 0.00361 |
| 鉄筋コンクリート床版 |            | 正規分布 | 1.0500 | 0.0120  |
| 舗装         |            | 正規分布 | 1.0300 | 0.0500  |

※表中の値は、実測値/設計値に関する統計量を示す。

##### 1). 鋼橋の死荷重のばらつき

コンクリート床版を有する鋼上部構造 8 橋、および鋼床版を有する鋼上部構造 2 橋を対象として、鋼部材、床版、および舗装の重量比を基に、上部構造全体の死荷重のばらつきを計算した結果を表 4.2.5～表 4.2.8 に示す。

コンクリート床版を有する鋼上部構造における死荷重のばらつきは表 4.2.6 の最大値を用いるものとするれば、平均値  $\mu=1.043$ 、標準偏差  $\sigma=0.012$  となる。また、鋼床版を有する鋼上部構造における死荷重のばらつきは表 4.2.8 の最大値を用いるものとするれば、平均値  $\mu=1.022$ 、標準偏差  $\sigma=0.017$  となる。

##### 2). コンクリート橋の死荷重のばらつき

プレテンション方式のコンクリート上部構造 3 橋、およびポストテンション方式のコンクリート上部構造 5 橋を対象として、主桁、床版、および舗装の重量比を基に上部構造全体の死荷重のばらつきを計算した結果を表 4.2.9～表 4.2.12 に示す。

プレテンション方式のコンクリート上部構造における死荷重のばらつきは表 4.2.10 の最大値を用いるものとするれば、平均値  $\mu=1.022$ 、標準偏差  $\sigma=0.010$  となる。また、ポストテンション方式のコンクリート上部構造における死荷重のばらつきは表 4.2.12 の最大値を用いるものとするれば、平均値  $\mu=1.020$ 、標準偏差  $\sigma=0.011$  となる。

表 4.2.5～表 4.2.12 に示した上部構造全体の死荷重のばらつきは、以下に示す方法で算出している。  
ここでは、表 4.2.5 に示したコンクリート床版を有する鋼上部構造の①単純合成鈑桁の算出例を示す。

a). 実橋における死荷重の内訳

対象橋梁の上部構造の死荷重の内訳を表 4.2.3 に示す。これは、既往の統計調査結果<sup>3)</sup>に示される部位別の重量比に基づいたものである。

表 4.2.3 上部構造の死荷重の内訳（鋼単純合成鈑桁・支間長 25.0m・全幅員 10.2m）

| 部位    | 重量比 $w_i$ | 材質     |
|-------|-----------|--------|
| 主桁    | 0.112     | 鋼      |
| 床版・地覆 | 0.725     | RC     |
| 舗装    | 0.163     | アスファルト |
| 合計    | 1.000     |        |

b). 部位別の死荷重のばらつき

表 4.2.3 に示した上部構造の各部位に対して、表 4.2.2 に示した死荷重のばらつきを考慮する。具体的には、表 4.2.4 に示す死荷重のばらつきを使用する。

表 4.2.4 上部構造の部位別の死荷重のばらつき

| 部位    | 表 4.2.2 の使用データ | 分布型  | 平均値 $\mu_i$ | 標準偏差 $\sigma_i$ |
|-------|----------------|------|-------------|-----------------|
| 主桁    | 鋼部材            | 正規分布 | 1.0098      | 0.0177          |
| 床版・地覆 | 鉄筋コンクリート床版     |      | 1.0500      | 0.0120          |
| 舗装    | 舗装             |      | 1.0300      | 0.0500          |

※表中の値は、実測値/設計値に関する統計量を示す。

c). 上部構造全体の死荷重のばらつきの算出

上部構造全体の死荷重のばらつきは、各部位の平均値  $\mu_i$ 、標準偏差  $\sigma_i$ 、および部位別の重量比  $w_i$  を用いて、以下のように算出する。

上部構造全体の死荷重の平均値  $\mu_D$

$$\mu_D = \sum \mu_i w_i = 1.0098 \times 0.112 + 1.0500 \times 0.725 + 1.0300 \times 0.163 = 1.0423$$

上部構造全体の死荷重の標準偏差  $\sigma_D$

$$\sigma_D = \sqrt{\sum (\mu_i w_i)^2} = \sqrt{(0.0177 \times 0.112)^2 + (0.0120 \times 0.725)^2 + (0.0500 \times 0.163)^2} = 0.0121$$

表 4.2.5 コンクリート床版を有する鋼上部構造の死荷重のばらつきの計算

①単純合成鉄桁 支間長:25.0m 全幅員:10.2m

| 部位    | 使用データ | 平均値 $\mu_i$                                                                                                                      | 標準偏差 $\sigma_i$ | 重量比 $w_i$ | $\mu_i \times w_i$ | $(\sigma_i \times w_i)^2$ |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 主桁    | 鋼部材   | 1.0098                                                                                                                           | 0.0177          | 0.112     | 0.11345            | 0.0000040                 |
| 床版・地覆 | RC床版  | 1.0500                                                                                                                           | 0.0120          | 0.725     | 0.76093            | 0.0000756                 |
| 舗装    | 舗装    | 1.0300                                                                                                                           | 0.0500          | 0.163     | 0.16784            | 0.0000664                 |
|       |       | 上部構造全体の平均値 $\mu_D = \Sigma(\mu_i \times w_i) = 1.0422$<br>上部構造全体の標準偏差 $\sigma_D = \sqrt{\Sigma(\sigma_i \times w_i)^2} = 0.0121$ |                 |           |                    |                           |

③単純合成鉄桁 支間長:44.0m 全幅員:10.2m

| 部位    | 使用データ | 平均値 $\mu_i$                                                                                                                      | 標準偏差 $\sigma_i$ | 重量比 $w_i$ | $\mu_i \times w_i$ | $(\sigma_i \times w_i)^2$ |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 主桁    | 鋼部材   | 1.0098                                                                                                                           | 0.0177          | 0.179     | 0.18091            | 0.0000101                 |
| 床版・地覆 | RC床版  | 1.0500                                                                                                                           | 0.0120          | 0.670     | 0.70354            | 0.0000646                 |
| 舗装    | 舗装    | 1.0300                                                                                                                           | 0.0500          | 0.151     | 0.15533            | 0.0000569                 |
|       |       | 上部構造全体の平均値 $\mu_D = \Sigma(\mu_i \times w_i) = 1.0398$<br>上部構造全体の標準偏差 $\sigma_D = \sqrt{\Sigma(\sigma_i \times w_i)^2} = 0.0115$ |                 |           |                    |                           |

⑤連続非合成鉄桁 支間長:26.45+52.00+26.45m 全幅員:13.2m

| 部位    | 使用データ | 平均値 $\mu_i$                                                                                                                      | 標準偏差 $\sigma_i$ | 重量比 $w_i$ | $\mu_i \times w_i$ | $(\sigma_i \times w_i)^2$ |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 主桁    | 鋼部材   | 1.0098                                                                                                                           | 0.0177          | 0.188     | 0.18965            | 0.0000111                 |
| 床版・地覆 | RC床版  | 1.0500                                                                                                                           | 0.0120          | 0.653     | 0.68601            | 0.0000615                 |
| 舗装    | 舗装    | 1.0300                                                                                                                           | 0.0500          | 0.159     | 0.16361            | 0.0000631                 |
|       |       | 上部構造全体の平均値 $\mu_D = \Sigma(\mu_i \times w_i) = 1.0393$<br>上部構造全体の標準偏差 $\sigma_D = \sqrt{\Sigma(\sigma_i \times w_i)^2} = 0.0116$ |                 |           |                    |                           |

⑦連続非合成箱桁 支間長:26.45+52.00+26.45m 全幅員:15.0m

| 部位    | 使用データ | 平均値 $\mu_i$                                                                                                                      | 標準偏差 $\sigma_i$ | 重量比 $w_i$ | $\mu_i \times w_i$ | $(\sigma_i \times w_i)^2$ |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 主桁    | 鋼部材   | 1.0098                                                                                                                           | 0.0177          | 0.203     | 0.20499            | 0.0000129                 |
| 床版・地覆 | RC床版  | 1.0500                                                                                                                           | 0.0120          | 0.694     | 0.72870            | 0.0000694                 |
| 舗装    | 舗装    | 1.0300                                                                                                                           | 0.0500          | 0.103     | 0.10609            | 0.0000265                 |
|       |       | 上部構造全体の平均値 $\mu_D = \Sigma(\mu_i \times w_i) = 1.0398$<br>上部構造全体の標準偏差 $\sigma_D = \sqrt{\Sigma(\sigma_i \times w_i)^2} = 0.0104$ |                 |           |                    |                           |

②単純合成鉄桁 支間長:35.0m 全幅員:10.2m

| 部位    | 使用データ | 平均値 $\mu_i$                                                                                                                      | 標準偏差 $\sigma_i$ | 重量比 $w_i$ | $\mu_i \times w_i$ | $(\sigma_i \times w_i)^2$ |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 主桁    | 鋼部材   | 1.0098                                                                                                                           | 0.0177          | 0.142     | 0.14294            | 0.0000063                 |
| 床版・地覆 | RC床版  | 1.0500                                                                                                                           | 0.0120          | 0.701     | 0.73574            | 0.0000707                 |
| 舗装    | 舗装    | 1.0300                                                                                                                           | 0.0500          | 0.158     | 0.16247            | 0.0000622                 |
|       |       | 上部構造全体の平均値 $\mu_D = \Sigma(\mu_i \times w_i) = 1.0412$<br>上部構造全体の標準偏差 $\sigma_D = \sqrt{\Sigma(\sigma_i \times w_i)^2} = 0.0118$ |                 |           |                    |                           |

④連続非合成鉄桁 支間長:2@49.0m 全幅員:10.7m

| 部位    | 使用データ | 平均値 $\mu_i$                                                                                                                      | 標準偏差 $\sigma_i$ | 重量比 $w_i$ | $\mu_i \times w_i$ | $(\sigma_i \times w_i)^2$ |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 主桁    | 鋼部材   | 1.0098                                                                                                                           | 0.0177          | 0.191     | 0.19287            | 0.0000114                 |
| 床版・地覆 | RC床版  | 1.0500                                                                                                                           | 0.0120          | 0.673     | 0.70665            | 0.0000652                 |
| 舗装    | 舗装    | 1.0300                                                                                                                           | 0.0500          | 0.136     | 0.14008            | 0.0000462                 |
|       |       | 上部構造全体の平均値 $\mu_D = \Sigma(\mu_i \times w_i) = 1.0396$<br>上部構造全体の標準偏差 $\sigma_D = \sqrt{\Sigma(\sigma_i \times w_i)^2} = 0.0111$ |                 |           |                    |                           |

⑥連続非合成鉄桁 支間長:41.65+3@36.0+35.75m 全幅員:10.7m

| 部位    | 使用データ | 平均値 $\mu_i$                                                                                                                      | 標準偏差 $\sigma_i$ | 重量比 $w_i$ | $\mu_i \times w_i$ | $(\sigma_i \times w_i)^2$ |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 主桁    | 鋼部材   | 1.0098                                                                                                                           | 0.0177          | 0.127     | 0.12824            | 0.0000051                 |
| 床版・地覆 | RC床版  | 1.0500                                                                                                                           | 0.0120          | 0.750     | 0.78750            | 0.0000810                 |
| 舗装    | 舗装    | 1.0300                                                                                                                           | 0.0500          | 0.123     | 0.12669            | 0.0000378                 |
|       |       | 上部構造全体の平均値 $\mu_D = \Sigma(\mu_i \times w_i) = 1.0424$<br>上部構造全体の標準偏差 $\sigma_D = \sqrt{\Sigma(\sigma_i \times w_i)^2} = 0.0111$ |                 |           |                    |                           |

⑧連続非合成箱桁 支間長:41.75+60.0+30.75m 全幅員:11.2m

| 部位    | 使用データ | 平均値 $\mu_i$                                                                                                                      | 標準偏差 $\sigma_i$ | 重量比 $w_i$ | $\mu_i \times w_i$ | $(\sigma_i \times w_i)^2$ |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 主桁    | 鋼部材   | 1.0098                                                                                                                           | 0.0177          | 0.236     | 0.23831            | 0.0000174                 |
| 床版・地覆 | RC床版  | 1.0500                                                                                                                           | 0.0120          | 0.638     | 0.66990            | 0.0000586                 |
| 舗装    | 舗装    | 1.0300                                                                                                                           | 0.0500          | 0.126     | 0.12978            | 0.0000397                 |
|       |       | 上部構造全体の平均値 $\mu_D = \Sigma(\mu_i \times w_i) = 1.0380$<br>上部構造全体の標準偏差 $\sigma_D = \sqrt{\Sigma(\sigma_i \times w_i)^2} = 0.0108$ |                 |           |                    |                           |

表 4.2.6 コンクリート床版を有する鋼上部構造の死荷重のばらつきの計算結果

| 橋梁形式      | 支間                    | 幅員      | 平均値 $\mu_D$ | 標準偏差 $\sigma_D$ |
|-----------|-----------------------|---------|-------------|-----------------|
| ① 単純合成鉄桁  | L=25.0m               | B=10.2m | 1.0423      | 0.0121          |
| ② 単純合成鉄桁  | L=35.0m               | B=10.2m | 1.0412      | 0.0118          |
| ③ 単純合成鉄桁  | L=44.0m               | B=10.2m | 1.0398      | 0.0115          |
| ④ 連続非合成鉄桁 | L=2@49.0m             | B=10.7m | 1.0397      | 0.0111          |
| ⑤ 連続非合成鉄桁 | L=26.45+52.00+26.45m  | B=13.2m | 1.0393      | 0.0116          |
| ⑥ 連続非合成鉄桁 | L=41.65+3@36.0+35.75m | B=10.7m | 1.0425      | 0.0111          |
| ⑦ 連続非合成箱桁 | L=26.45+52.00+26.45m  | B=15.0m | 1.0398      | 0.0104          |
| ⑧ 連続非合成箱桁 | L=41.75+60.0+30.75m   | B=11.2m | 1.0380      | 0.0108          |
|           | 最大値                   |         | 1.043       | 0.012           |

表 4.2.7 鋼床版を有する鋼上部構造の死荷重のばらつきの計算

①単純鋼床版箱桁 支間長:61.5m 全幅員:11.2m

| 部位    | 使用データ | 平均値 $\mu_i$                                                                                                                      | 標準偏差 $\sigma_i$ | 重量比 $w_i$ | $\mu_i \times w_i$ | $(\sigma_i \times w_i)^2$ |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 主桁・床版 | 鋼部材   | 1.0098                                                                                                                           | 0.0177          | 0.588     | 0.59376            | 0.0001083                 |
| 地覆    | RC床版  | 1.0500                                                                                                                           | 0.0120          | 0.189     | 0.19845            | 0.0000051                 |
| 舗装    | 舗装    | 1.0300                                                                                                                           | 0.0500          | 0.223     | 0.22969            | 0.0001243                 |
|       |       | 上部構造全体の平均値 $\mu_D = \Sigma(\mu_i \times w_i) = 1.0220$<br>上部構造全体の標準偏差 $\sigma_D = \sqrt{\Sigma(\sigma_i \times w_i)^2} = 0.0154$ |                 |           |                    |                           |

②単純鋼床版鉄桁 支間長:38.6m 全幅員:18.8m

| 部位    | 使用データ | 平均値 $\mu_i$                                                                                                                      | 標準偏差 $\sigma_i$ | 重量比 $w_i$ | $\mu_i \times w_i$ | $(\sigma_i \times w_i)^2$ |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 主桁・床版 | 鋼部材   | 1.0098                                                                                                                           | 0.0177          | 0.614     | 0.62002            | 0.0001181                 |
| 地覆    | RC床版  | 1.0500                                                                                                                           | 0.0120          | 0.115     | 0.12075            | 0.0000019                 |
| 舗装    | 舗装    | 1.0300                                                                                                                           | 0.0500          | 0.271     | 0.27913            | 0.0001836                 |
|       |       | 上部構造全体の平均値 $\mu_D = \Sigma(\mu_i \times w_i) = 1.0199$<br>上部構造全体の標準偏差 $\sigma_D = \sqrt{\Sigma(\sigma_i \times w_i)^2} = 0.0174$ |                 |           |                    |                           |

表 4.2.8 鋼床版を有する鋼上部構造の死荷重のばらつきの計算結果

| 橋梁形式      | 支間      | 幅員      | 平均値 $\mu_D$ | 標準偏差 $\sigma_D$ |
|-----------|---------|---------|-------------|-----------------|
| ① 単純鋼床版箱桁 | L=61.5m | B=11.2m | 1.0220      | 0.0154          |
| ② 単純鋼床版鉄桁 | L=38.6m | B=18.8m | 1.0199      | 0.0174          |
|           | 最大値     |         | 1.022       | 0.017           |

表 4.2.9 プレテンション方式のコンクリート上部構造の死荷重のばらつきの計算

①単純プレテンT桁 支間長:10.0m 全幅員:10.2m

| 部位    | 使用データ | 平均値 $\mu_i$                                                                                                                      | 標準偏差 $\sigma_i$ | 重量比 $w_i$ | $\mu_i \times w_i$ | $(\sigma_i \times w_i)^2$ |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 主桁    | プレテン桁 | 1.0051                                                                                                                           | 0.0036          | 0.543     | 0.54574            | 0.0000039                 |
| 床版・地覆 | RC床版  | 1.0500                                                                                                                           | 0.0120          | 0.267     | 0.28028            | 0.0000103                 |
| 舗装    | 舗装    | 1.0300                                                                                                                           | 0.0500          | 0.190     | 0.19579            | 0.0000903                 |
|       |       | 上部構造全体の平均値 $\mu_D = \Sigma(\mu_i \times w_i) = 1.0219$<br>上部構造全体の標準偏差 $\sigma_D = \sqrt{\Sigma(\sigma_i \times w_i)^2} = 0.0102$ |                 |           |                    |                           |

②単純プレテンT桁 支間長:15.0m 全幅員:10.2m

| 部位    | 使用データ | 平均値 $\mu_i$                                                                                                                      | 標準偏差 $\sigma_i$ | 重量比 $w_i$ | $\mu_i \times w_i$ | $(\sigma_i \times w_i)^2$ |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 主桁    | プレテン桁 | 1.0051                                                                                                                           | 0.0036          | 0.573     | 0.57608            | 0.0000044                 |
| 床版・地覆 | RC床版  | 1.0500                                                                                                                           | 0.0120          | 0.257     | 0.27018            | 0.0000095                 |
| 舗装    | 舗装    | 1.0300                                                                                                                           | 0.0500          | 0.170     | 0.17461            | 0.0000718                 |
|       |       | 上部構造全体の平均値 $\mu_D = \Sigma(\mu_i \times w_i) = 1.0209$<br>上部構造全体の標準偏差 $\sigma_D = \sqrt{\Sigma(\sigma_i \times w_i)^2} = 0.0093$ |                 |           |                    |                           |

③単純プレテンT桁 支間長:20.0m 全幅員:10.2m

| 部位    | 使用データ | 平均値 $\mu_i$                                                                                                                      | 標準偏差 $\sigma_i$ | 重量比 $w_i$ | $\mu_i \times w_i$ | $(\sigma_i \times w_i)^2$ |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 主桁    | プレテン桁 | 1.0051                                                                                                                           | 0.0036          | 0.593     | 0.59595            | 0.0000047                 |
| 床版・地覆 | RC床版  | 1.0500                                                                                                                           | 0.0120          | 0.242     | 0.25455            | 0.0000085                 |
| 舗装    | 舗装    | 1.0300                                                                                                                           | 0.0500          | 0.165     | 0.16959            | 0.0000678                 |
|       |       | 上部構造全体の平均値 $\mu_D = \Sigma(\mu_i \times w_i) = 1.0201$<br>上部構造全体の標準偏差 $\sigma_D = \sqrt{\Sigma(\sigma_i \times w_i)^2} = 0.0090$ |                 |           |                    |                           |

表 4.2.10 プレテンション方式のコンクリート上部構造の死荷重のばらつきの計算結果

| 橋梁形式       | 支間      | 幅員      | 平均値 $\mu_D$ | 標準偏差 $\sigma_D$ |
|------------|---------|---------|-------------|-----------------|
| ① 単純プレテンT桁 | L=10.0m | B=10.2m | 1.0219      | 0.0102          |
| ② 単純プレテンT桁 | L=15.0m | B=10.2m | 1.0209      | 0.0093          |
| ③ 単純プレテンT桁 | L=20.0m | B=10.2m | 1.0201      | 0.0090          |
|            | 最大値     |         | 1.022       | 0.010           |

表 4.2.11 ポストテンション方式のコンクリート上部構造の死荷重のばらつきの計算

①単純ポステンT桁 支間長:20.0m 全幅員:10.2m

| 部位    | 使用データ | 平均値 $\mu_i$                                                                                                                      | 標準偏差 $\sigma_i$ | 重量比 $w_i$ | $\mu_i \times w_i$ | $(\sigma_i \times w_i)^2$ |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 主桁    | ポステン桁 | 1.0043                                                                                                                           | 0.0036          | 0.595     | 0.59792            | 0.0000046                 |
| 床版・地覆 | RC床版  | 1.0500                                                                                                                           | 0.0177          | 0.245     | 0.25747            | 0.0000188                 |
| 舗装    | 舗装    | 1.0300                                                                                                                           | 0.0500          | 0.159     | 0.16422            | 0.0000635                 |
|       |       | 上部構造全体の平均値 $\mu_D = \Sigma(\mu_i \times w_i) = 1.0197$<br>上部構造全体の標準偏差 $\sigma_D = \sqrt{\Sigma(\sigma_i \times w_i)^2} = 0.0093$ |                 |           |                    |                           |

②単純ポステンT桁 支間長:30.0m 全幅員:10.2m

| 部位    | 使用データ | 平均値 $\mu_i$                                                                                                                      | 標準偏差 $\sigma_i$ | 重量比 $w_i$ | $\mu_i \times w_i$ | $(\sigma_i \times w_i)^2$ |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 主桁    | ポステン桁 | 1.0043                                                                                                                           | 0.0036          | 0.635     | 0.63744            | 0.0000053                 |
| 床版・地覆 | RC床版  | 1.0500                                                                                                                           | 0.0177          | 0.223     | 0.23416            | 0.0000156                 |
| 舗装    | 舗装    | 1.0300                                                                                                                           | 0.0500          | 0.142     | 0.14655            | 0.0000506                 |
|       |       | 上部構造全体の平均値 $\mu_D = \Sigma(\mu_i \times w_i) = 1.0182$<br>上部構造全体の標準偏差 $\sigma_D = \sqrt{\Sigma(\sigma_i \times w_i)^2} = 0.0085$ |                 |           |                    |                           |

③単純ポステンT桁 支間長:40.0m 全幅員:10.2m

| 部位    | 使用データ | 平均値 $\mu_i$                                                                                                                      | 標準偏差 $\sigma_i$ | 重量比 $w_i$ | $\mu_i \times w_i$ | $(\sigma_i \times w_i)^2$ |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 主桁    | ポステン桁 | 1.0043                                                                                                                           | 0.0036          | 0.664     | 0.66717            | 0.0000058                 |
| 床版・地覆 | RC床版  | 1.0500                                                                                                                           | 0.0177          | 0.211     | 0.22122            | 0.0000139                 |
| 舗装    | 舗装    | 1.0300                                                                                                                           | 0.0500          | 0.125     | 0.12875            | 0.0000391                 |
|       |       | 上部構造全体の平均値 $\mu_D = \Sigma(\mu_i \times w_i) = 1.0172$<br>上部構造全体の標準偏差 $\sigma_D = \sqrt{\Sigma(\sigma_i \times w_i)^2} = 0.0077$ |                 |           |                    |                           |

④単純ポステンT桁 支間長:37.9m 全幅員:12.4m

| 部位    | 使用データ | 平均値 $\mu_i$                                                                                                                      | 標準偏差 $\sigma_i$ | 重量比 $w_i$ | $\mu_i \times w_i$ | $(\sigma_i \times w_i)^2$ |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 主桁    | ポステン桁 | 1.0043                                                                                                                           | 0.0036          | 0.586     | 0.58852            | 0.0000045                 |
| 床版・地覆 | RC床版  | 1.0500                                                                                                                           | 0.0177          | 0.217     | 0.22785            | 0.0000148                 |
| 舗装    | 舗装    | 1.0300                                                                                                                           | 0.0500          | 0.197     | 0.20291            | 0.0000970                 |
|       |       | 上部構造全体の平均値 $\mu_D = \Sigma(\mu_i \times w_i) = 1.0193$<br>上部構造全体の標準偏差 $\sigma_D = \sqrt{\Sigma(\sigma_i \times w_i)^2} = 0.0108$ |                 |           |                    |                           |

⑤連結ポステンT桁 支間長:44.12+44.165+44.186m 全幅員:14.0m

| 部位    | 使用データ | 平均値 $\mu_i$                                                                                                                      | 標準偏差 $\sigma_i$ | 重量比 $w_i$ | $\mu_i \times w_i$ | $(\sigma_i \times w_i)^2$ |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 主桁    | ポステン桁 | 1.0043                                                                                                                           | 0.0036          | 0.627     | 0.62970            | 0.0000051                 |
| 床版・地覆 | RC床版  | 1.0500                                                                                                                           | 0.0177          | 0.193     | 0.20265            | 0.0000117                 |
| 舗装    | 舗装    | 1.0300                                                                                                                           | 0.0500          | 0.180     | 0.18540            | 0.0000810                 |
|       |       | 上部構造全体の平均値 $\mu_D = \Sigma(\mu_i \times w_i) = 1.0178$<br>上部構造全体の標準偏差 $\sigma_D = \sqrt{\Sigma(\sigma_i \times w_i)^2} = 0.0099$ |                 |           |                    |                           |

表 4.2.12 ポストテンション方式のコンクリート上部構造の死荷重のばらつきの計算結果

| 橋梁形式       | 支間                     | 幅員      | 平均値 $\mu_D$ | 標準偏差 $\sigma_D$ |
|------------|------------------------|---------|-------------|-----------------|
| ① 単純ポステンT桁 | L=20.0m                | B=10.2m | 1.0197      | 0.0093          |
| ② 単純ポステンT桁 | L=30.0m                | B=10.2m | 1.0182      | 0.0085          |
| ③ 単純ポステンT桁 | L=40.0m                | B=10.2m | 1.0172      | 0.0077          |
| ④ 単純ポステンT桁 | L=37.9m                | B=12.4m | 1.0193      | 0.0108          |
| ⑤ 連結ポステンT桁 | L=44.12+44.165+44.186m | B=14.0m | 1.0178      | 0.0099          |
|            | 最大値                    |         | 1.020       | 0.011           |

## (2). 下部構造に関する死荷重のばらつき

既往の統計調査結果<sup>2)</sup>では、下部構造に関する死荷重のばらつきとして鉄筋コンクリート橋脚を対象に、表 4.2.13 に示す部材寸法のばらつきが示されている。なお、表 4.2.13 に示す値は設計値に対する実測値の比率の統計量を示しており、橋脚躯体の体積（幅、高さ、厚さの積）に着目した調査結果を用いている。ただし、表 4.2.13 に示したばらつきは、単柱式橋脚 4 基を対象としたものであり、下部構造に関する死荷重のばらつきを代表した統計量として扱う上では条件が限られている。

その他の鉄筋コンクリート構造物の死荷重のばらつきに関する調査結果として、参考文献<sup>4)</sup>において表 4.2.14 の鉄筋コンクリート床版の死荷重のばらつきの統計量が示されている。表 4.2.13 と表 4.2.14 の統計量を比較すると、表 4.2.13 の鉄筋コンクリート橋脚 4 基に着目した死荷重のばらつきは平均値・標準偏差ともに表 4.2.14 よりも小さい。

以上から、下部構造の死荷重のばらつきは鉄筋コンクリート床版を対象とした死荷重のばらつきではあるものの、表 4.2.14 の統計量を用いておけばばらつきの大きな状況を十分安全側に評価できると考えれば、平均値  $\mu=1.050$ 、標準偏差  $\sigma=0.012$  として良いと考えられる。

表 4.2.13 下部構造（鉄筋コンクリート橋脚）に関する死荷重のばらつき

|       | 分布型  | 平均値     | 標準偏差    |
|-------|------|---------|---------|
| 単柱式橋脚 | 正規分布 | 1.00734 | 0.00464 |
|       | 正規分布 | 1.00722 | 0.00447 |
|       | 正規分布 | 1.00620 | 0.00406 |
|       | 正規分布 | 1.00530 | 0.00346 |
|       | 最大値  | 1.007   | 0.005   |

※表中の値は、実測値/設計値に関する統計量を示す。

表 4.2.14 鉄筋コンクリート構造物に関する死荷重のばらつき

|            | 分布型  | 平均値    | 標準偏差   |
|------------|------|--------|--------|
| 鉄筋コンクリート床版 | 正規分布 | 1.0500 | 0.0120 |

※表中の値は、実測値/設計値に関する統計量を示す。



### 4.2.3. 死荷重の確率モデル

本研究における死荷重の確率モデルは 4.2.2 に示した統計量を基に正規分布を仮定する。

死荷重の分布特性算出結果を表 4.2.15 および図 4.2.1 に示す。なお、表 4.2.15 に示す値は道路橋示方書（平成 24 年）で算出される死荷重断面力との比率として示している。

表 4.2.15 構造物の死荷重分布特性

| 材料・部材                 | 分布型  | 平均値   | 標準偏差  | 変動係数  |
|-----------------------|------|-------|-------|-------|
| コンクリート床版を有する鋼上部構造     | 正規分布 | 1.043 | 0.012 | 0.012 |
| 鋼床版を有する鋼上部構造          | 正規分布 | 1.022 | 0.017 | 0.017 |
| プレテンション方式のコンクリート上部構造  | 正規分布 | 1.022 | 0.010 | 0.010 |
| ポストテンション方式のコンクリート上部構造 | 正規分布 | 1.020 | 0.011 | 0.011 |
| 鉄筋コンクリート橋脚            | 正規分布 | 1.050 | 0.012 | 0.011 |
| 鋼製橋脚                  | 正規分布 | 1.010 | 0.018 | 0.018 |

※表中の値は、道路橋示方書（平成 24 年）で算出される死荷重断面力との比率を示す。

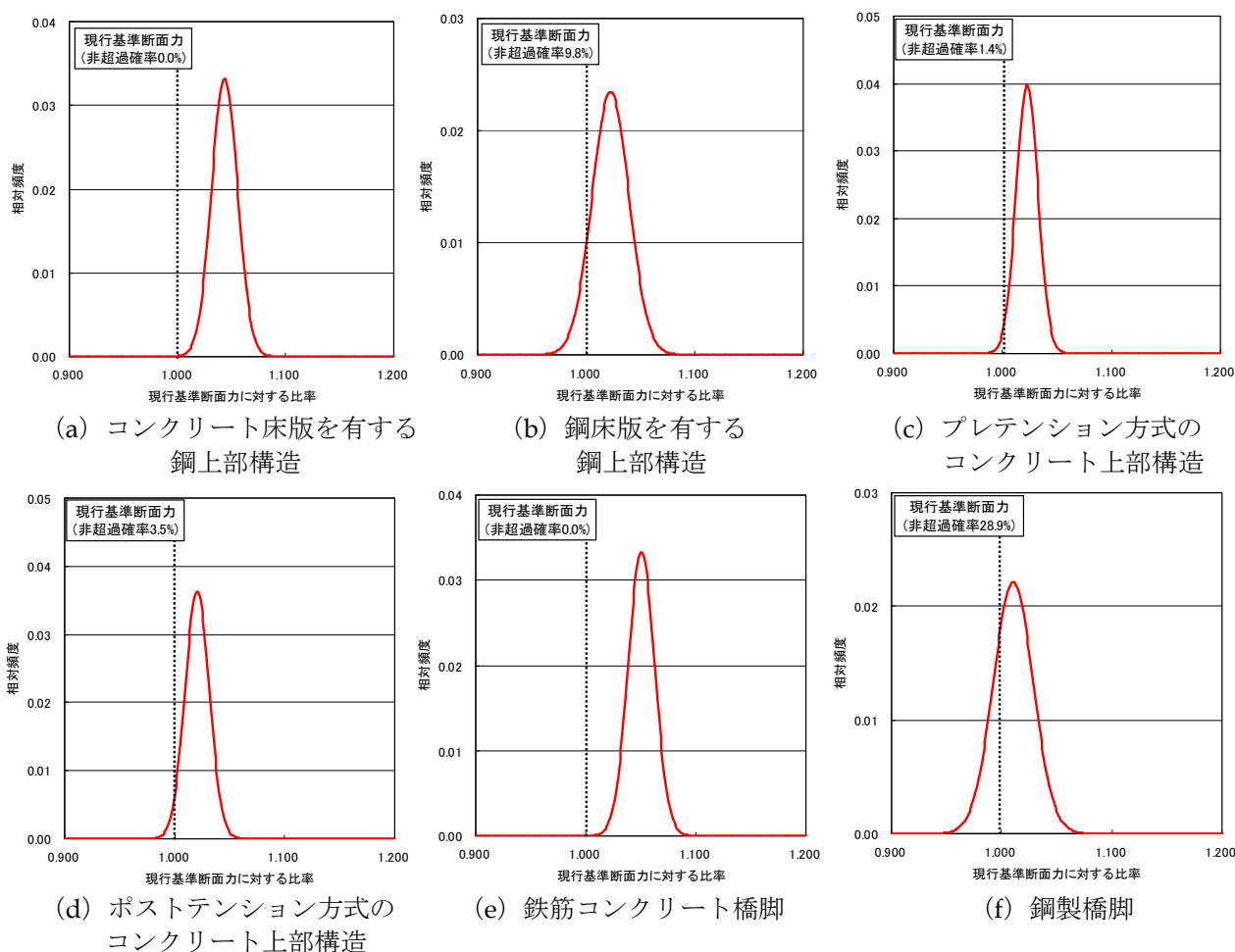


図 4.2.1 死荷重の確率分布モデル

### 4.3. 活荷重(L)

活荷重は、都度、図 4.3.1 に示すように車両列を生成して、橋梁上に載荷することで与える。B-C モデルを用いたシミュレーションにおいて、渋滞時と呼ぶときは橋梁上に車両が満載されるように車両列を生成することを指すものとする。また、通常時とは、渋滞時以外のときのことを指すものとする。表 4.3.1 に車両列の生成に必要なデータ、表 4.3.2 に生成した車両列によって生じる活荷重断面力を算出する上での仮定条件を示す。なお、本研究における活荷重は自動車荷重によるものを対象とし、群集荷重は対象としていない。

本研究における活荷重の確率モデルの作成フローを図 4.3.2 に示す。

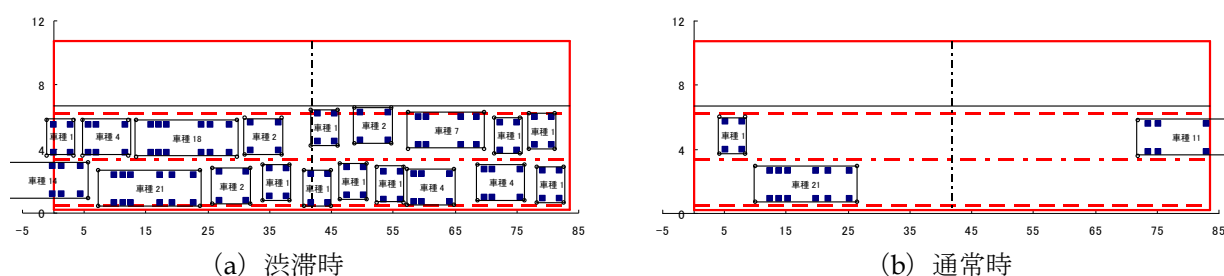


図 4.3.1 シミュレーションによる車両列の例

表 4.3.1 車両列の生成に必要なとなるデータ

| 種別    | 入力データ     | 渋滞時と通常時の区分 | 本資料の参照先            |
|-------|-----------|------------|--------------------|
| ①車両種類 | 車両構成比     | 区分なし       | 4.3.2.(3) 表 4.3.7  |
| ②車両諸元 | 車両重量分布    | 区分なし       | 4.3.2.(4) 表 4.3.8  |
|       | 車種別軸重比    | 区分なし       | 4.3.2.(4) 表 4.3.8  |
|       | 車種別軸間距離   | 区分なし       | 4.3.2.(5) 表 4.3.9  |
| ③車両位置 | 車間距離分布    | 区分あり       | 4.3.2.(6) 表 4.3.10 |
|       | 横方向走行位置分布 | 区分なし       | 4.3.2.(7) 表 4.3.11 |

表 4.3.2 車両列による活荷重断面力の算出における仮定条件

| 項目             | 仮定条件                                                   |
|----------------|--------------------------------------------------------|
| 車両列の載荷方法       | 確率的に生成した車両列スナップショット※をそのまま橋梁上に載荷する。                     |
| 車両列の載荷範囲       | 橋梁上に車両が満載された状態を対象とし、着目する断面力と影響線の符号が逆符号となる範囲にも車両列を載荷する。 |
| 車両列による断面力の算出方法 | 対象橋梁の格子モデルを基に、着目断面の影響線を用いて算出する。                        |
| 参照期間中の最大値の推定方法 | B-C モデルの渋滞発生時間区間に対して、車両列スナップショット※による断面力を直接与える。         |

※車両列スナップショットの詳細は 4.3.2.(1). に示す。

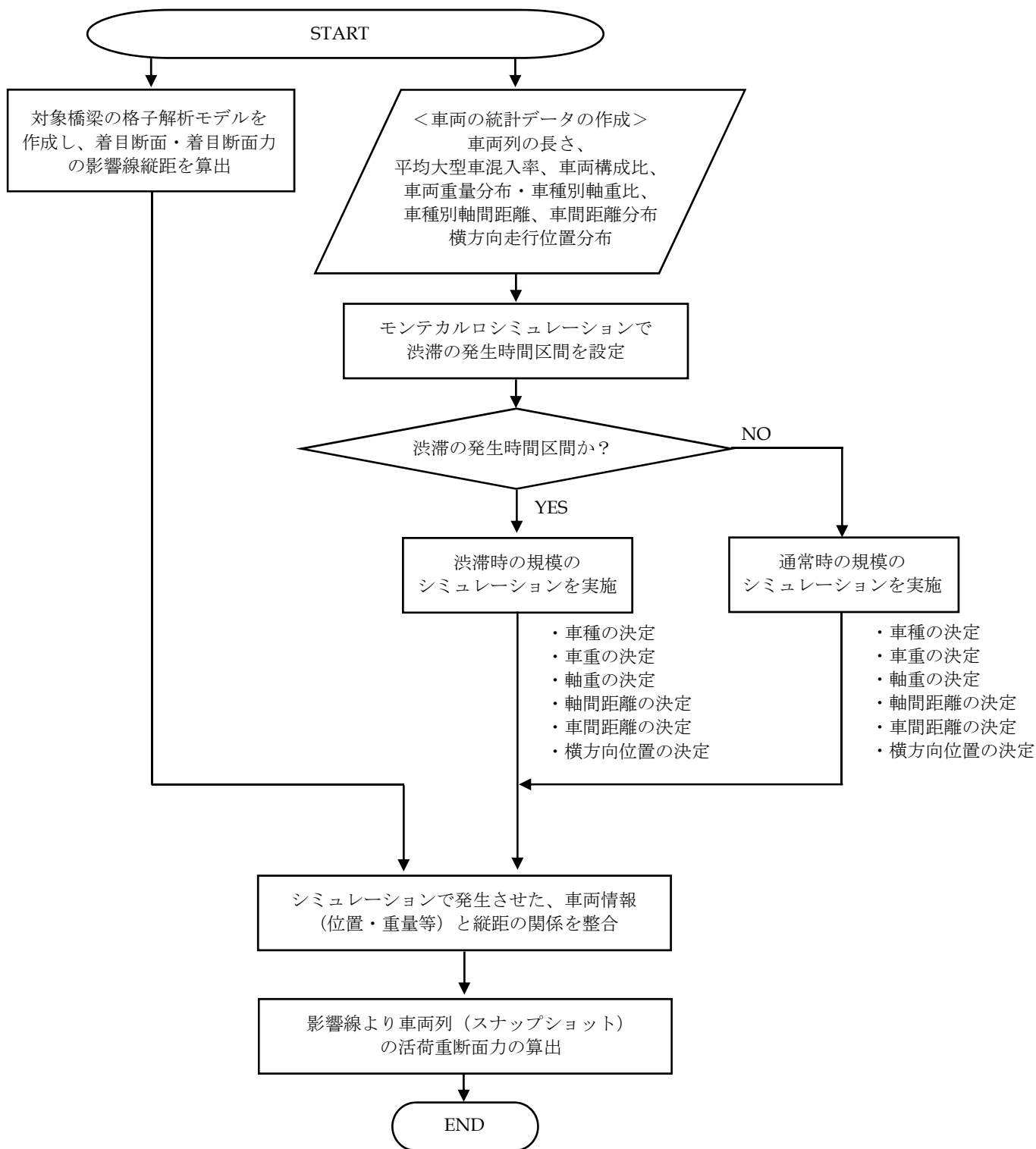


図 4.3.2 活荷重の確率モデルの作成フロー

#### 4.3.1. 渋滞の発生頻度（渋滞時として考慮する区間数）

渋滞に関する実態調査結果として、警視庁の交通調査結果による一般道路の時間帯別渋滞距離のデータ（[http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/about\\_mpd/jokyo\\_tokei/tokei\\_jokyo/ippan.html](http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/about_mpd/jokyo_tokei/tokei_jokyo/ippan.html)、2015年11月19日時点）があり、図 4.3.3 はそれを基に作成したものである。このデータでは、一般道路における渋滞は道路上における車両の交通が滞り、走行速度が時速 20km 以下の状態となった時としており、図 4.3.3 に示す時間帯別渋滞距離は東京都内の一般道路で発生した渋滞の長さを示している。ここから、時間帯別渋滞距離は 2 時間程度で変化しており、大局的には同じ交通状況がそれ以上継続しない傾向が見て取れる。そのため、本研究における渋滞の継続時間はシミュレーションの 1 区間分と同じにできると考えた。

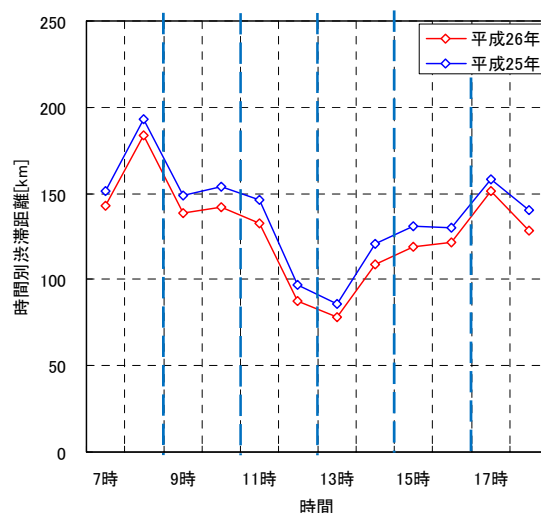


図 4.3.3 一般道路の時間帯別渋滞距離

また、図 4.3.3 から渋滞の長さがピークとなる回数は、大局的には朝夕のラッシュ時として少なくとも 2 時間帯（4 時間）と言えそうであり、1 年間で見たときに 730 時間区間（平均すれば日 2 時間区間）となる。しかし、渋滞は様々な要因で生じるものであり、何らかの規則性を考慮することが荷重組合せとしての観点で見たときに必ずしも安全側の判断とはならないと考えられる。そこで、渋滞の発生時刻は朝夕に限らず任意とする。なお、どの時間帯の中でも車両列は変化するので、本来、渋滞回数を数え上げることは難しく、シミュレーションでは便宜的に 1 時間区間内では車両列は変わらないものとするが、渋滞回数にシミュレーション結果がどの程度依存するのかは気になるところである。そこで、1 年間に渋滞が発生している時間区間数を 730~1,460 時間区間まで変化させた時の荷重組合せへの影響を「5.荷重組合せのみに着目したシミュレーション」で別途検討した上で発生時間区間数を最終的に決めることにする。

#### 4.3.2. 活荷重の確率モデル（車両列）の作成方法

##### (1). 確率モデルの作成方針

本研究においては、活荷重を載荷しようとするたびに対象橋梁に載せる車両列を作成した（以下、「車両列スナップショット」と呼ぶ）。車両列の長さは橋面範囲の前後にそれぞれ 25m を加えたものとし、車種・車種毎の車重・軸配置の車両特性（車種別混入率、大型車混入率）、車間距離、レーン内における車両位置の横ぶれを確率変数として考慮し、実測統計に基づきランダムに車両種類・車両諸元・車両位置を車両 1 台ずつに与えて、車線内に先頭から順に配置する。なお、車両列の長さは大型車

の最大長さが 24m であることから、載荷範囲の前後にそれぞれ 1 台以上の車両が入る長さを確保することで、車両列の先頭位置がランダムなものとなるようにする。スナップショットによる車両列のイメージを図 4.3.4 に示す。

車両列のスナップショットは、大型車混入率の平均値を設定して生成する。大型車混入率の平均値を 30% に設定した場合のスナップショットの例を図 4.3.5 に示す。図 4.3.5 のスナップショットにおける大型車混入率は 41.2% となっており、設定した大型車混入率の平均値である 30% を上回っている。つまり、スナップショットは瞬間的な車両列を取り出したものであり、設定した大型車混入率とスナップショットにおける瞬間的な大型車混入率は異なる。そのため、本研究では、車両構成比の設定に用いる大型車混入率は平均大型車混入率と呼ぶこととする。

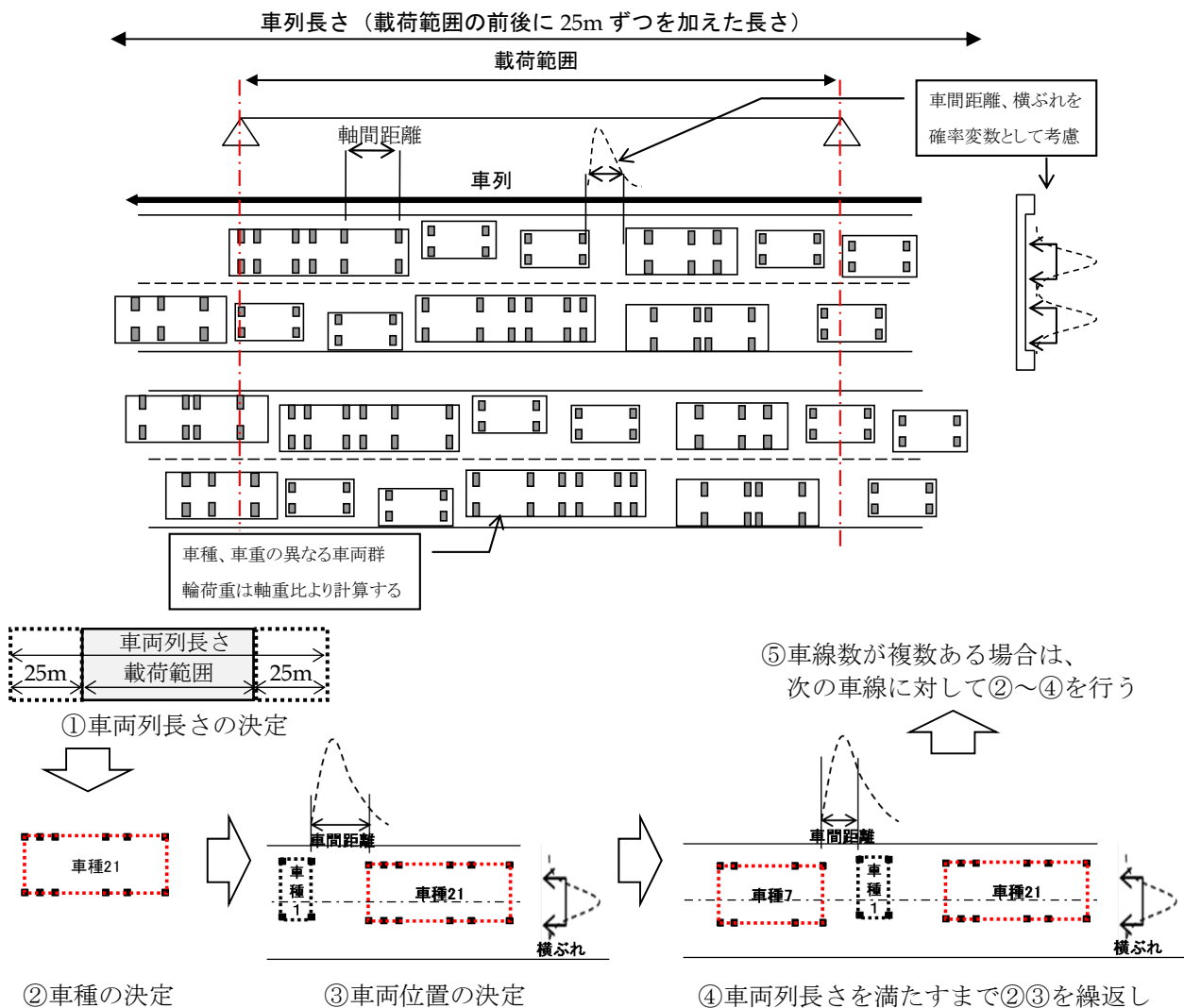


図 4.3.4 車両列スナップショットの作成イメージ

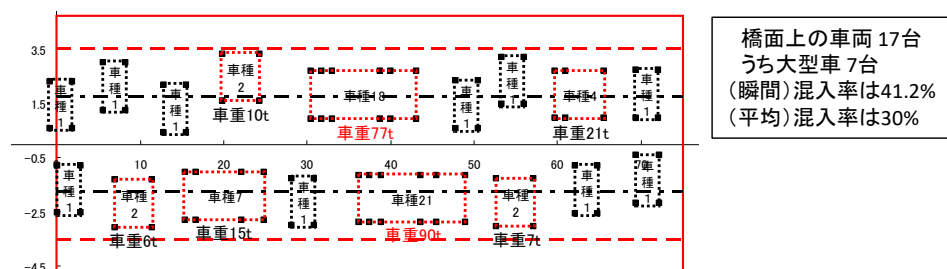


図 4.3.5 平均大型車混入率を 30% に設定して生成した車両列スナップショットの例

## (2). 確率モデルの作成に必要なデータ

活荷重の確率モデルを作成するのに必要な統計データは以下の通りである。

- ①車種構成比      ②車両重量分布・車種別軸重比      ③車種別軸間距離
- ④車間距離分布      ⑤横方向走行位置分布

このうち、①～③は 2003～2004 年に国土技術政策総合研究所が実施した橋梁部材を用いた車両重量計測システム（Bridge Weigh-in-Motion System、以下「BWIM」と呼ぶ）による活荷重実態調査の結果⑤を基に設定した。BWIM の詳細については参考文献⑥を参照されたい。また、④および⑤は国道における実測結果⑦を基に設定した。

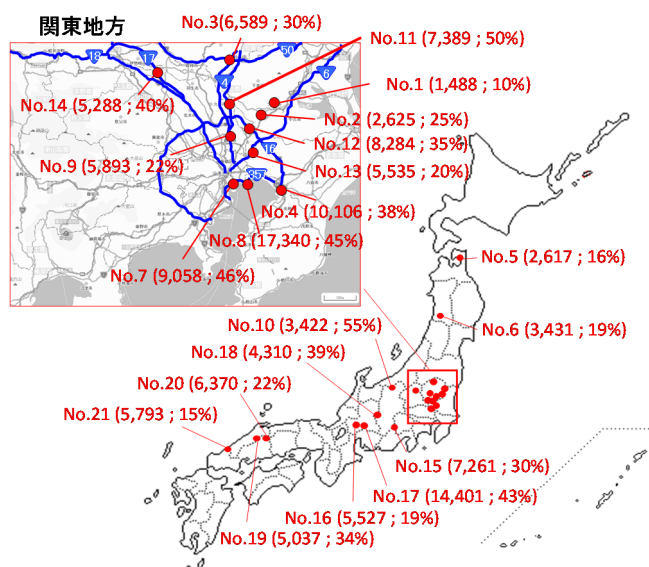
表 4.3.3 確率モデルの作成に必要なデータ

| 入力データ          | 取得・設定方法       |
|----------------|---------------|
| ①車両構成比         | 活荷重実態調査結果⑤による |
| ②車両重量分布・車種別軸重比 | 活荷重実態調査結果⑤による |
| ③車種別軸間距離       | 活荷重実態調査結果⑤による |
| ④車間距離分布        | 実測調査結果⑦による    |
| ⑤横方向走行位置分布     | 実測調査結果⑦による    |

## (3). 車種構成比の設定

### 1). BWIM による活荷重実態調査結果における車種構成

2003～2004 年に国土技術政策総合研究所は BWIM を用いて、大型車交通量や混入率が偏らないように選定した 21 箇所にて、平日 72 時間の連続活荷重計測を行った。BWIM は床版のひずみ応答から車軸の位置、軸間距離、走行速度を推定し、これらの推定結果と主桁のひずみ応答から車両総重量、軸重を算出するものである。活荷重実態調査の調査地点、および各調査地点の道路交通センサスにおける大型車混入率と BWIM から得られた車両の総重量が 25t を超える車両の割合を整理した結果を図 4.3.6 に示す。ここで、車両総重量 25t に着目したのは、我が国では道路構造令において、常に走行するものとして設計で考慮する 1 台の自動車の重量が 25t とされており、かつ、それよりも総重量の大きい自動車も橋への大型車の同時載荷状況に影響を与えると考えたためである。



注) 地図上の ( ) 内の数値は、平成 11 年の道路交通センサスにおける大型車交通量 (台/日/方向) と大型車混入率を示す。

図 4.3.6 BWIM による活荷重実態調査の調査地点



## 2). BWIM 記録データの特徴

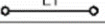
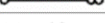
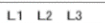
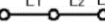
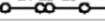
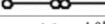
BWIM ではひずみ応答から得られる軸数と軸間距離を基に、ひずみ応答を引き起こした車両を表 4.3.4 に示す 21 車種に分類している。各橋梁における大型車混入率、車両重量、および車両構成比率の関係を図 4.3.7～図 4.3.9 に示す。なお、大型車混入率は、平成 22 年度に実施された道路交通センサスの調査結果のうち BWIM による活荷重実態調査の調査地点近傍のデータを用いている。

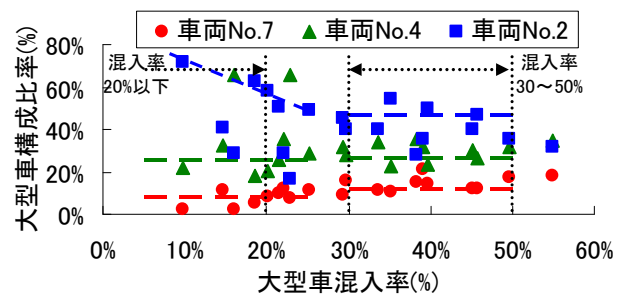
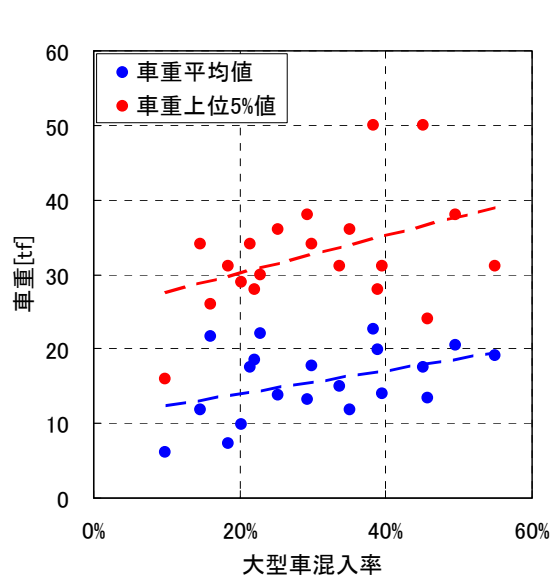
図 4.3.7 から、大型車混入率が大きくなると車両重量の平均値および上位 5%値は増加する傾向にあり、殆どの橋梁で大型車の構成比率は車種 No. 2, 4, 7 の順に高い。また、大型車混入率が大きくなると車種 No. 4, 7 の比率が増加し、車種 No. 2 の比率が減少する傾向が見られる。ここで、大型車混入率と大型車構成比率の関係を大型車混入率 20%以下と大型車混入率 30～50%に大別して見ると、大型車混入率 20%以下の橋梁どうしで比べると車種 No. 4, 7 の構成比率が類似するが車種 No. 2 の構成比率は異なる傾向を有する一方で、大型車混入率 30%以上の橋梁どうしで比べると車種 No. 2, 4, 7 の比率が大型車混入率の増加に応じてそれぞれ微増・微減のトレードオフの関係を保って変化する傾向を有している。

図 4.3.8 は大型車混入率 20%以下の BWIM 記録を対象に、大型車混入率と大型車構成比率の関係をみたものである。車種 No. 2 は大型車混入率が大きくなると大型車構成比率が減少しており、一次式で近似できそうな傾向にある。一方で、車種 No. 4, 7 は大型車混入率が大きくなっても大型車構成比率は一定の値を示す傾向にある。また、図 4.3.9 は大型車混入率 30～50%の BWIM 記録を対象に大型車混入率と大型車構成比率の関係をみたものである。この大型車混入率の範囲内では、車種 No. 2, 4, 7 とともに、大型車混入率が大きくなっても大型車構成比率は一定を保つ傾向にある。

以上から、大型車の車種構成は大型車混入率に応じて変化しており、荷重係数の検討において平均大型車混入率を変化させるときには車種構成の特性もそれに合わせて変化させる必要がある。

表 4.3.4 BWIM データを用いた車種分類一覧

| No. | 軸数 | 型式  | イメージ図                                                                               | 車種                | 軸間距離条件(m)              |                      |                      |                      |                |
|-----|----|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|
|     |    |     |                                                                                     |                   | L1                     | L2                   | L3                   | L4                   | L5             |
| 1   | 2軸 | 2-1 |  | 乗用車類、ラフタークレーン     | $0 < L1 \leq 3.0$      |                      |                      |                      |                |
| 2   | 2軸 | 2-2 |  | 単車、普通トラック、バス、トラクタ | $3.0 < L1 \leq \infty$ |                      |                      |                      |                |
| 3   | 3軸 | 3-1 |  | 単車、セミトレーラ         | $1.6 \leq L1 < 10.5$   | $1.6 \leq L2 < 10.5$ |                      |                      |                |
| 4   | 3軸 | 3-2 |  | 単車、普通トラック、バス、トラクタ | $1.6 \leq L1 < 10.5$   | $0 < L2 < 1.6$       |                      |                      |                |
| 5   | 3軸 | 3-3 |  | 普通トラック            | $0 < L1 < 1.6$         | $1.6 \leq L2 < 10.5$ |                      |                      |                |
| 7   | 4軸 | 4-1 |  | 単車、セミトレーラ         | $1.6 \leq L1 < 10.5$   | $1.6 \leq L2 < 10.5$ | $0 < L3 < 1.6$       |                      |                |
| 8   | 4軸 | 4-2 |  | セミトレーラ            | $1.6 \leq L1 < 10.5$   | $0 < L2 < 1.6$       | $1.6 \leq L3 < 10.5$ |                      |                |
| 9   | 4軸 | 4-3 |  | 単車                | $1.6 \leq L1 < 10.5$   | $0 < L2 < 1.6$       | $0 < L3 < 1.6$       |                      |                |
| 10  | 4軸 | 4-4 |  | 単車、普通トラック         | $0 < L1 < 1.6$         | $1.6 \leq L2 < 10.5$ | $0 < L3 < 1.6$       |                      |                |
| 11  | 4軸 | 4-5 | その他4軸車                                                                              | その他               | —                      | —                    | —                    |                      |                |
| 12  | 5軸 | 5-1 |  | セミトレーラ            | $1.6 \leq L1 < 10.5$   | $1.6 \leq L2 < 10.5$ | $0 < L3 < 1.6$       | $0 < L4 < 1.6$       |                |
| 13  | 5軸 | 5-2 |  | フルトレーラ            | $1.6 \leq L1 < 10.5$   | $0 < L2 < 1.6$       | $1.6 \leq L3 < 10.5$ | $1.6 \leq L4 < 10.5$ |                |
| 14  | 5軸 | 5-3 |  | 単車、セミトレーラ         | $1.6 \leq L1 < 10.5$   | $0 < L2 < 1.6$       | $1.6 \leq L3 < 10.5$ | $0 < L4 < 1.6$       |                |
| 15  | 5軸 | 5-4 |  | 単車                | $1.6 \leq L1 < 10.5$   | $0 < L2 < 1.6$       | $0 < L3 < 1.6$       | $0 < L4 < 1.6$       |                |
| 16  | 5軸 | 5-5 |  | フルトレーラ            | $0 < L1 < 1.6$         | $1.6 \leq L2 < 10.5$ | $1.6 \leq L3 < 10.5$ | $1.6 \leq L4 < 10.5$ |                |
| 17  | 5軸 | 5-6 | その他5軸車                                                                              | その他               | —                      | —                    | —                    | —                    |                |
| 18  | 6軸 | 6-1 |  | セミトレーラ            | $1.6 \leq L1 < 10.5$   | $0 < L2 < 1.6$       | $1.6 \leq L3 < 10.5$ | $0 < L4 < 1.6$       | $0 < L5 < 1.6$ |
| 19  | 6軸 | 6-2 |  | 単車                | $1.6 \leq L1 < 10.5$   | $0 < L2 < 1.6$       | $0 < L3 < 1.6$       | $0 < L4 < 1.6$       | $0 < L5 < 1.6$ |
| 20  | 6軸 | 6-3 |  | 単車                | $0 < L1 < 1.6$         | $1.6 \leq L2 < 10.5$ | $0 < L3 < 1.6$       | $0 < L4 < 1.6$       | $0 < L5 < 1.6$ |
| 21  | 6軸 | 6-4 | その他6軸車                                                                              | その他               | —                      | —                    | —                    | —                    | —              |



| No. | 軸数 | 型式  | イメージ図 | 車種                |
|-----|----|-----|-------|-------------------|
| 2   | 2軸 | 2-2 |       | 単車、普通トラック、バス、トラクタ |
| 4   | 3軸 | 3-2 |       | 単車、普通トラック、バス、トラクタ |
| 7   | 4軸 | 4-1 |       | 単車、セミトレーラ         |

図 4.3.7 大型車混入率と BWIM 記録における車両重量・大型車構成比率の関係

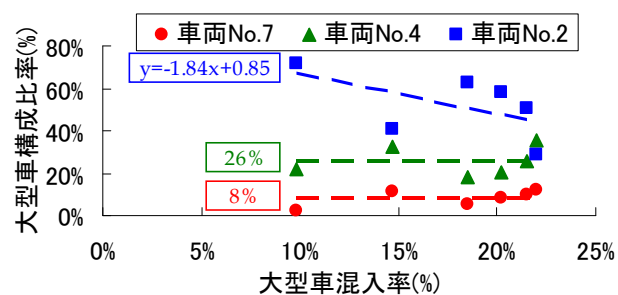
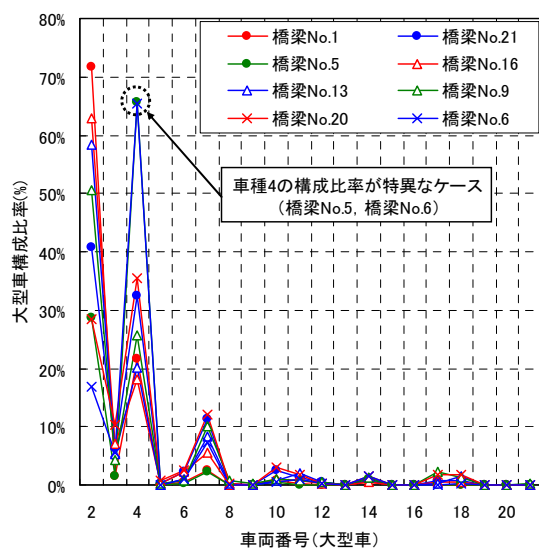


図 4.3.8 大型車混入率と BWIM 記録における大型車構成比率の関係 (大型車混入率 20%以下)

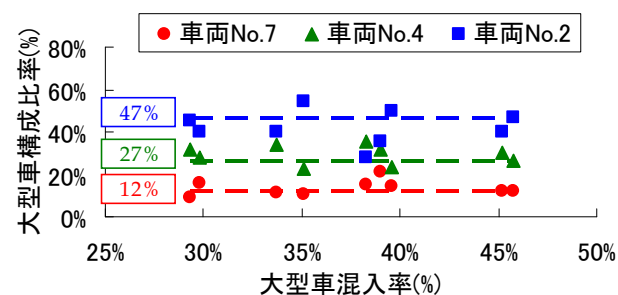
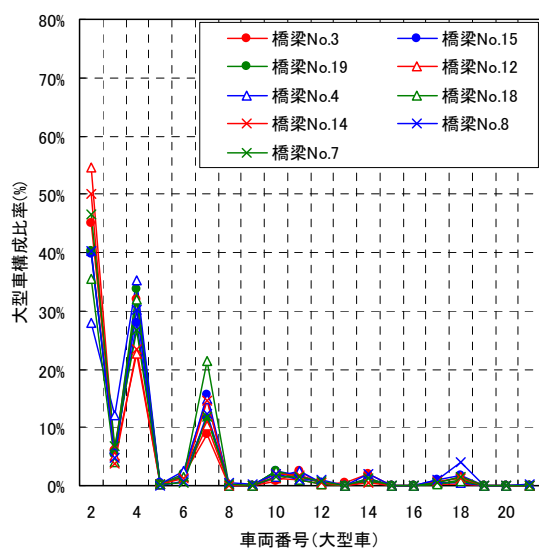


図 4.3.9 大型車混入率と BWIM 記録における大型車構成比率の関係 (大型車混入率 30%~50%)



### 3). 車両列のスナップショット作成の元とする BWIM 記録箇所の選定

車両列のスナップショット作成のための車種構成比率は、2).に示した特徴を考慮して大型車混入率 20%以下と 30～50%のそれぞれから代表的な BWIM 記録箇所を選定して設定する。

鋼道路橋の疲労設計指針（(社)日本道路協会、平成 14 年 3 月）の巻末参考資料に示されるように、疲労設計における活荷重補正係数は有明曙橋の交通特性を用いた数値シミュレーションの結果を参考に設定されている。また、道路橋の活荷重に関する既往の研究も有明曙橋における調査結果が使われることが多い<sup>7)</sup>。そこで、本研究でも図 4.3.6 の No.7 有明曙橋における BWIM 記録を基に車両列スナップショットを作成することを基本とした。

また、有明曙橋（道路交通センサスにおける大型車混入率 45.8%）の BWIM 記録だけではなく、車種構成比率の特徴が異なるように大型車混入率が 20%付近かそれより小さい BWIM 記録も用いてみる。以下に、大型車混入率が 20%以下となる橋梁の BWIM 記録から、これを代表する BWIM 記録の選定の考え方をまとめた。

- ①大型車混入率 20%付近（15%～25%）の BWIM 記録箇所を対象とする。なぜなら、大型車混入率 20%以下の BWIM 記録は車種 No.4,7 の構成比率が類似しているため、どの BWIM 記録を用いても大型車の同時載荷頻度は変わらないと予測できるためである。
- ②車両総重量が 25t を超える割合と車重上位 5%値が上位となる箇所を選定する。これは、本研究では、全国どこでも大型車両は走行しうるとの立場に立つものとし、車重上位 5%値が大きいほど橋の応答値に与える影響が大きいと考えたことによる。
- ③全国で通行している大型車の最大重量の載荷頻度を過小評価しないようにするため、選定箇所の BWIM 記録から大型車の車種構成の特性や橋の応答値に与える影響が大きい車両（セミトレーラ等の特殊車両）の構成比率を比較して BWIM 箇所を決定する。

大型車混入率 20%付近の BWIM 記録における車両重量の特性を表 4.3.5 に示す。車両重量の特性の観点から、橋梁 No.16 北方高架橋は車重 25t を超える車両の割合が他と比較して低いため、代表箇所に選定しない。また、橋梁 No.20 西藤高架橋と橋梁 No.13 小山跨道橋は車重 25t を超える車両の割合、車重上位 5%値ともに類似しているため、車重上位 5%値の小さい橋梁 No.20 は代表箇所に選定しない。

以上から、大型車混入率 20%付近の BWIM 記録として、以下の 4 橋が候補となりうる。

- No.5 河原木跨道橋（大型車混入率 16.1%）      No.6 村山大橋（大型車混入率 22.8%）  
 No.9 草加高架橋（大型車混入率 21.5%）      No.13 小山跨道橋（大型車混入率 20.2%）

表 4.3.5 大型車混入率 20%付近の BWIM 記録箇所の車両重量の特性

(a) 車重 25t を超える車両の割合

| 橋梁 No. | 橋梁名           | 大型車混入率 | 車重25t超の割合 |
|--------|---------------|--------|-----------|
| 6      | 村山大橋(国道13号)   | 22.8%  | 39.6%     |
| 5      | 河原木跨道橋(国道45号) | 16.1%  | 36.8%     |
| 9      | 草加高架橋(国道4号)   | 21.5%  | 11.3%     |
| 20     | 西藤高架橋(国道2号)   | 22.0%  | 11.1%     |
| 13     | 小山跨道橋(国道6号)   | 20.2%  | 9.4%      |
| 16     | 北方高架橋(国道22号)  | 18.5%  | 5.1%      |

(b) 車重上位 5%値

| 橋梁 No. | 橋梁名           | 大型車混入率 | 車重上位 5%値 |
|--------|---------------|--------|----------|
| 9      | 草加高架橋(国道4号)   | 21.5%  | 34       |
| 16     | 北方高架橋(国道22号)  | 18.5%  | 31       |
| 6      | 村山大橋(国道13号)   | 22.8%  | 30       |
| 13     | 小山跨道橋(国道6号)   | 20.2%  | 29       |
| 20     | 西藤高架橋(国道2号)   | 22.0%  | 28       |
| 5      | 河原木跨道橋(国道45号) | 16.1%  | 26       |

4 橋の候補に関して、BWIM 記録における車種構成比率を図 4.3.10(a)に示す。また、車両重量が大きい車種の代表として、車重上位 5%に占める主な車種の構成比率を図 4.3.10(b)に示す。

72 時間の BWIM 記録全体の車種構成は、車種 No.2,4,7 の出現比率が大きい。また、車重上位 5%に

占める車種構成は、車種 No.2, 4, 7, 14, 18 の出現比率が大きい。

BWIM 実施箇所別に見ると、No.5 河原木跨道橋、および No.6 村山大橋の車種構成は車種 No.4 の比率が特に大きく、他の BWIM 実施箇所とは特徴が異なる。車重上位 5% の車種構成は No.5 河原木跨道橋の方が車種 No.4 の比率が大きく、No.5 河原木跨道橋は他の BWIM 記録箇所とは異なる車種構成を有した計測データの代表として挙げられる。

また、No.9 草加高架橋、および No.13 小山跨道橋の車種構成は、No.13 小山跨道橋の方が大型車混入率が低いにも関わらず、No.13 小山跨道橋の方が車種 No.7, 18 のセミトレーラの占める比率が大きい。しかし、車種 No.2 や No.4 の出現比率はいずれの橋梁も No.7 有明曙橋よりも大きく大型車混入率 20% 以下の路線における特性が現れている。

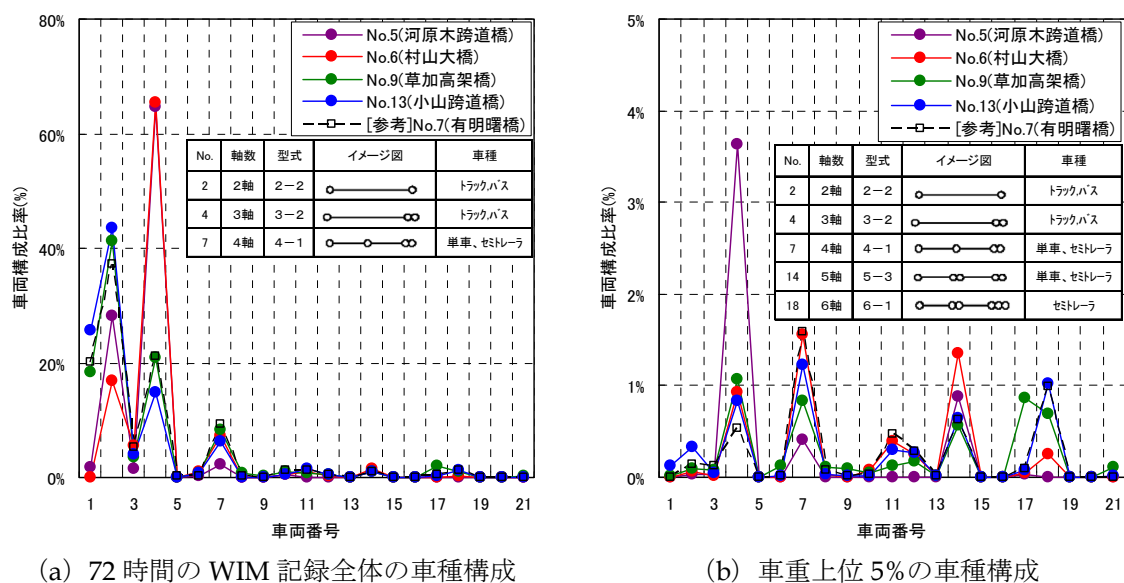


図 4.3.10 BWIM の計測データにおける車種構成比率

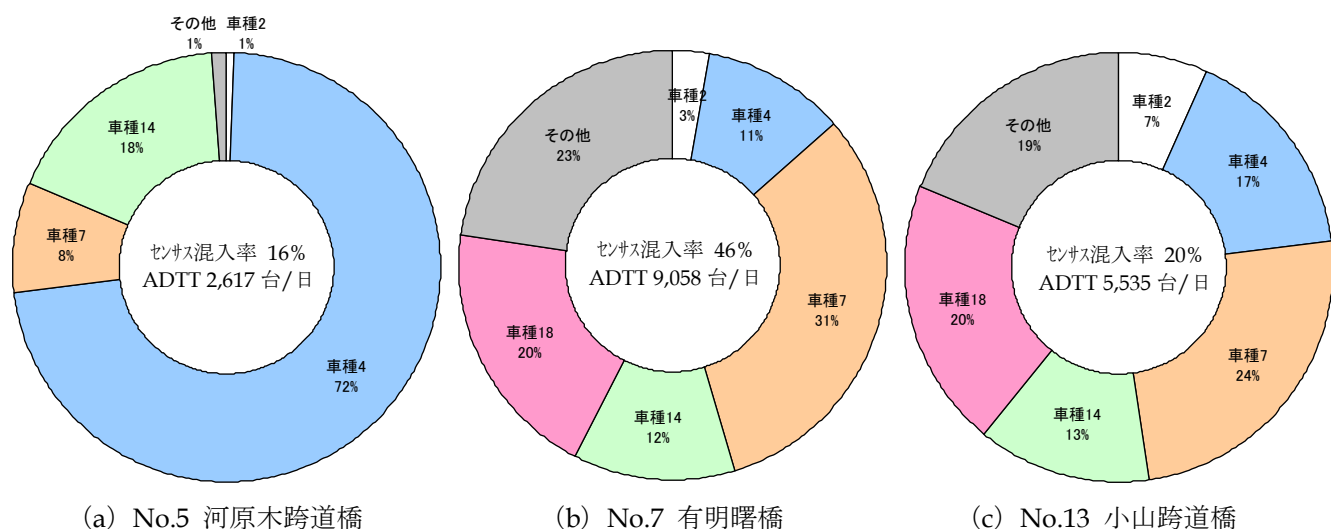


図 4.3.11 車重上位 5% に占める主な車種の比率

次に、車重上位 5% の車種構成比率が大きくなる車両を対象に、BWIM から得られた車両重量の特性を表 4.3.6 に示す。車種別の車両重量平均値に着目すると、BWIM の対象箇所の違いによる大きな差

異は見られない。なお、No.5 河原木跨道橋では車種 No.18 (6 軸のセミトレーラ) は出現していない。また、車種別の最大重量に着目すると、No.7 有明曙橋の計測値が最も大きな値を示す傾向にあり、No.5 河原木跨道橋は最も値が小さい。ただし、車種 No.2 は No.13 小山跨道橋の計測値の方が No.7 有明曙橋に比べて大きな値を示している。

以上から、大型車混入率 20%以下の BWIM 記録の代表としては、大型車は全国どの橋でも通行することを鑑みると、大型車の車種構成が大型車混入率 20%以下の路線における特性を有しており、かつ、橋の応答値に与える影響が大きい車両も通行している No.13 小山跨道橋を選定する。

表 4.3.6 車両重量上位 5%の車両構成比率が大きい車両の重量特性

| No. | 軸数  | 車種           | BWIM<br>箇所 | 車両重量分布の特性 (単位: tf) |      |      |      |      | 備考   |
|-----|-----|--------------|------------|--------------------|------|------|------|------|------|
|     |     |              |            | 分布型                | 平均   | 標準偏差 | 最小   | 最大   |      |
| 2   | 2 軸 | トラック<br>バス   | 有明         | 対数                 | 7.3  | 4.6  | 0.2  | 53.7 |      |
|     |     |              | 河原木        | 対数                 | 9.6  | 3.5  | 0.9  | 29.7 |      |
|     |     |              | 小山         | 対数                 | 7.4  | 5.2  | 0.1  | 77.8 |      |
| 4   | 3 軸 | トラック<br>バス   | 有明         | 対数                 | 17.6 | 6.5  | 3.2  | 68.4 |      |
|     |     |              | 河原木        | 対数                 | 20.8 | 5.4  | 6.1  | 39.0 |      |
|     |     |              | 小山         | 対数                 | 18.1 | 7.3  | 0.9  | 68.0 |      |
| 7   | 4 軸 | 単車<br>セミトレーラ | 有明         | 対数                 | 20.7 | 9.5  | 5.1  | 93.2 |      |
|     |     |              | 河原木        | 対数                 | 21.7 | 8.1  | 9.9  | 40.4 |      |
|     |     |              | 小山         | 対数                 | 21.4 | 9.4  | 1.8  | 70.2 |      |
| 14  | 5 軸 | 単車<br>セミトレーラ | 有明         | 対数                 | 38.6 | 14.9 | 14.7 | 92.7 |      |
|     |     |              | 河原木        | 対数                 | 38.4 | 9.0  | 14.5 | 49.7 |      |
|     |     |              | 小山         | 対数                 | 36.4 | 14.4 | 12.0 | 79.3 |      |
| 18  | 6 軸 | セミトレーラ       | 有明         | 対数                 | 43.9 | 12.1 | 14.8 | 96.1 |      |
|     |     |              | 河原木        | ---                | ---  | ---  | ---  | ---  | 出現なし |
|     |     |              | 小山         | 対数                 | 43.7 | 11.4 | 12.8 | 84.0 |      |

#### 4). 検討対象とする交通特性と BWIM データに基づいた大型車混入率の補正

##### a). 道路交通センサスのデータを用いた交通特性の整理

平成 22 年度に実施された道路交通センサス (<http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/>、2017 年 12 月 4 日時点)における一般国道(指定区間)と市道(主要地方道と市道)に関する大型車交通量と大型車混入率の関係を図 4.3.12～図 4.3.14 に示す。

一般国道(指定区間)の大型車混入率は 30%未満の路線が大半で、最大で 50%程度となる路線がある。そのため、荷重シミュレーションは平均大型車混入率を 30%とすることで大部分の路線を網羅した安全側の評価が可能となる。ただし、実際に起こりうる平均大型車混入率 50%の状況も対象とする。

また、市道の大型車混入率は 10%未満の路線が大半で、最大で 30%程度となる路線がある。

以上から、大型車の通行頻度に応じた大型車の同時載荷状況を考慮するために、平均大型車混入率を 10%, 30%, 50%とした場合を想定し、荷重シミュレーションにおいて選択できるようにする。また、平均大型車混入率 10%を想定する場合は、車両列スナップショットの作成に用いる BWIM 記録は有明曙橋と小山跨道橋の 2 種として、BWIM 記録の違いによる活荷重に乗じる荷重係数への影響の有無も評価する。

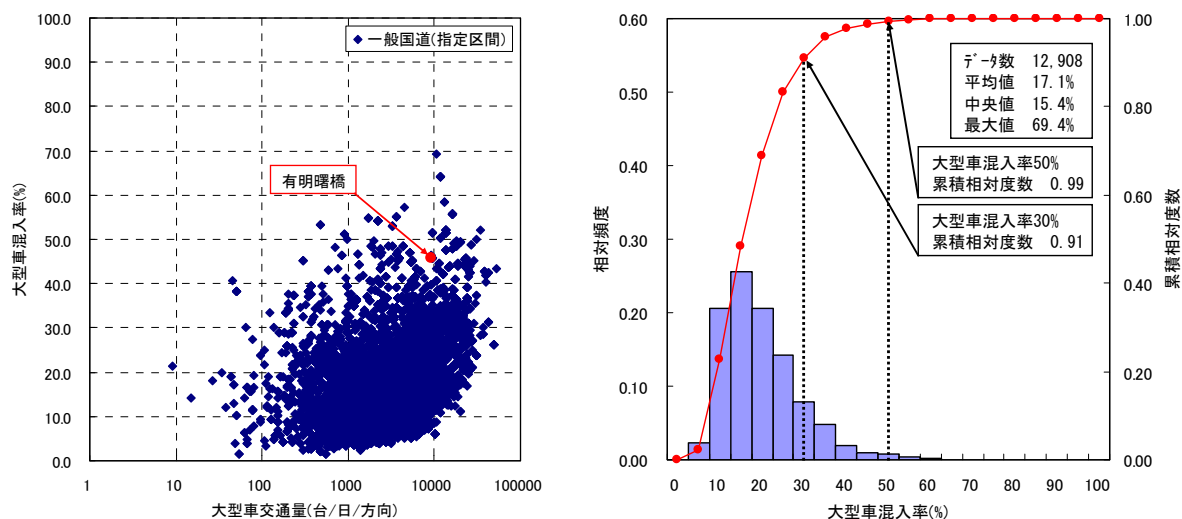


図 4.3.12 道路交通センサスデータにおける大型車交通量と大型車混入率の関係（一般国道）

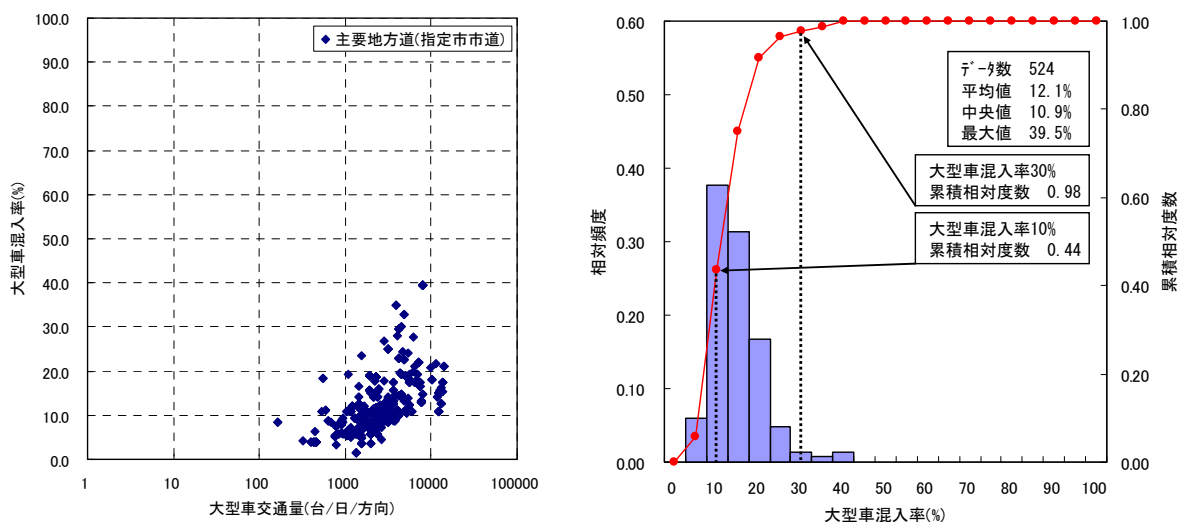


図 4.3.13 道路交通センサスデータにおける大型車交通量と大型車混入率の関係（主要地方道市道）

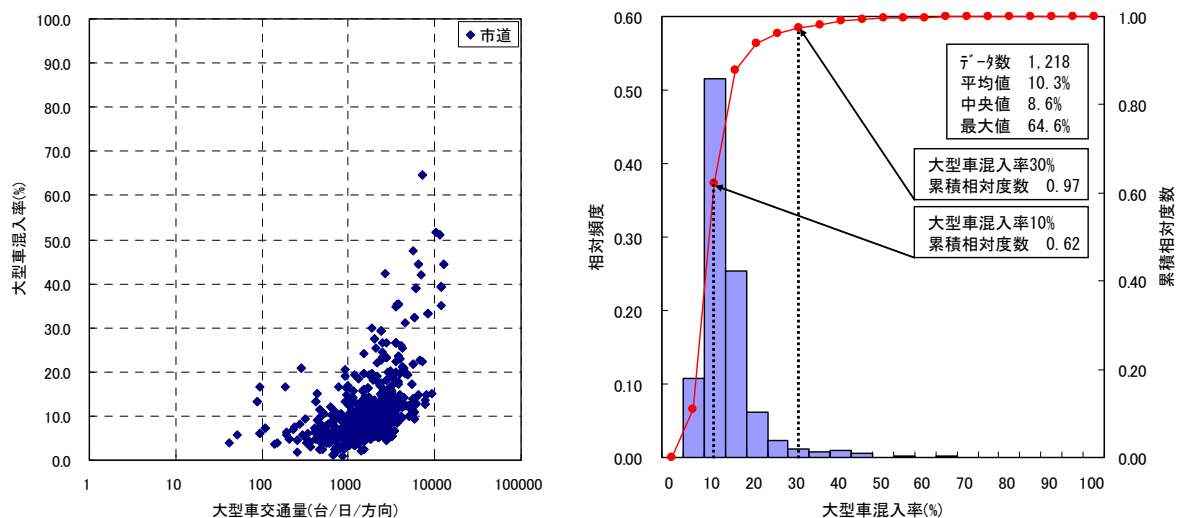


図 4.3.14 道路交通センサスデータにおける大型車交通量と大型車混入率の関係（市道）

b). BWIM データに基づいた大型車混入率の補正

本研究では、表 4.3.4 に示した BWIM における車種分類のうち車種 1（乗用車類）を除く車種 2～21 を大型車として扱う。BWIM で得られている車両構成比率を平均大型車混入率 10%, 30%, 50%に変換する方法は以下のとおりである。ここで、本研究で作成するスナップショットは、モンテカルロシミュレーションによって瞬間的な車両列を模擬し、作成するものであり、設定した平均大型車混入率とスナップショットにおける瞬間的な大型車混入率は異なるものとなる。平均大型車混入率を補正した後の平均的な車種構成比を表 4.3.7 に示す。

- ①設定した平均大型車混入率 10%, 30%, または 50%になるように乗用車（車種 No.1）の比率を 90%, 70%, または 50%とする。
- ②車種 No.2～21 の車両構成比率は、それらの間の構成比率を変えずに補正する。すなわち、計測の大型車混入率 X%を Y=10%, 30%, または 50%にするので、ある車種 No. i の BWIM で得られている構成比率  $x_i$ %を用いれば、変換後の構成比率は  $Y/X \times x_i$  %となる。

表 4.3.7 車両構成比の設定

(a) 有明曙橋の BWIM 記録を補正した結果

| No. | 軸数 | 車種        | イメージ図 | WIMによる<br>車両構成比 | 平均大型車混入率 |        |        |
|-----|----|-----------|-------|-----------------|----------|--------|--------|
|     |    |           |       |                 | 10%      | 30%    | 50%    |
| 1   | 2軸 | 乗用車など     |       | 23.41%          | 90.00%   | 70.00% | 50.00% |
| 2   | 2軸 | トラック、バス   |       | 36.07%          | 4.71%    | 14.13% | 23.55% |
| 3   | 3軸 | 単車、セミトレーラ |       | 5.38%           | 0.70%    | 2.11%  | 3.51%  |
| 4   | 3軸 | トラック、バス   |       | 19.70%          | 2.57%    | 7.72%  | 12.86% |
| 5   | 3軸 | 普通トラック    |       | 0.25%           | 0.03%    | 0.10%  | 0.16%  |
| 6   | 3軸 | その他3軸車    |       | 0.47%           | 0.06%    | 0.19%  | 0.31%  |
| 7   | 4軸 | 単車、セミトレーラ |       | 8.99%           | 1.17%    | 3.52%  | 5.87%  |
| 8   | 4軸 | セミトレーラ    |       | 0.26%           | 0.03%    | 0.10%  | 0.17%  |
| 9   | 4軸 | 単車        |       | 0.01%           | 0.00%    | 0.00%  | 0.01%  |
| 10  | 4軸 | 普通トラック    |       | 1.19%           | 0.16%    | 0.47%  | 0.78%  |
| 11  | 4軸 | その他4軸車    |       | 1.22%           | 0.16%    | 0.48%  | 0.80%  |
| 12  | 5軸 | セミトレーラ    |       | 0.49%           | 0.06%    | 0.19%  | 0.32%  |
| 13  | 5軸 | フルトレーラ    |       | 0.03%           | 0.00%    | 0.01%  | 0.02%  |
| 14  | 5軸 | 単車、セミトレーラ |       | 0.88%           | 0.12%    | 0.35%  | 0.58%  |
| 15  | 5軸 | 単車        |       | 0.00%           | 0.00%    | 0.00%  | 0.00%  |
| 16  | 5軸 | フルトレーラ    |       | 0.00%           | 0.00%    | 0.00%  | 0.00%  |
| 17  | 5軸 | その他5軸車    |       | 0.53%           | 0.07%    | 0.21%  | 0.34%  |
| 18  | 6軸 | セミトレーラ    |       | 1.09%           | 0.14%    | 0.43%  | 0.71%  |
| 19  | 6軸 | 単車        |       | 0.00%           | 0.00%    | 0.00%  | 0.00%  |
| 20  | 6軸 | 単車        |       | 0.00%           | 0.00%    | 0.00%  | 0.00%  |
| 21  | 6軸 | その他6軸車    |       | 0.01%           | 0.00%    | 0.01%  | 0.01%  |

(b) 小山跨道橋の BWIM 記録を補正した結果

| No. | 軸数 | 車種        | イメージ図 | WIMによる<br>車両構成比 | 平均大型車混入率 |        |
|-----|----|-----------|-------|-----------------|----------|--------|
|     |    |           |       |                 | 10%      | 30%    |
| 1   | 2軸 | 乗用車など     |       | 25.56%          | 90.00%   | 70.00% |
| 2   | 2軸 | トラック、バス   |       | 43.54%          | 5.85%    | 14.13% |
| 3   | 3軸 | 単車、セミトレーラ |       | 4.02%           | 0.31%    | 1.91%  |
| 4   | 3軸 | トラック、バス   |       | 14.90%          | 2.60%    | 7.72%  |
| 5   | 3軸 | 普通トラック    |       | 0.09%           | 0.01%    | 0.04%  |
| 6   | 3軸 | その他3軸車    |       | 0.68%           | 0.05%    | 0.32%  |
| 7   | 4軸 | 単車、セミトレーラ |       | 6.25%           | 0.80%    | 3.52%  |
| 8   | 4軸 | セミトレーラ    |       | 0.11%           | 0.01%    | 0.05%  |
| 9   | 4軸 | 単車        |       | 0.03%           | 0.00%    | 0.01%  |
| 10  | 4軸 | 普通トラック    |       | 0.52%           | 0.04%    | 0.25%  |
| 11  | 4軸 | その他4軸車    |       | 1.46%           | 0.11%    | 0.69%  |
| 12  | 5軸 | セミトレーラ    |       | 0.44%           | 0.03%    | 0.21%  |
| 13  | 5軸 | フルトレーラ    |       | 0.04%           | 0.00%    | 0.02%  |
| 14  | 5軸 | 単車、セミトレーラ |       | 1.02%           | 0.08%    | 0.48%  |
| 15  | 5軸 | 単車        |       | 0.00%           | 0.00%    | 0.00%  |
| 16  | 5軸 | フルトレーラ    |       | 0.00%           | 0.00%    | 0.00%  |
| 17  | 5軸 | その他5軸車    |       | 0.20%           | 0.02%    | 0.09%  |
| 18  | 6軸 | セミトレーラ    |       | 1.15%           | 0.09%    | 0.55%  |
| 19  | 6軸 | 単車        |       | 0.00%           | 0.00%    | 0.00%  |
| 20  | 6軸 | 単車        |       | 0.00%           | 0.00%    | 0.00%  |
| 21  | 6軸 | その他6軸車    |       | 0.02%           | 0.00%    | 0.01%  |

#### (4). 車両重量分布と車種別軸重比

BWIM で計測されている車種別の車両重量分布と軸重比を表 4.3.8 に示す。表中に示す車両重量の下限と上限は、それぞれ BWIM の計測値における最小値と最大値を示している。車両列スナップショットにおける車両重量は車両重量分布に従って算出した上で、下限値を下回る、または上限値を上回る値が算出された場合には、車両重量を下限値または上限値に置き換える処理を行う。

表 4.3.8 車両重量分布と軸重比

(a) 有明曙橋の BWIM 記録

| No. | 軸数 | 車種        | 車両重量分布の特性 [tonf] |      |      |      |       | 軸重比の平均値 |      |      |      |      |      |
|-----|----|-----------|------------------|------|------|------|-------|---------|------|------|------|------|------|
|     |    |           | 分布型              | 平均   | 標準偏差 | 下限   | 上限    | 1軸目     | 2軸目  | 3軸目  | 4軸目  | 5軸目  | 6軸目  |
| 1   | 2軸 | 乗用車など     | 対数正規分布           | 2.8  | 2.1  | 0.1  | 34.5  | 0.50    | 0.50 | —    | —    | —    | —    |
| 2   | 2軸 | トラック、バス   | 対数正規分布           | 7.3  | 4.6  | 0.2  | 53.7  | 0.44    | 0.56 | —    | —    | —    | —    |
| 3   | 3軸 | 単車、セミトレーラ | 対数正規分布           | 15.1 | 6.3  | 1.3  | 80.6  | 0.30    | 0.33 | 0.37 | —    | —    | —    |
| 4   | 3軸 | トラック、バス   | 対数正規分布           | 17.6 | 6.5  | 3.2  | 68.4  | 0.33    | 0.34 | 0.34 | —    | —    | —    |
| 5   | 3軸 | 普通トラック    | 対数正規分布           | 12.6 | 4.3  | 2.6  | 30.2  | 0.29    | 0.29 | 0.42 | —    | —    | —    |
| 6   | 3軸 | その他3軸車    | 対数正規分布           | 12.0 | 9.2  | 1.6  | 60.5  | 0.31    | 0.32 | 0.37 | —    | —    | —    |
| 7   | 4軸 | 単車、セミトレーラ | 対数正規分布           | 20.7 | 9.5  | 5.1  | 93.2  | 0.24    | 0.25 | 0.26 | 0.26 | —    | —    |
| 8   | 4軸 | セミトレーラ    | 対数正規分布           | 26.9 | 13.1 | 11.2 | 68.9  | 0.20    | 0.21 | 0.21 | 0.38 | —    | —    |
| 9   | 4軸 | 単車        | 一樣分布             | 41.7 | —    | 39.3 | 46.2  | 0.40    | 0.20 | 0.20 | 0.20 | —    | —    |
| 10  | 4軸 | 普通トラック    | 対数正規分布           | 16.2 | 6.7  | 6.5  | 74.2  | 0.23    | 0.24 | 0.27 | 0.27 | —    | —    |
| 11  | 4軸 | その他4軸車    | 対数正規分布           | 26.6 | 12.5 | 9.5  | 100.4 | 0.24    | 0.25 | 0.26 | 0.25 | —    | —    |
| 12  | 5軸 | セミトレーラ    | 対数正規分布           | 31.1 | 12.6 | 9.6  | 70.0  | 0.20    | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | —    |
| 13  | 5軸 | フルトレーラ    | 一樣分布             | 30.1 | —    | 10.7 | 65.4  | 0.20    | 0.17 | 0.17 | 0.25 | 0.22 | —    |
| 14  | 5軸 | 単車、セミトレーラ | 対数正規分布           | 38.6 | 14.9 | 14.7 | 92.7  | 0.17    | 0.18 | 0.18 | 0.23 | 0.23 | —    |
| 15  | 5軸 | 単車        | 一樣分布             | 36.3 | —    | 36.0 | 36.5  | 0.82    | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | —    |
| 16  | 5軸 | フルトレーラ    | —                | —    | —    | —    | —     | —       | —    | —    | —    | —    | —    |
| 17  | 5軸 | その他5軸車    | 対数正規分布           | 24.4 | 16.4 | 8.9  | 120.8 | 0.13    | 0.14 | 0.24 | 0.25 | 0.24 | —    |
| 18  | 6軸 | セミトレーラ    | 対数正規分布           | 43.9 | 12.1 | 14.8 | 96.1  | 0.13    | 0.15 | 0.15 | 0.19 | 0.19 | 0.19 |
| 19  | 6軸 | 単車        | —                | —    | —    | —    | —     | —       | —    | —    | —    | —    | —    |
| 20  | 6軸 | 単車        | —                | —    | —    | —    | —     | —       | —    | —    | —    | —    | —    |
| 21  | 6軸 | その他6軸車    | 一樣分布             | 53.8 | —    | 22.4 | 116.5 | 0.16    | 0.14 | 0.23 | 0.21 | 0.12 | 0.13 |

(b) 小山跨道橋の BWIM 記録

| No. | 軸数 | 車種        | 車両重量分布の特性 [tonf] |      |      |      |      | 軸重比の平均値 |      |      |      |      |      |
|-----|----|-----------|------------------|------|------|------|------|---------|------|------|------|------|------|
|     |    |           | 分布型              | 平均   | 標準偏差 | 下限   | 上限   | 1軸目     | 2軸目  | 3軸目  | 4軸目  | 5軸目  | 6軸目  |
| 1   | 2軸 | 乗用車など     | 対数正規分布           | 4.7  | 4.7  | 0.1  | 61.1 | 0.51    | 0.49 | —    | —    | —    | —    |
| 2   | 2軸 | トラック、バス   | 対数正規分布           | 7.4  | 5.2  | 0.1  | 77.8 | 0.45    | 0.55 | —    | —    | —    | —    |
| 3   | 3軸 | 単車、セミトレーラ | 対数正規分布           | 14.1 | 5.5  | 0.5  | 49.4 | 0.27    | 0.35 | 0.38 | —    | —    | —    |
| 4   | 3軸 | トラック、バス   | 対数正規分布           | 18.1 | 7.3  | 0.9  | 68.0 | 0.28    | 0.36 | 0.36 | —    | —    | —    |
| 5   | 3軸 | 普通トラック    | 対数正規分布           | 12.3 | 5.0  | 2.0  | 22.1 | 0.33    | 0.33 | 0.34 | —    | —    | —    |
| 6   | 3軸 | その他3軸車    | 対数正規分布           | 12.8 | 7.4  | 0.7  | 44.8 | 0.29    | 0.32 | 0.39 | —    | —    | —    |
| 7   | 4軸 | 単車、セミトレーラ | 対数正規分布           | 21.4 | 9.4  | 1.8  | 70.2 | 0.22    | 0.24 | 0.27 | 0.27 | —    | —    |
| 8   | 4軸 | セミトレーラ    | 一樣分布             | 23.5 | —    | 8.5  | 57.8 | 0.18    | 0.22 | 0.22 | 0.37 | —    | —    |
| 9   | 4軸 | 単車        | 一樣分布             | 36.5 | —    | 12.2 | 57.1 | 0.44    | 0.19 | 0.19 | 0.19 | —    | —    |
| 10  | 4軸 | 普通トラック    | 対数正規分布           | 17.0 | 8.7  | 0.2  | 83.2 | 0.23    | 0.23 | 0.27 | 0.27 | —    | —    |
| 11  | 4軸 | その他4軸車    | 対数正規分布           | 21.5 | 9.9  | 1.6  | 94.7 | 0.23    | 0.26 | 0.26 | 0.25 | —    | —    |
| 12  | 5軸 | セミトレーラ    | 対数正規分布           | 31.1 | 11.7 | 8.8  | 66.9 | 0.18    | 0.20 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | —    |
| 13  | 5軸 | フルトレーラ    | 一樣分布             | 29.8 | —    | 13.6 | 81.8 | 0.13    | 0.18 | 0.18 | 0.25 | 0.25 | —    |
| 14  | 5軸 | 単車、セミトレーラ | 対数正規分布           | 36.4 | 14.4 | 12.0 | 79.3 | 0.15    | 0.17 | 0.17 | 0.26 | 0.26 | —    |
| 15  | 5軸 | 単車        | —                | —    | —    | —    | —    | —       | —    | —    | —    | —    | —    |
| 16  | 5軸 | フルトレーラ    | —                | —    | —    | —    | —    | —       | —    | —    | —    | —    | —    |
| 17  | 5軸 | その他5軸車    | 対数正規分布           | 27.8 | 13.5 | 11.5 | 71.6 | 0.16    | 0.16 | 0.20 | 0.24 | 0.23 | —    |
| 18  | 6軸 | セミトレーラ    | 対数正規分布           | 43.7 | 11.4 | 12.8 | 84.0 | 0.12    | 0.14 | 0.14 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| 19  | 6軸 | 単車        | —                | —    | —    | —    | —    | —       | —    | —    | —    | —    | —    |
| 20  | 6軸 | 単車        | —                | —    | —    | —    | —    | —       | —    | —    | —    | —    | —    |
| 21  | 6軸 | その他6軸車    | 一樣分布             | 36.2 | —    | 22.4 | 41.6 | 0.09    | 0.14 | 0.15 | 0.21 | 0.21 | 0.21 |

※表中の下限および上限は、BWIM の計測値における最小値と最大値を示す。

### (5). 車種別軸間距離

BWIM で計測されている車種別の軸間距離を表 4.3.9 に示す。車両列スナップショットにおける車種別軸間距離にはばらつきは考慮せずに表 4.3.9 に示す値を確定値として用いる。

表 4.3.9 車種別軸間距離

(a) 有明曙橋の BWIM 記録

| No. | 軸数 | 車種        | 軸間距離の平均値[m] |       |      |      |      |
|-----|----|-----------|-------------|-------|------|------|------|
|     |    |           | 1-2         | 2-3   | 3-4  | 4-5  | 5-6  |
| 1   | 2軸 | 乗用車など     | 2.73        | —     | —    | —    | —    |
| 2   | 2軸 | トラック、バス   | 4.43        | —     | —    | —    | —    |
| 3   | 3軸 | 単車、セミトレーラ | 2.60        | 6.25  | —    | —    | —    |
| 4   | 3軸 | トラック、バス   | 4.62        | 1.25  | —    | —    | —    |
| 5   | 3軸 | 普通トラック    | 1.40        | 5.14  | —    | —    | —    |
| 6   | 3軸 | その他3軸車    | 3.44        | 9.56  | —    | —    | —    |
| 7   | 4軸 | 単車、セミトレーラ | 2.63        | 5.57  | 1.25 | —    | —    |
| 8   | 4軸 | セミトレーラ    | 3.14        | 1.32  | 7.16 | —    | —    |
| 9   | 4軸 | 単車        | 5.57        | 1.30  | 1.32 | —    | —    |
| 10  | 4軸 | 普通トラック    | 1.40        | 4.69  | 1.13 | —    | —    |
| 11  | 4軸 | その他4軸車    | 3.36        | 7.88  | 1.63 | —    | —    |
| 12  | 5軸 | セミトレーラ    | 3.32        | 6.08  | 1.30 | 1.33 | —    |
| 13  | 5軸 | フルトレーラ    | 3.62        | 1.32  | 7.11 | 2.30 | —    |
| 14  | 5軸 | 単車、セミトレーラ | 3.18        | 1.30  | 6.47 | 1.27 | —    |
| 15  | 5軸 | 単車        | 2.80        | 1.20  | 0.90 | 1.00 | —    |
| 16  | 5軸 | フルトレーラ    | —           | —     | —    | —    | —    |
| 17  | 5軸 | その他5軸車    | 3.61        | 10.16 | 4.24 | 1.96 | —    |
| 18  | 6軸 | セミトレーラ    | 3.12        | 1.31  | 5.70 | 1.28 | 1.31 |
| 19  | 6軸 | 単車        | —           | —     | —    | —    | —    |
| 20  | 6軸 | 単車        | —           | —     | —    | —    | —    |
| 21  | 6軸 | その他6軸車    | 3.45        | 1.97  | 4.62 | 1.40 | 1.40 |

(b) 小山跨道橋の BWIM 記録

| No. | 軸数 | 車種        | 軸間距離の平均値[m] |      |      |      |      |
|-----|----|-----------|-------------|------|------|------|------|
|     |    |           | 1-2         | 2-3  | 3-4  | 4-5  | 5-6  |
| 1   | 2軸 | 乗用車など     | 2.60        | —    | —    | —    | —    |
| 2   | 2軸 | トラック、バス   | 4.46        | —    | —    | —    | —    |
| 3   | 3軸 | 単車、セミトレーラ | 2.58        | 5.97 | —    | —    | —    |
| 4   | 3軸 | トラック、バス   | 5.17        | 1.32 | —    | —    | —    |
| 5   | 3軸 | 普通トラック    | 1.36        | 4.63 | —    | —    | —    |
| 6   | 3軸 | その他3軸車    | 2.92        | 6.83 | —    | —    | —    |
| 7   | 4軸 | 単車、セミトレーラ | 2.64        | 5.62 | 1.29 | —    | —    |
| 8   | 4軸 | セミトレーラ    | 3.11        | 1.34 | 6.63 | —    | —    |
| 9   | 4軸 | 単車        | 6.21        | 1.30 | 1.32 | —    | —    |
| 10  | 4軸 | 普通トラック    | 1.40        | 4.49 | 1.19 | —    | —    |
| 11  | 4軸 | その他4軸車    | 3.09        | 7.58 | 1.61 | —    | —    |
| 12  | 5軸 | セミトレーラ    | 3.20        | 5.95 | 1.33 | 1.32 | —    |
| 13  | 5軸 | フルトレーラ    | 3.26        | 1.29 | 5.39 | 3.03 | —    |
| 14  | 5軸 | 単車、セミトレーラ | 3.12        | 1.34 | 6.83 | 1.28 | —    |
| 15  | 5軸 | 単車        | —           | —    | —    | —    | —    |
| 16  | 5軸 | フルトレーラ    | —           | —    | —    | —    | —    |
| 17  | 5軸 | その他5軸車    | 3.25        | 9.09 | 4.23 | 2.20 | —    |
| 18  | 6軸 | セミトレーラ    | 3.04        | 1.33 | 5.55 | 1.29 | 1.29 |
| 19  | 6軸 | 単車        | —           | —    | —    | —    | —    |
| 20  | 6軸 | 単車        | —           | —    | —    | —    | —    |
| 21  | 6軸 | その他6軸車    | 3.44        | 1.58 | 6.68 | 1.48 | 1.46 |

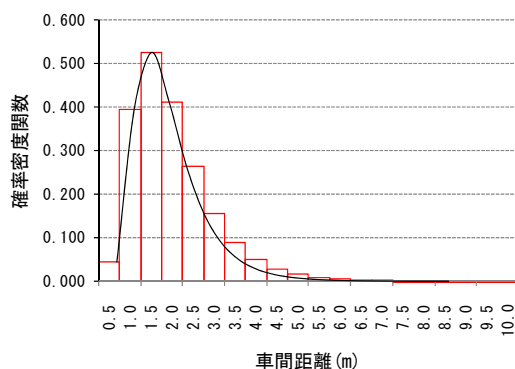
### (6). 車間距離分布

渋滞時と通常走行時の 2 種類の時間区分帯における車間距離の確率モデルを設定する。

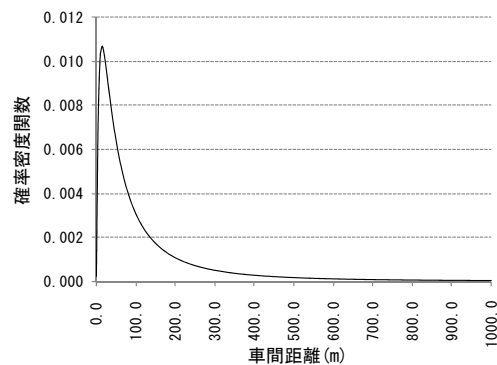
渋滞時の車間距離は、国道 1 号信号交差点で行われた調査結果<sup>7)</sup>から設定する。また、通常走行時の車間距離は、平成 18 年度に国土技術政策総合研究所が行った車間距離の実測データ<sup>5)</sup>を参考に設定する。シミュレーションで用いる車間距離を表 4.3.10、車間距離の分布を図 4.3.15 に示す。

表 4.3.10 車間距離の入力データ（対数正規分布）

|       | 平均    | 標準偏差  | 下限値 | 上限値    | データ       |
|-------|-------|-------|-----|--------|-----------|
| 渋滞時   | 2.0   | 1.0   | 0.5 | 10.0   | 国道 1 号交差点 |
| 通常走行時 | 135.0 | 248.4 | 0.5 | 1000.0 | 地藏橋       |



(a) 渋滞時



(b) 通常走行時

図 4.3.15 車間距離分布図



## (7). 横方向走行位置分布（横ぶれ）

実交通においては車線内で個々の車両の走行位置は一定せず、ある範囲で横ぶれを有する。そのため、橋梁の構造特性によってはシミュレーションに用いる荷重列の中心線を車線内で一致させて載荷した場合と、車線内の載荷位置にばらつきを持たせた場合では、得られる橋梁各部の応答値の分布に無視できない差異が生じることも可能性として考えられる。そこで、スナップショットに含まれる各車両について、それぞれ車両中心線と車線中心線が一致したときをゼロとして、そこからの横ぶれ量を以下に示すような確率モデルを用いて確率的に与える。

平成 18 年度に行われた橋軸直角方向における車両走行位置に関する実測値<sup>5)</sup>を表 4.3.11 に示す。また、実測データの例を図 4.3.16 に示す。車線内の横ぶれの特徴は、車線幅員、路肩幅員、走行速度、車線数など様々な要因によっても影響を受けると考えられる。実測データが十分でないものの、実測データでは交通特性の相違にもかかわらず概ね同じ傾向を示したこと、各調査橋梁の標準偏差は概ね 0.3m であることから、車両中心線と車線中心線が一致したときをゼロとして標準偏差 0.3m の正規分布を用いることとした。

なお、観測されたデータでは最大値が車線幅員を超えるケースがあるが、これは車線変更を捉えたものと考えられる。実際の渋滞時には車線変更が行われることは稀であることから、シミュレーションに際しては横ぶれの上限值として、車線幅員境界または車道端部（路側帯の側）を別途与えた。

表 4.3.11 車両の横ぶれに関する実測データ

|       | 車線 | 標準偏差[m] | 左最大[m]    | 右最大[m] |
|-------|----|---------|-----------|--------|
| 地藏橋   | 1  | 0.31    | 0.89      | 1.05   |
|       | 2  | 0.29    | 0.99      | 1.40   |
| 小山高架橋 | 1  | 0.31    | 1.85      | 2.26   |
|       | 2  | 0.33    | 2.13      | 0.73   |
| 蓮沼橋   | 1  | 0.36    | 1.16      | 1.97   |
|       | 2  | 0.29    | 1.60      | 0.79   |
|       | 3  | 0.25    | 0.74      | 1.91   |
|       | 4  | 0.30    | 3.05      | 1.20   |
| 使用データ |    | 0.30    | 車線端または地覆端 |        |

※「左最大」、「右最大」は計測時画像データにおける車線左側、右側のぶれの最大値を示す。

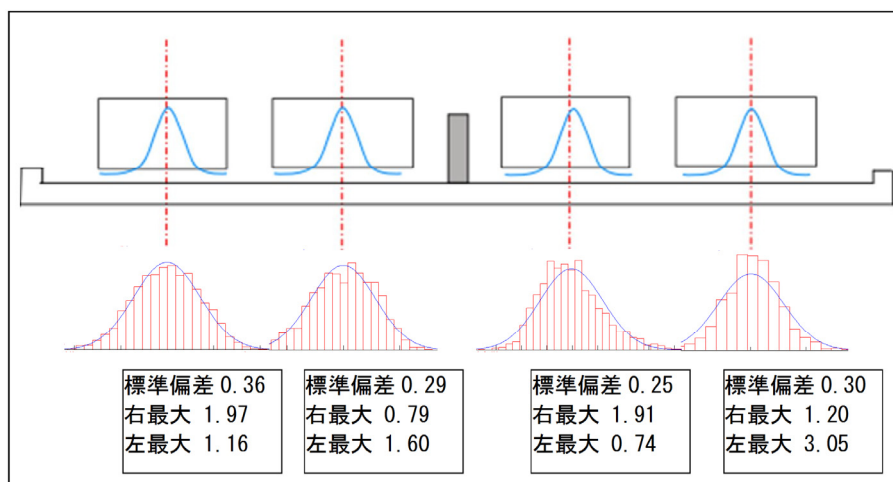


図 4.3.16 横ぶれ特性の分布形状の例（蓮沼橋）



#### (8). 輪距・オーバーハング

車体の前オーバーハング( $L_f$ )、および後オーバーハング( $L_r$ )は表 4.3.12 に示す値を用いた。また、輪距( $B$ )については車種によらず 1.75m とし、車幅方向( $B_e$ )については 0.25m とした (図 4.3.18 参照)。

表 4.3.12 車体前後のオーバーハング

| 車種 | 前オーバーハング<br>( $L_f$ ) | 後オーバーハング<br>( $L_r$ ) |
|----|-----------------------|-----------------------|
| 1  | 0.60 m                | 1.00 m                |
| 2  | 0.60 m                | 1.00 m                |
| 3  | 0.60 m                | 1.00 m                |
| 4  | 0.60 m                | 1.00 m                |
| 5  | 1.00 m                | 1.50 m                |
| 6  | 1.00 m                | 1.50 m                |
| 7  | 1.20 m                | 1.65 m                |
| 8  | 1.20 m                | 1.65 m                |
| 9  | 1.20 m                | 1.65 m                |
| 10 | 1.20 m                | 1.65 m                |
| 11 | 1.20 m                | 1.65 m                |
| 12 | 1.20 m                | 1.65 m                |
| 13 | 1.20 m                | 1.65 m                |
| 14 | 1.20 m                | 1.65 m                |
| 15 | 1.20 m                | 1.35 m                |
| 16 | 1.20 m                | 1.35 m                |
| 17 | 1.20 m                | 2.35 m                |
| 18 | 1.20 m                | 2.35 m                |
| 19 | 1.20 m                | 2.50 m                |
| 20 | 1.20 m                | 2.50 m                |
| 21 | 1.20 m                | 2.50 m                |

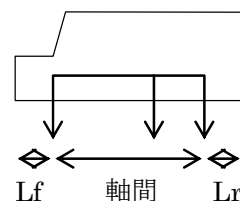


図 4.3.17 車体前後のオーバーハング

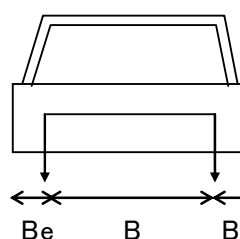


図 4.3.18 輪距と車体左右のオーバーハング

#### 4.3.3. 車両列スナップショットを用いた活荷重断面力の算出

上述の入力データを基に作成したスナップショットを橋に載荷し、活荷重断面力を算出する。

スナップショットを用いて作成した車列による活荷重断面力は、図 4.3.19 に示すような格子解析から算出した着目点の影響線を用いて算出する。なお、本研究では橋梁上に車両が満載された状態を対象に荷重係数を算出するものとし、確率的に作成したスナップショットのまま、影響面の縦距が負となる範囲にも車列を載荷している。ただし、道路橋示方書に準じた設計は、着目部材にとって不利な状況となるように、設計活荷重を影響線の縦距が正の値となる範囲のみに載荷する影響線載荷が前提とされている。既往の研究<sup>79)</sup>では橋梁上に車両が満載された状態を対象に荷重係数を算出するものとしていること、米国 AASHTO および欧州 Eurocode でも影響線載荷自体は確率的な考え方で見直す検討は行われていないこと、実際には様々な要因による渋滞や車両走行位置の変更が生じうることから考えて、影響線載荷の方法について確率的な検討を加えることは本研究の対象外としている。

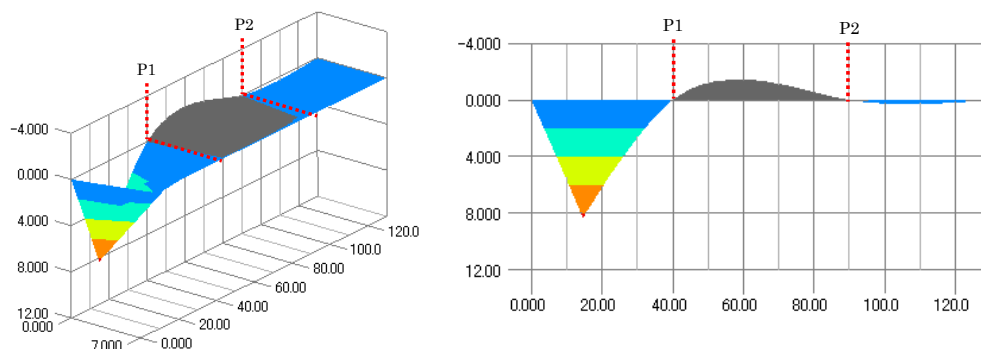


図 4.3.19 格子解析による影響面の例 (3 径間連続桁の側径間中央曲げに着目)

最終的に、荷重シミュレーションにおける活荷重によるある時刻  $t$  の断面力  $X_L(t)$  は式 (4.3.1) によって算出する。

$$X_L(t) = (1 + I) \cdot x_L(t) \dots\dots\dots (4.3.1)$$

ここに、 $x_L$  : 車両列スナップショットによる断面力

$I$  : 道路橋示方書（平成 24 年）による衝撃係数

#### 4.4. 温度変化の影響(TH)

シミュレーションにおける温度変化の影響による断面力の算出フローを図 4.4.1 に示す。また、温度変化の影響の载荷方法の模式図を図 4.4.2 に示す。

温度変化の影響は、常に生じるものである。そこで、荷重シミュレーションの全時間区間に考慮するものとし、最高気温と最低気温が 6 区間間隔（12 時間間隔に相当）で交互に発生するものとした。また、その他の区間は最高気温と最低気温の間を連続的に変化すると仮定して、正弦波で補間するものとした。なお、シミュレーションでは部材相互の温度差による影響(TF)は考慮しない。

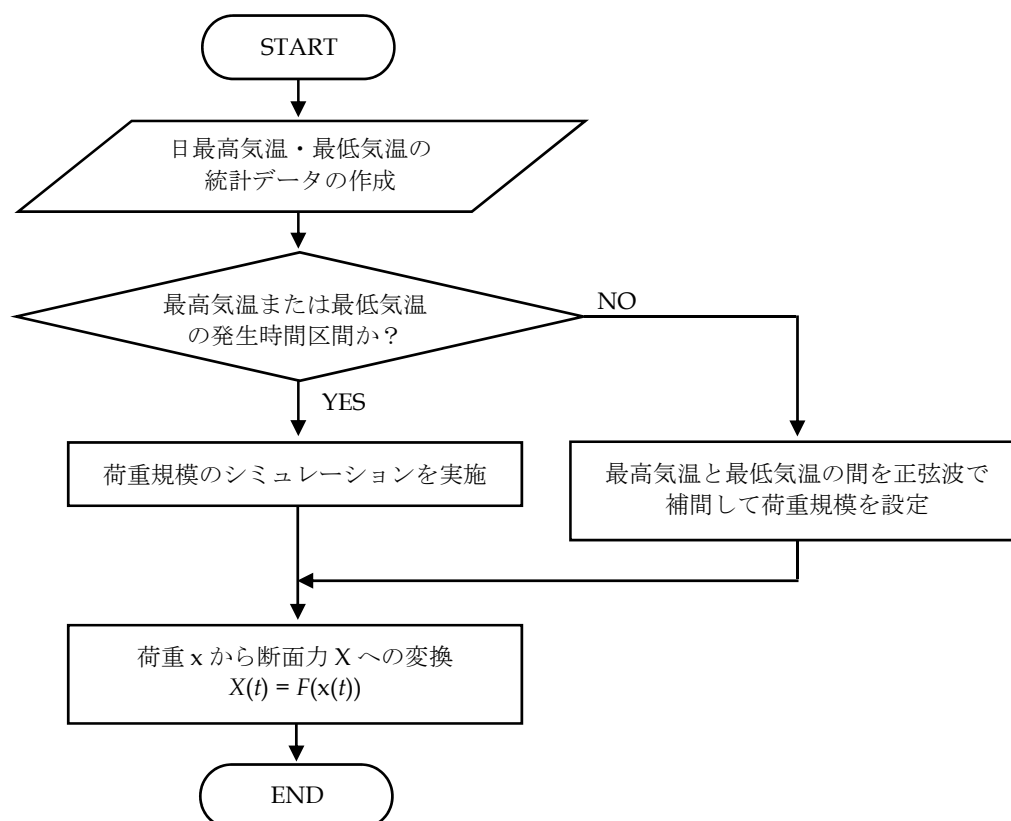


図 4.4.1 温度変化の影響による断面力の算出フロー

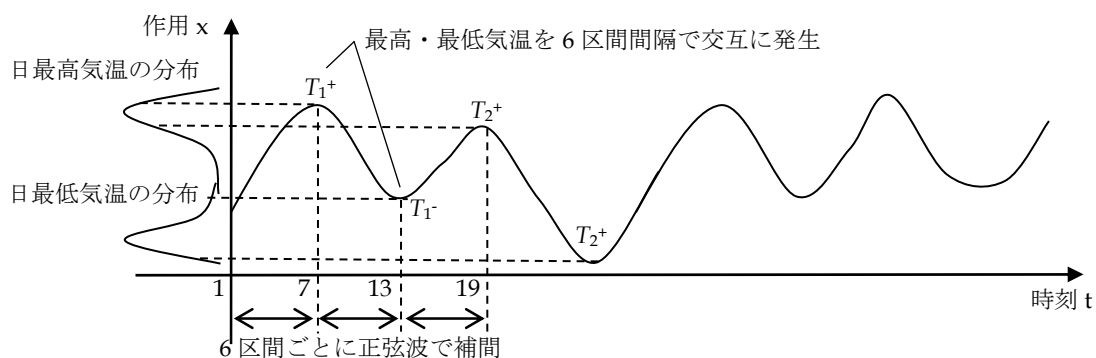


図 4.4.2 温度荷重载荷方法の模式図

4.4.1. 最高・最低気温の確率モデル

(1). 気象庁の観測データの整理

既往の統計調査結果<sup>1)</sup>では、旭川・大阪・鹿児島を対象に、表 4.4.1 に示すような年最高気温と年最低気温の観測値を整理している。同調査結果では、最高気温の分布は全国で地域差が無く、最低気温は地域差があることが報告されている。そこで、道路橋示方書（平成 24 年）の 2 区分に合わせて、それぞれを代表する観測地点を設定する。

表 4.4.1 既往の統計調査結果<sup>1)</sup>における年最高気温と年最低気温の特性（単位：℃）

| 調査対象 | 年最高気温 |      |       |       | 年最低気温  |      |        |        |
|------|-------|------|-------|-------|--------|------|--------|--------|
|      | 平均値   | 標準偏差 | 最大値   | 最小値   | 平均値    | 標準偏差 | 最大値    | 最小値    |
| 旭川   | 32.85 | 1.34 | 35.90 | 29.50 | -28.77 | 4.42 | -21.60 | -41.00 |
| 大阪   | 35.76 | 0.98 | 38.50 | 34.00 | -3.80  | 1.21 | 0.30   | -7.50  |
| 鹿児島  | 34.37 | 1.02 | 37.00 | 31.40 | -3.88  | 1.21 | -0.90  | -6.70  |

本研究では、表 4.4.1 に示した結果を参考に、温度荷重の確率モデルを作成する上で着目する地点を選定した。具体的には、調査対象の中で年最高気温の最大値が大きい大阪を普通の地方、年最低気温の最小値が小さい旭川を寒冷な地方の代表地点とした。ここで、本研究で対象とする全ての橋梁は、普通の地方は大阪、寒冷な地方は旭川を代表地点として確率モデルを与えるものとし、架橋地点の地域に応じた確率モデルの設定は行っていない。

気象庁においては 1883 年以降の観測データがあり、日最高気温、日最低気温、および日平均気温が整理されている。本研究では、気象庁の観測データを基に日最高気温、最低気温の月平均値に関する年ごとの最大値と最小値を整理する。大阪と旭川における季節区分ごとの日最高気温、最低気温の月平均値に関する年ごとの最大値と最小値の分布をそれぞれ図 4.4.3 および図 4.4.4 に示す。

(2). 観測データに基づいた最高・最低気温の確率密度関数の仮定

確率密度関数は正規分布、対数正規分布、極値Ⅰ型分布、極値Ⅲ型分布などで近似が可能である。それぞれの近似式の適合度は K-S 検定によって確認した。K-S 検定結果を表 4.4.2 および表 4.4.3 に示す。

(3). 気温から構造物温度への変換

構造物に作用する温度変化は、既往の統計調査結果<sup>9)</sup>における鋼製橋脚の構造物温度の測定結果を参考に、気温から構造物温度への相関式を式 (4.4.1) のように仮定した。なお、この相関式の有する不確実性は標準偏差 1.35℃程度であり、-10℃から 50℃というオーダーに対して小さいと考え、本研究では無視した。

$$G(x) = 1.04x + 2.70 \dots\dots\dots (4.4.1)$$

ここに、x : 気温

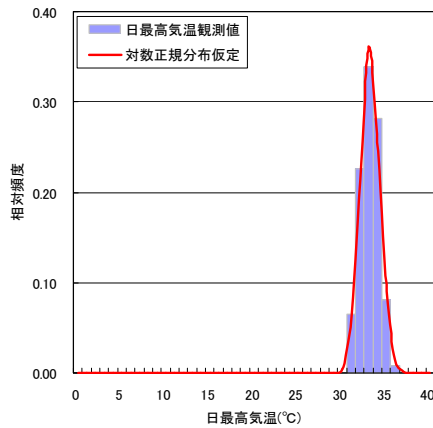
G(x) : 構造物温度

道路橋示方書（平成 24 年）Ⅰ 共通編 2.2.10 の条文に示される鋼構造の温度変化の影響は、構造物における温度変化の範囲を -10℃から +50℃（寒冷な地域においては -30℃から +50℃）としている。よって、温度変化の影響を気温に換算すると以下に示す値となる。

- 【普通の地方】 高温側 :  $(50 - 2.70) / 1.04 = 45.5[℃]$     低温側 :  $(-10 - 2.70) / 1.04 = -12.2[℃]$   
【寒冷な地方】 高温側 :  $(50 - 2.70) / 1.04 = 45.5[℃]$     低温側 :  $(-30 - 2.70) / 1.04 = -31.4[℃]$

表 4.4.2 日最高気温の月平均値に関する年最大値の確率密度関数の近似

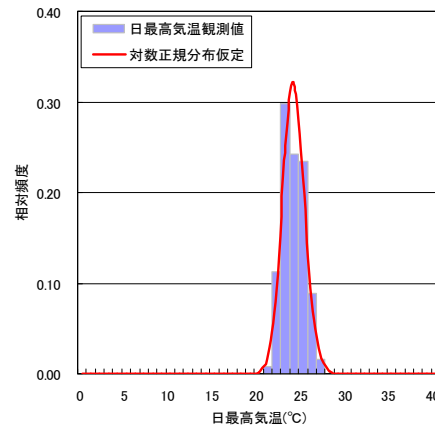
| 対象地域          | 対象時期                | K-S検定結果 |        |          |            |
|---------------|---------------------|---------|--------|----------|------------|
|               |                     | 正規分布    | 対数正規分布 | 極値分布(I型) | 極値分布(III型) |
| 普通の地域<br>(大阪) | 台風期(6月～10月)         | 0.06    | 0.06   | 0.11     | 0.08       |
|               | 上記以外(1～5月、11月、12月)  | 0.07    | 0.06   | 0.09     | 0.08       |
| 寒冷的地域<br>(旭川) | 台風期(6月～10月)         | 0.06    | 0.06   | 0.11     | 0.08       |
|               | 寒冷期(積雪有)(1～3月、12月)  | 0.06    | 0.06   | 0.09     | 0.06       |
|               | 寒冷期(積雪無)(4月、5月、11月) | 0.07    | 0.06   | 0.09     | 0.08       |



1883年～2006年の観測結果を使用

分布型 : 対数正規分布  
標本数 : 124  
平均値 : 32.665 °C  
標準偏差 : 1.063 °C  
最大値 : 35.100 °C  
最小値 : 30.300 °C

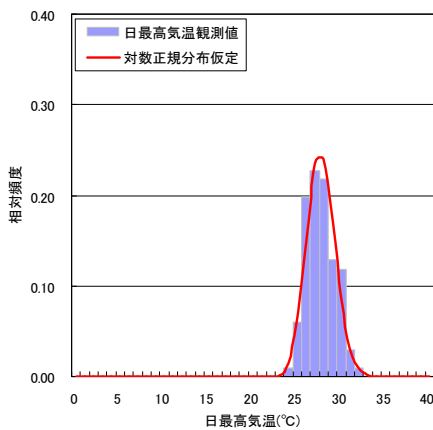
区分 A(大阪) 6～10 月



1883年～2006年の観測結果を使用

分布型 : 対数正規分布  
標本数 : 124  
平均値 : 23.449 °C  
標準偏差 : 1.200 °C  
最大値 : 26.700 °C  
最小値 : 21.000 °C

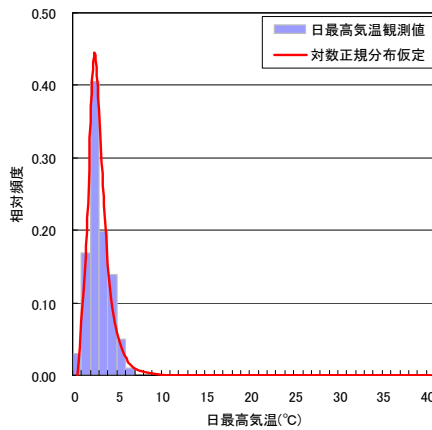
区分 A(大阪) 1～5 月,11,12 月



1907年～2006年の観測結果を使用

分布型 : 対数正規分布  
標本数 : 101  
平均値 : 27.192 °C  
標準偏差 : 1.573 °C  
最大値 : 31.100 °C  
最小値 : 23.500 °C

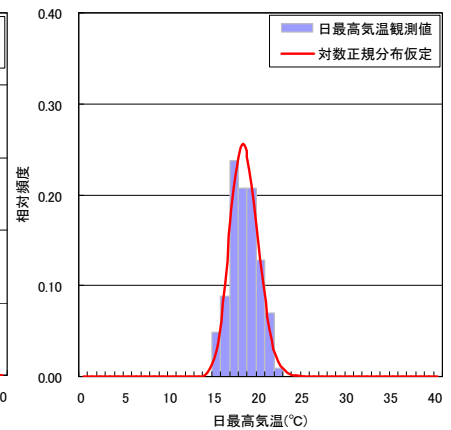
区分 B(旭川) 6～10 月



1907年～2006年の観測結果を使用

分布型 : 対数正規分布  
標本数 : 101  
平均値 : 2.002 °C  
標準偏差 : 1.196 °C  
最大値 : 5.500 °C  
最小値 : -1.300 °C

区分 B(旭川) 1～3 月,12 月



1907年～2006年の観測結果を使用

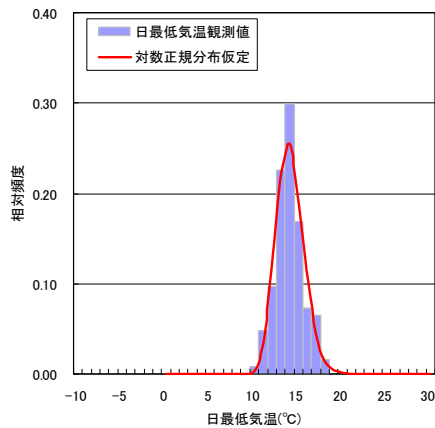
分布型 : 対数正規分布  
標本数 : 101  
平均値 : 17.686 °C  
標準偏差 : 1.546 °C  
最大値 : 21.100 °C  
最小値 : 14.400 °C

区分 B(旭川) 4,5,11 月

図 4.4.3 日最高気温の月平均値に関する年最大値の確率分布モデル

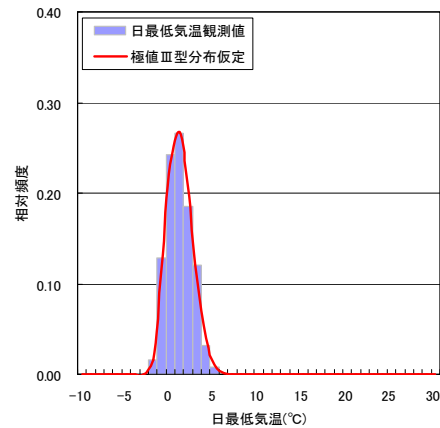
表 4.4.3 日最低気温の月平均値に関する年最小値の確率密度関数の近似

| 対象地域         | 対象時期                | K-S検定結果 |        |          |            |
|--------------|---------------------|---------|--------|----------|------------|
|              |                     | 正規分布    | 対数正規分布 | 極値分布(I型) | 極値分布(III型) |
| 普通地域<br>(大阪) | 台風期(6月～10月)         | 0.08    | 0.06   | 0.14     | 0.77       |
|              | 上記以外(1～5月、11月、12月)  | 0.07    | ---    | 0.13     | 0.05       |
| 寒冷地域<br>(旭川) | 台風期(6月～10月)         | 0.12    | 0.12   | 0.17     | 0.12       |
|              | 寒冷期(積雪有)(1～3月、12月)  | 0.06    | ---    | 0.10     | 0.06       |
|              | 寒冷期(積雪無)(4月、5月、11月) | 0.10    | ---    | 0.09     | 0.07       |



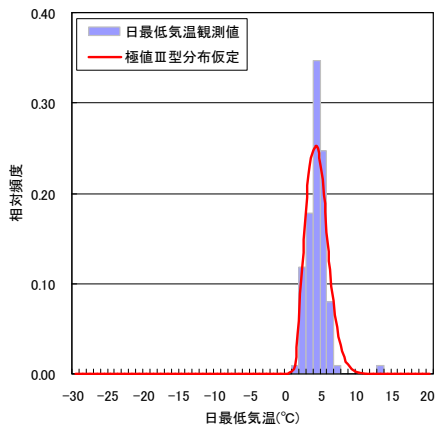
1883年～2006年の観測結果を使用  
 分布型 : 対数正規分布  
 標本数 : 124  
 平均値 : 13.552 ℃  
 標準偏差 : 1.547 ℃  
 最大値 : 17.800 ℃  
 最小値 : 9.500 ℃

区分 A(大阪) 6～10月



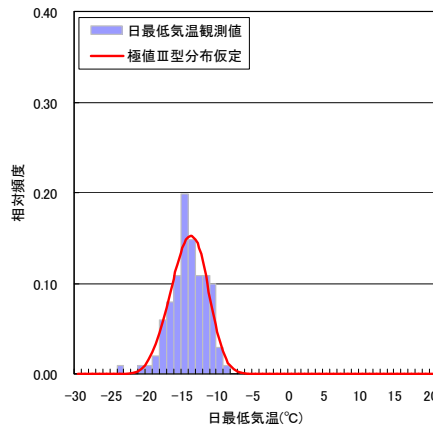
1883年～2006年の観測結果を使用  
 分布型 : 極値分布(III型)  
 標本数 : 124  
 平均値 : 0.584 ℃  
 標準偏差 : 1.401 ℃  
 最大値 : 4.400 ℃  
 最小値 : -2.700 ℃

区分 A(大阪) 1～5月,11,12月



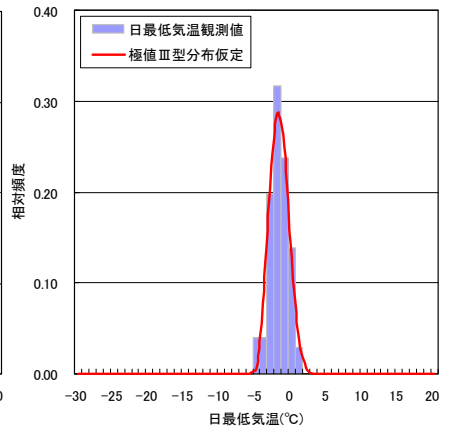
1907年～2006年の観測結果を使用  
 分布型 : 極値分布(III型)  
 標本数 : 101  
 平均値 : 3.693 ℃  
 標準偏差 : 1.500 ℃  
 最大値 : 13.000 ℃  
 最小値 : 0.600 ℃

区分 B(旭川) 6～10月



1907年～2006年の観測結果を使用  
 分布型 : 極値分布(III型)  
 標本数 : 101  
 平均値 : -14.855 ℃  
 標準偏差 : 2.531 ℃  
 最大値 : -9.800 ℃  
 最小値 : -24.000 ℃

区分 B(旭川) 1～3月,12月



1907年～2006年の観測結果を使用  
 分布型 : 極値分布(III型)  
 標本数 : 101  
 平均値 : -2.231 ℃  
 標準偏差 : 1.291 ℃  
 最大値 : 0.800 ℃  
 最小値 : -5.800 ℃

区分 B(旭川) 4,5,11月

図 4.4.4 日最低気温の月平均値に関する年最小値の確率分布モデル

#### 4.4.2. 荷重シミュレーションにおける断面力の算出式

荷重シミュレーションにおける温度変化の影響によるある時刻  $t$  の断面力  $X_{TH}(t)$  は式 (4.4.2) によって算出する。

$$X_{TH}(t) = A_{TH} \cdot \frac{G(x_{TH}(t)) - T_0}{\Delta T_n} \dots\dots\dots (4.4.2)$$

ここに、 $A_{TH}$  : 温度変化の影響の特性値による断面力

$x_{TH}$  : 日最高・最低気温の確率モデルに基づく気温

$T_0$  : 基準温度

$G(x)$  : 気温から構造物温度への相関式

$\Delta T_n$  : 道路橋示方書における温度変化の範囲

#### 4.5. 風荷重(W)

シミュレーションにおける風荷重による断面力の算出フローを図 4.5.1 に示す。また、風荷重の載荷方法の模式図を図 4.5.2 に示す。

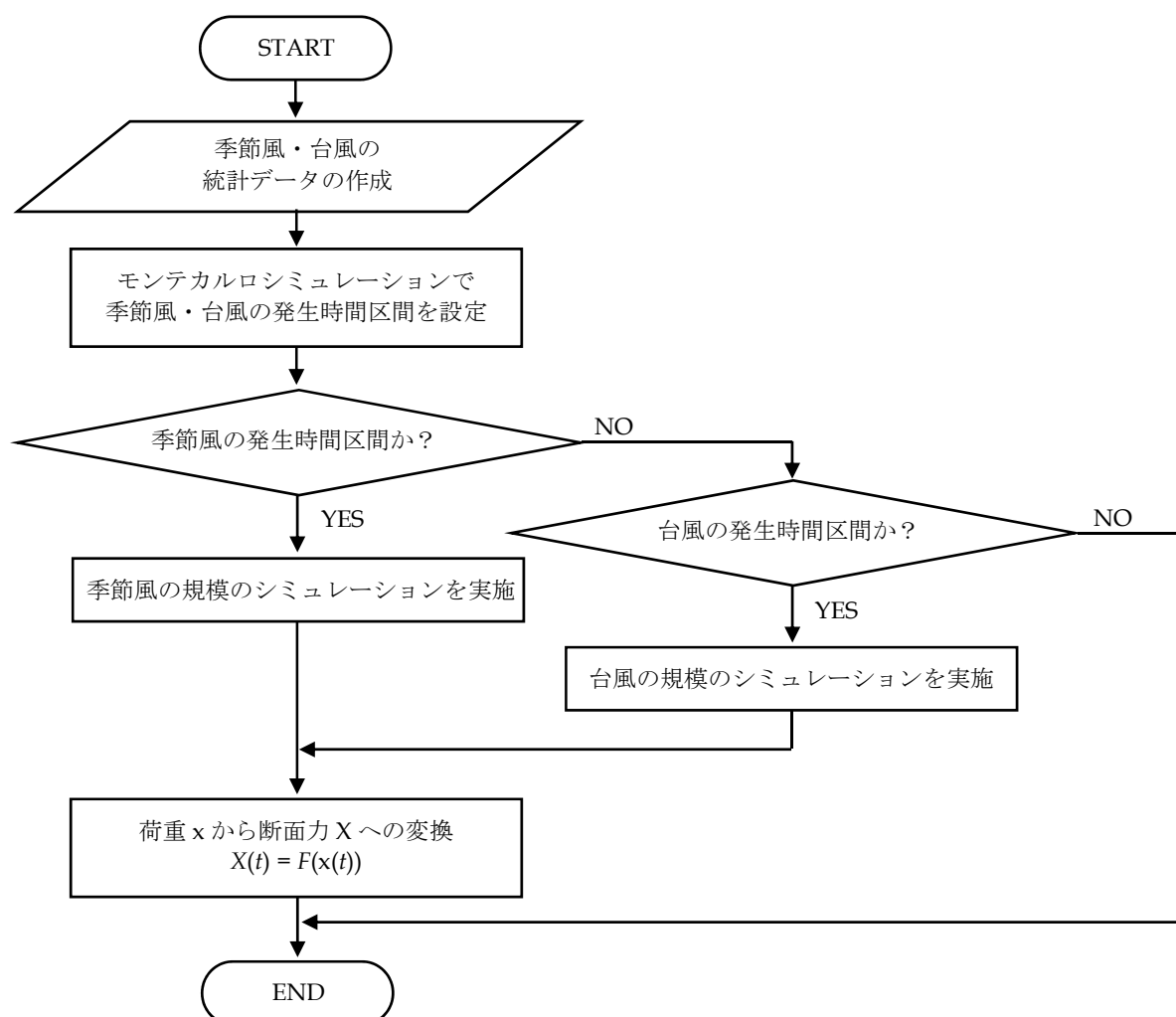


図 4.5.1 風荷重による断面力の算出フロー

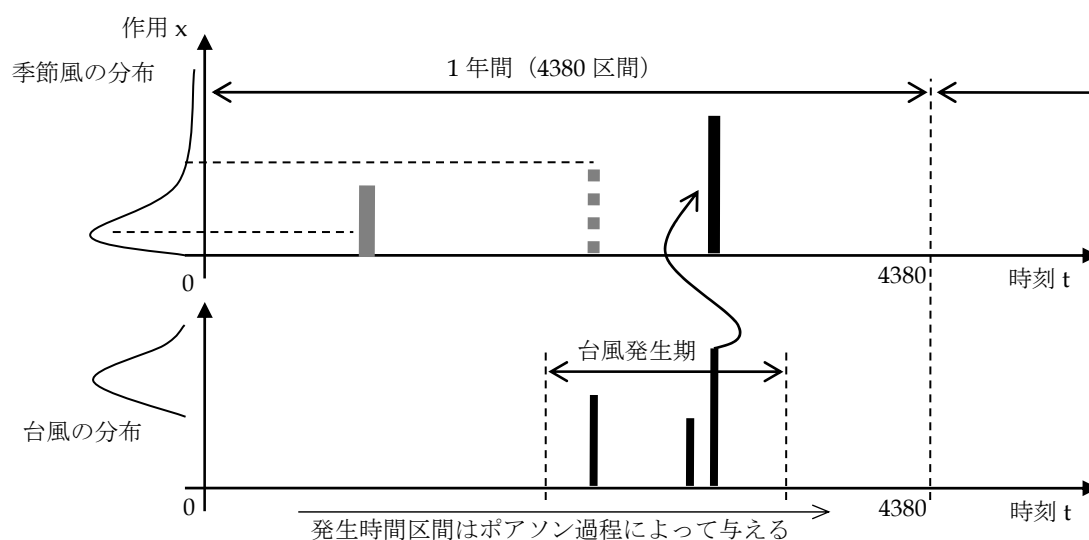


図 4.5.2 風荷重載荷方法の模式図



#### 4.5.1. 風荷重の発生頻度

##### (1). 季節風

荷重シミュレーションにおける風荷重（台風を除く季節風）の発生時間区間数設定の参考となる資料として、気象庁における暴風警報発表の頻度を調べた。対象地点は、全国の中でも強風地域と言える室戸とした。室戸における警報・注意報発表の基準を表 4.5.1 に示す。また、暴風警報が発表された日時を表 4.5.2 に示す。

表 4.5.1 から、気象庁は、室戸における暴風警報を発表する目安を平均風速 25m/s としている。警報の発表日時については気象庁では記録が取られていないため、国立情報学研究所のサイト ([http://agora.ex.nii.ac.jp/cgi-bin/cps/warning\\_list.pl?kcode=05&acode=390000](http://agora.ex.nii.ac.jp/cgi-bin/cps/warning_list.pl?kcode=05&acode=390000)、2017 年 12 月 4 日時点) からデータを取得した。このサイトでは、2013 年以降の注意報・警報の発表日時が記録されている。表 4.5.2 から、過去 3 年間で暴風警報が発表された回数は 11 回で年平均 4 回程度の状況であった。また、警報の発表時刻から解除時刻までの継続時間は、最短で 2 時間程度、最長で 1 日を超えるケースがある。

次に、表 4.5.2 に示した暴風警報が発表された日を対象に、気象庁の観測記録から 10 分間平均風速および最大瞬間風速を抽出した結果を図 4.5.3～図 4.5.4 に示す。

図 4.5.4 に示した 10 分間平均風速から、暴風警報が発表される目安となる平均風速として 25m/s を超える時間を調べた。なお、表 4.5.2 に示した暴風警報が発表された日のうち No.7 と 10 については気象庁の観測記録に欠損データがあるため、平均風速の記録がない。暴風警報が発表された日に平均風速が 25m/s を超える時間は最大で 14 時間継続するケースが見られた。また、暴風警報が発表された日の中でも、平均風速が 25m/s を超えることが無いケースも見られた。過去の台風に関する情報を確認すると、継続時間が最大となった 2014 年 8 月 9 日～10 日は台風が上陸した日時であったため、季節風の発生頻度に関する検討からはこのケースは除くことにする。

表 4.5.2 に示した暴風警報の発表時刻から解除時刻までの時間と図 4.5.4 に整理した観測記録の平均風速が大きくなる時間（風速 25m/s を超える時間）を比べると、観測記録の平均風速が大きくなる時間の方が短い。また、台風上陸日時を除くと平均風速が大きい状態が続く時間は 1～5 時間である。

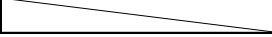
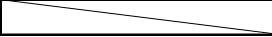
台風上陸日時を除いて 10 分間平均風速が 25m/s を超えた日を対象に、10 分間平均風速の 1 時間ごと、および 2 時間ごとの平均値を算出した結果を図 4.5.5 に示す。10 分間平均風速が 25m/s を超えた日は、2015 年 12 月 11 日、2015 年 7 月 17 日、2014 年 10 月 13 日、2013 年 11 月 25 日、2013 年 3 月 1 日の合計 5 日である。この中で 10 分間平均風速の 1 時間ごとの平均値に着目すると、風速 25m/s を超える時間の合計は 13 時間であった。この平均値を取ると 2.6 時間となる。そこで、強風の発生時間区間を 2 時間程度としても良いと考えられる。

以上から、荷重シミュレーションにおける季節風による風荷重の発生時間区間数は、暴風警報が発表される頻度を安全側に捉えたものとして 1 年間に 12 時間区間（平均すれば月 2 時間区間）として設定する。ただし、1 年間の風荷重の発生時間区間数を 12～36 時間区間まで変化させた時の荷重組合せへの影響を「5.荷重組合せのみに着目したシミュレーション」で別途検討した上で最終的に決めることにした。

表 4.5.1 警報・注意報発表の基準（高知県 室戸）

（大阪管区気象台管内）

平成26年10月9日現在

|                       |                               |                                                                  |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |
|-----------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------|----|----|----|
| 発表官署                  |                               | 高知地方気象台                                                          |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |
| 府県予報区                 |                               | 高知県                                                              |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |
| 一次細分区域                |                               | 中部                                                               |                                                                                   |     | 東部                                         |    | 西部 |    |
| 市町村等をまとめた地域           |                               | 高知中央                                                             | 嶺北                                                                                | 高吾北 | 室戸                                         | 安芸 | 幡多 | 高幡 |
| 警報                    | 大雨                            | 区域内の市町村で別表1の基準に到達することが予想される場合                                    |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |
|                       | 洪水                            | 区域内の市町村で別表2の基準に到達することが予想される場合                                    |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |
|                       | 暴風（平均風速）                      | 陸上 20m/s<br>海上 25m/s                                             | 20m/s                                                                             |     | 陸上 20m/s <sup>*1</sup><br>海上 25m/s         |    |    |    |
|                       | 暴風雪（平均風速）                     | 陸上 20m/s<br>海上 25m/s<br>雪を伴う                                     | 20m/s<br>雪を伴う                                                                     |     | 陸上 20m/s <sup>*1</sup><br>海上 25m/s<br>雪を伴う |    |    |    |
|                       | 大雪                            | 24時間降雪の深さ30cm                                                    |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |
|                       | 波浪（有義波高）                      | 6.0m                                                             |  |     | 6.0m                                       |    |    |    |
|                       | 高潮                            | 区域内の市町村で別表5の基準に到達することが予想される場合                                    |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |
|                       | 注意報                           | 大雨                                                               | 区域内の市町村で別表3の基準に到達することが予想される場合                                                     |     |                                            |    |    |    |
| 洪水                    |                               | 区域内の市町村で別表4の基準に到達することが予想される場合                                    |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |
| 強風（平均風速）              |                               | 陸上 12m/s<br>海上 15m/s                                             | 12m/s                                                                             |     | 陸上 12m/s <sup>*2</sup><br>海上 15m/s         |    |    |    |
| 風雪（平均風速）              |                               | 陸上 12m/s<br>海上 15m/s<br>雪を伴う                                     | 12m/s<br>雪を伴う                                                                     |     | 陸上 12m/s <sup>*2</sup><br>海上 15m/s<br>雪を伴う |    |    |    |
| 大雪                    |                               | 24時間降雪の深さ10cm                                                    |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |
| 波浪（有義波高）              |                               | 3.0m                                                             |  |     | 3.0m                                       |    |    |    |
| 高潮                    |                               | 区域内の市町村で別表5の基準に到達することが予想される場合                                    |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |
| 雷                     |                               | 落雷等により被害が予想される場合                                                 |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |
| 融雪                    |                               |                                                                  |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |
| 濃霧（視程）                |                               | 陸上 100m<br>海上 500m                                               | 100m                                                                              |     | 陸上 100m<br>海上 500m                         |    |    |    |
| 乾燥                    |                               | 最小湿度40%で実効湿度60%                                                  |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |
| なだれ                   |                               | 積雪の深さが50cm以上あり次のいずれか<br>1 降雪の深さ20cm以上<br>2 最高気温が2℃以上<br>3 かなりの降雨 |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |
| 低温                    |                               | 最低気温－5℃以下 <sup>*3</sup>                                          |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |
| 霜                     |                               | 3月20日以降の晩霜                                                       |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |
| 着氷                    |                               |                                                                  |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |
| 着雪                    | 24時間降雪の深さ：20cm以上<br>気温：－2℃～2℃ |                                                                  |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |
| 記録的短時間大雨情報<br>（1時間雨量） |                               | 120mm                                                            |                                                                                   |     |                                            |    |    |    |

\*1 室戸岬特別地域気象観測所の観測値は27m/sを目安とする。

\*2 室戸岬特別地域気象観測所の観測値は18m/sを目安とする。

\*3 気温は高知地方気象台の値。

表 4.5.2 暴風警報の発表日時（高知県 室戸）

| No. | 発表時刻       |       | 解除時刻       |       | 継続時間 |    |
|-----|------------|-------|------------|-------|------|----|
|     | 日付         | 時刻    | 日付         | 時刻    | 時間   | 分  |
| 1   | 2015/12/11 | 0:40  | 2015/12/11 | 3:31  | 2    | 51 |
| 2   | 2015/7/16  | 7:15  | 2015/7/17  | 7:07  | 23   | 52 |
| 3   | 2014/10/13 | 4:27  | 2014/10/13 | 22:18 | 17   | 51 |
| 4   | 2014/10/5  | 14:15 | 2014/10/6  | 5:50  | 15   | 35 |
| 5   | 2014/8/9   | 4:56  | 2014/8/10  | 14:17 | 34   | 21 |
| 6   | 2014/7/10  | 3:30  | 2014/7/10  | 15:26 | 11   | 56 |
| 7   | 2013/12/9  | 16:10 | 2013/12/10 | 4:15  | 12   | 5  |
| 8   | 2013/11/25 | 12:52 | 2013/11/25 | 15:50 | 2    | 58 |
| 9   | 2013/4/6   | 21:09 | 2013/4/7   | 10:25 | 13   | 16 |
| 10  | 2013/3/18  | 17:16 | 2013/3/18  | 19:10 | 1    | 54 |
| 11  | 2013/3/1   | 16:29 | 2013/3/1   | 18:29 | 2    | 0  |

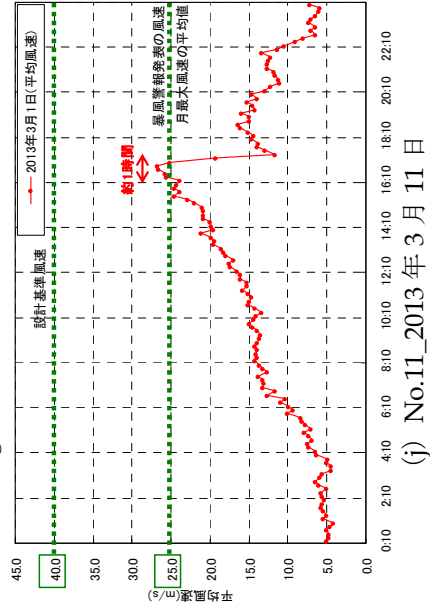
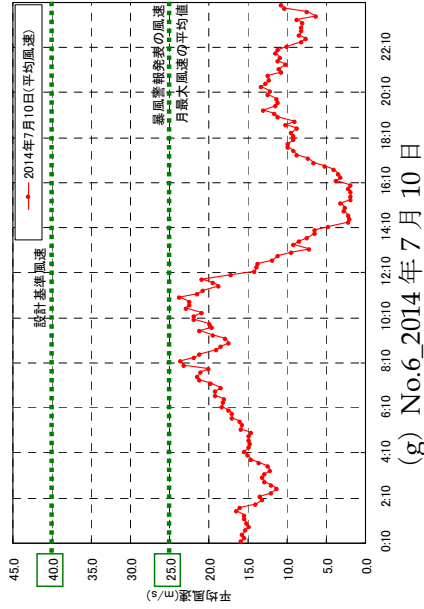
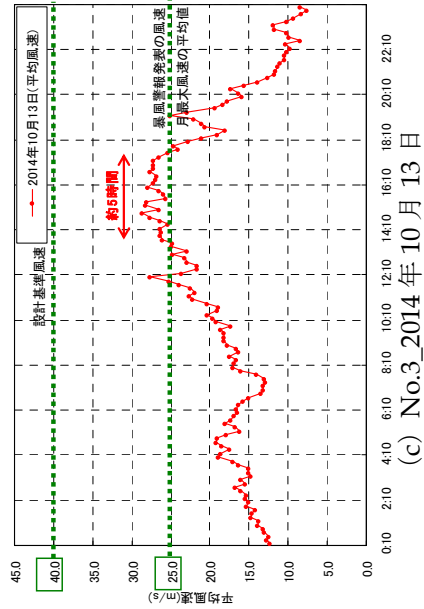
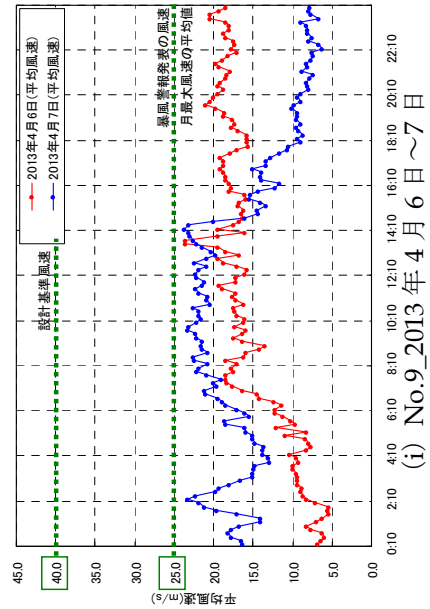
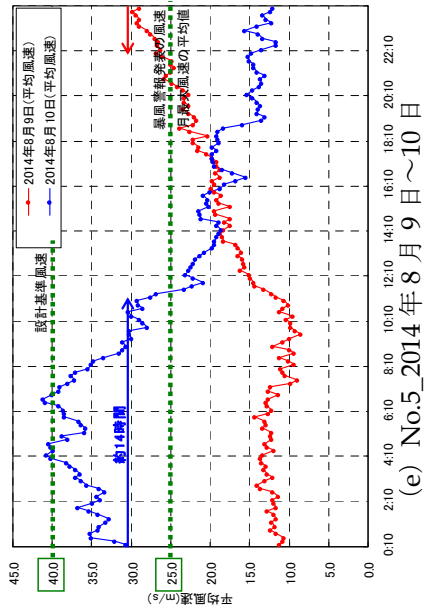
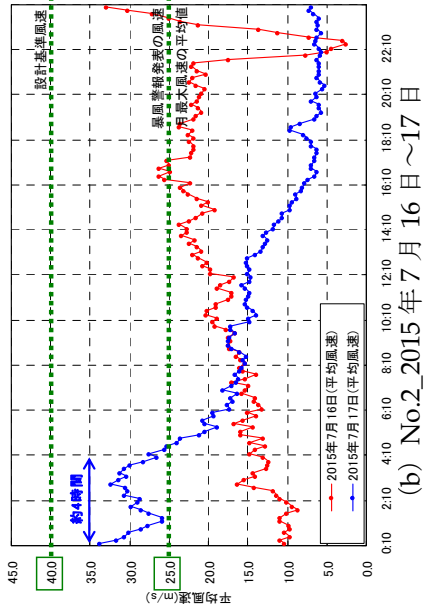
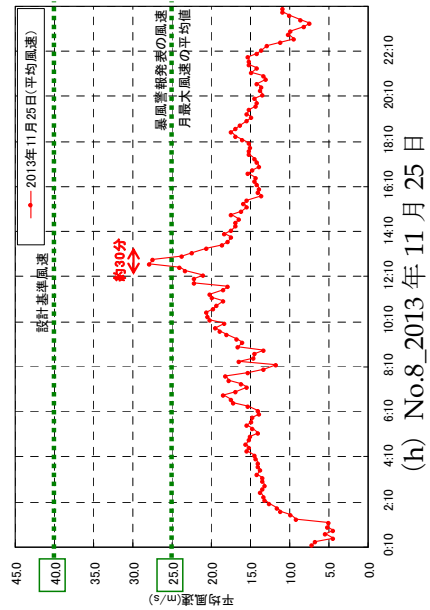
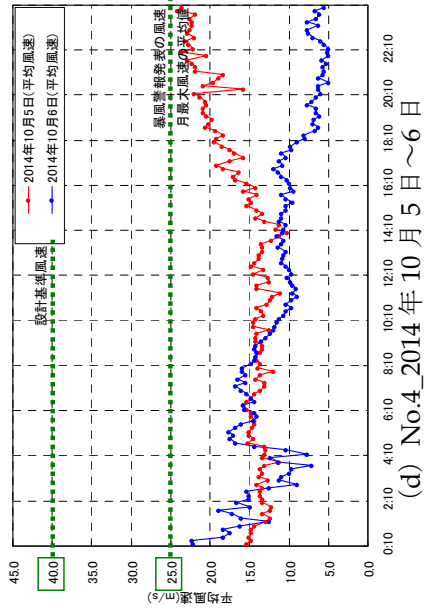
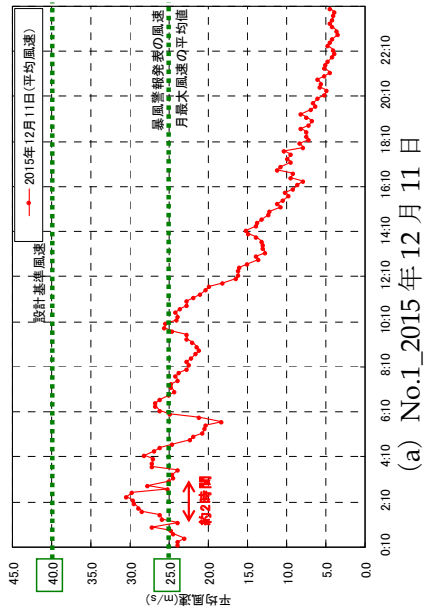


図 4.5.3 暴風警報発表時の平均風速の状況 (高知県 室戸)

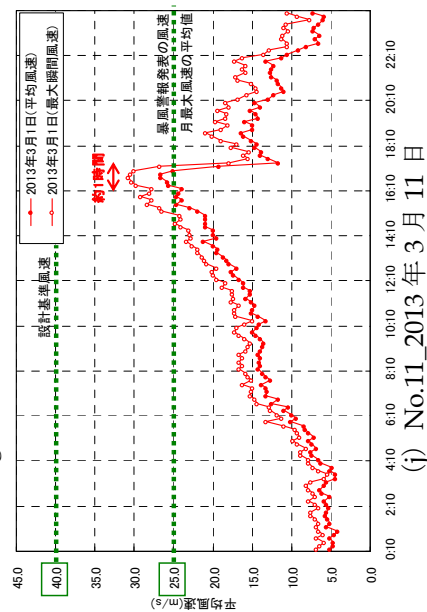
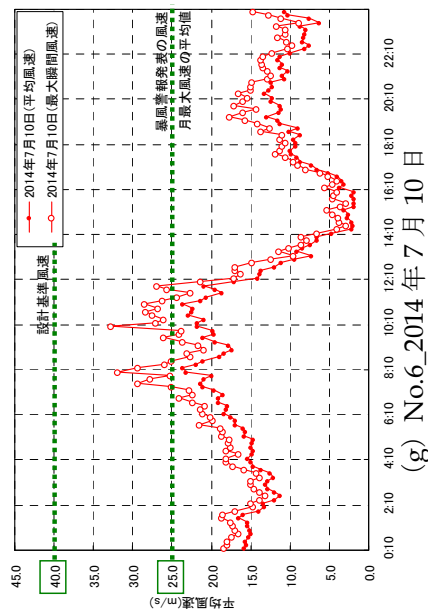
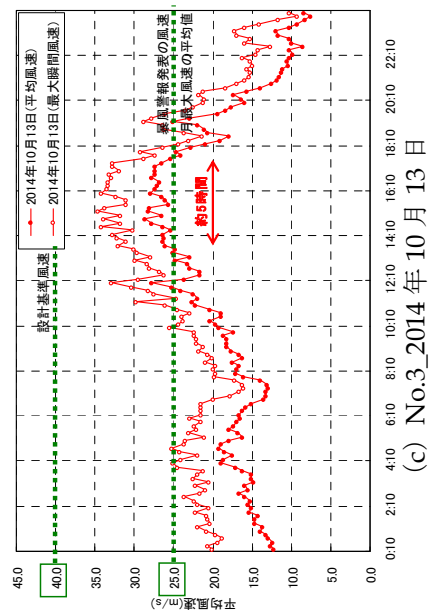
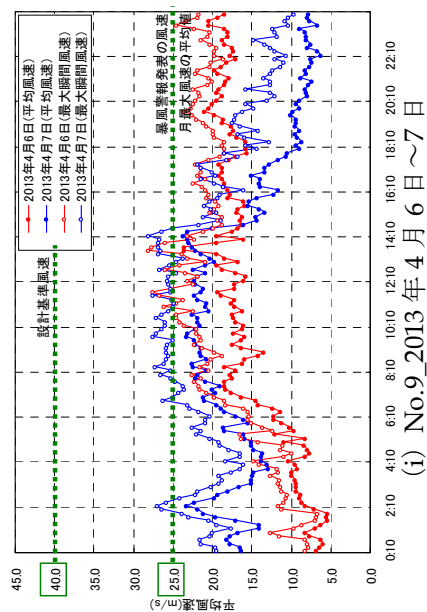
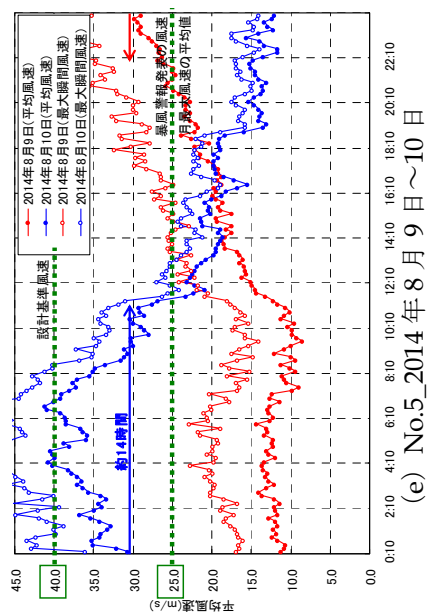
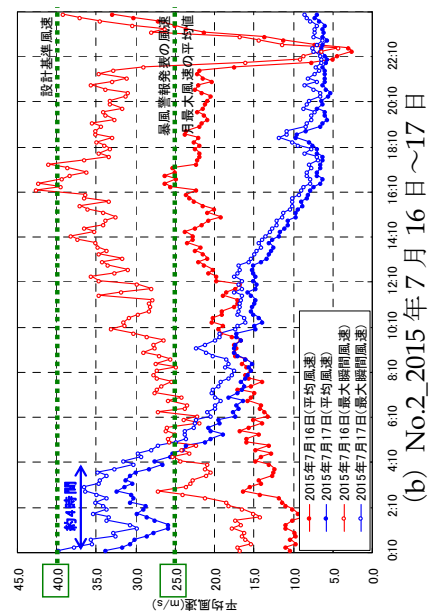
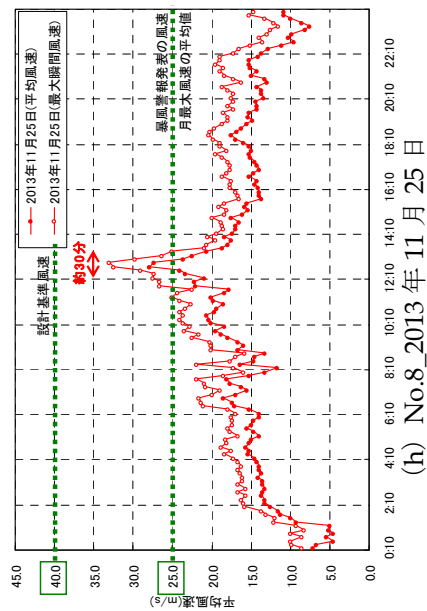
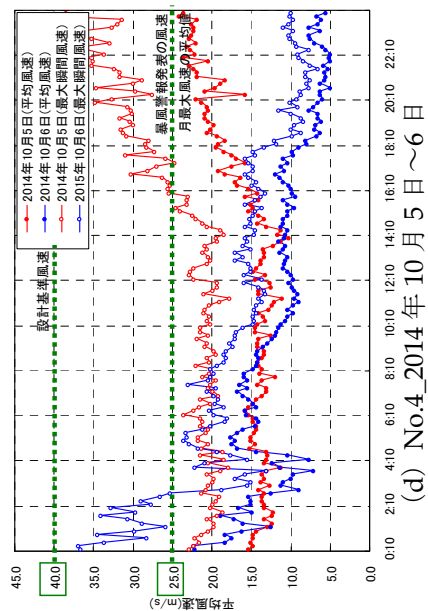
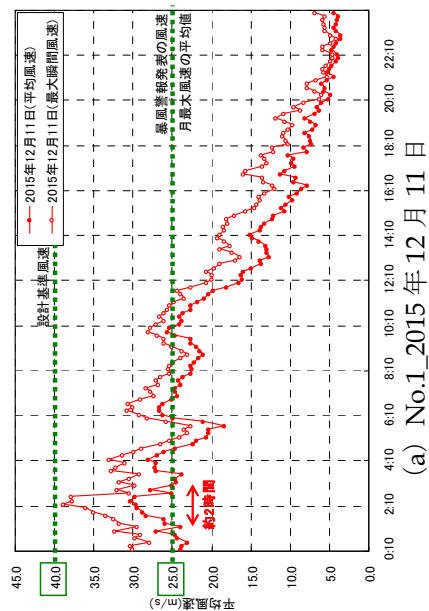
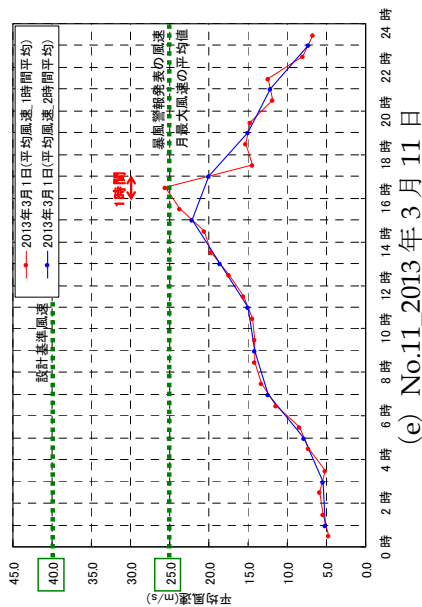
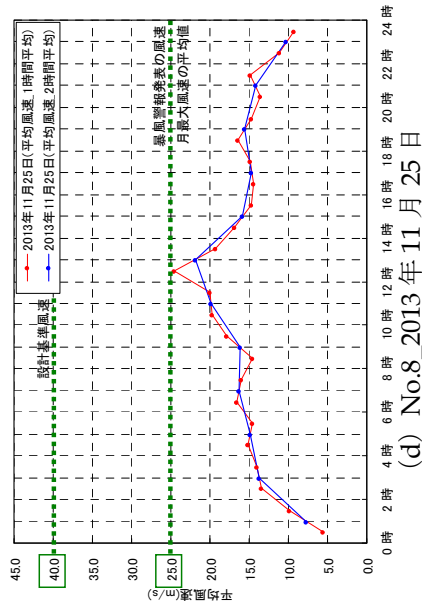
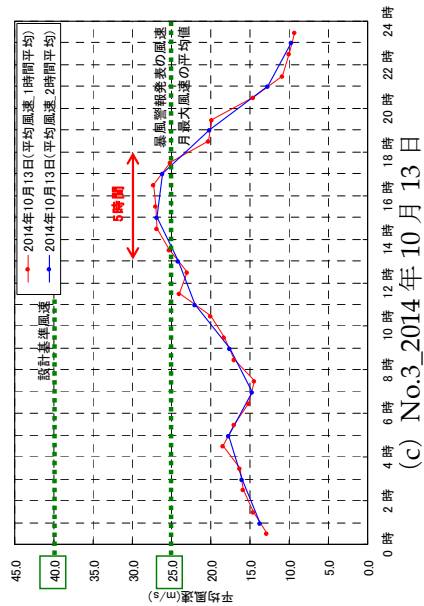
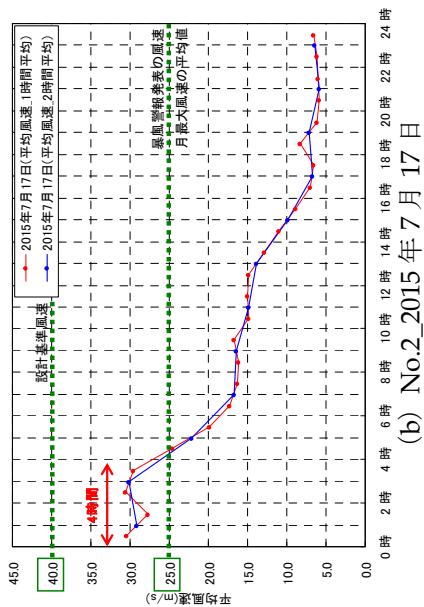
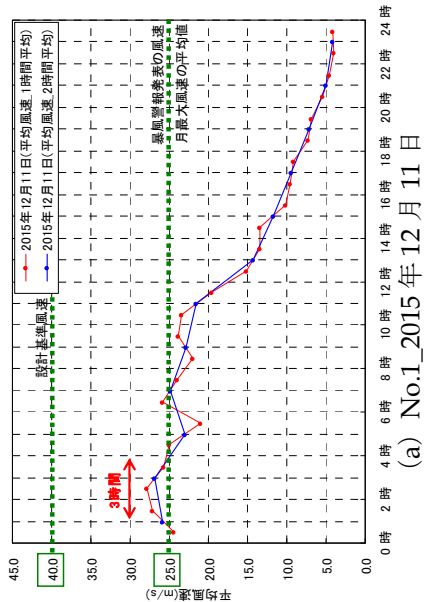


図 4.5.4 暴風警報発表時の平均風速と最大瞬間風速の状況 (高知県 室戸)



5 日分の 10 分間平均風速において、25m/s を超える時間は、  
 $3+4+5+0+1 = 13$  時間  
 この平均値を取ると、  
 $13 \text{ 時間} / 5 = 2.6 \text{ 時間}$

図 4.5.5 10 分間平均風速の 1 時間ごと・2 時間ごとの平均値 (高知県 室戸)

## (2). 台風

荷重シミュレーションにおける台風の発生時間区間数は、気象庁における台風の年間接近数に関するデータ（<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/statistics/accession/index.html>、2017 年 12 月 4 日時点）を基に設定した。台風の接近数は、台風が上陸したかどうかに関わらず、台風が中心が気象官署から 300km 以内に入った場合を示している。図 4.5.6 に台風の年間接近数の頻度分布を示す。この結果から、台風の発生時間区間数は 1 年間に 3 時間区間として設定した。

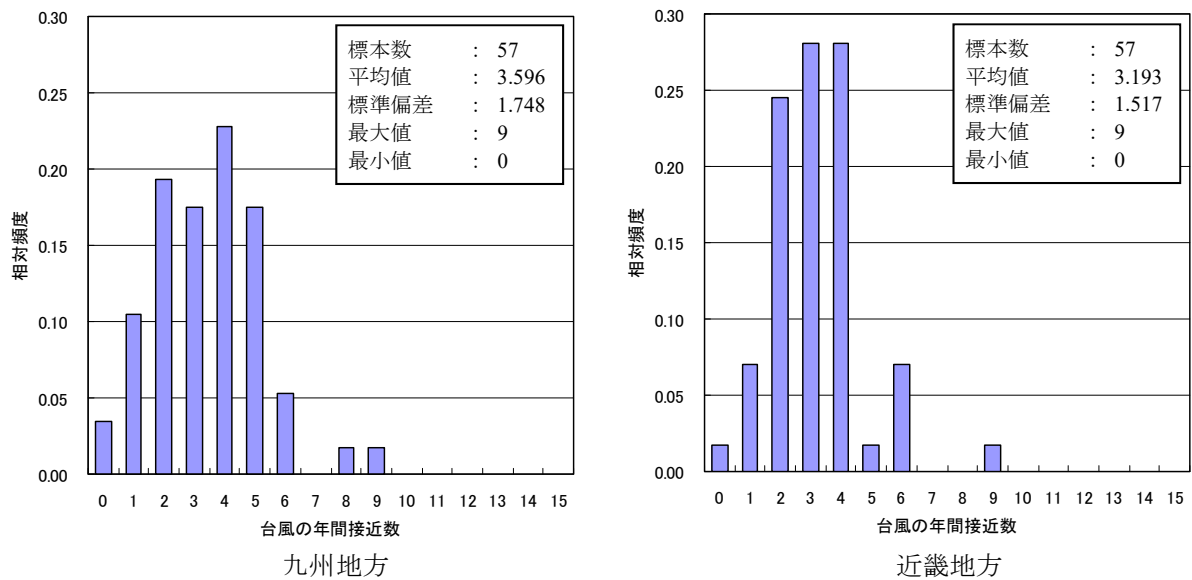


図 4.5.6 台風の年間接近数（気象庁データを基に作成、1951 年～2007 年）

4.5.2. 風荷重値の確率モデル

(1). 風荷重の特性値

本研究では、風荷重の特性値を全国一律 40m/s とする決められた基準風速の標準値を用いて算出する。40m/s という基準風速の標準値は、道路橋耐風設計便覧（平成 19 年改訂版）の 3.2.2 設計基準風速にて述べられているとおり、一部の強風地域を除く日本全国の高度 10m において、50 年間でその風速を超えない確率が 0.6 以上（再現期間 100 年に相当）となるものである。

単位面積あたりに作用する風荷重  $p(N/m^2)$  は、設計基準風速  $U_d(m/s)$ 、空気密度  $\rho$ 、抗力係数  $C_d$ 、およびガスト応答係数  $G$  を用いて式（4.5.1）より求められる。風荷重は、風速の 2 乗に比例する。

$$p = \frac{1}{2} \rho U_d^2 C_d G \dots\dots\dots (4.5.1)$$

(2). 季節風による風荷重値の確率密度関数

風速の分布作成は、全国を代表する地点として東京を定め、気象庁観測データを用いて確率モデルを作成した。本研究で対象とする全ての橋梁は、東京を代表地点として確率モデルを与えるものとし、架橋地点の地域に応じた確率モデルの設定は行っていない。なお、東京を代表地点としたことが結果に与える影響の考察は「7.荷重ばらつき係数と荷重組合せ係数への分離」に示す。

気象庁においては、1961 年以降の観測データがあり、日ごとの平均風速、最大風速、最大瞬間風速が整理されている。本研究では季節区分ごとの月最大風速の分布を作成するものとし、作成した確率分布モデルを図 4.5.7 に示す。なお、確率密度関数の近似式の適合度に関しては K-S 検定によって確認した。

表 4.5.3 月最大風速の確率密度関数の近似

| 対象地域   | 対象時期               | K-S検定結果 |        |          |            |
|--------|--------------------|---------|--------|----------|------------|
|        |                    | 正規分布    | 対数正規分布 | 極値分布(I型) | 極値分布(III型) |
| 区分A:東京 | 台風期(6月～10月)        | 0.11    | 0.06   | 0.05     | 0.10       |
|        | 上記以外(1～5月、11月、12月) | 0.09    | 0.05   | 0.03     | 0.08       |

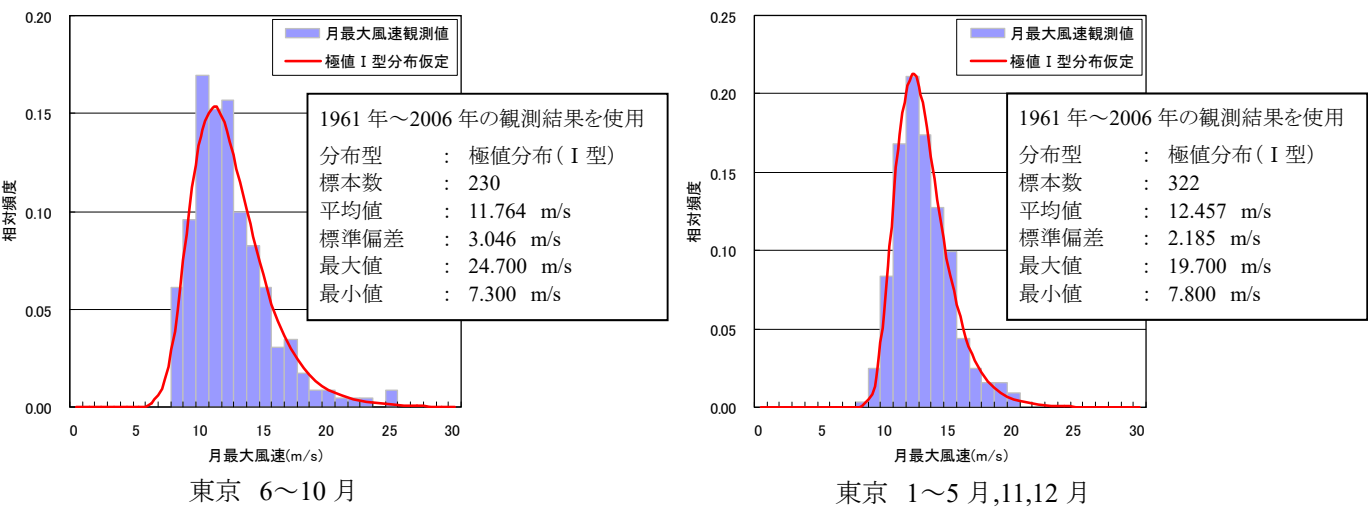


図 4.5.7 月最大風速分布の確率分布モデル



### (3). 台風による風荷重値の確率密度関数

台風の最大風速は台風中心が気象官署から 150km 以内に入った場合の分布で、国立情報学研究所において公開された台風のデータベース ([http://agora.ex.nii.ac.jp/cgi-bin/dt/search\\_name2.pl?gid=eebf0fe6f41d2b7ce4dae4b8bc828ce5&lang=ja&lat=35.689&lon=139.692&radius=150&basin=wnp](http://agora.ex.nii.ac.jp/cgi-bin/dt/search_name2.pl?gid=eebf0fe6f41d2b7ce4dae4b8bc828ce5&lang=ja&lat=35.689&lon=139.692&radius=150&basin=wnp)、2017 年 12 月 4 日時点) より作成した。図 4.5.8 に東京の気象データを示す。シミュレーション上では、統計データのうち風速 40m/s 以上のデータに関してベータ分布を用いて当てはめるものとした。

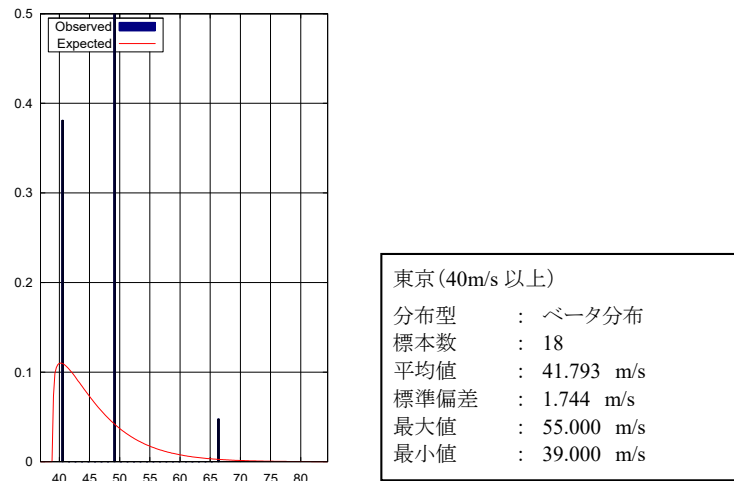


図 4.5.8 台風時の最大風速分布

#### 4.5.3. 荷重シミュレーションにおける断面力の算出式

荷重シミュレーションにおける風荷重によるある時刻  $t$  の断面力  $X_W(t)$  は式 (4.5.2) によって算出する。

$$X_W(t) = A_W \cdot \left( \frac{x_W(t)}{40} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (4.5.2)$$

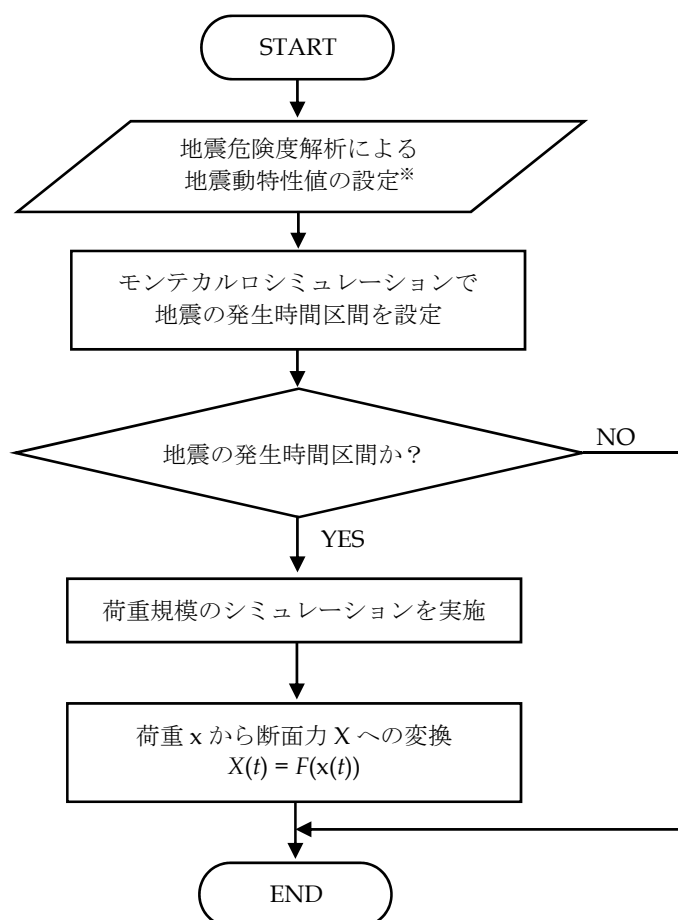
ここに、 $A_W$  : 風荷重の特性値による断面力

$x_W$  : 季節風または台風の確率モデルに基づく風速



#### 4.6. 地震の影響(EQ)

6章で用いる荷重シミュレーションにおいて、地震の影響による断面力を算出する際の算出フローを図 4.6.1 に示す。



※地震危険度解析による地震動特性値の設定は、参考文献<sup>10)</sup>に示される手法を用いた。

図 4.6.1 地震の影響による断面力の算出フロー

#### 4.6.1. 地震の発生頻度と地震の影響に関する確率モデル

##### (1). 検討方法

道路橋示方書（平成 24 年）における地震の影響は、構造物の重量に設計水平震度を乗じた水平力としている。設計水平震度は、架橋地点の地域区分に応じた地域別補正係数、および対象橋梁の地盤種別、固有周期を基に設定される。本研究では、地域区分、地盤種別、固有周期別に地震危険度や加速度応答スペクトルのばらつきが異なることは考慮しない。具体的には、全ての橋が東京（霞ヶ関）にあり、固有周期 1.0 秒であるものと仮定して荷重シミュレーションを行う。道路橋示方書の設計水平震度の標準値は、最大値を示すフラット区間が地盤種別によって異なるが固有周期 0.3～1.0 秒の範囲にあり、本研究で対象とする橋梁を含む一般的な橋梁の固有周期は概ねその範囲になっている。そのため、本研究では便宜的に全ての橋の固有周期を 1.0 秒と仮定している。

荷重シミュレーションで発生させる地震は、確率論的な地震ハザードマップの作成手法<sup>10)</sup>に示される方法に従って検討した。東京（霞ヶ関）を代表地点とした地震危険度解析を実施し、地震の発生頻度および最大加速度の評価を行う。文献<sup>10)</sup>に示される地震危険度解析は、地震の規模、発生頻度に類似性のある範囲を区分化したバックグラウンドゾーンの設定を行い、距離減衰式を用いて対象地点の地震動特性値の推定を行うものである。文献<sup>10)</sup>は、気象庁のデータ<sup>11)</sup>および宇津の地震カタログ<sup>12)</sup>から地震の規模と発生頻度に類似性のある範囲を区分化したバックグラウンドゾーンの設定を行い、距離減衰式を用いて対象地点の最大加速度および加速度応答スペクトルを算出するものである。なお、加速度応答スペクトルは水平 2 成分それぞれの観測記録に対する 1 自由度系の加速度応答波形（減衰定数 5%）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ている。

##### (2). 考慮する地震記録

確率論的な地震ハザードマップの作成手法<sup>10)</sup>に示される方法では、気象庁のデータ<sup>11)</sup>および宇津の地震カタログ<sup>12)</sup>から考慮する地震記録を選定している。

マグニチュード  $M < 6.0$  の地震： 1926 年～2003 年までの気象庁のデータ<sup>11)</sup>

マグニチュード  $M \geq 6.0$  の地震： 1885 年～1925 年までは宇津による地震カタログ<sup>12)</sup>

1926 年～2003 年までは気象庁のデータ<sup>11)</sup>

地震危険度解析においては、対象とする場所に影響を及ぼす地震の発生場所がランダムに変化すると考えているため、地震発生の可能性に時間変化を考慮することはできず、地震発生の可能性は時間的に変化しない永年平均的に発生する地震を対象とすることが多い。本資料では、確率論的な地震ハザードマップの作成手法<sup>10)</sup>のとおり地震危険度解析を行っているため、地震発生の可能性は時間的に変化しないものとし、過去の地震観測からある時間間隔で発生していると考えられる地震は対象外としていることになる。対象外とする地震についても文献<sup>10)</sup>のままである。

##### (3). バックグラウンドゾーンの設定

確率論的な地震ハザードマップの作成<sup>10)</sup>に示される手法では、我が国およびその周辺を地震の発生特性が類似していると考えられる範囲別に、萩原の地震地帯構造<sup>13)</sup>に基づいて 34 か所のバックグラウンドゾーンが設定されている。設定されたバックグラウンドゾーンを図 4.6.2 に示す。日本海側のバックグラウンドゾーンで発生する地震が深度 30km 以下の比較的浅い範囲で発生していること、および太平洋側のバックグラウンドゾーンで発生する地震が 0～100km の深い範囲で発生するなど、深度の影響を受けていることが確認されている。そのため、各バックグラウンドゾーンは  $0\text{km} \leq \text{深度} \leq 30\text{km}$

の比較的浅い位置（以下、上層）と  $30\text{km} < \text{深度} \leq 100\text{km}$  の比較的深い位置（以下、下層）と分類されている。

各バックグラウンドゾーン内における年平均地震発生回数、マグニチュード別の地震発生頻度および発生し得る地震の最大マグニチュードは、時間的に定常でランダム（定常ポアソン過程）とし、任意の場所に大きな規模の地震が規則性を持って繰り返して発生するものとしている。つまり、文献<sup>10)</sup>では、ある任意の時期に地震が発生する確率は、地震が発生した直後においても同様の確率を有すると考えている。

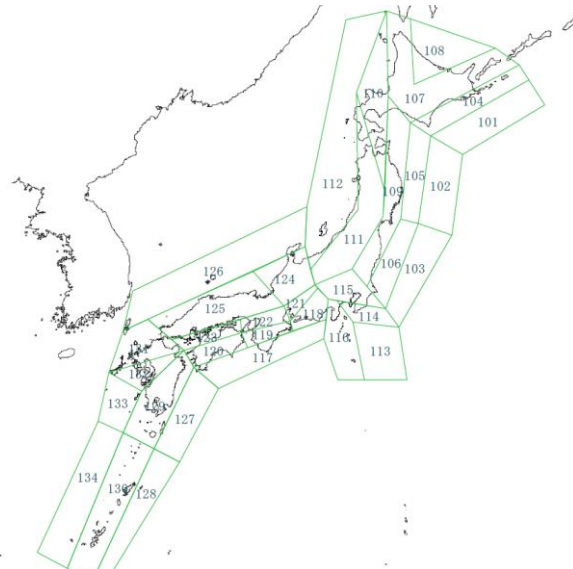


図 4.6.2 バックグラウンドゾーン<sup>10)</sup>

#### (4). バックグラウンドゾーン内の年平均地震発生回数とマグニチュード別地震発生頻度

確率論的な地震ハザードマップの作成<sup>10)</sup>に示される手法では、バックグラウンドゾーン*i*において、マグニチュード  $M$  が  $m$  を超える地震の年平均発生回数  $N_i(M > m)$  (回/年) は Gutenberg-Richter 式に従うものとしている。

$$\text{Gutenberg-Richter 式: } \log N_i(M > m) = a_i - b_i m \quad \dots\dots\dots (4.6.1)$$

$a_i$  および  $b_i$  の値はバックラウンドゾーン*i*内の地震記録から算出される。式 (4.6.1) から、バックラウンドゾーン*i*内の単位面積における年平均地震発生回数  $v_i$  は式 (4.6.2) によって算出される。

$$v_i = \frac{10^{a_i - b_i M_{iL}}}{A_i} \quad \dots\dots\dots (4.6.2)$$

ここに、 $A_i$  : バックグラウンドゾーン*i*の面積

$M_{iL}$  : バックグラウンドゾーン*i*において発生し得る地震の最小マグニチュード

さらに、式 (4.6.1) からバックラウンドゾーン*i*内の地震のマグニチュード  $M$  の確率密度関数  $f_{iM}(m)$  は式 (4.6.3) によって表される。

$$f_{iM}(m) = \frac{b_i \exp\{-b_i(m - M_{iL})\}}{1 - \exp\{-b_i(M_{iu} - M_{iL})\}} \quad \dots\dots\dots (4.6.3)$$

ここに、 $M_{iu}$  : バックグラウンドゾーン*i*において発生し得る地震の最大マグニチュード

表 4.6.1 に文献<sup>10)</sup>の手法によるバックグラウンドゾーンで発生する地震の年平均発生回数を示す。

表 4.6.1 バックグラウンドゾーンで発生する地震 (文献 40)を基に作成)

| バック<br>グラウンド<br>ゾーン番号 | 地震数 | 最小<br>マグニ<br>チュード | 最大<br>マグニ<br>チュード | バックグラウンドゾーンの上層+下層 |      |                      |                        | バックグラウンドゾーンの上層(震源深さh≦30km)                    |                      |                        |                                               | バックグラウンドゾーンの下層(震源深さ30km<h≦100km) |                        |  |  |
|-----------------------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|------|----------------------|------------------------|-----------------------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------|------------------------|--|--|
|                       |     |                   |                   | a値                | b値   | 平均的な<br>震源深さ<br>(km) | 年平均地震<br>発生回数<br>(回/年) | 上層に含まれる<br>地震記録の割合<br>上層の地震記録数<br>上層+下層の地震記録数 | 平均的な<br>震源深さ<br>(km) | 年平均地震<br>発生回数<br>(回/年) | 下層に含まれる<br>地震記録の割合<br>下層の地震記録数<br>上層+下層の地震記録数 | 平均的な<br>震源深さ<br>(km)             | 年平均地震<br>発生回数<br>(回/年) |  |  |
| 101                   | 527 | 5.0               | 8.1               | 4.70              | 0.84 | 36.7                 | 3.19                   | 0.51                                          | 14.5                 | 1.62                   | 0.49                                          | 55.1                             | 1.57                   |  |  |
| 102                   | 771 | 5.0               | 8.5               | 4.32              | 0.75 | 24.4                 | 3.88                   | 0.69                                          | 10.0                 | 2.66                   | 0.31                                          | 53.6                             | 1.22                   |  |  |
| 103                   | 272 | 5.0               | 8.0               | 4.88              | 0.90 | 33.1                 | 2.30                   | 0.49                                          | 13.7                 | 1.13                   | 0.51                                          | 52.8                             | 1.17                   |  |  |
| 104                   | 411 | 5.0               | 7.8               | 5.12              | 0.90 | 48.6                 | 4.17                   | 0.19                                          | 14.6                 | 0.80                   | 0.81                                          | 58.8                             | 3.37                   |  |  |
| 105                   | 432 | 5.0               | 8.5               | 4.95              | 0.87 | 37.5                 | 3.99                   | 0.45                                          | 17.2                 | 1.80                   | 0.55                                          | 52.6                             | 2.19                   |  |  |
| 106                   | 628 | 5.0               | 8.0               | 4.76              | 0.81 | 33.7                 | 5.04                   | 0.43                                          | 12.1                 | 2.18                   | 0.57                                          | 50.6                             | 2.86                   |  |  |
| 107                   | 83  | 5.0               | 7.3               | 4.70              | 0.94 | 49.8                 | 1.02                   | 0.37                                          | 14.7                 | 0.38                   | 0.63                                          | 70.6                             | 0.64                   |  |  |
| 108                   | 3   | 5.0               | 7.3               | 1.08              | 0.47 | 20.0                 | 0.05                   | 0.75                                          | 10.0                 | 0.04                   | 0.25                                          | 40.0                             | 0.01                   |  |  |
| 109                   | 292 | 5.0               | 7.5               | 5.55              | 1.00 | 52.6                 | 3.77                   | 0.14                                          | 12.1                 | 0.54                   | 0.86                                          | 63.3                             | 3.23                   |  |  |
| 110                   | 18  | 5.0               | 7.3               | 5.06              | 1.11 | 16.7                 | 0.32                   | 0.81                                          | 10.0                 | 0.25                   | 0.19                                          | 66.7                             | 0.06                   |  |  |
| 111                   | 73  | 5.0               | 7.6               | 4.52              | 0.90 | 7.0                  | 1.01                   | 0.95                                          | 10.0                 | 0.96                   | 0.05                                          | 90.0                             | 0.05                   |  |  |
| 112                   | 165 | 5.0               | 7.8               | 4.94              | 0.99 | 19.7                 | 0.97                   | 0.79                                          | 12.6                 | 0.77                   | 0.21                                          | 44.4                             | 0.20                   |  |  |
| 113                   | 174 | 5.0               | 7.4               | 5.30              | 1.01 | 42.4                 | 1.82                   | 0.36                                          | 13.6                 | 0.65                   | 0.64                                          | 60.4                             | 1.17                   |  |  |
| 114                   | 72  | 5.0               | 7.5               | 4.19              | 0.86 | 49.0                 | 0.74                   | 0.36                                          | 12.3                 | 0.27                   | 0.64                                          | 65.2                             | 0.47                   |  |  |
| 115                   | 212 | 5.0               | 7.3               | 5.43              | 1.01 | 46.1                 | 2.35                   | 0.16                                          | 12.9                 | 0.37                   | 0.84                                          | 59.0                             | 1.98                   |  |  |
| 116                   | 157 | 5.0               | 7.3               | 5.04              | 0.95 | 18.9                 | 1.93                   | 0.83                                          | 10.5                 | 1.59                   | 0.17                                          | 51.6                             | 0.34                   |  |  |
| 117                   | 71  | 5.0               | 7.8               | 3.16              | 0.70 | 18.6                 | 0.49                   | 0.60                                          | 10.3                 | 0.29                   | 0.40                                          | 55.5                             | 0.19                   |  |  |
| 118                   | 37  | 5.0               | 8.0               | 4.66              | 1.00 | 14.5                 | 0.49                   | 0.66                                          | 10.0                 | 0.32                   | 0.34                                          | 41.0                             | 0.17                   |  |  |
| 119                   | 39  | 5.0               | 8.0               | 3.72              | 0.82 | 32.4                 | 0.44                   | 0.52                                          | 10.0                 | 0.23                   | 0.48                                          | 56.0                             | 0.21                   |  |  |
| 120                   | 41  | 5.0               | 8.0               | 5.94              | 1.25 | 25.7                 | 0.51                   | 0.55                                          | 10.0                 | 0.29                   | 0.45                                          | 46.3                             | 0.23                   |  |  |
| 121                   | 18  | 5.0               | 7.5               | 4.01              | 1.01 | 12.8                 | 0.09                   | 0.36                                          | 10.0                 | 0.03                   | 0.64                                          | 43.3                             | 0.06                   |  |  |
| 122                   | 13  | 5.0               | 7.8               | 3.97              | 0.95 | 16.3                 | 0.17                   | 0.84                                          | 10.0                 | 0.14                   | 0.16                                          | 52.5                             | 0.03                   |  |  |
| 123                   | 20  | 5.0               | 7.8               | 2.60              | 0.64 | 42.7                 | 0.24                   | 0.48                                          | 15.0                 | 0.12                   | 0.52                                          | 61.1                             | 0.13                   |  |  |
| 124                   | 49  | 5.0               | 7.3               | 4.08              | 0.88 | 7.0                  | 0.47                   | 0.94                                          | 10.0                 | 0.44                   | 0.06                                          | 37.0                             | 0.03                   |  |  |
| 125                   | 107 | 5.0               | 7.4               | 4.81              | 0.95 | 8.4                  | 1.15                   | 0.96                                          | 10.0                 | 1.10                   | 0.04                                          | 41.3                             | 0.05                   |  |  |
| 126                   | 17  | 5.0               | 7.3               | 3.16              | 0.78 | 22.3                 | 0.18                   | 0.75                                          | 16.9                 | 0.13                   | 0.25                                          | 40.0                             | 0.04                   |  |  |
| 127                   | 232 | 5.0               | 7.8               | 5.08              | 0.93 | 31.1                 | 2.86                   | 0.45                                          | 11.3                 | 1.28                   | 0.55                                          | 52.6                             | 1.58                   |  |  |
| 128                   | 127 | 5.0               | 8.0               | 4.36              | 0.82 | 46.9                 | 1.93                   | 0.23                                          | 13.7                 | 0.45                   | 0.77                                          | 61.1                             | 1.48                   |  |  |
| 129                   | 70  | 5.0               | 8.0               | 4.66              | 0.94 | 29.0                 | 0.93                   | 0.58                                          | 10.0                 | 0.54                   | 0.42                                          | 66.7                             | 0.39                   |  |  |
| 130                   | 87  | 5.0               | 8.0               | 5.14              | 1.01 | 30.3                 | 1.20                   | 0.50                                          | 10.0                 | 0.61                   | 0.50                                          | 58.9                             | 0.60                   |  |  |
| 131                   | 10  | 5.0               | 7.3               | 2.69              | 0.71 | 18.8                 | 0.14                   | 0.75                                          | 10.0                 | 0.11                   | 0.25                                          | 100.0                            | 0.04                   |  |  |
| 132                   | 34  | 5.0               | 7.3               | 4.40              | 0.96 | 5.9                  | 0.42                   | 1.00                                          | 10.0                 | 0.42                   | 0.00                                          | —                                | 0.00                   |  |  |
| 133                   | 17  | 5.0               | 7.3               | 4.55              | 1.05 | 20.7                 | 0.21                   | 0.69                                          | 10.0                 | 0.14                   | 0.31                                          | 57.5                             | 0.06                   |  |  |
| 134                   | 33  | 5.0               | 7.3               | 2.72              | 0.64 | 28.9                 | 0.34                   | 0.70                                          | 10.0                 | 0.24                   | 0.30                                          | 67.6                             | 0.10                   |  |  |

#### (5). 地震動特性値の推定

確率論的な地震ハザードマップの作成<sup>10)</sup>では、地震動特性値として最大加速度を用いることとしている。文献<sup>10)</sup>に示される手法を用いれば、最大加速度  $Y(\text{gal})$  を地震動強さの指標とした距離減衰式<sup>14)</sup>によって対象地点である東京に生じる地震動特性値の算出が行える。

$$\log_{10} Y_{ij} = a_1 M_w + a_2 D - bX + c_0 - \log_{10}(X + d10^{0.5M_w}) + c_j \pm e \quad \dots\dots\dots (4.6.4)$$

ここに、

$Y_{ij}$  :  $i$  番目の地震の  $j$  地点における地表面の最大加速度( $\text{gal}$ )

$M_w$  : マグニチュード

$D$  : 震源深さ( $\text{km}$ )

$X$  : 断層面最短距離( $\text{km}$ )

$c_j$  :  $j$  番目の観測点の地点補正值

$e$  : 標準偏差

$a_1, a_2, b, c_0, d$  : 回帰係数(固有周期  $T=1.0$  の場合、 $a_1=0.393, a_2=0.638, b=0.00255, c_0=-11.14, d=0.0040$ )

地域区分 : 東京 緯度 139.75008 経度 35.67603

地盤種別 : II 種地盤

固有周期 :  $T=1.0(\text{sec})^*$

※固有周期  $T=1.0(\text{sec})$  となっている理由は(1).に述べたとおりである。

#### (6). 地震発生回数の推定

(4).で示したように、確率論的な地震ハザードマップの作成<sup>10)</sup>に示される手法では、バックグラウンドゾーン内で発生する地震回数は表 4.6.1 として整理されている。この時、バックグラウンドゾーン内で発生する地震の最低マグニチュードは、 $M5$  以上の比較的大きな地震を対象として設定されており、1 年間の地震発生回数は 0.05 回～5.04 回となっている。

文献<sup>10)</sup>と同じ方法を用いて、最低マグニチュード( $M$ )を  $M4, M3, M2$  とした場合のバックグラウンドゾーンにおける 1 年間の地震発生回数を算出した結果を表 4.6.2～表 4.6.4 に示す。

表 4.6.2 バックグラウンドゾーンで発生する地震 (最低マグニチュード M4 の場合)

| バック<br>グラウンド<br>ゾーン番号 | 地震数 | 最小<br>マグニ<br>チュード | 最大<br>マグニ<br>チュード | バックグラウンドゾーンの上層＋下層 |      |                      | バックグラウンドゾーンの上層(震源深さh≦30km) |                                               |                      | バックグラウンドゾーンの下層(震源深さ30km<h≦100km) |                                               |                      |                        |
|-----------------------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|------|----------------------|----------------------------|-----------------------------------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------|------------------------|
|                       |     |                   |                   | a値                | b値   | 平均的な<br>震源深さ<br>(km) | 年平均地震<br>発生回数<br>(回/年)     | 上層に含まれる<br>地震記録の割合<br>上層の地震記録数<br>上層＋下層の地震記録数 | 平均的な<br>震源深さ<br>(km) | 年平均地震<br>発生回数<br>(回/年)           | 下層に含まれる<br>地震記録の割合<br>下層の地震記録数<br>上層＋下層の地震記録数 | 平均的な<br>震源深さ<br>(km) | 年平均地震<br>発生回数<br>(回/年) |
| 101                   | 527 | 4.0               | 8.1               | 4.70              | 0.84 | 36.7                 | 22.07                      | 0.51                                          | 14.5                 | 11.21                            | 0.49                                          | 55.1                 | 10.86                  |
| 102                   | 771 | 4.0               | 8.5               | 4.32              | 0.75 | 24.4                 | 21.67                      | 0.69                                          | 10.0                 | 14.86                            | 0.31                                          | 53.6                 | 6.81                   |
| 103                   | 272 | 4.0               | 8.0               | 4.88              | 0.90 | 33.1                 | 18.40                      | 0.49                                          | 13.7                 | 9.04                             | 0.51                                          | 52.8                 | 9.36                   |
| 104                   | 411 | 4.0               | 7.8               | 5.12              | 0.90 | 48.6                 | 33.06                      | 0.19                                          | 14.6                 | 6.35                             | 0.81                                          | 58.8                 | 26.71                  |
| 105                   | 432 | 4.0               | 8.5               | 4.95              | 0.87 | 37.5                 | 29.51                      | 0.45                                          | 17.2                 | 13.31                            | 0.55                                          | 52.6                 | 16.20                  |
| 106                   | 628 | 4.0               | 8.0               | 4.76              | 0.81 | 33.7                 | 32.69                      | 0.43                                          | 12.1                 | 14.14                            | 0.57                                          | 50.6                 | 18.55                  |
| 107                   | 83  | 4.0               | 7.3               | 4.70              | 0.94 | 49.8                 | 8.82                       | 0.37                                          | 14.7                 | 3.28                             | 0.63                                          | 70.6                 | 5.54                   |
| 108                   | 3   | 4.0               | 7.3               | 1.08              | 0.47 | 20.0                 | 0.15                       | 0.75                                          | 10.0                 | 0.12                             | 0.25                                          | 40.0                 | 0.04                   |
| 109                   | 292 | 4.0               | 7.5               | 5.55              | 1.00 | 52.6                 | 37.22                      | 0.14                                          | 12.1                 | 5.29                             | 0.86                                          | 63.3                 | 31.93                  |
| 110                   | 18  | 4.0               | 7.3               | 5.06              | 1.11 | 16.7                 | 4.08                       | 0.81                                          | 10.0                 | 3.29                             | 0.19                                          | 66.7                 | 0.79                   |
| 111                   | 73  | 4.0               | 7.6               | 4.52              | 0.90 | 7.0                  | 8.07                       | 0.95                                          | 10.0                 | 7.65                             | 0.05                                          | 90.0                 | 0.42                   |
| 112                   | 165 | 4.0               | 7.8               | 4.94              | 0.99 | 19.7                 | 9.49                       | 0.79                                          | 12.6                 | 7.51                             | 0.21                                          | 44.4                 | 1.98                   |
| 113                   | 174 | 4.0               | 7.4               | 5.30              | 1.01 | 42.4                 | 18.51                      | 0.36                                          | 13.6                 | 6.59                             | 0.64                                          | 60.4                 | 11.92                  |
| 114                   | 72  | 4.0               | 7.5               | 4.19              | 0.86 | 49.0                 | 5.39                       | 0.36                                          | 12.3                 | 1.94                             | 0.64                                          | 65.2                 | 3.45                   |
| 115                   | 212 | 4.0               | 7.3               | 5.43              | 1.01 | 46.1                 | 24.20                      | 0.16                                          | 12.9                 | 3.84                             | 0.84                                          | 59.0                 | 20.35                  |
| 116                   | 157 | 4.0               | 7.3               | 5.04              | 0.95 | 18.9                 | 17.21                      | 0.83                                          | 10.5                 | 14.20                            | 0.17                                          | 51.6                 | 3.01                   |
| 117                   | 71  | 4.0               | 7.8               | 3.16              | 0.70 | 18.6                 | 2.41                       | 0.60                                          | 10.3                 | 1.46                             | 0.40                                          | 55.5                 | 0.95                   |
| 118                   | 37  | 4.0               | 8.0               | 4.66              | 1.00 | 14.5                 | 4.79                       | 0.66                                          | 10.0                 | 3.14                             | 0.34                                          | 41.0                 | 1.65                   |
| 119                   | 39  | 4.0               | 8.0               | 3.72              | 0.82 | 32.4                 | 2.87                       | 0.52                                          | 10.0                 | 1.50                             | 0.48                                          | 56.0                 | 1.37                   |
| 120                   | 41  | 4.0               | 8.0               | 5.94              | 1.25 | 25.7                 | 9.06                       | 0.55                                          | 10.0                 | 5.02                             | 0.45                                          | 46.3                 | 4.03                   |
| 121                   | 18  | 4.0               | 7.5               | 4.01              | 1.01 | 12.8                 | 0.91                       | 0.36                                          | 10.0                 | 0.33                             | 0.64                                          | 43.3                 | 0.59                   |
| 122                   | 13  | 4.0               | 7.8               | 3.97              | 0.95 | 16.3                 | 1.47                       | 0.84                                          | 10.0                 | 1.24                             | 0.16                                          | 52.5                 | 0.23                   |
| 123                   | 20  | 4.0               | 7.8               | 2.60              | 0.64 | 42.7                 | 1.06                       | 0.48                                          | 15.0                 | 0.51                             | 0.52                                          | 61.1                 | 0.55                   |
| 124                   | 49  | 4.0               | 7.3               | 4.08              | 0.88 | 7.0                  | 3.58                       | 0.94                                          | 10.0                 | 3.38                             | 0.06                                          | 37.0                 | 0.20                   |
| 125                   | 107 | 4.0               | 7.4               | 4.81              | 0.95 | 8.4                  | 10.26                      | 0.96                                          | 10.0                 | 9.83                             | 0.04                                          | 41.3                 | 0.43                   |
| 126                   | 17  | 4.0               | 7.3               | 3.16              | 0.78 | 22.3                 | 1.07                       | 0.75                                          | 16.9                 | 0.81                             | 0.25                                          | 40.0                 | 0.27                   |
| 127                   | 232 | 4.0               | 7.8               | 5.08              | 0.93 | 31.1                 | 24.06                      | 0.45                                          | 11.3                 | 10.77                            | 0.55                                          | 52.6                 | 13.29                  |
| 128                   | 127 | 4.0               | 8.0               | 4.36              | 0.82 | 46.9                 | 12.61                      | 0.23                                          | 13.7                 | 2.92                             | 0.77                                          | 61.1                 | 9.69                   |
| 129                   | 70  | 4.0               | 8.0               | 4.66              | 0.94 | 29.0                 | 8.03                       | 0.58                                          | 10.0                 | 4.64                             | 0.42                                          | 66.7                 | 3.39                   |
| 130                   | 87  | 4.0               | 8.0               | 5.14              | 1.01 | 30.3                 | 12.36                      | 0.50                                          | 10.0                 | 6.24                             | 0.50                                          | 58.9                 | 6.12                   |
| 131                   | 10  | 4.0               | 7.3               | 2.69              | 0.71 | 18.8                 | 0.72                       | 0.75                                          | 10.0                 | 0.55                             | 0.25                                          | 100.0                | 0.18                   |
| 132                   | 34  | 4.0               | 7.3               | 4.40              | 0.96 | 5.9                  | 3.82                       | 1.00                                          | 10.0                 | 3.82                             | 0.00                                          | —                    | 0.00                   |
| 133                   | 17  | 4.0               | 7.3               | 4.55              | 1.05 | 20.7                 | 2.30                       | 0.69                                          | 10.0                 | 1.58                             | 0.31                                          | 57.5                 | 0.71                   |
| 134                   | 33  | 4.0               | 7.3               | 2.72              | 0.64 | 28.9                 | 1.48                       | 0.70                                          | 10.0                 | 1.04                             | 0.30                                          | 67.6                 | 0.44                   |

表 4.6.3 バックグラウンドゾーンで発生する地震（最低マグニチュード M3 の場合）

| バック<br>グラウンド<br>ゾーン番号 | 地震数 | 最小<br>マグニ<br>チュード | 最大<br>マグニ<br>チュード | バックグラウンドゾーンの上層＋下層 |      |                      |                        | バックグラウンドゾーンの上層(震源深さh≦30km)                    |                      |                        |                                               | バックグラウンドゾーンの下層(震源深さ30km<h≦100km) |                        |  |  |
|-----------------------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|------|----------------------|------------------------|-----------------------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------|------------------------|--|--|
|                       |     |                   |                   | a値                | b値   | 平均的な<br>震源深さ<br>(km) | 年平均地震<br>発生回数<br>(回/年) | 上層に含まれる<br>地震記録の割合<br>上層の地震記録数<br>上層＋下層の地震記録数 | 平均的な<br>震源深さ<br>(km) | 年平均地震<br>発生回数<br>(回/年) | 下層に含まれる<br>地震記録の割合<br>下層の地震記録数<br>上層＋下層の地震記録数 | 平均的な<br>震源深さ<br>(km)             | 年平均地震<br>発生回数<br>(回/年) |  |  |
| 101                   | 527 | 3.0               | 8.1               | 4.70              | 0.84 | 36.7                 | 152.68                 | 0.51                                          | 14.5                 | 77.54                  | 0.49                                          | 55.1                             | 75.14                  |  |  |
| 102                   | 771 | 3.0               | 8.5               | 4.32              | 0.75 | 24.4                 | 121.01                 | 0.69                                          | 10.0                 | 82.96                  | 0.31                                          | 53.6                             | 38.05                  |  |  |
| 103                   | 272 | 3.0               | 8.0               | 4.88              | 0.90 | 33.1                 | 147.14                 | 0.49                                          | 13.7                 | 72.29                  | 0.51                                          | 52.8                             | 74.85                  |  |  |
| 104                   | 411 | 3.0               | 7.8               | 5.12              | 0.90 | 48.6                 | 261.96                 | 0.19                                          | 14.6                 | 50.31                  | 0.81                                          | 58.8                             | 211.66                 |  |  |
| 105                   | 432 | 3.0               | 8.5               | 4.95              | 0.87 | 37.5                 | 218.26                 | 0.45                                          | 17.2                 | 98.46                  | 0.55                                          | 52.6                             | 119.80                 |  |  |
| 106                   | 628 | 3.0               | 8.0               | 4.76              | 0.81 | 33.7                 | 212.05                 | 0.43                                          | 12.1                 | 91.72                  | 0.57                                          | 50.6                             | 120.33                 |  |  |
| 107                   | 83  | 3.0               | 7.3               | 4.70              | 0.94 | 49.8                 | 76.44                  | 0.37                                          | 14.7                 | 28.41                  | 0.63                                          | 70.6                             | 48.03                  |  |  |
| 108                   | 3   | 3.0               | 7.3               | 1.08              | 0.47 | 20.0                 | 0.46                   | 0.75                                          | 10.0                 | 0.34                   | 0.25                                          | 40.0                             | 0.11                   |  |  |
| 109                   | 292 | 3.0               | 7.5               | 5.55              | 1.00 | 52.6                 | 367.93                 | 0.14                                          | 12.1                 | 52.28                  | 0.86                                          | 63.3                             | 315.65                 |  |  |
| 110                   | 18  | 3.0               | 7.3               | 5.06              | 1.11 | 16.7                 | 52.76                  | 0.81                                          | 10.0                 | 42.54                  | 0.19                                          | 66.7                             | 10.22                  |  |  |
| 111                   | 73  | 3.0               | 7.6               | 4.52              | 0.90 | 7.0                  | 64.55                  | 0.95                                          | 10.0                 | 61.16                  | 0.05                                          | 90.0                             | 3.39                   |  |  |
| 112                   | 165 | 3.0               | 7.8               | 4.94              | 0.99 | 19.7                 | 92.73                  | 0.79                                          | 12.6                 | 73.34                  | 0.21                                          | 44.4                             | 19.39                  |  |  |
| 113                   | 174 | 3.0               | 7.4               | 5.30              | 1.01 | 42.4                 | 188.52                 | 0.36                                          | 13.6                 | 67.13                  | 0.64                                          | 60.4                             | 121.39                 |  |  |
| 114                   | 72  | 3.0               | 7.5               | 4.19              | 0.86 | 49.0                 | 39.40                  | 0.36                                          | 12.3                 | 14.17                  | 0.64                                          | 65.2                             | 25.23                  |  |  |
| 115                   | 212 | 3.0               | 7.3               | 5.43              | 1.01 | 46.1                 | 248.77                 | 0.16                                          | 12.9                 | 39.52                  | 0.84                                          | 59.0                             | 209.25                 |  |  |
| 116                   | 157 | 3.0               | 7.3               | 5.04              | 0.95 | 18.9                 | 153.77                 | 0.83                                          | 10.5                 | 126.88                 | 0.17                                          | 51.6                             | 26.89                  |  |  |
| 117                   | 71  | 3.0               | 7.8               | 3.16              | 0.70 | 18.6                 | 11.93                  | 0.60                                          | 10.3                 | 7.22                   | 0.40                                          | 55.5                             | 4.71                   |  |  |
| 118                   | 37  | 3.0               | 8.0               | 4.66              | 1.00 | 14.5                 | 47.40                  | 0.66                                          | 10.0                 | 31.08                  | 0.34                                          | 41.0                             | 16.32                  |  |  |
| 119                   | 39  | 3.0               | 8.0               | 3.72              | 0.82 | 32.4                 | 18.81                  | 0.52                                          | 10.0                 | 9.81                   | 0.48                                          | 56.0                             | 9.00                   |  |  |
| 120                   | 41  | 3.0               | 8.0               | 5.94              | 1.25 | 25.7                 | 159.57                 | 0.55                                          | 10.0                 | 88.48                  | 0.45                                          | 46.3                             | 71.09                  |  |  |
| 121                   | 18  | 3.0               | 7.5               | 4.01              | 1.01 | 12.8                 | 9.41                   | 0.36                                          | 10.0                 | 3.38                   | 0.64                                          | 43.3                             | 6.02                   |  |  |
| 122                   | 13  | 3.0               | 7.8               | 3.97              | 0.95 | 16.3                 | 13.17                  | 0.84                                          | 10.0                 | 11.09                  | 0.16                                          | 52.5                             | 2.07                   |  |  |
| 123                   | 20  | 3.0               | 7.8               | 2.60              | 0.64 | 42.7                 | 4.66                   | 0.48                                          | 15.0                 | 2.24                   | 0.52                                          | 61.1                             | 2.41                   |  |  |
| 124                   | 49  | 3.0               | 7.3               | 4.08              | 0.88 | 7.0                  | 27.30                  | 0.94                                          | 10.0                 | 25.79                  | 0.06                                          | 37.0                             | 1.51                   |  |  |
| 125                   | 107 | 3.0               | 7.4               | 4.81              | 0.95 | 8.4                  | 91.61                  | 0.96                                          | 10.0                 | 87.78                  | 0.04                                          | 41.3                             | 3.83                   |  |  |
| 126                   | 17  | 3.0               | 7.3               | 3.16              | 0.78 | 22.3                 | 6.49                   | 0.75                                          | 16.9                 | 4.87                   | 0.25                                          | 40.0                             | 1.61                   |  |  |
| 127                   | 232 | 3.0               | 7.8               | 5.08              | 0.93 | 31.1                 | 202.47                 | 0.45                                          | 11.3                 | 90.62                  | 0.55                                          | 52.6                             | 111.86                 |  |  |
| 128                   | 127 | 3.0               | 8.0               | 4.36              | 0.82 | 46.9                 | 82.54                  | 0.23                                          | 13.7                 | 19.11                  | 0.77                                          | 61.1                             | 63.43                  |  |  |
| 129                   | 70  | 3.0               | 8.0               | 4.66              | 0.94 | 29.0                 | 69.60                  | 0.58                                          | 10.0                 | 40.21                  | 0.42                                          | 66.7                             | 29.39                  |  |  |
| 130                   | 87  | 3.0               | 8.0               | 5.14              | 1.01 | 30.3                 | 127.03                 | 0.50                                          | 10.0                 | 64.15                  | 0.50                                          | 58.9                             | 62.88                  |  |  |
| 131                   | 10  | 3.0               | 7.3               | 2.69              | 0.71 | 18.8                 | 3.70                   | 0.75                                          | 10.0                 | 2.79                   | 0.25                                          | 100.0                            | 0.91                   |  |  |
| 132                   | 34  | 3.0               | 7.3               | 4.40              | 0.96 | 5.9                  | 34.46                  | 1.00                                          | 10.0                 | 34.46                  | 0.00                                          | —                                | 0.00                   |  |  |
| 133                   | 17  | 3.0               | 7.3               | 4.55              | 1.05 | 20.7                 | 25.58                  | 0.69                                          | 10.0                 | 17.63                  | 0.31                                          | 57.5                             | 7.95                   |  |  |
| 134                   | 33  | 3.0               | 7.3               | 2.72              | 0.64 | 28.9                 | 6.42                   | 0.70                                          | 10.0                 | 4.51                   | 0.30                                          | 67.6                             | 1.91                   |  |  |

表 4.6.4 バックグラウンドゾーンで発生する地震 (最低マグニチュード M2 の場合)

| バック<br>グラウンド<br>ゾーン番号 | 地震数 | 最小<br>マグニ<br>チュード | 最大<br>マグニ<br>チュード | バックグラウンドゾーンの上層＋下層 |      |                      | バックグラウンドゾーンの上層(震源深さh≦30km) |                                               |                      | バックグラウンドゾーンの下層(震源深さ30km<h≦100km) |                                               |                      |                        |
|-----------------------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|------|----------------------|----------------------------|-----------------------------------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------|------------------------|
|                       |     |                   |                   | a値                | b値   | 平均的な<br>震源深さ<br>(km) | 年平均地震<br>発生回数<br>(回/年)     | 上層に含まれる<br>地震記録の割合<br>上層の地震記録数<br>上層＋下層の地震記録数 | 平均的な<br>震源深さ<br>(km) | 年平均地震<br>発生回数<br>(回/年)           | 下層に含まれる<br>地震記録の割合<br>下層の地震記録数<br>上層＋下層の地震記録数 | 平均的な<br>震源深さ<br>(km) | 年平均地震<br>発生回数<br>(回/年) |
| 101                   | 527 | 2.0               | 8.1               | 4.70              | 0.84 | 36.7                 | 1056.31                    | 0.51                                          | 14.5                 | 536.43                           | 0.49                                          | 55.1                 | 519.88                 |
| 102                   | 771 | 2.0               | 8.5               | 4.32              | 0.75 | 24.4                 | 675.82                     | 0.69                                          | 10.0                 | 463.32                           | 0.31                                          | 53.6                 | 212.50                 |
| 103                   | 272 | 2.0               | 8.0               | 4.88              | 0.90 | 33.1                 | 1176.87                    | 0.49                                          | 13.7                 | 578.20                           | 0.51                                          | 52.8                 | 598.67                 |
| 104                   | 411 | 2.0               | 7.8               | 5.12              | 0.90 | 48.6                 | 2076.06                    | 0.19                                          | 14.6                 | 398.69                           | 0.81                                          | 58.8                 | 1677.37                |
| 105                   | 432 | 2.0               | 8.5               | 4.95              | 0.87 | 37.5                 | 1614.26                    | 0.45                                          | 17.2                 | 728.24                           | 0.55                                          | 52.6                 | 886.02                 |
| 106                   | 628 | 2.0               | 8.0               | 4.76              | 0.81 | 33.7                 | 1375.40                    | 0.43                                          | 12.1                 | 594.92                           | 0.57                                          | 50.6                 | 780.49                 |
| 107                   | 83  | 2.0               | 7.3               | 4.70              | 0.94 | 49.8                 | 662.71                     | 0.37                                          | 14.7                 | 246.32                           | 0.63                                          | 70.6                 | 416.39                 |
| 108                   | 3   | 2.0               | 7.3               | 1.08              | 0.47 | 20.0                 | 1.36                       | 0.75                                          | 10.0                 | 1.02                             | 0.25                                          | 40.0                 | 0.34                   |
| 109                   | 292 | 2.0               | 7.5               | 5.55              | 1.00 | 52.6                 | 3637.18                    | 0.14                                          | 12.1                 | 516.84                           | 0.86                                          | 63.3                 | 3120.34                |
| 110                   | 18  | 2.0               | 7.3               | 5.06              | 1.11 | 16.7                 | 682.83                     | 0.81                                          | 10.0                 | 550.60                           | 0.19                                          | 66.7                 | 132.23                 |
| 111                   | 73  | 2.0               | 7.6               | 4.52              | 0.90 | 7.0                  | 516.29                     | 0.95                                          | 10.0                 | 489.17                           | 0.05                                          | 90.0                 | 27.12                  |
| 112                   | 165 | 2.0               | 7.8               | 4.94              | 0.99 | 19.7                 | 906.19                     | 0.79                                          | 12.6                 | 716.74                           | 0.21                                          | 44.4                 | 189.45                 |
| 113                   | 174 | 2.0               | 7.4               | 5.30              | 1.01 | 42.4                 | 1920.24                    | 0.36                                          | 13.6                 | 683.76                           | 0.64                                          | 60.4                 | 1236.48                |
| 114                   | 72  | 2.0               | 7.5               | 4.19              | 0.86 | 49.0                 | 288.05                     | 0.36                                          | 12.3                 | 103.57                           | 0.64                                          | 65.2                 | 184.48                 |
| 115                   | 212 | 2.0               | 7.3               | 5.43              | 1.01 | 46.1                 | 2557.45                    | 0.16                                          | 12.9                 | 406.32                           | 0.84                                          | 59.0                 | 2151.12                |
| 116                   | 157 | 2.0               | 7.3               | 5.04              | 0.95 | 18.9                 | 1373.67                    | 0.83                                          | 10.5                 | 1133.44                          | 0.17                                          | 51.6                 | 240.23                 |
| 117                   | 71  | 2.0               | 7.8               | 3.16              | 0.70 | 18.6                 | 59.11                      | 0.60                                          | 10.3                 | 35.76                            | 0.40                                          | 55.5                 | 23.35                  |
| 118                   | 37  | 2.0               | 8.0               | 4.66              | 1.00 | 14.5                 | 468.53                     | 0.66                                          | 10.0                 | 307.20                           | 0.34                                          | 41.0                 | 161.33                 |
| 119                   | 39  | 2.0               | 8.0               | 3.72              | 0.82 | 32.4                 | 123.16                     | 0.52                                          | 10.0                 | 64.24                            | 0.48                                          | 56.0                 | 58.91                  |
| 120                   | 41  | 2.0               | 8.0               | 5.94              | 1.25 | 25.7                 | 2811.66                    | 0.55                                          | 10.0                 | 1559.00                          | 0.45                                          | 46.3                 | 1252.67                |
| 121                   | 18  | 2.0               | 7.5               | 4.01              | 1.01 | 12.8                 | 96.69                      | 0.36                                          | 10.0                 | 34.77                            | 0.64                                          | 43.3                 | 61.93                  |
| 122                   | 13  | 2.0               | 7.8               | 3.97              | 0.95 | 16.3                 | 117.62                     | 0.84                                          | 10.0                 | 99.09                            | 0.16                                          | 52.5                 | 18.53                  |
| 123                   | 20  | 2.0               | 7.8               | 2.60              | 0.64 | 42.7                 | 20.47                      | 0.48                                          | 15.0                 | 9.85                             | 0.52                                          | 61.1                 | 10.61                  |
| 124                   | 49  | 2.0               | 7.3               | 4.08              | 0.88 | 7.0                  | 208.02                     | 0.94                                          | 10.0                 | 196.51                           | 0.06                                          | 37.0                 | 11.51                  |
| 125                   | 107 | 2.0               | 7.4               | 4.81              | 0.95 | 8.4                  | 818.36                     | 0.96                                          | 10.0                 | 784.14                           | 0.04                                          | 41.3                 | 34.22                  |
| 126                   | 17  | 2.0               | 7.3               | 3.16              | 0.78 | 22.3                 | 39.26                      | 0.75                                          | 16.9                 | 29.50                            | 0.25                                          | 40.0                 | 9.76                   |
| 127                   | 232 | 2.0               | 7.8               | 5.08              | 0.93 | 31.1                 | 1703.59                    | 0.45                                          | 11.3                 | 762.45                           | 0.55                                          | 52.6                 | 941.15                 |
| 128                   | 127 | 2.0               | 8.0               | 4.36              | 0.82 | 46.9                 | 540.33                     | 0.23                                          | 13.7                 | 125.12                           | 0.77                                          | 61.1                 | 415.20                 |
| 129                   | 70  | 2.0               | 8.0               | 4.66              | 0.94 | 29.0                 | 603.41                     | 0.58                                          | 10.0                 | 348.62                           | 0.42                                          | 66.7                 | 254.79                 |
| 130                   | 87  | 2.0               | 8.0               | 5.14              | 1.01 | 30.3                 | 1305.88                    | 0.50                                          | 10.0                 | 659.46                           | 0.50                                          | 58.9                 | 646.42                 |
| 131                   | 10  | 2.0               | 7.3               | 2.69              | 0.71 | 18.8                 | 18.89                      | 0.75                                          | 10.0                 | 14.24                            | 0.25                                          | 100.0                | 4.66                   |
| 132                   | 34  | 2.0               | 7.3               | 4.40              | 0.96 | 5.9                  | 310.72                     | 1.00                                          | 10.0                 | 310.72                           | 0.00                                          | —                    | 0.00                   |
| 133                   | 17  | 2.0               | 7.3               | 4.55              | 1.05 | 20.7                 | 285.01                     | 0.69                                          | 10.0                 | 196.47                           | 0.31                                          | 57.5                 | 88.55                  |
| 134                   | 33  | 2.0               | 7.3               | 2.72              | 0.64 | 28.9                 | 27.89                      | 0.70                                          | 10.0                 | 19.61                            | 0.30                                          | 67.6                 | 8.29                   |



### (7). 対象地点の地震発生回数

確率論的な地震ハザードマップの作成<sup>10)</sup>に示される手法では、バックグラウンドゾーンにおける 1 年間の地震発生回数はバックグラウンドゾーン内では等しい確率で発生すると考えられている。つまり、あるバックグラウンドゾーンの面積が 100km<sup>2</sup> で 1 年間の発生回数が 30 回であるとすれば、そのバックグラウンドゾーン内の 20km<sup>2</sup>における 1 年間の地震発生回数は 6 回(=30/100×20)となる。

本研究では、東京（霞ヶ関）が受ける地震の影響は、文献<sup>10)</sup>に示される手法のとおり対象位置から半径 300km の範囲内から受けるものとする。また、M5.0 以上の規模の地震を対象とすれば、文献<sup>10)</sup>に示される手法のとおり、対象地点の半径 300km に含まれる各バックグラウンドゾーンの面積に応じて東京（霞ヶ関）における 1 年間の地震発生回数が算出できる。図 4.6.3 に文献<sup>10)</sup>の方法によって算出した各バックグラウンドゾーンにおける 1 年間の地震発生回数を示す。

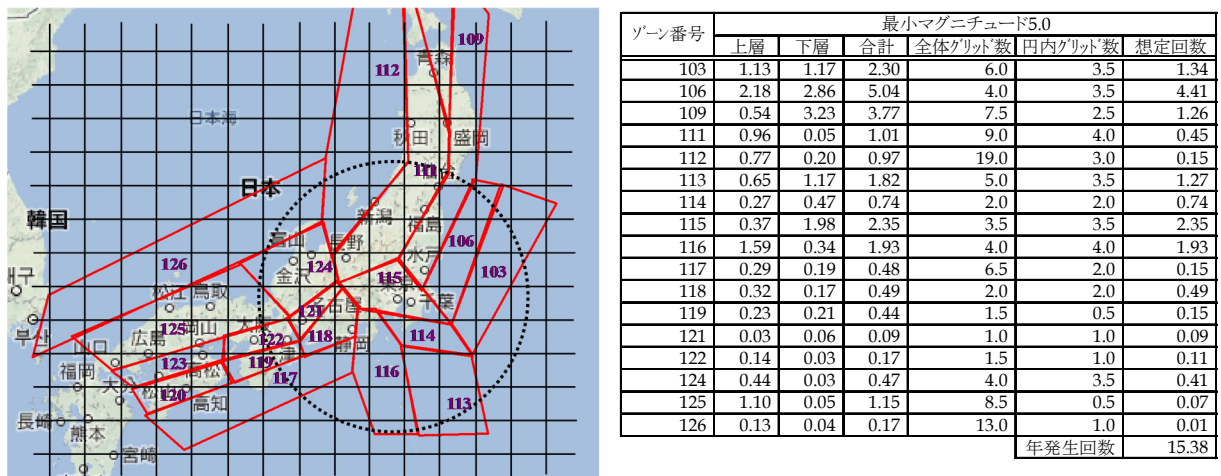


図 4.6.3 東京（霞ヶ関）の 1 年間の地震発生回数

### (8). 月最大応答加速度の確率密度関数

(7).に示した結果から、東京（霞ヶ関）を対象にすれば、M5.0 以上の規模の地震発生回数は年 15 回程度発生することがわかった。本研究では、M5.0 未満の規模の地震については橋の性能に与える影響は小さいものとして考慮しないこととし、荷重シミュレーションにおいては M5.0 以上の地震を 1 年間に 12 時間区間の地震発生回数で考慮する。

また、1 年間に 12 回（12 時間区間）の地震を発生させるために、(5).に示した最大加速度の年最大値分布の確率密度関数を内挿して最大加速度の月最大値分布の確率密度関数を作成する。本研究では、確率密度関数の内挿は式（4.6.4）を用いた。

$$p_{1\text{month}} = 1 - \exp \left\{ - \left( -\text{LN}(1 - p_{1\text{year}}) \right) * \frac{1}{12} \right\} \dots\dots\dots (4.6.4)$$

ここに、 $p_{1\text{month}}$  : 最大加速度の月最大値分布の確率密度

$p_{1\text{year}}$  : 最大加速度の年最大値分布の確率密度

本研究で用いる最大加速度の月最大値分布の確率密度関数は対数正規分布を仮定し、図 4.6.4 に示す確率分布モデルを用いる。

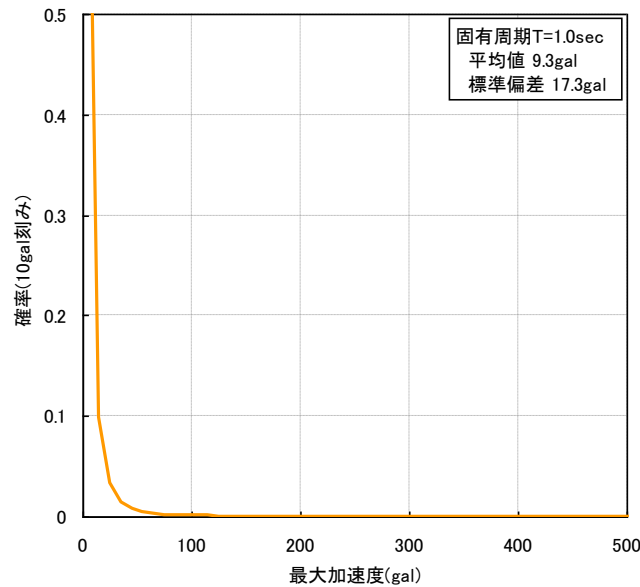


図 4.6.4 最大加速度の月最大値分布の確率密度関数

#### 4.6.2. 地震の影響に関する設計断面力の変換

4.6.1.に示したように、本研究では全ての橋が東京（霞ヶ関）にあり、固有周期 1.0 秒であるものと仮定して荷重シミュレーションを行う。そのため、荷重係数の算出にあたって必要となる荷重シミュレーションの対象橋梁における地震の影響による設計断面力は、下式のように算出し直す。

設計水平震度の比率 =

東京のⅡ種地盤における設計水平震度(=0.25) / 各橋梁の設計計算時の設計水平震度( $k_h$ )

荷重係数の評価において比較する地震荷重による断面力

= 設計水平震度の比率×各橋梁の設計計算時の地震荷重による断面力

荷重シミュレーションにおける地震の影響によるある時刻  $t$  の断面力  $X_{EQ}(t)$  は式 (4.6.5) によって算出する。

$$X_{EQ}(t) = A_{EQ} \cdot \frac{x_{EQ}(t)}{k_h^*} \dots\dots\dots (4.6.5)$$

ここに、 $A_{EQ}$  : 地震の影響の特性値による断面力（死荷重のばらつきは考慮していない）

$k_h^*$  : A 地域Ⅱ種地盤の固有同期 1.0 秒の設計水平震度(=0.25)

$x_{EQ}$  : 地震の影響の確率モデルに基づく震度

## 4.7. 雪荷重(SW)

### 4.7.1. 雪荷重の特性値

道路橋示方書（平成 24 年）Ⅰ共通編 2.2.12 の条文は、雪荷重を考慮する必要がある地域においては、雪荷重を架橋地点の積雪状態や管理の実状を適切に考慮して設定するものとしている。

また、道路橋示方書（平成 24 年）Ⅰ共通編 2.2.12 の解説では、我が国における雪荷重を考慮する必要がある場合として、以下の 2 通りを示している。

①十分圧縮された雪の上を自由に車両が通行できる場合

②積雪が特に多くて自動車交通が不能となり、雪だけが荷重としてかかる場合

①の場合、積雪がある程度以上になれば規定の活荷重が通行する機会は極めて少なくなる、従って、規定の活荷重の他にとるべき雪荷重として、道路橋示方書解説では通常  $1\text{kN/m}^2$ （圧縮された雪で約  $150\text{mm}$  厚）程度をみておけば十分と考えられると述べている。

②の場合、道路橋示方書解説では、雪荷重は実用上、式 (4.7.1) により求めてよいと解説している。

$$SW = P \cdot Z_s \dots\dots\dots (4.7.1)$$

ここに、SW : 雪荷重( $\text{kN/m}^2$ )

P : 雪の平均単位体積重量( $\text{kN/m}^3$ )

$Z_s$  : 設計積雪深(m)

同解説では、雪の平均単位体積重量は地方や季節により異なるが、多雪地域においては一般に  $3.5\text{kN/m}^3$  を見込めばよく、設計積雪深は架橋地点の既往の積雪記録および橋上での積雪状態等を勘案して適当な値を設定するが、通常の場合は架橋地点における再現期間 10 年に相当する年最大積雪深を考慮すればよいと解説されている。

### 4.7.2. 荷重シミュレーションにおける雪荷重の扱い（仮定条件）

荷重シミュレーションにおける雪荷重は、積雪地にある橋梁のみを対象に、4.7.1. に示した道路橋示方書（平成 24 年）における①の圧雪状態を考慮する。また、圧雪の規模に関するデータがないため、道路橋示方書・同解説（平成 24 年）において解説されている荷重強度として  $1.0\text{kN/m}^2$  を確定値として載荷する。

圧雪された状況の継続時間については統計がないため、本研究では積雪期（12～3 月を本研究では想定）には常に圧雪状態と仮定する。また、参照期間 100 年における積雪の有無を確率的に扱うことはせずに、毎年必ず積雪があるものと仮定する。さらに、圧雪状況下での活荷重特性を区別すべきかどうか、また区別するとしてもその特性は明らかではないため、活荷重は年間で共通の特性として組み合わせる。

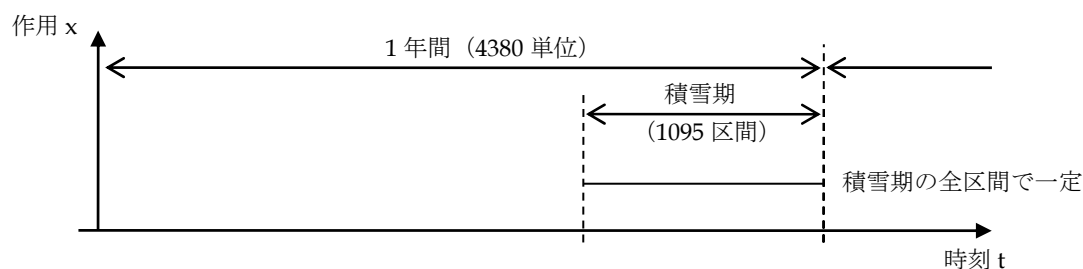


図 4.7.1 荷重シミュレーションにおける雪荷重載荷の模式図

#### 【参考文献】

- 1) (社) 日本道路協会：限界状態設計法分科会荷重検討班第一次報告書、1986
- 2) (社) 日本道路協会：限界状態設計法分科会荷重検討班第二次報告書、1989
- 3) 金井道夫：鋼橋の強度係数および荷重係数に関する信頼性解析、土木研究所資料第 1225 号、1977
- 4) 岩松幸雄、藤田益夫、工藤真之助：PC げたの施工実態調査とその解析、土木研究所資料第 1008 号、1975
- 5) 玉越隆史、中州啓太、石尾真理：道路橋の設計自動車荷重に関する試験調査報告書 ―全国活荷重実態調査―、国土技術政策総合研究所資料 No. 295、2006
- 6) 玉越隆史、中州啓太、石尾真理、中谷昌一：道路橋の交通特性評価手法に関する研究 ―橋梁部材を用いた車両重量計測システム(Bridge Weigh-in Motion System)―、国土技術政策総合研究所資料 No. 188、2004
- 7) 藤原稔、岩崎泰彦、田中良樹：限界状態設計法における設計活荷重に関する検討、土木研究所資料第 2539 号、1988
- 8) 藤原稔、岩崎泰彦、田中良樹：限界状態設計法における設計活荷重に関する検討 II、土木研究所資料第 2700 号、1989
- 9) 久保雅邦、石田良三、北沢正彦、川北司郎：気温と構造物温度の実態調査による温度荷重の検討、土木学会第 41 回年次学術講演会、pp. 339-340、1986
- 10) 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、No. 16、2003
- 11) 日本付近の主要地震データ、(財) 日本気象協会
- 12) 宇津徳治：地震の辞典、朝倉出版、1987
- 13) 荻原尊禮：日本列島の地震―地震工学と地震地体構造―、鹿島出版会、1991
- 14) 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、vol. 62、pp. 740-757、2006