地球科学 60 巻，455 ～ 464（2006 年）
Earth Science (Chikyu Kagaku) vol. 60, 455-464. 2006

新潟県中越地震における長岡市悠久山地域の段丘および沖積低地の震害要因－谷状凹地と水路による被害規制－

久保田喜裕 * ・山崎興輔 ** ・飯川健勝 *** ・吉越正勝 ****

Factors of earthquake damage in terrace and alluvial lowland areas of the Mid Niigata Prefecture Earthquake 2004 in the Yukyuzan area, Nagaoka city-Damage control by valley-shaped low grounds and ditches-

KUBOTA Yoshihiro*, YAMAZAKI Kosuke**, IIKAWA Kensho***
and YOSHIKOSHI Masakatsu****

Abstract The Mid Niigata Prefecture Earthquake on 23 Oct. in 2004 caused the extensive damage to houses and the ground. The results of the extra survey on the relationship between the earthquake damage and geologic setting in the Yukyuzan area, Nagaoka city, are as follows: (1) Why did house damages concentrate within a zone on a terrace surface which is generally assumed to be stable? ; Valley-shaped low grounds are confirmed on the Lower terraces where residential areas are in the studied area. The damage was concentrated along the embankment areas of bottom and slope in the valley-shaped low grounds. Geologic factors of the damage were inferred that alluvial muddy deposits and embankment displaced to the lower slope. (2) Why did the damage of the new town occurred sporadically on the ground of embankment in alluvial lowland? The damage distributed in the zone controlled by the ditch beside houses. The ditch was the old irrigation channel. The ground of residential areas inclines toward the northwest by the down slope of 0.7/100. The damage was concentrated in the downstream area of thick embankment and deep ditches, around one meter. The deformed or broken ditches beside damaged houses did not have a cover. The over earth pressure by the seismic vibration in the inclined residential grounds caused that the embankment was displaced with houses and pushed the wall of open ditches. Thereby the houses were seriously damaged by the seismic shock.

Housing-land development will increasingly go toward the alluvial lowland in the future. It is important to take precautions against the ground displacement due to the seismic vibration, for example, enhancement of the breast wall of embankment and the sidewall of ditches, and installation of a steel or concrete cover on ditches, to resist against a seismic shock.

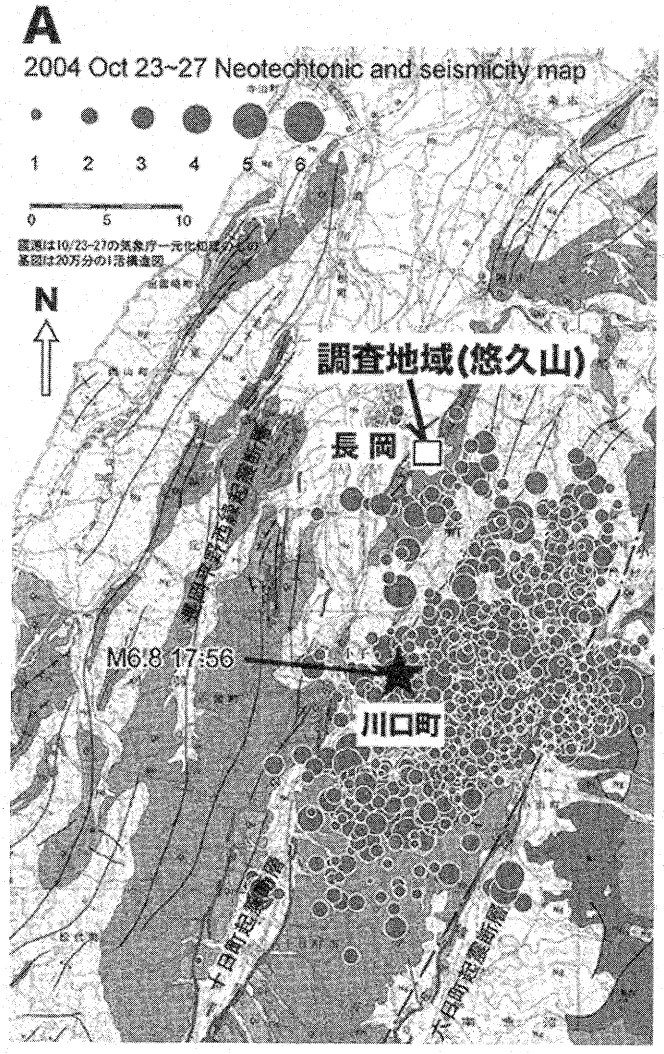
Key Words : the Mid Niigata Prefecture earthquake 2004, Yukyuzan area, Nagaoka city, earthquake damage, damage control, Valley-shaped low ground, ditch, embankment, ground displacement

はじめに

2004 年 10 月 23 日（土）午後 5 時 56 分．悠久山（ゆうきゅうざん）近くで 40 年間時を刻んでいた時計が止まった．新潟県中越地方をマグニチュード（M）6.8 の地震が襲いかかった．つづいて，午後 6 時 3 分（M=6.3），11 分（M=6.0），34 分（M=6.5）にもそれは断続的に襲ってきた．震源の中越地域では震度 6 弱～ 6 強，のちに川口町では震度 7 と上方修正された．新潟市でも震度 5 弱～ 4 で，恐怖を感じるには充分な揺れであった．本震は東山丘陵南端の川口町付近で，余震域は東山丘陵から魚沼丘陵にまでおよんだ（第 1 図）．

地震の後片づけもそこそこに，10 月 27 日に地学団体研究会新潟支部の会員が地盤性状と被害状況の調査に乗り出した．1/1,500 住宅地図を用いて，一軒一軒人海戦術で裏庭まで克明に地盤・家屋の被害状況を記載していった．調査メンバーは日増しに増え，地震直後は毎日 5-6 名，休日には 20 名近くが集まった．県内はもとより，近県からも多くの会員が応援に駆けつけ，年内の調査参加者は延べ 340 名を超えた．長岡市の調査地域は，東山丘陵西麓を中心に，北部から南部まで延長約 20km の範囲におよんだ．被害と地盤の調査結果

2006 年 4 月 20 日受付．2006 年 10 月 31 日受理．
*: 新潟支部：新潟大学理学部，〒 950-2181 新潟市五十嵐二の町 8050
Faculty of Science, Niigata University, 8050 Ikarashi 2-no cho, Niigata-shi, 950-2181 Japan
: 新潟支部，元巻高等学校，*: 新潟支部，元長岡高等学校，****: 新潟支部，小千谷高等学校



第1図　調査位置と新潟県中越地震の本震・余震分布

Fig.1 Map showing the study area and distribution of the main shock and aftershocks in the Mid Niigata Prefecture Earthquake 2004.

A：産業技術総合研究所地質調査総合センターホームページ（2004, http://unit.aist.go.jp/actfault/niigata/map.html）に一部加筆，図中の震源●印の数字はマグニチュードを示す，B：震源域の東山丘陵と悠久山

は地学団体研究会新潟支部中越地震調査団（2005）としてとりまとめられた．

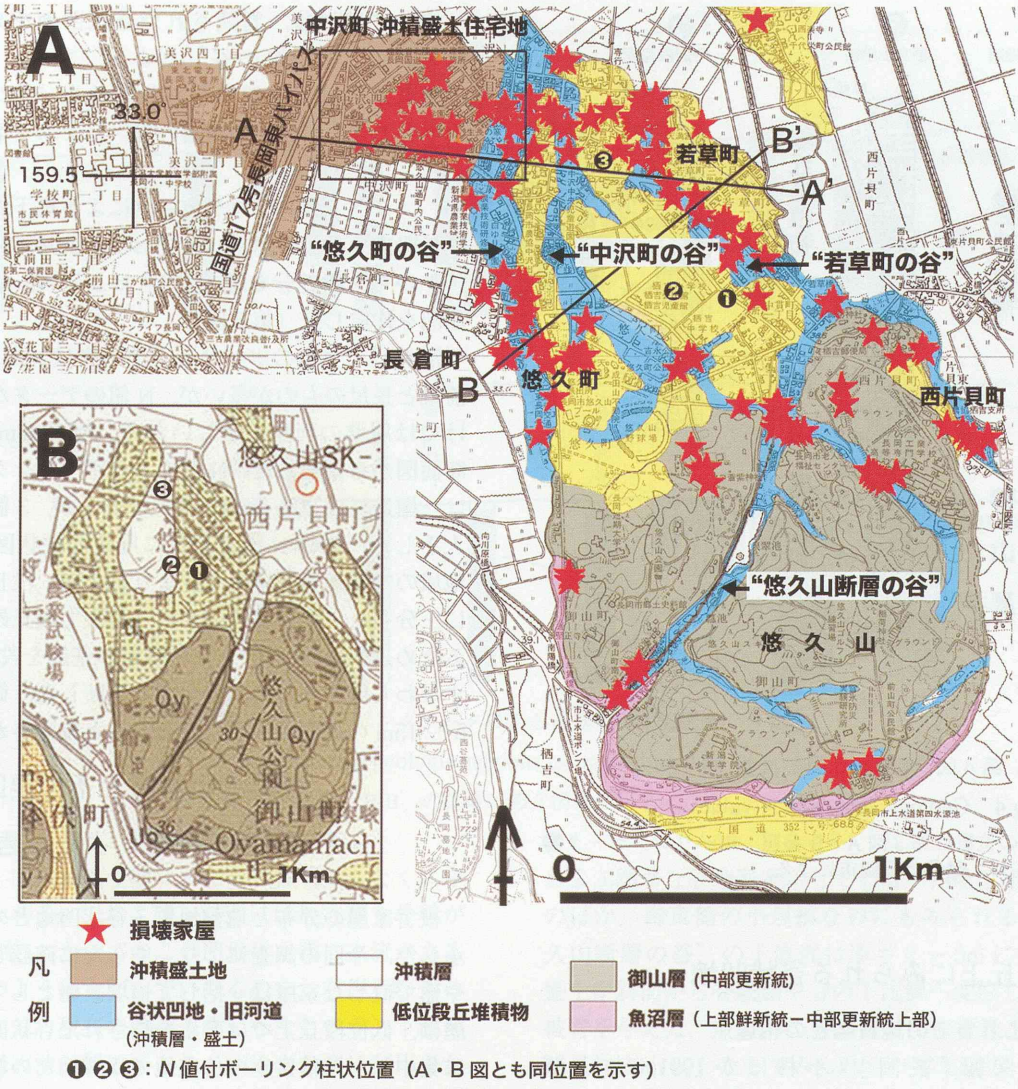
本論の調査地域である長岡市悠久山周辺（第1図）は，長岡市街地東方約3～5kmに位置し，東山丘陵西麓では最も住宅が集中している地域である．上述の調査結果をとりまとめるなかで，悠久山地域の被害と地盤との関係について次の疑問が残った．すなわち（1）一般に地盤が良いといわれる段丘地で，なぜ被害が集中する地帯がでたのか，（2）沖積盛土の大規模住宅地で，なぜ被害が偏在したのか．本論はこの疑問を検討するため，地震翌年以降の2005～2006年に行った補充調査結果をまとめたものである．なお，本論で使用する「地盤」「地盤地質」の用語は，地盤工学や土木工学で使用されている「構造物を支えている大地と地質の意味」（今井ほか2002）で用いる．また，「家屋」は住家と車庫や倉庫などの建物を含めた意味で用いる．

地形・地質概説と土地利用

調査地域の中央に位置する悠久山は，最高標高115m，直径約1kmの円形～ドーム状の外形を呈する丘陵である（第2図）．悠久山中央にはNNE-SSW方向に延長約1.3km，幅約100mの狭長な谷地形がみられるが，ここには活断層の悠久山断層が推定されている（小林ほか1991）．悠久山の地質は，南西の一部に砂岩・泥岩互層（層厚約10m＋）からなる魚沼層（上部鮮新統～中部更新統下部，小林ほか1989,1991）を基盤とし，それを不整合に，くさり礫層・砂層・泥層（層厚約40m）からなる御山層（おやまそう）（中部更新統，長岡の自然グループ1973）が覆う．悠久山のほとんどは緑地公園として利用されているが，多くの住宅はこの谷沿いの盛土地に立地している．

悠久山北方の標高約30～40mには，低位段丘堆積物（上部更新統，小林ほか1991；新潟平野東縁団体研究グループ1990）が広く分布し，住宅地や田畑に利用されている．小林ほか（1991）の低位段丘面は，標高から40m，35m，30m前後の3面に区分できる．“40m面”は悠久山の北縁を取り囲むように標高38～43mに分布する．“35m面”は悠久山北西方に最も広く分布し，段丘面の標高は38～25mで北方へ1.7/100～1.4/100程傾斜している．“30m面”は“35m面”の東縁の沖積低地との境界に局所的に分布し，面の標高は30～26mで北方へ1.6/100程度傾斜している．堆積物はいずれの面も安山岩～石英安山岩の中～大礫層（1m+）からなる．

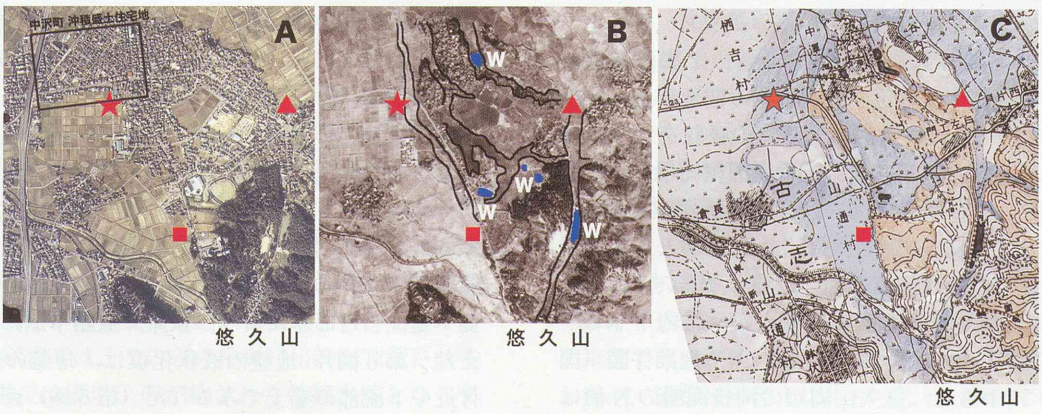
悠久山の周囲には，東山丘陵から流下する河川やかつての信濃川による河道・後背湿地堆積物（小林ほか1991）が分布し，沖積低地帯を形成している．長岡市街地に近い悠久山北西方の沖積低地では，昭和30年代後半～40年代に宅地開発が始まり，現在に続いている．



第２図　悠久山地域の地盤地質図

Fig.2　Ground geologic map in the Yukyuzan area

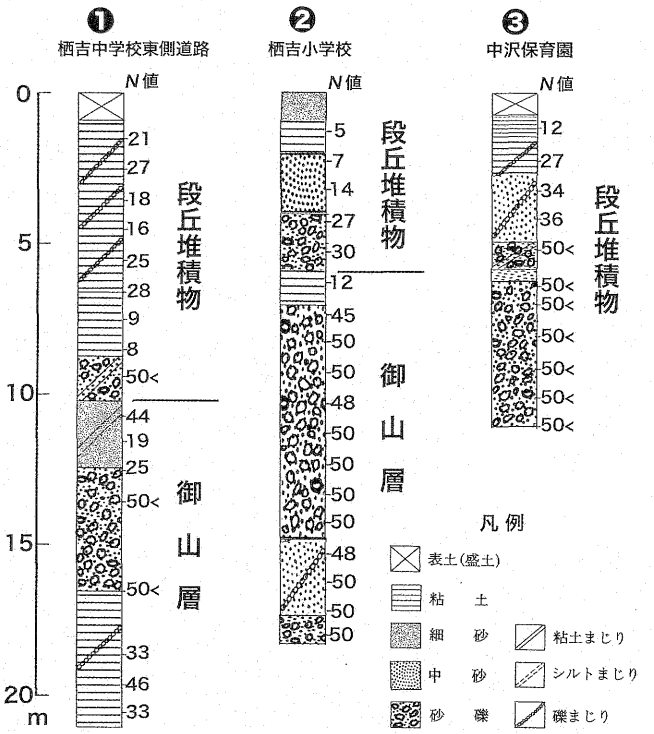
A 図は長岡市発行 1/10,000 地形図を使用した．B 図は同地域の 1/50,000「長岡」図幅より調査地域を抜粋．図幅中の Oy は御山層，tl1 は低位段丘，□の囲みは中沢町の沖積盛土大規模住宅地（第 9 図参照）．



第３図　悠久山地域の土地利用・集落の変遷

Fig.3　Changes of land use and distribution of villages in the Yukyuzan area

A：中越地震翌日の空中写真（国土地理院 2004 年 10 月 24 日撮影），□の囲みは中沢町の沖積盛土大規模住宅地（第 9 図参照）．B：戦後の空中写真（建設省地理調査所 1947 年撮影），黒線は判読された谷状凹地，W は溜め池（青色部）．C：戦後の 1/25,000 地形図「長岡」（国土地理院 1934 年発行），青色部は水田，茶色部は畑を示す．各シンボルはそれぞれ同じ位置を示す．



第４図　地質柱状図とＮ値

Fig.4　Geologic logs with N-values

ボーリング❶❷❸の位置は第３図Ａ・Ｂ参照．ボーリングデータ❶は国土地理院（1991），❷❸は長岡市による．

段丘上にみられる谷状凹地

これまでの地質図との相違点

1/50,000 地質図幅「長岡」（小林ほか 1991）および 1/25,000 土地条件図「長岡」（国土地理院 1991）によると，いずれも悠久山北方の住宅地周辺に低位段丘面が広く分布する点で一致しているが，地質図幅では段丘中央部に沖積層が示され，土地条件図ではこの沖積層はなく，帯状の盛土地がふたつ示されている点で異なっている．

戦後の空中写真（1947 年）を判読すると，この段丘面上には二筋の蛇行・分岐する暗色の帯が谷状の凹地形として判読できる（第３図）．この暗色部は太陽光の吸収を示す水域や湿地，植生地と判断される．また，地質図幅に示された段丘中央部の沖積層分布域（第２図）は，農業試験場の畑地で，表層には安山岩～石英安山岩のやや風化した礫層とシルト質砂層が分布し，地形的には両側の谷状凹地より高い．この付近の標準貫入試験のＮ値は，表層の礫が混入しない砂層・泥層で，10～15 前後の値を示す（第４図）．土地条件図（国土地理院 1991）によると，悠久山周辺の沖積泥層のＮ値は５以下が多いことから，この地層は段丘堆積物と判断した．段丘面上の谷状凹地の一部は水田になっている．この水田の耕作土の下に軟弱な灰青色粘土層を確認したが，これは谷埋めの沖積層と判断した．

本論では以後，判読された谷状凹地を東側から，“若草町の谷”，“中沢町の谷”とよぶ．また，低位段丘西方で沖積低地の縁に位置する谷状凹地を“悠久町の谷”，悠久山中央の谷を“悠久山断層の谷”とよぶ（第２図）．

ボーリングデータによる地下地質

長岡市や私設の消雪パイプおよび公共施設のボーリングデータから，段丘分布域の E-W および NE-SW 方向の地質断面図を作成した（第５図）．

消雪パイプ用のボーリングデータは，掘進長 100～150m 前後と長尺のものが多いが，Ｎ値のデータがなく層相記載だけでは層準の判断が難しいため，地下 40m 以深のデータは断面図から割愛した．Ｎ値のあるボーリングデータ（第４図）は，掘進長は 20m 前後と短尺であるが，３箇所（第２図）で入手した．このＮ値をもとに周辺の柱状図と対比し，この地域の地下地質層序を下位より御山層，段丘堆積物，沖積層に三分した．地質断面図では，地表で段丘礫層を確認しているため，ボーリングデータの礫層の基底を段丘堆積物の基底，すなわち御山層との不整合面と判断した．御山層は段丘面下５～15m の比較的浅所に分布すると推定される．

住宅地の被害とその要因
－谷と水路の凹地による被害規制－

被害家屋の分布と地盤地質・谷状凹地との関係を第２図に示した．今回の調査により，あらたに確認した住家跡の更地や建て直した家屋は一括して損壊家屋として表した．損壊家屋は，低位段丘上では盛土を施された谷状凹地の低部と斜面に集中し，沖積盛土の住宅地では隣地との境界に設けられた水路脇に集中していた．

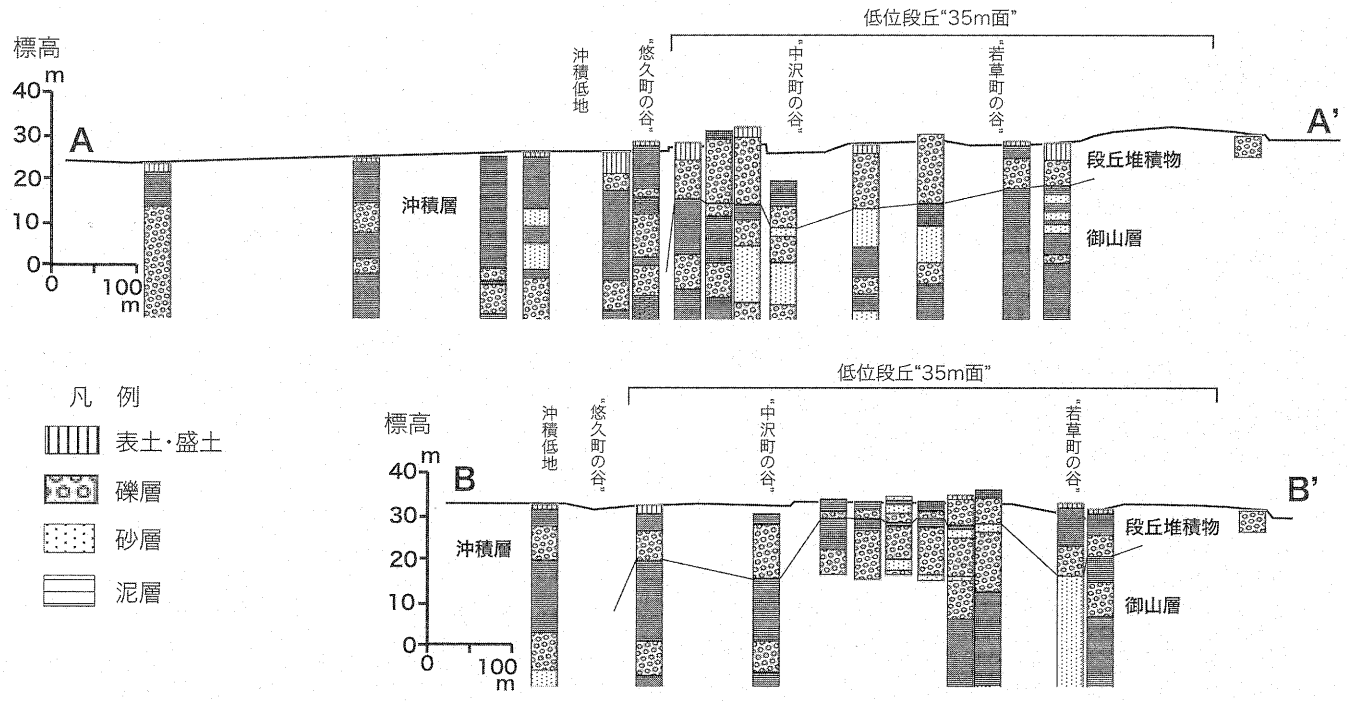
谷状凹地の地盤地質・土地利用と被害

中沢町の谷

“中沢町の谷”は低位段丘面上の西側に形成されたものである（第２図）．現在，凹地形は下流部を横断する地方道９号線に緩い凹地として残っている（第６図）が，中・上流部では道路のわずかな傾斜にその名残を留めているだけである．この谷状凹地はほとんど盛土され，宅地や公園，水田などに利用されている．この谷は上流部でいくつかに分岐し（第２図），谷頭付近で谷底の傾斜が強くなるが，盛土により傾斜がならされ，宅地に利用されている．ここでは盛土が下流側へ変位したことにより，家屋，道路や畑に大きな被害を与えた（第６図）．地盤の液状化痕は，地盤の傾斜が強い谷頭付近や下流部の盛土でみられた（第６図）が，地盤の傾斜が小さい中流部ではみられなかった．家屋の被害も地盤の傾斜が強い谷頭および下流の盛土部に集中していた．

若草町の谷

“若草町の谷”は低位段丘面上の東側に形成されたもの



第５図　ボーリングデータによる地盤地質断面図

Fig.5 Ground geologic sections using drilling data

断面線 A-A'，B-B' の位置は第２図参照

である（第２図）．凹地形は全域にわたって顕著で，とくに中流部の比高は最大約 6m におよび，谷底には地方道９号線が通っている（第７図）．かつてのこの凹地は，常に水流があるのではなく湿地のようによどんでいたものを，右岸（東）側の宅地の切土を埋めて，現在の幹線道路にしたという．下流部にあった大きな溜め池は埋め戻され，宅地や公園に利用されている（第３図）．その付近の谷底から約 2m 上の斜面に立地する修復中の住家の基礎で，安山岩の褐色弱風化の段丘礫層とそれを覆う黒色泥炭質泥層を確認した．この泥炭質泥層はかつての溜め池の堆積物（層厚 2m+）と考えられる．損壊家屋はこの谷状凹地の斜面と谷底の盛土部に集中している．

悠久町の谷

“悠久町の谷”は低位段丘西方の沖積低地との境界に形成されたものである（第２図）．谷状の凹地形は，下流部では宅地開発の盛土のため不明瞭であるが，中・上流部では西方の長倉町へ向かう道路に名残がみられる．この谷の上流部の道路復旧工事現場で，谷埋め堆積物とみられる黒色泥炭質泥層（層厚 1m+）を確認した．この一帯はかつて水田地帯であった（第３図）が，いまでは全域に宅地開発が進んでいる．戦後の空中写真では，この谷の中央に川筋が判読される（第３図）が，現在は護岸工事が施された幹線水路となっている．損壊家屋はこの幹線水路に沿う盛土部に集中している．

悠久山断層の谷と旧河道の盛土地

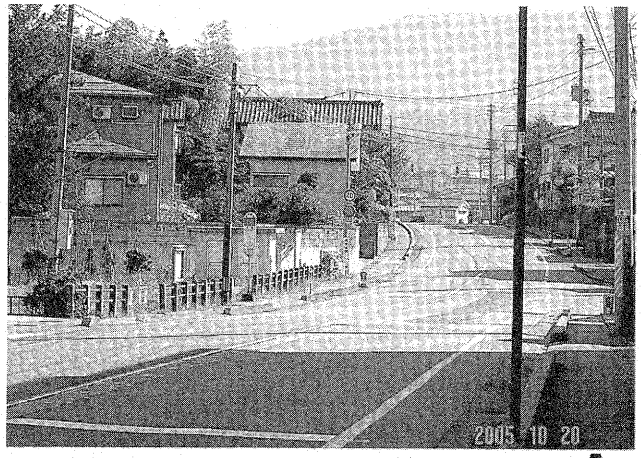
“悠久山断層の谷”は悠久山の御山層を切る悠久山断層に沿って形成されており（第２図），侵食により比高 50m におよぶ顕著な谷地形を示している．損壊家屋はこの谷状凹地のほか，南東側の小規模な谷にもみられる（第２図）．“悠久山断層の谷”の下流部は厚さ２～５m に盛土され，この盛土が斜面から谷底側や谷の下流側へ変位し，家屋や道路に被害を与えた．下流部の谷底には，直径数 10cm の噴砂群が延長約 30m にわたってみられた（第８図）．

悠久山北東麓に位置する西片貝町の小規模な住宅地（第２図）は旧河道に厚さ約 4m に盛土した宅地で，新しい住家が多いにもかかわらず損壊家屋が集中した．ここでは盛土が斜面から川底や谷の下流側へ変位し，住家が地盤とともに滑落していた．住宅地の最下流部に施設された土留めコンクリート擁壁は盛土の押し出しにより著しく破損していた（第８図）．

沖積盛土の住宅地における被害と水路凹地

中沢町の大規模な宅地開発は昭和 30 年代後半から 40 年代に始まり，沖積低地（後背湿地）の水田に盛土を施し，約 500m 四方にわたる平坦地を宅地にした（第９図）．宅地開発は主に西部から東部へ移ったとのことで，2000 年以降も北東部で開発が続いている．盛土材は当初は玉石・砂利であったが，次第に赤色土に代わったという．この赤色土は風化くさり礫を混在する御山層とみられる．

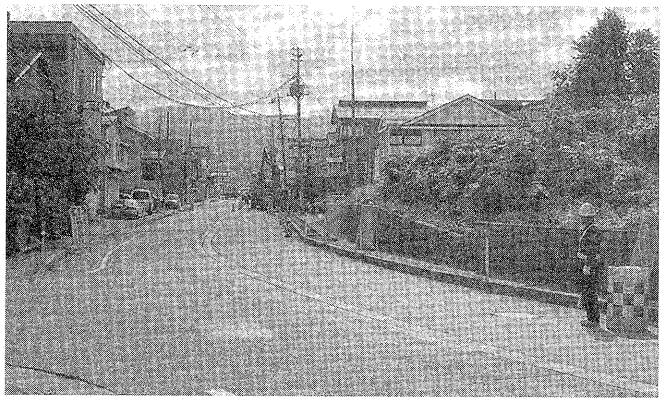
この地区の地盤地質は，下位から，後背湿地堆積物である還元性の灰青色粘土層，水田の褐色耕作土，および盛土層からなる．灰青色粘土層は軟弱な難透水層のため，降雨時の地



第６図　“中沢町の谷”の現地形と震害状況

Fig.6　Present topography and earthquake damage in “the valley of Nakazawa town”

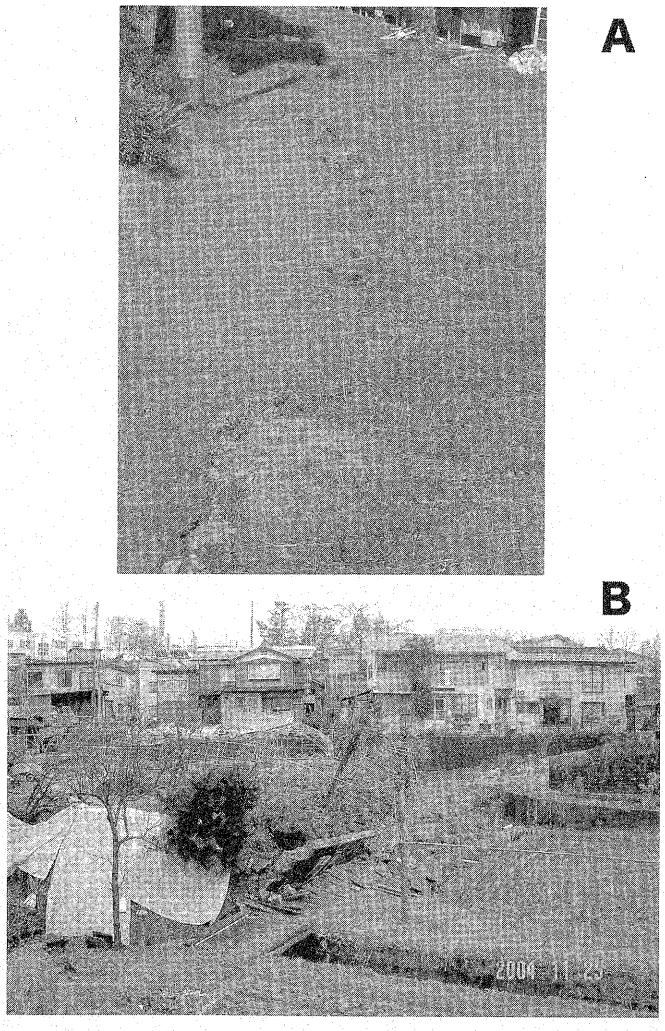
A：下流域に残る緩い谷状凹地．左側（北側）が下流，正面奥は東山丘陵，B：谷頭傾斜地における盛土の変位，C：液状化による盛土の流動・変位（中流部）



第７図　“若草町の谷”の現地形と震害状況

Fig.7　Present topography and earthquake damage in “the valley of Wakakusa town”

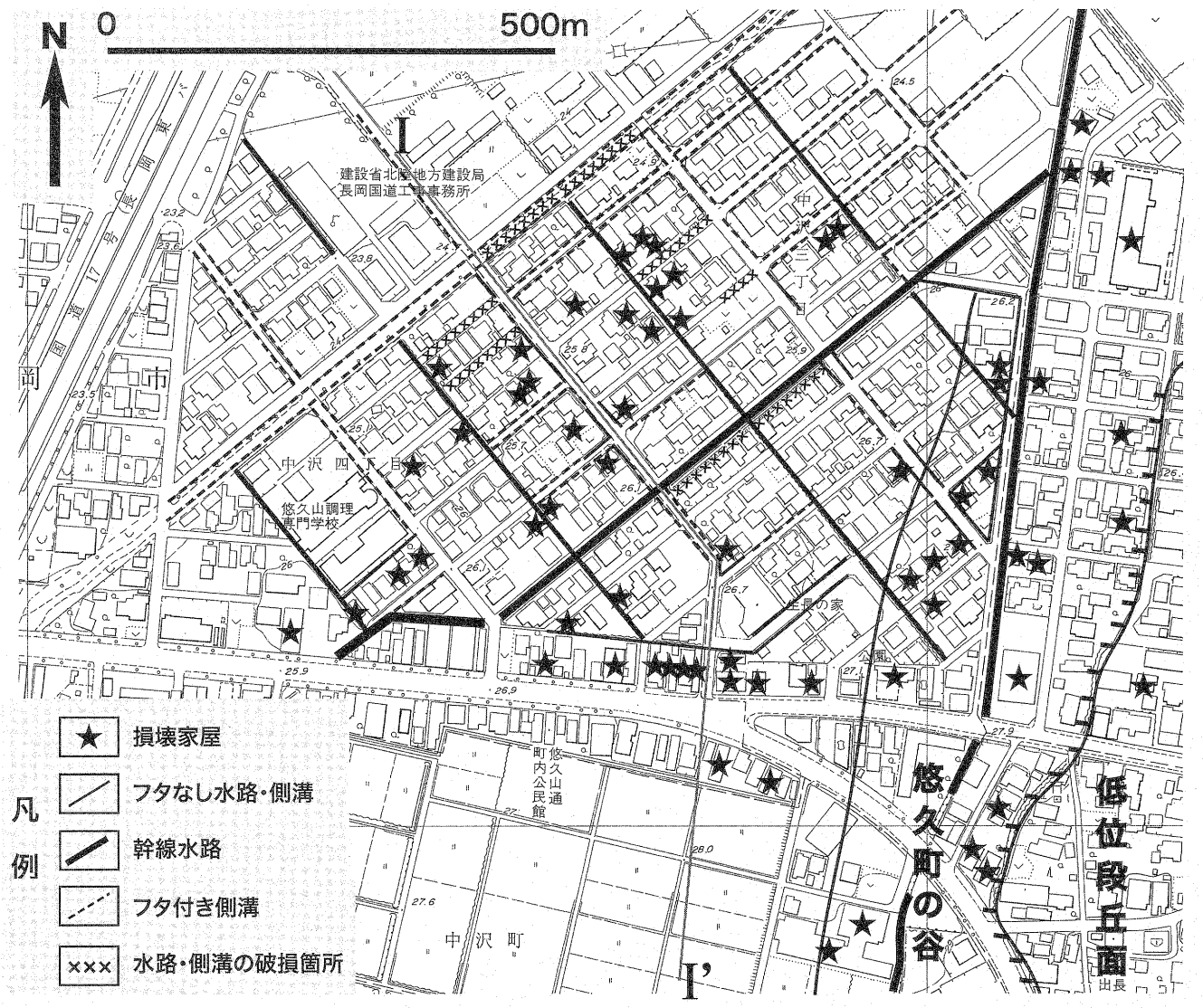
谷状凹地形の上流部を望む，道路がかつての谷底，両側の段丘面との比高は約 6m，右側（左岸側）斜面上は損壊家屋跡．



第８図　盛土の液状化痕と破壊された土留め擁壁

Fig. 8　Liquefaction traces and broken breast wall of embankment

A：線状に配列した液状化痕（“悠久山断層の谷”），B：旧河道盛土住宅地の土留め擁壁の破壊（西片貝町）



第９図　中沢町の沖積盛土住宅地の震害と水路・側溝の分布

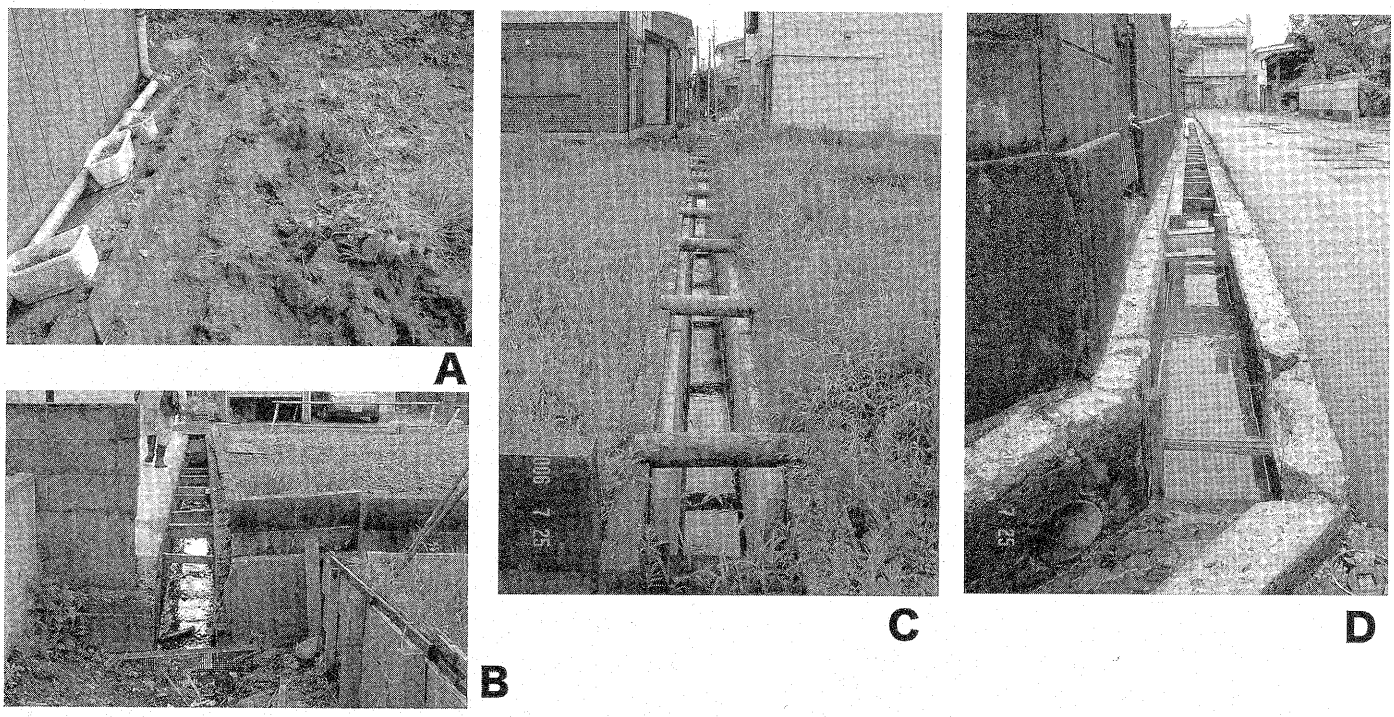
Fig.9　Map showing earthquake damage and distribution of ditches in the embanked residential area, Nakazawa town

住宅地の位置は第２図参照．北～北西側が下流域．

下水位は盛土部に形成され，砂質盛土の場合は液状化しやすいと考えられる．実際，地震の数日前にはまとまった降雨があったが，住宅地には噴砂痕が残っていた（第10図）．

当初，盛土は宅地全域に施されているため，被害は広範に及んだのではないかと予想されたが，実際は，損壊家屋は偏在しており，古い家屋だけが選択的に被害を受けたわけではなかった．今回の調査では，あらたに家屋を取り壊した更地や建て替えた住家を多く確認した．損壊家屋は隣地との境界に設けられた水路脇に集中していた．そこでは，水路自体も側壁が水路内へ張り出すように変形・破損し，添え木で補強されていた(第10図)．両脇の家屋が取り壊された水路では，破損した水路の内側をあらたにコンクリートで補修したものもみられた（第10図）．一見，変形・破損がないようにみえる水路も，数10cm～1m間隔で側壁が破断していた．道路脇の側溝も，深さ40～70cmの深いもので，フタなど押さえのない場合には破損したものがみられた（第10図）．

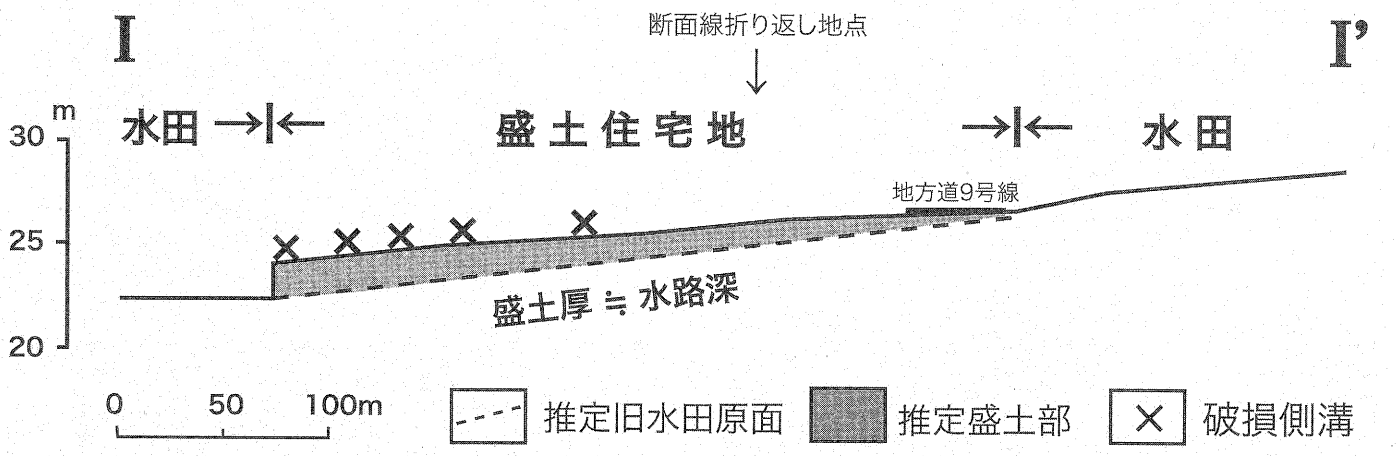
この住宅地の地盤は，もともと北西側へ約1.4/100傾斜する水田を盛土でならし，現在は0.7/100程度にした微傾斜地である（第11図）．水路は地形の最大傾斜方向に約250m間隔で４本設置されている（第９図）．水路はコンクリート製の三面張りで，外形は上流（南東）部で幅30×深さ20～30×厚さ5cm，下流（北西）部で幅35～55×深さ80～100×厚さ10cmと変わり，下流側で幅が広く深くなっている．この水路は開発前の水田の用排水路を利用したもので，幅は当初一間幅（約1.8m）であったものを狭めたが，深さはもとのままに現在の水路を設置したという．したがって，下流（北西）側の水路は深くなり，盛土も1m程度に厚くなる（第11図）．下流部の水路には，当時の外形が残されてい



第 10 図　中沢町の沖積盛土住宅地にみられた盛土の液状化痕と破損した水路

Fig.10　Liquefaction trace of embankment and braked ditches in the embanked residential area, Nakazawa town

A：盛土の液状化痕，B：盛土の押し出しで破損した水路，右側の更地は取り壊された住家跡，C：内側をコンクリートで補強された破損水路，水路の両側の更地は取り壊された住家跡，D：破損したフタのない道路脇の側溝（厚さ 10 ×幅 40 ×深さ 70cm）．



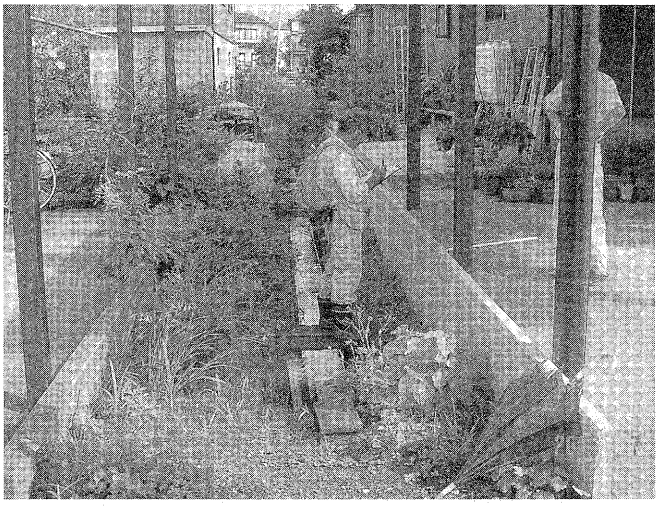
第 11 図　中沢町の沖積盛土住宅地の地形断面図と盛土厚の変化

Fig.11　Topographic section and change of embankment thickness in the embanked residential area, Nakazawa town

断面線 I-I' の位置は第 9 図参照．網部は推定盛土部．盛土部の下破線は旧水田原面．×印は破損した側溝の位置．

るものがあった（第 12 図）．ここでは，盛土を水路の縁からさらに 1m 近くかさ上げしたため，盛土厚は合わせて 2m 近くになった．この水路の脇の住家は築年数が新しいにもかかわらず，隣家とともに水路の凹地側へ押し出され，建て替えるまでに損壊したという．

この地域でも水路や深い側溝など盛土が押し出す凹地空間がない平坦な宅地では，被害は小さかった．また，水路や側溝の破損も，グレーチングやコンクリート製のフタがある場合には軽微であった．地盤の液状化は盛土の変位を助長したと考えられるが，住宅地全域に起こっているわけではなかった．これは地盤の傾斜（藤田 1983，1986 ほか）の差や盛土材の種類によるものであろう．



第12図　中沢町の沖積盛土住宅地に残るかつての水田の用排水路跡

Fig.12　Present topography and earthquake damage in "the valley of Wakakusa town"

宅地境界の塀に挟まれた箇所がかつての用排水路跡．中央人物の足下が現在の水路．右側が水路側へ押し出され建て直した住家（水路底面からの盛土厚は約2m）．

以上のことから，中沢町の沖積盛土の大規模開発住宅地では，被害要因として，下流部の厚い盛土地盤が地形的に低い方へ変位し，過剰な土圧の発生により，水路の側壁が押し出され，家屋や水路の損壊をもたらしたとことが考えられる．

まとめと今後の対策への提言

2004年新潟県中越地震直後の長岡市悠久山地域の調査で残された課題，すなわち，(1) 一般に地盤が良いといわれる段丘地で，なぜ被害が集中する地帯が生じたのか，(2) 沖積盛土の新興住宅地で，なぜ被害が偏在したのか，を明らかにするために補充調査を行った．調査結果は以下のようにまとめられる．

(1) 住宅地が集中する段丘地で，この面を三分する谷状凹地をあらたに確認した．被害はこの谷状凹地の谷底や斜面の盛土地に集中した．同じ谷でも平坦部では被害が軽微であるが，谷頭付近など傾斜地では被害の程度が大きかった．被害要因として，この谷状凹地を埋積した沖積泥質堆積物や盛土地盤が低い方へ変位したことが考えられる．

(2) 沖積低地の水田に盛土を施した大規模開発住宅地では被害は偏在し，とくに隣地との境界に設けられたかつての用排水路脇に集中していた．この住宅地の盛土地盤は北西側に0.7/100程度で傾斜している．盛土厚，水路の深さとも，下流側では約1mと大きいが，上流側では数10cmと小さい．被害は盛土が厚く深い水路の下流部に集中した．このような水路には一様にフタがなく凹地空間となっている．被害要因として，傾斜した地盤のため，地震時に過剰な土圧が水路の擁壁に発生し，盛土の押し出しに耐えられなかったことが考えられる．

大規模な宅地開発は今後ますます沖積低地へ向かうと思われる．沖積低地でも微傾斜地や，深い水路や側溝がある場合は，地震時に，地盤が地形的に低い凹地空間へ向けて変位しやすい．このような宅地地盤には，地震動による過剰な土圧の発生に耐えられる土留め擁壁や水路・側溝の側壁の耐力強化，地盤が押し出す凹地空間を塞ぐための鋼製・コンクリート製のフタなどの設置といった，地盤の変位を抑える対策が不可欠である．

今回の調査から，地震時の被害には足下の地盤地質・地形の差が敏感に反映されることがわかった．東京など大都市には盛土に埋積された谷地形が多数あると思われる．大規模開発地など地形が大きく改変される場合には，昔の地形図や空中写真を判読する以外に，かつての地形を読みとることは至難である．このことは防災・減災に向けて，地域の地盤地質・地形を一般市民に普及することがいかに重要かを教えてくれる．

謝辞　中越地震の被災者の皆様には心からお見舞い申し上げます．また，被災直後にもかかわらず，現地調査には多大な御協力をいただき感謝の意に耐えません．長岡市役所の土木部道路建設課，土木部下水道建設課，都市整備部都市開発課，教育委員会からは国土基本図のほか各種のボーリングデータを提供していただき，調査の便宜を図っていただきました．新潟県教育庁財務課，土木部都市局営繕課からも多大な御協力を賜りました．中沢町の家老　敏氏からは貴重なボーリングデータを提供していただきました．新潟支部中越地震調査団からは本論作成の基礎資料を提供していただきました．新潟支部の渡辺秀男会員からはボーリングデータの作図に際して御協力いただきました．新潟支部の高濱信行会員，安井賢会員からは地盤災害に関する専門的な御助言をいただきました．以上の方々に心から御礼を申し上げます．

文　献

地学団体研究会新潟支部中越地震調査団（2005）2004年新潟県中越地震－中越地震の被害と地盤－．地団研専報，54，123p.

藤田至則（1983）噴砂現象の規則性とその成因－日本海中部地震による秋田県若美町，秋田港における噴砂災害．新潟大学災害研究年報，5：53-70.

藤田至則（1986）傾斜する地下水面に起因する亀裂・噴砂・崩壊などの地震災害．地質学論集，27：95-108.

小林巖雄・立石雅昭・黒川勝己・吉村尚久・加藤碵一（1989）岡野町地域の地質．地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），地質調査所，110p.

小林巖雄・立石雅昭・吉岡敏和・島津光夫（1991）長岡地域の地質．地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），地質調査所，132p.

国土地理院（1991）1:25,000土地条件図「長岡」.

今井五郎・福江正治・足立勝治（2002）地盤地質学．コロナ社，東京，173p.

長岡の自然グループ（1973）長岡市東山山麓の第四系について．新潟県地学教育研究会誌，8：69-75.

新潟平野東縁団体研究グループ（1990）新潟県東山丘陵の地質（その1）．長岡市立博物館研究報告，25：1-11.

久保田喜裕・山崎興輔・飯川健勝・吉越正勝．2006．新潟県中越地震における長岡市悠久山地域の段丘および沖積低地の震害要因－谷状凹地と水路による被害規制－．地球科学，60，455-464.
KUBOTA Yoshihiro, YAMAZAKI Kosuke, IIKAWA Kensho and YOSHIKOSHI Masakatsu. 2006. Factors of earthquake damage in terrace and alluvial lowland areas of the Mid Niigata Prefecture Earthquake 2004 in the Yukyuzan area, Nagaoka city -Damage control by valley-shaped low grounds and ditches-. Earth Science (Chikyu Kagaku), 60, 455-464.

要　旨

2004年10月23日の新潟県中越地震において，長岡市悠久山地域の被害要因に関する疑問を解明するため，補充調査を行った．その結果，以下のことが判明した．(1) 一般に地盤が良いとされる段丘地でなぜ被害の集中域がみられたのか：住宅が集中する段丘面上にふたつの谷状凹地を確認したが，被害はこの谷状凹地の谷底や斜面の盛土地に集中した．とくに谷頭など，傾斜地の盛土部で顕著な被害がでた．被害要因として，この谷状凹地を埋積した沖積泥質堆積物や盛土が低い方へ変位したことが考えられる．(2) 沖積盛土の大規模住宅地でなぜ被害が偏在したのか：損壊家屋は隣地との境界に設けられた水路（かつての水田の用排水路）脇に多かった．宅地地盤は北西側に0.7/100程度傾斜しており，被害は盛土が厚く深い水路（約1m）がある下流部に集中した．このような水路には一様にフタがない凹地空間となっている．被害要因として，傾斜した地盤に地震時の過剰な土圧が発生したため，盛土が水路・側溝の凹地空間へ押し出し，家屋とともに変位したことが考えられる．

大規模な新興住宅地の開発は，今後ますます沖積低地へ向かうと思われる．沖積低地でも微傾斜地や，深い水路や側溝がある宅地地盤には，地震動による過剰な土圧の発生に耐えられる盛土の土留め擁壁や水路・側溝の側壁の耐力強化，グレーチングやコンクリート製のフタの設置といった，地盤の変位を抑える対策が不可欠である．