

# 構造物の被害と相関の高い被害指標の検討

Study on a Damage Index to estimate the damage of structure

(独)寒地土木研究所 ○正員 佐藤 京 (Takashi Satoh)  
 飛島建設(株)技術研究所 正員 池田 隆明 (Takaaki Ikeda)  
 飛島建設(株)技術研究所 正員 上明戸 昇 (Noboru Kamiakito)  
 (独)寒地土木研究所 正員 石川 博之 (Hiroaki Ishikawa)

## 1. はじめに

地域の地震防災を考える上で、規模の大きい地震が発生した場合、その地震による被害の状況を要求された精度を保持した上で迅速に推定することは重要である。

北海道では、WISE<sup>1)</sup>およびK-NET<sup>2)</sup>等の地震観測網の充実により、地震による各地の揺れの状況については比較的短時間に把握されることから、これらの観測結果から被害の状況を推定する指標が2次災害防止上、重要と考えている。

構造物の被害をあらわす指標として、計測震度<sup>3)</sup>が知られている。これは、気象庁が設定したもので、これまで体感および周囲の状況から定めていた震度を、平成8年4月から、全国各地に設置した計測震度計により算定し、公表している。

一方、計測震度が運用されてから発生した地震では、震度6弱あるいは6強を示したにもかかわらず、その観測点周辺での被害は大きくなく、実際の被害との相関が高くないことが指摘されている<sup>4),5)</sup>。

このように、計測震度は、地震発生後直ちに震度情報が得られ、地震後の復旧・復興活動に対する迅速な対応への判断材料となるが、構造物の被害指標としては精度が不十分であり、一つの指標で複数の目的を果たすことが困難であることが明らかにされた。そこで、構造物の被害指標としては、検討対象構造物を限定し、それに対して最も被害との相関が高い指標を検討する必要がある。

本報告では、検討対象とする構造物を北海道における道路橋梁に限定し、2003年十勝沖地震での観測記録と、被害状況から被害指標に関する概略検討を行う。

## 2. 2003年十勝沖地震において被害が生じた道路橋梁

2003年十勝沖地震では多くの構造物に被害が生じたことが報告されている<sup>6),7)</sup>。この中で、道路橋梁の被害としては、国道242号線に架かる千代田大橋、国道336号線の十勝河口橋に比較的大きな被害が生じた。千代田大橋では8本の橋脚に被害が生じ、十勝河口橋は支承が破壊し、桁が橋軸直交方向に最大約0.7mずれる被害が生じた<sup>6)</sup>。この他に、土狩大橋、歴舟橋、静川高架橋に軽微な被害が生じている。

図-1に被災橋梁の位置を示す。静川高架橋以外は、震源に近い十勝地域に位置していることがわかる。

今回検討対象とする構造物が橋梁橋脚であることから、被災した5橋の中で千代田大橋を主たる検討対象とする。また、十勝河口橋は支承部に被害が生じているが、支承部が地震外力に持ちこたえられた場合、橋脚に被害が生

じたとも考えられることから、十勝河口橋も検討対象とする。

構造物の被害は、構造物の固有周期に最も影響を受けると考えられる。検討対象の千代田大橋については、十勝沖地震検討会にて健全度に資する解析的検討<sup>8)</sup>が行われ、被害を受けた橋脚の固有周期は、橋軸方向が約0.27～0.34秒、橋軸直角方向が約0.16～0.29秒と推定している。十勝河口橋の橋脚については固有周期が得られていないが、橋脚長が千代田大橋よりも長い場合固有周期は同程度またはそれを超えるものと推測される。

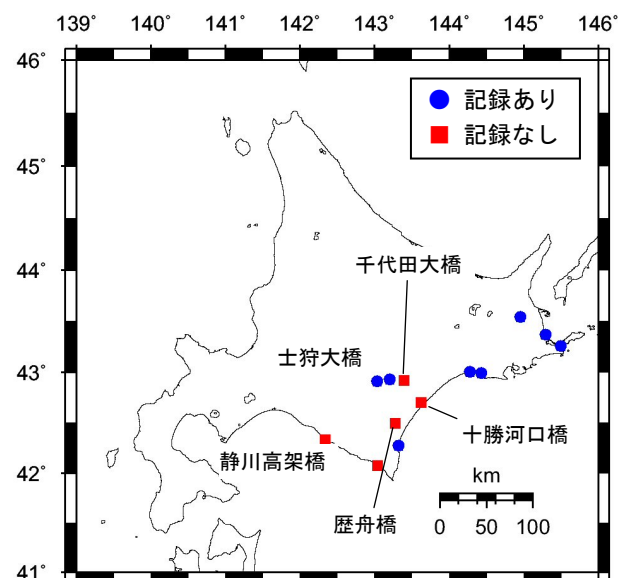


図-1 2003年十勝沖地震において被害を受けた道路橋梁の分布図および地域別補正係数がAの地域内の橋梁を対象としたWISE観測点の分布図

## 3. 検討条件

検討に用いる地震動は、2003年十勝沖地震においてWISEとK-NETで観測された地震動記録である。WISEでは120地点、K-NETでは165地点において記録が得られており、この記録を直接、もしくは平面的な空間分布に補間して検討に使用する。

構造物の被害は、構造物の固有振動数との相関が高いことが知られているため、2003年十勝沖地震で観測された地震動に対して、バンドパスフィルターを作用させる。バンドパスフィルターは、図-2に示すチェビシェフ型のフィルター<sup>9)</sup>である。対象とする周期帯は、表-1に示す55ケースである。なお、AP=0.1、AS=10.0とした。

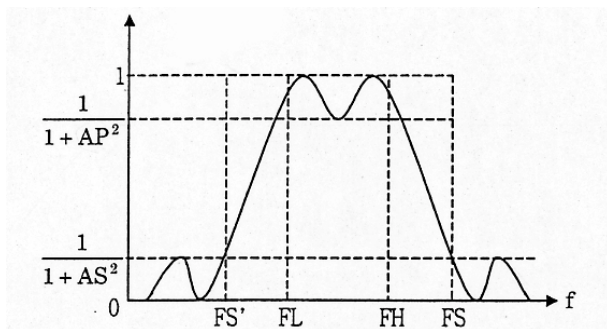


図-2 時刻歴波形に作用させるバンドパスフィルター

表-1 ケース一覧とバンドパスフィルターのパラメータ

| FH (Hz) | FL (Hz) |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|---------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|         | 0.1     | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 5.0 | 10.0 |
| 0.2     | A10     | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    |
| 0.3     | A09     | B09 | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    |
| 0.5     | A08     | B08 | C08 | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    |
| 0.8     | A07     | B07 | C07 | D07 | -   | -   | -   | -   | -   | -    |
| 1.0     | A06     | B06 | C06 | D06 | E06 | -   | -   | -   | -   | -    |
| 2.0     | A05     | B05 | C05 | D05 | E05 | F05 | -   | -   | -   | -    |
| 3.0     | A04     | B04 | C04 | D04 | E04 | F04 | G04 | -   | -   | -    |
| 5.0     | A03     | B03 | C03 | D03 | E03 | F03 | G03 | H03 | -   | -    |
| 10.0    | A02     | B02 | C02 | D02 | E02 | F02 | G02 | H02 | I02 | -    |
| 40.0    | A01     | B01 | C01 | D01 | E01 | F01 | G01 | H01 | I01 | J01  |

ケース名；表中の英数字からなる記号

#### 4. 地震動の最大値分布と被害構造物との関係

地震動の最大値分布は、最も簡易な指標であるため、その適用性についての検討を行う。

##### (1) 最大加速度

図-3(a)に周期帯が最も広い CASE-A01 における最大加速度の空間分布を示す。千代田大橋、十勝河口橋、歴舟橋が最大加速度 600cm/s/s を超える領域にあることがわかる。ただし、600cm/s/s を超える領域は、標津や釧路地域にも見られるが、この地域では橋梁の被害が報告されていないことから、広帯域における最大加速度を被害指標として使用することは困難と考えられる。

千代田大橋と十勝河口橋が含まれる地域だけが最大加速度が大きい周期帯域を抽出すると、CASE-G04 がこれに相当する。図-3(b)に最大加速度の空間分布を示す。CASE-G04 は 2.0~3.0Hz(0.33~0.5 秒)が主たる周期帯である。この周期帯は千代田大橋と十勝河口橋の橋梁橋脚の固有周期とほぼ一致する。

そのため、対象とする固有周期に限定した周期帯域における最大値で評価することにより、構造物の被害の有無を判定できる可能性がある。

##### (2) 最大速度

最大加速度と同様に、広帯域の最大速度は、被害との相関が低いため、千代田大橋と十勝河口橋が含まれる地域だけが最大速度が大きい周期帯域を抽出する。図-4に示すように CASE-G01~CASE-G03 がこれに相当することがわかった。CASE-G01 は 2.0~40.0Hz(0.025~0.5 秒)、CASE-G02 は 2.0~10.0Hz(0.10~0.5 秒)、CASE-G03 は 2.0~5.0Hz(0.2~0.5 秒)が主たる周期帯である。これからわかるように、低い周期(高い振動数)には関係なく、長い周期(低い振動数)との相関が見られる。そのため、0.5 秒以下の周期帯の最大速度分布により、構造

物の被害が評価できる可能性がある。なお、この周期帯は被害を受けた橋脚の固有周期が含まれており、構造物の固有周期は被害評価を行うために着目する周期帯の最長周期を決める指標になりうると考えられる。

##### (3) 最大応答スペクトル

応答スペクトルは、1 質点系の最大応答を示す指標であるため、今回検討対象とした橋梁橋脚の被害に対しては、最も相関が高い指標と考えられる。千代田大橋の橋脚の固有周期が 0.3~0.4 秒であることから、0.3 秒および 0.4 秒の最大加速度応答スペクトル分布に着目する。

図-5 に 0.3 秒および 0.4 秒の最大加速度応答スペクトル(減衰定数 5%)分布を示す。図からわかるように、被害を受けた橋梁は最大加速度応答スペクトルが 600cm/s/s 以上の範囲に位置していることがわかる。

#### 5. 構造物の被害と相関の高い指標の検討

##### (1) 検討手順

前述のように、2003 年十勝沖地震では、5 つの道路橋梁に被害が生じ、そのうち 2 橋において橋脚に被害が見られた。このように、橋脚に被害が見られた橋梁があるのと同様に、被害のない橋梁も複数ある。そこで、以下の手順で構造物の被害と相関の高い指標の検討を行う。

①地域別補正係数が A の地域区分における代表的な道路橋梁を選定する

②①で選定した道路橋梁の建設地点での地震動の最大値を算出する

この場合、WISE により直接地震動記録が得られているものは、その値を用いるが、地震動記録が得られていない場合は、分布値を用いる。

算出する地震動の最大値は、最大加速度、最大速度、最大加速度応答スペクトルの 3 種類である。

③橋脚に被害が生じた、千代田大橋と十勝河口橋と、それ以外の橋梁との地震動の最大値を比較し、被害を受けた橋梁と被害を受けない橋梁との関係から、指標の検討を行う。

##### (2) 検討対象橋梁

図-1 および表-2 に地域別補正係数が A の地域内の橋梁を対象とした WISE 観測地点を示す。対象とする地域内には 13 橋あることがわかる。このうち、8 橋において 2003 年十勝沖地震での観測記録が得られていることがわかる。観測記録が得られていない 5 橋については、地震動の最大値の分布図から最大値の推定を行う。

表-2 検討対象橋梁の諸元と観測記録の有無

| No | 記号       | 橋梁名称   | 地盤<br>種別 | 記録 | 位置       |         |
|----|----------|--------|----------|----|----------|---------|
|    |          |        |          |    | 経度       | 緯度      |
| 1  | I305K001 | 静内橋    | Ⅱ種       |    | 142.3333 | 42.3333 |
| 2  | I306K004 | 幌満橋    | Ⅰ種       |    | 143.0378 | 42.0733 |
| 3  | I801K001 | 十勝大橋   | Ⅱ種       | ○  | 143.2025 | 42.9361 |
| 4  | I801K004 | 土狩大橋   | Ⅱ種       | ○  | 143.0339 | 42.9125 |
| 5  | I803K001 | 千代田大橋  | Ⅱ種       |    | 143.3892 | 42.9197 |
| 6  | I803K002 | 十勝河口橋  | Ⅲ種       |    | 143.6239 | 42.7019 |
| 7  | I804K003 | 大樹橋    | Ⅱ種       |    | 143.2761 | 42.4953 |
| 8  | I804K004 | 広尾橋    | Ⅱ種       | ○  | 143.3194 | 42.2792 |
| 9  | I901K001 | りんどう大橋 | Ⅲ種       | ○  | 144.9561 | 43.5439 |
| 10 | I902K003 | 大楽毛橋   | Ⅱ種       | ○  | 144.2711 | 43.0083 |
| 11 | I902K004 | 釧網跨線橋  | Ⅱ種       | ○  | 144.4275 | 42.9972 |
| 12 | I904K003 | 温根沼大橋  | Ⅱ種       | ○  | 145.4917 | 43.2639 |
| 13 | I904K004 | 別海橋    | Ⅲ種       | ○  | 145.2917 | 43.3764 |

## (3) 検討結果

表-3(a)に被害を受けた 2 つの橋梁地点での最大地震動のうち小さい方と、被害がなかった 11 の橋梁地点での最大地震動の中での最も大きい値を示す。

最大加速度に着目すると、対象とする振動数によらず被害が生じていない橋梁構造物の地点の最大加速度は  $400\text{cm/s/s}$  を超えていない。一方、高い振動数を考慮したケースでは、被害を受けた橋梁構造物の地点の最大加速度は  $400\text{cm/s/s}$  を超えている。

最大速度については、被害と無被害を区別するための最大値が見られない。そのため、被害指標として確立することが困難であると考えられる。

最大加速度応答スペクトルについては、最も帯域が広い CASE-A01 に着目すると、被害が生じていない橋梁構造物の地点の最大加速度応答スペクトルは  $1,100\text{cm/s/s}$  を超えていないのに対して、被害を受けた橋梁構造物の地点の最大加速度応答スペクトルは  $1,100\text{cm/s/s}$  を超えていることがわかる。

これらの結果より、最大加速度は  $400\text{cm/s/s}$ 、最大加速度応答スペクトルは  $1,100\text{cm/s/s}$  が無被害と被害を分ける指標となりうると考えられる。

ただし、最大加速度を用いる場合、パルス的なノイズ波形を考慮する必要がある。そのため、最高振動数がある程度まで抑える必要がある。本検討では、最高振動数と最大加速度の関係を見ると、最高振動数は  $10\text{Hz}$  以上でほとんど変化がないことから、 $10\text{Hz}$  を最高振動数とすることが有効と考えられる。

なお、この指標を地震後の安全管理指標に用いる場合は、安全率を考慮する必要がある。無被害橋梁の中で最大加速度が大きいのは大樹橋であり、その値は被害橋梁である千代田大橋や十勝河口橋と同程度である。そこで、大樹橋のデータを除外して同様の検討を行った。表-3(b)に無被害橋梁から大樹橋を除いた場合の最大値を示す。無被害橋梁の最大加速度は大幅に低下し、 $350\text{cm/s/s}$  を下回る。また、全てを考慮した場合には被害と無被害の境界が見いだせなかった最大速度についても、 $50\text{cm/s}$  を境として区別することが可能となった。

そのため、通行止めを伴うような被害を想定する管理指標としては最大加速度が  $350\text{cm/s/s}$ 、最大速度は  $50\text{cm/s}$ 、最大加速度応答スペクトルは  $900\text{cm/s/s}$  程度の値が適切と考えられる。

## 6. まとめ

地震直後の被害状況の即時把握を目的とした構造物の被害指標の確立を目的に、道路橋梁を対象とした被害指標の検討を行った。

着目した指標は、地震後にすぐに得られることを前提に、最大加速度、最大速度、加速度応答スペクトルの 3 種類とした。北海道で観測された地震動記録に複数の帯域を有するバンドパスフィルターを作用させ、帯域と 3 つの指標との関係を検討するとともに、2003 年十勝沖地震での被害事例とも照合した。その結果、最大加速度では  $350\text{cm/s/s}$ 、最大速度では  $50\text{cm/s}$ 、加速度応答スペクトルでは  $900\text{cm/s/s}$  が無被害と被害を分ける指標と

して有効であることがわかった。

今後、さらに詳細な検討を行い、被害指標の精度の向上をはかる予定である。

## 【謝辞】

K-NET の観測記録と地盤条件を使用させていただきました。

## 【参考文献】

- 1) 北海道開発土木研究所 構造研究室：北海道開発局の強震観測，北海道開発土木研究所月報，No.622，2005.
- 2) 防災科学技術研究所：強震ネットワーク  
<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- 3) 気象庁：震度について，  
<http://www.kishou.go.jp/know/shindo/shindokai.html>
- 4) 境有紀，吉岡伸悟，額額一起，壁谷澤寿海：1999年台湾集集地震に基づいた建物被害を予測する地震動の破壊力指標の検討，日本建築学会構造系論文集，549,43-50,2001.
- 5) 境有紀，額額一起，神野達夫：建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案，日本建築学会構造系論文集，555,85-91,2002.
- 6) 北海道開発土木研究所月報：平成15年(2003年)十勝沖地震被害調査報告 特集号，2003.
- 7) 土木学会：2003年に発生した地震によるコンクリート構造物の被害分析，コンクリートライブラリー 114,2004.
- 8) 十勝沖地震検討会：平成15年(2003年)十勝沖地震検討会報告書，2004.
- 9) 斎藤正徳：漸化式ディジタル・フィルターの自動設計，物理探鉱，32，240-263，1978.

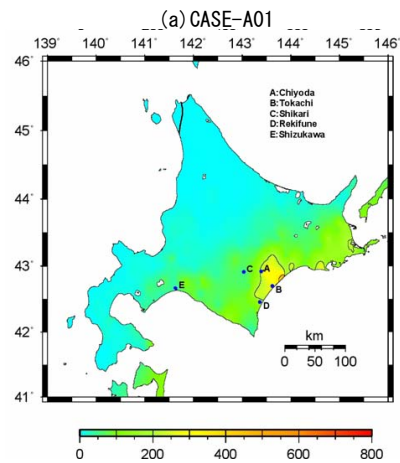
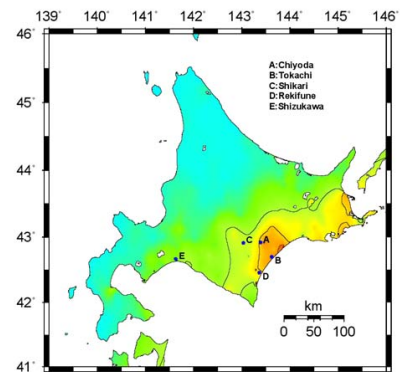


図-3 最大加速度分布

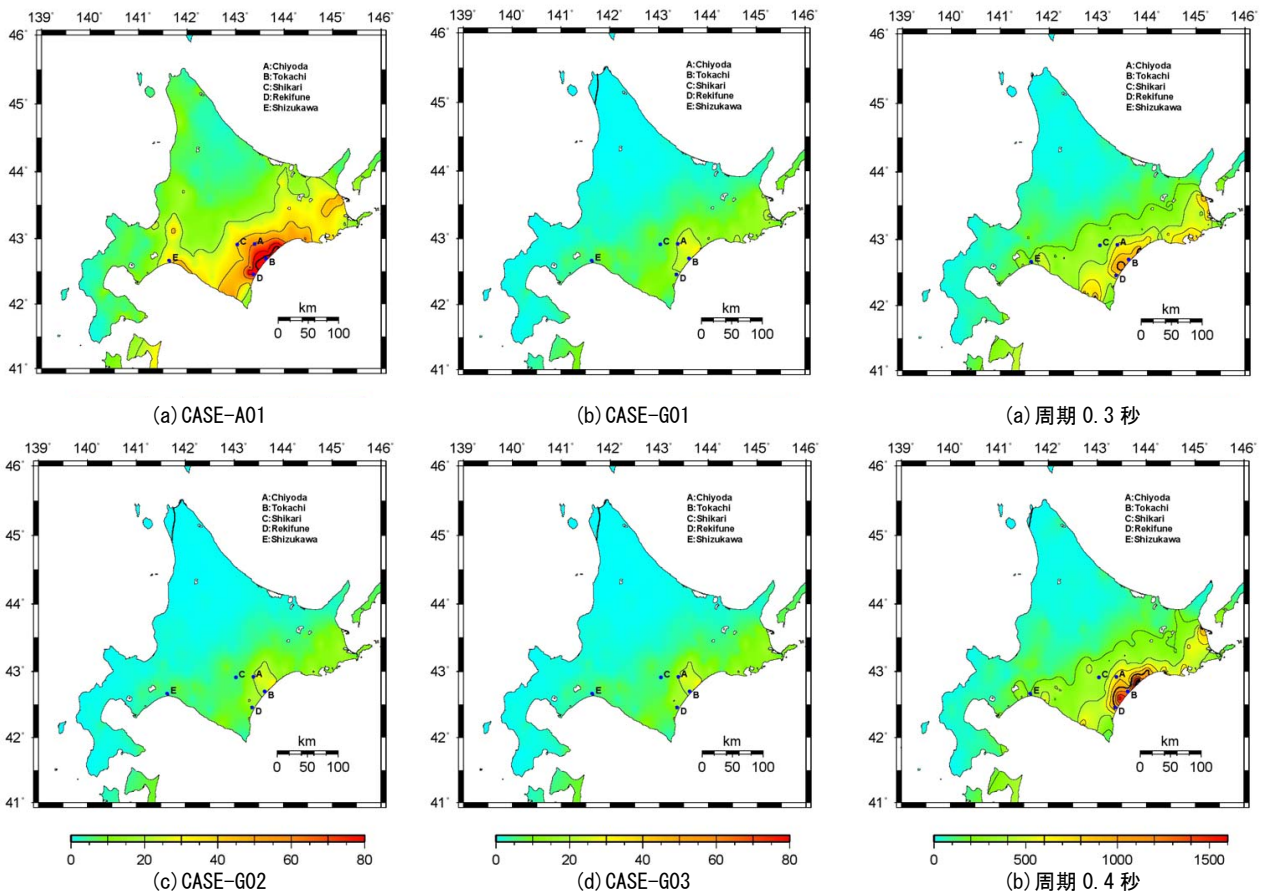


図-4 最低振動数が 2.0Hz (最長周期が 0.5 秒) の最大速度分布

図-5 最大加速度応答スペクトル分布

表-3 地域別補正係数の A の地域区分にある橋梁の建設地点における 2003 年十勝沖地震での最大値の比較

(a) 全ての観測記録を考慮

|          | 加速度 (cm/s <sup>2</sup> ) |            |                  | 速度 (cm/s) |            |                  | 加速度応答スペクトル (cm/s <sup>2</sup> ) |            |                  |
|----------|--------------------------|------------|------------------|-----------|------------|------------------|---------------------------------|------------|------------------|
|          | A                        | B          | 判定               | A         | B          | 判定               | A                               | B          | 判定               |
|          | 被害<br>最低値                | 無被害<br>最大値 | ○: A>B<br>×: A≤B | 被害<br>最低値 | 無被害<br>最大値 | ○: A>B<br>×: A≤B | 被害<br>最低値                       | 無被害<br>最大値 | ○: A>B<br>×: A≤B |
| CASE-A01 | 412                      | 399        | ○                | 65.5      | 94.1       | ×                | 1315                            | 1026       | ○                |
| CASE-A02 | 402                      | 391        | ○                | 65.4      | 91.2       | ×                | 1315                            | 1026       | ○                |
| CASE-A03 | 379                      | 367        | ○                | 64.6      | 91.0       | ×                | 1277                            | 1025       | ○                |
| CASE-A04 | 341                      | 393        | ×                | 64.9      | 91.6       | ×                | 1149                            | 1019       | ○                |
| CASE-A05 | 308                      | 336        | ×                | 64.7      | 91.4       | ×                | 1136                            | 997        | ○                |
| CASE-A06 | 230                      | 289        | ×                | 64.0      | 101.5      | ×                | 1067                            | 883        | ○                |
| CASE-A07 | 164                      | 263        | ×                | 62.6      | 96.6       | ×                | 812                             | 883        | ×                |
| CASE-A08 | 113                      | 175        | ×                | 55.6      | 77.7       | ×                | 464                             | 863        | ×                |
| CASE-A09 | 45                       | 74         | ×                | 31.6      | 46.0       | ×                | 230                             | 424        | ×                |
| CASE-A10 | 15                       | 22         | ×                | 14.1      | 20.3       | ×                | 113                             | 152        | ×                |
| CASE-B01 | 410                      | 395        | ○                | 63.7      | 89.6       | ×                | 1315                            | 1026       | ○                |
| CASE-B02 | 397                      | 371        | ○                | 60.7      | 90.3       | ×                | 1315                            | 1026       | ○                |
| CASE-B03 | 373                      | 357        | ○                | 59.8      | 90.2       | ×                | 1277                            | 1025       | ○                |
| CASE-B04 | 336                      | 398        | ×                | 59.9      | 91.2       | ×                | 1149                            | 1019       | ○                |
| CASE-B05 | 303                      | 341        | ×                | 59.1      | 90.5       | ×                | 1136                            | 997        | ○                |
| CASE-B06 | 224                      | 293        | ×                | 55.7      | 101.1      | ×                | 1067                            | 883        | ○                |
| CASE-B07 | 156                      | 268        | ×                | 54.0      | 96.6       | ×                | 812                             | 883        | ×                |
| CASE-B08 | 104                      | 180        | ×                | 46.5      | 77.8       | ×                | 464                             | 863        | ×                |
| CASE-B09 | 36                       | 73         | ×                | 22.2      | 43.1       | ×                | 230                             | 424        | ×                |
| CASE-C01 | 408                      | 398        | ○                | 59.8      | 87.5       | ×                | 1315                            | 1026       | ○                |
| CASE-C02 | 403                      | 396        | ○                | 60.1      | 74.7       | ×                | 1315                            | 1026       | ○                |
| CASE-C03 | 377                      | 361        | ○                | 59.9      | 74.5       | ×                | 1277                            | 1025       | ○                |
| CASE-C04 | 338                      | 368        | ×                | 59.0      | 75.4       | ×                | 1149                            | 1019       | ○                |
| CASE-C05 | 301                      | 316        | ×                | 59.0      | 75.4       | ×                | 1136                            | 997        | ○                |
| CASE-C06 | 225                      | 261        | ×                | 51.7      | 83.5       | ×                | 1067                            | 883        | ○                |
| CASE-C07 | 158                      | 234        | ×                | 48.0      | 78.6       | ×                | 812                             | 883        | ×                |
| CASE-C08 | 82                       | 143        | ×                | 32.5      | 58.1       | ×                | 464                             | 862        | ×                |
| CASE-D01 | 389                      | 413        | ×                | 54.4      | 60.9       | ×                | 1315                            | 1026       | ○                |
| CASE-D02 | 367                      | 407        | ×                | 52.4      | 59.8       | ×                | 1315                            | 1026       | ○                |
| CASE-D03 | 366                      | 370        | ×                | 52.1      | 50.1       | ○                | 1277                            | 1025       | ○                |
| CASE-D04 | 310                      | 331        | ×                | 51.7      | 50.3       | ○                | 1149                            | 1019       | ○                |
| CASE-D05 | 277                      | 246        | ×                | 51.1      | 52.3       | ×                | 1136                            | 997        | ○                |
| CASE-D06 | 200                      | 179        | ○                | 41.7      | 45.5       | ×                | 1067                            | 883        | ○                |
| CASE-D07 | 119                      | 154        | ×                | 28.6      | 40.1       | ×                | 813                             | 883        | ×                |
| CASE-E01 | 375                      | 362        | ○                | 44.5      | 41.0       | ○                | 1315                            | 1026       | ○                |
| CASE-E02 | 382                      | 410        | ×                | 38.1      | 37.3       | ○                | 1315                            | 1026       | ○                |
| CASE-E03 | 316                      | 370        | ×                | 37.3      | 37.3       | ○                | 1315                            | 1026       | ○                |
| CASE-E04 | 270                      | 330        | ×                | 37.1      | 35.1       | ○                | 1149                            | 1019       | ○                |
| CASE-E05 | 253                      | 230        | ○                | 36.1      | 30.9       | ○                | 1136                            | 993        | ○                |
| CASE-E06 | 134                      | 87         | ○                | 23.9      | 15.4       | ○                | 1053                            | 801        | ○                |
| CASE-F01 | 376                      | 381        | ×                | 35.7      | 37.2       | ×                | 1287                            | 1026       | ○                |
| CASE-F02 | 346                      | 375        | ×                | 23.5      | 30.3       | ×                | 1287                            | 1026       | ○                |
| CASE-F03 | 349                      | 333        | ×                | 22.6      | 29.4       | ×                | 1248                            | 1026       | ○                |
| CASE-F04 | 235                      | 286        | ×                | 22.0      | 26.6       | ×                | 1049                            | 1016       | ○                |
| CASE-F05 | 183                      | 185        | ×                | 20.4      | 21.8       | ×                | 1001                            | 993        | ○                |
| CASE-G01 | 349                      | 292        | ○                | 19.2      | 16.7       | ○                | 1277                            | 995        | ○                |
| CASE-G02 | 326                      | 258        | ○                | 16.2      | 12.7       | ○                | 1277                            | 995        | ○                |
| CASE-G03 | 289                      | 197        | ○                | 15.3      | 11.6       | ○                | 1288                            | 996        | ○                |
| CASE-G04 | 174                      | 133        | ○                | 11.4      | 8.3        | ○                | 1038                            | 845        | ○                |
| CASE-H01 | 232                      | 264        | ×                | 11.4      | 9.7        | ○                | 1140                            | 891        | ○                |
| CASE-H02 | 162                      | 226        | ×                | 6.7       | 7.0        | ×                | 1140                            | 891        | ○                |
| CASE-H03 | 129                      | 153        | ×                | 6.0       | 6.3        | ×                | 1138                            | 891        | ○                |
| CASE-I01 | 144                      | 228        | ×                | 3.7       | 5.3        | ×                | 787                             | 828        | ×                |
| CASE-I02 | 92                       | 152        | ×                | 2.4       | 4.1        | ×                | 787                             | 828        | ×                |
| CASE-J01 | 57                       | 92         | ×                | 0.8       | 1.3        | ×                | 578                             | 661        | ×                |

(b) 無被害から大樹橋を除く

|          | 加速度 (cm/s <sup>2</sup> ) |            |                  | 速度 (cm/s) |            |                  | 加速度応答スペクトル (cm/s <sup>2</sup> ) |            |                  |
|----------|--------------------------|------------|------------------|-----------|------------|------------------|---------------------------------|------------|------------------|
|          | A                        | B          | 判定               | A         | B          | 判定               | A                               | B          | 判定               |
|          | 被害<br>最低値                | 無被害<br>最大値 | ○: A>B<br>×: A≤B | 被害<br>最低値 | 無被害<br>最大値 | ○: A>B<br>×: A≤B | 被害<br>最低値                       | 無被害<br>最大値 | ○: A>B<br>×: A≤B |
| CASE-A01 | 412                      | 329        | ○                | 65.5      | 66.0       | ×                | 1315                            | 883        | ○                |
| CASE-A02 | 402                      | 325        | ○                | 65.5      | 65.5       | ×                | 1315                            | 883        | ○                |
| CASE-A03 | 379                      | 300        | ○                | 64.6      | 66.2       | ×                | 1277                            | 883        | ○                |
| CASE-A04 | 341                      | 281        | ○                | 64.9      | 66.7       | ×                | 1149                            | 883        | ○                |
| CASE-A05 | 308                      | 278        | ○                | 64.7      | 66.4       | ×                | 1136                            | 883        | ○                |
| CASE-A06 | 230                      | 212        | ○                | 64.0      | 66.3       | ×                | 1067                            | 883        | ○                |
| CASE-A07 | 164                      | 171        | ×                | 62.6      | 58.9       | ○                | 812                             | 883        | ×                |
| CASE-A08 | 113                      | 65         | ○                | 55.6      | 42.2       | ○                | 464                             | 397        | ○                |
| CASE-A09 | 45                       | 60         | ×                | 31.6      | 41.2       | ×                | 230                             | 240        | ×                |
| CASE-A10 | 15                       | 22         | ×                | 14.1      | 20.3       | ×                | 113                             | 152        | ×                |
| CASE-B01 | 410                      | 390        | ○                | 63.7      | 67.9       | ×                | 1315                            | 883        | ○                |
| CASE-B02 | 397                      | 322        | ○                | 60.7      | 66.8       | ×                | 1315                            | 883        | ○                |
| CASE-B03 | 373                      | 295        | ○                | 59.8      | 67.2       | ×                | 1277                            | 883        | ○                |
| CASE-B04 | 336                      | 282        | ○                | 59.9      | 67.4       | ×                | 1149                            | 883        | ○                |
| CASE-B05 | 303                      | 278        | ○                | 59.1      | 66.8       | ×                | 1136                            | 883        | ○                |
| CASE-B06 | 224                      | 212        | ○                | 55.7      | 66.1       | ×                | 1067                            | 883        | ○                |
| CASE-B07 | 156                      | 171        | ×                | 54.0      | 58.5       | ×                | 812                             | 883        | ×                |
| CASE-B08 | 104                      | 60         | ○                | 46.5      | 34.4       | ○                | 464                             | 397        | ○                |
| CASE-B09 | 36                       | 52         | ×                | 22.2      | 33.3       | ×                | 230                             | 240        | ×                |
| CASE-C01 | 408                      | 326        | ○                | 59.8      | 62.3       | ×                | 1315                            | 883        | ○                |
| CASE-C02 | 403                      | 322        | ○                | 60.1      | 57.9       | ○                | 1315                            | 883        | ○                |
| CASE-C03 | 377                      | 296        | ○                | 59.9      | 57.9       | ○                | 1277                            | 883        | ○                |
| CASE-C04 | 338                      | 278        | ○                | 59.0      | 58.3       | ○                | 1149                            | 883        | ○                |
| CASE-C05 | 301                      | 274        | ○                | 59.0      | 57.1       | ○                | 1136                            | 883        | ○                |
| CASE-C06 | 225                      | 207        | ○                | 51.7      | 57.0       | ×                | 1067                            | 883        | ○                |
| CASE-C07 | 158                      | 165        | ×                | 48.0      | 49.5       | ×                | 812                             | 883        | ×                |
| CASE-C08 | 82                       | 53         | ○                | 32.5      | 21.2       | ○                | 464                             | 397        | ○                |
| CASE-D01 | 389                      | 312        | ○                | 54.4      | 52.7       | ○                | 1315                            | 883        | ○                |
| CASE-D02 | 367                      | 292        | ○                | 52.4      | 49.0       | ○                | 1315                            | 883        | ○                |
| CASE-D03 | 366                      | 263        | ○                | 52.1      | 49.0       | ○                | 1277                            | 883        | ○                |
| CASE-D04 | 310                      | 245        | ○                | 51.7      | 48.7       | ○                | 1149                            | 883        | ○                |
| CASE-D05 | 277                      | 245        | ○                | 51.1      | 48.8       | ○                | 1136                            | 883        | ○                |
| CASE-D06 | 200                      | 179        | ○                | 41.7      | 45.5       | ×                | 1067                            | 883        | ○                |
| CASE-D07 | 119                      | 154        | ×                | 28.6      | 40.1       | ×                | 813                             | 883        | ×                |
| CASE-E01 | 375                      | 266        | ○                | 44.5      | 31.6       | ○                | 1315                            | 846        | ○                |
| CASE-E02 | 382                      | 382        | ○                | 38.1      | 22.1       | ○                | 1315                            | 846        | ○                |
| CASE-E03 | 316                      | 275        | ○                | 37.3      | 21.2       | ○                | 1277                            | 846        | ○                |
| CASE-E04 | 270                      | 204        | ○                | 37.1      | 19.9       | ○                | 1149                            | 740        | ○                |
| CASE-E05 | 253                      | 152        | ○                | 36.1      | 19.3       | ○                | 1135                            | 656        | ○                |
| CASE-E06 | 134                      | 85         | ○                | 23.9      | 15.4       | ○                | 1053                            | 654        | ○                |
| CASE-F01 | 376                      | 261        | ○                | 35.7      | 20.3       | ○                | 1287                            | 846        | ○                |
| CASE-F02 | 346                      | 232        | ○                | 23.5      | 16.5       | ○                | 1287                            | 846        | ○                |
| CASE-F03 | 349                      | 212        | ○                | 22.6      | 16.7       | ○                | 1248                            | 846        | ○                |
| CASE-F04 | 235                      | 179        | ○                | 22.0      | 15.9       | ○                | 1049                            | 740        | ○                |
| CASE-F05 | 183                      | 119        | ○                | 20.4      | 14.5       | ○                | 1001                            | 656        | ○                |
| CASE-G01 | 349                      | 268        | ○                | 19.2      | 13.1       | ○                | 1277                            | 846        | ○                |
| CASE-G02 | 326                      | 249        | ○                | 16.2      | 10.6       | ○                | 1277                            | 846        | ○                |
| CASE-G03 | 289                      | 161        | ○                | 15.3      | 10.5       | ○                | 1288                            | 846        | ○                |
| CASE-G04 | 174                      | 120        | ○                | 11.4      | 8.6        | ○                | 1038                            | 740        | ○                |
| CASE-H01 | 232                      | 264        | ×                | 11.4      | 7.9        | ○                | 1140                            | 846        | ○                |
| CASE-H02 | 162                      | 226        | ×                | 6.7       | 7.0        | ×                | 1140                            | 846        | ○                |
| CASE-H03 | 129                      | 153        | ×                | 6.0       | 6.3        | ×                | 1138                            | 846        | ○                |
| CASE-I01 | 144                      | 228        | ×                | 3.7       | 5.3        | ×                | 787                             | 828        | ×                |
| CASE-I02 | 92                       | 152        | ×                | 2.4       | 4.1        | ×                | 787                             | 828        | ×                |
| CASE-J01 | 57                       | 77         | ×                | 0.8       | 0.9        | ×                | 578                             | 456        | ○                |