

## 新潟県中越沖地震の被災事例から探る効果的な地盤改良工法

Effectiveness of Soil Improvement Examined by The Niigataken  
Chuetsu-oki Earthquake in 2007森 井 俊 広<sup>†</sup>  
(MORII Toshihiro)堀 光 紀<sup>††</sup>  
(HORI Mitsunori)

## I. はじめに

2007年7月16日に新潟県中越沖地震が発生した。震源のマグニチュードは6.8であった。これにより、新潟県の柏崎市、刈羽村、長岡市および長野県飯綱町で最大震度6強の烈震が観測された。この地震で、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、地盤の液状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状化が頻発し、周辺の家屋や公共施設に大きな被害をもたらした。液状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。埋戻し地盤の液状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状化によるものであった。被災した管路および道路は、ただちに復旧埋戻しされ2007年にいったが、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状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状化に対する効果と実務性を探る。

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               | 堤体亀裂, 堤体護岸破損, 樋管漏水→落水, ブルーシート保護                                       |
|        | 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 | ・用水パイプライン破損, 法面崩壊, 水路沈下→査定前着工, 応急ポンプ等による用水確保<br>・排水路法面崩壊→仮設パイプによる河道確保 |
|        | 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                    | 隆起・沈下・亀裂, 崩壊→暫定復旧による通行確保  |
|        | 橋梁         | 2                                   | 柏崎市   |   |
|        | 農地保全       | 1                                   | 柏崎市   |   |
| 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 | 畦畔亀裂, 崩壊→内畦畔による漏水防止, ブルーシートによる保護                        |   |
| 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                     | 管路施設破損 (道路亀裂・陥没), マンホール浮上   |
|        | 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51 ha

<sup>†</sup>新潟大学自然科学系(農学部)<sup>††</sup>刈羽村役場建設企業課

新潟県中越沖地震, 農業集落排水処理施設, 液状化, 地盤改良工法, 石灰系固化材

## II. 2007年新潟県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

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<sup>1)</sup>を、表-1に示す。ため池の被害は、主に、堤体の亀裂や堤体護岸の破損、樋管からの漏水などである。被災したため池のほとんどは平坦地に築造されており、水深の浅い皿池の構造であったことから、決壊などの大きな被害につながらなかったようである。用排水路では、主に、用水パイプラインの破損が生じた。地震が発生した7月は、越路早生の生育・出穂期に備えた用水が必要な時期であったため、水中ポンプを市販の塩ビ管につなぐなどして、さまざまな応急の用水確保対策が講じられた<sup>2)</sup>。

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<sup>3)</sup>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。写真-1、2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、埋戻し地盤の液状化に起因すると推察されている。

## III. 農業集落排水管路の埋戻し地盤での再被災状況

### 1. 埋戻し地盤の液状化の可能性

刈羽村では、2004年新潟県中越地震と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、埋戻し地盤の液状化により被傷した。

2004年新潟県中越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戻し、締固める工法が用いられてきた。図-1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

表-2 2007年新潟県中越沖地震で生じた柏崎市およ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

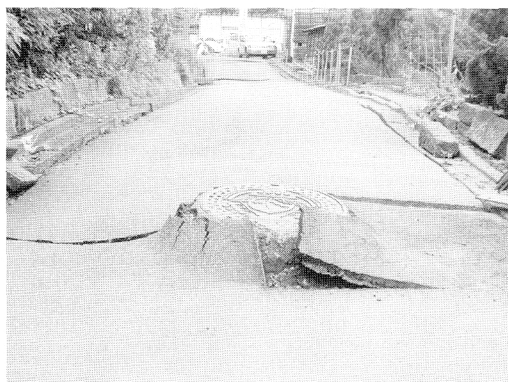


写真-1 埋戻し地盤の液状化で浮き上がった集落排水マンホール（新潟県刈羽郡刈羽村）

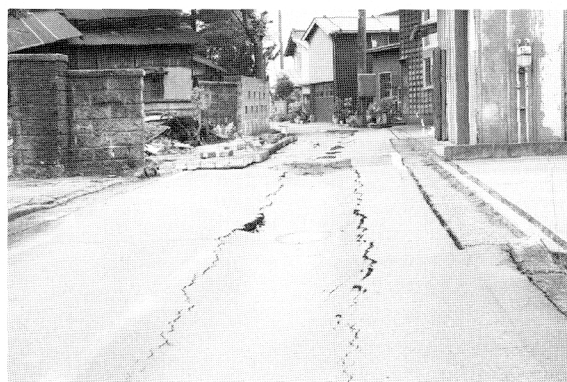


写真-2 埋戻し地盤の液状化で生じた村道の陥没（新潟県刈羽郡刈羽村）

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<sup>4)</sup>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基づき、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-2 のようになる。 $F_L$  の算出に当たって、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. -1.2 m 程度、管路の埋設深さは1.8 m 前後であるから、図-2 より、埋戻し地盤の  $F_L$  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. 新潟県中越沖地震での復旧埋戻し地盤の再被災

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 年新潟県中越地震での被害は、管路敷設延長 6,483 m (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

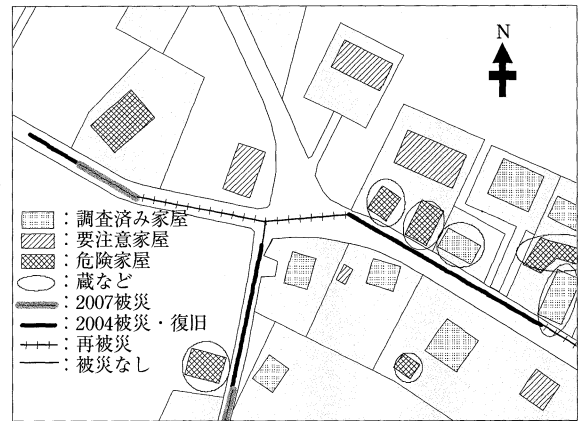


図-3 管路および周辺家屋の被災状況 (刈羽村)

50 から 100 kPa であり、液状化しないと考えてもよい<sup>5)</sup>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。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 4,198 m 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 2,285 m では、再被災率はわずかに 4% であった。図-3 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基づき「管路施設の本復旧にあたっての技術的緊急提言」<sup>6)</sup>が発出された。埋戻し方法として、良質な砂を用いた締固め、碎石による埋戻し、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、埋戻し材料の購入費用に関わる問題は別にしても、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、ライフライン等の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<sup>7)</sup>。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

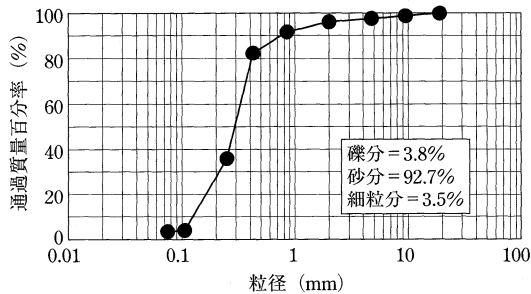


図-1 埋戻しに用いられてきた荒浜砂の粒度

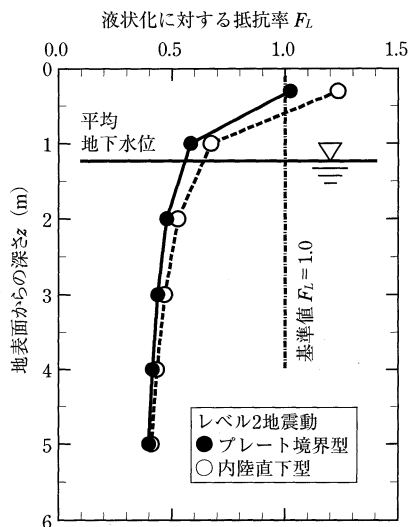


図-2 従来の埋戻し地盤で推察された液状化に対する抵抗率 (刈羽村赤田地区)

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                              |
| 6,483 m* | 被災・復旧=2,285 m(35.2%)** | 被災 = 92 m(4.0%)*<br>被災なし=2,193 m(96.0%)     |
|          | 被災なし = 4,198 m(64.8%)  | 被災 = 1,068 m(25.4%)*<br>被災なし=3,130 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

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。

#### IV. 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。

最後に、本調査の実施にご支援いただいた新潟県柏崎地域振興局農業振興部と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、ならびに農業集落排水管路の被災データの分析や現地調査による家屋被災との照合等でご協力いただいた新潟大学農学部生産環境科学科西野信之君に、厚くお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 新潟県農地部：平成19年新潟県中越沖地震に伴う被害

害状況について(最終版)、2007年8月16日公表

- 2) 森井俊広, 荒井 涼, 小野英雄, 松本精一：平成19年新潟県中越沖地震に伴う農地・農業用施設の被害について, 農業農村工学会誌75(9), pp.61~65(2007)
- 3) 新潟県柏崎地域振興局農業振興部：中越沖地震による農業・農村関係被害, 2007年8月6日公表
- 4) 社団法人日本道路協会：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(2002)
- 5) 社団法人日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説—2006年版—, pp.143~144(2006)
- 6) 国土交通省下水道地震対策技術検討委員会：管路施設の本復旧にあたっての技術的緊急提言, 2004年11月22日発出
- 7) 山崎一邦：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, pp.92~95(2007)

[2007.11.26.受稿]

#### 森井 俊広



1983年 京都大学農学研究科修士  
ソイルアンドロックエンジニアリング(株)  
入社  
1988年 技術士(建設部門)登録  
1990年 鳥取大学助手農学部  
1997年 新潟大学助教授農学部  
2005年 新潟大学教授農学部  
現在に至る

#### 堀 光紀



1982年 刈羽村役場勤務  
2004年 建設企業課課長補佐  
現在に至る