

2004年新潟県中越地震における川口町の被害と微動との関係

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○大類 博史

芝浦工業大学 正会員 紺野 克昭

1. 序論

2004年10月23日に発生した新潟県中越地震は、多くの死者や建物被害を引き起こした。また、数多くの震度観測点で震度6弱以上の非常に大きな震度を記録し、特に本震では震源のほぼ直上に位置している川口町震度計において、国内初となる震度7が記録された。

そこで、震度計の設置されている川口町市街部において、地盤の振動特性と関連する表層の平均S波速度・地盤の卓越周期を簡便かつ低コストで推定することのできる常時微動観測を行い、その結果と工学院大学・芝浦工大・大成建設の共同調査により作成した川口町被害データ¹⁾や川口町役場で記録された地震記録・ボーリングデータを用いて常時微動と被害との関係を検討する。

2. 川口町市街部の概要

川口町市街部は住宅数364棟の内、木造住宅が277棟と約8割を占めており、大きな被害も築10年以上の古い木造住宅に集中した。特に築30年以上の非常に古い木造住宅は全壊率が50%程度と多くの被害が発生した。

3. 地盤の振動特性の推定

(1) 微動観測概要

観測は、携帯型加速度計1台を使用する三成分の一点観測を180秒間行った。次に、市街地などでの簡便さを考慮し、図1のように携帯型加速度計1台と外部センサー3台を使用するL字アレイ観測を、アレイ半径を3m, 9m, 15mの3通りとし、それぞれ660秒間の観測を行った。また、図2に川口町市街部の建物被害の分布図と今回行った微動観測地点を●印で示す。観測は被害の大きかった建物の近くを中心に市街部全体(48地点)で行った。

(2) 平均S波速度の推定

川口町役場近辺で行われたボーリング掘削調査²⁾より、表層が3m程度と比較的浅い地盤であるため、今回は得られた微動波形から表層の平均S波速度を、表層5mから5m刻みで表層40mまでの平均S波速度を推定した。

表1のように波長 $\lambda(m)$ でのレイリー波の理論位相速度 $C(\lambda)$ と表層 $x(m)$ の平均S波速度 V_{sx} の関係が提案されている。そこで、微動観測の記録に対し空間自己相関法を適用してレイリー波の観測位相速度を推定し、観測位相速度を C とすると、周期(T)と波長 $\lambda(m)$ には(1)式の関係が成り立つ。

$$\lambda = C \times T \cdots \cdots (1)$$

そこで、図3のように各波長 $\lambda(m)$ における周期を読みとり、(1)式から位相速度を算出し、微動から求まる平均S波速度とした。

図4に観測位相速度の例を示す。図中の○で指した最小の観測位相速度を表層の平均S波速度(以下、表層 V_s)として推定した。

表1 理論位相速度と平均S波速度の関係

$V_s \times$	$C(\lambda)$
$V_s \ 05$	$C(10)$
$V_s \ 10$	$C(15)$
$V_s \ 15$	$C(20)$
$V_s \ 20$	$C(30)$
$V_s \ 25$	$C(35)$
$V_s \ 30$	$C(40)$
$V_s \ 35$	$C(50)$
$V_s \ 40$	$C(55)$
$V_s \ 45$	$C(60)$

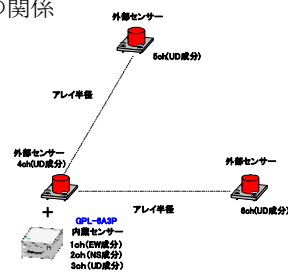


図1 L字アレイ観測のセンサー配置図

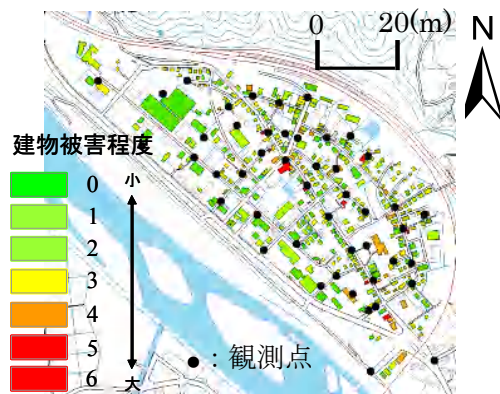


図2 川口町市街部の建物被害と微動観測点

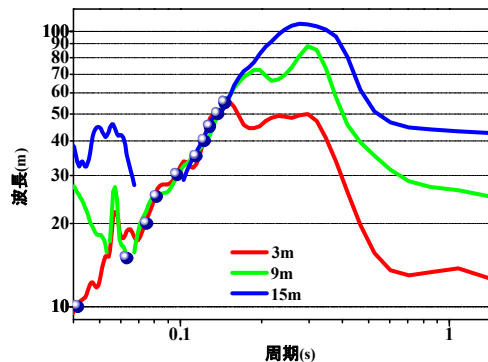
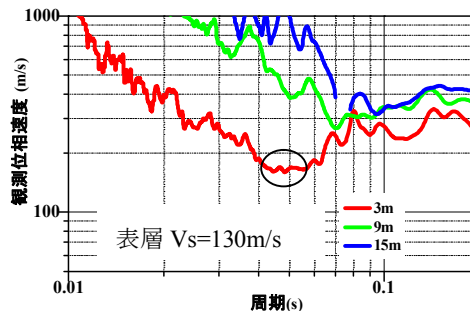


図3 表層40mまでの平均S速度の推定方法

図4 表層 V_s の推定方法

キーワード 常時微動, 新潟県中越地震, 川口町, 平均S波速度, 卓越周期

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5 芝浦工業大学工学部土木工学科 TEL 03-5859-8357

(3) 卓越周期の推定

微動観測記録に対し高速フーリエ変換をし、3成分のフーリエスペクトルも求める。得られた水平動スペクトルを上下動スペクトルで割った水平／上下スペクトル比から最大ピークを与える周期を地盤の卓越周期とする。

4. 被害と平均S波速度の関係について

推定した平均S波速度は比較的大きく、地震動評価にも使われているVs30がほとんどの地点で350(m/s)と、地盤は全体的に固いと言える。また、図5に示すように被害データから構造種別・築年代別・屋根形式・基礎形式に構造物を分類し、推定した平均S波速度と被害の相関を検討したが、直接相関を見ることは出来なかった。

また、大きな被害が発生した古い木造住宅の中でも被害程度の違いが見られるため、推定したVs40を工学的地盤のVsと仮定し、表層のVsとの比(Vs40/表層Vs)から地盤増幅による被害を検討する。

まず、図6にVs40/表層Vsの分布図を示す。Vs40/表層Vsは全体的に1.6から3.0の範囲で分布しており、比較的小さい。川口市市街部では非線形現象が発生せず、大きな地震動が直接古い木造住宅に輸入されたのではないかと考えられる。

5. 被害と卓越周期の関係について

推定した地盤の卓越周期は全体平均で0.2秒と短く、川口市市街部の表層が比較的薄いことを微動からも確認できた。また、構造種別・階数から建物の固有周期を推定し、建物の絶対加速度応答倍率(AMP)を(2)、(3)式から算出した。

$$AMP = \frac{(2h\beta)^2 + 1}{\sqrt{(2h\beta)^2 + (1 - \beta^2)^2}} \quad \dots \dots (2)$$

$$\beta = \frac{T_G}{T_S} \quad \dots \dots (3)$$

Ts：被害データから算出した建物の固有周期

TG：微動観測から得られた地盤の卓越周期

h：減衰定数(3%)

図7に建物の絶対加速度応答倍率(AMP)の分布図を示す。図中の四角で囲まれた地域は大きな被害が集中した地域である。また、図8に被害集中地域に分布する建物の被害程度とAMPとの関係を示す。図8から被害集中地域では、AMPの値が比較的小さい建物に大きな被害が集中している。また、表層が薄い建物に輸入される加速度は表層と近い値であることが考えられる。

6. まとめ

本研究では、微動観測より得られた観測位相速度から川口市市街部の平均S波速度・地盤の卓越周期を直接推定した。その結果、川口市市街部の地盤は全体的に固く、表層は比較的薄い。

また、微動結果と川口市被害データから、大きな地震動が建物に直接入力されたために被害が大きくなったと考察した。

謝辞

測定の実施にあたり、工学院大学久田嘉章教授には多大なご支援を頂き、また川口市住民・川口市役場の皆様には測定のご協力をして頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

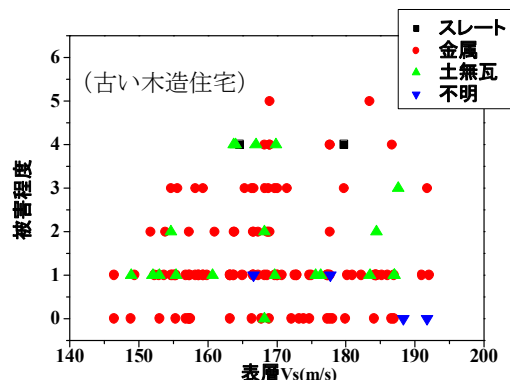


図5 表層Vsと被害程度の関係(屋根形式)

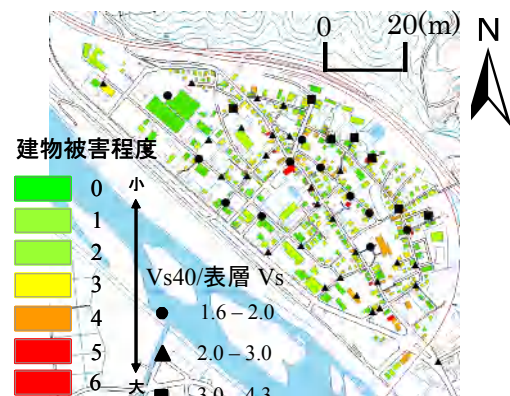


図6 Vs40/表層Vsの分布図

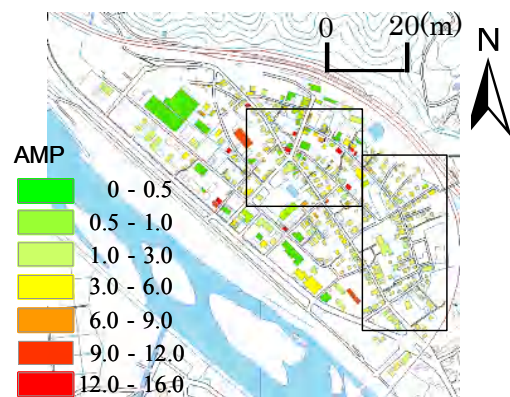


図7 AMPの分布図

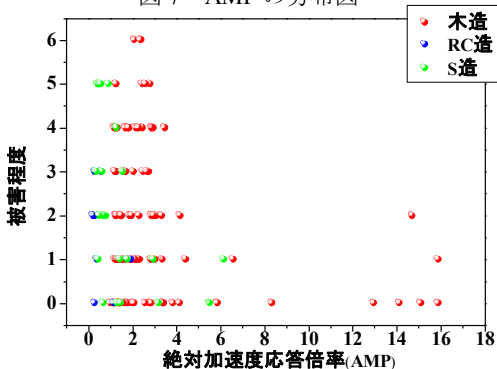


図8 AMPと被害程度の関係

参考文献

- 1) 久田嘉章：2004年新潟県中越地震―地盤と地震被害―第32回地盤震動シンポジウム，日本建築学会，2005。
- 2) 防災科学研究所：川口地区の常時微動観測結果およびボーリング調査結果について，2005