

平成15年(2003年)十勝沖地震における地震動評価について

Strong Ground Motion in the 2003 Tokachi-Oki Earthquake

佐藤 京* 西 弘明** 岡田 慎哉*** 石川 博之****

Takashi SATOH, Hiroaki NISHI, Shin'ya OKADA, and Hiroyuki ISHIKAWA

北海道の生活基盤に影響を与える震源域は、地域ごとに詳細に分析すると、活発な地震活動の中でも強弱があり、歴史的に見ると規模の大きい地震が発生していない地域もある。また、地震被害という指標を用いると、同じ地震に対しても被害の分布は地域ごとに異なる。そこで、著者らは、北海道における構造物の耐震設計、および既設構造物の補修・補強方法の合理化を目指し、北海道の地域特性を考慮したサイスミックゾーニング（地震危険度の地域区分）を行うための基本検討を実施している。本論文では、2003年9月26日に発生した2003年十勝沖地震(Mj8.0)に着目し、その地震動評価を実施した。

その結果、サイト特性が地震動の広がり大きく影響を与えること、特に速度分布においては、震源距離200kmを超える勇払平野で大きな速度増幅が有り、また、地震動の継続時間が非常に長くなっているなどの特徴が確認出来た。また、道路橋示方書・同解説に示されている地域区分のAにおける地震動の周波数特性においては、応答スペクトルの地盤種別による共通性が明瞭ではなく、ここでもサイト特性に大きく影響を受けているものと推察出来た。

キーワード：地震危険度；耐震設計；応答スペクトル特性

The seismic activity of hypocentral regions in and around Hokkaido differs by region, even though the prefecture as a whole tends to be seismically active. Detailed analyses of the hypocentral regions show that some areas have not experienced large-scale earthquakes in recorded history. Earthquake hazard does not distribute evenly for the same earthquake. This prompted us to conduct a basic examination toward the establishment of a seismic zoning system that takes into account local features. The ultimate aim is rational aseismic design for new structures and aseismic retrofit for existing structures. Toward this, we assessed strong ground motion recorded for the Tokachi-oki Earthquake (Mj 8.0) of September 26, 2003.

The results show that site characteristics (e.g., geology, topography, and soil) greatly influence the propagation of strong ground motion. We found that strong ground motion propagated at much greater velocity amplification and for much longer on the Yufutsu Plain, which is more than 200 km from the hypocenter, than elsewhere. Also, in the area classified as Seismic Zone A in Specifications for Highway Bridges (Japan Road Association), the response spectrum was not shown to differ by ground type. This indicates that the characteristics of strong ground motion differ greatly by site.

Keywords : degree of earthquake hazard, aseismic design, response spectrum characteristics

1. はじめに

北海道の南側の太平洋岸には太平洋プレートの沈み込み帯、西側には日本海東縁部の地震活動域があり、これらの地域を震源として規模の大きい地震が発生している。また、道内には8つの要注意活断層¹⁾を含む複数の活断層が存在し、内陸直下型地震が発生する可能性もある。このように北海道の地震活動は活発である。しかし、地域ごとに詳細に分析すると、活発な地震活動の中でも強弱があり、歴史的に見ると規模の大きい地震が発生していない地域もある。これは、プレートの活動度が地域ごとに異なることや、沈み込む方向や深さ、プレートの強度（剛性）等が異なるためと考えられる。また、地震被害という指標を用いると、同じ地震に対しても被害の分布は地域ごとに異なる。これは、地盤条件に代表される自然条件の違いやディレクティビティ効果のような破壊の進行方向や震源の不均質性もその原因と思われる。

現在、著者らは、北海道における構造物の耐震設計、および既設構造物の補修・補強方法の合理化を目指し、北海道の地域特性を考慮したサイスミックゾーニング（地震危険度の地域区分）を行うための基本検討を実施している。北海道のサイスミックゾーニングを行う上で実際の地震による地震動特性や被害状況を把握しておくことは重要である。そのため、2003年9月26日に発生した2003年十勝沖地震（Mj8.0）を対象に地震動特性の検討を行っている。

本論文では、これまで行っている検討の中で、北海道開発局が管理している観測局の記録を基本に本地震で得られた地震動分布について整理するとともに地震動特性についてとりまとめた。

2. 地震概要

2003年9月26日4時50分7.4秒に十勝沖を震源とするMj8.0の地震が発生した。気象庁の震度データベースによると震央は北緯41度46.5分、東経144度4.9分、震源深さは45kmである²⁾。気象庁の初動発震機構解³⁾によると、北北西（N39W）に低角（6度）で傾き下がる断層面上で、陸側が跳ね上がった形（すべり角99度）の逆断層タイプと推定される。つまり、北米プレートの下に沈み込んだ太平洋プレートの上面で発生した典型的なプレート間地震と考えられる。気象庁はこの地震を「平成15年（2003年）十勝沖地震」と命名した⁴⁾。本報告ではこの地震を2003年十勝沖地震と呼ぶこととする。

2003年十勝沖地震での震度分布を図-1に示す。最大震度は震度6弱であり、厚岸町、忠類村、豊頃町、鹿追町、静内町、浦河町、新冠町、釧路町、幕別町と

9つの自治体で観測された。この他にも、震度5強が2市、8町で観測されるなど、広い地域で強い地震動が発生した。

地震による被害は、震源に近い十勝地方や釧路地方を中心に発生し、河川堤防の崩壊や橋梁の被害が見られた。沿岸部の埋め立て地では液状化現象が発生し、港湾施設に大きな被害を生じさせるなど、平成6年北海道東方沖地震以来の北海道に被害を伴った地震となった。

3. 地震観測

北海道内では、国土交通省北海道開発局（地震情報伝達システム；Warning Information System of Earthquake、以下、WISE）⁵⁾、気象庁（JMA）⁶⁾、（独）防災科学技術研究所（強震観測網：K-NET⁷⁾、基盤強震観測網：Kik-NET⁸⁾）、（独）港湾空港技術研究所（港湾地域強震観測網：P-NET⁹⁾）、北海道大学¹⁰⁾などの研究機関等が強震観測網を整備している。観測地点数は、WISEが174地点、JMAが75地点（自治体の19地点含む）、K-NETが185地点、Kik-NETが112地点、P-NETが14地点、北海道大学が17地点である。Kik-NETの全観測地点とP-NETの釧路および函館の2地点では、地表とともに地中での地震動が観測されている。図-2には、2003年十勝沖地震により波形記録が得られた各観測網の観測地点を示す。



図-1 震度分布（気象庁発表）

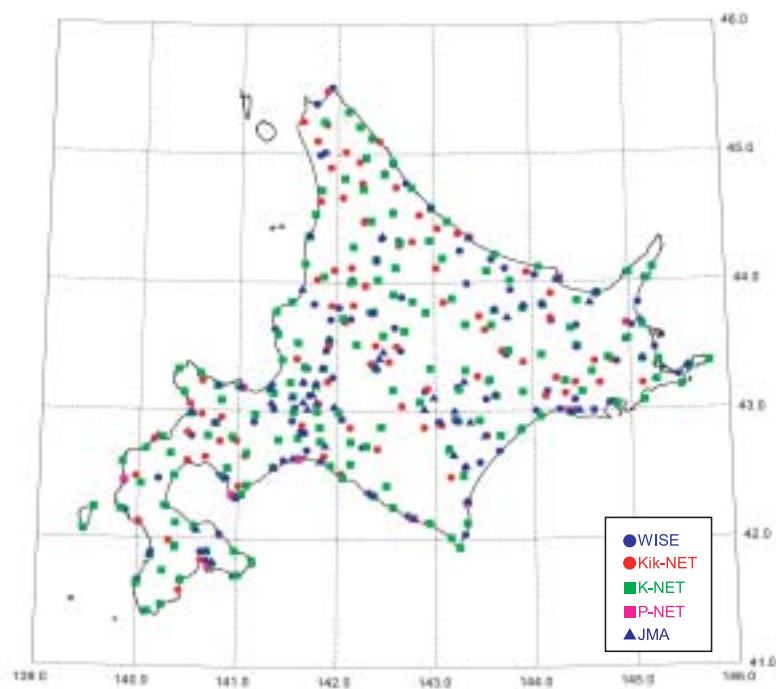


図 - 2 2003年十勝沖地震の本震における強震動記録が観測された地点

表 - 1 サーボ型速度計の主な仕様

センサー部	
測定周波数範囲	0.018～100Hz(-3dB) 0.05～70Hz(±3%)
最大測定範囲	速度±200kine,加速度±2,000gal
感度	速度 50mV/kine,加速度 5mV/gal
精度	基準感度誤差±0.5%以下
分解能	300 μ kine 以下
直線性	0.05%以下
許容最大加速度	30G(0.1sec 以内)
収録機器部	
入力フィルタ	46.5Hz(-12dB/oct)
AD 変換	16bit
サンプリング方式	全チャンネル同時サンプリング
サンプリング周波数	100Hz
トリガー設定範囲	10～1,000mkine

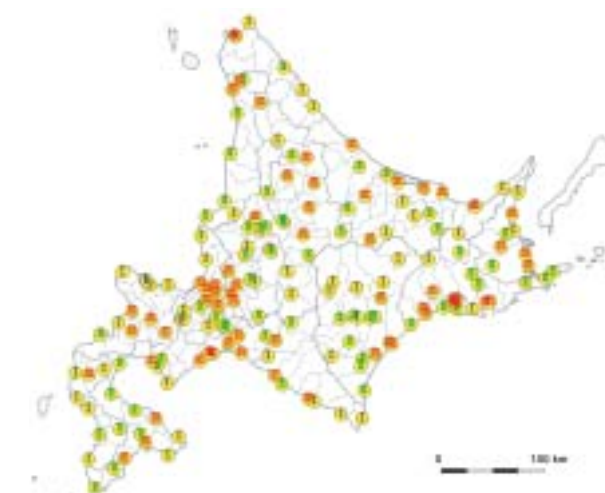


図 - 3 WISE観測地点位置図 (数字は地盤種別を示す)

(1) WISEの概要

北海道開発局の強震（地震）観測は、橋梁の耐震設計に資する記録の収集を目的に昭和41年度より、実施されている。観測開始以来、38年を経過した現在、オンラインで地震動の情報を収集するとともに、防災情報を配信する機能も有するネットワークシステムに更新され、耐震設計に資する記録の収集と共に情報伝達の2つの役割を担っている。現在、北海道開発局は、地震後の初動体制の確立や二次被害防止のための情報を得る手段の一つとして、WISEの試験運用を行っている。WISEの特徴は、表 - 1 に示す速度型地震計

(情報地震計という) を用いて、精度の良い、変位までの記録が得られること、また、加速度、速度、変位、地震エネルギー等の統計解析結果を基に総合的な被害予測が可能になったこと等が挙げられる。現在、図 - 3 に示すように174カ所の観測地点を有している。

(2) 観測記録

2003年十勝沖地震において、北海道に設置されている地震観測網の多くの観測地点において本震および余震での強震記録が得られている。収集した地震動は、WISE、JMA、K-NET、Kik-NET、P-NETの5つの強震観測網である。図 - 2 に波形記録が得られた観

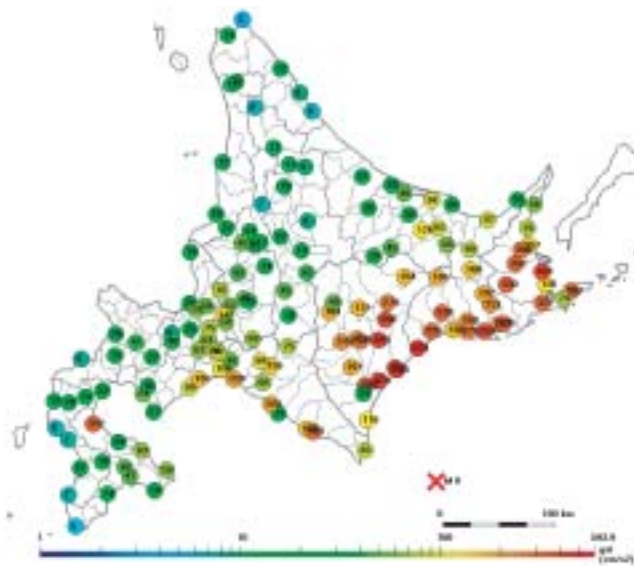


図 - 4 加速度記録 (WISE)

測地点を示しているが、WISEでは120地点、JMAでは34地点、K-NETでは165地点、Kik-NETでは102地点、P-NETでは11地点の地震動記録が得られている。最も大きな地震動記録は、加速度ではK-NETの様似(HKD100)のEW成分で約970cm/s/s、速度ではWISEの大樹(i804k002)のNS成分で約129cm/sである。JMAの幕別ではNS成分とEW成分を合成した水平方向の最大加速度は約1,071cm/s/sと1 Gを超える。図 - 4 には、WISEで観測された最大加速度を示す。

図 - 5 には、次節で示す地震動の空間分布図で、加速度分布は比較的小さかったものの速度空間分布で大きな値を示した地域の記録を示す。

この記録は、震源距離が約220km、札幌市より約60km南の苫小牧市より東に位置するウトナイ湖近傍の国道36号に設置している観測局で得られたものである。上から、速度のNS成分、EW成分、UD成分、加速度のNS成分、EW成分、UD成分の記録である。また、表示時刻は、トリガー起動時刻を0秒としている。

ここでは、示していないが加速度記録の周波数分析より、主要動部における卓越周波数は、NS成分が0.8 Hz、EW成分が0.5Hzであったが、60秒を過ぎると長周期化し、90秒以降は、NS成分で0.3Hz、EW成分で0.2Hz程度の周波数が、卓越している。また、250秒を超えても地震動が収束していないことが確認された。

(3) 地震動分布

空間分布を整理することにより、2003年十勝沖地震による地震動の広がりについて分析する。地震動の空間分布については既往の資料¹¹⁾があるが、この資料

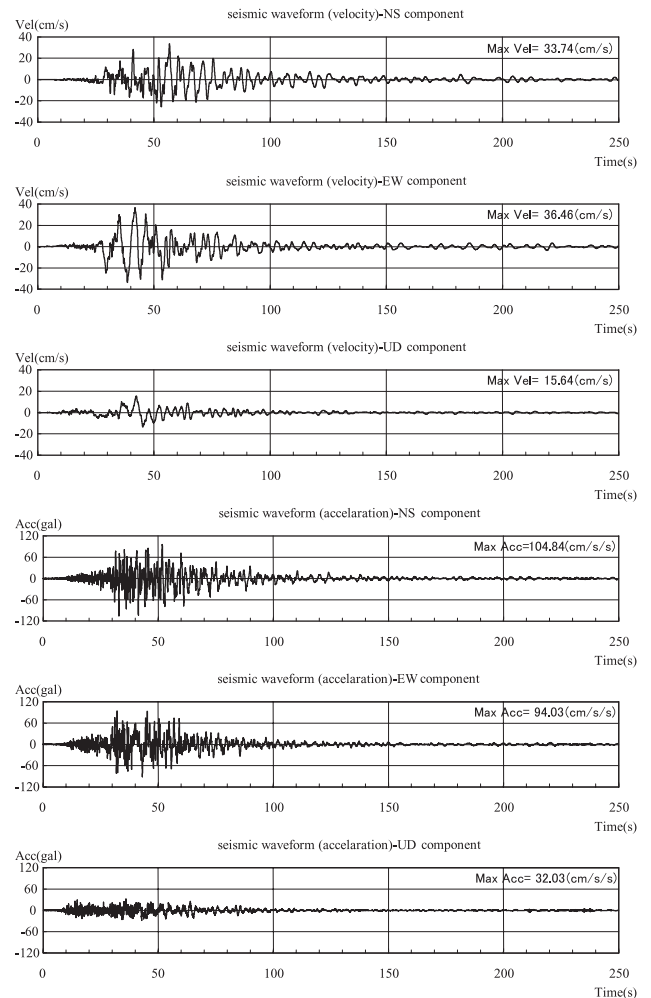


図 - 5 ウトナイ観測所での速度・加速度波形記録

の速度空間分布は、加速度から算出されたものである。WISEでは一部の地震計を除き、速度型の地震計を用いているため、観測値の速度記録を用いることが有効であること、空間分布は多くのデータを用いて評価すべきであることから、図 - 6 に示すように、5つの観測網の地震動記録を用いた最大値の空間分布を再度算出した。

最大加速度の大きい領域は十勝地域と釧路と根室の間に広がる根釧地域に見られる。震源に最も近い襟裳岬方面は最大加速度が小さい。この地域の地盤は岩盤であり、表層地盤による地震動の増幅特性が小さかったことが原因と考えられる。根釧地域の地震動が大きかった原因としては、震源の破壊過程が考えられる。本多・他¹²⁾や山中・菊地¹³⁾などの報告によると震源破壊過程で、断層面の北端部に海岸線に沿った形ですべりの大きい領域が見られた。このことから、震源の北端部からも地震動が生成されたことにより、根釧地域の地震動が大きくなったと考えられる。

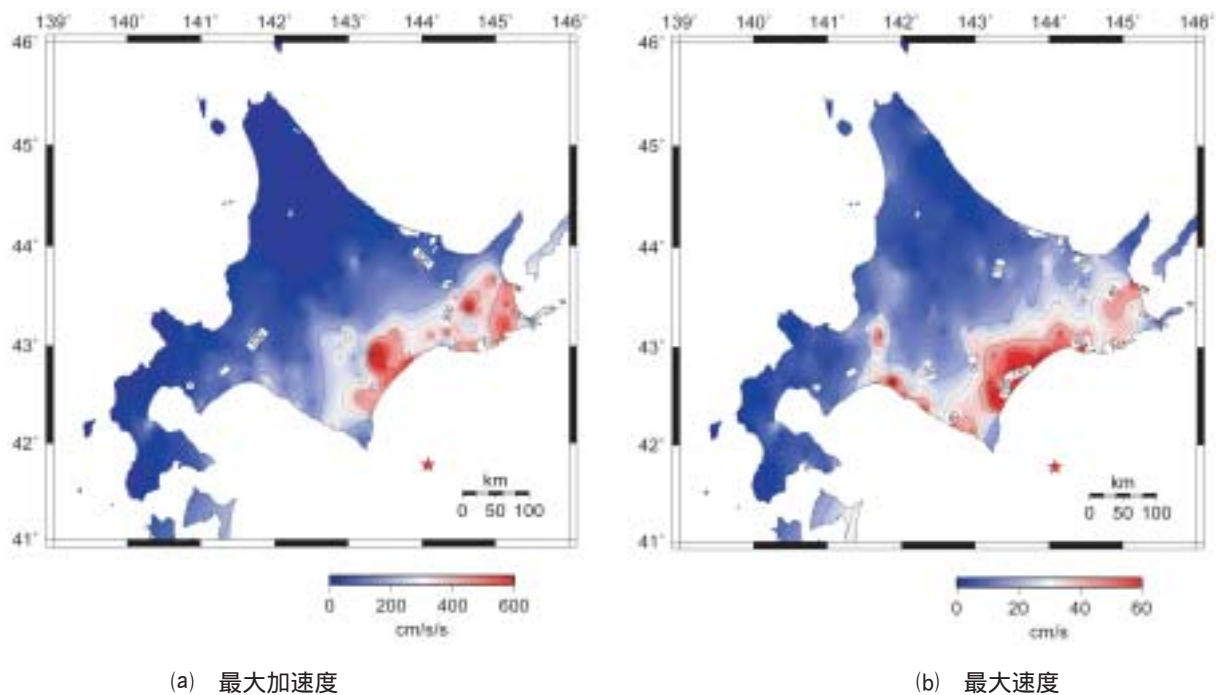


図 - 6 全ての観測記録を用いた地震動の空間分布

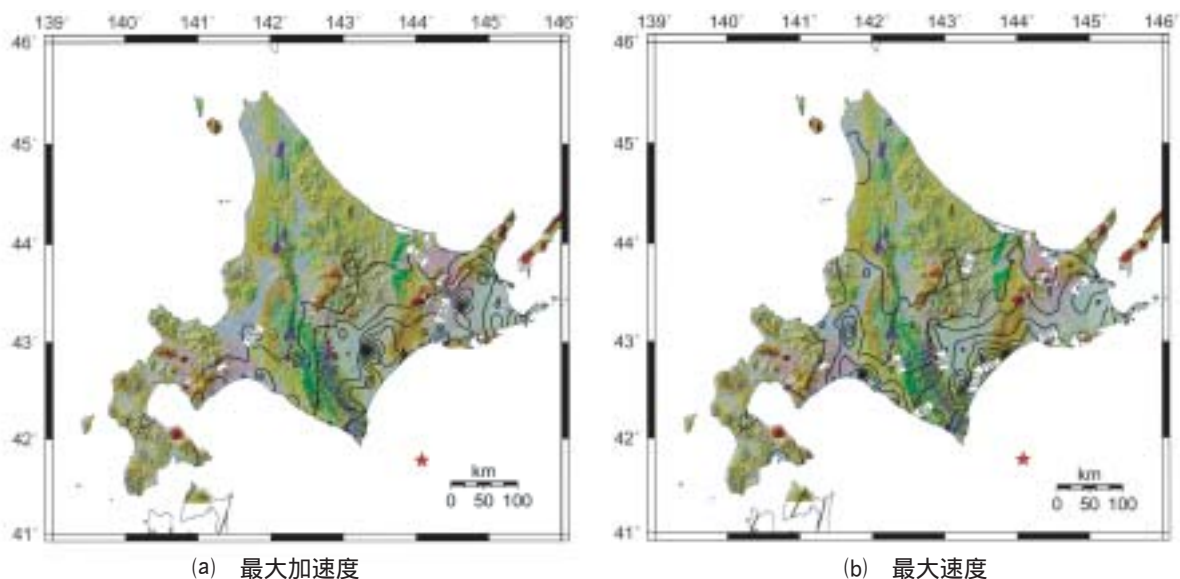


図 - 7 地震動の最大値の空間分布と地質との関係

一方、最大速度の大きい領域は、最大加速度が大きかった地域に加え勇払平野が含まれる。前節に示した記録からも分かるように勇払平野では、周期約7秒が卓越したやや長周期地震動¹⁴⁾が励起したことにより、速度がやや大きく発生したものと考えられる。

図 - 7 に最大値の空間分布を地質図と重ねて示す。震源近傍を除き、最大加速度および最大速度が大きかった地域は、その大半の地盤が比較的軟弱な堆積平野に相当しており、地震動が地盤の特性によって複雑に変化したことが推測される。

4. スペクトル特性

ここでは、サイスミックゾーニングを行うための資料とするために道路橋示方書・同解説¹⁵⁾に示されている、図 - 解4.4.1地域区分のA地域で観測されたWISEの記録から算出した応答スペクトルを示す。

震源の諸元は、気象庁発表値(北緯41° 46.5'N、144° 4.9'E、45km)を使用した。図 - 8 に震源と観測地点の関係を震源距離のコンターを用いて示した。

算出した応答スペクトルは、地盤種別毎に分け、震源距離の順に整理している。図 - 9(a)には 種地盤、

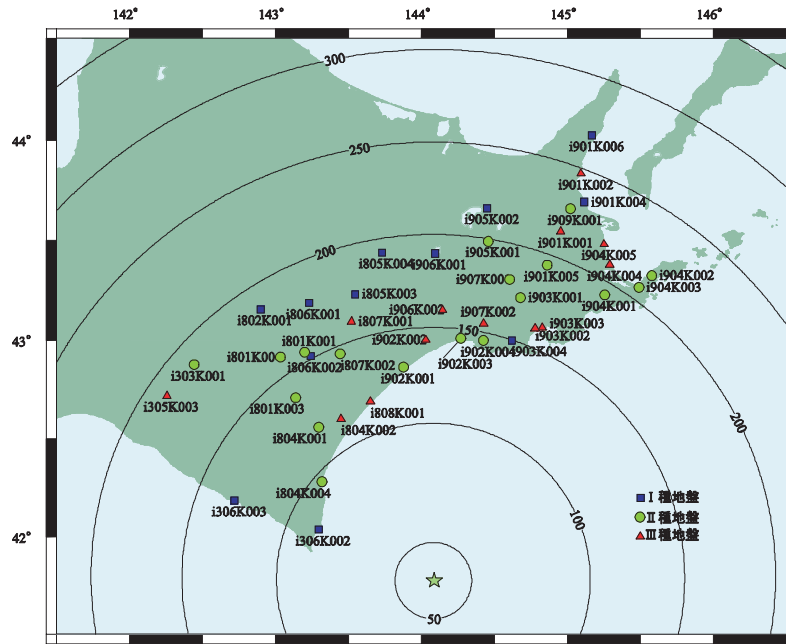


図 - 8 震源と観測地点との関係

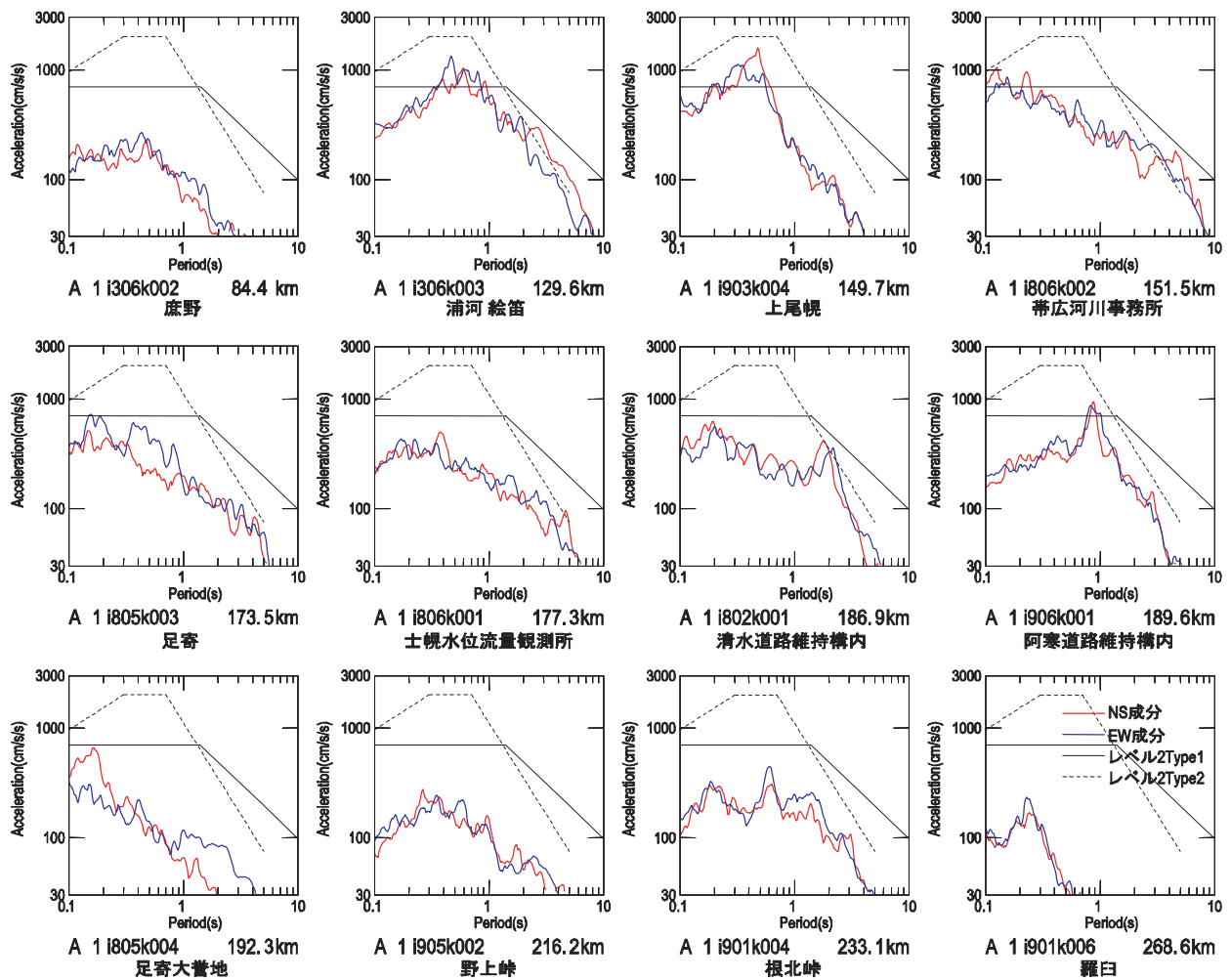


図 - 9 (a) WISE観測点における震源距離順の加速度応答スペクトル (地域区分A, 種地盤)

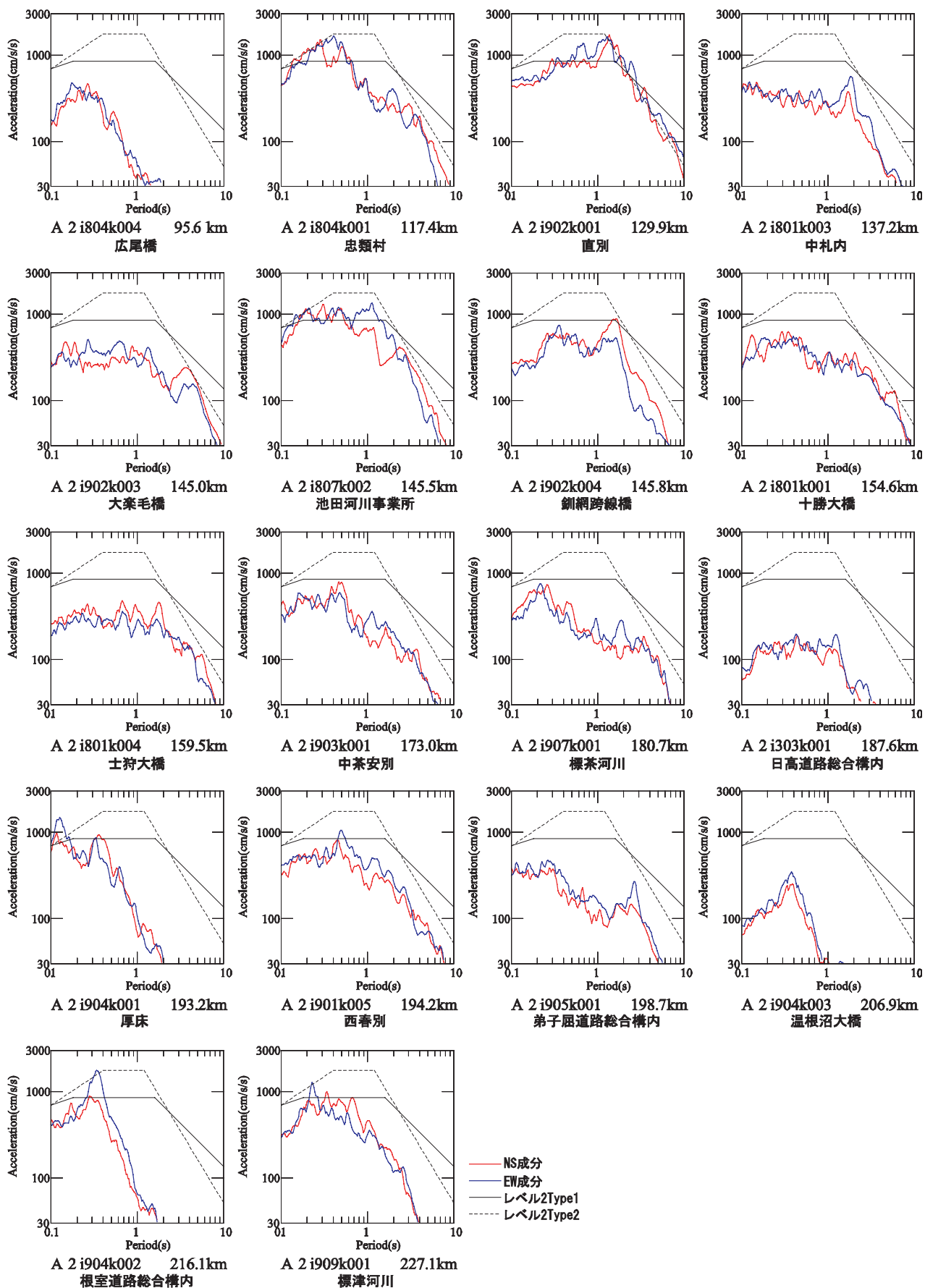


図 - 9 (b) WISE観測点における震源距離順の加速度応答スペクトル (地域区分 A, 種地盤)

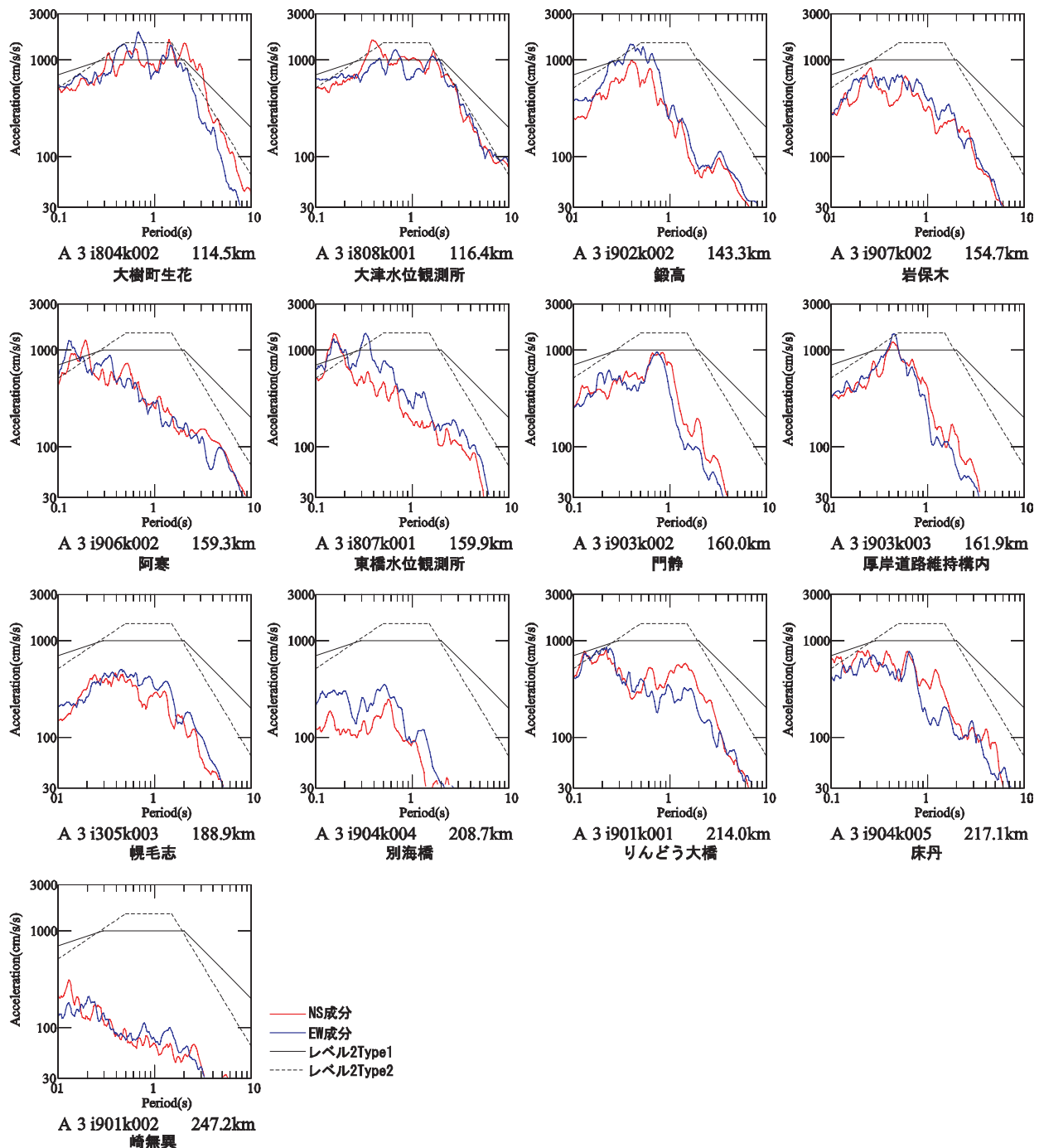


図 - 9(c) WISE観測点における震源距離順の加速度応答スペクトル (地域区分A, 種地盤)

図 - 9(b)には 種地盤、図 - 9(c)には 種地盤を示した。

種地盤では、震源距離が85km～270kmに位置する観測地点があった。図 - 9(a)より、100km～150kmに位置するi306k003、i903k004、i806k002において、レベル2地震動のType 1の標準加速度応答スペクトルを超える結果が得られている。震源距離が約190kmの阿寒町に設置しているi906k001を除くと、震源距離が150kmより長い場合には、標準加速度応答スペクトルを超

えていない。応答レベルは、異なるものの種地盤における応答スペクトルの形状は、1秒未満にピーク周期が現れている。また、レベル2地震動の標準加速度応答スペクトルと比較して長周期側の傾きが、同程度または大きな形状を示すもの多く見られる。

図 - 9(b)では、種地盤と異なり、ピークを示す応答スペクトル形状では無く、高い応答を示す周期が幅をもった台形状を示している。ただし、約130km未満のi804k001とi902k001の観測地点では、明瞭なピーク

を示している。この地点では、レベル2地震動のType 1やType 2の標準加速度応答レベルを超えている。

図 - 9(c)に示している 種地盤では、明瞭なピークを示すものや 種地盤と同様に応答レベルの高い周期が幅をもった台形形状のものが有り、他の地盤と明瞭な差がみられない。震源距離が150km未満のi804k002、i808k001とi902k002での観測地点では、広い周期帯でレベル2地震動のType 1やType 2の標準加速度応答スペクトルを超える応答スペクトルが算出された。

地震空間分布でも示されたように、震源距離が100km未満の非常に近い地域では、地盤種別に関係なく、応答レベルが小さいことが示された。

5. まとめ

北海道における構造物の耐震設計、および補修・補強方法の合理化を目指したサイスミックゾーニングを行うための基礎資料として、2003年十勝沖地震に着目し、その地震動評価を実施した。

地震動の空間分布を整理した結果、加速度分布から比較すると比較的軟弱な地盤の地域において、速度増幅が高く、表層地盤等のサイト特性が地震動の広がり大きく影響を与えることが推察できた。特に震源距離200kmを超える勇払平野で大きな速度増幅が有り、波形記録に示したように地震動の継続時間が非常に長くなっているなどの特徴が確認出来た。

応答スペクトルの整理の結果、道路橋示方書・同解説に示されている地域区分のAにおける地震動の周波数特性においては、応答スペクトルの地盤種別毎で共通性が明瞭ではないが、種地盤においては、明瞭なピークを示し、設計応答スペクトルを超える応答特性を示すものが、震源より約150km以内の観測地点で確認された。種地盤においては、広い範囲で応答レベルが高い特性を示すものが、多くみられた。種地盤では、種や種地盤の応答スペクトルと同様な形状の応答スペクトル形状を示している観測点もあることが確認でき、地震動に影響を与えていると考えられる要素として地盤の固有周期のみならず、サイト特性に大きく影響を受けているものと考えられる。

地震動レベルが高いと考えられる震源距離100～150km以内の観測局において、どの地盤種別においても設計応答スペクトルを上回る高い応答レベルを示すことが確認された。

現在、サイト特性により区分した場合における応答特性について整理を進めると共に、過去の記録より各サイト特性について分析を始めたところである。

今後、より合理的な耐震設計を進めるためにこれら貴重な記録を有効に活用したいと考えている。

謝辞；本論文を整理するにあたり、国土交通省北海道開発局、気象庁、(独)防災科学技術研究所と(独)港湾空港技術研究所の波形記録と資料を活用させて頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 地震調査推進研究本部：<http://www.jishin.go.jp/>
- 2) 気象庁：震度データベース，http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/shindo_db/shindo_index.html
- 3) 気象庁：気象庁の発震機構解，<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/mech/outer/index.html>
- 4) 気象庁：平成15年9月26日04時50分頃に発生した地震の命名について，報道発表資料，平成15年9月26日
- 5) 佐藤京，池田憲二，金子孝吉，山本明夫，篠原秀明，佐々木克憲：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，pp.209-212,2001.
- 6) 気象庁：強震観測のページ，<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/index.htm>
- 7) (独)防災科学技術研究所：強震観測網，<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- 8) (独)防災科学技術研究所：基盤強震観測網，<http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>
- 9) (独)港湾空港技術研究所：港湾地域強震観測網，<http://www.pari.go.jp/>
- 10) 北海道大学大学院理学研究科地震火山研究観測センター，<http://hkdpub2.eos.hokudai.ac.jp/>
- 11) Nelson E.Pulido H.：Spatial Distribution of Acceleration Response Spectra ($h=0.05$)，26/09/2003 Tokachi-oki Earthquake (K-Net and KiKNet)，http://www.edm.bosai.go.jp/tokachi-oki_2003/strong_motion/ground_motion.htm
- 12) 本多亮，青井真，森川信之，関口春子，功刀卓，藤原広行：近地強震動記録による北海道十勝沖地震(2003/09/26，4：50)の震源インバージョン(暫定)，<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/news/tokachi-oki/inv/fram1.html>
- 13) 東大震研情報センター：EIC地震学ノート，No.139，http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/
- 14) 畑山 健，座間信作：2003年十勝沖地震の際の長周期地震動，http://www.fri.go.jp/bosai/tokachi_lpgm.html
- 15) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，耐震設計編，図 - 解4.4.1，pp.22-23，平成14年3月



佐藤 京*
Takashi SATOH

北海道開発土木研究所
構造部
構造研究室
研究員



西 弘明**
Hiroaki NISHI

北海道開発土木研究所
構造部
構造研究室
副室長



岡田 慎哉***
Shin'ya OKADA

北海道開発土木研究所
構造部
構造研究室
研究員



石川 博之****
Hiroyuki ISHIKAWA

北海道開発土木研究所
構造部
構造研究室
室長