

## 水利施設の復旧のための技術的課題と提言

*Technical Tasks for Facility Restoration and Recommendations from 2011  
Great East Japan Earthquake*

毛利 栄 征<sup>†</sup>  
(MOHRI Yoshiyuki)

### I. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日、三陸沖、牡鹿半島の東南東を震源とするマグニチュード (M) 9.0 の地震 (2011 年東北地方太平洋沖地震, 以下, 「今次地震」という) によって, 最高潮位 9.3 m, 遡上高は国内観測史上最大の 40.5 m に達する大津波が発生した。東北地方と関東地方の太平洋沿岸部において約 56,100 ha が浸水<sup>1)</sup>, さらに, 津波による海岸施設の破壊とともに, 地震の揺れや地盤の液状化と沈下によって, 広大な範囲でダム, ため池やパイプラインなどの水利施設の損壊が発生した。農地・農業用施設の被害は, 全国 15 県で 39,323 カ所, 8,302 億円に達している<sup>2)</sup>。このような, 広域多所災害は, これまで経験したことがなく, 各学会から新たな災害形態に対処するための多くの課題が提示されている<sup>3),4)</sup>。

農業土木に限らず社会インフラに関わる分野は, 過去に大規模な自然災害を経験して多くの教訓を得て, 研究を推進し技術を進展してきている。1964 年新潟地震では, 地盤の液状化によって共同住宅の倒壊に端を発し, 液状化判定と対策が設計や指針に反映された。1978 年宮城県沖地震では, 埋設管の被害を受けて, ライプラインの耐震対策指針が策定されている。1983 年日本海中部地震では地盤の側方流動による被害を受けて, 地盤流動に関する研究が推進された。1995 年兵庫県南部地震では, 新たにレベル II 地震動を設けて構造物の設計に導入することとなった。しかしながら, 2004 年新潟県中越地震, 2007 年新潟県中越沖地震では, 依然として地盤の液状化や斜面崩壊, 鉄道盛土, トンネル, 河川堤防, フィルダムなど実に広範囲の社会基盤施設が甚大な被害を受けている。農地・農業用施設についても, フィルダムやため池, パイプライン, 水路, 農地, 農道などの基幹的な施設構造物が大きな被害を受け, 孤立する地域もあった。

今次地震では, 津波と地震動による複合的な作用による被害が拡大したことが特徴的である。海岸施設に

ついては, 地震動による施設の変形や地盤の液状化による変状が, 津波に対する耐力を大きく低下させたとしている。さらに, 震源から 300 km 以上離れた地域でも地盤の液状化が発生し, 地震と施設被害に関するさまざまな指標を見直す必要に迫られている。

本報では, 基幹的な農業水利施設の被害の状況と復旧のための技術的な課題を提示する。

### II. 個別施設の被災と復旧

灌漑用水の安定的な供給には, ダムやため池から開水路, パイプラインなどの導水施設に至る系統的な安全性の確保が重要である。今次地震では, 排水機場や海岸施設が被災したことによって, 末端部の排水処理が機能せず, 上流部の灌漑を停止する事態となった。このことから, 灌漑排水システム全体としての災害に対する防災機能の整備の重要性が指摘される。以下には, システムの基幹的な役割を担う施設の被災原因と復旧に向けた課題を提示する。

#### 1. パイプラインの被災と復旧に向けた課題

(1) 被害の特徴 今次地震では, 現行, あるいは旧基準で設計・施工された既存のパイプラインが大きな被害を受けた。その被害の主体は, ①埋戻し材の液状化によるパイプの浮上と構造物の沈下, ②曲がり管部や空気弁などの構造物周辺のパイプの抜出し, ③スラストブロックの移動に伴うパイプの抜出し, である。

福島県下の農業用幹線パイプラインは, 2010 年度から延長 17.8 km の全線を供用しており, 300 cm/s<sup>2</sup> を超える地震動が観測されている地区 (福島県須賀川市) に位置し, 満水状態で地震動を受けている。特徴的な被害状況である空気弁周辺のパイプラインの変状を写真-1, 図-1 に示す<sup>5)</sup>。土かぶり約 2.4 m に埋設されている直径 2,200 mm の FRPM 管が埋戻し材の液状化によって大きく浮上し, 上部の道路に約 1.4 km にわたり亀裂と沈下が生じている。管頂部までの埋戻しには, SF 相当の砂を使用しその締固め度 (標

<sup>†</sup>農村工学研究所



準プロクターによる締固め度)はDc値86.9~90.1%で、比較的緩い状態であった。

(2) 復旧技術 復旧に当たっては、図-2に示すように管底部の基礎部分から管頂部、およびその上部の地表面近くまでを碎石により埋め戻している。碎石の高い剛性によってパイプの変形を抑制して構造的な安全性を図るとともに、液状化に対する安全性を確保している。

(3) 課題と提言 農業用パイプラインの被害は、①構造物と周辺地盤の地震時挙動の差に起因する現象、②埋戻し地盤の地震時の強度低下や変形の進行、③液状化の影響によるものである。しかしながら、現在の設計基準「土地改良事業計画設計基準(パイプライン)」<sup>6)</sup>で示されている応答変位法では、このような挙動を評価することが不可能である。具体的にはパイプの継手部の抜き出し量を漏水が発生するかどうかを峻別できるレベルで、パイプと地盤の挙動を定量的に予測できる技術が確立されていない。さらに、埋戻し砂の液状化についても、想定する地震動との関係で施設

の変状を予測するまでの体系的な整理ができていない。

農業用幹線パイプラインの耐震化については、地震動に対する安全性の高いパイプ構造と埋戻し材の耐震化を進めることが重要である。前者については、抜き出しや変形に抵抗し得るパイプ構造の開発であり、後者については地震動による強度低下のない材料の使用や液状化抵抗力の高い材料を用いた埋戻しが有効である。具体的には、碎石を埋戻し材として用い、さらにジオグリッドによって碎石とパイプラインを包み込んで一体化する技術「パイプラインの浅埋設工法」<sup>7)</sup>は、今次地震でもその有効性が確認されている。また、既設のパイプラインに対しては埋戻し地盤の改良や構造物周辺のパイプ構造の耐震化などが重要である。

## 2. ため池の被災と復旧に向けた課題

(1) 被害の特徴と原因 旧基準で設計・施工された既存のフィルダムや経験に基づいて築造されたため池が大きな被害を受けた。その被害の特徴は、①堤体上流法面の保護工の損傷と変形、②堤頂部のダム軸方向のクラック、③堤頂部の波返しの変形と沈下が主体である。また、一部のため池では、決壊に至る大規模な被害が生じている。

堤高18.5m、堤頂長13mのため池(藤沼湖、竣工1949年)は地震直後に堤体が大きく変形し、貯水が堤体上を越流して決壊に至った<sup>8)</sup>。決壊状況を写真-2に示す。堤体は上部から水平に3層に区分され(図-3)、上部盛土は細粒分が約18%の均質な砂分に富む材料からなり、中部盛土はシルト質の粘性土を層状にまき出した明瞭な構造が認められる。下部盛土はシルト質砂で材料や強度のバラツキが顕著である(N値1~13)。常時満水位時の安定計算では堤体上流側でのすべり安全率1.15であり直ちに決壊や大きな変状を生じると判断できる状況にはない。本堤の砂分に富む上部盛土の上流斜面側は水で飽和されており、低い締固め度であったため地震時の非排水状態での強度低下に加えて、地震動による変形の進行と強度低下が顕著であることが判明した。被災後の法面保護工などの構造物の流動状況やすべり面などの堤体調査によって、初動的なすべりは上部盛土の上流貯水池側への崩壊であったと考えられる。被災原因は、堤体材料の①土質、②締固め度、③地震時の非排水せん断強度、④地震動の大きさや継続時間などが主要因で、それらが相乗的に堤体破壊に影響した可能性が高いと判断される。

(2) 復旧における課題 地震時の安全性を確保するためには、液状化や繰返し荷重による強度低下を生じない材料を用いることが重要であり、さらに適切に



写真-1 パイプの浮上による被害状況

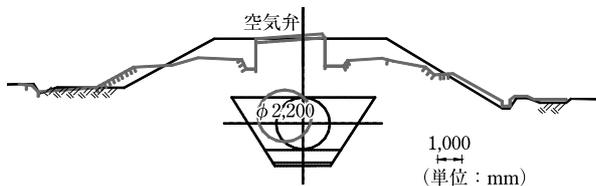


図-1 パイプの浮上と地盤の変状

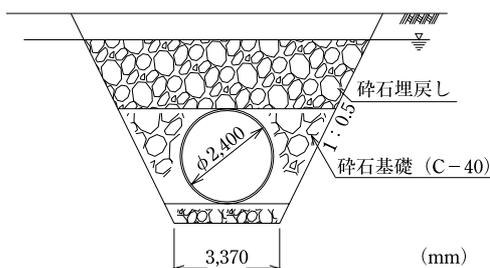


図-2 復旧時の断面と埋戻し材

締め固めて十分な強度を確保する必要がある。特に上流部や下流法先部の堤体は、飽和状態となることが多いので液状化や間隙水圧の上昇による強度低下や変形の進行も懸念されることから、材料選定とその締固め、排水対策などの総合的配慮が必要である。

(3) **提言** フィルダムやため池などの土構造物の地震時挙動については、限界状態での挙動がいまだに解明されていない。特に貯水状態での地震時の破壊に至る挙動を詳細に分析し、調査、診断、予測、対策技術の研究と現地実証が不可欠である。比較的大規模なため池 65, 100 カ所のうち、土地改良事業設計指針<sup>9)</sup>が整備される以前に築造されたため池は、48, 500 カ所に及び、早急な対応が必要となっている<sup>10)</sup>。このような膨大な数のため池、フィルダムを対象としてその安全性を評価するためには、改修の優先度やリスクを判断する技術の開発が不可欠である。簡便な調査技術と対応する評価手法の整備とともに厳密な耐震性評価技術を含む総合的な技術開発を進める必要がある。

耐震に関する設計基準<sup>11)</sup>を適用した近代的なフィルダムは、総じて高い耐震安定性を有しているが、古い大規模ため池などの耐震安定性を峻別できる基準となっていない可能性が高い。このためには、地震時の堤体材料の強度低下や変形の進行などを考慮した耐震性の照査技術の確立が重要である。さらに、設計で考慮する入力地震動の大きさや継続時間、周波数特性の影響の解明と設計への反映は重要である。

### 3. 海岸堤防の被災と復旧に向けた課題

(1) **被災の特徴** 海岸堤防は、盛土の表面をコンクリートやブロックで被覆したものに加えて、コンクリート重力式や擁壁式など、さまざまな形式の施設が築造されている。今次地震によって大きな津波に襲われた海岸部では、写真-3 に示すように津波の衝撃と越流による堤防の崩壊が数多く発生した。

(2) **復旧技術** 越流破壊のメカニズムは依然として解明されていないが、国土交通省は、海岸堤防の復旧に関する基本的な考え方を示し、「粘り強い構造」として、①裏法戻の被覆と緩勾配化、②天端と法面被覆、③波返し工の補強などの項目を示している<sup>12)</sup>。しかしながら、明確な設計仕様は示されていない。

(3) **提言** 研究の蓄積もなく検証がなされていない状況で、復旧が余儀なくされており、地震と津波の両面に対する高い耐久性と信頼性を有する堤体構造を早急に開発する必要がある。

ため池の越流と耐震対策を目的として開発された補強土工法を用いた「越流許容型ため池工法」<sup>13)</sup>の考え方や技術は海岸堤防に適用可能で、図-4 のように「粘り強い堤防」を構築することができる。しかしながら、



写真-2 藤沼湖の堤体崩壊状況

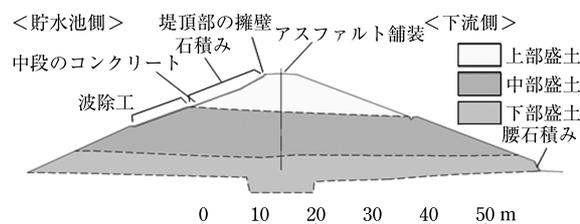


図-3 堤体の土質構造



写真-3 津波越流を受けた堤防の被災

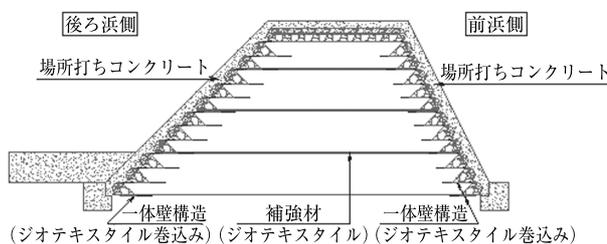


図-4 補強土工法による復旧

大きな越流水深で長時間の津波遡上を想定した津波来襲時の衝撃の影響や越流時の侵食抵抗性の解明などの対策工法の開発に向けた課題は山積している。

### III. 災害の軽減と迅速な復旧

広域多所災害に対してどのように復旧し、復興するかは、地域ごとの特性に強く依存しているが、農業用施設群の防災機能を高めることによって、地域の減災対策が大きく向上することは事実である。地域全体で自然災害に対して人命を守り、被害を最小限にするためには、施設研究と地域の防災活動を連携して進めることが必要であり、それにより、その効果は確実なものとなる。

迅速な地域社会の再生を前提とした減災技術は、こ

れからの自然災害対策の一つの方向である。軽微な被災を受け入れることは、その被害の程度を予測し制御する技術が必要となるが、同時に被害を迅速に復旧し生産と生活のダメージを最小限にとどめる技術開発を後押しする。

#### IV. ま と め

地域全体の安全と安心を推進し、食料生産と生活環境を健全に維持する上で、農業水利施設の担う役割は大きい。地域特有のさまざまな被災形態に対して、施設が適切に減災に貢献することが重要であり、広域多所災害の視点から緊急応復旧から恒久復旧に展開する系統的な技術開発が不可欠である。

今後、上記のような個別課題と提言を踏まえて、以下の基本的な事項をさらに検討する必要がある。

- ① 農地・農業用施設の安全性を高める観点から、被災と無被災要因の分析と計画・設計手法の充実。
- ② 耐震的配慮がなされていない施設については、段階的な減災技術の適用と迅速復旧技術の開発。

地盤工学会が提示した「地震時における地盤災害の課題と対策—2011年東日本大震災の教訓と提言、第1次、第2次」<sup>4)</sup>は、近い将来に生じるおそれがある広域災害を防ぎ、軽減するための技術や開発すべき技術などの方向性を示している(図-5)。農業土木施設も地域社会にとって重要な要素であり、その施設群が地域減災の要となるような取組みを期待したい。

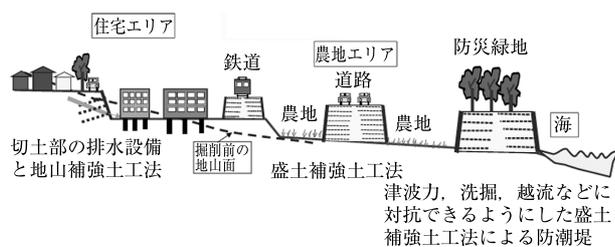


図-5 津波多重防御施設と居住地高台移転構想での地盤工学的対応の例<sup>4)</sup>

#### 引用文献

- 1) 国土地理院：津波による浸水範囲の面積(概略値)について(第5報)(2011)
- 2) 農林水産省農村振興局：東日本大震災を踏まえた農業用施設の設計上の重点課題に関する検討状況について(2012)
- 3) 農業農村工学会研究委員会震災復興農村計画小委員会：東日本大震災復興農村計画への提言(第一次)(2011)
- 4) 地盤工学会：地震時における地盤災害の課題と対策2011年東日本大震災の教訓と提言〔第一次〕(2011)
- 5) 毛利栄征, 有吉 充, 河端俊典：大口径パイプラインの地震被害—被害状況と復旧の考え方—, 地盤工学ジャーナル7(1), pp.185~194 (2012)
- 6) 農林水産省農村振興局：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」, 農業農村工学会(2009)
- 7) 毛利栄征, 藤田信夫, 笠原和正, 水上 徹：浅埋設パイプラインの土中挙動, 農土論集207, pp.39~48 (2000)
- 8) 福島県：藤沼湖の決壊原因調査 報告書(要旨), 福島県農業用ダム・ため池耐震性検証委員会(2012)
- 9) 農林水産省構造改善局：土地改良事業設計指針 ため池整備, 農業土木学会(2006)
- 10) 農林水産省農村振興局防災課：ため池に関する資料, [http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/tameike/pdf/tameike\\_data.pdf](http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/tameike/pdf/tameike_data.pdf) (2011)
- 11) 農林水産省農村振興局整備部設計課：土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」技術書フィルダム(2006)
- 12) 国土交通省：平成23年東北地方太平洋沖地震及び津波により被災した海岸堤防等の復旧に関する基本的な考え方(2011)
- 13) Mohri, Y., Matsushima, K., et al.: New direction for earth reinforcement—disaster prevention for earthfill dams—, Geosynthetic International, pp 246~273 (2009)

[2012.6.11.受稿]

#### 毛利 栄征 (正会員)

#### 略 歴



1980年 農林水産省入省(農業土木試験場)  
 1997年 農業工学研究所土質研究室長  
 2010年 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所施設資源部長  
 2011年 同施設工学研究領域長  
 現在に至る