

2004 年新潟県中越地震における川口町の強震動の評価と 表層地盤の増幅特性

愛媛大学大学院 学生会員○土谷 基大
愛媛大学大学院 フェロー 森 伸一郎

1. はじめに

2004 年新潟県中越地震が発生し、JMA 川口町川口では震度 7 を記録した。この強震記録は、JMA 山古志村竹沢の記録と合わせて、震源域の甚大な被害を分析する上で重要な記録となる。したがって、地表で記録された地震波から基盤の入射地震波を求めることは、川口町の表層の増幅特性を理解することと同様に、工学的優性が高いと判断される。また、文献 1) では、この地震により重大な被害が発生した木沢トンネルの被害を数値解析の観点から、地震時の地盤振動が原因であると推定している。この解析においても JMA 川口町川口の地表面記録が入力地震動として用いられていることから、基盤の入射地震波を正しく評価することは重要であるといえる。そこで、本研究では、JMA 川口町の観測地点における表層の S 波速度構造を多チャンネル表面波探査 (MASW) により求めるとともに、それに基づいた地盤の一次元の伝達特性を常時微動観測により確認した。

2. 調査地点の概要

JMA 川口町川口は、新潟県中越地震の本震の震央から南南西に約 2.5km の地点に位置しており、震央に最も近い強震観測点である。図-1 にこの強震計の設置される川口町役場周辺の地形図を示す。この強震計では本震の際には EW 成分で最大加速度 1676 cm/s^2 を記録した。また、川口町では全住宅 1,392 棟のうち 97.7 % が被害を受け、40.95 % が全壊する甚大な被害が発生した²⁾。

3. 表面波探査および常時微動測定の調査概要と解析方法

2006 年 11 月に川口町役場の JMA 強震計周辺地盤において表面波探査および常時微動測定を実施した。図-2 に表面波探査測線と常時微動観測、JMA 強震計の位置を示す。表面波探査では、収録装置として McSEIS-SXW (応用地質製) を用い、4.5 Hz の受振器を 24 個使用した。受振間隔は 1.5 m である。カケヤによる起振を行い、サンプリング間隔 1 ms で 1.024 秒測定した。データの解析には専用の解析ソフト (SeisImager/SW) を用いた。分散曲線を算出し、これより測定地点の S 波速度構造を求めた。得られた S 波速度構造に対応する地盤構造は、図-1 に示す位置において実施されたボーリング結果³⁾⁴⁾から推定した。これらのボーリング柱状図の一例を図-3 に示す。この図には N 値から道路橋示方書の推定式⁵⁾から推定したせん断波速度の分布を併記している。これより、川口町役場の地盤構造は GL-15 m 程度までは 3 層構造であり、表層には非常に軟弱な $V_s=200 \text{ m/s}$ 程度のシルト質粘土層、最下層には $V_s=400 \text{ m/s}$ 以上の砂質泥岩、これらの中間層として砂礫層が堆積していることが推測される。図-4 には、これらから推定した川口町役場における地盤構造を示す。

また、各層の湿潤密度は文献 3)4) を参考に決定し、ひずみ依存の繰返し変形特性は安田・山口の式⁶⁾から推定した。これにより、プログラム SHAKE⁷⁾ を用い地表で記録された地震波から、基盤の入射地震波を求めた。

常時微動観測では、測定周波数 0.5~20 Hz である 3 成分の速度計 (水平 2 成分、上下 1 成分) CR4.5-2S を使用し、0.01 秒間隔で 330 秒間の測定を行った。測定した速度時刻歴はドリフト補正を施した後、16 セグメントに分割し、アベレーシングを行い、フーリエスペクトルを算出した。さらに地表面上下方向に対する水平方向のフーリエスペクトル比 (H/V スペクトル比) を算出し、

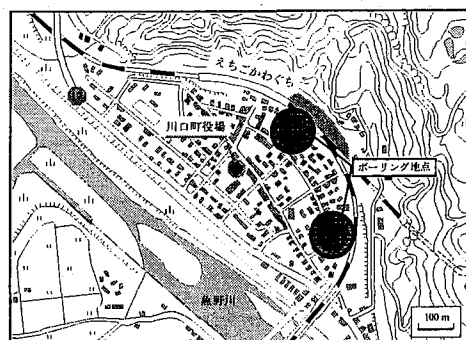


図-1 新潟県中越地震の震源域と川口町の強震観測位置

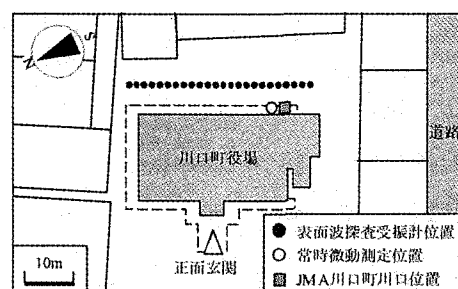


図-2 強震観測地点(川口町役場)の強震計と表面波探査測線および常時微動測定位置

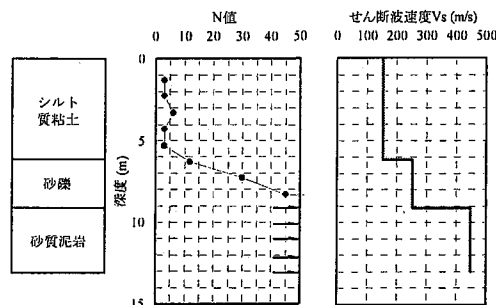


図-3 川口町役場近傍におけるボーリング柱状図

これにより地盤の伝達特性を検討した。

4. 解析結果

図-5 に常時微動の H/V スペクトル比と SHAKE の伝達関数(地震前)を示す。H/V スペクトル比の一次ピークの方が伝達関数(地震前)よりも低振動数側に表れることから、 $V_s=500$ m/s 以下にさらに硬い基盤面が存在することが推測される。また、H/V スペクトル比が 2 Hz 以下の長周期側での増幅率は 2 倍程度と小さくなる。図-6 に逆応答によって求めた基盤入射波の加速度時刻歴(50 秒間)を示す。最大値に関しては基盤入射波の方が僅かに大きい。しかしながら、これは 17 秒付近におけるスパイク状に伸びた波形によるものであり、これを除いた場合、同時刻での振幅は基盤入射波が僅かに小さくなる。図-4 のように伝達関数のピークが地震後では低振動数側に变化することから、地盤が長周期化していることがわかる。しかしながら、図-7 に示すように 0.5 s 以上の周期では、地表面における地震動の増幅は認められない。建物に被害を及ぼす地震動の長周期成分が増幅しないことから、川口町における住宅の被害は、表層地盤における地震動の増幅が原因ではなく、地震の強震動そのものにより発生したと推測される。

5. 結論

本研究では、川口町役場で実施した PS 検層、常時微動観測の結果および既存のボーリングデータを基に地盤のモデル化を行い、JMA 川口町川口の地表面観測記録から数値解析により基盤の入射波を求め、これにより当該地域の地盤の増幅特性を検討した。本論文の結論は以下の通りである。

- (1) 新潟県川口町位置において、せん断波速度が 500 m/s に達する基盤面の地震動の入射波を推定することができた。
- (2) 新潟県川口町役場の表層地盤では 0.5 s 以上の周期における地震動の増幅は認められない。
- (3) 新潟県川口町の甚大な建物被害は、表層地盤における地震動の増幅が主要因ではなく、強震動によるものと考えられる。

謝辞

新潟県土木部には、川口町役場近傍の地質調査資料のご提供、現地調査でのご協力を頂きました。また、気象庁による川口町川口の地震観測記録を使わせて戴きました。ここに記して感謝します。

参考文献

- 1) 森 伸一郎, 土谷 基大, 増田 信, 神野 邦彦: 2004 年新潟県中越地震における木沢トンネルの被害原因の推定, 第 12 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.1434-1437, 2006.11
- 2) 新潟県川口町役場ホームページ: <http://www.town.kawaguchi.niigata.jp/>
- 3) 新潟県川口町, 株式会社村尾技建: 公営住宅災害復旧事業 H17 災罹災委第 8 号(東川口地区)罹災者公営住宅地質調査業務報告書
- 4) 川口町, 株式会社サンワコン: 公営住宅災害復旧事業 H17 災公営委第 2 号よしみ住宅建設用地地質調査報告書
- 5) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説(V 耐震設計編), 1996
- 6) 安田 進, 山口 勇: 種々の不攪乱土における土の動的変形特性, 第 20 回土質工学研究発表会, pp.539-542, 1985

Schnabel, P.B., Lysmer, J. and Seed, H.B.: SHAKE - A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites -, University of California Berkeley, Report NO.EERC 72-12, pp.1-54, 1972.

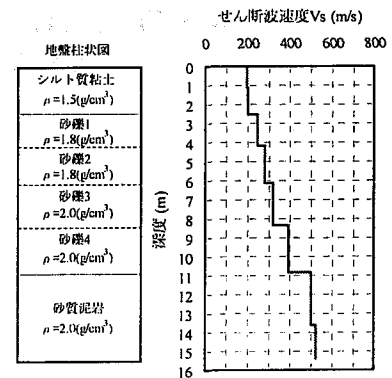


図-4 川口町役場位置における S 波速度構造と推定地盤構造

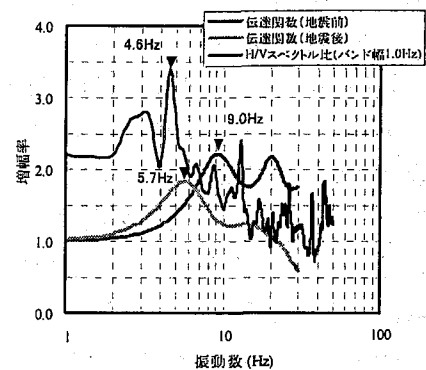


図-5 SHAKE の伝達関数および常時微動 H/V スペクトル比

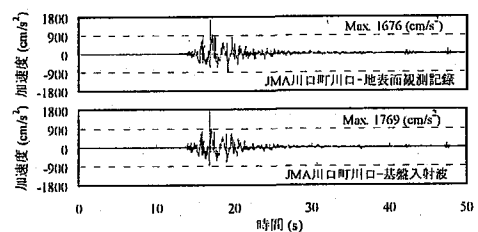


図-6 地表観測記録と逆応答による基盤入射波加速度時刻歴(50 秒間)

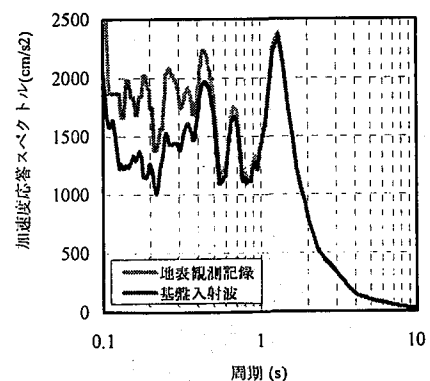


図-7 加速度応答スペクトル