

北海道の地域特性を考慮した設計入力地震動の検討

(その1：観測記録を用いた設計用標準加速度応答スペクトルの検討)

Study on design input motion in consideration of local site characteristics in Hokkaido, JAPAN
(Part 1: Standard acceleration response spectra based on observed records during a strong earthquake)

(独)北海道開発土木研究所 ○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)
(独)北海道開発土木研究所 正員 石川博之(Hiroyuki ISHIKAWA)
飛島建設(株)札幌支店 正員 柴田 登(Noboru SHIBATA)

1. はじめに

道路橋の耐震設計は道路橋示方書・同解説V耐震設計編(以下、道示・耐震設計編)^{1),2),3),4)}に準拠して行われている。この示方書は、昭和46年の道路橋耐震設計指針⁵⁾の規定を昭和52年の新耐震設計法(案)⁶⁾の研究成果を反映させて改訂し、「橋、高架の道路等の技術基準」として昭和55年に通達されたものである¹⁾。その後、平成2年²⁾、平成8年³⁾、平成14年⁴⁾に改訂が行われている。

平成8年の改訂では、平成7年兵庫県南部地震での教訓をふまえ、設計で考慮する地震動をプレート境界型地震(タイプI)と内陸直下型地震の2種類の地震タイプ(タイプII)に区別するとともに、内陸直下型地震に対しては、マグニチュード7クラスの直下型地震に対しても必要な耐震性能が確保できるように改訂されている。

現在適用されている道示・耐震設計編⁴⁾は、前回の改訂時に導入した2段階の強度の地震動(橋の供用期間中に発生する可能性が高い地震動と橋の供用期間中に発生する可能性は低い大きな強度を持つ地震動)をそれぞれレベル1地震動とレベル2地震動と明確に定義した。レベル2地震動の標準加速度応答スペクトルは、規模の大きい地震に対応しているため、かなり大きめの設定であり、タイプIIでは平成7年兵庫県南部地震で観測された地震動を包絡するような地震動レベルが設定されている。地震活動の低い地域に対しては、この標準加速度応答スペクトルに地域別補正係数を乗じて地震力を低減するが、現行の規定では地域別補正係数は最低でも0.7であり、地震活動が極めて低い地域でも平成7年兵庫県南部地震の70%の地震外力を想定して耐震設計を行わなければならない、場合によっては地震外力の過大評価につながる可能性がある。

そこで、北海道の地域特性を考慮した北海道の耐震設計法の検討を目的に、北海道周辺で発生した地震により北海道で観測された地震動記録から、北海道の標準加速度応答スペクトルの検討を行う。

本検討では、道示・耐震設計編で規定された地域別補正係数がAの地域区分を対象とする。なお、現行の道示・耐震設計編では表-解4.4.1が平成8年9月1日に市制施行した北広島市(旧札幌郡広島町)、石狩市(石狩郡石狩町)を反映していない。そのため、本検討ではこの二つの行政区画は旧行政区画を用いて判別した。

2. 設計用標準加速度応答スペクトルの検討

北海道周辺で発生した地震により、北海道で観測され

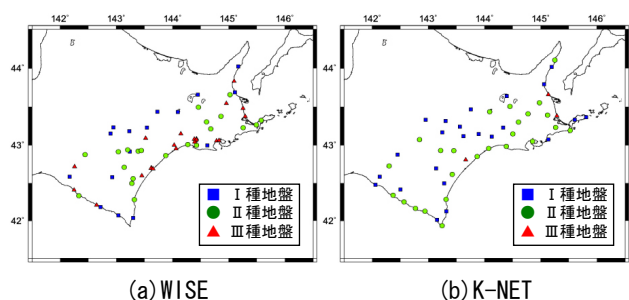


図-1 地域別補正係数がAの地域区分における観測点

た地震動を用いて設計用標準加速度応答スペクトル(以後、標準応答スペクトル)を検討する。ここで示すスペクトルは、全て減衰定数 5%の場合における弾性加速度応答スペクトルである。

(1) 地震観測網

北海道内では、北海道開発局の WISE⁷⁾、防災科学技術研究所の K-NET⁸⁾および KiK-net⁹⁾、気象庁¹⁰⁾、港湾地域強震観測網¹¹⁾など複数の地震観測網が整備されている。本検討では、標準応答スペクトルを地盤種別ごとに設定する必要があるため、地盤種別の設定が可能な WISE と K-NET の地震動記録を使用する。図-1 に WISE と K-NET の地震観測地点を示す。

(2) 検討対象とする地震

北海道周辺の地震発生源は、①太平洋岸の沈み込み帯、②日本海東縁部、③内陸活断層、④その他(浦河沖他)の4つに分類される。これらの地震発生源で発生した地震で、ある程度の規模を有し、北海道内で地震動が観測された地震を図-2に示す。

③の内陸活断層による地震については、1995年5月23日に発生した上川・空知地方の地震(Mj5.7)、2004年12月14日の留萌支庁南部の地震(Mj6.1)があるが、これらの地震で、検討対象地点では大きな地震動が観測されていないことから、本検討では内陸活断層による地震については検討から除外する。

図-2に示す5つの地震により各観測点で得られた地震動について加速度応答スペクトルを算出した。その結果、2003年十勝沖地震以外の地震については観測記録が少なく、実質的に検討が可能な地震動は2003年十勝沖地震の記録だけであることがわかった。さらに2003年十勝沖地震の記録は他の地震での観測記録をほぼ包括している

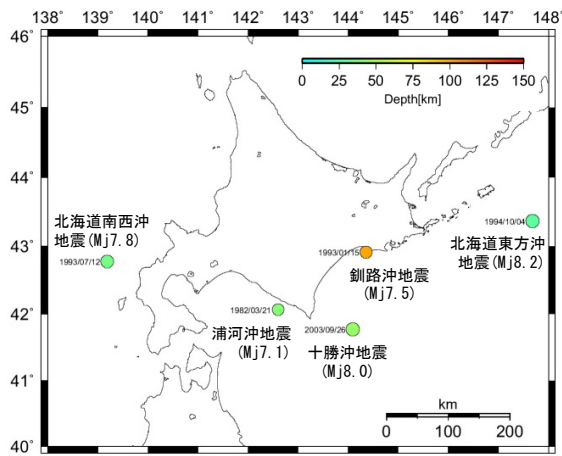


図-2 北海道周辺で発生した規模の大きい地震

ことから、2003年十勝沖地震での地震動記録のみを対象に標準応答スペクトルの検討を行うこととする。

(3) 全てのスペクトルを包絡するように設定した設計用標準加速度応答スペクトル

2003年十勝沖地震で観測された全てのスペクトルを包絡するように標準加速度応答スペクトルを設定する。

図-3(a)にⅠ種地盤での加速度応答スペクトルを重ねて示す。図中に示す緑の破線が全てのスペクトルを包絡するように設定したスペクトルである。また、太い実線は道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編に示された標準加速度応答スペクトルである。青がタイプⅠ、赤がタイプⅡである。Ⅰ種地盤では、応答スペクトル振幅が大きい周期が短周期側のみに見られ、0.5秒以上の固有周期を有する構造物にとっては有利なスペクトルとなっている。一方、1秒以上の周期帯はタイプⅠおよびタイプⅡ地震動のスペクトルよりも大きくなっており、固有周期が長い構造物にとっては不利なスペクトルとなっている。

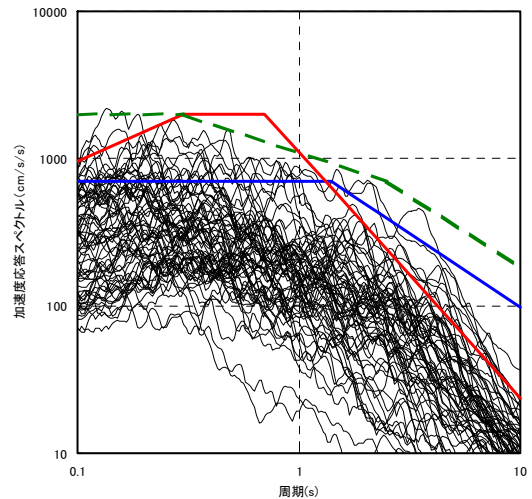
図-3(b)にⅡ種地盤での加速度応答スペクトルを重ねて示す。Ⅱ種地盤では、K-NETの広尾(HKD100)と直別(HKD086)のスペクトルが現行のタイプⅠ、タイプⅡ地震のスペクトルを上回るため、かなり大きいスペクトルが設定されている。HKD086の地震観測点は地震の影響で不具合が生じていることが報告されているため¹²⁾、これを除いた場合には0.3秒以上の周期帯域でのスペクトルは低下するが、現行のスペクトルと比較すると0.7秒迄の周期帯では大きめの設定となっている。

図-3(c)にⅢ種地盤での加速度応答スペクトルを重ねて示す。Ⅲ種地盤では、最大加速度応答は現行のスペクトルに比べて少し大きいだけであるが、長周期および短周期領域のスペクトルは大きめの設定である。

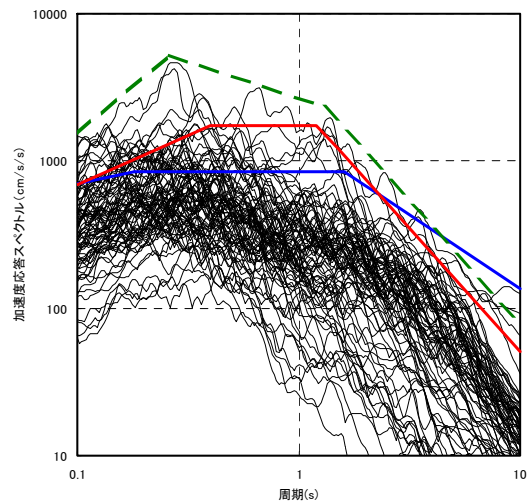
図-3からわかるように、全てのスペクトルを対象とした場合、そこから設定されるスペクトルは現行の標準加速度応答スペクトルよりも部分的に大きくなるのがわかる。

(4) スペクトルの特異データを除いて設定した設計用標準加速度応答スペクトル

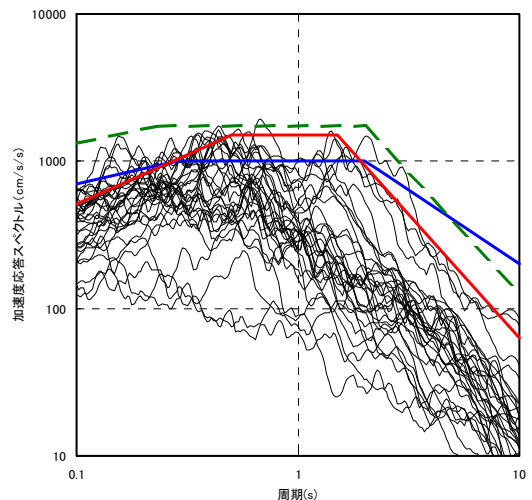
全てのスペクトルを包絡するように設定した場合、現行の標準加速度スペクトルよりも部分的に大きいスペクトルとなる。そこで、観測地点の局所的な地盤条件や観測条件等による影響が考えられるデータを除いて標準加速度応答スペクトルの検討を行う。



(a) Ⅰ種地盤



(b) Ⅱ種地盤



(c) Ⅲ種地盤

図-3 標準加速度応答スペクトル
(全てのスペクトルを包絡)

図-4(a)に特異データを除いたⅠ種地盤の加速度応答スペクトルを示す。除外したデータは、K-NETにおけるHKD075(浜中)とHKD098(大樹)である。これらのスペクトルは、その他に比べ短周期または長周期成分が卓越しており、観測地点の局所的な影響が考えられることから除外した。図-4(a)に示す全ての加速度応答スペクトルを

包絡したスペクトルを紺色の破線で示す。図-3(a)のそれと比べると、1秒を超えた周期帯でスペクトルが低減されており、現行のタイプⅡのスペクトルに対しても、ごく短周期側と長周期側では上回っているが、特に構造物の応答に寄与する0.5～1.0秒付近では下回っていることがわかる。

図-4(b)に特異データを除いたⅡ種地盤の加速度応答スペクトルを示す。除外したデータは、K-NET観測地点のHKD100(広尾)およびHKD086(直別)である。HKD100は、その他のスペクトルに比べて短周期領域のごく狭い周期帯において卓越がみられるため、HKD086は前述のように、観測地点が液状化の影響を受け、地震計が回転・傾斜したことが報告¹²⁾されているためである。

これらを除いた全ての加速度応答スペクトルを包絡したスペクトルを紺色の破線で示す。設定したスペクトルは、図-3(b)で設定したそれを大幅に下回っているが、現行のスペクトルと比べると、まだ大きいことがわかる。

図-4(c)に特異データを除いたⅢ種地盤の加速度応答スペクトルを示す。除外したデータは、WISE観測地点の807K001(東橋水位)と906K002(阿寒)である。

短周期領域でのスペクトルが低減されたことにより、図-3(c)で設定したスペクトルよりは下回っているが、現行のスペクトルと比較すると、最大スペクトルはタイプⅡと同じであるが、その周期帯が短周期側、長周期側とも広く、最大スペクトルの周期範囲が広い。

図-4からわかるように、Ⅰ種地盤は現行(タイプⅡ)を下回る標準応答スペクトルの設定が可能である。しかし、Ⅱ種地盤、Ⅲ種地盤はスペクトルにみられる特異データを除外して評価を行っても現行と同程度の標準応答スペクトルしか設定できないことがわかる。

(5) スペクトルの周期特性に着目した検討

各観測点でのスペクトルを詳細に分析すると、広帯域にわたって大きいスペクトルを持つものは少なく、短周期成分や長周期成分のみが卓越していることがわかる。そこで、スペクトルの卓越する周期特性に着目し、細分化を試みる。

Ⅰ種地盤は、全てのスペクトルにおいて短周期成分が卓越しているため、細分化は行わない。

Ⅱ種地盤は短周期成分と長周期成分が卓越する2種類のスペクトルに分類できる。図-5に分類した標準加速度応答スペクトルを示す。これにより、現行のタイプⅡを超えない標準応答スペクトルの設定が可能である。

Ⅲ種地盤は、短周期成分が卓越するものと、それ以外に分類する。後者は、現行のスペクトルとほぼ同じであるが、短周期成分が卓越するスペクトルは、現行のタイプⅡを超えることはなく、かつタイプⅠも部分的に超える程度であり、大幅に標準応答スペクトル下回る結果となった。

3. スペクトル適合波の作成

観測波形から設定した応答スペクトルに準拠した加速度時刻歴波形を正弦波合成法で作成する。目標とするスペクトルは、Ⅰ種地盤が図-4(a)、Ⅱ種地盤の短周期地震動が図-5(a)、長周期地震動が図-5(b)、Ⅲ種地盤の短周期地震動が図-5(c)、それ以外が図-4(c)である。時刻歴波形の作成に用いる位相特性には、Ⅰ種地盤は

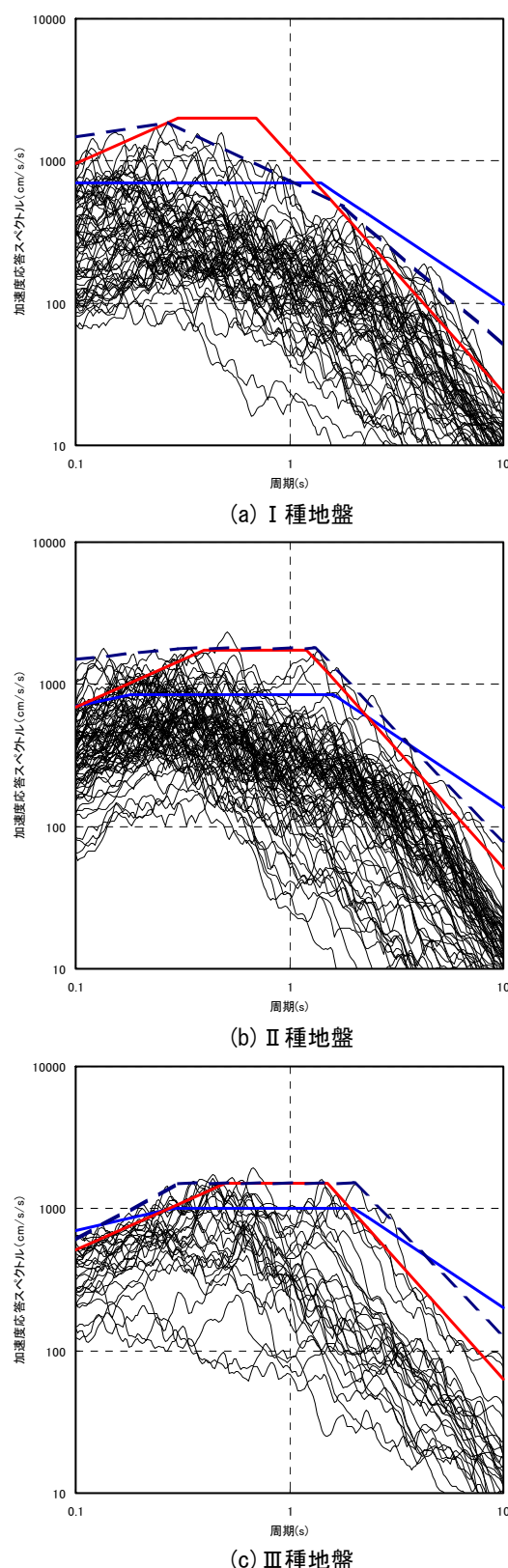


図-4 標準加速度応答スペクトル
(特異データを除去)

HKD090-EW(本別)、Ⅱ種地盤の短周期地震動にはi804K001-EW(忠類村)、長周期地震動にはi807K002-EW(池田河川事業所)、Ⅲ種地盤の短周期地震動にはi902K002-EW(鍛高)、それ以外にはi804K002-EW(大樹町)を使用する。

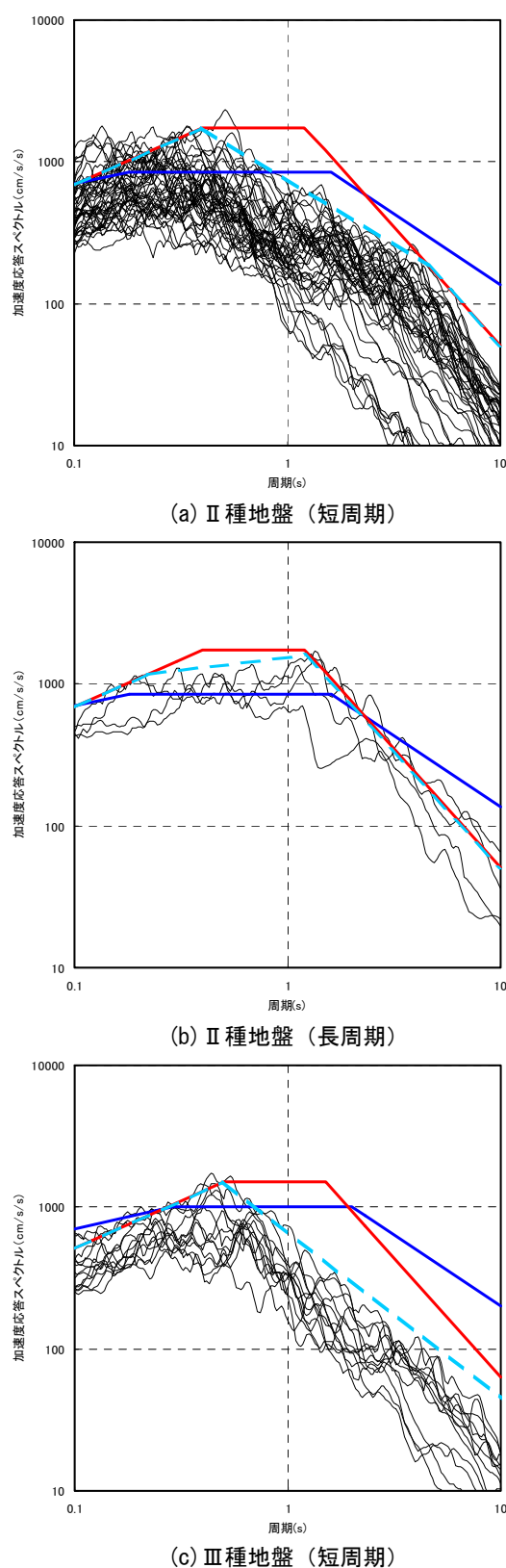


図-5 標準加速度応答スペクトル
(スペクトルの周期特性に着目)

作成した加速度時刻歴波形を図-6に示す。I種地盤は短周期成分が卓越するため、最大加速度が最も大きい。

4. まとめ

北海道の地域特性を考慮した北海道の耐震設計法の検討を目的に、北海道で観測された地震動を用い、地域

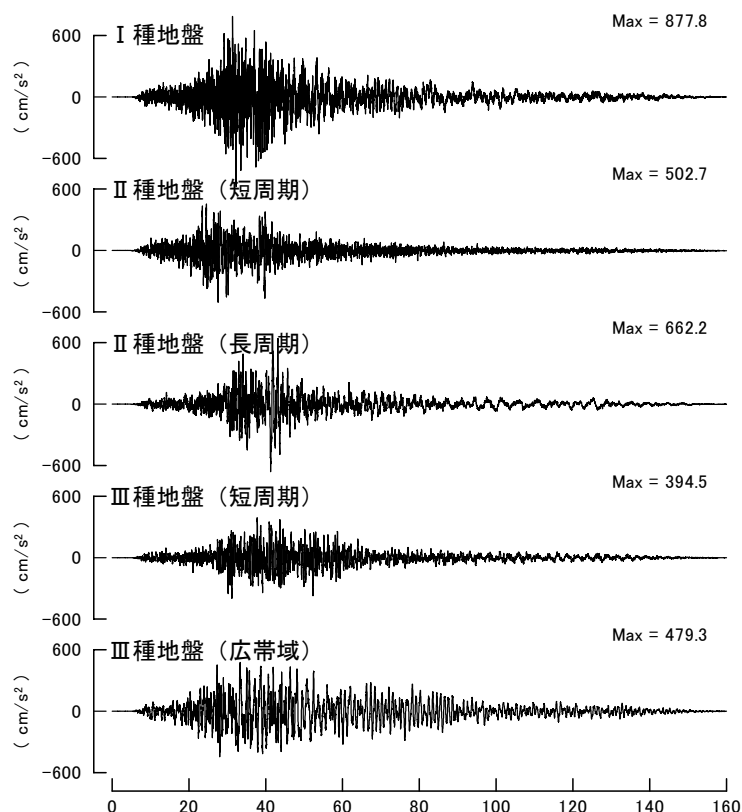


図-6 標準加速度応答スペクトルに準拠した加速度時刻歴波形

別補正係数がAの地域区分における標準加速度応答スペクトルの検討を実施した。

その結果、全てのスペクトルを包絡するように設定したスペクトルは、現行の標準応答スペクトルを部分的に上回ることがわかった。

観測地点の局所的な影響を含むスペクトル等を除外し、スペクトルに見られる周期特性を考慮して、標準応答スペクトルの再設定を行った。それにより、北海道内の地域別補正係数区分Aにおける地盤種別毎の経験的スペクトルが整理できた。しかしながら、同一地盤種別であっても、特異的な結果を示す観測記録があり、これによって応答スペクトルが大幅にかわることも示されたため、より詳細な検討が必要であると考えられる。

【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) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，1980.
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，1990.
- 3) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，1996.
- 4) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，2002.
- 5) (社)日本道路協会：道路橋耐震設計指針・同解説，1971
- 6) 建設省建築研究所：総プロ「新耐震設計法の開発」研究報告新耐震設計法（案），建築研究報告，No.79，1977.
- 7) 佐藤京他：北海道開発局の地震情報システム(WISE)による地震観測データを用いた距離減衰特性について，第26回地震工学研究発表会講演論文集，209-212，2001.
- 8) (独)防災科学技術研究所：強震観測網，<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- 9) (独)防災科学技術研究所：基盤強震観測網，<http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>
- 10) 気象庁：<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/index.htm>
- 11) (独)港湾空港技術研究所：港湾地域強震観測網，<http://www.pari.go.jp/introduction/facilities/kwn.htm>
- 12) 防災科学技術研究所：K-NET直別観測点（HKD086）設置状況調査報告（速報），http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/news/HKD086/index_hkd086.html