

〔農工研技報 214〕
〔77～88, 2013〕

浸透シミュレーションに基づく 傾斜地水田防災管理マップと広域指標の改良

川本 治*

* 施設工学研究領域広域防災担当

キーワード：浅層浸透解析, 防災管理, 広域指標

I 緒言

中山間・傾斜地域における労働力の脆弱化・農地基盤の荒廃が進行する一方で、多面的機能維持増進の必要性の認識が高まり、土砂崩壊防止機能（農地で農業生産が継続されていることにより、土砂崩壊を防止する機能）についてもこれまでに各種の検討が行われ、有意義な知見が得られてきた。近年では地すべり安全率上昇量と地すべり発生頻度低下量の両者を指標とする土砂崩壊防止機能の評価が行われるとともに、乾燥型耕作放棄地と湿潤型耕作放棄地における土砂崩壊防止機能の発現機構の違いについても言及されている¹⁾。情報処理技術の進展を踏まえ、これらの知見をよりきめの細かい地域管理に活かして行くことが必要である。

中山間地・傾斜地水田における表層崩壊を対象として、浅層部の浸透シミュレーションを行って浸透水流入・流出指標を評価して防災管理マップを作成することにより、畦畔除草・災害監視の必要性や畦塗・代掻の有効性を可視化して防災管理に役立てられることが示されている²⁾。ここでの防災管理マップとは、崩壊の原因となる降雨時の浸透水の流入・流出の可能性の指標として、10mまたは数mメッシュ程度の単位で数値化して地図に表示したものである。このマップを作成するためには中山間地・傾斜地の詳細な地形特性を把握することが必要であるが、現時点で整備が進行している各種のデータベースを併用することにより上記の実状に即して広域指標の検討を行うことが可能になりつつある。本報では最初に、広域指標の検討を容易に行えるシステムとして基盤地図情報（国土地理院による）と各県で整備が進められてきた圃場区画GISデータベースを併用する処理システムの概要を示す。なお、ここでは、中山間地域における農地斜面防災を念頭に置き、地すべり防止対策における複数地すべり防止区域に相当する領域での検討を広域検討と呼ぶこととする。

石川県では里山利用・保全プロジェクトに関連して、ため池・水路・棚田等が環境保全上で果たしている役割を地域住民や県民に分かりやすく説明するための各種調査が行われてきた³⁾。ここでは、その一環として行われ

た土砂崩壊防止機能の維持・増進を目的とした浅層地下水流動（浸透）シミュレーションによる防災・管理指標の定量評価・マップ化の結果を示すとともに、事例地区における現況との対照結果を示す。その後、傾斜地水田の防災管理において客観性を有すると考えられる広域指標の検討結果を提示する。

II 処理の流れと広域指標評価

構築したシステムの処理の流れはFig.1に示すとおりであり、データベース化されている基盤地図情報及び圃場区画データから解析データを発生させる一次処理、その結果をもとにしてマップ作成までを行う二次処理から構成されている。ここでは、標準的なGISソフトウェアとしてArcView (Ver 9.3.11, 標準構成) を使用し、全ての中間作図・マップ作成を行うこととし、以下にその概要を示す。

1 一次処理（ルーチン名：GIStoFEM）

一次処理の手順をTable 1に示す。空間座標データは国土地理院が一般公開している基盤地図情報を用いている⁴⁾。一部地域では5mメッシュデータ（東西7'45"×南北2'30"を225×150セルのセルに分割）が可能であるが、ここでは国内全域のデータが公開されている10mメッシュデータ（7'30"×5"を1125×750セルのセルに分割）を用いている。経緯度から平面直角座標値への変換はガウス・クリューゲル投影法によって行われ^{5), 6)}、国土地理院が一般公開しているビューソフト (FGDV Ver 3.20)

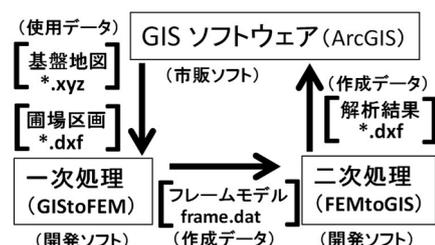


Fig.1 処理の流れ
Outline of Process

Table 1 処理の手順 (一次処理)
Preliminary Process

1. 初期設定
2. 基盤地図情報の入力・調整
3. 圃場区画データの入力・調整 (圃場ポリゴンデータの形成)
4. 圃場ポリゴンの座標変換 (基盤地図情報対応の平面直交座標へ)
5. 圃場重心点の標高値評価
6. 圃場ポリゴンデータ部分のフレームモデル形成
7. 標高線データ部分のフレームモデル形成 (標高線-基盤地図情報-と圃場ポリゴンデータ との交点検出と座標調整を含む)
8. フレームモデル平面図・鳥瞰図の作成

備考：表中の番号は処理順を表す

を用いてテキスト形式xyzファイル (*.xyz) を作成して解析に用いている。

圃場区画データは各県で構築されている圃場区画GISデータを使用することを想定し、標準的なGISソフトウェアを用いて出力可能なdxfファイルを使用するとともに、このファイルから圃場形状を表現するポリゴンデータを作成して基盤地図情報データとの重合処理を行う。圃場区画ポリゴンデータを作成する際に、ポリゴン重心座標を次式の内挿関数を用いて評価し、後段の処理に用いる⁷⁾。

$$Z = A_1 + A_2X + A_3Y + A_4X \cdot Y \quad (1)$$

ここに、

$A_1 \sim A_4$: 係数

X, Y : 節点の x, y 座標

内挿関数の係数は次式で求まる。

$$\begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1X_1 & Y_1 & X_1 \cdot Y_1 \\ 1X_2 & Y_2 & X_2 \cdot Y_2 \\ 1X_3 & Y_3 & X_3 \cdot Y_3 \\ 1X_4 & Y_4 & X_4 \cdot Y_4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ Z_4 \end{Bmatrix}$$

ここに、 $X_1 \sim X_4, Y_1 \sim Y_4, Z_1 \sim Z_4$ 標高線上の4つの交点 (Fig.2) 基盤地図情報線 (NS, WE2 方向) と圃場区画線の交点及びその内側では、圃場区画データに付与した標高値を優先させて新たな空間点を追加し、フレームモデルを構築している (Fig.3)。このモデルを用いてメッシュ細分割を行うことにより高精度の広域指標評価が可能になる。

2 二次処理 (ルーチン名: FEMtoGIS) と広域指標評価

二次処理の手順を Table 2 に示す。大量のデータを効率良く解析するため、動的緩和法⁸⁾を用いた有限要素三次元浸透解析法を採用しており、この解析に必要な節点・要素・境界条件データ等を一次処理で作成したファイルから自動発生している。メッシュサイズは平面 (X, Y) 4mメッシュであり、最初に各平面座標 (X, Y) での地表面標高を1) 式の内挿関数を用い、Fig.4に示す4点

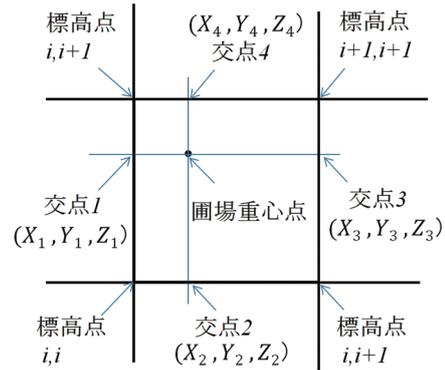


Fig.2 圃場ポリゴン重心点における標高値評価
Evaluation of elevation at gravity point of Farmland polygon

Table 2 処理の手順 (二次処理)
Main Process

1. 初期設定
2. 節点・要素データの作成
3. 境界条件・初期条件データの作成
4. 地表面要素データの作成
5. 動的緩和法解析条件の設定
6. 浅層浸透解析の実施
7. 防災管理指標の評価
8. 防災管理マップ平面図・鳥瞰図の作成

を選択して評価している。境界条件及び初期条件データを自動発生させる際には、豪雨時及びその直後を想定し、地下水位が地表面に達した状態を仮定している。浸透解析結果から求まる動水勾配値を用い、次式で広域指標を評価している。

浸透水流入指標

$$= \frac{\text{地表面直下における下向動水勾配}}{\text{地域内に於ける下向動水勾配の最大値}} \quad (2)$$

浸透水流出指標

$$= \frac{\text{地表面直下における上向動水勾配}}{\text{地域内に於ける上向動水勾配の最大値}} \quad (3)$$

この指標評価式は従来用いていた指標を広域的な客観性を有する形式に改良したものである。ただし、上式中の上向・下向動水勾配の最大値として各地域でいずれの値を選択するかについては各地区での評価値に基づいてVI.章で検討することとし、IV, V章では各地区で、それぞれの地区内での最大値を用いることとする。

III 調査現地の概要

1 石川県輪島市金蔵地区

金蔵地区は、輪島市の中心より東方約15kmに位置し、標高約200mの低山性山地に囲まれた農耕地である⁹⁾。北北東約4°傾斜する緩斜面から東側の風呂川 (町屋川) に沿う狭い平地にかけての水田を中心とする地域を中心

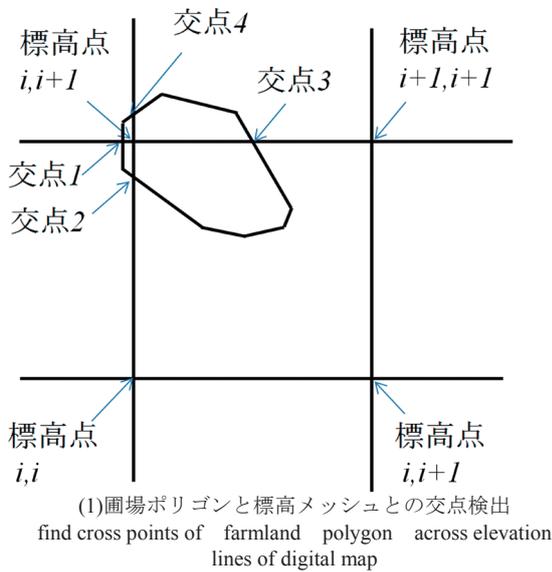
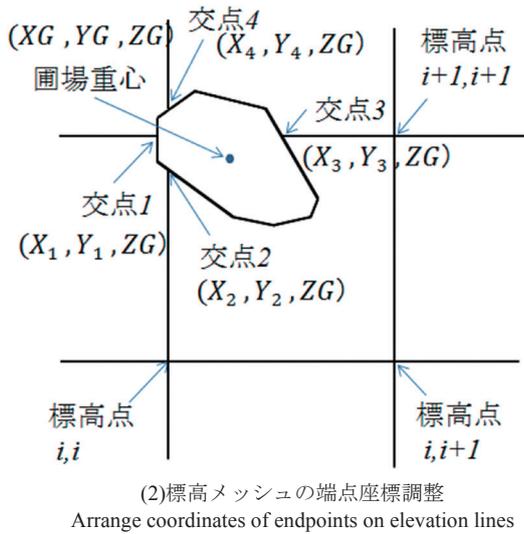


Fig.3 フレームモデルの形成
Formation of frame mode

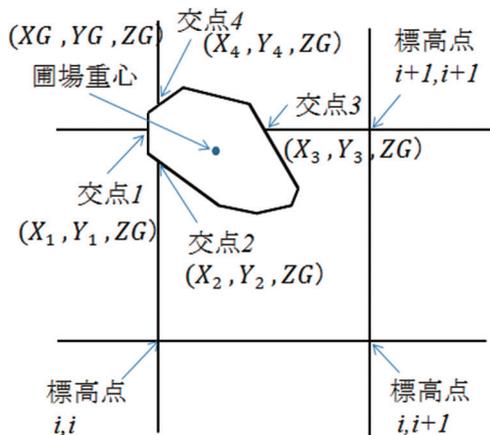


Fig.4 節点における標高値評価
Evaluation of Elevation in nodal points

として地すべりが発生している。昭和35年9月に地すべり防止区域に指定されて以降、順次対策工事が行われている。近年、里山保全を目的として地元企業を含む多様な主体が参画して、畦畔法面・水利施設の除草等の支農活動¹⁰⁾が当地区で行われている。ここではこれらの具体的な貢献のメカニズムを科学的に究明することを目的として防災管理指標の定量評価・マップ化を行う。

2 石川県輪島市清土地区

清土地区は、門前町市街の東北方約8kmの山中に棚田があり、東南方に傾斜する緩斜面を中心として地すべりが発生している。昭和36年5月に地すべり防止区域に指定されて以降、順次対策工事が行われている。2007年3月25日に発生した能登半島地震の際には震源の至近にあったため、田面に亀裂が発生している。これらの亀裂は、地権者によって営農的に復旧され、同年春の水稻移植も地権者の営農的努力（土寄せと丹念な代掻、内畔の設置）によって無事に終了している。ここでは、これらの営農的復旧・管理が行われた圃場を含めて防災管理指標の定量評価・マップ化を行う。

IV 調査結果と防災管理マップの作成

防災管理マップ作成のための浅層浸透解析を行う物性値として透水係数を測定する必要があり、各調査地区で土質試料を採取して透水試験（100cc採土円筒試料を用いた変水位透水試験）を行った。それぞれの現地における試料採取箇所はFig.5, Fig.6に示すとおりである。透水係数の測定結果をTable 3に示す。金蔵地区は北部ブロック、清土地区は中央部を対象とし、使用した圃場区画データをFig.7, Fig.8に、基盤地図情報をFig.9, Fig.10に示す。圃場区画データと基盤地図情報を併用する際にはそれぞれ異なる直角平面座標を持つことから、それぞれの平面直交座標に対応する緯度経度データを指定して、関連付ける必要がある。ここではGoogle Earthを用いて空中写真上で領域端点の緯度経度を簡易測定することとし、それぞれ緯度・経度の最小・最大地点を測定・入力して一次処理を行っている。確認・簡易測定した緯度・経度の最大・最小値をFig.5, 6に併せて示している。防災管理マップを作成する際に使用したコントロールデータはTable 4, 5に示すとおり、GISデータを使用することが可能な技術者が、基盤地図情報・圃場区画データと併せて単純なコントロールデータを入力することによって容易に広域データの詳細解析・図化を行うことが可能である。

一次処理によって得られたフレームモデル（平面図ファイル名：Frame2.dxf、鳥瞰図ファイル名：Frame3.dxf）の平面図・鳥瞰図をFig.11～Fig.14に示す。二次処理によって得られた防災管理マップの平面図をFig.15, 16（ファイル名：DMmap2.dxf）に示す。二次処理で作

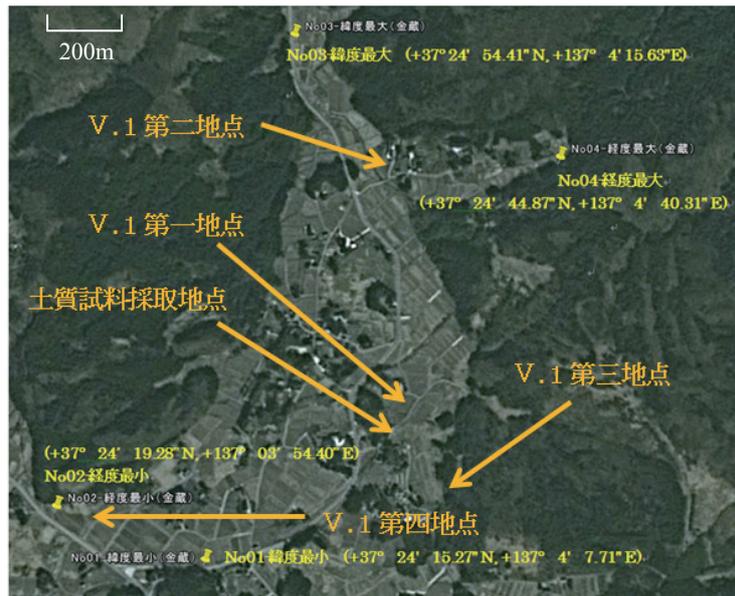


Fig.5 空中写真 (金蔵, Google earth)
Aerial photo (Kanakura, Google earth)

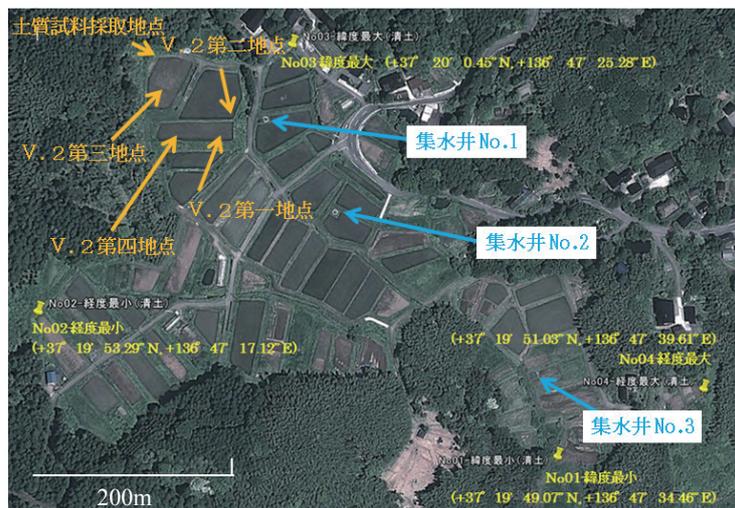


Fig.6 空中写真 (清土, Google earth)
Aerial photo (Shudo, Google earth)

Table 3 透水係数
Coefficient of permeability

No	透水係数	No	透水係数	No	透水係数	No	透水係数
1	6.259E-06	7	2.900E-06	1	2.272E-04	5	6.668E-05
2	2.208E-06	8	1.294E-06	2	8.097E-05	6	2.303E-06
3	3.093E-06	9	3.621E-06	3	2.904E-05	7	1.094E-06
4	1.937E-06	10	3.201E-06	4	1.622E-05	8	1.909E-05
5	2.307E-06	11	1.506E-06			(cm/sec) 平均值 5.533E-05	
6	2.800E-06	12	4.038E-06				
		(cm/sec) 平均值 2.930E-06					

成された有限要素数・節点数は金蔵・清土地区でそれぞれ1114047・1244880, 357750・401600であり、膨大なデータを容易に処理できている。得られた結果の有効性を示

すため、防災管理マップと現地踏査結果との対照を次章で行う。



Fig.7 圃場区画データ (金蔵)
Farmland polygon (Kanakura)

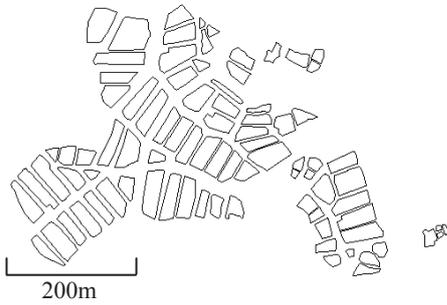


Fig.8 圃場区画データ (清土)
Farmland polygon (Shudo)

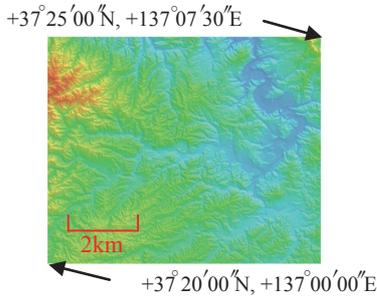


Fig.9 基盤地図情報 (国土地理院, No563700)
Basic geographic data (GSI, No563700)

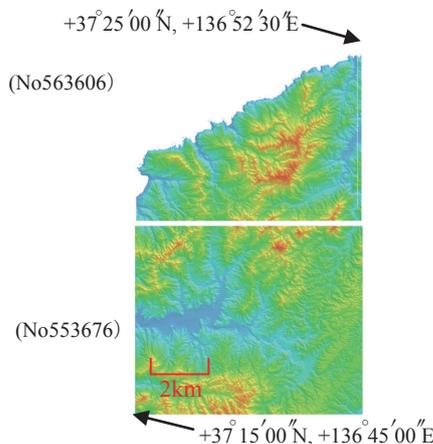


Fig.10 基盤地図情報 (国土地理院, No563606, 553676)
Basic geographic data (GSI, No563606, 553676)

Table 4 初期設定時の入力データ (金蔵)
Input data at initialization process (Kanakura)

(国土地理院基盤地図情報数)I10	1
(基盤地図情報の種類 10m=1, 5m=2)I10	1
(No)(緯度最小 315)(経度最小315)(情報名A20)	1 37 20 0 137 0 0 563700.XYZ
(圃場区画データDXFファイル名)	金蔵01.DXF
(圃場区画データ端点データ) (4点入力)	+ ° ' " N + ° ' " E
(緯度最小)	37 24 15.27 137 4 7.71
(経度最小)	37 24 19.28 137 3 54.40
(緯度最大)	37 24 54.41 137 4 15.63
(経度最大)	37 24 44.87 137 4 40.31
(透水係数 cm/sec)	2.930E-06

Table 5 初期設定時の入力データ (清土)
Input data at initialization process (Shudo)

(国土地理院基盤地図情報数)I10	2
(基盤地図情報の種類 10m=1, 5m=2)I10	1
(No)(緯度最小 315)(経度最小315)(情報名A20)	1 37 15 0 136 45 0 553676.XYZ 2 37 20 0 136 45 0 563606.XYZ
(圃場区画データDXFファイル名)	清土01.DXF
(圃場区画データ端点データ) (4点入力)	+ ° ' " N + ° ' " E
(緯度最小)	37 19 49.07 136 47 34.46
(経度最小)	37 19 53.29 136 47 17.12
(緯度最大)	37 20 0.45 136 47 25.28
(経度最大)	37 19 51.03 136 47 39.61
(透水係数 cm/sec)	5.533E-05

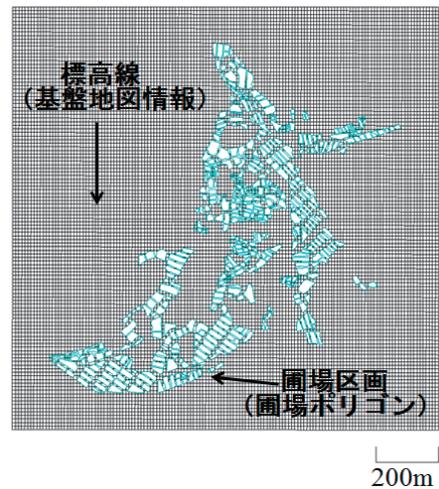


Fig.11 フレームモデル (金蔵, 平面図)
Frame model (Kanakura, Plan view)

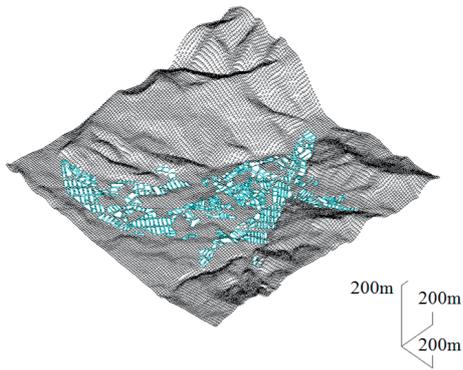


Fig.12 フレームモデル (金蔵, 鳥瞰図)
Frame model (Kanakura, Bird's eye view)

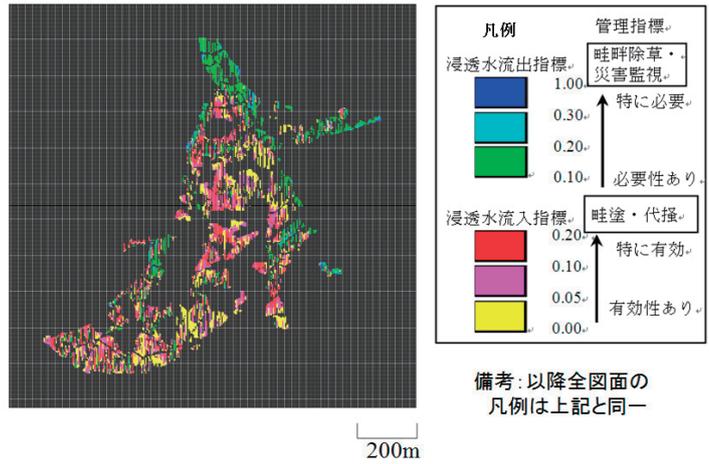


Fig.15 防災管理マップ (金蔵, 平面図)
Disaster-prevention maintenance map (Kanakura, Plan view)

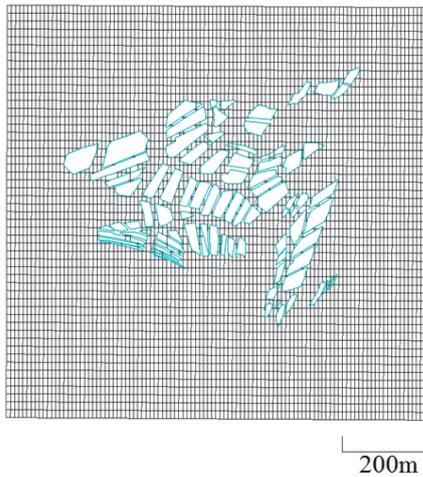


Fig.13 フレームモデル (清土, 平面図)
Frame model (Shudo, Plan view)

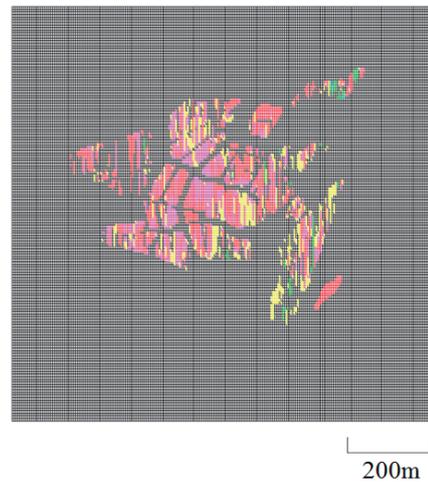


Fig.16 防災管理マップ (清土, 平面図)
Disaster-prevention maintenance map (Shudo, Plan view)

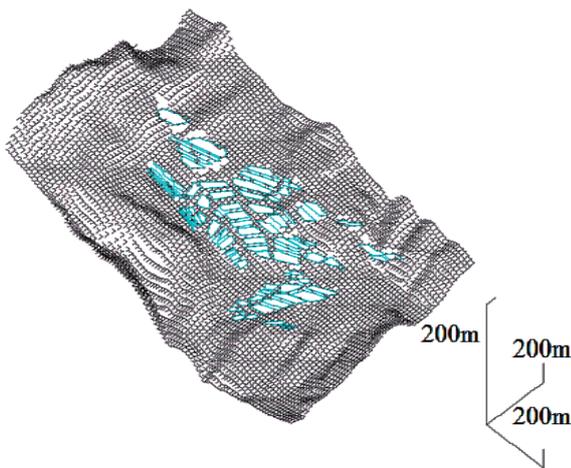


Fig.14 フレームモデル (清土, 鳥瞰図)
Frame model (Shudo, Bird's eye view)

V 防災管理マップと現地踏査結果との対照

1 石川県輪島市金蔵地区

現況との対応を確認した結果を防災管理マップの鳥瞰図 (ファイル名: DMmap3.dxf) と併せて Fig.17 に示す。

第一地点は浸透水流出指標が卓越する地点であり、集水が卓越することから湿潤型農地と判定される。北陸農政局計画部資源課による土砂崩壊防止機能の検討結果¹⁾によれば、耕作放棄による地下水位の変動が比較的に小さく、耕作放棄に伴っての災害発生リスクが大きくは変化しないと考えられる。この地点では浸透抑制のための畦塗や代掻等は不要であり、畔畦除草を入念に行って農地変状の監視に留意すべきと考えられる。この地点で踏査を行って地すべり対策工の排水ボーリングが施工され、孔口から常時流出水が認められるとともに、周辺が湿潤状態にあることを確認した。

第二地点も湿潤型農地と判定され、小河川 (風呂川) に面した農地法面の直下であり、地すべりに起因すると考えられる地盤の変状がみられた。

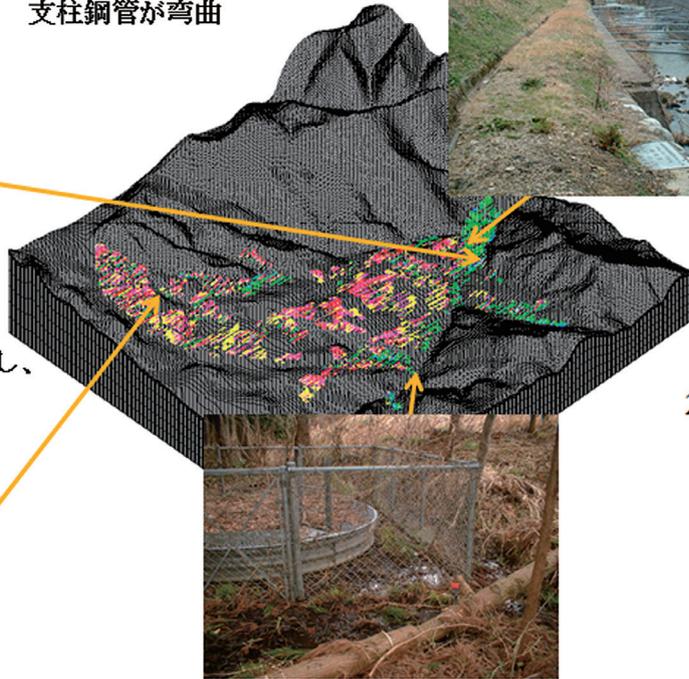
第一地点：（流出指標卓越）
地すべり防止対策実施、
排水ボーリングからの湧出



第二地点：（流出指標卓越）
農地法面直下の小河川（風呂川）
護岸コンクリートに変状、
支柱鋼管が弯曲



第四地点：（流入・流出指標
卓越域が交錯）法崩れが発生し、
対策工事实施



第三地点：（流出指標卓越）地すべり防止対策実施、
集水井周辺地表面が湛水



Fig.17 踏査結果との対照（金蔵）
Comparison between map and field observation (Kanakura)

備考：1. 現地写真は2012年3月に撮影した
2. 各地点の空中写真上での位置を Fig.5 に示した

第三地点は第一、二地点と同様に浸透水流出指標が卓越する地点であり、踏査を行った結果では、地すべりブロックの舌端部近くであり、集水井戸が設置されていたが、地下水位は地表面に達しており、集水井周辺部の地表面は湿潤状態にあり、湛水面が目視できた。

浸透水流入指標が大きくなる地点は、排水が卓越することから乾燥型農地に対応すると考えられる。北陸農政局計画部資源課による土砂崩壊防止機能の検討結果1)によれば、乾燥型農地では耕作放棄によって急激な地下水浸透が起こりやすく、地下水位の変動幅が大きくなり、耕作放棄によって災害発生リスクが高まることが示されている。このような領域では、畦塗や代掻等の浸透抑制を目的とした農地管理と適切な地表排水によって防止機能の向上が見込めると判断される。

第四地点周辺では浸透水流入指標が大きくなる地点と浸透水流出指標が卓越する地点が交錯して現れている。この地区では浅層地下水の実測結果がなく、比較地域（七尾市小栗地区）での実測結果を Fig.18 に示す。浸透水流入指標が大きくなる地点では地下水位は低く、浸透水流出指標が卓越する地点では地下水位が高い一方で周辺に浸透水流出指標が卓越する地点と浸透水流入指標が大きくなる地点が交錯して現れる箇所では地下水位が大きく変動している。第四地点周辺では法面の不安定化（水田法肩の亀裂発生・沈下）が生じて法尻へのフトン籠の設

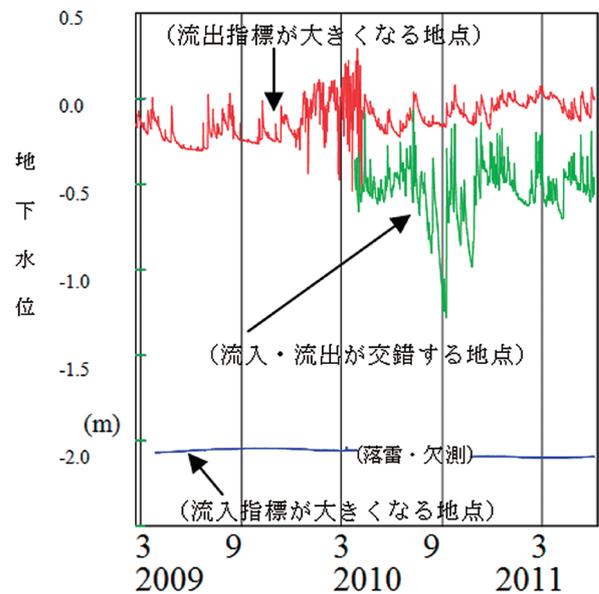


Fig.18 比較現地における浅層地下水実測
（七尾市小栗-片田地区）

Observation of shallow underground water at the neighbor site (Oguri-Katada, Nanao)

置が行われており、地下水上昇に起因する斜面の不安定化の可能性が高いと考えられた。

以上、各地点における防災管理マップ上での判断と踏査時の現況について確認した。防災管理マップ上での金

蔵地区は全体としては、中央部で浸透水流入指標が卓越する領域が見られ、東部の風呂川周辺部に浸透水流出指標が卓越する領域が認められる一方、西部で山地部から棚田部への遷移部の一部に、浸透水流入指標が卓越する領域と浸透水流出指標が卓越する領域が交錯して現れる領域が認められ、踏査による確認結果と概ね対応する結果が得られた。

2 石川県輪島市清土地区

この地区は2007年3月25日に発生した能登半島地震の際に地盤に変状が表れ、営農的対応が行われていることから、この際の状況と防災管理マップとの対照を行い、その結果を防災管理マップの鳥瞰図と併せてFig.19に示す。地震時に亀裂が発生し、営農的努力により自助復旧された領域は浸透水流入指標が卓越し、乾燥型農地と判定された(第一地点~第四地点)。この領域で地震後に行われた亀裂の埋戻し、移植期に行われた土寄せを伴う入念な代掻及び内畔の設置は、地震後の災害復旧と併せて、地すべり地域で定常的に有効となる下降浸透抑制に伴う防災機能維持増進にも寄与していると考えられた。

地区全体としては防災管理マップ上で、高標高部にある棚田は乾燥型農地、低標高部にある棚田は湿潤農地と考えられる。棚田の上段・中段・下段には地すべり防止対策として集水井が施工されており、その位置をFig.6に併せて示している。地下水位の測定は実施していないが、上段(Fig.6の集水井No.1)は地中深部からすべり面を貫通する排水ボーリングを行って地すべり土塊外か

Table 6 各地区における流速・動水勾配最大値
Maximum value of velocity and gradient at each site

地区名	上昇流速最大値 (上昇動水勾配最大値)	下降流速最大値 (下降動水勾配最大値)
金蔵	4.176×10^{-6} (1.425)	2.684×10^{-6} (0.916)
清土	1.032×10^{-4} (1.866)	9.157×10^{-5} (1.655)
比較現地 (小栗-片田)	1.454×10^{-5} (1.025)	8.021×10^{-6} (0.916)

備考 流速単位: cm/sec

らすべり面に浸入する地下水を排除するために設置されたものと考えられ、地下水位は低い可能性が高いと考えられる。下段(Fig.6の集水井No.3)では地下水位が高く棚田は湿潤状態である可能性が高いと判断された。

VI 広域指標評価改良値と従来値の比較

数値指標の評価に用いた2), 3) 式は、以下の従来指標を改良したものである。

地下水流入指標

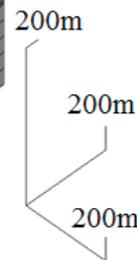
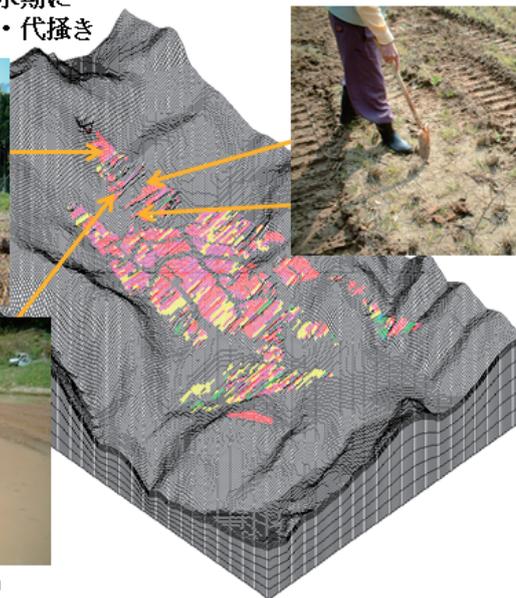
$$= \frac{\text{地表面直下各点に於ける下降流速}}{\text{地域内に於ける下降流速の最大値}} \quad (4)$$

第三・第四地点: (流入指標卓越)
地震時に不同沈下・隆起、入水期に
ブルドーザで大規模な土寄せ・代掻き



第四地点: (流入指標卓越)
入水期に法崩れ、内畔を設置

第一・第二地点: (流入指標卓越) 地震時に田面亀裂、
営農的に復旧



備考: 1. 現地写真は2007年4月に撮影した
2. 各地点の空中写真上での位置をFig.6に示した

Fig.19 踏査結果との対照 (清土)
Comparison between map and field observation (Shudo)

地下水流出指標

$$= \frac{\text{地表面直下各点に於ける上昇流速}}{\text{地域内に於ける上昇流速の最大値}} \quad (5)$$

従来式4), 5) で評価される数値指標はそれぞれ地区内に於ける流速の最大値を基準にしている。ここでは、改良指標と従来式での評価結果との差異について、同一地域内にある複数の地区で評価された結果に基づいて比較検討する。石川の里山保全を目的として調査・分析を行ったのは輪島市金蔵地区、輪島市清土地区に加えてこれまでに検討結果を明らかにしてきた七尾市小栗地区の3地区であり、それぞれの地区で得られている浸透水上昇流・下降流の諸特性はTable 6のとおりである。能登半島の北部に位置する金蔵地区は透水性の低い粘性土の地盤から成るのに対し、七尾市小栗地区の地盤は砂質土を含み、透水係数は相対的に高い。清土地区は透水係

平均値は高めの値となる。浸透流速の最大値は上昇流・下降流ともに輪島市清土地区で得られ、この値(それぞれ 1.032×10^{-4} , 9.157×10^{-5} cm/sec)を地域の最大値として採用する。各地区とも地下水位が地表面に達した状態(豪雨時及びその直後)の解析であるため、動水勾配は、基本的に地形勾配に規定される。導水勾配の最大値も清土地区で得られ、上昇動水勾配、下降動水勾配でそれぞれ1.866, 1.655である。浸透流速の最大値は動水勾配と透水係数によって規定されることから地区により大きく異なり、その値を予見することは困難である。これに対し、ここで行っている浅層浸透解析は、地下水位が地表面に達した場合を解析していることから、動水勾配の最大値は基本的には地形勾配により規定され、地区間の変動は小さい。特に、ここで解析に対象としたのは、代掻・土寄せ等の営農的な地盤均平管理が定期的に行われている棚田及びその周辺地盤であることから、動水勾配の

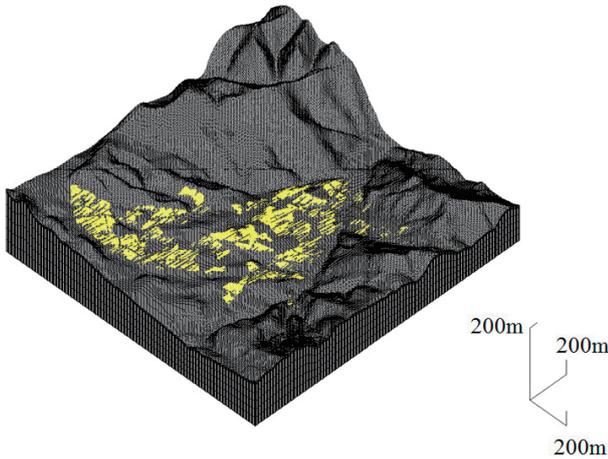


Fig.20 広域基準に基づく防災管理マップ
(浸透流速準拠, 金蔵地区)

Disaster-prevention maintenance map based on regional index
(velocity index, Kanekura)

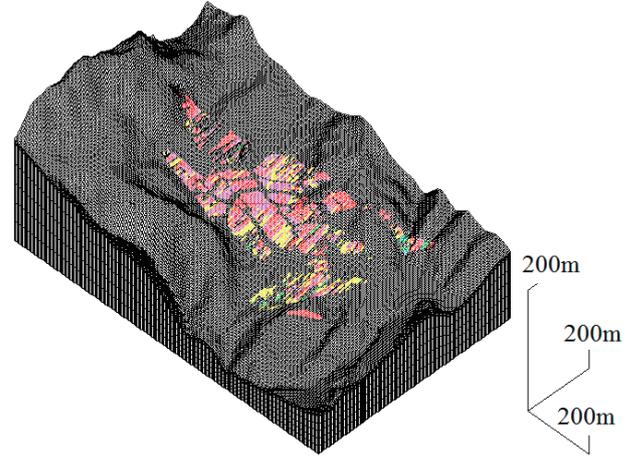


Fig.22 広域基準に基づく防災管理マップ
(浸透流速準拠, 清土地区)

Disaster-prevention maintenance map based on regional index
(velocity index, Shudo)

数の低い粘質土を含む一方で砂質土も含み、透水係数の

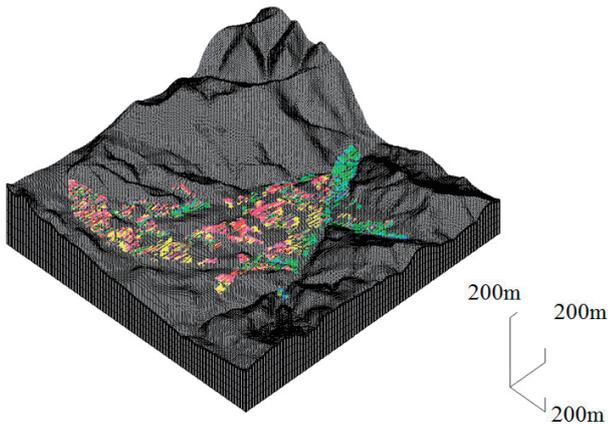


Fig.21 広域基準に基づく防災管理マップ
(動水勾配準拠, 金蔵地区)

Disaster-prevention maintenance map based on regional index
(gradient index, Kanekura)

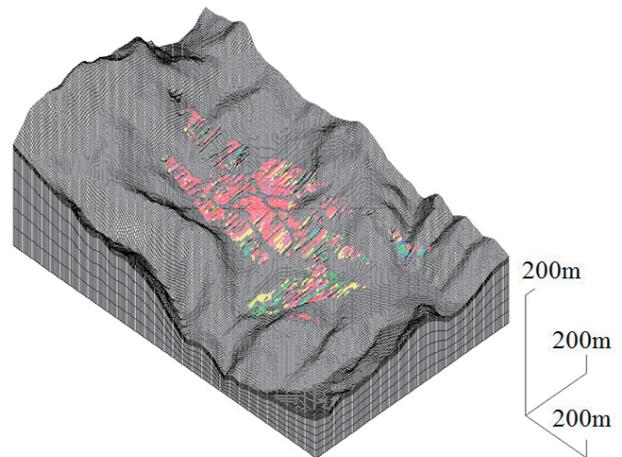


Fig.23 広域基準に基づく防災管理マップ
(動水勾配準拠, 清土地区)

Disaster-prevention maintenance map based on regional index
(velocity index, Shudo)

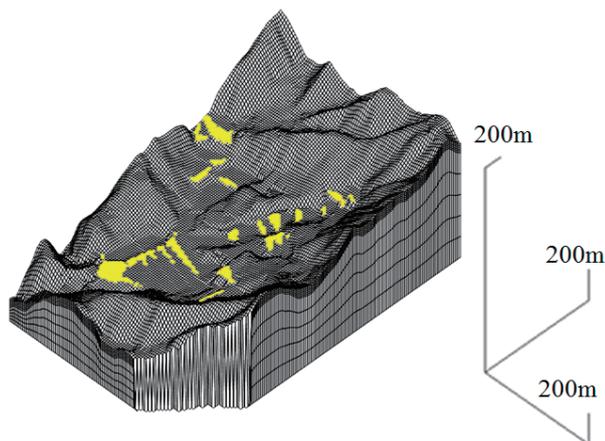


Fig.24 広域基準に基づく防災管理マップ
(浸透流速準拠, 小栗-片田地区)

Disaster-prevention maintenance map based on regional index
(velocity index, Oguri-Katada)

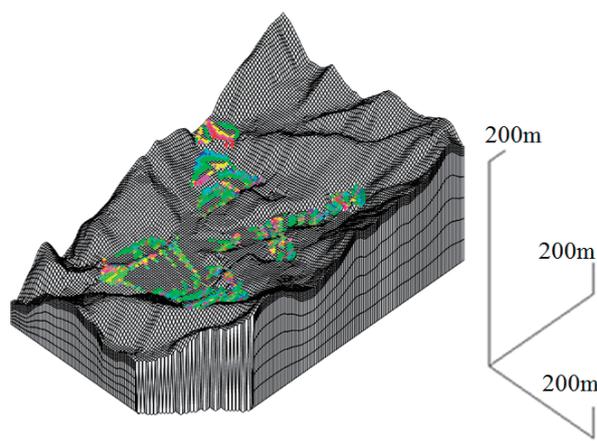


Fig.25 広域基準に基づく防災管理マップ
(動水勾配準拠, 清土地区)

Disaster-prevention maintenance map based on regional index
(gradient index, Oguri-Katada)

上限値を上昇・下降ともに1.0としても実用上差支えない。以上より、2)、3)式における動水勾配の地域内上限値は上昇・下降ともに1.0で近似し、上昇流速・下降流速の地域内上限値はそれぞれ、それぞれ 1.032×10^4 、 $9.157 \times 10^5 \text{cm/sec}$ として地域内の客観指標の評価・マップ作図を行った。その結果をFig.20～25に示す。浸透流速に基づく従来指標値を用いたマップでは、広域基準値を採用した清土地区 (Fig.22) では妥当な結果が得られている一方、低目の透水係数から成る地盤の金蔵地区 (Fig.20)、小栗-片田地区 (Fig.24) では、数値指標が大幅に低めに評価され、実際から乖離した結果になっている。これに対し動水勾配に基づいた改良指標値でマップ化を行った結果では (Fig.21, 23, 25) 現実に即応した結果が得られていると考えられ、広域地盤を対象とした場合は動水勾配に基づいて指標評価を行うべきであることが明らかである。

透水係数を単位値 (1.0cm/sec) として浸透解析を行う場合の流速が動水勾配に一致することからも推察されるとおり、地区内均一 (各地区で発生させた有限要素モデルが地区内で同一の透水係数を持つ要素から構成される) の場合、評価式2)、3)を用いて作成した防災管理マップは地域内容観性をもつとともに、使用透水係数と実地盤透水係数との差異によりマップの精度は低下しない。有限要素モデルは不均一地盤の解析にも有用であるが、地区内均一 (同一フレーム内の透水係数が均一) の場合には、使用する透水係数によらないマップ作成が可能となり実用的に有利である。

VII 結 言

浸透シミュレーションに基づいた傾斜地水田防災管理マップに関して、圃場区画データと基盤地図情報を活用して広域指標に基づいたマップ化を行うためのシステム

の概要を示した後に現地適用を行って得られた広域指標の客観性について検討した。得られた結論は以下のとおりである。

- 1) 既存データベースとして整備されている圃場区画データと基盤地図情報を併用することにより、メッシュ再分割による精度向上をある程度確保しつつ傾斜地水田防災管理マップを広域的に容易に作成できると考えられた。
- 2) 浅層部の浸透シミュレーションに基づいて作成した防災管理マップの浸透水流入・流出指標と現地踏査で確認した現況との間にはある程度の対応が見られた。
- 3) 地震時に田面亀裂を生じ、自助努力により復旧された現地に適用した結果では、地震後に行われた亀裂の埋戻し、移植期に行われた土寄せを伴う入念な代掻は、地震後の災害復旧と併せて、地すべり地域で定常的に有効となる下降浸透抑制に伴う防災機能維持増進にも寄与していると考えられた。
- 4) 浸透流速を用いて評価した従来指標に比べて動水勾配を用いて評価した改良指標は客観性を有し、広域指標として適すると考えられた。

現時点では各県ごとに土地改良技術者は管轄地区の圃場区画データベースの処理が可能であるため、ここで提示したシステムを用いることにより、既存のデータベース・GISソフトに準拠して、一般の土地改良技術者が容易に防災管理マップを広域的に作成することが可能であると考えられた。

ここで示した検討は、社団法人農村環境整備センター「いしかわの里山・水と土保全再生調査委託業務」(平成20～23年)、農業・食品産業技術総合研究機構運営費交付金プロジェクト「農村の持続的発展のための農地・農業用水等の資源管理技術の開発」(平成21～23年)の一環として行った。本報をとりまとめるにあたり、御助言

を御助力を賜った石川県農林水産部能登史和専門員，農村工学研究所農村基盤研究領域坂根上席研究員，石川県奥能登総合農林事務所各位，輪島市金蔵地区・清土地区地権者を始めとする関係者各位に深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 農村振興局企画部資源課（2008）：多面的機能維持増進調査報告書
- 2) 川本治・山田康晴・井上敬資・正田大輔・瀬川徳子（2010）：浅層浸透解析による傾斜地水田の防災管理指標のマップ化，農業農村工学会誌，78(9)，751-754.
- 3) 勝山達郎・平山周作・美作多加志・北出一郎（2010）：石川県における里山利用・保全の取組み，農業農村工学会誌，78(1)，25-28
- 4) 国土交通省国土地理院（2012）：基盤地図情報，国土交通省国土地理院HP
- 5) 飛田幹男（2002）：世界座標系と座標変換，社団法人日本測量協会
- 6) 河瀬和重（2011）：Gauss-Krüger投影における経緯度座標及び平面直角座標相互間の座標換算についてのより簡明な計算方法，国土地理院時報，121，109-124.
- 7) 川本治・中山康・竹内陸夫（1984）：地形解析手法の検討－地すべり地域への適用－，農業土木試験場技術報，159（CE-2），9-24.
- 8) 田中忠次・川本治（1987）：地盤・斜面崩壊の三次元有限要素解析－動的緩和法の適用－，農業土木学会論文集，131(1)，79-86
- 9) 石川県輪島農林総合事務所（1999）：平成10年度地すべり対策事業金蔵地区地質調査業務報告書.
- 10) 石川県農林水産部（2008）：いしかわの里山・水と土保全調査

受理年月日 平成24年10月30日

Improvement of Regional Indices for Disaster-prevention and Maintenance Map of Rice Terrace Based on Seepage Analysis

KAWAMOTO Osamu

Summary

Recently, regional evaluation of disaster-prevention and maintenance indices in rice terrace can be easily done, because refined database of farmland polygon have been constructed in each prefecture and refined map such as GSI basic geographic data can be utilized by usual engineers in Japan. As first step, outline of process in evaluation of regional indices is shown, using farmland polygon data and GSI basic geographic data. At the second step, disaster-prevention maps are presented for typical sites of steepland in hilly area, and result of comparison between evaluated indices and field observation at sites. These maps are seems to be useful by evaluating indices about both inflow and outflow from the ground surface, which is obtained by performing numerical analysis of seepage flow in shallow ground. Indices can be evaluated for rice terrace of various soil type using potential gradient of seepage water. Necessity of levee weeding and 'shirokaki, azenuri' (plowing for planting young rice, levee mending for seepage control) can be numerically visualized in above mentioned mapping procedure.

At the last step, the results of comparison between maps based on proposed indices and conventional ones are given. It is clear that proposed indices based on potential gradient indices can give appropriate results, otherwise conventional indices based on seepage velocity shows sometimes give inadequate results.

Keywords : Analysis of shallow seepage flow, Disaster prevention and maintenance, Regional indices ,