

# 地震および地震動

石川 裕<sup>1</sup>・小長井 一男<sup>2</sup>・片岡 俊一<sup>3</sup>・本田 利器<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 博(工) 清水建設技術研究所 主席研究員(〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17)

E-mail: yutaka.ishikawa@shimz.co.jp

<sup>2</sup>正会員 工博 東京大学教授 生産技術研究所(〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

E-mail: konagai@iis.u-tokyo.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 博(工) 弘前大学地球環境学科(〒036-8560 弘前市文京町3)

E-mail: kataoka@cc.hirosaki-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 工博 京都大学助手 防災研究所(〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

E-mail: honda@catfish.dpri.kyoto-u.ac.jp

2003年9月26日午前4時50分頃、北海道釧路沖を震源(深さ42km)とするマグニチュード $M_j$  8.0の地震が発生した。「平成15年(2003年)十勝沖地震」と命名されたこの地震は太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した逆断層型の地震で、1952年十勝沖地震( $M_j$  8.2)の震源とほぼ同じところで発生したものである。この地震は継続時間が長かったことが全体的に共通する特徴であるが、各観測地点での応答スペクトルの個別の特徴が際立っており、被害分布とその様相を検討するうえで重要な情報を与えている。なおより詳細な地域分布を推定する一手段として、電柱基部の開口の大きさと分布の調査についてもその概要を報告する。

**Key Words** : strong ground motions, aftershocks, attenuation, utility poles

## 1. はじめに

今回の地震の震源は、1952年十勝沖地震( $M_j$  8.2)の震源とほぼ重なり、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した $M_j$  8.0の逆断層型地震である。政府の地震調査委員会が2003年3月に公表した長期評価では、 $M8$ クラスの十勝沖の地震について、2003年1月から10年以内の発生確率が10~20%、30年以内の発生確率が60%程度とされていた<sup>1)</sup>。

気象庁発表による本震での最大震度は6弱である<sup>2)</sup>。さらに、同日午前6時8分頃に発生した余震(現時点までの最大余震: $M_j$  7.1)でも最大震度6弱を観測した。本震では津波も発生し、北海道から東北地方にかけての主として太平洋沿岸で津波が観測された。GPS観測によれば、今回の地震に伴い、北海道の広い範囲で地殻変動が観測されており、えりも町の電子基準点では東南東方向へ約87cm移動したことが報告されている<sup>3)</sup>。

余震域の広がりなどから断層の大きさは100~150km四方に及んだものと推定されている。また、震源インバージョンによれば、断層の破壊は南東から北西方向に広がり、破壊開始点の北西部(襟裳岬の東側)で大きなすべり(最大6~7m)が生じたこ

とが示されている<sup>4)-6)</sup>。

## 2. 地震動の特徴

気象庁発表による震度分布を図1に示す。揺れが強かった地域は十勝支庁を中心に、釧路支庁、日高支庁などの広い範囲に及んでいる。

今回の地震では気象庁<sup>2)</sup>のみならず、防災科学技術研究所(K-NET, KiK-netなど)<sup>4)</sup>をはじめとして多くの機関で多数の観測記録が得られ公表されている<sup>6)-9)</sup>。このうちK-NET, KiK-netの記録より換算した震度分布を図2に示す。公表されている観測記録の中には震度階で6強相当と見られるものもある。K-NET広尾、池田、大樹、苫小牧の加速度波形と加速度応答スペクトルを図3, 図4に示す。地震規模が大きかったために地震動の継続時間が比較的に長いのが共通する特徴である。応答スペクトルの形は地点ごとに個性的である。周期0.3秒に強いピークが見られる広尾を除いて周期1~2秒まで大きな応答を有するスペクトルが多い。また、苫小牧では5秒以上の周期に大きな応答があり、このような地震動の特性がタンクのスロッシングに影響した可能性がある(注: 苫小牧の地震動については10)に詳しい)。

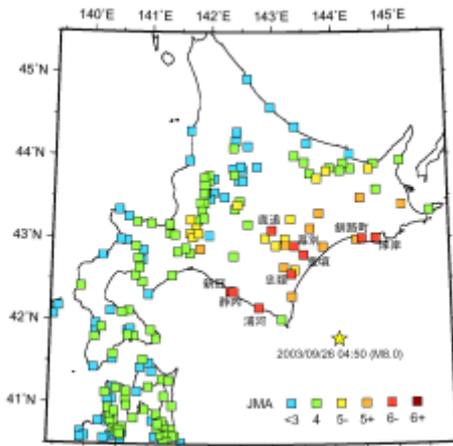


図1 気象庁発表による震度分布

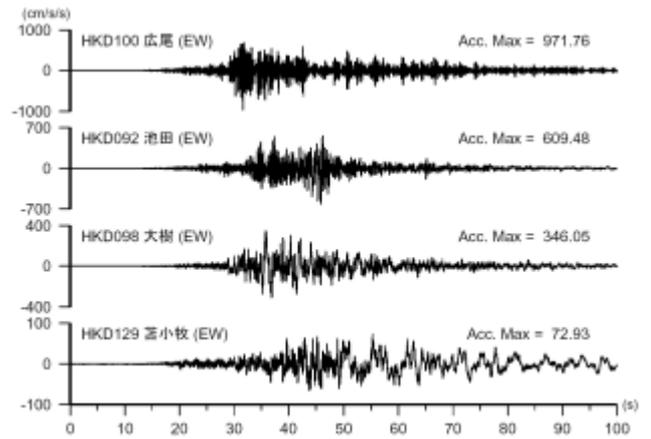


図3 K-NETで観測された加速度波形

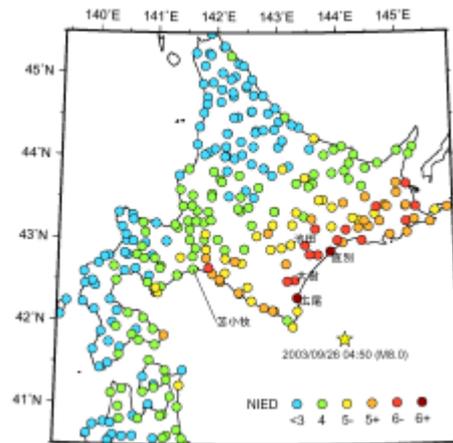


図2 K-NET・KiK-net記録より換算した震度分布

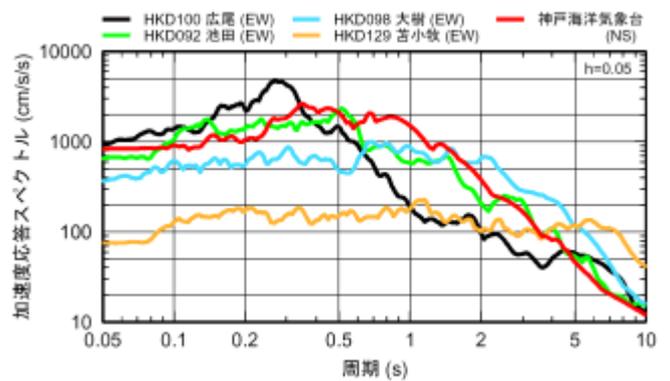


図4 K-NETで観測された加速度応答スペクトル

なお、K-NET の記録の中で最も強い地震動が得られた K-NET 直別では地震計の小屋の傾斜が見られたが、その後の調査により、液状化によると思われる地震計基礎の浮上が報告されている<sup>4)</sup>。

上記最大余震 (M7.1) の際には、本震よりも大きな地震動指標が得られた地点が複数あった。例えば、浦河では K-NET 観測記録の最大加速度・最大速度は本震のそれを上回り、気象台における計測震度も最大余震の方が大きかった。また、青森県では震度 5 が災害対策本部設置の目安であるが、本震では観測されず、最大余震の際にむつ市で観測されたため、設置となった。さらに、防災科研の K-NET、KiK-net の最大加速度分布<sup>4)</sup>を見ると、北海道の亀田半島から青森県太平洋沿岸地域で最大余震の方が大きくなっている地点があることが分かる。

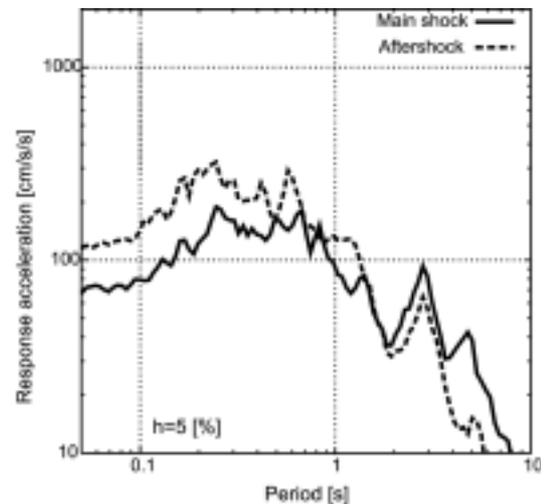
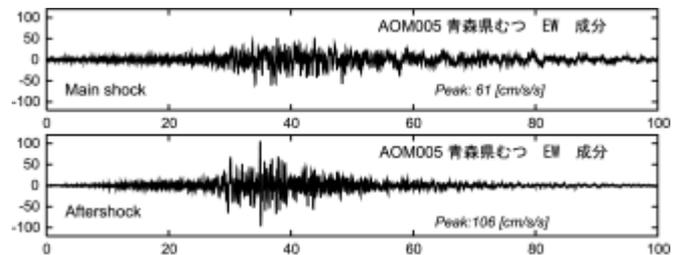


図5 2次元加速度応答スペクトル (むつ市, 減衰定数 5%)

そこで、むつ市における K-NET の記録 (EW 成分) と水平動 2 成分から算出した 2 次元加速度応答スペクトル (減衰定数 5%) を図 5 に示す。波形からは、全体的に余震の方が振幅が大きいこと、継続時間は本震の方が長いことが分かる。また、加速度応答スペクトルからは、短周期領域では最大余震の方が大きいこと、長周期領域では本震の方が大きいこと、両者が入れ替わるのは 1 秒よりやや長い周期であること、などが分かる。

むつ市における記録の振幅は、それほど大きいものではないが、震源域が大きな M8 クラスの地震では余震の影響についても十分な配慮が必要であることが指摘できよう。

図 6 には K-NET と KiK-net で得られた最大加速度と最大速度の関係を示す (印)。地盤条件等がさまざまであるためばらつきが大きいですが、平均的には最大加速度と最大速度の比  $a/v$  は 1995 年兵庫県南部地震 ( $M_j$  7.3: 印) と同程度であり、2003 年 5 月 26 日の宮城県沖の地震 ( $M_j$  7.1: 印) のようなスラブ内地震と比較して小さい (= 相対的にやや長周期成分が卓越する) 傾向が窺える。

K-NET, KiK-net で記録された最大加速度の距離減衰特性を図 7 に示す。全体的な傾向は、平均的には既往の距離減衰式<sup>11)</sup>と整合するようであるが、距離が 100km 以内でも大きくばらつく点が多く見られるのが特徴的である。

一方、本年3月には北日本の確率論的地震ハザードマップ：確率論的地震動予測地図の試作版 (地域限定 - 北日本) が公表されていたが<sup>1)</sup>、今回強い揺れに見舞われた地域では今後30年以内に震度5弱あるいは震度6弱以上の揺れを受ける確率が相対的に高いことが指摘されていた。また、この50年間を振り返っても、十勝、釧路、日高地域は多くの被害地震に見舞われてきた (表1)。こうした地震経験と被害・無被害との関係についての検証も重要である。

表 1 震度 4 以上の回数

地点	震度 4	震度 5	震度 6
帯広	22	4	0
釧路	46	7	2
広尾	21	6	0
浦河	35	11	1
神戸	1	0	0
東京	36	2	0

(注) 1951 ~ 2002年, 神戸のみ1994年まで

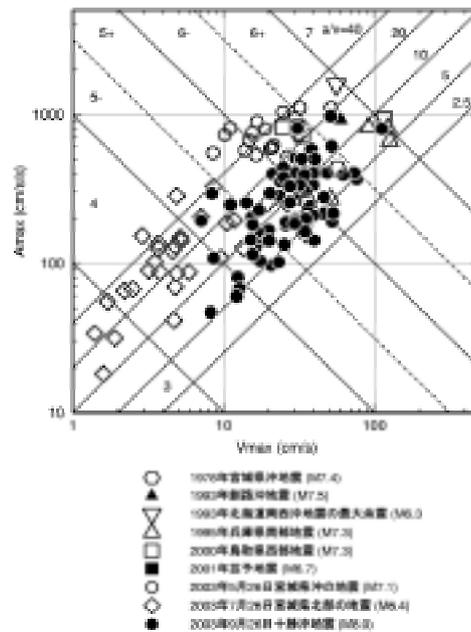


図6 最大加速度と最大速度の関係

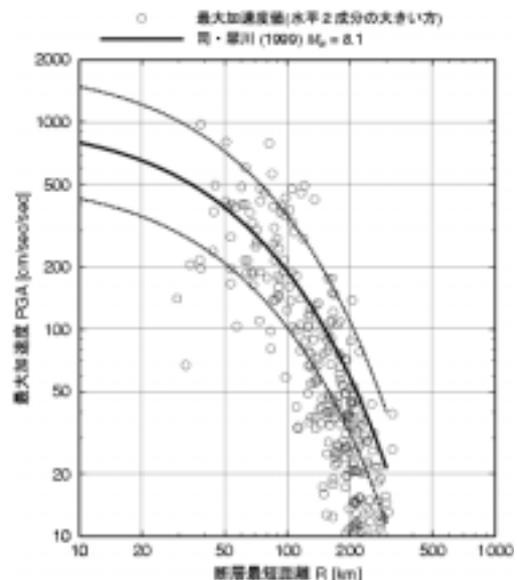


図7 最大加速度の距離減衰特性

### 3. 電柱基部の開口と地震動分布

わが国の3000以上もの強震観測点は世界的にも抜きん出て充実した地震情報を与えているが、いざ被害の詳細に立ち入ると、微地形や地質、旧地形の影響などで道一つ隔てて被害の様相が大きく変わり、この稠密な地震観測システムをもってしても被害分布の記述するには未だに“疎ら”である。小長井ら<sup>12), 13)</sup>は随所に存在する電柱基礎部に生じた楕円形の開口の大きさと方向を調べている。

十勝平野の南西部は日高山脈と豊頃丘陵に挟まれて、古期扇状地および段丘堆積物が広く広がってい

る．そしてこれらを大きく回りこむように十勝川が流下している．電柱の開口は，十勝川沿い沖積平野部，その東部の白糠丘陵そして南部の古期扇状地の丘陵地形内を流れる河川（浦幌川，歴舟川），海岸沿いの低地（直別など），そして丘陵縁辺部（忠類から大樹に至る3段の段丘および十勝港南部の台地など）で大きくなっている（図8）．全体的には南から東の方角に電柱が押されたケース，すなわち電柱の北から西側に開口が認められるものが多く，その傾向が特に顕著な帯広東部で全数27本の81%にあたる22本に達している（9月27日の調査時点）．忠類から3段の段丘を降りて歴舟川に沿って広がる大樹に至る地域では，段丘縁辺部，および沖積低地で開口が認められる．広尾南部の段丘縁辺部でも斜面がやや滑動して，家屋が傾いたところもある．人工的な盛土も一部にあるように見える．卓越した揺れの方角は十勝川沿いほど明確ではないが，南東および東向きに押された形跡を示すものが多い．一方帯広空港のある広大な台地上では電柱開口は調査した範囲で皆無に近い．

伊藤<sup>14)</sup>は，釧路，白糠，本別，浦幌，池田，帯広，中札内，大樹，広尾（以上，K-net 観測点），豊頃（KiK-net 観測点）の計10 観測点の記録を用いて，地震動の強さを表現する諸パラメータとPC電柱根元の開口との定量的な関係を検討している．そして支持する地盤がアスファルト舗装（P）か非舗装（S）かでSI値（kine）と開口D(cm)の間に以下の関係があるとしている．

$$SI = 25.7 + 62.10D; R = 0.590; \quad =20.893 \quad (\text{土})$$

$$SI = 9.25 + 124.7D; R = 0.705; \quad =18.015 \quad (\text{舗装})$$

電柱の形式およびこれを指示する地盤の状態は多様であって，今後さらに詳細なカテゴリー分類の必要がある．なお伊藤はこの結果を2003年7月26日宮城県北部地震（M5.5，6.2，5.3）でほぼ同形式の電柱にも適用し，計測震度計の指示値と，上式から推定されるSI値から換算した震度とは概ね一致することを示している．このような換算式による指標も地震動特性評価の基礎データとして活用していくことが可能であろう．

#### 4．おわりに

本稿では，平成15年十勝沖地震の地震および地震動について，簡単にまとめた．様々な機関の努力により多数の強震記録が得られており，貴重なデータが得られている．文中で指摘したような，地震動のばらつきの大きさや本震を上回る余震の地震動の特

性について，深い地下構造や地盤の非線形挙動等を考慮して検討するとともに，SI値や最大加速度・速

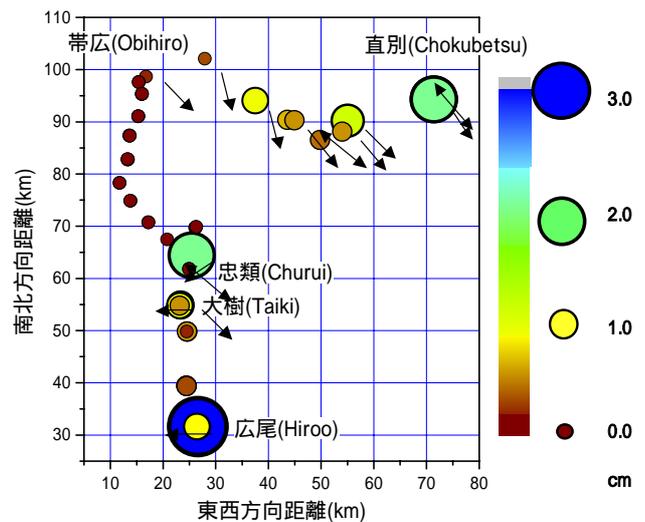


図8. 電柱基部の開口の大きさ（円の半径，および色）と主要な方向（2003年9月29日までの集計）

度比等の地震動指標と被害程度の相関性等について検討していくことが必要であろう．また，今回の地震観測地点のいくつかでは1993年釧路沖地震の際にも記録が得られており，本地震との比較により様々な検討が可能であろう（例えば8）．

#### 参考文献

- 1) 地震研究調査研究推進本部：  
<http://www.jishin.go.jp/main/index.html>
- 2) 気象庁：<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/seismo.html>
- 3) 国土地理院：<http://www.gsi.go.jp/>
- 4) 防災科学技術研究所：<http://www.bosai.go.jp/>
- 5) 東京大学地震研究所：<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/Jhome.html>
- 6) 建築研究所：<http://iisee.kenken.go.jp/>
- 7) 国土交通省防災情報提供センター：  
<http://www.bosaijoho.go.jp/index.html>
- 8) 港湾空港技術研究所：<http://www.pari.go.jp/>
- 9) 海洋科学技術センター[http://www.jamstec.go.jp/scdc/top\\_j.html](http://www.jamstec.go.jp/scdc/top_j.html)
- 10) 消防研究所：[http://www.fri.go.jp/bosai/tokachi\\_lpgm.html](http://www.fri.go.jp/bosai/tokachi_lpgm.html)
- 11) 司宏俊・翠川三郎（1999）：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文集，523，pp. 63-70.
- 12) 土木学会・地盤工学会合同十勝沖地震調査団：2003年9月26日に発生した十勝沖の地震被害調査速報，土木学会誌 12月号，2003.
- 13) 小長井一男：十勝沖地震現地調査メモ 2003年十勝沖地震調査団，土木学会災害速報，  
<http://www.jsce.or.jp/report/frameset.htm>
- 14) 伊藤寛倫：質の高い地震危険度評価のための地震被害電柱及

## STRONG GROUND MOTIONS

Yutaka ISHIKAWA, Kazuo KONAGAI, Shunichi KATAOKA and Riki HONDA

A M8.0 intense earthquake occurred off the coast of Tokachi at 4:50 local time, September 26, 2003. The earthquake with the focal depth of 42km was produced by the subduction of the Pacific Plate beneath Hokkaido island, and its thrust fault rupture plane is estimated close to that of the Off-Tokachi earthquake of 1952 (M8.2). The earthquake motions lasted long and exhibited some different features at different locations, which features must have had some relations with the variation of damage in this earthquake. Basic features of the seismic records at K-net stations as well as earthquake-created openings at soil-utility pole interfaces are discussed herein.