2024 年能登半島地震による人工改変地の標高変化と旧地形

ELEVATION CHANGES IN ARTIFICIALLY FLATTENED AREAS DUE TO THE 2024 NOTO PENINSULA EARTHQUAKE AND PREVIOUS LANDFORMS

黒木 貴一[1]・池見 洋明[2]
Takahito KUROKI and Hiro IKEMI

[1]関西大学文学部（〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35）
E-mail: kuroki0@kansai-u.ac.jp
[2]日本文理大学 工学部（〒870-0397 大分市一木 1727）
E-mail: ikemihr@nbu.ac.jp

Key Words: *the Noto Peninsula earthquake, artificially flattened area, landform change, elevation change, surplus map*

1. はじめに

地震で生じる地震断層[1)]，斜面崩壊[2)]，液状化[3)]等による大規模な地形変化で被災の特徴を議論する研究は多い．2024 年能登半島地震でも，海岸では地盤隆起[4)]，山地では斜面崩壊[5),6)]，平野では液状化[7)]に伴う地形変化による被害が生じ状況が報告された．これら著しい被災地の周辺には，必ず微小な地形変化による小さな被害の生じた地域が広がっている．そのような被害は甚大な被害の影となり目立たず，長期修復されず放置され，通常の景観に紛れ込みいずれ忘れ去られる．この微小な地形変化は，認識はもとより標高変化に基づく段彩地図での識別が困難で，その特徴，素因そして対策を検討する課題にはなりにくかった．しかし剰余地図（標高変化量を任意の整数で除算した剰余を赤～青の段彩で描画する地図）では，地震断層[8)]，斜面崩壊[9)]，河川堤防[10)]などに関し，微小な地形変化の程度と広がりを識別しやすいことが分かってきた．また能登半島地震に対し，フリーで使用可能な詳細 DEM も示された．このため剰余地図を用いて，地震に伴う微小な地形変化の特徴と素因を示せれば，復旧及び二次被害対策等の必要性を判断しやすくなると思われる．そこで本研究では，2024 年能登半島地震で，人工改変地に生じた微小な標高変化の抽出を試み，その三次元的な地形変化の特徴を，地形別（砂丘，丘陵や段丘，沖積平野）に改変前の旧地形に関連付けて整理する．

2. 研究方法

(1) 研究対象地域

震源から約 50km 以上離れた石川県羽咋市，同宝達志水町，富山県氷見市を対象とした（**図-1**）．

(2) 使用した情報と地図化と現地調査

G 空間情報センター[11)]の林野庁・地形変化量デー

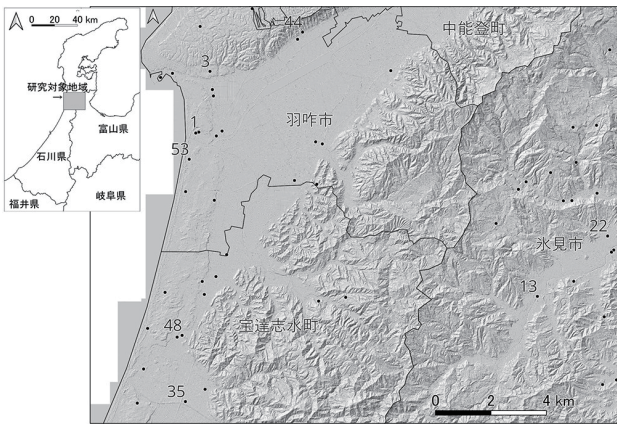


図-1　研究対象地域．図中の数字は調査地点．

タ(能登地域 2024)及び林野庁・数値標高モデル DEM0.5m(能登地域 2024)の 07GD3(約 280km²)をダウンロードし，ともに 0.55m グリッドに調整した．後者は地震後の標高データである．前者の標高変化データから 5cm，10cm，15cm，20cm で一縞となる剰余地図を 4 種類作成した．各図の比較を通じて，人工改変地に生じた微小な標高変化場所を抽出した．

抽出された 55 地点を現地調査し，その内 6 地点の検討結果を報告する．

(3) 標高変化と人工改変地の地形条件

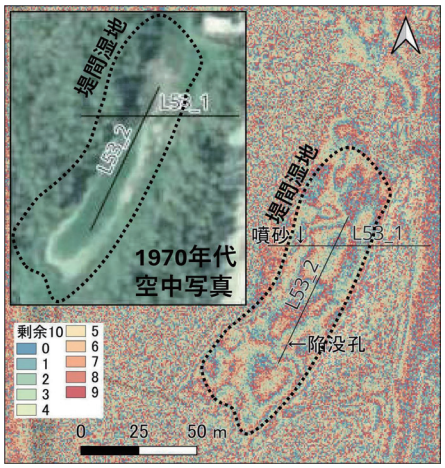
各地点に凡そ東西と南北方向の測線を置き，それぞれの 0.5m 間隔の標高変化量をグラフ化した．
地理院地図の年代別写真と，地図・空中写真閲覧サービスの旧版地形図により，人工改変前の地形を確認し，標高変化量と関連付け議論した．

3. 識別できた微小な地形変化の特徴とその旧地形

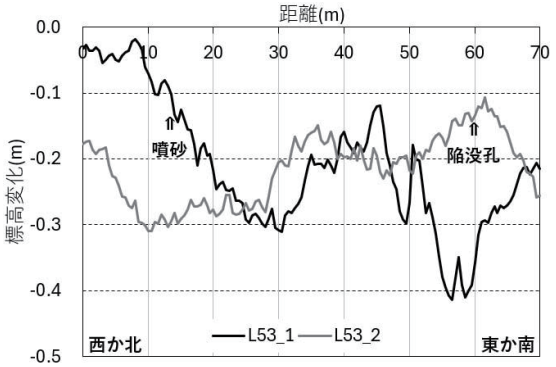
(1) 砂丘周辺

砂丘にある人工改変地の各所で，地震時の液状化を示す地表凹凸と噴砂が観察された．Loc.53 は 1970 年代空中写真によれば砂丘地帯の堤間湿地に作られた公園にある．液状化に起因する僅かな地表凹凸と，数か所の噴砂痕跡と 1 か所の陥没孔(径約 0.5m，深さ約 0.5m)を現地確認した．後者の孔底には埋立砂が見られた．**図-2(1)**は，分母 10 の剰余地図である．標高変化が 2 縞以上で示されており，比高数 10cm 以上の地表凹凸が生じた．縞模様の範囲は堤間湿地の形状に近く，最大約 40cm の比高が生じた．**図-2(2)**は測線 L53_1 と L53_2 の標高変化を示す．2024 年空中写真から，L53_1 の距離約 14m に噴砂が判読できる．陥没孔は L53_2 の距離約 60m に重なるが，**図-2(2)**では読み取れない．これは標高データ取得後に陥没したことが原因と考えている．

Loc.1 は羽咋川河口のラグーンを盛土造成した公園内の野球グラウンドにある．**図-3(1)**は，分母 10 の剰余地図である．標高変化は 2 縞で示され，その中心部は周囲に対し約 20cm 低下する凹地形成があった．その低下域の縁辺により小さな凹凸が島状に形成された．島状地に対し 2024 年写真では噴砂が判

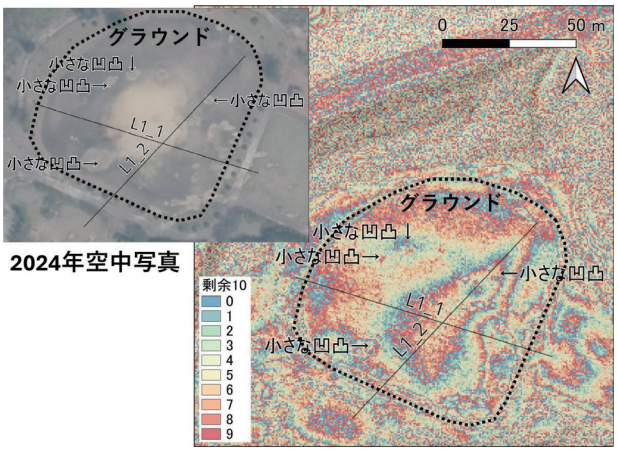


(1)分母 10 による剰余地図

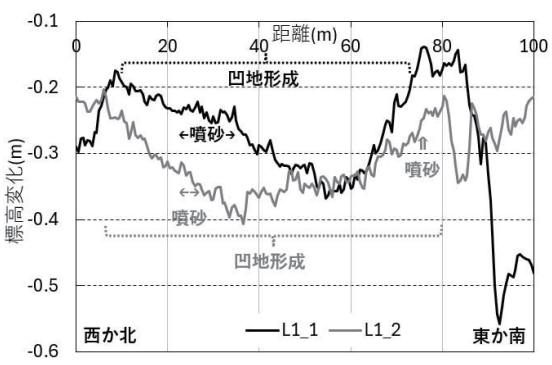


(2)2 測線の標高変化縦断面

図-2　Loc.53 の標高変化．



(1)分母 10 による剰余地図



(2)2 測線の標高変化縦断面

図-3　Loc.1 の標高変化．

読でき，その痕跡は現地でも確認できた．**図-3(2)**は測線 L1_1 と L1_2 の標高変化を示す．測線 L1_1 では，距離約 10～75m で凹地形成が進み，約 30m 付近に噴砂がある．測線 L1_2 では，距離約 7～80m で凹地形成が進み，約 23m 付近と約 76m に噴砂がある．つまり噴砂は，最も標高低下し凹地形成の進んだ範囲縁辺に生じた．これは Loc.53 の状況と共通する．

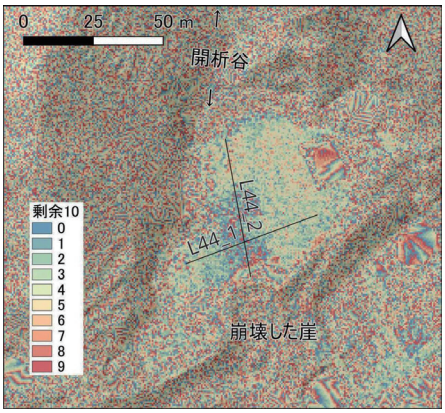
(2) 丘陵地や段丘

Loc.44 は丘陵地を造成した平坦地だが，元は小学校の校庭である．**図-4(1)**は，分母 10 の剰余地図であり，平坦地の中心付近で周囲より数 cm 低下したことを示す縞模様が現れた．**図-4(2)**は測線 L44_1 と L44_2 の標高変化を示す．L44_1 では約 25m 付近で周囲より最大約 5cm 低下し凹地形成が進んだが，現地ではその変化を認識できない．また L44_2 では南が北に対し約 5cm 低下した．その南端付近は高さ約 5m の崖が崩壊したが，その付近での標高低下は 10cm を超す．L44_2 の縞模様の北には開析谷があり，その平野側延長で凹地形成が進んだ．このため Loc.44 の縞模様は，丘陵地の谷を盛土して平坦化した場所の沈下を示すと思われる．

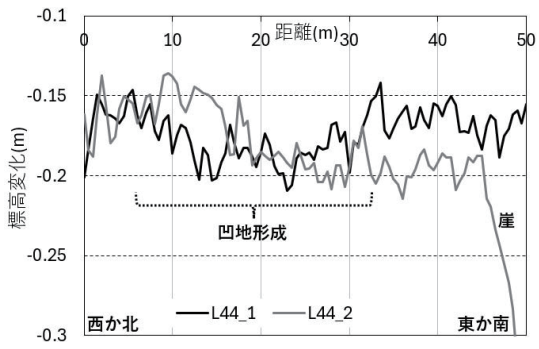
Loc.3 は段丘を開析する浅い谷を，近傍のトンネル掘削で出た土砂で盛土し平坦化したスポーツ公園である．**図-5(1)**は，分母 10 の剰余地図であり，公園の北西部に周囲より約 5cm 低下したことを示す縞模様が現れた．**図-5(2)**は測線 L3_1 と L3_2 の標高変化を示す．L3_1 では距離約 60m 付近で周囲より最大約 4cm，L3_2 では約 40m 付近で最大約 5cm 低下する凹地形成が進んだ．**図-5(1)**の縞模様は，1960 年代空中写真で窺える浅い谷範囲と形状が調和的なので，盛土範囲の沈下を示すと思われる．グランドゴルフのプレイヤーへの聞取りでは，この小さな変化は全く認識されていない．

(3) 沖積平野

Loc.13 は氾濫原に整備された水田地帯であり，屈曲する旧上庄川は直線化された．標高は現在の上庄川に向かって低下する．**図-6(1)**は，分母 10 の剰余地図であり，複数の水田に跨る東側低下を示す縞模様が現れた．**図-6(2)**は測線 L13_1 と L13_2 の標高変化を示す．L13_1 は，低下量は距離 0m～約 120m まで漸増し，最大約 50cm となる．約 120m 以降は，低下量は逆に減少する．約 120m 付近は，1960 年代空中写真では旧上庄川に最も近いので，軟弱な地質や盛土が多かった可能性がある．各グラフには，水田に対し比高数 10cm に達する標高低下の鈍いピークが多数ある．それらは農道及び畔の位置(A～F，a～

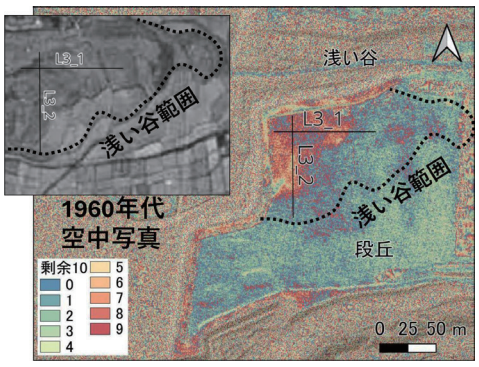


(1)分母 10 による剰余地図

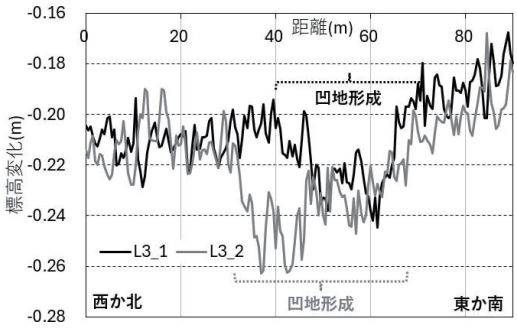


(2)2 測線の標高変化縦断面

図-4　Loc.44 の標高変化.

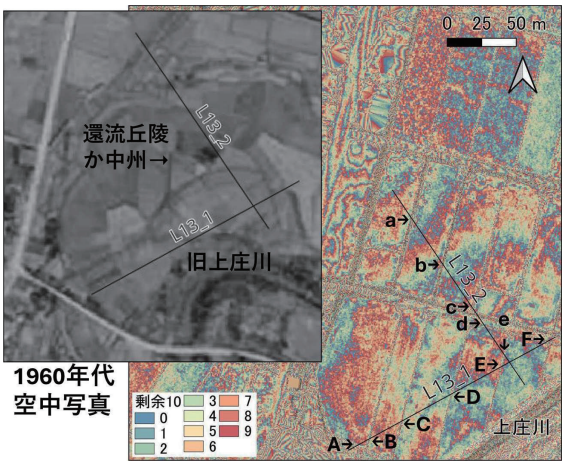


(1)分母 10 による剰余地図

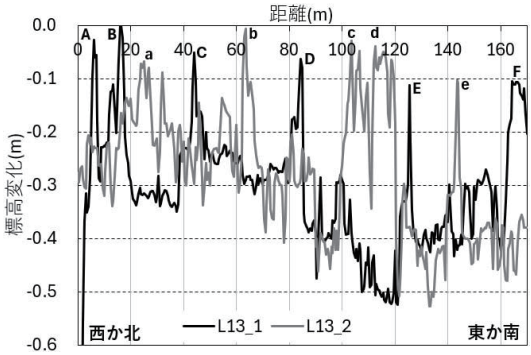


(2)2 測線の標高変化縦断面

図-5　Loc.3 の標高変化.



(1) 分母 10 による剰余地図

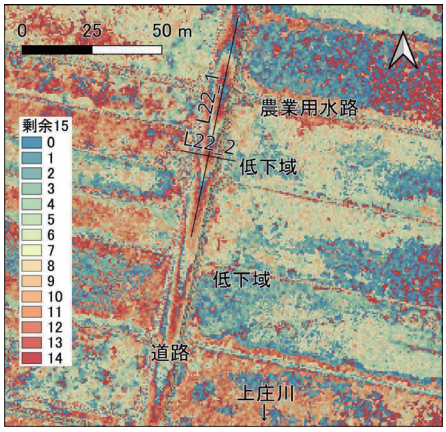


(2) 2 測線の標高変化縦断面

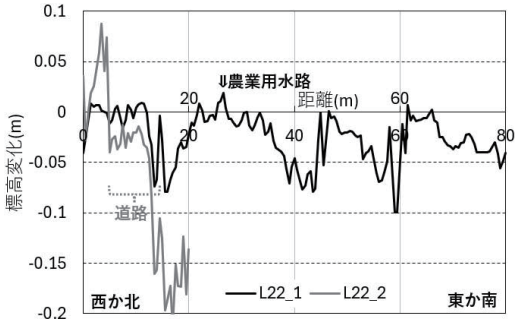
図-6　Loc. 13 の標高変化.

e) と重なる．水田の低下量は上庄川に向かって増加するが，L13_2 の 110m 付近は水田にも関わらず低下量が小さい．1960 年代空中写真では，そこが還流丘陵か中州であり，周囲より盛土が少なかったと思われる．つまり水田は，畔や道路より低下しやすく，その低下量は盛土量と相関する傾向がある．

Loc. 22 は氾濫原に整備された水田地帯を南北に縦断する道路であり，南の上庄川に向かって標高は緩やかに低下する．**図-7 (1)** は，分母 15 の剰余地図であり，南北に長軸を持つ楔状の縞模様が道路に現れた．**図-7 (2)** は測線 L22_1 と L22_2 の標高変化を示す．道路を縦断する L22_1 では，標高低下量は，値の小さい約 25m，約 45m，約 65m 付近から，それぞれ南に次第に増加して最大約 5～10cm にまで達する．約 25m 付近は農業用水路と重なるが，他は道路にも畔にも交差せず，低下量の少なさに関連付けられる構造物等はない．ただ当該地には凹凸が生じ波打つ道路 (**写真-1**) となり，その低下量が増す場所は，縞模様で見える東側水田の低下域に調和するように見える．また道路を横断する測線 L22_2 では，道路中央に対し東側の水田で約 20cm，道路東縁が約 10cm 低下した．Loc. 13 の検討結果も踏まえると，L22_1



(1) 分母 15 による剰余地図



(2) 2 測線の標高変化縦断面

図-7　Loc. 22 の標高変化.

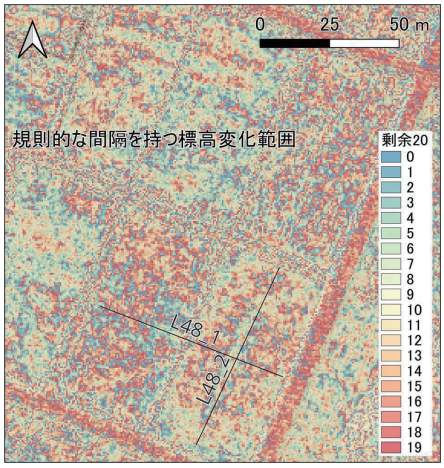


写真-1　L22 の道路面の変形.

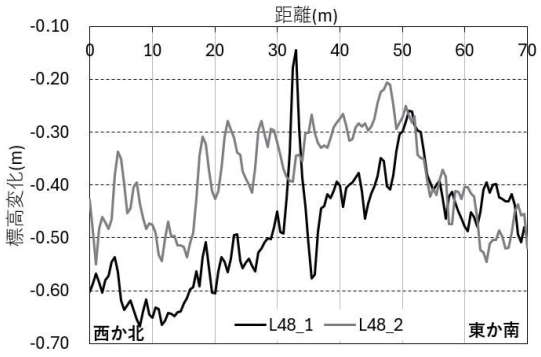
に示された標高変化は，南に緩傾斜する地盤で水田を棚状に整備する際に，若干の切土と盛土が行われ，その基礎地盤の影響が道路にまで及んだことが考えられる．

(4) 地形・地質条件では説明できない標高変化

Loc. 48 は，氾濫原にある水田である．**図-8 (1)** は，分母 20 の剰余地図であり，水田の中央に，水田と同じ南北に長軸を持つ紡錘形の縞模様が現れた．**図-8 (2)** は測線 L48_1 と L48_2 の標高変化を示す．両測線とも，水田の中央付近の標高は，周囲に対し最大約 30cm 高まっている．つまり水田中央で，その長軸方向を持つ尾根状の凸部が形成された．水田中央では，夏季は葉の活性度が低い様，秋季は稗が多く混入する様を観察できた．同様の景観は Loc. 13 でも見られた．これらは，微小な地形変化により水田内で



(1) 分母 20 による剰余地図



(2) 2 測線の標高変化縦断面

図-8　Loc. 48 の標高変化.

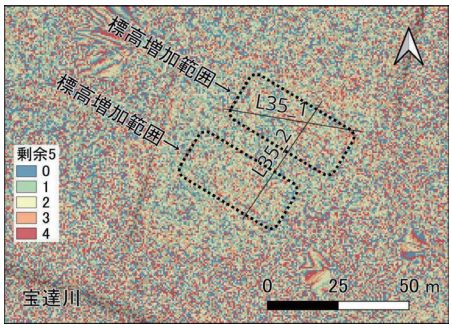
湛水深の違いが生じた影響と思われる．その周辺でも，多くの水田で規則的な間隔を持つ微小な標高変化範囲が識別され，2024 年空中写真ではその範囲の水田面に水の滲み出したような模様を判読できた．少なくとも Loc. 48 で生じた地形変化は幾何学的であり，地形・地質条件との関連が不明瞭である．

Loc. 35 は，宝達川の自然堤防を人工改変し作られた商工会議所の広場にある．現地で地形変化は認識できないが，広場の南部でモグラ塚状の礫混じりの噴砂痕跡(**写真-2**)が確認された．**図-9 (1)**は，分母 5 の剰余地図であり，WNW-ESE 走向の 2 条の縞模様，それぞれ幅約 20m で延長約 40m の標高増加範囲が識別できる．**図-9 (2)**は測線 L35_1 と L35_2 の標高変化を示す．L35_1 では，広場の東側の標高が数 cm 増加している．L35_2 では，僅か数 cm の比高ながら凸部形成が少なくとも 2 帯見られる．ただ各凸部形成帯の長軸に直交する方向に震源があること以外は，地形・地質条件を地形変化と関連付けにくい．

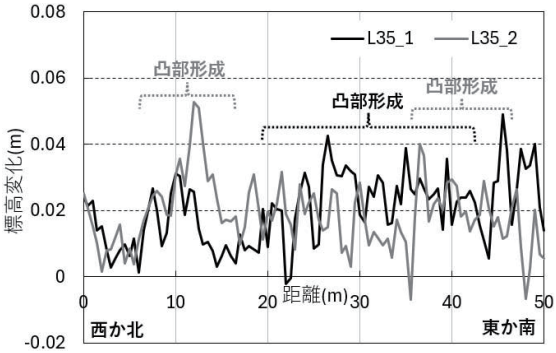
このように人工改変された水田や宅地で，規則的又は幾何学的な地表凹凸が生じていた．地形・地質条件では成因を説明できず，現在は地震動の何らかの影響と考えている．



写真-2　L35 の噴砂跡.



(1) 分母 5 による剰余地図



(2) 2 測線の標高変化縦断面

図-9　Loc. 35 の標高変化.

4. 地震による微小な地形変化の区分

3 章の検討結果を踏まえ地形変化の特徴を地形毎に整理する(**図-10**)．標高変化の縦断面線は，改変前，改変後，地震後を線種で区別する．

型 1 は，砂丘の縁部で，砂丘地帯の堤間湿地や砂丘に隣接するラグーンで見られた．低地盤の場所を砂で盛土し平坦化した場所が液状化し，比高数 10cm の地表凹凸が生じる地形変化である．噴砂は，最も標高低下した中心よりは，その周囲の縁辺に多く見られるため，中心から周囲への水の動きが想定される．型 2 は，丘陵や段丘の開析谷で見られた．丘陵や段丘の開析谷を土砂で盛土した場所が低下し，最大で比高約 5cm の凹地形成が進んだ．この変化は，現地では通常ほとんど識別できない．

型 3～5 は沖積平野で見られた．型 3 は，沖積平野

の氾濫原で生じた地形変化である．時に旧河道も混在する緩傾斜地を，階段状の水田や畑の耕作地に改変する際に，僅かな切土や盛土が行われる．地震による標高低下は，切土で小さく，盛土で大きいが，その盛土量は改変前の微地形に影響される．標高低下量は最大数 10cm あり，その地形変化は水稲生育へ影響を及ぼした．また盛土量が多いほど，その低下量が増加することも推定された．型 4 も氾濫原で生じた地形変化である．規則的で幾何学的な地表の皺のような帯状の凸部が比高数 cm～数 10cm で生じる．地震動の何らかの影響による地形変化かと思われるが，地形・地質条件との関係は不明で素因及び形成過程が良く分からない．型 5 も氾濫原で生じた地形変化である．構造物，道路や水路付近が，周囲に対し最大で数 10cm 高まる．この地形変化は型 3 の変化の中で良く識別できた．別途，マンホールの抜け上がりで凸部となる地形変化も確認している．

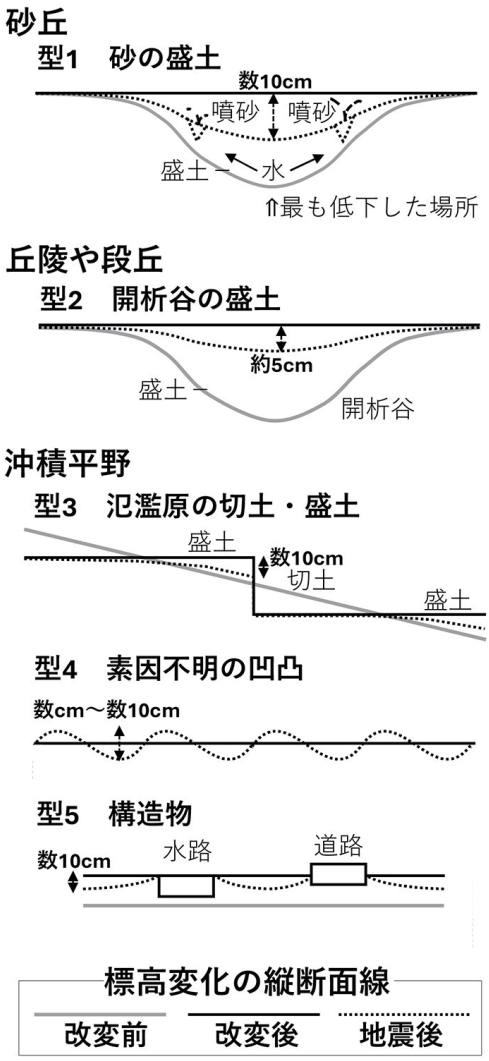


図-10　地形毎の地形変化の特徴モデル．

5. まとめ

能登半島地震の影響範囲の中，遠方で生じた微小な標高変化について，対応する地形変化の特徴を人工改変前の旧地形と対応させながら検討した結果，以下のことが分かった．

1)地震で生じた微小な地形変化の範囲は，剰余地図により正確かつ効率的に識別され，その変化を三次元的に理解することが容易になる．

2)地震で生じた微小な地形変化は，砂丘，丘陵や段丘，沖積平野の人工改変地で確認され，液状化による変化も含め変化型を 5 つに区分できた．

3)地震で生じた微小な地形変化は，人工改変時の切土と盛土の違い，および盛土量の違い，液状化での水の動きに起因すると推定された．

4)地震による地形変化の一部は，地震動や構造物が何らかの影響を直接及ぼして生じた可能性がある．

謝辞：本研究は，東京地学協会の令和 7 年度災害調査並びに復興支援のための緊急研究・調査助成を使用した．記して謝意を表する．

参考文献

1)　鈴木康弘，渡辺満久，中田　高：2016 年熊本地震における益城町市街地内の地震断層－変動地形学的意義と建物被害への影響，活断層研究，48 号，pp. 13-34，2018.
2)　田近　淳，千木良雅弘，小池明夫，金　秀俊，石丸　聡，雨宮和夫：2018 年北海道胆振東部地震によるテフラ層すべりと人的被害，日本地すべり学会誌，57 巻，6 号，pp. 203-209，2020.
3)　京川裕之，清田　隆，近藤康人，小長井一男：東北地方太平洋沖地震による浦安市埋立地盤の液状化被害調査，地盤工学ジャーナル，7 巻，1 号，pp. 265-273，2012.
4)　宍倉正展，越後智雄，行谷佑一，立石　良，後藤玲奈，前杢英明：令和 6 年能登半島地震に伴う隆起で生じた海岸の離水と海成段丘，第四紀研究，63 巻，2 号，pp. 169-174，2024.
5)　高見智之：令和 6 年能登半島地震による斜面変動の類型と地形地質特性，応用地質，66 巻，6 号，pp. 250-261，2026.
6)　黒木貴一，太田岳洋，瀧本真理：空中写真判読で推定された大規模な斜面崩壊過程，応用地質，66 巻，6 号，pp. 262-268，2026.
7)　先名重樹：令和 6 年能登半島地震における液状化地点分布と特徴，地盤工学会災害調査論文報告集，3 巻，1 号，pp. 137-150，2025.
8)　黒木貴一：地形変化を判読するための剰余地図とその特性，地図，61 巻，1 号，pp. 30-38，2023.
9)　黒木貴一：剰余地図による極小さな地形変化の鮮明化－御殿場試験フィールドの例－，関西大学文学論集，73 巻，1･2 号，pp. 1-19，2023.
10)　黒木貴一，品川俊介：河川堤防及びその周辺の微小な地形変化への剰余地図の適用性－鬼怒川の事例，応用地質，64 巻，6 号，pp. 352-360，2024.
11)　G 空間情報センター：データセット，https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/，2026.5.1.

（2026.5.29　受付）