

平成 19 年（2007 年）能登半島地震によるため池の被害

毛利栄征*・堀 俊和*・有吉 充*・林田洋一**・谷 茂***

目 次

緒 言.....	15	結 言.....	22
能登半島地震動の概要.....	15	参考文献.....	22
ため池の被害概要.....	16	Summary.....	23

緒 言

平成 19 年 3 月 25 日に発生した能登半島沖を震源とする地震によって石川県内の海岸施設が被災を受けた。本調査は、被害程度の比較的大きい施設を対象として、余震後の状況を確認するとともに緊急に対応すべき事項を抽出するために実施したもので、被害の概要について述べる。

本調査は、要請を受けて現地での状況把握を実施したものであり、調査全体を通じて農村振興局はじめ、北陸農政局、石川県の多大な協力を得たことを付記して感謝致します。

能登半島地震動の概要

平成 19 年 3 月 25 日に発生した能登半島沖を震源とする能登半島地震の記録は、石川県内の複数の観測地点で記録されており、地震動の特性が詳細に分析されている。Fig.1 に石川県の富来町で記録されている地震波形を示す。

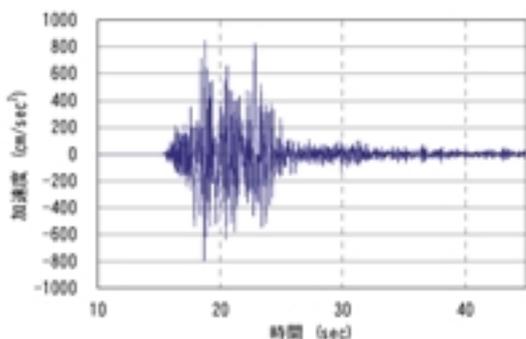


Fig.1 富来町で記録された地震波形 (EW 成分)
Recorded E-W motion at Togi City

* 施設資源部土質研究室
** 施設資源部構造研究室
*** 施設資源部長

平成 19 年 12 月 28 日受理

キーワード：能登半島地震、ため池、すべり破壊、漏水、亀裂

Fig.2 には、富来町、輪島市、穴水町、七尾市の地震波形から得られる加速度応答スペクトルを示す。いずれの波形も 1 秒以下の周期が主体的であるが、穴水町の波形は比較的長周期成分が卓越しており、兵庫県南部地震や新潟県中越地震で記録されている川口町の波形（ピーク周期 1.25 秒）に近い。

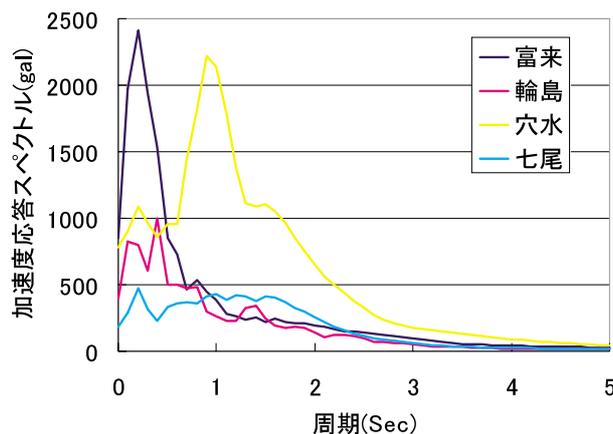


Fig.2 加速度応答スペクトル

Acceleration spectra recorded during the Noto Hanto Earthquake in 2007.

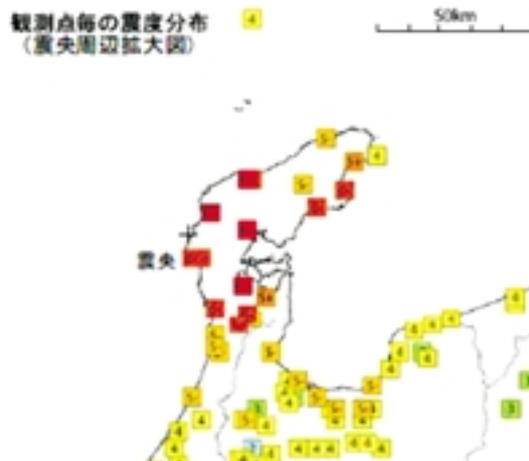


Fig.3 震度分布 (参考文献1)より引用

Distribution of recorded seismic intensities from the main shock (JMA)

ため池の被害概要

能登半島地震によって石川県下で90ヶ所のため池が被災している。輪島市で50ヶ所、七尾市で14ヶ所、穴水町で10ヶ所となっている。以下に箇々のため池被災状況を記述する。

1 平田池 (羽咋郡富来町笹波)

ため池の諸元は、均一型、堤高4.9m、堤頂長48m、天端幅3.5m、貯水量6,000m³、法面勾配上流1:1.5、下流1:1.3である。堤体材料は粘性土を主体としている。平田池は重ねため池の上池である。本震により堤体の下流法面がすべり崩壊し、すべり面からは漏水が数力所発生していたが、翌日までの余震によって決壊に至っている。

本震発生時は、満水状態で天端から50cm下がり位置に水位があり、高い水位状態で地震動を受けた。この時、堤体の下流法面は大きく崩壊し、堤頂長の2/3が滑っている。下流法面の崩壊は、天端部の堤頂幅の中央よりも上流側を起点として大きく滑り出していることから、地震時には池内の貯水が高かったことが影響している。上流側のすべりは天端から鉛直に大きくすべり面が進展しており、亀裂も深くまで達している。底樋を埋設している堤体中央部で決壊部しており、これを中心にすべり



Fig.4 平田池の上流斜面の崩壊状況 (平田池)
Slip failure on the upstream slope



Fig.5 余水吐の断面
Cross section of spillway

面が左右岸に大きく広がっている。崩壊直後には、下流のすべり面からパイピングのような浸透水が数力所発生していたことが確認されていることや、植生の繁殖状態から堤体中央の下流部付近の広い範囲にわたって湿潤状態であった可能性がうかがえる。堤体天端の両河岸に近い部分には、大きな縦断亀裂などは見られないが下流側の法肩が沈下している。地山と堤体の境界部での堤軸直角方向の亀裂は認められない。崩壊時の状況から判断して、堤体中央部分に設置されていた底樋を中心に堤体部分が湿潤な状態に維持されており、大きな地震動を受けることによって堤体下流斜面が天端上流側から大きくすべり崩壊したと考えられる。さらに、下流のすべり面からは、浸透水が噴出していることや上流斜面にもすべりが発生していることから、堤体の力学的なバランスが崩れ引き続き底樋部を中心に大きな決壊に至ったものと判断できる。最終的には、堤体長で30m以上の広い範囲が上下流に大きくすべり崩壊しており、底樋も含めて完全に破損しているため全面的な改修が必要である。

2 平田下池 (羽咋郡富来町笹波)

ため池の諸元は、堤高7.8m、堤頂長60.0m、天端幅3.0m、貯水量18,000m³である。

平田下池は、1次調査と3次調査(2007年12月16日4月13日)によって、概略の状況が確認されているが、貯水を低下して再度確認した結果、上流側法面に亀裂が認められた。上流側の法面の満水面以下の位置に亀裂が発生している。亀裂は堤体の中央付近を中心に左右岸に広がり、堤体中央付近での若干の法先下がり弓形状で連続性が認められる。亀裂の開口幅は5cm~10cmで、検尺測定によると深さは1.5mに達している。亀裂はほぼ鉛直に入っている。上流側法面の亀裂は堤体中央部分では堤軸方向に平行に、両岸近くでは堤体上部へ持ち上がる形で、単純に池側に表層地盤が滑り落ちているモードとは異なる可能性がある。亀裂は複数入っているが、大きなものは堤体中央部から両岸に向かって連続性が保たれている。亀裂の深さは1.5m、開口幅は5cm~10cm程度で前刃金に達する亀裂である。

前刃金は、昭和55年の改修時に購入土を利用して構築されたものであることから、遮水性の高い粘性土を用いているものと思われる。鞘土は右岸部の地山土を用いているが、鞘土も粘性分が高く遮水性に優れた材料である。昭和55年の改修では、旧堤体の上流斜面を階段状に掘削し、遮水材料を埋め戻して前刃金構造のため池としている。下流の裏面先に設けられている井桁ブロック工は、全体的に僅かながら湾曲しており堤体中央部分が下流側に押し出されている。また、井桁の枠コンクリートにも複数の箇所亀裂が入っており、地震動によって損傷を受けている。井桁内の割栗石(粒子径10cm~15cm程度)にも3cm~5cmの長さで接触の痕跡が残っており、地震時は大きく変位したことが予想される。下流法先部

には、若干の漏水が認められるが、洪水吐水路の流下水が廻ってきた可能性が高い。斜樋栓を閉じて底樋への流入を停止したところ、2 時間後には下流法先の漏水量は、大きく減少した。さらに、底樋への流入を開始すると、約 5 分後には法先部の漏水が常時レベルまで回復している。このことから、下流法先部に認められた漏水の主な経路は底樋からの流下水を受けている水路の目地部から堤体法先部に直接浸入した水で、堤体内を浸透してきた水ではないと考えられる。

堤体を横断する方向の亀裂は、兩岸の地山接続部及び堤体には認められない。上流法面の亀裂の平面的な形状が、下流側に滑る方向に近いことと下流の杵工が下流側に押し出されていることなどを考慮すると、堤体のダメージの範囲が上流部分に限定されるすべり崩壊よりもさらに深くなる可能性がある。この場合、改修範囲は前刃金に留まらず下流堤体までを含めた全面的な改修が必要となる。



Fig.6 平田下池の上流斜面の亀裂（平田下池）
Open crack on the upstream slope

土研式の簡易貫入試験機を用いて、堤体土の調査を実施した。堤体中心を側線にして、Fig.7 に示す 7 地点で行なった。試験結果を Fig.8, 9 に示す。

堤体上流側の刃金土のところ貫入不可となるが、石に当たっているものと思われる。

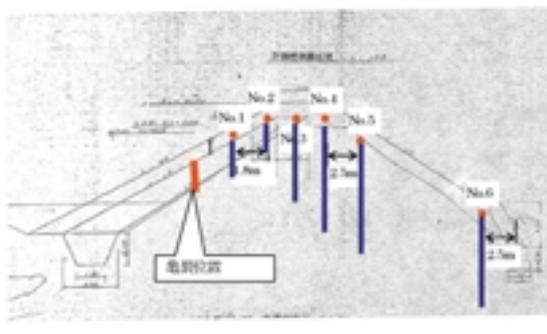


Fig.7 測点箇所
Locations of investigation bores

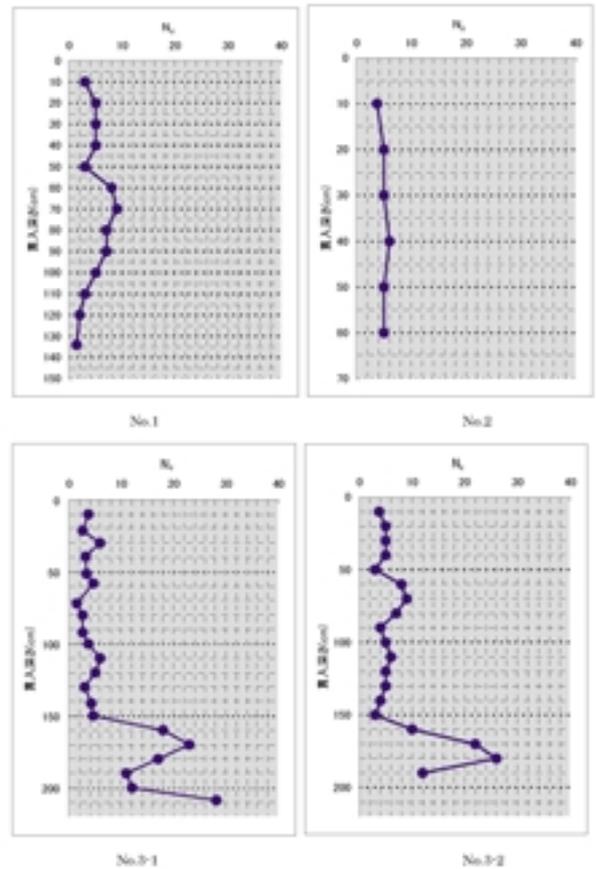


Fig.8 深さ方向の貫入抵抗の変化
Distribution of NPT values

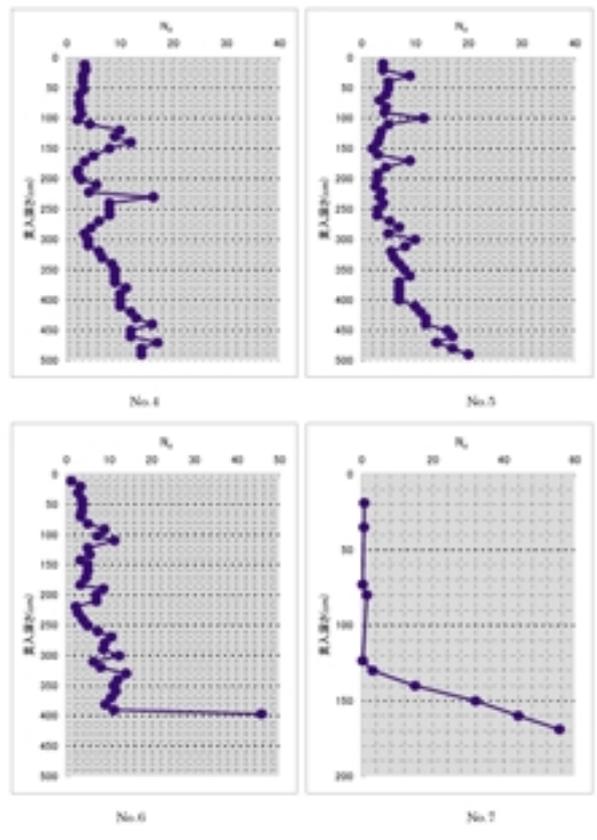


Fig.9 深さ方向の貫入抵抗の変化
Distribution of NPT values

天端から1.6m以深で旧堤体の硬い層になるが、表面部の比較的堅い層に当たっているのか、全体的に良く締まっているのかは下流部のデータNo.4, 5, 6と併せて考える必要がある。

No.4, 5, 6のデータから判断して、下流側の堤体はほぼ均一の緩い粘性土である。この部分は改修前の旧の堤体に位置する。

貫入試験では旧堤体の天端と上流側法面部で貫入不可になるような堅い層に当たる確率が高いため、この部分に多くの礫があると思われる。

下流法先部で実施した貫入試験では、地表面直下から極めて緩い層が連続している。その深さは井桁ブロックの基礎底面部まで達している。

3 堂めき池 (七尾市日室町)

堂めき池は、前刃金型式の堤体構造である。上流側の法面の法肩部に提軸平行方向に亀裂が発生し、上下流斜面にも亀裂が認められる。下流斜面部の亀裂は、堤体中央部から左右岸にかけて連続性が見られる。これらの亀裂は、いずれも大きな開口を伴うものではなく亀裂の深さを確認することは出来ない。上流側の法面保護ブロックは堤体中央付近で沈下している部分があるが、大

規模な沈下や段差はなくブロック間の目地の大部分は閉塞している。

右岸下流法先部から地震後に激しい漏水が発生している。このため、緊急的な対応が必要な状況にある。漏水の出口は、底樋のゲート部の底樋の右岸側壁部に沿う堤体部分と隣接する地山部分からである。底樋に沿った漏水穴は、検尺調査によると底樋端部から上流側に約5m奥までつながっていることが確認された。また、地山に近い部分の漏水穴は奥行き方向に1m程度までが確認できる範囲であるが、経路は地山と堤体の接続部に沿った方向に近い。

現状の漏水は、1カ所から5 μ l/秒に達しており底樋の出口部分での流出であることから考えて、堤体土質の流失の危険性が高い状況にあると判断される。地山はシルト岩(泥岩)からなっているので、この部分を漏水経路とする場合には土質部分に比べてパイピングに対する危険性は低いものと考えられるが、堤体土と地山泥岩との境界部が漏水経路となっている場合には、堤体土の流失も大きな可能性があるかと判断すべきである。この場合、土粒子の流失は突発的な堤体崩壊につながるもので、漏水量の日常観測からだけでは十分な予測ができない現象に発展する危険性がある。

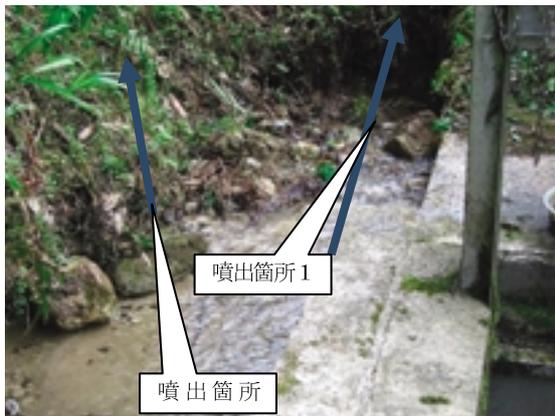


Fig.10 下流法先での漏水状況 (堂めき池)
Piping hole at the toe end of the slope



Fig.12 上流法面保護ブロックの沈下
Settlement of the concrete block mat on the upstream slope



Fig.11 上流右岸地山部の吸い込み部分 (想定)
Inlet position of reservoir



Fig.13 保護ブロックのズレ (右岸部)
Open crack in the concrete block mat

2007 年 4 月 17 日と 19 日の現地観察では、土粒子の流失に伴うような濁水を確認することは出来なかったが、安全性を確保するために貯水位を出来る限り早急に低下させる必要がある。具体的には、右岸地山部の吸い込み部分の標高程度まで低下させて、漏水状況を観察しながら水位を維持するレベルを確認し用水の運用方法を検討する必要がある。

4 銭茂谷内池（羽咋郡富来町笹波）

ため池の諸元は、傾斜コア型（前刃金）で堤高 13.0m，堤長 36m，天端幅 5m を有しており，貯水量 13,000m³，上流法面勾配，11.2，下流法面勾配，11.2 である。

a ため池の災害履歴

銭茂谷内下池は平成 14 年の台風 6 号によって被災し，平成 16 年 3 月に改修を完了した池である。

平成 14 年当時の被災状況と，その直後に復旧された堤体の状況は以下の通りである。

堤体の被害は下流斜面 2 箇所でのすべり破壊で，すべり面には複数箇所のパイピングがあり，いずれの崩落部分からも，漏水が噴出していたことが確認されている。これらの漏水が堤体上流法面からの連続したパイピングホールによるものか，すべりに伴って堤体内に浸透した水が出たものかは不明である。被害発見時の貯水位は天端下 50cm まで達しており，確認はされていないが越流があったものと推定されている。

平成 14 年の改修時には法面勾配の変更ができず現況勾配となっているが，上流法面と下流法面を段切りして新たに堤体を盛直している。上流法面の前刃金部分の改修では，購入土を用いて新たに遮水ゾーンを施工している。底樋と斜樋についても新たに設置しており，改修時には堤体の中央部分は天端幅で 20m 区間が V 字に開削されている。この底樋の改修に伴って旧堤体の中央部分は撤去されているので，斜樋から下流法面に至る 2 つのパイピングホールは，完全に消失している。洪水吐とその水路についても改修されている。

旧堤体の材料は，左岸と右岸で異なり左岸側は粘土質で，右岸側はレキ質で排水性が高い材料である。また，復旧時には旧堤体の支持力が低く，鉄板を敷いて重機施工を実施している。このため開削して復旧した堤体以外の部分は，旧堤体の比較的軟弱な部分が残っていることも想定する必要がある。下流法面の改修に用いた堤体材料は粘土質細砂で前刃金に用いている材料と同じものである。このため，全断面を開削復旧した斜樋部分は，実質的には均一型に近いため池構造であったものと考えられる。実験室での透水試験では 10⁻⁵cm/s の透水係数が得られている。

b 第 4 次調査（2007 年 4 月 17 日）

平成 12 年の豪雨によって下流側の法面が崩壊し，平成

14 年に改修を完了したため池である。平田下池の隣の沢に位置しており，震源からの距離もほぼ同等で池の規模については，銭茂谷内池の方が若干大きい。下流法面の勾配が急勾配で法長も長く中山間地のため池の特徴を呈している。堤体天端幅は，約 5m で亀裂や沈下などの目立った損傷は見られないが，下流の裏面には，堤軸平行方向に亀裂が複数発生している。堤体下流法面は芝張り工となっているが，芝は全体的に浮き上がっており地盤も緩くなっている。法先部分は湿潤状態で漏水がある。

堤体上流法面に設置している斜樋に接する地盤に大きな空洞が発生しており，貯水を低下して状況を確認する必要がある。空洞は，斜樋に沿って連続しており上部端部は満水面池で 4 月 18 日の時点では貯水面以下にあるが，天端から約 4m 下がりの位置である。端部からほぼ鉛直に切り下がり滑落崖状でその高さは 2m に達する。空洞の端部は貯水面以下のため確認することが出来ないが法先方向に続いているように見受けられる。

斜樋に沿っての漏水が懸念され，底樋への水みちの発達や前刃金の損傷の可能性も高いことから，早急に空洞の規模を確認する必要がある。空洞やその影響範囲が前刃金に達している場合には，貯水を低下して安定水位で



Fig.14 上流面の全景（銭茂谷内池）
View of the up stream side



Fig.15 下流法面の全景
View of the down stream slope

維持する必要がある。また、下流法先部分の漏水状況についても詳細に調査する必要がある。



Fig.16 斜樋部分の崩壊
Slope failure at the inlet works



Fig.17 斜樋周辺堤体の崩壊
Slip failure of the slope at the inlet work

c 追加調査 (2007年7月)

能登半島地震直後の調査では、下流法面に堤軸方向に数条の連続した亀裂が発生していることを確認したが、天端部や地山との取付け部にはすべりや亀裂はなく安定していた。下流法面部の亀裂は、地震動を受けて堤体が上下流方向に大きく変形した結果生じたものであるが、検尺による確認では亀裂深さは1m未満でそれほど深くなかった。

その後、斜面部の亀裂は堤体内へ雨水浸透を促し法面の膨潤化を促進したと考えられる。2007年7月の新潟県中越沖地震直後のため池調査では、下流法面の崩壊が確認されている。崩壊の時期については、梅雨期の雨に起因する崩壊か地震時起因するものかは確認できていない。

最終的には、ため池堤体は、下流法面は天端から3m下がりを上部として大きく崩壊している。崩壊範囲は堤軸方向に幅30mにおよびその上部端は直線状に左右岸の地山近傍まで進展している。すべりの上端からはほぼ鉛直に切り立った滑落崖が有りその高さは約6mに達する。



Fig.18 崩壊後の状況 (2007年8月7日)
Down slope failure



Fig.19 斜樋脇のすべり (2007年8月7日)
Slip failure of the slope at the inlet work



Fig.20 すべり部 (2007年8月7日) (銭茂谷内池)
Slip failure of the slope at the inlet work

すべり土塊は斜面中腹部から法先の腰石垣を越えて 4m 先まで大きく流動している。すべり土塊の状況から判断して、すべり面の端部は下流法面にあって腰石垣上部の法面部に至るすべりと考えられる。このことから、腰石垣の下部を通る大きなすべりではなく、斜面内での崩壊であると判断される。

滑落崖は、パイピングホールや浸みだしなどは見られず乾燥が進んでおり、少なくとも堤体の上部（滑落崖として見れる部分）については漏水などが発生していないと考えられる。ただし、腰石垣の上部の法面部については、現在崩壊土砂に埋まっており確認することができない。

上流法面の斜樋脇のすべりは天端下 1.9m から幅 90cm、深さ 60cm で大きく滑り出している。貯水のためすべりの下端を確認することはできないが、少なくとも天端から 7m までは滑っていることが目視で判断することができる。このすべりは、斜樋の両側に発生している。銭茂谷内池の法面勾配は上下流ともに 1.2 割で一般的なため池に比べてかなり急勾配の堤体で、堤高が 13m、下流法面は 30m 近くあるが、小段なども設けられていないことを考えると、堤体下流面のすべりに対する安全性には大きな懸念がある堤体構造である。

下流法面のすべり面は、滑落崖を形成しており安定勾配になっていない。このため、豪雨や余震によってさらに崩壊が進むことも十分懸念されることから、貯水位を安全な位置まで低下させる必要がある。さらに、豪雨によって貯水が急上昇することも考慮して、管理水位を検討する必要がある。

5 やちだ 谷内田池（七尾市佐野町）

中山間地に設けられた山池である。沢を堰き止めて貯水を確保しており、堤体下流部には民家が点在している状況にある。堤体の植生は刈り取られており、地震後に調査が入っている。堤体表面には亀裂などの痕跡はなく安定した状態であると判断できる。上流部の取水施設や堤体法面には異常は認められない。また、下流部の水路



Fig.21 上流法面と余水吐口（谷内田池）
View of the spillway



Fig.22 堤体天端の状況（谷内田池）
Top view of the embankment

も健全であった。貯水は、満水状態に維持されている。

6 牛谷池（七尾市穴水町）

中山間地に設けられた山池である。沢を堰き止めて貯水を確保しており、堤体下流法面は急勾配で松が植えられている状況である。下流法先の一部は崩壊しているが地震前に発生したものと考えられる。堤体の植生は刈り取られており、地震後に調査が入っている。堤体表面に



Fig.23 堤体の全景（牛谷池）
Total view of the embankment



Fig.24 下流斜面部（一部に崩壊がある、牛谷池）
View of the down stream slope

は亀裂などの痕跡はなく安定した状態であると判断できる。上流部の取水施設や堤体法面には異常は認められない。貯水は、満水状態に維持されている。

7 牛谷新池（七尾市佐野町）

中山間地に設けられた山池である。牛谷池の沢隣に位置しており異なる沢を水源としている。堤体下流部には民家も点在している状況にある。堤体の植生は刈り取られており、地震後に調査が入っている。堤体下流法面には堤軸平行方向に亀裂が認められるが、地震直後の調査段階で踏み固められており、亀裂幅や深さなどは調査できない。亀裂は左右岸に連続しているものの、法面の沈下や堤体天端の変状などは認められない。上流部の取水施設や堤体法面には異常は認められない。また、下流部の水路も健全であった。貯水は、満水状態に維持されている。



Fig.25 下流斜面の全景（牛谷新池）
View of the down stream slope

結 言

地震動によってため池堤体にすべりや亀裂が発生しており、大きな亀裂が開いた状態のものについては、水位を低下して安定状態で維持することが必要な状態にある。漏水が多くなっているため池については、漏水量の詳細な観測を実施するとともに、できるだけ速やかに安定漏水量のレベルまで貯水を下げることが望ましい。

復旧工法については、ため池の全体的な安定性を確保することが大前提であるが、用地の関係で堤体の安定勾配を確保できない場合などについては別途対策工法を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 気象庁：災害時地震・津波速報平成19年（2007年）新潟県中越沖地震



Fig.26 下流斜面の亀裂（牛谷新池）
View of the down stream slope and slip failure

Damage to small Earth Dam due to The Noto Hanto Earthquake in 2007

MOHRI Yoshiyuki, HORI Toshikazu, ARIYOSHI Mitsuru, HAYASHIDA Yoichi and TANI Shigeru

Summary

A number of small earth dams in Ishikawa Prefecture were damaged by the Noto Hanto Earthquake in 2007. The National Institute for Rural Engineering (NIRE) inspected the dams to assess the damage, implement emergency countermeasures to prevent further damage. The investigation by NIRE confirmed that there was some damage to small earth dams, including slip failure of dikes and damage to pipes running through embankments.

Keywords : earthquake, small earth dams, slip failure, seepage, crack