

(財)日本建設情報総合センター研究助成事業

(平成19年度)

河道改変履歴を用いた宅地の地震危険度評価に関する研究

報告書

平成21年3月

報告書目次

1. はじめに	3
2. 中越地震における高町団地の建物・地盤被害の分析	4
2.1 概要	4
2.2 高町団地の地震被害	4
2.3 宅地造成における切盛り分布の検証	9
2.4 地形改変と建物被害との相関分析	17
3. 中越地震における刈谷田川流域の建物被害の分析	19
3.1 概要	19
3.2 刈谷田川流域の詳細地質調査	19
3.3 刈谷田川流域の地質と建物被害	22
4. 中越沖地震における柏崎市の建物被害分析	30
4.1 建物被害の概要	30
4.2 建物被害の状況	32
4.3 松波・橋場地区の建物被害の分析	33
4.4 鯖石川流域の詳細地質調査	39
4.5 地形分類図と建物被害の相関分析	45
5. 中越沖地震における刈羽村の建物被害調査	48
5.1 概要	48
5.2 刈羽村の建物被害と地盤調査	48
5.3 建物被害の詳細調査	52
6. おわりに	55
様式3-2 研究成果の要約	56

1. はじめに

近年に発生した中越地震(H16), 中越沖地震(H19)ではGISによる災害アーカイブスの構築と防災対策への活用が精力的に行われている。しかし、これらは「事後対策」であり、地震発生後の災害支援活動を支える視覚ソフトとして用いられる現状である。今後期待されるGISの応用分野は災害の「事前予測」であり、災害危険度を事前に予測するシステムである。いわゆるハザードマップの作成であるが、近年の地震で明らかになったことは過去の地形改変履歴が災害と密接に関連することである。しかし、災害の発生モデルを構築するためには精緻な情報に基づく事例解析が不可欠であり、曖昧な過去の地形改変履歴と災害との相関をとる手法は危険度評価モデルとしては「定性的」であり、不十分である。本研究は地震発生後間もない中越沖地震における鯖石川流域の液状化と宅地被害との関係に着目し、被災地盤の地質構造および地盤特性を精緻な地盤調査により照査して、地形改変履歴の及ぼす液状化発生機構を明らかにするとともにGISによる宅地被害の分析を行うものである。地震被害の客観的データベースを提供するとともに、危険度評価モデルの構築を目指すものである。

中越沖地震では鯖石川の下流域にて大規模な液状化が発生し、堤防が沈下・側方変位するとともに多数の宅地が被災した。液状化被害は旧河道との相関関係が指摘されるが、その原因には(1)河道による砂質土の供給(自然地盤)と、(2)河道改変による旧河道の埋立て(人工地盤)が考えられる。人工地盤の液状化現象は被害が甚大であることから、(2)の視点は特に重要と思われるがこれまでほとんど認識されていない。本研究はボーリング(地盤堆積状況の確認)、コーン貫入試験(強度試験)、表面波探査試験(広域調査)により当該地区における地質構造を明らかにし、航空写真などによる「平面」情報に深度方向の「立体」情報を加えることにより、液状化発生機構を(1)、(2)の視点より科学的に解明する。これらの地盤分析と地震による宅地被害との相関関係をGISにより分析して河道改変履歴と宅地被害の相関関係を明らかにする。

中越沖地震の被害は地震直後から宅地の応急危険度判定を調べたが、被害の大きい地区を調査したものの、調査範囲が限定されることから柏崎市の実態被害の取りまとめデータの活用を計画していた。しかし、取りまとめ成果の公開にやや時間を要したために、研究機関を延長して取組むこととなった。しかし、平成21年3月現在で未だ未公開のため、本研究では応急危険度判定を基に研究を実施した。したがって、実態データが公開される時点で再調査を行う必要があるが、所有する資料を用いて可能な検討を実施した。研究機関が延長されたことから、調査対象を中越沖地震から中越地震に拡大して研究を実施した。中越地震における見附市の刈谷田川流域の事例は柏崎市における鯖石川流域と同様に河川の蛇行に伴う地形改変が自然発生的にも人工的にも行われており、貴重な事例を与えている。また、やや地盤構造は異なるが人工的な地形改変の例として長岡市高町団地の宅地造成に伴う被害について合わせて記載した。この研究は文部科学省の科学技術振興調整費(東京大学・小長井一男代表)による研究助成で行われた研究をベースとしているが、その後GISによる分析を継続して実施したものを含めて掲載した。また、中越沖地震における刈羽村の砂丘麓の建物被害についても合わせて被害調査結果を示すこととした。

2. 中越地震における高町団地の建物・地盤被害の分析

2.1 概要

新潟県中越地震では地盤変状に伴う建物被害が多数発生した。特に長岡市高町における宅地造成地では盛土を中心に地盤の変位や斜面崩壊が生じ、多くの建物が被災した。本研究は高町における地震被害の調査とその分析について報告する。近年、阪神大震災を契機に宅地造成基準が改正され、宅地盛土の耐震安全性を照査することになったが、危険斜面の絞込みが出来れば有用である。本研究は建物の被災要因を分析し、GISによる危険度評価手法の基礎的検討を目的とする。

2.2 高町団地の地震被害

新潟県中越地震において宅地造成地の被害は高町団地における被害が顕著であった。高町団地以外では、長岡市乙吉町（鶴ヶ丘団地）や、加茂市若宮町で被害が大きい。特に鶴ヶ丘団地では、盛土部で道路が最大 30m程度移動する被害が発生したが、特に谷埋め盛土の移動が顕著である。同地域は防災科学技術研究所により地すべり地形と判読されており、元より斜面移動の履歴があったほか、斜面下部に池があるなど、集水地形であり地下水位も高かったと考えられる。

高町団地は昭和 50 年代後半に長岡市の東縁丘陵に造成開発された。地質は砂質シルトの御山層であり、切土材を盛土に転用している。地震被害の分析を目的に、造成開発前後の地形情報より GIS

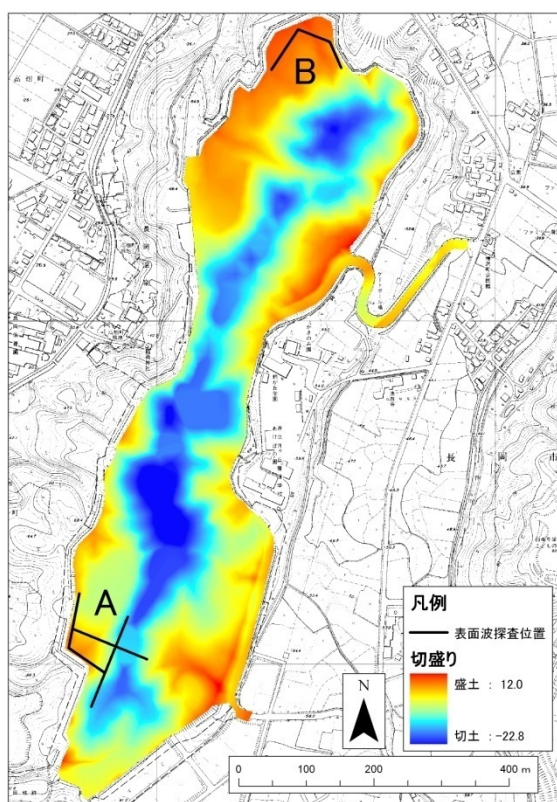


図 2.2.1 高町団地の切盛り分布推定図

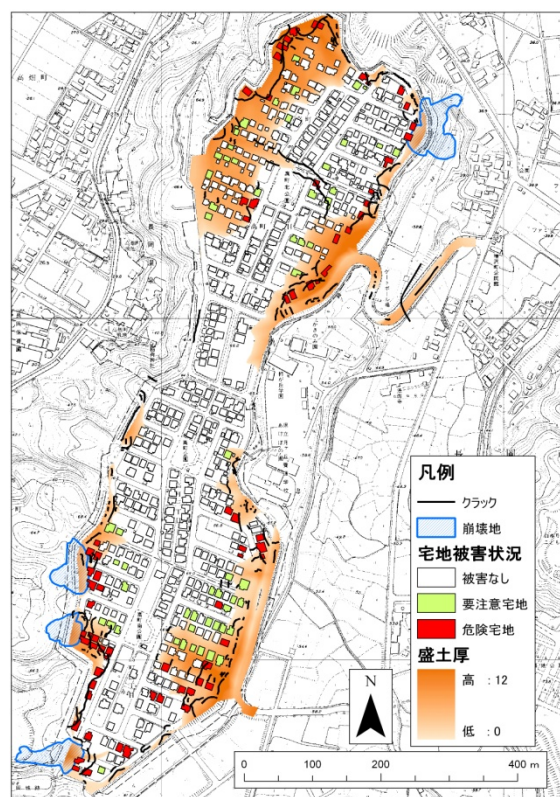


図 2.2.2 盛土と高町被害分布

を用いて切土及び盛土の厚さに関する推定図（図 2.2.1）を作成した。図の赤色部は盛土、青色部は切土を表している。中央部が切土されて、造成地周辺部に盛土が行われている。図 2.2.2 は盛土の分布と地震被害(地盤の亀裂，斜面崩壊，建物被害)の発生箇所を重ね合わせたものである。主な亀裂の約 70%，斜面崩壊地の全てが盛土部に発生している。建物被害も盛土近傍に集中することが分かる。

高町団地全域の被害状況平面図を図 2.2.3 に示す。図には高町の宅地造成地における地盤災害の状況を記載している。地震直後の調査結果を示すために、図に示す盛土境界線は、高町団地の標高 70m の等高線を推定切盛り境界としている。図には盛土外周部に存在する重力式擁壁が谷側に移動して、盛土部に变形被害が発生している様子が見られる。造成地のほぼ全周で擁壁の変状が見られるが、北部のアンカーが打設された擁壁では変状が見られない。この地点は地震以前より盛土の沈下被害があったために対策工としてアンカーが打設されていた。耐震安定を意図したものではないが、結果として擁壁の耐震安定性に寄与したと言える。しかし、この地点でも擁壁上部に安定勾配で作成された盛土は大きな変形を起こしており、建物被害を引き起こした。写真 2.2.1 は外周道路に現れた段差である。盛土の変形に伴い道路に大きな段差が現れた。高町団地は図 2.2.3 に示すように団地を囲うように周回道路が設置されており、地盤の大きな変形は宅地地盤ではなく周回道路部で発生して、建物への直接被害を免れた。周回道路より盛土のり肩部に位置する建物は例外なく大きな被害を受けている。写真 2.2.2 および 2.2.3 に盛土の変形による建物基礎の損壊事例を示す。中越地震は 1995 年の阪神大震災以降のはじめて震度 7（レベル 2 地震動）を記録した地震である。阪神大震災の折には建物の倒壊により人命を失う事例が多かったが、中越地震では写真に見られるように建物は比較的安全であったのに対して、建物を支える地盤の変形によって建物基礎が被害を受ける事例が多数発生した。この被害形態は中越地震における大きな特徴であり、地震後の復興や再建上の大きな課題となった。



写真 2.2.1 高町団地周回道路の段差被害（(株) 福田組提供）

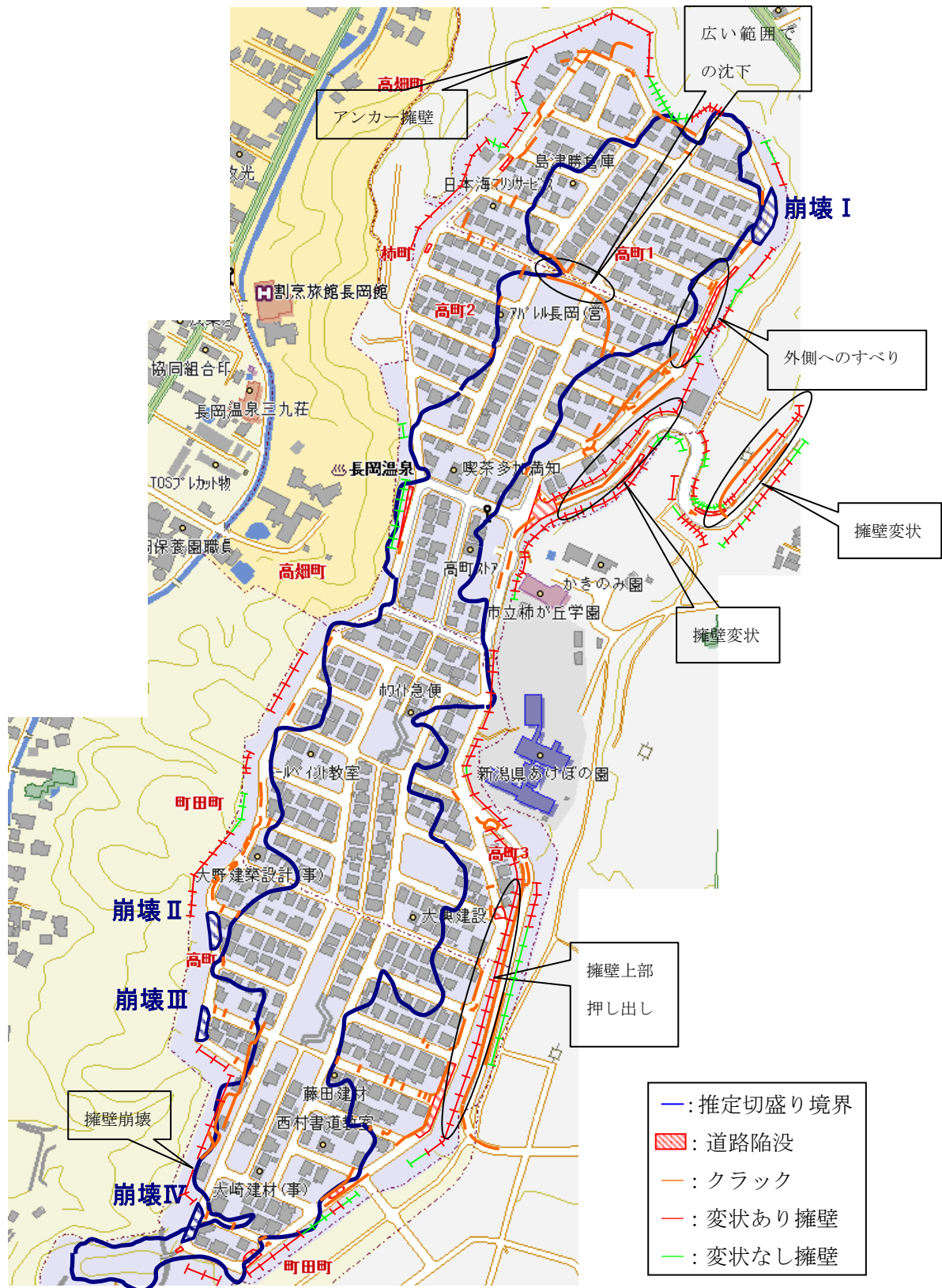


図 2.2.3 盛土と高町被害分布



写真 2. 2. 2 盛土の崩壊による建物基礎の被害 ((株) 福田組提供)



写真 2. 2. 3 盛土の崩壊による建物基礎の被害 ((株) 福田組提供)

また、盛土斜面では4箇所で大きな斜面の崩壊が発生した。写真2.2.4～2.2.6は崩壊事例の様子を示している。斜面崩壊地点は地山が比較的急傾斜面の腹付け盛土、または地山が谷地形を形成している箇所における谷埋め盛土である。特に谷埋め盛土は集水地形であり、盛土内の地下水位の高いこ



写真 2.2.4 盛土の崩壊 ((株) 興和提供)



写真 2.2.5 盛土の崩壊 ((株) 興和提供)



写真 2.2.6 盛土の崩壊（(株) 興和提供）

とが崩壊に大きな影響を及ぼしたと考えられる。中越地震の3日前には台風23号による豪雨があり、長岡市において日雨量100mmが記録されている。

2.3 宅地造成における切盛り分布の検証

図 2.2.2 に示すように地震被害と造成地開発に伴う盛土の分布は相関の高いことから、宅地造成地の開発に伴う切盛り分布の検討を行う。まず造成地開発時の申請における「造成計画平面図 1/1000」（図 2.3.1）を用いて等高線・基準点を読み取り、計画目標である標高 70m を基準に切盛り分布を推測した。しかし、切盛り分布の推測は精度に問題があると思われることから、図 2.2.1 に示す A 測線および B 測線において表面波探査調査を実施した。詳細位置は図 2.3.2 に測線を示す。この調査では人工的に振動を与えて、S 波の伝達速度から地盤の S 波速度分布を推測する。S 波の伝達速度は地盤の堅さと相関のあることから、地盤における切盛り分布を推定することが可能である。本研究では両者のクロスチェックにより切盛り分布の推測精度を検討した。表面波探査と平行して、図 2.3.2 に示す地点においてボーリング調査を実施して、切盛り境界面をオールコア・ボーリングコア試料から決定して、切盛り境界の S 波速度の閾値を 160 ~170m/s に設定した。

図 2.3.3~2.3.5 に A, B 測線における表面波探査結果を示す。図には測線断面における S 波速度の分布を示し、切盛り境界値を推測して示している。同図には造成計画平面図より作成した切盛り分布を示すが、S 波速度分布による推測と良く一致した結果を示している。しかし、測線 B-1 では切盛り境界位置が 2m ほど上下に異なる結果が得られ、造成計画平面図より作成した切盛り分布の精度に疑問が残る結果となった。

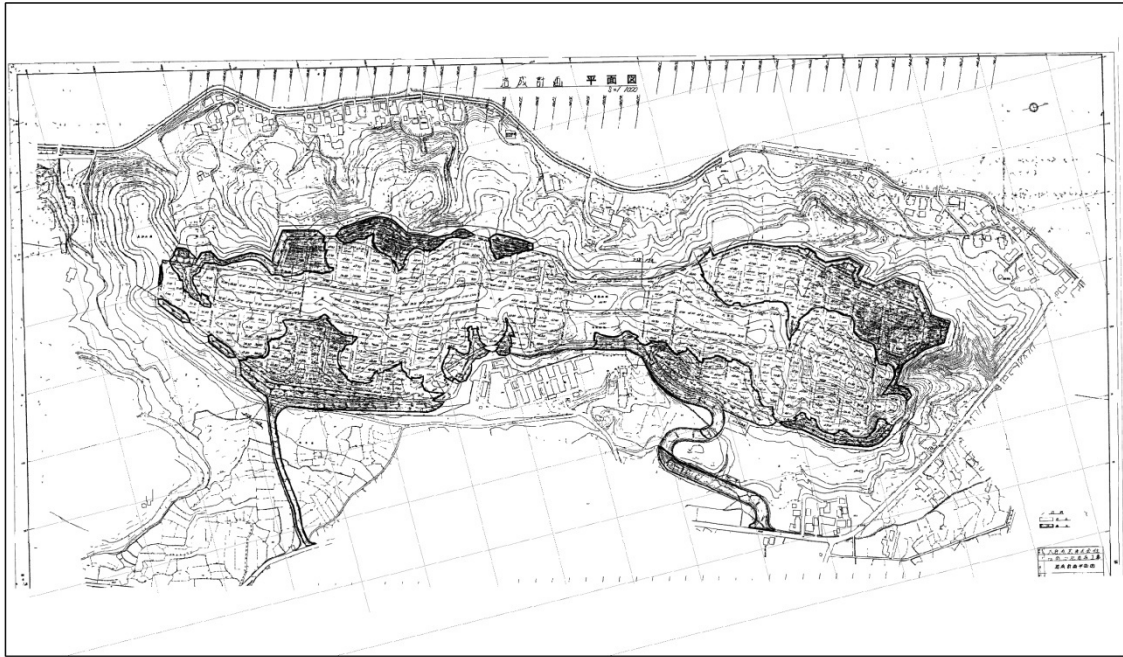
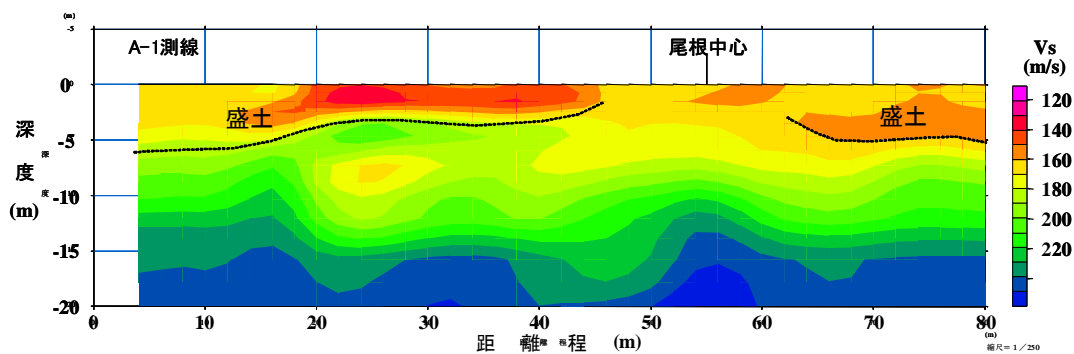


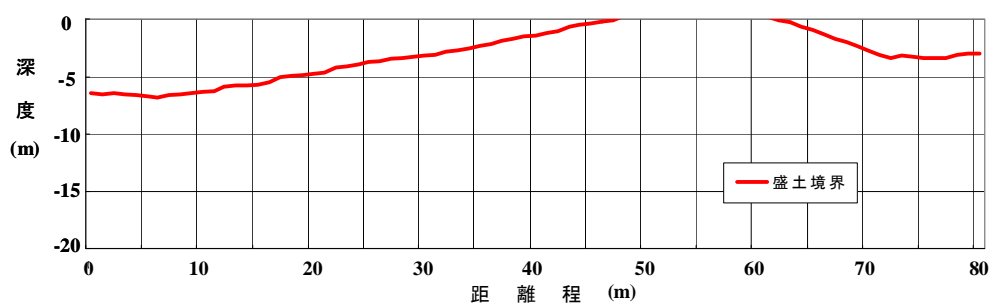
図 2.3.1 造成地開発計画平面図 1/1,000 (長岡市役所)



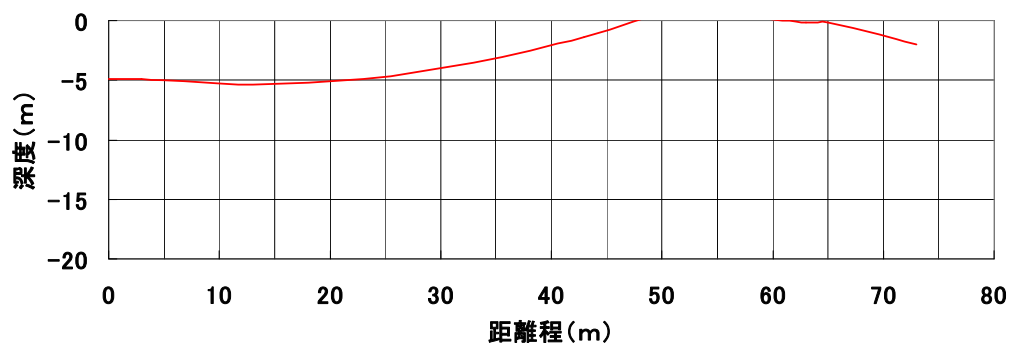
図 2.3.2 表面波探査試験 (A, B 測線)



(A) S波速度分布と推測切盛り分布

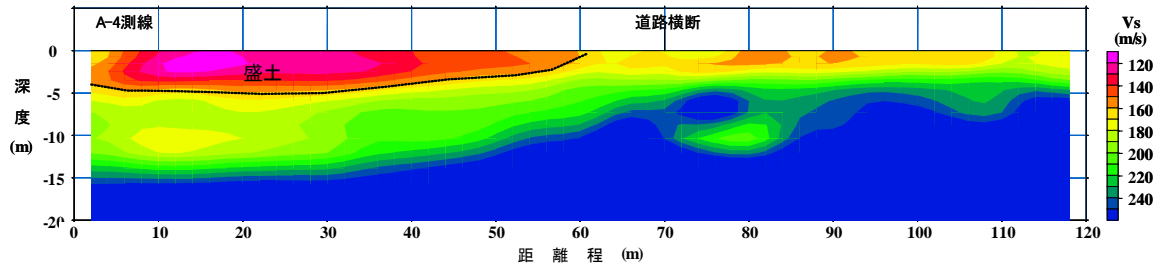


(B) 造成計画平面図による推測切盛り分布

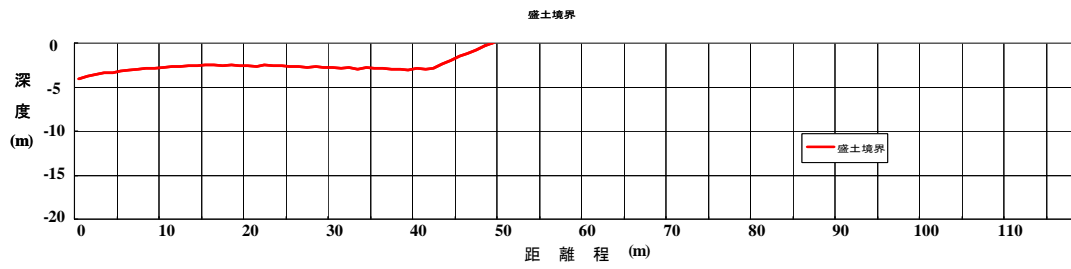


(C) 写真測量による推測切盛り分布

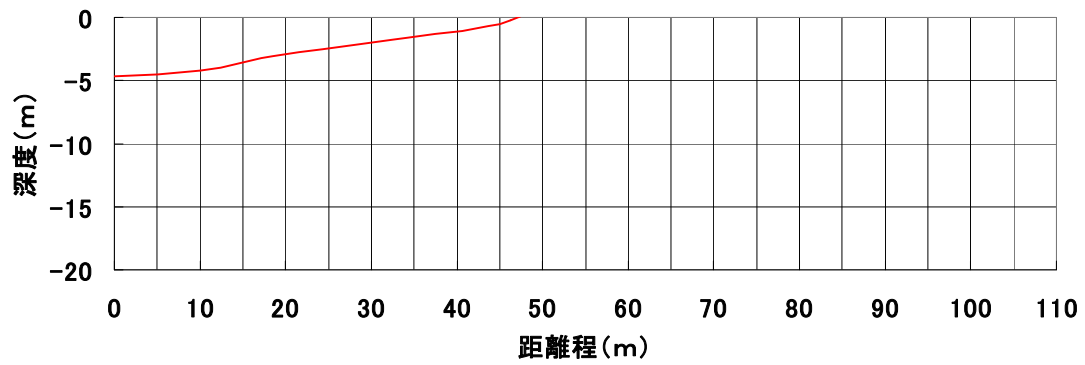
図 2.3.3 表面波探査試験 (A-1 測線)



(A) S波速度分布と推測切盛り分布

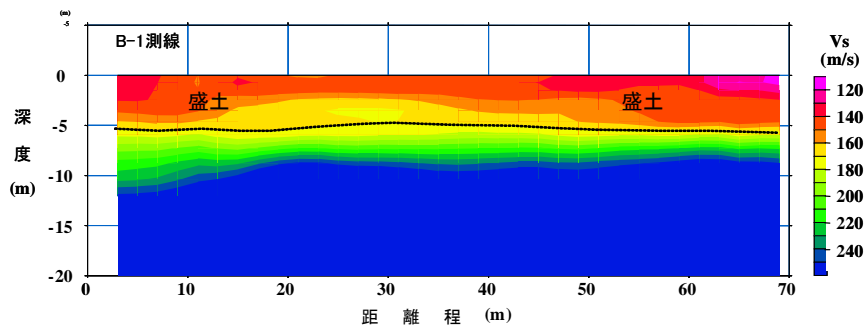


(B) 造成計画平面図による推測切盛り分布

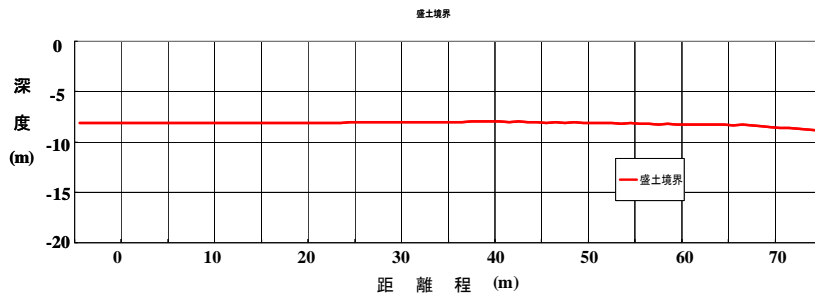


(C) 写真測量による推測切盛り分布

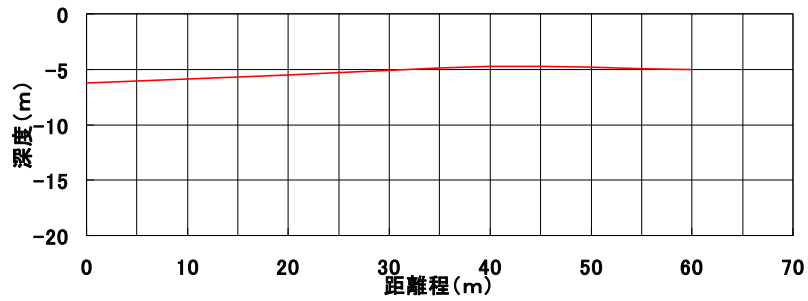
図 2.3.4 表面波探査試験 (A-4 測線)



(A) S波速度分布と推測切盛り分布



(B) 造成計画平面図による推測切盛り分布



(C) 写真測量による推測切盛り分布

図 2.3.5 表面波探査試験 (B-1 測線)

次に、宅地造成前後の空中写真(写真 2.3.1)より作成した2mメッシュの数値地形モデルを図 2.3.6 (地図情報レベル 1/2,500) に示す。空中写真は国土地理院により 1975 年に撮影されたものを造成前の写真として利用, 1989 年に撮影されたものを造成後の写真として利用した。データ作成は朝日航洋(株)による。

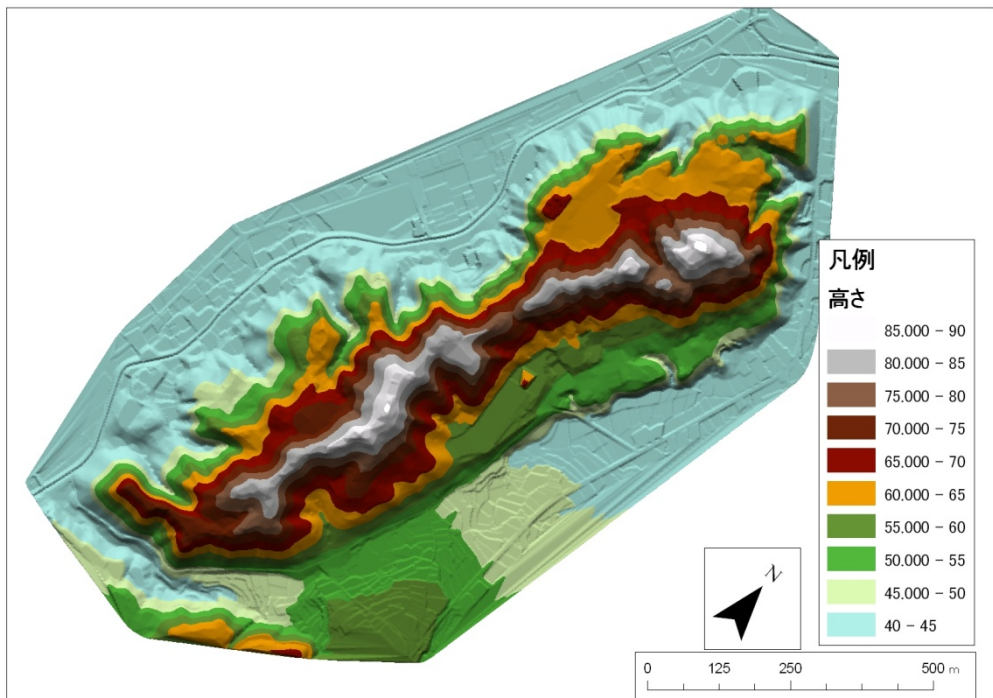


(A) 空中写真 (国土地理院, 1975 年)

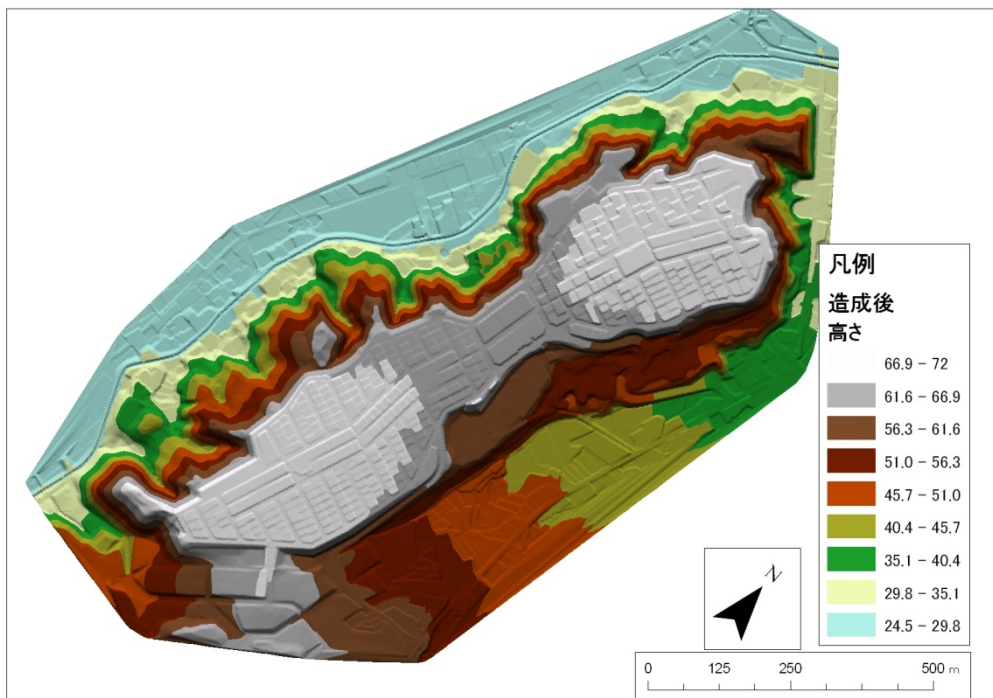


(B) 空中写真 (国土地理院, 1989 年)

写真 2.3.1 高町団地の空中写真



(A) 造成前の標高データ



(B) 造成後の標高データ

図 2.3.6 高町団地の標高データ

図 2.3.3～2.3.5 に A, B 測線における表面波探査結果と空中写真を基に作成した切盛り分布を示す。空中写真の場合には測線 B-1 においても、表面波探査による切盛り分布予測図と良い一致が確認され、空中写真及び表面波探査によるクロスチェックが機能した。これより、両者の精度が確認され、いずれの方法も比較的精度良く宅地造成に伴う地形改変を精度良く推測できることが明らかとなった。空中写真より作成した切盛り分布と建物被害および地盤亀裂との相関を図 2.3.7 に示している。

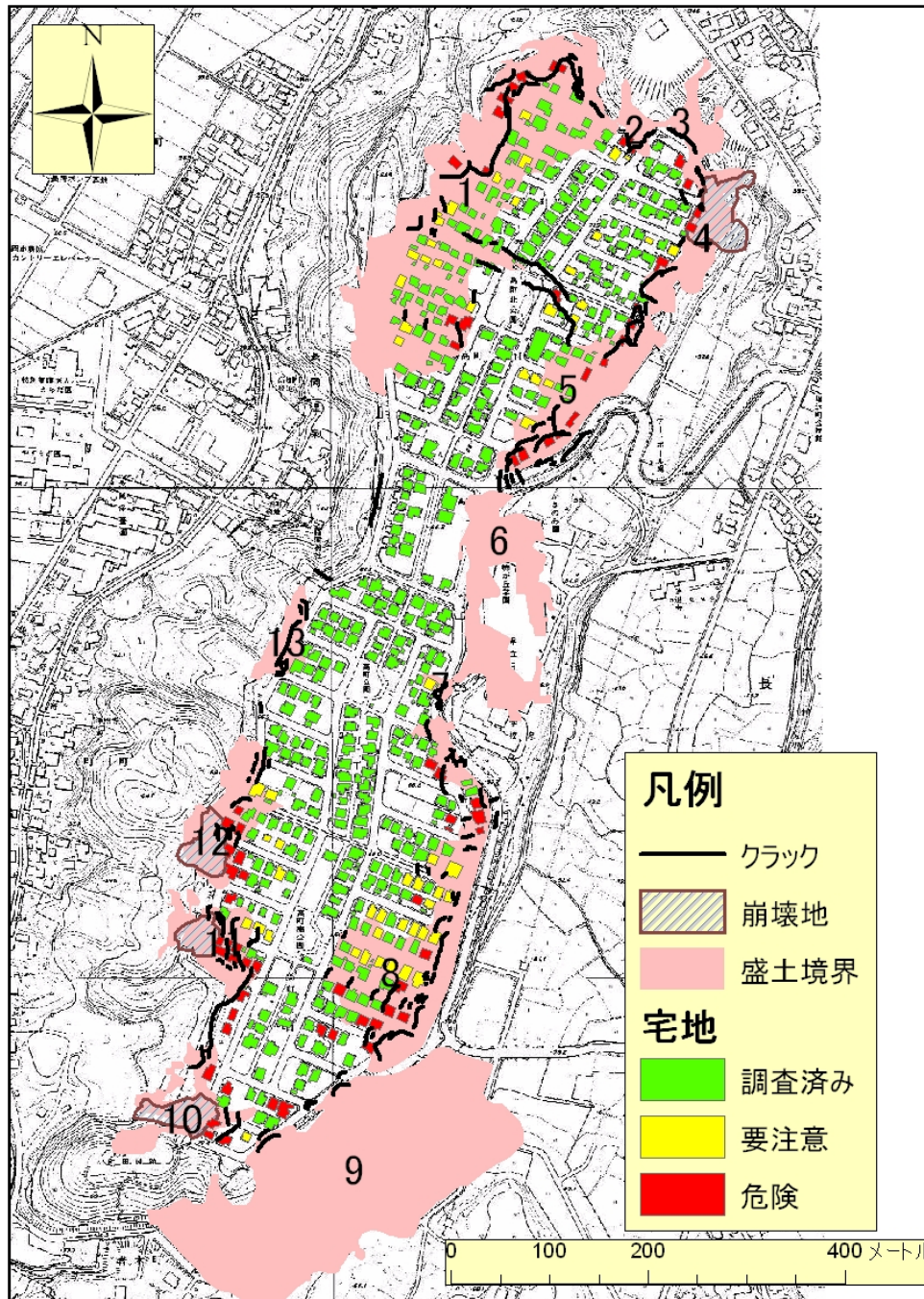


図 2.3.7 空中写真による切盛り分布判定と建物被害・地盤亀裂

2.4 地形改変と建物被害との相関分析

建物被害に関して図 2.4.1 に切盛り厚（プラスは盛土厚，マイナスは切土高さを表す）と建物被害戸数（危険家屋と要注意家屋）との関係を示した．相対的に盛土部に多くの被害が見られるが，切盛り境界付近では切土部にも被害が多数発生している．図 2.4.2 には切盛り厚と地表面の亀裂発生地点の関係についても示した．亀裂は長さ 50cm に分割して 1 単位とカウントした．延長の長い亀裂は数単位とカウントし，それぞれの切盛り厚に関連付けている．図より地表面の亀裂は建物被害と同様に盛土部に多数発生するが，切盛り境界付近を中心に切土部にも発生していることが分かる．両図から建物被害と地表面の亀裂には高い相関関係が成立している．宅地造成地では盛土部における地震被害の危険性が指摘されているが，盛土の変位や崩壊に伴って切盛り境界付近における切土でも建物被害が発生することが分かる．

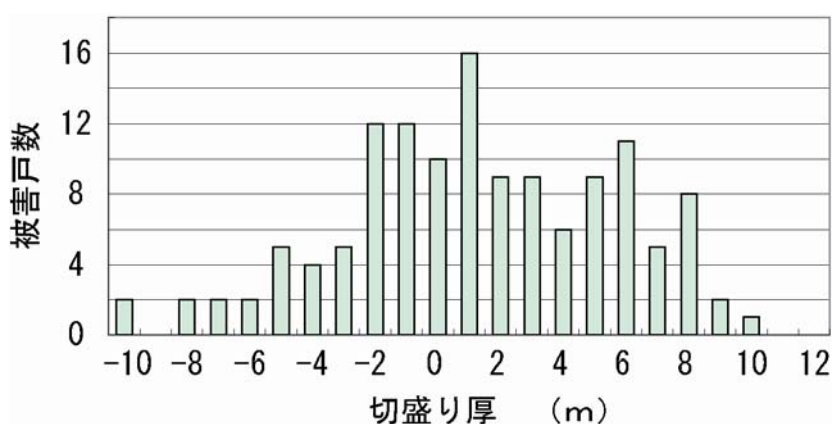


図 2.4.1 切盛り厚さと被害戸数の関係

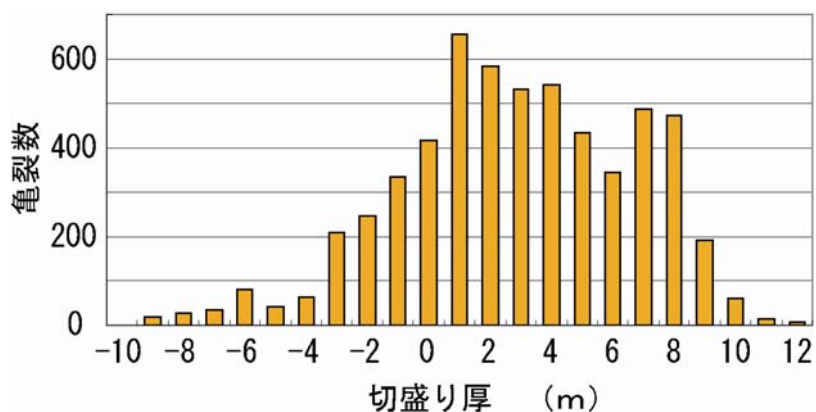


図 2.4.2 切盛り厚さと亀裂数の関係

害が発生することが分かる．

図 2.4.3 は建物被害と亀裂の相関関係を示す．家屋の被災率は高町全体の統計に対して，盛土部で約 2 倍，地表面の亀裂上に位置する場合に約 3 倍の高い結果となった．地震後の現地調査から高町団地では地震動による建物被害より，地盤変状（亀裂や不等沈下）による被害の大きいことが明らか

にされている。したがって、土地造成地における切盛り情報のほかに、亀裂や不等沈下の発生位置の推測が加われば宅地のより詳細な被害予測が可能である。

盛土の亀裂発生位置の分析を目的に、盛土の旧地形との関連について分析した。盛土主断面（谷筋に一致）の底面形状を凸型（山型）、直線型、凹型（船底型）の3つに分類し、主断面から左右5m以内の亀裂数を集計した。図2.4.4に亀裂の盛土相対位置： y/H （亀裂の法肩からの距離： y 、主断面の最大盛土厚： H ）と亀裂の発生割合の関係を示した。亀裂の発生割合は y/H を0.5刻みで集計して算出した。全体的に y/H が小さい（斜面法肩近傍）領域にて亀裂が多数発生するが、 $y/H=2$ 前後に発生する比率の高い傾向がある。盛土底面が凹形状、直線形状の場合は $y/H>3$ にて亀裂発生割合が少ないのに対して、凸形状の場合は $y/H=4$ 前後で比較的高い結果となった。原地盤の地形との相関関係と力学的検討については更なる検討が必要である。

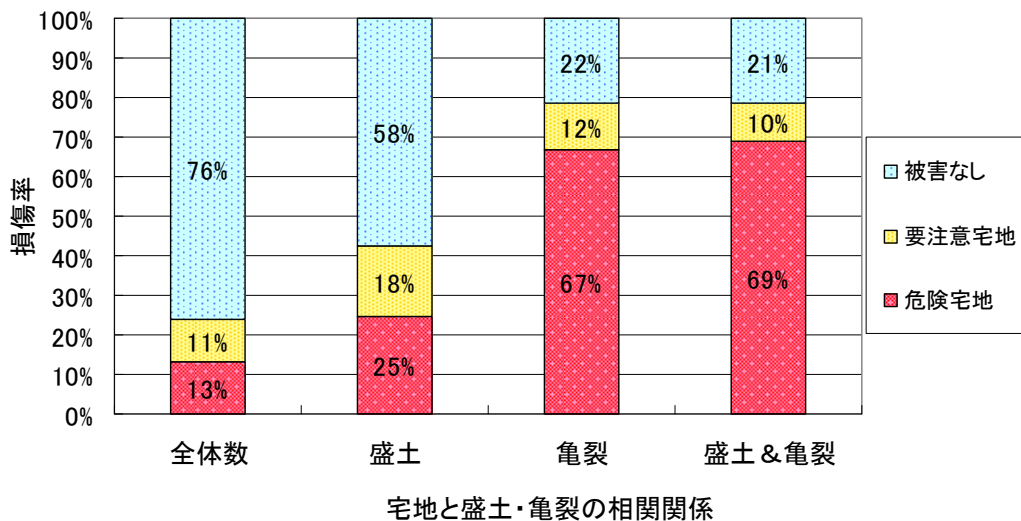


図 2.4.3 建物損傷率と切盛り，亀裂との相関関係

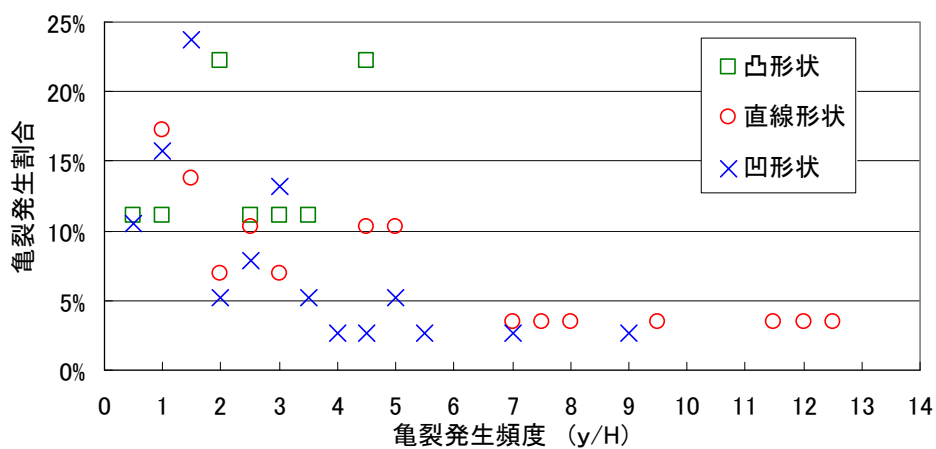


図 2.4.4 盛土形状による亀裂の発生状況

3. 中越地震における刈谷田川流域の建物被害の分析

3.1 概要

中越地震では震源地から 20km と比較的距離があるにもかかわらず、信濃川下流支川の刈谷田川流域で液状化に伴う建物被害が発生した。当該地区は信濃川の氾濫原に位置し、砂質土が広範囲に分布することから液状化が発生した。本研究では同地区を流れる信濃川の支川である刈谷田川に着目して微地形分類図を作成した。刈谷田川は繰返し氾濫による水害を起こすことで有名であり、中越地震の発生した同年にも 7 月に新潟・福島豪雨災害にて堤防の決壊が複数個所で発生して大きな被害を引き起こした。ここでは、刈谷田川が河道を繰返し変化させていることから、旧河道の及ぼす地震時の建物被害への影響を把握することを目的に、中越地震時に被害の大きかった刈谷田川流域の微地形分類図を（財）地域・地盤・環境研究所・井上直人氏、北田奈緒子氏の協力を得て作成した。



図 3.1.1 見付市内の液状化発生の様子（(株)興和提供）

3.2 刈谷田川流域の詳細地質調査

中越沖地震では鯖石川流域で甚大な建物被害の生じたことから、被害の原因を明確にするために当該地域の微地形や旧河道、ボーリングなどの地盤調査を用いて詳細地質を作成した。該当地域における河道の変遷をとりまとめるために、2万5千分の1地形図（明治44年（図3.2.1）、昭和6年、41年、55年、平成13年）を用いた。図3.2.2は地形分類図を示す。過去に発行された旧地形図を収集し、河道に大きな変化がみられた年の旧地形図を用いて河道のトレースを行うと共に、空中写

真から土地利用の変遷について考慮した。その他に、河川勾配や微地形等から流域の堆積環境を推定した。また、データ数は少ないが、ボーリングデータベースの情報から検証を行った。

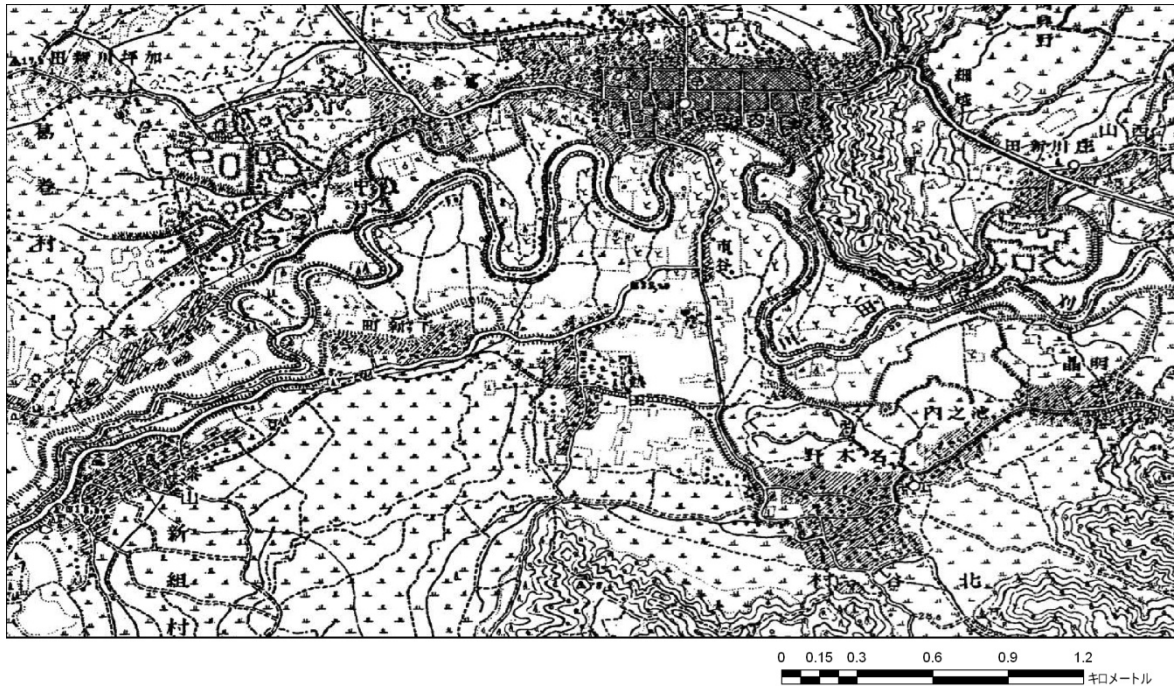


図 3.2.1 刈谷田川周辺の明治 45 年の地形図



図 3.2.2 刈谷田川周辺の地形分類図（「三条」）

図 3.2.3 に把握した全河道のトレースを示す。このトレース結果を最新の年代を除いて重ね合わせ、最新の河道を差し引き、図 3.2.4 の旧河道データを作成した。

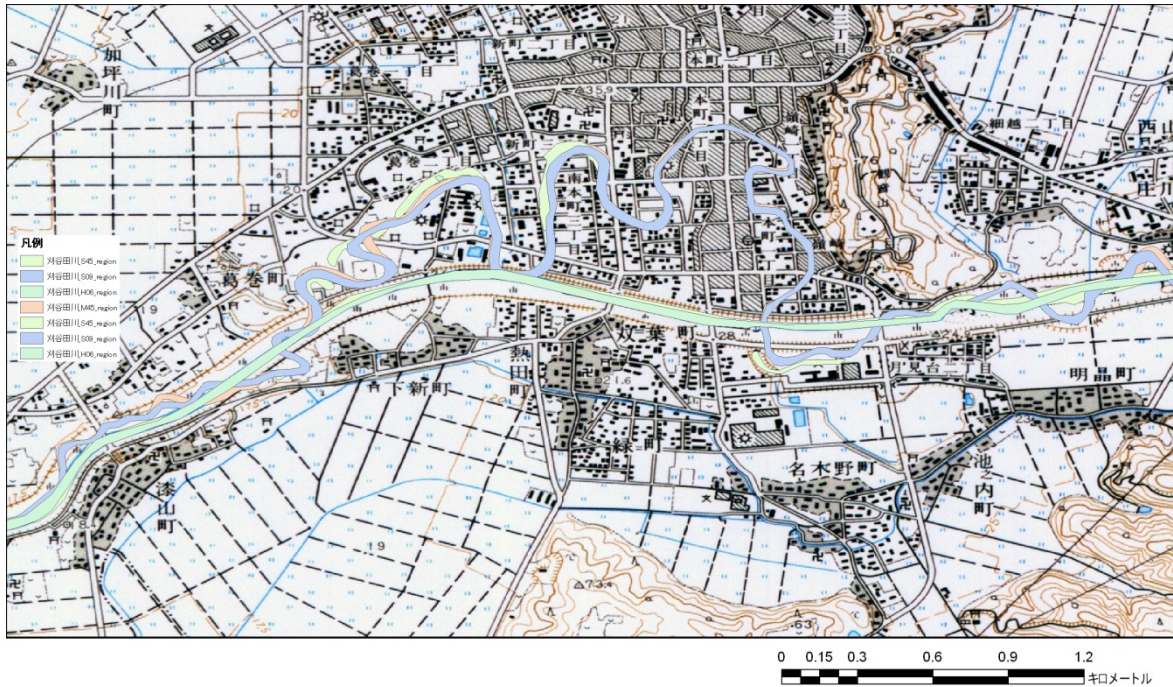


図 3.2.3 刈谷田川周辺の河道トレース結果

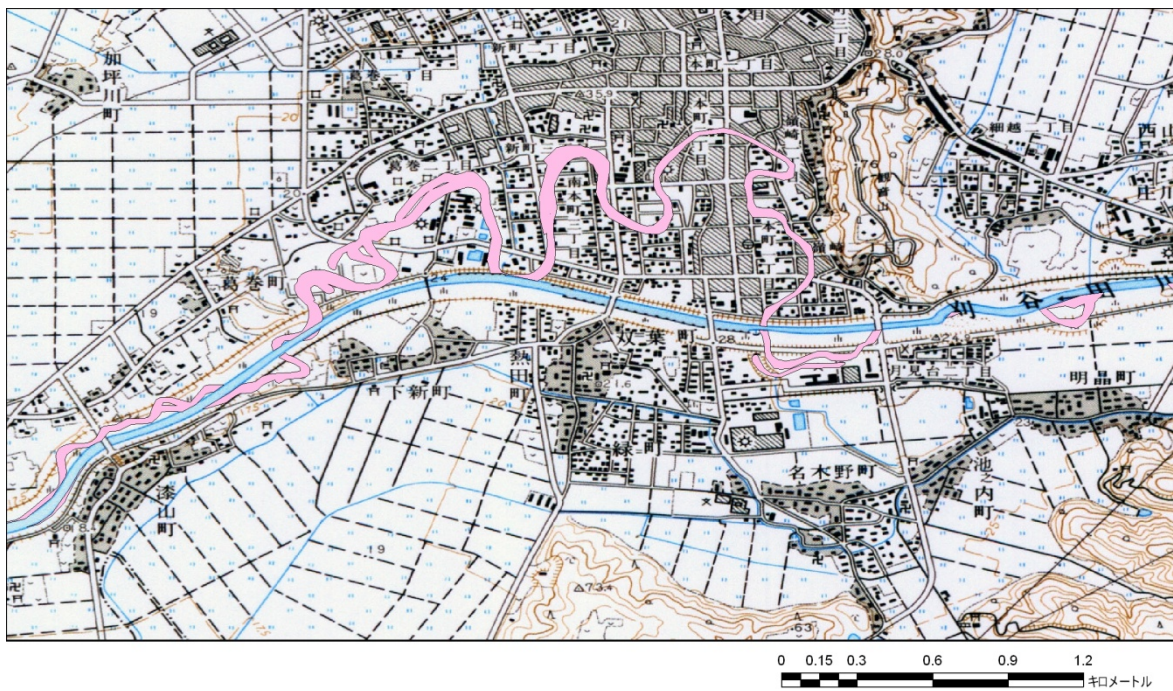


図 3.2.4 刈谷田川周辺の河道

河川は一般に河床勾配が 1/800 前後より小さいと蛇行するといわれている。同地区の刈谷田川の河床勾配は 1/1300 であり、**図 3.2.4**に見られるように旧河道は大きく蛇行している。頻繁に河川流路が変化するエリアを一般に河川敷と言う。刈谷田川の場合には自然堤防の発達状況から**図 3.2.5**のように設定される。同図に河川敷部を色付けして示すが、おおむね幅 1km 程度の流路幅を持つ特徴と、観音山付近で川幅が狭窄していることがわかる。河川敷の境界部には自然堤防があるが、この自然堤防に沿って、旧村落が発達している。堤防のさらに外側は後背低地であり、一般に水田などの農耕地として利用される。刈谷田川は河口から距離があるが、半固結の堆積岩中を流れ、観音山付近で狭窄するが、その下流からは、平野になり大きく蛇行している。刈谷田川の上流域(大田町付近)では、段丘堆積物として未固結の礫層などの分布する地域があるため、洪水時にはある程度礫などを含んだ洪水堆積物が分布する可能性がある。また、河川の特徴として、検討範囲の東側に見られる観音山付近で、岩盤が浅くなり狭窄部の形状が見られることから、これよりも東側で河川が閉塞して土粒子がトラップされる可能性が高い地形である。仮谷田川地域で見られる河川の蛇行は河川敷の範囲内でくりかえし、周辺には自然堤防を形成する。蛇行に伴って、河道が変化すると、部分的に表層部に有機質層や湿地状の三日月湖などが形成されやすい。

河川の屈曲が大きくなると、流速が遅くなり、洪水時に大量の土砂が屈曲の内側を中心に堆積される。これに伴い、河川の屈曲はますます大きくなるが、限界を超えると、河川が決壊し、より短いパスで下流に流れようとする。これにより、屈曲は回復するが、大きく屈曲した部分にチャンネル(溪谷)状の沼や湖が残ることがある。これを三日月湖という。鯖石川、刈谷田川の両者で見られる。三日月湖のような湖(沼)の堆積物は有機質なものが多く、一般に軟弱な地盤を形成する(**図 3.2.6**)

図 3.2.7に刈谷田川流域のボーリングデータ(ほくりく地盤 DB 協議会)を示すが、1~3 は低平地氾濫原である。4, 5 のボーリングは標高の表記がやや疑問であるが、5 と 6 ボーリングの境界付近が河道の狭窄部にあたる。15~27 は固結層中で河川が大きく屈曲する地域であり、ボーリング位置は屈曲の内側に位置する。屈曲に伴って河川の流速は大きく減速し、屈曲の内側では大幅に流速が減速するために礫を中心として粗粒層が厚く堆積する。6~14 は河川屈曲後の下流域で、観音山付近の狭窄部までの堆積物である。狭窄部までは、砂礫を中心とした堆積物からなり、多くの粗い堆積物はこの部分でトラップされると考えられる。

図 3.2.8に以上の考察に基づく刈谷田川流域の推定微地形分類図を示す。しかし、どのような堆積物が形成されるかについてはその時の河川の流量・流速や供給源など様々な要因により決定されるため一概にはいえない問題がある。堆積物・堆積環境や分布域の詳細な特定のためには河川近傍の詳細かつ高密度なボーリングデータ等で詳細に検討する必要がある。

3.3 刈谷田川流域の地質と建物被害

刈谷田川流域における中越地震の被害は坂東・齋藤・浦山(地学団体研究会, 専報 54, 103-112, 2005 年)に詳細に報告されている。**図 3.3.1**は旧河道と共に被害の状況をまとめたものである。彼らの調査によると、調査範囲の地盤を 2 種類に大別して、旧河道沿いの地域では地盤の液状化による

噴砂、地面の沈降、路面の波打ち、亀裂の発生と、それによる家屋等の傾斜、ビルの抜け上がりが報告されている。一方、旧河道から外れる地域では液状化による被害はほとんど見られない。一方、沖積層に厚い砂層を挟む地域では瓦屋根の被害が顕著であり、砂層を挟まず粘土層の厚い地域では被害が軽微となることが報告されている。

図 3.3.4 に本研究で作成した詳細微地質図・旧河道と坂東らによる建物の傾斜被害の分布との相関図を示す。図中の赤色の四角記号は建物傾斜被害箇所を示している。液状化の被害分布は必ずしも全体像を把握できないことから図示していない。しかし、坂東らの報告にあるように、液状化は旧河道沿いに発生しており、図 3.3.4 の旧河道位置を用いて液状化被害を予測することは十分可能である。蛇行した旧河道は河川改修で直線化が図られると共に旧河道の埋戻しが行われる。その折に砂質系地盤で埋め戻されると液状化被害の災害ポテンシャルが大きくなることが指摘される。旧河道沿いには砂質土による自然堤防や微高地が形成されるが必ずしも液状化していない。この原因として地下水高さなどの要因が考えられるので、今後同地区の標高データなども加味して更に検討する必要がある。坂東らの報告によると、特に、図中に示す破線の地域で液状化の激しいことが報告されている。また、

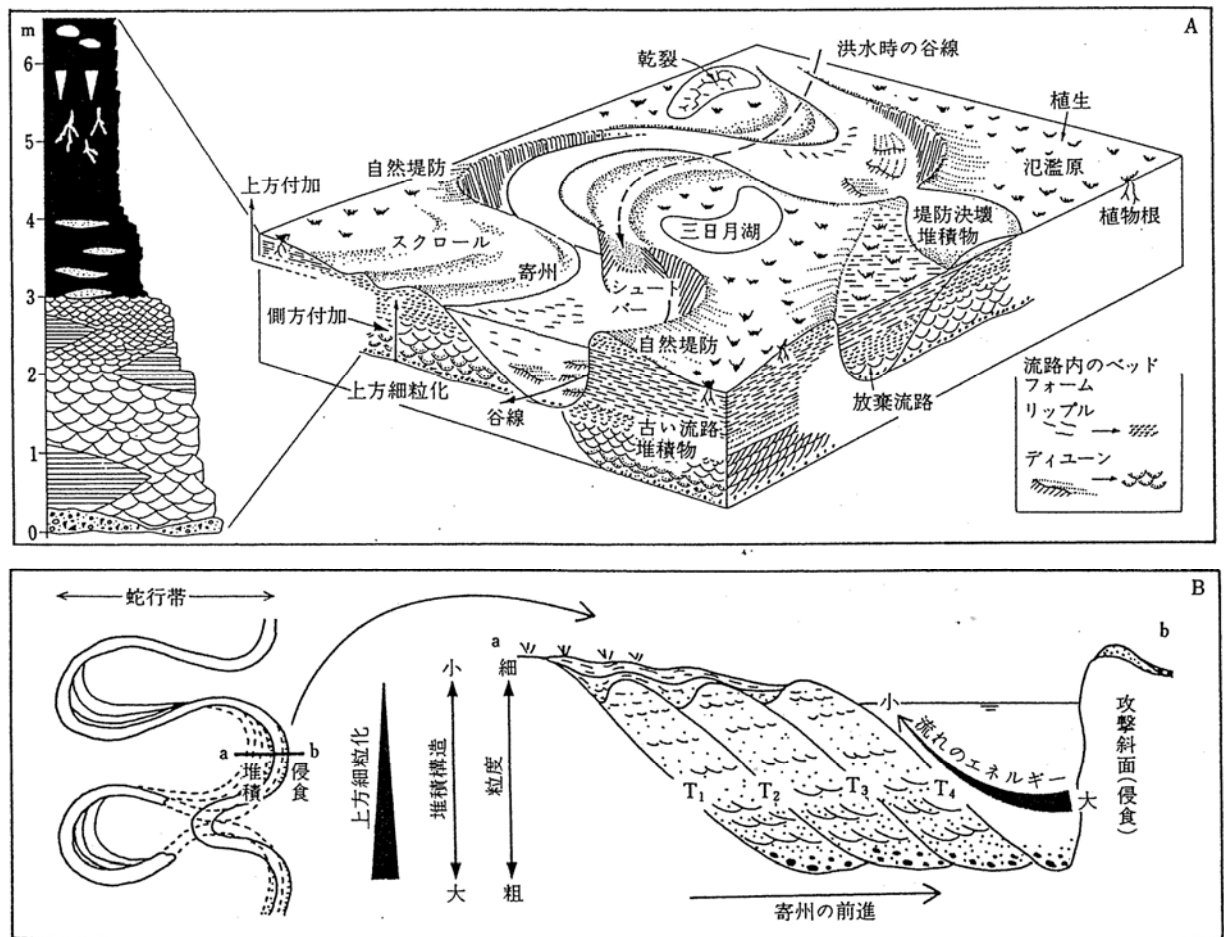


図 3.2.6 三日月湖の形成過程

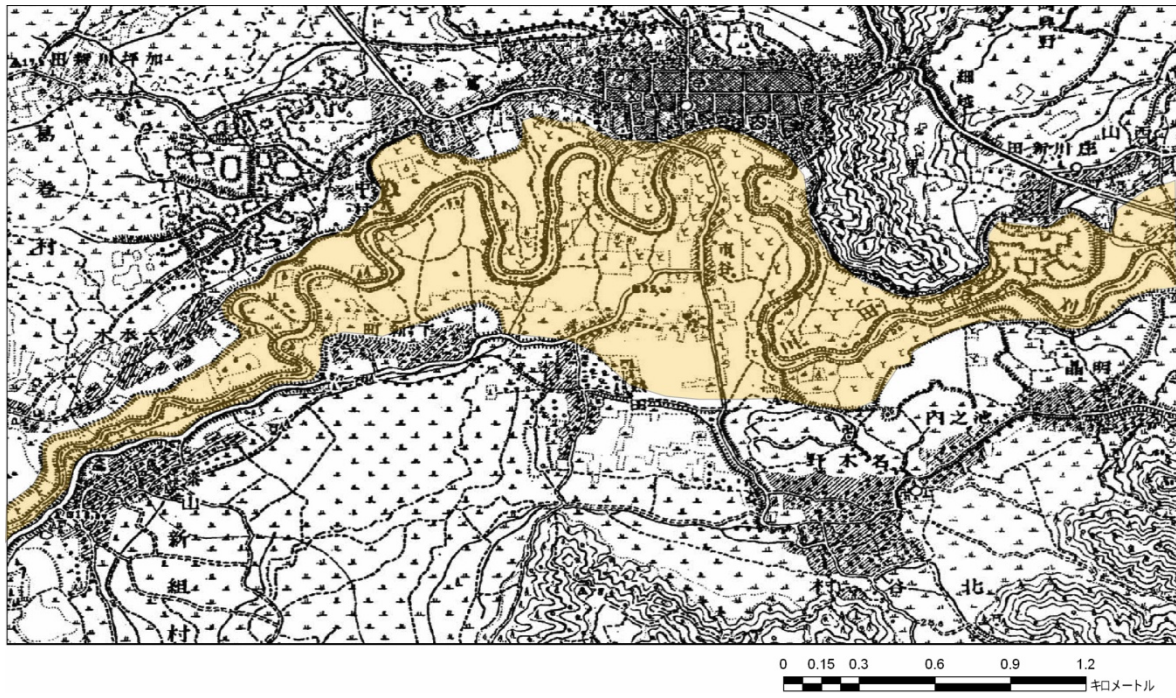


図 3.2.5 刈谷田川周辺の川幅（河川敷）

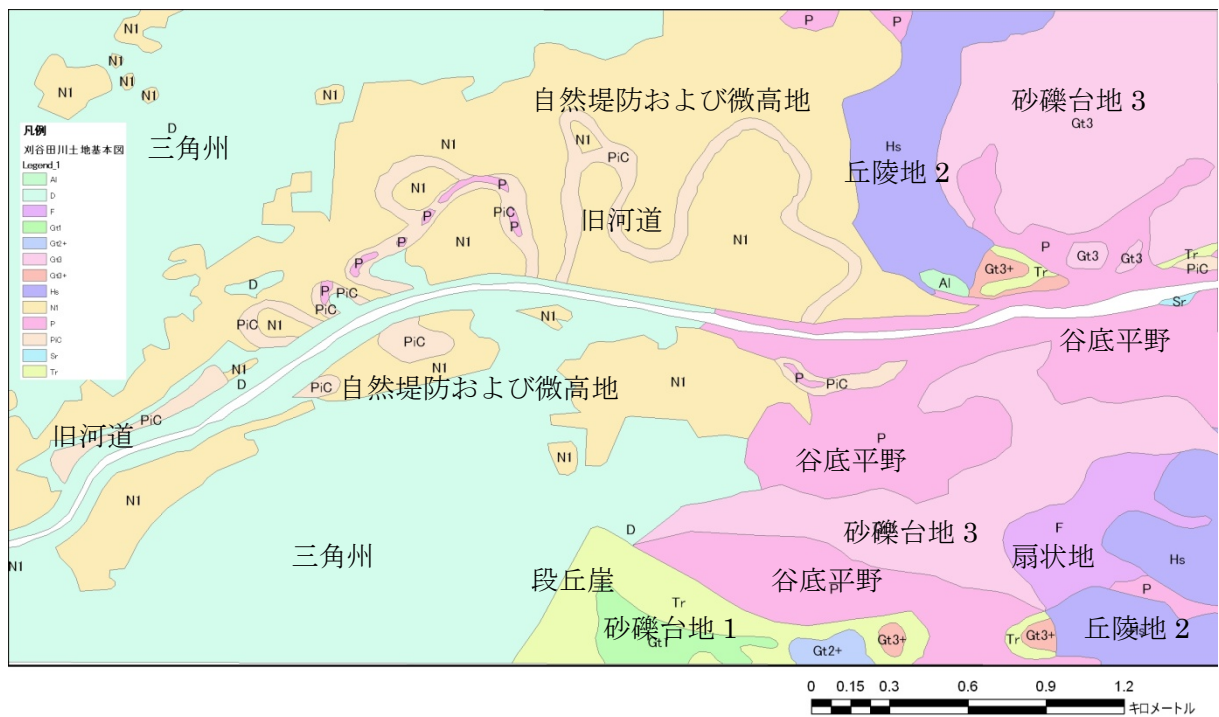


図 3.2.8 刈谷田川周辺の地形分類図

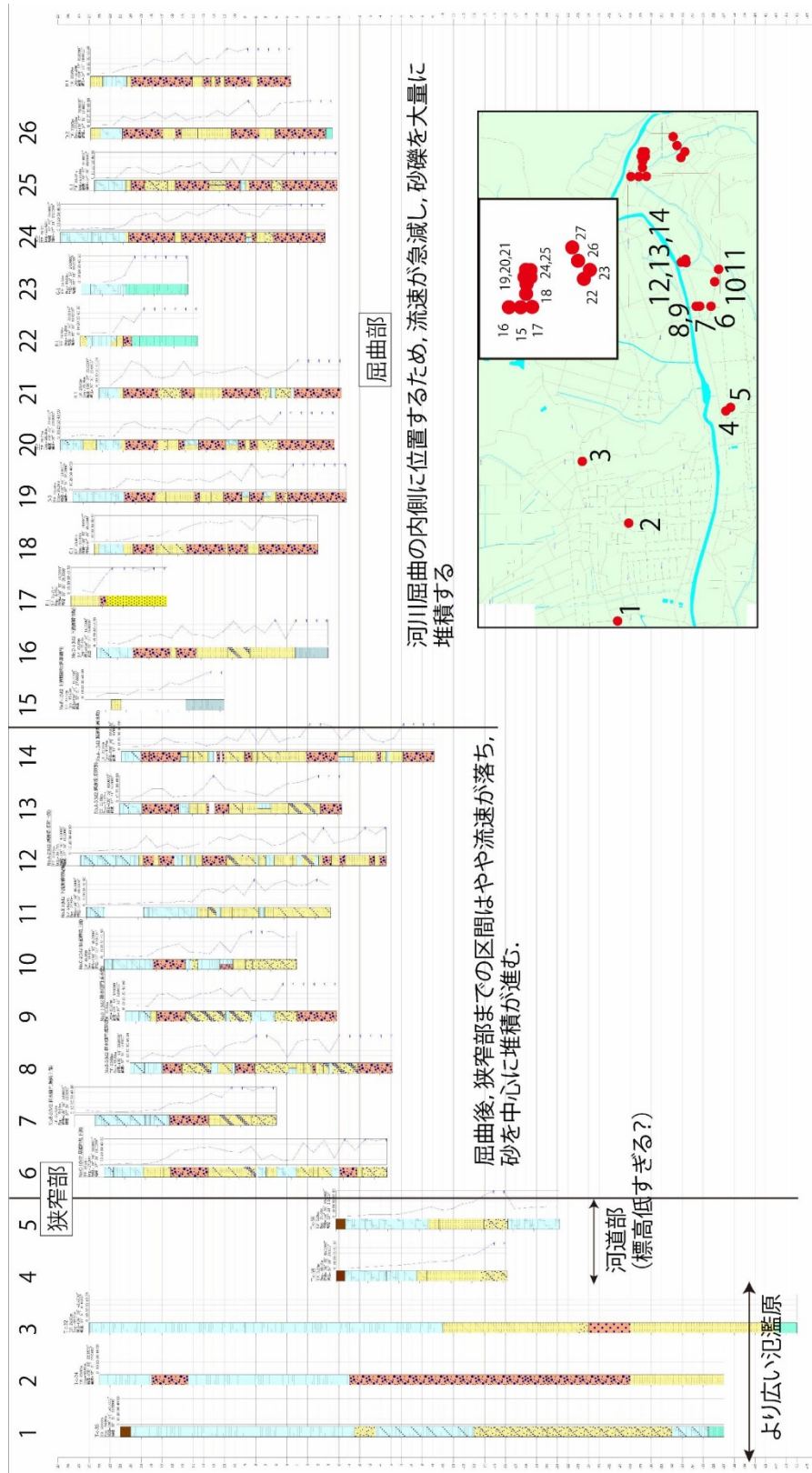


図 3.2.7 刈谷田川周辺のボーリングデータによる検討

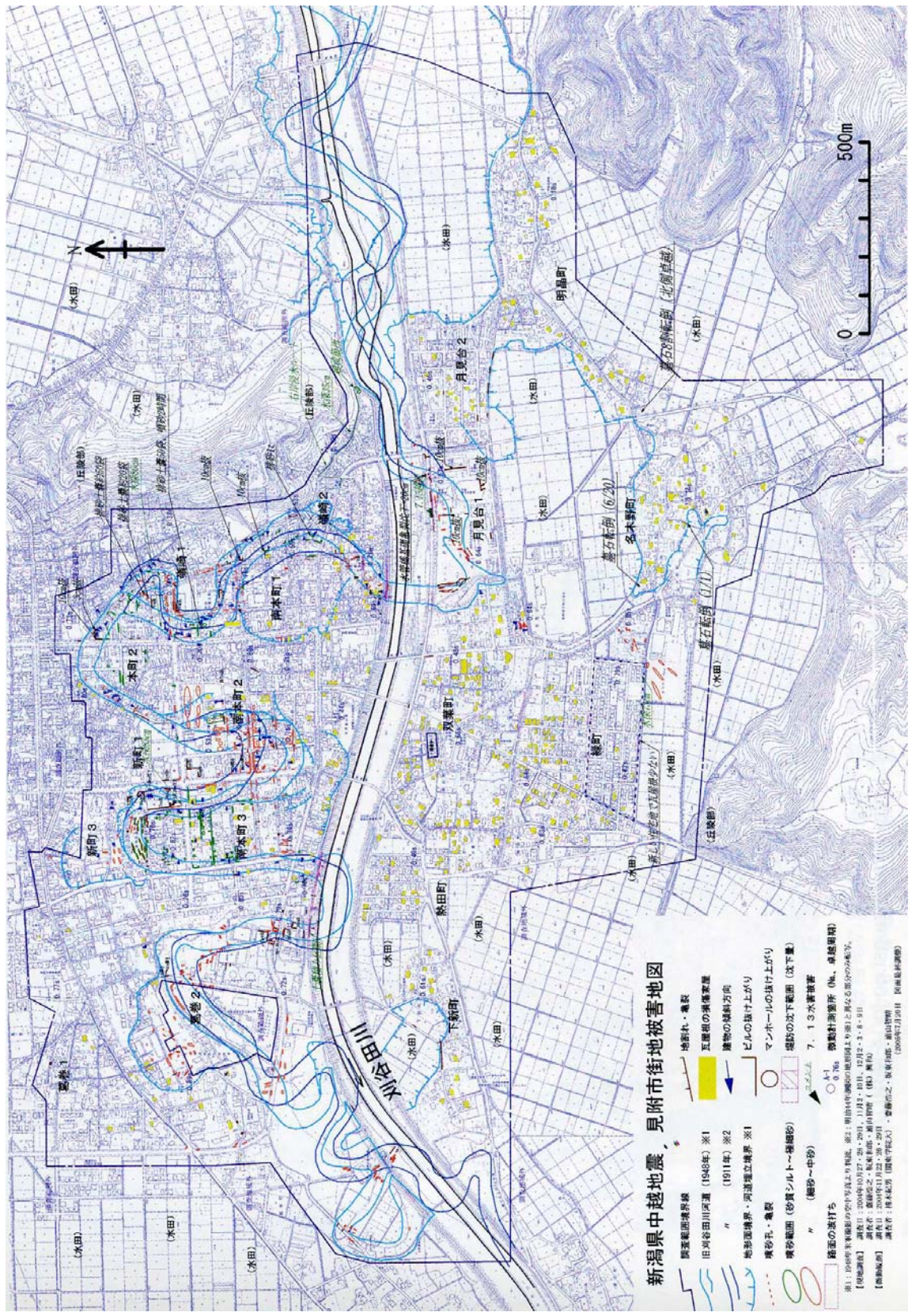


図 3.3.1 見附市の被害（建物・液状化発生状況）調査（坂東・齋藤・浦山，2005年）

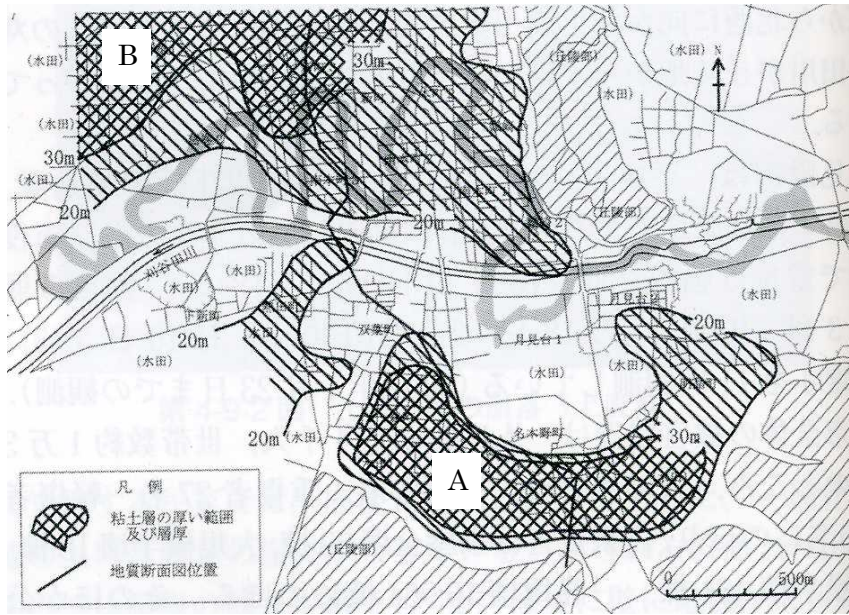


図 3.3.2 沖積砂層で粘土層の厚い地域推定図（坂東・齋藤・浦山，2005 年）

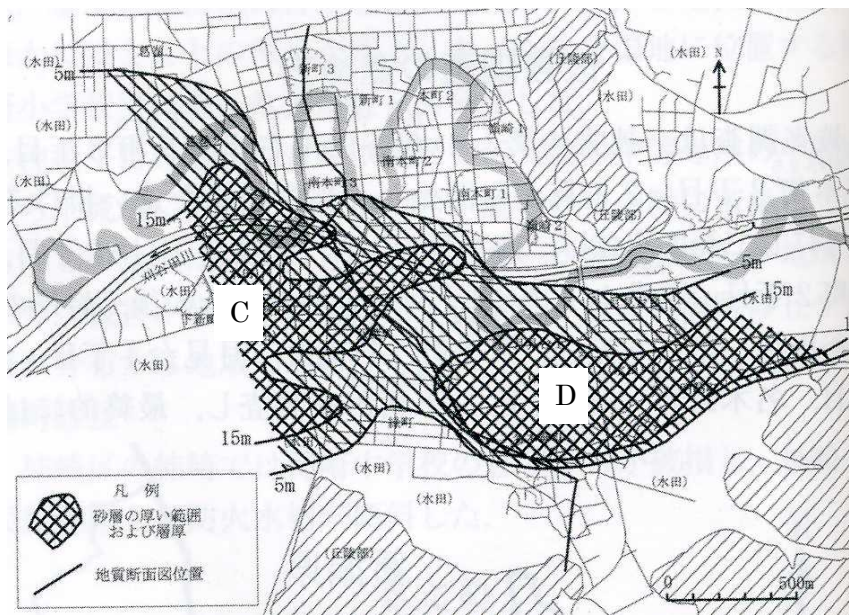


図 3.3.3 沖積砂層で砂層の厚い地域推定図（坂東・齋藤・浦山，2005 年）

地盤の液状化による噴砂は震度5強を記録した10月23日と震度5弱を記録した10月27日に発生し、震度5弱を記録した11月10日には発生していないことが興味深い。液状化による不同沈下によって建傾斜が多数発生したが、発生地点は旧河道とほぼ一致している。

図 3.3.5 に詳細微地質図・旧河道と瓦屋根被害の分布を示すが、坂東らによって沖積層で砂層が厚く堆積した箇所が発生し、沖積層でも粘土層が厚い地域では発生していないことが指摘されている。詳細微地質図を用いて検討すると、図 3.3.2（粘土層が卓越）では A 地点が谷底平野に分類にほぼ一

刈谷田川土地基本図

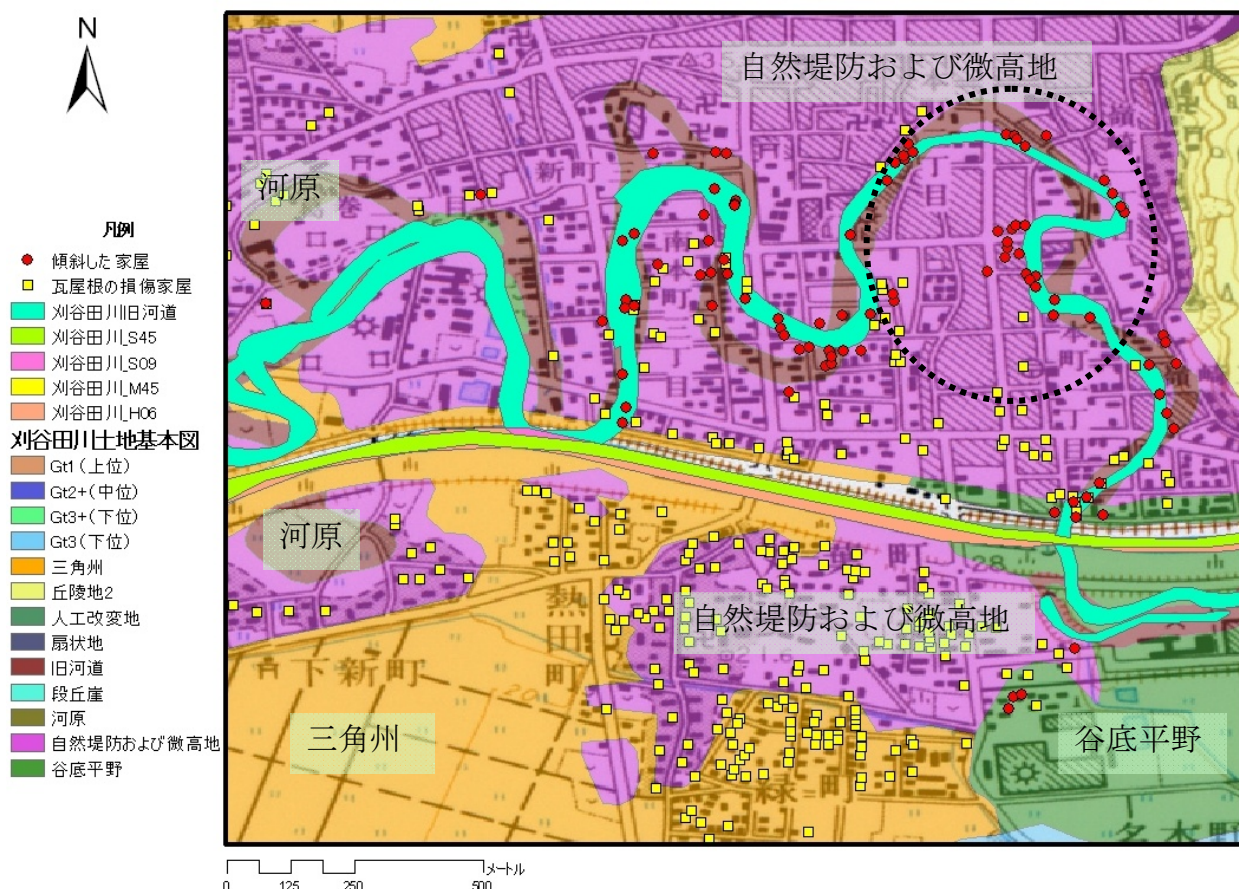


図 3.3.4 刈谷田川周辺の傾斜建物の分布

致する。谷底平野に分類される他地域においても瓦屋根被害は発生しておらず、対応関係が成立する。図 3.3.2 の B 地点は三角州に分類されるが、三角州に分類される対地域においても同様に瓦屋根被害が発生していないことが確認される。図 3.3.4 と図 3.3.5 の詳細微地形分類図は対象エリアが異なるが、地形分類と被害には一致した対応関係が見られる。しかし、三角州の場合に自然堤防との境界地域において瓦屋根被害が発生する傾向が見られるので注意が必要である。一方、図 3.3.3 (砂層が卓越) の C 地点は概ね自然堤防及び微高地に対応している。しかし、図 3.3.3 では砂層が卓越する地域の形状がやや不規則であり、西側地域の表示がないために微地形分類との対応関係は限定的である。瓦屋根被害の分布は必ずしも図 3.3.3 の砂層の厚い沖積層では説明できない地域がある一方で、建物が存在しない地域もあることから被害の有無で相関関係を明らかにできない。他方、図 3.3.4 と図 3.3.5 の詳細微地形分類図は土地利用形態も含めて比較的瓦屋根被害との相関が高く、堤防及び微高地に被害が多く、一部三角州との境界部に被害が発生する傾向が示されている。また、微地形分類図では旧河道沿いに川原の分類があるが、この地点では比較的粗粒な土質材料のためか周辺地域の被災に対して、液状化や瓦屋根被害が少ない傾向が見られる。また、図 3.3.3 の D 点は微地形分類図では

谷底平野及び砂礫台地3にあたる. 図 3.3.5 で確認できるように砂礫団地3では瓦屋根被害が広範囲に発生していることが確認され, 良い対応関係が見られる. しかし, 谷底平野では瓦屋根被害が少なく, 必ずしも砂層の厚い地域で被害が発生していない. 谷底平野は農地として利用されることから建物が少ないこともあるため, 直接被害との相関を明確にできない問題点が指摘される. 図 3.3.5 の北東部にも砂礫台地3が分布しているが, この地域は調査対象外のために被害状況は不明である.

刈谷田川土地基本図

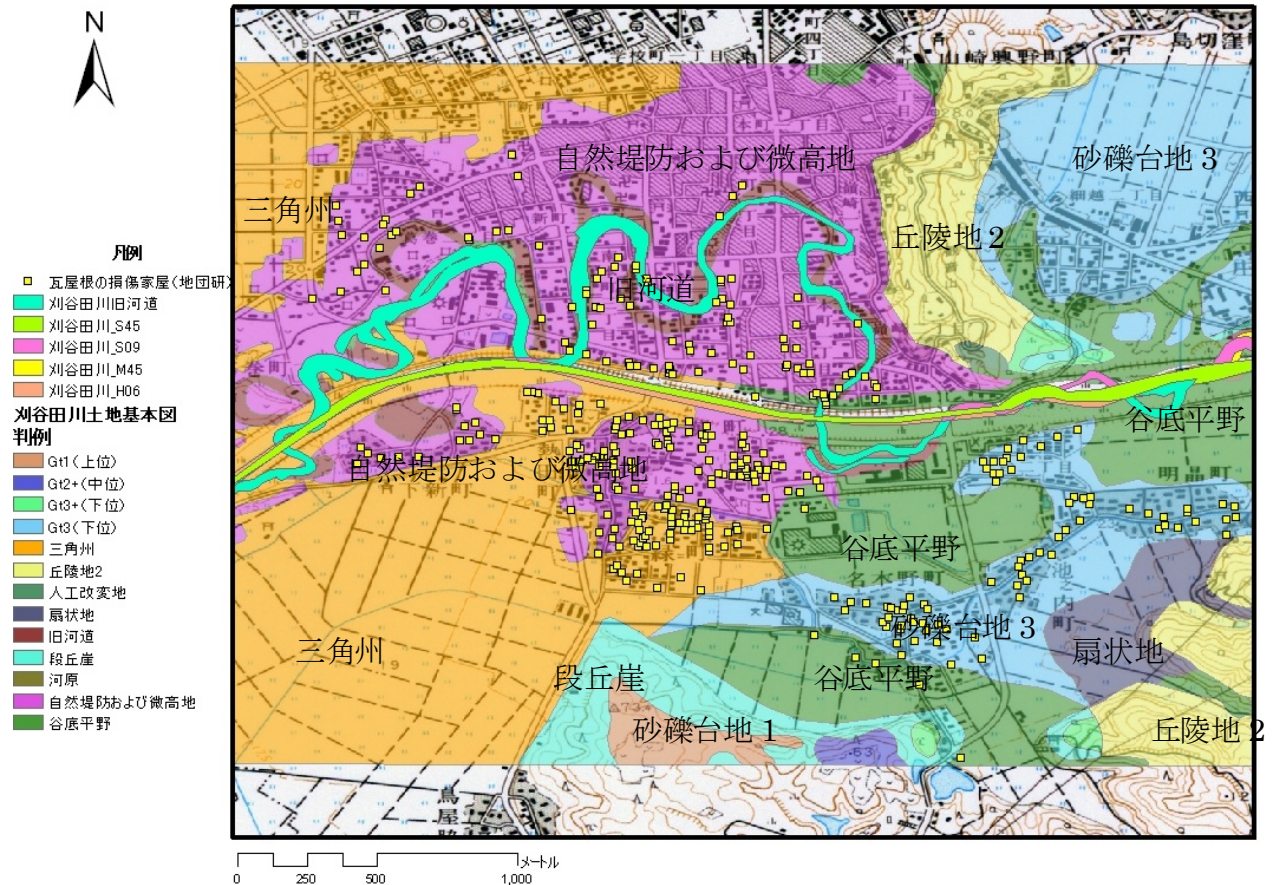


図 3.3.5 刈谷田川周辺の建物瓦屋根の被害分布

4. 中越沖地震における柏崎市の建物被害分析

4.1 建物被害の概要

柏崎市は海岸線沿いに砂丘が発達しており、内陸側に砂丘間低地が発達している。柏崎市は中越地震及び中越沖地震とたて続きに砂丘や三角州の埋め立て地盤にて液状化による建物被害が発生した。特に、鯖石川流域では両地震で繰り返し液状化被害が発生し、建物に甚大な被害を引き起こした。特に中越沖地震は震源地に近いこともあり、被害は中越地震を上回るものであった。柏崎市の地形や地質は日本側の沖積平野の典型的特徴を有することから、柏崎市における地震被害の特徴を取りまとめて、災害上の知見を得ることの意義は非常に大きい。本研究では特に鯖石川流域で発生した液状化による建物被害について調査研究を重点的に実施した。

図 4.1.1 に中越沖地震の被災地の位置関係を示す。これらの地域で発生した建物・住宅の被害状況を表 4.1.1 に示す。表中の数値は、消防庁による 12/4(H19)現在の発表記録である。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%に被害が認められる。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 4.1.2 に、被災宅地の危険度判定結果を表 4.1.3 に示した。被災建築物応急危険度判定の危険または要注意

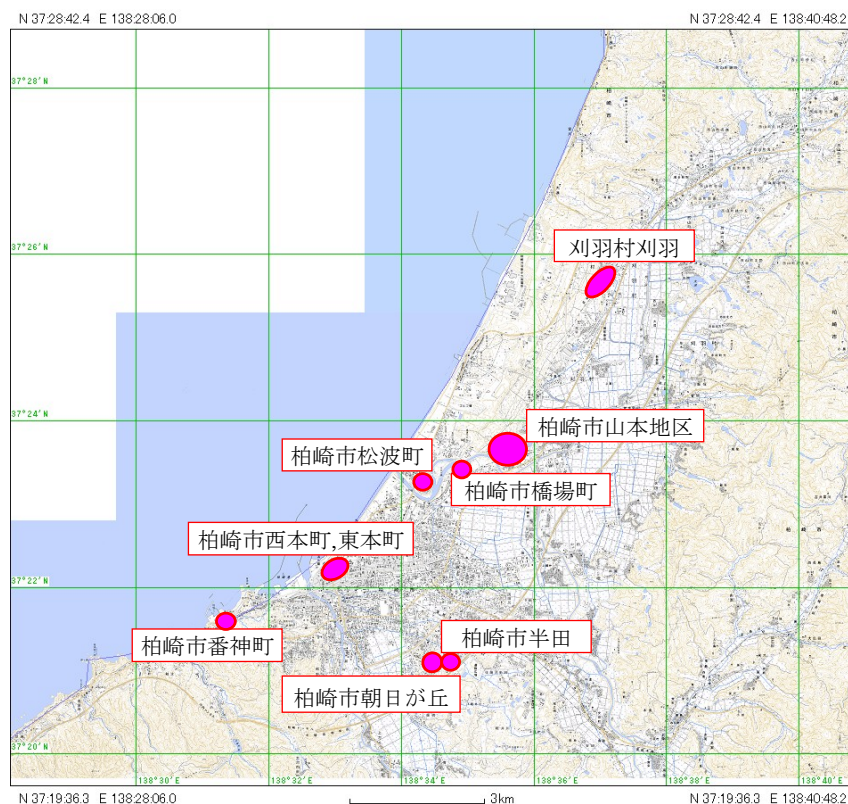


図 4.1.1 中越沖地震における柏崎地区の地震被災地

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 %が危険または要注意の判定結果となっている。

表 4.1.1 中越沖地震における建物被害（消防庁 H19 年 12 月 4 日時点）

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 4.1.2 被災建築物の応急危険度判定結果

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 4.1.3 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

4.2 建物被害の状況

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 4.2.1 に示す。戸建て住宅基礎の被害状況の一例を写真 4.2.2 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。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 4.2.1）。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）に整理された宅地地盤である。いずれの建物も不同沈下による壁面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



写真 4.2.1 松波地区の液状化被害



写真 4.2.2 戸建て住宅の基礎被害例

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。

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 4.2.3 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 4.2.3 山本地区における擁壁の被害事例

4.3 松波・橋場地区の建物被害の分析

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

図 4.3.1 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。図には現地で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。同地区において東西および南北方向の測線（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 4.3.2 に表面波探査試験、SWS の結果を合わせて示す。図より、深度 5 m 未満は S 波速度が 120~150 m/s でやや緩んだ砂質土、5 m 以上は 150~200 m/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 4.3.1 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。

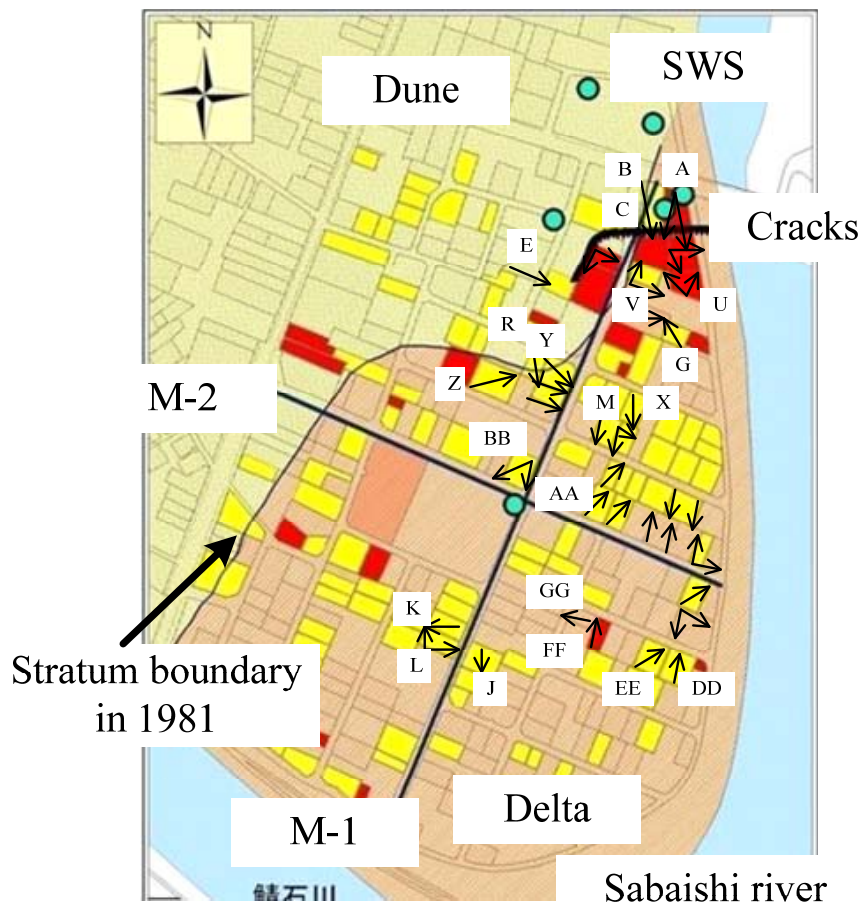
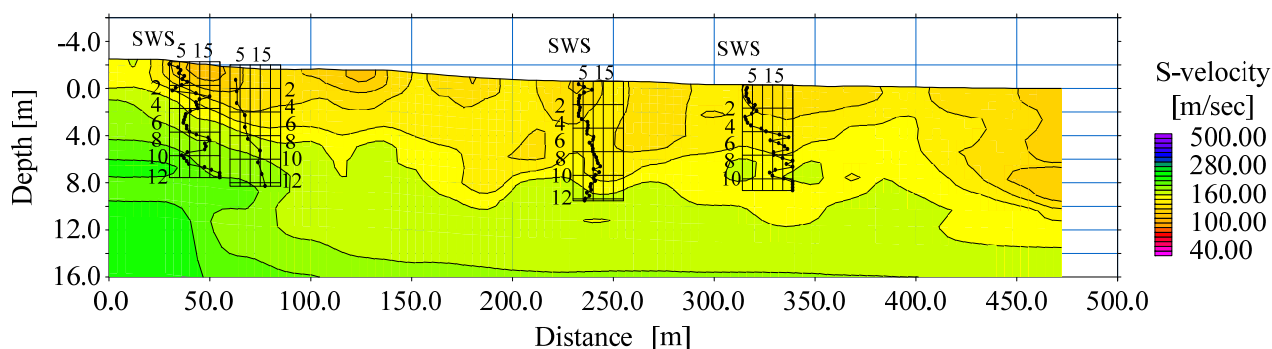
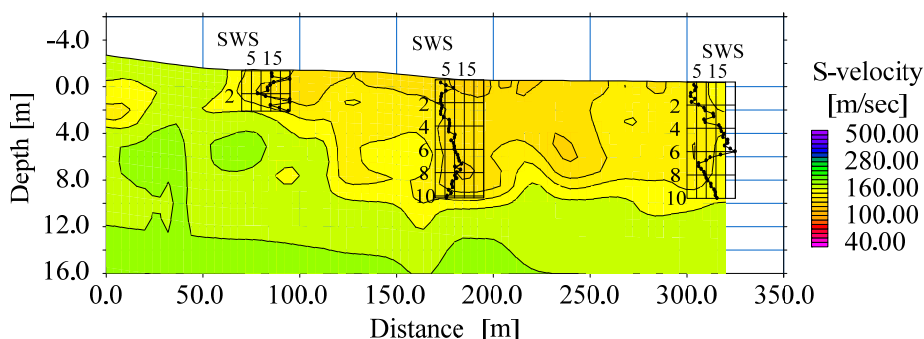


図 4.3.1 松波地区の地質と建物被害



(A) M-1 表面波探査データ (北より南方向)



(B) M-2 表面波探査データ (西より東方向)

図 4.3.2 表面波探査試験による S 波分布図

表 4.3.1 に建物傾斜の実測結果を示す。建物の傾斜が 7-8/1000 以上になると居住環境に影響が出るといわれるが、数多くの建物で閾値を超える傾斜が発生していることが分かる。これらの傾斜は概観上無被害に分類される建物でも発生している問題があり、宅地地盤の不同沈下は建物の居住性に大きな影響を及ぼすことが分かる。

図 4.3.3 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 (図中に水色で表示) の埋戻し地盤が存在する点にある。この点では中越地震の被害で紹介した刈谷田川の状況と同様である。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に点在している。同地区において図中に示す測線 (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 4.3.4~4.3.6 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

表 4.3.1 松並地区の建物傾斜実測結果

No.	Maximum unequal settlement [mm]	Maximum inclined angle	Q		
A	678	20/1000	R	84	6/1000
B	403	23/1000	S	141	15/1000
C	222	22/1000	T	49	8/1000
D	268	21/1000	U	220	54/1000
E	8	1/1000	V	215	25/1000
F	87	6/1000	W	104	14/1000
G	42	4/1000	X	68	12/1000
H	50	5/1000	Y	283	25/1000
I	117	9/1000	Z	91	10/1000
J	127	17/1000	AA	106	16/1000
K	98	7/1000	AB	91	9/1000
L	58	5/1000	AC	168	39/1000
M	127	6/1000	AD	68	11/1000
N	158	24/1000	AE	67	8/1000
O	79	7/1000	AF	127	17/1000
P	33	3/1000	AG	34	12/1000

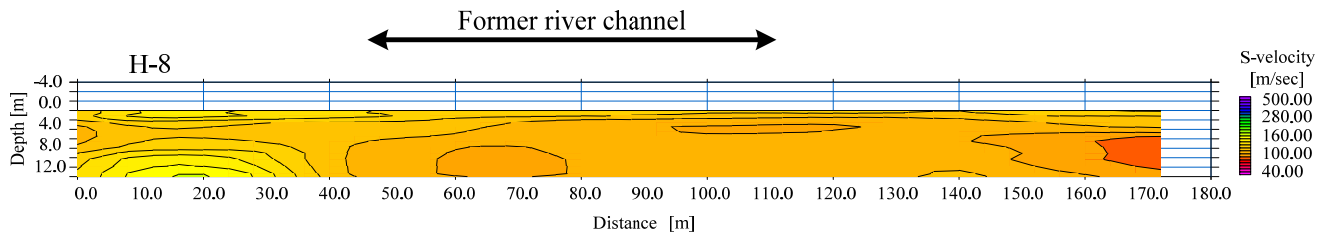


図 4.3.4 S波速度分布 (H-1, 北より南方向)

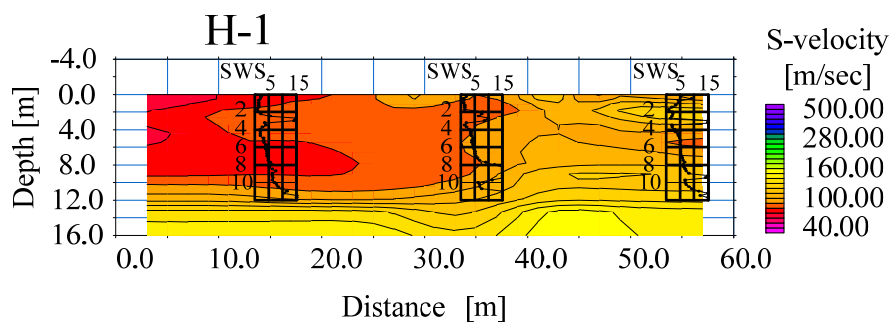


図 4.3.5 S波速度分布 (H-2, 西より東方向)

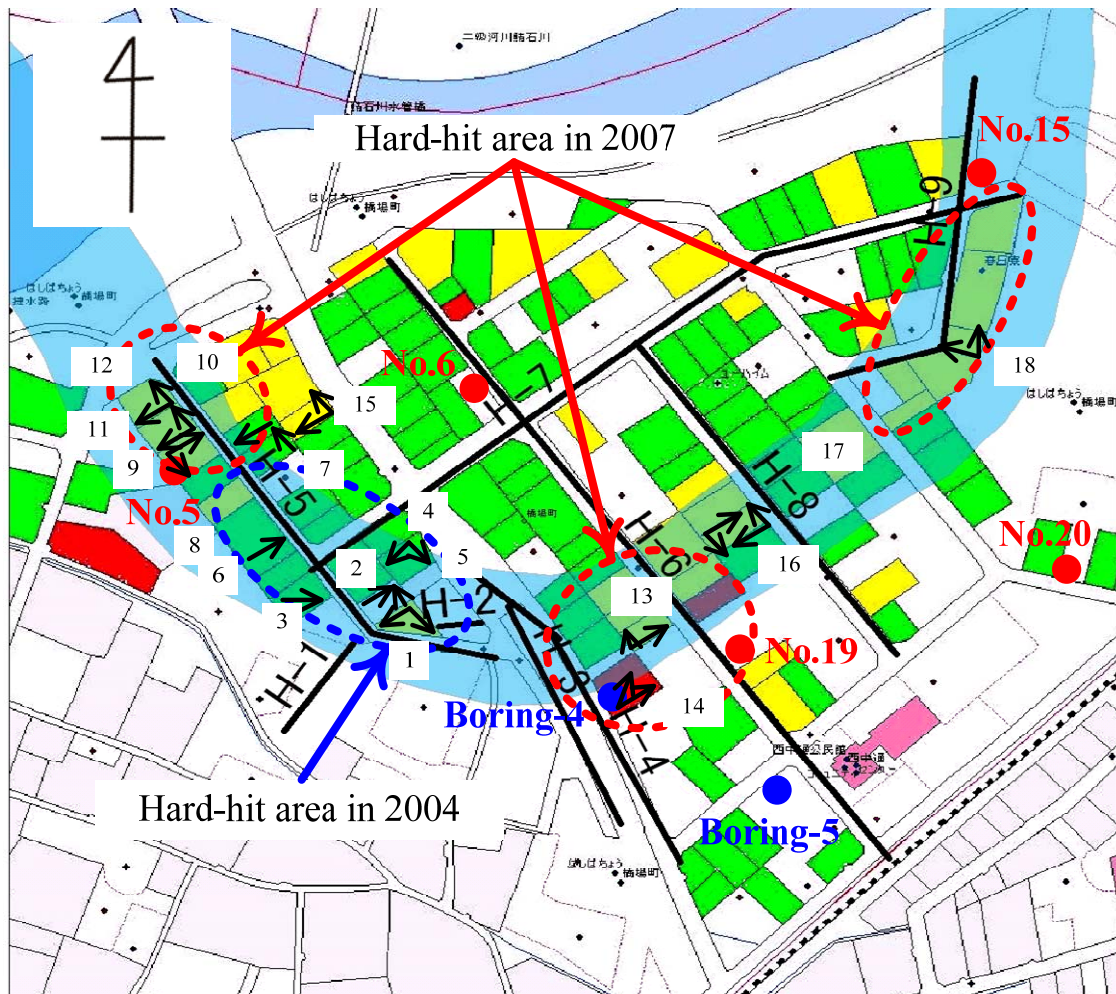


図 4.3.3 橋場地区の旧河道と建物被害分布

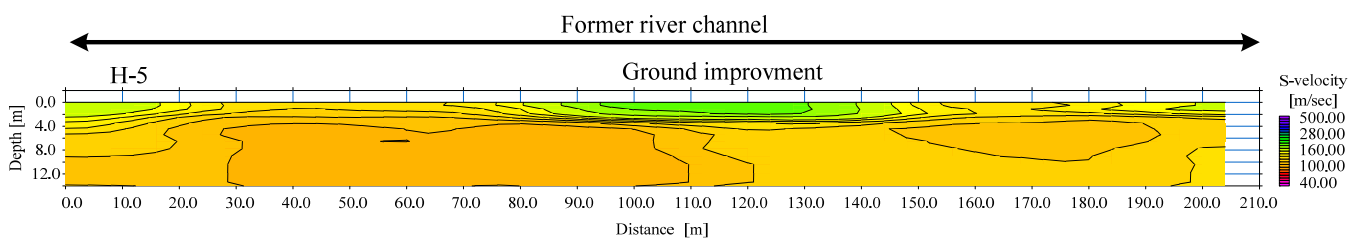


図 4.3.6 S波速度分布 (H-1, 北より南方向)

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. この現象は地盤の液状化による下水道のマンホール抜け上がり現象と同様で, 粘性土地盤内に砂質系の材料を用いて埋戻しを行うと, 埋戻し土が激しくまた長時間にわたって液状化する現象と類似の構造である.

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. 一方, 橋

場地区における中越沖地震の被害は比較的軽微である。特に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。

表4.3.2に橋場地区における建物傾斜の実測結果を示す。松並地区の建物傾斜に較べると比較的傾斜被害は軽微である。旧河道の存在などを考慮すると被害はもう少し大きくなると予想されるが、この地区では中越沖地震の3年前の中越地震で液状化被害を受けた経緯があり、液状化の経験による地盤の締固め効果や、建物の地盤対策等の影響が効果を挙げたものと考えられる。

表 4.3.2 橋場地区の建物傾斜実測結果

House No.	Maximum unequal settlement [mm]	Maximum inclined angle
1	30	2/1000
2	11	1/1000
3	37	4/1000
4	60	3/1000
5	53	6/1000
6	10	1/1000
7	153	9/1000
9	147	11/1000
10	34	3/1000
11	151	11/1000
12	183	13/1000
13	80	7/1000
15	193	12/1000
16	98	12/1000
17	17	8/1000
18	18	15/1000

4.4 鯖石川流域の詳細地質調査

中越沖地震では鯖石川流域で甚大な建物被害の生じたことから、被害の原因を明確にするために当該地域の微地形や旧河道、ボーリングなどの地盤調査を用いて詳細地質を（財）地域・地盤・環境研究所・井上直人氏、北田奈緒子氏の協力を得て作成した。該当地域における河道の変遷をとりまとめるために、2万5千分の1地形図（明治44年（図4.4.1）、昭和6年、41年、55年、平成13年）を用いた。図4.4.2は地形分類図を示す。図4.4.3に全河道トレースを示す。このトレース結果を最新の年代を除いて重ね合わせ、最新の河道を差し引き、図4.4.4の旧河道データを作成した。

利用可能な最古の空中写真は、米軍が昭和21年から32年まで撮影したものがあつた。これらの空中写真をもつてしても、すでに鯖石川流域は造成などの人工改変が実施されており、旧地形図以上に自然地形情報が読み取れる部分はほとんどなかつた。しかし、鯖石川の山本地区において、空中写真から検討できた内容について示す。

山本団地（図4.4.5）は、米軍撮影時には工場のようなものが設置されていて、67年には建物が除去、75年には土地造成が完了して数区画で戸建て住宅を識別できる。団地の山側は、丘陵地の緩斜面もしくは南側の水田よりも古い地形の一部を含んでいる。しかし、山本団地の区画の大半は、西中通駅西側の踏み切りの北方にある神社付近で北北西-西南西に湾曲する道路にそつて、旧河川の侵食崖と思われる地形断ち切られ、2つの形成時期の異なる地形に跨る土台に盛土をして造成したように見える。最も山側の列は比較的安定した地盤が存在すると思われるが、2列目は侵食崖の直上で堆積層が急に厚くなるため、強震イベント時には亀裂が生じやすくなると予想される。3列目以南は、形成年代は不明であるが、河川性の堆積物で攻撃斜面側に当たるため、団地外の南側と比較すると砂・礫といった粗粒な堆積物が旧河道の基底に堆積し、その後



図4.4.5 山本地区の米軍の空中写真（昭和21年から32年撮影）

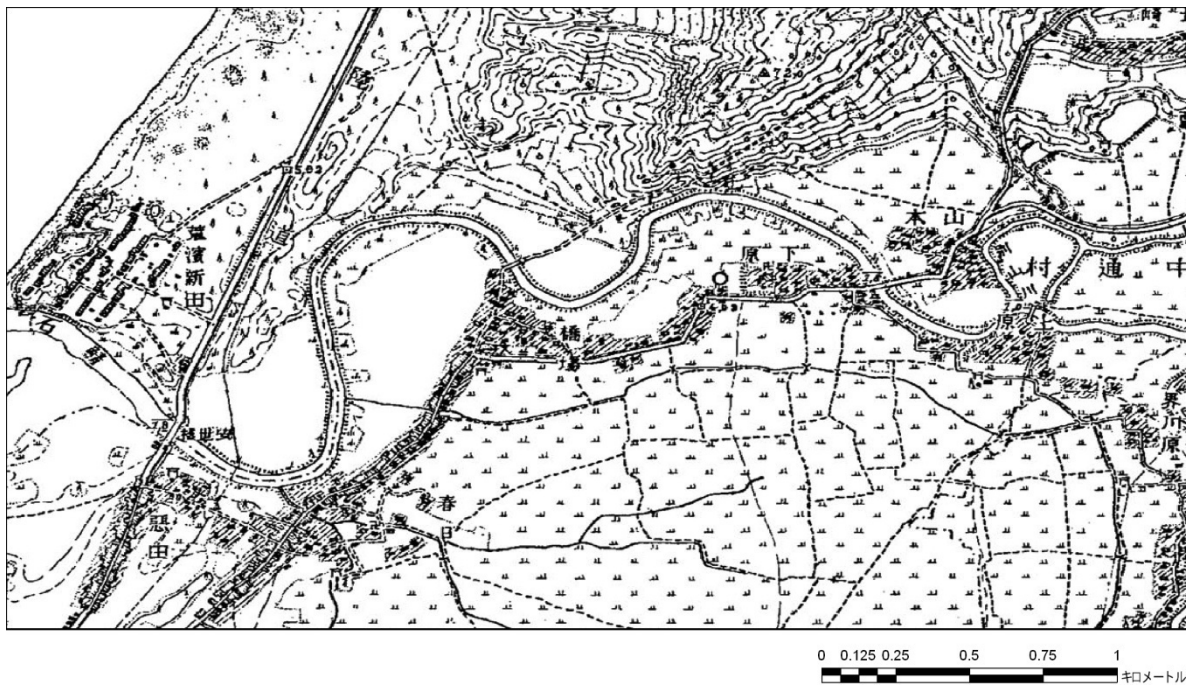


図 4.4.1 鯖石川周辺の明治 44 年の地形図

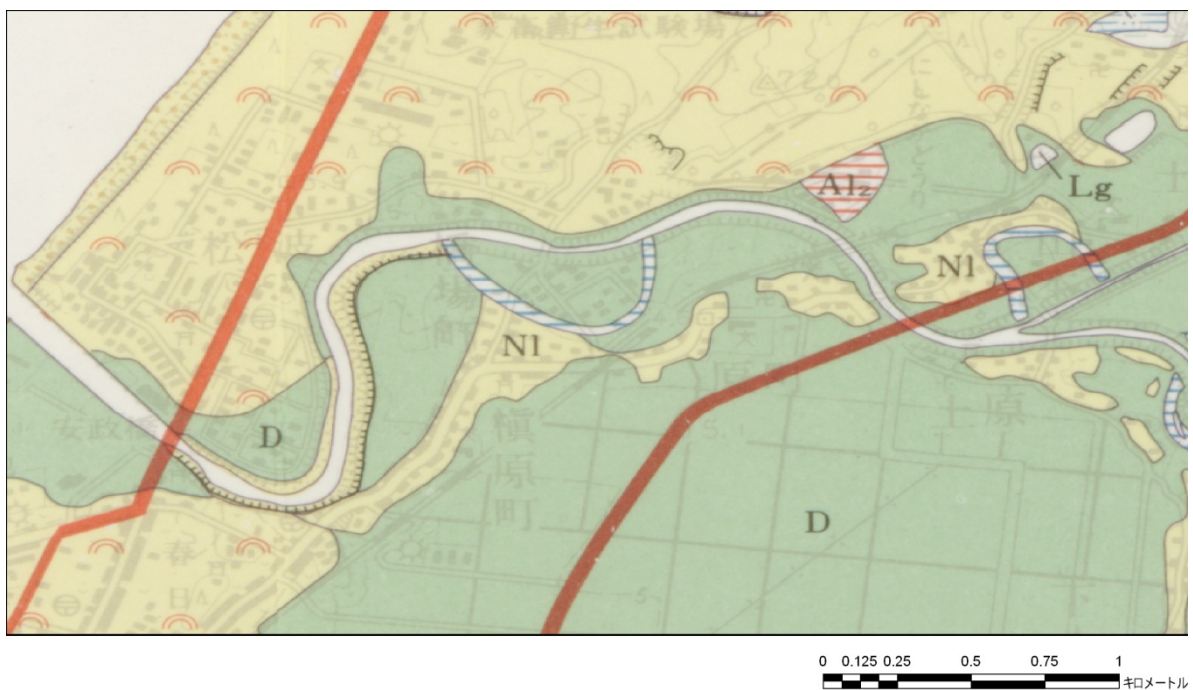


図 4.4.2 鯖石川周辺の地形分類図（「柏崎・出雲崎」）

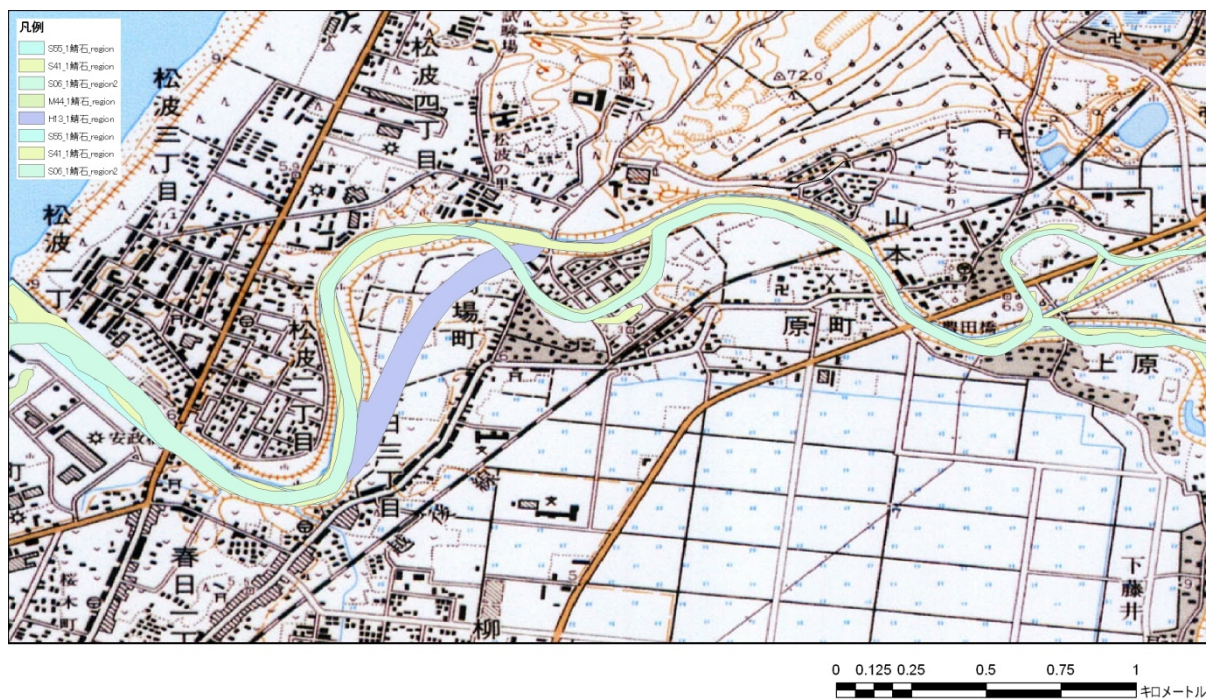


図 4.4.3 鯖石川周辺の旧河道トレース結果

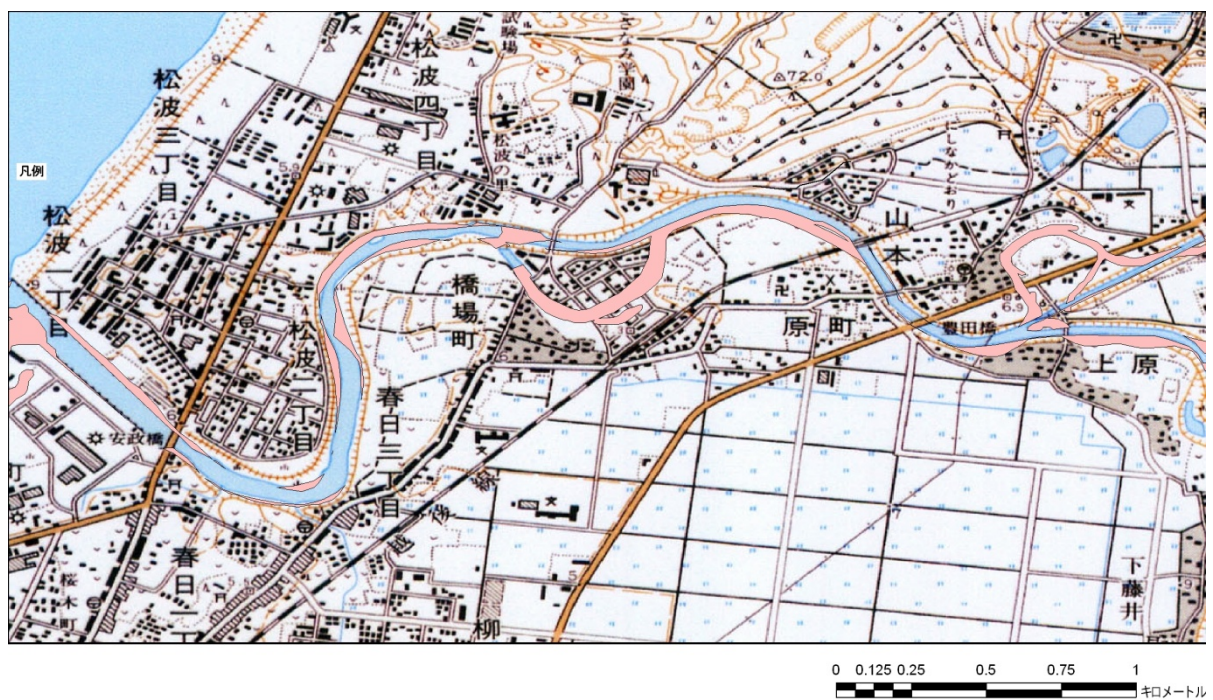


図 4.4.4 鯖石川周辺の旧河道

の洪水の際に運搬された砂や泥が堆積した環境と考えられる。このため、地盤の強度が弱くなることが予想される。

鯖石川の河川敷部に色をつけて図 4.4.6 に示す。おおむね幅 1km 程度の流路幅を持つ特徴と、鯖石川では河口部の古砂丘の部分で川幅が狭窄している。河川敷の境界部には自然堤防があるが、この自然堤防に沿って、旧村落が発達している。堤防のさらに外側は后背低地であり、一般に水田などの農耕地として利用される。河川の後背地は魚沼層などの堆積岩（泥岩砂岩互層）中を越えてきており、一般的に細粒な土粒子を運搬している可能性が高い。しかしながら、鯖石川河口部から 3km 上流までは海浜部の砂堆（古砂丘）部を穿っており、この付近では（河口～3km）、氾濫原に砂層を供給している可能性が高い（図 4.4.7）。特に風成によって形成された砂丘の砂は粒度が均質であり、この砂が分布すると思われる河口部では、均質な砂が平野部を覆っている可能性が高く、地下水面が浅くなると、地震時に液状化を起こす可能性が高い地域である。一方、河口部に古砂丘が形成され、堰き止められる鯖石川は砂丘より西側で低平地を形成し、広く軟弱な粘土が分布すると考えられる。

図 4.4.8 に鯖石川周辺のボーリングデータ（ほくりく地盤 DB 協議会）を示す。全体に粘土層と砂層からなる地域である。河口付近の 1～10 付近のボーリングでは、地表付近に厚い砂層が見られる。これは、海岸線に沿って分布する古砂丘層を示していると考えられる。砂丘堆積物は、砂層の中でも特に粒径の揃った砂層を構成する傾向があるので、地下水面が高い場合、液状化の可能性が高い地域である。11～26 のボーリングは基本的に河川氾濫原（后背低地）の堆積物が中心となっており、一部、三日月湖や低地に有機質の堆積物を含むが、全体的に粘性土が主体の

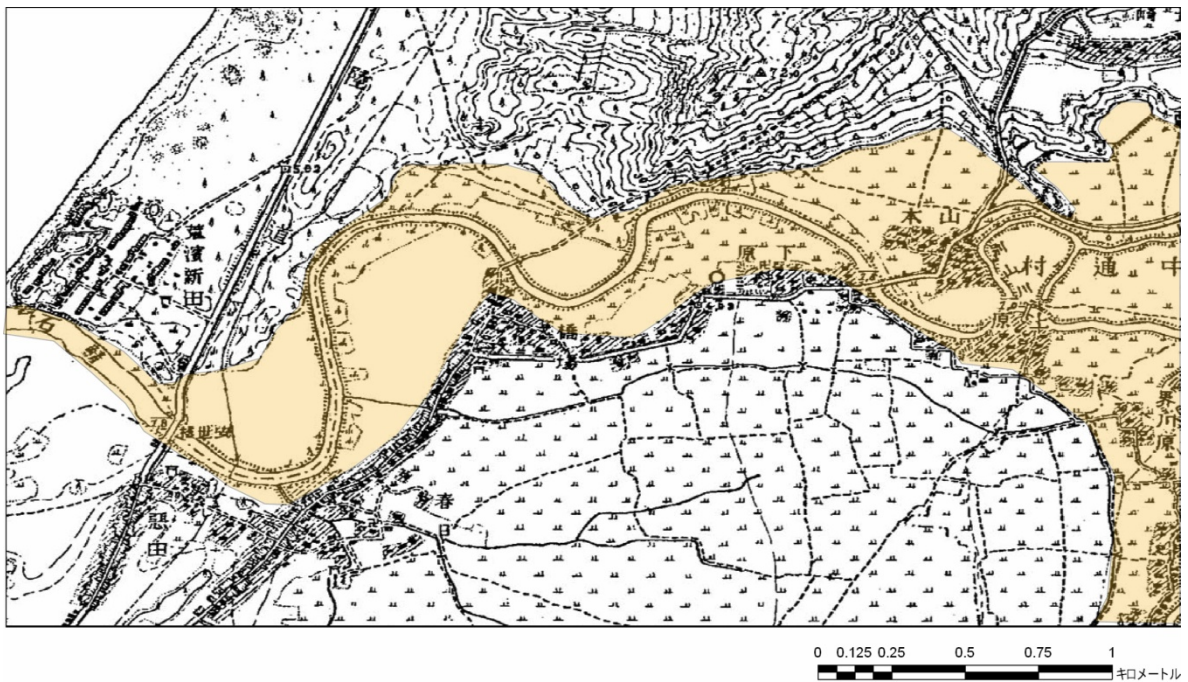


図 4.4.6 鯖石川周辺の河川敷分布図（図右側では、河川が分岐しているため川幅が広くなる）

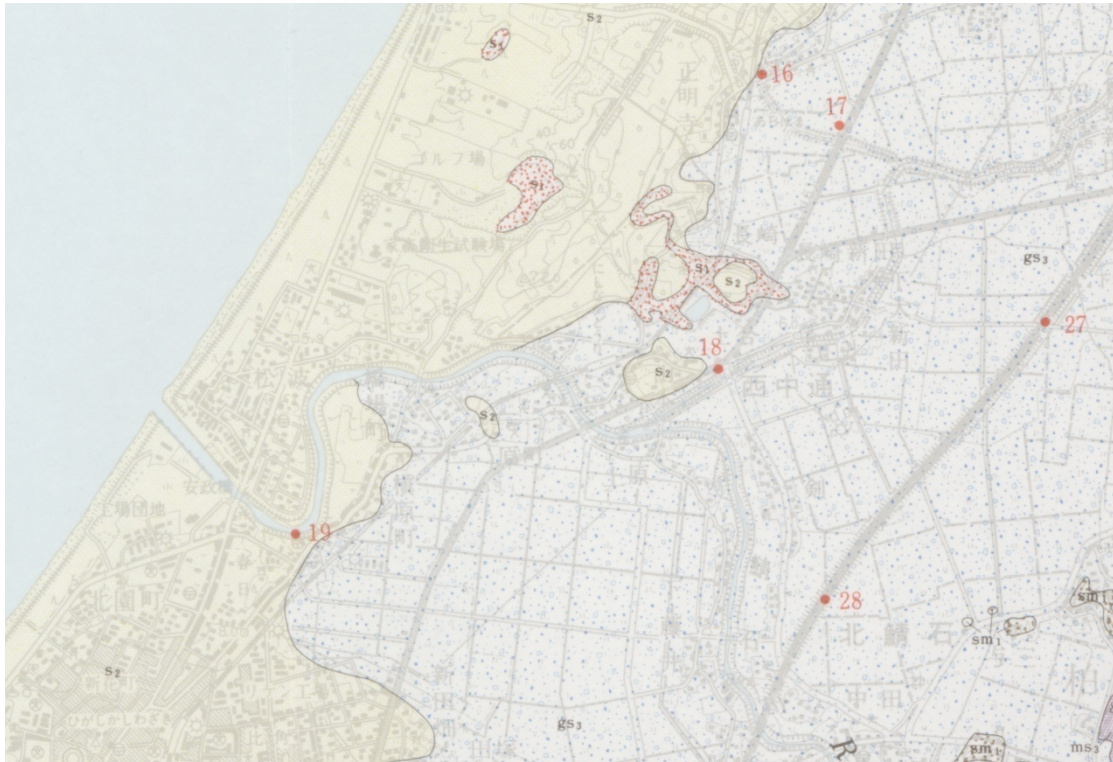


図 4.4.7 鯖石川検討地域周辺の地質図

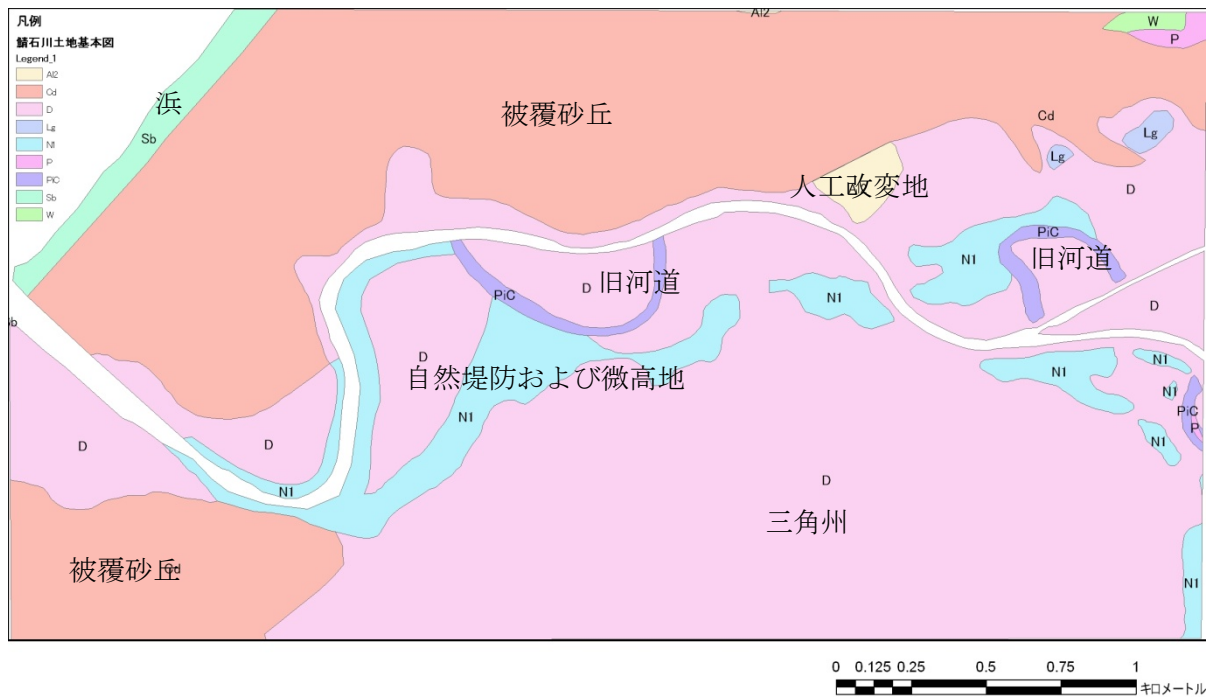


図 4.4.9 鯖石川周辺の地形分類図

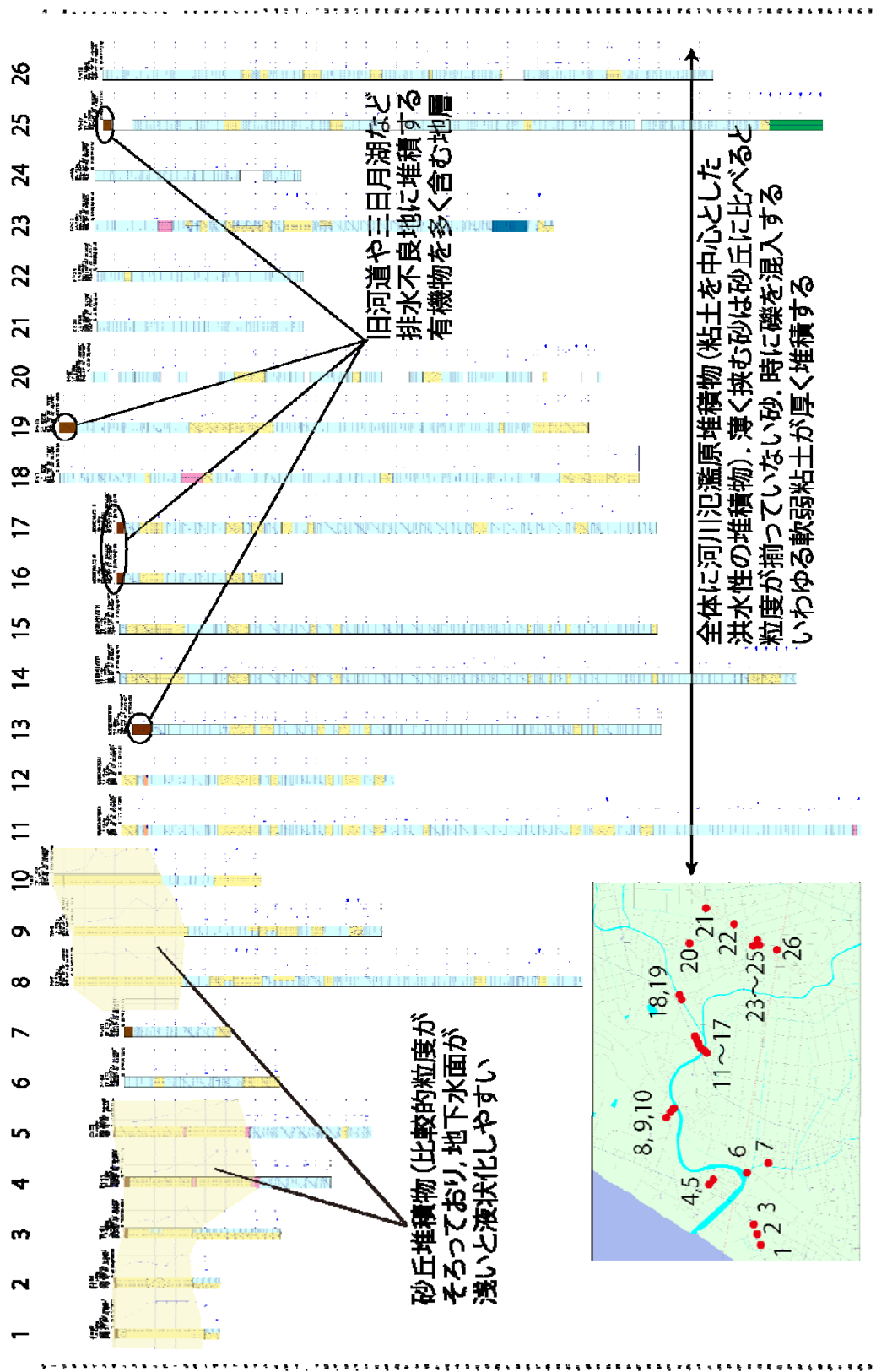


図 4.4.8 刈谷田川周辺のボーリングデータによる検討

地層である。粘性土の間に分布する砂層は河川氾濫堆積物(洪水時の堆積物)と考えられるので、砂丘堆積物に比べると、粒度は不揃いである。

図 4.4.9 に以上の考察に基づく鯖石川流域の推定微地形分類図を示す。得られた地形分類図は図 4.4.2 に示す鯖石川周辺の地形分類図「柏崎・出雲崎」とほぼ同様の結果となった。

4.5 地形分類図と建物被害の相関分析

宅地応急危険度判定と作成した詳細微地形分類図との相関を調べる。図 4.5.1 に松並地区の事例を示す。松並地区は被覆砂丘と三角州が存在している。地質境界付近での建物被害が多い特徴があるが、今回の分析では図 4.3.1 に対して境界位置が少し変化する結果となった。建物被害との相関で考えると、図 4.3.1 の方がより明快であるが、当該地区では宅地化の過程で三角州部分は盛土を行うなどの人工改変が行われていることから、細部までの検討は困難である。宅地応急危険度判定の調査区間が松波町に限定されることから他の地形分類に属する地点でどのような被害との相関があるか明確ではないので、今後分析を継続して実施したい。

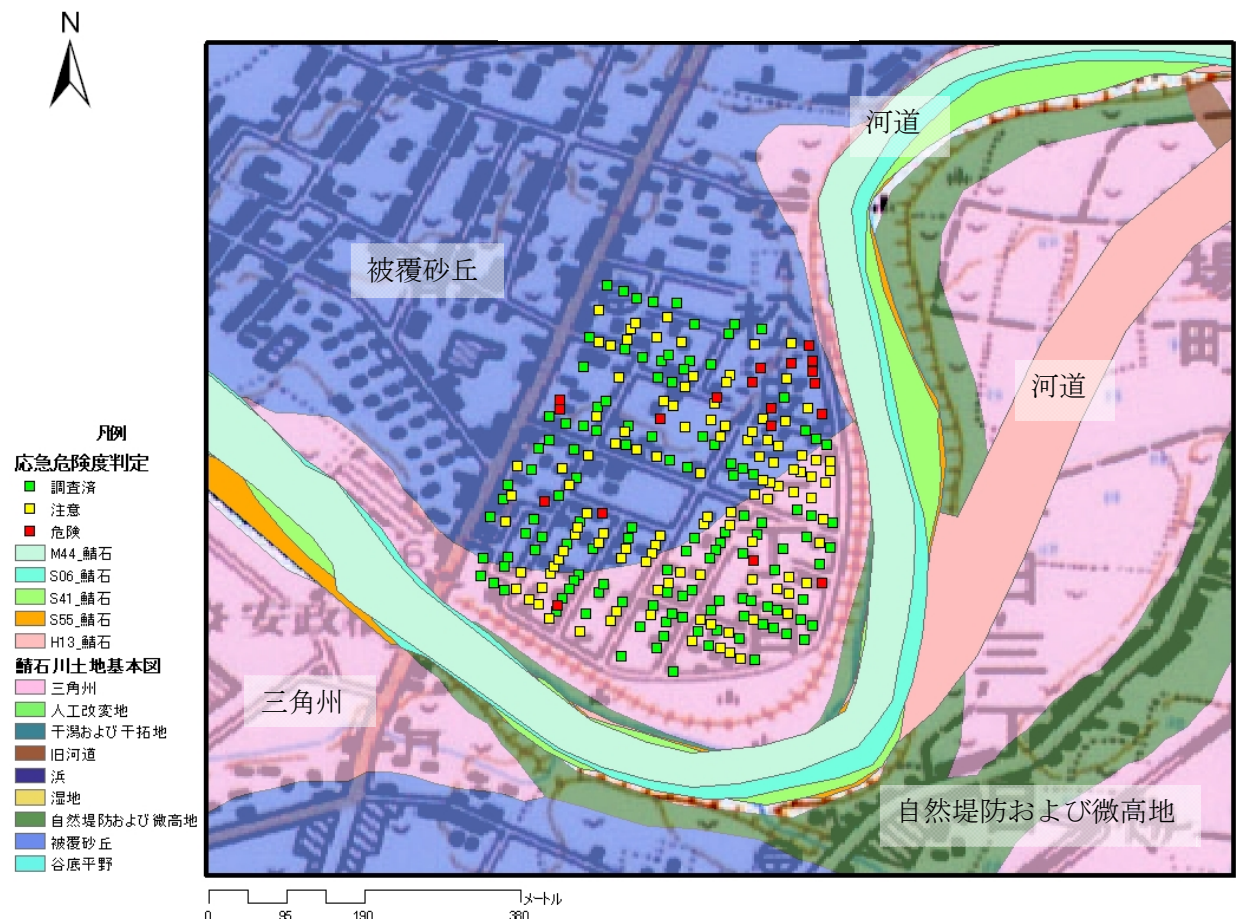


図 4.5.1 松波地区の建物被害と微地形分類図

図 4.5.2 に橋場地区の事例を示す。この地区の特徴は宅地地域に旧河道が存在する点にある。旧河道は図に示すように時期によって河道位置が変化していることから、どの地点を基準に考えるかによって変化する。地形的には図に茶色で記すように河道位置は大きく異なるものもあり、一概に旧河道という括りで建物被害を総括することは難しい。しかし、旧河道を河川改修に伴う埋戻し土との定義で考えると、昭和 41 年から 55 年の河道位置を定義するのが妥当である。この視点から考えると旧河道位置と建物被害には比較的相関関係が高いと思われる。このことから、三角州のような粘性土が卓越する地盤において旧河道は液状化の被災確率が高いと言える。当該地点は中越地震の折にも液状化するなど、液状化被害ポテンシャルの高い地点であり、その後中越沖地震以前に対策工が行われていることから明確な相関関係を見出すにはやや困難な事例である。しかし、中越地震時の被災地域は旧河道と強い相関のあることが指摘されており、本考察を裏付けている。

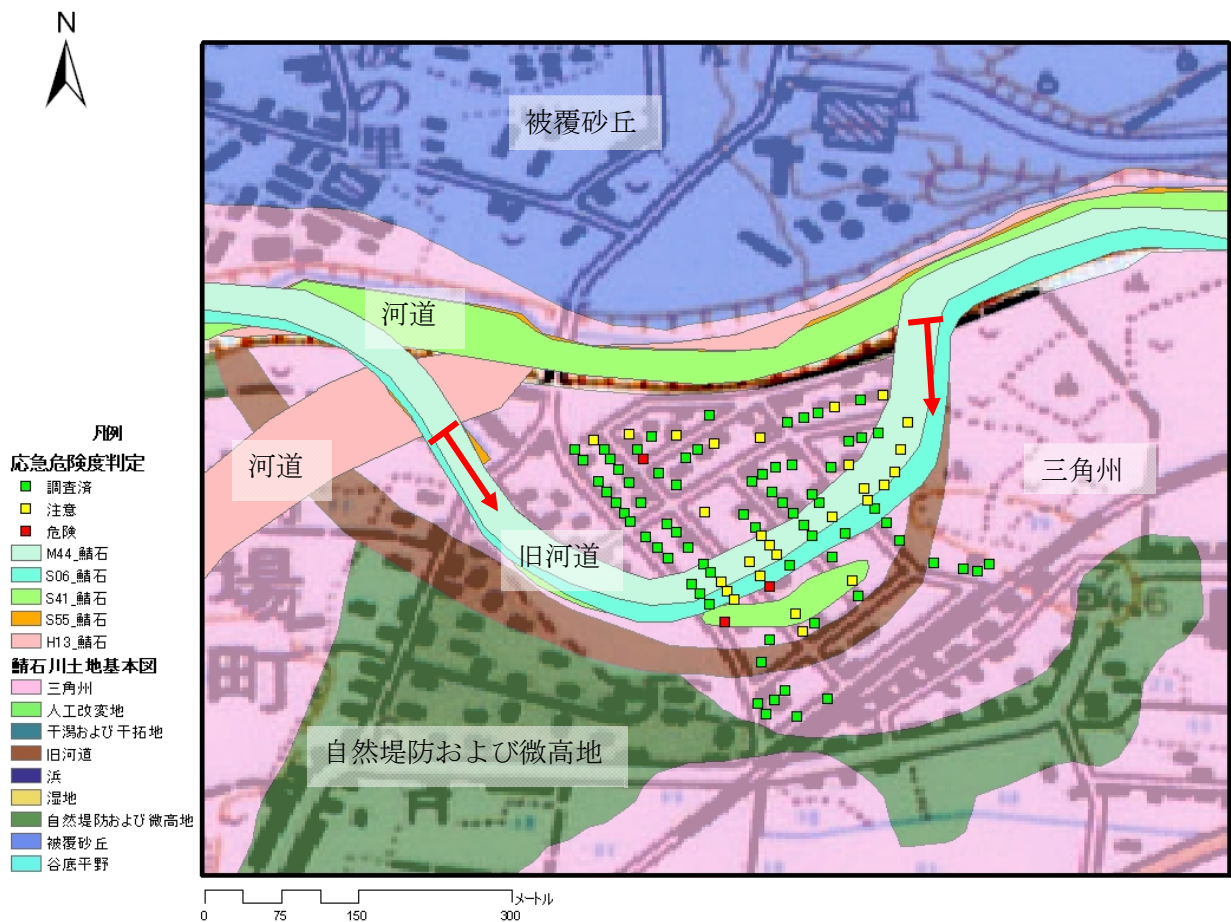


図 4.5.2 橋場地区の建物被害と微地形分類図

図 4.5.3 に山本地区の事例を示す。この地区の特徴は橋場地区と同様に旧河道が存在する点にあるが旧河道上には建物が少なく、旧河道沿いに発達した自然堤防や微高地に多くの建物が存在する点である。

る。図では旧河道から比較的距離の近い自然堤防において、旧河道に沿うように建物被害が発生している。これは自然堤防には粗粒材が堆積していることから、地下水位の高く、表層の土被りの小さい地区では液状化が発生し、旧河道方向に変形したことによる。地形分類における自然堤防及び微高地については標高データを加えた考察が有効である。また、同地区には三角州内の旧河道が存在しており、橋場地区の知見から液状化被害が発生したと予測される。国道8号沿いに被害を調べると、自然堤防では建物被害がないのに対して、三角州では旧河道沿いに被害が発生しており、同様の傾向が確認された。

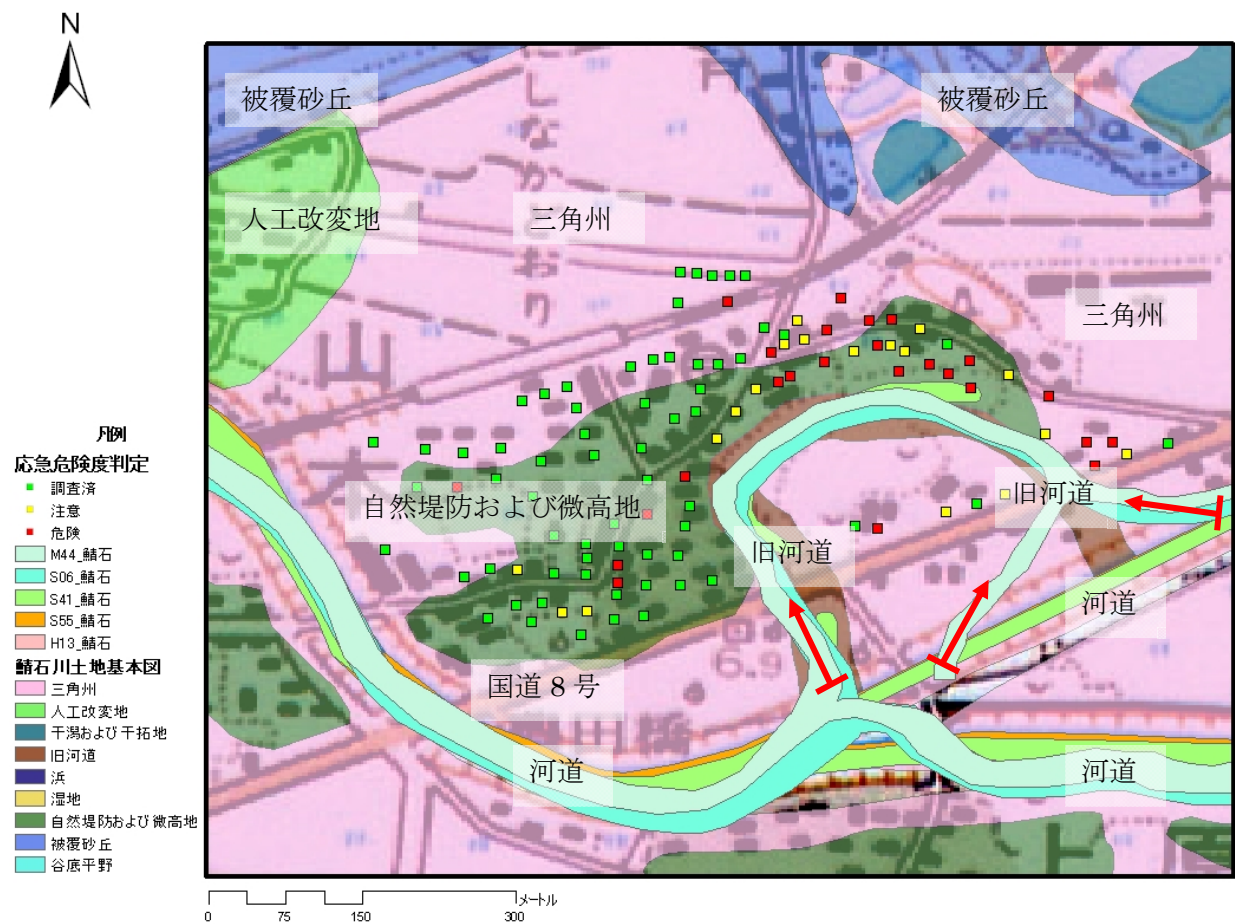


図 4.5.3 山本地区の建物被害と微地形分類図

5. 中越沖地震における刈羽村の建物被害調査

5.1 概要

刈羽村は日本海沿いに発達した荒浜砂丘の内陸側に位置しており、砂丘から砂丘間低地に位置する場所では地下水位が豊富で、また差質地盤のために土工が容易でかつ静的地耐力も大きいことから、古来より砂丘沿いに集落が発展していた。しかし、砂丘は砂質地盤のために中越地震及び中越沖地震では液状化が発生し、甚大な建物被害を受けた。液状化が発生すると、地震動が減衰されるために建物自体は損傷が小さいものの、液状化による基礎地盤の変形（不同沈下）によって建物基礎が大きな損傷を受けて、結果として建物が機能しない状況となった。本研究では刈羽村における建物被害と地形や地質との相関関係を明らかにすることを目的に、各種の調査を実施したので報告する。

5.2 刈羽村の建物被害と地盤調査

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、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。

図 5.2.1 に柏崎・刈羽地域の地質、図 5.2.2 に刈羽村稲場地区の概略地形を示す。図 5.2.1 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 5.2.2 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。

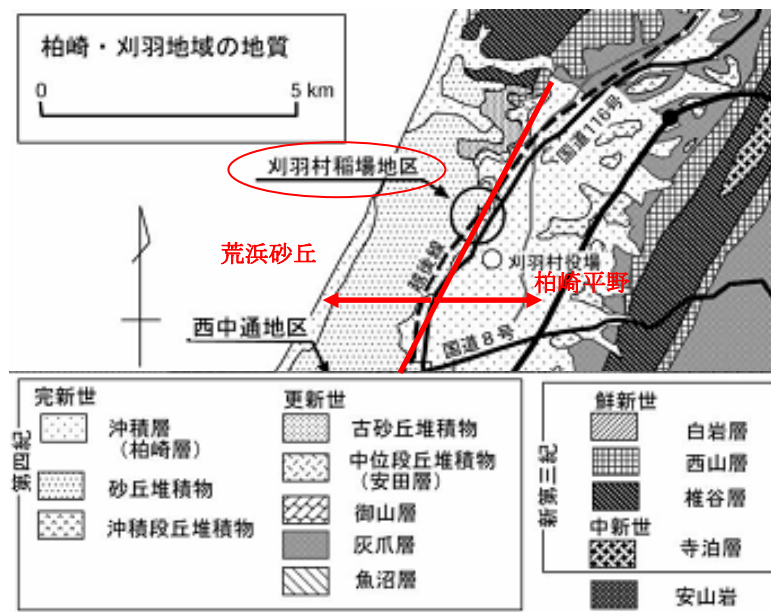


図 5.2.1 刈羽村稲場地区の地質

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。図5.2.3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

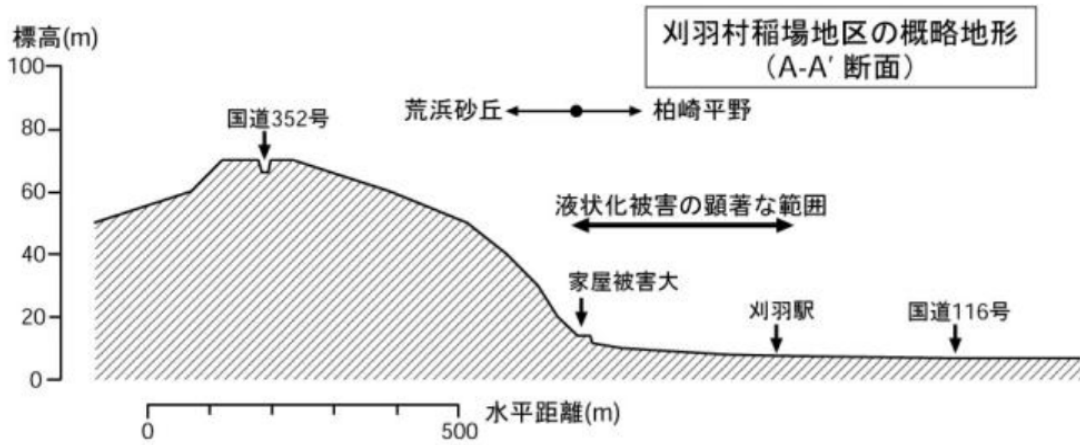


図 5.2.2 稲場地区の概略地形

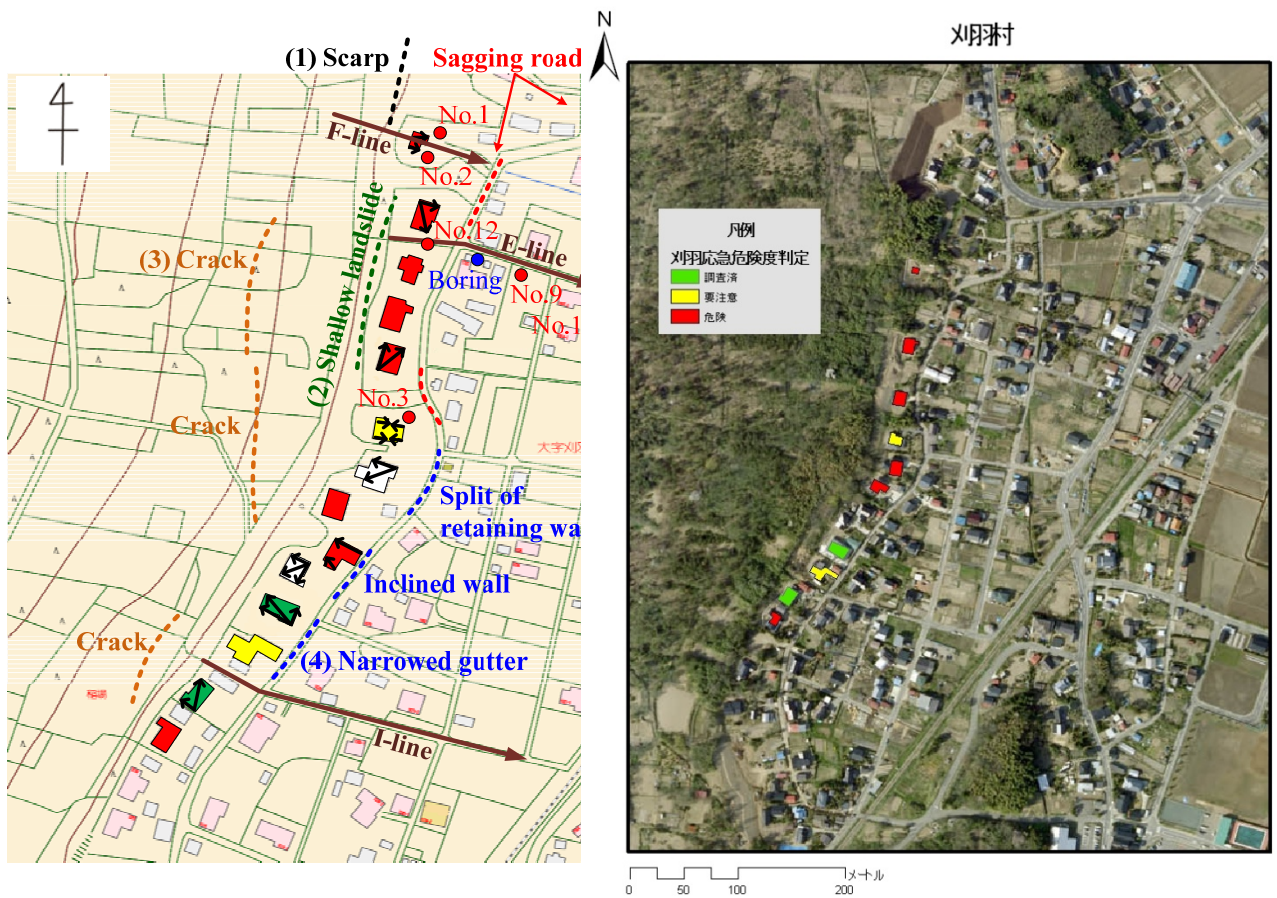


図5.2.3 刈羽村稲場地区の被害状況

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。建物被害の様子を写真5.2.1および5.2.2に掲載する。



写真5.2.1 砂丘斜面の崩壊による建物の被害



写真5.2.2 砂丘斜面の崩壊による建物の被害

図5.2.3に示す測線で砂丘および砂丘間低地の表面波探査（北からF測線, E測線, I測線）を実施した。また、試験結果を補完するためにスウェーデン式サウンディング調査（SWS）を測線に沿って実施した。表面波探査およびSWSの結果を図5.2.4～5.2.6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

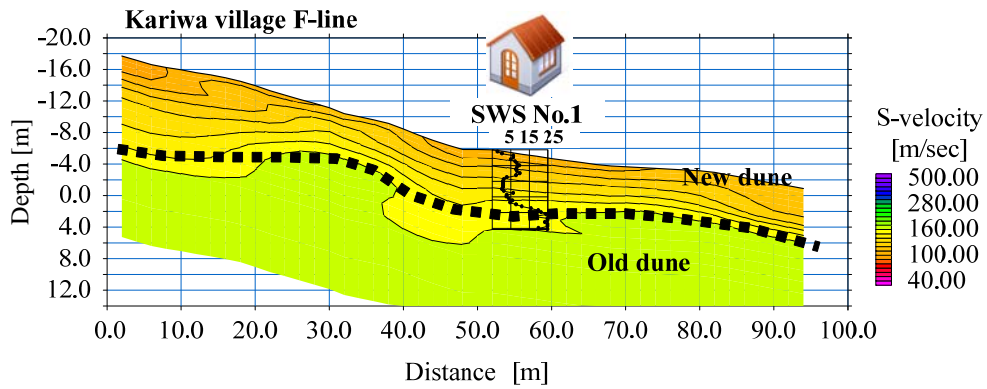


図5.2.4 表面波探査およびSWS結果（F測線）

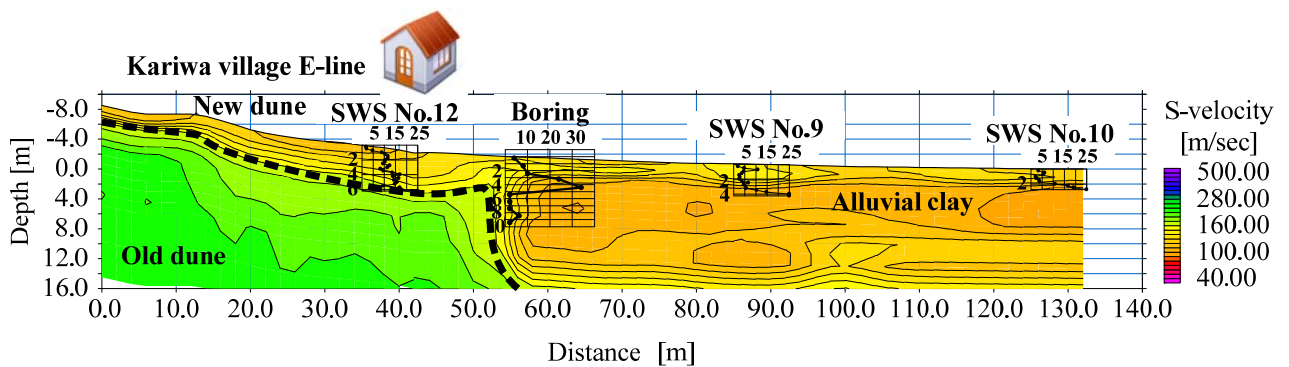


図5.2.5 表面波探査およびSWS結果（E測線）

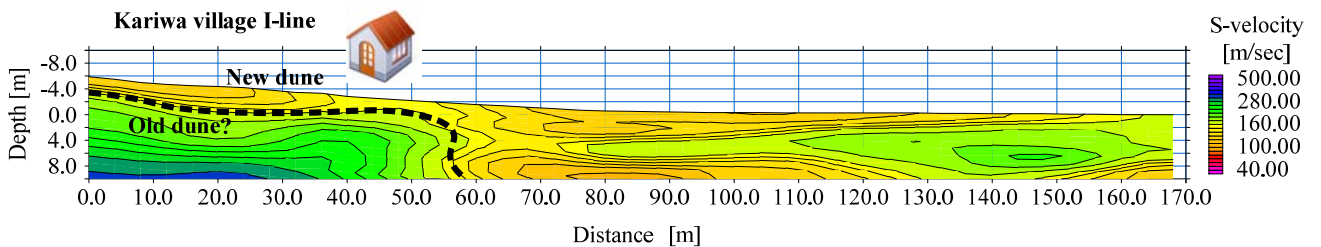


図5.2.6 表面波探査およびSWS結果（I測線）

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。

5.3 建物被害の詳細調査

刈羽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5.3.1に、傾斜方向ならびに各建物の被害規模を図5.2.3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5.3.1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。

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。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5.3.1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。

写真5.3.1および5.3.2に中越地震後に鋼管短杭を打設した建物の被害状況を示す。短杭の効果で周辺地盤は液状化により沈下しているにも関わらず、建物は軽微な被害に留まっている。写真5.3.2では裏山（砂丘）の変状により建物が水平方向に力を受けたことが分かる。写真5.3.3は砂丘間低地に位置する建物の被害である。砂丘間低地では粘性土地盤のために宅地整備を行う際に砂質土による

土盛りを行って建物を建設していた。中越地震ではこの土盛り部分が液状化して被災した。その後杭による補修として粘性土地盤下の基盤に達する長尺杭による補修を実施していた。中越沖地震では長尺杭を通して直接地震波が伝播したために、今回は建物が直接被災した。

表 5.3.1 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	-



写真5.3.1 鋼管短杭打設した建物の被害（砂丘）



写真5.3.2 鋼管短杭打設した建物の被害（砂丘）



写真5.3.3 長尺鋼管杭を打設した建物の被害（砂丘間低地）

6. おわりに

本研究は地震発生後間もない中越沖地震における鯖石川流域の液状化と宅地被害との関係に着目し、被災地盤の地質構造および地盤特性を精緻な地盤調査により照査して、地形改変履歴の及ぼす液状化発生機構を明らかにするとともに GIS による宅地被害の分析を実施した。

第 2 章では中越地震における長岡市高町団地の建物被害について切盛り分布との相関について調査した。その結果、建物被害は建物の倒壊等の被害はほとんどなく、地盤の変形に伴う被害であることを示した。被害の分析を行う上で切盛土の人工改変を明確にするために、空中写真を用いた推測と現地での表面波探査試験とのクロスチェックを行い、両者の精度を検証した。その結果、建物被害は盛土部を中心に発生しているものの、盛土と切土の境界付近では切土部においても多数の建物が被災していることを示した。これは盛土の変形に伴って切土部においても亀裂による不同沈下が発生して、建物基礎に影響を与えたことを示した。

第 3 章では中越地震における見附市の建物被害と詳細微地形分類との相関関係について調べた。当該地域には刈谷田川による旧河道が存在しており、河道変化による自然地盤の形成と河道の人工改変による地震被害の特徴について調査した。同地区に関しては坂東らの被害調査を用いて詳細微地形分類との相関を調べたが、液状化は旧河道沿いの地盤で発生し、建物傾斜の被害が生じたこと、粘性土地盤が卓越する三角州や谷底平野では沖積地盤でも建物の瓦屋根被害が小さいのに対して、自然堤防および微高地や砂礫台地では瓦屋根被害が大きい特徴が得られた。

第 4 章では中越沖地震における柏崎市の鯖石川流域における建物被害と詳細微地形分類との相関関係について調査した。同地区にも刈谷田川と同様に鯖石川の河道改変があり、河川が自然に形成した地盤と人工改変地盤の両者と建物被害間の関連について調べた。その結果、柏崎市のような市街化地域では早期の開発のために空中写真による河道履歴の調査が難しいことが分かった。詳細地形分類と建物被害間には明瞭な特徴があり、(A) 砂丘と三角州の地層境界付近では建物被害が激しい、(B) 三角州内の旧河道は液状化の程度や継続時間が大きくなることから建物被害が大きい、(C) 旧河道沿いの自然堤防や微高地は液状化を生じると旧河道方向へ地盤が変位することにより旧河道沿いに建物被害が発生する、ことが分かった。

第 5 章では中越沖地震における刈羽村の建物被害調査について報告した。同地区は砂丘と砂丘間低地の地層境界で液状化による建物被害が発生した。同地区は中越地震および中越沖地震で繰返し液状化被害を被り、甚大な建物被害が繰り返された。現地での表面波探査試験から液状化被害を受ける地盤構造を明確にすると共に、建物傾斜計測から建物の耐震対策による効果の差異について報告した。

本研究では地震時の建物被害と地質や地盤構造との関係について調査研究を実施して、地質や地盤構造により建物の地震危険度を評価可能なことを示した。しかし、地質や地盤構造を明確にするためには様々な試験や地質調査が必要となるために、これらの情報を各地域で整備していくことが今後重要である。近年、全国的に国土交通省などの公的機関を中心にボーリングデータのデータベース化が取組まれている。地盤情報は 1 つの国家的共通基盤情報と言えるので、継続的な整備を期待したい。

研究成果の要約

助成番号	助成研究名	研究者・所属
第2007-4号	河道改変履歴を用いた宅地の地震危険度評価に関する研究	大塚 悟 長岡技術科学大学工学部
<p>中越地震(H16)および中越沖地震(H19)ではGISによる災害アーカイブスの構築と防災対策への活用が精力的に行われている。地形・地質と地震被害の相関は過去の地震においても調査されているが、上記の両地震は地盤災害の特徴を有することから、貴重な事例を与えている。本研究は地震発生後間もない中越沖地震における鯖石川流域の液状化と宅地被害との関係に着目し、被災地盤の地質構造および地盤特性を精緻な地盤調査により明確にすることにより、旧河道を中心とした地盤特性の及ぼす液状化被害への影響を明らかにするとともに、GISによる宅地被害の分析を行うものである。</p> <p>中越沖地震では鯖石川の下流域にて大規模な液状化が発生し、多数の宅地が被災した。液状化被害は旧河道との相関関係が指摘されるが、その原因には(1)河道による砂質土の供給(自然地盤)と、(2)河道改変による旧河道の埋立て(人工地盤)が考えられる。人工地盤の液状化現象は被害が甚大であることから、(2)の視点は特に重要と思われるがこれまでほとんど認識されていない。本研究はボーリング(地盤堆積状況の確認)、コーン貫入試験(強度試験)、表面波探査試験(広域調査)により鯖石川流域の地震被災地における地質構造を明らかにし、航空写真などによる「平面」情報に深度方向の「立体」情報を加えることにより、液状化発生機構を(1)、(2)の視点より科学的に解明するものである。</p> <p>本研究では、中越沖地震の被害について地震直後から宅地の応急危険度判定について調査を実施したが、調査範囲が限定されることから柏崎市の実態被害の取りまとめデータの活用を計画した。しかし、取りまとめ成果が平成21年3月現在で未だ未公開のため、本研究では応急危険度判定を基に研究を実施するほか、調査対象に中越地震における見附市の刈谷田川流域の被災事例を取り上げた。刈谷田川は旧河道の蛇行が顕著であり、自然発生的な地盤条件の変化の</p> <p>ほかに、河道改変による地盤条件変化のあることから、貴重な事例を与えている。また、人工的な地形改変の例として長岡市高町団地の宅地造成における地震被害について、切盛りと宅地被害の相関関係に関して合わせて報告した。</p> <p>以下に得られた結論を箇条書きにする。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 鯖石川流域の宅地被害に関して応急危険度判定の実態調査を実施した。また、建物の傾斜状況を測量して宅地被害の状況を明らかにした。 (2) 鯖石川の宅地被害地について表面波探査試験およびサウンディング試験を実施するほか、その他の地盤情報の調査解析を実施した。その結果、旧河道の周辺は粘性土地盤であるのに対して、旧河道は砂質土により埋土されたことを明らかにした。 (3) 鯖石川流域について航空写真による河道変遷とボーリングデータを基に地形分類図を作成した。 (4) 刈谷田川に関して航空写真による河道変遷とボーリングデータを基に地形分類図を作成した。 (5) 液状化の被害分布は全体像が明らかでないが、旧河道沿いに発生したことが指摘されている。液状化による不同沈下のために建物の傾斜被害が発生した。建物の傾斜被害は自然堤防上で多く発生している。恐らく、自然堤防の低地側で多くの被害が発生していると思われる。瓦屋根被害は河道沿いの微高地や砂礫台地で発生している。粘性土が厚く堆積する谷底平野での被害は少ないことが分かった。 (6) 高町の宅地造成地に関して、開発前後の航空写真を基に切盛りの人工改変図を作成した。表面波探査とボーリング試験を複数点で実施して、図の精度を確認した。 (7) 造成地の宅地被害は盛土部にて多くの被害が発生するが、切盛り境界を中心に切土部においても被害が発生した。 		

助成研究者紹介

おおつか さとる

大塚 悟

現職：長岡技術科学大学・工学部 教授（工学博士）

主な著書：

地盤災害—盛土崩壊—，平成 16 年新潟中越地震被害調査報告会梗概集，
（日本地震工学会ほか，平成 17 年）

新潟県中越地震災害調査報告書（土木学会，平成 17 年）

切土斜面の地震被害

（基礎工，新潟県中越地震の教訓と対策，平成 17 年）

「新潟県中越地震の地盤災害に関わる提言」の取りまとめ報告

（土と基礎，平成 17 年）

盛土構造物の被害（地球号外 No.53：2004 年新潟県中越地震，平成 17 年）

表面波探査による住宅地盤の耐震性評価と地震による被害事例

（基礎工，平成 19 年）

新潟県中越地震による地盤の被害と復旧（建築防災，平成 19 年度）

新潟県中越地震災害調査報告書（地盤工学会，平成 19 年）

活褶曲地帯における地震被害データアーカイブスの構築と社会基盤施設の
防災対策への活用法の提案（科学技術振興調整費，平成 20 年）

2007 年新潟県中越沖地震に関する総合調査報告書（科学研究費補助金（特
別研究促進費），平成 20 年）

新潟県中越沖地震被災地における表面波探査による地盤構造調査

（地盤工学会誌，平成 20 年）

新潟県中越沖地震災害調査報告書（地盤工学会，平成 20 年）