

液状化対策と地下水面変動からみた中越地震

中野俊郎 *・稲葉一成 **・豊島剛志 **・卯田 強 ***

* 自然科学系 (農学部)・** 自然科学系 (自然学研究科)・*** 自然科学系 (理学部)

要旨

地下水面が低下し、暗渠溝を粉殻で埋め戻した所に空気が侵入して、粉殻が腐植して空洞化した箇所に農作業機械が埋まり込む事故が多発しました。2001年から地下水面の低下の調査を継続している最中に、中越地震が発生しました。段丘の端に位置する長岡市新開町水田では、地下水面下に地下水が流動する層があり、この流動層が消滅すると負圧が発生することを付き止めました。そこで、地下に負圧が発生したときに、大気を吸い込ませて空気膜層を作り、地下水と地表水を分離させれば、地下水が低下しても地表水は保全されることを確認する調査を行っていました。地中 1m に負圧センサーで観測していたところ、中越地震が発生する 80 日前から地下水面が 1.5m から低下し始め、40 日前に最深 3m まで低下しました。その後、40 日間で負圧がキャンセルされて、田面下 1m まで回復した時に中越地震が発生しました。その後の地下水面は低下傾向を示しますが、余震が発生するごとに 1.5m まで回復する挙動を繰り返しました。ここでは、吸水渠埋設近傍の客土層と砂礫層の境目に空気膜層を造り地下水と地表水を分離させれば地下水が低下しても地表水は保全することができることと、新潟大学フィールド科学教育研究センター新通ステーション (FC 新通) を貫通する集水渠吐出口が排水路水面下に出る構造では、集水渠管内の水の質量と加速度に依拠する吸引力によって排水量増大と地下水面を低下させる事実から、液状化仕組みとこれを抑止させる方法について記述します。地震を研究対象にしていませんが、偶然、地震振動に伴った地下水面の変動を捉えることができました。80 日前から現れる地下水面昇降から、地震を予知する可能性を記述します。

キーワード：水田の汎用化、暗渠排水、地下水低下、負圧、質量×加速度＝力、地下水流動層、液状化、陥没、地震予知

はじめに

FC 新通での暗渠排水の調査は、信濃川最下流マイナス地盤にある水田の汎用化のための調査です。暗渠の吐出口を排水路の水面下に出し、吸水渠の溝を粉殻で埋め戻すと水田の湛水と粉殻と吸水渠と集水渠および排水路水面の間に水理的連続を維持すると、高い土壌水分張力が発生することが、わかりました。この高い張力が発生する原動力は、集水渠管内を流れる水の質量と加速度を乗じた力である、と思われます。新開や神谷での調査は、粉殻疎水材の腐植防止対策や地下水面の低下を抑制する目的の調査です。腐植原因は、流動層が消滅すると流動層内に負圧が発生することがわかりました。この負圧が発生したときに、大気を吸引させて、地下水と地表水を分離すれば、地下水面が低下しても地表水は保全されることを調査しているときに、中越地震が発生しました。

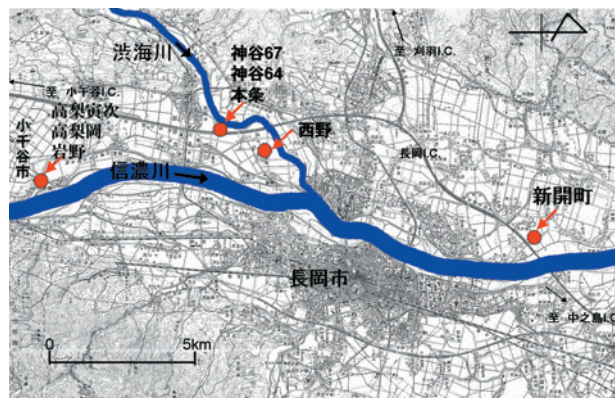


図1 調査地

I 段丘上水田の陥没と液状化被災報告

道路が崩壊し入村が困難な山古志などの調査ができませんでしたが、2001～2004年に地下水の観測を継続していた場所が中越地震被災地に近く、信濃川中流域河岸段丘上の液状化が発生した水田の調査を行いました。液状化が発生した水田の地

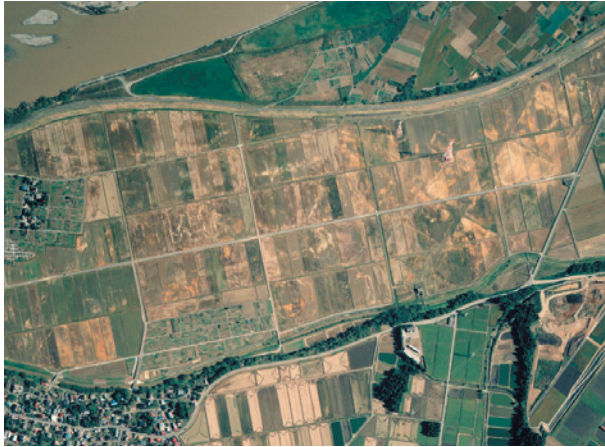


写真1 高梨・岩野地区 (2004年10月24日アジア航空(株)撮影)



写真2 高梨の砂利採取した水田の陥没状況

盤は、厚さ1 mに山土を客土された下層に厚さ15 mの砂礫層が堆積¹⁾しているのが、図1に示した調査地の特徴です。このような地盤構造を有する長岡市新開町、旧越路町西野・神谷・本条および小千谷市高梨の水田で発生した液状化被災に関する調査を着手しました。神谷67と新開町においては、地下水面下に地下水が流動する層があり、この流動層^{2,3, 8)}が消滅すると負圧が発生することを付き止めました。そこで、流動層に負圧が発生したときに大気を吸い込ませて、厚さ1 mの客土層と砂礫層の境目に空気膜層を造り、地下水面が低下しても地表水が保全されることを、検証しました。また、液状化や陥没が発生した中に被災が軽微な水田を見付けました。よく調査すると、暗渠の吐出口が排水路水面下に出ているため、盛んに排水されており、地下水面も田面下50 cmに低下しています。このことは、農学部新通農場(FC新通)で行なった調査結果と符号しています。

1. 小千谷市高梨(陥没と液状化)の被災状況

1975年ころに土木材料として砂利が採取されました。砂利採取掘削深さは、5 mまでに規制されていました。この写真を見ると、砂利採取した境界に沿って陥没しているのが伺えます。現地で見ると80 cmの段差と液状化が発生し(写真1)、吸水渠土管が田面上に噴出すなどの農地被災が起こっていることがわかります。このような陥没により大きな段差が生じた30 m×100 mに大区画化された水田の復旧には、水田面の均平化や暗渠施工のやり直しの経費負担が大きいことが推察されます。

その他、コンクリート製U字溝の排水路が地震力で1 m以上も浮き上がった箇所や、アスファルト舗装された農道に発生した大亀裂やマンホールの浮き上がりなど、多大な被害がもたらされました。水田面上に噴砂堆積した土をみると、砂だけでなく客土成分も混在し、噴砂後の余震で再配列して噴砂堆積土の表面に客土である粘性土が観察されます。一旦、地表面に噴出された砂と粘土土が地震力で再配分され、粘性土よりも乾燥密度(比重)が大きい砂が下層に、砂よりも乾燥密度が小さい粘性土が堆積上層に移動したと、考えられます。

隣接する旧越路町岩野では陥没は無いものの液状化した水田は多く見られます。

この高梨地区の砂利採取境界に沿った陥没現象は、砂利採取後に山砂利をゆる詰め状態に締め固められた間隙に地下水が溜まり、このゆる詰め構造が地震力で一気に破壊されて、大きな地下水の塊となったと考えられます。この水の塊の質量と地震加速度に依拠する力(噴砂力)が、田面下80 cmに埋設された暗渠の土管を、地表に吹き上げたと推定されます。

地震発生翌日に高梨を撮影した航測写真には、旧区画の跡が認められます。この旧区画の境目に沿って砂利採取されたと考えられます。この高梨で陥没した境目では、陥没していない側の耕盤層が異常に固く、検土杖で突き刺しても貫入できないことから、境目に沿って砂利道が存在していることがわかります。

小千谷市高梨や旧越路町西野で陥没した水田を復旧するには、均平作業と暗渠施工が付随するので、経費が掛かります。その他に、地震力でコンクリートU字ブロックが1 m浮き上がった排水路を修復することや、用水弁や埋設パイプラインを修復する必要があります。

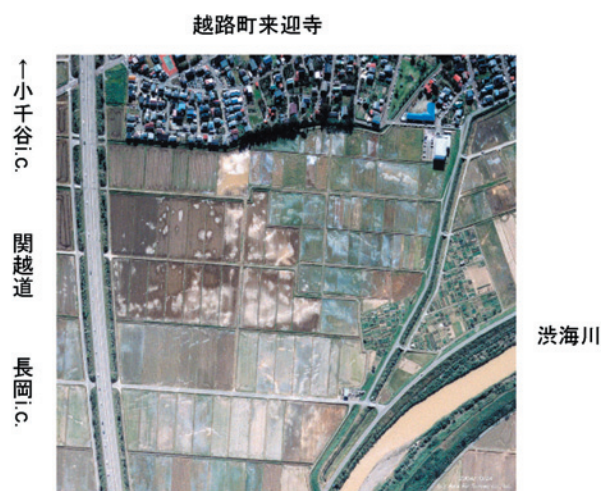


写真3 本条と神谷64の液状化



写真4 本条, 神谷, 西野の陥没・液状化 (2004年10月24日アジア航空機撮影)



写真5 籾殻の腐植・液状化新開町

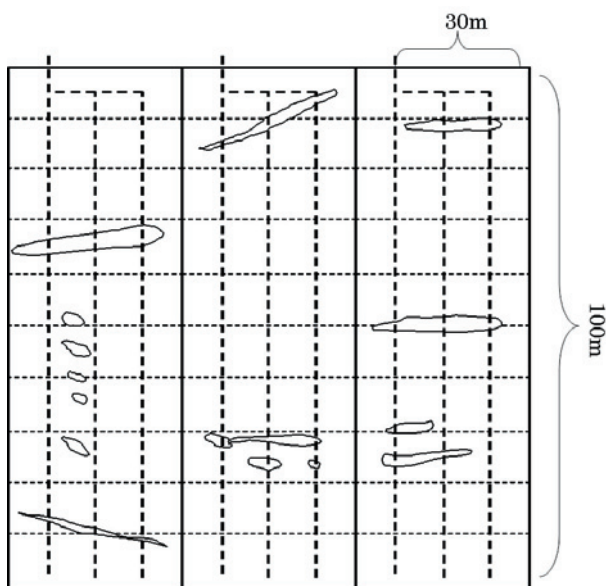


図2 神谷64水田の液状化噴砂堆積状況

2. 長岡市 (旧三島郡越路町) 本条・神谷64 (液状化) の被災状況

写真3のように越路町本条地区の地下水面が浅く暗渠が無い水田では、長辺方向の農道や排水路で挟まれた中央部に大量に液状化し形成された水田面上に多く液状化し噴砂した堆積土が見られます。本条には、古来、常に湛水する池のように排水され難い箇所があり、それが現在でも見られます。土層柱状図を求めるために、ハンドオーガーで深さ2mまで穿孔して、翌日、穿孔内の水面を見ると田面から0～20 cmにあります。したがって、この地表付近に地下水面があるこの地区では、地表付近の地下水が地震力で振動して液状化が起こったと考えられます。写真4の液状化した箇所の群を見ると、昔の信濃川の河道¹³⁾が在ったことが、液状化を誘発させた原因ではないかと思われます¹⁴⁾。

関越道寄りの神谷64水田でも液状化し吸水渠埋設線上に沿って堆積土が見られます。液状化して水田面上に堆積した土層を測量すると、水閘が閉ざされた水田や排水路が土で埋まった状態の水田では吸水渠埋設列に沿って液状化し堆積土が連続していることがわかります (図2)。

中越地震が発生したとき、神谷や新開町でストレーナー付塩ビ管から大気を吸引させて負圧をキャンセルさせた結果、吸水渠管内には水が溜まらなくさせたため、地震加速度と吸水渠管内の水の質量に依拠する噴砂力が発生するのを抑制したと考えられることから、水閘が閉ざされた条件では、吸水渠管内に溜められた水質量と地震加速度に依拠する噴砂力が発生したと考えられます。水

田面上に液状化して堆積した土をみると、砂と客土と一緒に堆積していることから、液状化して噴出した水は吸水渠管内に溜まった水であると推定されます。

3. 神谷 67(液状化無し)の被災状況

神谷 67 の地下水面の変動を調べるために、2001 年に吸水渠直上と 4 m 離れた土中の圧力変動の観測値を示したものです。+70 cm 水柱の正圧から -70 cm 水柱の負圧が乱高下している様子がわかります(図 3)³⁾。天井川を呈している渋海川沿いであるため +70 cm 水柱の正圧が発生することは理解できますが、何故、負圧が発生するのかわかりません。

農業法人神谷生産組合が管理するこの水田で流動層の検層や流動層内の負圧を観測させてもらっています。2001 年に観測開始した結果、正圧と負圧が乱高下することや(図 3)、2003 年には流動層が存在する(図 5)ことと、流動層が消滅すると流動層内に負圧(マイナスの圧力)が発生します(図 7)。2004 年になると、流動層が現れなくなりました。発生しつつある地震力によって、地盤が伸張状態過程を通り、地下水面が田面下 1.5 m に低下したと思います。

籾殻の腐植状況を調べるために、スコップで掘ったときの様子が写真 5 です。長年月に渡り応力履歴を受けると、土塊の結合力が弱まり土塊が分散し、このことが籾殻の腐植と空洞化を誘引することにつながることを確かめるために、団粒分析試験を行いました。網目の開き目が 1cm を通過し 8 mm の網に残留する土塊 200 g を、水中で 1 時間篩い各網の残留重量を測り残留率を求めたのが、図 4 です。これは吸水渠直上と吸水渠から 1m 離れた箇所の土の加積曲線を比較したものです。吸水渠直上の土塊の方が分散していることがわかります。

負圧が発生することを探るために地下水流動層の検層を行いました。10cm 間隔にサーミスター温度センサーを 20 個連結した温度プローブを直径 18 mm 長さ 3 m のステンレス巻パイプ内に挿入し、1 時間間隔で地下水温度を観測しました。2003 年 8 月 27 日の結果を、図 6 に示しました。一連の結果から、田面下 1 m と 2.3 m の箇所に流動層が現れます。第一流動層内に負圧センサーを挿入して負圧を観測すると、流動層が消滅すると負圧が発生することがわかりました。

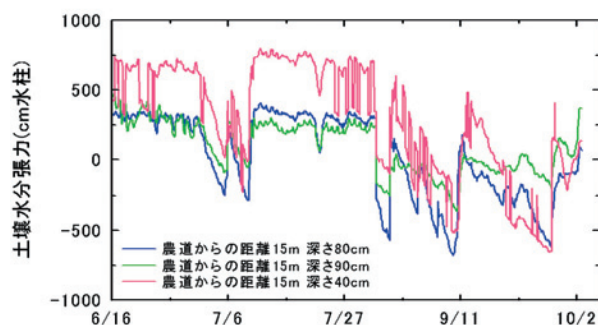


図 3 2001 年神谷 67 の水田面下の圧力変動

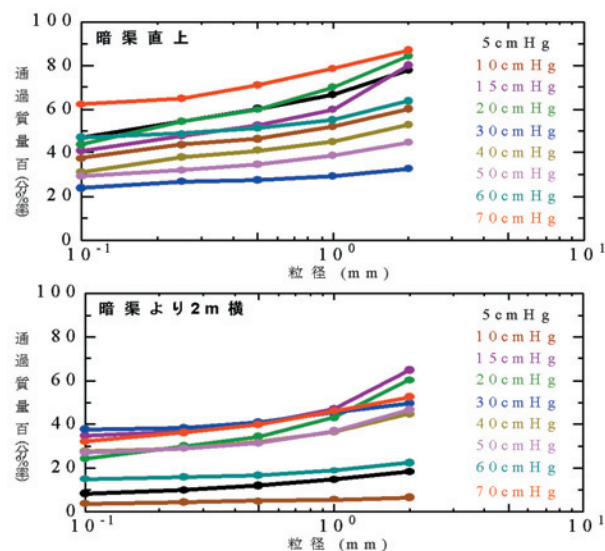


図 4 2003 年神谷 67 の水田土壌の団粒分析結果

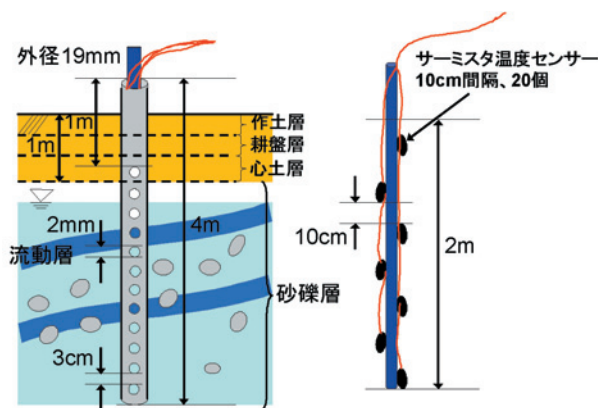


図 5 温度測定による流動層の検層方法

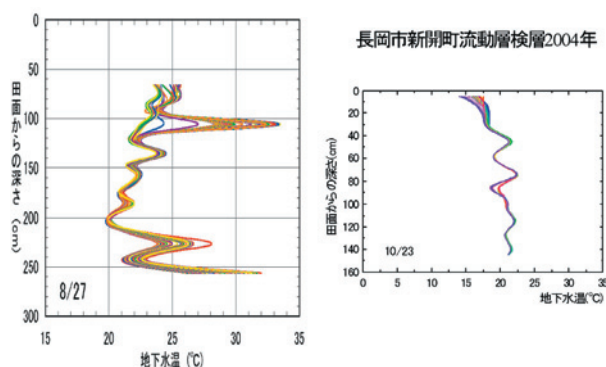


図 6 新開町水田の 2003 年と 2004 年の検層結果

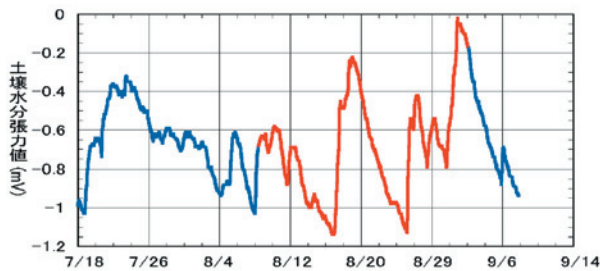


図7 流動層内の圧力変動

4. 旧越路町西野（陥没と液状化）の被災状況

この地区では、高梨と同様に砂利採取が行なわれたため、陥没と液状化が激しく広範囲に発生しています。地区全体の復旧基盤整備に大型機械が導入されて、6月には田植が行われます。いたるところで激しく陥没や液状化が起っている中で、写真4の枠で囲った被災状況が比較的軽微な30m×100mの5枚の水田を見付けました。暗渠を調べると、土や木材が堆積して排水路には水面が形成され、暗渠の吐出口が水面下に水没していました。吐き出し口からは、勢い良く排水されているのが観察できます。後で、測水管を打設して地下水面を測定すると、吸水渠管内の地下水面が田面下50cmに低下していることがわかりました。このことは、FC新通の調査で得られた知見が正しいことを、表していることになると思っています。

5. 長岡市新開町（液状化無し）

河岸段丘の端に位置する場所で、厚さ15mに砂礫層が堆積した上に山土を1m客土した地盤の上に圃場が形成されています。排水改善のために、深さ80cmに籾殻で埋め戻された暗渠が施工されました。地元の耕作者から得た情報では、丁度、客土層と砂礫層の境目に暗渠が埋設されたために、地下水面が低下すると暗渠の埋設底面を通して漏水するために、籾殻が空気に接触して腐植し空洞化するようです。そのため空洞化したところにビニール廃材を詰め込んで、漏水を防ぐ試みをされていますが、暗渠排水機能を失うことになります。神谷67の調査と同じ様に地下水面の低下を把握するために、地下水流動層の検層と流動層内の圧力を観測しました。2003年には、深さ1mと2.3mに流動層が存在し、神谷67と同様に流動層が消滅すると負圧が発生します。地震が発生する2004年は、流動層が現れなくなりました。

2004年には、流動層に負圧が発生したときに負圧をキャンセルするために、大気を吸引して客土層と砂礫層の境目に空気膜層を形成し、地下水と地表水を分離させて地下水が低下しても地表水が

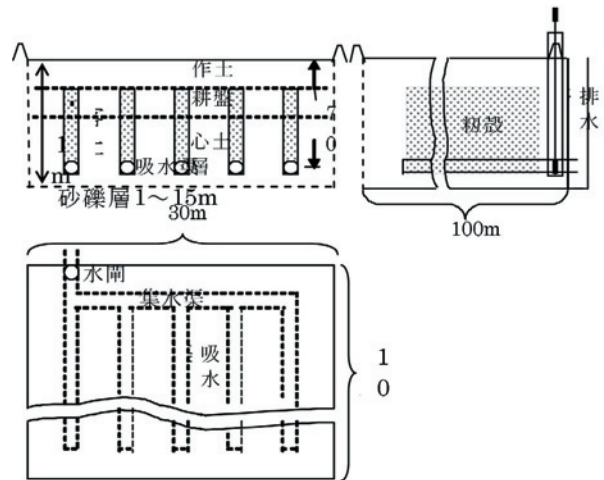


図8 神谷・新開町水田の暗渠配置

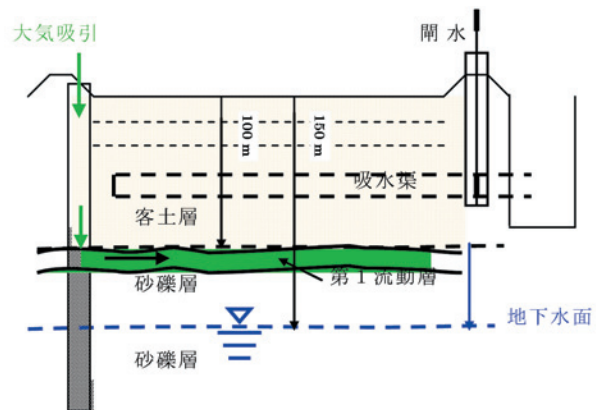


図9 空気膜層を形成した地下水と地表水の分離

保全されるかを、調査しました。

新開町水田の地下水の流動方向がわからないので、互いに直交する農道と畦畔上に1m間隔に9本ストレーナー付き塩ビ管を打設し、流動層に発生する負圧をキャンセルさせました。塩ビ管内の地下水面は1.5mに低下させることができましたが、田面下1mの流動層内に挿入した負圧センサーでの観測値からは、キャンセルされることが無く、地下水面が3mまで低下する様子が見られます。また、地震発生の日後に撮影した航測写真をみると、新開町水田の神谷水田でも液状化は発生していません。偶然に、両地区共に地下水面が低下してしまっていたため、液状化が発生しなかったのか、それとも大気吸引用塩ビ管を打設したために、液状化が発生したかはわかりません。2005年には、液状化し旧河道が通っていて、かつ、地下水面が地表面近くにある水田の畦畔にストレーナー付き塩ビ管を打設して、地下水面を低下させられることが出来ることを、検証します。

II 被災対策

1. 陥没の抑止対策

(1) 1975 年頃に行なわれた砂利採取箇所の旧区画境目で陥没が発生していることが、航測写真から観察できます。旧区画は現区画とは、ほぼ 45° 傾いているため、掘削されていない旧農道が通っている箇所では、耕盤層が異常に硬いことから区画の境界があったことがわかります。表土扱いした復旧工事で、約 80 cm 陥没した水田の均平と漏水の抑止効果が得られると同時に、天地返しで稲の生育環境が改善されることが期待されます。

(2) 陥没現象は、深さ 5 m まで砂利採取した後埋め戻した土の間隙水の質量に地震加速度が加わって、大きな噴砂力が発生したと推定されます。

(3) 中越地震の激しい揺れで地下水が噴出し砂利採取後の埋め戻し土が密詰状態になったと想定されますが、深部の飽和度が増したかは不明です。地下水が質量と加速度によって噴砂する考え方が正しいなら、畦畔上に長さ 5 m のストレーナー付き塩ビ管 UV60 を打設し、再度、地震加速度に遭遇したときに、この塩ビ管から地下水だけを噴出させることによって、液状化を抑止することが期待できます。

2. 液状化の抑制対策

(1) 暗渠吐出口を大気開放すると空気が吸水渠周囲に浸入し排水性を悪化させるので、排水路水面下に出して水面から吸い出す力に寄与する圧力水頭と吸水渠管内の水の質量と加速度に依拠する吸引力を発生させて、地下水面を吸水渠埋設深さまで低下させます。

(2) 稲刈り後は水閘を開けて地下水面を低下させるとともに、吸水渠管内に水を溜めないようにして、質量と加速度に依拠する噴砂力を抑制させます。

(3) 神谷 67 や新開町水田のように厚さ 1 m の客土層の下に厚さ 15 m の砂礫層が堆積しています。このような地盤で、客土層と砂礫層の境目に施工された吸水渠管の中の水と地下水が水理的連続が維持された状態では、負圧が発生すると吸水渠管内の水が吸水渠底面全体から漏水すると推定できます。そのために籾殻疎水材が作土層・耕盤層から浸入してきた空気と接触して籾殻が腐植すると考えられます。

(4) 排水性を阻害する耕盤層を突き破り、田面下 1 m 深さの客土層と砂礫層の境目に空気膜層を造るために、直径 6 cm 長さ 2 m の塩ビ管の下部 1 m の部分に 2 mm に穿孔したストレーナを付けて

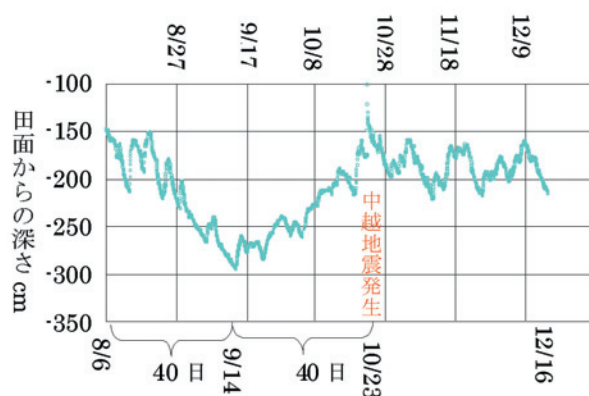


図 10 新開町水田の地下水面変動

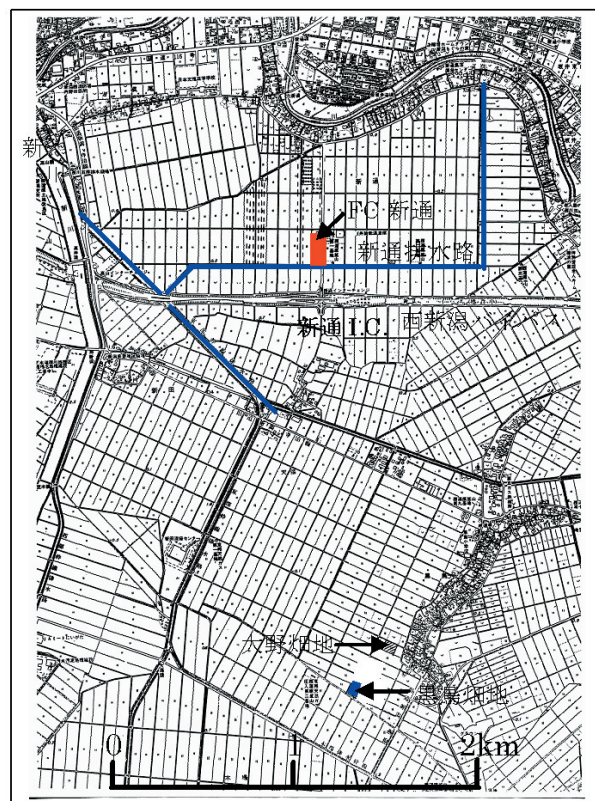


図 11 新通区と黒鳥区の調査地

打設します。流動層に負圧が発生したときに、大気を吸い込ませて空気膜層を造ると、地下水と地表水が分離され、地下水が低下しても地表水が保全されると考えられます。

(5) 新開町水田の検層結果から、2003 年に深さ 1 m と 2.3 m に流動層が現れていましたが、2004 年になると地震で地盤が伸張状態になり地下水面が低下したためか流動層が現れていません。

(6) 航測写真をみると、大気吸引用のストレーナー付き塩ビ管を打設した神谷 67 と新開町の両方とも、100 m 四方で液状化は発生していません。元々、地下水面が低下していなかったせいなのかわからないので、信濃川旧河道にある地下水面が

高い水田の畦畔に塩ビ管を打設して、大気吸引の効果を確認する調査を行なっています。

(7) 同時に、第二流動層に大気を吸引させ、第一流動層に用水を注水させて、地下水涵養を強化する調査を行っています。

これらの考え方には二つの調査事例を基にしています。

一つ目の考え方は、新潟大学フィールド科学教育研究センター新通ステーション (FC 新通) の暗渠排水によって水田の汎用化を目指した調査結果^{4,5,6,7,9,11,12)}に基づくものです。

新通地区では、昭和 23 年頃に耕地整理事業として、暗渠が施工されました。FC 新通の場所から機械施工が導入されたものの、不慣れのために集水渠溝を深く掘削したようです。FC 新通を貫通する直径 20 cm 長さ 600 m の集水渠は、図 12 と図 13 のように田面下 1.1 m に埋設され、新通排水路への吐出口は排水路水面下に出る構造になっています。この集水渠に直交方向に 20 m 間隔に田面下 60 cm に吸水渠が施工されました。集水渠管内は満流し流速は 5 ~ 20 cm/s あります。1983 年に FC 新通 B3 区の新たに籾殻で埋め戻した吸水渠を 2 本施工しました。1999 年まで、小排水路に排水していましたが、法面崩落などで排水改善の必要性が生じたため、反対側にある集水渠に接続したところ、吸水渠直上で $-800 \text{ cmH}_2\text{O}$ もの高い土壌水分張力が観測されました。このような高い土壌水分張力は、どのような駆動力が作用しているのかを探るために、集水渠管内の水の質量と加速度に依拠する吸引力と旧吸水渠管内に負圧センサーを挿入して観測し、計算値に比較してみました。ほぼ、計算値と実測値が近似することから、高い土壌水分をもたらす源動力は、

質量 \times 加速度 = 吸引力 (ニュートンの第 2 法則) が適用できると、考えられます。

2000 年からの計算で求めた吸引力と 2004 年に旧吸水渠管内に負圧センサーを挿入し実測値を比較すると、近似することから考え方の確かさが認められます。

他に、黒鳥の 2 つの畑地で直径 10 cm 長さ 30 m の吸水渠を 3 本埋設し、これを一つに束ねて排水路へ排水する吐出口にエルボと立上管を取り付け人口水面を造って排水させると、地下水面は吸水渠埋設深さまで低下しました。畝に負圧センサーを埋設して土壌水分張力値を観測した結果から、 $40 \text{ cmH}_2\text{O}$ の吸引力が発生することがわかりました。



図 12 FC 新通の集水渠と新・旧吸水渠

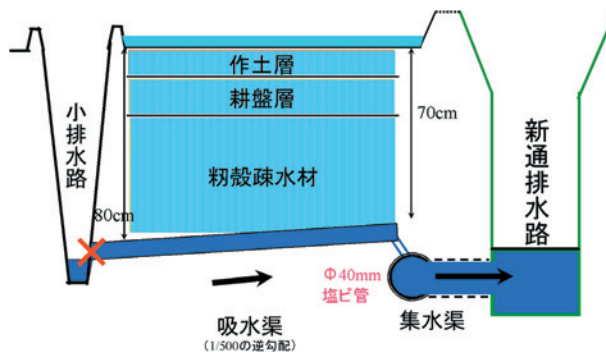


図 13 FC 新通の水理的連続維持した吸引力発生



新通西部地区

新通農場

図 14 集水渠吐出口が排水路水面下に出た水理的連続維持

米の品質向上や畑地転換のために、暗渠埋設や水田面に 1m の客土を試みているようですが、必ずしも良い結果は得られていないようです。

信濃川最下流マイナス地盤に在る水田の汎用化の手法の一つに、水理的連続を維持させ、集水渠管内の水の質量と加速度に依拠した吸引力を利用し

て、暗渠排水量の増加と地下水面の低下を試みる手法を提案します。

上記の手法で、信濃川最下流部マイナス地盤にある水田の排水改善と畑地転用の可能性が高いと考えられます。新通地区では、水田の田面下 10 cm に地下水面がありますが、FC 新通の地下水面だけは吸水渠埋設深さまで低下しています。ただ、10 mm/時間の降水量に見舞われると、畝間の湛水を短期間には排除出来ません。畝間の湛水を迅速に排除させ得る手法を確立する必要があります。

新潟県農地部では、籾殻疎水材の代わりに砂利で吸水渠を埋め戻して直径 5 cm 長さ 50 cm の吸水体を 1 m 間隔に敷設した暗渠が、新発田地域振興局で試行されています。この方式による排水性の改善、地下水面の低下させる効果は、水田の汎用化を期待されます。

二つ目の考え方は、長岡市神谷 67(旧三島郡越路町)と新開町の水田で、直径 6 cm 長さ 2 m の塩ビ管の下部 1 m 部分に 2 mm の穿孔したストレーナー付き塩ビ管 VU60 を 1 m 間隔に打設して、客土層と砂礫層の境目に発生する流動層に大気を吸引させて空気膜層(図 9)を形成し、地下水面が低下しても地表水は保全されることに着目したものです^{3,8,10)}。

地下水検層で神谷や新開町水田の客土層下の田面から 1 m と 2.3 m の深さに地下水流動層があることが、わかりました。この流動層内に负压センサーを挿入して圧力の変動を観測すると、流動層が消滅すると负压が発生することがわかりました。

そこで、神谷と新開の水田で、负压が発生したときに、大気を流動層内に吸引させて负压をキャンセルするために、直径 6 cm 長さ 2 m の下部 1 m に 2 mm 穿孔したストレーナー付き塩ビ管を畦畔上に 1 m 間隔に打設しました。

神谷水田では、図 18 のように、渋海川に平行に地下水が流れているので、農道脇に 1 m 間隔にストレーナー付き塩ビ管を打設しました。大気が吸い込まれて深さ 1 m にある流動層内に空気膜層が形成されることを確かめるために、塩ビ管打設から 15 m 離れた深さ 1 m に负压センサーを設置して负压がキャンセルされるかを検証しました。

新開町水田に大気吸引用のストレーナー付塩ビ管を打設するために、吸水渠を埋め戻した籾殻が空気に触れて腐植し空洞化していたことから、地下水流動方向を把握することができないので、负压センサー埋設場所を取り囲むようにストレーナー付塩ビ管を打設しました(図 16)。

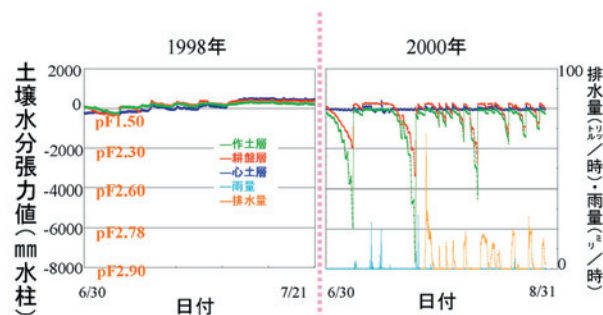


図 15 水理的連続の有無による土壌水分張力の発生差

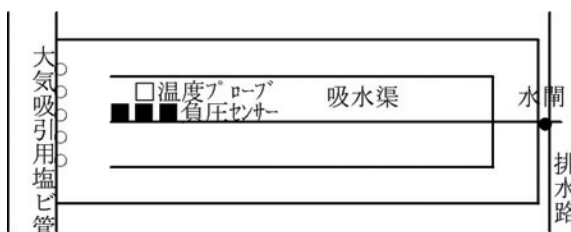


図 神谷水田の計測センサー埋設位置

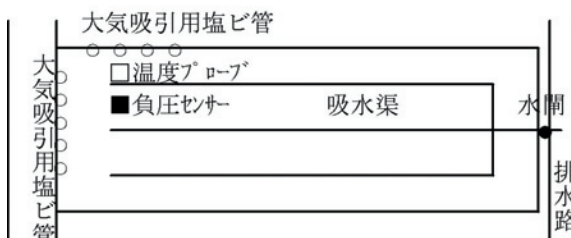


図 新開町水田の計測センサー埋設位置

図 16 神谷水田の計測センサーの埋設

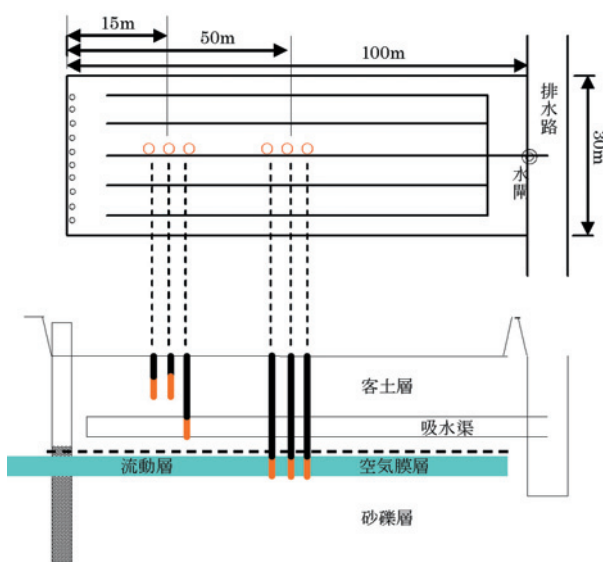


図 17 大気吸引による负压をキャンセルさせた吸水渠管内に地下水を溜めないで噴砂力抑制

负压センサーを田面下 1 m に埋設して地下水面の変動を求めた観測結果を図 10 に示します。中越地震本震発生 80 日前から 40 日前まで直線的に地下水面が田面下 3 m まで低下し、発生前 40 日



図 18 本条, 神谷, 西野の旧河道と 2005 年地下水面低下の調査場所

から本震発生まで直線的に圧力が 1.5 m に戻っています。本震発生後の地下水面は低下する傾向を示すが、余震が発生するごとに田面下 1.5 m に回復する挙動を繰り返しています。

越路町西野でも砂利採取された形跡があります(写真 4)。段差 80 cm もある陥没や液状化がいたる所で発生している中に、陥没や液状化が軽微な水田 5 区画を写真 4 に赤枠で示した箇所に見つけました。排水路は水面を形成する構造にありませんが、排水路底に溜まったゴミが塞ぎ上げて暗渠吐出口が排水路水面下に出る形になっていて、勢い良く排水されていることが観察できました。この水田に測水管を打設して地下水面を測定すると、田面下 50 cm に地下水面が低下していたことがわかりました。この地下水面が低下していることは、FC 新通の満流する集水渠管内に水質量と加速度に依拠する吸引力が作用することを裏付けていると、考えられます。

稲刈り後には、水閘を開けて水田土壌を乾燥させるように水閘を管理していますが、中越地震時には不徹底であったと思われます。

神谷 67 も、新開町水田と同様に大気吸引用塩ビ管を打設したために地下水面が低下したのか、地震前に既に地下水面が低下していたために液状化が発生しなかったのか不明な点があります。図 18 に示す^{13,14)} 神谷 66(×印)の水田の畦畔に大気吸引用塩ビ管を打設して、負圧がキャンセルし地下水面が低下する調査を継続しています。

III 地下水面挙動による地震予知の可能性

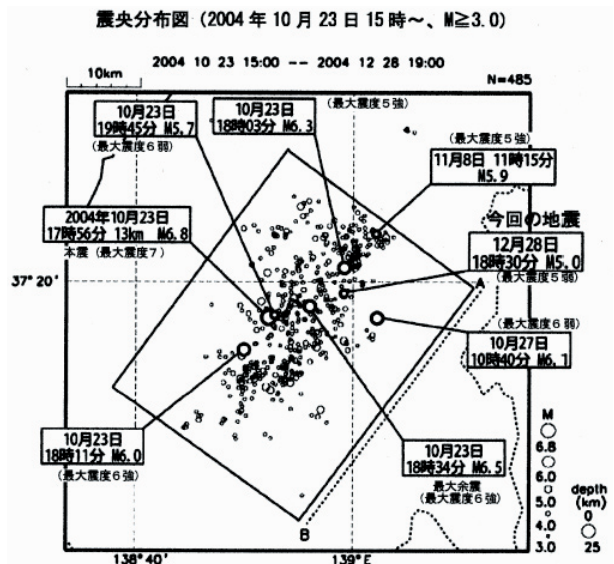


図 19 震源断層



図 20 広神村東野名地すべり孔内水位変動

1. 地下水面の挙動

(1) 新開町水田の負圧測定から求めた地下水面変動

新開町水田に負圧センサーを埋設した箇所では深層の地下水脈と水理的に連続が維持されていたため、通常は田面下 150 cm にある地下水面が中越地震の本震発生 40 日前に 300 cm まで低下し、本震発生時に向かって回復する地下水変動現象を表しています(図 10)。その後、再び地下水面が低下しますが、下水面が田面下 180 cm まで低下すると余震が発生して、回復する現象が繰り返されます。

(2) 守門村東野名地すべり孔内水位変動

山古志と川口町を結ぶ推定された震源断層の東側にある守門村東野名地すべりの余震毎の地下水観測孔内地下水面の変動(図 20)^{16,17)}は、局所的に上昇傾向を示しています。一方、断層の西側にある長岡市新開町の水田面下 1 m に埋設した負圧センサーの観測値から求めた地下水面の変動をみると(図 10)、一旦、低下してから上昇する傾向がみられます。

2. 震源断層を境目にした地盤の圧縮・伸張状態

気象庁作成の中越地震の震央分布図から、震源断層は山古志と川口町を結んだ方向にあると、推定しました。

この震源断層の東側の広神村東野名地すべり孔内水位変動は、局部的に上昇傾向を示しています。西側の新開町水田の地下水面は下降傾向を示していることから、震源断層から東側の地盤は圧縮状態になり、西側の地盤は伸張状態となっていると推定しました。

3. 地震予知の可能性

この負圧観測値から求めた地下水面変動と負圧キャンセル用の塩ビ管内の地下水面実測値は近似することと、余震ごとに負圧がキャンセルされる期日が一致することから、データの信憑性は在ると思えます。

新開町の観測条件は、田面下 1 m に負圧センサーの受圧部が埋め殺されていて、厚さ 1 m の客土層の下部に堆積している砂礫層にあります。厚さが約 15 m ある砂礫層内の深層地下水と水理的に連続する地盤構造が整っていたことが、地下水の挙動を細かく圧力変動で捉えることができた、と考えられます。

このように地下水脈と連続が維持された地点のデータを集めて、地下水面の変動を把握すれば、地震発生の予知につながる知見が得られると思われれます。

東野妙と長岡市新開町の 2 つの観測データしか入手できませんが、他の多くの観測データを収集して検討を重ねた地震予知の確立は、多くの山間農地を保全管理する地区住民の安全を確保する上で、震予知対策が必要と感じます。

図 10 では、客土層と砂礫層の境目に地下水面が在りましたが、田面下 1 m の第一流動層に負圧が発生したとき、大気を吸い込ませたために地下水面が 1.5 m に低下しました。地下水面が 1.5 m に低下する原因は不明な面がありますが、中越地震発生に起因する地殻変動挙動に係があると考えられます。すなわち、圧縮状態の地盤の地下水面は上昇傾向を示し、伸張状態の地盤の地下水面は下降傾向を示すと推定することは妥当だと思われれます。

反射法地震探査による地下構造調査や水文学や地震学など多面的なデータを収集し総合的検討から、中越地震の震源断層の位置を正確に把握する試みがなされています。中越地震の現象を把握す

るために、震源断層の位置を正確に把握するのは容易ではありませんが、今回たった二地点の地下水面の挙動から川口と十日町を結ぶ方向に発生していることや予知を、簡便に推察できる可能性があると思われれます。

引用文献

1. 北陸農政局農村計画部資源課「地下水調査 地下水強化手法検討型 魚沼段丘地区報告書 2002
2. 温度測定による流動地下水調査法 竹内篤雄 古今書院 1996
3. 駒村幸司「信濃川河岸段丘地形における水田暗渠疎水材籾殻の腐植防止対策」農業土木学会要旨集 5-43、2002
4. 阿部孝弘、庄司立「サクシオン作用を付与した暗渠排水効果」農業土木学会要旨集 5-44、2002
5. 浅見聡一、青木朋佳「低湿水田の暗渠排水回復試験」農業土木学会京都支部要旨集 2002
6. 稲村敬史「吸水渠の籾殻疎水材に接続させたパーライト排水溝による畑地の排水性改善」農業土木学会京都支部要旨集 2003
7. 増茂洵子「サクシオン作用を付与した吸水渠とパーライト排水溝による排水効果増進」京都支部要旨集 2003
8. 本田純一「籾殻疎水材の腐植防止及び地下水位低下対策」農業土木学会京都支部要旨集 2003
9. 佐藤拓磨「籾殻疎水材を用いた暗渠のサクシオンと吸引力による排水強化」農業土木学会京都支部要旨集 2-2、2004
10. 小瀬川知子「籾殻疎水材の腐植防止対策と液状化抑制」農業土木学会京都支部要旨集、2-2、2004
11. 吉本あゆみ「水平勾配の暗渠を施工したことによる地下水面変動」農業土木学会京都支部要旨集、2-4、2004
12. 安田 護「地下水面を低下させた畑地の畝間湛水迅速排除」農業土木学会京都支部要旨集、2-3、2004
13. 平林由紀子修士論文「河川作用と新潟平野の地形発達史—1,000 年前以降の地形形成について—」
14. 地盤液状化の科学、岡二三生、近未来社 2001
15. 土壌環境分析法、土壌環境分析法編集委員会編、博友社、1997.6
16. 気象庁作成 2004 年新潟県中越地震の活動、震央分布図
17. 野口忠宏、矢野光一、新潟県中越地震時における地すべり活動と地下水挙動の事例紹介、日本地すべり学会新潟支部第 33 回シンポジウム、p.16、2005.5
18. 佐藤次生、動態観測網がとらえた地震時の地すべり地の挙動、日本地すべり学会新潟支部第 33 回シンポジウム、p.24、2005.5