

2007年新潟県中越沖地震の被災事例で確認された地盤改良土の耐液化性能

森井俊広*・西野信之

(平成19年12月25日受付)

要 約

2007年新潟県中越沖地震により、柏崎市や刈羽村で生活・産業基盤に甚大な被害が生じた。液化化による家屋被害が集中した刈羽村では、宅地地盤に加えて、農業集落排水処理施設も大きな損傷を受けた。この地域は、2004年中越地震でも甚大な被害を受けた。その際に被災した管路および道路は、地盤改良ののち復旧埋め戻しされたが、今回の中越沖地震でほとんど損傷が生じなかった。本文では、まず、2007年中越沖地震で生じた農業用および生活関連施設の被害状況を概観し、その特徴をまとめた。次いで、刈羽村を事例対象に、農業集落排水処理施設の被害状況を調べ、当村で採用された地盤改良工法の液化化に対する効果と実務性を探った。

新大農研報, 60(2):147-153, 2008

キーワード：2007年新潟県中越沖地震、農業集落排水処理施設、地盤の液化化、地盤改良工法、石灰系固化材

2007年新潟県中越沖地震で、生活・産業基盤に甚大な被災が生じ、それらに対する地盤・地質条件の影響がクローズアップされた。日本海沿岸に立地する砂丘列では、地盤の液化化とそれに誘引されて斜面すべりが多発し、家屋に深刻な損害を与えた。柏崎市を流れる鯖石川の旧河川埋立地においても液化化が頻発し、周辺の家屋や公共施設に大きな被害をもたらした。液化化による家屋被害が集中した刈羽村では、宅地地盤に加えて、農業集落排水処理施設も大きな損傷を受けた。埋め戻し地盤の液化化によるマンホールの浮き上がり、埋設道路の陥没、あるいは管路自体の傾斜や隆起による滞水などのトラブルが生じている。この地域は、2004年10月23日に発生した新潟県中越地震でも大きな被害を受けた。その際の農業集落排水処理施設に関する被災も、ほとんどが地盤の液化化によるものであった。被災した管路および道路は、ただちに復旧埋め戻しされ2007年にいたったが、これらのうち、今回の新潟県中越沖地震で再被災した箇所は非常に少ない。復旧埋め戻しには石灰系固化材を用いた地盤改良工法が採用されている。奇しくも、連続して発生した2つの大地震により、地盤改良工法がもつ耐液化性能が示されたことになる。

本文では、まず、2007年新潟県中越沖地震の概要を記録し、続いて、この地震により生じた農業用および生活関連施設の被害状況の特徴をまとめる。次いで、上記の新潟県刈羽郡刈羽村を事例対象に、農業集落排水処理施設の被害状況を調べ、当村で採用された地盤改良工法の液化化に対する効果と実務性を検証する。

2007年新潟県中越沖地震の概要と被害の特徴

1. 地震の概要

2007年7月16日(月)10時13分頃に、新潟県上中越沖の深さ約10kmの位置で、マグニチュード6.8の「平成19年(2007年)新潟県中越沖地震」(気象庁、2007年7月16日公表)が発生した。最大震度は6強で、新潟県長岡市、柏崎市、刈羽村および長野県飯綱町で烈震が観測された。新潟県上越市、小千

谷市、出雲崎町では震度6弱、同じく三条市、十日町市、南魚沼市、燕市ならびに長野県中野市、飯山市、信濃町で震度5強であった(総務省消防庁、2007年8月13日公表)。図1に、新潟県の市町村区分と震度5強以上が観測された地域を示す。同図に×印で示すのは本震の震源位置(北緯37°33.4′、東経138°36.5′)である。本震は、北西—南東方向に圧力軸をもつ逆断層型の発生機構によって生じた。地震活動は本震—余震型によるものであり、本震の発生日の15時37分頃に、マグニチュード5.8の最大の余震が起きた。

2. 被害の特徴

新潟県災害対策本部によると、12月20日現在で、人的被害は死者15人および重軽傷者2,315人、全壊から一部損傷に至る住家被害は計41,632棟となっている(新潟県災害対策本部、2007年12月20日公表)。被災の程度は柏崎市で最も激しく、住家棟数で見ると68%の被害がこの地域に集中している。柏崎市は、西側が火山岩や火山砕屑岩からなる米山山地、北東側が砂岩や泥岩からなる褶曲構造の西山丘陵に挟まれた沖積低地に位置する。しかし、一様の厚さで沖積層が堆積しているのではない。海岸部から市街域にかけて更新統の硬い基盤が盆地状にくぼんで分布し、かつ海岸部に砂丘砂が厚く発達していることから、沖積層の厚さは、柏崎市街部の海側の10m程度から、市街中心部になると40から50mに急激に増大している。柏崎市街に到達した地震波は、軟弱な地盤と硬い地盤との境界で反射され、ちょうど、海岸部から沖積層の層厚が急増する盆地の縁部で地震動が増幅される。この現象は、なぎさ現象あるいは盆地端部効果とよばれるもので、柏崎市の市街中心部あたりで建物倒壊を多くした原因と推察されている(高濱ら、2007年7月24日公表)。

液化化による建物損壊は、柏崎市ではかなり限定的であったが、ここより北東約9kmに位置する刈羽村では甚大なものになった。この地域は、荒浜砂丘の末端部に位置し、地下水が豊富なところであり、かつ、震源に近いので、2004年新潟県中

越地震の際より大きな地震動を受けたと推察されている。たとえば JR 刈羽駅西側の丘陵部では、末端部の液状化に伴って地すべりが発生し、これにより家屋の押し出しと回転倒壊が生じている（高濱ら、2007 年 7 月 26 日公表）。

新潟県中越沖地震によって生じた斜面崩壊の発生箇所数は 170 程度であり、2004 年新潟県中越地震で発生した 4,000 箇所以上にのぼる斜面崩壊・地すべりに比べ相対的に少ない（国土地理院地理調査部、2007 年 8 月 13 日公表）。このうち、柏崎

市中心部より北東 13km に位置する柏崎市西山町の観音岬、ならびに西南西約 4 km ～ 12km 間に位置する鯨波、青海川および聖ヶ鼻周辺の海食崖に、集中して多くの斜面崩壊が発生している。いずれも、砂岩泥岩互層あるいは砂岩混じり泥岩層において、風化の進んだ泥岩部から崩壊が生じているようである。観音岬では、地震発生後の 7 月 25 日から 26 日にかけて大雨で、地盤のゆるんだ未崩壊地、ならびに既崩壊地で新たに斜面崩壊が発生または進行したとの報告（小荒井と佐藤、2007 年 8 月 3 日公表）がある。広く指摘されている、地震発生後の降雨対策の重要性が再認識されることである。

農業用および生活関連施設の被災状況について

1. 農業用施設の被災状況

新潟県農地部が取りまとめた農地・農業用施設関係の被災状況（新潟県農地部、2007 年 8 月 16 日公表）を、表 1 に示す。ため池では、主に、堤体の亀裂や堤体護岸の破損、樋管からの漏水などの被害が生じた。被災したため池では、落水とともに、亀裂箇所にブルーシートによる被覆保護が行われた。今回の新潟県中越沖地震で被災した農地・農業用施設の多くは、軟弱な沖積地盤に立地する。狭隘な谷部ではなく、平坦地に築造されていることから、ほとんどのため池は、水深が浅く堤体が低い皿池の構造となっている。一般に軟弱地盤では地震動が増幅されるにもかかわらず、決壊などの大きな被害につながらなかったのは、このような構造的な理由によるものと推察される。図 2（a）に、刈羽村井岡の大池で生じた堤体の亀裂損傷の状況を示す。池底に連続した亀裂が観察されたにもかかわらず、緊急水位調節が行われた結果、周辺に漏水等の異常は起きていない。図 2（b）は、柏崎市西山町和田の東大池で生じた堤体護岸の破損である。隣接する道路には集排水水管が埋設されており、これに何らかの損傷が起き道路が沈下したことにより、

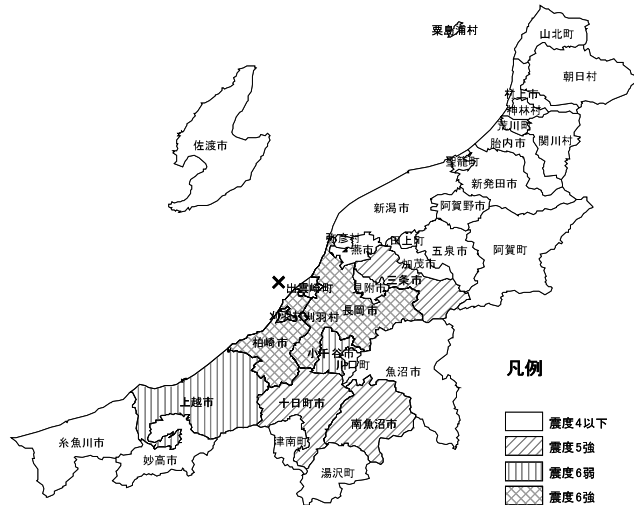


図 1 2007 年新潟県中越沖地震の震源と震度の分布

表 1. 2007 年新潟県中越沖地震に伴う農業用施設、農地および生活関連施設の被害状況（2007 年 8 月 16 日現在、新潟県農地部による）

被害対象物	箇所数	該当市町村	主な被害状況と対応（→以下）
農業用施設	ため池	102	柏崎市、刈羽村、出雲崎町、上越市、小千谷市、川口町、長岡市、十日町市
	頭首工	4	柏崎市、刈羽村
	揚水機	14	柏崎市、長岡市、上越市、刈羽村
	用排水路	277	柏崎市、刈羽村、出雲崎町、上越市、長岡市、小千谷市、川口町、十日町市、燕市、新潟市、佐渡市
	農道	106	柏崎市、刈羽村、出雲崎町、上越市、小千谷市、十日町市、長岡市
	橋梁	2	柏崎市
	農地保全	1	柏崎市
農地	農地	69*	柏崎市、出雲崎町、上越市、小千谷市、十日町市、燕市、刈羽村
生活関連施設	農業集落排水処理施設	113	柏崎市、刈羽村、出雲崎町、上越市、長岡市、小千谷市、川口町
	農村公園	2	柏崎市

* 農地の箇所数に対応する農地面積は約 51ha

連動して護岸が池側に押し出されたようである。東大池では、わずかであるが、堤体の亀裂の発生に伴い、隣接する用水路への漏水が生じた。落水により貯水位が50cm程度低下した段階で、漏水は止まり安定したが、その後、降雨により水位が上昇するとともに、再び多量の漏水が発生し、堤体護岸コンクリートの破損部の応急修理により止水されたとの経緯がある。落水は、ため池の機能を保持し安全性を確保する上で、重要な処置であることが示唆される。

表1の用排水路でみられる被害は、主に、用水パイプラインの破損である。地震が発生した7月中旬は、越路早生の生育・出穂期に備えてもっとも用水が必要とされる時期であったことから、さまざまな応急の用水確保対策が講じられた。図3は、その一例で、刈羽中部地区第4機場での水中ポンプを利用した応急の用水手当の様子を記録したものである。機場建屋の基礎との間に大きな亀裂段差が出来るほどに地盤が沈下し、これに伴い送水パイプの破損が生じた。大口径の異形管製品の入手に時間がかかることから、応急用水中ポンプを貯水槽内に設置し、これを、直接、200mm 径の市販塩ビ管に接続し、安定的にか

んがい地区内に配水できるよう技術的処置が施された。長岡地域振興局管内におけるパイプライン受益面積は1,085haに及ぶ。地震発生の数日後から開始された通水試験により360箇所あまりの漏水箇所が確認され、被災後1ヶ月にも満たない8月10日現在で、100%の応急復旧がなされた。配管復旧工事に伴う地盤掘削によって、パイプライン接合部やT字管部での破損が多く観察された。図4は、水平に設置されていたパイプラインの両端の接合部が、地震動に伴う軸方向の動荷重により7cmほど押し込まれ、あるいは引っ張られて破断した例である。完全な止水を確保しつつ、今後も予想される不規則な地盤振動に耐えられるよう、技術的工夫を図っていくことが必要かと考えられる。

2. 生活関連施設の被災状況

表1によると、用排水路の被害箇所数には及ばないものの、ため池や農道とほぼ同じ程度に、生活関連施設の損傷箇所数が多くなっている。これを、2007年8月1日現在で、新潟県柏崎地域振興局農業振興部がまとめた被害額（新潟県柏崎地域振



(a)堤体の亀裂（大池，刈羽村井岡）



(b)護岸の破損（東大池，柏崎市西山町和田）

図2. ため池に生じた堤体亀裂と護岸損傷（2007年7月22日撮影）



図3. 刈羽中部地区第4機場での水中ポンプと市販塩ビ管を利用した応急の用水手当（2007年8月10日撮影）



図4. 用水パイプライン接合部の破断（回収後に柏崎地域振興局で撮影，2007年8月10日）

興局農業振興部、2007年8月6日公表)でみると、表2のようになる。生活関連施設の被害額は、農地・農業用施設の被害額合計の実に75%にも達している。今回の新潟県中越沖地震に伴う農地・農業用施設被害の特徴の一つは、この点にあると考えられる。生活関連施設の被害は、その大部分が、農業集落排水処理施設に生じている。図5に示すように、マンホールの浮き上がりや道路の亀裂・陥没等の管路施設の破損などが生じた。被害のほとんどは、埋め戻し地盤の液状化に起因すると推察されている。しかし、先述したように、2004年新潟県中越沖地震で液状化により損傷し、そのあと埋め戻し復旧された路線のほとんどで、再被災は生じなかった。その状況と理由を次章にまとめる。

農業集落排水管路の被災状況

1. 埋め戻し地盤の液状化の可能性

刈羽村では、2004年新潟県中越沖地震と2007年新潟県中越沖地震の2度にわたって、多くの農業集落排水管路が、埋め戻し地盤の液状化により被災した。

2004年新潟県中越沖地震の発生以前では、管路埋設後に、近傍の日本海沿岸に分布する荒浜砂を埋め戻し、締固める工法が

用いられてきた。図6は、荒浜砂の粒径加積曲線の一例である。細粒分、礫分がともに5%以下であり、土の工学的分類体系によると砂(S)に分類される。道路橋示方書(日本道路協会、2002)に準拠して、これらの粒度条件ならびに既往のボーリング調査結果にもとづき、代表地点における液状化に対する抵抗率 F_L の分布を求めると、図7のようになる。 F_L の算出にあたって、レベル2地震動を想定し、かつプレート境界型と内陸直下型の2タイプの地震を考慮している。平均的な地下水位がGL-1.2m程度、管路の埋設深さは1.8m前後であるから、図7より、埋め戻し地盤の F_L は1以下となり、容易に液状化する可能性をもっていたことが分かる。

2. 2004年新潟県中越沖地震で被災し復旧埋め戻しされた路線の再被災状況

農業集落排水管路の被災が顕著であった刈羽村赤田地区でみると、2004年新潟県中越沖地震での被害は、管路敷設延長6483m(ただし平行敷設管路の延長を差し引いている)に対し約35%に達した。復旧に際して、原埋め戻し材料である荒浜砂を掘削し、これを改良土プラントへ搬入し、石灰系固化材を添加したのち、ふたたび路床、路体および基礎工として埋め戻され

表2. 2007年新潟県中越沖地震で生じた柏崎市及び刈羽村における農地・農業施設の被害金額(2007年8月1日現在、新潟県柏崎地域振興局農業振興部による)

地域・被害	柏崎市		刈羽村		合計	
	箇所数	金額*	箇所数	金額*	箇所数	金額*
ため池	75	1,152	9	165	84	1,317
頭首工	2	22	0	0	2	22
用排水路	127	872	78	116	205	988
揚水機	2	4	1	6	3	10
農道	55	205	5	4	60	209
橋梁	1	50	0	0	1	50
農地	21	52	4	8	25	60
生活関連施設	19	7,621	2	205	21	7,826
合計	302	9,978	99	504	401	10,482

* 金額の単位は百万円



(a)埋め戻し地盤の液状化で浮き上がった集落排水マンホール



(b)埋め戻し地盤の液状化で生じた村道の陥没

図5. 液状化による農業集落排水管路の被災例(新潟県刈羽郡刈羽村)

た。石灰系固化材を添加した改良土の現地における一軸圧縮強度は平均 50 から 100kPa であり、液状化しないと考えてもよい（日本下水道協会、2006）とされている条件は確保されている。2007 年新潟県中越沖地震では、このような地盤改良工法で埋め戻された地盤において、液状化はほとんど発生しなかった。

これを、赤田地区の事例でまとめると、表 3 のようになる。

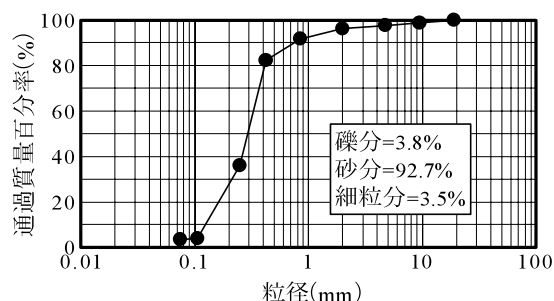


図 6. 埋戻しに用いられてきた荒浜砂の粒度

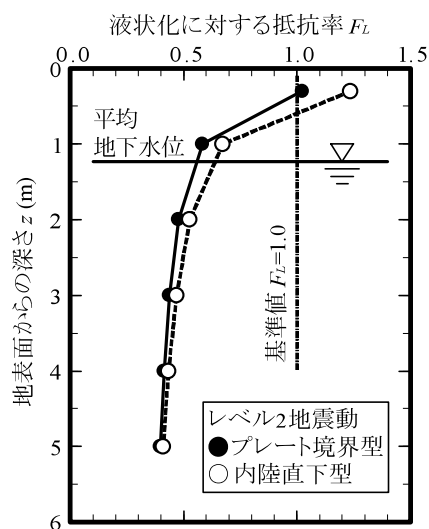


図 7. 従来の埋め戻し地盤で推察された液状化に対する抵抗率（刈羽村赤田地区）

さいわいにも 2004 年新潟県中越地震で被災を免れた管路約 4198m では、今回の 2007 年新潟県中越沖地震でその 25.5% が損傷を受けた。これに対し、2004 年新潟県中越地震で損傷し復旧埋戻しがなされた管路約 2285 m では、再被災率はわずかに 4% であった。図 8 は、一例として、再被災した路線を中心に、周辺家屋の損傷状況との照合調査の結果をまとめたものである。周囲の家屋損傷状況、ならびに管路の被災状況に偏った傾向はなく、復旧地盤の再被災は蓋然的なものであったことが確認できる。先に述べたように、奇しくも連続して発生した 2 つの大地震により、石灰系固化材を用いた地盤改良工法が、液状化に対して効果的な性能をもつことが示されたことになる。

3. 石灰系固化材を用いた地盤改良工法の利点

2004 年 11 月に、2004 年新潟県中越地震の被害状況の分析にもとづき、国土交通省下水道地震対策技術検討委員会より「管路施設の本復旧にあたっての技術的緊急提言」（国土交通省下水道地震対策技術検討委員会、2004 年 11 月 22 日発出）が発出された。埋め戻し方法として、良質な砂を用いた締固め、碎石による埋め戻し、ならびにセメントあるいはセメント系固化剤を用いた埋め戻し部の固化が提言されている。前 2 者の方法によると、埋め戻し材料の購入費用に関わる問題は別にして、膨大な掘削残土の処理が重要な検討課題となってくる。下水道施設では、ライフライン等他工種の工事のために再開削されることが多い。このため、セメントあるいはセメント系固化剤を用いると、地盤が固くなりすぎ、再掘削に支障が生じる懸念がある（山崎、2007）。これらの理由により、刈羽村では、掘削土の有効利用を兼ねて、石灰系固化材を用いた地盤改良工法が選択された。この工法によると、セメントあるいはセメント系固化剤を使用した場合と違い、六価クロムの溶出がないため、土壌環境への影響に関してすぐれて現代的な説得性をもつといえる。

まとめ

2007 年新潟県中越沖地震で生じた農業集落排水処理施設の被害状況の調査により、石灰系固化材を用いた地盤改良工法の耐液状化性能を確認することができた。改良土プラントを設置することにより、掘削土を有効に再利用でき、かつ環境に有害な六価クロムを溶出しないなどのすぐれた実務性をもつ。事例調査の対象とした刈羽村では、宅地地盤の甚大でかつ広範囲にわたる液状化被害に対して、抜本的、地域的な対策が求められ

表 3. 2004 年新潟県中越地震および 2007 年新潟県中越沖地震における集落排水管路の被災状況調べ（新潟県刈羽郡刈羽村赤田地区）

管路総延長	被災および被災なし管路の延長（括弧内は割合）	
	2004 年新潟県中越地震時	2007 年新潟県中越沖地震時
6483m*	被災・復旧 = 2285 m (35.2%) **	被災 = 92 m (4.0%) *** 被災なし = 2193 m (96.0%)
	被災なし = 4198 m (64.8%)	被災 = 1068 m (25.4%) **** 被災なし = 3130 m (74.6%)

* 平行敷設管路の路線長を差し引いた値

** 管路総延長に対する割合

*** 2004 年中越地震時の被災・復旧管路の延長に対する割合

**** 2004 年中越地震時の被災なし管路の延長に対する割合

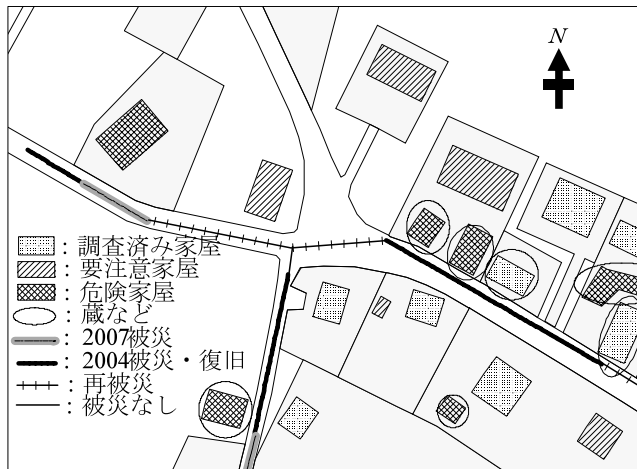


図 8. 管路および周辺家屋の被災状況 (刈羽村)

ている。おそらく地下水位の低下が率先して求められる対策工であるが、これに加えて、本文で紹介した地盤改良工法を併用していくことも、一つの重要な選択肢になるのではないかと考える。過酷な被災事例から汲み取られたさまざまな知見と技術、あるいはヒントが、今後の復興と将来の防災・減災に結びついていくことを期待したい。

本調査を進めるにあたり、新潟県柏崎地域振興局農業振興部、新潟県刈羽村役場建設企業課、および社団法人農業農村工学会新潟県中越沖地震復興支援委員会より多大なご支援をいただいた。本文に掲載した図 1 は、新潟大学災害復興科学センター特任教員吉川夏樹氏に作成いただいた。図 5 の 2 枚の写真は、刈羽村役場建設企業課堀光紀氏より提供いただいた。ここに記して、これらの方々に厚くお礼申し上げます。

参考文献

気象庁. 2007 年 7 月 16 日公表. 2007 年 7 月 16 日 10 時 13 分ころ新潟県上中越沖で発生した地震について (第 2 報).

- 小荒井衛・佐藤浩. 2007 年 8 月 3 日公表. 平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震の現地調査報告. 国土地理院「平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震」関連 web ページ (<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H19-nigata/index.html>).
- 国土地理院地理調査部. 2007 年 8 月 13 日公表. 平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震災害状況図.
- 国土交通省下水道地震対策技術検討委員会. 2004 年 11 月 22 日発出. 管路施設の本復旧にあたっての技術的緊急提言.
- 日本道路協会. 2002. 道路橋示方書 (V 耐震設計編)・同解説. pp. 119-126. 平成 14 年 3 月 7 日改訂版.
- 日本下水道協会. 2006. 下水道施設の耐震対策指針と解説—2006 年版—. pp. 143-144.
- 新潟県柏崎地域振興局農業振興部. 2007 年 8 月 6 日公表. 中越地震による農業・農村関係被害.
- 新潟県農地部. 2007 年 8 月 16 日公表. 平成 19 年新潟県中越沖地震に伴う被害状況について (最終版).
- 新潟県災害対策本部. 2007 年 12 月 20 日公表. 平成 19 年 7 月 16 日に発生した新潟県中越沖地震による被害状況について (第 214 報).
- 総務省消防庁. 2007 年 8 月 13 日公表. 平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震 (第 40 報).
- 高濱信行・卜部厚志・河島克久・鈴木幸治・梶壮志・泉薫・福留邦洋・本田孝子. 2007 年 7 月 24 日公表. 柏崎市街部の建物被害と地盤構造. 中越沖地震新潟大学調査団 web ページ (<http://geo.sc.niigata-u.ac.jp/~070716/rep07/thm0723.pdf>).
- 高濱信行・卜部厚志・鈴木幸治・梶壮志・福留邦洋. 2007 年 7 月 26 日公表. 刈羽地域の液状化による建物・宅地被害. 中越沖地震新潟大学調査団 web ページ (<http://geo.sc.niigata-u.ac.jp/~070716/rep07/thm0726.pdf>).
- 山崎一邦. 2007. 液状化防止や耐震補強の効果を実証. 日経コンストラクション, **431**: 92-95.

Effective Soil Improvement against Liquefaction Examined in the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007

Toshihiro MORII* and Nobuyuki NISHINO

(Received December 25, 2007)

Summary

The Chuetsu district, Niigata Prefecture, Japan, was struck by the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007. Magnitude 6.8 was estimated at its epicenter north away from the shore of the district. A strong shock of earthquake, 6.0 to 6.4 of the intensity scale, attacked Kasiwazaki city, Nagaoka city and Kariwamura, Niigata, and Iitsuna-machi, Nagano, and caused terrible disaster of social and industry infrastructures including domestic houses and agricultural facilities. In Kariwamura, sewerage facilities as well as the domestic houses were severely damaged by the liquefaction of the foundation soil. Kariwamura has experienced another huge earthquake, the Niigataken Chuetsu Earthquake in 2004. A large length of pipeline for rural sewerage was damaged by the soil liquefaction during this earthquake, but repaired successfully by using the sand soil mixed with lime admixture. These pipelines damaged in 2004 and repaired by soil improvement could eliminate safely the terrible damage of soil liquefaction caused by the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007. This means that robust alternative of the soil improvement is effectively examined by the two big earthquakes in the Chuetsu district, Niigata. Firstly the terrible disaster caused by the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007 is outlined in the paper. Then the damage of the sewerage pipelines studied in Kariwamura is summarized together with some results of laboratory soil test. The liquefaction resistance of soil is also calculated based on the field soil investigation. Lastly effectiveness and robustness of the alternative of the soil improvement against the soil liquefaction selected by Kariwamura are emphasized.

Bull.Facul.Agric.Niigata Univ., 60(2):147-153, 2008

Key words : the Niigataken Chuetsu-oki earthquake in 2007, rural sewerage facilities, liquefaction of soil, soil improvement, lime admixture