

新潟県中越地震の地震動の特徴 Strong Ground Motion during Mid-Niigata Earthquake

久田嘉章¹⁾
Yoshiaki Hisada

1)工学院大学建築学科，教授，工学博士（東京都新宿区西新宿3-4-1，E-mail: hisada@cc.kogakuin.ac.jp）
Department of Architecture, Kokakuin University, Professor, Doctor of Engineering

2004 年新潟県中越地震の地震動に特徴を、震源近傍で観測された強震動や震源モデル（アスペリティーなど）、地盤震動（表層地盤と非線形）、入力地震動と地震被害などの観点から報告する。

2004 年新潟県中越地震，震源近傍の強震動，震源モデル，地盤非線形，入力地震動
2005 Niigata-ken Chuetsu Earthquake, Near Source Strong Ground Motion

1 はじめに

2004 年新潟県中越地震の地震動特性を、震源近傍の強震動と震源モデル、地盤震動（表層地盤と非線形）、入力地震動と地震被害などの観点から報告する。

2 2004 年新潟県中越地震の概要

2004 年新潟県中越地震（10 月 23 日 17 時 56 分、深さ 13 km）は M_{JMA} 6.8（USGS M_w 6.4；F-net M_w 6.6）で、西北—南東方向に圧力軸を持つ西落ち逆断層の地震である。同日の 18 時 03 分に M_{JMA} 6.3、18 時 11 分に M_{JMA} 6.0、18 時 34 分に M_{JMA} 6.5 を記録するなど余震活動が非常に活発であり、救助や避難活動にも大きな支障を生じた。本震の際、川口町で兵庫県南部地震以降初めての震度 7 を記録した。地震による死者数が 40 名、住家家屋では全壊が 2,729 棟、大規模半壊が 706 棟、壊が 8,747 棟、一部損壊が 85,118 棟、非住家被害が 34,259 棟、道路被害 6,062 箇所と報告されている（新潟県、2004）。死者の内訳では地震動による建物等の倒壊によるものは 9 名のみであり、その他はショック死や、地震後の疲労・ストレス・エコノミー症候群など間接的影響で亡くなっている（12 月 10 日時）。

新潟県中越地震は六日町盆地西縁断層、もしくはそれに平行な断層が活動したものと推定されているが、地表には明瞭な断層が現れず、固有地震よりも規模の小さな地震として、極めて予測の困難な地震と考えられている。また本震の後、複雑な千字型の断層面に沿って非常に数多くの余震が発生したことも特徴的であった。この周辺は約 3 千万～1500 万年前の日本海拡大期に引張場による正断層が生じ、その上に厚い堆積層の堆積した地域であった。その後、約 350 万年前から東西の圧縮場となり、「古傷」に沿って逆断層の地震が生じる地域となったと考えられている。近年の多くの被害地震（鳥取県西部地震、宮城県北部地震など）は、固有地震よりも規模の小さな地震で生じており、そのハザード評価は大きな課題である。

3 震源近傍の強震動と震源モデル

新潟県中越地震では本震や余震では震源域で多数の強震記録が観測された。特に震源近傍では既存の距離減衰式を凌駕する最大加速度値や速度値が観測されている（例えば東京大学地震研究所）。一例として、小千谷市で観測された JMA、K-net、水仙の家（免震建物の基礎）の加速度・速度波形と加速度応答スペクトルを図 1 に、川口町で観測された加速度・速度波形と加速度応答スペクトルを図 2 に示す（小千谷市の地図は図 3）。図より、地表を切らない震源断層の近傍に特徴的な指向性（ディレクティブィティー）パルス波が、特に EW 成分に観測されている。図 1 の K-net は非常に大きな振幅を示しているが、これは下に示すように地盤の非線形によると考えられている。

強震観測記録を用いた震源モデルも多数提案されている。（例えば、東京大学地震研究所 2004、防災科学技術研究所 2004 など）。震源逆解析に共通して見られるのは震源の近傍に位置するアスペリティーであり、図 1、図 2 の EW 成分主要動に見られる指向性パルス波の成因になっている。その他のアスペリティーは使用した強震記録やグリーン関数が異なるため、モデルによって差異が見られる。

4 表層地盤と地盤非線形

図 1 に示しているように、小千谷市で観測された記録のうち、K-net の振幅の方は特に大きく、大振幅時には密な砂地盤で見られる液状化現象の一種であるサイクリック・モビリティが観測されている。本震と余震の地震記録のフーリエ振幅スペクトルを比べると、中小地震時では 0.4～0.5 秒程度の卓越周期が本震時には 0.7 秒程度まで増大しており、地盤が大きく塑性化していたことを示している（例えば翠川ほか、2004）。さらに地盤の塑性化はごく表層だけでなく、深さ 300m 程度から生じていた可能性も指摘されている（福元ほか、2005）。1995 年兵庫県南部地震（ポートアイランド）では地盤の非線

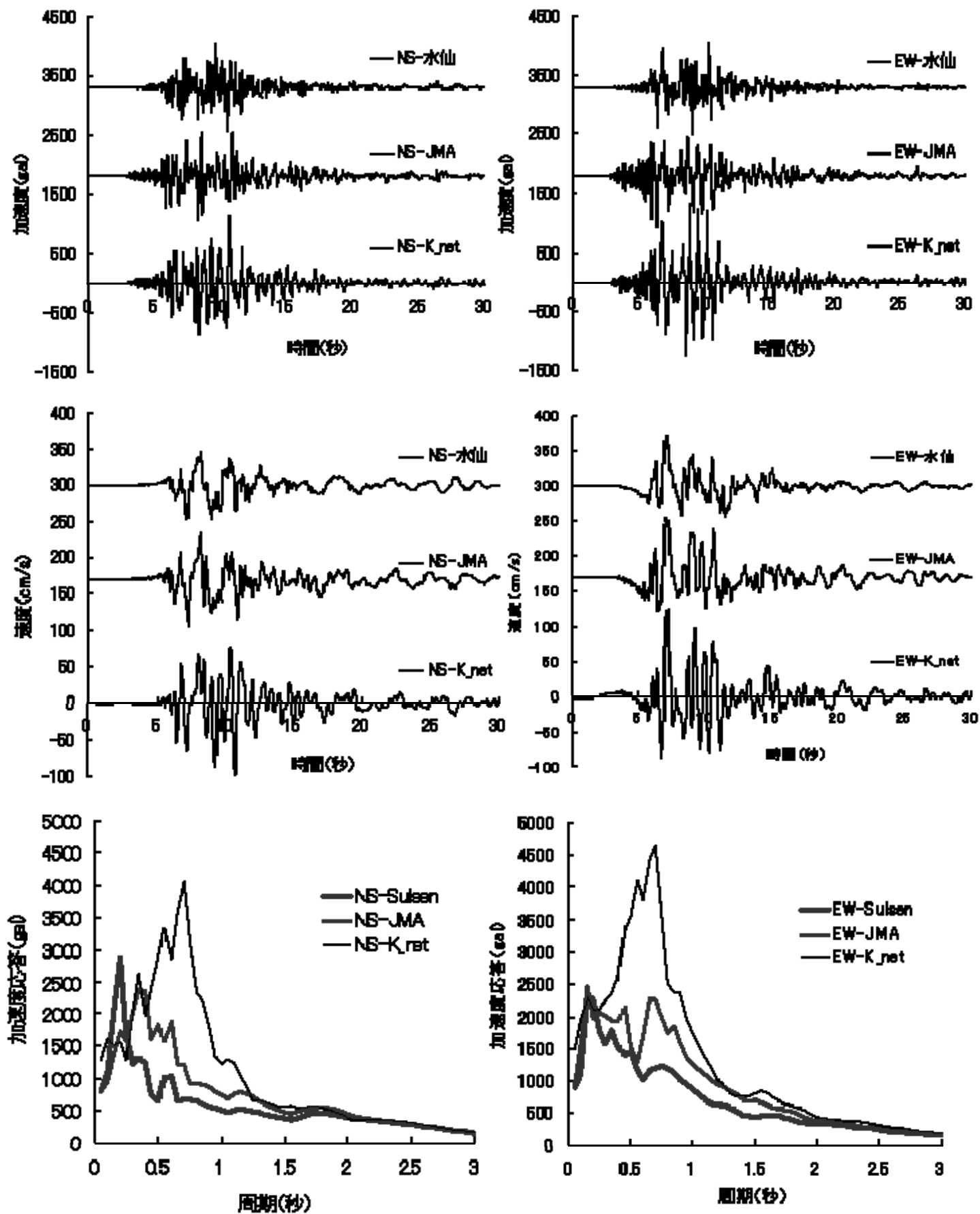


図1 小千谷市における本震の加速度波形（上）、速度波形（中）、加速度フーリエ振幅スペクトル（下、 $h=0.05$ ）の比較

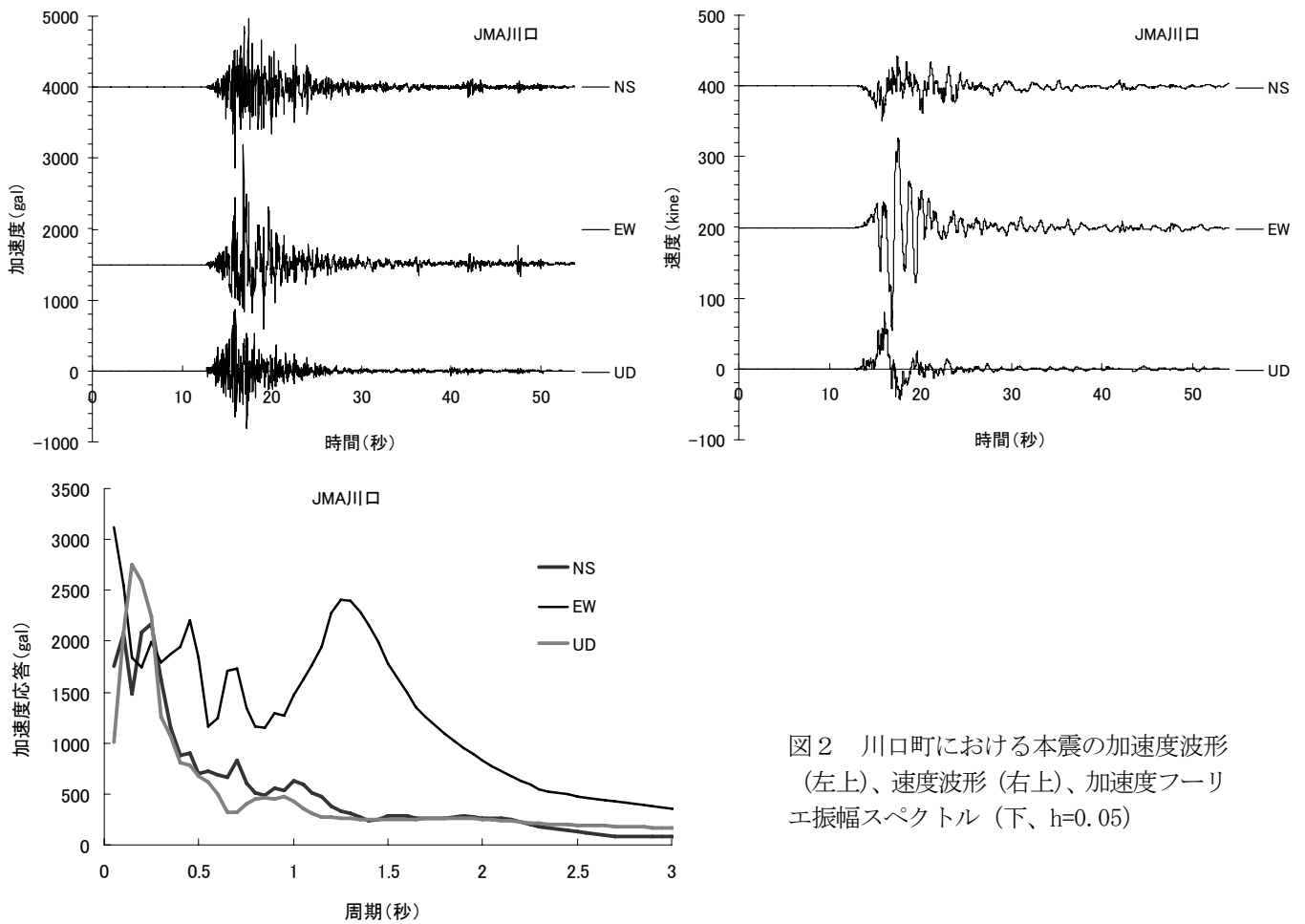


図2 川口町における本震の加速度波形 (左上)、速度波形 (右上)、加速度フーリエ振幅スペクトル (下、 $h=0.05$)

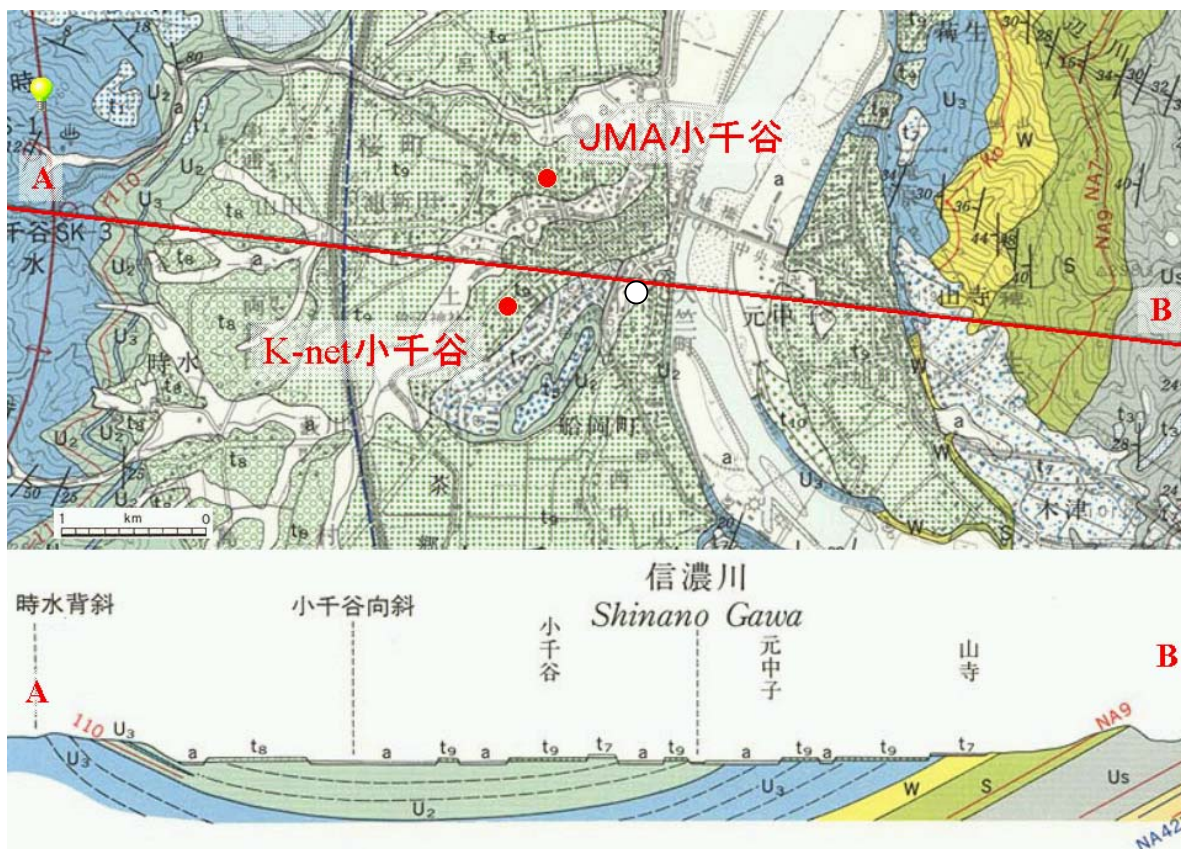


図3 小千谷市と周辺の地質図と断面図 (産業技術総合研究所・小千谷の地質 2004 に加筆)

形の減衰効果により地震動は小さくなっていたが、K-Net 小千谷では剛性低下効果により、地震動は大きくなっている。

5 山地部（活褶曲地形帯）での地震被害

新潟県中越地震による被害の大きな特徴は、平野部よりも山地部で大きな被害が集中したことである。長岡市では信濃川流域の軟弱地盤よりも、丘陵地での宅地造成の埋土部分の崩壊による被害の方が多数報告されている。一方、中越地震の震源域である魚沼丘陵（南部）・東山丘陵（北部）は、西北西-東南東の圧縮を受ける活褶曲地域である。褶曲地域では沈降する向斜軸では圧縮を受け地盤は硬化するが、隆起する背斜軸では張力を受け岩盤はもろくなる。このため隆起が続くと地盤の弱い背斜は差別的に削除され、もともと尾根だった背斜は徐々に谷地形となる。東山丘陵は多数の背斜・向斜で刻まれており、特に大きな被害を受けた山古志村は東山背斜が差別的に削除され谷地形し、地すべりの多発地域として知られている。今回の地震でも台風による大量の雨でゆるまった地盤により、多数の地すべり被害を生じたと解釈されている（小長井、2005）。

一方、隆起する背斜の谷地形を蛇行する河川の効果により、活褶曲地形帯には段丘状の崖地形や、取り残された馬蹄形の平地に旧河川道を生じる。小千谷市や川口町の周辺にはこのような多くの段丘地形や旧河川道が認められている。当該地域では多くの道路や鉄道は段丘崖沿いに敷設され、斜面崩壊により多大な被害を被った。一方、山地部での地震動による大被害の地域は背斜軸の近くに集中している。さらに被害地域での詳細な被害分布と地形に注目すると、被害の集中した地域は旧河川道（川口町、田麦山など）や、地すべり堆積物による扇状地・扇状地性段丘（武道窪など）に位置すると指摘されている（久田、2005）。通常の扇状地は硬質な砂礫が堆積しているのに対し、当地域の扇状地・扇状地性段丘では、背後の地すべり性斜面から供給された第三紀軟岩による軟弱な風化物が堆積で形成されている（産業技術総合研究所・活断層研究センター、2004）。従って被害の集中地域では旧河川道や扇状地の軟弱な表層地盤により地震の際に地震動の大きな増幅があったと考えられる。

6 地震被害と入力地震動

新潟県中越地震の地震被害の特徴は、震源近傍で非常に大きな地震動が観測されている割には、地震動による地震被害は大きくはなかったことである。一例として、震度7を観測した川口町周辺の全建物（355棟、8割以上は木造）を調査した結果では、全体の全壊率（D4以上）は13%であった。仔細にみると全木造建物（288棟、倉庫や車庫を除いた）では、古い建物は多いものの（10年以上で77%）、9割以上の基礎は雪国使用の高床式か布基礎、屋根は8割以上は軽い金属屋根であり、耐震性は

比較的高いと考えられている。全木造家屋の全壊率は14%であり、非常に古い木造家屋の全壊率は46%、古い木造家屋は10%、新しい木造家屋では0%であり、被害は古い木造家屋に集中している（久田、2005）。

木造家屋の地震応答解析例を紹介する（吉田ほか、2005）。長戸・川瀬（2002）のRC造モデルと同様に、1995年兵庫県南部地震の地震被害を説明する木造モデル（建物の余力を、現行基準の耐力を築年別に2から4倍大きくして考慮）を用いて、JMA川口の記録を入力した解析結果を図4に示す。解析結果の被害率は、観測結果を大きく上回っている。K-net小千谷と近傍のRC造建物内とで余震を同時観測した例では、RC造建物内の波形が小さく、表層地盤の増幅と入力損失効果が指摘されている（壁谷沢ほか、2005）。しかしながら木造家屋では大きな入力損失は考え難く、木造家屋の地域特性を考慮したモデル化の必要性を示唆している。

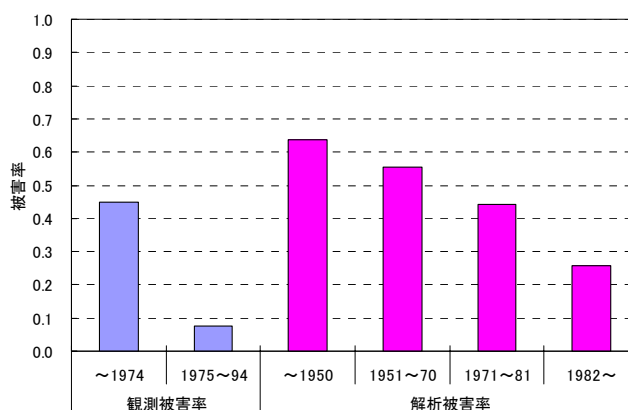


図4 川口町周辺での観測被害率と解析被害率の比較（吉田ほか、2005）

7 おわりに

新潟県中越地震の生じた背景や震源域の強震動と震源モデル、丘陵地・山地部での被害の集中、地震動と地震被害の関係などを報告した。特に強震観測網の充実により震源域近傍で非常に大きな地震記録が得られており、震源アスペリティーからの指向性パルス波や、地盤の非線形の影響が明瞭に観測された。一方、K-net小千谷やJMA川口に見られるように地震動の大きさの割には、周辺建物の被害は大きくはなかった。現在、強震動予測技術は長足の進歩を遂げており、公的機関から震源近傍での予測波形も公開されている（地震動予測値図など）。建物のモデル化は、地震動の大きさに追いついていないのが現状と言える。今後は建物内で地震観測を行い、実効入力を同時計測すると同時に、建物の余力や大振幅時における建物の非線形挙動の評価を行う重要性が改めて浮き彫りになった。最後に、ここで使用した強震記録は気象庁、防災科学技術研究所、三菱地所設計より提供して頂きました。記して感謝致します。