

2004年新潟県中越地震の強振動方向 —小千谷市街地における解析

小林健太*・豊島剛志*・大川直樹**・播磨雄太**・大橋聖和**・
大友隆史**・小久保晋一**・萩原知之**・洞口圭史**・山本 亮***

*新潟大学大学院自然科学研究科, **新潟大学理学部地質科学科, ***帝国石油株式会社

はじめに

2004年新潟県中越地震では、中山間地域とそれに囲まれた市街地において、顕著な地盤災害が発生した。市街地には、気象庁（JMA）や独立行政法人防災科学技術研究所（K-MET）の地震計が設置されており、本震時の記録が得られている。震源の西側に位置する小千谷市街において、K-NET小千谷からN130E（北西—南東）、またJMA小千谷からN160E（北北西—南南東）の震動方向が求められた1)。本論では、小千谷市街で人工建造物の変状を構造地質学的視点から観察し、それらに記録された強震動の振動方向を解析した。さらに上述した地震計記録と比較するとともに、若干の考察を行った。

自動販売機底面の観察

K-NET小千谷の西方800mに位置する若葉三丁目では、自動販売機が東に転倒している（図1a）。自販機の総重量は約500kgである（本体重量が340kg、転倒時の収納製品重量が152kg、さらに収納硬貨等の重量が加わる）。なお、この自販機の南東方150mでは、同仕様の自販機がやはり東に“背面から”転倒している。路面の脚跡から、販売機は転倒直前まで大きく移動・回転せず、転倒後に反時計回りに20°回転したと判断される（図1b）。底面には屈曲した“条線（擦痕）”が刻まれている。条線屈曲部でのペンキや地金の捲り上がりから、これを刻んだ突起物がどちらに移動したかが判る。また各部の上書き関係から、“筆順”を追跡できる（図1c）。

自販機を転倒前の姿勢に復元し、これを不動と扱おうと、以下の3つが識別される。

1. 地面と突起物の東南東（N107E）への振れ・突き上げ成分を伴う。
2. 北東への振れ。
3. 北西への振れ。

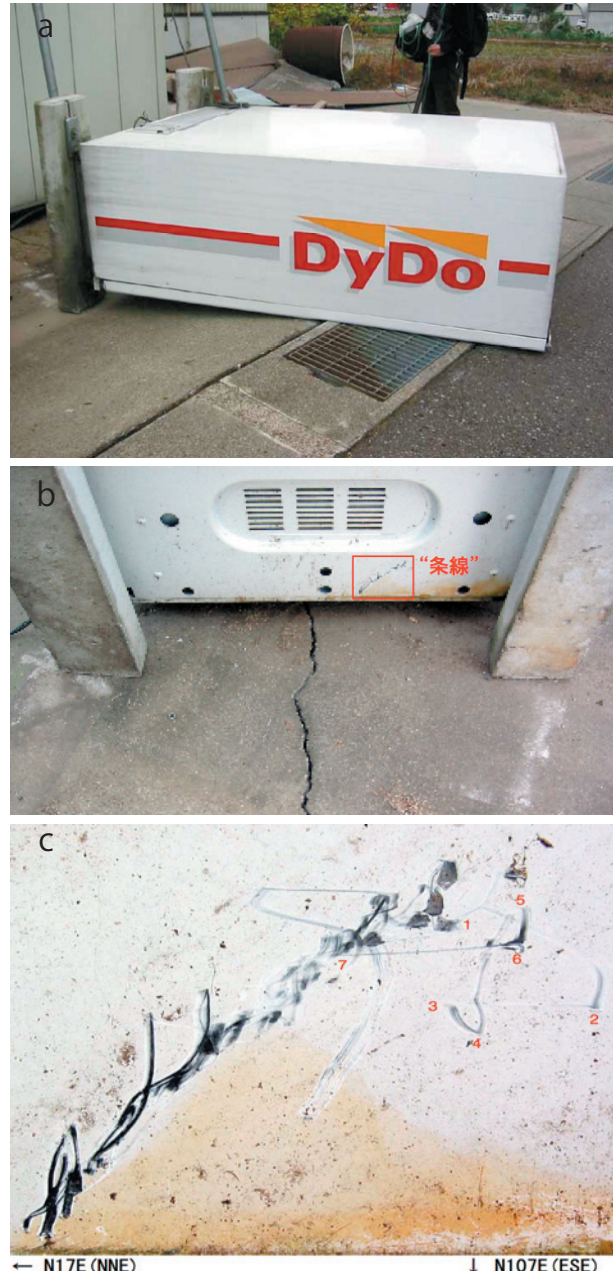


図1. 転倒した自販機。(a) 現場の概観、自販機は東に正面から転倒している。(b) 自販機の底面、枠で囲った部分に条線が観察される。路面の脚跡から、左脚はこれを軸とした回転のみでほとんど移動しなかったことが、また右脚跡は転倒後に“爪先”により刻まれたことが判る。(c) 条線部の拡大、1から7へと“筆順”が追える。

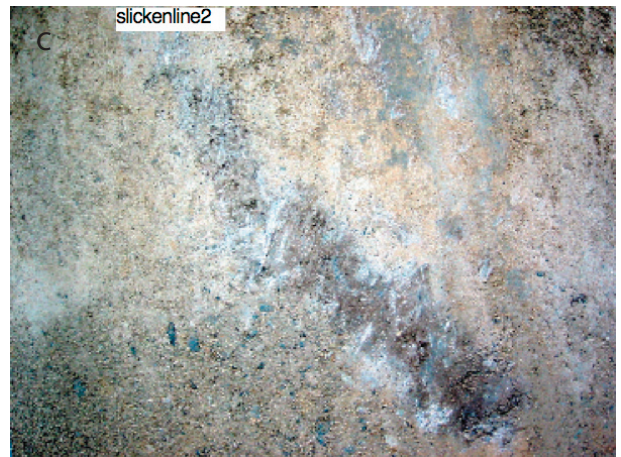
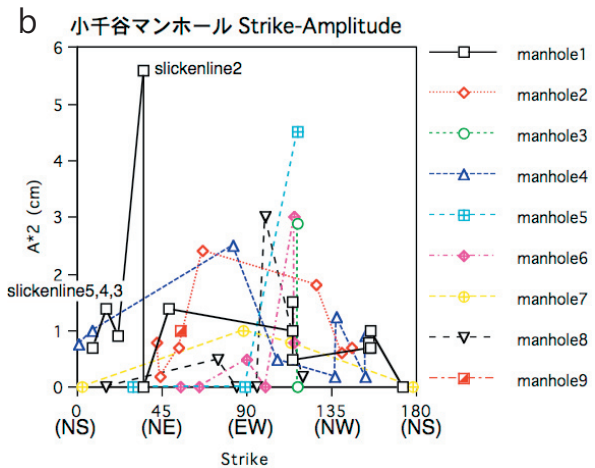
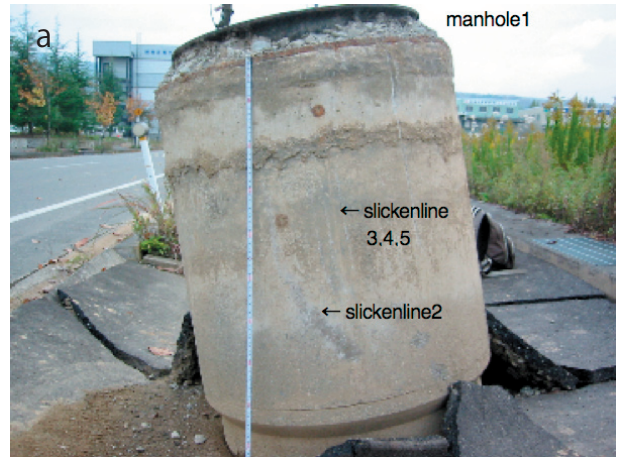


図2. 抜け上がったマンホール. (a) マンホール1の概観. (b) 条線が刻まれている部分の走向（横軸）と、その振幅（縦軸、図中では倍数）との関係. 顕著に抜け上がった9本のマンホール毎に、観察した全ての条線を示す. マンホール1の条線2などの例外を除き（本文参照）、大振幅の条線はN115E前後（西北西走向）の外壁に多い.

図3. (a)マンホール1の概観. (b)併走する条線3,4,5. (c)条線2.

1から3はこの順で繰り返している. 1と2は明瞭に分離する部分と、連続的に移化・合成する部分とがある. なお、捲り上がりの方向と転倒方向がともに東方で一致することから、突き上げ成分が転倒時に形成された見かけのものでないことは明らかである.

マンホール外壁の観察

同じく若葉三丁目とその付近では、歩道に埋められていた鉄筋コンクリート製マンホールが、最大1.2mの高さで抜け上がっている. 円形の外壁には、捲り上げられたアスファルト舗装によって条線が刻まれている（図2a）. 条線には、直線的なもの（振幅小）と波曲するもの（振幅大）があるが、後者は北北東や南南西に面した外壁（西北西走向）

に選択的に刻まれる傾向が認められる（図2b）. これは東南東-西北西の振動を示唆する.

図2で示したマンホール1を例に、条線の特徴を詳説する（図3a）. 条線3,4,5は互いに併走し、また似た波形（振幅*2=0.7-1.4cm, 波長1cm）を描く（図3b）. このため、振動記録としての信頼性は高い. 一方、より下部に刻まれた条線2は、他のマンホールに刻まれたものと比べても、異常に大きな振幅（5.6cm）を有する（図2b, 3c）. したがって、単純な振動以外で形成されたものかも

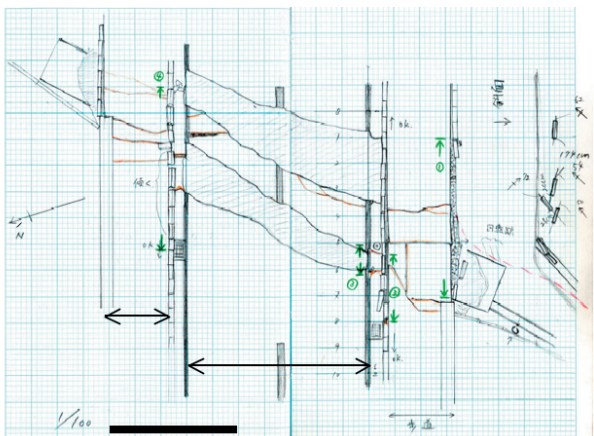


図4. (a) 現場の概観，右手が東南東。(b) 歩道から南南西下方の農地を眺める。(c) 現場平面図，各所で計測した短縮量を $dl(\text{cm})$ で表す。

しれない。外壁の走向 (N35E) がマンホール軸の沈下方向 (N26E) に近いことから、抜け上がり末期の倒れ込みで刻まれた可能性がある。

観察した全てのマンホールを通じて、波曲する条線の波長は数 cm のものが多い。K-NET 小千谷と同様 (1.7-1.8Hz 2)，もしくはそれ以下の振動を被ったと仮定すると、周囲での液化に伴ってマンホールが数 cm/s 以下の速度でゆっくりと抜け上がる際に、継続していた東南東-西北西の振動

によって条線が刻まれたと解釈できる。

地形境界での短縮

若葉三丁目の自販機より 400m 東方 (若葉一丁目：台地と、土川：低地の境界にあたる) では、西北西-東南東に延びる道路が撓曲 (緩やかな曲げ) 様に変形し、短縮を被っている (図 4a)。縁石が外れて下方約 2m の農地に落下しているが、元々の位置との間に転落・滑落跡が観られないため、これらは飛行により移動した可能性が高い (図 4b)。縁石同士の接触面のうち、特に側面と近い部分に破断痕 (欠けた跡) が認められた。このことから縁石はほぼ水平に投射されたとみなされ、初速度は 6.3m/s (22.5km/h) と見積もれる。縁石列が西北西-東南東に高速で短縮されることにより、瞬間的に座屈 (たわみ) が生じて、縁石が弾き出されたと判断される。

車道・歩道のアスファルト、縁石列とその土台が、それらの下に埋められたボックスカルバートの位置とは無関係に 7-12cm 短縮している。逆に、伸張部はほとんど観られない (図 4c)。このことから、少なくとも盛土より上層が、本質的な短縮を被ったと判断される。類似の短縮前線は、台地と低地の境界にほぼ沿って南南西に 300m 以上追跡される。この短縮は、既存の断層面に沿った逆断層変位、もしくは盛土底面などに沿った振動性の変位 (大きい振れによって滑り出た) と考えられる。

議論

1. 強振動方向の判定基準

自動販売機底面の条線 (1・3) とマンホール外壁の条線から得た振動方向は、ともに東南東-西北西である。言い換えるとこの自販機は、期せずして設置されていた地震計 (水平 2 次元変位計：水平面内の全方向に“針”が振れる) とみなせる。同様にマンホールも、地震計 (水平全成分変位計：各々の“針”の振れは一方向だが、それが 360° 設置されている) として扱うことができる。

このように求められた振動方向 (N107E・N115E) は、東方地下にあった震源断層の逆断層運動から単純に期待される S 波の卓越振動方向に近い。また、地震計記録から導かれた 2 方向ベクトル合成最大方向 1) のうち、K-NET 小千谷から得られた方向 (N130E) や、JMA 小千谷から得た方向 (N160E) と、大体において一致する (両者

の違いについては後述)。

地形境界における変状からも、東南東-西北西方向の高速短縮が示唆される。ただし現時点では、この短縮が逆断層変位によるものなのか、もしくは振動性の変位をみているのか、はっきりしない。今後、この地形境界を横断する数本のルートを設定して検土杖などを用いた地盤調査を行い、この問題を決着させる必要がある。

2. 強振動方向に影響する要因

自販機底面の条線(1)に記録された通り、東南東への振れに限って顕著な突き上げ成分を伴う。この現象の意味を理解するため、JMA小千谷の3成分加速度波形(3)を用いて予察的な解析を行った。

東西成分と北南成分の間には負の相関(同時性)が認められる。すなわち、水平面内では北西-南東方向の振動が卓越する。これは、2方向ベクトル合成最大方向(1)とも調和的である。一方、東西ならびに北南成分と上下成分の間には、正や負の明瞭な相関は認められなかった。すなわち、地震計記録をみる限り、水平面内のいずれの方向の振れも、顕著な突き上げ(あるいは引き込み)成分を伴わない。このことは、上述した自販機の観察結果や、別の自販機が同方向に転倒している事実を説明しない。

ところで、自販機底面とマンホール外壁から求めた振動方向(N107E・N115E)に対して、より近い方向(N130E)を記録したK-NET小千谷は、自販機の東方800mに位置する。一方、より斜交性の大きい振動(N160E)を記録したJMA小千谷は北東方に1100m離れ、やや遠方にある。また、自販機とK-NET小千谷の間を流れる茶郷川の流路が、北北東ないし北東であるのに対し、JMA小千谷の近くでは北東から東西へと変化している。各々の周辺での町並みも概ねそれらと一致しており、旧河川などの原地形を反映している可能性が高い。K-NETならびにJMA小千谷における振動は、原地形の延び(谷や尾根)に影響され、それらとほぼ直行する方向に増幅されたと考えられる。自販機のある若葉三丁目は台地の東縁に近く、これが突き上げ成分の偏在する理由なのかもしれない。今後、K-NET小千谷の波形を用いて同様な解析を行うとともに、地盤の影響を詳しく検討する必要がある。

おわりに

本論で得た結論のうち、主なものは以下の二つである。

1. 記載した人工構造物の変状、特に自動販売機底面とマンホール外壁に観察された条線は、強振動方向の判定基準として有用である。

2. 判定された東南東-西北西方向の振動は、東方地下にあった震源断層の逆断層運動から単純に期待されるS波の卓越振動方向に近い。しかしながら、浅層地盤の影響も受けたため、地点によって若干の違いが現れた。

地震の強振動を論ずる際、その大きさ(最大加速度などの絶対値)に加え、方向性も無視できないことは言うまでもない。これは理学的な興味にとどまらず、都市工学にとっても重要と思われる。

例えば、人家のブロック塀などは、その長辺が振動方向と直交する場合に倒壊しやすいことが、容易に想像される。一方、大規模な建造物では構造壁が支えとなるため、長辺に直交する振動に対してはむしろ堅固であることが一般に知られている。これらの建築地点において、将来卓越し得る振動方向、特に強振動の方向が判っていれば、減災の視点から最善の設計を行える可能性がある。

謝辞：ダイドードリンコ株式会社長岡営業所には、本論で記載した自動販売機の仕様を教授していただくとともに、底板を譲与していただいた。記して謝意を表す。

引用文献

- 1) 境有紀, 2004, <http://www.kz.tsukuba.ac.jp/~sakai/hks.htm>.
- 2) 防災科学技術研究所, 2004, <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/news/niiigata041023/Figs/NIG0190410231756.gif>
- 3) 気象庁, 2004, http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/jishin/041023_niiigata/1756/nigata_main.htm