

新潟県中越沖地震における宅地の液状化被害

長岡技術科学大学 環境・建設系 環境防災研究室

大塚悟*・磯部公一**

1. はじめに

2007年7月16日に新潟県中越沖を震源とするM6.8、最大震度6強の地震が発生し、柏崎市を中心に建物被害が多く見られた。中越沖地震は、中越地震と同じ活褶曲地帯における地震であり、中越地震と中越沖地震で2度の被害を受けている地域が存在する。特に、柏崎市内を流れる鯖石川の河口や柏崎港、刈羽村では砂丘麓での液状化被害が甚大であった。そこで、類似の被害事例発掘の一環として、宅地地盤の地震被害調査を実施した。被害調査地域は、砂丘麓での液状化による地盤変状に起因した建物被害が顕著であった刈羽村、旧河道上で液状化被害が大きかった橋場地域と砂丘と三角州の境界において液状化被害の大きかった松波2丁目である。被害調査は、表面波探査、スウェーデン式サウンディング調査（SWS）、ボーリング調査などの各種地盤調査と、建物の不同沈下量、傾斜角の計測による建物被害状況の把握を実施した^{1)~3)}。

2. 被害概要

調査を実施した主な被害調査地域を図-1に示す。各調査地域では、表面波探査、スウェーデン式サウンディング試験、ボーリング調査による地盤調査、被災住宅や擁壁等に関する現地調査、土質試料採取、微動アレイ探査と三分常時微動測定（H/V）などを実施している。

2.1 建物・住宅に関連する被害状況

建物・住宅の被害状況を表-1に示す。表中の数値は、消防庁発表 12/4(H19)現在である。なお、各市町村の規模を把握する際の参考のため、各市町村の世帯数（新潟県庁、11/1(H19)現在）を併記した。柏崎市の被害件数が圧倒的



図-1 主な被害調査地域

表-1 建築・住宅の被害状況

市町村	世帯数	住家被害		
		全壊	半壊	一部損壊
新潟市	303,139		1	60
長岡市	96,864	10	450	5,522
三条市	33,658		1	95
柏崎市	33,898	1,049	4,372	22,052
小千谷市	12,360			235
十日町市	19,934	1	14	181
見附市	13,366			458
燕市	26,713	2	13	814
糸魚川市	17,618			6
妙高市	12,242		2	33
上越市	71,194	14	62	2,621
阿賀野市	13,573			1
魚沼市	13,491			6
南魚沼市	18,841			6
出雲崎町	1,832	17	130	1,381
刈羽村	3,245	166	441	650
川口町	1,519		1	8
計	695,007	1,259	5,487	34,129

表-2 被災建築物の応急危険度判定実施結果

市町村名	世帯数	判定棟数	危険（赤）	要注意（黄）	調査済（緑）
柏崎市	33,898	32,090	4,616	8,295	19,179
刈羽村	1,519	1,474	291	497	686
出雲崎町	1,832	484	48	151	285
計		34,048	4,955	8,943	20,150

注、世帯数は新潟県庁ホームページより

表-3 被災宅地の危険度判定実施結果

市町村名	判定宅地	危険（赤）	要注意（黄）	調査済（青）
柏崎市	1,398	344	198	856
刈羽村	93	27	21	45
出雲崎町	489	22	51	416
上越市	102	26	37	39
計	2,082	419	307	1,356

に多く、一部損壊が 65 %、全壊、半壊を含めると全世帯の 81 %に被害が認められた。また、出雲崎町でも全世帯の 83 %に被害が認められた。刈羽村では全世帯の 39 %に被害が認められ、5 %が全壊であった。

地震後に実施された被災建築物の応急危険度判定結果を**表-2**に、被災宅地の危険度判定結果を**表-3**に示した。被災建築物応急危険度判定の危険又は要注意の判定結果は全体で約 40 %であるが、刈羽村では 54 %と半数を超えている。被災宅地の危険度判定では、柏崎市、刈羽村で判定宅地の約半数が、上越市で判定宅地の約 60 %が危険又は要注意の判定結果となっている。

2.2 戸建て住宅基礎の被害概要

戸建て住宅基礎の被害状況の一例を**写真-1**に示す。これら基礎被害の大半は、液状化や地盤変動に伴って生じており、被害の殆どは、古い木造の無筋・ブロック・束またはこれらに類する基礎で現在の規準を満足しないものが大半であり、現行規定を満足するような鉄筋コンクリート造の基礎が大きく破断した例は確認できなかった。

液状化が生じた地域では、鋼管杭の浮き上がりなどの被害も認められた。また、今回の調査範囲では、増築を行った住宅のなかに、増築部で地盤改良などを採用して増築部では沈下は生じていなかったが、既存基礎と増築部の基礎で支持性能が異なっていたため、既存基礎が沈下した例も認められた。

2.3 一般建築物基礎の被害概要

一般建築物の基礎の被害は、ほとんど認められなかったが、柏崎市沿岸部の杭基礎と考えられる RC 建物の建物外周付近での地盤の陥没（建物の相対的な浮き上がり）や松波地区の鉄骨 2 階建て事務所及び木造集合住宅等に被害が見られた。**写真-2**にその被害状況を示す。松波地区は、かつては旧河道沿いの低地（三角州）であったが、数十年前（30～40 年前）に

整理された宅地である。いずれの建物も不同沈下による壁の亀裂やドアの開閉不良などが著しい状況であった。傾斜の方向は建物背面側であり、高さ 1 m 程度のブロック擁壁（通常のブロック塀を擁壁利用したもの）が前面道路側に押し出されることにより、建物がより沈下したものと考えられる。1 m 程度のブロック擁壁の基礎は、通常、前面の道路面より下 50 cm 程度にあると考えられるので、擁壁の基礎が液状化により沈下したため、建物もより大きく傾斜したと考えられる。

2.4 地盤の被害概要

柏崎市（橋場地区、松波地区など）、刈羽村などで、液状化による被害が多発していた。柏崎市橋場地区では、前回の新潟県中越地震で液状化被害が顕著であったが、今回は周囲の松波地区に被害が拡大している。松波地区の被害状況を**写真-3**に示す。刈羽村では、前回の中越地震の際に鉄道沿線から海側に一段高くなった十数戸の住宅に被害が集中したが、今回も同様であり、前回の地震によって解体撤去した後に新築した住宅においても裏山のがけの崩壊や地盤変動で被害を受けた例もあった。また、**写真-4**に示すように柏崎市南半田地区において、地盤変動や滑落などの状況が確認された。

3) 擁壁の被害概要

柏崎市番神町や山本地区など、多くの地域で宅地（斜面、擁壁など）の崩壊が発生していた。構造計算等による確認を要しない 2m 以下の擁壁や土留めの被害も数多く認められた。崩壊した擁壁のなかには、ブロック塀として地上の塀のために利用している壁材を擁壁として利用していたものも多かった。また、壁高 5m、厚さ 50cm 程度のブロック積みが転倒した例や斜面地で全体的な地盤変動が生じたため、擁壁前面の側溝がつぶれるほどに押し出されたものもあった。

種々の擁壁の被害状況を**写真-5**に示すが、ブロック塀の土留めや吹きつけモルタルで覆

った擁壁だけでなく、間知ブロックやL型擁壁にも被害が認められた。



写真-1 戸建て住宅基礎の被害例



建物周辺地盤の陥没 不同沈下建物(S造)

写真-2 一般建築物の被害状況



写真-3 松波地区の地盤被害状況



写真-4 南半田地区の地盤変動状況

3. 刈羽村

3.1 概要

柏崎市に隣接する刈羽村では砂丘麓での液状化による地盤変状に起因した建物被害が顕著であった。刈羽村では2004年の新潟県中越地震(M6.8)の際も同様の建物被害が発生しており、



写真-5 擁壁の被害状況

潜在的に地震による被害が発生しやすい地域でもある。その要因を調査するために、表面波探査、スウェーデン式サウンディング調査(SWS)、ボーリング調査などの各種地盤調査を実施し、建物の不同沈下量、傾斜角の計測結果と比較した。さらに、中越地震以降に液状化対策が施されていた建物の被害状況を比較することで、その耐震補強効果を検証した。

3.2 刈羽村の地質および地形⁴⁾

図-2に柏崎・刈羽地域の地質、図-3に刈羽村稲場地区の概略地形を示す。図-2より刈羽村は日本海側に荒浜砂丘と内陸地に柏崎平野が広がっており、稲場地区の地質は砂丘堆積物となっている。なお、図-3では地形の特徴をみるために、鉛直距離を水平距離の5倍に拡大している。荒浜砂丘は標高が高く麓は急斜面となっているため、丘陵部と平野部の境界が明確である。

3.3 刈羽村における液状化被害調査²⁾

a) 被害の概要

図-4に中越沖地震において液状化に伴う地盤変状により建物被害が甚大であった刈羽村稲場地区の被害状況を示す。図には砂丘被害も記載した。北部地区では砂丘斜面の崩壊により幾段にも段差のある滑落崖が形成された。中央地区では砂丘の表層崩壊が発生し、建物に被害

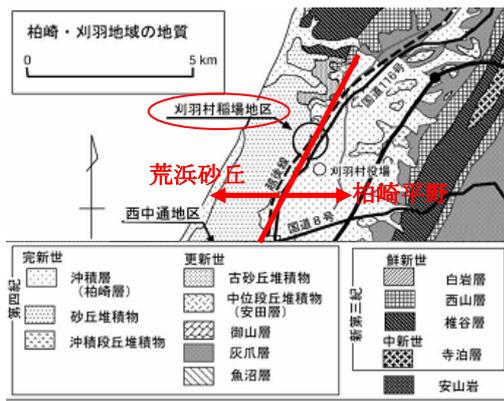


図-1 柏崎・刈羽地域の地質¹⁾に加筆修正

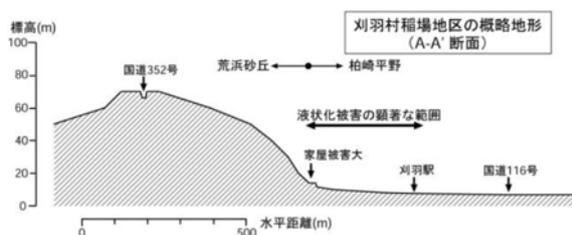


図-2 刈羽村稲場地区の概略地形¹⁾

が生じた。崩壊地上部には連続した地割れも観察される。宅地前の道路の数カ所で沈下、擁壁の目開き、傾斜、側溝の狭窄の被害が見られた。

b) 地盤調査

図-4上に示す裏山が崩壊した位置やその近傍で砂丘頂部から斜面下方に向かった測線で表面波探査（E測線，F測線）を実施した。また，スウェーデン式サウンディング調査（SWS）をF測線に沿って実施した。表面波探査およびSWSの結果を図-5に示す。

これより，砂丘斜面とさらに下方の平坦地ではかなり異なる地層構造をしていることがわかる。砂丘斜面では深度数m以深に堅固な砂層（古砂丘と呼称）が，以浅では比較的緩く堆積した砂層（新砂丘と呼称）が存在していると考えられる。一方，平坦地では深度10 m程度までS波速度は100 m/s程度であり，沖積粘土層が厚く堆積していることがわかる。また，E測線とF測線を比べると，E測線の砂丘斜面（始点～50 m付近）では深度2～6 m以深でS波速度150 m/s以上の高速度層があり，比較的浅部から古

砂丘が堆積していると思われるが，F測線ではS波速度150 m/sを超えるのは深度6～10 m以深であり，比較的深部まで緩んだ砂地盤であることがわかる。SWSの結果では，古砂丘と思われる深度（E測線で6 m，F測線で10 m）まで換算N値が10以下であるのに対し，それ以深では急激に換算N値が増加しており，表面波探査の結果と一致する。

c) 建物の不同沈下量・傾斜角

刈羽村稲場地区の建物の不同沈下量を測量した。測量結果（不同沈下量と傾斜角）を表-4に，傾斜方向ならびに各建物の被害規模を図-4に併記する。被害規模は応急危険度判定調査票に基づくものであり，赤は危険，黄は要注意，緑は調査済みを表す。図-4より，建物の傾斜方向は建物の裏にある砂丘斜面の崩壊が発生した北側の地域では道路側に，発生していない南側の地域では砂丘側に向いている。この理由は裏山の砂丘斜面が液状化によりせん断強度を失ったことで崩壊し，法尻部分の隆起，崩積土の直撃，道路側の地盤の側方流動により，建物が下方から持ち上げられ凸状に変形したものと，砂丘斜面麓の湧水地付近で液状化が発生したために，建物が山側へ傾斜したものと建物の被害形態の差異に求められる。また，中越地震では斜面崩壊は発生しておらず山側へ傾斜した形態が多く見られた。表-4からも分かるように，北側のA～Eの地域では斜面崩壊に伴う崩積土の直撃により，建物の水平変位量が大きく，最大不同沈下量および傾斜角も大きい。

d) 液状化対策工による被害状況の違い

刈羽村稲場地区では，中越地震でもM6クラスの余震の多発により液状化被害が甚大であった。多くの建物が液状化による不同沈下などが原因で全半壊に至っており，他にも石積み擁壁の崩壊や建物の亀裂などの被害が報告されている⁵⁾。この被害を受け，数件の宅地で液状化対策を実施した上で，建物の新築あるいは改築が行われた。主な対策工法として，鋼管杭基

礎の打設、暗渠による地下水位低下、アンダーピニング工法、柱状改良工法が施されていた。**表-4**より各液状化対策工法による効果を比較すると、在来工法を採用し、耐震対策を施していない建物Aでは、斜面崩壊とそれに伴う法尻の隆起により建物が持ち上げられ、道路側へ側方移動するなど大きな被害を受け、稲場地区で最も被害が甚大であった。また、柱状地盤改良を施した建物Cは、裏山斜面の崩壊により建物は道路側へ約50 cm水平移動し、それに伴い道路側の柱状改良体が道路側へ傾斜していた。鋼管杭を施した建物Hは、周辺地盤が約20 cm沈下、建物が5 cm不同沈下し、給排水管が断裂していた。鋼管杭と暗渠を施した建物Kでは、13 cmほどの不同沈下、7/1000の傾斜が発生していたが、他の建物と比較して外見上大きな被害は見受けられなかった。猪爪ら⁹⁾によると裏側の砂丘斜面形状に大差ないことが報告されており、今回実施した地盤調査の結果も踏まえると、被害規模の差異は新砂丘の堆積厚さが異なっていることと液状化対策の有無が被害規模の差異につながったと考えられる。

3.4 まとめ

中越、中越沖地震の二度にわたり被害を受け

た刈羽村稲場地区において、表面波探査、SWS、ボーリング調査を実施した。その結果、液状化対策工法の違いのみならず、表層を覆う新砂丘の堆積厚さが被害の差異に影響を及ぼした可能性を示した。今後、模型実験や数値解析により、液状化層ならびに支持層の傾斜などの地形的な要因、液状化層の堆積厚さなどの地質的要因、液状化対策工法などの人工的要因を区分し、被害形態に与えた影響を検証する。



図-4 刈羽村稲場地区の被害状況



写真-6 滑落崖の状況 (①)



写真-7 砂丘斜面の表層崩壊 (②)



写真-8 側溝の狭窄 (③)

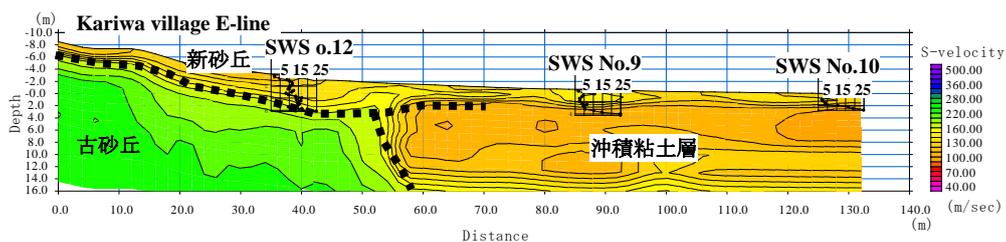


図-5(a) 表面波探査およびSWS結果 (E測線)

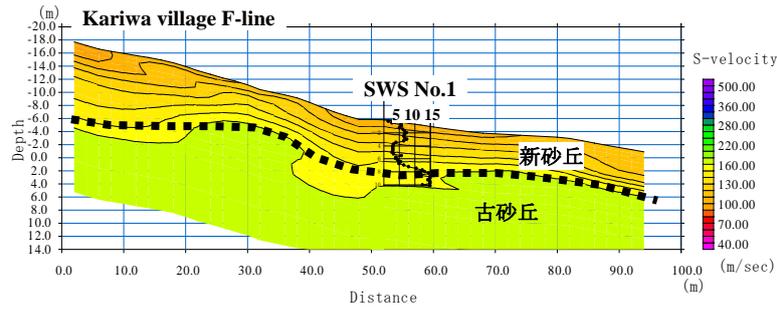


図-5(b) 表面波探査およびSWS結果 (F測線)

表-4 建物の不同沈下量・傾斜角と中越地震後の対策工

建物No.	不同沈下量 [mm]	傾斜角	中越	中越沖	地震後の対策工
A	1133	161/1000	全壊	全壊	新築 (在来工法)
B	278	30/1000	全壊	全壊	-
C	263	18/1000	全壊	全壊	新築 (柱状改良)
D	-	-	全壊	全壊	改築 (在来工法)
E	62	5/1000	全壊	全壊	新築 (在来工法)
F	88	6/1000	半壊	半壊	改築 (アンダーピニング)
G	251	12/1000	-	-	無対策
H	-	-	全壊	全壊	新築 (鋼管杭)
I	175	18/1000	全壊	全壊	改築 (アンダーピニング)
J	72	6/1000	-	-	無対策
K	129	7/1000	全壊	調査済	新築 (鋼管杭&暗渠)
L	-	-	全壊	要注意	-
M	187	10/1000	要注意	調査済	無対策
N	-	-	要注意	危険	-

4. 松波地区・橋場地区

4.1 概要

新潟県中越沖地震では鯖石川流域で液状化被害による宅地地盤の被害が発生した。同地域では3年前に新潟県中越地震でも液状化による被害を受けており、短期間に地震による液状化被害を繰り返した。同地域は砂丘地盤と河川による三角州、河川改修による旧河道の埋戻し地盤が混在する地盤的特徴がある。本研究は中越沖地震の建物被害について、地震発生直後の応急危険度判定を基に被害の面的分布と地盤調査との相関関係について報告する。

4.2 松波地区の被害調査

図-6に松波地区の平面図と宅地応急危険度判定の結果を示す。建物が赤色の場合に危険宅地、黄色が要注意宅地、緑色が健全宅地(調査済)を表している。同地区では東・中央部を中心に液状化による噴砂が確認され、不同沈下による建物被害が広範に発生した。建物被害は建

物の構造形式や建築年代などによる影響を受けることから、必ずしも地盤特性との相関が一意的に見られるわけではないが、要注意宅地が全域に分布するのに対して危険宅地は同地区北東から南西にかけて帯状に分布する傾向が見られる。図には現地を確認された比較的明瞭な段差(不同沈下)の図を示したが、危険宅地との相関は高い。新潟地盤図によると、同地区は北西部が砂丘、南東部が三角州により構成されており、地層境界に沿って危険宅地が分布することが分かる。

同地区において図-6に示す測線(M-1:南北方向, M-2:東西方向)にて表面波探査試験、●の位置にてスウェーデン式サウンディング試験(SWS)を実施した。図-7に表面波探査試験, SWSの結果を合わせて示す。図より、深度5m以浅はS波速度が120~150m/sでやや緩んだ砂質土、5m以深は150~200m/sで締まった砂質土であることが分かる。M-1, M-2の

S波速度分布は図-7の地質図と整合している。宅地被害の大きい地点は砂丘と三角州の地層境界であり、締まった砂質土（砂丘）が傾斜している上に緩い砂質土（三角州）が堆積していることが分かる。これは緩い砂質土の層厚変化や締まった砂質土の傾斜が影響している。測線M-1では地層境界で被害が著しいのに対して、M-2では顕著な被害が見られない。両測線の標高を測定すると、M-1では地層境界にて地形的な高低差があるのに対して、M-2では高低差のないことが確認されており、地層構成の他に地形が被害の大きさに影響した可能性がある。

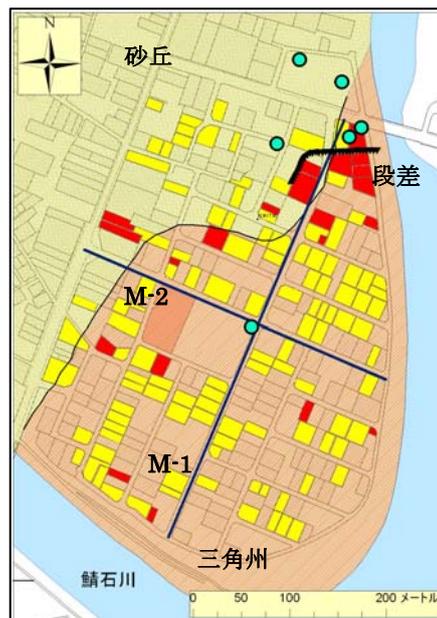


図-6 松波2丁目

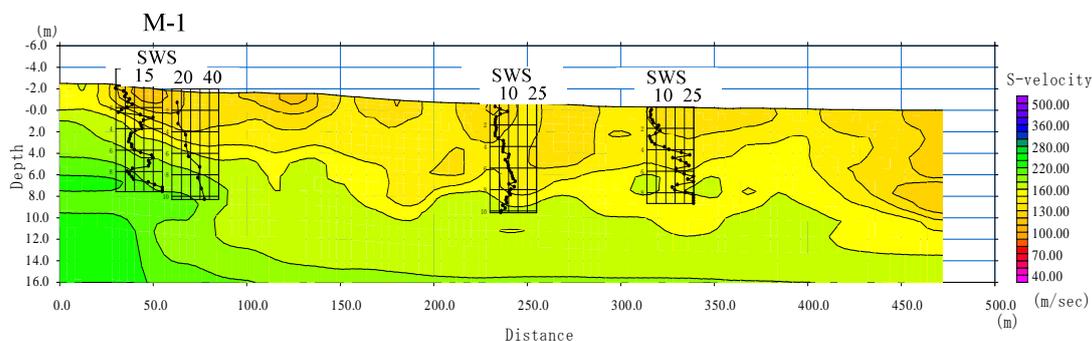


図-7(a) M-1 表面波探査データ（北より南方向）

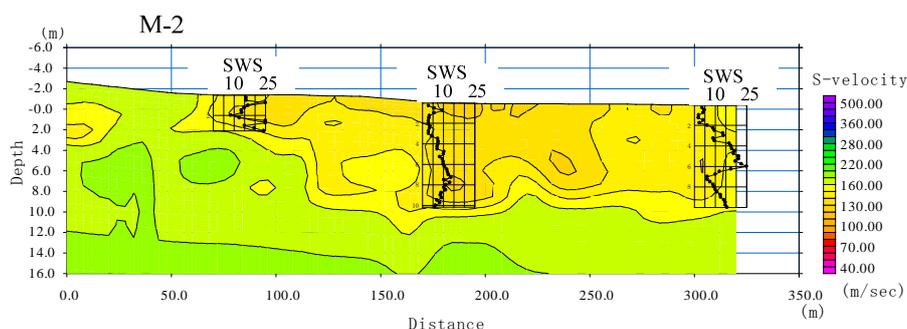


図-7(b) M-2 表面波探査データ（西より東方向）

4.3 橋場地区の被害調査³⁾

図-8に橋場地区の平面図と宅地応急危険度判定の結果を示す。この地区の特徴は図に示すように旧河道（図中にグレーで表示）の埋戻し地盤が存在する点にある。旧河道では液状化が確認され、危険宅地はほぼ旧河道に沿う地点で点在している。同地区において図-8に示す測線

(H-1：旧河道の中央横断方向、H-2：旧河道の西地区横断方向、H-3：旧河道の縦断方向)にて表面波探査試験、●の位置にてスウェーデン式サウンディング試験を実施した。

図-9に表面波探査試験、SWSの結果を合わせて示す。H-3に示す旧河道縦断の試験結果他より、旧河道はS波速度が100 m/s程度の緩い砂質

土により構成されている。旧河道の外周は主に粘土質と推測され、旧河道横断方向のH-2ではS波速度が80 m/s程度、H-1でも旧河道外は南側にて低速度である。周囲のボーリング調査などから深度数m以深は概ね粘性土主体と思われることから、同地区の旧河道は周辺を粘性土地盤で囲まれる構造を有すると推測され、この地盤特性が旧河道地盤の液状化被害を大きくしたと推測できる。新潟県中越地震では松波地区の被害が軽微に対して、橋場地区は大きな被害が発生した。両者の差異はS波速度および地質構造に起因すると思われる。

また、中越地震以降に建設された数棟の戸建て住宅に関しては、柱状改良や鋼管杭を設置していた場合が多いためか不同沈下はほとんど認められなかった。H-3は旧河道のS波速度を示すが、中央付近で地表面地盤のS波の大きい地域が確認される。この地域は中越地震の宅地被害地域に一致しており、地盤対策の効果が現れたと考えられる。

4.4 まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 中越沖地震の建物被害の面的分布と地盤調査との相関関係を調査し、砂丘と三角州の地層境界で被害の大きい結果を得た。
- 2) 砂丘と三角州の地層境界では、緩い砂質土から成る三角州の層厚変化や地形傾斜の影響が大きいと思われる。
- 3) 旧河道地盤の被害が大きいが、この原因に埋戻し土の性質および旧河道外地盤が粘性土である地質構造が指摘される。
- 4) 表面波探査試験により地盤改良効果の評価が適切に行われた。

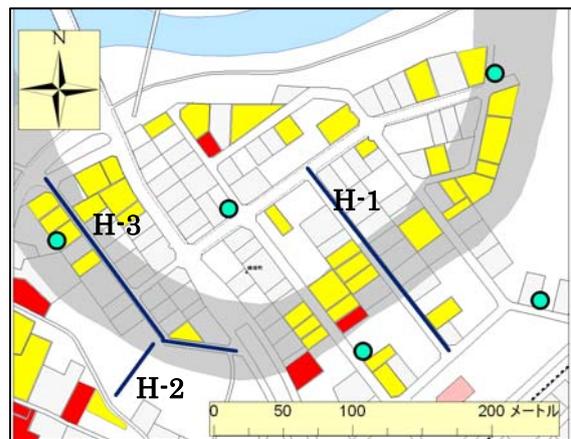


図-8 橋場地区

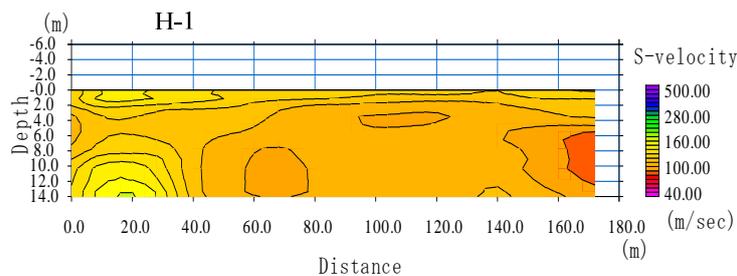


図-9(a) H-1 表面波探査データ (北より南方向)

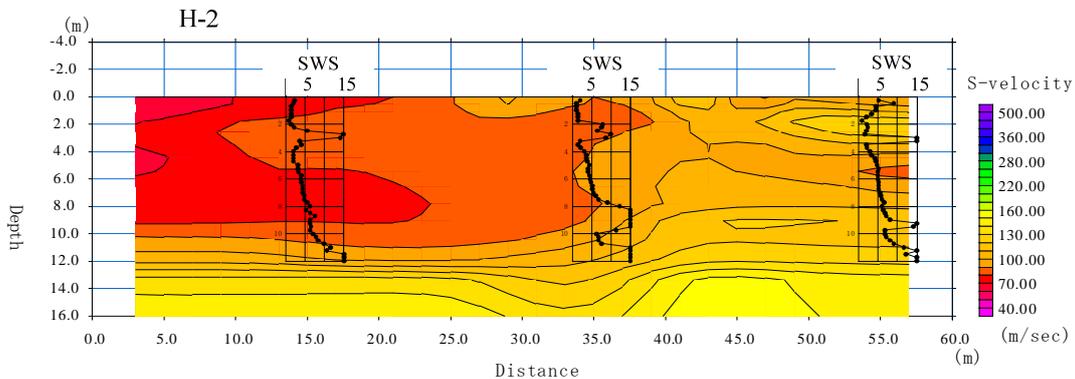


図-9(b) H-2 表面波探査データ (西より東方向)

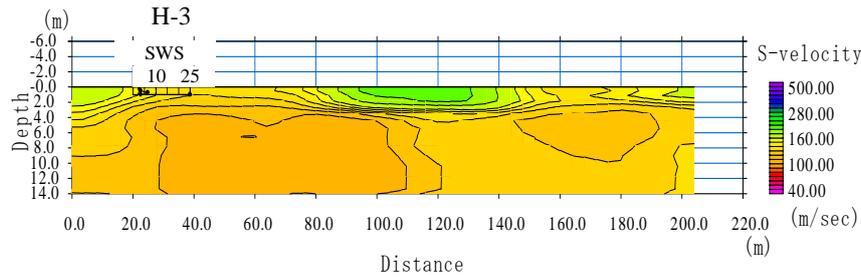


図-9(c) H-3 表面波探査データ (北より南方向)

5. 緒言

新潟県中越沖地震で発生した宅地被害の状況を現地調査するとともに、その原因追及のために表面波探査および SWS、ボーリング調査などから地盤構造を把握した。

刈羽村では、液状化対策工法の違いのみならず、表層を覆う新砂丘の堆積厚さが被害の差異に影響を及ぼした可能性を示した。

松波、橋場地区では、1) 砂丘と三角州の地層境界で被害の大きい、2) 砂丘と三角州の地層境界では緩い砂質土から成る三角州の層厚変化や地形傾斜の影響が大きい、3) 旧河道地盤の被害が大きい原因は埋戻し土の性質および旧河道外地盤が粘性土である地質構造であることなどがわかった。

今後、模型実験や数値解析により、液状化層ならびに支持層の傾斜などの地形的な要因、液状化層の堆積厚さなどの地質的要因、液状化対策工法などの人工的要因を区分し、被害形態に与えた影響を検証する。

謝辞および弔辞

本研究は、科研費（2007 年新潟県中越沖地震の総合調査（佐藤比呂志））および科学技術振興調整費（小長井一男）のご支援を頂いた。ここに記して謝意を表す。また、現地調査では建築研究所 田村昌仁上席研究員、平出 務主席研究員、応用地質（株）林 宏一氏ならびに長岡技術科学大学環境・建設系の学生にご協力頂いた。記して謝意を表す。最後に、本地震調査中に急逝された田村昌仁博士に哀悼の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所，独立行政法人建築研究所：平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震建築物被害調査報告，2007.
- 2) 永田隆広，大塚 悟，磯部公一，鈴木幸治，堀越俊寛：新潟県中越沖地震における宅地耐震補強効果に関する調査，第 25 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集，pp.148-149，2007.
- 3) 坂本和仁，大塚 悟，磯部公一，杉村晋之介，田中友宏：新潟県中越沖地震での鯖石川流域における宅地被害調査，第 25 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集，pp.150-151，2007.
- 4) 社団法人地盤工学会：新潟県中越地震災害調査委員会報告書，2004.
- 5) 猪爪高見，尾上篤生，土田勝範，大澤拓洋，鶴飼恵三，若井明彦，蔡飛，樋口邦弘，黒田清一郎：液状化対策の有無による地震時地盤変状の差異の一事例，第 25 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集，pp.152-155，2007.