

新潟地震による農地・農用施設の被害

金子良・根岸久雄・中川昭一郎・田地野直哉
三品直樹・佐藤瑞夫・山下進・大平成人

農林省農業土木試験場

Damage to Agricultural Fields and to Irrigation and Drainage Facilities

By R. Kaneko, H. Negishi, S. Nakagawa, N. Tajino,
N. Mishina, M. Sato, S. Yamashita and N. Ohhira

Agricultural Engineering Research Station, Ministry of Agriculture and Forestry, Hiratsuka

Abstract

Niigata Earthquake did damage to agricultural fields and facilities in the Niigata, Yamagata and other adjoining prefectures, where the seismic intensity exceeded Scale IV. The total amount necessary for restoration of the damage is estimated at as much as ten billion yen.

Damage to the fields involves crackings, horizontal and vertical movements, and sand blows with spouting water. As a whole, the damage is seen in rather limited areas; almost all of the damaged fields are either on the land which were formed within the past three hundred years artificially or naturally on the old river beds, or on lowland near to sand dunes. Practically no damage is observed both on dunes and on the alluvial land which had been formed more than three hundred years ago. On the natural soft deposits of silt and peat, which were formed within the past three hundred years, no ground rupture is shown, though sometimes a slight overall settlement is seen. The above observations seem to suggest that the damage caused by the earthquake may be more closely related to the history of the ground formation than to the strength indexes of the ground such as N-values.

Since agricultural facilities as canal, pumping plant and road are founded on the ground, they will necessarily be damaged if the ground is ruptured by shocks unless they have very strong and deep ground work. The damaged facilities are found in the same areas where the fields are heavily damaged. As for the damage to irrigation and drainage facilities, however, one should consider their functional failure as well as their structural damage. If an irregular settlement takes place along a canal, its slope is varied or even reversed, and it loses its original ability even though there is no damage in its structure. A pumping plant will suffer from increased runoff and additional water head due to the settlement in its drainage area. Another type of damage is found in paddyfields; that is, an extreme increase in consumption of irrigation water due to failure of an impervious pan of a paddy. Existing facilities become almost useless to meet the increased requirement of water.

Restoration of functionally failed facilities often comes to be tremendously expensive, as it usually involves a large-scale construction operation. Estimated expenditure mentioned at the beginning is for restoring the damaged fields and facilities both functionally and structurally.

はしがき

新潟地震による農地および農用施設関係被害範囲は、新潟県、山形県を中心として秋田、岩手、宮城、福島、長野の各県にもおよんでおり、震度は4あるいは5の地域に相当する。このうち越後平野と庄内平野、そのなかでも新しく生成された河道跡が被害激甚であった。

農地関係被害は地震による直接振動より、その地盤の性質に大きく影響されている。地盤が破壊的災害を受ければ、その上の農用施設は当然被害を生じる。これに対し、ゆるやかな地盤変動たとえば広域の沈下などによっては農地、農用施設に明らかな被害は認められないが、用排水機能の障害が広範囲に生じる。このように地盤の性質と震害との関係を解明することは、将来の計画、設計に大いに役立つものと考えられる。

なお、詳細は農業土木試験場技報F第1号(1965)に報告されているので、参照されたい。

I 農地災害

農地災害の顕著なところと地盤の性質との関係を表示する。

これら地域に共通する特質は、旧河道の陸化したところ

表-1 地盤の破壊を伴う農地災害地域
Areas of damaged agricultural fields, being accompanied with ground rupture.

河川名	地 域	土地の性質
日向川	酒田北方	新川開削による砂丘縁辺部
赤川	赤川新川、最上川間	旧河道、砂質地
胎内川	胎内川、荒川間	
加治川	加治川分水、阿賀野川間	
最上川	酒田東南方	旧派川または旧本川河道跡、
荒川	下瀬部左右岸	下部砂層上部は主としてシルト、泥炭層
阿賀野川	通船川沿岸	
〃	濁川付近	
信濃川	左岸黒崎地区	
〃	右岸菅川付近	
〃	白根郷笠巻	
中ノ川	左右岸各所	破災による沈割跡
最上川	宮野浦、飯盛山付近	砂丘海抜河口部または砂丘
荒川	塩谷、柿崎浜付近	間低地、砂丘縁辺の砂質地
胎内川	笹川付近	
落瀬川	藤原浜付近築地砂丘縁辺	
旧加治川	大夫浜、鳥見浜付近	
最上川	余目北方および東方	堤外地または河川改修に伴
赤川	鶴岡東方各所	なう旧河川蛇行跡
阿賀野川	右岸豊栄、京ヶ瀬地内	砂層、シルト層、泥炭層
〃	左岸早田川合流点付近	
信濃川	左岸白根郷五反田その他	
〃	右岸川上地内菅根その他	
〃	分水、中之島、三条地内	
〃	長岡、与板地内	

ろか砂丘縁辺、砂丘間低地で、地下水の高い軟弱な砂質土であり、上部にはシルト層、泥炭層をのせ、あるいははさむことがある。

旧河道でも陸化の年代が古く300年程度を経過したものは、ほとんど被害がない。たとえば信濃川の旧河道であった西川は大規模な自然堤防が発達しているが、現在河道跡の低地はなく、1600年代にはすでに用水路状態となっていたためか、ここにはほとんど農地被害が見られない。

また阿賀野川右岸の北蒲原郡水原町、安田村一帯には大規模の自然堤防と河道跡の低地が分布するが、陸化の年代が数百年以前と推定される河道跡の水田には、ほとんど被害はない。

新潟平野は、正保2年(1645年)絵図によると現在よりはるかに大きい福島潟、鳥屋野潟、鍛冶が画かれ、岩船潟、紫雲寺潟、白蓮潟(白根郷)なども大きく残っている。

これらの潟跡および潟周辺の低地は、過去300~400年より新しい時代に陸化し、泥炭、シルト、粘土などが厚く堆積した軟弱層で、地震にはもともと弱いように考えられるが、沈下以外にさして農地災害というほどのものは見られなかった。

しかし正保絵図に示される河道、および明治22年(1889年)1/20万帝国図の河道から新しく陸化した地帯は、地盤の破壊的災害を受けた。潟の埋積は微細土、泥炭であるのに対し、河道は主として砂質土からなり、自然的、人為的に急速に埋立したことが震害に大きく関係している。

地盤の性質についてはボーリングによる柱状図、採土した資料の分析、N値その他各種サウンディングによる値などによって数量的に検討する方法がある。しかし自然土層とくに地下深部の砂層構造を崩さずに実験室でその性質を明らかにすることは容易でない。また広がりをもつ土地各部の微妙な差異を数量的にとらえることは非常に困難であって農地災害の分布はN値などより古地理との関係が深い。

沖積平野の利用には軟弱地盤に対する考慮が不可欠であり、地盤の性質を数量的に示すことも重要であるが、その土地の生成過程を知ることが地震対策上とくに必要である。

農地に生じたクラックは幅数 cm から数 m、長さ100 m以上にわたるものもあり、農地のほか道路、水路、堤防にもおよんでいる。クラックの発生は次の原因による。

①河川、水路などの岸に平行するもの、これは水辺の飽和した土層が地すべりを生じ、岸にはクラックを生じ河川、水路底は上昇する。

②高低差のあるケイハンに平行するもの、これは落水時の乾燥によってすでに割れやすい構造を生じていた土層が、地震によって地表まで裂けたものである。道路や堤防にこれと似た現象をみることもある。

③河川、水路とかなり離れたところにも昔の流線に平行したクラックの模様が見られる。これはかつて土粒子が水中に滞積して土地を造成しつつあったとき、流線方向に粒子が動かされ流勢に圧されて緊密に沈着したのに対し、流線と直角の方向には土粒子があまり力を受けなかつたので結合が弱かつたとも考えられるが、それより堆積の時期を異にしたたり、土粒子の組成が異なつたり、当時水中や地表に生えていた植物のため土砂におおわれてもブロックを接着しただけで、接着部には地下水の動きやすい空けきが発達していたためと想像される。

このようなクラックの模様によって、現在の流路とはかなり異なつた流線が示されるが、そこには次第に流線が変化した連続的の関係が画かれている。

新潟市中では詳細なクラックの方向が図示されて、かつての流路方向を再現しているが、信濃川堤外の農地災害地でもクラックの模様が調査された。なおクラックは単なる割れ目だけのもの、垂直的に段落を生じているもの、水平的にいちがっているもの、噴砂によってふさがっているもの、噴砂の列からクラックと判断したものなどがある。

噴砂は噴水にとまらぬものであり、クラック、水路底などから列状に噴出し、あるいは独立した円い噴出口から分散して噴出する場合がある。噴出口は直径数十 cm のものから数 m におよんで火口のように数十 cm の深い穴を残すものと、砂で埋って泥火山のように円頂丘をなすものとある。

噴砂はその名のとおり砂を吹き出したものであるが、噴出の末期にシルトが出て砂の上を薄くおおうことが多い。また噴出物の大部分がシルトからなるものも見られる。シルトが固まったもの、シルトに被覆されたものは表面に亀甲状の割れ目が形成される。

噴出口、クラックの深さ、噴出物の供給された深さは確かめにくい、砂層以外の土層が 5~6 cm も厚い場合に、やはり噴砂が見られることから、その給源はかなり深くまでおよんでいることがわかる。しかし数 m から 1 m ぐらまでの土層から主として供給されたものと考えられる。

地表の粘土層がかなり厚く、かつこれにクラックを生じない場合は地下にゆるい砂層があつても粘土層は破られない。たとえば地表の粘土層が数十 cm 掘り除かれた水路底には噴出できても、兩岸の水田は噴砂のないことが多い。地表の土層に一見クラックがない場合でも、用水量試験によると地震前の数倍にもおよぶ用水量となることが調べられているが、これは水田の耕盤に小クラックを生じたためである。小クラックでも地震時下部砂層の水圧が高まれば破られて噴砂、噴水することになる。このように地表の粘土層あるいは水田耕盤の一部が破れると高い噴水をともなって噴砂する。

地表に現われたクラックから噴砂するほか、クラックが見えなくて噴砂が列状に並ぶのは、やはり小クラックが地下に形成されたからである。地表まで全層砂層の場合は、どこからでも噴砂するが、噴砂口の列状になる傾向もかなりみられる。

シルトばかりが泥火山のように噴出しているのは、下層に砂層がないものであり、シルトでも空けき量が大きき水分が多いと流砂現象に近い状態になることが考えられる。噴砂の上にシルトの薄膜をかぶるものは、砂層下のシルト層から上昇したもののほか、破碎された表土層が噴砂末期の弱い水勢によって動かされ噴砂をおおつたものであろう。

噴砂中に有機物の小片、木根などが混じているところがある。阿賀野川河口付近の濁川ではこれを浜がすと呼んでおり、砂層中にはさまれた泥炭層から供給されたものである。

地中深く耕作に支障ないところに埋まっていた古い杭木が、何本も押し上げられた噴砂地帯もある。豊栄町横土井地先の耕地中には径 15 cm 内外の杭が十数本、地表 1.4 m にも抜け出た。これは明治 30 年代に旧加治川の護岸用に打ち込んだものである。このような例は旧加治川の他の地域、信濃川破堤部分(分水町地内)などに見られ、排水路の護岸基礎杭が抜け出したところも多い。

水路底は前述のように粘質土層によるおさえが弱いので、き裂線に相当して一面の噴砂があり、杭はこれにもなって押し上げられたものである。このため水路底がかえって兩岸より上昇し、水路沿いの道路と水路が逆になつたところがある。砂の飽和重量を 1.8 t/m^3 、杭の浸漬重量を 1.1 t/m^3 とした場合、地震時かなりの浮力が働らくが、地震による地中水圧の増大も影響していると考えられる。

噴水の給源は地下水であり、地下からしぼり出された水量は田面平均水源にして 10~20 cm に達したところ

がかなりある。田面たん水は排水路を通じて排除され、また地下へ浸透したが、堤外地など排水のよいところでも数時間から数日におよんだ。なお地盤沈下地帯あるいは地震による沈下が大きい地帯では、ポンプ排水が進むまで長時間たん水した。

実験室で水中へ静かに沈積した砂層に振動を与えて圧縮すると、10%余の空げき率が減少する。しかし自然状態の砂層は生成後100年、200年以上を経過しているのが普通であり、この間にしばしば地震による圧縮と自重による長年月の圧密を受けてきたから、実験室の値よりしまっているはずである。現地砂層の空げき率が地震前より3%減少したと仮定すれば、150mmの水を噴出する地層厚さは5mとなる。これは実際に考えうる値である。

なお泥炭層がはさまっていれば、これより多量の水が供給され、この水が砂層をつき抜けて噴砂現象を激化させる上、泥炭層の収縮で地盤の破壊を大きくすることが考えられる。実際泥炭層の分布する阿賀野川河口付近の濁川や通船川地域では地盤の変動が大きかった。ただし砂層がなく泥炭層ばかりでは、地震時噴水を見るほど地下水圧が高まりがたく、噴砂もないので地盤の破壊は生じない。

土層の間げき水はしぼり出されて噴出すると、もとの土粒子間へもどらないから、噴出した水量に相当するだけ地盤は収縮する。その噴出量は局部的に異なるので水平であった地表も不規則な起伏を呈するようになる。また噴砂による堆積と噴砂の給源位置が異なれば堆積地と陥没地が交錯する。

噴出水が平均水深で15cmになれば、地盤の平均沈下は15cmになるはずである。

通船川地域における地表変化は地震前後の高低測量によると、平均40~50cm、大きいところで70~80cmも低下した。

また通船川地域における水平移動もかなり大きく、道路、畦畔は彎曲した1~2mもくい違って、土地所有の境界はほとんど見当がつかなくなってしまった。

このような現象は単に砂層からの噴砂、噴水などによる説明では不十分である。非常にゆるく堆積した泥炭層、シルト層から多量の水がしぼられ、その分だけ収縮したこと、水分の多い層の上に浮いたようになっていた上層がブロック的にべつべつな動き方をしたことなど考えられる。この地域のボーリング結果も砂層のほか泥炭層、シルト層が示されている。

このような地盤特性は砂丘内側に沿うかつての沼沢状

旧河道共通のものであり、河口より遠い河川堤外地と異なるところである。

堤外地などの砂層または砂層の上に粘質土層をのせた土地では、主としてクラックをともなう大きい土塊の移動が観察され、道路、畦畔などの切断、くい違いが生じている。なお堤外地あるいは砂丘間低地などでも道路、畦畔が波状に彎曲しているところが見られるが、比較的浅く泥炭、シルトなどの軟弱層があり、その変形が地表へ現われたものと考えられる。

軟弱層が水平的に圧縮されて造山運動のように盛り上がる場合もある。これはその上に大きい建物があれば、たとえば与板町の旧堤外地で見られたように、学校の室内運動場床板のふくれ上りによっても地盤の圧縮を確かめることができる。

軟弱な泥炭あるいはシルト層が厚く堆積したかつての濁跡、現在の濁周辺地域はあまり農地災害を受けなかった。しかし地盤変動による用排水の機能障害は軽視できないものがある。

泥炭、シルトの厚い軟弱層は地震による振動がゆるやかで農地にクラックを生じにくいこと、流砂現象をおこす砂層がないので噴砂を生じないこと、生成の過程がかんまんで土層が広い範囲比較的一様であって、地震による局部的圧縮が強くなり、集中した水のしぼり出しすなわち噴水現象がみられないことなどが地盤の破壊を少なくした原因と考えられる。しかし厚い土層全体にわたり地震による収縮を受けて広範囲の沈下を生じた。

岩船濁跡の地盤沈下は30cm程度の部分が大面積を占め、用排水機能障害を生じた。この地域は30m余におよぶ厚いシルト層からなり、このシルト層が振動で収縮したが、地盤の破壊はみられなかった。

亀田郷は通船川地域を除くと全体的にゆるやかな地盤沈下を生じた。沈下のない地帯は阿賀野川、小阿賀野川自然堤防に近い部分および内側の古い砂丘地である。沈下の大きいところは鳥屋野濁を中心とする泥炭地域で15cm程度におよんでいるが、これは泥炭の収縮がその主因であると考えられる。

白根郷山崎地先では50ha程の範囲が周辺より相対的に隆起したため、従来の用水路からとくにポンプ揚水する必要を生じた。これは周辺の泥炭地がより大きく沈下したためと考えられる。

与板町付近を流れる黒川は明治39~40年に改修されて蛇行する旧河道部分は耕作化されたが、今回の地震によって幅10m、長さ1000m余にわたって旧河道部分が20cm程沈下した。

II 農用施設の被害

水路・ポンプ場・取水工・農道などもまた自然地盤上に行っているのであるから、その直接破壊をうけた地域は当然農地のそれと同じわけである。ただ、構造物そのものが破壊されていなくても、その基礎地盤の不等沈下によって構造物本来の目的が十分に果せなくなっている例もかなり多い。これらを機能障害と呼んでいるが、機能障害は泥炭・シルトなどの軟弱層地域にも起こるもので、その被害地域はさらに広くに及ぶわけである。

直接破壊による被害と機能障害による被害とは明確に区分することがむずかしいが、新潟県における水路被害51億円のうち、直接破壊31億円(60%)、機能障害8億円(17%)、両者を含むもの12億円(23%)となっている。また数mの厚さを有する水田不透水層が、直接破壊をうけていないのにもかかわらず、その用水量が以前の数倍に及んでいる個所なども明らかに重大なる機能障害というべきであろう。

1. 水路

用排水路の被害は、新潟県のみで総延長757kmに及び、農業用施設被害の約65%を占めている。

工法別の被害率は鉄筋コンクリートが最小で、以下ブロック積み・コンクリートサク工・無筋コンクリート・木サク工の順に増大しているが、工法上の差異よりも前述した地盤状態の差異の方がはるかに優越した因子となっていることはいうまでもない。

2. ポンプ場

用排水機場は、建築物としては床面積の割に背が低くかつ重心も低いので、安全性の大きい構造物といえよう。したがって機場自体にはほとんど被害はなかったが、周辺の地盤沈下による揚程の増大、ならびに地形の変化による集水区域の面積の増大、あるいは到達時間の短縮による単位排水量の増加などのため、ポンプの能力不足をきたした例が非常に多い。

3. 取水工

直接破壊よりも、地盤沈下により取水不可能になったというケースが大部分である。

4. アースダム

アースダムの被害は、欠壊7、貯水不能7を含めて計146に及んでいる。

アースダムに限っては山形県の方が新潟県より大きな被害を受けているのは、アースダムが沖積層や洪積層地帯にはなく、そのほとんどが新第三紀堆積岩上にあつたため、震源地からの距離に比例して被害を受けたためであろうと考えられる。すなわち、新潟地震による被害の

ほとんどが、異常なる地盤要素に支配されていた中で正常な被害状況を示した数少い例であるといえよう。被害状況は堤体にクラックの入ったものが80%で大多数を占め、そのまた大部分が縦方向クラックとなっている。スベリ(25%)・ハラミ(16%)・不等沈下(24%)は、いずれもクラックを伴って起っている。

設計、施工条件と被害率との関連は、かなり濃厚にあらわれており、堤高、斜面コウ配、地震時の貯水位、震源に対する堤軸方向、築造年代、改修工事とその年代事業主体などについての興味ある結果が出ている。

III 農地地スベリに及ぼした影響

地スベリに及ぼした新潟地震の影響は、全然なかったとはいえないがきわめて軽微である。

直接地震によって新たに発生した地スベリは特に確認されていない。しかし地スベリによって押し出された不安定な土砂に対する影響が、震央から200kmの距離(長野県飯山市)にまでみられたことは注目すべき事実である。