

# 北海道における活断層を対象とした 既設道路橋の耐震補強優先度評価に関する一検討

*Study on the establishment for prioritization of the existing highway bridges  
in terms of urgency of improving their seismic safety by active fault of Hokkaido*

○大日本コンサルタント(株) 正会員 原田政彦(Masahiko Harada)  
北海道開発土木研究所 正会員 國松博一(Hirokazu Kunimatsu)  
北海道開発土木研究所 正会員 石川博之(Hiroyuki Ishikawa)  
北海道開発土木研究所 正会員 三田村浩(Hiroshi Mitamura)  
飛島建設(株)技術研究所 正会員 池田隆明(Takaaki Ikeda)  
大日本コンサルタント(株) 正会員 川神雅秀(Masahide Kawakami)

## 1. はじめに

道路橋のレベル2地震を想定した耐震補強対策は、平成7年兵庫県南部地震直後の震災対策緊急橋梁補強事業、その後の新道路整備5カ年計画に沿って現在も実施中である。耐震補強の対象となる橋梁は、1次緊急輸送道路及び二次災害の危険性のある道路橋を中心に、昭和55年版道路橋示方書より古い耐震設計基準を適用したRC単柱橋脚や落橋防止システムが優先されているが、限られた予算枠内での事業執行であり必ずしも効果的な対応となっていない場合がある。

大規模地震の切迫性が指摘される中、平成15年9月のM8.0十勝沖地震、平成16年10月のM6.8新潟県中越地震等が発生するなど、大規模地震を対象とした耐震補強事業を如何にして効果的で効率的に推進するかについては大きな課題である。

耐震補強優先度評価の仕組みは、既に著者等<sup>1)</sup>が、北海道開発局の管理する約3200橋の既設道路橋を対象に耐震補強優先度評価手法の提案と優先度判定に供する優先度評価支援システムの構築概要について報告している。この他に大谷等<sup>2)</sup>、永松等<sup>3)</sup>の論文も参考となる。

本文では、新潟県中越地震による道路橋の被災結果を踏まえ、北海道における活断層を震源とする地震動に着目し検討を行った耐震補強優先橋梁の選定方法について、その概要を報告する。

## 2. 新潟県中越地震による被災橋梁の概要

平成16年10月23日17時56分、新潟県中越地方を震源とする新潟県中越地震(以下、中越地震と呼ぶ)は、震源が13km(速報値)と浅く、震央に近い川口町では震度7、小千谷市等では震度6強が観測された。その後も大きな余震が続き最大震度6強を観測する地震も発生している。地震発生メカニズムは、小平尾断層と六日町盆地西縁断層の北部が活動して起きたものと推察されているが現時点で正式に公表されたものではない。

表-1 代表的な中越地震強震観測記録

| 新潟県中越地震<br>(2004/10/23 17:56) | 最大加速度(gal) |       |       |       | 震度     |
|-------------------------------|------------|-------|-------|-------|--------|
|                               | N-S        | E-W   | U-D   | 3成分   |        |
| K-NET 小千谷                     | 1144       | 1308  | 820   | 1500  | 震度相当7  |
| JMA 小千谷                       | 779        | 897   | 730   | 1007  | 震度6強   |
| K-NET 十日町                     | 1716       | 849   | 564   | 1750  | 震度相当6強 |
| 兵庫県南部地震 JMA 神戸                | 818.0      | 617.3 | 332.2 | 891.0 |        |
| 十勝沖地震 K-NET 広尾                | 810.2      | 972.6 | 461.2 | 988.4 |        |

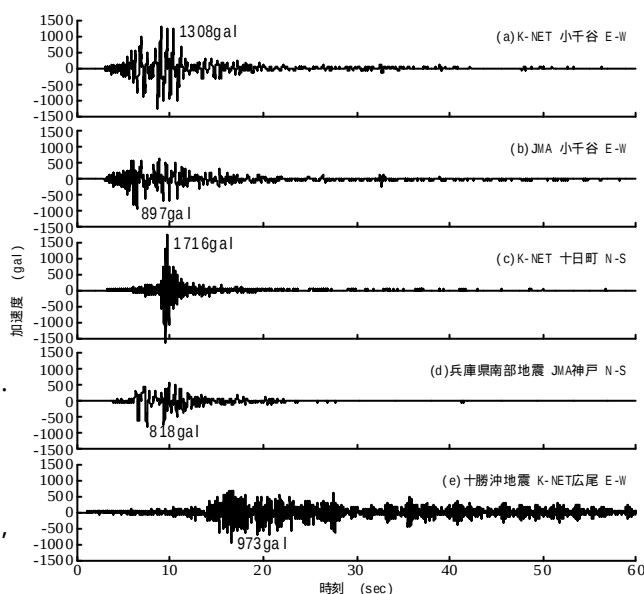


図-1 地震加速度波の比較

### (1) 地震動の特性

今回の地震動(本震)は、多くの地震波が短周期成分を有し、建造物に大きな被害を及ぼす1~2秒震度よりも計測震度(人体感覚、室内物品の動き)に対応する0.1~1秒程度が卓越する傾向を示している。最大加速度(3成分合成)の記録は、K-NET 十日町(NIG021)で1750gal、K-NET 小千谷(NIG019)で1500galの強い値が観測された(表-1参照)。同様の現象は、2003年宮城県北部地震

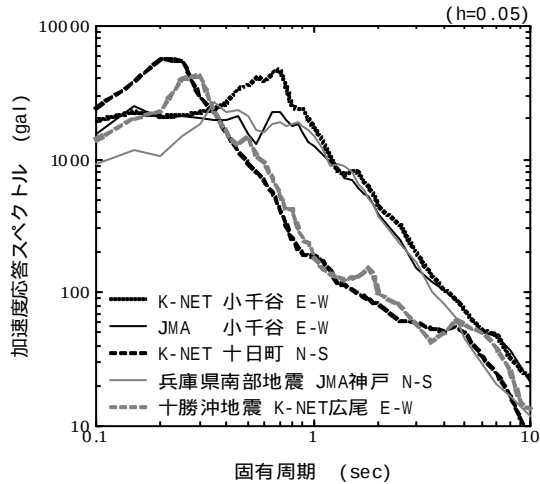


図-2 加速度応答スペクトルの比較

においても確認されている。今回の地震では、小千谷市内で観測されたK-NET 強震計と約1km離れた気象庁震度計との値に500gal程の差が生じた（図-2の加速度応答スペクトルで0.7秒付近の周期にピークが存在）。この原因は表層地盤の非線形化による影響と推察されている。

(2) 震度分布と橋梁の被災状況

地震直後に行われた高速道路及び直轄国道の道路橋緊急調査結果<sup>4)</sup>によると、被災地内の関越自動車道では点検対象203橋のうち、支承部等の損傷が確認されたのは3橋程度で、いずれも応急措置として路面の段差を解消し走行の安全性を確保して簡易舗装が施工されている。一方、直轄国道では点検対象270橋のうち、RC橋脚の損傷が2橋で確認された。2橋ともに、地震力により橋脚の段落し部の被りコンクリートが剥離しているが、せん断破壊までには至っていない。応急措置として、炭素繊維巻き立て補強がなされている。その他、鋼製支承の損傷、橋台と上部構造との桁端部衝突も発生した（表-2参照）。被災地域内の震度分布（本震）と主要な被災橋梁の位置を、図-3に示す。被災を受けた橋梁の大半は震度6の範囲に分布していることが分かる。なお、震度分布については気象庁発表による推定を用いている。

### 3. 北海道における活断層

文部科学省地震調査研究推進本部<sup>5)</sup>は、全国の活断層の中から影響度の大きい98の活断層を抽出し、要注意活断層として活断層調査を行っている。北海道地域におけるこれら活断層についてその概要を以下に述べる。

#### (1) 活断層の概要

北海道では、標津断層帯、十勝平野断層帯、富良野断層帯、増毛山地東縁断層帯、当別断層、石狩低地東縁断層帯、函館平野西縁断層帯、黒松内低地断層帯の8つの断層帯が要注意断層として指定されている。本検討では、この要注意断層の他に、活断層マップ<sup>6)7)</sup>などから確実度が高いと思われる活断層と、都市直下型地震として札幌市と都市として規模が大きく地震発生源の空白域である

表-2 道路橋の特徴的な被災内容

| 損傷部位                  | 損傷の概要                                                                  |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------|
| RC橋脚                  | ・段落し部の被りコンクリート剥離                                                       |
| 鋼製支承<br>及び<br>上部構造支付近 | ・移動制限装置の損傷<br>・サイドブロックの損傷<br>・アンカーボルトの損傷<br>・下沓の割れ<br>・上沓付近の桁腹版に局部座屈発生 |
| 橋台と上部構造<br>との衝突       | ・パラペット、ウイング部の損傷<br>・床版端部、地福部の損傷<br>・鋼製伸縮装置の盛り上がり                       |
| 橋台背面の沈下               | ・橋台背面土工が陥没                                                             |

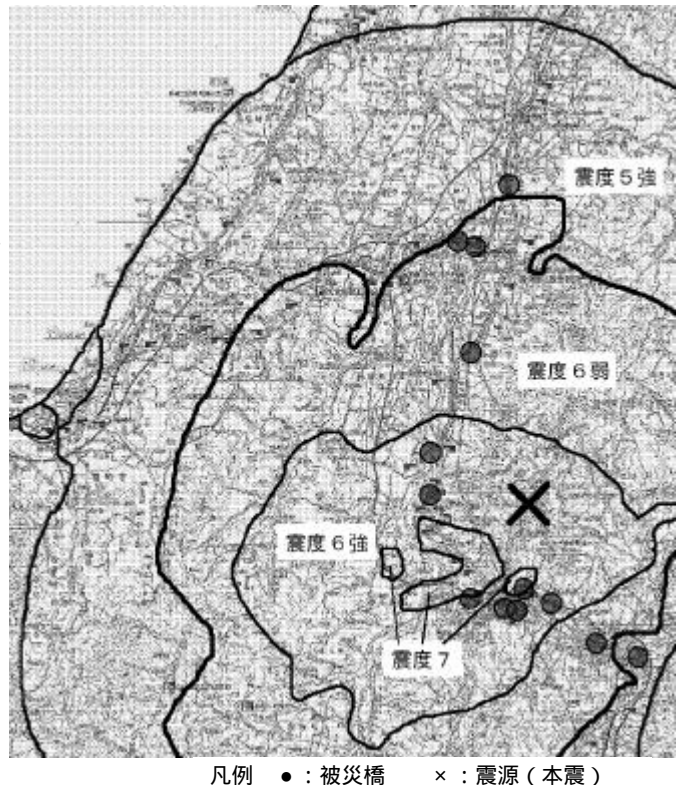


図-3 震度分布と主要な被災橋梁の位置

旭川市付近に存在する活断層を加え、合計23ヶの活断層を地震発生源の対象とした（図-4参照）。

#### (2) 活断層の地震発生源震源パラメータ

震源パラメータは、断層の幾何学的位置および形状を指定するためのパラメータと、基盤の最大速度を算出するための距離減衰式に使用するパラメータを設定した。設定パラメータを表-3に示す。

断層面基準点、断層長さおよび走向は、活断層マップ<sup>6)7)</sup>から読み取った。断層面の上面深さおよび傾斜角は、全ての活断層において2.0kmと90度とした。マグニチュードは、土木学会第3次提言で述べられているM6.5を想定し、このマグニチュードから断層の幅を松田の経験式により算出した。震源深さは、地表から断層の中央点までの深さとした。

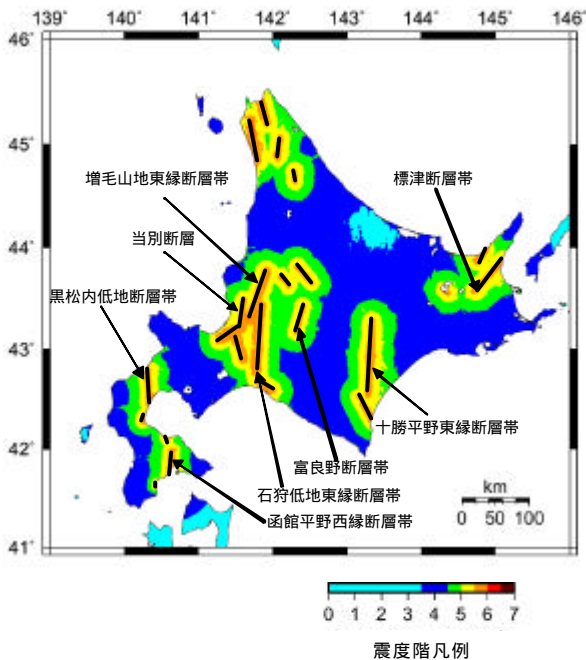


図-4 北海道における活断層と震度分布

#### 4. 北海道の活断層を想定した耐震補強優先橋梁の選定

北海道地域の活断層を震源とする直下型地震に対して、優先的に耐震補強を行う橋梁を選定した。

### (1) 耐震補強優先橋梁の選定作業手順

耐震補強優先橋梁の選定は、次の作業手順で実施した。

- Step1: 北海道内における 23 ヶの活断層位置と各活断層の震度別範囲を地形図に記入。
- Step2: 新潟県中越地域の地形図に、活断層位置、震度別範囲、被災橋梁を記入。
- Step3: 新潟県中越地震による被災橋の調査結果を参考に、被災を受ける可能性が高い震度範囲を想定。
- Step4: 活断層別に補強対象の震度範囲に存在する橋梁を抽出し、耐震補強の優先順位付けを実施。

表-4 に優先度を評価する際に考慮した項目を示す。

また、耐震補強を優先的に行う橋梁の選定作業は、北海道開発局が保有する優先度評価支援システム<sup>1)</sup>を使用して行った。

## (2) 既設道路橋データベースと優先度評価支援システム

北海道開発局の既設道路橋データには、約 3200 橋の橋梁諸元や補修補強履歴等の情報を持つ道路管理データベースと、約 2000 橋の情報を持つ「道路防災総点検〔地震・橋梁〕後の対策工等の実施状況一覧表（総点検実施箇所）」がある。耐震補強の優先度評価は、評価すべき基本項目として、路線別重要度評価・地震の切迫性・橋梁の耐震性能評価を設定し、優先度の順位付けは、評価項目別に設けた評価指標に対して、指標別の評点と評価項目別の重み係数を組合せた総合評価点により順位を設定する手法が提案されている（詳細は文献 1）参照）。

表-3 震源パラメータの種類

| 項目       | パラメータ                         |
|----------|-------------------------------|
| 断層面基準点位置 | 緯度，経度                         |
| 断層面の形状   | 長さ，幅，走向，傾斜<br>断層面の上端深さ        |
| 地震の規模    | 震源深さ，マグニチュード<br>モーメント・マグニチュード |

表-4 優先度のケースと評価項目

| ケース                         |   |   |   |
|-----------------------------|---|---|---|
| 活断層を震源とする震度<br>5 強以上の道路橋    | ○ | ○ | ○ |
| 一次緊急輸送路に存在す<br>る橋梁          |   | ○ | ○ |
| 二次災害の危険性<br>のある橋梁           |   | ○ |   |
| 昭和 55 年版道路橋示方書<br>より古い基準の適用 |   | ○ | ○ |
| RC 単柱橋脚                     |   |   | ○ |

表-5 優先度評価による橋梁数

|      | 管 理<br>橋梁数 | ケース   |      |      |
|------|------------|-------|------|------|
|      |            |       |      |      |
| 道内全域 | 2244       | 33.6% | 2.9% | 1.9% |

耐震補強優先度評価は、この既設道路橋データベースと優先度評価支援システムを利用して行った。評価支援システムの特徴は次の通りである。

- 優先度評価項目の追加機能を有している
- 橋梁の情報について、更新・追加が可能
- 出力をユーザーが自由に加工することが可能
- データの不一致、未入力箇所のチェックが可能
- 評価項目の評点・重み係数、工事費情報等のデータをユーザーが任意に変更することが可能

### (3) 耐震補強実施橋の選定結果

中越地震被災地域の震度分布（本震）と橋梁の被災状況について著者等が収集した情報によれば，被災を受けた橋梁の大半は震度 6 の範囲に存在し，震度 5 強で一部の RC 橋脚にも損傷が生じていた．この結果を踏まえ，耐震補強実施橋の選定にあたっては，被災の可能性が高い震度として震度 5 強以上を仮定した．

優先度評価に考慮した項目（表-4 参照）に基づき選定作業を行った結果を表-5 に示す。北海道開発局が管理する耐震補強対象橋梁数 2244 橋に対して、ケース Ⅰは 2.9%，ケース Ⅱは 1.9%となった。

## 5. 中越地震を踏まえた耐震補強規模の試算

中越地震クラスの地震波を想定した場合の耐震補強規模を把握するため、図-5 の RC モデル橋脚（種地盤）を対象に動的解析を実施した。比較対象とした入力地震動は、活断層型地震である JMA 小千谷、道路橋示方書標

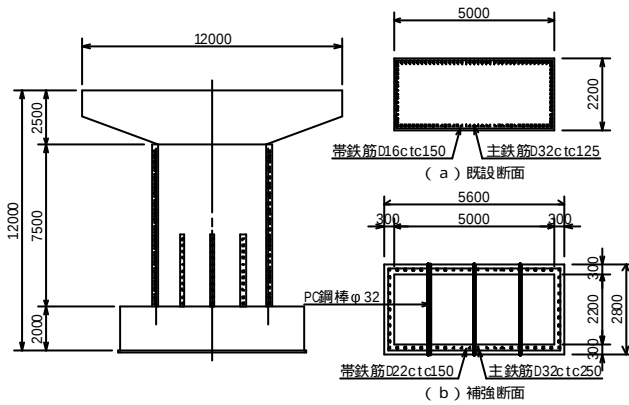


図-5 モデル橋脚

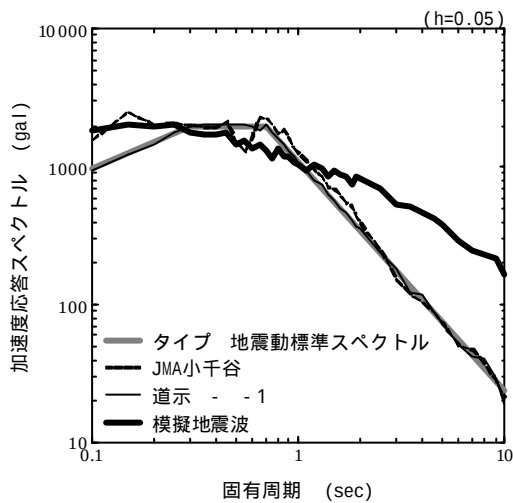


図-6 入力地震動

準加速度波形（タイプ・種地盤、以下、道示 - -1と呼ぶ）と、参考として海溝型地震の2003年十勝沖地震観測記録（WISE, K-NET）より特異データを削除して設定した加速度応答スペクトルに基づく模擬波（以下、模擬地震波と呼ぶ）の3種類とした（図-6 参照）。

解析は支承・橋脚系の梁モデルを作成し非線形動的解析により実施した。ここに、橋脚基部の復元力は剛性低下型の武田モデルを採用した。

動的照査結果によると、JMA小千谷および道示 - -1地震波による耐震補強は、中間拘束用としてPC鋼棒を三カ所に設けたRC巻き立て30cm厚が必要であった。一方、模擬地震波による試算結果では、地震動の繰り返し回数の影響を橋脚の許容塑性率に考慮して評価すると他の入力地震動で設定した補強断面を満足しない結果となった（表-7、図-7 参照）。

## 6. 今後の課題

本文では、中越地震による道路橋の被災結果を踏まえ、北海道における活断層を震源とする地震動に着目した耐

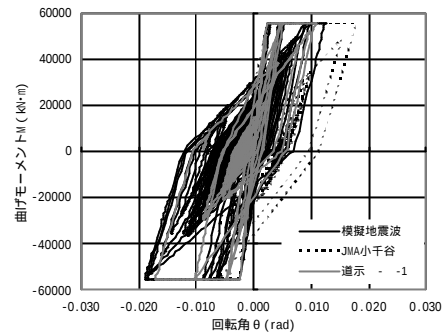


図-7 橋脚基部のM-θ履歴曲線

表-7 動的照査結果

|                        | JMA小千谷 | 道示 - -1 | 模擬地震波 |
|------------------------|--------|---------|-------|
| 入力地震動の最大加速度( $m/s^2$ ) | 8.98   | 8.12    | 8.78  |
| 慣性力作用位置の加速度( $m/s^2$ ) | 5.19   | 5.48    | 5.28  |
| 橋脚天端変位(m)              | 0.176  | 0.167   | 0.185 |
| 応答塑性率                  | 6.33   | 6.00    | 6.66  |
| 許容塑性率                  | 8.07   | 8.07    | 2.77  |
| 残留変位(m)                | 0.089  | 0.083   | 0.094 |
| 許容残留変位(m)              | 0.100  | 0.100   | 0.100 |
| せん断力(kN)               | 7664   | 7427    | 7438  |
| せん断耐力(kN)              | 10551  | 10551   | 9700  |

震補強優先橋梁の選定方法についてその概要を報告した。今後は、海溝型地震を想定した耐震補強優先橋梁の選定についても取り組む予定である。

## 参考文献

- 1) 池田憲二, 杉本博之, 國松博一, 川神雅秀, 吉澤 努: 既設道路橋の耐震補強優先度評価手法と優先度評価支援システムの構築に関する検討, 平成15年度土木学会北海道支部 年次技術研究発表会, 2004.2
- 2) 大谷康史, 日下部毅明, 村越潤: 既設道路橋の耐震補強優先度評価に対するAHPの適用性の検討, 既設構造物の耐震補強に関するシンポジウム論文集, pp1-8, 2002.11
- 3) 永松義敬, 大塚久哲, 松田泰治, 豊永臣悟: 緊急輸送道路網における耐震安全性評価手法の開発, 第10回日本地震工学シンポジウム, pp.3407-3412, 1998.11
- 4) 国土交通省道路局国道・防災課: 新潟県中越地震による道路橋の緊急調査結果, 2004.10.28
- 5) 地震調査研究推進本部: <http://www.jishin.go.jp>
- 6) 活断層研究会: 新編日本の活断層, 東京大学出版会, 1991.
- 7) 中田高, 今泉俊文: 活断層デジタルマップ, 東京大学出版会, 200