

中川低地沖積層の S 波速度のモデリングと地震応答

About Vs modeling and seismic response of the Chuseki-so in the Nakagawa Lowland, Kanto Plain.

関口春子^{1*}・吉田邦一²・木村克己³
Haruko Sekiguchi^{1*}, Kunikazu Yoshida² and Katsumi Kimura³

Abstract: This report consists of two subjects, examination of N-value to Vs empirical model for the Nakagawa lowland and preliminary survey of ground response of the Nakagawa and nearby lowlands.

To construct a 3D Vs structure model based on the 3D N-value structure model, here, We examined the applicability of an empirical formula to get Vs from N-value using borehole data for the second year. Again, We found that the formula VX in Ohta and Goto (1978) is highly applicable in average. We noticed big discrepancy between measured and estimated Vs when N-value is saturated; N-value is usually set to 50 when it exceeds 50.

We compared ground motion in and around the Nakagawa, Arakawa, Tone river middle reaches, and Tokyo Lowlands during the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku earthquake. The difference of JMA intensity in and around the lowlands is not remarkable. Preliminary comparison of velocity spectrum indicates that the ground motion in the Nakagawa lowland is about 2 times larger in the period around 1 sec.

Keywords: Nakagawa lowland, seismic response, S-wave velocity, N-value, ground motion simulation

要旨

中川低地帯における N 値-S 波速度経験式の検討、および、中川低地帯とその周辺の低地帯の 2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震時の地震動応答に関する概観を報告する。H22 年度に引き続き、東京低地北部から中川低地南部地域にかけての 3 次元沖積層物性値構造モデルの改良のため、PS 検層などの物性値探査が行われたボーリングデータを用いて、当該地域に適した N 値-S 波速度関係式を検討した。昨年度の検討で適用性が良かった太田・後藤（1978）の XV 式が、今回用いたデータにも大局的には良く適合した。しかし、N 値が頭打ちをしている部分で推定誤差が大きくなる。中川低地帯とそれに続く、荒川低地帯、東京低地帯、利根川中流域低地帯とその周囲における 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震の地震動を比較したところ、利根川中流域低地帯では周囲より震度が大きいようだが、それ以外では顕著な差が見ら

れなかった。中川低地南部の観測記録を比較したところ、低地内外で地震動の周期数分布に違いがみられ、低地内では 1 秒付近の周期が低地外より増幅していることがわかった。

1. 中川低地沖積層の物性値構造のモデル化

関東平野における沿岸域課題として、H21 年度に引き続き、東京低地北部から中川低地南部地域にかけての 3 次元沖積層物性値構造モデルの改良のため、PS 検層などの物性値探査が行われたボーリングデータを用いて、当該地域に適した N 値-S 波速度関係式を検討した。

H21 年度には、産業技術総合研究所によって掘削されたボーリング孔での検層値を用いて、土質の違いなども考慮されている 4 つの既存の N 値-S 波速度関係式（経験式）、大田・後藤（1978）の XIII 式および XV 式、中央防災会議「東海地震に関する専門調査会」（2001）の式、吉田・ほか（2006）の適用性を

* Correspondence

¹ 京都大学防災研究所（Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University）

² 地域地盤環境研究所（Geo-Research Institute）

³ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門（AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation）

検討したところ、総合的に見て、太田・後藤（1978）の XV 式、

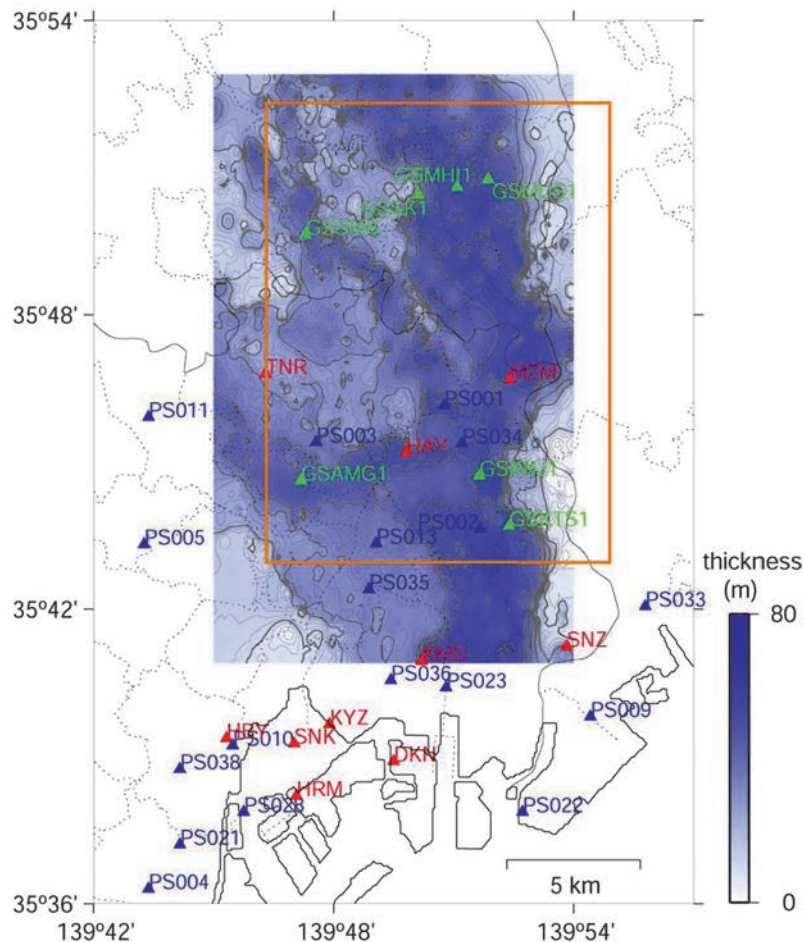
$$V_s = 68.91 * N^{0.713} * dep^{0.228} * \left\{ \begin{array}{l} 1.000(clay) \\ 1.085(sand) \\ 1.306(diluvium) \end{array} \right\} * \left\{ \begin{array}{l} 1.000(clay) \\ 1.085(sand) \\ 1.189(gravel) \end{array} \right\}$$

が最もよく適合していることがわかった。Vs は S 波速度、N は N 値、dep は深さである。また、この式では、N 値がゼロのとき S 波速度がゼロと計算され、実際の S 波速度から大きく外れるが、このような場合の補正方法としては、ゼロの N 値を 1 に置き換えることにより妥当にモデル化されるということがわかった。

H22 年度は、東京都土木技術研究所（現：土木技術支援・人材育成センター；以下、都土研）が独自に実施したボーリング調査データ、および、東京都が地震関係基礎調査交付金による地下構造調査の一環で収

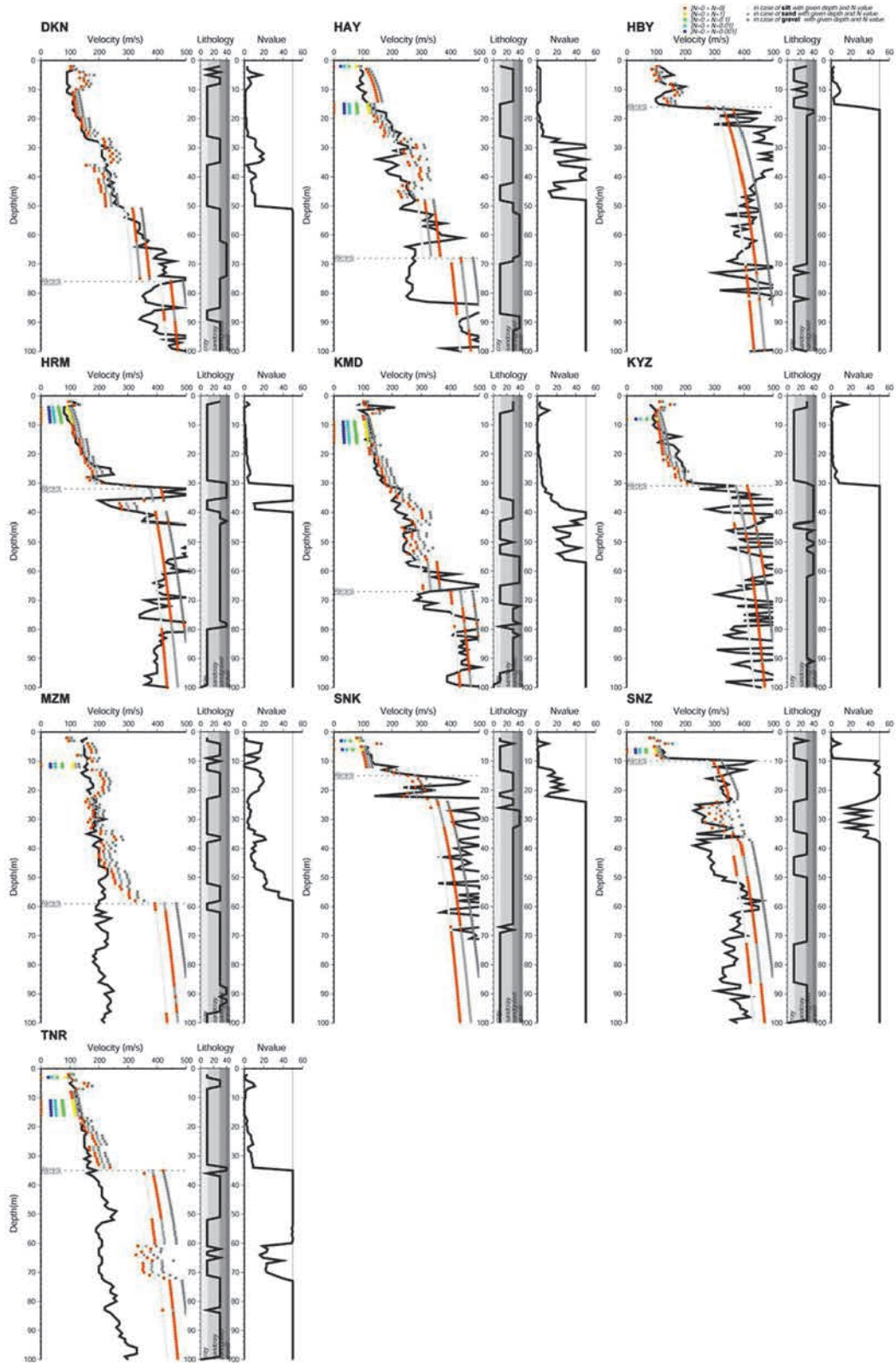
集・整理した既存ボーリング調査データのうち、東京低地～中川低地南部地域のものを使用し、太田・後藤（1978）XV 式の適用性を検討した。用いたボーリング地点の位置を、第 1 図に示す（図は用いなかった地点も含む）。

第 2 図と第 3 図に、それぞれ、都土研および、東京都のボーリングデータについて、計測された S 波速度と、N 値・深さ・土質区分から太田・後藤（1978）の XV 式で計算された S 波速度の比較を示す。なお、昨年度検討に用いた産総研のボーリングデータでは、泥分含有率を有していたため、泥と砂の割合に応じて、太田・後藤（1978）XV 式の最後の係数を比例配分して足し合わせていたが、今回はそのようなことはしていない。なお、土質区分は、ボーリングデータによって表現が異なるが、泥・砂・礫の中から主要な成分と思われるものを選んで区分けた。



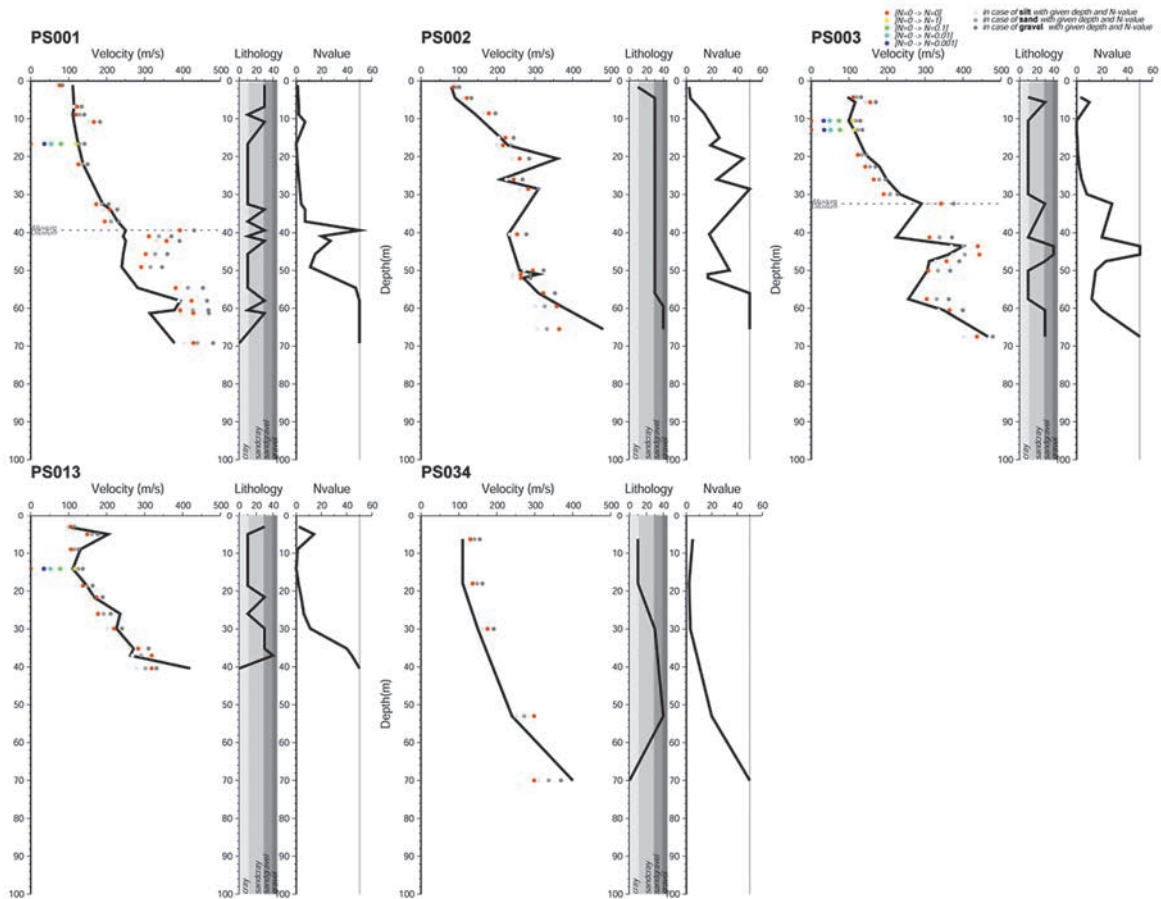
第 1 図 N 値－S 波速度関係式の検討に用いたボーリングの地点。赤は東京都土木技術研究所実施のボーリング（東京都土木技術研究所，1996）。青は東京都が収集したボーリング。緑は産業技術総合研究所が実施したボーリングで、昨年度の検討で用いた。背景には中川低地帯の沖積層厚分布（田辺ほか，2005）を示す。

Fig.1 Borehole sites used to examine an empirical formula estimating S-wave velocity from N-value. Red triangles are boreholes by the Institute of Civil Engineering of the Tokyo Metropolitan Government. Blue triangles indicates boreholes whose data are compiled by Tokyo Metropolitan Government. Green triangles are the boreholes conducted by GSJ/AIST which are used in the last year's examination. Background blue color shows the distribution of alluvium width (Tanabe et al., 2005).



第2図 東京都土木研究所のボーリング調査による計測されたS波速度（黒実線）と経験式から計算したS波速度との比較。橙丸が、地点のN値・土質区分・深さをを用いた計算値。3段階の灰色丸は、データのN値・深さをを用い、土質区分をclay, sand, gravelとした場合の計算値。青、青緑、緑、黄色の丸は、それぞれ、N値がゼロのデータで、データの土質区分と深さをを用い、N値を0.001, 0.01, 0.1, 1.0に置き換えた場合の計算値。

Fig.2 Comparison of the S-wave velocities measured at boreholes by the Institute of Civil Engineering of the Tokyo Metropolitan Government (black lines) and estimated from N-value data there (circles). Orange circles are calculated using N-value, granularity and depth at each point and assuming the soil as (from light to dark gray) clay, sand and gravel respectively. Blue, blue green, green and yellow circle values are calculated giving N-value in the empirical formula to be 0.001, 0.01, 0.1 and 1.0 when measured N-value is 0.



第 3 図 東京都が収集したボアホール PS 検層による S 波速度（黒実線）と経験式から計算した S 波速度との比較。

Fig.3 Comparison of the S-wave velocities measured at boreholes which are compiled by the Tokyo Metropolitan Government (black lines) and estimated from N-value data there (circles).

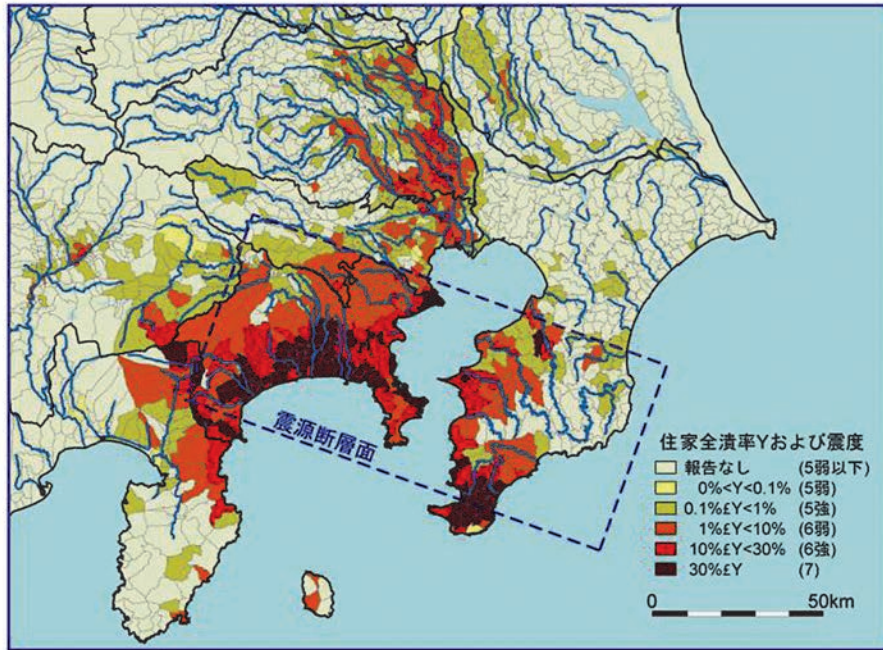
都土研のデータのうち、TRN、および、MZM の計測 S 波速度は土質の粒度および深度に鑑みて適切な値ではないと考えられるが、それ以外の地点では、概ね、太田・後藤(1978)XV 式でよく表現できている。特に、沖積層部分は良く表現できている。計測値と計算値の差が最も大きいのは、N 値が飽和して（N 値は一般に、50 以上は十分硬いとして、打ち止めにするため）いるところ、および、標準貫入試験が打ち切られたところである。昨年度の検討で用いた産総研のボーリングでは、50 を超えて N 値を計測しているため S 波速度の大ききなところでの変動幅が N 値の変化を通して反映できていたが、一般に 50 以上の N 値が計測されることはまれであるので、N 値を用いた経験式を適用する場合の N 値 50 以上の部分には、注意が必要である。また、標準貫入試件は、N 値が 50 を超えてしばらくすると、打ち切りになることが多く、HAY の 72m 以深、KMD の 67m 以深、および、SNZ の 44m 以深は N 値が計測されていない。ここでは、便宜的に N 値 50 と

して S 波速度を計算したが、そうすると誤差が大きくなることわかる。

2. 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震の際の地震動

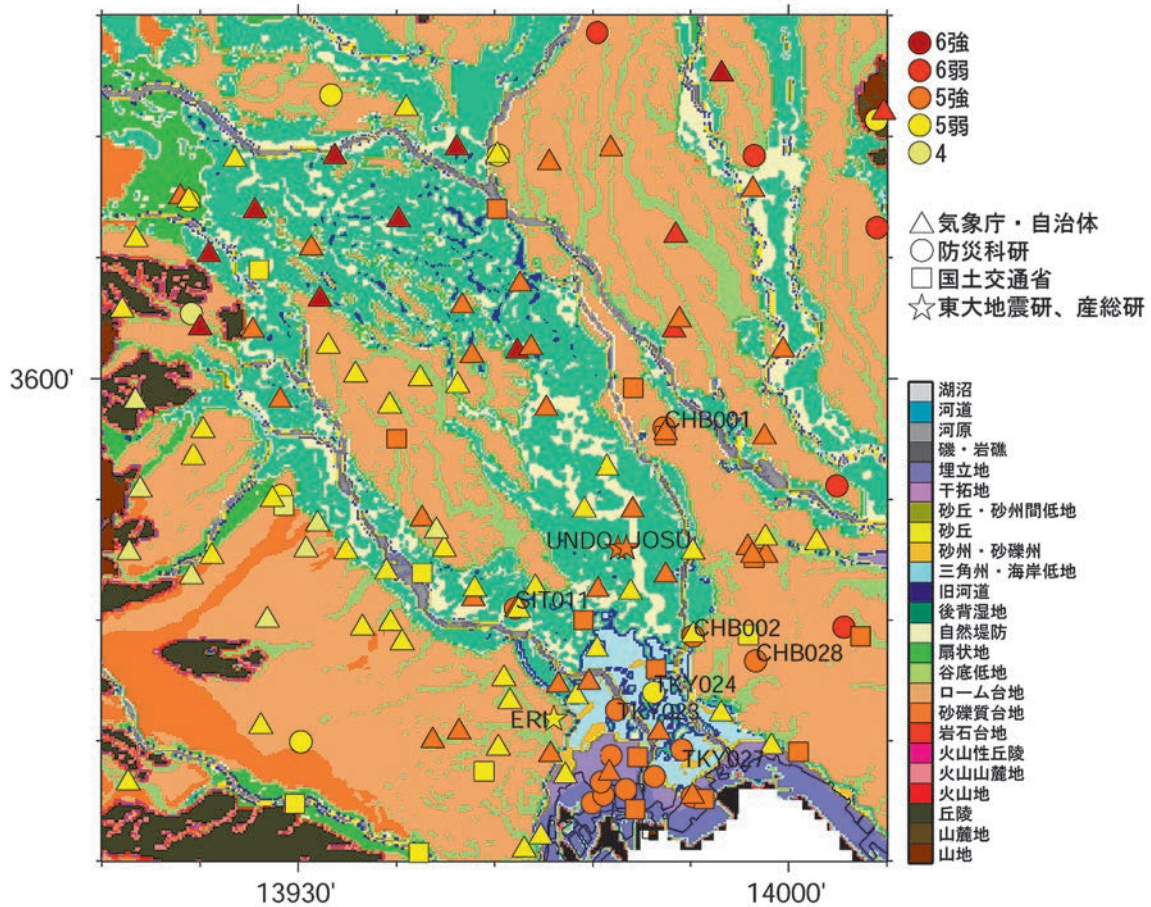
1923 年大正関東地震の際、中川低地帯・荒川低地帯に当たる地域はその震源からの距離の割に大きな被害を受けた。住家全潰率から経験式により推定された震度分布（第 4 図）でも、中川低地帯は異常振動域として浮かび上がっている。このように、震度が周囲より大きくなる現象は、2004 年新潟県中越地震とその余震や、関東平野下で起こる中規模地震の際にも見られた。その主たる原因は、厚く堆積する沖積層による増幅と考えられている。

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分に発生した東北地方太平洋沖地震では、中川低地帯の地震動はどのようなであったか、ここでは、現状入手できたデータをもとに見てみることにする。ただし、本研究で実施している



第4図 住家全潰率より推定された1923年大正関東地震の震度分布(諸井・武村, 2002).

Fig.4 Seismic intensity distribution for the 1923 Kanto earthquake estimated from the wooden house collapse rate (Moroi and Takemura, 2002).



第5図 2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の中川低地帯, 荒川低地帯, 利根川中流域低地帯とその周辺の計測震度分布.

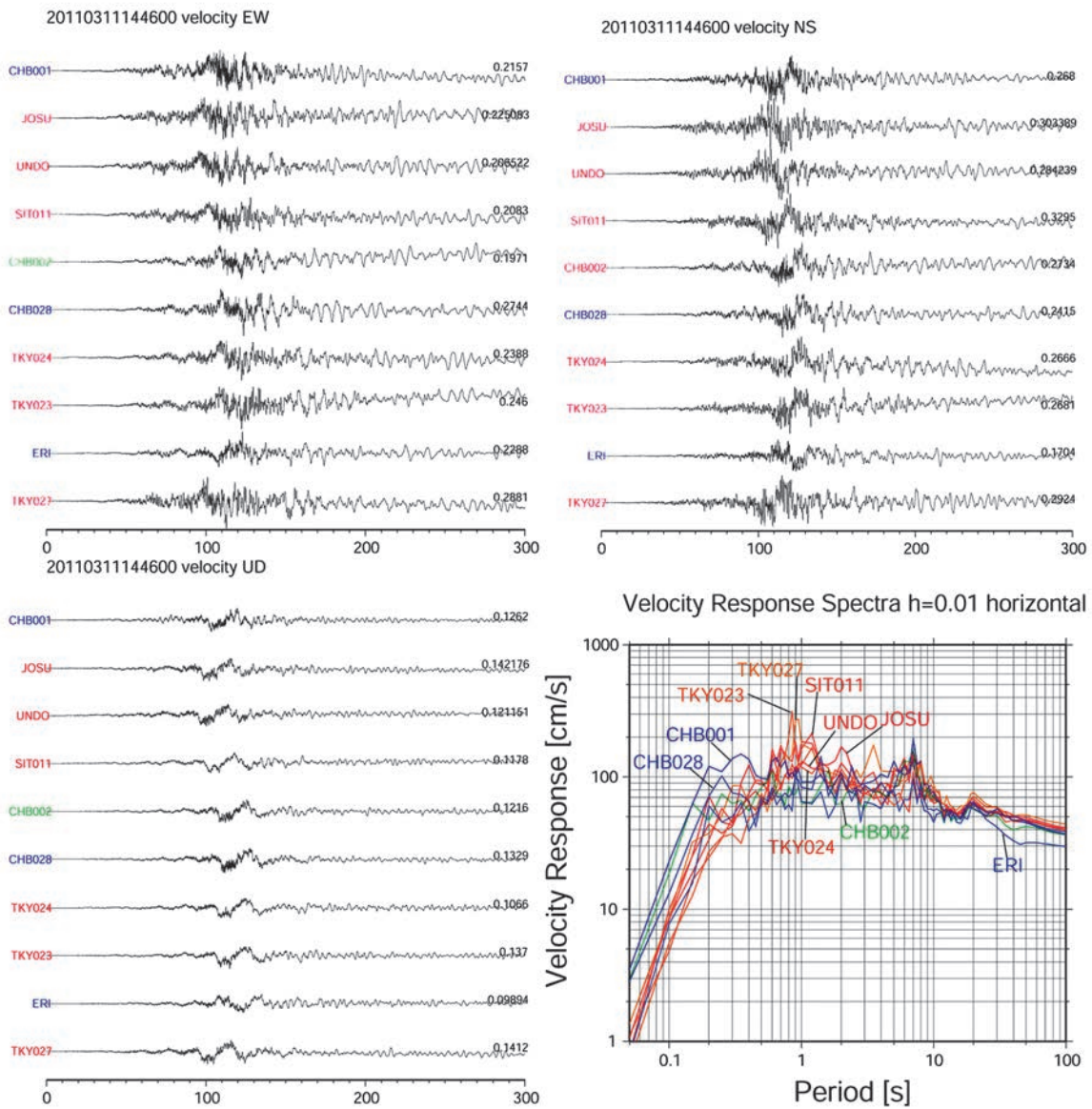
Fig.5 Seismic intensity in and around the Nakagawa, Arakawa, Tone river middle reaches, and Tokyo lowlands during the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku earthquake.

中川低地帯の定常地震観測の観測点の記録も、14 地点中 2 地点しか回収できておらず、また、多機関の観測データでも未収集のものがあり、今後、検討を続けて行く必要がある。

まず、中川低地帯周辺部分にフォーカスして震度分布を図示した(第 5 図)。ここでは、気象庁発表の震度情報から気象庁および自治体の計測震度発表値(ただし、2011 年 3 月 30 日発表の修正を考慮。また、地点位置情報が得られなかったものを除く)、防災科学技術研究所の K-NET 観測点の記録から計算した計測震度値、国土交通省の河川・道路等施設の地震計ネットワークの計測震度発表値、および東京大学地

震研究所の計測震度公表値を、250m メッシュ地形・地盤分類(7.5-Arc-Second JEGM)(松岡他, 2005; Wakamatsu and Matsuoka, 2006)上にプロットした。この図からは、利根川中流低地(埼玉県北部)では低地帯内部の震度がその周囲の台地に比べ、大きになっている傾向があるが、中川低地や荒川低地(埼玉県南東部)ではその傾向は極めて弱いように見える。

次に、中川低地帯南部で低地帯内外の観測記録を比較した。低地帯内部の観測点としては、K-NET の SIT011, CHB002, TKY023, TKY024, TKY027 観測点と、産総研の中川低地帯観測網の JOSU, UNDO 観測点がある。低地帯外の近傍地点としては、K-NET



第 6 図 中川低地帯南部の低地内外の観測記録の比較。速度波形の 3 成分と、速度応答スペクトルの水平成分を示す。赤は低地内部の観測点、青は外部の観測点を示す。観測点位置は、第 5 図に示す。

Fig.6 Comparison of the records in and around the Nakagawa lowland at the southern part of the lowland. Velocity waveforms and velocity response are shown. Red indicates stations inside the lowland and blue indicates stations outside. The location of the stations are shown in Figure 5.

のCHB001, CHB028 および、東京大学地震研究所のERI観測点がある。なお、産総研の観測網は低地帯内と周辺に14点あるが、電話回線による吸い上げで現在までに上記2地点しか回収できていない。これらの観測記録を速度に変換したもの、および、速度応答スペクトルの水平動成分（東西、南北成分の2乗和の2乗根）を第6図に示す。波形を比較すると、低地帯外の観測点のほうが、若干短周期がちに見える。どの地点でも、主要動部分以降に周期7, 8秒の後続波が長く続いているが、これは、応答スペクトルでこのあたりの周期に全地点で共通したピークとして見えている。低地帯内外の系統的な違いは、応答スペクトルの1秒付近にも見られる。低地帯内部の記録は、このあたりの周期で低地帯外の記録を上回っている（最大2~3倍）。ただし、この図から中川低地帯内部とみられるCHB002の応答スペクトルは、低地帯外の観測点のそれと同レベルである。これは、低地帯の縁に近く沖積層が薄いために、他の内部の地点と沖積層による応答の周期が大きく違っていた可能性も考えられる。

3. 今後の課題

今回は予察的な比較しかできなかったが、今後、産総研の中川低地帯観測網の残りの地点の記録を回収し、また、各地点のローカルな地盤状況も考慮して、より詳細な比較検討を行う予定である。

文献

太田 裕, 後藤典俊 (1978) 横波速度を推定するための実験式とその物理的背景, 物理探鉱, 31, 8-17.

国土交通省河川・道路等施設の地震計ネットワーク 情報, <http://www.nilim.go.jp/japanese/database/nwdb/index.htm>

田辺 晋・石原与四郎・江藤稚佳子・中西利典・木村克己・中山俊雄・八戸昭一 (2005) 東京低地から中川低地における沖積層の3次元堆積モデル. 日本地質学会第112年学術大会講演要旨, 197.

中央防災会議 (2001) 「東海地震に関する専門調査会」第10回, 資料2-2, <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/tokai/10/siryou2-2.pdf>

東京都 (2004) : 平成15年度資料収集調査に関する調査成果報告書, 地震調査研究推進本部ウェブ

サイト <http://www.hp1039.jishin.go.jp/kozo/Tokyo8Dfrm.htm>

東京都土木研究所 (1996) 東京都 (区部) 大深度地下地盤図—東京都地質図集6—層序試錐の土性およびPS検層, 76p.

松岡昌志・若松加寿江・藤本一雄・翠川三郎 (2005) 日本全国地形・地盤分類メッシュマップを利用した地盤の平均S波速度分布の推定, 土木学会論文集, No.794/I-72, 239-251.

瀧澤一起・古村孝志・坂上 実・三宅弘恵 (2011) 2011年東北地方太平洋沖地震の強震記録, <http://taro.eri.u-tokyo.ac.jp/saigai/20110311eq/data.html>

諸井孝文・武村雅之 (2002) 関東地震 (1923年9月1日) による木造住家被害データの整理と震度分布の推定, 日本地震工学論文集, 2 (3), 35-71.

吉田邦一・山本浩司・関口春子 (2006) 強震動予測のための大阪堆積盆地の浅層地盤構造モデルの作成, 活断層・古地震研究報告, 123-141.

Wakamatsu, K. and Matsuoka, M. (2006) Development of the 7.5-Arc-Second Engineering Geomorphologic Classification Database and its Application to Seismic Microzoning, Bulletin of Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 81, 317-324.