

## 平成16年(2004年) 新潟県中越地震によるため池と 集落排水施設の被災

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 独立行政法人農業工学研究所 公開日: 2024-08-02 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 毛利, 栄征, 堀, 俊和, 松島, 健一, 有吉, 充 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24514/0002001112">https://doi.org/10.24514/0002001112</a>

〔農工研技報 205〕  
〔61～76, 2006〕

# 平成16年（2004年）新潟県中越地震による ため池と集落排水施設の被災

毛利栄征\*・堀 俊和\*\*・松島健一\*\*\*・有吉 充\*\*\*\*

目 次			
I 緒 言 .....	61	6 被災事例6（砂押池） .....	67
II 地震の概要 .....	61	7 被災事例7（赤利池） .....	67
III ため池の一般的な構造と被害パターンについて .....	63	8 ニューマーク法による解析 .....	68
1 ため池の特徴 .....	63	V 集落排水施設の被害概要 .....	70
2 ため池の老朽化と被害パターン .....	63	1 被災事例（十日町市の集落排水施設） .....	70
IV ため池被災の概要 .....	64	2 被災原因と対策 .....	71
1 被災事例1（びわ崎池） .....	64	VI まとめ .....	72
2 被災事例2（梨の木堤） .....	65	1 耐震性について .....	73
3 被災事例3（無名池） .....	65	2 強化復旧に向けて .....	74
4 被災事例4（202-11池） .....	66	3 被災調査と記録 .....	74
5 被災事例5（表面遮水池） .....	66	参考文献 .....	74
		Summary .....	76

## I 緒 言

ため池は全国に約21万箇所存在し、受益面積が2ha以上の比較的大きな池は約6万5千箇所とされている。平成元年のため池台帳では北陸地方に約1万箇所のため池が登録されている。新潟県中越地震では、新潟県内のため池に大きな被害が集中した。その被害総数は561箇所、76億円に達する。その他の農地や農業用施設などを加えると14,779箇所、690億円と試算されている。

新潟県中越地方に発生した地震は、マグニチュード6.8、川口町の震度計では震度7が観測されるなど、大きな地盤震動によって数多くのため池が様々な変状を受けた。地震動に起因する堤体の沈下に伴って、上流側貯水の越流や法面のすべり、あるいは、上流法面保護ブロックのすべりなどの被害が散見され、さらに堤体の決壊に至る場合も発生している。また、かろうじて破堤を免れたため池においても、堤体には亀裂やすべりの兆候が見られ、復旧規模を特定するために開削による詳細な調査が必要な状況も確認された。本報告は、谷茂上席、向後雄二室長、増川晋室長及び造構部の研究員による合同

調査の結果を取りまとめたものである。また、本調査にあたっては農林水産省農村振興局、新潟県のご支援、ご協力を頂いた。ここに、感謝の意を表する。

## II 地震の概要

新潟県中越地震は、発生日時：平成16年10月23日17時56分頃に発生し、その規模はM6.8 震度7、震源：新潟県中越地方（北緯37°17'4"、東経138°52'8"）、震源の深さ：13km（暫定）とされている。本震以降も震度5以上の余震が繰り返し発生していることが大きな特徴で、被害を助長している原因の一つになっている。本震の各地域の震度をFig.1に示す。また、Fig.2に小千谷市での記録波形を示す。トリガー的ではあるが、最大加速度が1000galを越える大きな値が記録されている。また、Fig.3,4に示す加速度応答スペクトルで見ると、小千谷市の卓越周期は0.1～0.2秒で兵庫県南部地震の1.0～2.0秒に比べて短周期であることがわかる。

地震動が構造物に与える影響は、地震動が持っている卓越周期と構造物の固有周期の関係によって大きく左右される。すなわち、両者が近接した周期を持っている場合には、共振的な応答が生じるため、地震動の影響が大きくなる。地震動を以下の3つの周期帯に分けて、各地の震動特性を分類することにする。

●0.1-1秒周期帯：計測震度（室内の置物の動き）

●0.5-1秒周期帯：建物の中小被害に対応

\*造構部土質研究室長

\*\*同主任研究官

\*\*\*同研究員

平成18年2月28日受理

キーワード：ため池、亀裂、すべり、越流、液状化、集落排水、  
パイプライン、埋戻し

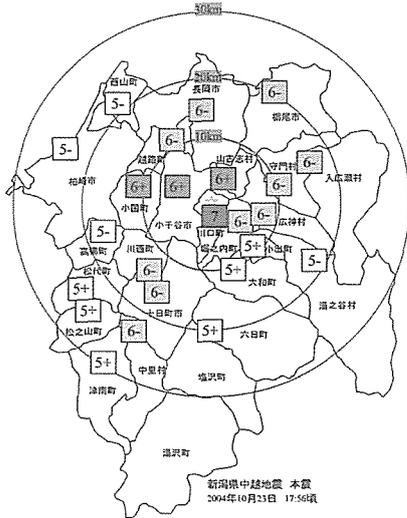


Fig.1 各地の震度分布

Regional distribution of Seismic intensity according to the Japan Meteorological Agency scale

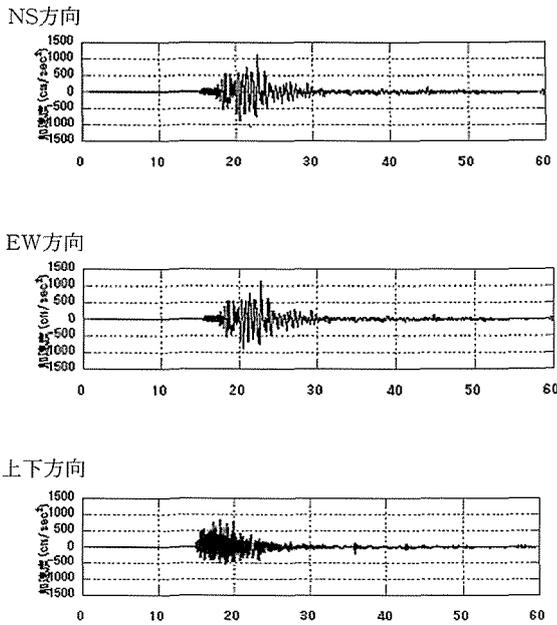


Fig.2 小千谷市での加速度記録

Recorded motions at the Ogiya city Top is NS direction, Middle is EW direction, Bottom is UD direction records

●1-2秒周期帯：建物の大きな被害に対応

この3つの周期帯に基づく各地の加速度応答を

- ①1995年兵庫県南部地震のJR鷹取，葺合
- ②2003年三陸南地震のJMA大船渡

の記録と併せてFig.3, 4に示す。今回の小千谷，長岡の地震動は，JMA大船渡と同様に短周期地震動であり，建物の大きな被害に対応する1-2秒震度より高周期の0.1-1秒震度が大きくなっている。これに対して，1995年兵庫県南部地震のJR鷹取と葺合では建物の大きな被害と相関が高い1-2秒震度が0.1-1秒や0.5-1秒震度に比べて大きくなっている。1-2秒が卓越したJMA六日町も1-2秒震度が0.1-1秒，0.5-1秒震度より大きくなっている

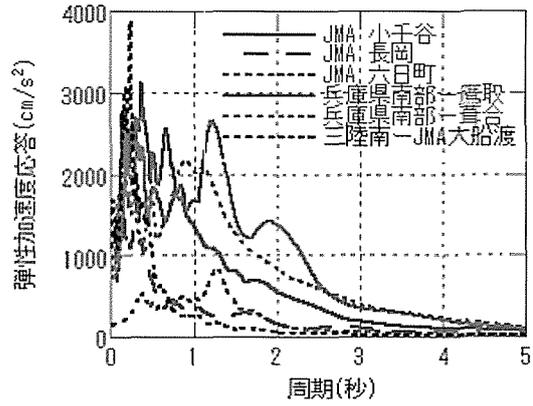


Fig.3 加速度応答スペクトルの比較 (地震研究所のホームページから引用)

Comparison of the acceleration spectra with observed, some record site and others (after Home page of Earthquake research center)

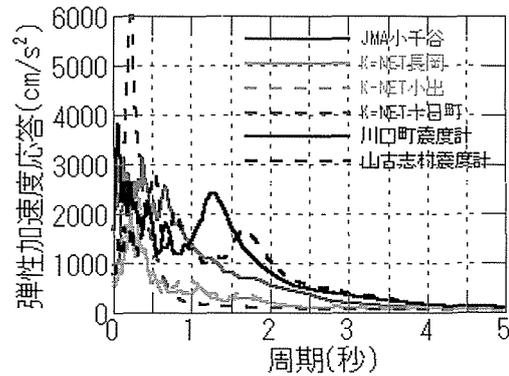


Fig.4 新潟県中越地震における加速度応答スペクトルの比較 (地震研究所のホームページから引用)

Comparison of the acceleration spectra with observed for Niigataken tyuetsu earthquake (after Home page of Earthquake research center)

るが，1-2秒震度の値はそれほど大きくない。JMA小千谷は，1-2秒震度も大きい，1995年兵庫県南部地震の葺合，JR鷹取ほどではない。

今回の地震では，地盤災害，ライフラインの被害が甚大であった。しかしながらその一方で，家屋などの建物の倒壊などの大きな被害は，震度の割に少ないと思われる。このような特徴は，三陸南地震，宮城県北部地震，芸予地震でも見られた。このことは，現在の地震の震度算定法が0.1~1秒という短周期に重きを置いていることに起因しており，短周期が卓越する地震動が発生すると震度が過大になってしまうことが原因であろう。

さらに，地盤に関連する災害でも大きなものが見られた川口町川口の強震記録は，1-2秒にも大きなパワーがあり，0.5秒以下の短周期が卓越した小千谷，長岡，十日町などの強震記録とは明らかに性質が異なる。その1-2秒応答の大きさは，小千谷，長岡の記録の2倍以上にも達する。すなわち，川口町，山古志村の2つの記録は

0.1-1秒震度より1-2秒震度が大きくなっており、地盤や建物に大きな被害を引き起こす可能性が高いことがわかる。

### III ため池の一般的な構造と被害パターンについて

#### 1 ため池の特徴

ため池の形態は、立地により大きく谷池と皿池に区分され、次のように定義されている。

谷池：山間や丘陵地で谷をせき止めて造られたため池

皿池：平地の窪地の周囲に堤防を築いて造られたため池

ため池の断面構造では、Fig.5に示すように堤体の全断面で遮水する型式（または堤体の最大断面で均一の材料の占める割合が80%以上である型式）の均一型と土質材料が遮水性材料と半透水性または透水性材料からなる型式で、遮水性ゾーンが上流側へ傾斜した形式の傾斜遮水型が多い。このほか、堤体が透水性または半透水性材料からなり、上流側法面にシートを設けて遮水する型式の表面遮水型もある。さらに、ため池には、灌漑用水を簡易に取水する施設として上流斜面部に斜樋が設置され、これに連結する形で堤体内部を上下流方向に横断する底樋が設置されている。この底樋は、古くは松丸太をくり貫いた水路形式のものや石組のものがあるが、現在ではヒューム管をコンクリートで矩形上に巻立てたものと、ダクタイル鋳鉄管などのパイプをそのまま用いる形式が一般的となっている。

#### 2 ため池の老朽化と被害パターン

築造年数の古いため池は、堤体断面の欠損や漏水などの潜在的な機能低下を生じていることが多く、地震動による大きな変状が重畳して決壊や大きな被害に及ぶことも少なくない。過去の事例から、ため池の被害の多くはFig.6のように分類することができるが、いくつかの要因が重なり合って決壊にいたるものもあり、単純な被害状況調査から被害の主原因をつきとめることは困難で、復旧の規模と工法を検討するためには適切な詳細調査が不可欠な場合がある。

一般的にため池の経年的な老朽化、あるいは地震や豪雨などの災害による機能低下の多くは以下のような8つの項目に分類することができ、これに対応した復旧対策をとることとしている。

- ①堤体等からの漏水
- ②堤体のクラック及び変形
- ③堤体の余裕高不足
- ④堤体断面形の変状
- ⑤高い浸潤線位置
- ⑥洪水吐の機能低下又は通水断面不足
- ⑦取水施設の機能低下
- ⑧安全管理施設の機能低下又は不備

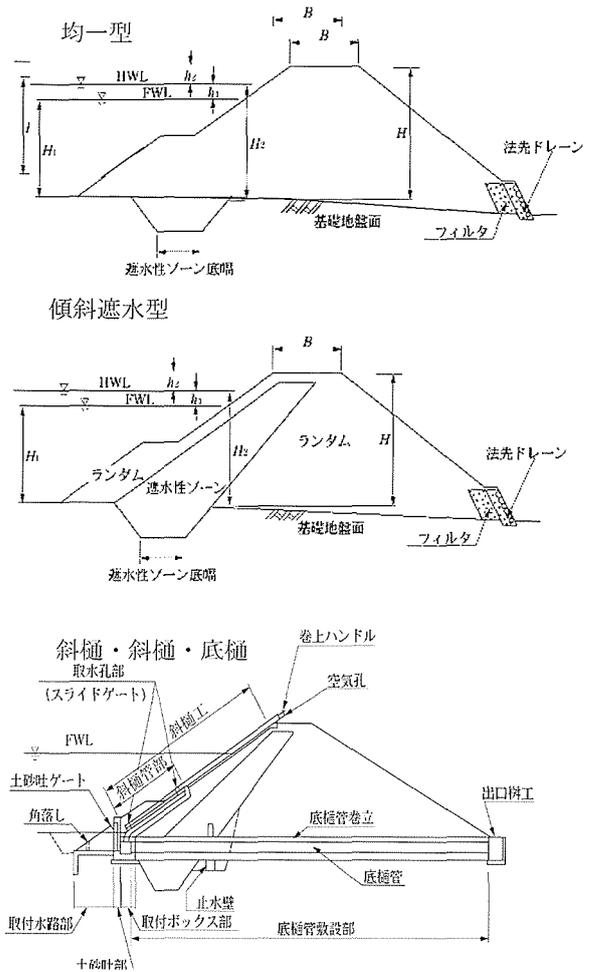


Fig.5 一般的なため池構造の例  
Typical cross section patterns of small earth dam

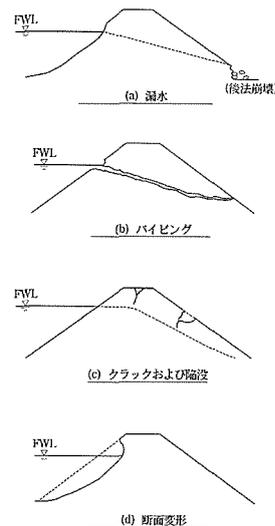


Fig.6 ため池の被害の主なパターン  
Typical damage pattern for small earth dam after earthquake

#### IV ため池被災の概要

大きな地震動を受けたため池は、上下流方向に大きく変状するため、堤体全体の沈下やすべりが発生する場合がある。これらのすべりの発生、底樋管部分の被災や堤体越流などのパターンは地震動の入射方向やその大きさ、堤体の規模と力学的な特性などに影響されるので、画一的に被災状況を類型化して被災形態ごとの安全性を議論することはできない。このため、ため池や集落排水施設の詳細な被災原因については、別の機会に報告することとして本報では、幾つかの代表的な被災の事例について紹介し、地震直後に必要な応急的な対応や復旧に向けての調査項目などを記述する。

##### 1 被災事例1 (びわ崎池, 栃尾市赤谷地区)

###### a ため池の諸元

びわ崎池は、集落から500mほど上流に位置する沢を堰きとめた池で池敷周辺部は急峻な地山で囲まれており、堤高も16mに達する大規模なため池である (Photo 1参照)。

型式：均一型、堤高：16m、所在地：栃尾市赤谷

###### b 被害の概要

天端には堤軸方向に2本の亀裂（上流側と下流側）が発生しており、上流側の亀裂部の段差は50cm程度で幅は約20cmに達する。この天端亀裂は1m以上の深さでその底には水が貯まっている。下流側の亀裂は数センチの幅であるが、亀裂に沿ってグラウトの痕跡が見られる。すなわち、グラウト面に沿って亀裂が進展していると思われる。また、下流の法面中腹部（天端から7m下）に堤軸平行に亀裂が発生しているが、植生のためにその規模や天端の亀裂との連続性は確認することができない (Photo 2参照)。

地震直後の状況としては、貯水面は天端から1m下がりの状態で維持されていた。また、左岸地山と堤体の境界部に亀裂が発生しており、堤体が沈下している。池敷奥の地山に地滑りが発生しており、多量の土砂が池内に流入していると思われる。右岸下流法先部は明確な漏水は認められないが、極めて湿潤で緩い状態である。

###### c 所見と対応方法

天端上流側の亀裂は堤体の安全性に重大な影響を与えるもので、亀裂の深さはかなり深部に達するものと考えられ、上流法面部にも滑りが発生している可能性が高い。天端下流側の亀裂は、グラウト面に沿ったものの様であるが、下流法面に亀裂が認められること、また天端下流法肩が下流側に下がっていることから、余震によって新たな滑りの発生の危険性が高い。このため、早急に、亀裂に雨水が浸入しないように、シートによる保護を行う必要がある。また、左岸にポンプを設置して水位を下げると同時に右岸の洪水吐の堰を壊して水位を下げるなどの緊急的な処置が必要である。今後は、植生を伐採して



Photo 1 びわ崎池天端の状況  
Damage to Biwasaki dam

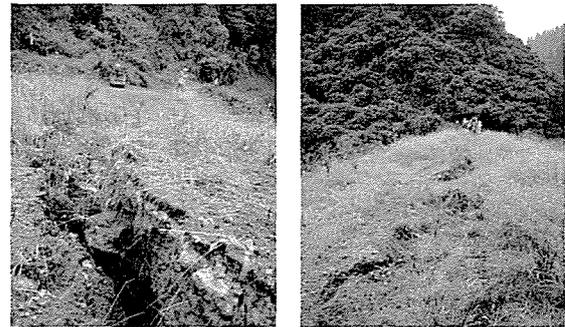


Photo 2 天端の上流側の亀裂  
Deep cracks and settlement of the crest of Biwasaki dam



Photo 3 上流面の変状  
Damage to concrete block facing on the front slope



Photo 4 下流法面先の腰石垣の変状  
Lateral movement of toe end block

下流法面の状況を再度確認することが必要である。作業に際しては天端に重機などの負荷をかけないようにすることが重要である。右岸側の地山に設置されている洪水吐は健全である。

## 2 被災事例2（梨の木堤）

### a ため池の諸元

梨の木堤は、江戸時代末期に構築された池を改修したもので、前刃金の構造を採っているが地山との接続部などで断面は変則的になり断面幅が十分とれない部分がある。ため池の基礎データとしては、型式：前刃金型、堤高：7.75m、貯水量：73,000m<sup>3</sup>、堤長さ：116.4m、天端幅：4.0m（ただし、改修によって断面は変則的）となっている。ただし、堤体は一部に屈曲した部分がある。

### b 被害の概要

被害の状況としては、Photo3、4のように天端の堤軸方向の亀裂の発生と法面部のすべりに特徴づけられる。本震によって天端に発生していた堤体屈曲部付近の亀裂は、余震を受けて規模が大きくなっており、新たな亀裂も生じている。この屈曲部分は下流法先部分の用地の関係で、十分な堤体断面を確保できていないため、地震の影響を受けやすく上下流両方に滑りを発生している。天端亀裂は上流側と下流側に入っており、いずれも亀裂幅は10cmで延長10～20mに及ぶ。これらの亀裂は、深さ1m以上で前刃金まで到達し、上下流法面方向への滑りに連結している可能性が極めて高く、損傷の程度としては重大な状況にある。さらに、この亀裂が入っている断面部の下流法先部の腰石垣は20cm以上押し出されて崩れている。また、法面からの漏水も認められ、斜面の中腹部には幅7cm、深さ40cmの亀裂が発生し、下流法面が滑り崩壊していることは明らかである。また、上流側の法面に設置された保護ブロックには沈下と目地の開きが発生し、小段部分にも滑りが発生しており、天端からの滑りとも連動した規模の大きい崩壊につながっている可能性が高い。

### c 所見と対応方法

亀裂やすべりの発生している箇所については、開削を行い亀裂を完全に除去できる深さから堤体を段切り、再度盛土を行わなければならない。下流側の法先部の腰石垣が大きく押し出された部分は、現状の構造や布団かごなどの形式では十分な堤体の安全性を確保することが不可能であるため、十分な断面を確保する必要がある。民家の敷地で十分な断面を確保できない場合は、下流法先部分に補強土などによる押さえ工を設けて堤体の力学的な安全性確保と浸透対策を実施する必要がある。

## 3 被災事例3（無名池）

### a ため池の諸元

明治の初めに築造された栃尾市本所字芦ヶ沢の無名池

である。ため池データベースでは堤高6m、貯水量5,900m<sup>3</sup>、堤長60m、天端幅3mとされている。

### b 被害の概要

今回の地震により堤体中央部が破堤している。破堤位置と底樋部分が重なっているため、底樋部分の漏水に起因するものか、越流による破堤かは判断する情報がない。しかし、堤体左岸部にパイピングホールが見られる。この出口は下流法面中腹部で上流に向かって上向きのホールが少なくとも深さ2mまで連続している。ホールの直径は10cmである。地震以前から長年漏水があったものと思われ、下流法面の浸食が発生しているとともに上流法面にはシートが設置され応急的な表面遮水の構造を採っている。破堤の原因は不明であるが、底樋部分が弱体化しているとともに震動による大きな変形が相乗したことによって決壊に至った可能性が高い。右岸に堤体を横断する亀裂があることから、堤体の堤軸直角方向の揺れが大きかったものと思われる。パイピングホールの位置は、旧堤体と新しく盛った堤体との境界部に近く、この部分の設置状況が影響した可能性も否定できない（Photo5、6参照）。

### c 所見と対応方法

堤体全体が老朽化しているため、決壊した箇所だけでなく全面的に改築する必要がある。



Photo 5 底樋周辺の破壊状況  
Damage around outlet pipe

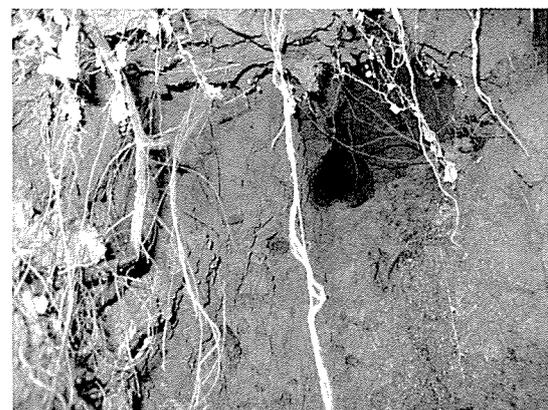


Photo 6 下流法面中腹部のパイピングホール出口  
Piping hole on the downstream slope

#### 4 被災事例4 (無名池: 202-11池)

##### a ため池の諸元

明治時代に築造された長岡市六日市町字下山の無名池である。ため池データベースでは貯水量: 7.5千 $m^3$ , 受益面積: 15.0ha, 満水面積: 0.10ha, 堤高10.0m, 堤長: 45.0m, 天端幅: 4.0m, 取水施設は斜樋構造となっている。所在地は長岡市六日市町字下山である。

##### b 被害の概要

本ため池は、親子ため池で親池の直下流に位置している。顕著な被災状況として、堤体中央部が大きく決壊している。決壊した箇所以外については上下流斜面ともにすべり等の発生は見られないが、左岸側天端に堤軸方向のクラックが観察された。右岸地山部に設置された洪水吐と決壊箇所周辺部の高さを比較すると、決壊箇所周辺部は大きく沈下しているようである。また、右岸側地山および上流のため池へのアクセス道となっている池敷き周辺部の崩落も目立つ。このような状況から、地震により堤体中央部が大きく沈下し、同時に地山や池敷き周辺部が崩落することで土砂や樹木が池敷き内に侵入することによって、貯水が堤体中央部を越流し破堤したものと考えられる。

##### c 所見と対応方法

決壊した箇所については、段切りを行い、再度盛土を行わなければならない。破堤した箇所以外でも、堤体が全体的に沈下しているようであり十分なフリーボードが確保できていない可能性がある。沈下の状況を測量により調査し、必要であれば堤体全体に余盛を行わなければならない。また、右岸側池敷き周辺の崩落防止対策も必要と考える (Photo7, 8, 9, 10参照)。

#### 5 被災事例5 (表面遮水池)

##### a 被害の概要

表面遮水型のため池についても、特徴的な被災が見られた。ゴムシートによる表面遮水のため池では、破堤にいたる壊滅的な状況は免れているが、Photo 11に示すように上流斜面のすべりによってゴムシートが引き裂かれる事例が見られた。また、取水施設との接続部分での

剥離や斜樋コンクリートの折損に伴ってゴムシートに損傷を受けるケースも見られた。

上流法面の保護ブロックについては、多くのため池で滑り落ちや陥没を生じている。ブロックの裏側は碎石による基礎施工が一般的であるが、ブロック下面にポリエチレンシートを設置しているケースもあり、ブロック下面での大きなすべりが生じている。

洪水吐施設と堤体の接続部分に大きな沈下が発生している事例が数多く見られた。コンクリート側壁に沿って水みちが形成され漏水の原因となるので、軽微な亀裂であっても開削による手当が不可欠である。



Photo 8 堤体上流側の全景  
Over view of damaged dam



Photo 9 池敷き周辺道路の崩落  
Slip failure to access road around dam



Photo 7 堤体中央部の決壊  
Damage to the central area of the dam



Photo 10 右岸地山部の崩落  
Slope failure around dam

## 6 被災事例6（砂押池）

### a ため池の諸元

砂押池は昭和4年に築造された池で、ため池データベースによると、貯水量：24.5千 $m^3$ 、受益面積：43.0ha、満水面積：0.50ha、堤高：7.0m、堤長：80.0m、天端幅：3.5m、取水施設は斜樋構造となっている。所在地は長岡市親沢町字縄手である。

### b 被害の概要

本ため池は、堤体上流斜面に張られたゴムシートにより遮水を行う構造である。しかしながら、調査時には堤体左岸側から中央部にかけてゴムシートが大きく裂けていた。ゴムシートが裂けていた箇所には植生があり、地震発生以前からゴムシートは裂けていたものと思われる。堤体の変状としては、天端部のクラック、堤体上流側斜面中央部のすべり、堤体上流側斜面右岸側のはらみが観察された。堤体下流側については、植生のため変状の観察が十分に行えなかった（Photo 12, 13参照）。

### c 所見と対応方法

堤体上流側斜面については、ゴムシートが破れている箇所については張り直しが必要である。また、すべりなどにより変状をきたしている箇所については、段切りを行い再度盛立てる必要がある。堤体右岸側については、ゴムシートは健全であるものの、堤体のはらみだしが顕著であることから、ゴムシートを剥いで、堤体の変状の

状態を調査することが望ましい。ゴムシートの敷設にあたっては、下地が重要である。ポーラスコンクリート等を設置し、十分な平滑を持った下地構造を造る必要がある。

## 7 被災事例7（赤利池）

### a ため池の諸元

赤利池は昭和47年に築造された池で、ため池データベースによると、貯水量：2.0千 $m^3$ 、受益面積：2.0ha、満水面積：0.10ha、堤高：5.0m、堤長：28.0m、天端幅：2.8m、取水施設は堅樋を用いている。所在地は栃尾市栗山沢である。

### b 被害の概要

右岸側地山が崩落しており、それによって堤体へのアクセス道路、洪水吐、沢水を下流へと導水する水路が閉塞していた。水路の閉塞により上流からの沢水が全て本ため池の池敷き内に流入し、併せて洪水吐が閉塞しているため、貯水位が天端すれすれまで達している状況であった。また、左岸側地山も崩落しており、樹木や土砂が池敷き内に侵入していた。堤体自体も下流側斜面右岸側で大きなすべりが生じていた（Photo 14, 15, 16, 17参照）。

### c 所見と対応方法

貯水位が天端すれすれまで達しており、破堤の危険が



Photo 11 ゴムシートの切断状況  
Damage to the surfacing rubber for dam



Photo 13 下天端部の亀裂の状況  
Crack in the crest of rubber facing dam



Photo 12 ゴムシート下面のすべりの状況  
Slope failure on upstream for rubber facing dam



Photo 14 ため池の遠景  
Up to the full water level and embankment



Photo 15 貯水の状況  
Water level for dam after earthquake



Photo 16 地山の崩落による洪水吐、水路の閉塞  
Damage to the spillway and canal close to dam

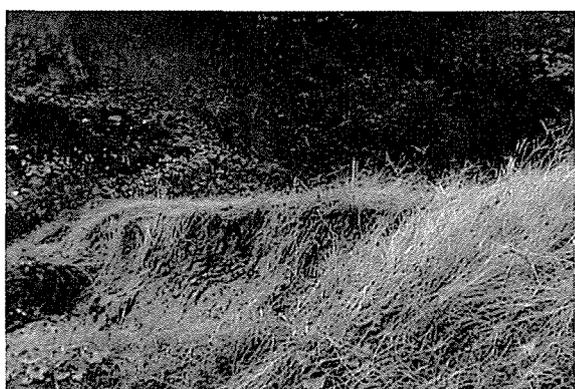


Photo 17 堤体下流斜面のすべり  
Slope failure on the downstream slope

あることから緊急に対応するよう要請を行った。本ため池の下流すぐのところには国道290号があるため、決壊した場合の影響は甚大である。排水ポンプを用いて落水を行うとともに、洪水吐の土砂の除去または堤体の開削により貯水を排除することが必要である。堤体については、崩落した部分を段切りし、再度盛立てる必要がある。地山の崩落対策も必要である。

8 ニューマーク法による解析

ニューマーク法による数値解析を用いてため池の耐震性の検証を行った。対象としたため池は、天端に大きな

クラックが入り、天端沈下が生じているびわ崎池である。

a びわ崎池の堤体および被害状況

びわ崎池は、堤高16m、堤頂長55m、総貯水量20,000m<sup>3</sup>の均一型ため池である。堤体の土質試験結果をTable 1に示す。また、堤体の標準断面をFig.7に示す。

びわ崎池は、地震によって、堤体天端にクラックが発生し、かつ上流側が約50cm沈下して段差が生じた。また、下流斜面の中腹に若干のはらみ出しが認められた。

b ニューマーク法による解析結果

ため池堤体の地震による変形の解析には、ニューマーク法を適用する。この方法は堤体斜面の土塊の滑动変位を計算するために提案された方法である。すべり土塊を剛体のマスと仮定して、この剛体の回転に対する運動方程式を数値積分して滑动変位を算出するものである。計算に必要な堤体の土質パラメータは安定計算に使用され

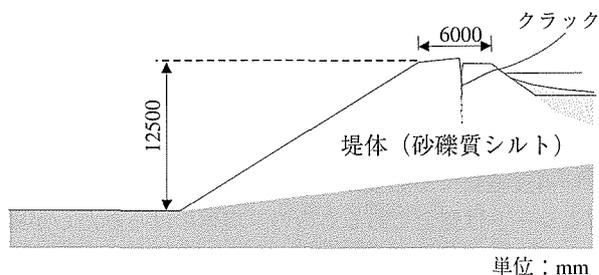


Fig.7 びわ崎池の堤体断面  
Cross section of Biwasaki dam

Table 1 びわ崎ため池土質試験結果  
Soil properties for Biwasaki dam

試料番号		堤体
一般	土粒子の密度 $\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>	2.653
	自然含水比 $w_n$ %	38.2
粒度	礫分 2~75mm %	15.2
	砂分 75 $\mu$ m~2mm %	24.4
	シルト分 5~75 $\mu$ m %	46.6
	粘土分 5 $\mu$ m未満 %	13.8
	最大粒径 mm	37.5
	均等係数 $U_c$	22.4
	曲率係数 $U_c'$	1.36
コンシステンシー特性	液性限界 $w_L$ %	58.6
	塑性限界 $w_p$ %	31.4
	塑性指数 $I_p$	27.2
分類	分類名	砂礫質シルト (高液性限界)
	分類記号	(MHSG)
締固め	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ g/cm <sup>3</sup>	1.39
	最適含水比 $w_{o.p.t.}$ %	28.6
	締固め度 $D$ 値 %	90.1
強度・透水性	内部摩擦角 $\phi'$ 度	24.4
	粘着力 $c'$ kN/m <sup>2</sup>	6.2
	透水係数 $k_{15}$ cm/s	$1.57 \times 10^{-7}$

る土塊の単位体積重量およびすべり面のせん断強度定数（内部摩擦角，粘着力）だけであり，変形に関する弾性係数などの定数は必要としないので実用的かつ簡便な手法である。一方，地震動の増幅や繰り返し载荷に伴う土の剛性の低下などが考慮されないという欠点がある。

堤体の変位を求めるために，堤体に発生するすべり面と安全率が1.0となるときの加速度である限界加速度が必要になる。今回の解析ではBishop法によってすべり面を求めて，水平震度を作用させることで安全率が1.0となる場合の限界加速度を求めた。

極限平衡法にもとづく地震時安定計算における安全率の定義を(1)式で定義する (Fig.8参照)。

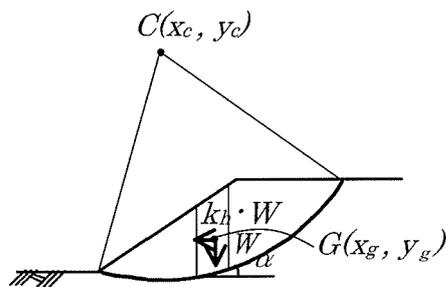
$$F_s = \frac{M_R}{M_D} = \frac{M_{RW} + M_{RC} - k_h M_{RK}}{M_{DW} + k_h M_{DK}} \quad (1)$$

ここに， $F_s$ ：円弧すべり安全率， $M_R$ ：転倒に対する抵抗モーメント， $M_D$ ：転倒モーメント， $M_{RW}$ ：自重によるすべり面の摩擦力による抵抗モーメント， $M_{RC}$ ：すべり面の粘着力による抵抗モーメント， $M_{RK}$ ：すべり面の摩擦力による抵抗モーメントの地震慣性力成分（単位水平震度当り）， $M_{DW}$ ：自重による転倒モーメント， $M_{DK}$ ：

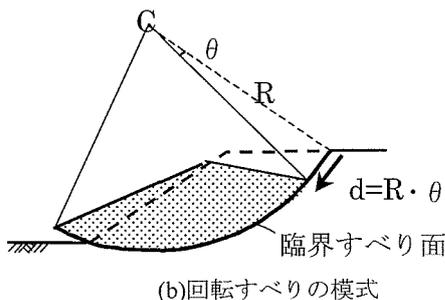
Table 2 常時安全率と地震時の臨界加速度

Static stability analysis for Biwasaki dam and limit acceleration

	下流斜面	上流斜面
常時の安全率	1.10	5.44
地震時の臨界加速度(gal)	62	594



(a) 記号の定義



(b)回転すべりの模式

Fig.8 ニューマーク法の解析モデル

Equilibrium along slip surface for Newmark method

地震慣性力による転倒モーメント（単位水平震度当り）， $k_h$ ：水平震度である。

各項は，それぞれ次式で与えられる。

$$M_{RW} = R \sum (W - b \cdot u) \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi$$

$$M_{RC} = R \sum c \cdot l$$

$$M_{RKH} = -k_h M_{RK} = -k_h R \sum W \cdot \sin \alpha \cdot \tan \phi$$

$$M_{DW} = \sum (x_g - x_c) W$$

$$M_{DKH} = k_h M_{DK} = k_h \sum (y_c - y_g) W$$

ここに， $R$ ：円弧半径， $(x_g, y_g)$ ：スライス重心， $(x_c, y_c)$ ：円弧中心， $W$ ：スライス重量， $c$ ：粘着力， $\phi$ ：土の内部摩擦角， $b$ ：スライス幅， $l$ ：すべり面の長さ， $a$ ：すべり面との角度， $\sum$ ：スライスの総和記号である。

Bishop法による地震時安定計算結果をFig.9, 10に示す。堤体内の浸潤面の位置については，上流貯水面位置と下流法先部分の調査結果から推測したものである。上流および下流斜面の常時におけるすべり安全率，臨界加速度を，Table 2に示す。下流斜面については，わずかに62gal程度の地震動で安全率が1.0となる状態である。上流斜面については，流入した土砂が重石となって解析上は押さえ盛土のような機能を果たすこととなるため，大きな安全率を算出することとなっている。現実には上流に堆積している土砂は極めて緩い状態であるため，地震時には液化状態である可能性も高いこと，また，地震地には堆積量が少なかった可能性も高いことなどから，実際の変形の状況と大きく異なったものと思われる。ニューマーク法に用いる入力波は，Fig.11に示す川西

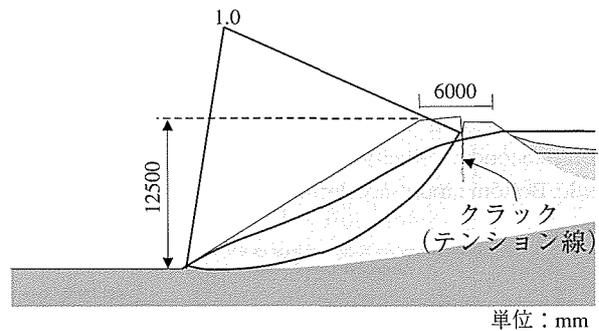


Fig.9 Bishop法によるすべり(下流斜面)  
Slip surface by Bishop method for downstream slope

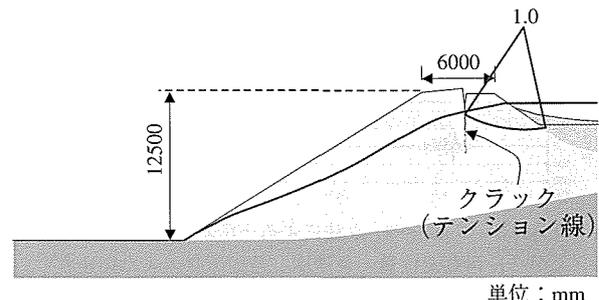


Fig.10 Bishop法によるすべり(上流斜面)  
Slip surface by Bishop method for upstream slope

ダム（新潟県中魚群川西）で計測された地震波を用いた（谷，2005）。

ニューマーク法による下流斜面および上流斜面の解析結果をFigs.12, 13に示す。上流斜面については、実際のため池で大きな沈下が発生しているにも関わらず、ニューマーク法の解析では、ほとんど変位が発生しなかった。これは、堆砂部分の評価が十分にできないことが原因と考えられる。下流斜面については、実際の堤体における挙動と解析結果はほぼ一致する結果となった。しか

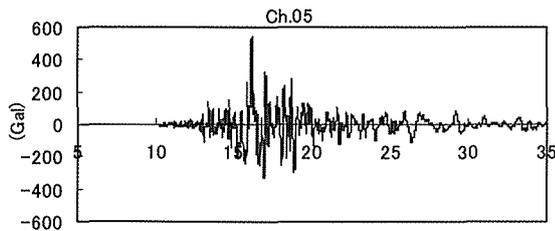


Fig.11 川西ダムにおける地震記録

Input motion, Earthquake record at Kawanishi Dam site

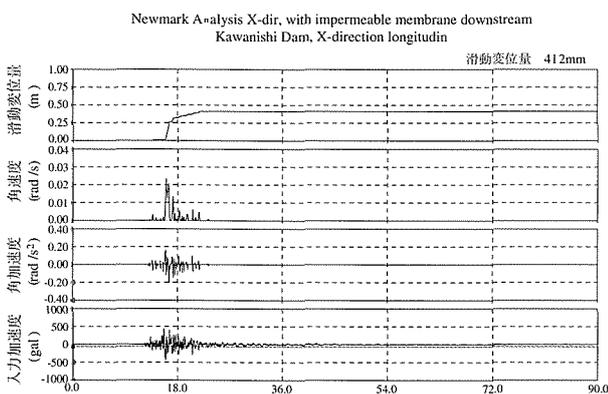


Fig.12 ニューマーク法による下流斜面の解析結果

（上から、滑動変位量、角速度、角加速度、入力加速度）

Analytical results by New mark method, top : displacement, second : velocity of angle, third : acceleration of angle, Bottom : input acceleration

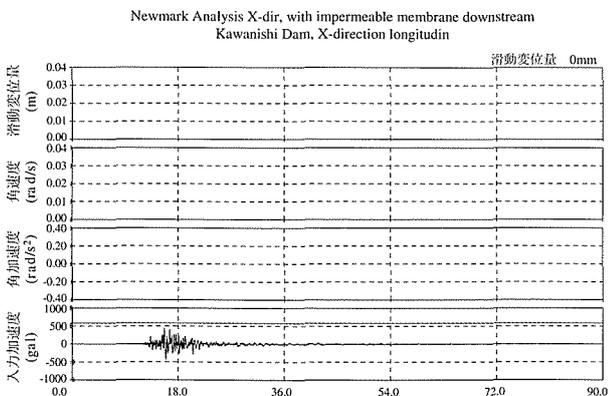


Fig.13 ニューマーク法による下流斜面の解析結果

（上から、滑動変位量、角速度、角加速度、入力加速度）

Analytical results by New mark method, top : displacement, second : velocity of angle, third : acceleration of angle, Bottom : input acceleration

し、浸潤線の推定等が正確にできていないため、今後更に検討を加える必要がある。

## V 集落排水施設の被害概要

集落排水施設の地震被害の特徴としては、マンホールの浮上とパイプ上部の路面の沈下が際だっているが、地表面に変状がない場合でもパイプ自体が屈曲している区間もある。

パイプラインやマンホールの浮上に伴って施設内に滞水が生じており、パイプライン全体の通水障害の原因となっている。多くの集落排水施設は道路下に埋設されているため、パイプライン上部の路面陥没やマンホールの浮上によって交通障害となっている地区が多い。このため、緊急的に地上部分のマンホールの切断や陥没穴の埋戻しが実施された（Photo 18参照）。

新潟県中越地震では、柏崎市、小千谷市、十日町市など多くの地区で集落排水施設の被害が生じているが、その原因は埋戻し地盤、および原地盤の液状化に伴うパイプラインやマンホールの浮上、蛇行である。以下に、その特徴的な被害の状況を紹介する。

### 1 被災事例（十日町市の集落排水施設）

十日町市の公共下水道施設は総延長250kmに達し、そのうち集落排水施設は50kmとなっている。十日町市下条地区では平成11年から集落排水施設工事（全長30km）が実施されその98%が完了している。

集落排水施設は、国道下（117号線）に埋設される場合と市道、農道に埋設される場合によって、それぞれに施工の仕様を定めている。

当地区の一般的な施工断面をFig.14に示す。パイプは硬質塩化ビニル管が多く、一部はダクタイル鋳鉄管を使用している部分もある。直径は150～200mm程度である。埋戻し材料には、洗い砂、砂質土（山砂）、再生混合As、発生土が用いられている。

国県道・市道の標準断面においては、管頂上10cmより上部については山砂によって埋設されており、その上



Photo 18 マンホールの浮上と地表面沈下  
Damaged manhole and settlement of road surface after earthquake

部が舗装となっている。舗装は下層路盤工（再生砕石RC40、厚さ36cm）の上部に表層工として粗粒度アスコン（厚さ5cm）を施工している。

一方、市道アスファルト道路の標準断面では、洗い砂を管頂10cmまで用い、その上部をRC40による埋設としている。舗装は下層路盤工（再生砕石RC40、厚さ19cm）の上部に表層工として粗粒度アスコン（厚さ3cm）を施工している。

掘削溝幅は、70cm程度のもが多く、パイプの周辺部分はたこ突きによって締固めを実施し、管頂上10cm厚さの部分が振動コンパクターでその上部についてはタンパー、あるいはハンドガイド振動ローラを用いている。

**a 国道下の集落排水施設の被災状況**

パイプラインの上部の路面に沈下が集中し、40cmに達する沈下が発生している。同時に、表層路面の目地や亀裂部分に噴砂が認められる。下条地区のパイプは、4mに達する土被りを有し、山砂によって埋設されている部分である。この区間の管内をカメラによって調査した。その結果、Fig.16に示すように管はほぼ1本ごとに鉛直方向に屈曲しており、パイプには少なくとも20cm以上の浮上、あるいは沈下が生じている。管の継ぎ手部分が完全に離脱している箇所はなく管頂部と管底部の抜けだしあるいは突き込みが主体である。管の左右については大きな変化がないことから、鉛直方向の蛇行が主体的であると判断できる。また、パイプの断面変形（たわみ量など）は小さい。路面の陥没は、埋戻し砂の液状化による沈下によって発生したものであることから、現在路面に陥没が見られない部分でも舗装下に空洞が発生している可能性が高い。地区全体で見ると掘削深さが大きいところほど、沈下量が大きく、ほとんどのマンホールが浮上している。

**b 市道下の集落排水施設の被災状況**

**（新保地区の事例）**

埋設断面内には、集落排水のパイプラインのみが埋設されており、埋戻し材料にRC40を用いている区間である。

標準的な断面はFig.15であるが、土被り深さは2~4mに達する路線もある。

Photo 19に示すようにマンホール周辺に噴砂が発生している部分があるが、小規模にとどまっており、路面の沈下についてもわずかである。しかしながら、パイプ本体は上下に蛇行している。

**2 被災原因と対策**

**a 被災原因**

被災の状況に記述したように地表面に噴砂が多数認められ、マンホールが大きく浮上していることから、液状化が発生したことは確実である。また、パイプを埋戻した溝の部分のみが大きく沈下しており、埋戻しに使用した砂の液状化が主因であると判断できる。一般に地盤が液状化した場合、5~10%の沈下が発生するが、土被り4mの全層が完全に液状化した場合で沈下量が40cmとなる。土被りが2m程度のパイプラインでも20cm（沈

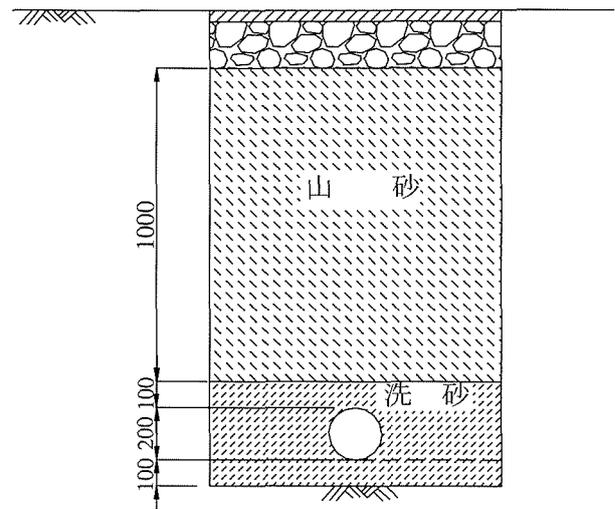


Fig.14 施工断面(国道下)

Construction cross section for Tohkamachi Gejyoh main trunk line (under national road)

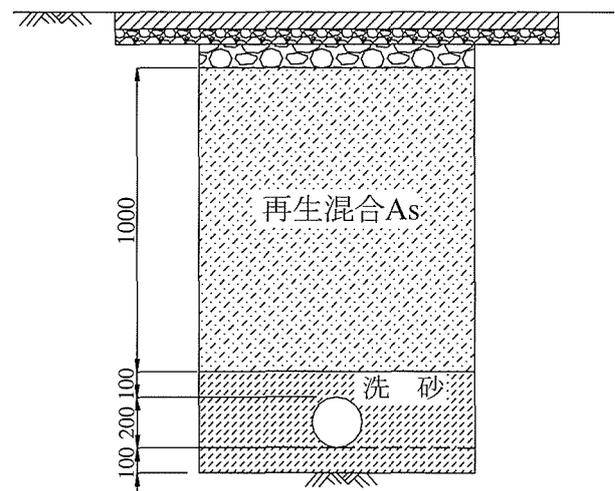


Fig.15 施工断面(市道下)

Construction cross section for Tohkamachi Gejyoh main trunk line (under city road)

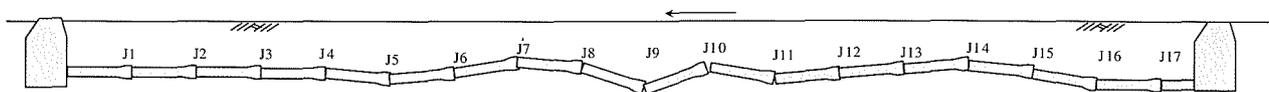


Fig.16 テレビカメラによる調査結果(パイプの浮上の状況)

Vertical displacement for damaged pipeline along the trunk line, 70m



Photo 19 地表面の状況

Slight settlement around the manhole for city road

下量10%)を越える箇所もあることから、過去の液状化被害に比べて大きな路面沈下が発生している。この原因については不明であるが、周辺原地盤の液状化の影響も考えられるので、地盤条件に応じた対策方法を策定することが重要である。

埋戻しに再生砕石RC40を使用しているパイプラインは、液状化の痕跡が少なく地表面の沈下も見られない。ただし、一部のマンホール周辺には僅かに噴砂が見られるが、マンホールの浮上は外見上軽微か無視できる状況である。このことから、今回のような大きな地震動に対しては、RC材は液状化することもなく大きな効果を発揮していたことがわかる。ただし、管周辺は洗い砂によって埋戻していたために、管の蛇行は避けられず改修が必要な状況となっている。

#### b 対策

液状化を防止する方法としては、パイプの埋戻し部分に対策を施す方法が考えられる。

- ① 砕石を用いる。
- ② 改良土を用いる。
- ③ 砂の密度を高める。

既に集落排水施設で実施しているように、再生砕石RC40を埋戻し材として用いた施工方法が有効である。この場合でも、締固めは重要で、目標の締固め度は概ね90%である。C40などの一般的な砕石は、液状化抵抗性も高く有効な埋戻し材料であるが、目安としては平均粒径(D50)が10mm以上で、10%粒径(D10)が1mm以上とする場合が多い。ただし、硬質塩化ビニル管を用いた場合には、砕石粒子による集中荷重が管材の耐久性を著しく低下させるので埋戻し材として用いることができない。このため、他の手法によって液状化抵抗性を高める必要がある。このような場合、埋戻し材料として改良土を用いることによって、大きな地盤反力を得ることができ、完全に液状化を防止することが可能である。改良土としてはセメント系固化剤を用いたものが一般的である。埋設深さ数メートルのパイプラインの場合は、最大

で200kPa程度の一軸圧縮強度が得られる配合とするが、現場配合での強度試験によって確認する必要がある。高強度の改良土の場合には、後の開削工事の障害となることもあるので十分注意する必要がある。

砂の密度を十分高く施工することによって、大きな液状化抵抗性を得ることも可能である。砂の粒度分布や細粒分含有率(0.075mm以下)にもよるが、埋戻し砂の締固め度を95%以上に確保することによって、液状化抵抗性は急激に向上する。しかしながら、一般のパイプラインの埋戻し方法では、まず砂を30cm厚さで撒きだして締固め機による転圧を実施するが、30cmの層圧を均一に所定の密度を確保することはなかなか困難である。振動コンパクターによる締固めを実施した場合には、撒きだした地盤の下層まで密度が向上せず、表面の密度改善しか期待できない。これに対してタンパーを用いた場合は、90%以上の締固め度を得ることが可能であるが、転圧回数などの確認が必要で、一般的な砂の場合では数回以上の転圧作業が必要となる。このため、溝幅の狭い断面内での施工では、タンパーを用いた転圧作業は極めて困難で締固め度90%以上の密度を得ることは難しいと思われる。

以上のことから、パイプ周辺の埋戻し地盤の液状化を防止するためには、Fig.17に示すような改良土の選択が有効である。改良土も締固めは必要であるが、ある程度の密度を確保することによって、パイプの支持力は十分確保でき固化した地盤は液状化することはない。また、管頂上部分については、施工スペースの制約がなくなるので砂を十分に締固めることによって液状化防止の効果を期待することも容易になる。タンパーやハンドガイド振動ローラなどを用いれば95%以上の密度を得ることも可能である。ただし、近接工事などによって埋戻し地盤がゆるむことを考えると、この部分については砕石を利用する方がより適切である。

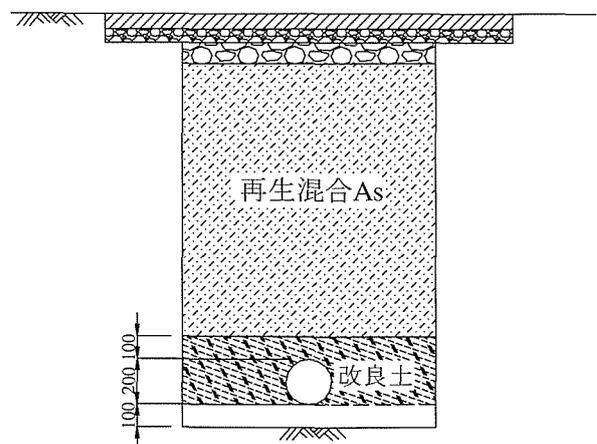


Fig.17 液状化対策の案

Recommended construction method with soil cement back fill

## VI まとめ

ため池の被災の状況は、いずれも天端の亀裂や法面のすべりである。これらの被災は堤体表面の状況を示しているにすぎずその内部の状況は、復旧時の詳細な開削調査によって解明する必要がある。表面的には数cm程度の亀裂幅であっても、内部では大きく開いていることもあり、総じて亀裂は堤体の深部にまで及んでいることが多い。このため、復旧に当たっては、損傷の程度を正確に把握した上でその復旧方法や断面を検討する必要がある。

兵庫県南部地震（1995）や日本海中部地震（1993）でも多くのため池に亀裂が発生したが、亀裂の多くは2m以上の深さを持っており、前刃金などの堤体遮水層にまで及んでおり、表面的には軽微に見える亀裂であっても、遮水層に重大な損傷を与えている可能性が高いという認識が重要である。Photo 20に示す亀裂は兵庫県南部地震の時に発生した金城池の天端部の亀裂であるが、天端での亀裂の開口幅は1cm程度であったにもかかわらず、50cm深さのところでは幅15cmに広がっていることが確認されている。さらにこの亀裂はFig.18に示すように鉛直に発達し中心遮水壁内部を突き抜けるまで深く入っていた。このため、この池の復旧は、この遮水壁部分を改築することとして、Photo 21のような工事を実施している。

法面中腹部に発生する亀裂についても、天端の亀裂と同様に鉛直下向きに深くまで進行している場合が見られ、安易に表層的なすべりと判断することは危険である。災害時の緊急的な調査において、被災の状況を的確に把握することは、2次災害を未然に防止する上で極めて重要である。また、直後の記録からの経過観察などのデータは復旧工法の判断にも大きな意味を持っている。堤体の亀裂やすべりなどの被災の状況や規模は、個別的ではあるが変状として現れる箇所や地震時のウィークポイントとなりやすい箇所については過去の調査結果からいく

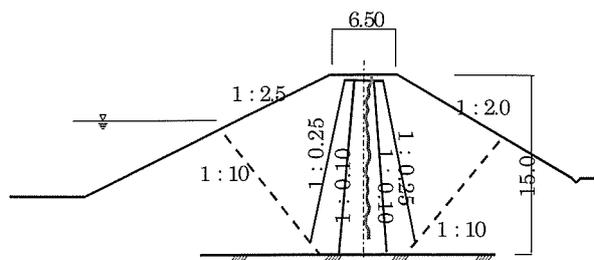


Fig.18 天端の亀裂深さー中心刃金工法  
(震災記録より転載)

Depth of crack in the crest for central core dam  
(after earthquake record by Hyogo pref.)



Photo 21 コア部分の開削状況 (震災記録より転載)  
Reconstruction for damaged core zone  
(after earthquake record by Hyogo pref.)

Table 3 ため池・調整池の重要度区分  
Classification for dam and reservoir

A (重要)	堤体下流に主要道路や、鉄道、住宅地等があり、施設周辺の人命・財産やライフラインへの影響が極めて大きい施設
	地域防災計画によって避難路に指定されている道路に隣接するなど、避難・救護活動への影響が極めて大きい施設
	地域の経済活動や生活機能への影響が極めて大きい施設
B (重要)	被災による影響が大きい施設
C (一般)	被災による影響が少ない施設



Photo 20 天端の亀裂の状況 (震災記録より転載)  
Longitudinal crack in the crest for dam  
(after earthquake record by Hyogo pref.)

つか明らかになってきている。緊急調査等における調査ポイントの一例として被災箇所の記録事例をFig.20に示す。

### 1 耐震性について

ため池の耐震機能としては、地震を受けても、

- ① 決壊しないこと
- ② 堤体にすべり破壊が発生しないこと
- ③ パイピングなどの異常漏水が生じないこと

などが挙げられる。①と②については、地震後に堤体の沈下量が貯水位を下回らないことや堤体内部のすべりが発生しないことを閾値として、解析的に評価することが可能である。しかしながら、③については、現状では、

解析的な検証でパイピング破壊を評価することは困難な状況にある。このため、現実的には、堤体の余裕高や洪水吐標高、満水位などを総合的に判断して許容最大沈下量を定めて、想定する地震動を受けた場合でもこれを満足するように設計することが妥当と考えられる。

主要なため池の総数が6万5千カ所（受益面積2ha以上）とされているが、これらの全ため池を対象として、詳細な耐震設計と耐震対策を進めることは、実質的に困難である。このため、土地改良施設耐震設計の手引き（農業土木学会、平成16年3月）では、ため池の置かれている状況に応じた3つの重要度区分毎に保持すべき耐震性能を定めて、合理的に耐震性を評価することが示されている。すなわち、全てのため池についてレベル1地震動に対して「健全性を損なわない」という耐震性能を目標として、耐震設計を行うこととしている。ただし、重要度区分のA種については、周辺地区への影響度が大きいことから、液状化の可能性について判断し対策工についても有効性についても評価することとしている。

レベル1は、多くの構造物に由来から設定されていた地震動で、対象となる構造物の供用期間中（ため池の耐用年数は80年としている）に1～2回発生すると予測されるレベルの地震動である。

地震を受けた時の安定計算は、円弧すべり法を用いることとし、完成直後、設計洪水水位及び水位急降下の3つの条件について検討する。このとき、基礎地盤や堤体の一部に液状化の可能性がある場合には、過剰間隙水圧の上昇を考慮した有効応力法による安定計算を実施することとして、静的解析法や動的解析法を重要度に応じて選択する。

これらの設計の考え方は、大きな変形すなわち堤体にすべりが発生しないという前提条件での解析であるが、本質的には破堤しないという要求性能に対して合理的な設計方法を採用することが重要である。大規模なため池については、変形量を高精度で予測することのできる動的応答解析などの手法を用いる必要がある。さらに、原地盤に液状化層や極めて軟弱な層がある場合には、液状化しないような地盤改良などを積極的に採用していくことが長期的な安全性の確保に繋がる。今後、これらの被災の状況を詳細に検討し、ため池の合理的な性能設計や施工方法の構築に向けた取り組みが必要である。

## 2 強化復旧に向けて

被害を受けたため池の復旧は、亀裂やすべりの発生した部分を開削して完全に取り除き新たに築堤することを基本とする。このため、亀裂が深くまで入っている場合や漏水が著しい場合には、新たに前刃金型の遮水層を設置するケースが多いが、適切な遮水材が十分確保できない

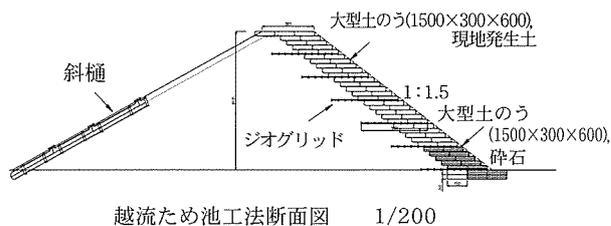


Fig.19 補強土工法・土嚢を用いた高耐久性ため池の事例  
High performance dam with reinforced earth structure and soil bag system

場合には、ため池の底泥土を用いた「砕・転圧盛土工法」<sup>3)</sup>などが有効である。さらに、耐震性を考慮して堤体そのものの機能を向上するためには、Fig.19のような補強土工法を用いた堤体の構築も有効な手段である。Fig.19は特殊な大型土嚢を用いた「越流許容型ため池」のモデル断面を示したものであるが、土嚢を積層した補強土部分が高い耐震性を有しているのでため池堤体全体の耐震性が飛躍的に向上する。新たなため池の形式として期待される。

## 3 被災調査と記録

被災を受けたため池や施設の状況を詳細に記録することは、その後の復旧計画の策定に直接的に重要であるばかりでなく、被災領域の拡大の可能性の判断や2次災害に進展する危険性の判断に不可欠な情報となる。しかしながら、被災直後の調査は往々にして管内の全施設を短時間に網羅的に調査することを余儀なくされるため、その調査の精度には限度がある。

被災調査は、先験的な思いこみや予断を極力排除して臨まなければならないが、短時間の調査である状況下での最優先的に見るべきところは、従来からの調査の積み重ねでいくつか明らかになってきている。Fig.20に示すようにため池が被災を受ける場所については、その重要度とは別にいくつか示すことができる。具体的な被災の状況についても提示しているので、調査時のため池診断の参考にさせていただければ幸いである。

## 参考文献

- 1) 兵庫県：兵庫県南部地震 農地農業用施設震災記録誌
- 2) 土地改良施設耐震設計の手引き（農業土木学会、平成16年3月）
- 3) 谷 茂 ほか：砕・転圧盛土工法の設計・施工法について、農業工学研究所技法 No.202, pp141-182, 2004

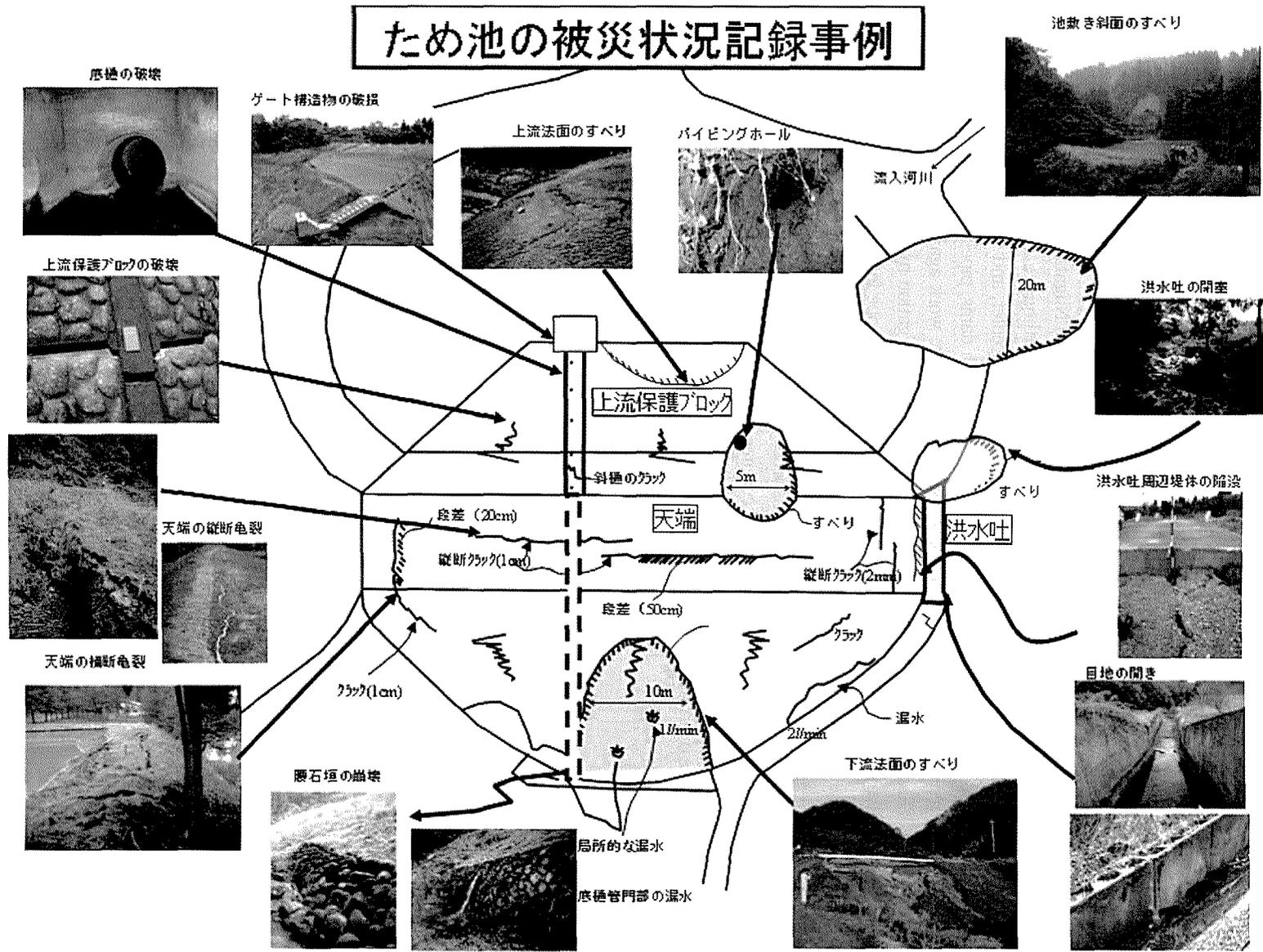


Fig.20 ため池の被災状況記録事例  
 Example for damage record for dam and related facilities

## Damage to Small Earth Dam and Pipeline by the Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004

MOHRI Yoshiyuki, HORI Toshikazu, MATSUSHIMA Kenichi, ARIYOSHI Mitsuru

### Summary

A number of agricultural structures in a area Nagaoka, Ojiya and Kawaguti in Niigata, Japan, were seriously damaged by the Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004. Immediately after the earthquake, emergency investigations of small earth dams and pipelines were carried out in a large area around the epicenter, and National Institute for Rural Engineering (NIRE) made inspection visits to agricultural facilities, small earth dams, pipelines and canals in order to make clear the damage on its structure and make a emergency countermeasure work against preventing the second disaster on surroundings. Their results are described in this reports. The investigation by NIRE confirmed that there were some damages to small earth dams, including the slip failure of down side slope for dam, settlement of dike, failure by over topping, float up for buried pipelines and inspection manholes by liquefaction around back fill materials for pipeline.

Finally these investigation results outline the structural aspects of earthquake damage to small earth dams and pipeline and propose the method for developing the reinforced counter measure work.

**Keywords** : reservoir, crack, slide overflow, liquefaction, earth dam, pipeline, countermeasure work