

川口町を襲った地震動の特徴

吉見雅行¹⁾

筆者は、新潟県川口町で開催された中越地震災害調査結果報告会にて、川口町を襲った地震動の特徴を報告した。本稿は、まず報告会の配布資料を再編集して示し、次に質問を紹介し、最後に報告会で十分に回答できなかった上下動の話に触れる。

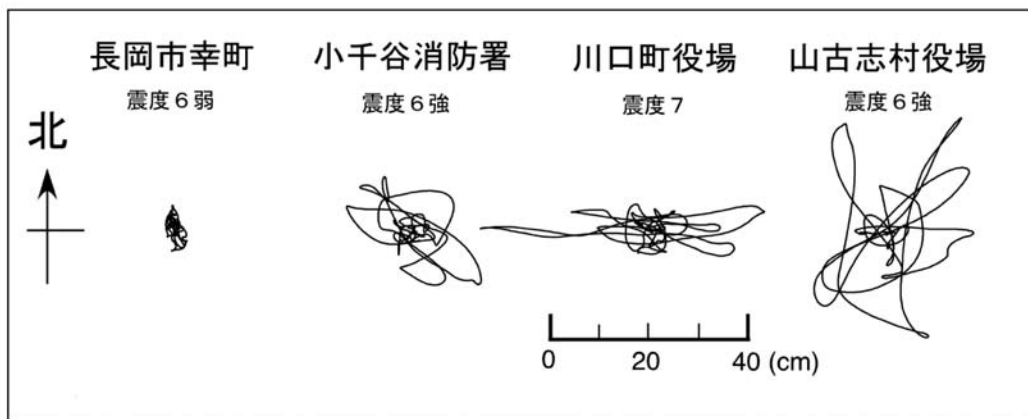
1. 川口町を襲った地震動の特徴(報告会配付資料から)

川口町は中越地震の被災地のなかでも最も深刻な被害を受けた地域の一つです(吉見ほか, 2005)。ここでは、なぜ川口町の被害が大きかったのかを、川口町を襲った地震動の特徴をもとに探ってみたいと思います。

地震当時、川口町内には、川口町役場、越後川口インター、和南津の3箇所に地震計がありました。近隣の市町村には、小千谷市に4台、山古志村に1台、長

岡市には11台もの地震計がありました。これら地震計の多くは中越地震の強い揺れのなかでも正常に作動し、地面の揺れを記録しました。もし地震計の記録がなかったら、地面が実際にどのように動いたかを知ることができません。これらの記録は、学術上も防災上も大変貴重なものです。

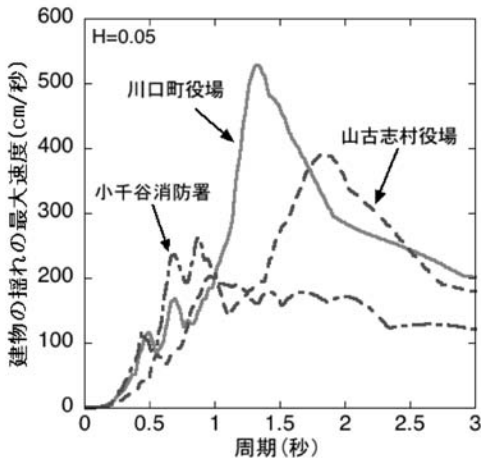
このうち、新潟県の自治体震度計の記録をもとに、地面の揺れを描きました(第1図)。左から新潟県長岡市幸町(長岡市役所幸町分室)、新潟県小千谷市城内(小千谷消防署)、新潟県川口町川口(川口町役場)、新潟県山古志村竹沢(山古志村役場)で、揺れははじめから15秒間の地面の動きを示しています。長岡市幸町の揺れは他と比べて小さめですが、小千谷消防署、川口町役場、山古志村役場の3箇所は実に40cm以上も地面が揺れ動きました。この3箇所の揺れの強さにさほどの差はないように見えますが、周辺での建物の被害(揺れによる被害であり地盤変状によるものは



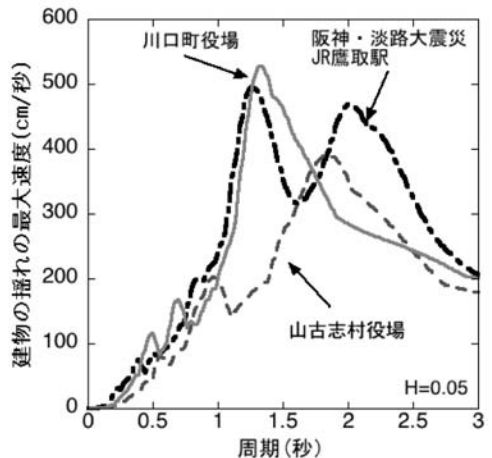
第1図 中越地震時の地面の揺れ(地表面を真上から見たもの)。
加速度波形に0.1-5.0Hzのバンドパスフィルターを施し、2回積分して変位にした。

1) 産総研 活断層研究センター

キーワード: 2004年新潟県中越地震, 地震動, 地震被害, 新潟県川口町



第2図 周期毎の揺れの強さ(速度応答スペクトル).



第3図 阪神・淡路大震災の激震地(JR鷹取駅)の揺れの強さと中越地震の川口町役場・山古志村役場の揺れの強さの比較.

除く)は、川口町役場周辺がとりわけひどかったのです。なぜでしょうか。

これには、木造の建物が地震で壊れるメカニズムを知っておく必要があります。

まず、揺れに関する建物の重要な性質から説明します。建物にはそれぞれ揺れやすいリズムがあります。このリズムを固有周期と呼びます。木造建物の固有周期は、建物にもよりますが、周期0.1秒(1秒間に10回のリズム)から0.5秒(1秒間に2回のリズム)とされています。

さて、ここに固有周期0.5秒の建物があるとしましょう。この建物を押して大きく揺らすにはどうすればよいでしょうか。最も小さい力で揺らすには、押すリズムを建物の固有周期に合わせればよいのです。ちょうどブランコを押すときの要領です。そうすると、押すたびにどんどん揺れは大きくなります。これは地震でも同様で、固有周期の成分を多く含んだ地震動に襲われると、建物は大きく揺れます。

ここで、先ほど示した4箇所の地面の揺れのうち、揺れの大きい3箇所について、周期毎の揺れの強さをグラフに示します(第2図)。このグラフは、横軸が周期(固有周期)、縦軸が建物の揺れの強さ(応答速度)を表しています。例えば、先ほどの固有周期0.5秒の建物がどのくらい揺れるかは、周期0.5秒のときのグラフの高さを見ればわかります。すると、固有周期0.5

秒の建物の揺れは小千谷消防署と川口町役場では同程度、山古志村役場はその半分程度だと判ります。さて、木造建物の固有周期は0.1秒から0.5秒ですから、このグラフからは小千谷市役所と川口町役場の地震動では木造建物は同程度に揺れると読み取れます。ですが、川口町役場周辺の被害の方が大きかったのです。これは、どういうことでしょうか。

揺れが大きくなり建物が壊れ始めるとどうなるかを考えてみましょう。揺れによって建物の部材にもたらされる力が部材の強度を上回ると建物は壊れてゆきませんが、このとき、建物が壊れるにつれて建物の固有周期が長くなっていくのです。はじめはガタガタと揺れていたものが、次第にギシギシ、ユサユサとなり、最後はユラユラとなるのです。最近の研究では、木造建物の大被害には地震動の周期1秒から1.5秒の成分の強さが影響するとされています(境ほか, 2002)。ここでもう一度、第2図を見てみましょう。周期1秒から1.5秒の成分に着目すると、川口町役場の揺れが他より2倍以上も強いことがわかります。つまり、川口町役場の地震動は小千谷や山古志村役場の地震動よりも木造建物にとって厳しかったのです。(参考までに、川口町和南津の揺れの性質は役場のものと同等でした。一方、越後川口ICの揺れの性質は小千谷消防署のものに近いものでした)。

ここで、中越地震の揺れの強さを阪神・淡路大震災の激震地のものと比較してみます(第3図)。図に

示したJR鷹取駅は周辺の住宅全壊率が6割にも迫った場所です。周期1.5秒の成分までの強さは、中越地震の川口町役場と阪神・淡路大震災のJR鷹取駅とはほぼ同等であることがわかります。

さて、このことは何を意味しているのでしょうか。1つは、中越地震での川口町の揺れは阪神・淡路大震災の激震地並みに強かったということです。ですが、見方を変えれば、兵庫県南部地震の経験が生かされていればかなりの被害は防げた、とも言えます。実は、JR鷹取駅の地震動は、構造物の耐震設計にも広く使用されています。したがって、きちんと建設・補強された建物・構造物ならば川口町を襲った揺れにも耐えたはずで、現に、住宅、補強済みの高架橋など、被災を免れたものも多くあります。

耐震工学は地震の教訓を生かして進歩しています。しかし、住宅を中心に、古くて弱い建物が依然として多く残っており、それらが被害に遭ってしまう。これが防災上の大問題となっています。中越地震の教訓が次に生かされるよう願ってやみません。

2. 報告会で受けた主な質問

報告会では、前記の内容をできるだけ分かり易く伝えるよう努めた。特に理解しにくいと思われた地震時の地面の動きは動画として示したが、好評だったように思う。さらに、講演内容をポスターにもまとめ、ポスターセッション時にも見てもらえるようにした。こうした取り組みが功を奏してか、解らないとか難しいといった意見は耳にしなかった。

さて、私が受けた主な質問は、上下動に関するものだった。数名の方が一様に「地震時にはまずドーンという強い突き上げがあり、その後も激しく上下に揺れた。水平動は上下動の後にやってきたように感じた。発表では水平面内の揺れだけが示されていたが、上下動はどうだったのか？ また、建物への影響は？」といった問いを投げかけてきた。（提示した動画が地面の動きを真上から見たもので上下動は含まれていなかったため、疑問が集中してしまった）。

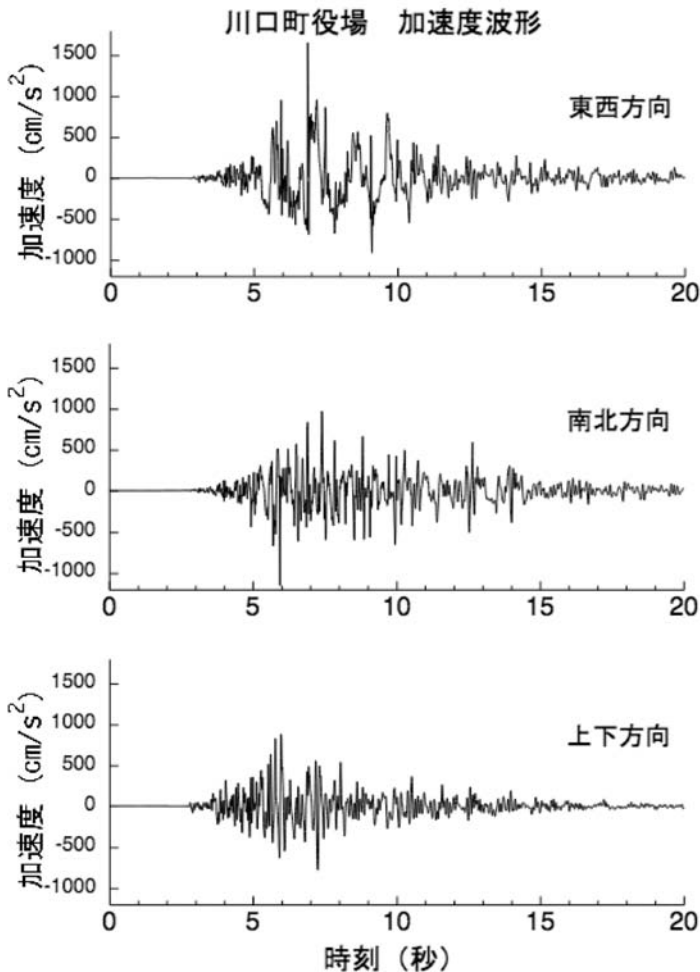
これを受け、1) 震源近傍では強い上下動が観測されている、しかし、2) 建物の被害には水平動の影響が大きいと考えられる、と回答したが、資料も示さない不親切な回答となってしまったことが心残りであった。この機会に川口町を襲った上下動に言及したい。

3. 川口町を襲った上下動

川口町役場の地震計は、水平動ばかりでなく上下動も記録している。第4図に川口町役場での水平動（東西方向、南北方向）と上下動の観測記録を示す。横軸に時刻（時刻0秒は断層の破壊が始まった時刻を示す）、縦軸に揺れの強さを示す。ここに示した時刻歴波形は地面の加速度で、単位はcm/s/sすなわち「ガル」である。物体に加速度が作用すると力がはたらく。地上に置かれた物体に重力加速度相当（およそ980ガル）の加速度が作用すると、物体は自重と同じだけの力を受ける。

ここで、第4図に示された上下動と水平動（東西方向、南北方向）を比較する。揺れ始めから揺れはだんだん強まる。時刻5秒を過ぎた頃に揺れが急に強まり、時刻6秒頃には上下動は1,000ガル近くの揺れのピークを迎える。この時刻を過ぎると水平動が強くなり、特に東西方向には強くしかも周期の長い（パルスの幅が広い）揺れが続く。このことは「地震時にはまずドーンという強い突き上げがあり、その後も激しく上下に揺れた。水平動は上下動の後にやってきたように感じた。」という住民の方々の証言と整合している。つまり、川口町が強い上下動に襲われたという証言は地震動記録により裏付けられたと言えよう。

さて、今回の地震に限らず、地震では「上下に激しく揺れた」、「ものすごい突き上げだった」という話をよく耳にする。しかし、波形記録を見ると、水平動の方が強い場合がほとんどである。この記録と感覚の相違はなぜ生じるのであろうか。地震計に記録されないような極短周期の上下動がある、などという話も耳にしないではないが、人体の振動特性および感受性が鉛直方向と水平方向とで異なることに起因すると考えるのが妥当であろう。人体は（直立もしくは座っている場合）水平方向の揺れに対しては倒立振り子であり固有周期はかなり長い、鉛直方向にはバネ的に振る舞う要素（関節、内臓、筋肉や頸部など）があり鉛直方向の固有周期は0.1～0.2秒程度（Fairley and Griffin, 1989; Harazin and Grzesik, 1998）である。たとえば全身振動の暴露基準（ISO 2631-2）では、人体の感覚特性として鉛直方向と水平方向とで異なる周期特性が示されている。特に周期0.3秒以下の短周期領域では鉛直成分の方が数倍も感受性が高いとされる。すなわち、震源の真上など、短周期の上



第4図
川口町役場での加速度時刻歴波形
(上から、東西成分、南北成分、上下成分)。

下動成分が卓越する揺れが強い場合、元来水平動よりも上下動に敏感に反応する特性を持っている我々人間は上下動に驚くのである。

新潟県川口町を襲った地震動はたいへん大きなものであった。水平成分の揺れは、木造建物に厳しい特性を有しており、多くの建物被害をもたらした。さらに、上下方向の強い揺れは、人々に並々ならぬ恐怖を与えた。川口町をはじめとする被害域の一刻も早い復興と、心の安寧の回復を願うばかりである。

謝辞：報告会での川口町の方々の貴重な意見に感謝いたします。気象庁が収集した新潟県の自治体防災震度計の記録を使用しました。

参 考 文 献

Fairley, T. E. and Griffin, M. J. (1989) : The apparent mass of the seated human body: Vertical vibration, *Journal of Biomechanics*, Vol. 22, pp 81-94.

Harazin, B. and Grzesik, J. (1998) : The transmission of vertical whole-body vibration to the body segments of standing subjects, *Journal of Sound and Vibration*, 215, pp. 775-787.

境 有紀・瀧川一・神野達夫 (2002) : 建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力 指標の提案, *日本建築学会構造系論文集*, No.555, pp.85-91.

吉見雅行・小松原琢・宮地良典・木村克己・吉田邦一・関口春子・佐伯昌之・尾崎正紀・中澤 努・中島 礼・国松 直・筭本英貴 (2005) : 2004年10月23日新潟県中越地震被害調査-構造物被害と地形との関係, *地質ニュース*, 607号, 18-28.

YOSHIMI Masayuki (2006) : Strong Ground Motion Observed in Kawaguchi Town, Niigata.

<受付：2006年5月1日>