

2007 年能登半島地震被害調査

報 告 書

平成 1 9 年 1 0 月

土木学会・地盤工学会

序

2007年3月25日に石川県能登半島を中心としてマグニチュード6.9の地震が発生した。(社)土木学会社会支援部門と地震工学委員会、地震工学委員会地震被害調査小委員会では地震発生直後から調査団の結成に関し協議を開始し、同日中に宮島昌克金沢大学大学院教授を団長とする調査団を結成することを決定した。さらに、その日の調整で、地盤学会との合同調査団とすることが決定し、数日後、土木学会・地盤工学会平成19年(2007年)能登半島地震災害合同調査団が正式に結成され、土木学会のホームページ上で土木グループの団員構成が公開された。

地震発生4日後の3月29日に被災事実を専門家の目を通して社会に伝えるという趣旨で、主としてマスコミ関係者に向けた緊急調査速報会が開催された。この速報会にはマスコミ関係者のみならず多くの会員、非会員からの参加があり、参加人数が130名を超える盛況ぶりであった。地震1週間後の4月1日には石川県のご協力の下、地盤工学会との合同の現地調査および意見交換会が実施された。能登有料道路の被災現場では石川県からの詳細な説明と試料のサンプリングなどを行うことができ、大変有益な調査となった。現地調査後、金沢のホテルで夜遅くまで意見交換会を行い、今後の調査について議論を深めた。

地震から約1ヵ月後の4月24日には東京大学生産技術研究所で(社)土木学会、(社)地盤工学会、日本地震工学会、(社)日本建築学会、(社)日本地震学会の5学会合同の速報会が開催された。地震および地震被害に関わる国内すべての学会が一堂に会して地震被害報告会を開催したことはこれまでにはなく、非常に画期的な出来事であった。被災原因の解明や、復旧、復興に関する議論も学会の枠を超えた形で継続的に実施していくことの重要性が再確認された。

本地震の特徴を一言で現せば、高齢化の進んだ過疎の地域を襲った地震ということである。震源に最も近い旧門前町は石川県で最も高齢化率の高い地域である。人口が少ないということで地震被害の絶対数は2004年新潟県中越地震などと比べて多くはないが、過疎地ゆえに被害の及ぼす影響は計り知れないものがある。すなわち、復興に向けてのこれからの取り組みが極めて重要となってくる。

本地震による住宅被害は29,308戸であり、このうち全壊家屋が682戸、半壊家屋が1,719戸を数えている。老朽化住宅の被災事例が多く、既存不適格住宅の耐震補強が急務の課題であることが改めて示された。公共土木施設の被害は約340億円にのぼり、能登有料道路だけで約90億円を上回る被害額となっている。気象庁が3月26日に本地震を「平成19年(2007年)能登半島地震」と命名したことが、この地震による影響が社会的に顕著であることを示している。

最後に、本報告書を作成するにあたって被害を受けられた地域の県市町村、住民はじめ各方面からさまざまなご協力を頂いたことに深く感謝いたします。また、被災された方々に対して心からお見舞い申し上げるとともに、1日も早い復興をお祈りしております。

執筆者一覧

1. 地震および地震動
 - 1.1 地震の概要 平松良浩(金沢大学)
 - 1.2 地震のメカニズム 平松良浩(金沢大学)
 - 1.3 地震観測記録 鶴来雅人(地域地盤環境研究所)
 - 1.4 各種スペクトルから見た地震動 高橋良和(京都大学)
後藤浩之(京都大学)
豊岡亮洋(京都大学)
 - 1.5 地震観測点における地盤増幅度 西川隼人(舞鶴工業高等専門学校)
2. 地形・地質特性 稲垣秀旗(環境地質)
上野将司(応用地質)
3. 地盤の液状化 吉田雅穂(福井工業高等専門学校)
4. 斜面崩壊 後藤 聡(山梨大学)
稲垣秀輝、上野将司、櫻井正明、
太田英将、平田 文、岩佐直人、
鈴木素之、小川紀一郎、中村洋介
5. 道路被害 橋本隆雄(千代田コンサルタント)
川村國夫(金沢工業大学)
6. 橋梁被害 幸左賢治(九州工業大学)
竹田周平(日本海コンサルタント)
7. 港湾施設の被害概要 井合 進(京都大学)
飛田哲男(京都大学)
8. 河川被害 橋本隆雄(千代田コンサルタント)
9. ライフライン等の被害
 - 9.1 上水道の被害 宮島昌克(金沢大学)
 - 9.2 下水道の被害状況 池本良子(金沢大学)
 - 9.3 災害廃棄物の発生状況とその対応 池本良子(金沢大学)
10. 宅地被害 橋本隆雄(千代田コンサルタント)
11. 建物被害 池本敏和(金沢大学)
村田 晶(金沢大学)

- 目 次 -

第1章 地震および地震動

1. 地震および地震動	1
1.1 地震の概要	1
1.1.1 地質・地形学的背景	2
1.1.2 地震学的背景	4
(1) 能登半島周辺における被害地震	4
(2) 微小地震活動とメカニズム	5
1.2 地震のメカニズム	20
1.2.1 余震活動	20
1.2.2 発震機構	22
(1) 本震の発震機構解	22
(2) 余震の発震機構解	22
1.2.3 測地学的断層モデル	23
(1) GEONET(GPS データ)に基づく断層モデル	23
(2) 海岸隆起量に基づく断層モデル	23
(3) 干渉合成開口レーダー(SAR)データに基づく断層モデル	25
1.2.4 地震学的断層モデル	26
(1) 遠地実体波の解析による震源過程	26
(2) 近地強震波形の解析による震源過程	27
1.2.5 震源域周辺の地下構造	27
(1) 三次元速度構造	28
(2) 広帯域 MT 観測による比抵抗構造	29
(3) 重力異常	30
1.3 地震観測記録	66
1.3.1 はじめに	66
1.3.2 地震観測点位置および設置状況	67
(1) 地震計設置位置	67
(2) 地震計設置状況と周辺の被害状況	68
1.3.3 地震動指標(震度・最大加速度・最大速度)の分布	72
(1) 震度分布	72
(2) 最大加速度・最大速度の分布	74
1.3.4 観測波形およびスペクトル	79
(1) 大振幅を記録した観測点の波形およびスペクトル	79
(2) 既往の大振幅記録との比較	83
1.3.5 比較的近接した地点における地震動特性の比較	85
(1) 輪島市街地	85
(2) 能登町宇出津	87
(3) 七尾市街地	89
1.3.6 緊急地震速報の発表状況	91
1.3.7 おわりに	93
1.4 各種スペクトルから見た地震動	95
1.4.1 観測波形と応答スペクトル	95
1.4.2 中能登農道橋の被害と変位応答スペクトル	96
1.4.3 必要強度スペクトル	98
1.5 地震観測点における地盤増幅度	101
1.5.1 はじめに	101
1.5.2 解析対象観測点と対象地震	101
1.5.3 地盤増幅度の評価	101

第2章 地形・地質特性

2. 地形・地質特性	104
------------	-----

2.1	地形	-----	104
2.2	地質	-----	106

第3章 地盤の液状化

3.	地盤の液状化	-----	108
3.1	液状化の発生地点	-----	108
3.2	噴砂の粒度組成	-----	108
3.3	港湾施設の被害	-----	109
3.3.1	志賀町	-----	109
3.3.2	輪島市	-----	110
3.3.3	穴水町	-----	111
3.3.4	七尾市	-----	111
3.3.5	富山県高岡市	-----	112
3.4	水処理施設の被害	-----	113
3.5	木造建築物の被害	-----	113
3.6	鉄筋コンクリート建築物の被害	-----	114
3.7	地盤の側方流動	-----	115
3.8	再液状化現象	-----	116
3.9	まとめ	-----	117

第4章 斜面崩壊

4.	斜面崩壊	-----	118
4.1	岩盤崩壊・落石	-----	120
4.1.1	富来町酒見	-----	120
4.1.2	輪島市門前町剣地の関野鼻周辺	-----	120
4.1.3	輪島市門前町深見地区	-----	121
(1)	市道沿いの落石・岩盤崩壊	-----	121
(2)	市道沿いの深層崩壊	-----	122
(3)	深見集落の背後斜面	-----	123
(4)	斜面上部の表層崩壊	-----	124
4.1.4	輪島港西側の袖が浜	-----	124
4.1.5	輪島市曾々木海岸	-----	124
4.1.6	輪島市門前町中野屋	-----	125
4.1.7	熊野地区	-----	126
4.2	地すべり地形内の斜面崩壊	-----	126
(1)	六郎木の表層崩壊	-----	126
(2)	濁池の表層崩壊	-----	127
(3)	尺ヶ池	-----	127
(4)	椎木地区	-----	127
4.3	土石流	-----	128
4.4	地すべり	-----	131

第5章 道路被害

5.	道路被害	-----	132
5.1	道路被害概要	-----	132
5.1.1	道路の主な被害状況	-----	132
5.1.2	能登有料道路の特徴	-----	136
5.1.3	能登有料道路の崩壊の原因・メカニズム	-----	136
5.1.4	復旧対策	-----	137
5.1.5	今後の教訓	-----	137
(1)	技術面における今後の教訓	-----	137
(2)	行政面における今後の教訓	-----	137
5.2	能登半島縦貫有料道路 NO.6 被害状況及び復旧対策	-----	138

5.2.1	能登半島縦貫有料道路 縦 - 6 被害状況	138
5.2.2	NO.縦 - 6 復旧対策	142
5.3	能登半島縦貫有料道路 NO.9 被害状況及び復旧対策	144
5.3.1	能登半島縦貫有料道路 縦 - 9 被害状況	144
5.3.2	NO.縦 - 9 復旧対策	148
5.4	能登半島縦貫有料道路 NO.10 被害状況及び復旧対策	150
5.4.1	能登半島縦貫有料道路 縦 - 10 被害状況	150
5.5	能登半島縦貫有料道路 NO.14 被害状況及び復旧対策	155
5.5.1	能登半島縦貫有料道路 縦 - 14 被害状況	155
5.6	能登半島縦貫有料道路 NO.21 被害状況及び復旧対策	160
5.6.1	能登半島縦貫有料道路 縦 - 21 被害状況	160
5.6.2	NO.縦 - 21 復旧対策	164
5.7	能登半島縦貫有料道路 NO.26 被害状況及び復旧対策	166
5.7.1	能登半島縦貫有料道路 縦 - 26 被害状況	166
5.7.2	NO.縦 - 26 復旧対策	170
5.8	能登半島縦貫有料道路 NO.32 被害状況及び復旧対策	173
5.8.1	能登半島縦貫有料道路 縦 - 32 被害状況	173
5.8.2	NO.縦 - 32 復旧対策	177
5.9	能登半島縦貫有料道路 NO.38 被害状況及び復旧対策	180
5.9.1	能登半島縦貫有料道路 縦 - 38 被害状況	180
5.9.2	NO.縦 - 38 復旧対策	184
5.10	能登半島縦貫有料道路 NO.39-1 被害状況及び復旧対策	186
5.10.1	能登半島縦貫有料道路 縦 - 39-1 被害状況	186
5.10.2	NO.縦 - 39-1 復旧対策	190
5.11	能登半島縦貫有料道路 NO.39-2 被害状況及び復旧対策	192
5.11.1	能登半島縦貫有料道路 縦 - 39-2 被害状況	192
5.11.2	NO.縦 - 39-2 復旧対策	196
5.12	能登半島縦貫有料道路 NO.39-3 被害状況及び復旧対策	198
5.12.1	能登半島縦貫有料道路 縦 - 39-3 被害状況	198
5.12.2	NO.縦 - 39-3 復旧対策	202
5.13	能登半島縦貫有料道路 NO.41 被害状況及び復旧対策	204
5.13.1	能登半島縦貫有料道路 縦 - 41 被害状況	204
5.13.2	NO.縦 - 41 復旧対策	208
5.14	能登半島縦貫有料道路 NO.43 被害状況及び復旧対策	210
5.14.1	能登半島縦貫有料道路 縦 - 43 被害状況	210
5.14.2	NO.縦 - 43 復旧対策	214

第6章 橋梁被害

6.	橋梁被害	216
6.1	能登島大橋	216
6.2	中能登農道橋	217

第7章 港湾施設の被害概要

7.	港湾施設の被害概要	218
7.1	輪島港	219
7.2	穴水港	220
7.3	七尾港	221
7.4	鹿磯漁港	224
7.5	氷見漁港	225
7.6	七尾マリンパーク	226
7.7	まとめ	227

第8章 河川被害

8. 河川被害	228
---------	-----

第9章 ライフライン等の被害

9. ライフライン等の被害	233
9.1 上水道の被害	233
9.1.1 輪島市上水道事業の被害	223
(1) 構造物および設備の被害	223
(2) 輪島市(旧門前町)の埋設管路の被害	234
(3) 輪島市(旧輪島市)の埋設管路の被害	236
9.1.2 穴水町上水道事業の被害	237
(1) 構造物および設備の被害	237
(2) 埋設管路の被害	238
9.1.3 七尾市上水道事業の被害	240
(1) 構造物および設備の被害	240
(2) 埋設管路の被害	240
9.1.4 まとめ	242
9.2 下水道の被害状況	244
9.2.1 被害地区の下水道の整備状況	244
9.2.2 下水道の被害状況	245
9.2.3 災害調査と復旧	252
9.2.4 まとめ	254
9.3 災害廃棄物の発生状況とその対応	255
9.3.1 災害廃棄物	255
9.3.2 一般廃棄物の発生状況	255
(1) 被災地区の一般廃棄物処理施設	255
(2) 穴水町	255
(3) 輪島市	259
9.3.3 解体廃棄物の発生状況	264
9.3.4 課題	269

第10章 宅地被害

10. 宅地被害	270
10.1 宅地造成の変遷	270
10.1.1 輪島市門前町道下の変遷	270
10.1.2 輪島市門前町総持寺の変遷	271
10.2 宅地擁壁の被害	273
10.3 宅地地盤の被害	275
10.3.1 門前町道下地区の被害	275
10.3.2 門前町総持寺地区の被害	279
10.4 基礎の被害概要	282
10.4.1 門前町道下地区の基礎被害	282
10.4.2 門前町総持寺地区の基礎被害	284
10.5 宅地斜面の被害	285
10.5.1 門前町菅原神社斜面の被害	285
10.5.2 穴水町介護老人施設「朱鷺の苑」の宅地斜面の被害	286

第11章 建物被害

11. 建物被害	290
----------	-----

第 1 章 地震および地震動

1. 地震および地震動

1. 1. 地震の概要

2007年3月25日9時41分57.9秒に能登半島では歴史記録上初と考えると良いマグニチュード(M)7に近い地震である能登半島地震(M_{JMA} 6.9)が輪島市門前町劔地の琴ヶ浜沖を震央として発生した。気象庁¹⁾による震源位置は北緯37度13.2分,東経136度41.1分,深さ11kmであり,本震の発震機構解は西北西-東南東方向に圧力軸をもつ右横ずれ成分を伴う逆断層型である。能登半島は定常的な地震活動は低い地域であり,南部の邑知平野周辺を除いては比較的小規模の活断層しか存在しない地域である²⁾。すなわち長期評価の対象となる長い活断層帯(M7クラスの大地震を発生させる活断層帯)が奥能登地域にはなく,全国を概観した地震動予測地図での今後30年以内に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率は0.1%未満の地域である³⁾。しかし,これについては海域に存在する活断層が評価対象となっていなかったという問題がある。また,2004年新潟県中越地震や2007年新潟県中越沖地震が近年GPSデータから明らかにされた歪集中帯⁴⁾内部で発生しているのに対し,能登半島の歪速度は小さく,能登半島地震は低歪速度地域で発生した被害地震であると言える。

能登半島地震による地震動は北海道から広島,高知にわたる広い範囲で有感となり,石川県では県内全域で震度4以上を観測したのに加え,地震観測史上初となる震度6強を輪島市,七尾市,穴水町において観測した¹⁾(図1.1-1)。消防庁のまとめ⁵⁾によると2007年6月14日15時現在における人的被害は,石川県で死者1人(自宅内の灯籠の下敷きになり死亡),重軽傷者341人を数えたほか,富山県13人,福井県1人,新潟県4人の重軽傷者を数えている。また住家被害は石川県で全壊638棟,半壊1,563棟,一部破損13,553棟であり,新潟県で一部破損3棟である。また,各地で土砂崩れや液状化が生じ道路等に大きな被害を与えた。

能登半島地震では小規模ではあるが津波が観測されている¹⁾。珠洲市長橋の検潮儀では第一波が10時15分に到達し,最大の高さは11時13分の22cmであった。金沢では第一波は10時21分に到達し,最大の高さは12時21分の18cmであった。

国土地理院が全国に展開している電子基準点(GPS)による連続地殻変動観測(GEONET)により,能登半島地震に伴う地殻変動が観測されている。2007年3月27日9時までのデータの解析結果によると,電子基準点「福光」を固定点として,電子基準点「富来」で南西方向へ約21cmの移動と約7cmの隆起,電子基準点「穴水」で北西方向へ約12cmの移動と約2cmの沈降があった⁶⁾。GPS以外にも観測衛星「だいち」による干渉SAR^{7), 8)}や水準測量⁹⁾により最大40cm程度の隆起があったことが報告されている。地震直後から行われている臨時GPS観測からは余効変動の存在が報告されている¹⁰⁾。また,能登半島地震の断層運動は右横ずれを伴う逆断層型であり,震源域が能登半島西岸にかかっているため,住民が目視で確認できる海岸の隆起があったことやそれにより岩海苔漁の被害があったことが地元紙である北國新聞により報道されている。能登半島地震に伴う海岸の隆起・沈降については,主としてカキなどの潮間帯生物の分布域と海水面との比高を測定

することにより、産業技術総合研究所活断層研究センター¹¹⁾や金沢大学¹²⁾により調査されている。

能登半島地震では、気象庁は羽咋市の地震計でP波を検知してから3.6秒後に緊急地震速報第1報を発信し、先行的に利用している機関に提供した¹⁾。このときの推定震央位置は沖合であり実際の震央位置とは離れているものの(図1.1-2)、推定マグニチュードは7.0、また「石川県の能登地方で震度5弱以上が予想される」とほぼ正確であった。主要動が到達するまでに、能登町(震度6弱)では約5秒、珠洲市(震度5強)では約7秒、富山市(震度5弱)では約12秒の時間があり、緊急地震速報の有効性を示す結果であった(図1.1-3)。しかし、当然のことではあるが、震源に近い震度6強を観測した輪島市や七尾市、穴水町、震度6弱の志賀町などの地域では緊急地震速報は間に合わなかった。

本節では以下に、1.1.1項で能登半島地震の地質・地形学的背景、1.1.2項で地震学的背景について概説する。

1. 1. 1 地質・地形学的背景

産業技術総合研究所地質調査総合センター¹³⁾に基づく能登半島の地質図を図1.1.1-1に示す。能登半島には、およそ2億年～2億4000万年前にユーラシア大陸の東縁部に発達した深成岩類を基盤とし、主に新第三紀に形成された火山岩類および堆積岩類が広く分布している。基盤をなす深成岩類である飛騨花崗岩類は、富来、石動山、および宝達山地域に散在的に露出するのみであるが、同じく飛騨帯に区分される岩石は宇奈月、立山、および白川などの周辺に広く分布する¹⁴⁾。新第三紀の火成活動は約2500万年～1500万年前の日本海の形成に関連した地殻の伸張に伴うものと考えられており、2000万年前～1700万年の中新世初期に形成された安山岩類や、一部は漸新世後期に形成されたと考えられる粗粒な堆積岩などが広く分布している。この火成活動に引き続き、能登半島沿岸部は徐々に沈降すると同時に海域が拡大したことにより¹⁵⁾、主に能登半島北西部に浅海性の堆積岩類が形成された。日本海の拡大が停止した後のおよそ1400万年前には、熱帯性の化石を産出する石灰質砂岩が関野鼻、輪島崎七尾などの周辺に堆積した。能登半島の北部には鮮新世および更新世の地層は分布しないが、半島中部から加賀地方にかけては大桑層に代表されるような砂岩ないし泥岩層が分布する¹⁶⁾。

岡村¹⁷⁾によると、能登半島の断層構造や褶曲構造は以下のように形成された。能登半島北部の海底には火山岩類からなると考えられている水深200mより浅い台地状の高まりが幅50km以上にわたって広がり、日本海の形成時期にはその中にも小規模な東西から東北東-西南西方向にのびた地溝が、能登半島北縁部および舳倉島付近を中心として形成された。後期中新世の1500万年～1000万年前には南北圧縮応力場になり、西南日本の日本海側沿岸に沿って、東-西から東北東-西南西方向の逆断層と褶曲地形が形成され始めた。その後、後期鮮新世から完新世には日本列島全体で東西圧縮応力場となり、能登半島周辺でも南-北から北東-南西方向の逆断層や褶曲構造が発達した。しかし、それらの構造の規模は小さいため長期的な活動度としてはあまり高くないと考えられている。

能登半島周辺の地形と陸域の活断層を図 1.1.1-2 に示す。能登半島の地形的特徴は町田・ほか編「日本の地形 5 中部」¹⁸⁾に詳しく、以下にそれに従って述べる。能登半島周辺の海域には大陸棚が広がっており、能登半島はその上に台地状にのっている。能登半島の最高峰は高州山（標高 567m）であり、能登半島の北西部は丘陵ないし丘陵状の山地であるのに対して、東部・南部の大部分は海成段丘からなる。これらの山地は高度が不連続的に変化し、数個の地塊に分かれている¹⁹⁾。太田・平川²⁰⁾は能登半島の海成段丘を、連続性の良い中位面群（M）、その高位の高位面群（H）、さらにそれよりも高いT面群に大別し、全部で約 20 段の旧汀線の明瞭な段丘面を区別した。旧汀線高度は場所によって大きく異なり、M1 面では、北部の 120m から南部の 15m と、全体としては南下がりに傾動している。旧汀線高度の測定から能登半島は 5 つの山地（眉丈山地、桑塚山地、猿山山地、鉢伏山地、宝立山地）と邑知低地帯（邑知平野）に区分でき（図 1.1.1-3）、地塊の境界は現在の山地境界と一致している。各地塊内でも南下がりの傾向が著しく、その傾向に累積性があることから、第四紀において各傾動地塊の成長が続いていたと考えられている²⁰⁾。M1 面は同位体ステージ 5e に形成されたことが、Omura²¹⁾による平床貝層と宇治貝層からの単体サンゴのウラン系列年代が約 12 万年前であることなどから確認された。段丘の高さから推定された M1 面形成後の平均隆起速度は能登半島北端で最大となり約 1m/1000 年である²⁰⁾。山地の配列は能登半島の北半部では北東-南西方向を示し、邑知低地帯の方向とも一致し、能登半島の主要な地形の方向を表す。能登半島南部では山地の配列は北北西-南南東ないし北-南方向になる。能登半島の活断層やリニアメントの走向は上記の方向に一致する²²⁾（図 1.1.1-2）。

能登半島の主要な活断層帯として、邑知低地帯の北西縁には眉丈山断層帯、南東縁には邑知潟断層帯が存在する。地震調査研究推進本部地震調査委員会²³⁾によると、邑知潟断層帯は、古府断層、石動山断層、野寺断層、坪山-八野断層及び内高松付近の断層から構成され、全長は 44km である。眉丈山断層帯は徳田北方の断層と眉丈山第 2 断層からなり、全長は 18km である。能登半島を特色づけるものとして海成段丘を変位させる活断層があり、それらの大部分は逆断層である。それらの走向分布から能登半島は第四紀後期に北西-南東方向の最大圧縮軸の応力場であったと推定されている²⁾。これらの逆断層のほとんどは長さ数 km 程度と短く、活動度も C 級である²⁾。後述するように陸域には能登半島地震の余震分布に対応させることができる活断層はない。

なお、能登半島地震後に震源断層の北東延長にあたる輪島市門前町鹿磯から中野屋にかけて、金沢大学や産業技術総合研究所活断層研究センター、東京大学地震研究所などにより、地変が報告された。中野屋地区では道路の舗装面が北東-南西方向に約 8cm の右横ずれをしており、地震断層の可能性が高いとされた²⁴⁾。しかし、その延長上に位置し、雁行亀裂が見られた水田でトレンチ調査（写真 1.1.1-1）を含めて詳細な調査を行った結果、中野屋地区の地変は地震断層ではなく、液状化に伴う地すべりにより生じたものであると考えられている（写真 1.1.1-2）²⁵⁾。

一方、海域においては余震分布に対応する活断層が存在する。産業技術総合研究所は 1988 年に震源域周辺海域で音波探査による地質調査を実施し、その調査結果は能登半島地震時には印刷中であった²⁶⁾。その結果によると、門前沖から海士崎沖にかけて北東から南西方向の南東側傾斜の

活断層と南側にこれと平行する背斜軸が長さ約 30km にわたり存在する(図 1.1.1-4)。海上保安庁は能登半島地震後、海底地形調査を行い、産業技術総合研究所が報告している活断層に沿って、海底面の傾斜の急変箇所が存在し、泥火山(液状化現象)や海底表層の堆積層下の岩盤が露出している部分があることを報告している²⁷⁾。

片川・ほか²⁸⁾は北陸電力(株)によって昭和 60 年・61 年に実施された能登半島西方海域でのスパーカーによる高解像度の音波探査結果について報告している。それによると、能登半島地震の余震が広がる奥能登丘陵の海域延長位置では、全体に第四紀層が薄く、海底面下や完新統下にはしばしば D 層(先第三紀-新第三紀)以下が直接分布する。また、北東から南西方向の断層が雁行状に配列する構造が 2 列見られ、南側の列の南西側には同方向の褶曲もみられる。これらの断層は南東側隆起の高角逆断層であり、隆起側の地層は南東側へ傾動している。したがって、この海域には地質構造的に陸域の傾動地塊山地に対応する 2 列の傾動地塊(A 列傾動地塊(A1 と A2) と B 列傾動地塊)が存在し、断層としては F1~F18 が存在する(図 1.1.1-5)。ただし、F8~F10 は活断層研究会²⁾の活断層の定義には合致しないことに注意を要する。傾動地塊は北西縁を北東-南西方向の断層群に区画されており、それぞれ長さ 10km 程度である。A 列傾動地塊山地の各地塊は一部を除いて、B1 層(更新世後期)堆積以降の変位・変形がなく、第四紀後期以降静穏な状態にあると考えられている²⁹⁾。それに対して、B 列傾動地塊山地の F16 地塊、F14・15 地塊は第四紀以降も活動的であるが、B2 層(更新世中期)上面の不連続な分布はこれらが独立的に活動してきたことを示している²⁹⁾。後述するように、余震分布などから海域の活断層の深部延長において能登半島地震が発生したと考えられている。

1. 1. 2 地震学的背景

(1) 能登半島周辺における被害地震

石川県の有感地震数は過去 30 年間(1976 年~2005 年)で 84 回と全国で一番少なかった³⁰⁾が、金沢城下に多大な被害をもたらした 1799 年の金沢地震(M6.0)のように、過去には被害地震が複数発生している。図 1.1.2-1 に能登半島地震と能登半島周辺で発生した被害地震の震央分布を示す。震央位置およびマグニチュードは 1940 年までの地震については宇佐美³¹⁾のデータ、1940 年以降の地震については気象庁震源データによるものを使用した。また以下に記す各地震の被害状況は特に断らない限り宇佐美³¹⁾の記述にしたがっている。

歴史記録上に残された能登半島周辺での最古の地震は、能登半島先端部での局地的地震と一応考えられている 1729 年 8 月 1 日の地震(M6.6~7.0)であり、能登の珠洲郡、鳳至郡で死者 5 人、損・潰家 791、蔵の潰 16 があり、山崩れ計 1,731 カ所、輪島村では潰家 28、半潰 86 である。また、具体的被害記録は発見されていないが佐渡でも潰家および死者があつたらしい。1892 年 12 月 9 日には富来沖で M6.4 の地震および 2 日後に同規模(M6.3)の地震がやや南で続発し、死者 1 名、負傷者 2 名、家屋の全壊 2、家屋や土蔵の破損が多かった。1896 年 4 月 2 日には珠洲で M5.7 の地震があり、禄剛崎燈台の破損、土蔵倒壊 2 や家屋破壊 15 があつた。1933 年 9 月 21 日には七

尾で M6.0 の地震が発生している。七尾湾沿岸が最も強く揺れ、鹿島郡で死者 3、家屋倒壊 2、破損 131、その他にも道路、鉄路、煙突などに多くの被害が生じ、液状化も生じた。上記以外にも海岸線が長い能登半島では 1833 年の羽前・羽後・越後の地震のように遠い海域で起こった地震による津波により 100 人にのぼる死者を出したこともある。

近年では、1985年10月18日に七ツ島付近でM5.7の地震が発生し、負傷者1人、文教施設被害29箇所などの被害があった³²⁾。また、1993年には珠洲沖でM6.6の地震(能登半島沖地震)が発生し、珠洲市を中心に負傷者29人、住宅全壊1棟、半壊20棟、一部破損4棟などの被害が生じ、液状化も生じた。また輪島では高さ26cmの津波を観測した。

このように能登半島は、過去約100年間でM6程度の地震が6回発生しており、被害地震という観点で見れば必ずしも地震活動が低い地域であるとは言えないことが分かる。

(2) 微小地震活動とメカニズム

中部地方は歴史資料に残る被害地震が多数発生しており、また活断層の分布密度も高く、日本の内陸部では最も地震活動が活発な地域であるといえる。そのため、中部日本では微小地震活動も活発である。1998年から2004年の期間における中部日本の地震活動(マグニチュード1.5以上)を図1.1.2-2に示す。震源データは気象庁一元化データを用いている。地殻内の地震活動に注目するために深さ30km以浅の地震のみを図示している。地震活動が活発な中部地方ではあるが、場所により地震活動の差があることが分かる。以下に中部地方の地震活動について概観する。

図1.1.2-2には比較的近年に起こった地震の余震活動が顕著に表れている。例えば、新潟県中越地方の地震活動は2004年新潟県中越地震、能登半島沖の地震活動は1993年能登半島沖地震、石川県西方沖の地震活動は2000年石川県西方沖地震の余震活動である。また、火山活動に関連した地震としては、飛騨山脈沿いの地震活動があり、これらの地震の震源は浅い。上高地周辺では1999年に群発地震が発生している。また、飛騨山脈南部の地震活動は1984年長野県西部地震の震源域とも重なり、その余震活動と御岳山下の地震活動、王滝村の群発地震活動を含む。跡津川断層に沿った微小地震活動は活発であり、跡津川断層は1858年飛越地震の震源断層であると考えられている。岐阜県南西部から愛知県にかけても地震活動の高い領域があるが、ここでは1891年濃尾地震、1945年三河地震が発生している。岐阜県北西部の地震活動域では1961年北美濃地震が発生している。岐阜県中部や静岡県でも地震活動は高い。また、長野県北部から山梨県西部にかけての糸魚川-静岡構造線活断層帯に沿っても地震活動が高い。

一方、地殻内の微小地震活動のほとんど見られない地域としては、愛知県東部、岐阜県南部、富山県の富山平野、石川県の加賀平野と能登半島の内陸部、岐阜県の飛騨地方が挙げられる。したがって、能登半島地震は定常的な地震活動が低い地域で起こった地震であることが分かる。

次に、能登半島周辺の微小地震活動を平松³³⁾にしたがって述べる。図1.1.2-3は能登半島周辺の1980年から2006年までの気象庁の震源データによる地震活動であり、地殻内の地震活動に注目するため震源の深さは30km以浅に限定している。図1.1.2-3(a)ではマグニチュードが1.5以

上の地震，図 1.1.2-3 (b)ではマグニチュード 3 以上の地震の震央を示している．能登半島では 1997 年からの気象庁による地震データの一元化や 2002 年頃の防災科学技術研究所による高感度地震観測網(Hi-net)の整備により，地震の検知能力が向上している．したがって，1980 年代と 1990 年代の地震活動については図 1.1.2-3において 2000 年代の地震活動と同様には図示されていないことに注意が必要である．

図 1.1.2-3 から，能登半島周辺における比較的地震活動の高い領域として，能登半島沖，富来沖，内浦沿岸，氷見周辺，富山湾内を挙げることができる．これらの領域の中で最も地震活動が活発であるのは能登半島沖で，これは 1993 年の能登半島沖地震の余震活動が継続しているためである．能登半島沖地震 ($M_{JMA}6.6$) は能登半島地震が起こるまではこの地域での最大規模の地震であり，遠地実体波を用いた解析から北西-南東方向に主圧力軸を持つ逆断層型のメカニズムであることが報告されている³⁴⁾．富来沖については，最も顕著な活動があったのは 1995 年で，このときマグニチュード 4.2 の地震が発生している．内浦沿岸では，東部で 2006 年に最大マグニチュード 3.7 の地震を含む群発地震活動があった．氷見周辺では石動・宝達山地の地塊構造³⁵⁾に関連してクラスター的な地震活動があることが報告されている³⁶⁾．富山湾内でも 1997 年に最大マグニチュード 3.7 の地震を含む群発地震活動が発生している．また，マグニチュード 3 以上の震央分布図(図 1.1.2-3 (b))では能登半島沖地震の余震と富来沖で地震が集中的に起こっている他は散発的に発生しているのみであり，能登半島内陸部では定常的な地震活動は低いことが分かる．

防災科学技術研究所 F-net Project による広帯域地震波形を用いたメカニズム解析結果³⁷⁾より得られた 1997 年から 2006 年の期間に発生した地震のモーメントテンソル解を図 1.1.2-4 に示す．前述の能登半島沖地震のメカニズムと同様，能登半島周辺では西北西-東南東から北西-南東方向に主圧力軸を持つ逆断層型のメカニズムが卓越していることが分かる．これは，過去に報告されているこの地域の地震のメカニズム解³⁸⁾と同様であり，この地域の活断層に逆断層が多いこと²⁾や平均的な水平方向の応力場が西北西-東南東方向の圧縮場であること³⁹⁾と調和的である．

謝辞

本報告では気象庁一元化震源データおよび防災科学技術研究所 F-net Project による広帯域地震波形を用いたメカニズム解析結果を使用した．金沢大学理学部の守屋和佳博士には能登半島の地質・地形についてご教授頂いた．気象庁地震火山部地震津波監視課の太田健治地震防災係長と産業技術総合研究所地質調査総合センターの宝田晋治博士には図を提供して頂いた．山形大学地域教育文化学部の川辺孝幸教授には写真を提供して頂いた．また，一部の図の作成には GMT⁴⁰⁾を使用した．以上，記して感謝します．

参考文献

- 1) 気象庁 (2007), 災害時地震・津波速報 平成 19 年(2007 年)能登半島地震, 気象庁, 41pp.
- 2) 活断層研究会 (1991), 「新編 日本の活断層-分布と資料-」, 東京大学出版会, 437pp.
- 3) 地震調査研究本部地震調査委員会(2007), 「全国を概観した地震動予測地図」2007 年版, 地震調査研究本部地震調査委員会
(http://www.jishin.go.jp/main/chousa/07_yosokuchizu/index.htm).
- 4) Sagiya, T., S. Miyazaki and T. Tada (2000) Continuous GPS Array and Present-day Crustal Deformation of Japan, *Pure appl. Geophys.*, 157, 2303-2322.
- 5) 消防庁 (2007), 平成 19 年(2007 年)能登半島地震(第 46 報), 総務省消防庁
(<http://www.fdma.go.jp/detail/710.html>).
- 6) 国土地理院 (2007), 平成 19 年(2007 年)能登半島地震に伴う地殻変動(第 2 報), 国土地理院 (<http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2007/0328.htm>).
- 7) 宇宙航空研究開発機構 (2007), 平成 19 年(2007 年)能登半島地震に関する 陸域観測技術衛星「だいち」による観測の結果について, 宇宙航空研究開発機構
(http://www.jaxa.jp/press/2007/04/20070412_daichi_j.html).
- 8) 国土地理院 (2007), 人工衛星データを用いて「平成 19 年(2007 年)能登半島地震」に伴う地殻変動を詳細に把握, 国土地理院
(<http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2007/0412.htm>).
- 9) 国土地理院 (2007), 平成19年(2007年)能登半島地震に伴う水準測量結果(速報値)について -地震による大きな地殻変動を把握-, 国土地理院
(<http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2007/0711.htm>).
- 10) Hashimoto, M., H. Takahashi, R. Doke, M. Kasahara, A. Takeuchi, K. Onoue, Y. Hosono, Y. Fukushima, K. Nakamura, F. Ohya, R. Honda, M. Ichianagi, T. Yamaguchi, N. Maeda and Y. Hiramatsu (2007), Postseismic displacements following the 2007 Noto peninsula earthquake detected by dense GPS observation, submitted to *Earth Planets Space*.
- 11) Awata, Y., S. Toda, H. Kaneda, T. Azuma, H. Horikawa, M. Shishikura and T. Echigo (2007), Coastal deformation associated with the 2007 Noto Hanto earthquake, central Japan, determined by uplifted and subsided intertidal organisms, submitted to *Earth Planets Space*.
- 12) Hiramatsu, Y., K. Moriya, T. Kamiya and M. Kato (2007), Fault model of the 2007 Noto Hanto earthquake estimated from coseismic deformation obtained by the distribution of midlittoral and infralittoral organisms and GPS, submitted to *Earth Planets Space*.
- 13) 産業技術総合研究所地質調査総合センター (編) (2005), 20 万分の 1 日本シームレス地質図データベース 2005 年 12 月 8 日版. 産業技術総合研究所研究情報公開データベース DB084, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.

- 14) 梶座圭太郎・金子一夫 (2001) 飛騨帯東部の変成岩類と花崗岩類, 石渡 明 編 日本地質学会第 108 年学術大会見学旅行案内書, 日本地質学会第 108 年年会準備委員会, 金沢, 137-156.
- 15) 田中 隆 (1979) 北陸・山陰沖の堆積盆地の分布と性格, *石油技術協会誌*, 44, 5, 76-88.
- 16) 加藤道雄 (2001), 能登半島の第三紀堆積岩と火山岩, 石渡 明 編日本地質学会第 108 年学術大会見学旅行案内書, 日本地質学会第 108 年年会準備委員会, 金沢, 45-60.
- 17) 岡村行信 (2007), 能登半島周辺の地質構造と地震との関係, 2007 年能登半島地震の調査速報, AFRC NEWS, No. 66, 1-3.
- 18) 町田 洋 編・松田時彦 編・海津正倫 編・小泉武栄 編 (2007), 「日本の地形 5 中部」, 東京大学出版会, 392pp.
- 19) 吉川虎雄・矢沢大二 (1955), 能登の自然, 九学会連合能登調査委員会編「能登」, 4-22.
- 20) 太田陽子・平川一臣 (1979), 能登半島の海成段丘とその変形, *地理学評論*, 52, 169-188.
- 21) Omura, A., Uranium-series age of the Hiradoko and Uji shell beds, Noto Peninsula, central Japan, *Trans. Proc. Paleont. Soc. Japan., N.S.*, 117, 247-253, 1980.
- 22) 太田陽子・松田時彦・平川一臣 (1976), 能登半島の活断層, *第四紀研究*, 15, 109-128.
- 23) 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2006), 「邑知淵断層帯の長期評価について」報告書, 地震調査委員会 (http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05mar_ouchigata/index.htm).
- 24) 金沢大学 (2007), 平成 19 年能登地震断層発見のお知らせ, 平成 19 年能登半島地震関連情報, 金沢大学理学部地球学科 (http://earth.s.kanazawa-u.ac.jp/2007_notohanto-earthquake/About_2007_Notohanto-earthquake.html).
- 25) 川辺孝幸, 富岡伸芳, 坂倉範彦, 石渡 明, 平松良浩, 奥寺浩樹, 小泉一人 (2007), 能登半島地震で動いた輪島市門前町中野屋地区の「断層」の発掘調査結果 -第 3 報-, 山形大学地域教育文化学部生活総合学科生活環境科学コース地学研究室 (<http://kei.kj.yamagata-u.ac.jp/kawabe/www/nakanoya3/index.html>).
- 26) 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2007), 2007 年能登半島地震「能登半島の地質」, 地質調査総合センター (<http://www.gsj.jp/jishin/noto/noto1.html>).
- 27) 海上保安庁 (2007), 能登半島地震に伴う変動地形を観測 -能登半島地震の震源域海底調査速報, 海上保安庁 (<http://www.kaiho.mlit.go.jp/info/kouhou/h19/k20070511/k070511noto.pdf>).
- 28) 片川秀基・浜田昌明・吉田 進・廉澤 宏・三橋 明・河野芳輝・衣笠善博 (2005), 能登半島西方海域の新第三紀～第四紀地質構造形成, *地学雑誌*, 114, 791-810.
- 29) 片川秀基 (2007), 能登半島西方海域の地質構造 -2007 年能登半島地震はどのような地質構造形成の場で発生したのか-, *地震工学研究レポート*, No. 102, 23-31.
- 30) 石川県県民文化局県民交流課統計情報室 (2006), 石川 100 の指標 平成 19 年版, 133pp.

- 31) 宇佐美龍夫 (2003), 「最新版 日本被害地震総覧 [416]-2001」,東京大学出版会,605pp.
- 32) 珠洲市防災会議 (2004), 珠洲市地域防災計画【地震災害対策編】, 珠洲市 (<http://www.city.suzu.ishikawa.jp/home/bosai/bosaikeikaku.html>), 109pp.
- 33) 平松良浩 (2007), 平成19年能登半島地震:地震活動とメカニズム, *地球科学*, 61, 243-253.
- 34) 伊藤 潔・和田博夫・渡辺邦彦・堀川晴央・佃 為成・酒井 要 (1994), 1993年能登半島沖地, *京都大学防災研究所年報*, 37, 325-341.
- 35) 片川秀基・北口善啓・伊藤 孝・穴田文浩・吉田 進・藤井昌彦 (2002) 石動・宝達山地北西部の地塊区分と活構造, *地学雑誌*, 111, 16-32.
- 36) 平松良浩・河野芳輝・山崎晴雄・片川秀基 (2007), 邑知潟断層帯の隆起山地における微小地震活動, *日本地球惑星科学連合 2007年大会講演予稿集*, S144-P009.
- 37) 福山英一・石田瑞穂・D.S. Dreger・川井啓廉 (1998) オンライン広帯域地震データを用いた完全自動メカニズム決定, *地震*, 第2輯, 51, 149-156.
- 38) 小泉 誠・伊藤 潔・和田博夫, 1993, 中部地方北西部における地震の発震機構, *京都大学防災研究所年報*, 36, 305-324.
- 39) 塚原弘昭・小林洋二 (1991), 中・西部日本の地殻応力, *地震*, 第2輯, 44, 221-231.
- 40) Wessel, P. and W.H.F. Smith (1998), New improved version of the Generic Mapping Tools Released, *Eos Trans. Am. Geophys. Union*, 79, 579.

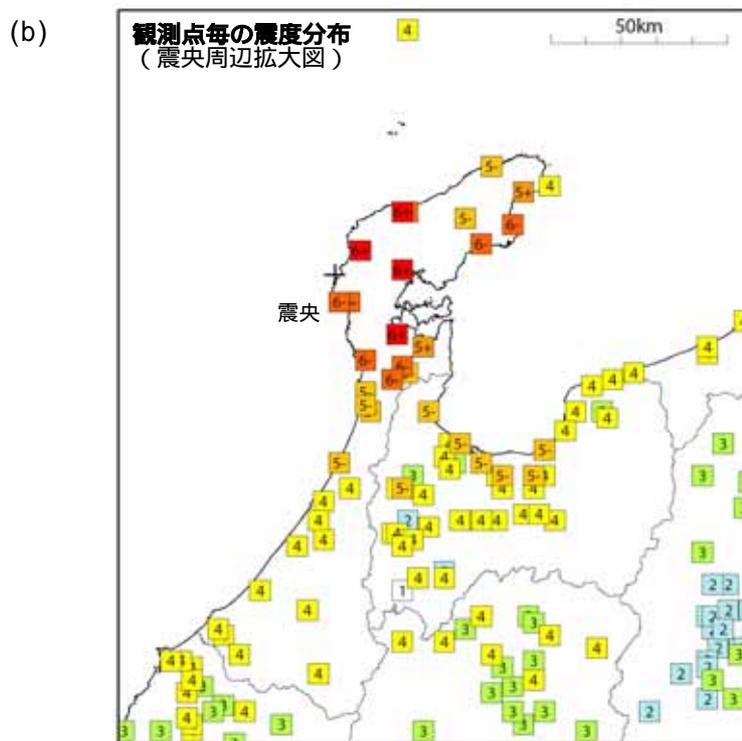
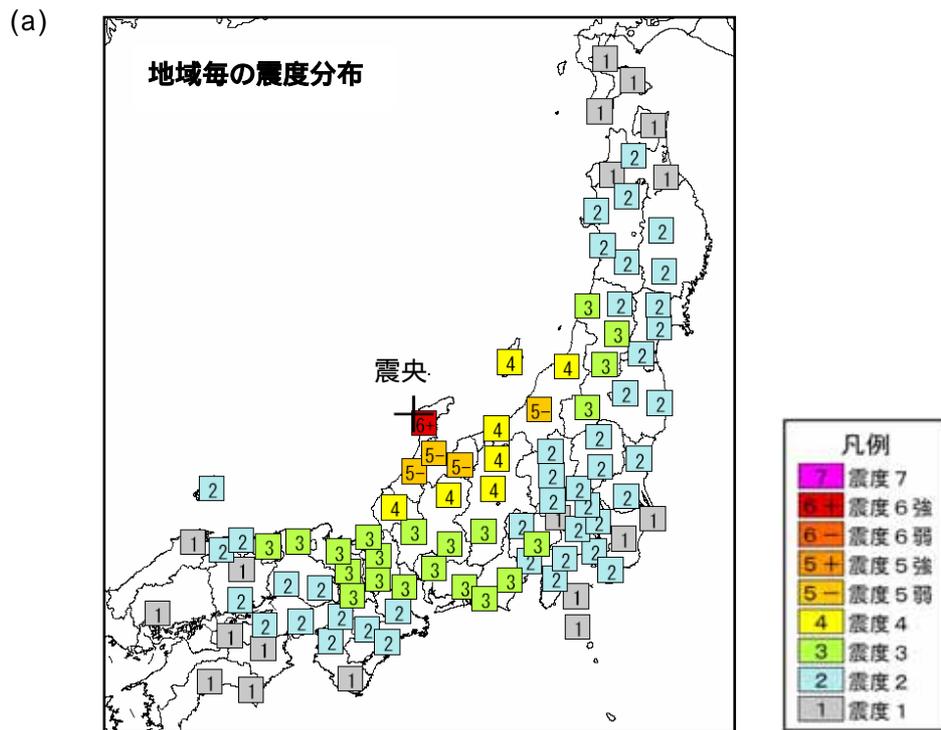


図 1.1-1 能登半島地震による震度分布図¹⁾. (a) 地域毎の震度分布図, (b) 観測点毎の震度分布図 (震央周辺拡大図). ×印は能登半島地震の震央位置を表す.



図1.1-2

緊急地震速報により推定された震央位置¹⁾

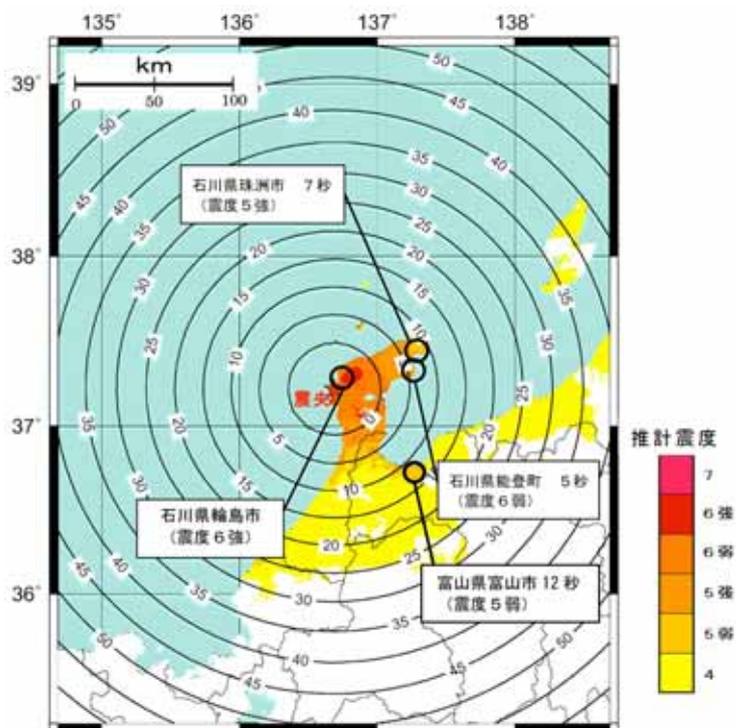


図 1.1-3

緊急地震速報の第1報提供から主要動到達までの時間（秒）および推計震度分布¹⁾

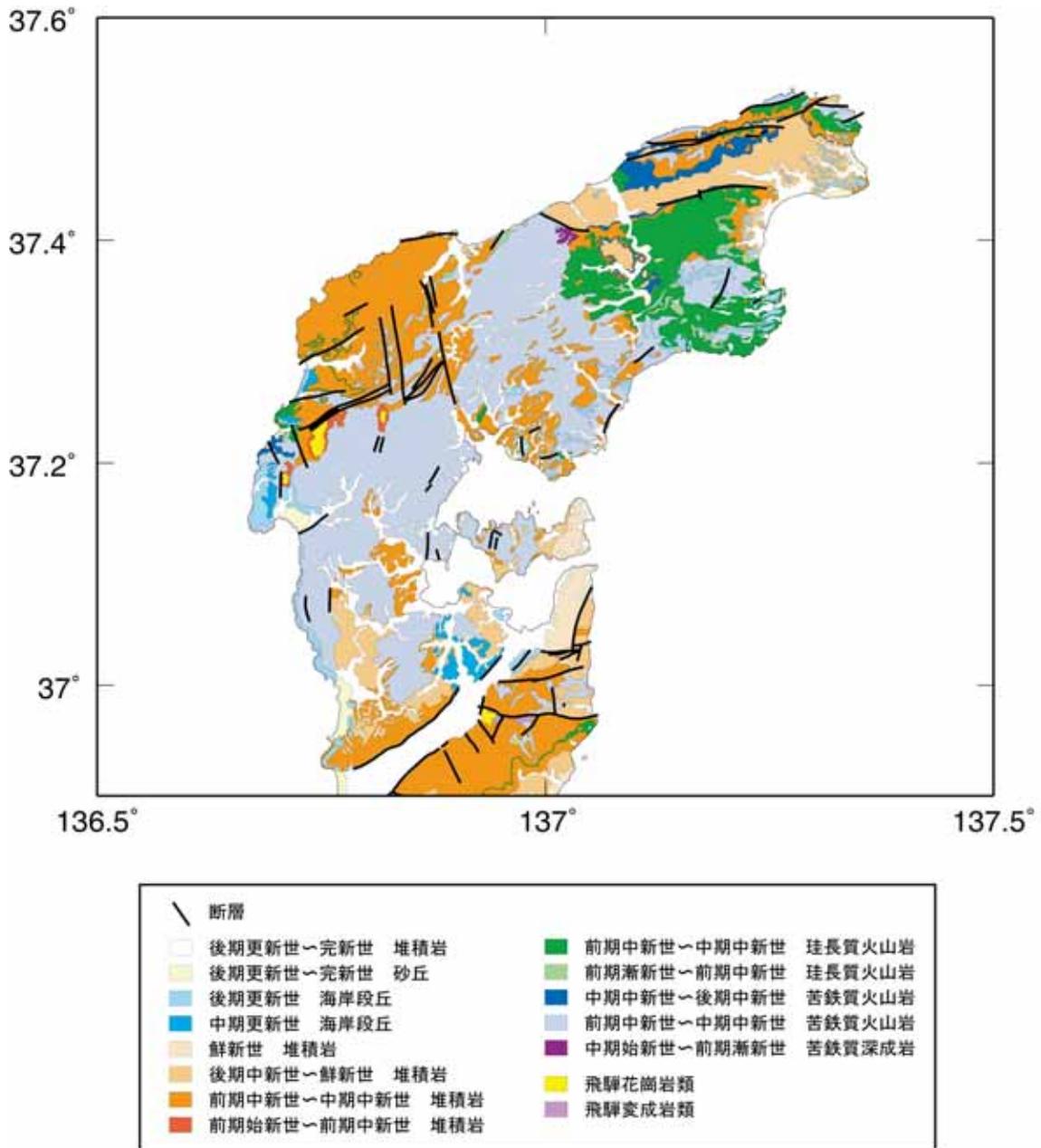


図 1.1.1-1

能登半島の地質図（産業技術総合研究所地質調査総合センター¹³⁾に基づく）。

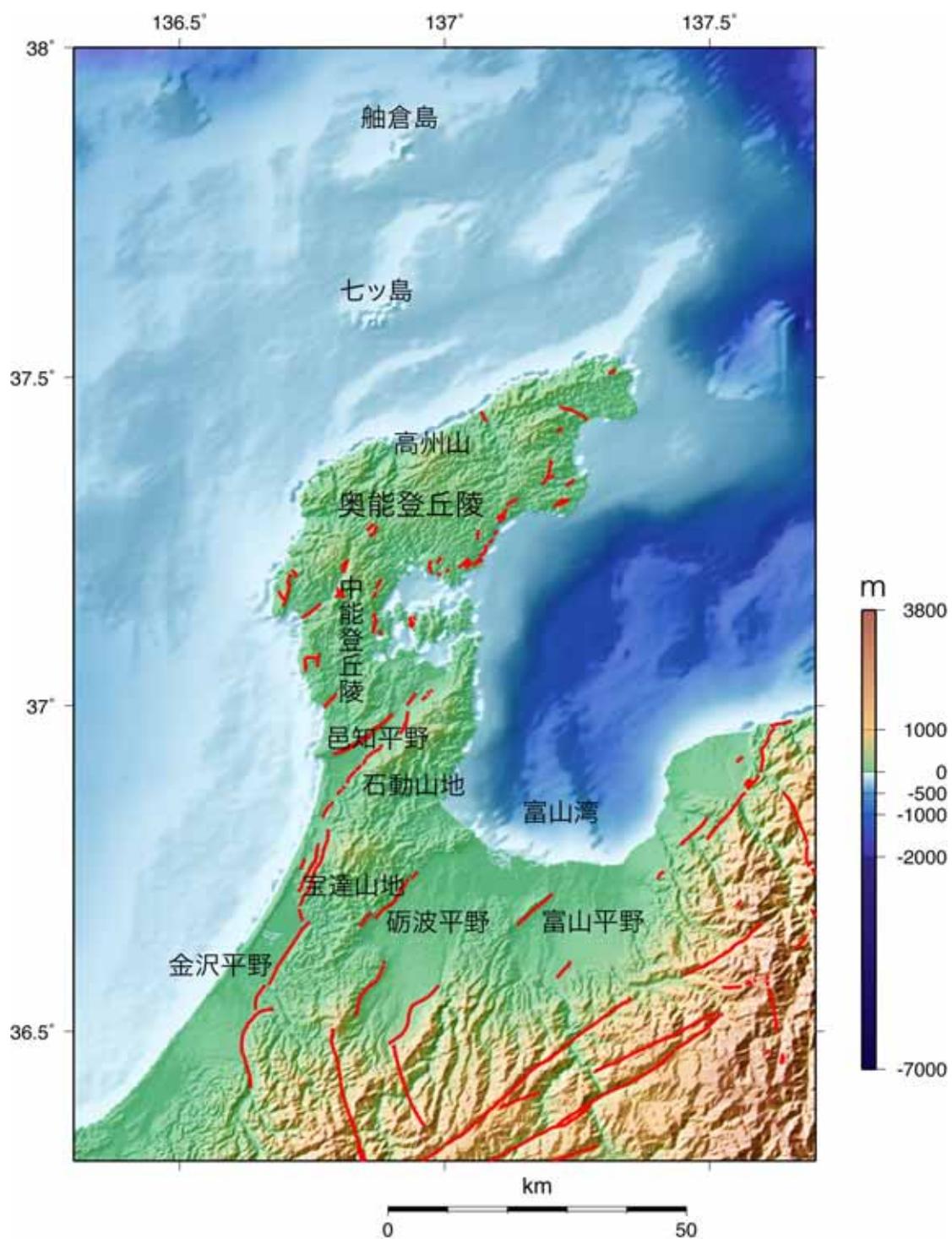


図 1.1.1-2
能登半島周辺の地形．赤線は陸域の活断層²⁾を表す．

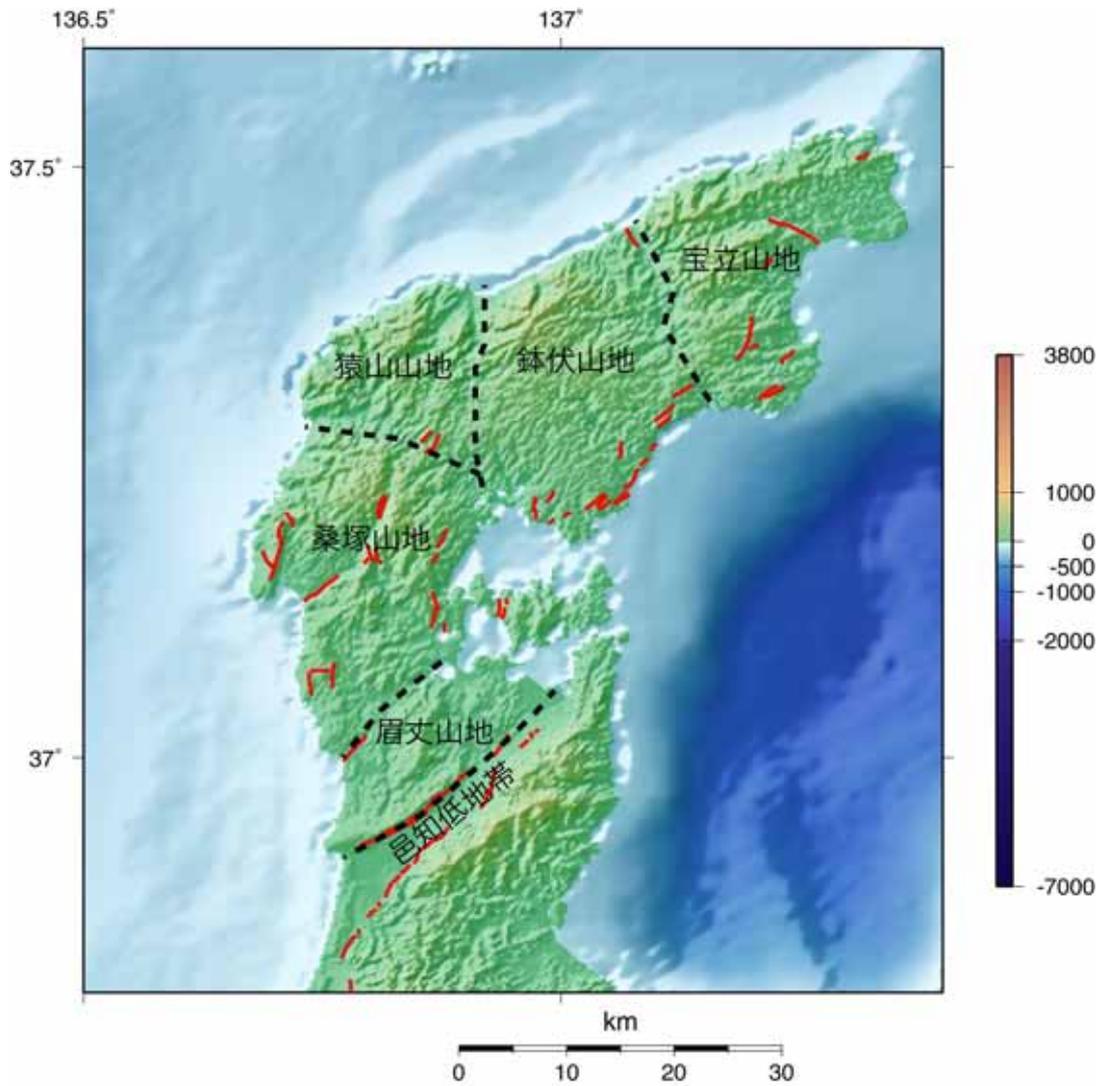


図 1.1.1-3 旧汀線高度による能登半島の山地(地塊)境界(破線)²⁰⁾. 赤線は陸域の活断層²⁾を表す.

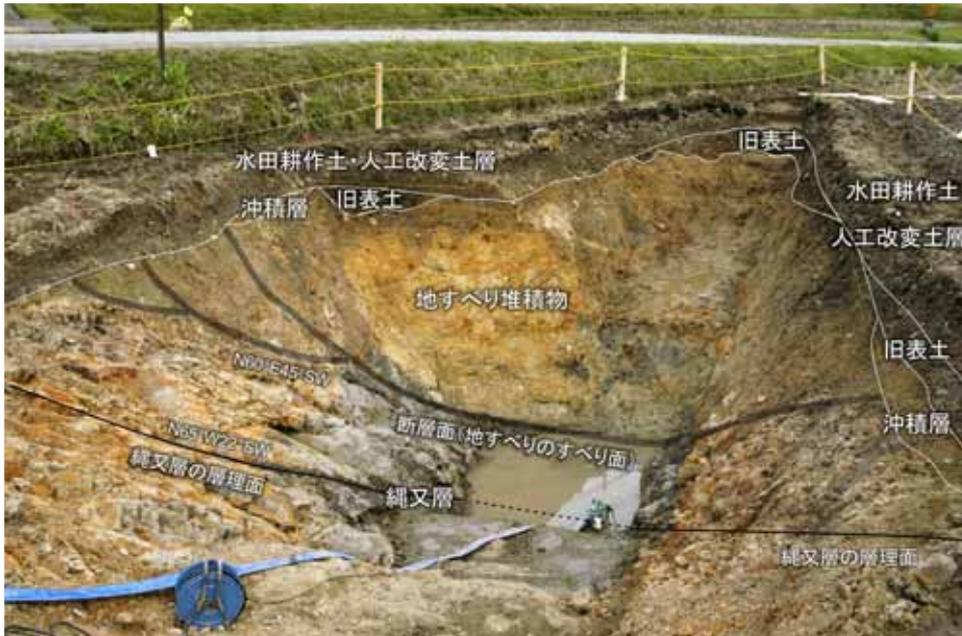


写真 1.1.1-1

輪島市門前町中野屋地区のトレンチ写真²⁵⁾。人工改変土層に不整合に覆われる地山の縄又層と地すべり堆積物とを境する断層破碎帯は正断層で、3つのリストラク正断層からなり、上盤側の地すべり堆積物の重力滑動によって形成されたことを示している。



写真 1.1.1-2

各地層と断層，断層と不整合，液状化と地表の雁行割れ目との関係²⁵⁾。断層面は不整合面に切れ、能登半島地震では動いていないことが確認できる。

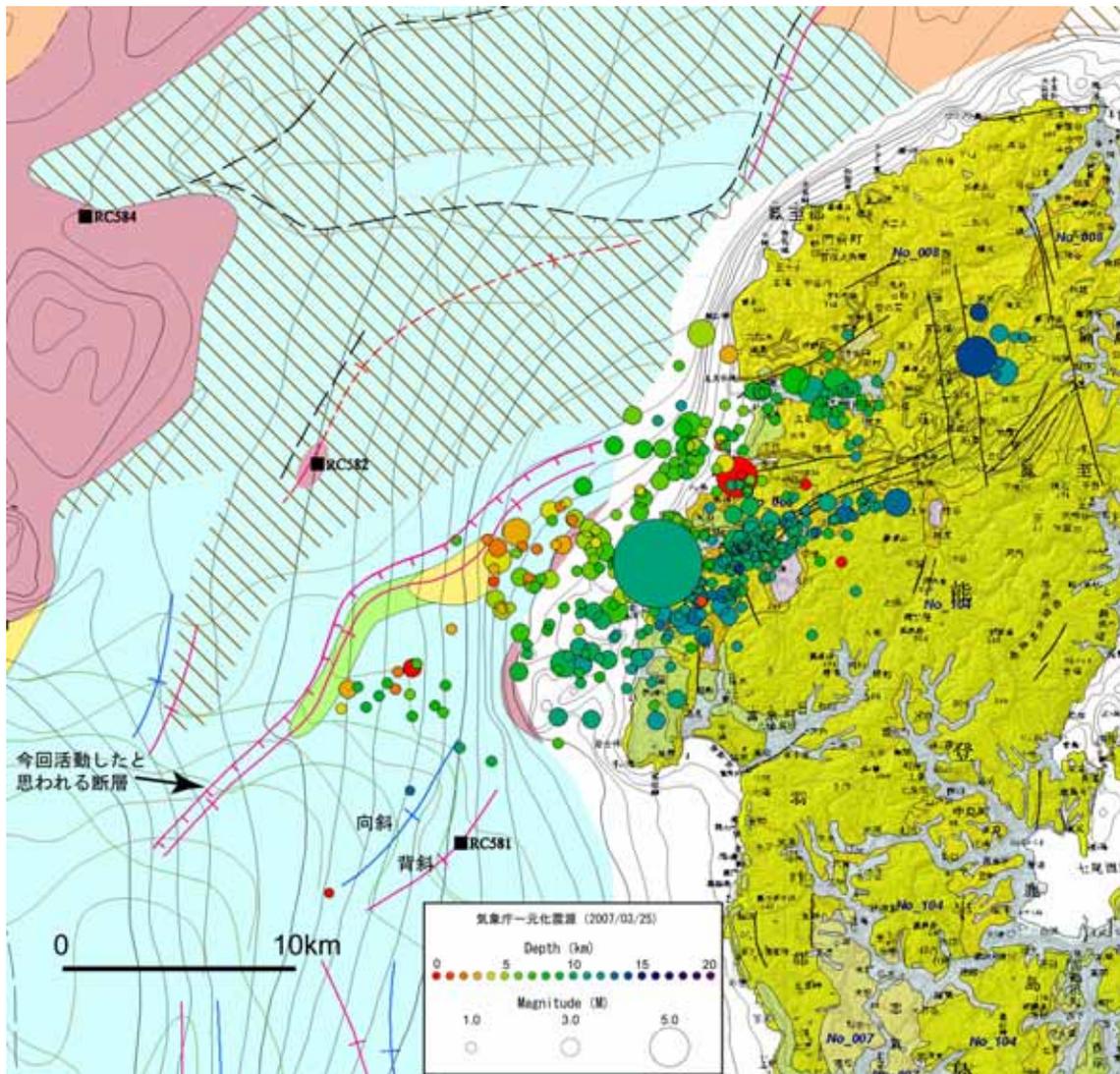


図 1.1.1-4

産業技術総合研究所地質調査総合センターによる能登半島および西方海域の地質図²⁶⁾(承認番号: 第 63500-A-20070806-001 号)。

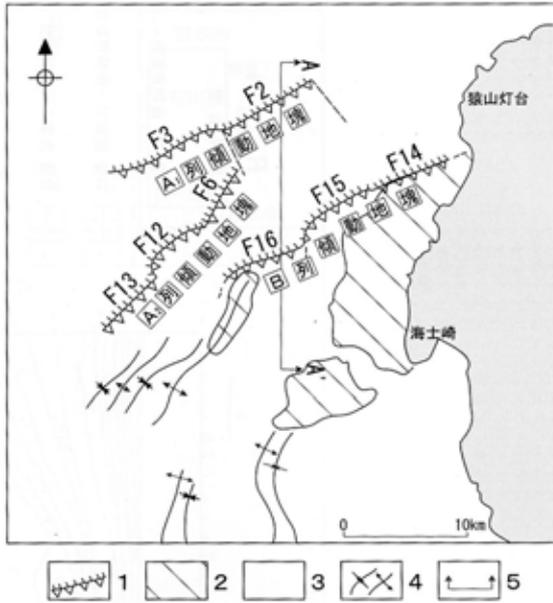


図 8 傾動地塊山地の分布. 1:傾動地塊山地縁を区画する高角度逆断層, 2:C層以下の地層が海底面ないしA層直下に分布する範囲, 3:B層分布域, 4:褶曲, 5:図7の地質断面線.

図 1.1.1-5

能登半島西方海域における傾動地塊山地と活断層分布²⁸⁾.

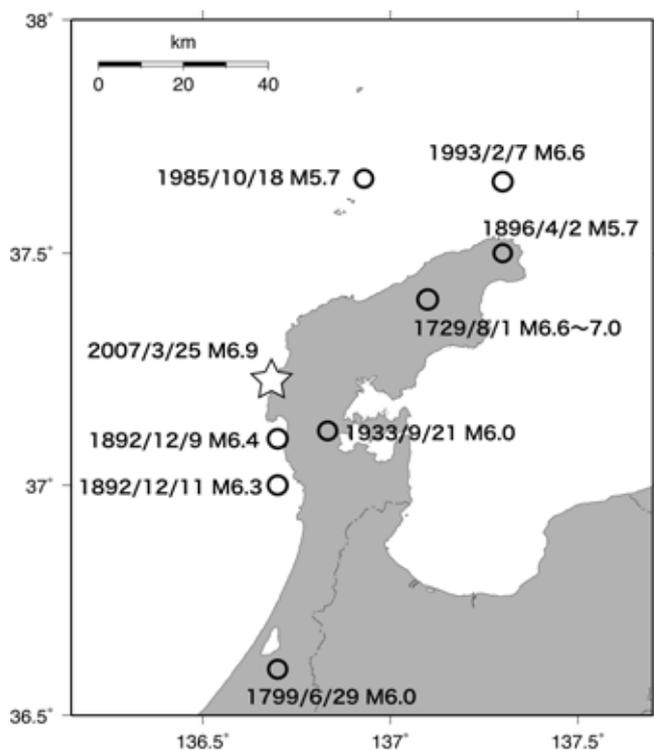


図 1.1.2-1
能登半島周辺で発生した被害地震の分布．震央位置は宇佐美³¹⁾および気象庁震源データによる．

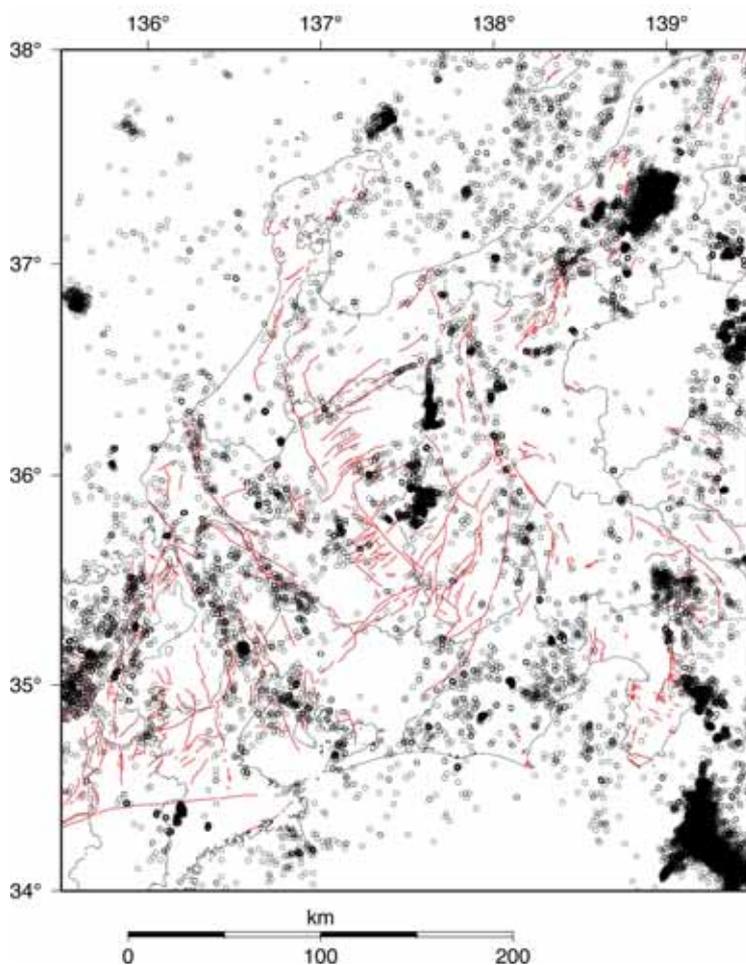


図 1.1.2-2
1998 年から 2004 年の中部日本における深さ 30km 以浅かつマグニチュード(M)1.5 以上の地震活動．震源データは気象庁一元化データによる．赤線は陸域の活断層を示す²⁾．

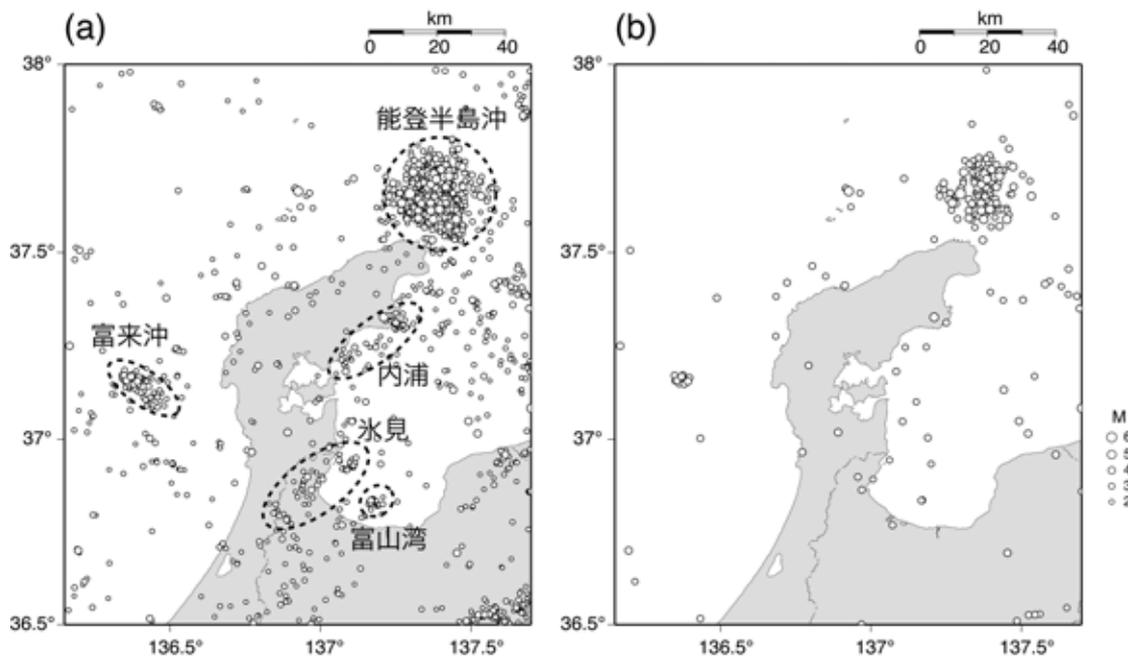


図 1.1.2-3

能登半島周辺における 1980 年～2006 年，深さ 30km 以浅の気象庁震源データによる地震活動³³⁾。(a) マグニチュード(M) 1.5 以上，(b) マグニチュード(M) 3.0 以上。能登半島周辺で地震活動が比較的高い 5 つの領域を破線で囲っている。

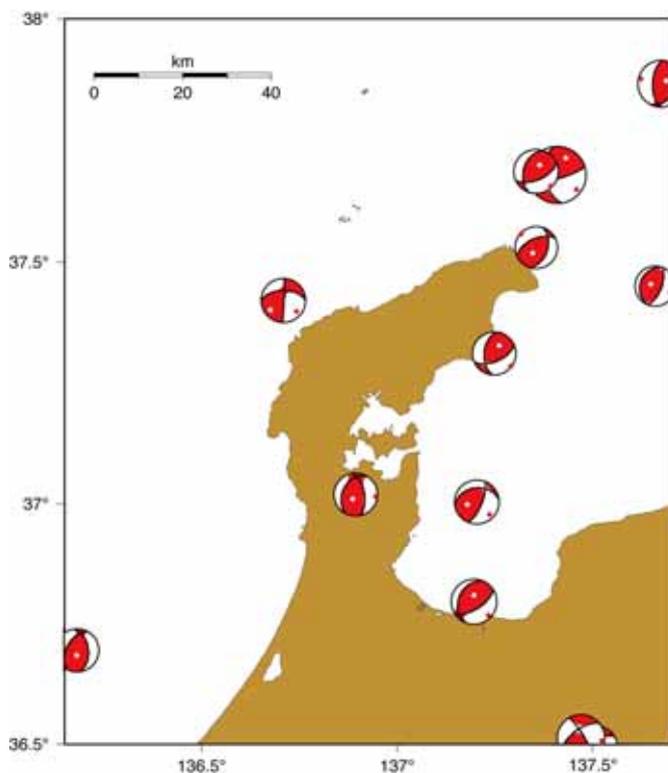


図 1.1.2-4

F-net データ³⁷⁾による能登半島周辺における 1997 年から 2006 年の間に発生した深さ 30km 以浅の地震のモーメントテンソル解(下半球投影)の分布³³⁾。

1. 2. 地震のメカニズム

能登半島地震の本震の発震機構解は西北西-東南東方向に主圧力軸をもつ右横ずれを伴う逆断層型であることが気象庁や防災科学技術研究所などにより長周期地震波の解析結果から報告されている^{1), 2)}。余震分布からほぼ北東-南西方向に走向をもつ南東落ちで傾斜する節面が断層面であることが示され¹⁾、精密な余震分布³⁾と海底に確認されていた活断層^{4), 5)}との空間分布の対応から、海底断層の深部延長で能登半島地震が発生したと考えられている。能登半島地震では、使用できる観測点に偏りがあることから、遠地実体波を用いた震源過程の解析結果の信頼性はあまり高くない。測地学的データによる断層面上のすべり分布の解析^{6), 7)}や近地強震波形を用いた震源過程の解析⁸⁾から、震源直上の浅部にすべり量が大きな領域(アスペリティ)があることが報告されている。海岸の隆起量から推定された断層モデルでは他の結果と比べると断層の長さがやや短い^{9), 10)}が、これは上記のアスペリティにより海岸隆起量をほぼ説明できることを反映していると考えられる。また、断層モデルからも能登半島地震の震源断層は片川・ほか⁴⁾で報告されている海底の活断層に対応し、陸域にはあまり延長していないことが示されている^{8), 10)}。震源域周辺の不均質構造に関する研究からは、余震は低速度領域と高速度領域の速度境界近傍に分布することや本震震源下部の領域における水の存在が示唆されている^{11), 12)}。1.1.1項で述べた地塊構造¹³⁾は詳細な重力異常図でも認められ¹⁴⁾、上記の断層モデルや余震分布との比較から、能登半島地震の震源断層は陸域においては桑塚地塊内に限定されると考えられる^{10), 14)}。

本節では以下に能登半島地震の余震活動(1.2.1項)や発震機構(1.2.2項)、断層モデル(震源過程)(1.2.3項、1.2.4項)、震源域周辺の地下構造(1.2.5項)について報告する。

1. 2. 1 余震活動

能登半島地震の震源域周辺では本震発生後引き続き活発な余震活動が起こっている。図1.2.1-1に気象庁一元化震源データによる本震後1日間の余震分布と断面図を示す。余震域は北東-南西方向に長辺をもつほぼ矩形の領域で発生しており、その分布は海域と陸域にわたっている。北西から南東にいくにつれて余震の震源の深さは深くなり、A, B, C領域では深さ10kmまでと浅く、D, E, F, Gでは深さ12~14kmまでと深くなっている。また、Hの領域では深さ12~14kmに孤立して余震が発生している。断面図から余震は南東側に傾斜する面で発生していることが分かる。余震域は余震の並びの方向やギャップの存在から本震の震源を含む中央部(断面D, E, F, G)とその北東部(断面H)、南西部(断面A, B)の3つの領域に分けることができる。2007年3月25日18時11分には余震域の北東端でM5.3(最大震度5弱)、2007年3月26日7時16分には余震域の南西端でM5.3(最大震度4)の最大余震(2007年7月14日現在)が発生している。

全国の大学および研究機関で構成された2007年能登半島地震合同余震観測グループによる余震観測が能登半島地震発生直後から行われている³⁾。2007年能登半島地震合同余震観測グループにより設置された地震観測点の分布を図1.2.1-2に示す。陸上では余震域の直上で平均的な観測点観測が2~3kmと稠密な観測点分布となっている。そのうち14点のオフライン観測点のデータとインタ

ーネットによるテレメータ観測点2点および周辺のテレメータ観測点16点のデータを用いてなされた3月25日22時40分から3月29日10時50分までの480個の余震の震源決定（緊急震源）結果を図1.2.1-3に示す³⁾。なお、震源決定には Ito and Wada¹⁵⁾の速度構造が用いられており、走時残差の平均値を観測点補正值としている。緊急震源と一元化震源との比較から、緊急震源の方が気象庁一元化震源よりも平均で約3.1km浅くなり、海域の震源は陸域に近づく方向に決められている。震源分布から推定される断層面の深さ0kmの等深度線が片川・ほか⁴⁾や産業技術総合研究所地質調査総合センター⁵⁾により報告されている断層や背斜軸と良く一致していることが分かる。緊急震源の分布を鉛直断面で見ると、南東落ちで傾斜する面や地表付近で上記の活構造と一致することが明瞭に表れている。本震震源が含まれる断面eを見ると、最下部で余震分布が鉛直方向に変化していることが分かる。片川・ほか⁴⁾のF14・F15断層や産業技術総合研究所地質調査総合センター⁵⁾による断層は南東側隆起の高角逆断層であり、上記の余震分布と走向、傾斜ともに整合的である。このような特徴から、これらの断層の深部延長で能登半島地震が発生したと考えられている。ただし、余震域南西部の地震については陸上の観測点から離れているために、系統的に震源の深さが変化している可能性があり、今後海底地震計の記録を用いた震源決定結果で検討する必要がある。

能登半島地震に伴う地震活動は本震-余震型で推移しており、気象庁によると M4 以上の余震の積算数は6月18日現在、1993年能登半島沖地震、2000年鳥取県西部地震、2005年福岡県西方沖の地震より多いが、1995年兵庫県南部地震よりは少なく、2004年新潟県中越地震と比べると約1/3である¹⁾（図1.2.1-4）。

図1.2.1-5に気象庁一元化震源データによる余震分布の時間変化を示す。なお、地震直後は検知能力が低くなっていること（小さな地震は検知されていないこと）に注意を要する。なお、能登半島で起こる微小地震の下限の深さは概ね10~14kmであり^{16), 17)}、能登半島地震の余震の深さの下限も12~13kmであるため、15kmより浅い地震のみを図示している。図1.2.1-5を見ると、時間が経過するにつれて余震域が拡大していることが分かる。本震後1時間では余震域は平面図上では、長さ約20km、幅10kmの矩形領域で近似できる。本震後6時間では余震域は小さなギャップを挟んで南西に拡大し全体では長さ約25kmとなるが、余震の集中域は長さ約20kmの範囲である。本震後12時間では、余震域は明瞭なギャップを挟んで北東側に拡大し、余震域の全長は約30kmとなり、北東部では最大余震の1つが発生している。本震後1日間ではもう1つの最大余震が発生した南西端に余震域は少し延びており、余震域の全体の長さは約35kmである。本震後7日間では余震域の中央部の北側と南西部の南側でも地震が起こり始め、1ヶ月間では微小な地震が多いものの、中央部の北側にさらに余震が広がっていることが分かる。この余震の時空間分布の特徴から、平松¹⁸⁾は中央部が本震の震源断層であると考えている。

Toda¹⁹⁾は海岸隆起を説明する断層モデルを用いて周辺の逆断層（走向50度、傾斜角55度、すべり角115度、計算深度10km、有効摩擦係数0.4）にかかる静的応力変化（クーロン応力変化）を計算し、これらの余震の拡大域は本震の発生により地震発生を促進させる応力変化が生じた領域に対応していることを示している（図1.2.1-6）。2007年6月22日3時34分には能登半島地震

の震源域から 30km ほど離れた羽咋沖で M4.6 の地震が発生し、羽咋市で震度 4 を観測した。この地震について能登半島地震による静的応力変化を計算すると、断層運動を促進する領域に対応しており、能登半島地震の広義の余震であると考えられる。

能登半島地震による静的応力変化が周辺の活断層に及ぼす影響についても Toda¹⁹⁾により報告されている(図 1.2.1-7)。周辺活断層の断層面の傾斜角については、55 度から 65 度としている。能登半島地震による邑知潟断層帯以南の陸上活断層への影響は活動を促進させるものであるが、その大きさは大気圧の 1/10 以下である。それに対し、能登半島地震の震源断層の西側延長部には大きな応力変化があり、前述の余震活動の活発化と関連している。また、その南に南北に延びる 2 条の海底活断層にも活動を促進させる応力変化があったと推定している。

1. 2. 2 発震機構

(1) 本震の発震機構解

能登半島地震の発震機構については、P 波初動の押し引き分布を用いた P 波初動解や長周期地震波の解析によるモーメントテンソル解が気象庁、防災科学技術研究所、U.S. Geological Survey (USGS)、Harvard 大学などから報告されている。表 1.2.2-1 に各機関で得られているモーメントテンソル解の best double couple の値を示す。どの機関の結果でもモーメントテンソル解はほぼ逆断層成分が卓越するメカニズムとなっている。地震モーメントの値についても、USGS は 9.1×10^{18} Nm (モーメントマグニチュード (Mw) 6.6)、気象庁は 1.13×10^{19} Nm (Mw 6.6)、防災科学技術研究所は 1.36×10^{19} Nm (Mw 6.7)、Harvard 大学は 1.38×10^{19} Nm (Mw 6.7) とほぼ同じ結果になっている。余震分布から判断すると、北東-南西方向を走向として南東落ちで傾斜する節面が断層面であることが分かる。

P 波初動解とモーメントテンソル解に注目すると、これらは少々異なっていることが見てとれる。気象庁¹⁾によると P 波初動解は右横ずれ成分に富み、震源断層に対応する節面の傾斜も 79 度と鉛直に近いのに対し、モーメントテンソル解では逆断層成分に富んでおり、震源断層に対応する節面の傾斜は 50 度と緩やかになっている(図 1.2.2-1)。同じ傾向は防災科学技術研究所²⁾による P 波初動解とモーメントテンソル解でも確認できる。

このような P 波初動解とモーメントテンソル解の差異は断層面でのずれが始まった際(初期破壊)のメカニズムと断層面上での大きなずれ(主破壊)の領域でのメカニズムの差異を表していると考えられる。図 1.2.1-3 に見られるように本震震源位置下部では余震が鉛直に近い分布をしている。東京大学地震研究所²⁰⁾は、この鉛直な余震分布と地震波形上で確認されている初期フェイズの解析結果から、本震震源位置下部の鉛直の断層面で右横ずれのすべりが起こり、そのすべりによる応力変化により、上部の主破壊を起こした断層面でのすべりを誘発した可能性があるとして報告している。

(2) 余震の発震機構解

図 1.2.2-2 に気象庁¹⁾により報告されている最大余震のモーメントテンソル解を示す。3月25日18時11分に発生した北東端の最大余震は逆断層型のメカニズムであり、3月26日7時16分に発生した南西端の最大余震は横ずれ型のメカニズムである。図 1.2.2-3 は防災科学技術研究所 F-net Project による広帯域地震波形を用いたメカニズム解析²¹⁾の結果を用いた3月31日までの余震のモーメントテンソル解を示している。なお、信頼性が高い解を選ぶために品質が85以上の解に限定している。全体的に主圧力軸は東西から北西—南東方向でそろっており、逆断層型または横ずれ型のメカニズムが多い。余震分布の方向が変化する余震域南西部で横ずれ型のメカニズム、余震域の中央部と北東部では逆断層型のメカニズムが多い分布をしている。これらのメカニズムの空間的な差異と 1.2.1 項で述べた余震分布の走向変化やギャップの存在から、本震の震源断層に相当するのは余震域の中央部であり、北東部と南西部は本震の断層とは異なるセグメントである可能性が考えられる¹⁸⁾。

1.2.3 測地学的断層モデル

(1) GEONET (GPS データ) に基づく断層モデル

1.1.節で述べたように、能登半島地震に伴う地殻変動はGPSや「だいち」、潮間帯生物の分布を用いて測定されており、その結果を用いて断層モデルが推定されている。

国土地理院²²⁾は GEONET で観測された能登半島地震による地殻変動データに基づく断層モデルを報告している。矩形断層を仮定して解析を行い、断層の走向は55度、断層の大きさは長さ21.2km、幅13.9kmで、南東落ちで傾斜する(傾斜角63度)右横ずれを含む逆断層(すべり角137度)であることを明らかにした(図 1.2.3-1)。この断層面の形状は余震分布や産業技術総合研究所地質調査総合センター⁵⁾の地質図に記載されている海域の南東落ちで傾斜する断層と整合的である。上端部の深さは1.2km、すべり量は1.65mである。剛性率として30GPaを仮定すると、上記の断層面の大きさとすべり量から求められる地震モーメントは $1.5 \times 10^{19} \text{Nm}$ (Mw 6.7)である。断層面は海域と陸域の両方にわたっているが、その上端で陸域にかかっている部分はわずかである。図 1.2.3-2 と図 1.2.3-3 に示すように、GPS で観測された能登半島地震に伴う地殻変動はこの断層モデルにより良く再現されている。

(2) 海岸隆起量に基づく断層モデル

産業技術総合研究所活断層研究センターは地震直後の3月26日から4月にわたり主に輪島市から志賀町にかけての海岸を調査し、各港湾における地震後の海面とカキ等の分布上限高度との差を計測し、検潮所および電子基準点がある輪島港付近の計測値と比較することで、地震による地殻の上下変位を検出した⁹⁾。能登半島西岸の42地点および東岸の3地点で上下変位を測定し、輪島市門前町鹿磯付近から志賀町風戸付近に至る約20km区間の海岸線で最大約40cmの隆起を確認した(図 1.2.3-4)。隆起は門前町剣地付近で最大となり、これより北側では急激に、南側では緩やかに隆起量は小さくなり、非対称の背斜状のパターンを示している。隆起域の北側の深見から

皆月にかけての海岸では 6cm の沈降を報告している。片川・ほか⁴⁾の F14 断層の位置や気象庁の余震分布を参考に断層面の長さや幅を決め、USGS のモーメントテンソル解の走向、傾斜角、すべり角を採用し、断層面上端の深さとすべり量を海岸隆起量からフォワードモデルにより推定した。図 1.2.3-5 に海岸線の上下変位量の分布を説明する震源断層モデルを示す。この解析による断層モデルのパラメータは長さ 14.5km、幅 12.5km、上西端の位置東経 136.61 度、北緯 37.23 度、上端の深さ 2km、走向 58 度、傾斜角 60 度、すべり角 117 度、すべり量 1.2m である⁹⁾。剛性率を 30GPa とすると地震モーメントは 6.5×10^{18} Nm (Mw 6.5) となり、断層面の長さが短めに設定されていることもあって他の結果と比べると地震モーメントはやや小さめの値となっている。

海岸の隆起・沈降量の調査は金沢大学によっても産業技術総合研究所活断層研究センターとは独立になされている²³⁾。以下にその結果を詳しく述べる。金沢大学では4月から5月にかけて能登半島北岸および西岸の珠洲市・輪島市沿岸から志賀町に至る約60kmの範囲の海岸線29地点で隆起量調査を行った(図1.2.3-6)。さらに、被害が少なかった地域では、住民の聞き取り調査も併せて実施した。潮間帯上限付近に生息する藻類やカキ類および潮下帯上限付近に生息するアラメやホンダワラ、および潮上帯下限付近に分布する地衣類など、潮間帯、潮下帯、および潮上帯生物の海水面からの比高分布を測定した。測定された比高は珠洲市長橋町において観測された潮位を基準として、東京湾平均海水面からの比高(標高)を算出し、地震による隆起量がほぼゼロであると考えられる高屋港と狼煙港におけるカキ類の分布上限の標高の平均値との差を求め隆起量とした(正の値は隆起量、負の値は沈降量)(図1.2.3-7 (a))。

調査地点の南端近い志賀町赤住、および北端近い皆月での沈降量と隆起量は、それぞれ-5cm、および 1cm であった。このことから、断層運動に伴う地盤変動の南限および北限はこれらの地域付近であると考えられる。一方、調査地域の中部に位置する門前町赤神付近での隆起量は 43cm と観測地点の中で最大となった。赤住から赤神までの地域では連続的で緩やかな地盤の隆起が観察された。これに対し、赤神以北では鹿磯付近で急激な隆起量の減少が見られ、鹿磯漁港から深見港間でほぼゼロとなり、門前町深見では隆起量が負に転じた(図 1.2.3-7 (a))。これらのことから、赤神付近に軸を持ち北に傾倒したドーム状非対称背斜状の変動パターンが考えられる。この変動パターンは国土地理院²⁴⁾による水準測量によっても確認されている。なお、本調査で隆起量の最大値を記録した赤神付近から笹波付近までの隆起量が 20cm を超える地域の住民は、海岸線の後退を認識していたが、これより南方の隆起量が 10cm 以下程度の地域の住民は地殻の変動に関する認識は皆無であった。

Hiramatsu et al.¹⁰⁾は上記の海岸隆起量と GEONET による能登半島周辺域の 16 地点の地殻変動データ(図 1.2.3-6; 図 1.2.3-7(b)(c))を用いて断層モデルの推定を行った。断層モデルの推定の際には、半無限均質弾性体中の矩形断層および断層面上での一様なすべりを仮定し、断層位置、断層面の大きさ(幅と長さ)、すべり方向、すべり量をパラメータとした。推定された断層モデルの走向は 58 度、傾斜角は 53 度と余震分布と一致しており、すべり角は 139 度と右横ずれを伴う逆断層型の断層運動を示し、地震波の解析から得られた発震機構解とも一致する。断層面上

端の深さは 1.5km、南西上端の位置は東経 136.59 度、北緯 37.21 度である。断層面の大きさは 18.6km×14.5km で、すべり量は 1.3m である。剛性率を 30GPa とすると、地震モーメントは 1.1×10^{19} Nm (Mw6.6) であり、モーメントテンソル解で得られている値とも一致している。陸域にかかっている断層面上端はわずかであり、陸域で明瞭な地表地震断層が確認されていないことと調和的である。この断層モデルから計算される地殻変動量は観測された海岸線の隆起量や GPS による変位量と良く一致する (図 1.2.3-7)。

図 1.2.3-8 に推定された断層モデルと気象庁による本震後 1 日間の余震分布、活断層研究会²⁵⁾、片川・ほか⁴⁾、産業技術総合研究所地質調査総合センター^{5), 26)}により報告されている活断層と地質断層の分布を示す。なお、片川・ほか⁴⁾の F8～F10 は活断層研究会²⁵⁾の活断層の定義を満たさないため削除されている。前述のように、余震分布のギャップや走向の変化から、余震域は 3 つの領域、北東、中央、南西に分けることができる。断層モデルは中央の領域に対応しており、中央領域は本震直後から余震活動が活発であることから、この領域が能登半島地震の震源断層であると考えられる。したがって、片川・ほか⁴⁾の F14 と F15 が震源断層に相当すると考えられる。断層モデルは陸域にもわずかにかかっており、F14 の北東延長上には地質断層がある。

余震域の周辺には桑塚地塊と猿山地塊の 2 つの地塊構造がある^{27), 13)}。桑塚地塊はさらに 3 つの地塊に細分されるが、推定された断層モデルと余震分布から判断すると、本震の破壊は桑塚地塊西部の IVb 地塊および IVa 地塊で発生したと考えられる。片川・ほか⁴⁾の F14～F16 は南東側が隆起する B 列傾動地塊山地の北西縁をなす断層であり、F14 地塊と F15 地塊は F16 地塊に対しても隆起している。この B 列傾動地塊は地質構造的に陸域の傾動地塊山地である桑塚地塊をはじめとした奥能登丘陵に対応することが考えられる⁴⁾。実際、震源断層と対応する IVb 地塊の海成段丘面 M1 の高度は北端の剣地で最も高く 59m、南にいくにつれ緩やかに低くなり南端の富来で 19m となる。ここで述べた特徴は、能登半島西海岸での隆起量調査結果や断層モデルから予測される隆起パターン (図 1.2.3-9) と良く一致する。Hiramatsu et al.¹⁰⁾では、能登半島地震のような地震の繰り返しが上記の地塊構造や海成段丘の高度分布の形成に部分的に寄与したと考えている。

(3) 干渉合成開口レーダー (SAR) データに基づく断層モデル

能登半島地震では陸域観測技術衛星「だいち」(宇宙航空研究開発機構)が 2 月 23 日と 4 月 10 日に観測した合成開口レーダー (PALSAR) データを用いた干渉合成開口レーダー (SAR) による解析結果から、震源域周辺の陸域における地殻変動分布が求められている^{28), 6)} (図 1.2.3-10)。

国土地理院の解析結果によると、最も隆起量の大きな場所は、輪島市門前町付近であり、およそ 35cm の隆起が見られる。これまでの GPS 連続観測と干渉 SAR の解析結果を総合すると、震源断層の北東端の位置は GPS データのみから求められたものと比べて水平方向に南に約 1 km の場所に推定されている。矩形断層の上端の深さ、走向、傾斜角および大きさ (幅 20km×長さ 34.5km) を拘束し、断層面上のすべり分布を推定した結果、すべりは海域の浅い部分に集中し、3m を超えるすべりがあったことを報告している⁶⁾ (図 1.2.3-11)。この断層モデルにより干渉 SAR 解析結果

が良く再現されていることが分かる(図 1.2.3-10)。また、この観測結果は国土地理院²⁴⁾による水準測量の結果とも整合的である。図 1.2.3-12 に水準測量の路線、図 1.2.3-13 に水準測量によって得られた上下変動を示す。

また、京都大学防災研究所と防災科学技術研究所は共同で「だいち」の合成開口レーダーの SAR 干渉解析を行い、地殻変動から推定した断層モデルを発表している。Fukushima et al.⁷⁾は余震分布を利用して断層面の走向と位置を拘束し、長さ40km、幅 24kmで2×2kmに分割した小領域におけるそれぞれのすべりベクトルと、断層面の傾斜角・すべり領域の上端の深さを推定した(図 1.2.3-14)。その際GEONETによる地殻変動データも併用している。最大すべり量が推定された領域におけるすべり角は、115度であり、F-netや気象庁によるモーメントテンソル解^{2), 1)}と調和的である。1mを超える大きなすべり量が推定された領域は、震源の直上から南東方向かつ浅部に向かって伸びており、震源直上で最大のすべり量(1.4m)が得られている。図1.2.3-14の青丸は、4月10日までに発生した余震の震源を断層面に投影したものであり、余震はすべり量の大きな領域およびその周辺で概ね発生しているように見える⁷⁾。

1. 2. 4 地震学的断層モデル

(1) 遠地実体波の解析による震源過程

近年では、大地震の発生後速やかに、IRIS-DMC(<http://www.iris.edu/>)において公開されている広帯域地震波形記録を取得し、遠地実体波を用いた震源過程の解析が行われている。能登半島地震でも気象庁や筑波大学、地震研などにより解析が行われている。しかし、南半球の観測点では他の地震の波形と重なっているために、使用できる観測点に偏りが生じ、遠地実体波を使用して推定されたすべり量分布の信頼性はあまり高くないことが指摘されている^{29), 30)}。

気象庁²⁹⁾は余震分布などから走向が 60 度、南東落ちで傾斜する傾斜角 60 度の 1 枚の矩形の断層面を想定し、震源過程の解析を行っている。その結果からは、本震の震源の付近ですべり量が大きく、本震から 1 日以内に発生したマグニチュード 3.0 以上の余震もその付近に多く発生していることが分かる(図 1.2.4-1)。

八木³⁰⁾も暫定的な結果ではあるが、遠地実体波を用いて地震時の断層面上のすべり分布を求めている。図 1.2.4-2 に解析に使用した観測点の分布を示す。解析結果を図 1.2.4-3 に示す。走向、傾斜角、すべり角はそれぞれ、47 度、51 度、115 度、地震モーメントは 1.4×10^{19} Nm (Mw 6.7)、西北西-東南東方向に圧力軸を持つ横ずれ成分を含む逆断層型の地震で、破壊は深さ約 8km から始まり、北東方向かつ地表に向かって約 20km 伝搬している。最大すべり量は約 1.6m で、浅部でのすべり量が大きい。破壊継続時間は約 14 秒である。すべり分布の地表への投影図を図 1.2.4-4 に示す。

山中・ほか³¹⁾の解析結果もほぼ同様に、横ずれ成分を含む逆断層型のメカニズムを示している(図 1.2.4-5)。走向、傾斜角、すべり角はそれぞれ、60 度、72 度、120 度、破壊継続時間は約 10 秒、断層面積は 20km×10km、最大すべり量は 3m、地震モーメントは 1.44×10^{19} Nm (Mw 6.7)

である。波形の合い具合や余震分布から断層面は北東-南西走向の立った面であると報告している。すべり分布の地表への投影図を図 1.2.4-6 に示す。

(2) 近地強震波形の解析による震源過程

遠地実体波を用いた解析では破壊過程の詳細を知ることが難しい能登半島地震ではあるが、能登半島周辺の近地強震波形を用いた解析からは詳細な破壊過程が産業技術総合研究所や防災科学技術研究所などによって推定されている。

Horikawa⁸⁾は防災科学技術研究所のK-NET及びKiK-netで収録された強震波形を用いて震源過程の解析を行った。仮定した速度構造が実際のものとずれていることによる影響を小さくするため、震央距離が小さい(70 km 以下)観測点のみを使用している(図 1.2.4-7)。加速度の原記録に 0.1-1 Hz のバンドパスフィルターを通した後、数値積分を 2 度行い変位波形とし、P 波の立ち上がりから 30 秒間の波形を解析用のデータとした。京都大学防災研究所地震予知研究センターの北陸地震観測所において微小地震の震源決定に使用している P 波速度構造を元にして地質構造³²⁾や密度構造³³⁾、ボーリングデータを参考に観測点により異なる水平成層構造を仮定し、理論波形を合成している。S 波速度は $V_p/V_s=1.73$ を仮定している。解析には断層を小断層(1km×1km)に分割し、各小断層のすべり量と破壊開始時刻を同時に求める非線形波形インバージョン法を使用している。破壊開始点は気象庁の一元化震源による震源位置である。本震発生後 1 時間以内の余震分布から、断層の長さを 22 km、幅を 20 km と設定している。断層面上端の深さは約 0.7km である。発震機構は、USGS と防災科学技術研究所の F-Net のモーメントテンソル解を参考に、余震分布と傾斜方向が調和的な節面を採用した(図 1.2.4-8)。走向と傾斜角はそれぞれ 58 度、60 度であり、すべり角は断層面上で一様に 135 度としている。

Horikawa⁸⁾により得られたすべり分布および破壊開始時刻の分布、モーメント解放率を図 1.2.4-9 に示す。平均的なすべり量は 0.77m、最大すべり量は 2.7m、地震モーメントは 1.1×10^{19} Nm (Mw6.6)である。図 1.2.4-9 (a)に星印で示した破壊開始点付近から浅部に広がる大きなアスペリティがあり、破壊開始点の北東深部にもすべり量と空間的な広がりが小さいアスペリティが推定されている。大アスペリティでの応力降下量は 16MPa、小アスペリティでの応力降下量は 12MPa 程度である。Horikawa⁸⁾では、この 2 つのアスペリティの間はすべり量が非常に小さく、負の応力降下量を示すため、セグメント境界が存在している可能性を考えている。また、この 2 つのアスペリティの間では破壊伝播速度が遅いことが見て取れ(図 1.2.4-9 (b))、この領域は破壊強度が大きいバリアーであったと考えている。すべり分布を地図上に表示したものを図 1.2.4-10 に示す。大アスペリティは海域に、小アスペリティは輪島市門前町の南東付近に位置する。また、陸側にあたる浅部では、大きなすべりが生じておらず、地表調査で地震断層による顕著な変状が見つかっていないことと調和的である。能登半島地震の震源断層に対応する断層として片川・ほか⁴⁾の F14 と F15 があるが、大アスペリティの西端は片川・ほか⁴⁾の F15 と F16 断層の境界付近に位置する。Horikawa⁸⁾は、この大アスペリティが F14 と F15 の深部延長に対応すると考え、大アスペ

リティの東端は海岸付近に位置することから、F14 は陸域には延びないと推察している。図 1.2.4.2-9 (c)のモーメント解放率の時刻歴を見ると、破壊は 6 秒ほどで終了していることが分かる。モーメント解放の最初で最大のピークは 2 秒付近に見られる。5 秒付近で再度ピークが見られるのは、小さい方のアスペリティの破壊に伴うピークである。観測された波形と合成波形との比較を図 1.2.4-11 に示す。ISK006 や CCB で見られるように総じて大アスペリティの理論波形に対する寄与は大きい。一方、小アスペリティからの距離が近い断層面東側の観測点では、ISK005 と ISK004 で 2 つの孤立的な波が見られるように、小アスペリティの寄与が大きくなる⁸⁾。

暫定的な結果ではあるが青井・関口³⁴⁾によっても、K-NETとKiK-netの断層近傍の9観測点の強震動波形記録を用いた震源過程の解析結果が報告されている。データは加速度強震波形に0.1から1.0Hzのバンドパスフィルターをかけ、積分することにより得られた速度波形のS波部分11秒間(S波到達時刻の1秒前から10秒後まで)である。インバージョンに使用する断層面は、メカニズムはF-netのモーメントテンソル解、破壊開始点はHi-netの再検測による震源位置(北緯37.24度、東経136.65度、深さ11km)、大きさは余震分布の広がりを参考に長さ36km、幅24kmとしている(図1.2.4-12)。図1.2.4-13に青井・関口³⁴⁾によって推定されたすべり分布を、図1.2.4-14に観測波形と合成波形の比較を示す。断層面全体での地震モーメントは 1.06×10^{19} Nm (M_w 6.6)であり、モーメントテンソル解や測地学的断層モデルによる値と調和的である。すべり量は破壊開始点の上部やや北東側で大きく2m程度に達する。図1.2.4-15は推定されたすべり分布を地図上に投影したのである。余震はすべり量の小さな領域で起こっているように見え、震源上方の浅部のすべり量の大きな領域は海域下に位置している。しかし、この結果はあくまでも暫定的なものであり、今後改訂される可能性があることに注意されたい。

1. 2. 5 震源域周辺の地下構造

(1) 三次元速度構造

近年では稠密な余震観測データを用いて、震源域の詳細な三次元速度構造を推定し、地下の不均質構造と震源断層の形状や破壊の開始点の関係について議論が行われている。能登半島地震の震源域周辺の三次元地震波速度構造として、Kato et al.¹¹⁾の結果を紹介する。解析に用いた観測点は震源域の中心から半径70km以内にある2007年能登半島地震合同余震観測グループによる61点の3成分臨時観測点(平均間隔2km)、防災科学技術研究所・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所の13点の定常観測点および歪集中帯合同観測グループの5点の臨時観測点である(図1.2.5-1)。解析に用いた地震のデータは気象庁一元化震源データの3月25日から4月18日の余震の内P波とS波の読み取り値がそれぞれ15個と10個以上ある971個の余震である(図1.2.5-1)。Mikumo et al.³⁵⁾の一次元速度構造とHirata and Matsuura³⁶⁾の震源決定プログラムを用いて初期震源位置を決定し、走時データおよび走時差データを用いてdouble-difference トモグラフィ³⁷⁾により三次元地震波速度構造を推定している。なお、初期速度構造はMikumo et al.³⁵⁾の構造で、 $V_p/V_s = 1.73$ を仮定している。

Kato et al.¹¹⁾によって得られたP波速度構造を図1.2.5-2、 V_p/V_s を図1.2.5-3に示す。なお、これらの図には測線から ± 1.5 km以内の余震が図示されている。震源域の北西浅部の下盤側には低速度域、南東部の上盤側には高速度域が存在しており、余震はこの速度境界付近に分布することが分かる。すなわち、本震はこの速度境界上で発生したことが考えられる。震央から北東側3kmの北西-南東断面図では北西に約50度で傾斜する浅い余震群が見られ、低速度域と高速度域の境界に分布している。この速度境界の浅部延長部は既知の地質断層Fb³⁸⁾の位置に一致する。従って、北西傾斜の余震分布と速度境界は、この地質断層の深部形状を現していると考えられる。余震域の北東端の深さ5km以深に存在する震源断層近傍の高速度域は本震の破壊に対してバリアとして機能した可能性が指摘されている³⁹⁾。

図1.2.5-4はKato et al.¹¹⁾により示された地震波速度構造の地質学的解釈である。震源断層の上盤と下盤の間の速度コントラストは10kmの深さまで延びている。上盤のやや高い V_p/V_s 比をもつ高 V_p 領域は溶岩や年代の古い花崗岩や変成岩である。地質断層Fbは北西に傾斜する浅い速度境界に一致し、上盤の高 V_p 領域の北端はこの断層によって規制されている。下盤の低 V_p (< 5 km/s)領域浅部の高 V_p/V_s 領域は日本海拡大時に形成された地溝上の堆積物に相当する。下盤深部の低 V_p/V_s 領域は石英に富んだ花崗岩と変成岩であると解釈される⁴⁰⁾。地質学的研究からは地殻の短縮は中新世初期に始まり、現在まで継続し、それにより伸張応力場において形成された正断層が再活動したことが知られている⁴¹⁾。したがって、能登半島地震の本震の断層は、新潟県中越地震と同じく、インバージョンテクトニクスによって再活動した断層であると解釈している。上盤と下盤の速度コントラストは南西から北東へ延び、陸域では活断層はないが、トモグラフィの結果からは震源域深部での北東-南西方向の大きな構造境界の存在が示唆される。この速度境界の方向は日本海の拡大軸の方向と概ね平行である。本震震源とその下の余震の鉛直分布域は低 V_p/V_s かつ低 V_p 領域である。このような領域は水に満ちた高アスペクト比の間隙の存在によって説明され⁴²⁾、これが破壊の開始点になった要因とKato et al.¹¹⁾は考えている。次に述べるように、本震震源下部の領域における水の存在は、MT探査によって本震震源の下には伝導的な層が検出されていること¹²⁾からも支持される。

(2) 広帯域MT観測による比抵抗構造

Yoshimura et al.¹²⁾は、能登半島北部において4月4日から5月1日にかけて大学連合により行われた総計26地点の広帯域MT観測結果について報告している。震源断層の走向方向に平行で本震震央上を通る1測線と震源断層の走向方向に垂直な4測線においてTMモードをOgawa and Uchida⁴³⁾のインバージョンプログラムにより解析し、二次元比抵抗構造を推定した。その結果、本震震源の下にはボウル状の形をした伝導体が存在し、余震域の東端に広がるように見えること、本震震源が位置する余震の中央部と最大余震の1つが発生した北東部との間の余震のギャップがあるところに高比抵抗体が存在すること、最大余震はこの高比抵抗体の縁辺部で発生していること、という特徴が明らかとなった。Yoshimura et al.¹²⁾は、能登半島地震の震源域は火山フロントから離

れていることや Kato et al.¹¹⁾によるトモグラフィ解析との比較から、本震震源下部の伝導体は流体に富む領域を表していると解釈している。また、余震域のギャップに存在する高比抵抗体は固着しているセグメントを表している可能性を述べている。比抵抗構造と震源断層の関係の詳細については三次元での比抵抗構造解析の結果が必要ではあるが、比抵抗構造の水平方向不均質が断層面上でのすべり分布を制約している可能性を示唆している。

(3) 重力異常

Honda et al.¹⁴⁾は能登半島における既存の重力測定データをコンパイルし、能登半島の詳細な重力異常図を作成した。まとめられた重力データは金沢大学⁴⁴⁾、北陸電力(未公開)、産業技術総合研究所⁴⁵⁾、国土地理院⁴⁶⁾、西南日本重力グループ⁴⁷⁾および2005年から2006年にかけて行われた稠密測定結果⁴⁸⁾である。海域については衛星アルティメトリーと船舶による測深データを基に作成された重力データ⁴⁹⁾を用いている。既存測定点の数は約13000点になり、平均して陸域においては2平方kmに1点の割合で測定点が分布する(図1.2.5-5)。ブーゲー異常の算出には金沢大学の計算ルーチン⁴⁴⁾を用い、50mDEMを用いた地形補正⁵⁰⁾を施した。仮定密度は通常用いられる2670 kg/m³である。また、地殻浅部の密度不均質に着目するため、広域的な重力傾向面を最小二乗フィッティングにより3次曲面で近似し取り去った。

Honda et al.¹⁴⁾によって得られたブーゲー異常図を図1.2.5-6に示す。能登半島の地質学的特徴の一つは基盤岩を直接覆う第三紀以降の地層であり、それらの密度差が大きいことから、ブーゲー異常分布は近似的に基盤岩深度の分布を表している。図1.2.5-6から直線的に連続するブーゲー異常の急変帯があることが分かる。邑知平野周辺より南部では主に平野と山地の境界に急変帯が分布している。急変帯が位置するところには構造線の存在が知られており、邑知平野両縁部や砺波平野と宝達山地との境界には活断層が存在する。それに対して、邑知平野より北部では邑知平野周辺などに見られるような規模の大きな急変帯は見られない。門前と輪島とを結ぶ線の北西側のブーゲー異常は南東側に比べて小さい傾向がある。これは基盤花崗岩上面が北西側では南東側に比べて深くなっていることを示しており、基盤花崗岩中に北東-南西方向、南東側隆起の古い構造線が伏在する可能性を示唆している。

図1.2.5-7には太田・ほか²⁷⁾による地塊構造の境界線がブーゲー異常図上に引かれている。桑塚地塊(KT)と鉢伏地塊(HB)は比較的高い重力異常、猿山地塊(SY)は比較的低い重力異常により認識できるが、鉢伏地塊と宝立地塊(HR)の境界は不明瞭である。桑塚地塊は猿山地塊に比べて高重力異常を示し、基盤岩の深さについて言えば桑塚地塊のほうが浅いことになる。余震はこれらの地塊のうち、桑塚地塊と猿山地塊上に広がっている。

Honda et al.¹⁴⁾は測地的に観測された能登半島地震による地殻の隆起や断層モデルから予想される隆起が桑塚地塊内に限られていること^{6), 9), 10), 28)}、近地強震波形データに基づくすべり量分布⁸⁾も桑塚地塊内でのすべり量が大きく、猿山地塊の浅部ではすべり量が非常に小さいことから、本震の破壊が桑塚地塊内に限定されている、すなわち地塊構造に本震の破壊が規制されたと

推測している。

謝辞

本報告では気象庁による一元化震源データおよび防災科学技術研究所 F-net Project による広帯域地震波形を用いたメカニズム解析結果を使用した。産業技術総合研究所活断層研究センターの堀川晴央博士と遠田晋次博士，栗田泰夫博士，防災科学技術研究所の青井 真博士と小澤 拓博士，東京大学地震研究所の酒井慎一准教授と加藤愛太郎博士，名古屋大学環境学研究科附属地震火山・防災研究センターの山中佳子准教授，筑波大学大学院生命環境科学研究科の八木勇治准教授，京都大学防災研究所の吉村令慧博士と福島 洋博士，北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センターの本多 亮博士には図や投稿論文のプレプリントを提供して頂いた。また，一部の図の作成には GMT⁵¹⁾を使用した。以上，記して感謝します。

参考文献

- 1) 気象庁 (2007), 災害時地震・津波速報 平成 19 年(2007 年)能登半島地震, 気象庁, 41pp.
- 2) 防災科学技術研究所 (2007), 2007/03/25 能登半島地震, 防災科学技術研究所 (<http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/ното070325/>).
- 3) S. Sakai, A. Kato, T. Iidaka, T. Iwasaki, E. Kurashimo, T. Igarashi, N. Hirata, T. Kanazawa and the group for the joint aftershock observation of the 2007 Noto Hanto Earthquake (2007), Highly resolved distribution of aftershocks of the 2007 Noto Hanto Earthquake by a dense seismic observation, submitted to *Earth Planets Space*.
- 4) 片川秀基・浜田昌明・吉田 進・廉澤 宏・三橋 明・河野芳輝・衣笠善博 (2005), 能登半島西方海域の新第三紀～第四紀地質構造形成, *地学雑誌*, 114, 5, 791-810.
- 5) 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2007), 2007 年能登半島地震「能登半島の地質」, 地質調査総合センター (<http://www.gsj.jp/jishin/ното/ното1.html>).
- 6) 国土地理院 (2007), 平成 19 年(2007 年)能登半島地震について, 第 173 回地震予知連絡会, 国土地理院資料 (<http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/JIS/173/image173/016-017.pdf>).
- 7) Fukushima, Y., T. Ozawa, and M. Hashimoto (2007), Fault model of the 2007 Noto Hanto earthquake estimated from PALSAR radar interferometry and GPS data, submitted to *Earth Planets Space*.
- 8) Horikawa, H. (2007), Characterization of the 2007 Noto Hanto, Japan, Earthquake, submitted to *Earth Planets Space*.
- 9) Awata, Y., S. Toda, H. Kaneda, T. Azuma, H. Horikawa, M. Shishikura and T. Echigo (2007), Coastal deformation associated with the 2007 Noto Hanto earthquake, central Japan, determined by uplifted and subsided intertidal organisms, submitted to *Earth Planets Space*.

- 10) Hiramatsu, Y., K. Moriya, T. Kamiya and M. Kato (2007), Fault model of the 2007 Noto Hanto earthquake estimated from coseismic deformation obtained by the distribution of midlittoral and infralittoral organisms and GPS, submitted to *Earth Planets Space*.
- 11) Kato, A., S. Sakai, T. Iidaka, T. Iwasaki, E. Kurashimo, T. Igarashi, N. Hirata, T. Kanazawa and Group for the aftershock observations of the 2007 Noto Hanto Earthquake, Three-dimensional velocity structure in the source region of the Noto hanto Earthquake in 2007 imaged by a dense seismic observation: Rift structure related to the opening of the Japan Sea, submitted to *Earth Planets Space*.
- 12) Yoshimura, R., N. Oshiman, M. Uyeshima, Y. Ogawa, M. Mishina, H. Toh, S. Sakanaka, H. Ichihara, I. Shiozaki, T. Ogawa, T. Miura, S. Koyama, Y. Fujita, K. Nishimura, Y. Takagi, M. Imai, R. Honda, S. Yabe, S. Nagaoka, M. Tada and T. Mogi (2007), Preliminary results of urgent magnetotelluric observations around the focal region of the 2007 Noto Hanto Earthquake (M6.9), central Japan, submitted to *Earth Planets Space*.
- 13) 太田陽子・平川一臣 (1979), 能登半島の海成段丘とその変形, 地理学評論, 52, 169-188.
- 14) Honda, R., Y. Hiramatsu, Y. Kono, and H. Katagawa (2007), Gravity anomalies and the geologic block structures in and around the aftershock area of the 2007 Noto Hanto Earthquake, accepted, *Earth Planets Space*.
- 15) Ito, K. and H. Wada (2002), Observation of microearthquakes in the Atotsugawa fault region, central Honshu, Japan: --Seismicity in the creeping section of the fault, Seismic Process Monitoring, Ogasawara, H., T. Yanagidani and M. Ando, (ed.), A.A. Balkema Publishers, Lisse, Netherland, 229-243.
- 16) 平松良浩・河野芳輝・山崎晴雄・片川秀基 (2007), 邑知潟断層帯の隆起山地における微小地震活動, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会講演予稿集, S144-P009.
- 17) 平松良浩・和田博夫 (2007), 能登半島南部で発生した 2006 年 M3.8 の地震は眉丈山断層帯の深部延長上で発生したのか?, 地震, 第 2 輯, 印刷中.
- 18) 平松良浩 (2007), 平成 19 年能登半島地震:地震活動とメカニズム, 地球科学, 61, 243-253.
- 19) Toda, S. (2007), Coulomb stresses imparted by the 25 March 2007 Mw=6.6 Noto-Hanto, Japan, earthquake explain its butterfly distribution of aftershocks and suggest a heightened seismic hazard, submitted to *Earth Planets Space*.
- 20) 東京大学地震研究所 (2007), 2007 年能登半島地震の初期破壊過程について, 第 172 回地震予知連絡会, 東京大学地震研究所資料
(<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/topics/noto20070325/yochiren/coco5.html>).
- 21) 福山英一・石田瑞穂・D.S. Dreger・川井啓廉 (1998) オンライン広帯域地震データを用いた完全自動メカニズム決定, 地震, 第 2 輯, 51, 149-156.
- 22) 国土地理院 (2007), 平成 19 年(2007 年)能登半島地震に伴う地殻変動 (第 2 報), 国土地

- 理院(<http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2007/0328.htm>).
- 23) 守屋和佳・神谷隆宏・加藤道雄・山本真也・菅谷勝則・平松良浩・石渡明 (2007), 潮間帯および潮下帯生物の海面比高分布に基づく能登半島地震に伴う地殻隆起量の推定, *日本地球惑星科学連合2007年大会講演予稿集*, Z255-P023.
 - 24) 国土地理院 (2007), 平成19年(2007年)能登半島地震に伴う水準測量結果(速報値)について -地震による大きな地殻変動を把握-, 国土地理院 (<http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2007/0711.htm>).
 - 25) 活断層研究会 (1991), 「新編 日本の活断層-分布と資料-」, 東京大学出版会, 437pp.
 - 26) 産業技術総合研究所地質調査総合センター (編) (2005), 20万分の1日本シームレス地質図データベース 2005年12月8日版. 産業技術総合研究所研究情報公開データベース DB084, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
 - 27) 太田陽子・松田時彦・平川一臣 (1976), 能登半島の活断層, *第四紀研究*, 15, 109-128.
 - 28) 宇宙航空研究開発機構 (2007), 平成19年(2007年)能登半島地震に関する 陸域観測技術衛星「だいち」による観測の結果について, 宇宙航空研究開発機構 (http://www.jaxa.jp/press/2007/04/20070412_daichi_j.html).
 - 29) 気象庁 (2007), 「平成19年(2007年)能登半島地震」の震源過程と余震分布, 「平成19年(2007年)能登半島地震」の特集, 気象庁 (http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_03_25_noto/shingen_katei.pdf).
 - 30) 八木勇治 (2007), 2007年3月25日能登半島沖の地震, 筑波大学大学院生命環境科学研究科八木研究室 (http://www.geo.tsukuba.ac.jp/press_HP/yagi/EQ/20070325/).
 - 31) 山中佳子・中道治久・大久保慎人・藤井巖・奥田隆 (2007), 2007年能登半島地震余震空白域の謎にせまる - 波形解析によるすべり分布/強震計と広帯域地震計の同時観測 -, *日本地球惑星科学連合2007年大会講演予稿集*, Z255-P013.
 - 32) 鮎野義夫・三浦 静・藤井昭二 (1992), 北陸の丘陵と平野, *アーバンクボタ*, No. 31, 64 pp.
 - 33) 須藤洋和・北口善啓・山本和弘・河野芳輝 (2004) 能登半島南部の重力異常と基盤構造 重力異常と活断層, 地震活動との関係, *地震*, 第2輯, 58, 363-377.
 - 34) 青井 真・関口春子 (2007), 近地地震動記録による能登半島地震の震源インバージョン(暫定版), 防災科学技術研究所 (<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/k-net/topics/noto070325/>).
 - 35) Mikumo, T., H. Wada, M. Koizumi (1988), Seismotectonics of the Hida region, central Honshu, Japan, *Tectonophysics*, 147, 95-119.
 - 36) Hirata, N. and M. Matsu ura (1987), Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 47, 50-61.
 - 37) Zhang, H. and C.H. Thurber (2003), Double-difference tomography: The method and its

- application to the Hayward fault, California, *Bul. Seismol. Soc. Am.*, 93, 1875-1889.
- 38) 東京大学地震研究所 (2007), 震源域周辺の地質学的背景, 東京大学地震研究所 (<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/topics/noto20070325/20070325satow2.html>).
 - 39) 東京大学地震研究所 (2007), 2007年能登半島地震震源域の地震波速度構造, 第173回地震予知連絡会資料, 地震予知連絡会 (<http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/JIS/173/image173/012-013.pdf>).
 - 40) Carmichael, R.S. (1982), Handbook of physical properties of rocks, edited by R.S. Carmichael, CRC press.
 - 41) Okamura, Y., M. Watanabe, R. Morijiri and M. Satoh (1995), Rifting and basin inversion in the eastern margin of the Japan Sea, *The Island Arc*, 4, 166-181.
 - 42) Takei, Y. (2002), Effect of pore geometry on VP/VS: From equilibrium geometry to crack, *J. Geophys. Res.*, No. B2, 10.1029/2001JB000522.
 - 43) Ogawa, Y. and Uchida, T. (1996), A two-dimensional magnetotelluric inversion assuming Gaussian static shift, *Geophys. J. Int.*, 126, 69-76.
 - 44) 河野芳輝・古瀬慶博 (1989), 10万分の1日本列島重力異常図, 東京大学出版会, pp 87.
 - 45) 地質調査所 (編) (2000), 日本重力 CD-ROM, 数値地質図 P-2, 地質調査所.
 - 46) 国土地理院 (2002), 重力データ検索, 国土地理院 (http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/gravity/grv_search/gravity.pl).
 - 47) The Gravity Research Group in Southwest Japan (2001), Gravity Measurements and Database in Southwest Japan, Gravity Database of Southwest Japan (CD-ROM), *Bull. Nagoya University Museum, Special Rept.*, No. 9.
 - 48) 河野芳輝・本多 亮・浜田昌明 (2006), 能登半島中部の重力異常. *日本地震学会 2006年度秋季大会予稿集*, D58.
 - 49) Smith, W. H. F. and D. T. Sandwell, Global Seafloor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings, *Science*, 277, 1957-1962, 1997.
 - 50) 本多 亮・河野芳輝 (2005), 日本列島周辺の海陸統合50Mメッシュ地形データの作成とそれを用いた海陸重力地形補正, *測地学会誌*, 51, 33-44.
 - 51) Wessel, P. and W.H.F. Smith (1998), New improved version of the Generic Mapping Tools Released, *Eos Trans. Am. Geophys. Union*, 79, 579.

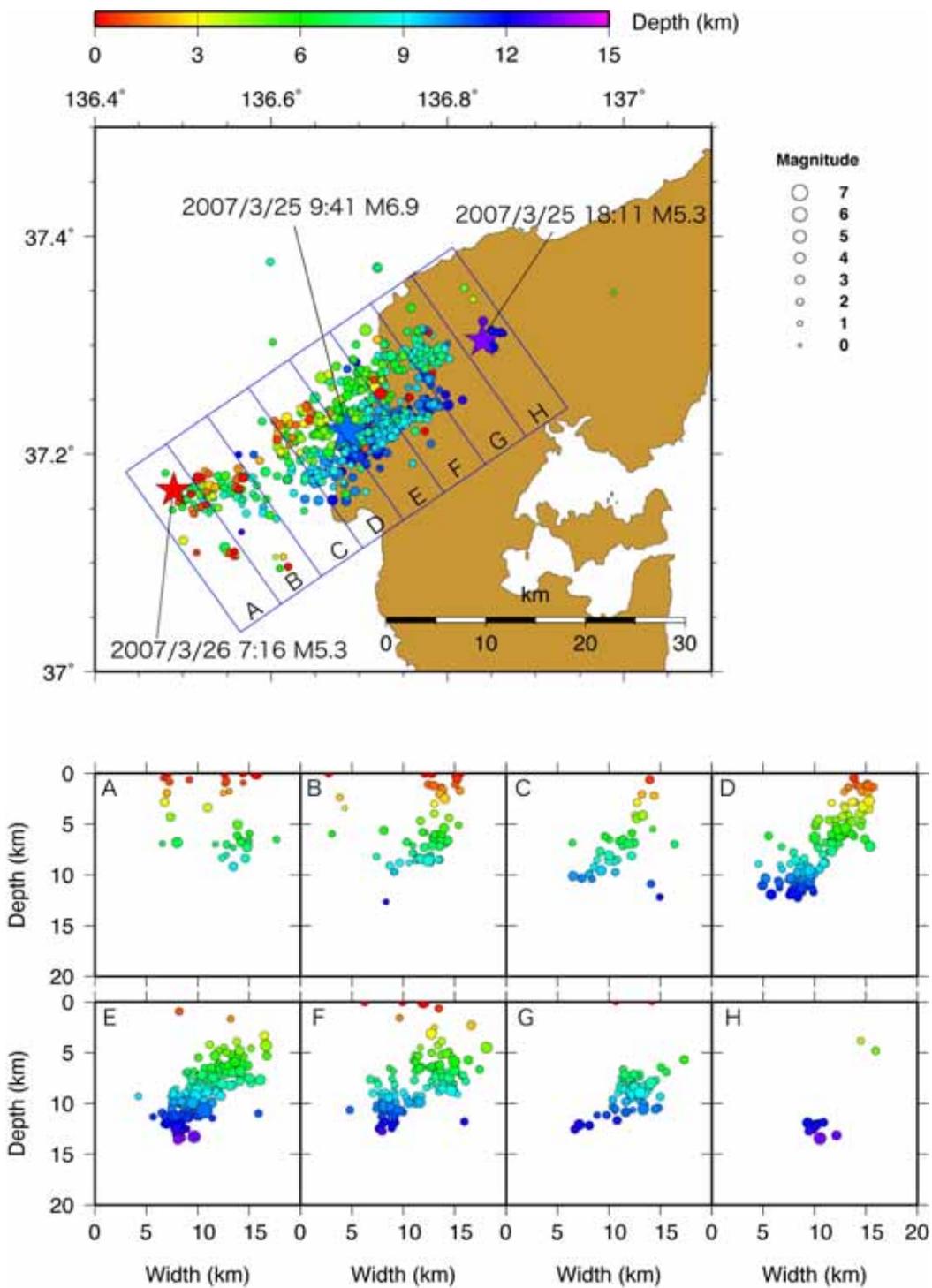


図 1.2.1-1

気象庁一元化震源データによる本震後1日間の余震分布(平面図と鉛直断面図)。平面図上の星印は本震と最大余震の震央位置を表す。

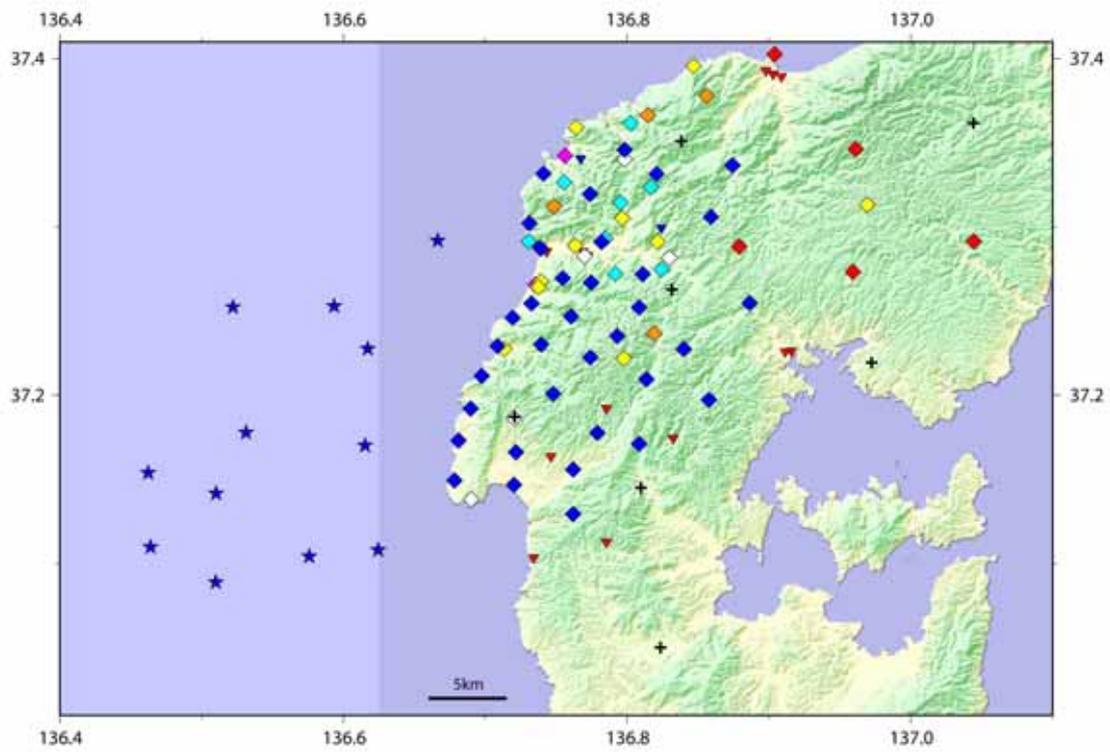


図 1.2.1-2

2007 年能登半島地震合同余震観測グループによる地震観測点（菱形，星印）と定常観測点（十字印）の分布³⁾。

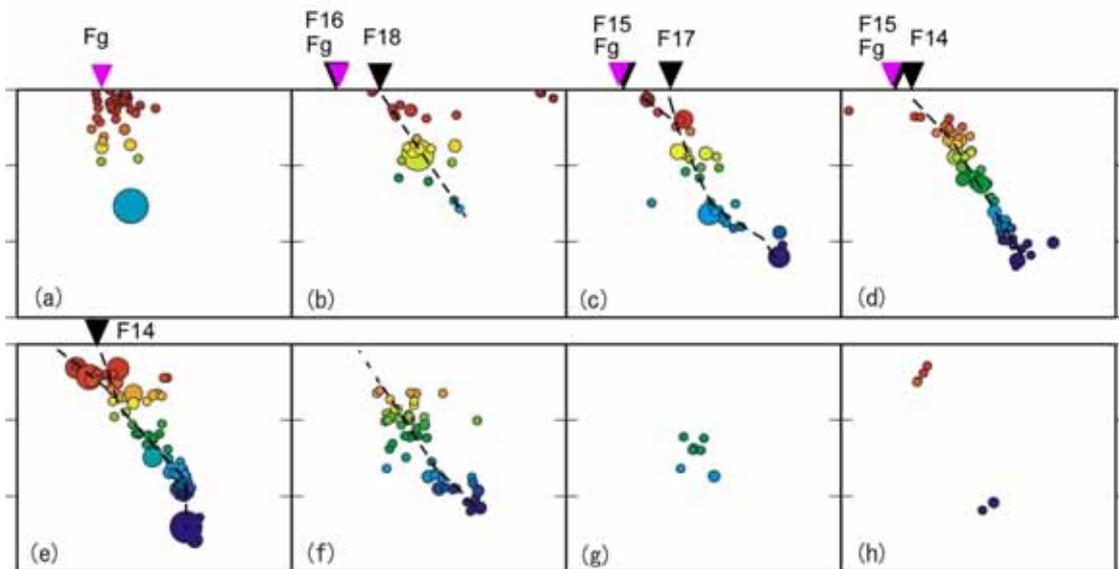
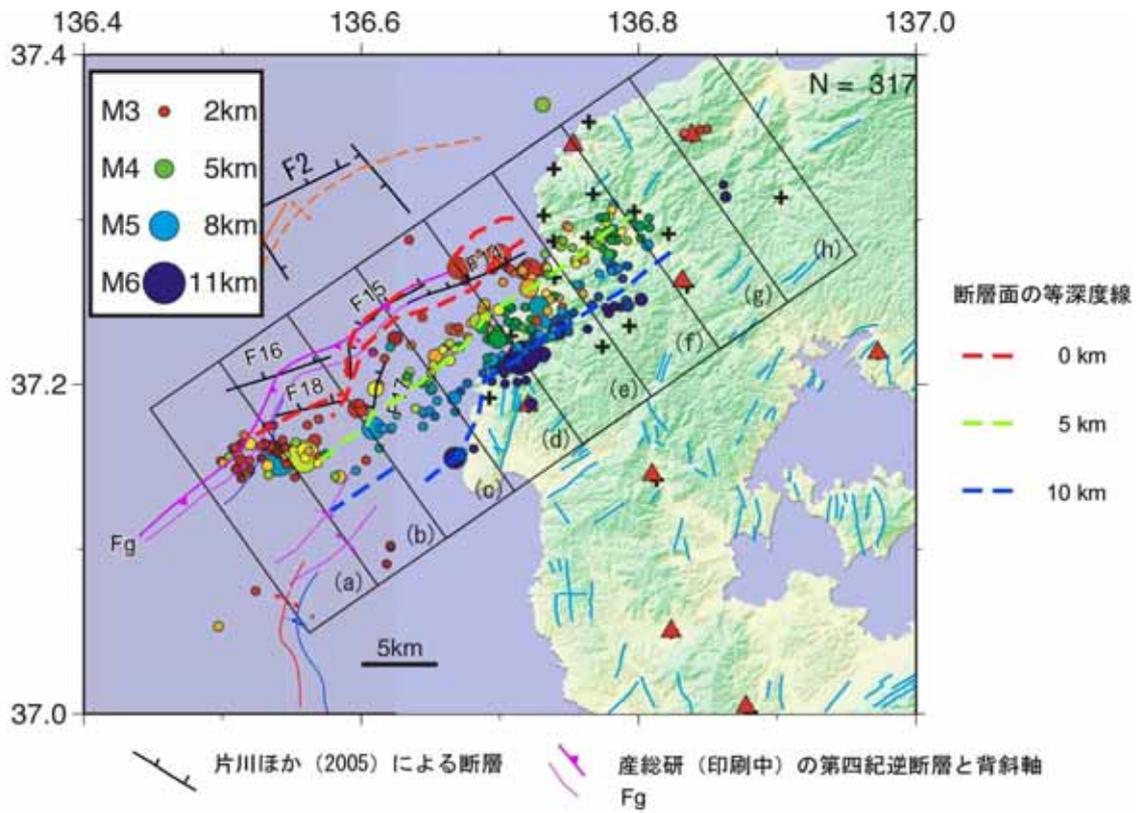


図2 南西方向から見た緊急震源 (2007/3/25 22:40 - 3/29 10:50) と活構造の断面図

図 1.2.1-3

余震分布と震源域周辺の活構造との関係³⁾。

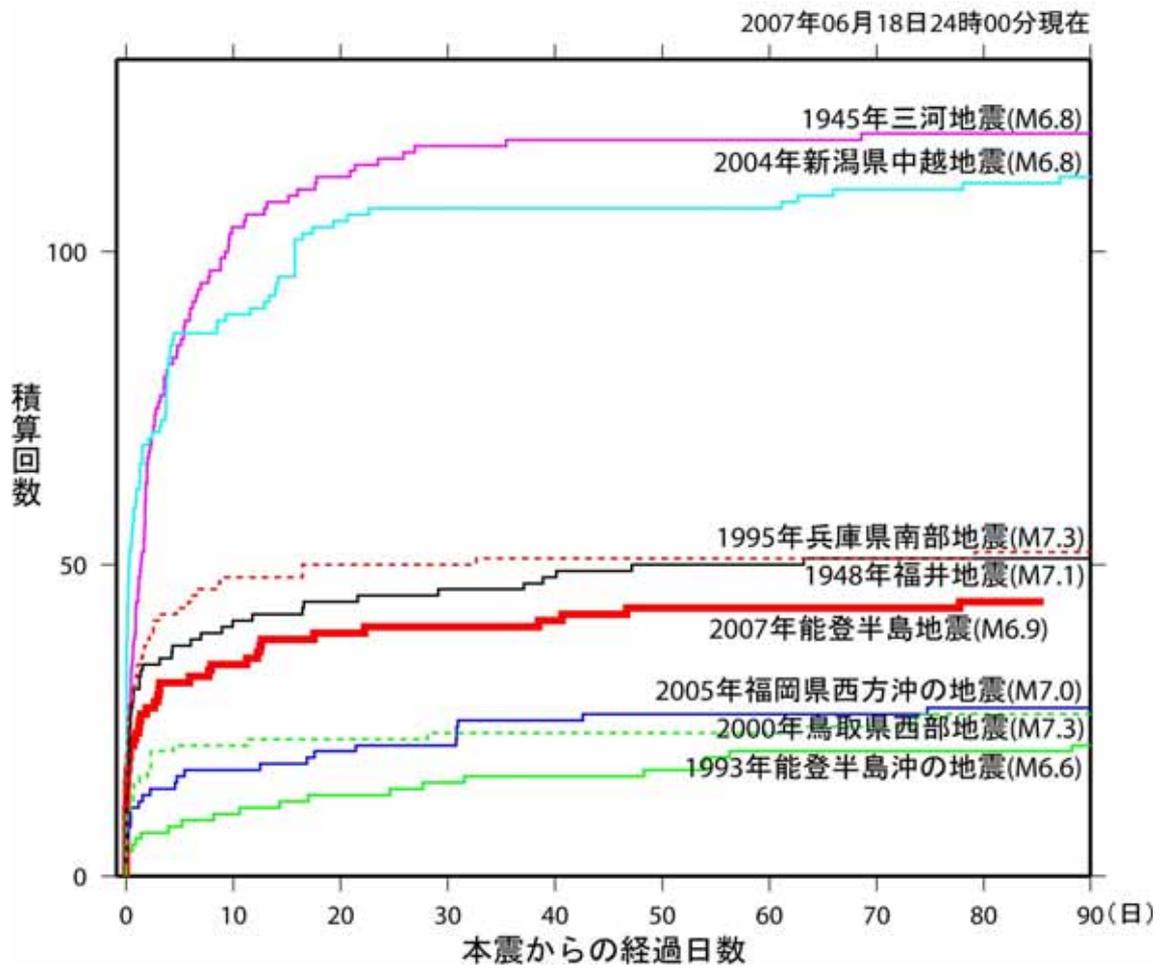


図 1.2.1-4

マグニチュード (M)4 以上の余震の積算回数の時間変化の比較¹⁾。

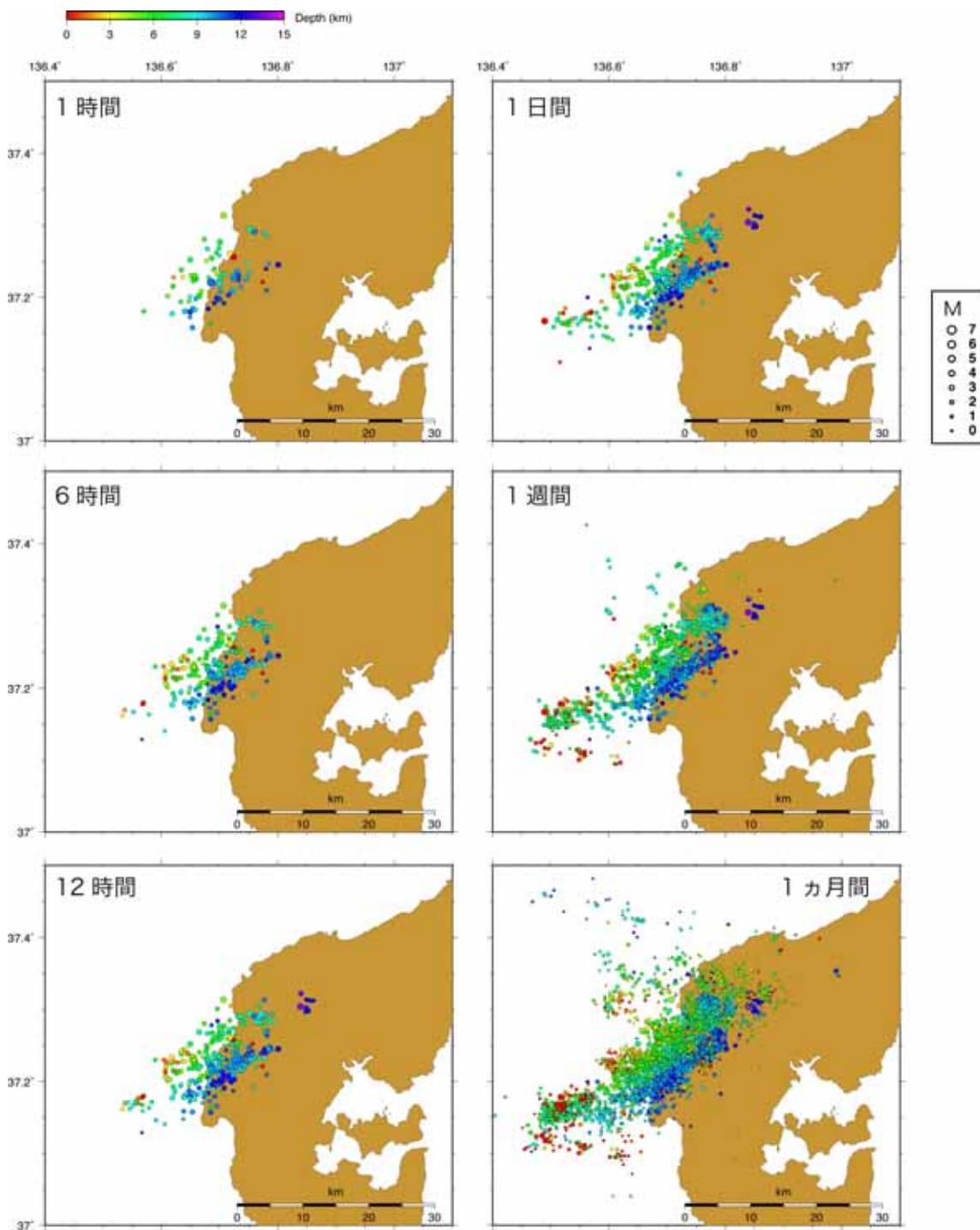


図 1.2.1-5
気象庁一元化震源データによる余震分布の時間変化 .

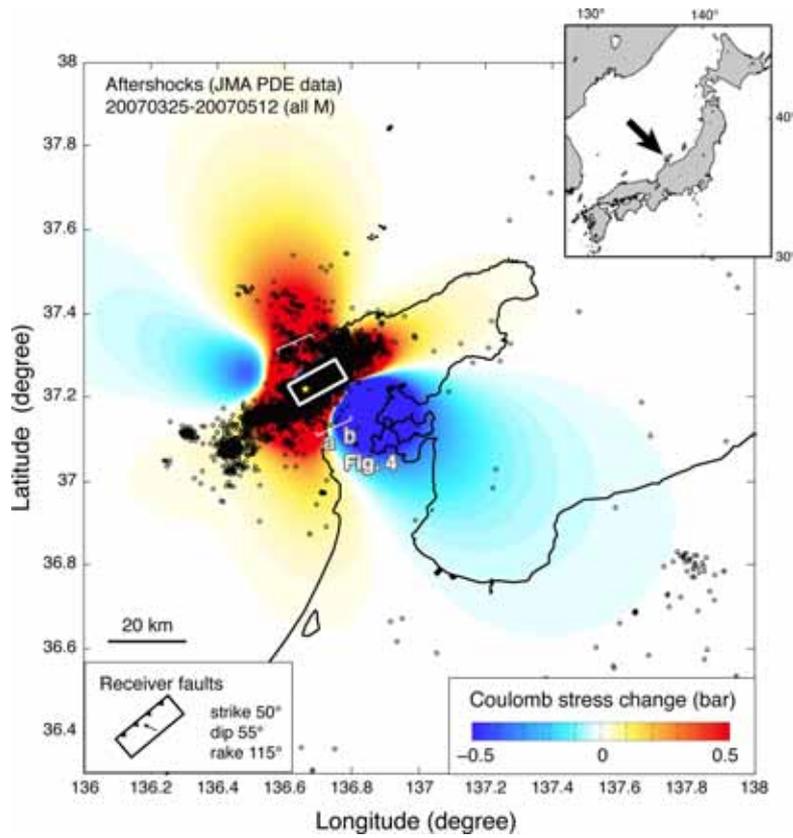


図 1.2.1-6
能登半島地震による静的
応力変化(クーロン応力変
化)と余震分布¹⁹⁾。

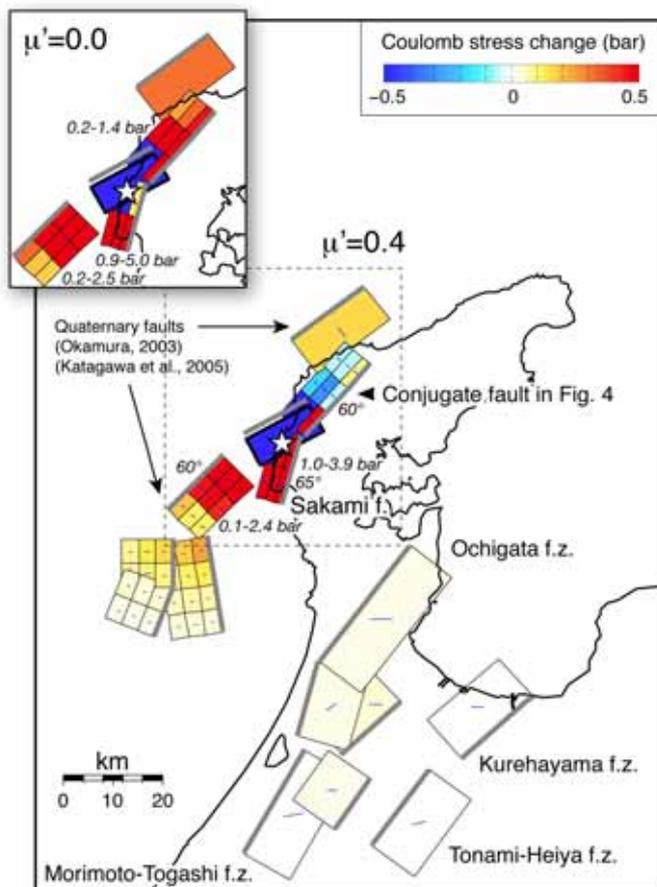


図 1.2.1-7
能登半島周辺の活断層(帯)にお
ける能登半島地震による静的応力変
化(クーロン応力変化)¹⁹⁾。

	断層面解1			断層面解2		
	走 向	傾 斜	すべり角	走 向	傾 斜	すべり角
	(度)	(度)	(度)	(度)	(度)	(度)
気象庁	53	50	140	171	60	48
防災科学技術研究所	58	66	132	173	48	34
USGS	58	60	117	193	40	52
Harvard 大学	64	45	124	182	55	61

表 1.2.2-1

各機関によって報告されているモーメントテンソル解の best double couple パラメータ . USGS のモーメントテンソル解は <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/> による . Harvard 大学のモーメントテンソル解は <http://www.globalcmt.org/> による .

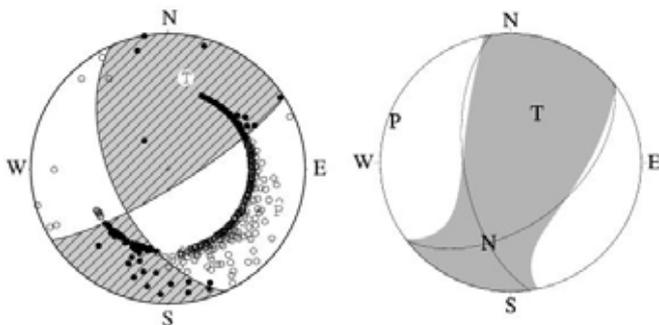


図 1.2.2-1

気象庁による能登半島地震のP波初動解(左)とモーメントテンソル解(右)(下半球投影)¹⁾ .

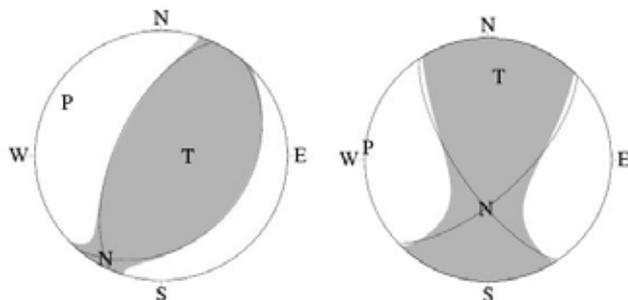


図 1.2.2-2

気象庁による能登半島地震の最大余震のモーメントテンソル解(下半球投影)¹⁾ . (左)2007年3月25日18時11分の地震 , (右)2007年3月26日7時16分の地震 .

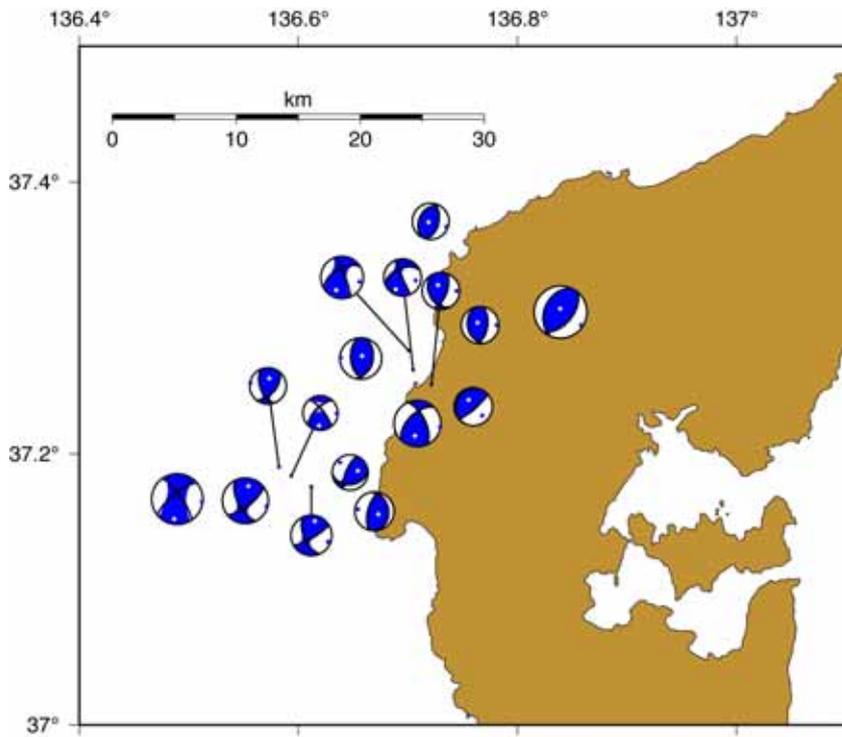


図 1.2.2-3 F-net データ²¹⁾による能登半島地震の余震(3月25日~3月31日)のモーメントテンソル解(品質 85 以上, 下半球投影)の分布¹⁸⁾.

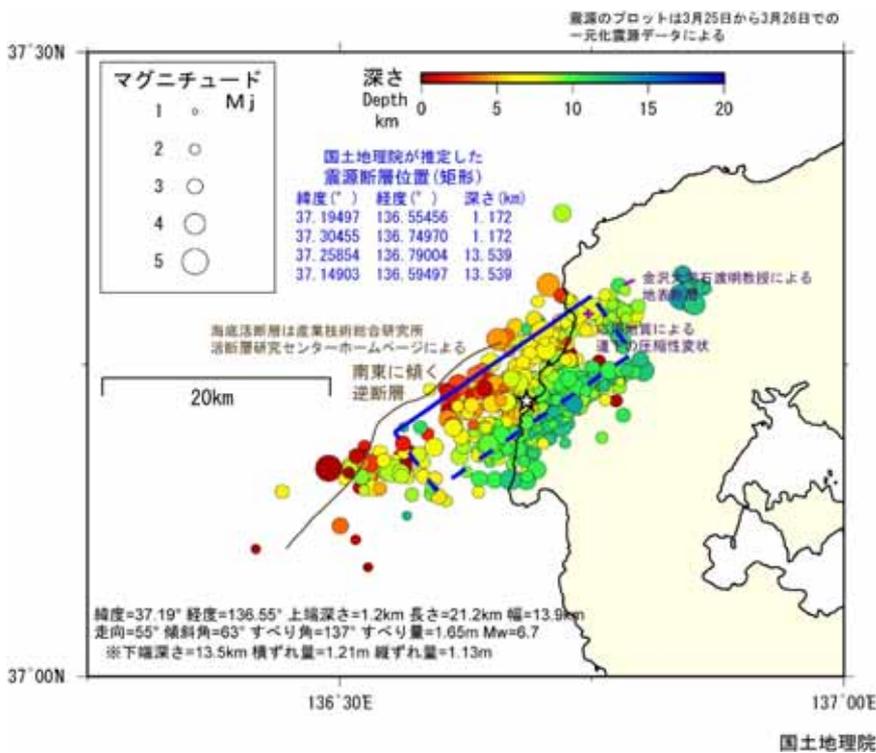


図 1.2.3-1

GEONET で観測された地殻変動データから推定された断層モデルと気象庁による余震分布と海底の活断層との比較²²⁾.

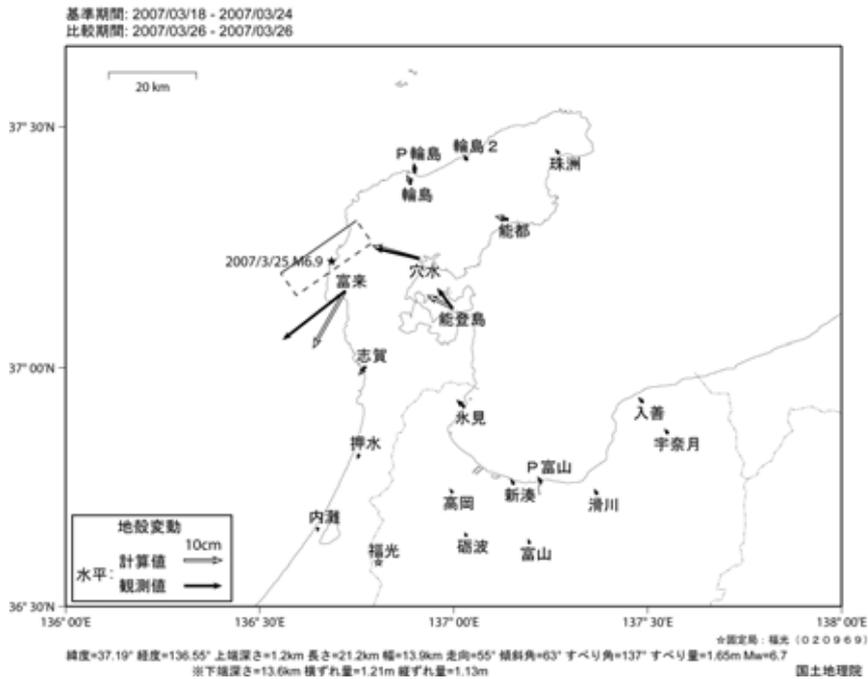


図 1.2.3-2

GEONET で観測された水平方向の地殻変動（黒矢印）と断層モデルによる計算値（白矢印）との比較²²⁾。

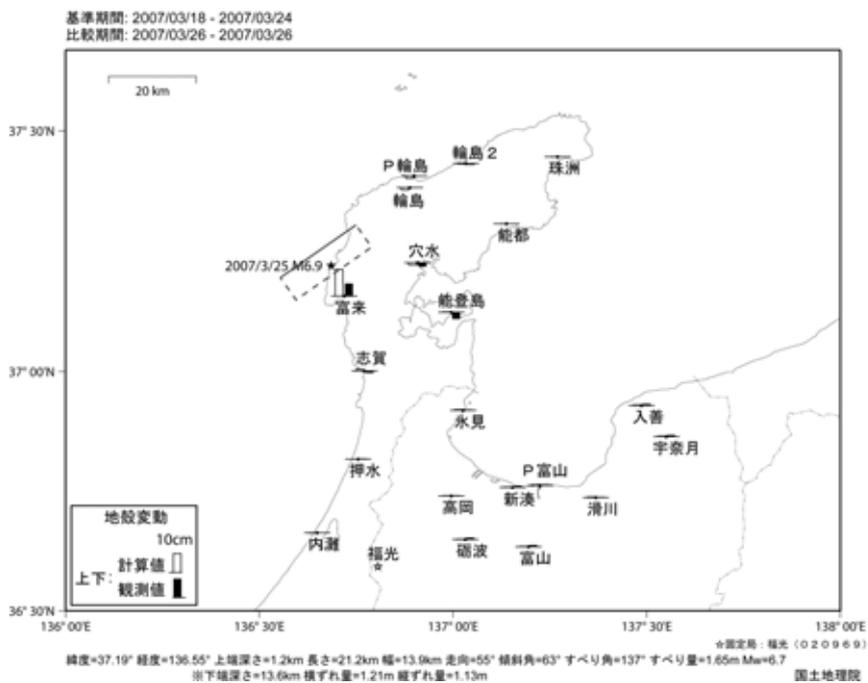


図 1.2.3-3

GEONET で観測された上下方向の地殻変動（黒矢印）と断層モデルによる計算値（白矢印）との比較²²⁾。

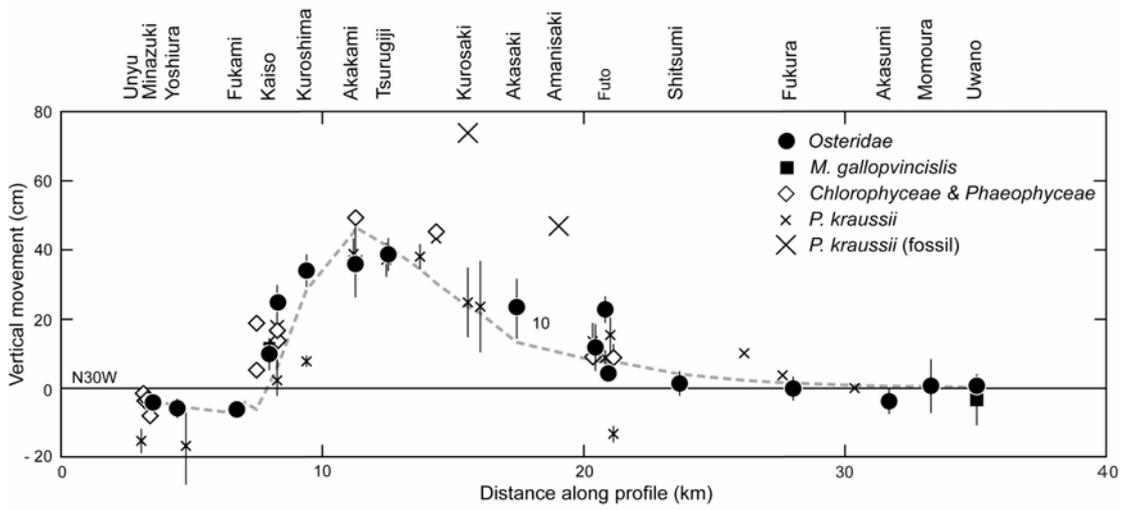


図 1.2.3-4

N30° W 方向の測線上に投影した上下変位量（海岸隆起量）⁹⁾。破線は図 1.2.3-5 に示す断層モデルによる計算値を投影したものである。

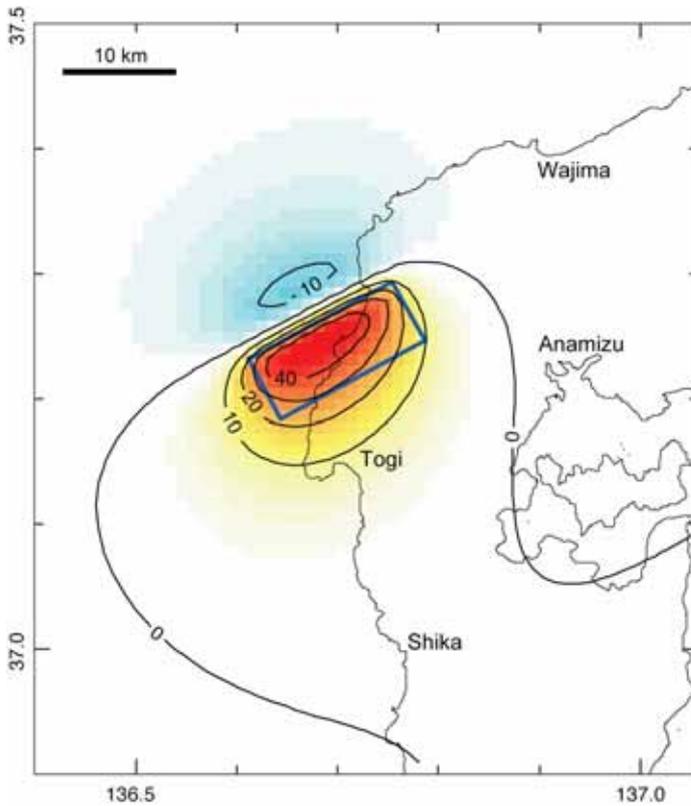


図1.2.3-5

図1.2.3-4のデータから推定された断層モデルによる上下変位量⁹⁾。青線は断層端の地表投影位置を示す。コンター間隔は10cmである。

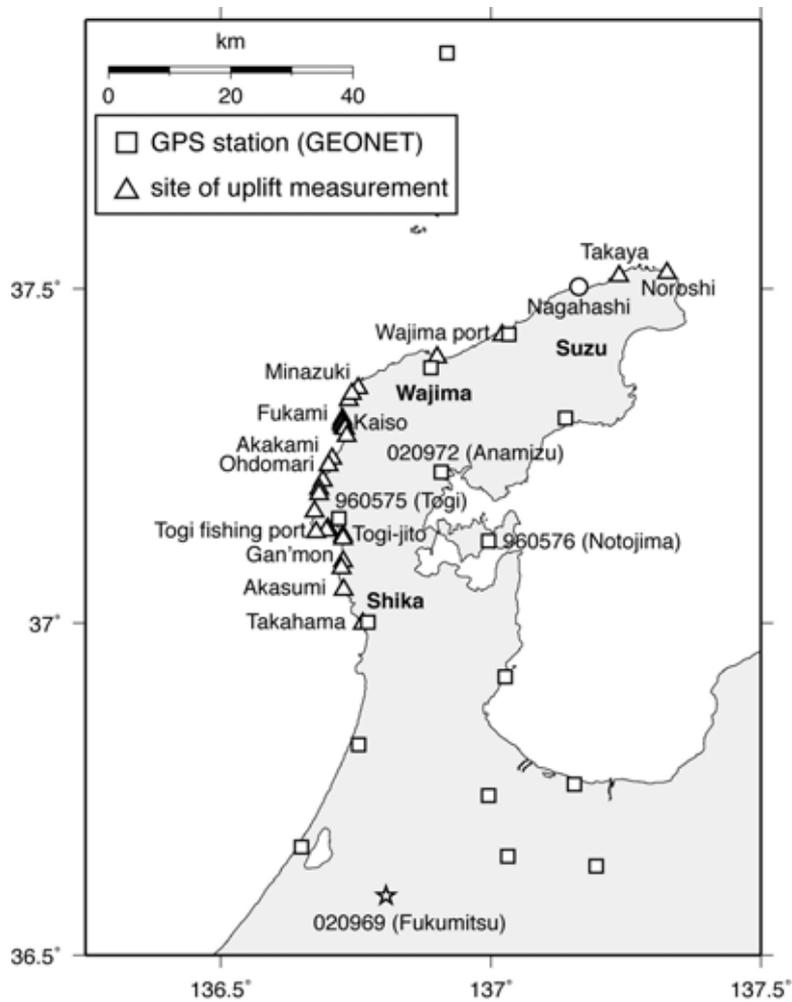


図1.2.3-6

金沢大学による海岸隆起調査地点(三角)と断層モデル推定の際に用いた GEONET 観測点(四角). 丸印は潮位の基準点である珠洲市長橋町の潮位計の位置を示す¹⁰⁾.

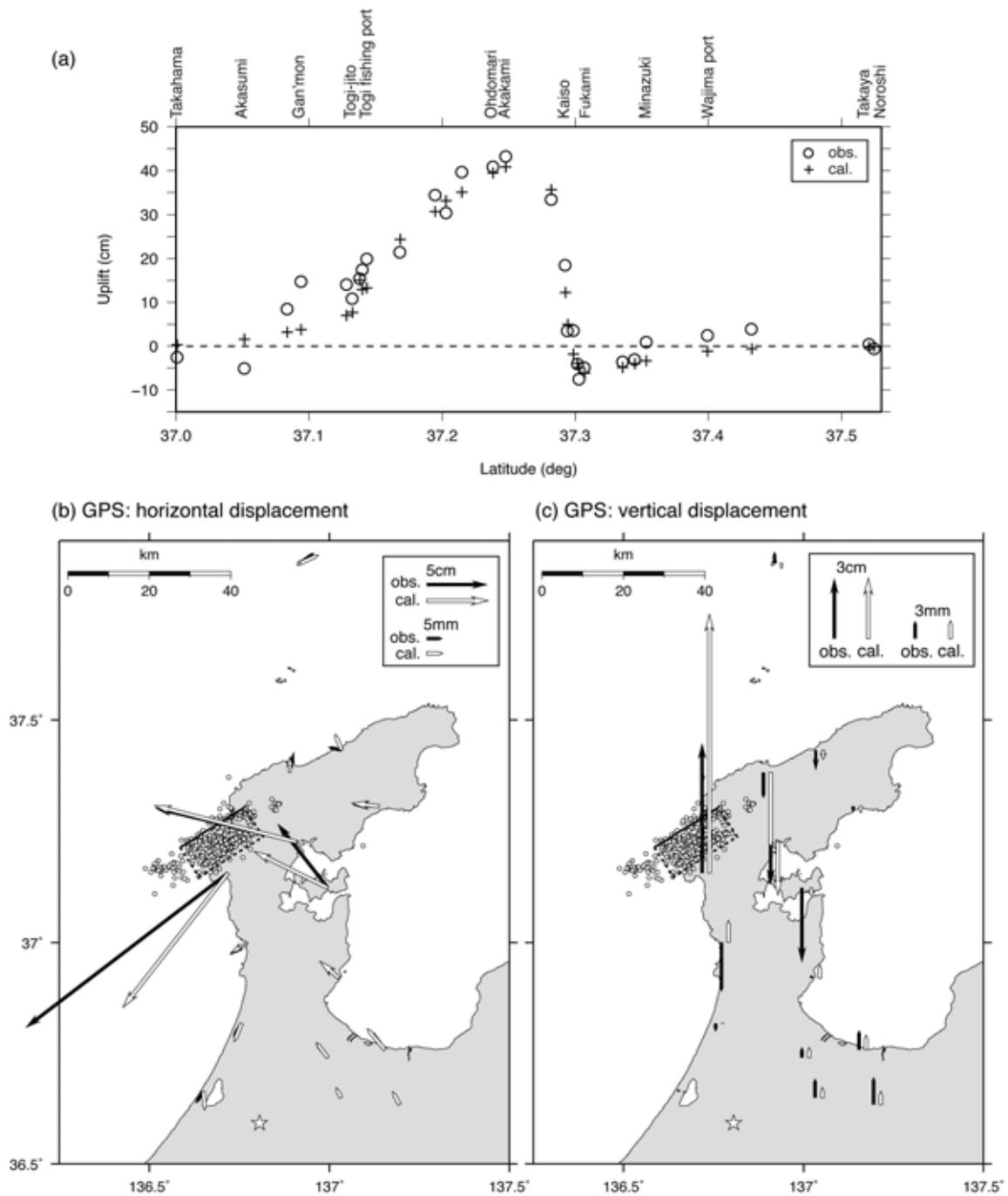


図 1.2.3-7

観測された地殻変動と断層モデルによる計算値との比較¹⁰⁾。(a) 海岸隆起量 (丸印: 観測値, +印: 計算値), (b) 水平方向の地殻変動 (黒矢印: 観測値, 白矢印: 計算値), (c) 上下方向の地殻変動 (黒矢印: 観測値, 白矢印: 計算値)。

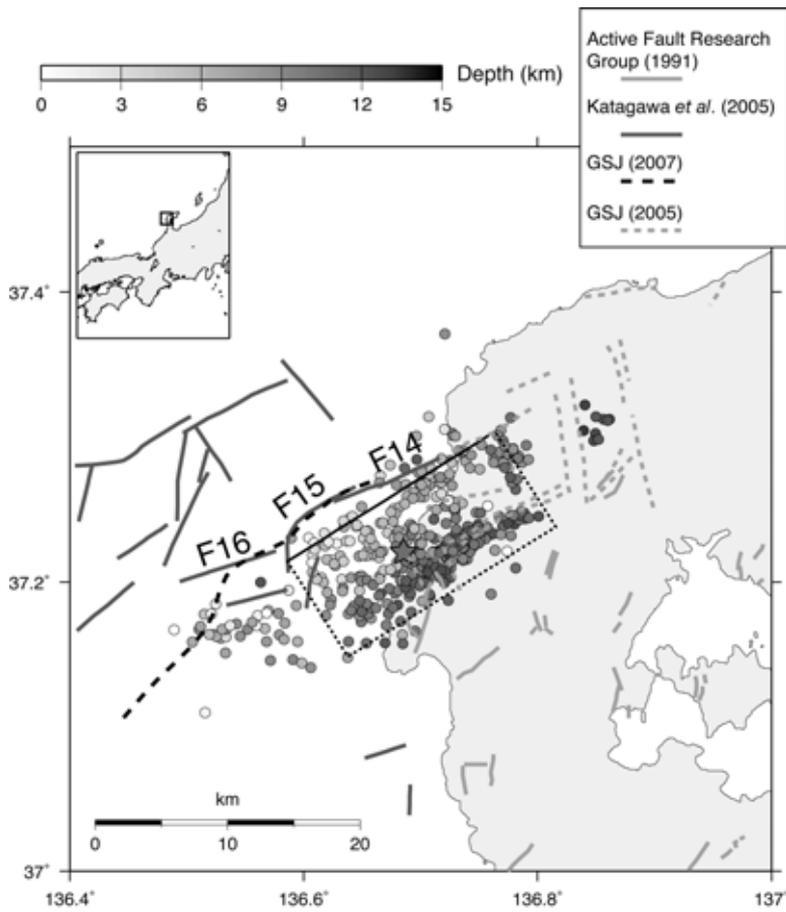


図 1.2.3-8
 金沢大学によって推定された断層モデルの位置と余震，活断層^{4),5),25)}，地質断層²⁶⁾の分布との比較¹⁰⁾。

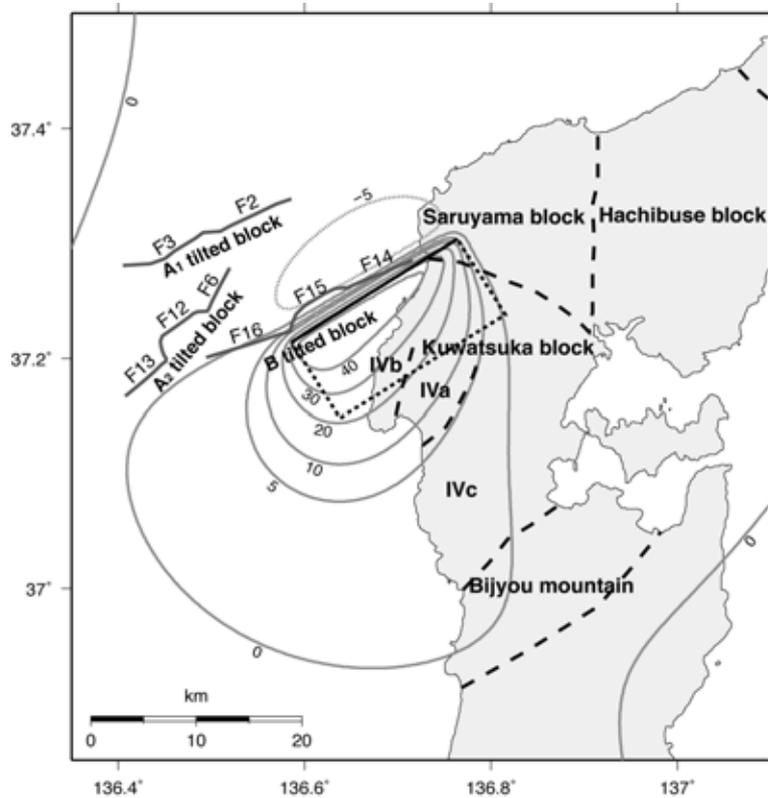


図 1.2.3-9
 金沢大学による断層モデルから計算された隆起量分布と地塊構造¹⁰⁾。

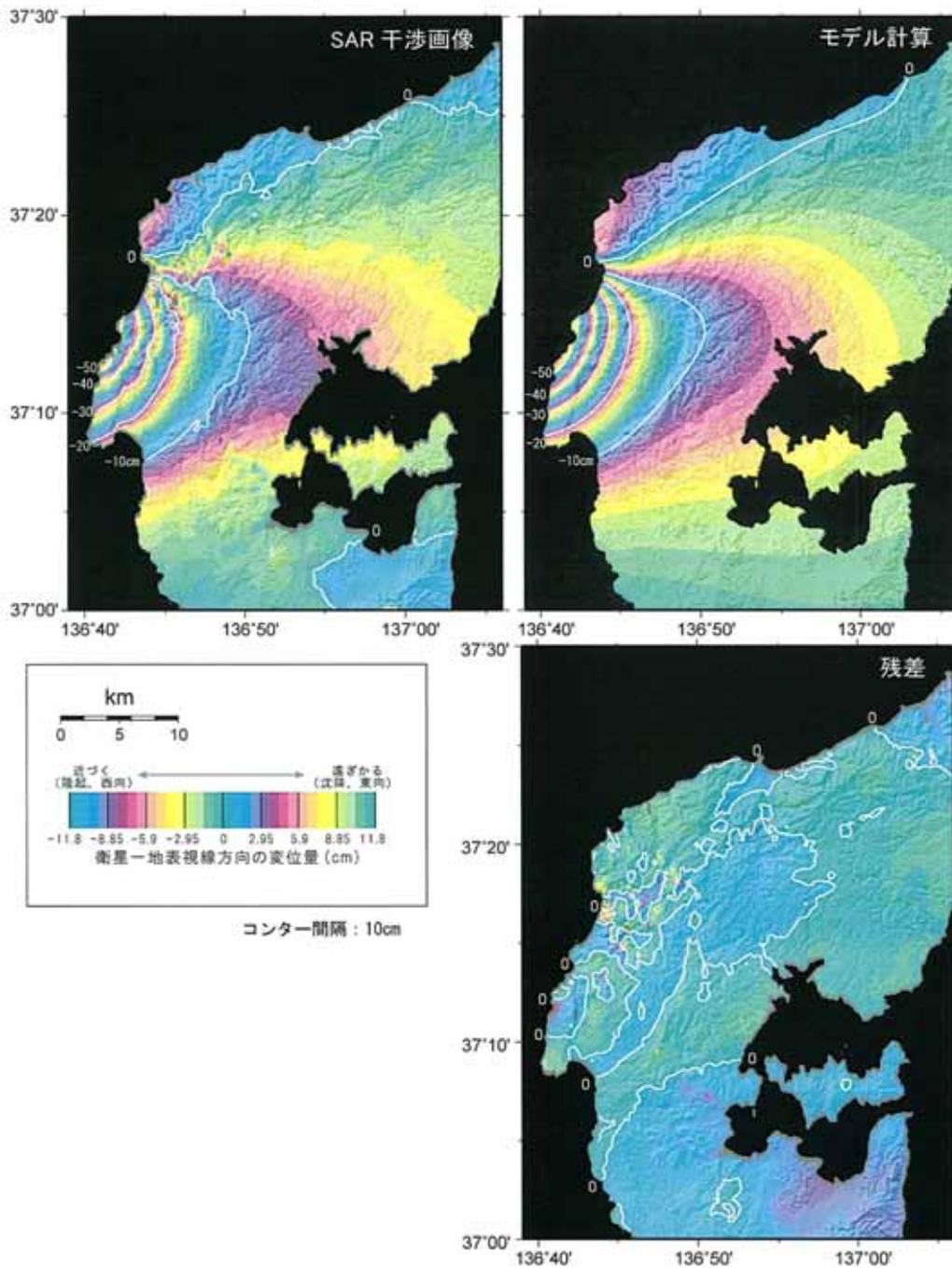


図 1.2.3-10

「だいち」合成開口レーダー (PALSAR) データを用いた干渉合成開口レーダー (SAR) の解析による地殻変動分布図⁶⁾。

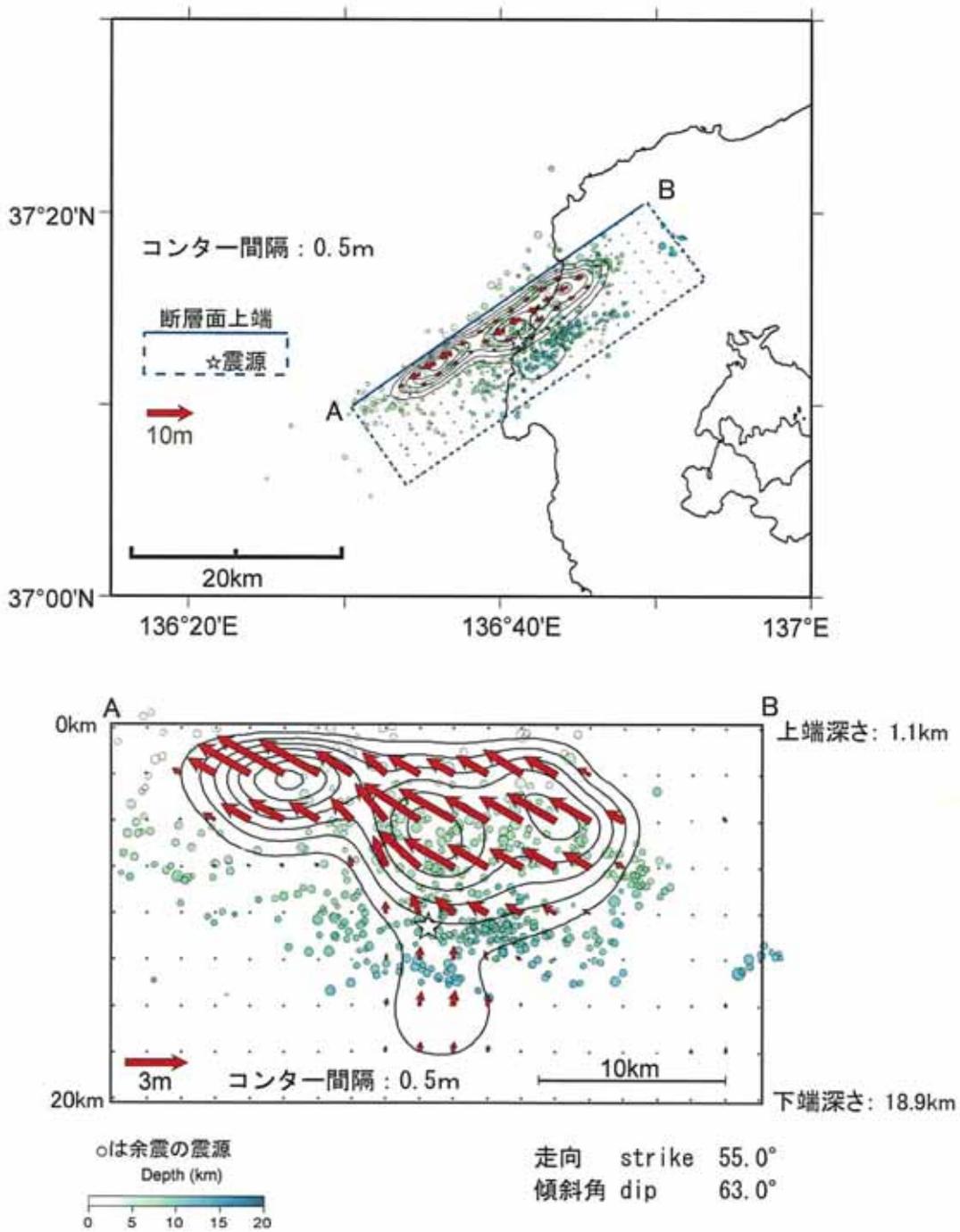


図 1.2.3-11

干渉合成開口レーダー (SAR) の解析から推定された震源断層面上のすべり分布 (暫定)⁶⁾ .



図 1.2.3-12

国土地理院による水準測量路線図²⁴⁾。

水準測量(高精度三次元測量)変動図(輪島地区)

自) 石川県輪島市

至) 石川県羽咋市

資料 2-1

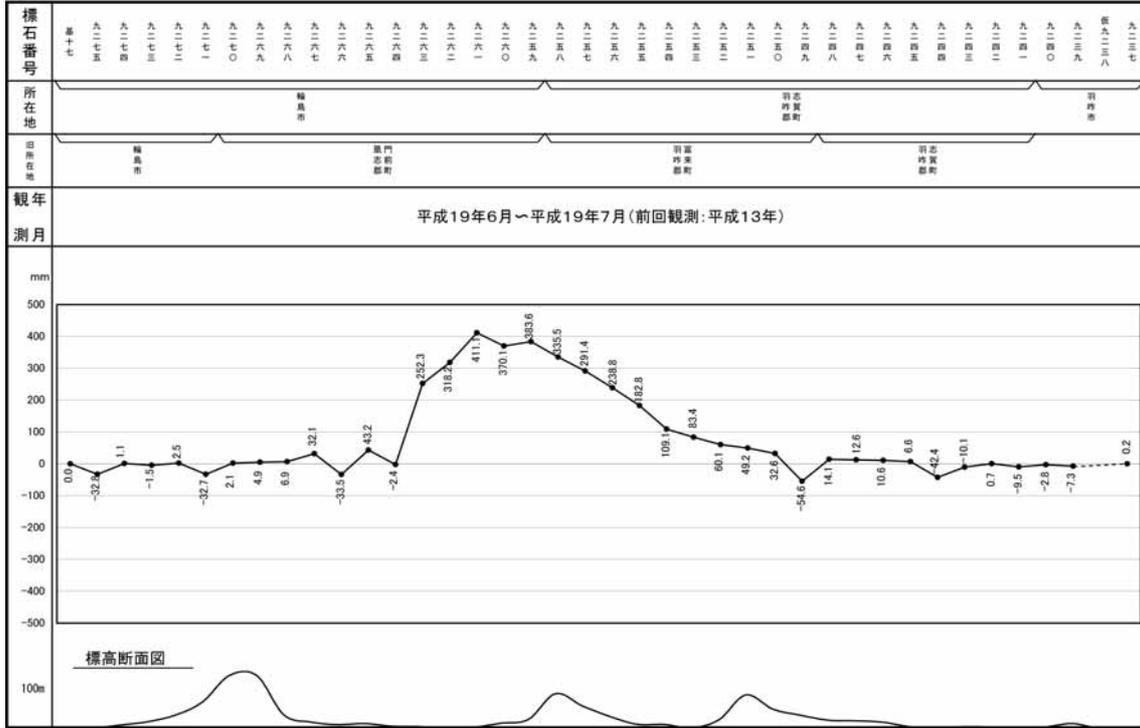


図 1.2.3-13

国土地理院による水準測量変動図(輪島地区)²⁴⁾。

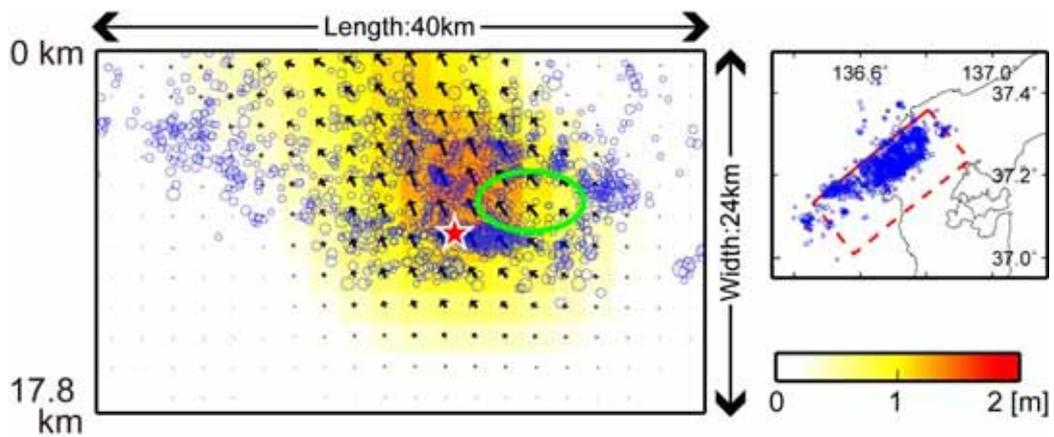


図1.2.3-14

干渉合成開口レーダー (SAR) の解析から推定されたすべり分布⁷⁾。(左) 断層面上のすべり分布。青丸印は、余震の震源を断層面に投影した位置を示す。(右)断層すべりを推定した領域(赤破線)。青丸は余震の震央。

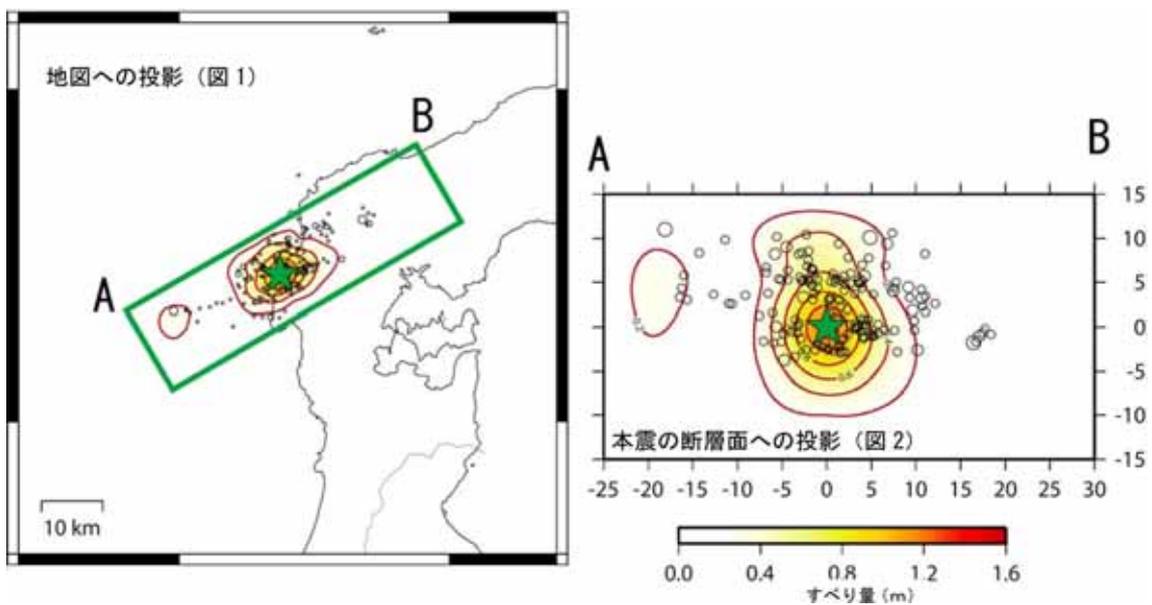


図 1.2.4-1

気象庁による遠地実体波の解析から推定されたすべり分布²⁹⁾。地図への投影(図1)と本震震源位置の断層面への投影(図2)。



図 1.2.4-2

八木による遠地実体波の解析に使用された観測点の分布³⁰⁾.

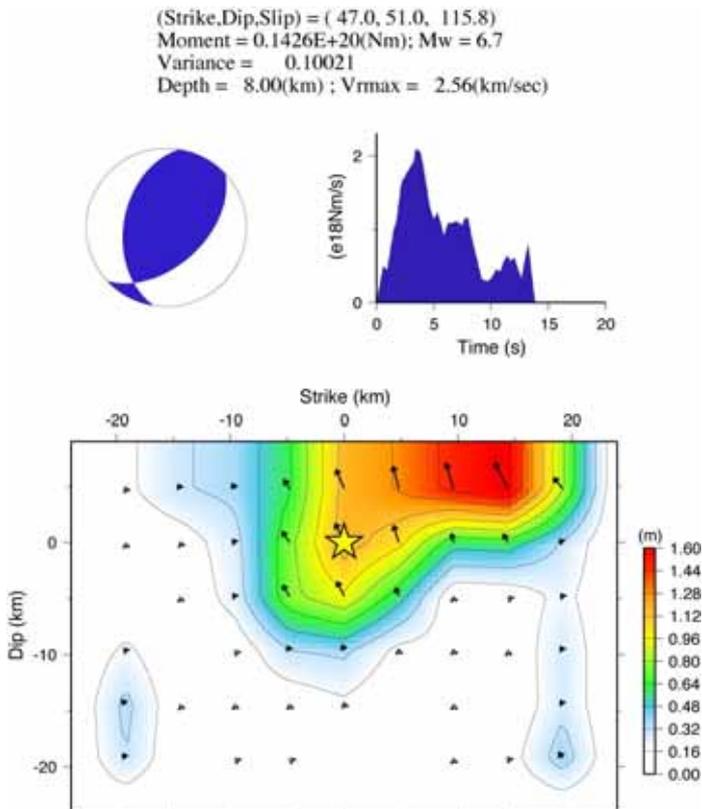


図 1.2.4-3

八木による遠地実体波の解析から推定されたメカニズム解，モーメント解放率の時刻歴および断層面上のすべり分布³⁰⁾.

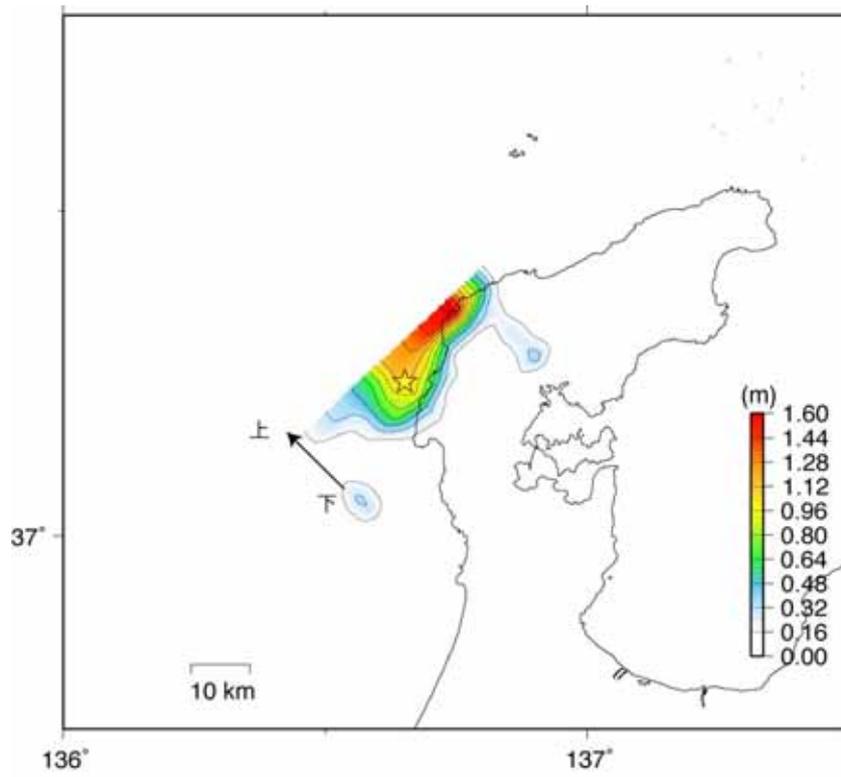


図 1.2.4-4

地表に投影されたすべり分布³⁰⁾。星印は本震の震央を示す。

NOTO 07/03/25
 MO = 0.209E+20 NM MW = 6.81
 H = 6.0KM VAR. = 0.2817

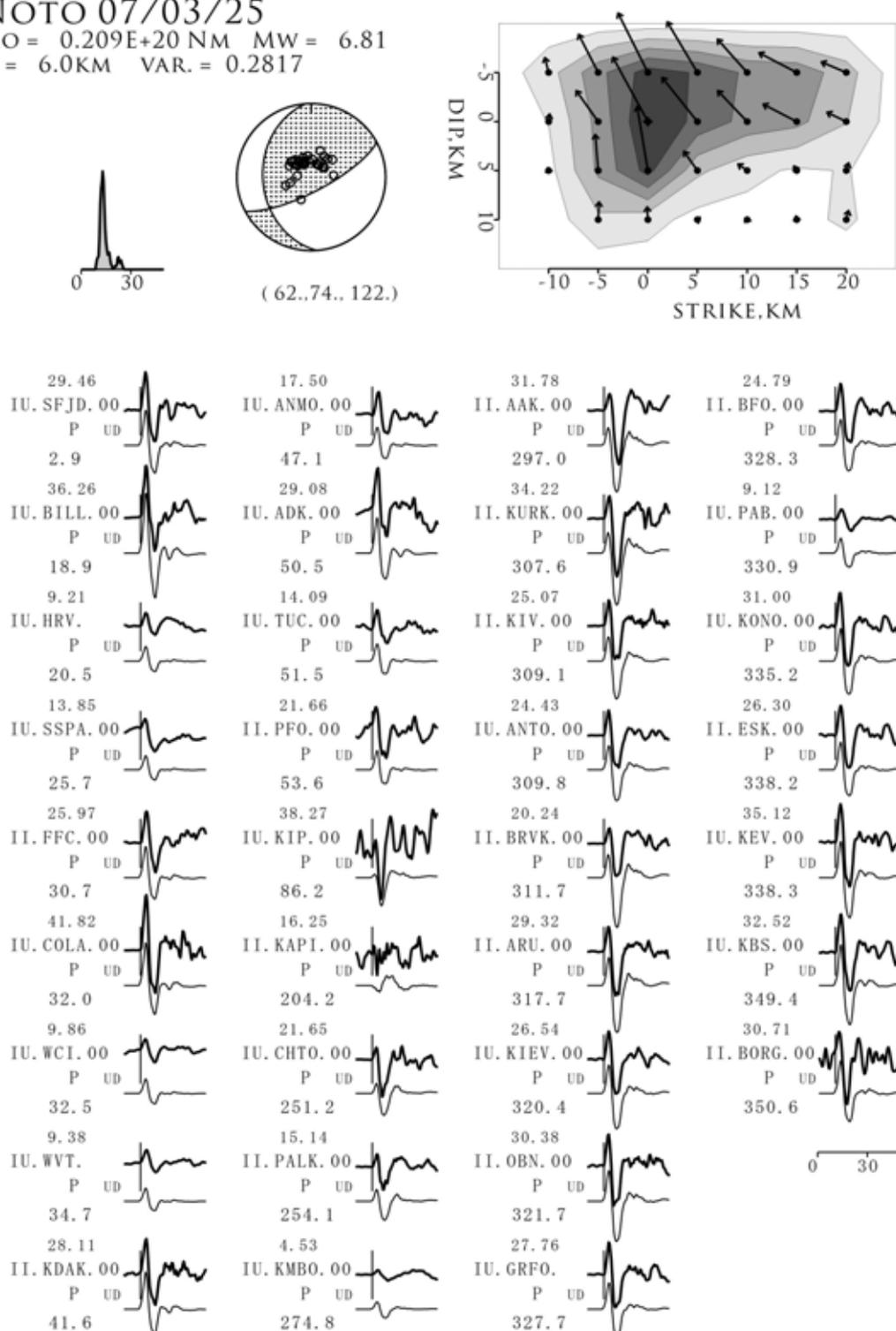


図 1.2.4-5

山中・ほかによる遠地実体波の解析から推定されたモーメント解放率の時刻歴，メカニズム解，断層面上のすべり分布および観測波形と理論波形の比較³¹⁾。

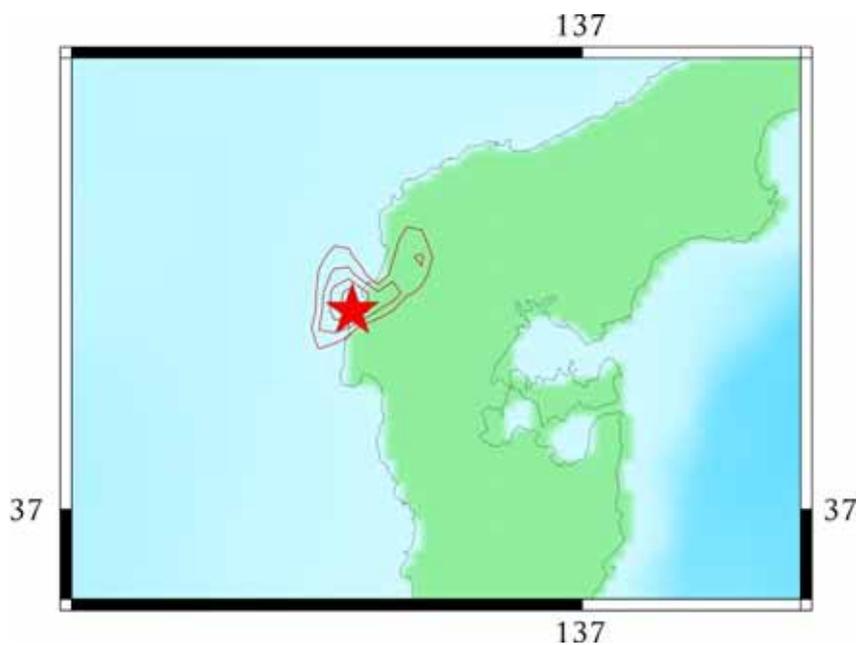


図 1.2.4-6
 地表に投影されたすべり分布³¹⁾。

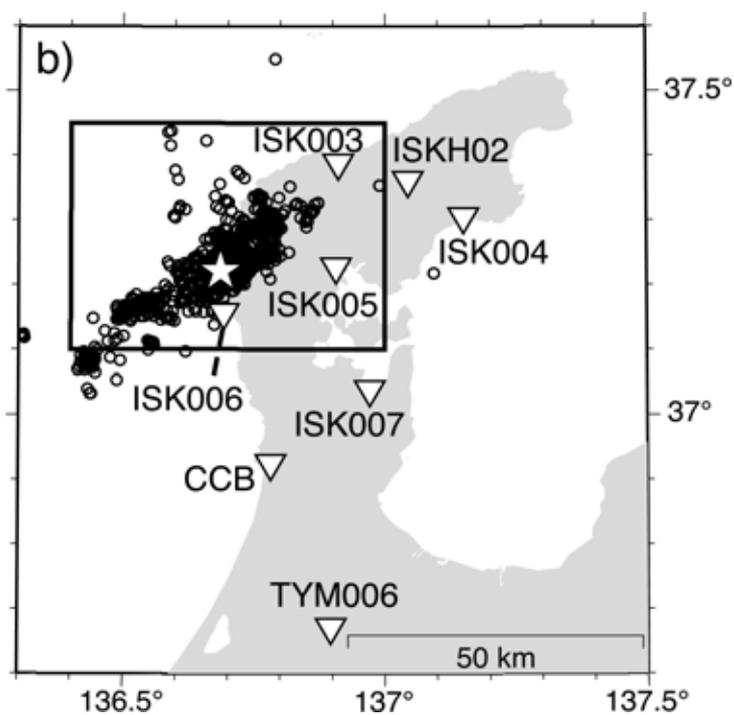


図 1.2.4-7
 能登半島地震の本震震央（星印），2007 年 5 月末までに発生した M2.5 以上の余震（丸印）と解析に使用した観測点分布（逆三角印）⁸⁾。

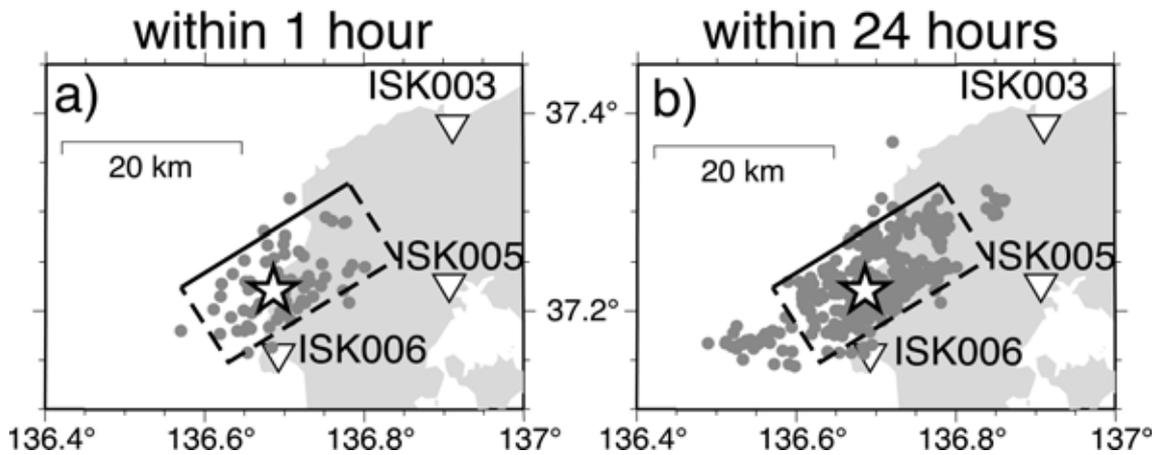


図1.2.4-8：余震分布(灰色丸印: $M > 2.5$)と仮定した矩形断層(破線, 上縁のみ実線)の位置⁸⁾。観測点の位置(逆三角印)と本震の震央(星印)も示す。(a) 本震発生後1時間以内に発生した余震, (b) 本震発生後24時間以内に発生した余震を表示。

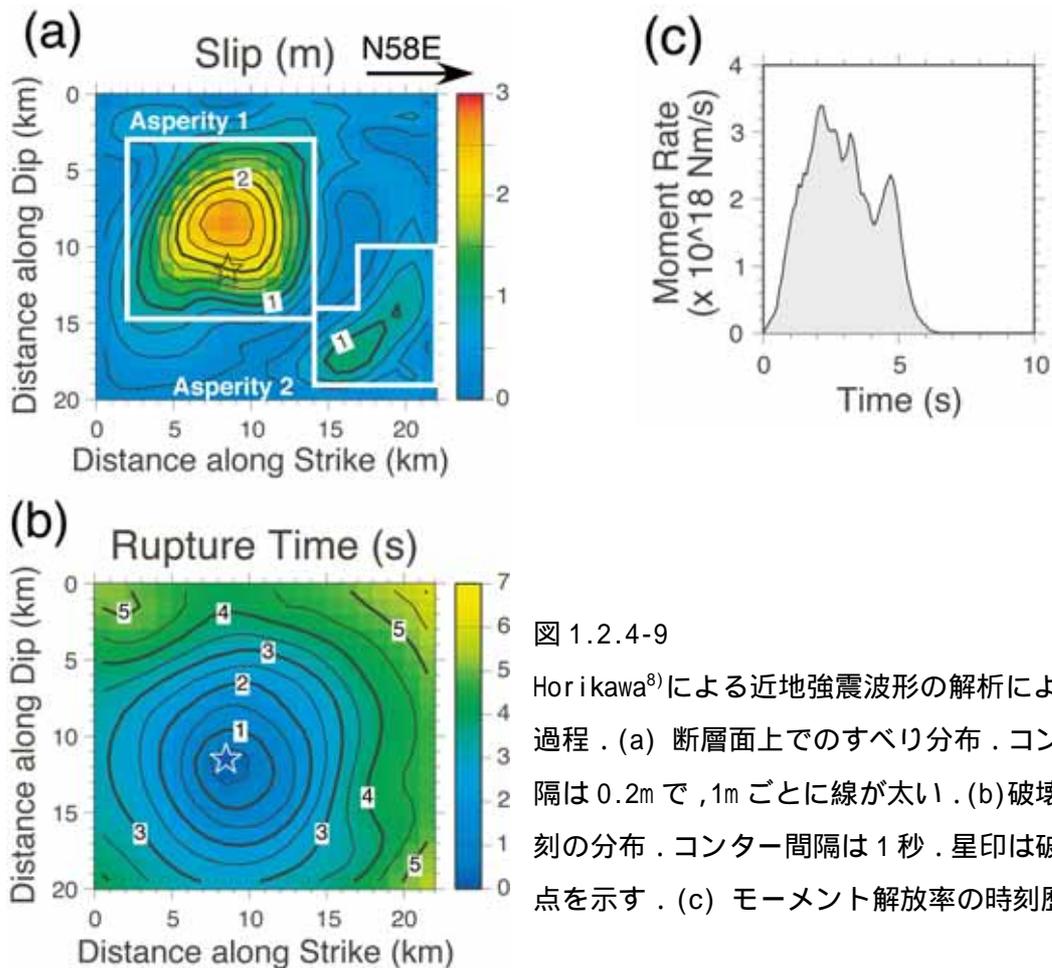


図 1.2.4-9

Horikawa⁸⁾による近地強震波形の解析による震源過程。(a) 断層面上でのすべり分布。コンター間隔は0.2mで, 1mごとに線が太い。(b) 破壊開始時刻の分布。コンター間隔は1秒。星印は破壊開始点を示す。(c) モーメント解放率の時刻歴。

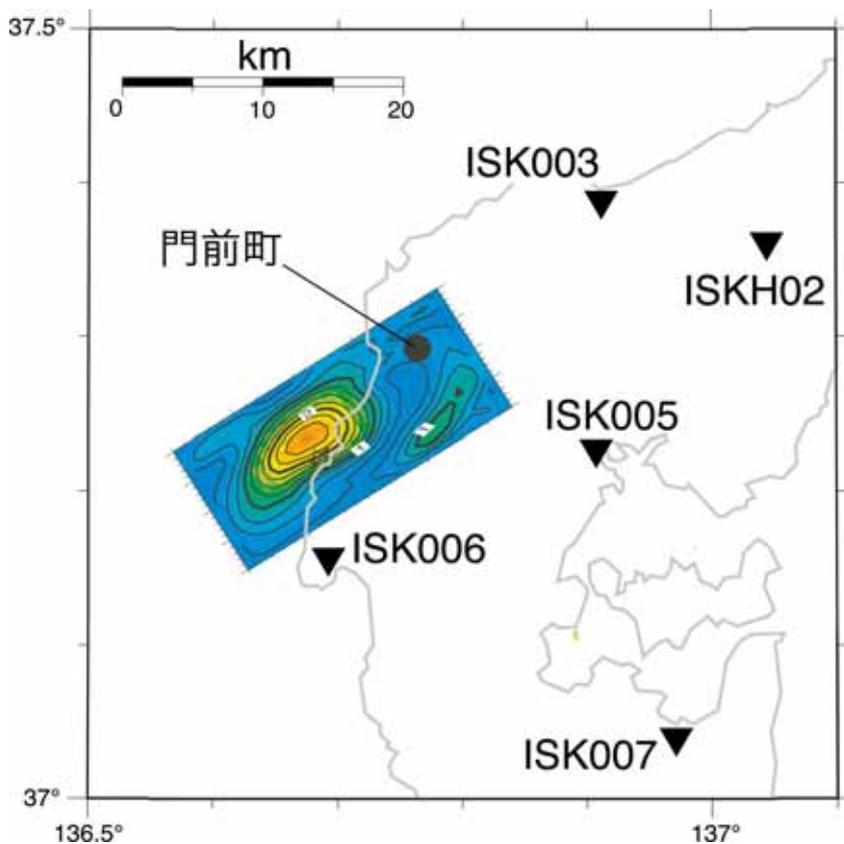


図 1.2.4-10

地表に投影されたすべり分布⁸⁾。

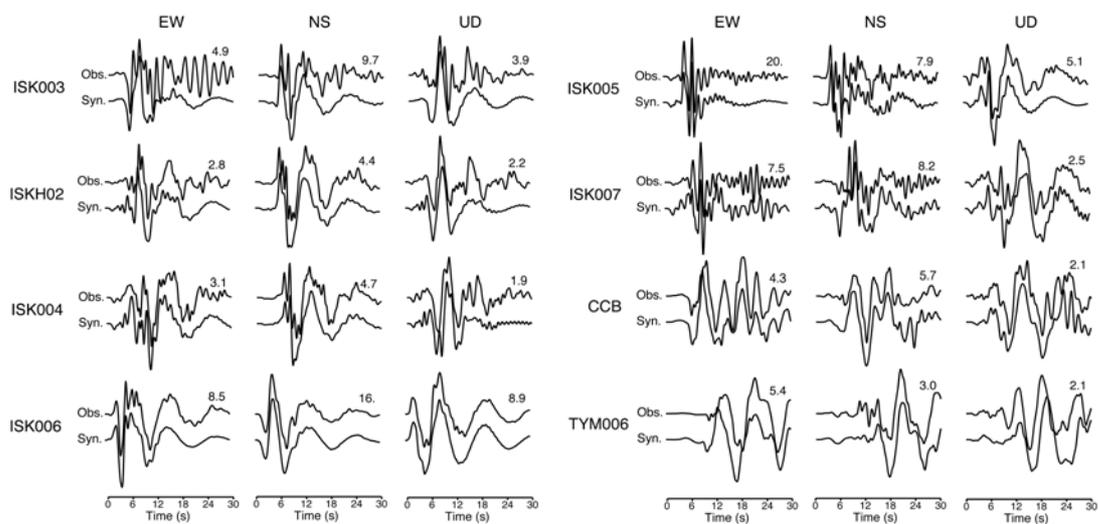


図 1.2.4-11

観測波形（実線）と合成波形（破線）との比較．数字は最大振幅（単位は cm）を表す⁸⁾。

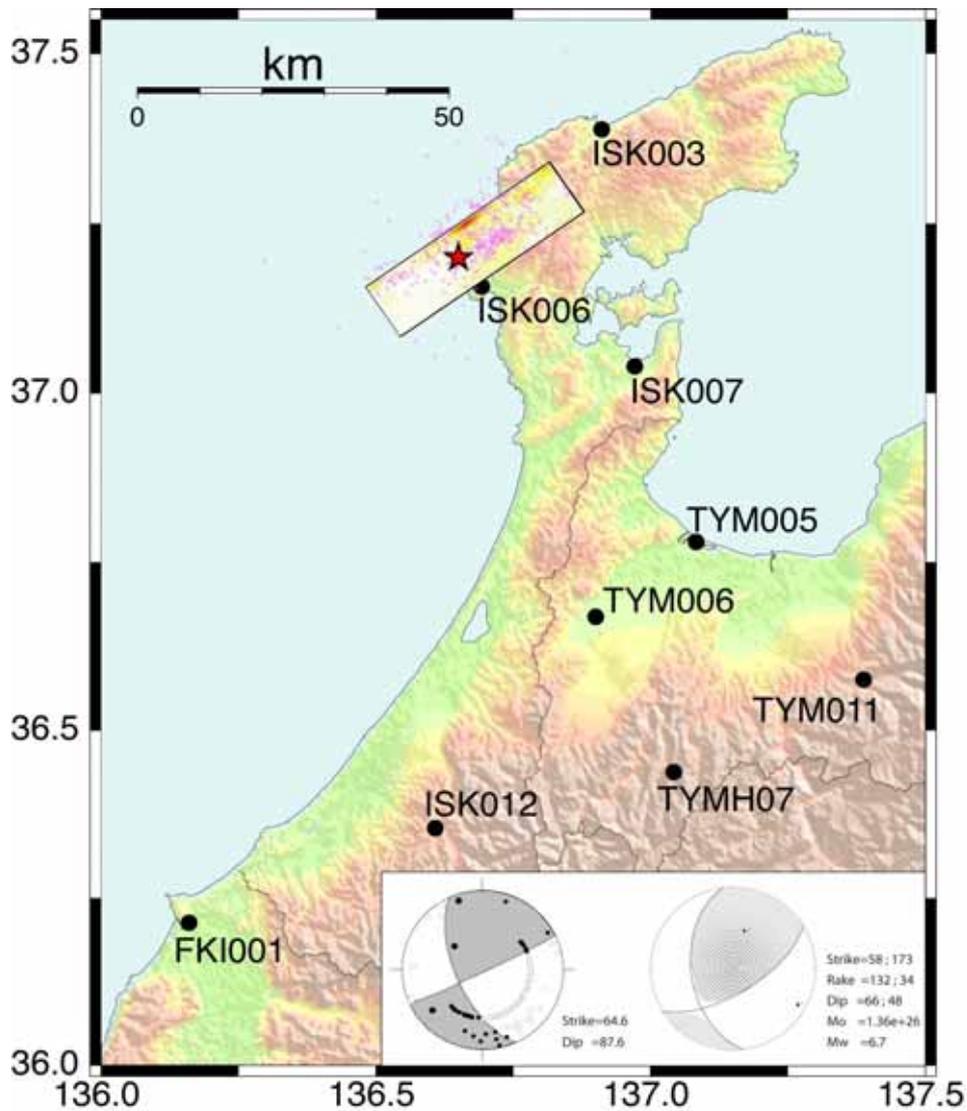


図1.2.4-12

青井・関口³⁴⁾による近地強震波形の解析に用いられた観測点の分布図．長方形はインバージョン解析に用いた断層モデルの地表への投影，星印は破壊開始点を示す．赤丸は，Hi-netの再検測による本震後約24時間の余震分布．震源メカニズムはF-netのモーメントテンソル解および，Hi-netのP波初動解による．

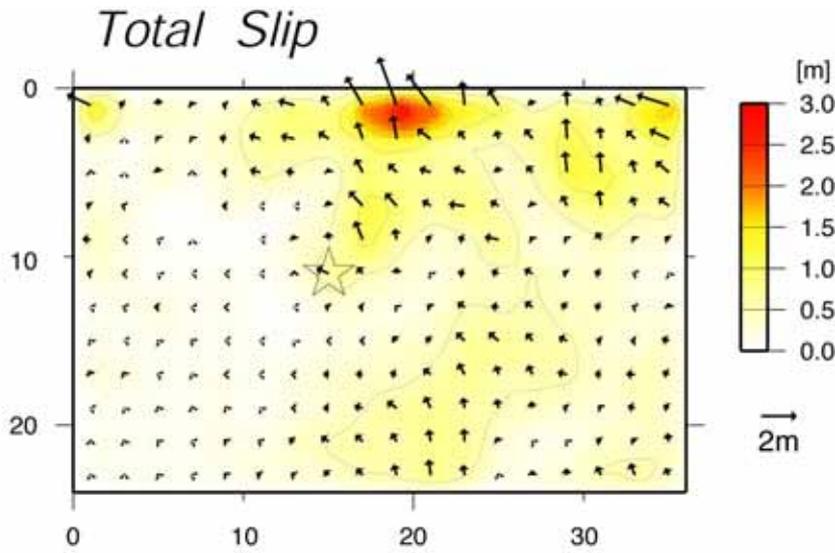


図1.2.4-13

インバージョン解析により推定された断層面上のすべり分布³⁴⁾。星印は破壊開始点を示す。

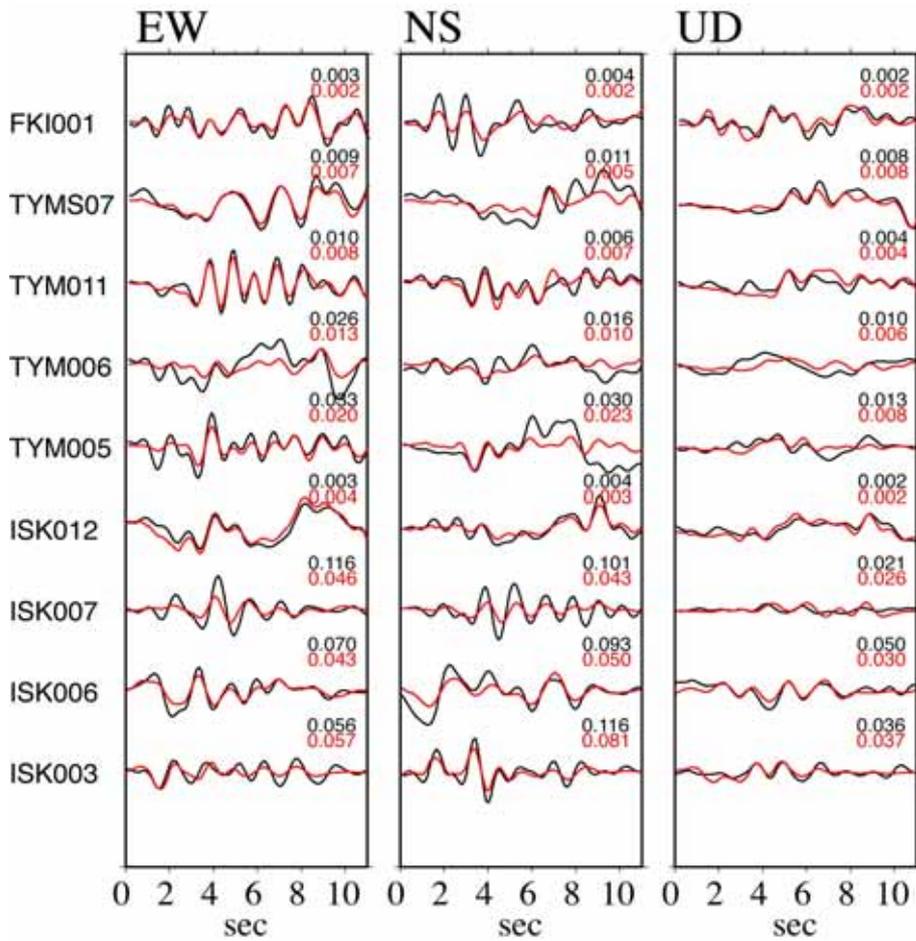


図1.2.4-14

観測波形と合成波形の比較³⁴⁾。黒線と赤線はそれぞれ観測波形と合成波形を示す。

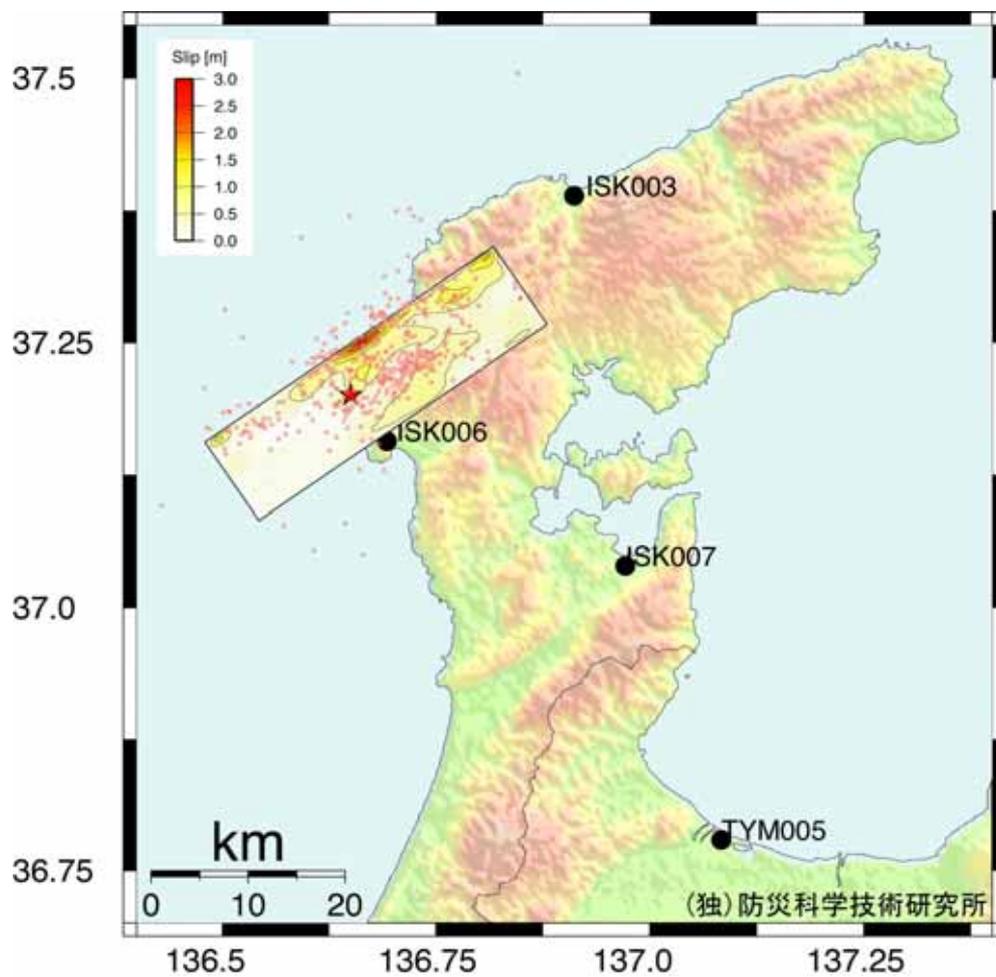


図1.2.4-15

インバージョン解析により得られたすべり分布の地表投影³⁴⁾。ピンクの点はHi-netの再検測による本震後約24時間の余震分布，星印は破壊開始点を示す。黒丸は解析に用いた観測点の一部。

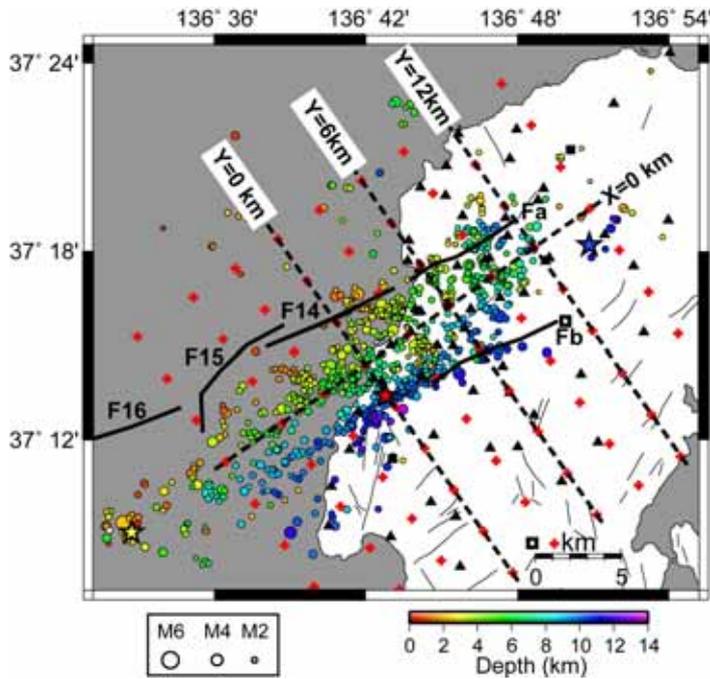


図 1.2.5-1
double-difference トモグラフィにより再震源決定された余震の震央分布 (丸印) と本震と最大余震の震央位置 (星印), 活断層分布 (太線と細線), トモグラフィ解析のグリッド (十字)¹¹⁾.

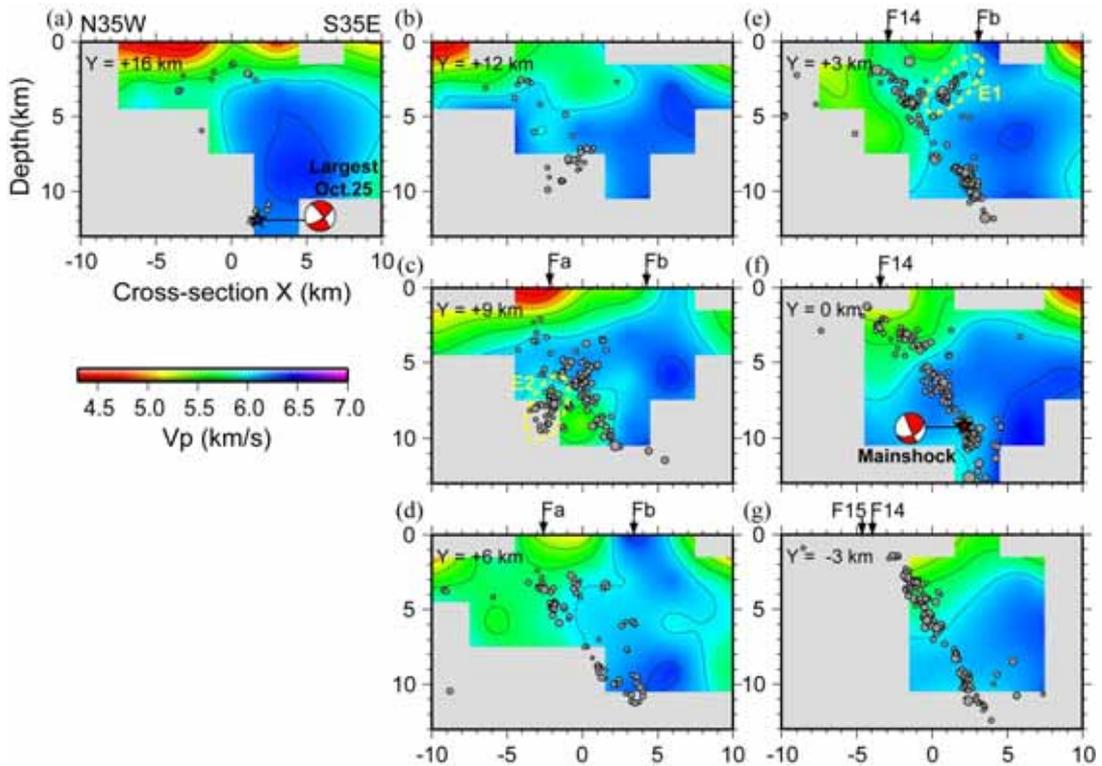


図 1.2.5-2
Kato et al.¹¹⁾により double-difference トモグラフィ解析から推定された P 波速度構造と各測線から ± 1.5 km 以内の余震分布. 矢印 (Fa, Fb, F14, F15) は各断層の地表でのおよその位置を示す.

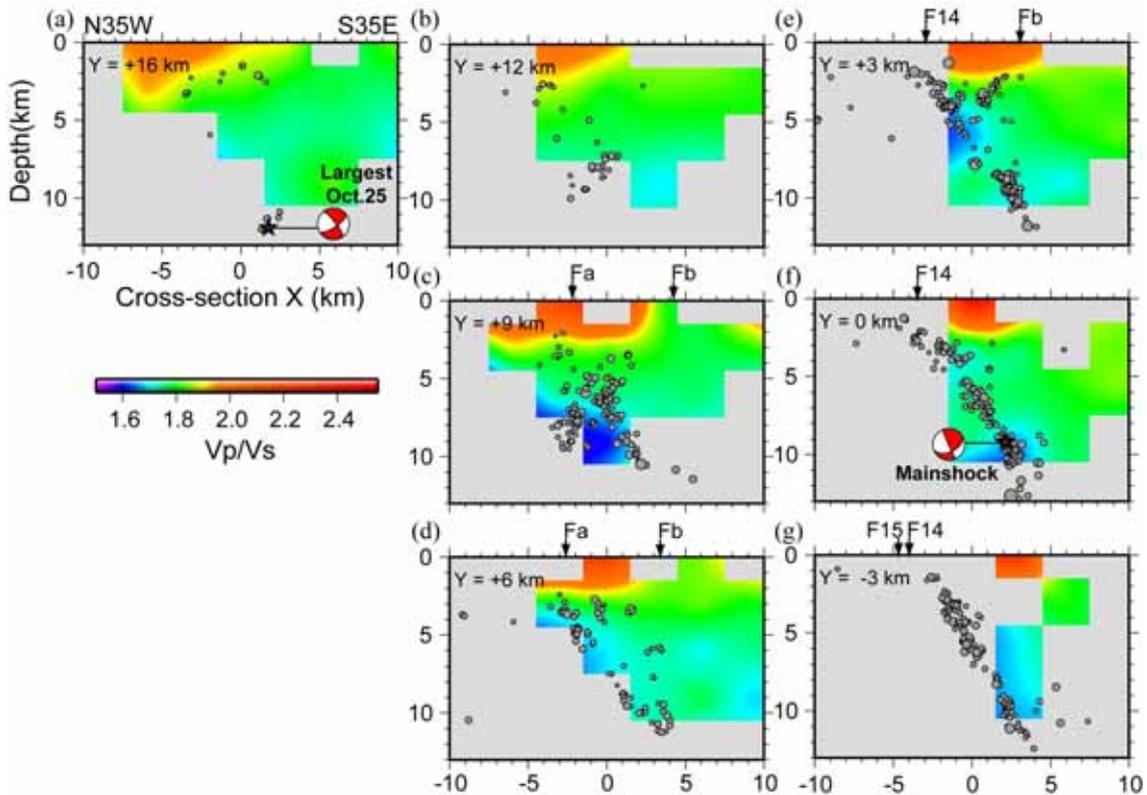


図 1.2.5-3

Kato et al.¹¹⁾により double-difference トモグラフィー解析から推定された V_p/V_s 構造と各測線から ± 1.5 km 以内の余震分布．矢印は各断層 (Fa, Fb, F14, F15) の地表でのおよその位置を示す．

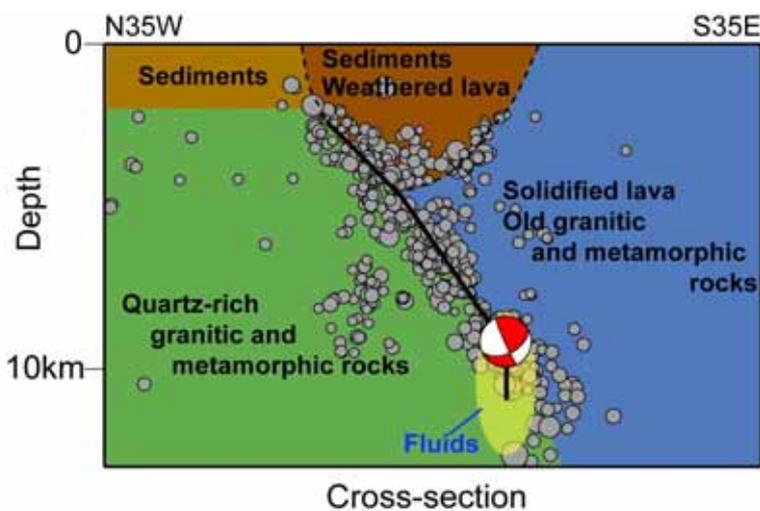


図 1.2.5-4

double-difference トモグラフィーの結果に基づく能登半島地震震源域の不均質構造の概念図¹¹⁾．実線は余震分布から推定された本震の断層面．破線は double-difference トモグラフィーの結果より推定された断層．F-net により決定されたモーメントテンソル解が示されている．

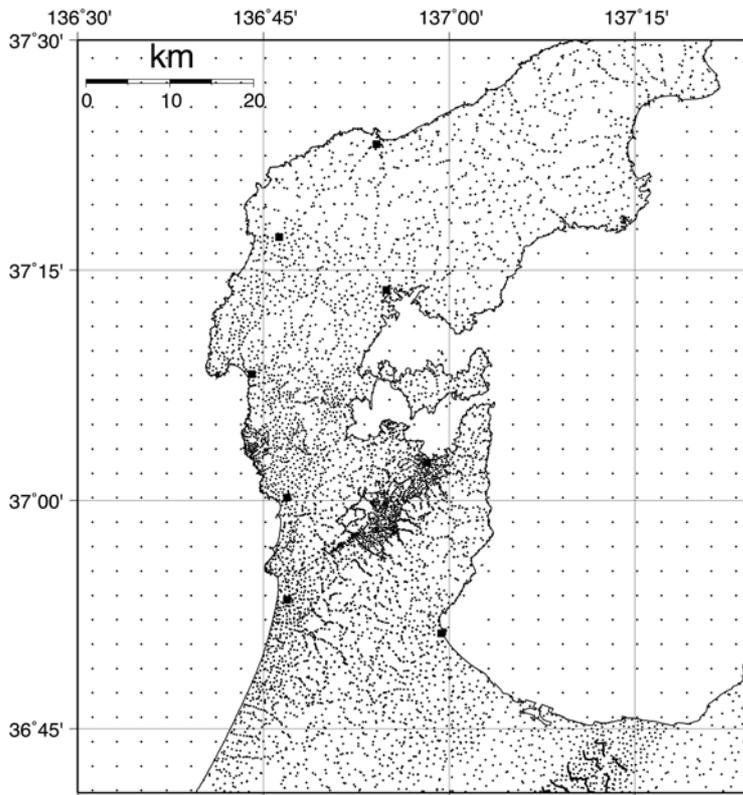


図 1.2.5-5
能登半島における重力測定点
の分布図¹⁴⁾。

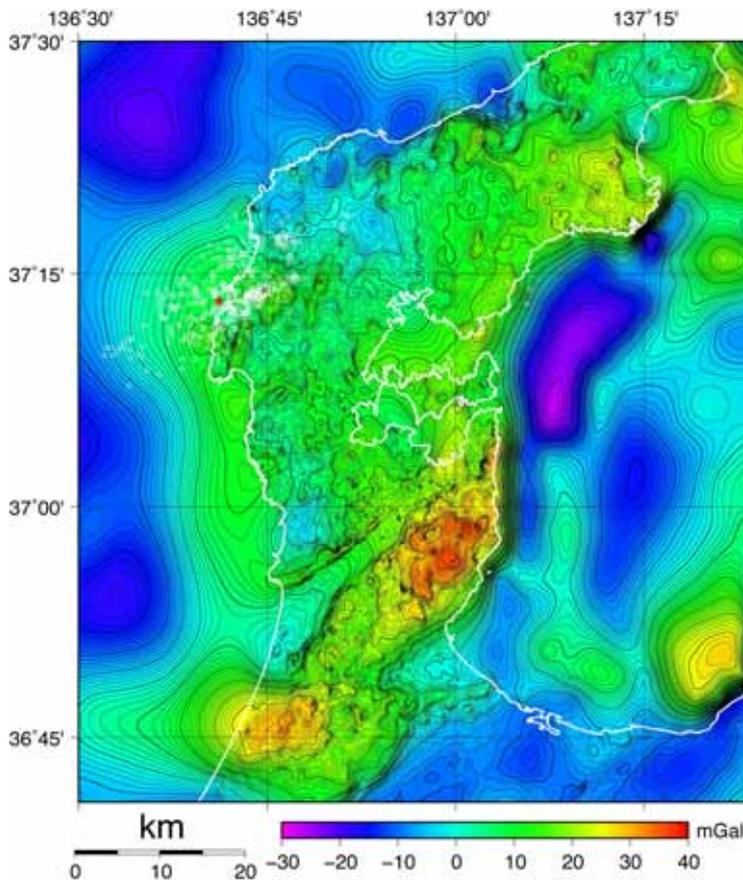


図 1.2.5-6
Honda et al.¹⁴⁾による長波長
成分を除去した能登半島の
ブーゲー異常図。

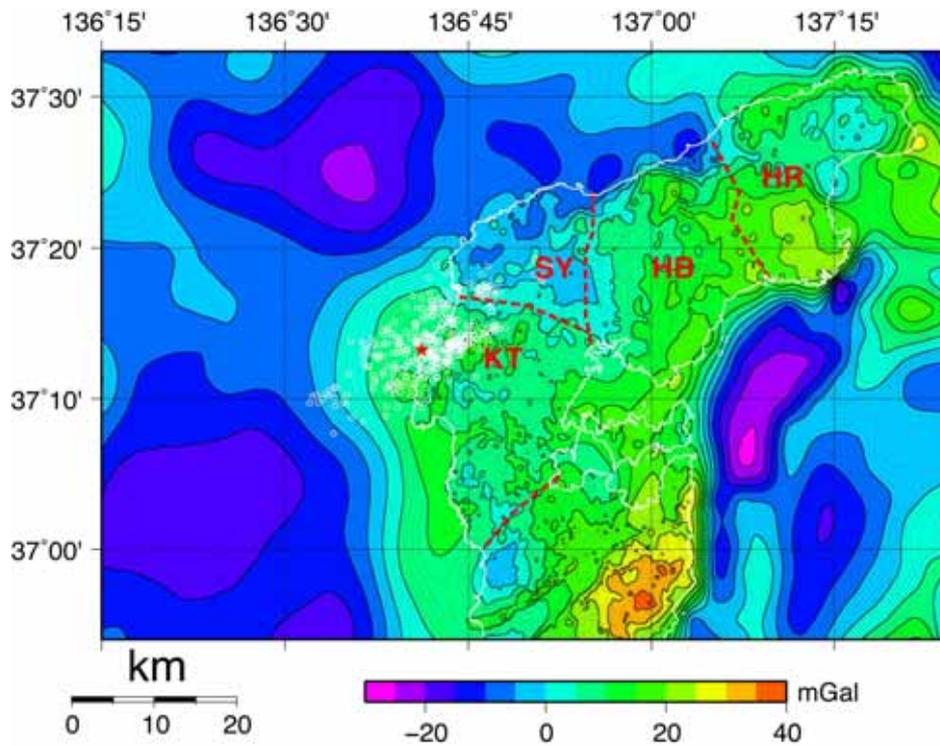


図 1.2.5-7

奥能登地域におけるブーゲー異常図と地塊境界（HR: 宝立地塊，HB: 鉢伏地塊，SY 猿山地塊，KT: 桑塚地塊）の対応¹⁴⁾．地塊境界は太田・ほか²⁷⁾による．白丸は気象庁一元化震源データによる能登半島地震の2007年3月25日の余震．

1.3 地震観測記録

1.3.1 はじめに

本節では、地震観測記録を基に、地震動指標(震度・最大加速度・最大速度)の分布や観測波形およびスペクトルを示すとともに、比較的近接した地点における地震動特性の比較を行ない、2007年能登半島地震の地震動の特徴について記す。また、2007年10月1日より正式運用される緊急地震速報の本地震に関する発表状況について記す。

1.3.2 地震観測点位置および設置状況

(1) 地震計設置位置

石川県内においては気象庁（以下「JMA」と称す）、独立行政法人 防災科学技術研究所、自治体震度計による地震観測が合計 62 地点で実施されている。これらの地震計設置位置を図 1.3.2-1 に示す。図中の断層面は青井・関口¹⁾が震源インバージョン解析を行なう際に設定した断層面である。なお、機関別の地震観測点の数は以下の通りである。

- ・ JMA：11 地点
- ・ 防災科学技術研究所 強震観測網(K-NET)：14 地点，基盤強震観測網(KiK-net)：9 地点
広帯域地震観測網(F-net)：1 地点
- ・ 自治体震度計：27 地点

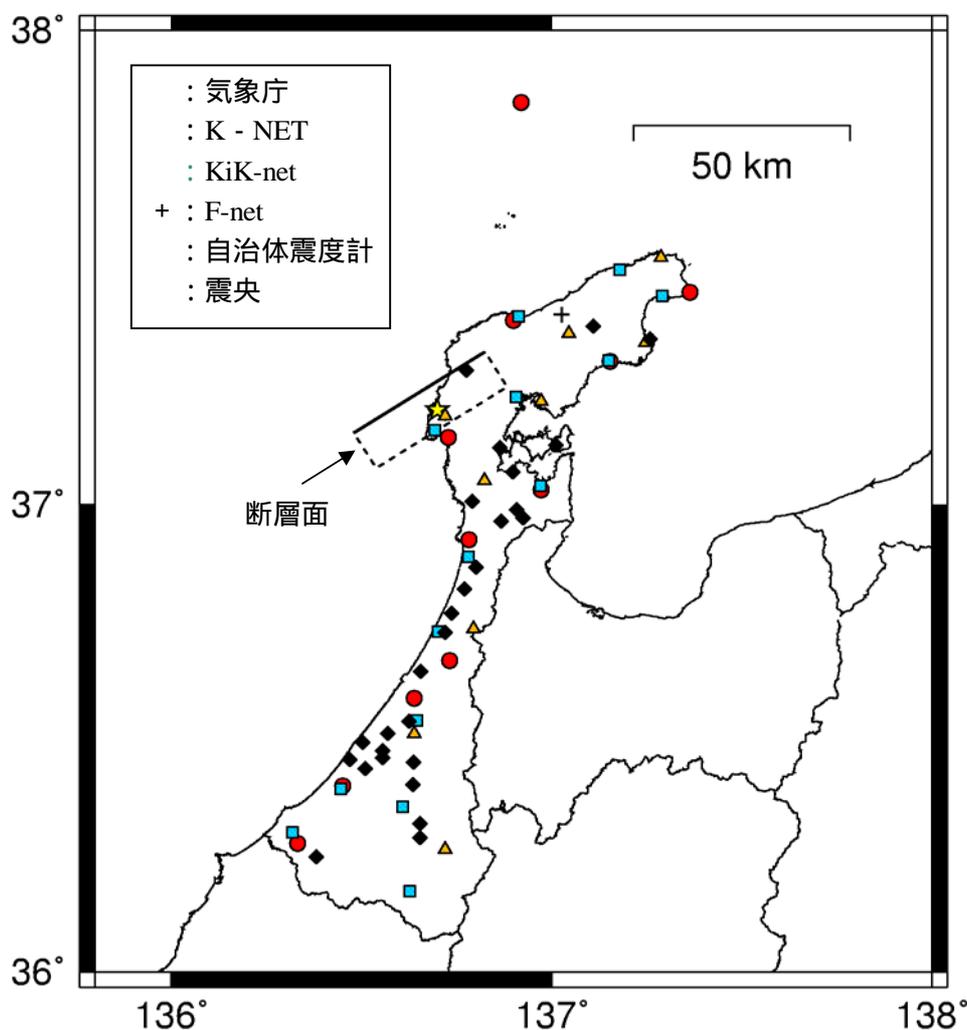


図 1.3.2-1 石川県内の地震観測点位置

(2) 地震計設置状況と周辺の被害状況

主な地震観測点における地震計設置状況と周辺の被害状況等を表1.3.2-1～表1.3.2-3に示す。

表1.3.2-1 気象庁観測点の地震計設置状況等

観測地点名	設置位置	計測震度	設置状況や周辺の被害状況，コメント等	
JMA-01 輪島市 鳳至町	輪島地方 合同庁舎 (測候所) 庭	6.1	 写真1.3.2-1	 写真1.3.2-2 ²⁾ 周辺には全壊家屋もみられる
JMA-02 志賀町 富来領家	志賀町役場 富来支所 1階倉庫内	5.6	 写真1.3.2-3	周辺には顕著な 被害は見られない
JMA-03 能登町 宇出津	能登町役場 1階	5.6	 写真1.3.2-4	 写真1.3.2-5 役場前がすぐ海である．周辺 には顕著な被害は見られない．
JMA-04 七尾市 本府中町	七尾 サンライフ プラザ 駐車場	5.3	 写真1.3.2-6	周辺には顕著な 被害は見られない

<注意> 観測点コードは著者が便宜的につけたものである

表1.3.2-2 K-NET観測点の地震計設置状況等

観測地点名	設置位置	計測震度	設置状況や周辺の被害状況，コメント等	
ISK003 (輪島)	一本松公園 入口階段脇	5.5	 <p>写真1.3.2-7</p>	 <p>写真1.3.2-8 (金沢大学 村田助教 提供) 周辺には全壊家屋も見られる</p>
ISK004 (能都)	宇出津 総合病院 駐車場脇	5.6	 <p>写真1.3.2-9</p>	<p>周辺には顕著な被害は見られない。</p>
ISK005 (穴水)	大町西 児童公園内	6.3	 <p>写真1.3.2-10</p>	 <p>写真1.3.2-11</p>
			 <p>写真1.3.2-12</p>	<p>公園横には川が流れている．公園横の比較的新しい家屋には被害はないものの，観測点近くには被害が集中した地区がある．</p>

注意) 能都町は平成17年3月に周辺市町村との合併により能登町となったが，K-NET観測点の名称は「能都」のままであり，ここでもK-NET観測点を能都と称した．

表1.3.2-2 K-NET観測点の地震計設置状況等(つづき)

観測地点名	設置位置	計測震度	設置状況や周辺の被害状況，コメント等	
ISK006 (富来)	志賀町とき 実験農場	5.9	 <p data-bbox="708 663 858 696">写真1.3.2-13</p>	 <p data-bbox="1123 663 1273 696">写真1.3.2-14</p> <p data-bbox="1007 719 1385 819">周辺には顕著な被害は見られないが，数km離れた道路では盛土の崩壊が見られた．</p>
ISK007 (七尾)	七尾市役所 前庭	5.2	 <p data-bbox="708 1133 858 1167">写真1.3.2-15</p>	<p data-bbox="1007 931 1385 1066">K-NET地震計(向かって右)と自治体震度計(向かって左)が並んで設置されている．周辺には顕著な被害は見られない．</p>

表1.3.2-3 自治体震度計の地震計設置状況等

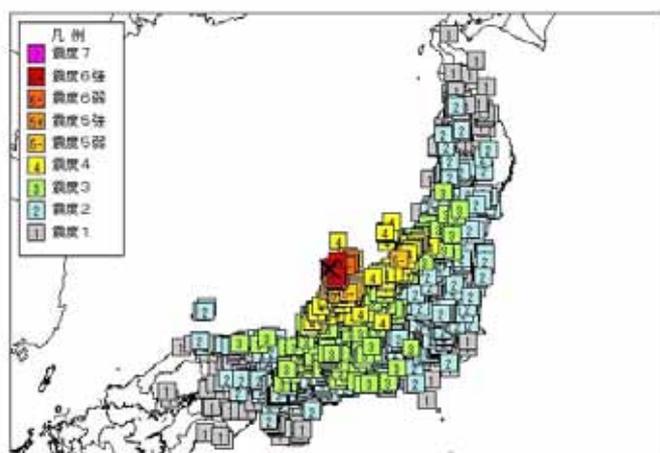
観測地点名	設置位置	計測震度	設置状況や周辺の被害状況，コメント等	
SI-01 門前町 走出	輪島市役所 門前支所 裏庭	6.4	 <p>写真1.3.2-16</p>	 <p>写真1.3.2-17</p>
			 <p>写真1.3.2-18</p>	<p>震度計台周辺の地盤に地割れが発生した。観測環境の悪化が懸念されたため、門前支所内に臨時の震度計が設置された³⁾。支所周辺の家屋には甚大な被害が生じている。なお、耐震補強済みの門前高校は無被害であった(写真1.3.2-18)。</p>
SI-02 田鶴浜	七尾市役所 田鶴浜支所 裏庭	6.2	 <p>写真1.3.2-19</p>	 <p>写真1.3.2-20</p>
			 <p>写真1.3.2-21</p>	<p>地盤の液状化が発生し、地震計が手前左方向に沈下している。地割れが生じ、側溝には噴砂が見られる。正常な地震観測が不可能となったため、付近に臨時の震度計が設置された³⁾。周辺には家屋や土蔵の全壊等の被害が見られた。</p>

<注意> 観測点コードは著者が便宜的につけたものである

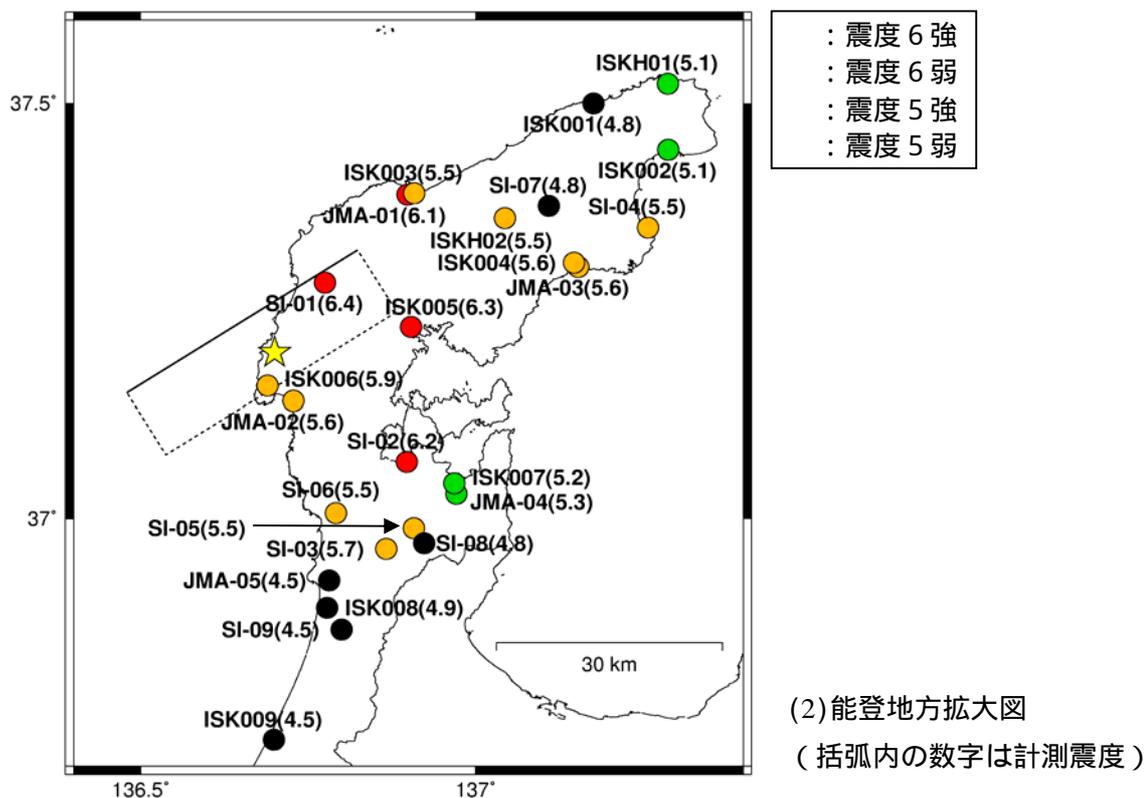
1.3.3 地震動指標(震度・最大加速度・最大速度)の分布

(1) 震度分布

石川県輪島市・七尾市・穴水町で震度 6 強, 志賀町・能登町・中能登町で震度 6 弱を記録したほか, 北陸地方を中心に北海道から中国・四国地方にかけて震度 5 強～震度 1 を記録した(図 1.3.3-1)。能登地方の地震観測点における震度を表 1.3.3-1 に示す。震度 6 強を記録したのは, 輪島市門前町走出(計測震度 6.4), 穴水町大町(計測震度 6.3), 七尾市田鶴浜町(計測震度 6.2), 輪島市鳳至町(計測震度 6.1)の 4 箇所である。なお, 自治体震度計による計測震度は地震・火山月報(防災編)⁵⁾を参照した。



(1) 広域図⁴⁾



(2) 能登地方拡大図
(括弧内の数字は計測震度)

図 1.3.3-1 震度分布

表1.3.3-1 能登地方の地震観測点における計測震度（震度5弱以上を観測した地点）

	観測点 コード	地点名	震央距離 (km)	計測震度	震度階
JMA	JMA-01	輪島市 鳳至町	27	6.1	6強
	JMA-02	志賀町 富来領家	10	5.6	6弱
	JMA-03	能登町 宇出津	42	5.6	6弱
	JMA-04	七尾市 本府中町	33	5.3	5強
	JMA-05	羽咋市 柳田町	34	4.5	5弱
K-NET	ISK001	大谷	53	4.8	5弱
	ISK002	正院	59	5.1	5強
	ISK003	輪島	27	5.5	6弱
	ISK004	能都	42	5.6	6弱
	ISK005	穴水	20	6.3	6強
	ISK006	富来	7	5.9	6弱
	ISK007	七尾	32	5.2	5強
	ISK008	羽咋	38	4.9	5弱
	ISK009	七塚	55	4.5	5弱
KiK-net	ISKH01	珠洲	63	5.1	5強
	ISKH02	柳田	35	5.5	6弱
自治体震度計	SI-01	輪島市 門前町走出	10	6.4	6強
	SI-02	七尾市 田鶴浜町	24	6.2	6強
	SI-03	中能登町 能登部下	33	5.7	6弱
	SI-04	能登町 松波	52	5.5	6弱
	SI-05	中能登町 末坂	33	5.5	6弱
	SI-06	志賀町 末吉千古	26	5.5	6弱
	SI-07	能登町 柳田	40	4.8	5弱
	SI-08	中能登町 井田	36	4.8	5弱
	SI-09	宝達志水町 子浦	41	4.5	5弱

<注意> JMAおよび自治体震度計の観測点コードは著者が便宜的につけたものである

(2) 最大加速度・最大速度の分布

防災科学技術研究所による最大加速度および最大速度の広域分布を図 1.3.3-2 に、距離減衰特性を図 1.3.3-3 に示す⁶⁾。図 1.3.3-3 中、赤い破線は司・翠川⁷⁾による距離減衰特性の平均値および平均値±標準偏差である。断層からの最短距離が約 50km より近い範囲では、司・翠川による平均的な距離減衰特性よりやや大きい値となり、約 50km 以遠では平均的な距離減衰特性と概ね対応していることがわかる。

能登地方の地震観測点のうち、震度 5 弱以上を観測した地点における最大加速度・最大速度を表 1.3.3-2 および図 1.3.3-4 に示す。表 1.3.3-2 では各成分の最大値および 3 成分のベクトル合成の最大値を示した。JMA, K-NET, KiK-net の各観測点については、観測された加速度波形を積分することで速度波形を求め、これより最大値を得た。F-Net については観測された速度波形を微分することで加速度波形を求め、これより最大値を得た。なお、自治体震度計については、本震波形はその後発生した余震の波形によって上書きされてしまい、3 成分合成の最大加速度値のみが地震・火山月報(防災編)⁴⁾に記されている。最大加速度は SI-01(門前町走出)において 1,304cm/s/s を記録したのが最大であり、ISK005(穴水), ISK006(富来)で 900cm/s/s と越える大きな最大加速度を記録した。最大速度は ISK005(穴水)で 103cm/s を記録したのが最大であり、JMA-01(輪島市鳳至町)でも 100cm/s に近い値が記録された。

図 1.3.3-5 に最大加速度と最大速度の関係について、既往地震の観測記録とともに示す。図中、ピンク色で示した領域は最大加速度(PGA)が 800cm/s/s 以上かつ最大速度(PGV)が 100cm/s 以上の領域で、川瀬⁸⁾が示した、構造物に対し大きな被害が発生する目安である。また、点線で示したのは等価卓越周波数($PGA/PGV/2$)が 0.5, 1, 2, 5Hz のラインである。ここで、SI-01(門前町走出)における最大速度は、微動観測や墓石転倒調査の結果等から推定された値(100cm/s 以上)⁹⁾を参考値として示した。ISK005(穴水)と SI-01(門前町走出)では、構造物に対し大きな被害が発生する目安の範囲に入っており、これは周辺の被害状況とも概ね整合する。また、JMA-01(輪島市鳳至町)では長周期成分が、ISK006(富来)では短周期成分が卓越していたことがわかる。

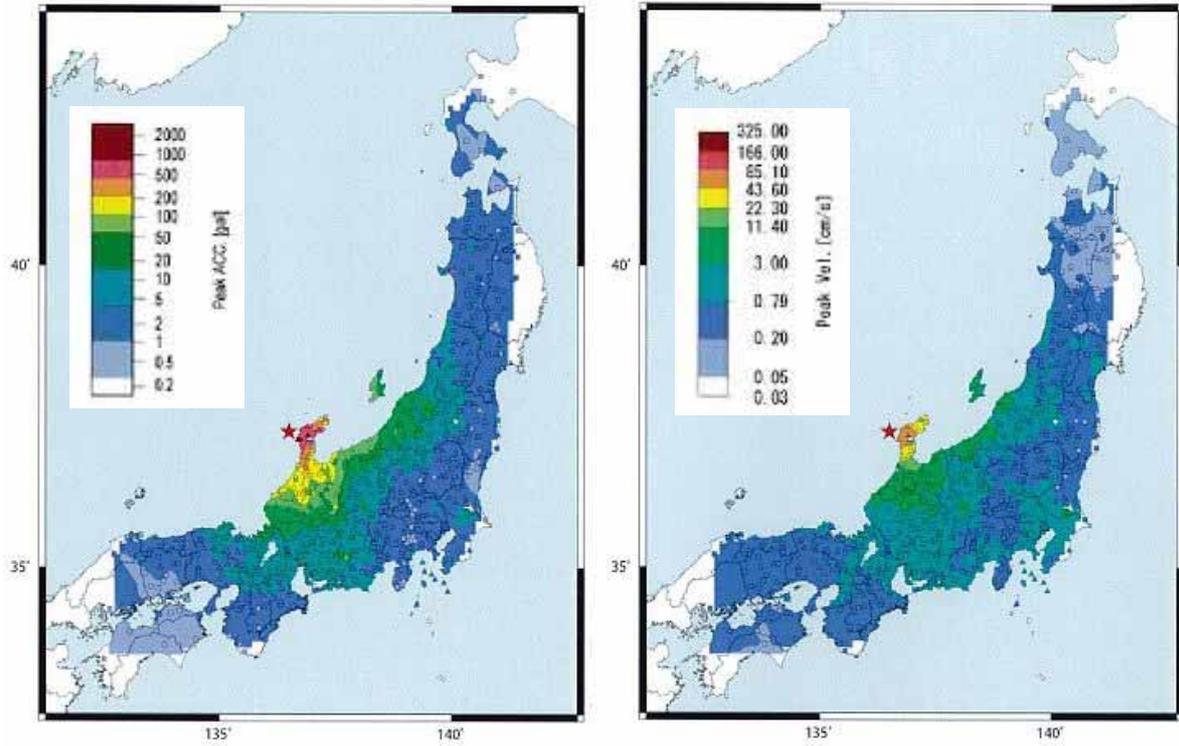


図 1.3.3-2 最大加速度(左) , 最大速度(右)の広域分布⁶⁾

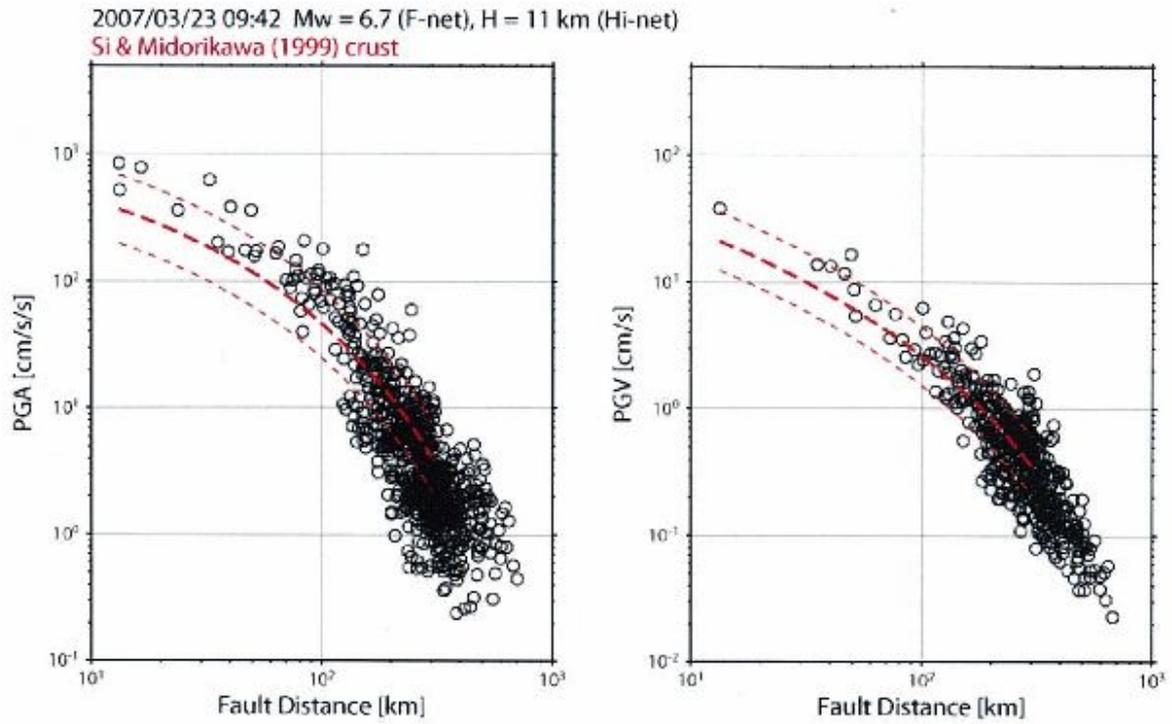


図 1.3.3-3 最大加速度(左) , 最大速度(右)の距離減衰特性⁶⁾

表1.3.3-2 能登地方の地震観測点における最大加速度および最大速度
(震度5弱以上を観測した地点)

	観測点コード	地点名	D* (km)	最大加速度(cm/s/s)				最大速度(cm/s)			
				NS	EW	UD	合成	NS	EW	UD	合成
JMA	JMA-01	輪島市 鳳至町	27	464	439	190	474	93	82	17	98
	JMA-02	志賀町 富来領家	10	276	507	452	544	27	52	14	53
	JMA-03	能登町 宇出津	42	235	147	118	278	49	21	6	52
	JMA-04	七尾市 本府中町	33	197	257	92	258	24	36	6	36
	JMA-05	羽咋市 柳田町	34	115	221	110	230	12	16	4	16
K-NET	ISK001	大谷	53	166	170	81	182	15	11	4	16
	ISK002	正院	59	174	159	138	183	22	25	10	30
	ISK003	輪島	27	519	396	141	548	39	21	14	44
	ISK004	能都	42	622	589	147	666	24	19	7	26
	ISK005	穴水	20	473	782	556	903	35	98	16	103
	ISK006	富来	7	717	849	462	945	36	48	18	58
	ISK007	七尾	32	202	182	167	221	27	33	7	35
	ISK008	羽咋	38	228	386	298	411	17	24	8	24
	ISK009	七塚	55	171	172	83	185	7	9	4	10
KiK-net	ISKH01	珠洲	63	359	123	94	360	23	11	5	23
	ISKH02	柳田	35	274	359	204	380	33	26	18	35
F-Net	F-WJM	輪島	36	353	253	86	371	34	14	14	36
自治体 震度計	SI-01	輪島市 門前町走出	10	-			1,304	-			
	SI-02	七尾市 田鶴浜町	24	-			746	-			
	SI-03	中能登町 能登部下	33	-			352	-			
	SI-04	能登町 松波	52	-			555	-			
	SI-05	中能登町 末坂	33	-			331	-			
	SI-06	志賀町 末吉千古	26	-			274	-			
	SI-07	能登町 柳田	40	-			268	-			
	SI-08	中能登町 井田	36	-			221	-			
	SI-09	宝達志水町 子浦	41	-			186	-			

D：震央距離

<注意> JMAおよび自治体震度計の観測点コードは著者が便宜的につけたものである

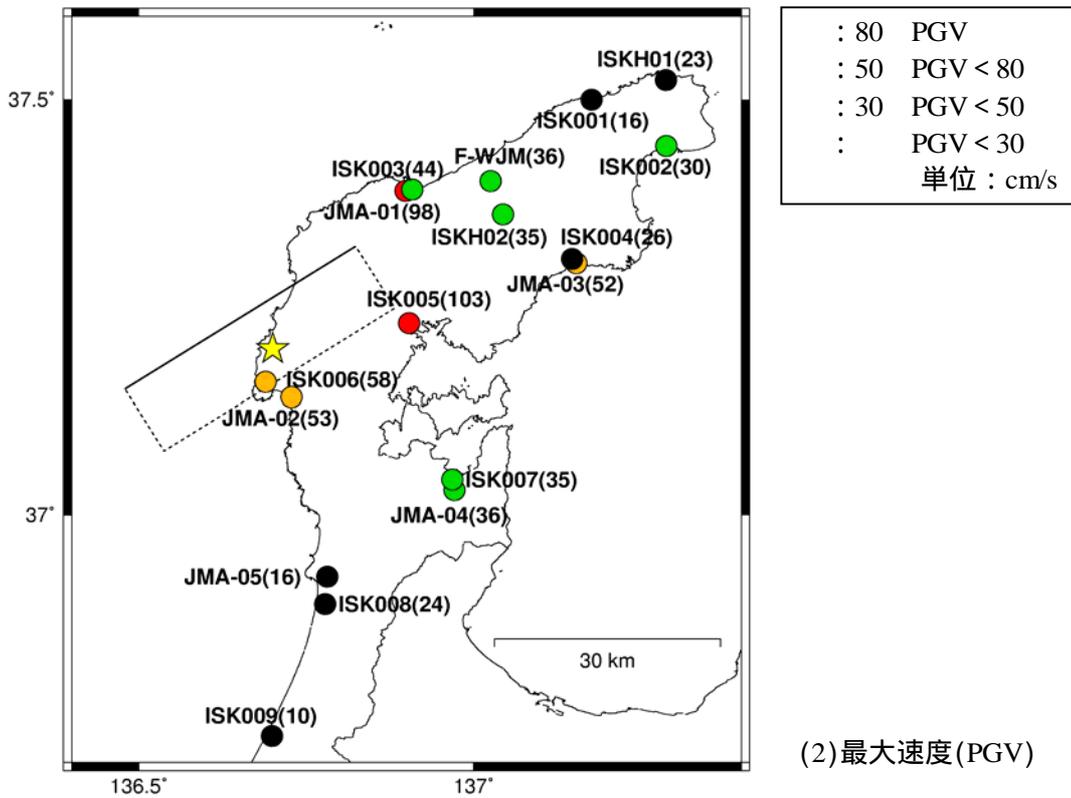
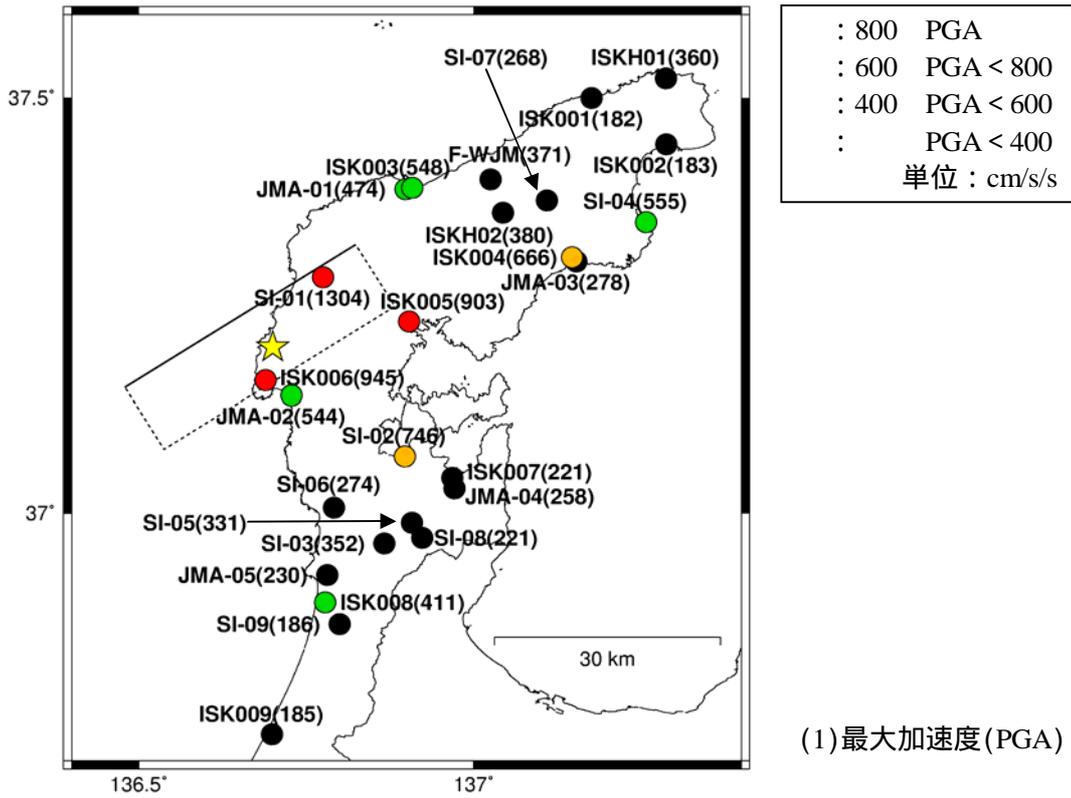


図 1.3.3-4 最大加速度 (PGA) および最大速度 (PGV) の分布図
 [括弧内の数字は最大加速度 (cm/s/s) あるいは最大速度 (cm/s)]

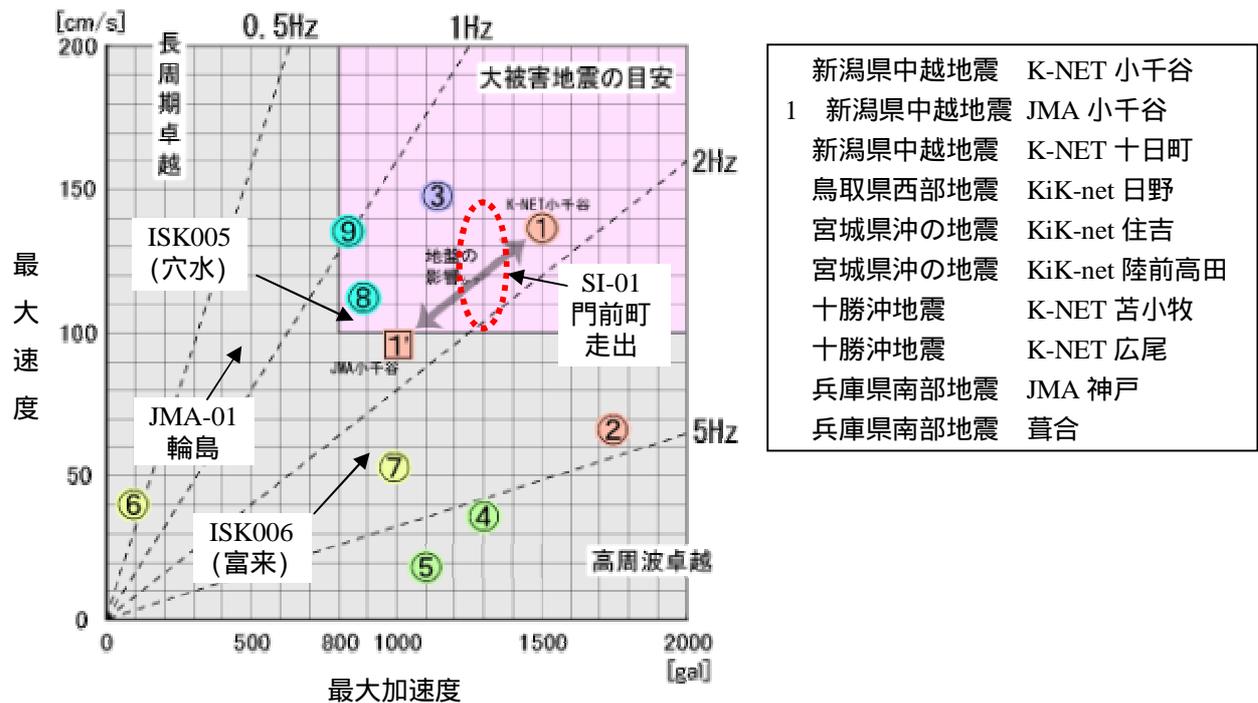


図 1.3.3-5 既往地震の主な観測点における最大加速度と最大速度の関係

[<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/news/niiigata041023/> に加筆]

[SI-01(門前町走出)の最大速度は推定値]

1.3.4 観測波形およびスペクトル

(1) 大振幅を記録した観測点の波形およびスペクトル

ここでは、大振幅を記録した観測点として、最大加速度が 900cm/s/s 以上あるいは最大速度が 90cm/s 以上となった以下の 3 観測点を取り上げ、その観測波形およびスペクトルを示す。

JMA-01(輪島市鳳至町), ISK005(穴水), ISK006(富来)

これらの観測点位置を図 1.3.4-1 に、各観測点における地震動指標を表 1.3.4-1 に示す。

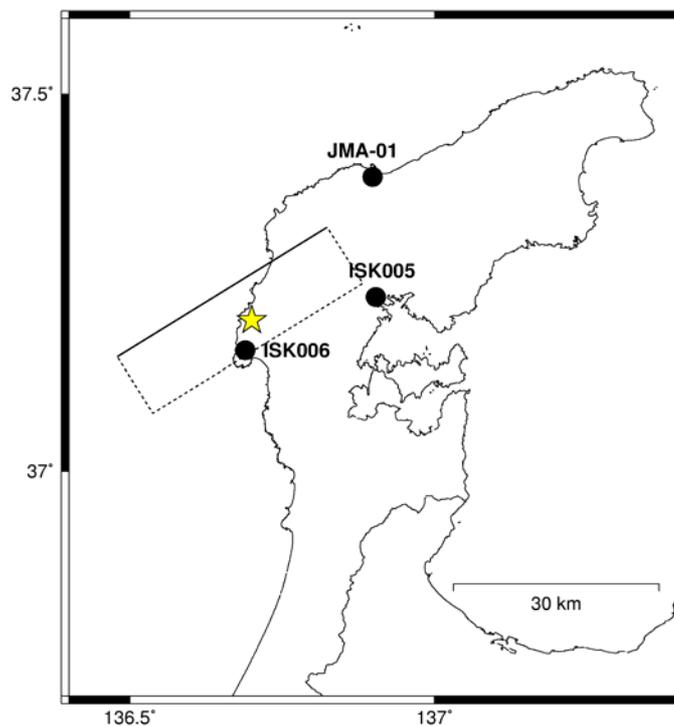


図 1.3.4-1 大振幅を記録した観測点の位置

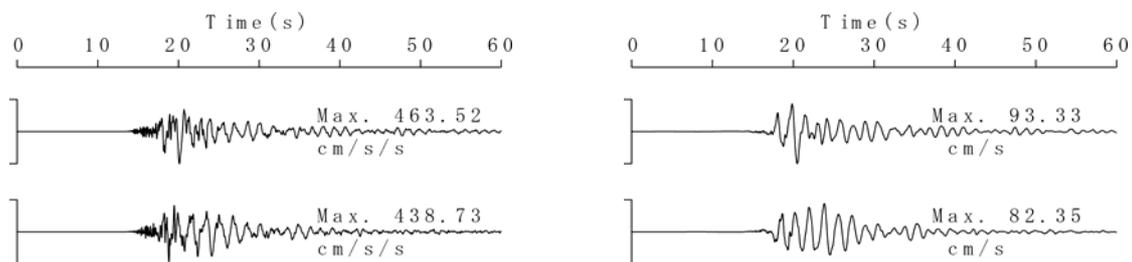
表1.3.4-1 大振幅を記録した観測点における地震動指標

観測点 コード	地点名	計測 震度	震度 階	最大加速度(cm/s/s)				最大速度(cm/s)			
				NS	EW	UD	合成	NS	EW	UD	合成
JMA-01	輪島市 鳳至町	6.1	6 強	464	439	190	474	93	82	17	98
ISK005	穴水	6.3	6 強	473	782	556	903	35	98	16	103
ISK006	富来	5.9	6 弱	717	849	462	945	36	48	18	58

JMA-01(輪島)における加速度・速度波形および減衰定数 5%の応答スペクトルを図 1.3.4-2 に示す。これより、2 秒程度の周期帯が卓越しており、この周期帯の擬似速度応答スペクトルは 500cm/s に近い非常に大きな値であることがわかる。

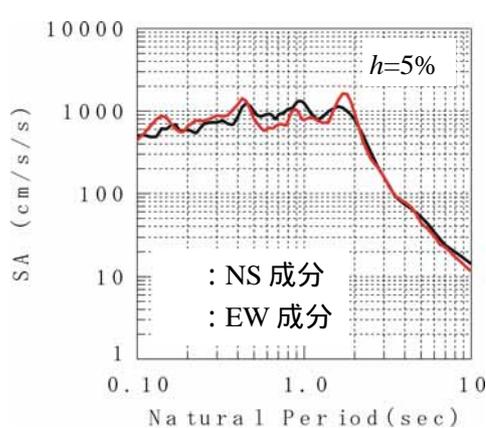
ISK005(穴水)における加速度・速度波形および減衰定数 5%の応答スペクトルを図 1.3.4-3 に示す。これより、1~2 秒程度の周期帯が卓越していること、NS 成分に比べ EW 成分が卓越し地震動の異方性が見られることがわかる。岩田¹⁰⁾は穴水町において K-NET 観測点や穴水町役場駐車場(TWN)など計 4 地点で余震の同時観測を行ない、TWN に対する K-NET 観測点のスペクトル比は 0.5~1 秒の周期帯において 10 倍程度で、K-NET 観測点は相対的に揺れやすいことを示している。図 1.3.4-4 に ISK005(穴水)のボーリング柱状図を示す。深度 15m 以浅では N 値が 0~9、せん断波速度が 60~130m/sec と非常に軟弱な地盤となっており、この軟弱な堆積層により地震動が増幅したと考えられる。

ISK006(富来)における加速度・速度波形および減衰定数 5%の応答スペクトルを図 1.3.4-5 に示す。これより、JMA-01(輪島)や ISK005(穴水)とは異なり、0.2 秒程度の短周期領域が卓越していることがわかる。図 1.3.4-6 に ISK006(富来)のボーリング柱状図を示す。深度 9m でせん断波速度が 390m/sec の工学的基盤となり、堆積層も ISK005(穴水)に比べ硬いことが判る。

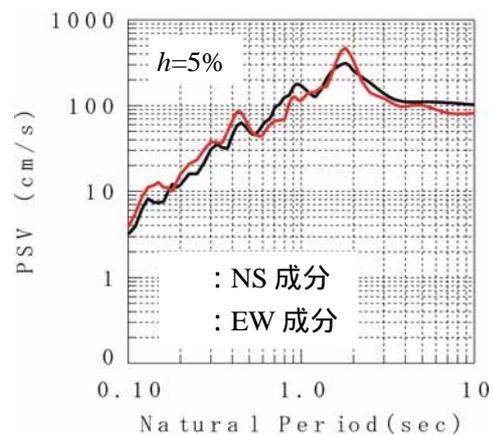


(1) 加速度波形(上：NS 成分，下：EW 成分)

(2) 速度波形(上：NS 成分，下：EW 成分)



(3) 加速度応答スペクトル



(4) 擬似速度応答スペクトル

図 1.3.4-2 JMA-01(輪島市鳳至町)における観測記録

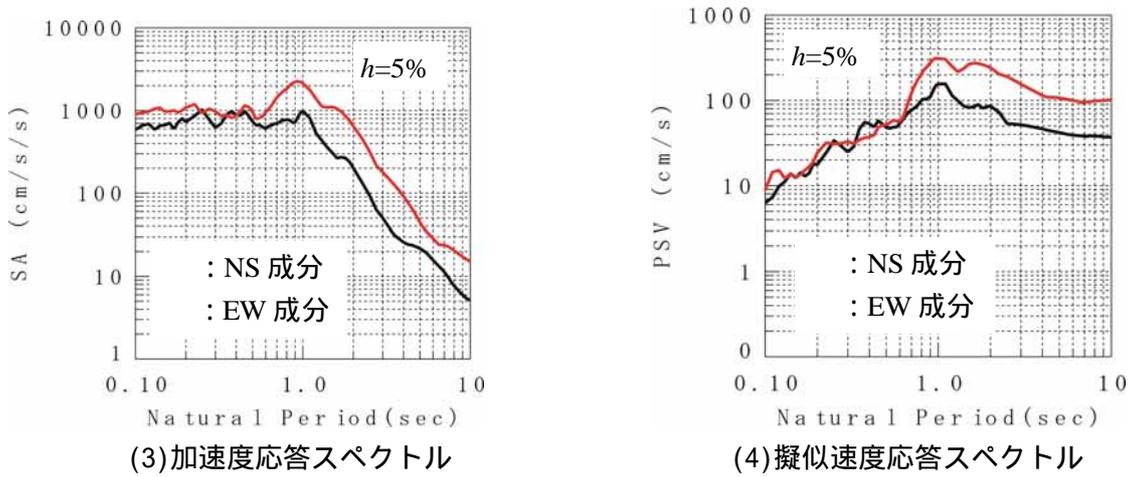
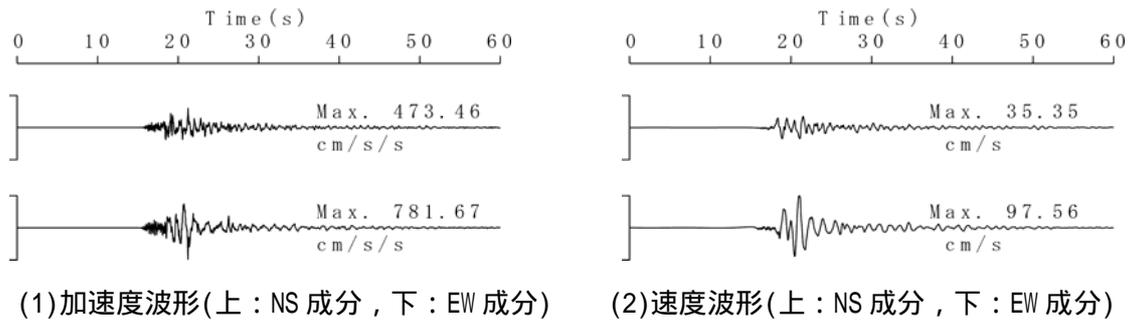


図 1.3.4-3 ISK005(穴水)における観測記録

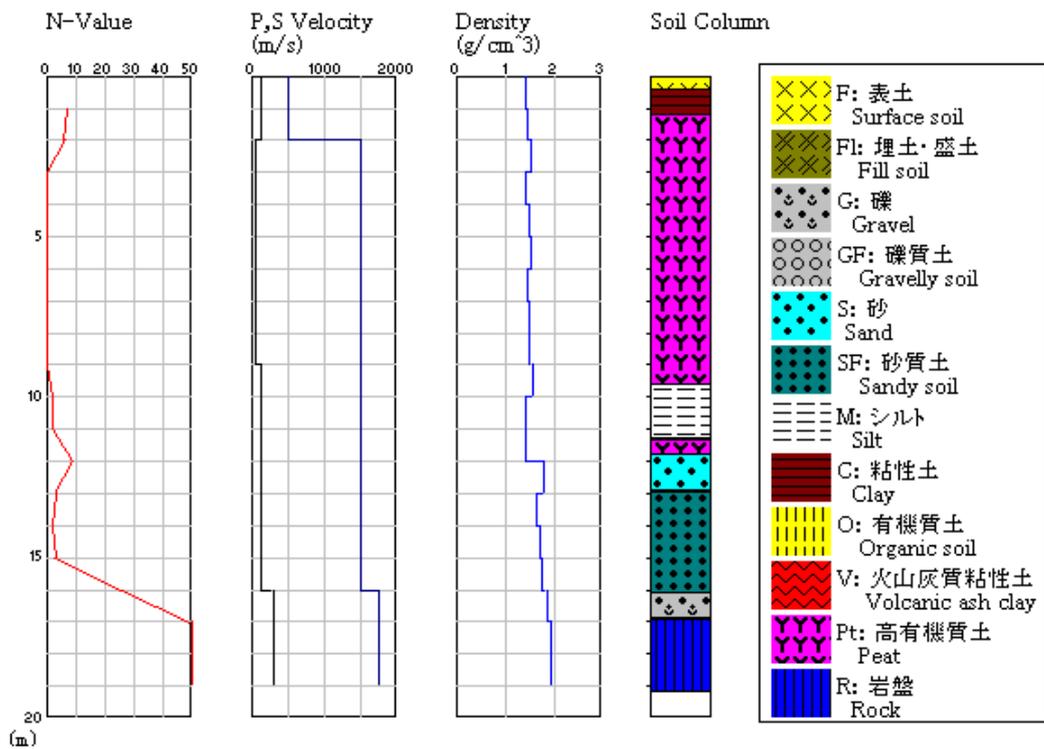


図 1.3.4-4 ISK005(穴水)のボーリング柱状図

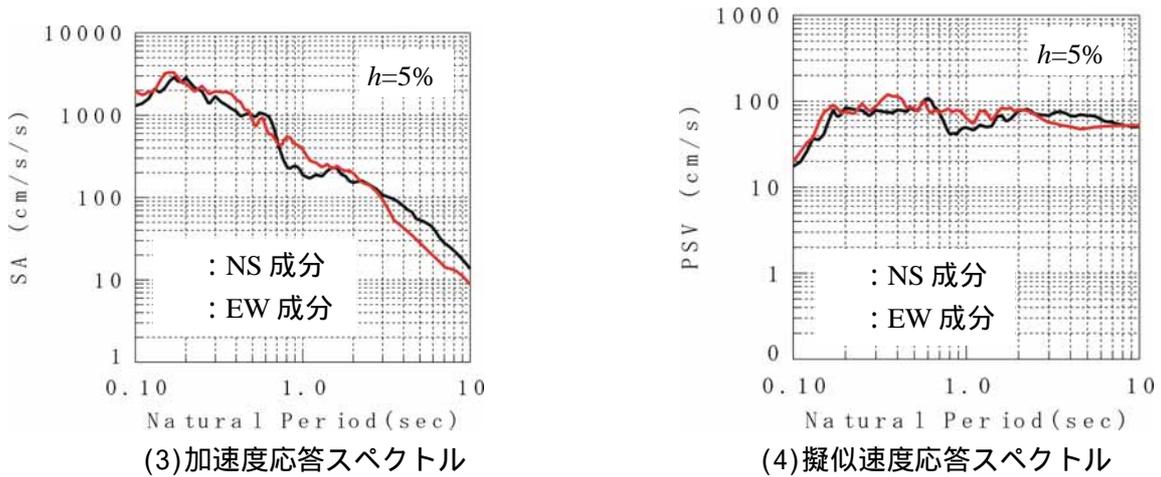
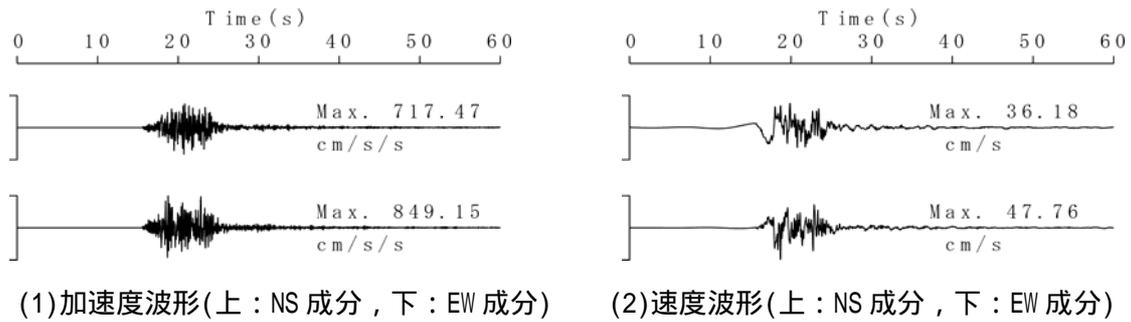


図 1.3.4-5 ISK006(富来)における観測記録

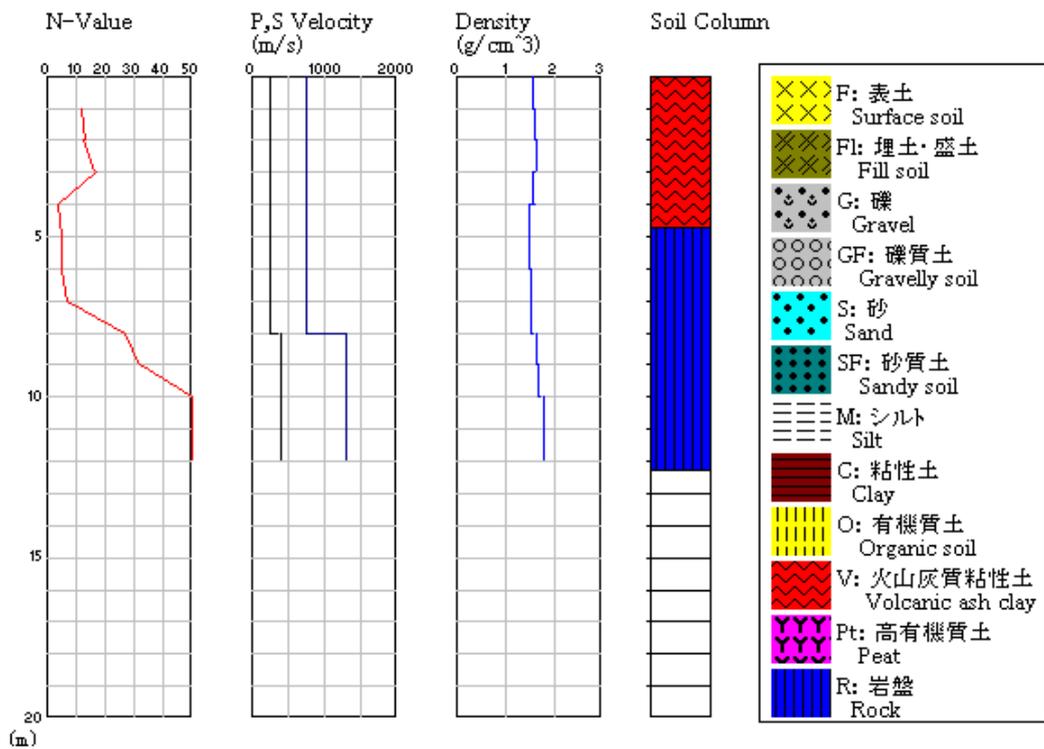


図 1.3.4-6 ISK006(富来)のボーリング柱状図

(2) 既往の大振幅記録との比較

ここでは、既往の大地震で大振幅を記録した地点の観測記録と、2007年能登半島地震で比較的大振幅となった記録の比較を行なう。比較の対象とする地震は最近発生した規模の大きな地殻内地震であり、その地震およびその観測地点は以下の通りである。

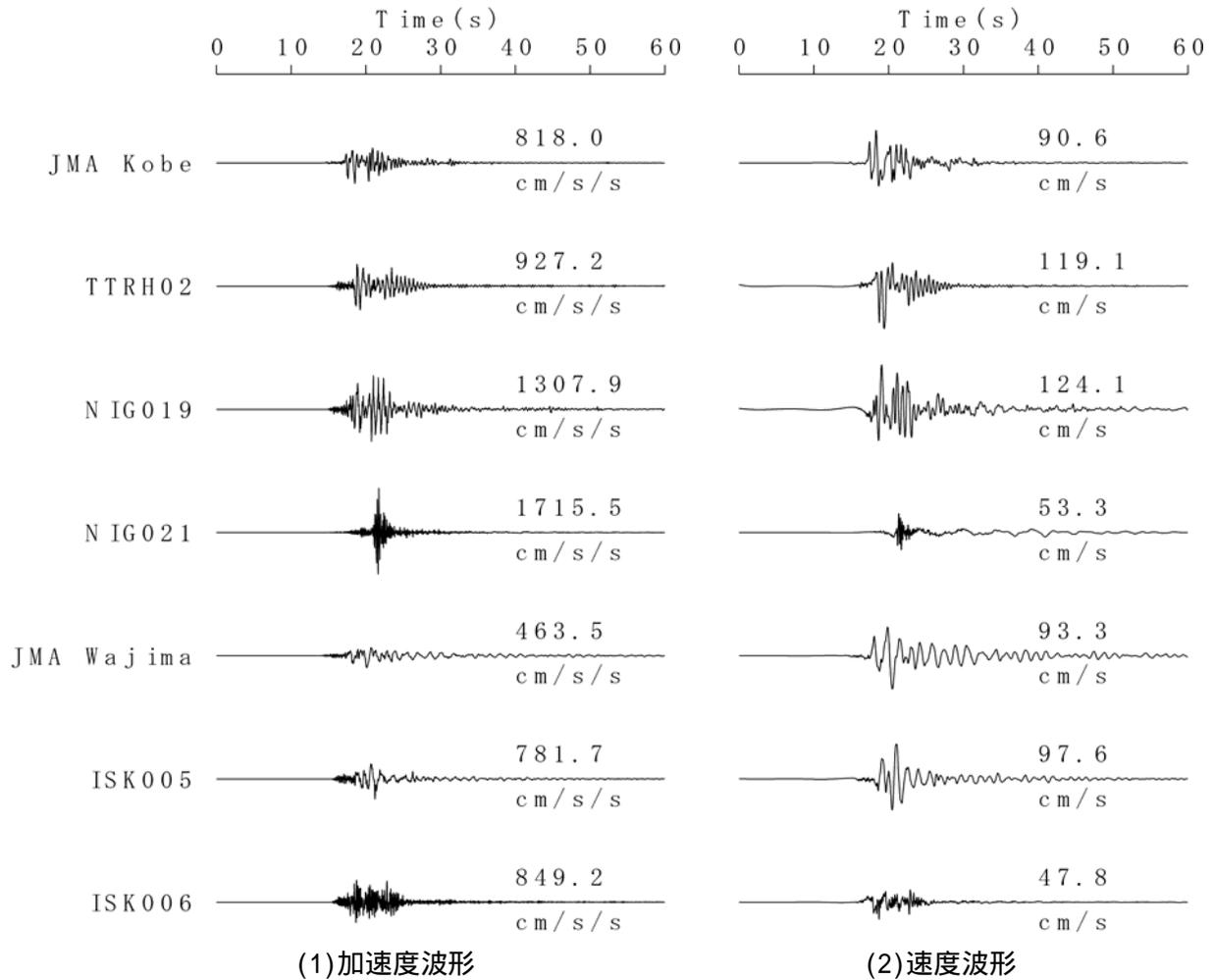
- ・1995年兵庫県南部地震 JMA神戸
- ・2000年鳥取県西部地震 KiK-net TTRH02(日野)
- ・2004年新潟県中越地震 K-NET NIG019(小千谷), NIG021(十日町)

最大加速度,最大速度の比較を表1.3.4-2に,波形および減衰定数5%の応答スペクトルの比較を図1.3.4-7に示す。図1.3.4-7中,JMA神戸・TTRH02(日野)・NIG021(十日町)・JMA-01(輪島市鳳至町)の4地点についてはNS成分を,NIG019(小千谷)・ISK005(穴水)・ISK006(富来)の3地点についてはEW成分を示している。また,加速度波形は最大加速度値のうち最も大きな値(1715.5cm/s/s)で,速度波形も最大速度値のうち最も大きな値(124.1cm/s)で正規化して示している。

2004年新潟県中越地震のNIG021(十日町)では短周期領域が顕著に大きく,最大加速度は1,700cm/s/s,周期0.2秒程度の加速度応答スペクトルが6,000cm/s/sを超える値となっている。2007年能登半島地震ではISK006(富来)において大きな加速度が記録され,短周期領域に着目すると,このNIG021(十日町)の記録に次ぐ大きな地震動であったことがわかる。一方,2007年能登半島地震ではJMA-01(輪島市鳳至町)やISK005(穴水)において100cm/s程度の大きな最大速度となった。周期2秒程度の擬似速度応答スペクトルは,両地点の観測記録が他の記録より大きくなっていることがわかる。また,2000年鳥取県西部地震のTTRH02(日野)や2004年新潟県中越地震のNIG019(小千谷)では周期0.7秒程度にピークを持ち,この周期帯が大きな最大速度に寄与しているのに対して,JMA-01(輪島市鳳至町)やISK005(穴水)では周期2秒程度にピークを持ち,より長周期側に卓越周期を持つ地震動であったことがわかる。

表1.3.4-2 既往の地殻内地震における大振幅記録との比較(最大加速度,最大速度)

地震	観測地点	最大加速度 (cm/s/s)				最大速度 (cm/s)			
		NS	EW	UD	合成	NS	EW	UD	合成
兵庫県南部地震	JMA神戸	818	617	332	891	91	75	40	105
鳥取県西部地震	TTRH02(日野)	927	753	776	1,142	119	86	56	142
新潟県中越地震	NIG019(小千谷)	1,147	1,308	820	1,502	99	124	27	131
	NIG021(十日町)	1,716	850	564	1,750	53	50	14	66
能登半島地震	JMA-01 (輪島市鳳至町)	464	439	190	474	93	82	17	98
	ISK005(穴水)	473	782	556	903	35	98	16	103
	ISK006(富来)	717	849	462	945	36	48	18	58
	SI-01 (門前町走出)	-			1,304	-			



: JMA 神戸 NS 成分
 : NIG019(小千谷)EW 成分
 : JMA-01(輪島市鳳至町)NS 成分
 : ISK006(富来)EW 成分

: TTRH02(日野)NS 成分
 : NIG021(十日町)NS 成分
 : ISK005(穴水)EW 成分

図 1.3.4-7 既往の地殻内地震における大振幅記録との比較 (波形およびスペクトル)

1.3.5 比較的近接した地点における地震動特性の比較

能登地方においては輪島市街地・能登町宇出津・七尾市街地の3地域において、比較的近距离の2地点で地震観測が行なわれていた。ここでは、比較的近接する2地点における地震動特性の比較を行なう。

(1) 輪島市街地

輪島市街地では気象庁が輪島市鳳至町において、防災科学技術研究所が輪島市河井町において地震観測を行っており、両地点間の距離は約1.1kmである。これらの位置を図1.3.5-1に示す。なお、防災科学技術研究所の観測点はK-NET ISK003(輪島)である。

両地点における地震動指標を図1.3.5-1に併記する。図中、最大加速度(PGA)および最大速度(PGV)は3成分合成値を示している。また、加速度波形・速度波形および減衰定数5%の応答スペクトル(いずれもEW成分)の比較を図1.3.5-2に示す。最大加速度には大差はないが、JMA観測点における最大速度の3成分合成値はK-NET観測点の2倍程度、EW成分では4倍程度の大きさである。また、スペクトルは周期0.2秒程度以下の短周期領域ではK-NET観測点、それ以上の長周期領域ではJMA観測点が卓越している。以上のことから、両地点の地震動特性は大きく異なっていることがわかる。K-NET観測点のボーリング柱状図を図1.3.5-3に示す。K-NET観測点は高台にある一本松公園への入口階段脇にあり(写真1.3.2-7参照)、地下4~5m程度でN値50、せん断波速度が500m/sec程度と比較的堅固となっている。JMA観測点におけるボーリング柱状図は未入手であるが、輪島川の支流(鳳至川)がJMA観測点を囲むように蛇行しており、軟弱層が厚く堆積していると予想される。この地盤の違いが地震動特性に大きな影響を及ぼしていると考えられる。

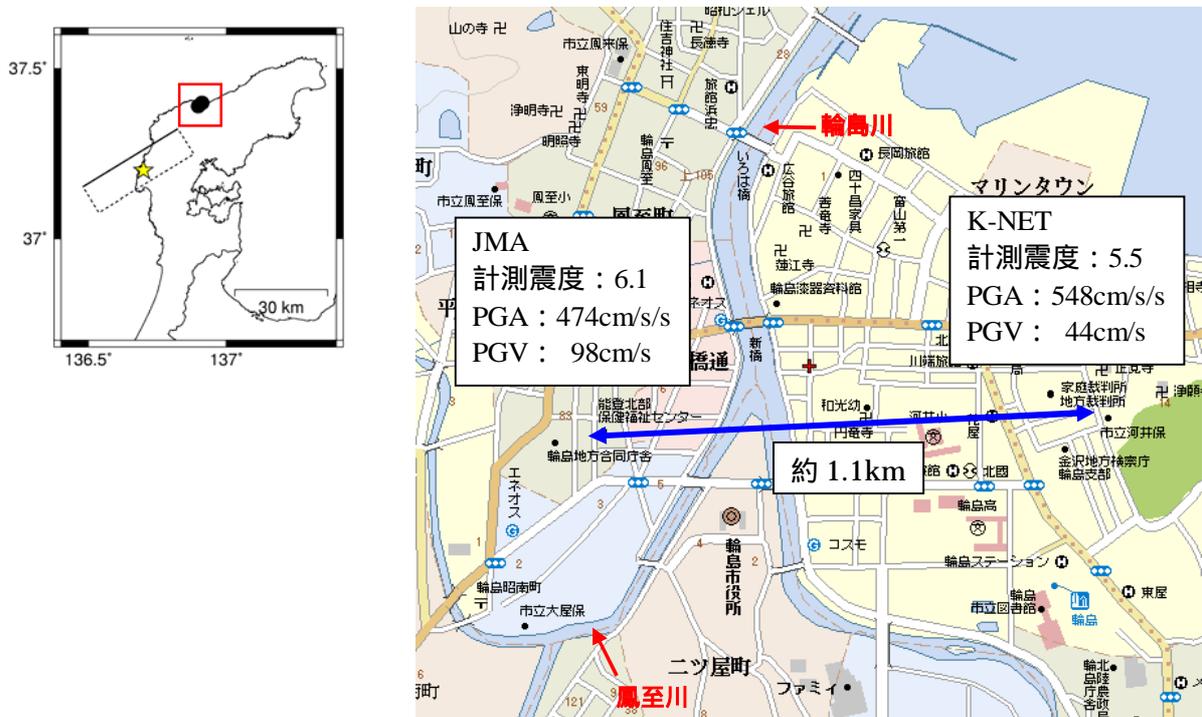


図 1.3.5-1 輪島市街地における地震観測点の位置と地震動指標

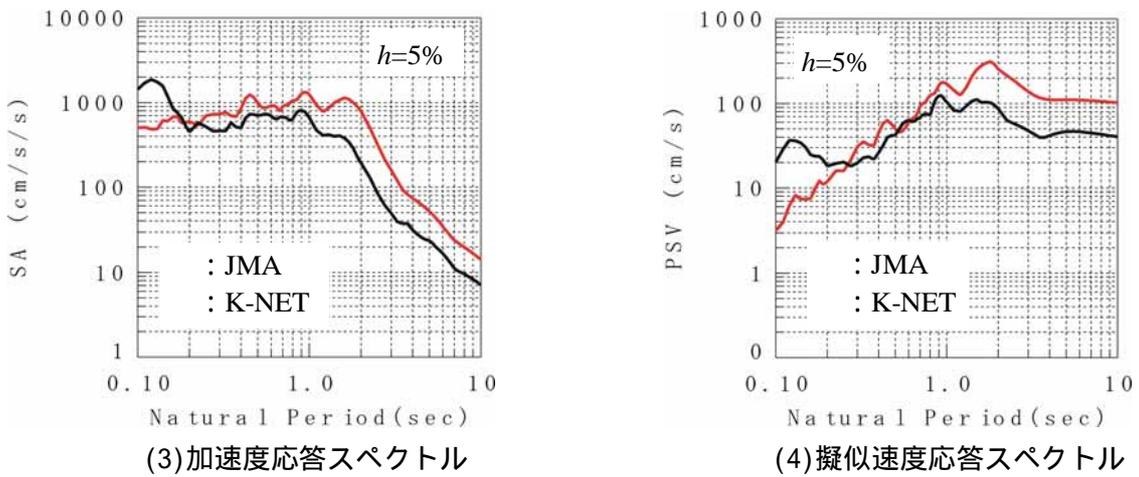
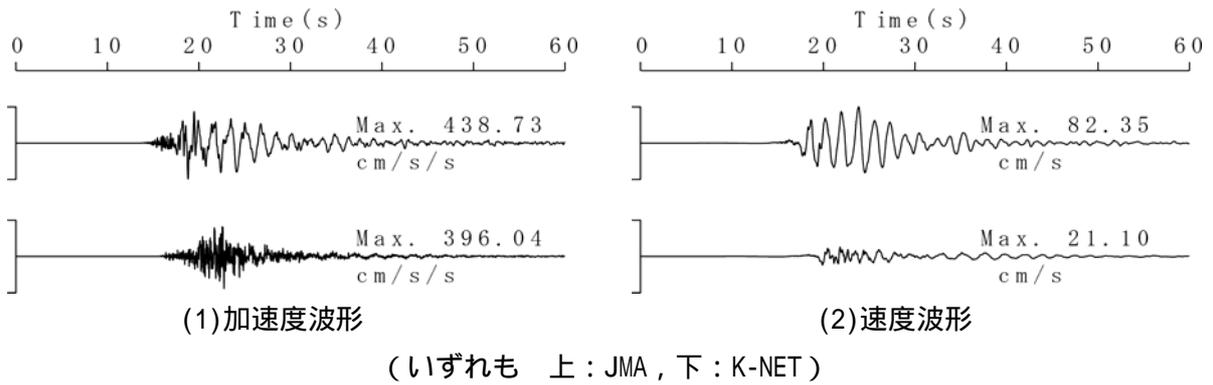


図 1.3.5-2 輪島市街地における 2 つの観測点における観測記録の比較 (EW 成分)

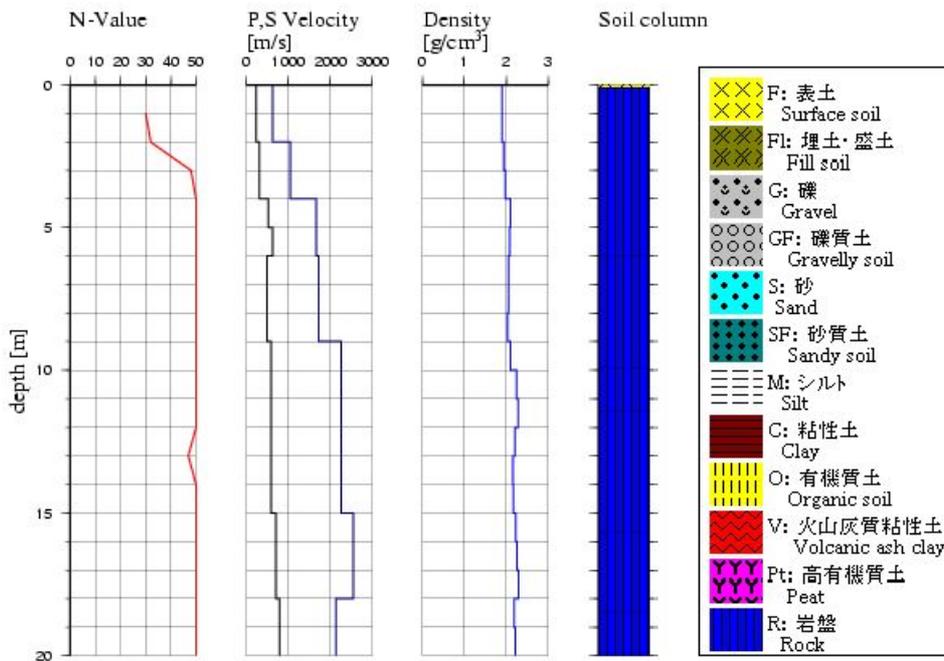


図 1.3.5-3 K-NET 輪島観測点のボーリング柱状図

(2) 能登町宇出津

能登町宇出津では気象庁が能登町役場において、防災科学技術研究所が公立宇出津総合病院において地震観測を行っており、両地点間の距離は約 350m である。これらの位置を図 1.3.5-4 に示す。なお、防災科学技術研究所の観測点は K-NET ISK004(能都)である。

両地点における地震動指標を図 1.3.5-4 に併記する。図中、最大加速度(PGA)および最大速度(PGV)は 3 成分合成値を示している。また、加速度波形・速度波形および減衰定数 5%の加速度応答スペクトル(いずれも NS 成分)の比較を図 1.3.5-5 に示す。計測震度は同じであるが、最大加速度は K-NET 観測点が JMA 観測点の約 2 倍、逆に最大速度は JMA 観測点が K-NET 観測点の 2 倍となっている。また、スペクトルは周期 0.9 秒程度以下の短周期領域では K-NET 観測点が、それ以上の長周期領域では JMA 観測点が卓越している。以上のことから、両地点の地震動特性は大きく異なっていることがわかる。能登町宇出津は周辺を山に囲まれた狭小な平野部に位置する。K-NET 観測点は山地との境界に近い地点であるのに対し、JMA 観測点は宇出津湾に面している。両地点では基盤岩深度に大きな差があると推定され、これが地震動特性に大きな影響を与えたものと考えられる。

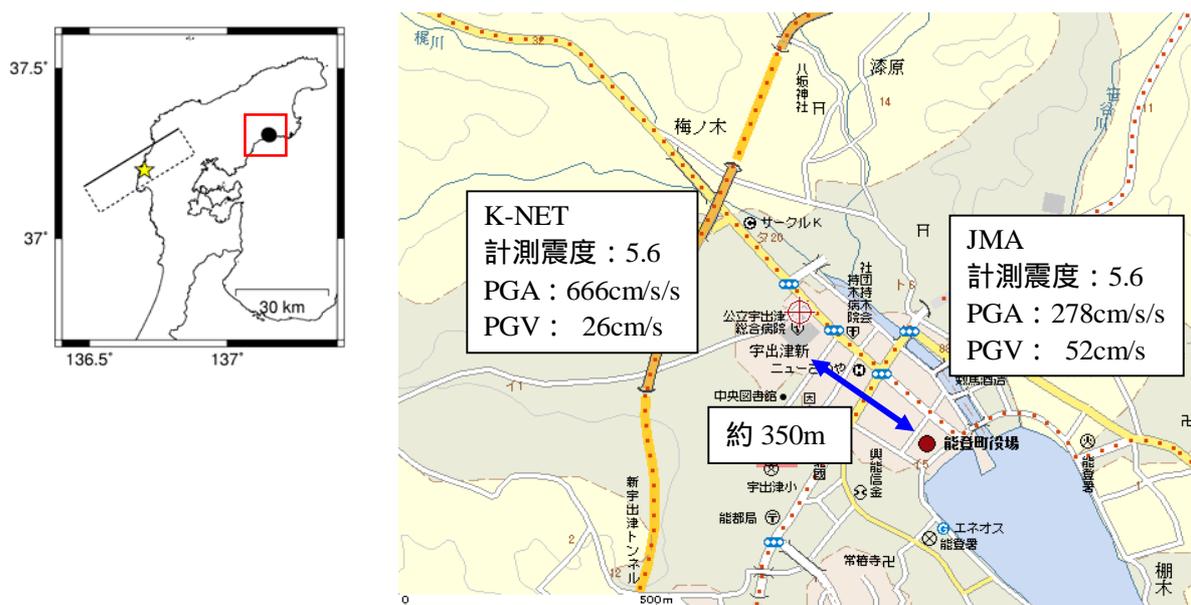
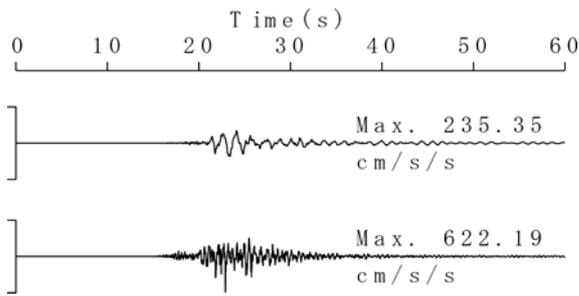
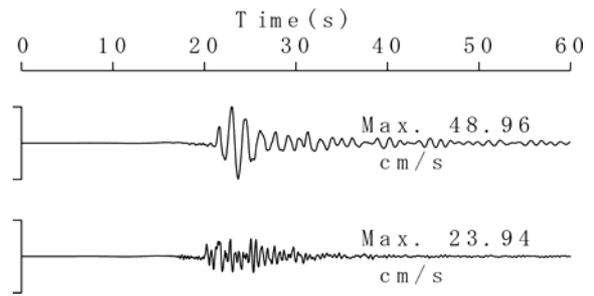


図 1.3.5-4 能登町宇出津における地震観測点の位置と地震動指標

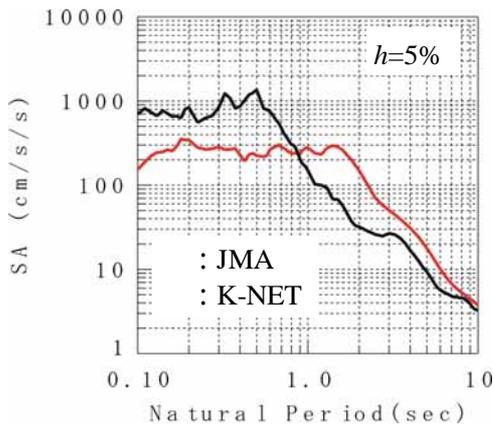


(1) 加速度波形

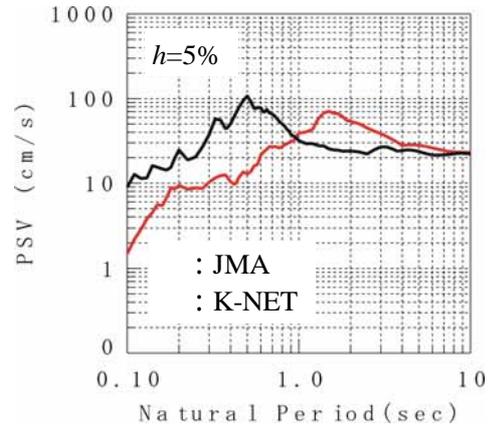


(2) 速度波形

(いずれも 上: JMA, 下: K-NET)



(3) 加速度応答スペクトル



(4) 擬似速度応答スペクトル

図 1.3.5-5 能登町宇出津における2つの観測点における観測記録の比較 (NS成分)

(3) 七尾市街地

七尾市街地では気象庁が七尾市本府中町において、防災科学技術研究所が七尾市袖ヶ江町において地震観測を行っており、両地点間の距離は約 1.1km である。これらの位置を図 1.3.5-6 に示す。なお、防災科学技術研究所の観測点は K-NET ISK007(七尾)である。

両地点における地震動指標を図 1.3.5-6 に併記する。図中、最大加速度(PGA)および最大速度(PGV)は 3 成分合成値を示している。また、加速度波形・速度波形および減衰定数 5%の加速度応答スペクトル(いずれも NS 成分)の比較を図 1.3.5-7 に示す。計測震度・最大加速度・最大速度ともに大きな差はない。また、スペクトルは 0.8~1.5 秒程度の周期帯では K-NET 観測点は JMA 観測点に比べやや大きいものの、それ以外の周期帯では両者はほぼ同等であり、波形も比較的良く似ている。以上のことから、両観測点の地震動特性の違いは前述の輪島市市街地や能登町宇出津ほどは大きくないと言える。これは、輪島市街地や能登町宇出津に比べて平野部が広いため、基盤岩の傾斜が緩やかでこの両地点における基盤岩深度はほぼ同じと推定されること、両地点の堆積層の厚さや硬軟が似ていること、が要因と考えられる。

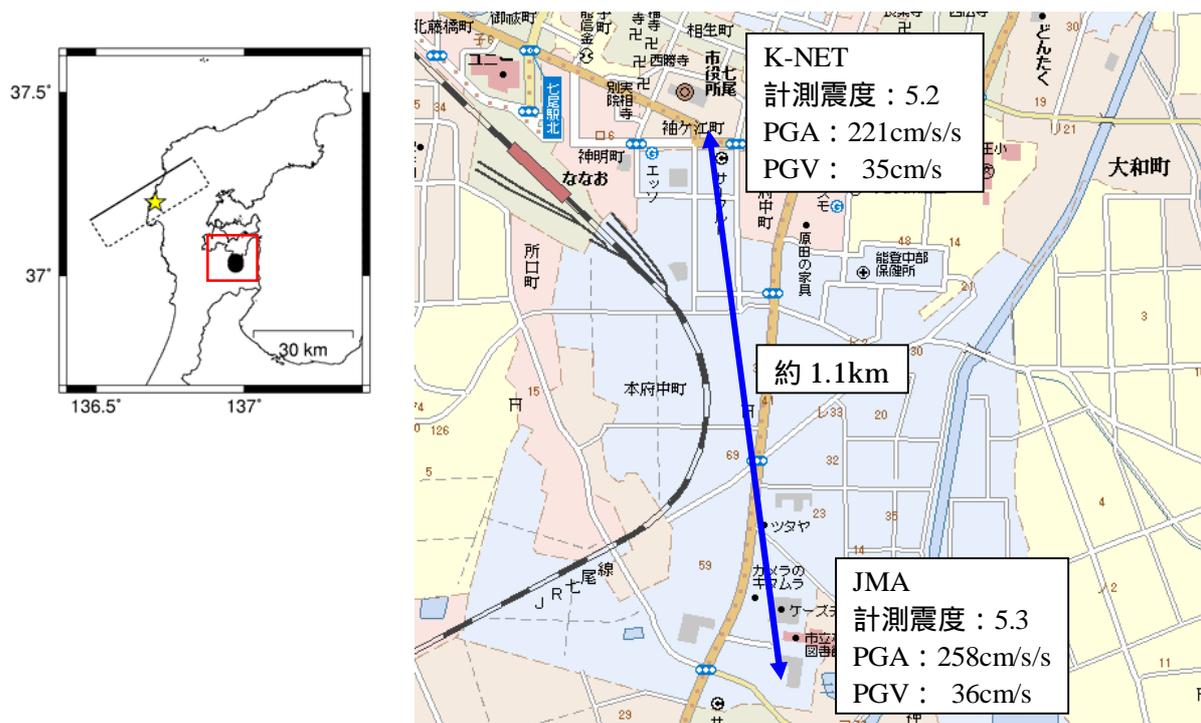


図 1.3.5-6 七尾市市街地における地震観測点の位置と地震動指標

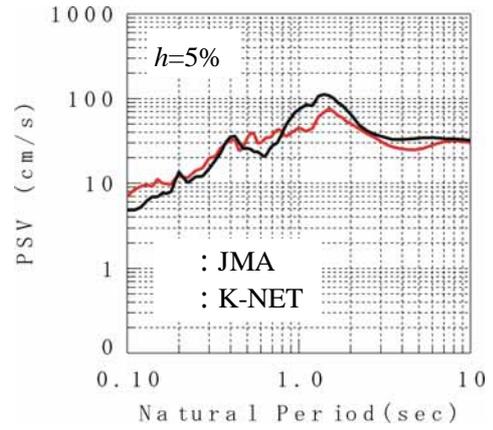
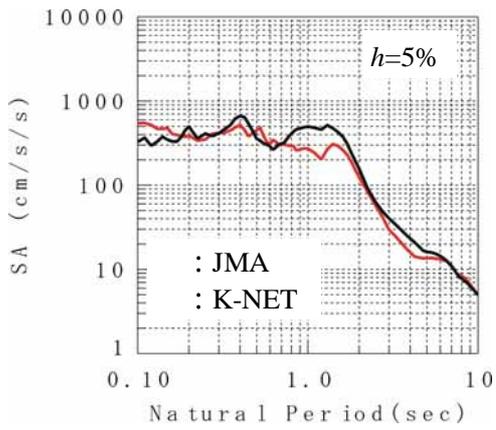
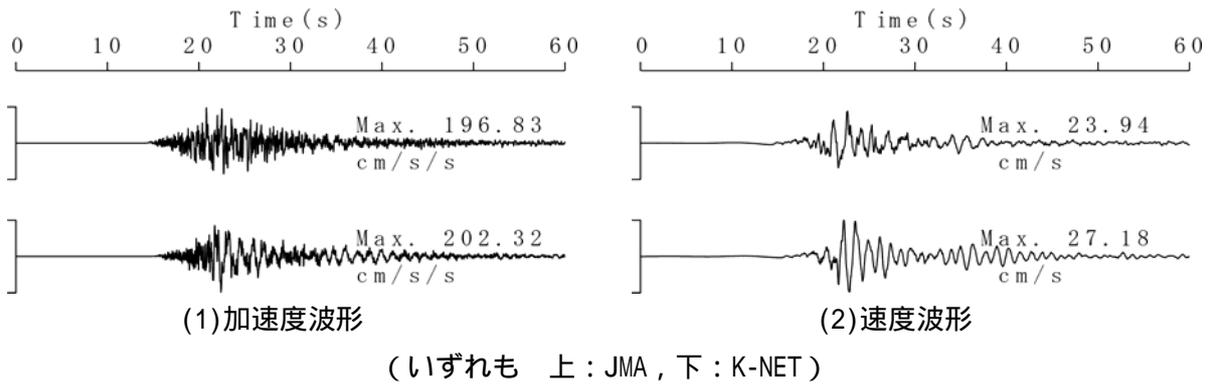


図 1.3.5-7 七尾市市街地における 2 つの観測点における観測記録の比較 (NS 成分)

1.3.6 緊急地震速報の発表状況¹¹⁾

ここでは2007年10月1日より正式運用される緊急地震速報の発表状況について示す。緊急地震速報で発表された震源パラメータと2007年6月14日現在の震源パラメータの比較を表1.3.6-1に示す。地震検知の3.6秒後に発表された第1報では震央の推定位置(特に経度方向の位置)が、5.7秒後に発表された第2報では地震規模の推定値が、実際の値とやや異なっているが、6.9秒後に発表された第3報では、いずれも実際の値と概ね整合している。

また、緊急地震速報で発表された推定震度と実際の震度の比較を表1.3.6-2に、緊急地震速報の第1報提供から主要動到達までの時間(秒)および推定震度を図1.3.6-1に示す。震源に近く震度6強を観測した輪島市、七尾市、穴水町では第1報が主要動到達に間に合わなかったものの、能登町(震度6弱)では主要動到達の約5秒前、珠洲市(震度5強)では約7秒前、富山市(震度5弱)では約12秒前に発信されている。また、発表された推定震度も実際の値とは大差のない結果と言える。

表1.3.6-1 緊急地震速報で発表された震源パラメータと実際の震源パラメータ

		経過時間	北緯	東経	深さ	M_J
地震検知時刻	9時42分04.2秒	0秒	-	-	-	-
第1報	9時42分07.8秒	3.6秒	37.300°	135.900°	10km	7.0
第2報	9時42分09.9秒	5.7秒	37.200°	136.700°	10km	6.1
第3報	9時42分11.1秒	6.9秒	37.200°	136.700°	10km	6.7
実際の震源パラメータ(6月14日現在の暫定値)			37.220°	136.685°	11km	6.9

表1.3.6-2 緊急地震速報で発表された推定震度と実際の震度

		経過時間	提供から主要動到達までの時間			発表された推定震度
			輪島市	能登町	珠洲市	
検知時刻	9時42分04.2秒	0秒	-	-	-	-
第1報	9時42分07.8秒	3.6秒	-	5秒	7秒	石川県能登：最大震度5弱程度以上
第2報	9時42分09.9秒	5.7秒	-	2秒	4秒	石川県能登：最大震度5強程度
第3報	9時42分11.1秒	6.9秒	-	-	2秒	石川県能登：最大震度6強～6弱程度
						石川県加賀：最大震度5弱程度
						富山県西部：最大震度5弱～5強程度
						富山県東部：最大震度4～5弱程度
実際の震度						石川県能登：最大震度6強
						石川県加賀：最大震度4
						富山県西部：最大震度5弱
						富山県東部：最大震度4

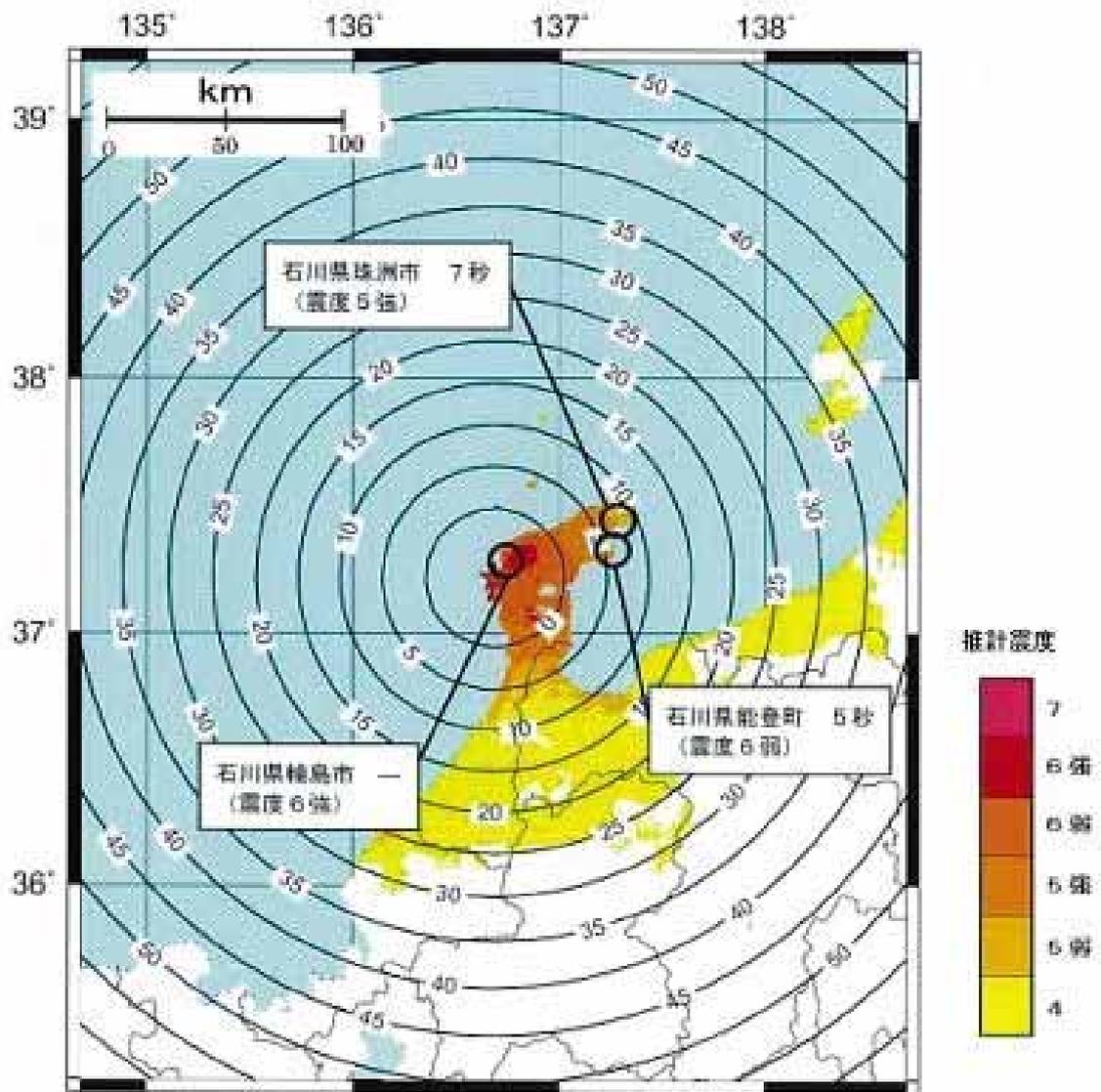


図 1.3.6-1 緊急地震速報の第 1 報提供から主要動到達までの時間(秒)および推定震度

1.3.7 おわりに

本節では、まず、地震観測記録を基に、地震動指標(震度・最大加速度・最大速度)の分布を示した。さらに、比較的大振幅となった地点における観測波形およびスペクトルを示すとともに、既往の地殻内を震源とする大地震で大振幅となった地点の観測記録との比較を行なった。その結果、JMA-01(輪島市鳳至町)や ISK005(穴水)では周期 2 秒程度にピークを持ち、この周期帯では既往の地殻内を震源とする地震の大振幅記録の中でも最大であることが明らかとなった。続いて、比較的近接した 2 地点における地震動特性の比較を行なった。その結果、輪島市街地(観測点間距離：約 1.1km)および能登町宇出津(観測点間距離：約 350m)では 2 地点における地震動特性が大きく異なることが明らかとなった。これは、基盤岩の傾斜や深度、堆積層の厚さや硬軟の違い等、すなわちサイト特性の違いに起因するものと考えられる。最後に、2007 年 10 月 1 日より正式運用される緊急地震速報の本地震に関する発表状況について記した。

地方自治体による地震被害想定の基本となる強震動予測は数 100m～数 km メッシュ単位で行なわれる場合が多い。今回、数 100m～1km という比較的近接した 2 地点において地震動特性が大きく異なっていたという事実は、対象領域によっては数 km メッシュではなく数 100m メッシュ単位で強震動予測を行なう必要があることを示している。また、今後の強震観測網の整備に対しても大きな示唆を与えている。

輪島市門前町に設置されていた震度計では 3 成分合成値で 1,304cm/s/s という大きな地震動を観測したが、その波形データは余震記録に上書きされ、遺失している。また、七尾市田鶴浜町に設置されていた震度計付近では液状化が発生し、液状化時の波形データが得られたが、これも同様に余震記録に上書きされ、遺失している。これらの記録が得られていれば、例えば、震源破壊過程の推定精度の向上といった地震学的な検討、構造物の破壊メカニズムの解明といった地震工学的な検討および地盤工学的な検討に大きく寄与したものと考えられる。地震観測網の量的な整備とともに観測の質の向上が望まれるところである。また、K-NET 地震計と自治体震度計が数 m の距離で並んで設置されている例がみられた。観測網の所有機関の枠を超えた既存地震観測点の有効的な配置についても今後検討していく必要がある。

謝辞

気象庁および防災科学技術研究所より公表されている地震観測記録を使用しました。記して感謝いたします。舞鶴工業高等専門学校 西川隼人博士には地震観測点位置に関する情報を、金沢大学大学院自然科学研究科 村田晶助教には輪島市河井町の被害写真を提供して頂きました。財団法人地域 地盤 環境 研究所 香川敬生博士には原稿作成にあたり有益なコメントを頂きました。また、一部の図の作成には GMT¹²⁾を用い、財団法人地域 地盤 環境 研究所の山本容維氏の協力を得ました。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 青井真，関口春子：近地地震動記録による能登半島地震の震源インバージョン(暫定版)，
<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/noto070325/>，2007．
- 2) 気象庁：平成 19 年 3 月 地震・火山月報(防災編)，p.56，2007．
- 3) 気象庁：平成 19 年 3 月 地震・火山月報(防災編)，p.55，2007．

- 4) 気象庁：平成 19 年(2007 年)能登半島地震の特集，http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_03_25_noto/data.html，2007 。
- 5) 気象庁：平成 19 年 3 月 地震・火山月報(防災編)，p.49，2007 。
- 6) 防災科学技術研究所：2007 年 3 月 25 日 能登半島地震の強震動，http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/Noto_070325_1.htm，2007 。
- 7) 司宏俊，翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文報告集，No.523，pp.63-70，1999 。
- 8) 川瀬博：断層近傍強震動の地下構造による増幅プロセスと構造物破壊能，第 10 回日本地震工学シンポジウム パネルディスカッション資料集，pp.29-34，1998 。
- 9) 新井洋，林康裕，森井雄史，清水秀丸：2007 年能登半島地震における門前町走出の最大地動速度の推定，日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)，構造 ，pp.181-182，2007 。
- 10) 岩田知孝：穴水での余震観測速報，<http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/iwata/zisin/noto2.html>，2007 。
- 11) 気象庁：本震緊急地震速報の発表状況，<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kaisetsu/200608/200703250942.pdf>，2007 。
- 12) Wessel, P. and W.H.F.Smith：New, improved version of Generic Mapping Tools released, EOS,American Geophysical Union, 1998.

1.4 各種スペクトルから見た地震動

2007年3月25日、石川県能登半島沖を震源とする Mj 6.9 の地震が発生し、我が国では福岡県西方沖を震源とする地震 (Mj 7.0) 以来となる死者 1 名、及び負傷者 336 名、住宅全壊 630 棟、住宅半壊 1,520 棟 (5月28日現在) の被害が発生した¹⁾。この地震では、輪島市鳳至町の気象庁観測点、七尾市田鶴浜町、輪島市門前町走出の自治体観測点、及び穴水町大町の防災科学技術研究所 K-NET 観測点において震度 6 強が観測されている²⁾ (図 1.4-1)。また、本地震の災害を受けて局地激甚災害指定基準の改正が実施されたことにより、地震後 1 ヶ月以内である 4月25日をもって局地激甚災害に指定され、七尾市、輪島市、珠洲市、能登町、志賀町、穴水町の 3市3町に対して特別な財政援助などが実施されている³⁾。

本節では、能登半島地震の観測記録、主として各種スペクトルに着目して、地震動と被害との関連について報告する。ただし、ここでの対象は 3月25-26日に実施した現地調査に基づいているため、全被害構造物を網羅する分析ではないことを予め付記しておく。

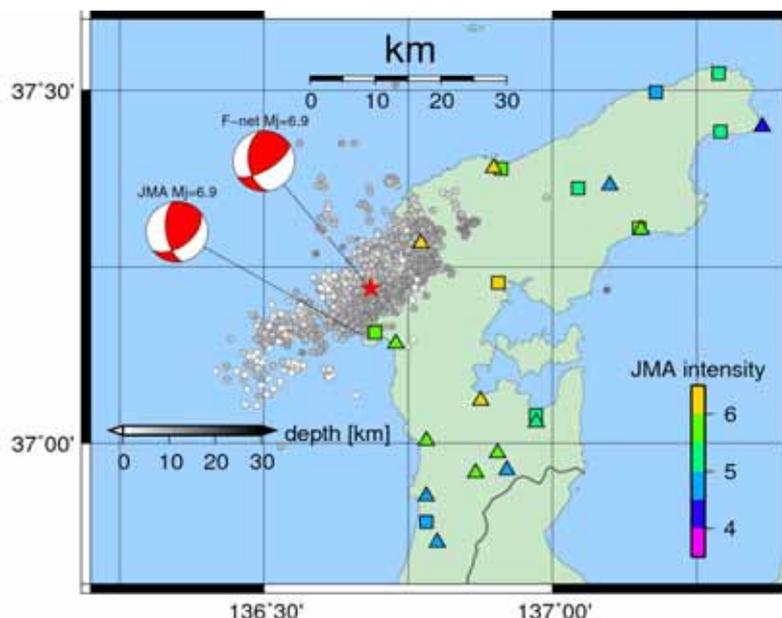


図 1.4-1 震度分布[△:気象庁,及び自治体観測点,□:防災科学技術研究所 K-NET,△:KiK-net 観測点],余震分布[防災科学技術研究所 Hi-net による本震後一週間の余震分布],及び CMT 解[防災科学技術研究所 (F-net), 及び気象庁 (JMA)]。

1.4.1 観測波形と応答スペクトル

本地震では、前述したように輪島市鳳至町、輪島市門前町、七尾市田鶴浜町、穴水町大町において震度 6 強が観測されたが、時刻歴波形データが公開されているものは輪島市鳳至町の気象庁観測点 (JMA Wajima) と及び穴水町大町の防災科学技術研究所 K-NET 観測点 (K-net ISK005) との 2 地点のみである。図 1.4.1-1 (左) にこの 2 地点の速度波形と、比較のため過去の被害地震の波形として 2004 年新潟県中越地震の川口観測点、兵庫県南部地震

の神戸海洋気象台，JR 鷹取駅で得られた観測記録の速度波形を併せて示す⁴⁾。なお，断層法線方向の成分で比較を行うために，本地震の記録は N148° 方向の成分を示す。図中の振幅のスケールは全波形で揃えているために直接振幅の比較ができ，本地震がここで示した他の地震の振幅と同じ約 100cm/s の最大速度値を有していることが確認される。また，図 1.4.1-1 (右) に疑似速度応答スペクトル (減衰 5%) の比較を示す⁴⁾。気象庁輪島観測点では周期 1.9 秒 (420cm/s) が卓越し，K-NET 穴水観測点では周期 0.95 秒 (230cm/s) が卓越していることから，両観測点における地震動に含まれる周波数成分が異なることが示唆される。併せて示す過去の被害地震のスペクトルと比較すると，本地震の両スペクトル形状は JR 鷹取駅のスペクトルをわずかながら下回っている。

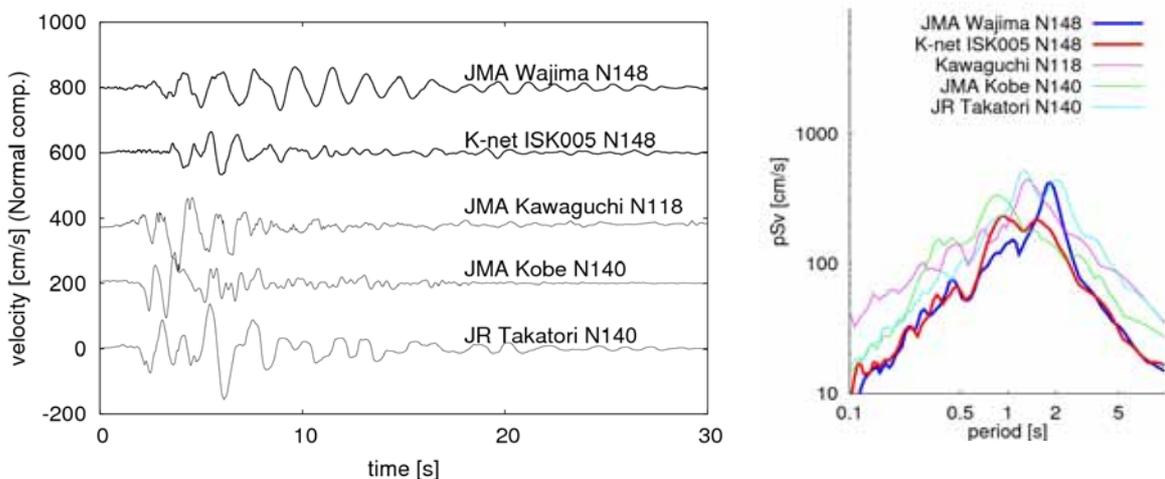


図 1.4.1-1 能登半島地震の観測波形記録と過去の被害地震の記録と比較⁴⁾
(左：速度波形の比較，右：疑似速度応答スペクトルの比較)。

1.4.2 中能登農道橋の被害と変位応答スペクトル

本地震では，七尾市能登島に架かる 2 本の橋梁，能登島大橋と中能登農道橋において被害が発生し一時点検通行止めとなった⁵⁾。中能登農道橋 (写真 1.4.2-1) は斜張橋 (450m) と箱桁橋 (170m) とが連続した全長 620m のほぼ東西に橋軸を有する橋梁で (写真 1.4.2-2)，斜張橋部と箱桁橋部の連結部で写真 1.4.2-3 に示す約 10cm の橋軸方向振動痕を確認した。連結部では若干の段差が見られるものの橋梁の構造体に被害が確認されないことから，この橋軸方向の変位は許容範囲内と考えられる。

中能登農道橋の近傍に本震を記録した観測点はないものの，10km 程離れた 2 つの K-net 観測点，穴水観測点 (ISK005) と七尾観測点 (ISK007) の記録を用いて応答スペクトルを算出する。橋軸方向がほぼ東西方向であることから，両観測記録の東西成分に対して変位応答スペクトルを算出すると (図 1.4.2-1)，実際に入力はこれらの地震動と異なると考えられるものの，本橋の規模より推定すると橋軸方向に 2 秒以下程度の固有周期を有すると

考えられるため、振動痕と関連させて 10cm のオーダーのオーダの相対変位が発生する地震動が橋梁に入力したと想定することは不合理ではないと考えられる。



写真 1.4.2-1 中能登農道橋の概観

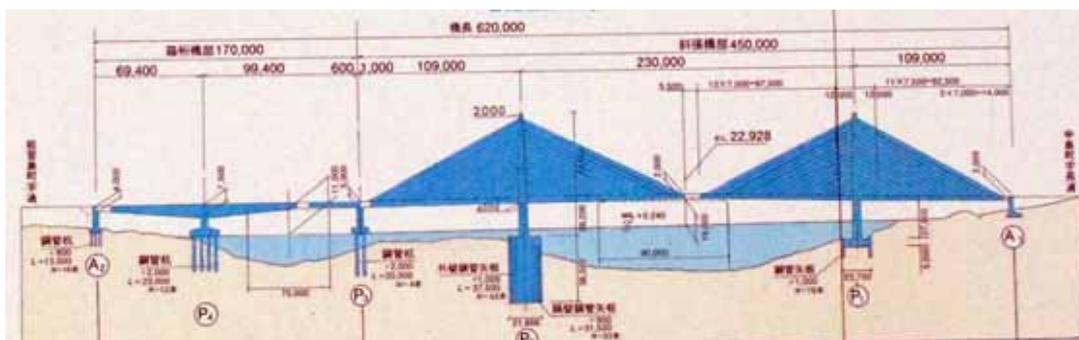


写真 1.4.2-2 中能登農道橋の概略図



写真 1.4.2-3 中能登農道橋に見られる橋軸方向（東西方向）の振動痕

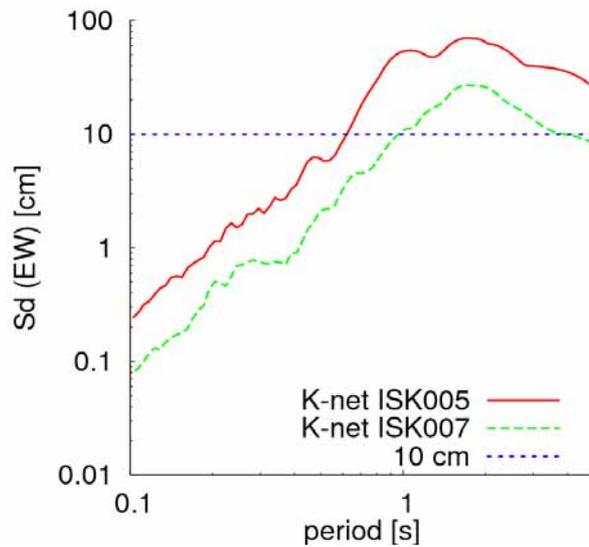


図 1.4.2-1 K-net 穴水観測点 (ISK005) と七尾観測点 (ISK007) の変位応答スペクトル

1.4.3 必要強度スペクトル

本地震における木造家屋や道路の被害といった非線形性を呈する構造物被害への地震動の影響を評価するために、ここでは簡単な非線形履歴特性が考慮された必要強度スペクトルによる比較を行う。

二次剛性が一次剛性の 10% であるバイリニア型非線形一自由度系の塑性率 $\mu=5$ に対応する必要強度スペクトルを図 1.4.3-1 に示す。本地震の観測波形は気象庁輪島観測点 (JMA Wajima) と K-net 穴水観測点 (ISK005) を代表とし、比較のため 2004 年新潟県中越地震の川口観測点、兵庫県南部地震の神戸海洋気象台、JR 鷹取駅で得られた観測記録についても同様に示す。線形応答スペクトル (図 1.4.1-1) でみられた 1~2 秒におけるピークは、本スペクトルでは現れていない。図 1.4.3-1 に示す東西成分と南北成分それぞれの必要強度スペクトルの比較から K-net 穴水観測点では東西成分が、また気象庁輪島観測点では南北成分が過去の被害地震レベルに相当する降伏強度を要求することがわかる。屋根の重い木造構造物や上部に重量を持つ RC 橋脚などは大まかにではあるがバイリニア型の履歴曲線として近似することができるため、本地震において発生した穴水駅前の木造住宅の倒壊方向がほぼ東西方向である事実と調和的であると考えられる。

また、本地震では道路被害も発生しており、有料道路 (能登有料道路、能越自動車道) や国道、県道などで落石・陥没などにより地震発生直後から一部区間で通行止めとなった。特に能登有料道路では、路面の崩落が 11 ヶ所、路面のクラック等が 40 ヶ所で発生し⁵⁾、穴水 IC ~ 柳田 IC 間が全線通行止めとなった。国道 249 号志賀町深谷地区では写真 1.4.3-1 のような大規模な盛土の崩壊が発生し、現場で確認したところ高盛土である北側斜面の部分では幅 10m ほど、長さ 100m ほどに渡って盛土が崩壊していた。

盛土の被害に対しては、傾斜方向にのみ塑性変形を考える片側必要強度スペクトル⁶⁾が適

当であると考えられる。国道 249 号の崩壊現場に近い K-net 富来観測点 (ISK006) の観測記録と、斜面災害・盛土崩壊が数多く報告された 2004 年中越地震の山古志村での観測記録の両者に対して片側必要強度スペクトルを算出した(図 1.4.3-2)。ここで、残留変位 10cm に対する必要設計水平震度を、斜面の傾斜方向を変えてそれぞれ 2 本の実線で示している。0.5 秒以上の固有周期を有する地盤に対しては、山古志村の方が大きな設計水平震度を要求するが、より短周期を固有周期とする地盤に対しては本地震の富来の記録は山古志と同レベルの設計水平震度を要求することが確認される。

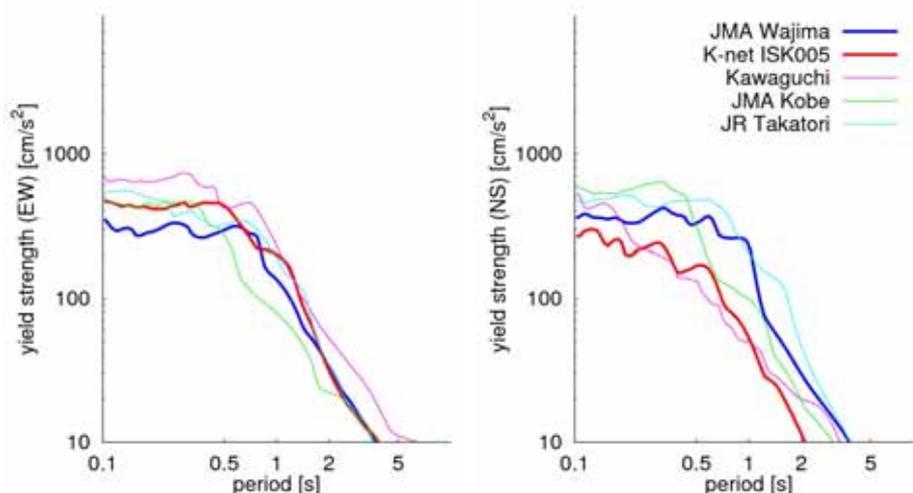


図 1.4.3-1 観測波形記録と過去の被害地震の観測波形記録の必要強度スペクトル ($\mu=5$)
(左：東西成分，右：南北成分)

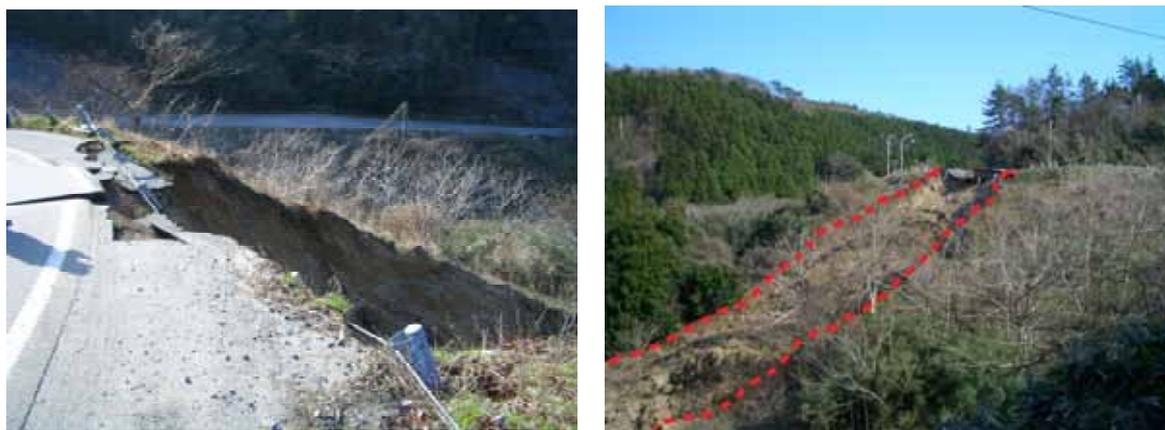


写真 1.4.3-1 国道 249 号志賀町深谷地区での盛土崩壊現場

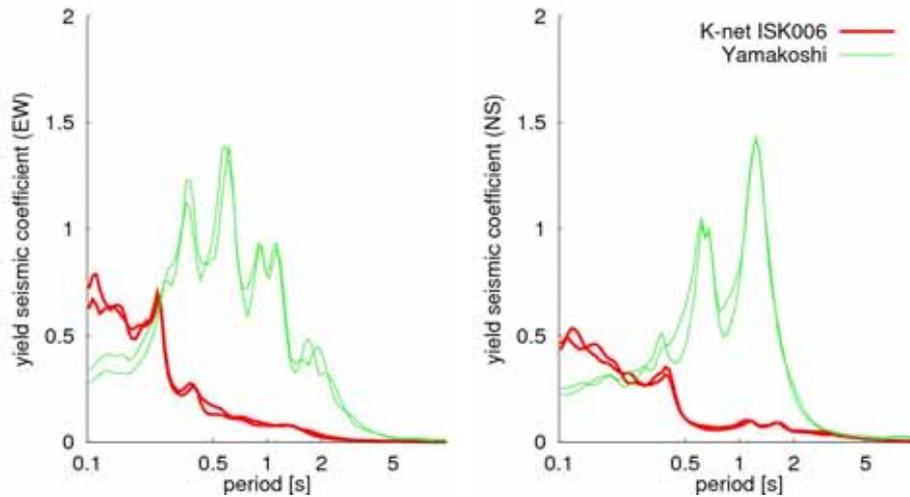


図 1.4.3-2 K-net 富来観測点 (ISK006) と 2004 年中越地震の山古志観測点における観測波形の片側必要強度スペクトル (残留変位 0.1m)
(左：東西成分，右：南北成分)

謝辞

本項では，防災科学技術研究所および気象庁の観測記録を使用させていただきました。ここに記して感謝します。

【付録 1】1.4 節執筆者

後藤浩之・高橋良和 (京都大学防災研究所)
豊岡亮洋 (京都大学大学院都市社会工学専攻)

【付録 2】参考文献および URL

- 1) 石川県：消防防災 Web，<http://www.bousai.pref.ishikawa.jp/top.asp>，2007 .
- 2) 気象庁：報道表資料，
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_03_25_noto/houdou.html，2007 .
- 3) 内閣府：「平成十九年能登半島地震による石川県鳳珠郡能登町等の区域に係る災害についての激甚災害及びこれに対し適用すべき措置の指定に関する政令」について，
<http://www.bousai.go.jp/oshirase/h19/070425noto.pdf>，2007 .
- 4) 岩田知孝，浅野公之：2007 年能登半島地震に関する情報，
<http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/noto070325.html>，2007 .
- 5) 内閣府：地震防災のページ 災害情報一覧 <http://www.bousai.go.jp/saigaiinfo.html>，2007 .
- 6) 澤田純男，土岐憲三，村川史朗：片側必要強度スペクトルによる盛土構造物の耐震設計法，第 10 回日本地震工学シンポジウム，pp.3033-3038，1998 .

1.5 地震観測点における地盤増幅度

1.5.1 はじめに

地震観測点で観測された地震動強さの大きさに影響を及ぼす要因の1つとして、それぞれの観測点固有の地盤増幅特性の影響が考えられる。ここでは一般的な地震動指標の1つであり、自治体などが初動体制を整えるために用いている計測震度を対象に観測点ごとの地盤増幅度を評価した。地盤増幅度評価の対象とした地震観測点は気象庁と自治体の観測点、及び、防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net 観測点である。計測震度のデータは気象庁と自治体観測点については気象庁の地震・火山月報^{1),2)}に記載されているデータからまとめ、K-NET, KiK-net については地震記録から評価した。

1.5.2 解析対象観測点と対象地震

図 1.5-1 に地盤増幅度評価の対象とした観測点の分布を示す。これらの観測点では後述する解析対象地震において5つ以上の地震で地震波形、または計測震度が観測されている。解析の対象とした観測点の内訳は気象庁観測点26地点、自治体観測点が50地点、K-NET, KiK-net 観測点はそれぞれ39, 27地点であり、合計で142地点である。地盤増幅度評価の際に解析対象とした地震の震央位置と諸元はそれぞれ図 1.5-2, 表 1.5-1 に示すとおりである。

1.5.3 地盤増幅度の評価

対象観測点の地盤増幅度は計測震度の距離減衰式を二段階回帰分析³⁾によって求めることによって評価した。距離減衰式は震源特性、伝播経路特性と地盤増幅特性に関する項から成り立っており、地盤増幅度は地盤増幅特性の項に対応している。距離減衰式を求める際に KiK-net 観測点の魚津(観測点コード TYMH04)を基準観測点とし、この観測点における計測震度の地盤増幅度(震度増幅度)を0に固定した。回帰分析の結果、得られる各観測点の震度増幅度は魚津(TYMH04)を基準とした場合の相対的な値となる。

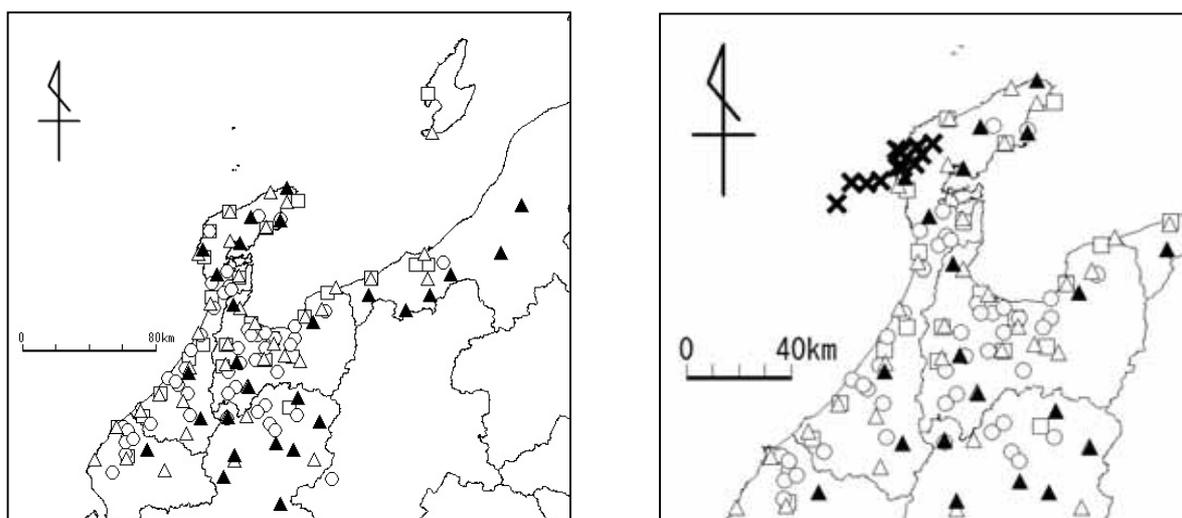


図 1.5-1 観測点分布(気象庁, 自治体, K-NET, KiK-net) 図 1.5-2 対象地震の震央位置(×は震央位置)

表 1.5-1 解析対象地震の諸元

地震発生日時	M _{JMA}	緯度(°)	経度(°)	深さ(km)
2007/3/25 09:41	6.9	37.22	136.69	11
2007/3/25 15:43	4.5	37.29	136.77	9
2007/3/25 18:11	5.3	37.30	136.84	13
2007/3/26 07:16	5.3	37.17	136.49	0
2007/3/26 14:46	4.8	37.17	136.55	9
2007/3/26 18:02	4.6	37.28	136.70	6
2007/3/28 08:08	4.9	37.22	136.71	13
2007/3/28 10:51	4.6	37.18	136.61	10
2007/3/28 13:05	4.7	37.28	136.68	7
2007/3/31 08:09	4.4	37.23	136.76	13
2007/4/6 15:18	4.3	37.27	136.79	12
2007/4/6 21:42	4.7	37.10	136.43	7

評価した震度増幅度の分布を図 1.5-3 に示す。震度増幅度が 1 を超える観測点は能登地方に多く分布しており、震度 6 強を観測した 4 観測点の中で七尾市田鶴浜町(自治体観測点)を除く 3 つの観測点(輪島市門前町走出(自治体), K-NET 穴水(観測点コード ISK005), 気象庁輪島)では震度増幅度が 1 を超えている。震度増幅度が 0.5 ~ 1 の観測点は福井県から石川県の加賀地方南部に多く分布しており、増幅度が 0 ~ 0.5 の観測点は石川県加賀地方から富山県西部で多い。また、震度増幅度が 0 以下の観測点の分布を見ると、富山県の観測点で多く見られる。これらの増幅度分布の特徴には地盤条件が関係している可能性がある。今後、増幅度分布と地盤条件の関係を詳しく調べる予定である。

続いて、近接する観測点における震度増幅度の違いを見ると、近接観測点の中には増幅度が 1 前後異なる観測点があり、その中でも輪島の気象庁と K-NET 観測点(ISK003)の震度増幅度は観測点間距離が 1km 程度にもかかわらず 0.93 の差があった。この増幅度差は地震によらず震度増幅度が一定と仮定して求めた場合の値であるが、実際には入力地震動の強さによって震度増幅度が増幅度差は気象庁観測点の震度増幅度から K-NET の増幅度を差し引いた値である。また 図 1.5-4 の基盤震度は気象庁観測点を対象に距離減衰式から求めた値である。図 1.5-5 に示すように輪島の K-NET 観測点は堅固な地盤であることから、地盤の非線形化の影響は小さいと考えられる。図 1.5-4 から明らかなように基盤震度が大きくなるほど、増幅度差が低下する傾向にある。以上の検討結果から輪島の気象庁観測点では入力地震動の増大によって、地盤の非線形化による増幅度

の低下が顕著に現れたものと推測される。

謝辞: 気象庁の地震・火山月報, 独立行政法人 防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net の観測記録とボーリングデータを使用させて頂きました。

参考文献

- 1) 気象庁ホームページ: 平成 19 年 3 月地震・火山月報(防災編), <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/gaikyo/monthly200703/200703index.html>
- 2) 気象庁ホームページ: 平成 19 年 4 月地震・火山月報(防災編), <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/gaikyo/monthly200704/200704index.html>
- 3) Fukushima, Y. and Tanaka, T. : A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.84, pp.757-783, 1990.

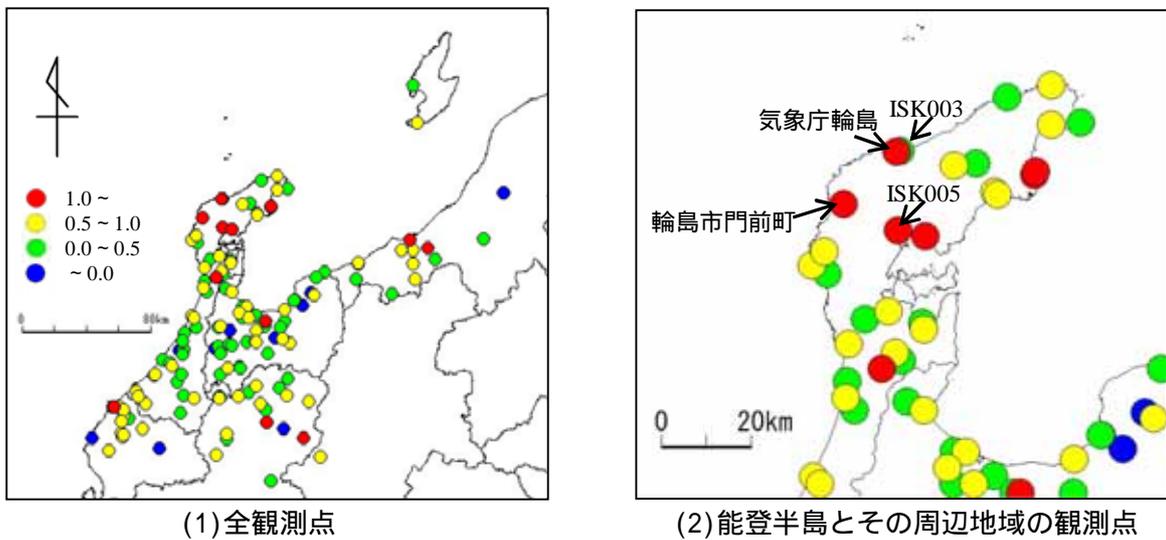


図 1.5-3 震度増幅度の分布図

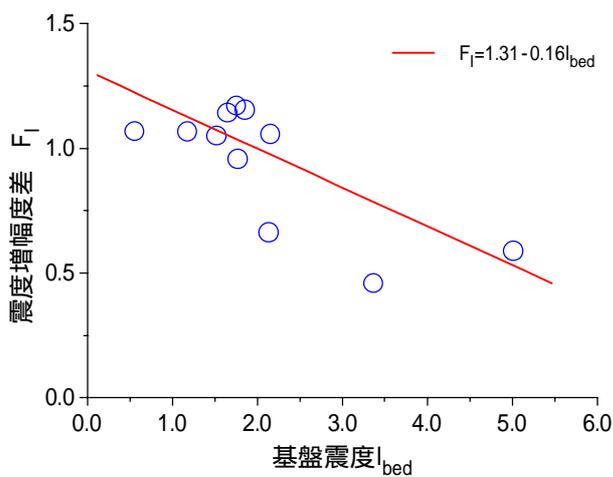


図 1.5-4 基盤震度と震度増幅度差の関係

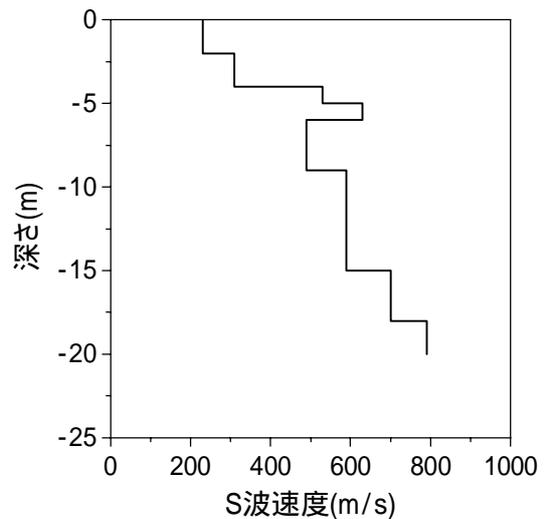


図 1.5-5 K-NET 輪島の S 波速度構造

第 2 章 地形・地質特性

2 地形・地質特性

2.1 地形

能登半島の山地部は七尾市と羽咋市を結んで北東・南西に延びる地溝帯の低地によって南北に分断されている。地震被害が大きかった半島北半部の地形は、北の海岸沿いに標高 300～500m 級の丘陵性山地が延びている。それに対して、南側の内陸部は標高 200～300m の丘陵になっており、広い範囲で標高 200m 以下の平坦面をもつ海成段丘面を形成している。半島内には大河川がないため、海岸の沖積低地の分布は局所的で狭小である。沖積低地の海岸沿いには砂丘が発達し、その背後には後背湿地が形成されている。

図 2.1-1 は半島北西の日本海上空からの被災地域の鳥瞰図である。北海岸と西海岸はやや起伏に富む山地であり、著しい海食作用を受けて急崖斜面（海食崖）が発達する様子がわかる。これに対して内陸部は中小河川の浸食を受けているが起伏の小さな丘陵性の地形が広がる。半島北半部の中央には能登空港があり、その周辺一帯の地形はなだらかな丘陵地帯で、標高 200m 前後の定高性の平坦面をもつ海成段丘が発達している（写真 2.1-1）。

以上のような地形を反映して、急崖の続く海岸線は風光明媚な観光ルートとして開発され、起伏の小さな内陸部は比較的交通路が発達している。また、盛土を除く斜面崩壊の多くが海岸沿いに発生したこともこのような地形に一因があるものと考えられる。

能登半島は地すべり災害の多い地域として知られ¹⁾、半島北半部での地すべり地形は起伏に富む北海岸と西海岸に近い山地部に密集して分布する²⁾。今回の地震により、地すべり地形の一部にクラックが入ったものがあったが、地すべり地形に対応する明瞭な地すべり変位は認められなかった。

参考文献

- 1) 紺野義夫；日本の代表的な地すべり 4「胡桃・五十谷」,アーバンクボタ ,No20 ,pp.8-9 ,1982 .
- 2) 宮城豊彦、清水文健；1:50,000 地すべり地形分布図「能登半島北部」,独立行政法人防災科学技術研究所,内山庄一郎(地図調整),2007 .

http://lswb1.ess.bosai.go.jp/jisuberi/jisuberi_mini/index.asp



図 2.1-1 能登半島北西の日本海上空からの被災地域の鳥瞰地形（国土地理院数値地図 50m および地図ソフト「カシミール3D」を使用）



写真 2.1-1
能登空港と周辺の丘陵性段丘地形(標高 200m前後) 背後は標高 300～500m 級の半島北側の海岸沿い山地

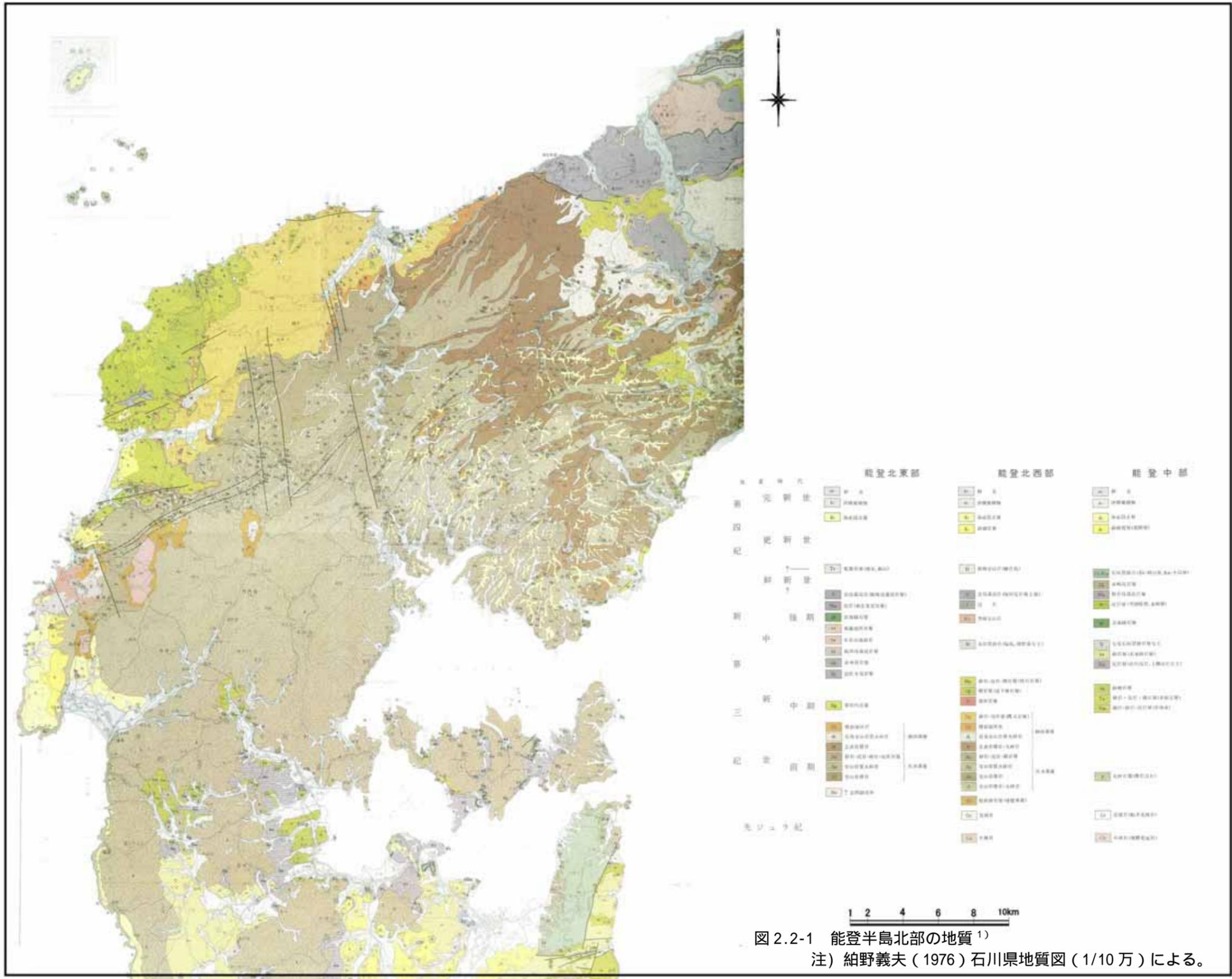
2.2 地質

今回の地震被害が多かった能登半島北部の地質は、図 2.2-1 に示したとおり、先ジュラ紀の片麻岩が部分的に地表に露出したところがあるが、概ね新生代第三紀中新世の安山岩や安山岩質火砕岩が広く分布し、輪島市街地から門前町に至るラインより北西側では、その上位に礫岩・砂岩・泥岩・凝灰岩などの堆積岩が分布している。また、輪島市街地東方の曾々木海岸ではこれらよりさらに新しい地質である流紋岩が分布し、その周辺地域では珪藻を含む泥岩が分布している。地層は、東北東～西南西方向を軸とした褶曲軸でゆるく傾斜することが多い。断層についてもこの東北東～西南西方向と北北西～南南東方向のものが記載されている。活断層については、長く規模の大きなものの記載は少なく、今回の地震の震央が海域であったこともあり、「新編日本の活断層」(東京大学出版, 活断層研究会編)にその記載はない。

これらの基盤岩の上位には、穴水から能登空港周辺や富来町など半島西海岸側を中心に、標高 200m 前後の丘陵地に山頂平坦面を形成している後期更新世の海成段丘物が広く分布している。また、輪島・穴水・門前などの低地はこれらの丘陵地のおぼれ谷を埋めた礫・砂・粘土などからなる沖積低地堆積物などが分布し、これらの軟弱な地層が分布する低地では地震被害が多かった。

参考文献

- 1) 鮎野義夫：石川県地質図(1/10万), 1976.
- 2) 活断層研究会編：新編日本の活断層, 東京大学出版会, 412p.1991.



第3章 地盤の液状化

3. 地盤の液状化

3.1 液状化の発生地点

液状化による被害は主に港湾地区の埋立地と河川流域の沖積地盤において発生した。現地調査によって噴砂が確認された地点を図 3.1-1 に示す。なお、同図は沼田ら¹⁾の資料に吉田ら²⁾によって確認された噴砂の発生地点を加筆したものであり、今回の地震における全ての液状化発生地点を表すものではない。また、同図中の破線の円は栗林らによる液状化限界震央距離³⁾を示したものであり、次式に今回の本震の気象庁マグニチュード 6.9 を代入して求めた 51.6km の半径を持つ円である。ここで、 R は液状化限界震央距離(km)、 M は気象庁マグニチュードである。

$$\log_{10} R = 0.77M - 3.6$$

同図より、珠洲市の正院町、蛸島漁港、飯田港や伏木富山港が液状化限界震央距離より離れた箇所であるにもかかわらず液状化が発生していることがわかる。特に珠洲市は、後述するように 1993 年能登半島沖地震の際にも液状化が発生しており、液状化危険度の高い地域といえる。



図 3.1-1 液状化による噴砂の発生地点

3.2 噴砂の粒度組成

現地調査では液状化による構造物被害が発生した地点において、周辺の地表面に噴出した噴砂を採取した。図 3.2-1 は噴砂の粒径加積曲線を描いたものであり、港湾の施設の技術上の基準・同解説⁴⁾に記載されている、液状化の可能性の高い粒径分布の範囲（均等係数の小さい砂）も示し

た。なお、 0.075mm 以下の細粒分についての沈降分析結果は同図に含まれていない。同図によれば、液状化の可能性ありと判断される粒径の範囲に全ての試料が入っており、既往地震における噴砂の粒度分布と調和的であるといえる。

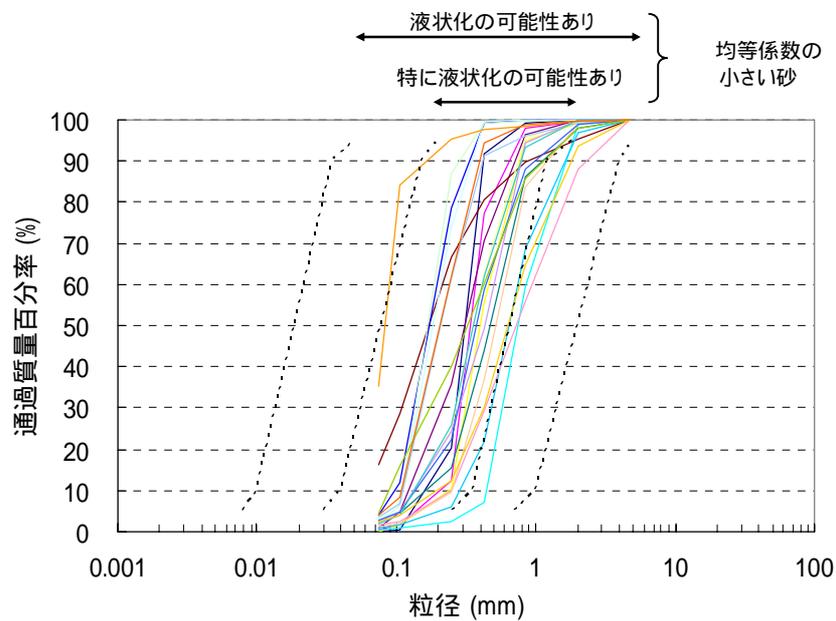


図 3.2-1 噴砂の粒径加積曲線

3.3 港湾施設の被害

港湾地区における液状化は石川県の志賀町、輪島市、珠洲市、穴水町、七尾市、そして、富山県の氷見市、高岡市の各市町の海岸埋立地で発生し、特に港湾施設の多い七尾市での被害が顕著であった。本節では、その中から主だった被害の概要を紹介する。

3.3.1 志賀町

写真 3.3.1-1 は志賀町西海風戸にある松ヶ下港の被害を示したものである。矢板護岸が海側にはらみ出し、護岸背後の道路が舗装継目を境に海側に移動して約 20cm の亀裂が発生した。また、その背後の路面は約 20cm 沈下し、亀裂内部には噴砂が堆積していた。



写真 3.3.1-1 護岸背後道路の亀裂

3.3.2 輪島市

写真 3.3.2-1 は輪島市門前町黒島町にある黒島漁港の被害を示したものである。護岸背後のエプロン表面の亀裂より大量の噴砂が発生し、大きい所で数 10cm の地盤沈下が生じていた。



写真 3.3.2-1 エプロン部の亀裂と噴砂

輪島市門前町鹿磯にある鹿磯漁港の位置を図 3.3.2-1 に示す。同漁港は 3 つの岸壁を有しているが、新しい西側の岸壁（地点 ，写真 3.3.2-2）は健全であり、古い北側の岸壁（地点 ，写真 3.3.2-3）はエプロン部が沈下する被害が発生していた。一方、建設中の東側の岸壁（地点 ，写真 3.3.2-4）は、護岸の一部が海側に傾斜し、背後にあるエプロンも大きく変形していた。



図 3.3.2-1 鹿磯漁港



写真 3.3.2-2 地点



写真 3.3.2-3 地点



写真 3.3.2-4 地点

写真 3.3.2-5 は輪島市マリントウンにある輪島港の被害を示したものである。建設中の-7.5m ケーソン岸壁では大きい所で水平方向に約 10cm，鉛直方向に約 5cm のケーソン同士の相対変位が生じ，背後のエプロン部には約 40cm の段差が発生していた。また，写真 3.3.2-6 に示すように岸壁背後の地盤には大量の噴砂が発生していた。



写真 3.3.2-5 エプロン部の沈下



写真 3.3.2-6 背後地盤の噴砂

3.3.3 穴水町

写真 3.3.3-1 は穴水町由比ヶ丘にある穴水宝山マリーナの被害を示したものである。ヨットの係留護岸背後のエプロン部が約 20cm 沈下していた。



写真 3.3.3-1 エプロン部の沈下

3.3.4 七尾市

図 3.3.4-1 に七尾市の七尾港で発生した液状化被害の代表的地点，写真 3.3.4-1～4 にそれらの被害写真を示す。被害程度の最も大きかったのは写真 3.3.4-1 に示す大田埠頭の-10m 矢板岸壁 1 号の被害である。エプロン背後の埠頭用地で発生した液状化により約 130m に渡り最大で約 50cm の段差が発生し，矢板天端は 20cm 程度海側に移動していた。同埠頭は輸入木材の荷揚場であり，その作業に大きな支障が生じたが，隣接する 2 号岸壁ではサンドコンパクションパイル工法，グラベルドレーン工法，ロッドコンパクション工法による地盤改良が施されていたため被災程度は低く，1 号岸壁の代貸機能を果たしていた⁵⁾。



図 3.3.4-1 七尾港における液状化被害地点



写真 3.3.4-1 エプロン部の沈下(地点)



写真 3.3.4-2 道路の亀裂(地点)



写真 3.3.4-3 岸壁のはらみ出し(地点)



写真 3.3.4-4 インターロッキングの沈下(地点)

3.3.5 富山県高岡市

写真 3.3.5-1 は富山県高岡市にある富山港伏木万葉ふ頭で発生した噴砂を示したものである。港湾施設に主だった被害は確認されず，造成用地の一部で噴砂が確認された程度であった。同地点の噴砂は図 3.1-1 に示すように震央から最も遠い地点で確認されたものであるが，埋立完成が 2000 年であり地盤が比較的若齢であったことがその一因と考えられる。



写真 3.3.5-1 震央から最遠地点の噴砂

3.4 水処理施設の被害

市街地では液状化による下水用マンホールや浄化槽の浮上，また，液状化に伴う地盤変形による下水管渠や井戸などの地中構造物の被害も発生した。写真 3.4-1～2 に門前町清水における浮上被害を示す。一方，同町を流れる八ヶ川に沿って走る国道 249 号ではアスファルト舗装の波打ち等の変状が顕著であり，周辺地盤の沈下によって数センチ程度ではあるが道路からマンホールが突出する現象も多数確認された。同町は木造家屋の全半壊被害が多数発生した地域であるが，地下水位が高く非常に軟弱な地盤であったことがこれらの被害の要因となったと考えられる。



写真 3.4-1 マンホールの浮上



写真 3.4-2 浄化槽の浮上

3.5 木造建築物の被害

写真 3.5-1～2 は輪島市門前町清水における木造 2 階建て建物の液状化による被害を示したものである。建物前の水路に積まれた護岸ブロックが地震動で水路に転落し，その背後地盤には水路と平行の亀裂が生じ，基礎の立ち上がり部や犬走り部には水路と平行の亀裂が多数生じていた。建物の周囲には液状化による噴砂が多数発生しており，建物の基礎地盤が水路方向に側方流動したことが亀裂の要因と考えられる。なお，住民の証言によれば地震直後には灰色の泥水が噴出し，その後は透明な水が噴出していたとのことである。

一方，写真 3.5-3～4 は輪島市門前町広瀬における同様の被害を示したものである。建物基礎地盤で発生した液状化により地盤が側溝の開放面方向に移動し，玄関前の土間コンクリートに亀裂が発生していた。



写真 3.5-1 地盤の側方流動



写真 3.5-2 基礎の引張亀裂



写真 3.5-3 地盤の側方流動



写真 3.5-4 土間コンクリートの引張亀裂

3.6 鉄筋コンクリート建築物の被害

写真 3.6-1 は七尾市田鶴浜支所庁舎における液状化被害を示したものである。建物は基礎杭により支持されていたため健全であったが、基礎地盤の液状化により建物周辺には大量の噴砂が発生しており、約 15cm の地盤沈下が生じていた。なお、庁舎横の地盤上には震度計が設置されており、そこで観測された計測震度は 6.2、最大加速度は 745.9gal であった。液状化地盤における記録として非常に貴重なデータと考えられるが、地震により震度計が傾斜していたことが後に判明した。

写真 3.6-2 は七尾市和倉町にある和倉温泉多田屋における被害を示したものである。建物周辺地盤が液状化により沈下したことにより、地盤と構造物基礎との間に約 10cm の相対変位が発生した。そのため、同写真に示すようにウッドデッキと地盤との間に隙間ができたり、給排水パイプに抜けが生じるなどの被害が発生した。



写真 3.6-1 建物周辺地盤の沈下



写真 3.6-2 建物周辺地盤の沈下

3.7 地盤の側方流動

写真 3.7-1～3 は七尾市大田町の水路護岸で発生した側方流動による被害を示したものである。護岸背後地盤が液状化し、地盤が用水方向に流動したことによって護岸が内側に押された。これにより、図 3.7-1 に示すように水路横断方向に設置されていた護岸の支え 12 本のうち 5 本が曲げ破壊を起こしていた。図 3.7-2 は地震前後の護岸と地盤の変形状況を示した模式図である。測定の結果、護岸天端において水路幅が約 40cm 減少したことが明らかとなった。



写真 3.7-1 支え構造の曲げ破壊

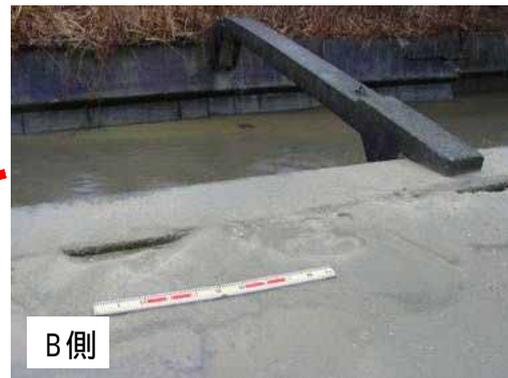


写真 3.7-2 護岸背後からの噴砂



写真 3.7-3 護岸背後地盤の亀裂と噴砂

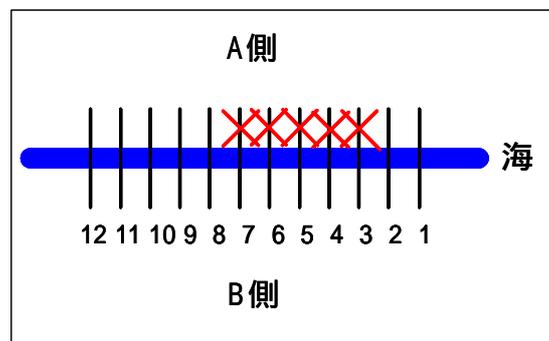


図 3.7-1 曲げ破壊の発生地点

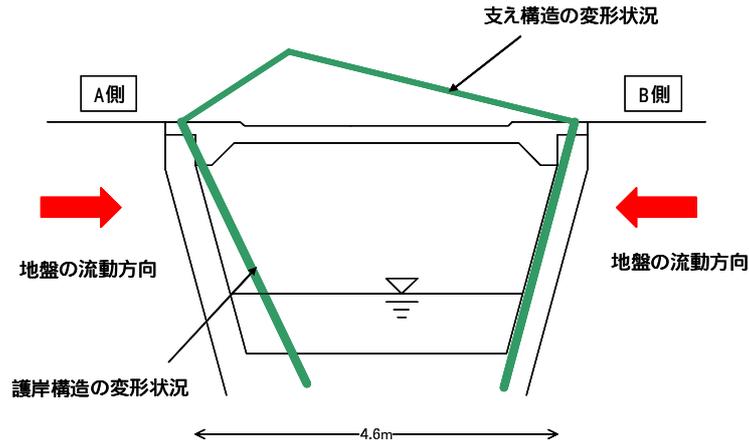


図 3.7-2 護岸と地盤の変形状況

3.8 再液状化現象

一度、液状化した地盤であっても地震後の土粒子の再堆積状況や地震動の強さによって再び液状化が発生することがあり、これを再液状化現象と呼んでいる。1993年能登半島沖地震では珠洲市において液状化被害が多数発生したが、今回の地震において珠洲市の鵜飼魚港、正院町熊谷、正院町正院で数十メートル程度の範囲のほぼ同一地点で再液状化が確認された¹⁾。写真 3.8-1~2 は 1993年能登半島沖地震における正院町正院の市営住宅の基礎地盤における液状化被害を示したものである。今回の地震では写真 3.8-3~4 に示すように、市営住宅から約 25m 離れた地点において液状化による噴砂を確認した。付近の住民によれば 1993年に比べると今回の地震動は非常に小さく周辺地域での被害も軽微であったとのことである。



補強コンクリートブロック造市営住宅の建物（正院町正院、B-1, A棟）

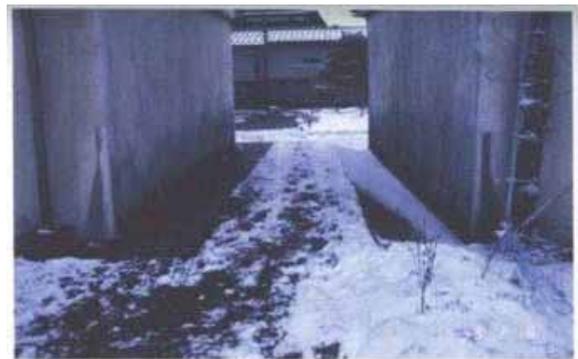


写真20 市営住宅の沈下（正院町正院）

写真 3.8-1~2 1993年能登半島沖地震における市営住宅の液状化被害^{6),7)}



写真 3.4.8-3~4 2007 年能登半島地震における市営住宅付近の液状化被害

3.9 まとめ

今回の地震において顕著な液状化被害の発生した地点は、震源に近い輪島市門前町と港湾施設の多い七尾市であり、地盤の共通点としては海岸埋立地、人工造成地、埋戻地盤などの若齢の軟弱地盤が主であったことが挙げられる。液状化により地上構造物に甚大な被害が生じる事例は少なかったが、上下水道施設などの地中構造物に関しては管路破損による機能被害が発生した。また、興味深い事例として珠洲市では再液状化現象が確認された。

参考文献

- 1) 沼田淳紀，上明戸 昇，三輪 滋，池田隆明：2007 年能登半島地震における液状化，土木学会地震工学論文集，Vol.29，pp.20-29，2007．
- 2) 吉田雅穂，宮島昌克：平成 19 年（2007 年）能登半島地震 - 液状化による構造物被害 - ，<http://www.jsce.or.jp/report/42/news3files/070401ppt/ekijyoka.pdf>
- 3) 栗林栄一，龍岡文夫，吉田精一：明治以降の本邦の地盤液状化履歴，土木研究所，第 30 号，pp.1-9，1974．
- 4) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，上巻，p.282，1999．
- 5) 菅野高弘：港湾施設の被害概要，5 学会合同 2007 年能登半島地震災害調査速報会，pp.34-35，2007．
- 6) 北浦 勝他：1993 年能登半島沖地震に関する調査研究，文部省科学研究費重点領域研究自然災害の予測と防災力研究成果，口絵 p.4，1993．
- 7) 北浦 勝，宮島昌克，池本敏和，吉田雅穂：1993 年 2 月 7 日能登半島沖地震調査報告 - 速報 - ，付録 p.6，1993．

第 4 章 斜面崩壊

4. 斜面崩壊

斜面崩壊の形態は、自然斜面においては、海岸線沿いの岩盤崩壊、落石が多く、崩壊が土石流化したケースが1箇所見られた。能登半島は、地すべり地形が密に分布する地域でありながら明瞭な地すべり変位は認められなかった。以下に斜面崩壊の形態別に、概要を述べる。調査ルートおよび調査地点番号を図4-1に、斜面崩壊の概要を表4-1に示す。

第1回調査 平成19年3月30日(金)~4月1日(日)

(後藤聡、稲垣秀輝、上野将司、櫻井正明、太田英将、岩佐直人、鈴木素之、平田文)

第2回調査 平成19年6月2日(土)~6月3日(日)

(後藤聡、櫻井正明、小川紀一郎、平田文、中村洋介)



図4-1 現地調査のルート及び調査地点

本図は、国土地理院発行の20万分の1地勢図「輪島」「七尾」「富山」を使用した。

表 4-1 斜面崩壊の概要（数字は目測による概略の値である）

整理番号	現地調査		場所	分類	形態	主たる地質	被災状況	崩壊及び落石の規模										
	第1回	第2回						平均長(m)	平均幅(m)	崩壊深(m)	平均高(m)	平均幅(m)	平均厚(m)	長さ(3方向, m)	体積(m3)	面積(ha)	崩壊土砂量(m3)	落石重量(t)
S 1			富来町酒見	自然斜面	岩盤崩壊(トップリング)	安山岩	道路埋没				15	10	5				750	
S 2			富来町関野鼻	自然斜面	岩盤崩壊(崩落)	安山岩	観光名所被災										?	
S 3			輪島市曾々木	自然斜面	岩盤崩壊(崩落)	火砕岩	洞門被災(国道)										500	
S 4			輪島市大川	切土斜面	表層崩壊	シルト岩	道路埋没(国道)										600	0.02
				切土斜面	表層崩壊	シルト岩	道路埋没(国道)										150	0.02
S 5			輪島市三ツ子浜	切土斜面	表層崩壊(平面すべり)	シルト岩	道路埋没(国道)										100	0.01
S 6			輪島市三ツ子浜	切土斜面	表層崩壊	シルト岩	吹付工崩落・道路埋没(国道)				20	20	1				400	0.04
S 7			輪島市里町	切土斜面	表層崩壊	シルト岩	吹付工崩落・道路埋没(国道)				10	20	2				400	0.02
S 8			輪島市打越	盛土斜面	盛土崩壊		擁壁(L型)崩落(国道)											30
S 9			輪島市袖ヶ浜	自然斜面	岩盤崩壊(崩落)	砂岩	道路埋没(軽自動車被災)				30	20	2				1200	
				自然斜面	岩盤崩壊(崩落)	砂岩	道路埋没				30	10	3				900	
S 10			輪島市下山	切土斜面	表層崩壊	シルト岩	道路埋没				10	10	1				100	0.01
				盛土斜面	盛土変状		道路陥没・擁壁(石積)変位											10
S 11			輪島市上山	切土斜面	表層崩壊	凝灰岩	法面変状				15	15	1				230	0.02
S 12			輪島市門前町深見	自然斜面	落石	礫岩	道路上下下							5	5	4		260
S 13			輪島市門前町深見	自然斜面	深層崩壊	礫岩, 凝灰角礫岩	道路埋没				150	40	3				18000	0.60
S 14			輪島市門前町深見	自然斜面	岩盤崩壊(崩落)	礫岩	道路埋没				20	20	1.5				600	0.04
S 15			輪島市門前町深見	自然斜面	落石	礫岩	道路上下下・防潮護岸破壊							6	6	6		560
S 16			輪島市門前町深見	自然斜面	岩盤崩壊(崩落)	凝灰岩	道路上下下				15	10	2	4	2	1.5		300
S 17			輪島市門前町深見	自然斜面	落石	凝灰岩	落石多数・広場上下下									100		100
S 18			輪島市門前町深見	自然斜面	岩盤崩壊(くさび)	凝灰岩	道路埋没				10	10	2	2	2	1		200
S 19			輪島市門前町深見	自然斜面	落石	礫岩	道路上下下							3	2.5	1.5		29
S 20			輪島市門前町上長谷崎	自然斜面	岩盤崩壊(平面すべり)	凝灰岩	道路埋没				20	20	1				400	0.04
S 21			輪島市門前町上長谷崎	切土斜面	落石	凝灰岩	落石多数・フェンス埋没									50		50
S 22			輪島市門前町上長谷崎	自然斜面	落石	凝灰岩	道路陥没・コンテナ破壊							4	3	2		62
縦 9			七尾市上川	盛土斜面	盛土崩壊		道路崩落(能登有料道路・下り)											150
縦 10			七尾市横田	盛土斜面	盛土崩壊		道路崩落(能登有料道路・オンランプ)											90
縦 21			七尾市小牧	盛土斜面	盛土崩壊		道路崩落(能登有料道路・上下)											55
縦 14			七尾市谷内	盛土斜面	盛土崩壊		道路崩落(能登有料道路・上下)											40
S 23			輪島市門前町中野屋	自然斜面	深層崩壊	凝灰岩, 凝灰角礫岩, 礫岩, 段丘堆積物	崩壊土砂流動, 土石流化(治山ダムで停止)				100	50	3				15000	0.50
S 24			富来町大徳寺	切土斜面	表層崩壊	安山岩	道路埋没(国道)				15	50	1				750	0.08
S 25			富来町大徳寺	盛土斜面	盛土崩壊		道路崩落(国道)											30
S 26			富来町大徳寺	盛土斜面	盛土崩壊		道路崩落(国道)											40
S 27			輪島市熊野	自然斜面	深層崩壊	礫岩, 砂岩	河原田川河道閉塞, 堰止湖形成				100	80						0.80
S 28			輪島市門前町鹿磯	施工地	斜面変状	砂岩・礫岩	法枠工, 擁壁被災				20	20						0.04
S 29			輪島市門前町鹿磯	施工地	斜面変状	砂岩・礫岩	アンカー工被災				20	30						0.06
S 30			輪島市門前町深見	自然斜面	斜面変状	砂岩・礫岩	斜面直下に人家有				25	50						0.13
S 31			輪島市門前町深見	自然斜面	斜面変状	砂岩・礫岩	斜面直下に人家有				35	70						0.25
				自然斜面	斜面変状	砂岩・礫岩	斜面直下に寺				35	40						0.14
S 32			輪島市門前町深見	自然斜面	表層崩壊	礫岩	歩道埋没				20	15	1				300	0.03
S 33			輪島市門前町六郎木	自然斜面	表層崩壊(滑落崖崩壊)	砂岩・礫岩	道路埋没				25	20	1.5				750	0.05
S 34			輪島市門前町中野屋	自然斜面	表層崩壊	凝灰角礫岩, 段丘堆積物	特になし				70	50	1				3500	0.35
S 35			輪島市門前町尺ヶ池	施工地	深層崩壊(滑落崖崩壊)	泥岩, 礫岩	法枠工被災				50	40	1.5				3000	0.20
S 36			輪島市門前町尺ヶ池	自然斜面	表層崩壊	砂岩・礫岩	特になし				30	50	1				1500	0.15
S 37			輪島市門前町尺ヶ池	自然斜面	表層崩壊	砂岩・礫岩	特になし				30	20	1				600	0.06
S 38			輪島市門前町尺ヶ池	自然斜面	深層崩壊(崩土)	凝灰角礫岩	道路埋没				40	50	2				4000	0.20
S 39			輪島市門前町椎木	自然斜面	表層崩壊(滑落崖崩壊)	泥岩等	家屋被災				50	40	1				2000	0.20
S 40			輪島市門前町椎木	施工地	斜面変状(地すべり崩土)	泥岩等	地すべりアンカー工(15本)被災											90

4.1 岩盤崩壊・落石

岩盤崩壊および落石の発生確認箇所は、ほとんどが海食崖にあたり、1箇所が谷頭に近い遷急線付近に位置する。なお、表4-1中の第1回調査で深層崩壊としたものは、崩壊物として岩塊とともに土砂状になった風化層を比較的多く含んでいる。いずれも傾斜40～70度の急斜面であり、斜面の植生は草地、灌木が主体で露岩部が目立つことから、時々崩壊が発生している不安定な斜面といえる。地質は礫岩、凝灰岩、凝灰角礫岩であり、割れ目が少ないため崩壊岩塊は径数mの巨礫が多い。

自然斜面の崩壊は、主として輪島市を中心とした地域に発生しているが、斜面崩壊が群発した平成16年新潟県中越地震（最大震度7）等と比べて、崩壊地の数は少なく散在している。比較的規模の大きな崩壊が発生しているのは、本震の震央に近く余震震央の分布域にあたる輪島市門前町付近である。以下に各地区毎の状況を示した。

4.1.1 富来町酒見（写真4.1.1-1、4.1.1-2）

酒見川河口の右岸部の道路に面する高さ15m、尾根状に突出した南向き斜面において、厚さ5m、幅10m程度の岩盤が転倒崩壊したものである。地質は凝灰角礫岩で、節理等の割れ目が少なく崩壊した岩塊は大きい。崩壊面の一部にはコケが生えており、崩壊部分は緩んでいたものと思われる。



写真4.1.1-1 正面から見た尾根状部の崩壊



写真4.1.1-2 横から見た尾根状部の転倒崩壊

4.1.2 輪島市門前町剣地の関野鼻周辺（写真4.1.2-1）

震源地に近く、急崖をなす海食崖が数箇所崩壊し、観光名所の「ヤセの断崖」のオーバーハング部分が崩落した。海食崖下は海のため被害はなく、観光対象の景観が変化したものである。

写真4.1.2-1 関野鼻周辺の海食崖の崩壊



4.1.3 輪島市門前町深見地区（写真 4.1.3-1、4.1.3-2）

輪島市門前町道下集落の北西にあたる深見集落までの海食崖では、多数の岩盤崩壊や落石により、海食崖下を通る市道道下深見線がいたる所で寸断されて、深見集落が一時孤立した。特に深見集落手前の区間は、斜面が流れ盤となっていることもあって、岩盤崩壊、落石が集中して発生しているが、海食台上に大径の岩塊が点在しており、過去から崩落を繰り返していた箇所と見られる。海食崖の地質は、礫岩、凝灰岩、凝灰角礫岩であり、割れ目が少ないため落下した岩塊は大きく、最大重量は 560 トン程度のものであった。岩盤崩壊や落石の落下高さは多くが 20m 以上であり、道路における通常の待受け対策では抑止が困難である。



写真 4.1.3-1 表層崩壊と落石(S-14 地点)



写真 4.1.3-2 最大規模の崩壊(S-13 地点)と上は S-14 地点(中日本航空株式会社撮影)

(1) 市道沿いの落石・岩盤崩壊

道下集落から海岸沿いに深見集落に至る市道（道下深見線）沿いでは、地震時に海食崖が岩盤崩壊・落石を引起し、各所で寸断した。特に、深見集落手間の斜面は、岩盤崩壊・落石が多発している（S-12～17）。市道に面する海食崖は、硬質であるが節理の発達した凝灰岩の上に礫岩層がのっており、大規模な深層崩壊（S-13, 後述）をのぞいて、凝灰岩の岩盤崩壊または塊状の礫岩が崩落（落石）したものである。

なお、第 2 回調査時点では、応急的に崩土が除去されていたが、深層崩壊箇所付近は通行止めとなっている（許可車のみ時間制限で通行）。



写真 4.1.3-3 市道沿いの斜面崩壊



写真 4.1.3-4 崩土が取り除かれた市道



写真 4.1.3-5 通行止め箇所



写真 4.1.3-6 市道と深見集落



写真 4.1.3-7 海食崖の状況（凝灰岩の露頭の上に塊状に張り付いた礫岩層が見られる）

(2) 市道沿いの深層崩壊

市道（道下深見線）沿いには、大規模な深層崩壊が発生している（S-13）。この深層崩壊は、海食崖上の凝灰角礫岩層（安山岩質）が崩落したもので、滑落崖の規模は 5-20m 程度におよび、大半の崩土は斜面上部に残留している。崩壊下部は、崩土により海食崖が削られて礫岩等が露出し急斜面を形成している。



写真 4.1.3-8 市道沿いの深層崩壊（S-13）



写真 4.1.3-9 深層崩壊の滑落崖



写真 4.1.3-10 深層崩壊の上部 崩土が残留



写真 4.1.3-11 滑落崖の状況

滑落崖には、強風化を受けた安山岩質凝灰角礫岩が露出している。最上部には、円礫（最大径 20cm 程度）を含む未固結層が見られる。

(3) 深見集落の背後斜面

深見集落（37 世帯 87 人）は、海に流れ込む深見川河口付近の両岸に発達しているが、背後斜面は、いずれも急斜な海食崖からなっている。地震後、市道が被災したために、近くの六郎木集落（8 世帯 16 名）とともに一時孤立したが、船舶等により住民の避難が行なわれた。その後、石川県の調査により、深見集落の背後斜面（S-30,31）に亀裂が生じていることが判明したために、対策工事が終了するまで関係住民の非難は継続中である（第 2 回調査時現在）。



写真 4.1.3-12 背後斜面（左岸側 S-30）の状況



写真 4.1.3-13 背後斜面（右岸側 S-31）の状況



写真 4.1.3-14 応急対策が行なわれた背後斜面
（S-31, 亀裂をシートで保護）



写真 4.1.3-15 一部が損傷した背後斜面の擁壁
（S-31, コンクリート擁壁にクラック発生）

(4) 斜面上部の表層崩壊

深見集落北側の急斜面には、尾根付近から崩落した表層崩壊が 1 箇所見られる。広葉樹林の表土が崩落したもので、基岩は風化を受けた礫岩である。



写真 4.1.3-16 尾根直下の表層崩壊 (S-32)



写真 4.1.3-17 表層崩壊の状況

4.1.4 輪島港西側の袖が浜 (写真 4.1.4-1、4.1.4-2)

岬状に突出した比高 30m 程度の岩盤斜面 (海食崖) であり、隣接した斜面 2 箇所が崩壊している。地質は塊状の砂岩で、径数 m の多数の崩壊岩塊で道路が埋積され、軽自動車 1 台が被災 (運転者は無事) した。



写真 4.1.4-1 海食崖の崩壊(S-9 地点)



写真 4.1.4-2 隣接した 2 箇所の斜面崩壊(S-9 地点)
(中日本航空株式会社撮影)

4.1.5 輪島市曾々木海岸 (写真 4.1.5-1、4.1.5-2)

国道 249 号が海食崖沿いを通過する風光明媚な海岸であるが、比高約 100m に及ぶ崖部で岩盤崩壊が発生した。地質は割れ目の少ない凝灰角礫岩を主体としており、オーバーハングした急斜面には接着工やロックボルトが施工されていた。本震での崩壊はわずかであったが、26 日～27 日の余震によって約 500m³ の崩壊があり、一部の崩落岩塊により国道の八世乃 (はせの) 洞門が被災して通行止めとなった。



写真 4.1.5-1 洞門の右上の露岩部が崩壊発生位置



写真 4.1.5-2 崩落岩塊の一部による洞門の被災状況

4.1.6 輪島市門前町中野屋（写真 4.1.6-1）

標高約 250m の尾根部から、人工林（アスナロ）で覆われていた風化層が崩落した深層崩壊である。崩落した風化層は、主として凝灰角礫岩からなり、崩壊地側方の人工林内に崩落しなかった風化層が張り付いている。崩壊地下部は不透水層となる凝灰岩が露出しており、隣接斜面の湧水からの表流水が崩壊地直下を流れて溪流を形成している。崩土は大径の転石を含んでいるが、溪流に到達したために、崩土の一部が流動化して溪流を流下した。この土石流の流下状況等については 4.3 で述べる。



写真 4.1.6-1 山頂部、遷急線付近からの崩壊状況

4.1.7 熊野地区

穿入蛇行している河原田川の攻撃斜面に発生した深層崩壊で、崩壊地直下の本流河道を閉塞して、小規模な堰止め湖を形成している（S-27）。深層崩壊は、下部が礫岩、上部が砂岩であり、上部は、岩盤が節理面を堺としてくさび状に崩落したものである。

地震直後に、河道閉塞の報道がされた箇所、国土交通省砂防部の調べによると、本箇所を含めて3箇所の河道閉塞箇所が見られたが、いずれも小規模である。



写真 4.1.7-1 河岸に発生した深層崩壊（S-27）



写真 4.1.7-2 くさび状に岩盤が崩落した上部



写真 4.1.7-3 崩壊地下部の礫岩の露頭



写真 4.1.7-4 崩壊地直下の河道閉塞

4.2 地すべり地形内の斜面崩壊

災害地周辺は、新第三系の堆積岩であるために、地すべり地形が数多く見られるが、地すべり地形の滑落崖、崩土の崩落が見うけられた。

(1) 六郎木の表層崩壊

六郎木集落と深見集落を結ぶ市道(五十洲深見線)沿いに、小規模な表層崩壊が見られる(S-33)。なお、表層崩壊の発生箇所は、地すべり地形の滑落崖にあたる急斜面である。



写真 4.2-1 市道沿いの表層崩壊(地すべり地形の滑落崖,S-33)

(2) 濁池の表層崩壊

濁池川上流には、濁池集落を中心として大規模な地すべり地形が見られるが、滑落崖にあたる斜面に表層崩壊が見られる（S-36,37）。



写真 4.2-2 地すべり地形内の崩壊地（旧滑落崖頭部が崩落,S-36）
農村振興局所管・地すべり防止区域「清土」

(3) 尺ヶ池

尺ヶ池集落に隣接した地すべり地で深層崩壊が発生した（S-35）。この周辺は泥岩の分布地であり、林野庁により地すべり工事が実施されているが、固結度の低い礫層からなる滑落崖が、法枠工とともに崩落し、施工地が被災した。

また、尺ヶ池から安代原に向かう道路沿いでも、凝灰角礫岩の岩塊を含んだ崩土が崩落して、道路が埋没した（S-38）。



写真 4.2-3 滑落崖の崩落（S-35）
林野庁所管地すべり防止区域「尺ヶ池」
施工されていた法枠工も崩落



写真 4.2-4 地すべり崩土が崩落（S-38）

(4) 椎木地区

椎木集落は、林野庁所管の地すべり指定地内にあるが、地すべり地の滑落崖の一部が崩落して、直下の家屋が被災した（S-39）。また、地すべり地内のアンカー工も被災を受けている（S-40）。



写真 4.2-5 旧滑落崖の崩壊（S-39）
林野庁所管地すべり指定地「椎木」

4.3 土石流

地震による斜面崩壊を起因とする土石流が、輪島市門前町中野屋で発生した。崩壊は斜面最上部の標高 230m 付近から、目測で長さ 100m、幅 50m、平均深さ 3m 程度の規模で発生し、その後崩落した土砂は、溪流に堆積していた土砂を巻き込みながら比較的ゆっくりとした速度で土石流化し、谷に設置された治山ダム 2 基に捕獲され停止した。この治山ダムは昭和 48 年に復旧治山事業として設置されたものであり、人家の寸前で土石流を停止させ、被害を最小限に食い止めることに寄与した。崩壊地直下には、崩落してきた 1～数m の巨大な岩塊が分布し、溪流にも 1m 超の岩塊が散在する。

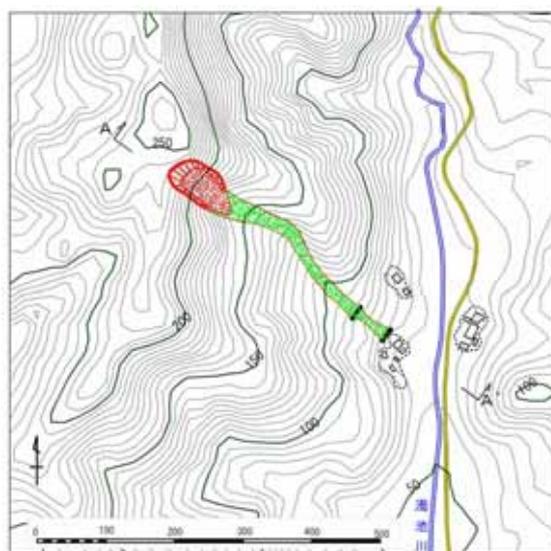


図 4.3-1 中野屋地区土石流発生地点の平面

崩壊の滑落崖の上部 20m には、塊状で比較的硬質な凝灰岩が分布し、その下位はやや粗粒な風化した凝灰岩層で構成されている。崩壊面の傾斜角は約 35° であり、崩壊地直下は約 20° の傾斜となっている。その下流側はほぼ 15° 程度の河床勾配となっている。

谷の右岸は竹林が広がり、地表水が崩積土砂に供給され伏流水化している。標高 150m 前後の緩斜面部は、耕作地として利用された形跡がある。左岸は、アスナロなどの針葉樹林となっている。

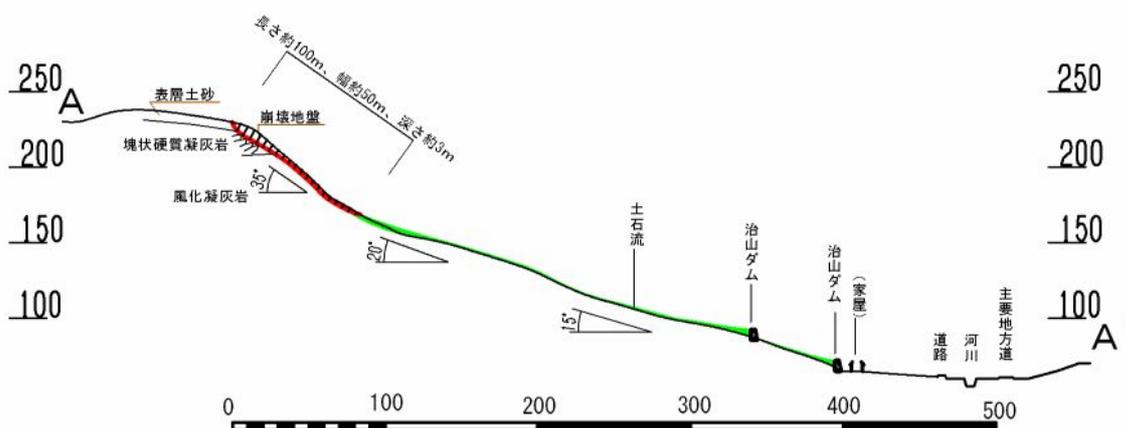


図 4.3-2 断面図

土石流が家の裏まで迫った A さんからの聞き取り調査から、この土石流は徐々に移動速度を減じながら約 3 日間にわたり動き続け、その後の降雨の際にも再び移動をしたと推定される。聞き取りの内容は以下の通りである。

【Aさんからの聞き取り内容】

その角（家の前）まで歩いて上がってきたときに地震が起きた。その瞬間（揺れた直後くらい）にものすごい音がした。僕自身は、この近辺の部落のどこかの家がつぶれたかと思った。向かいの人（川向かいの家）が、こちらが崩れるのが見えたのか「危ないからこっちに来て」と声を掛けてくれた。そこで、うちを出たらバリバリと長い間ずーっと音がした。土砂がゆっくり動いてきたのか1日中（3月25日）音がしていた（おそらく土砂が流動してきて立木を折る音）。音は夜になってもしていた。それに怖くなって親戚のうちに行った。翌朝（3月26日）朝ご飯を食べて来たけれど、今度は連続的ではなく時々バッキッという音がする程度になった。3日目（3月27日）になったら、たまに音がする程度になった。昨日（3月31日）の雨でも音がしていた。竹や木の割れたり折れたりする音だった。火花が散ったり特別の臭いがあったということはない。沢水は地震後濁っている。

（2007年4月1日13:30頃実施）

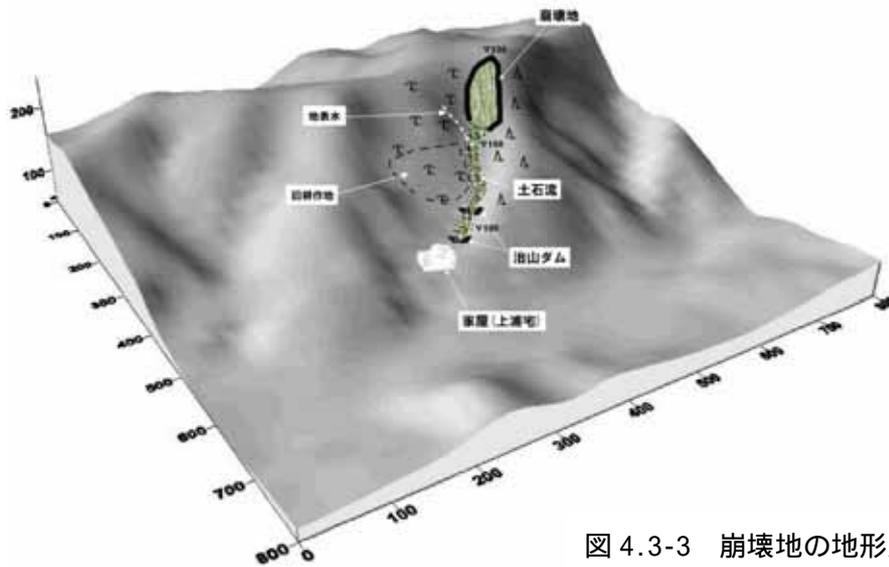


図 4.3-3 崩壊地の地形鳥瞰図



図 4.3-4 崩壊地～土石流跡



図 4.3-5 崩壊地を望む
右岸が竹林、左岸が針葉樹林となっている



図 4.3-6 土石流の状況(1)



図 4.3-7 土石流の状況(2)
土石流の先に人家がある



図 4.3-8 土石流を捕獲した治山ダム

今回の地震で発生した土石流箇所は当該箇所 1 箇所のみである。土石流は比較的緩速に移動し、治山ダムで捕獲されているため当面の危険性は回避されている。しかし、渓流には土石流化する危険性がある土砂が残存しており、今後降雨の影響で再移動する可能性があるため注意が必要である。

応急的には、この崩積土砂に地下水を供給している右岸竹林部からの地表水を、簡易的な水路工により地中に浸透させず排出させることが必要と考えられる。その後、崩壊部の拡大防止対策や、渓流に堆積した土砂の安定化などを含めた恒久的な対策工を検討し、実施する必要がある。

4.4 地すべり

今回の地震で被害が集中した能登半島北部には、図 4.4-1 に示したとおり多くの地すべり地形が認められる。これらの地すべりは、第三紀層地すべりと呼ばれる地すべりで、泥岩や凝灰岩などの地質的な弱層を形成しやすい地層をすべり面とした層理面沿いの流れ盤地すべりが多く、安山岩類が広く分布する調査地南側では、地すべり地形は少ない傾向がある。

堆積岩分布地域に多く認められるこれらの地すべりは、今回の地震では、地すべり地形に対応した部分での明瞭な変動は発生しなかった。写真 4.4-1 に示した輪島市白米町の有名な千枚田は地すべり地でもあるが、集水井などの地下水排除工が施工されていたこともあり、全く被害を受けていなかった。

震源に近い輪島市門前町広岡地区では、写真 4.4-2 に示したとおり、地すべり地形頭部の道路盛土や水田・畑などにクラックが入った程度で地すべり全体が動いた様子はなかった。中越地震時の旧山古志村で発生した多くの地すべりと比較し、これらの既往の地すべりが今回の地震で活動しなかった理由は、地震直前に降雨などが少なく地下水が地盤中にあまり貯留されていなかったこと、地すべり移動層の地質条件の違い（旧山古志村の地すべり移動層は砂岩層主体、当地域は泥岩層主体）などによるのではないかと考えられるが、地震波の特性のちがいなどを含め今後の課題といえる。

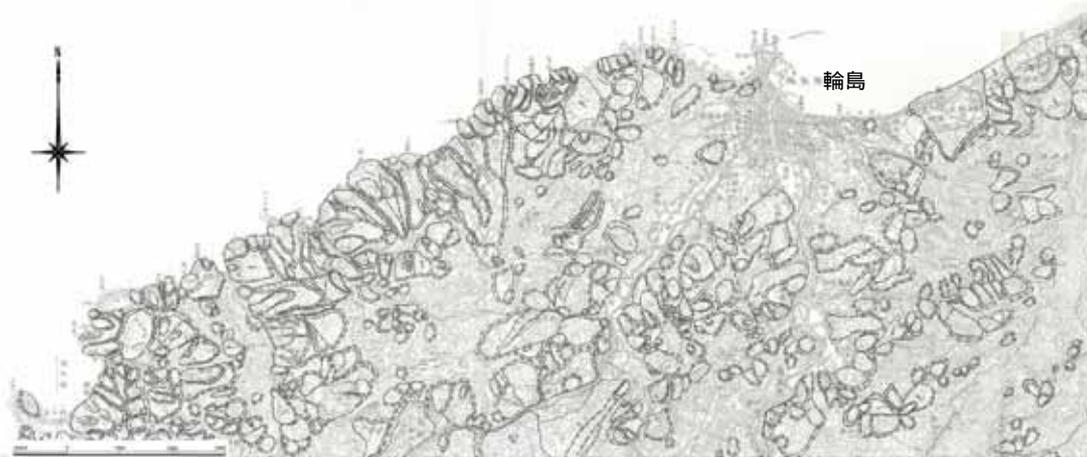


図 4.4-1 輪島付近の地すべり地形¹⁾



写真 4.4-1 輪島市白米町千枚田は全く地すべり被害がなかった。



写真 4.4-2 震源近くの輪島市門前町広岡地区の地すべり内の道路盛土クラック。

参考文献 1) 清水文健・宮城豊彦・井口隆・大八木規夫：地すべり地形分布図第 12 集「金沢・七尾・輪島」2001 .

第 5 章 道路被害

5. 道路被害

5.1 道路被害概要

5.1.1 道路の主な被害状況

海岸線や山間を走る道路が盛土や斜面の崩壊、落石によって不通となった。道路の通行止めは地震直後に 18 路線 24 箇所であったが、4 月 27 日現在では 4 路線 4 箇所と早急な復旧が行われた。また、後述する能登有料道路では地震直後に柳田 IC 以北が通行止めとなったが、4 月 27 日に全線供用を再開した。なお、北陸自動車道での被害は発生していない。

道路の主な被害状況は、次のとおりである。

国道 249 号（志賀町深谷）：全面に渡り道路が陥没。法面崩壊により車道をふさぐ。

国道 249 号（志賀町大福寺）：路面に亀裂，谷側の道路が陥没

国道 249 号（輪島市町野町曾々木 八世乃洞門）：崖崩れにより洞門が損傷。谷側に変形。

国道 249 号（志賀町清水今江）：橋梁部と一般部とに段差。

国道 470 号穴水道路（穴水町七海）：路面にクラック。

国道 470 号田鶴浜道路（徳田 JCT 付近）：橋梁部と一般部とに段差。

能登有料道路（豊川橋付近）：上下線が崩落。

能登有料道路（七尾市中島町付近）：片側車線が崩落。

能登有料道路（穴水町字越の原付近）：片側車線崩落。

能登有料道路（横田 IC 付近）：上下線全面が崩落。インターチェンジが崩落。

七尾能登島公園線（能登島大橋）：橋脚の基部が損傷。

この中で被害が特に顕著であった能登有料道路の被害については石川県及び道路公社の全面的なご協力により詳細な資料の提供を受けた

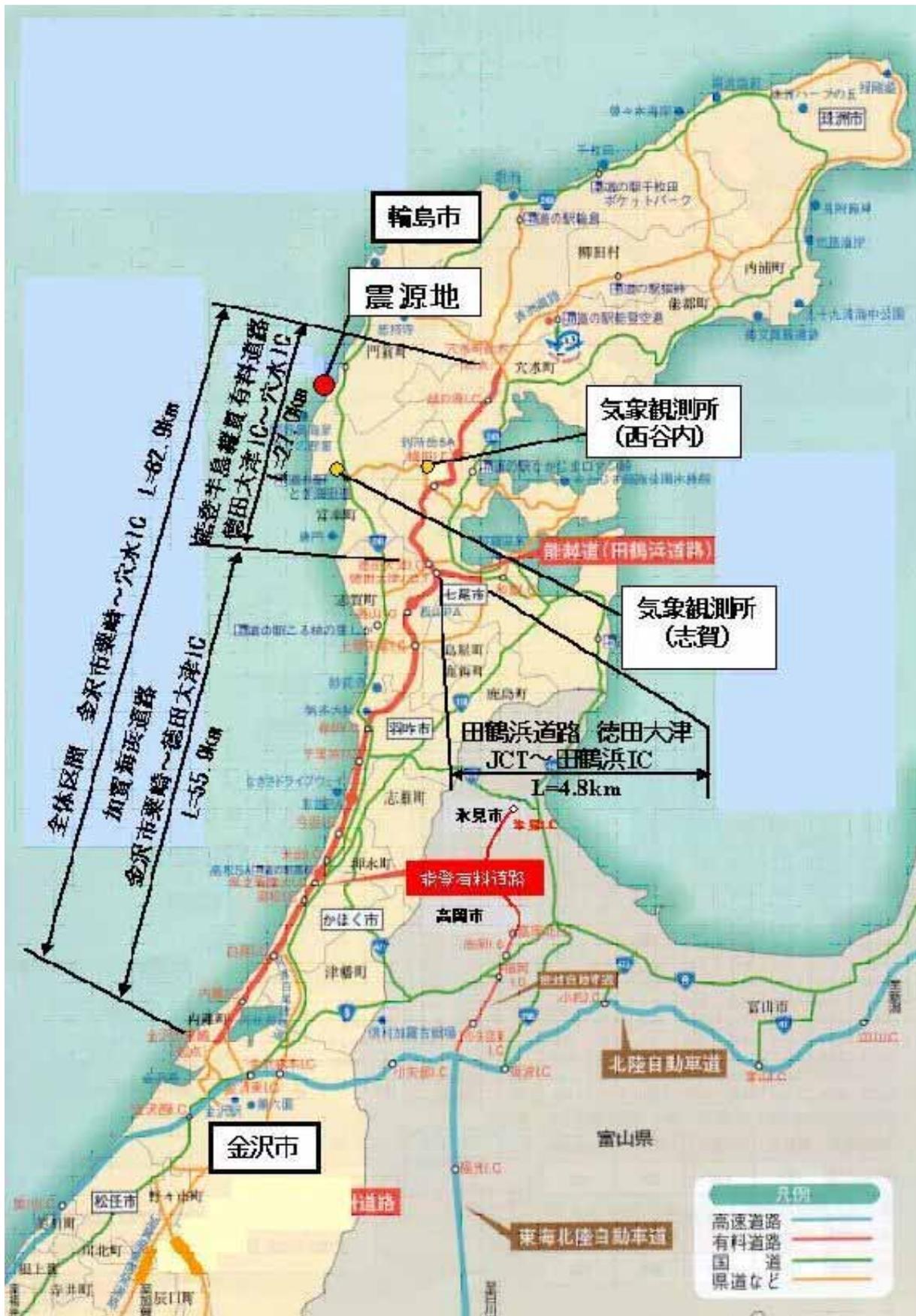


図 5.1.1-1 位置図

路線名	区間	NO.	被災箇所	kp	被災状況	仮復旧		本復旧	
						復旧時期	工法	復旧時期	工法
能登有料道路 (能登半島縦貫 有料道路)	徳田大津JCT ~ 終点	縦-6	七尾市中島町豊田	5.6	盛土崩落 (上り線)	4/20	迂回路設置	H19年内	補強土盛土工、排水工
		縦-9	七尾市中島町土川	6.3	盛土崩落 (下り線)	4/20	迂回路設置	H19年内	補強土盛土工、排水工
	横田IC →	縦-10	七尾市中島町横田	10.6	盛土崩落 (上りONランプ)	4/20	迂回路設置	4/27	補強土盛土工、排水工
		縦-14	七尾市中島町谷内	11.7	盛土崩落 (上下線)	-	-	4/27	補強土盛土工、排水工
	別所岳SA →	縦-21	七尾市中島町小牧	14.7	盛土崩落 (上下線)	4/27	迂回路設置	H19年内	補強土盛土工、排水工
		縦-26	七尾市中島町小牧	15.9	盛土崩落 (上下線)	4/27	迂回路設置	H19年内	補強土盛土工、排水工
		縦-32	七尾市中島町田岸	17.7	盛土崩落 (上下線)	4/27	迂回路設置	H19年内	補強土盛土工、排水工
		縦-38	穴水町越の原	21.1	盛土崩落 (上下線)	4/27	迂回路設置	H19年内	補強土盛土工、排水工
		縦-39	穴水町越の原	21.5	盛土崩落 (上り線)	4/27	迂回路設置	H19年内	改良土盛土工、排水工
	越の原IC →	縦-41	穴水町越の原	22.2	盛土崩落 (上り線)	4/27	迂回路設置	H19年内	改良土盛土工、排水工
		縦-43	穴水町宇留地	24.1 ~ 24.6	盛土崩落 (上下線) 橋台背面陥没 ウイング損傷等	4/27	橋台背面補強土盛土 ウイング補修	H19年度内	改良土盛土工、排水工、 橋梁の耐震補強

被災状況

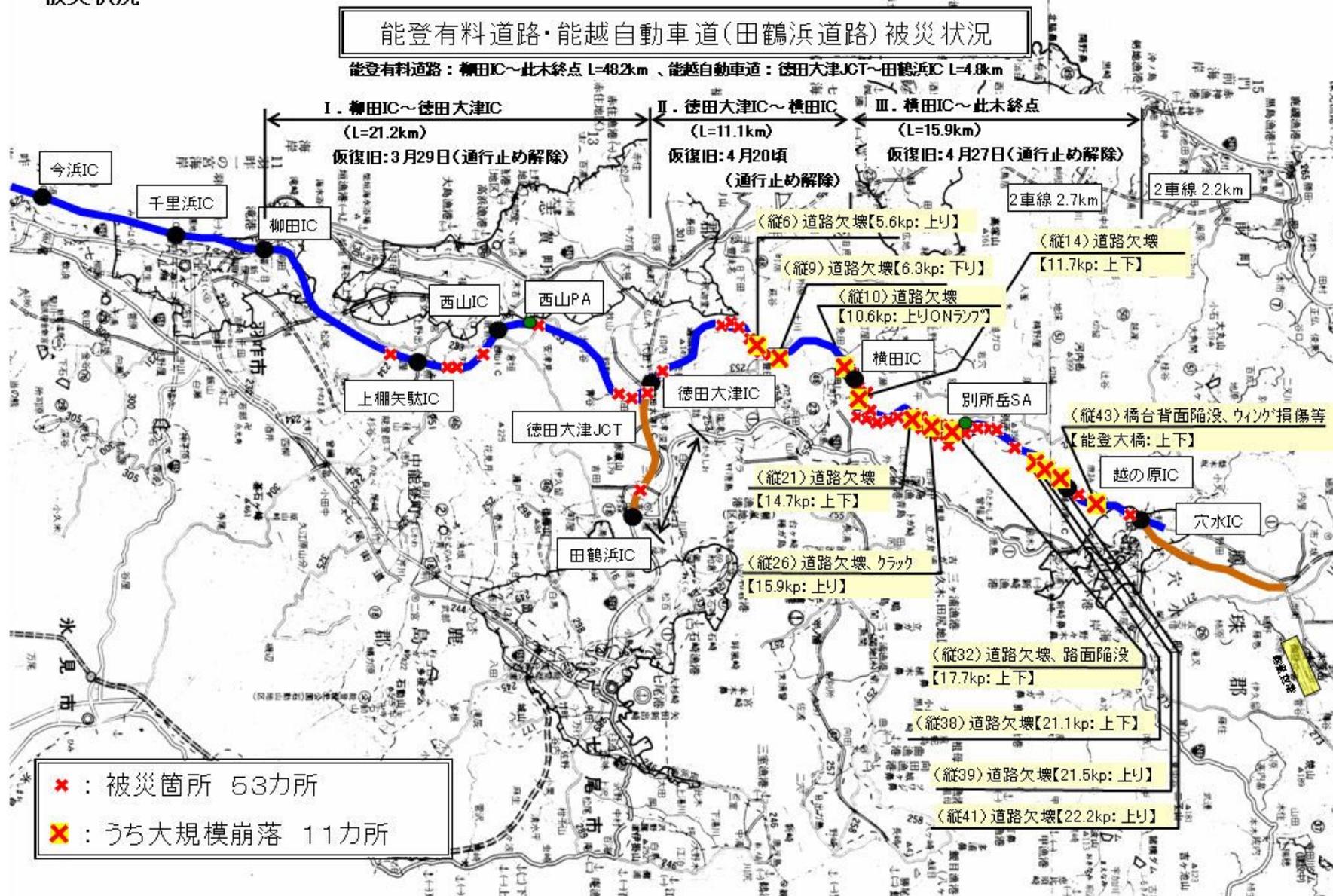


図 5.1.1-3 能登有料道路・能越自動車道(田鶴浜道路)被災状況

5.1.2 能登有料道路の特徴

能登有料道路の主な特徴について以下に述べる。

本道路は1970年(昭和45年)の工事着手から1982年(昭和57年)竣工まで、延長82.9kmに及び金沢から能登半島への基幹道路であり(約10000台/日)、石川県の第1次緊急輸送道路にも指定されている。

能登半島の外浦地区(半島西側)および内浦地区(半島東側)の両県民のアクセスを考慮して、半島部の中央を縦貫する。このため、能登半島の地形に応じ、羽咋市柳田IC以北ではほぼ標高45m~245mを通ることから、比較的高盛土の多い道路となり、最大盛土高は35mで、羽咋市柳田IC以北の盛土部は180箇所以上、20m高以上の盛土は40箇所がある。

道路の羽咋市柳田IC以北は、主に火山岩質(主に安山岩質)凝灰岩風化土地域(通称能登赤土)を通る。この地質、地盤の特徴は最近25年間の石川県における地盤災害を俯瞰すれば興味深い。

図5.1.2-1は、石川県での地盤災害多発地域を示す。それらは能登半島北側や能登宝達山系および金沢市東部に分布する第三紀堆積岩地域(図中の赤および緑の地域で地すべり、山腹崩壊、崖崩れ多発)、白山麓を中心とした第四紀の火山活動による噴出物や熱変質地域(県最南部山岳地帯で地すべり、山腹崩壊、土石流多発)、それに上述の能登半島中央部に分布する凝灰岩風化土地域(図中の黄色の地域で崖崩れ、土石流多発)などとなっており、いずれも、強度・変形特性に特徴的な地質、地盤がある。またそれ以上に特筆すべきは、これらいずれの地域とも、県内では有数の断層や褶曲の多い、強い地殻変動を受けた地形地域でもあり、より不安定要素が加わる。特に、本道路が通る凝灰岩風化土地域は、豪雨災害もたびたび受け、地盤のもろさや地形の不安定さが指摘されている。

本道路の特徴的な災害履歴は、1985年(昭和60年)能登豪雨災害にて、7箇所の高盛土が崩壊したことである。この年の6月下旬から7月上旬にかけて、3~4日おきに断続的な日降雨量70mmを超える降雨が5回程あり、約3週間の累積降雨量は本道路付近の七尾市で900mm以上、羽咋市で800mm以上を観測した。当時の調査によれば、強い降雨が崩壊原因になったが、崩壊盛土のほとんどがその近傍や向かい側の谷地形から地下水流入を受け、盛土本体に直接降った降雨とともに盛土内の地下水上昇を伴いながら、崩壊へ到った経緯がある。以後、この地下水流入に対する速やかな排水対策を強化した結果、今回の地震で再度崩壊した現場は、それら7箇所の内の1箇所に止まった。加えて、最近の地震に注目すれば、1993年(平成5年)2月から6月までの5回を数えるM5.0~M6.6の能登半島沖地震や1985年(昭和60年)12月能登半島M5.1地なども受けたが、損傷はなかった。

今回の能登半島地震に対して、本道路盛土の被害は軽微な損傷箇所まで含めると、さらに53箇所が加わる。

5.1.3 能登有料道路の崩壊の原因・メカニズム

本格的な崩壊原因やメカニズムの詳細検討は、後日土質調査結果を基にした論文等に期待して、ここでは、想定される要因について述べることにする。

昭和45年着工時に想定した外力をはるかに超えた今回の地震慣性力(路線付近での

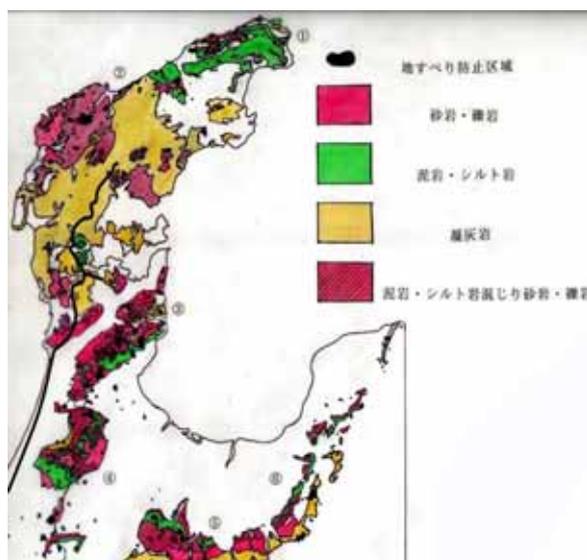


図5.1.2-1 地盤災害の多い地域

最大加速度が 900 ガル以上)によって、路体は大きく揺さぶられ、ほとんどが地震動の進行方向とほぼ同じ方向へ崩落した。

本道路は比較的高盛土箇所が多く、しかも、場所によっては沢や地山からの流入で盛土内の地下水が滞留し、急激な地震力による地下水圧の高まりから崩壊したとも考えられる。崩土は下方へ落下し、その落下距離がかなり長く、流動化を生じた状況も見受けられる。

盛土材料や地山の表層付近には、図 5.1.2-1 で示した凝灰岩風化土をもつ。この土質の特徴は、細粒分が多く、特に排水性に欠ける。また、乱れによる強度低下は大きく、転圧やトラフカピリティーの確保に困難も生じる。吸水膨張も顕著で、スレーキングによる強度低下も大きい。

5.1.4 復旧対策

能登半島地震による公共土木施設だけで被害は 963 件 340 億円に上る。特に、能登有料道路だけでも 90 億円を上回る被害額になり、供用以来最大である。本復旧案の基準案に採用された基本的な方針は以下のとおりである

ジオテキスタイル工法(補強材および排水材の併用)の採用で、盛土は耐震仕様とする。原因盛土材は購入土(のり先付近)と凝灰岩風化土の現地発生土(のり面上部)との併用とするが、現地発生土については、石灰添加の地盤改良仕様とする。

盛土の横断方向、特に沢や地山からの流入水、加えて、縦断方向(近隣の腹付け盛土など)から流れ込む地下水に対しても、排水路や排水材を設け、速やかに盛土外へ排水する。

5.1.5 今後の教訓

今後の教訓としては、以下のものが挙げられる。

(1) 技術面における今後の教訓

緊急輸送道路は耐震仕様もしくは耐震設計とすべきである。

現在の道路盛土が当初設計時の予想どおりに安全性が確保されているか、防災点検作業を含め、本格的な調査を実施して検討すべきである。

道路管理面から十分を尽くしたとしても、決して完璧はないとの前提に立ち、緊急輸送道路どの基幹道路にはバイパス機能をぜひ付加すべきである。

(2) 行政面における今後の教訓

主に、県や市の管理被災箇所の復旧事業は国からの補助事業となる。どうしても、災害査定などで国との手続きから十分な災害対応が遅れることもある。一刻を戦い、初動体制が重要となる災害対策には、この遅れは致命的ともなりうる。特別な行政措置で対応がスムーズに進むことが重要。

地元住民や被災者にとって、その道路や被災箇所が国の管理か県や市の自治体管理かは全く関係ない。速やかに補修して、道路であれば緊急車両や工事車両が通過できてこそ、被災住民の生命、財産は救われる。より一層の管理者間の密接な連携や、速やかな権限代行など、もっと管理者間のハードルを下げるべきである。

建設コンサルタント協会や地質調査業協会との官民一体による災害対応は基本的には有効に機能する。今後は、これまで以上に、各々の組織の中で強烈なリーダーシップの確保とそれに全面協力する組織内の基本姿勢の堅持が不可欠となる。

道路に限れば、SA や道の駅など道路駐車帯のスペースは、有効な機能を発揮する。例えば、緊急車両の一次停泊、工事車両や資材および工事関係者の駐留や仮置きなどへ利用でき、加えて、仮復旧時の緊急的な道路切り廻し空間にも役立つ。今後の道路建設や道路改良にはこれらのスペース確保はぜひ付加されるべきである。

5.2 能登半島縦貫有料道路 NO.6 被害状況及び復旧対策

5.2.1 能登半島縦貫有料道路 縦 - 6 被害状況

(1) 被害状況

高さ約 30m の高盛土区間で延長約 60m にわたり上り車線が内浦側（または、南南東側）に崩壊し、崩落土砂は約 170m 先まで流れ出し耕作地に到達した。

(2) 復旧方針

盛土の靱性を向上させるため、4 段盛土の内下 2 段にジオテキスタイルを用いた補強盛土工とした。また、盛土内の排水性を向上させるため、暗渠排水工を施工する。



図 5.2.1-1 NO.縦 - 6 位置図

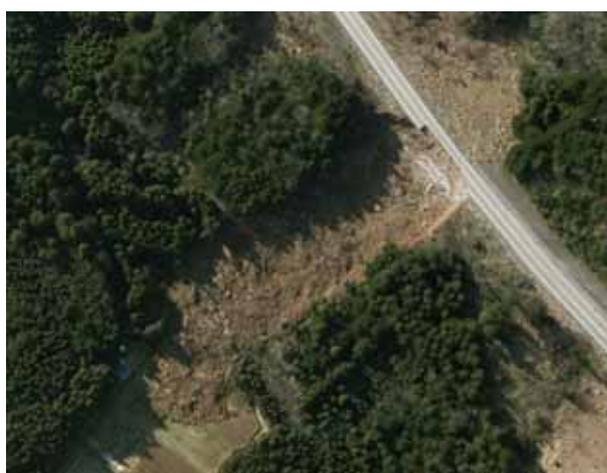


写真 5.2.1-1 NO.縦 - 6 被災後写真



写真 5.2.1-2 NO.縦 - 6 応急復旧後写真

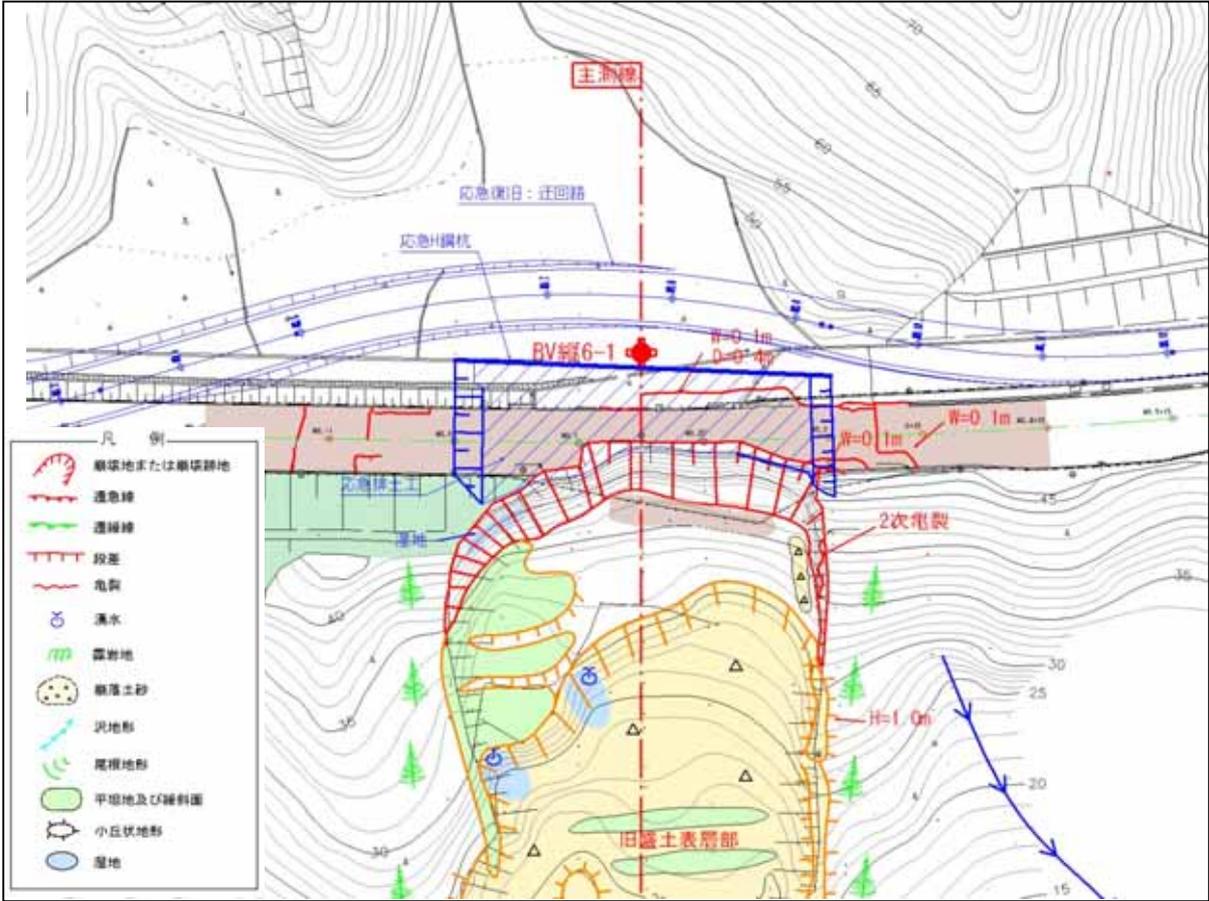


图 5.2.1-2 NO.縦 - 6 平面図

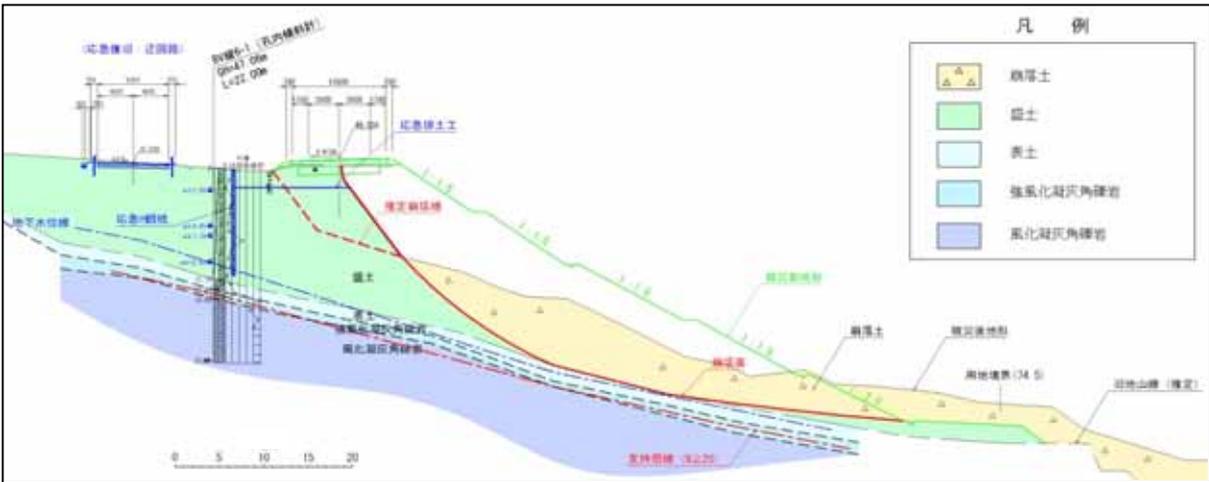


图 5.2.1-3 NO.縦 - 6 主断面図



写真 5.2.1-3 NO. 縦 - 6 コア写真

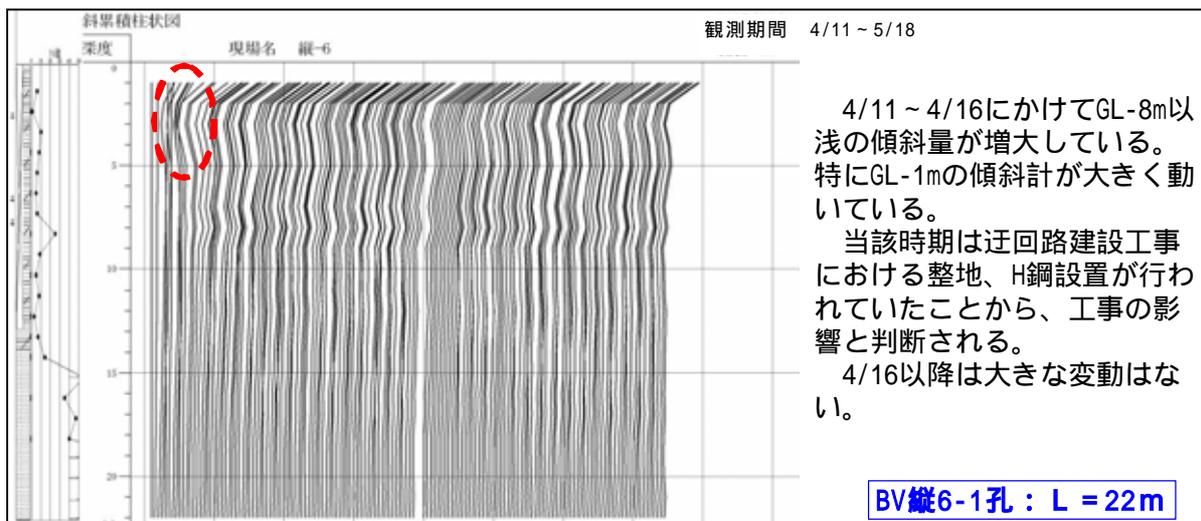


図 5.2.1-4 NO. 縦 - 6 孔内傾斜計観測グラフ

ボーリング柱状図

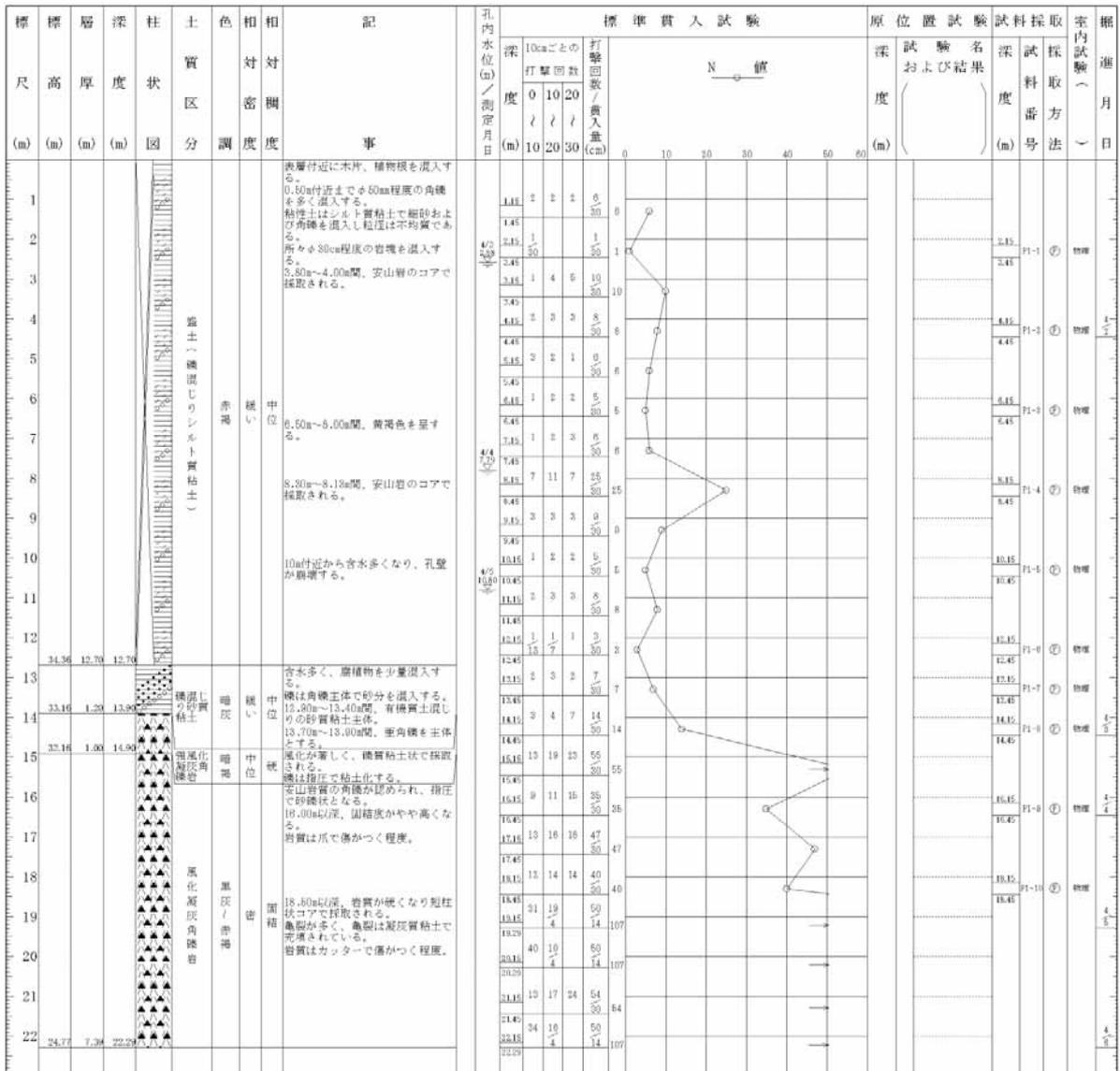
調 査 名 能登半島縦貫有料道路災害復旧工事地質調査業務委託その2

ボーリングNo. 5 5 3 6 5 6 2 5 0 0 0

事業・工事名

シートNo.

ボーリング名	BV縦-6-1	調査位置	七尾市中島町豊田その5(豊川橋金沢側5.6KP)	北緯	37° 6' . 0"
発注機関	石川県道路公社			調査期間	平成 19年 4月 2日 ~ 19年 4月 6日
調査業者名	株式会社 カナイ 電話(076-274-4902)	主任技師	音 勇一	現代代理人	音 勇一
孔口標高	H=47.06m	角	180° 上 90° 下	方位	北 0° 東 90° 南 180° 西
総掘進長	22.29m	地盤勾配	約 水平 0°	使用機種	YBM-05
				エンジン	NFD-9
				ハンマー 落下用具	半自動落下
				ポンプ	GP-5



BV縦6-1孔 : L = 22m

図 5.2.1-5 NO.縦 - 6 ボーリング柱状図

5.2.2 NO. 縦 - 6 復旧対策

(1)

崩壊土砂を撤去し、盛土下部に良質材による補強土盛土工を実施。上部は現地発生土を改良し盛土を行う。

盛土補強材は、ジオテキスタイルを使用する。

掘削面に浸透水を排出する排水層を帯状に施工（流末は本暗渠）

盛土内部には、浸透水を排出する排水材を敷設する。補強土部 $W=2.4H=1.2$ 、路体盛土 $W=3.0H=3.0$ 共に千鳥配置

地下水排出のため暗渠工を旧沢地形に縦断的に敷設。

山側の暗渠工は、本線供用後開削で施工し排水ボーリングで埋設済みの炭素鋼管と接続

(2) 本復旧までの監視計画

追従崩壊から迂回路部及び本工事の安全性を確保する目的から、多段式孔内傾斜計観測（自動）による監視を実施した(BV 縦-6-1)。

【管理基準】

1日当り 5mm（観測角度 0.29° ）で管理レベル1（観測強化体制）

- ・ 24時間データ監視体制、変動量の増加、累積的変動の監視

1日当り 10mm（観測角度 0.58° ）または道路等に変状発生で管理レベル2（警戒体制）

- ・ 道路安全対策協議会の設置、施工中の場合は工事一時中止、道路通行に関する措置の決定、対策工の選定

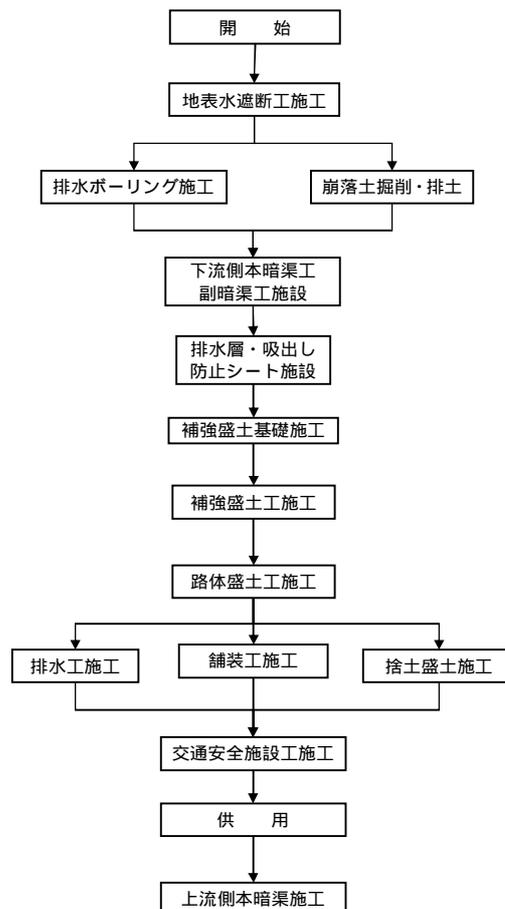


図 5.2.2-1 NO. 縦 - 6 復旧フロー

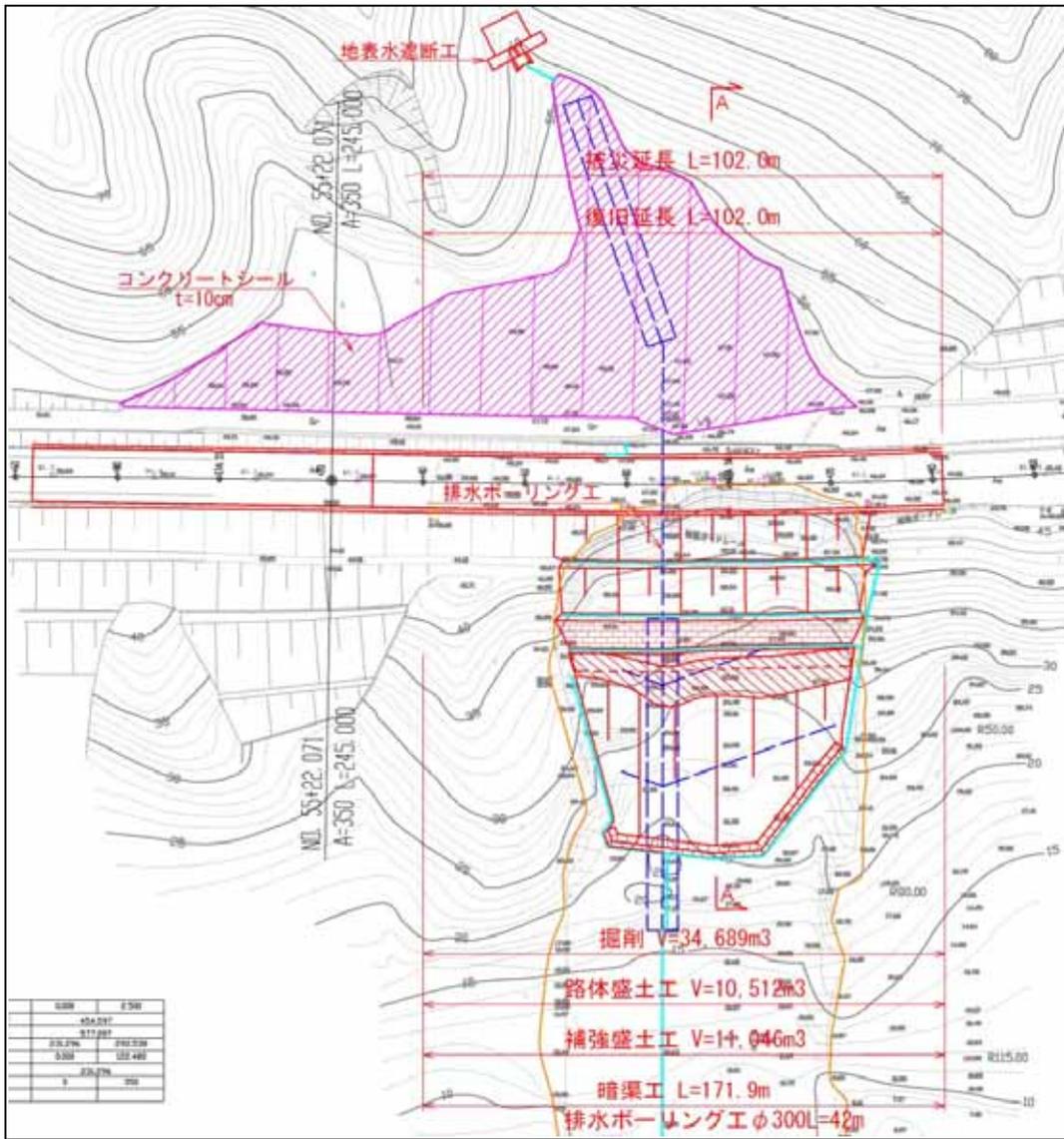


図 5.2.2-2 NO.縦 - 6 平面図

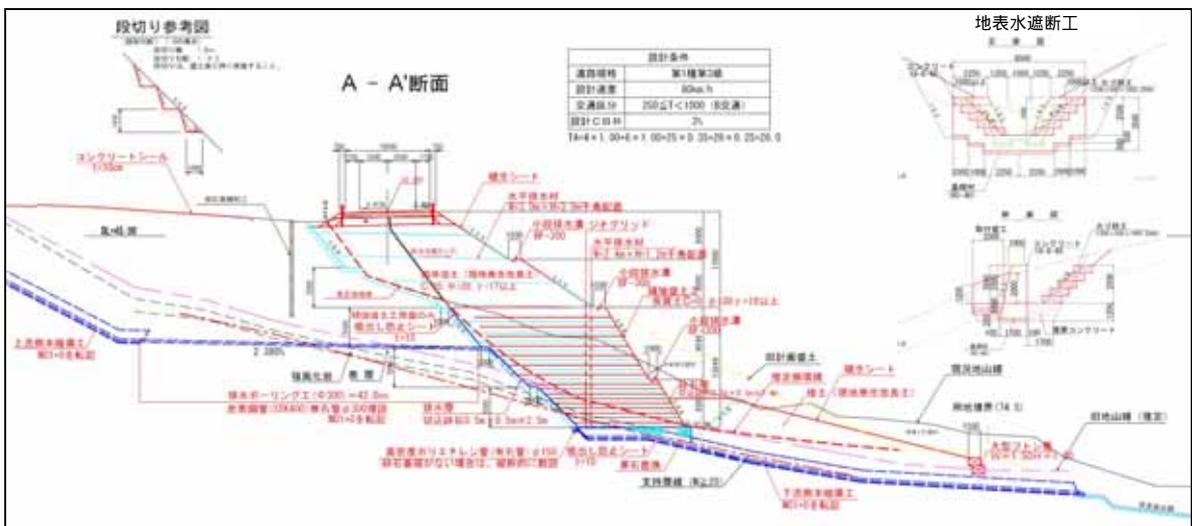


図 5.2.2-3 NO.縦 - 6 標準断面図

5.3 能登半島縦貫有料道路 NO.9 被害状況及び復旧対策

5.3.1 能登半島縦貫有料道路 縦 - 9 被害状況

(1) 被害状況

高さ約 30m の高盛土区間で延長約 140m にわたり下り車線が外浦側（または、西側）に 3 つのブロックを呈して崩壊し、崩落土砂は下部斜面に押し出された。

(2) 復旧方針

盛土の靱性を向上させるため、4 段盛土の内下 2 段にジオテキスタイルを用いた補強盛土工とした。また、盛土内の排水性を向上させるため、暗渠排水工を施工する。



図 5.3.1-1 NO.縦 - 9 位置図



写真 5.3.1-1 NO.縦 - 9 被災後写真



写真 5.3.1-2 NO.縦 - 9 応急復旧後写真



图 5.3.1-2 NO.縦 - 9 平面图

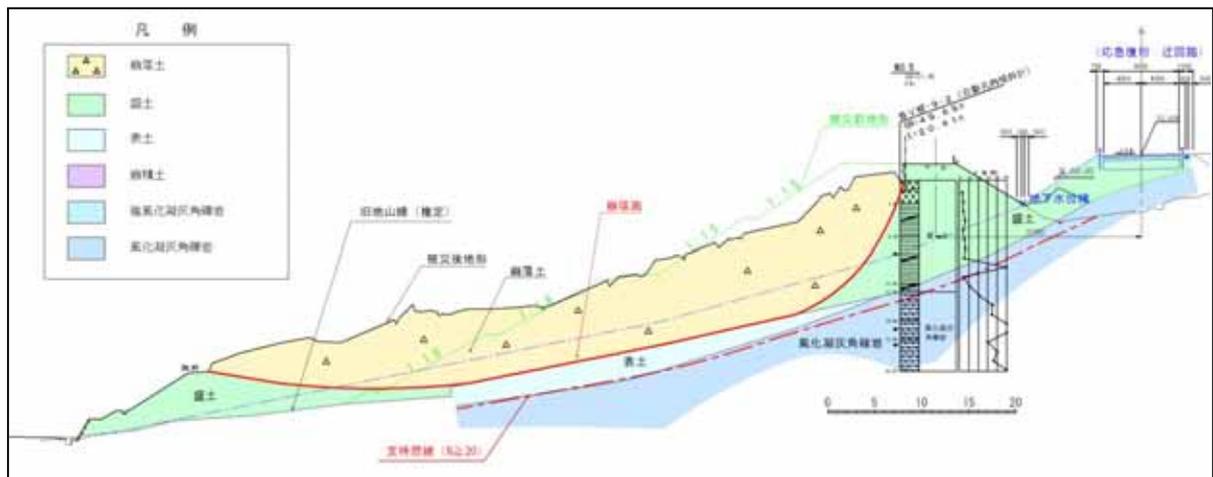
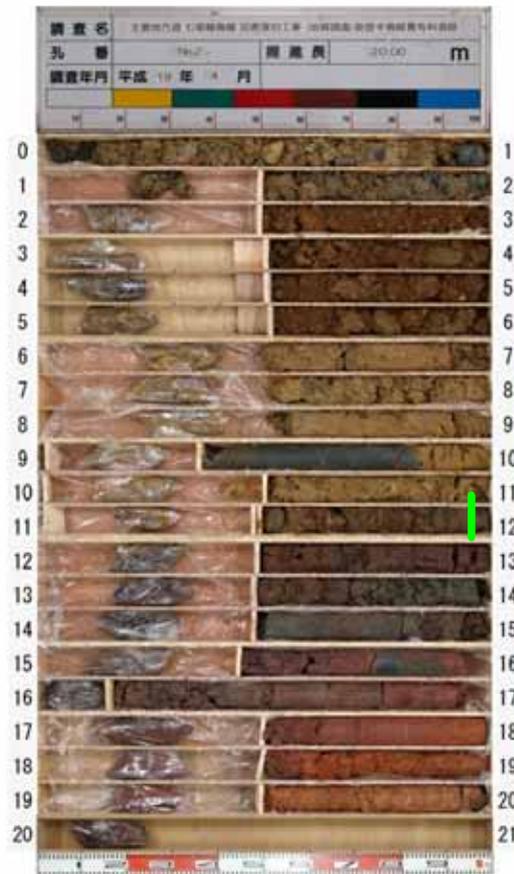


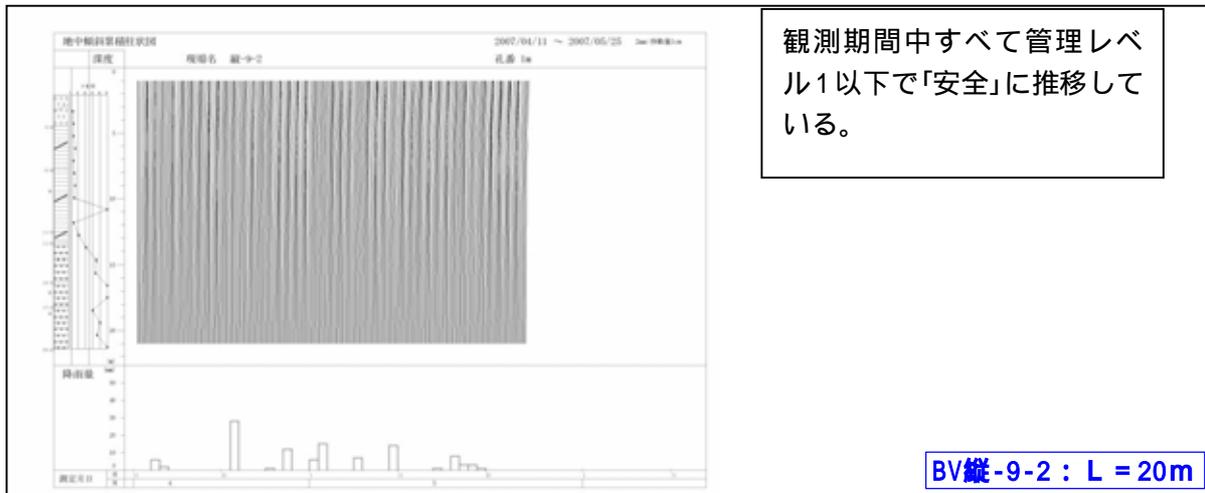
图 5.3.1-3 NO.縦 - 9 主断面图



盛土下面

BV縦-9-2(L=20m)

写真 5.3.1-3 NO.縦 - 9 コア写真



観測期間中すべて管理レベル1以下で「安全」に推移している。

BV縦-9-2 : L = 20m

図 5.3.1-4 NO.縦 - 9 孔内傾斜計観測グラフ

ボーリング柱状図

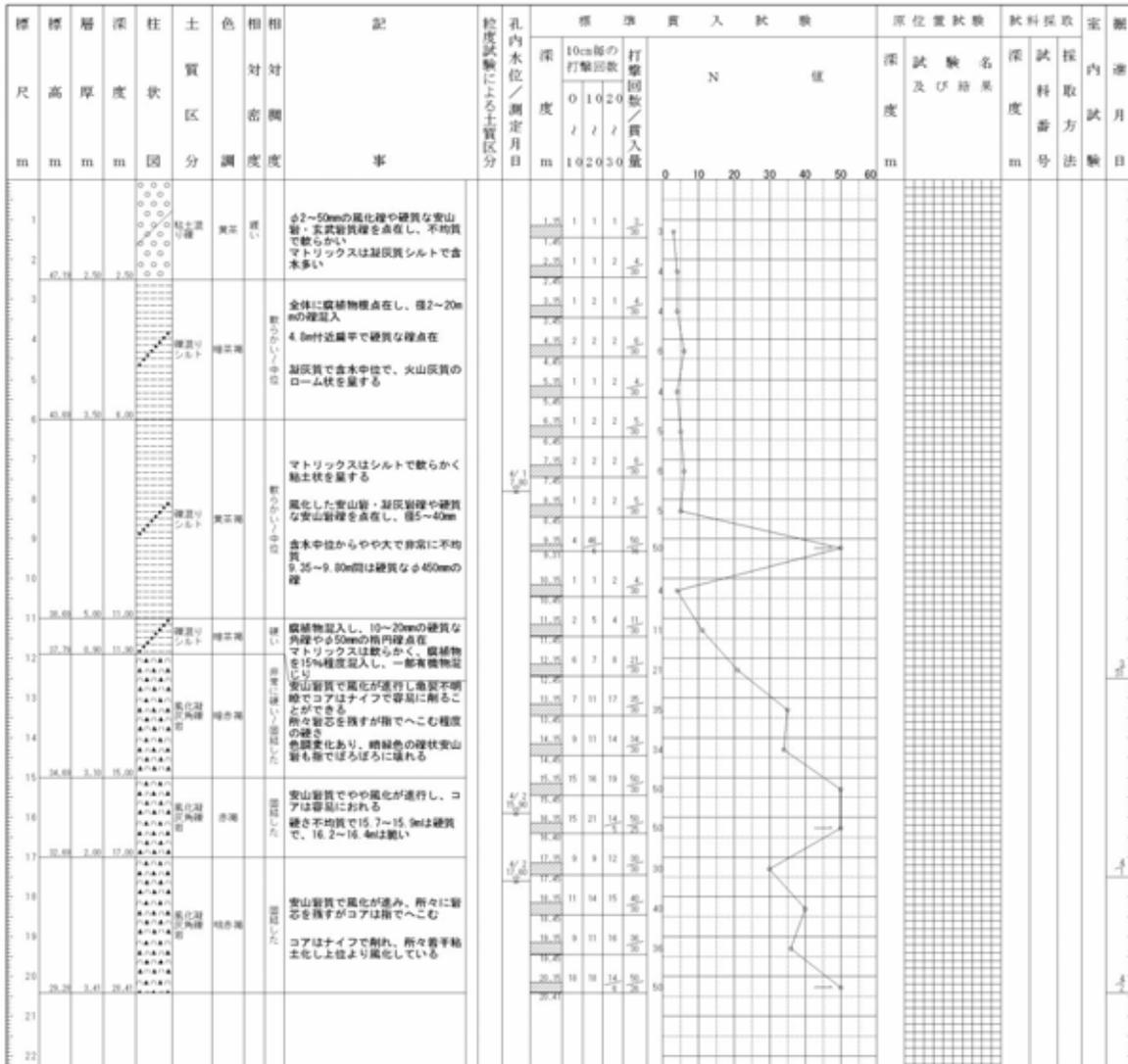
調査名 鹿児島県教育庁道路災害復旧工事地質調査業務委託その4

ボーリングNo. 55365625002

事業・工事名

シートNo.

ボーリング名	BV縦-9-2	調査位置	七尾市中島町土地内	北緯	37° 06' 17.4200"
発注機関	石川鉄道公社	調査期間	平成19年 3月30日～平成19年 4月 5日	東経	136° 49' 15.4300"
調査業者名	特約 エオネックス 電話 076-238-1181	主任技師	山田 信一	視代理人	栗 真人
孔口標高	49.69m	方角	北 0° 00' 東 90° 西 90° 南 180°	コ定者	栗 真人
総掘進長	20.41m	地盤勾配	北 0° 00' 東 90° 西 90° 南 180°	ボーリング機	観 俊祐
		使用機種	試錘機 YEM-01 エンジン NPAD9	ハンマー 落下用具	半自動型
				ポンプ	G ² -5



BV縦-9-2孔 : L = 20m

図 5.3.1-5 NO.縦 - 9 ボーリング柱状図

5.3.2 NO. 縦 - 9 復旧対策

(1)

崩壊土砂を撤去し、盛土下部に良質材による補強土盛土工を実施。上部は現地発生土を改良し盛土を行う。

盛土補強材としては、ジオテキスタイルを使用する。

掘削面に浸透水を排出する排水層を帯状に施工（流末は本暗渠）

盛土内部には、浸透水を排出する排水材を敷設する。補強盛土部 $W=2.4H=1.2$ 、路体盛土 $W=3.0H=3.0$ 共に千鳥配置

地下水排除のため暗渠工を旧沢地形（3箇所）に縦断的に敷設。

(2) 本復旧までの監視計画

追従崩壊から迂回路部の安全を確保する目的から、BV 縦-9-2 孔において多段式孔内傾斜計観測（自動）による監視を実施する。また、BV 縦-9-5 孔で水位観測を実施中。

【管理基準】

1 日当り 5mm（観測角度 0.29° ）で管理レベル 1（観測強化体制）

- ・ 24 時間データ監視体制、変動量の増加、累積の変動の監視

1 日当り 10mm（観測角度 0.58° ）または道路等に变状発生で管理レベル 2（警戒体制）

- ・ 道路安全対策協議会の設置、施工中の場合は工事一時中止、道路通行に関する措置の決定、対策工の選定

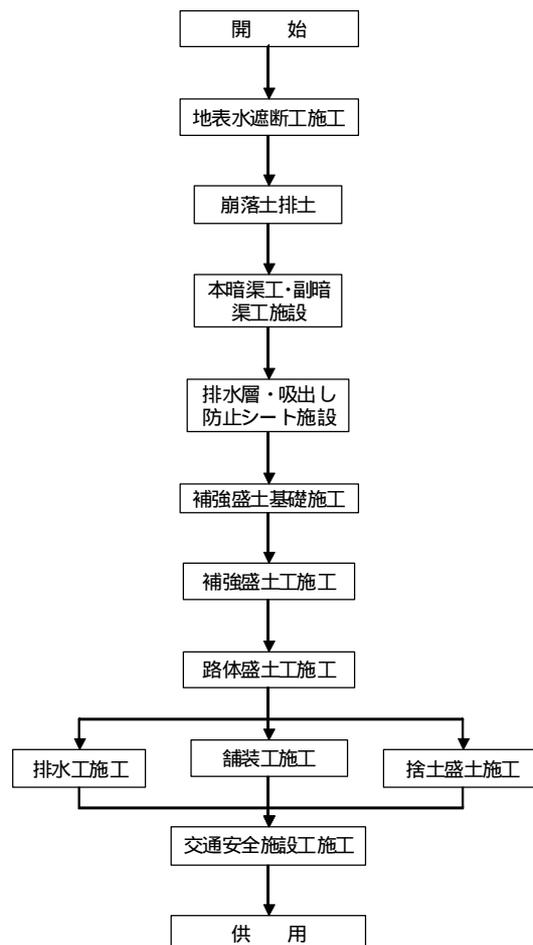


図 5.3.2-1 NO. 縦 - 9 復旧フロー

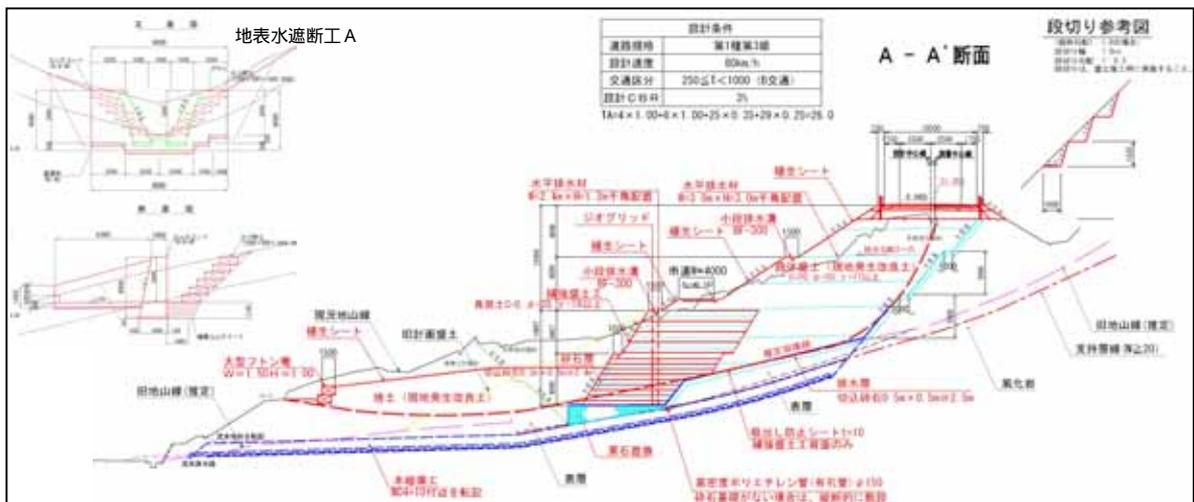
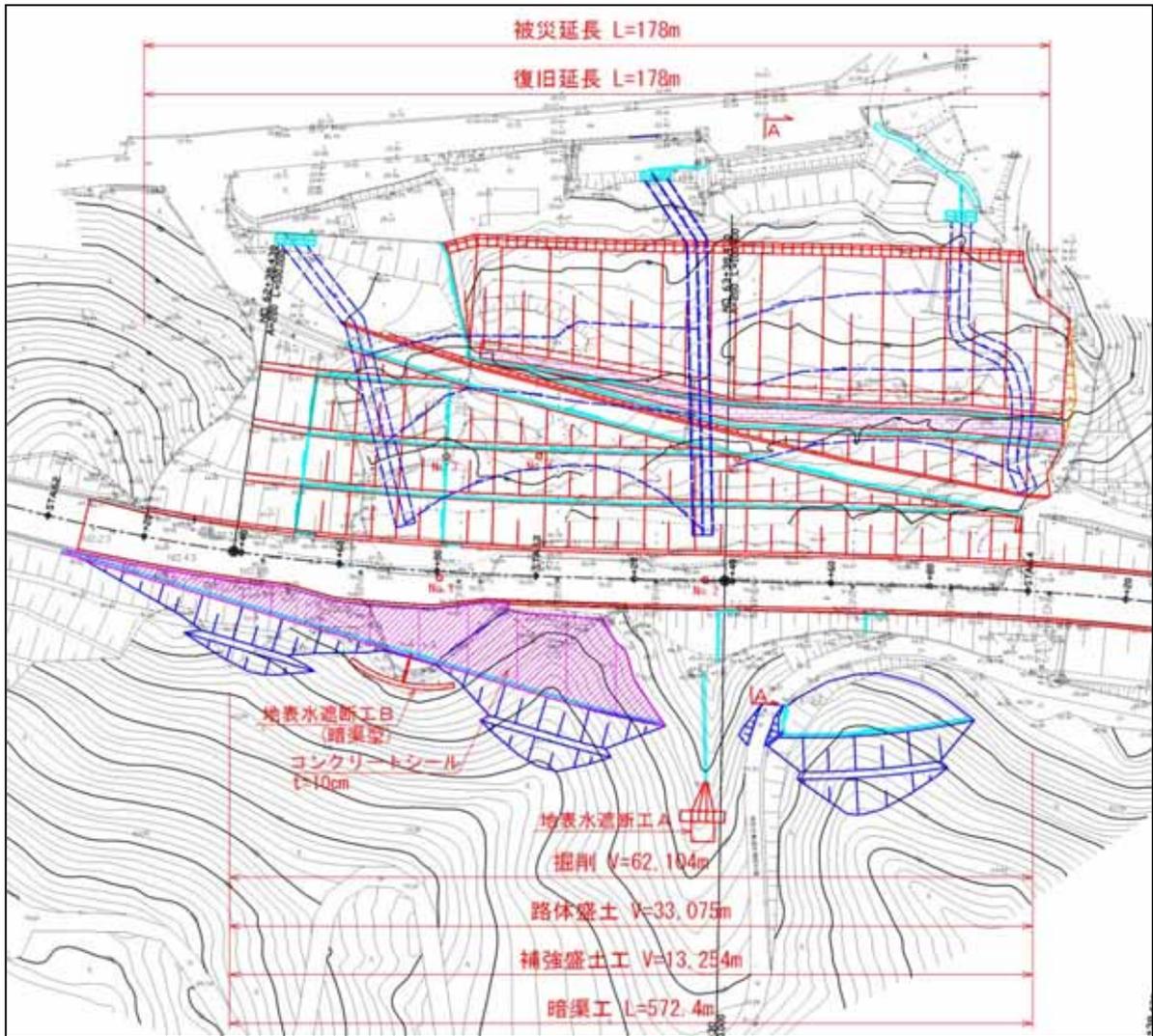


図 5.3.2-3 NO.縦 - 9 標準断面図

5.4 能登半島縦貫有料道路 NO.10 被害状況及び復旧対策

5.4.1 能登半島縦貫有料道路 縦 - 10 被害状況

(1) 被害状況

高さ約 18m の高盛土区間で延長約 80m にわたり上り ON ランプが内浦側（または、南南東側）に崩壊し、一部の崩落土砂は約 70m 先まで流れ出した。

(2) 復旧方針

盛土の靱性を向上させるため、ジオテキスタイルを用いた補強盛土工とした。また、盛土内の排水性を向上させるため、暗渠排水工を施工する。



図 5.4.1-1 NO.縦 - 10 位置図



写真 5.4.1-1 NO.縦 - 10 被災後写真

写真 5.4.1-2 NO.縦 - 10 応急復旧後写真

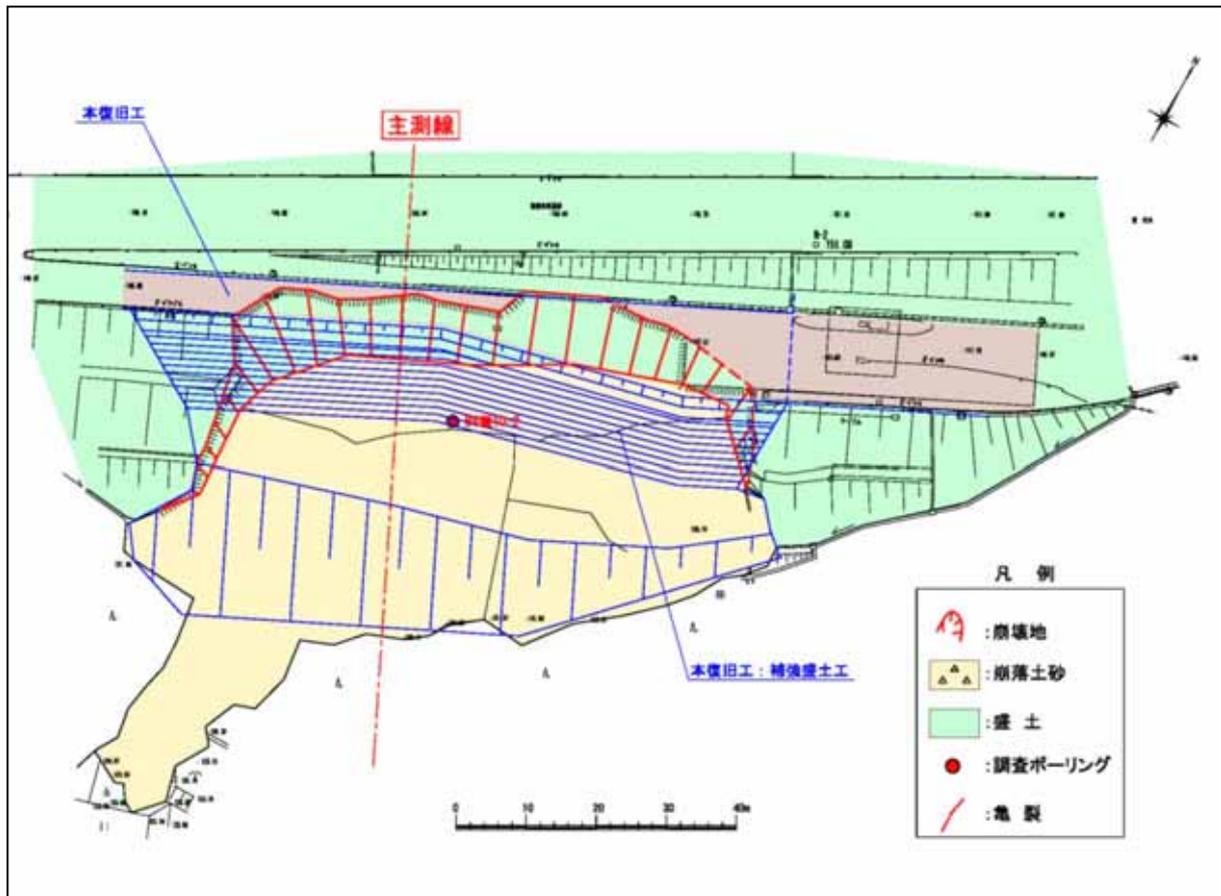


図 5.4.1-2 NO. 縦 - 10 平面図

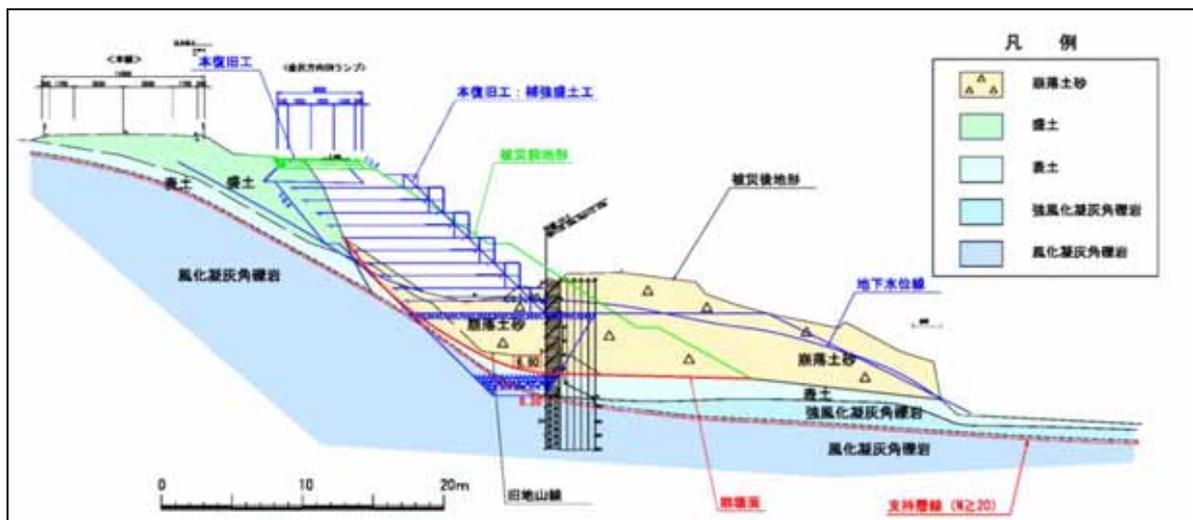


図 5.4.1-3 NO. 縦 - 10 主断面図



写真 5.4.1-3 NO.縦 - 10 コア写真

ボーリング柱状図

調査名 能登半島縦貫有料道路 災害復旧工事地質調査業務委託その5

ボーリングNo. 5 3 6 5 6 9 6 0 0 2

事業・工事名

シートNo. 2

ボーリング名	BV縦-10-2	調査位置	七尾市中島町土川～谷内地内	北緯	37° 09' 56.9000"
発注機関	石川県道路公社	調査期間	平成19年 3月26日～平成19年 6月29日	東経	136° 50' 06.8200"
調査業者名	中部地下開発株式会社 電話 076-237-5000	主任技師	関谷 敏智	現代理人	関谷 敏智
孔口標高	139.59m	方角	北 0° 東 90° 南 180° 西 270°	コ定者	関谷 敏智
総掘進長	12.00m	地盤勾配	20° 水平 0° 鉛直 90°	試験機	YBM-05
				エンジン	NFA08
				ハンマー落下用具	自動落下
				ポンプ	MS310

標高 m	層厚 m	深状 m	柱状 m	土質 区分	色相 対対 密度 調度	相対 密度 調度	記 事	孔内水位 / 測定月日	標準貫入試験					原位置試験 深 度 m	試験名 及び結果	試料採取 番号	室内 試験 月日	
									深 度 m	10cm毎の 打撃回数 N	打撃回数 / 貫入量	N 値						
1				粘土(硬 泥り粘土)	褐色	軟らかい	・径5cm以下の角礫を10%程含む粘 性土 ・礫は凝灰岩、安山岩を主体とする ・深度0～0.6m、6.6～7.8mは植 物片を含む	4/2 13.26	1.00	0	0	0	0	0				
2								1.40	0	0	0	0	0					
3								1.70	0	0	0	0	0					
4				黄土				2.30	1	1	2	4	4					
5								3.30	1	1	1	3	30					
6								4.40	1	1	1	3	30					
7	132.98	1.88	1.88	硬泥り 粘土	褐色	中位	・径5cm以下の角礫を10%程含む 粘性土 ・全般に植物片を含む	4.40	2	2	3	7	7					
8	131.26	1.86	3.74	凝灰岩 山角礫 質	褐色	固結した	・径2～40cmの角礫及び安山岩質 な凝灰岩の基質からなる ・凝灰岩を多量に含む ・礫は安山岩、凝灰岩を主体とし 硬い硬質である ・深度8.2～8.6m、9.2m付近、9.5 ～9.7mは差込を含み、水平方向 の凍結がみられる ・深度9.2～9.6mはハンマー打撃で つぶれる ・深度9.6m以上はハンマー打撃で 割れる	4.40	8	17	21	45	45					
9	130.99	0.46	4.20					5.50	10	10	10	50	50					
10								6.60	10	10	10	50	50					
11								7.70	10	10	10	50	50					
12	127.98	3.48	7.18					8.80	14	14	14	70	70					
13								9.90	14	14	14	70	70					
14								11.00	14	14	14	70	70					
15								12.10	14	14	14	70	70					
16								13.20	14	14	14	70	70					
17								14.30	14	14	14	70	70					

BV縦-10-2孔 : L = 12m

図 5.4.1-4 NO.縦 - 10 ボーリング柱状図

5.4.2 NO. 縦 - 10 復旧対策

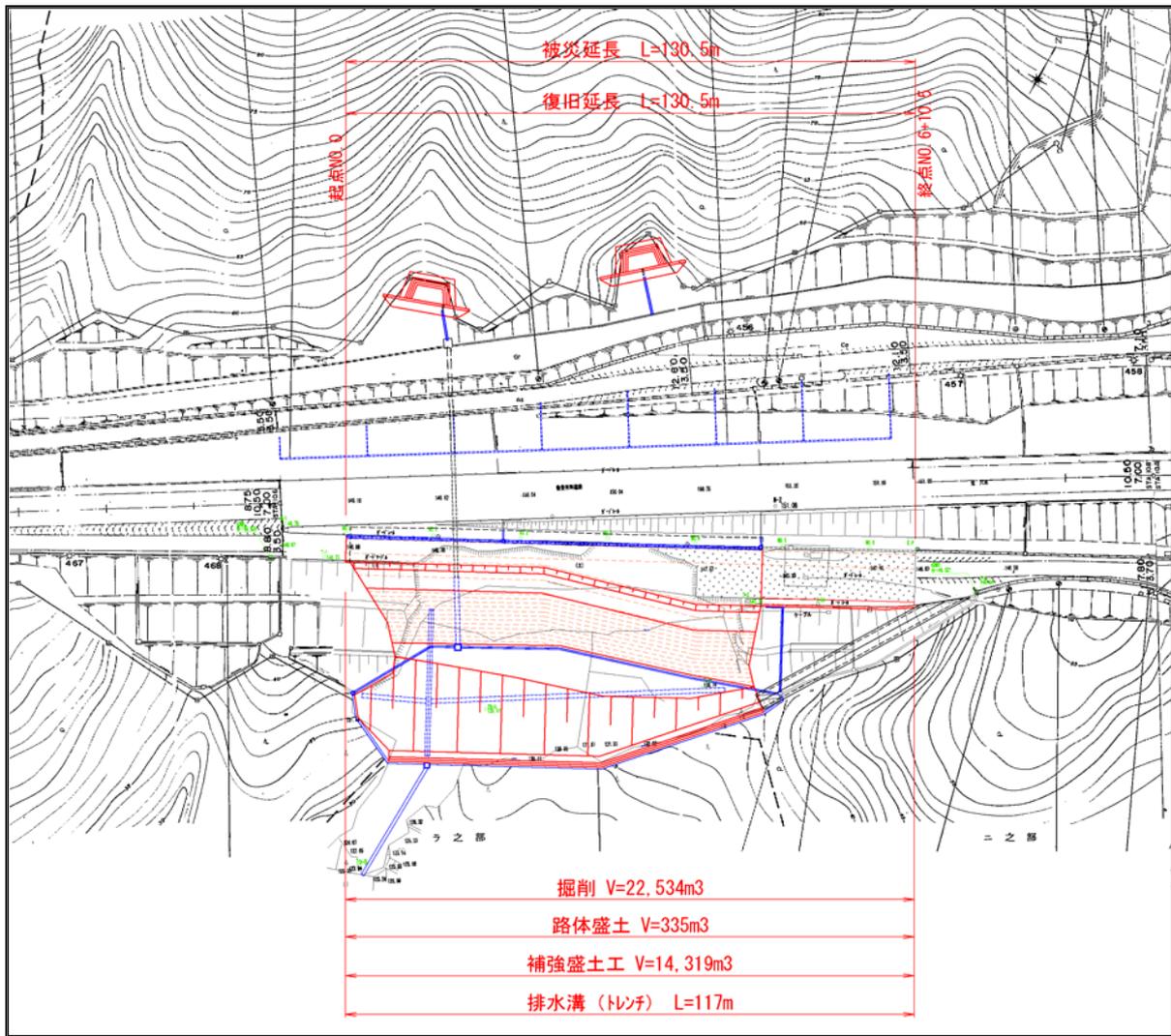


図 5.4.2-1 NO. 縦 - 10 平面図

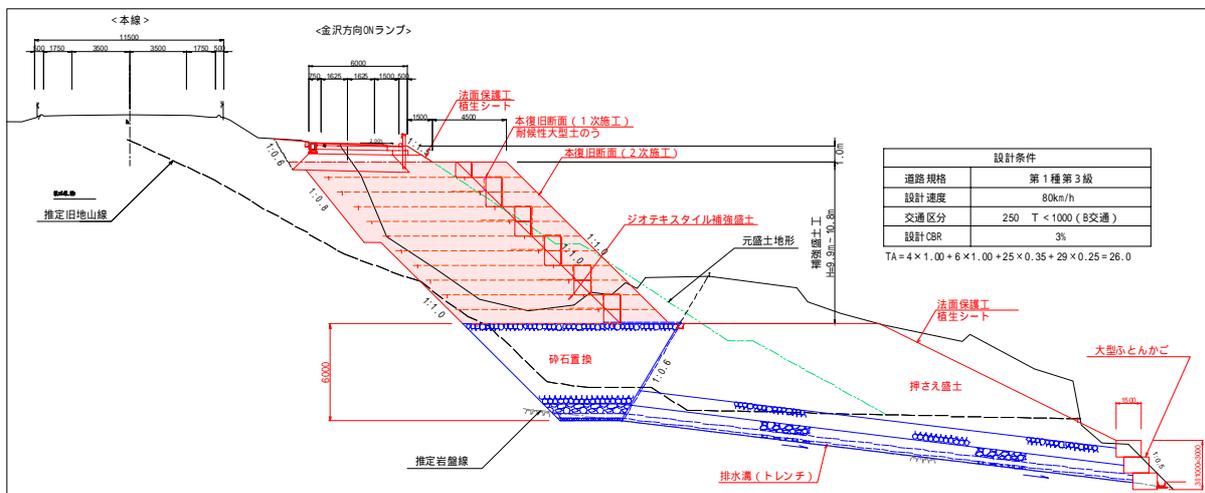


図 5.4.2-2 NO. 縦 - 10 標準断面図

5.5 能登半島縦貫有料道路 NO.14 被害状況及び復旧対策

5.5.1 能登半島縦貫有料道路 縦 - 14 被害状況

(1) 被害状況

高さ約 18m の高盛土区間で延長約 35m にわたり上下車線が内浦側（または、南南西側）に崩壊し、崩落土砂は約 70m 先まで流れ出した。

(2) 復旧方針

盛土の靱性を向上させるため、2 段にジオテキスタイルを用いた補強盛土工とした。また、盛土内の排水性を向上させるため、暗渠排水工を施工する。



図 5.5.1-1 NO.縦 - 14 位置図



写真 5.5.1-1 NO.縦 - 14 被災後写真

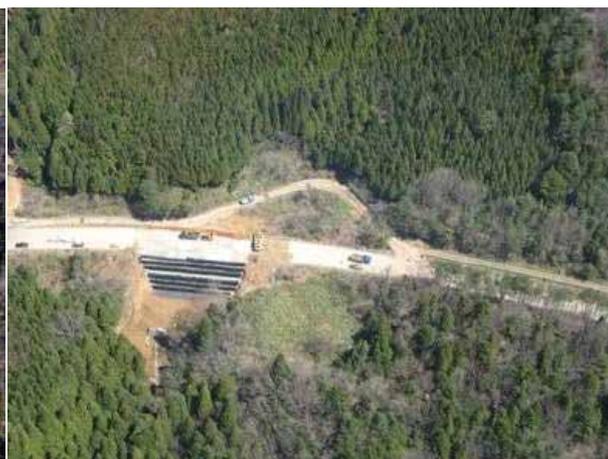


写真 5.5.1-2 NO.縦 - 14 応急復旧後写真

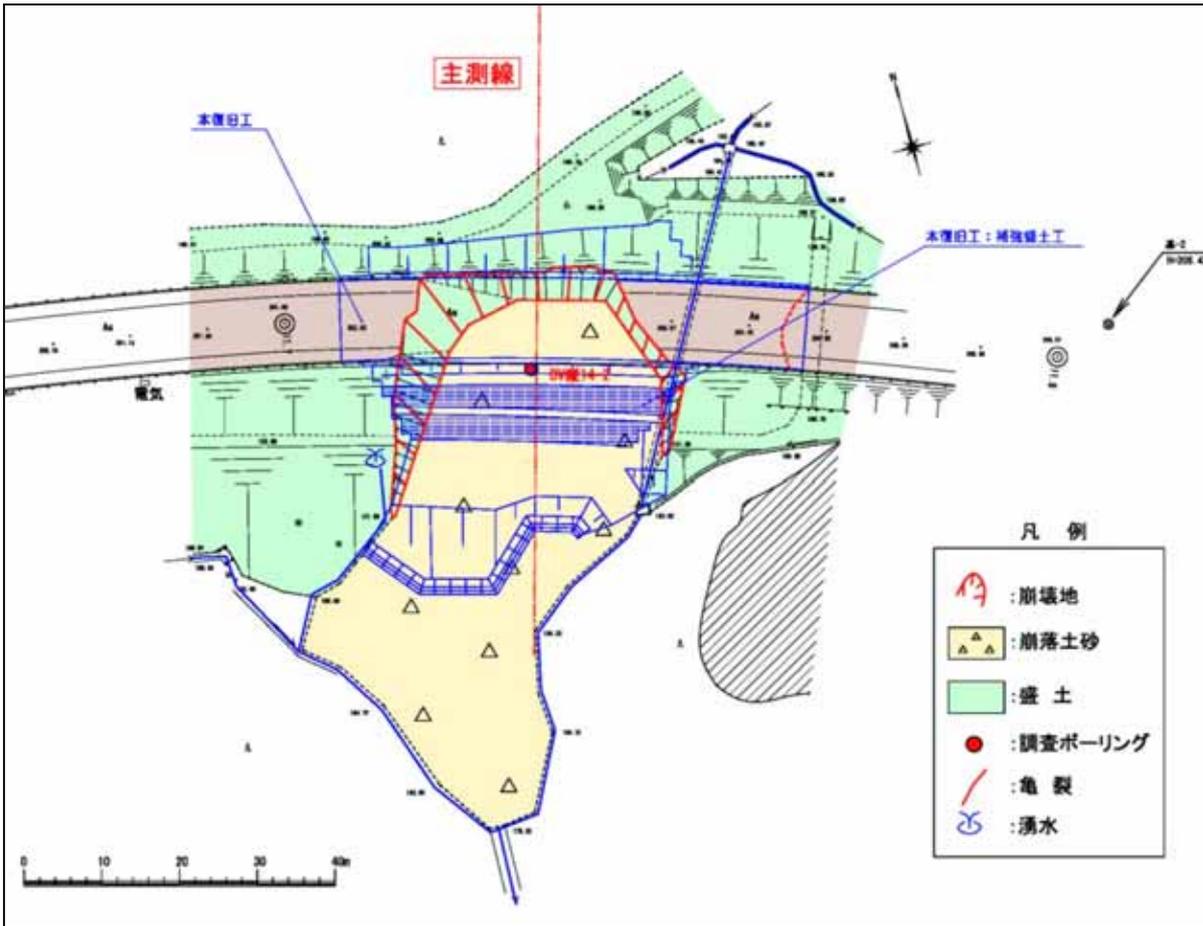


図 5.5.1-2 NO.縦 - 14 平面図

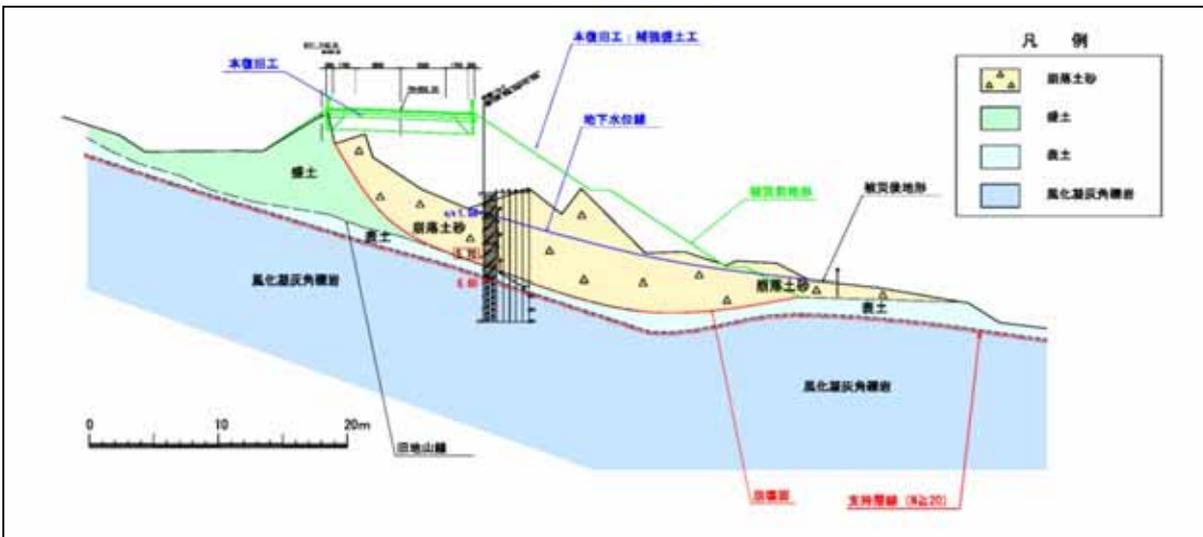


図 5.5.1-3 NO.縦 - 14 主断面図

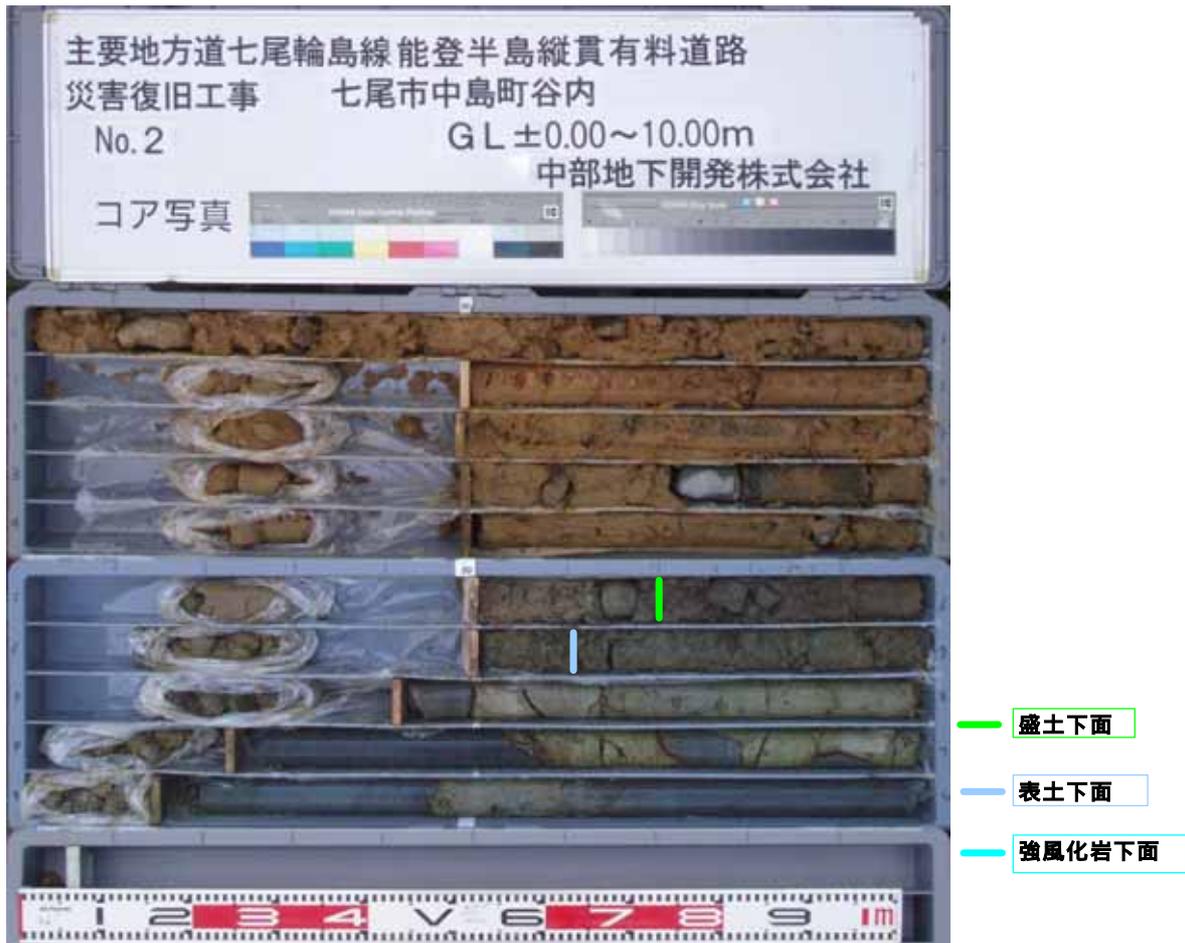


写真 5.5.1-3 NO.縦 - 14 コア写真

ボーリング柱状図

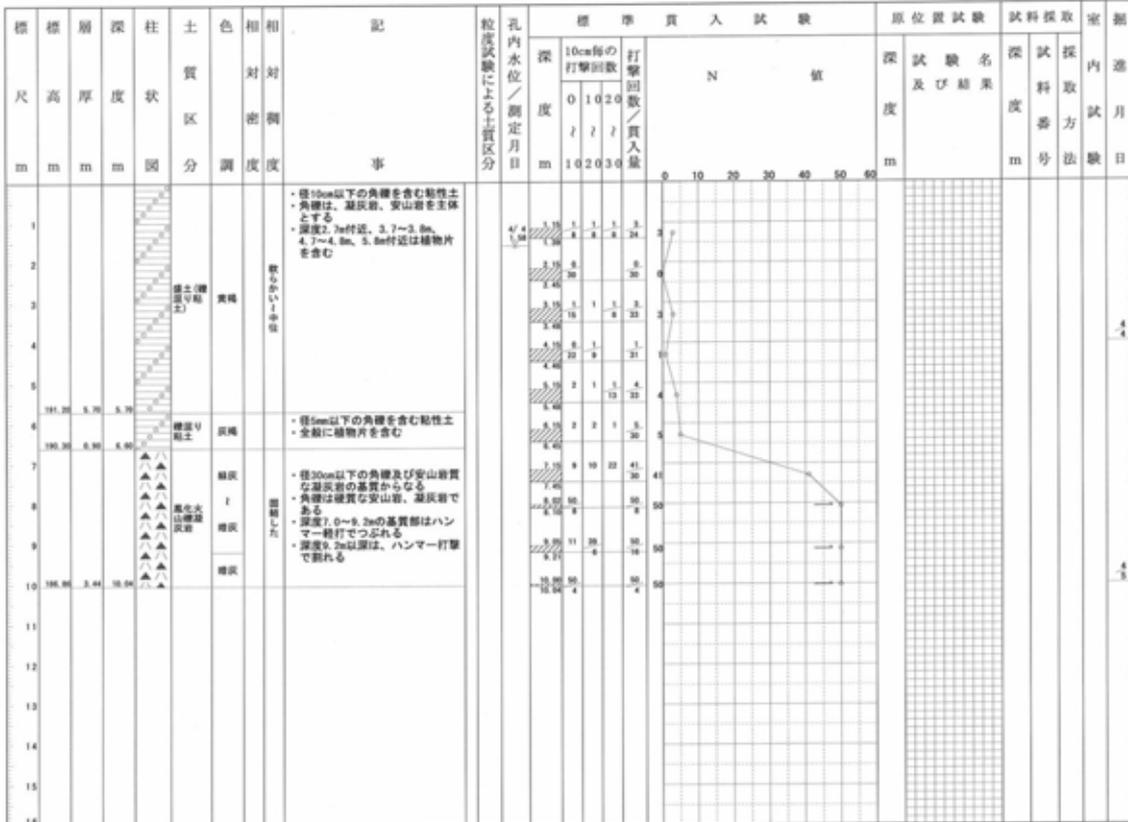
調 査 名 能登半島縦貫有料道路 災害復旧工事地質調査業務委託その5

ボーリング№. 5 5 3 6 5 6 6 7 0 0 2

事業・工事名

シート№. 2

ボーリング名	B縦-14-2		調査位置	七尾市中島町土川～谷内地内		北 緯	37° 08' 10.4200"	
発注機関	石川県道路公社		調査期間	平成19年 3月26日～平成19年 6月29日		東 経	136° 50' 31.6600"	
調査業者名	中部地下開発株式会社 電話 076-237-5000		主任技師	関谷 敏智	現代理人	関谷 敏智	コ ン 定 表	関谷 敏智
ボーリング責任者	谷口 和男		ハンマー	自動落下		ポンプ	VS-P	
孔口標高	196.90m	角	180°	方	北	地盤勾配	10°	使用機種
総掘進長	10.04m	度	上	向	西	試 量 機	YH-1	エンジン
			下	向	東		NFAD8	



BV縦-14-2孔 : L = 10m

図 5.5.1-4 NO.縦 - 14 ボーリング柱状図

5.5.2 NO. 縦 - 14 復旧対策

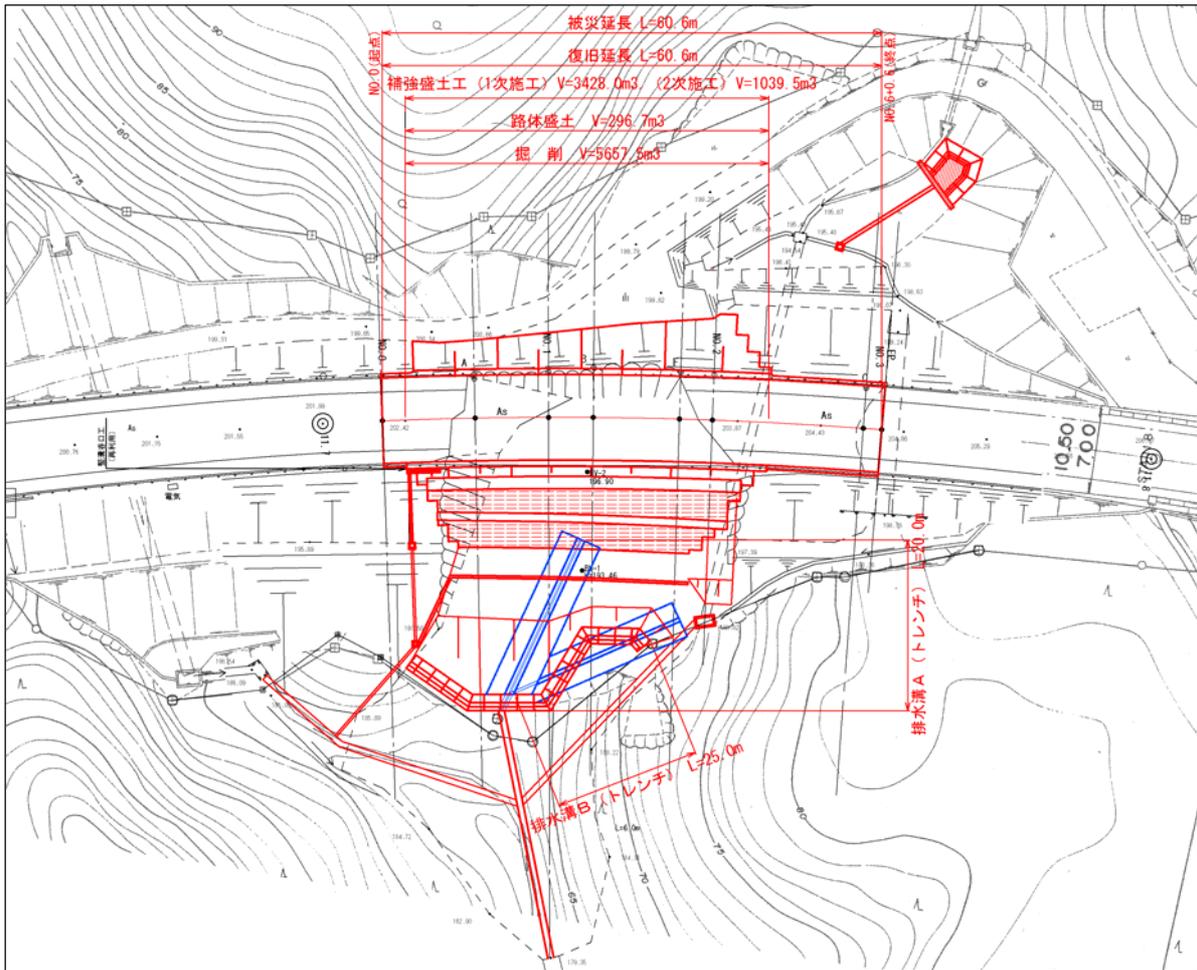


図 5.5.2-1 NO. 縦 - 14 平面図

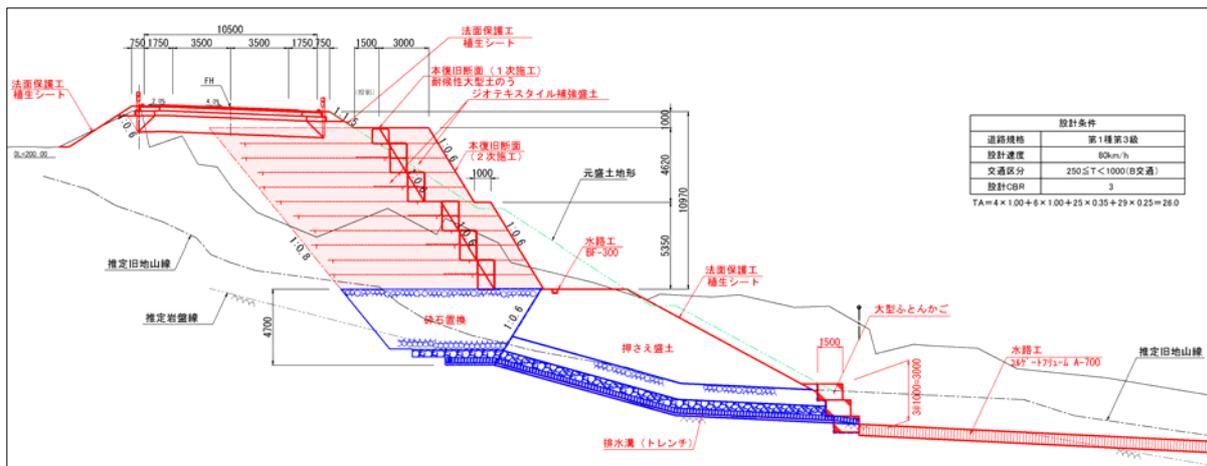


図 5.5.2-2 NO. 縦 - 14 標準断面図

5.6 能登半島縦貫有料道路 NO.21 被害状況及び復旧対策

5.6.1 能登半島縦貫有料道路 縦 - 21 被害状況

(1) 被害状況

高さ約 36m の高盛土区間で延長約 30m にわたり上下車線が内浦側（または、東南東側）に崩壊し、崩落土砂は約 120m 先まで流れ出した。

(2) 復旧方針

盛土の靱性を向上させるため、4 段盛土の内下 2 段にジオテキスタイルを用いた補強盛土工とした。また、盛土内の排水性を向上させるため、暗渠排水工を施工する。



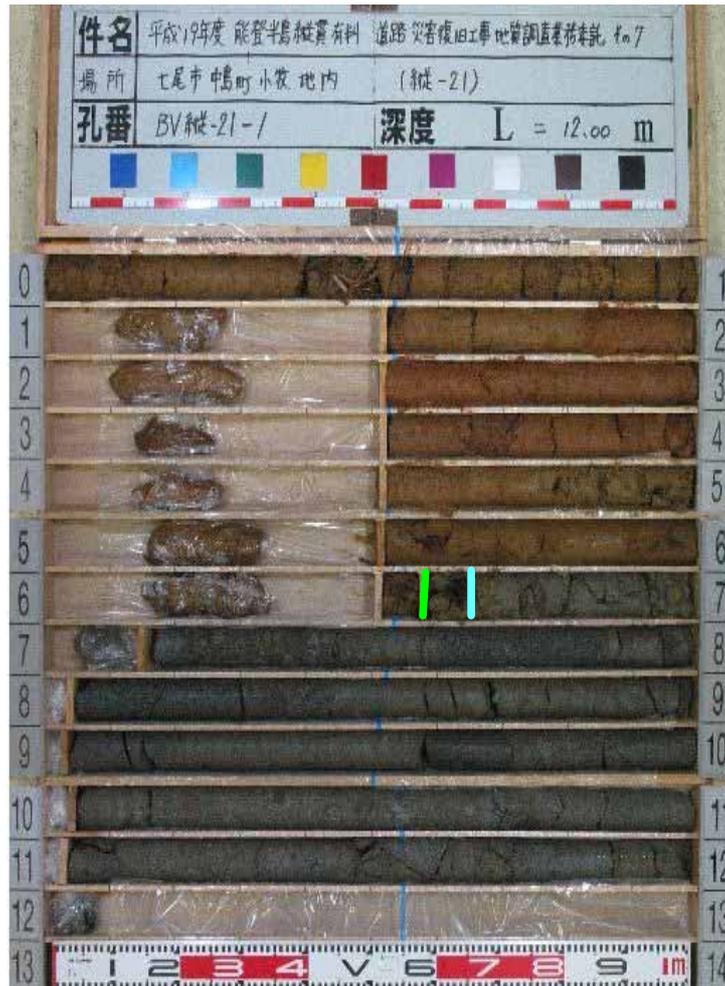
図 5.6.1-1 NO.縦 - 21 位置図



写真 5.6.1-1 NO.縦 - 21 被災後写真

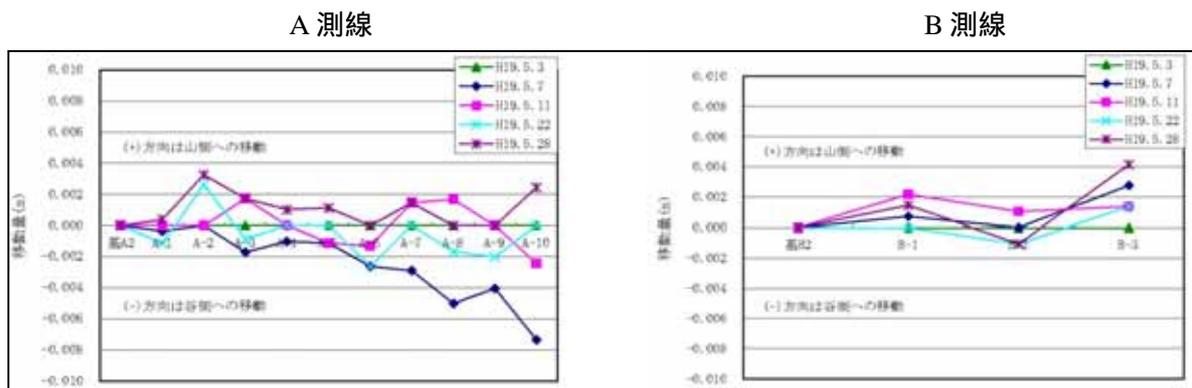


写真 5.6.1-2 NO.縦 - 21 応急復旧後写真



— 盛土下面 — 表土下面

写真 5.6.1-3 NO.縦 - 21 コア写真



A 測線の 5 月 7 日観測時には、A-6 ~ A-10 移動杭で 2 ~ 8mm の変状(谷側への移動)が見られたが、その後の観測では山側に移動しており、谷側への移動は観測誤差によるものと判断した。B 測線は、2mm 程度の移動が生じている可能性があるが、その移動方向は山側へのものであり、特に問題はない。

図 5.6.1-4 NO.縦 - 21 移動杭観測グラフ

ボーリング柱状図

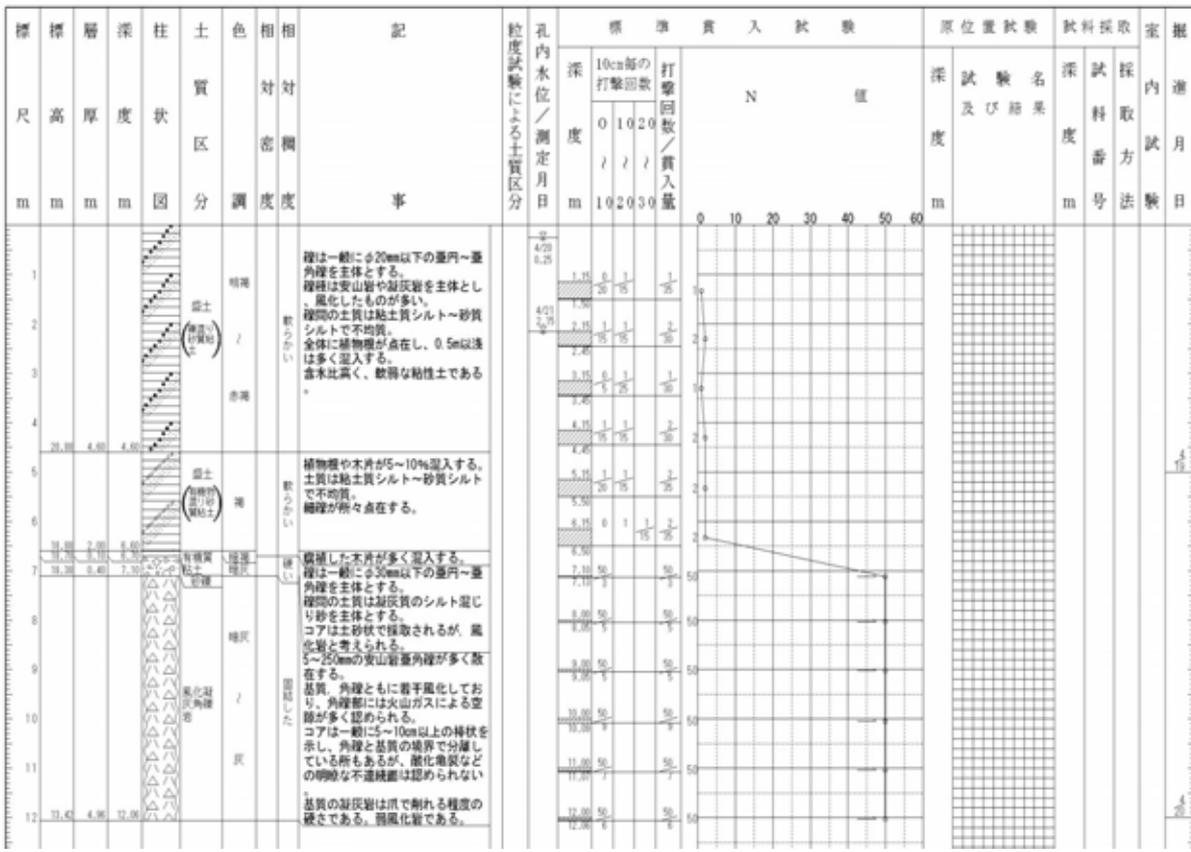
調査名 能登半島縦貫有料道路災害復旧工事地質調査業務委託その7

ボーリングNo. 5 5 3 6 5 6 8 7 0 0 0

事業・工事名

シートNo.

ボーリング名	BV縦-21-1	調査位置	七尾市中島町小牧地内(縦-21)	北緯	37° 09' 16.0000"
発注機関	石川県道路公社	調査期間	平成19年 4月18日～平成19年 4月21日	東経	136° 50' 45.0000"
調査業者名	株式会社 日研技術 電話 076-291-5159	主任技師	芝山 修	現場代理人	芝山 修
調査業者名	株式会社 日研技術 電話 076-291-5159	主任技師	芝山 修	コピ定者	芝山 修
ボーリング責任者	林 義幸				
孔口標高	25.48m	角	180° 上下 90° 0°	方	北 0° 東 90° 西 180° 南 270°
総掘進長	12.00m	地盤勾配	水平 0° 傾斜 0°	使用機種	試錘機 YMS-05 エンジン NFD-9
		ハンマー	半自動型	ポンプ	MS-413



BV縦-21-1孔 : L = 12m

図 5.6.1-5 NO.縦 - 21 ボーリング柱状図

5.6.2 NO. 縦 - 21 復旧対策

(1)

復旧盛土の耐震性向上を目的に、下段に補強盛土を採用する。法面勾配を 1 : 0.6 とし復旧土工量の削減と、斜面中段での支持による路体内の排水性向上を図る。

崩土は補強盛土の前に盛土整形して極力残置し、外部搬出土量の削減を図る。

施工手順は、補強盛土工下部の暗渠排水を先行させ、崩土の撤去、補強盛土、路体盛土の順に実施する。

(2)

崩壊地頭部の谷側には H 鋼杭を打設し、迂回路の安全性を確保している。

監視施設としては、H 鋼杭を挟んで谷側に A 測線、山側に B 測線とした移動杭を設置し観測している。

移動杭による観測は、誤差が生じやすいため、5 月 26 日に H 鋼杭打設位置付近で地中伸縮計を設置し、現在観測中である。

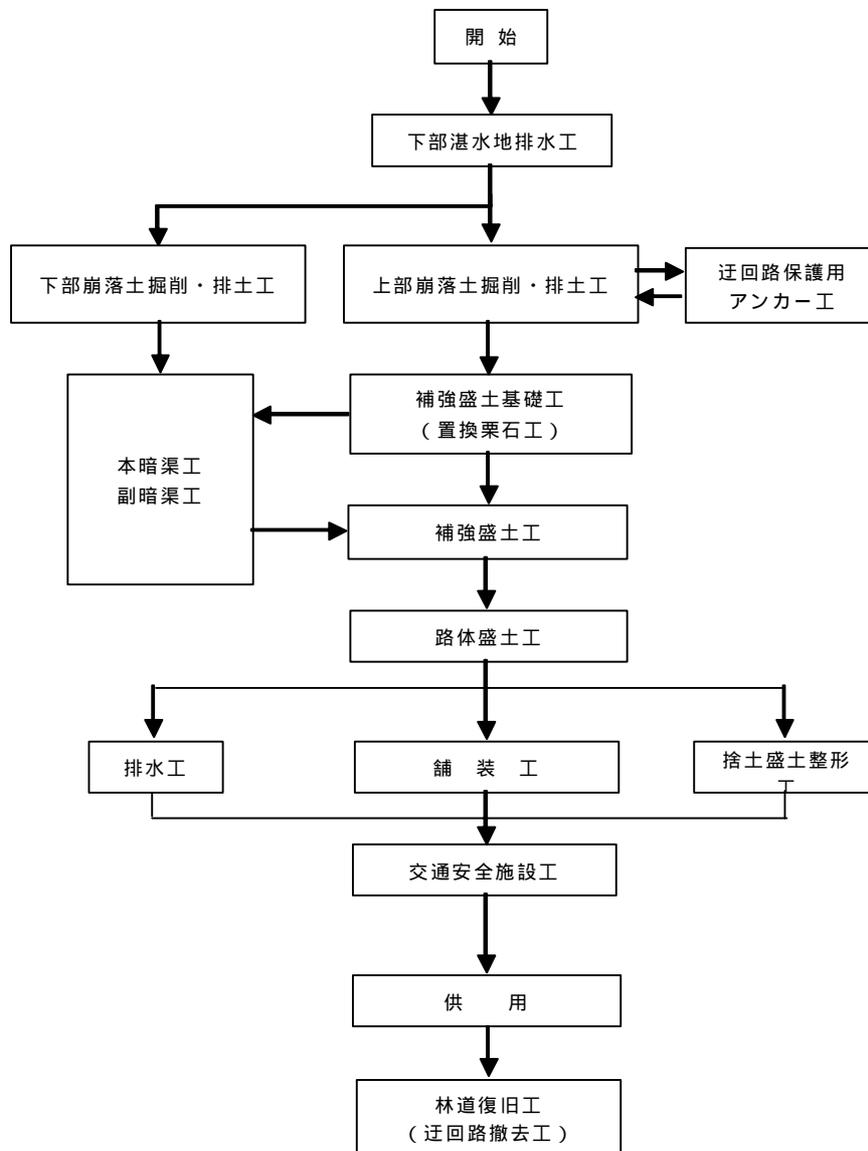


図 5.6.2-1 NO. 縦 - 21 復旧フロー

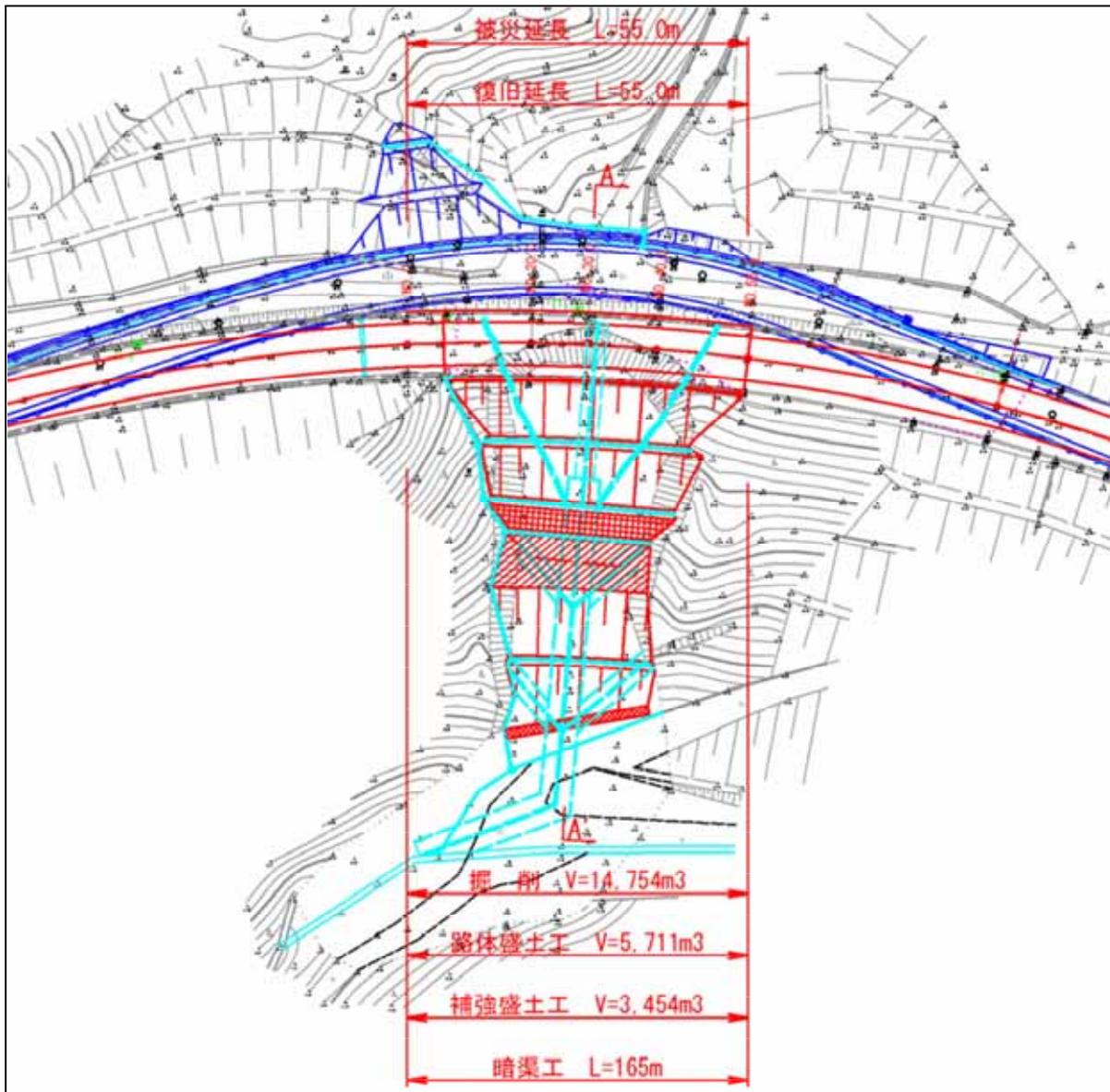


図 5.6.2-2 NO.縦 - 21 平面図

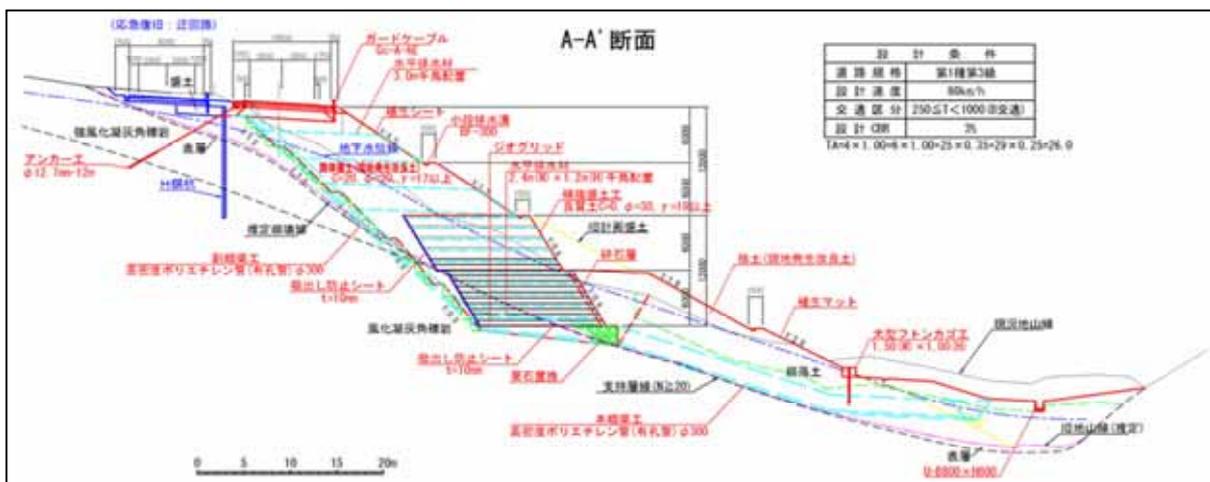


図 5.6.2-3 NO.縦 - 21 標準断面図

5.7 能登半島縦貫有料道路 NO.26 被害状況及び復旧対策

5.7.1 能登半島縦貫有料道路 縦 - 26 被害状況

(1) 被害状況

高さ約 18m の高盛土区間で延長約 100m にわたり上り車線が内浦側（または、東南東側）に崩壊し、崩落土砂は直下部を流下する谷部を閉塞した。

(2) 復旧方針

盛土の靱性を向上させるため、3 段盛土の内下 2 段にジオテキスタイルを用いた補強盛土工とした。また、盛土内の排水性を向上させるため、暗渠排水工を施工する。



図 5.7.1-1 NO.縦 - 26 位置図



写真 5.7.1-1 NO.縦 - 26 被災後写真



写真 5.7.1-2 NO.縦 - 26 応急復旧後写真

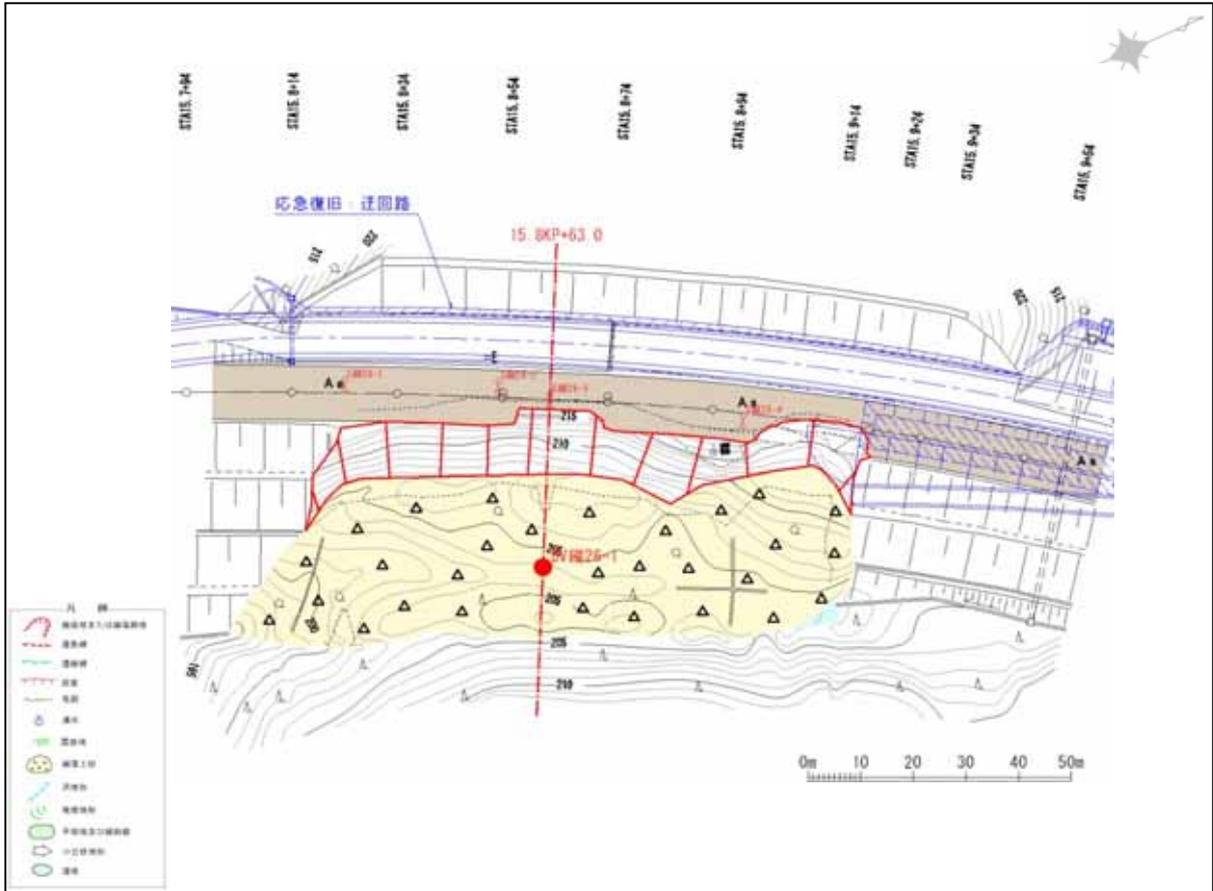


图 5.7.1-2 NO. 縱 - 26 平面图

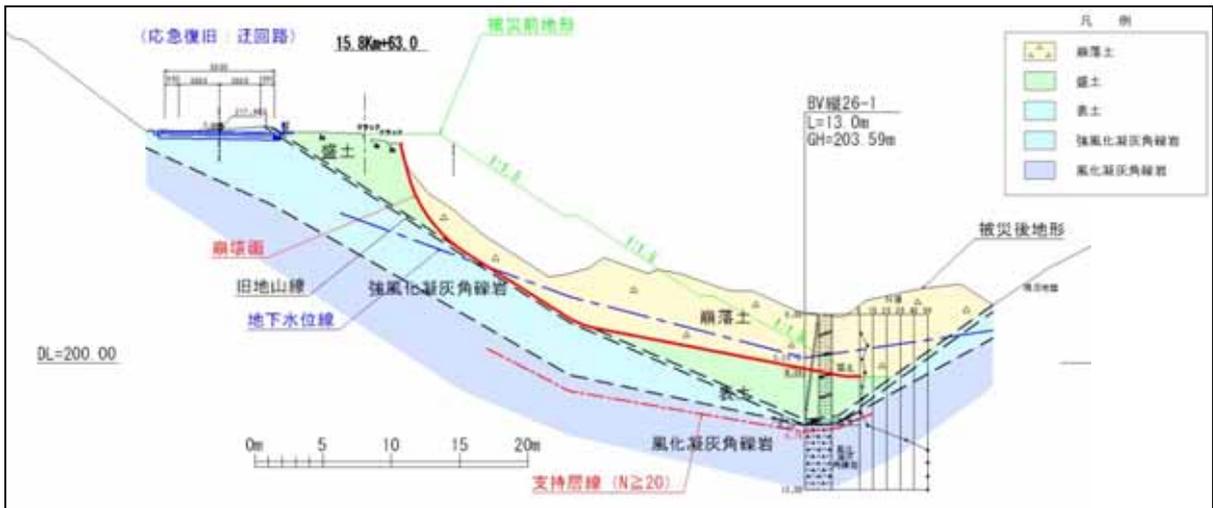
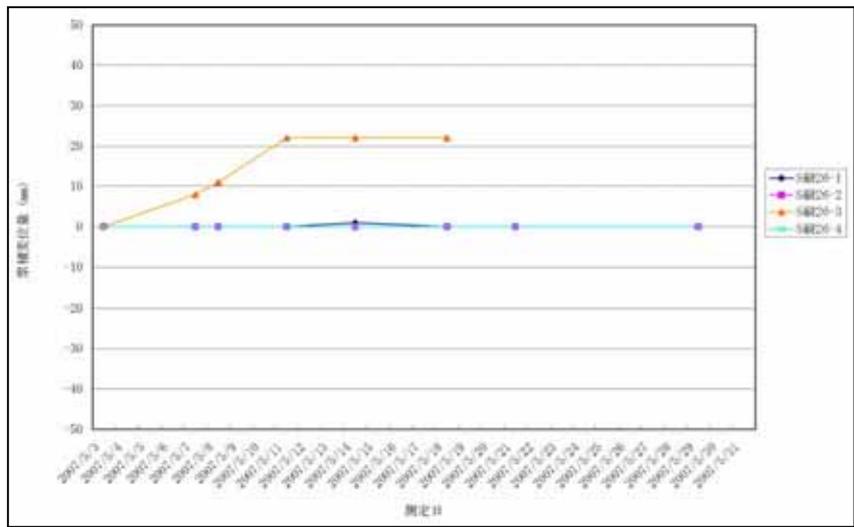


图 5.7.1-3 NO. 縱 - 26 主断面图



写真 5.7.1-3 NO.縦 - 26 コア写真



観測期間：5/3 ~ 5/29

S 縦 26-3 の舗装亀裂が大きく変位しているが、オーバーハング部の亀裂であるため、迂回路には影響なし

5/21 以降は S 縦 26-3 の箇所にブルーシートがかけられたため観測不能

その他の亀裂に大きな変動はない

図 5.7.1-4 NO.縦 - 26 As 舗装亀裂の簡易計測

ボーリング柱状図

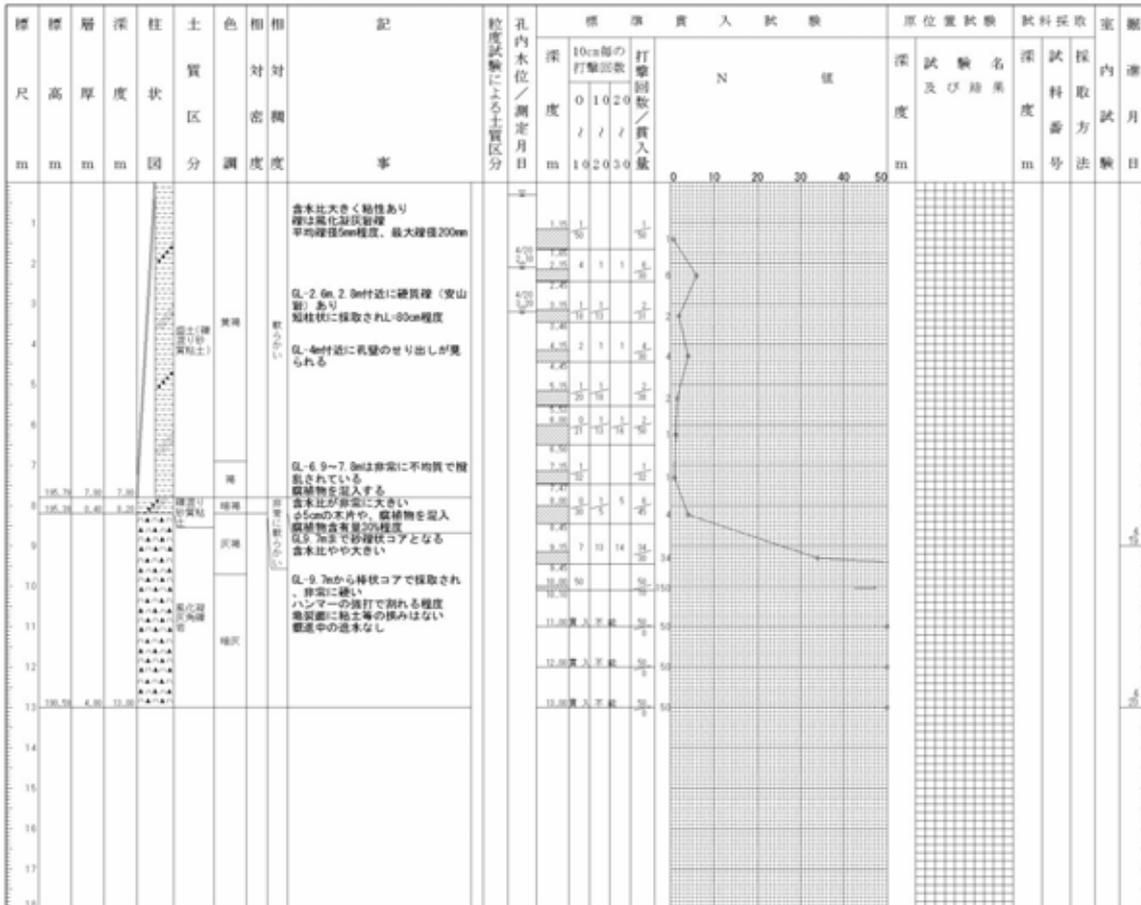
調 査 名 能登半島縦貫有料道路 災害復旧工事 地質調査業務委託 その8

ボーリングNo. 5 5 3 6 5 6 9 8 0 0 0

事業・工事名

シートNo.

ボーリング名	BV縦26-1		調査位置	七尾市中島町小牧～田岸 地内		北 緯	37° 09' 42.0000"	
発注機関	石川県道路公社		調査期間	平成19年 4月19日～平成19年 4月20日		東 経	136° 51' 19.0000"	
調査業者名	アルスコンサルティング株式会社 電話 076-248-4004		主任技師	玉村 清文	現代理人	市川 健	コ 定 者	玉村 清文
ボーリング責任者	大谷 勉		試錐機	YEM-05		ハンマー	半自動型	
孔口標高	KBM	203.59m	角	180°	方	北 0°	地盤勾配	水平 0°
総掘進長	13.00m		度	上 0°	向	西 180°	東 0°	北 0°
エンジン	ヤンマーNEAD8型		ポンプ	MS-413				



BV縦26-1 : L=13m

図 5.7.1-5 NO.縦 - 26 ボーリング柱状図

5.7.2 NO. 縦 - 26 復旧対策

(1)

崩壊した盛土土塊を一旦撤去し、復旧盛土下部に補強土盛土工を実施する。上部は現地発生土を改良し盛土を行う。

盛土補強材としては、ジオテキスタイルを使用する。

盛土内部には、浸透水を排出する排水材を敷設する。

地下水排除のため暗渠工を旧沢地形に縦断的に敷設する。

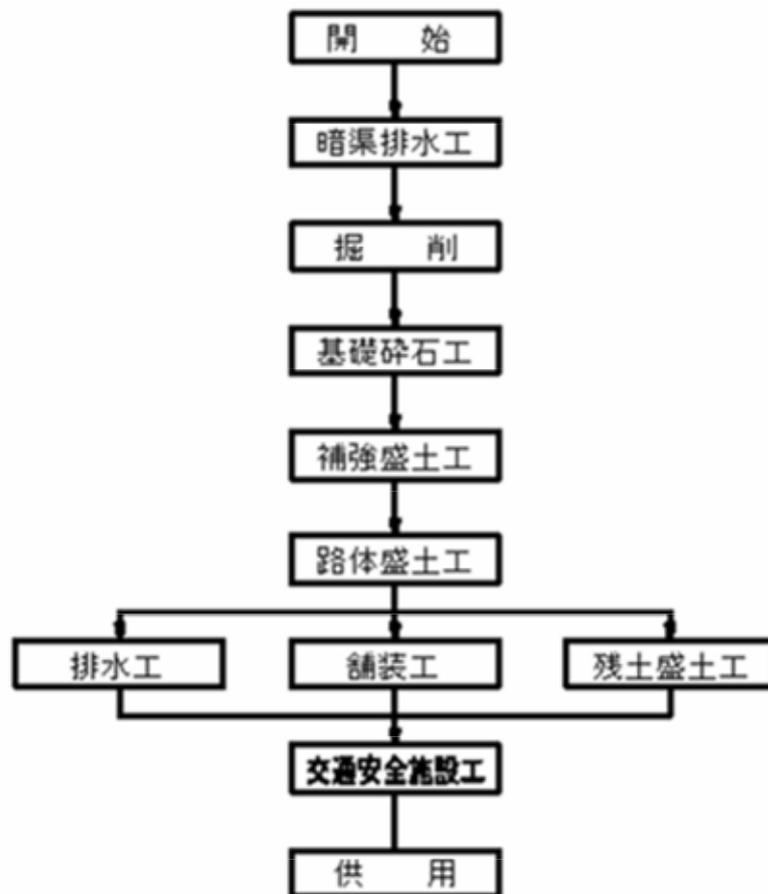


図 5.7.2-1 NO. 縦 - 26 復旧フロー

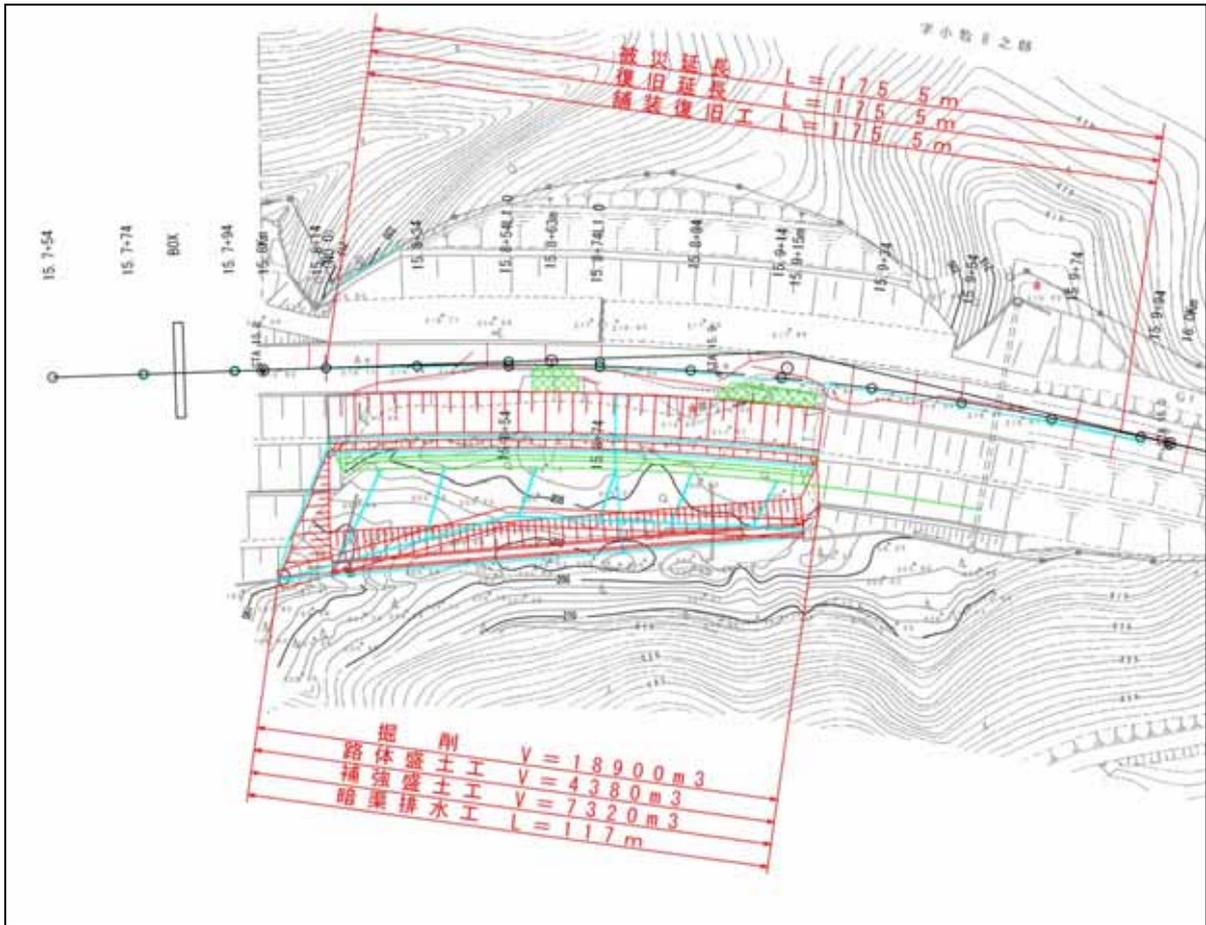


図 5.7.2-2 NO.縦 - 26 平面図

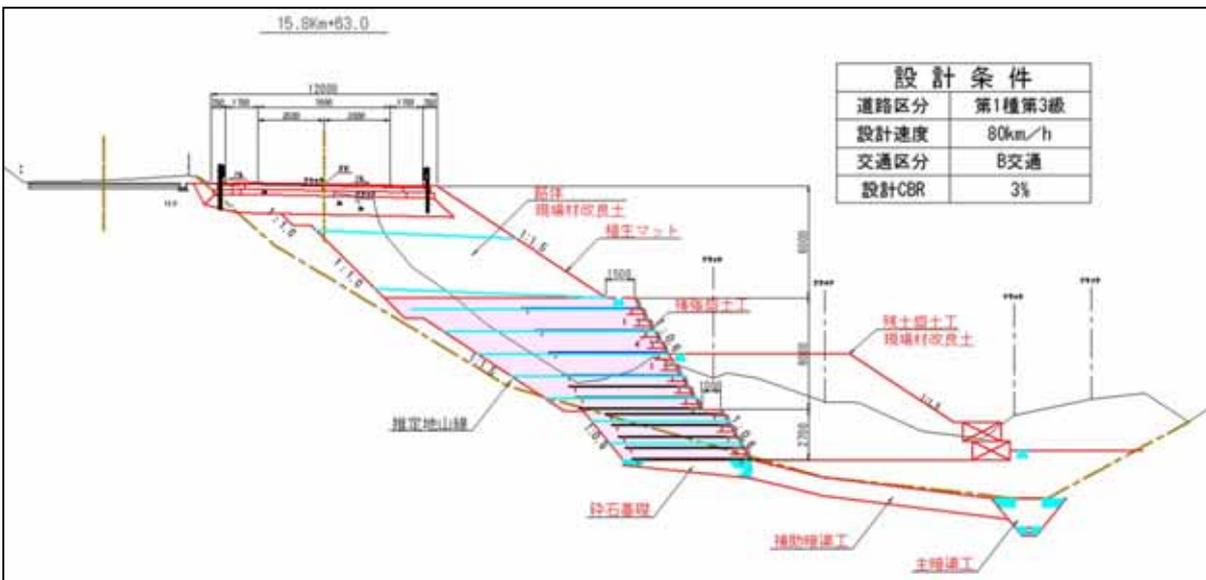


図 5.7.2-3 NO.縦 - 26 標準断面図

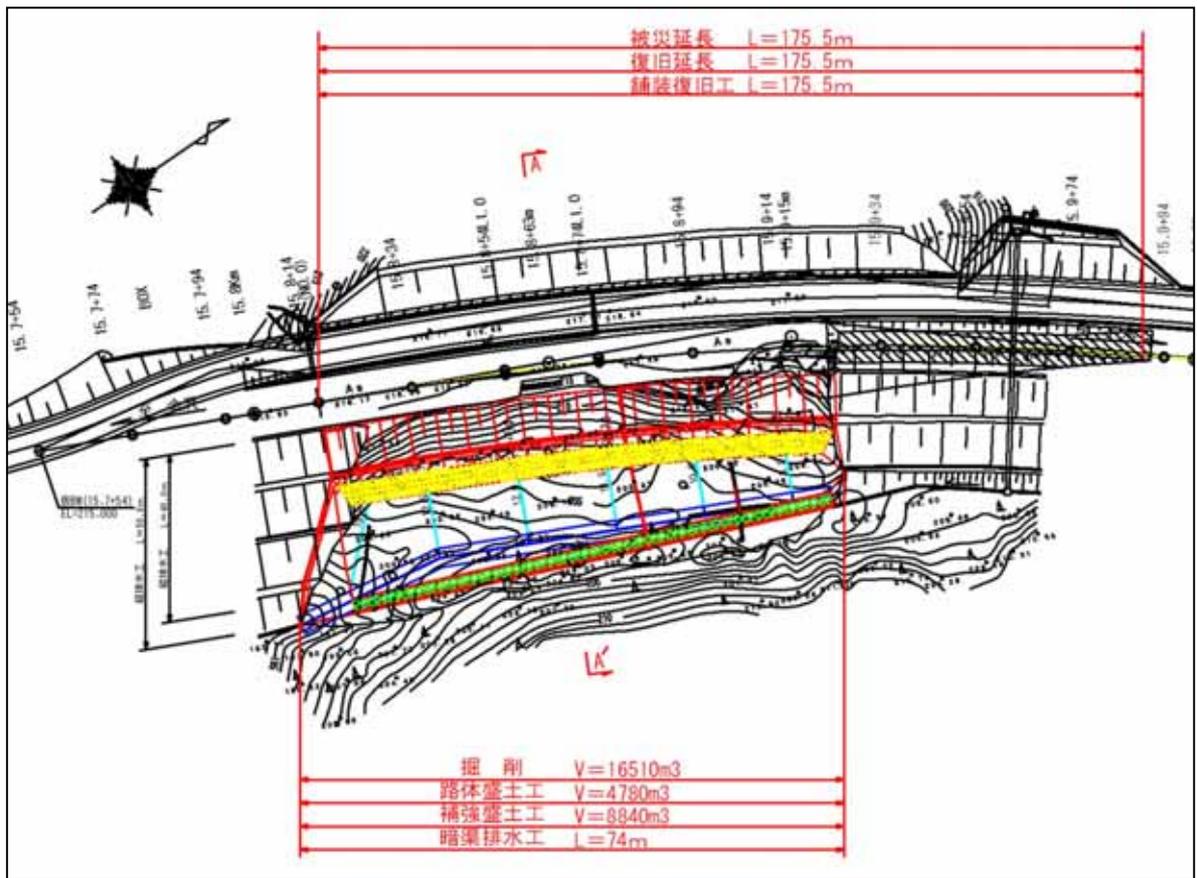


図 5.7.2-4 NO.縦 - 26 平面図

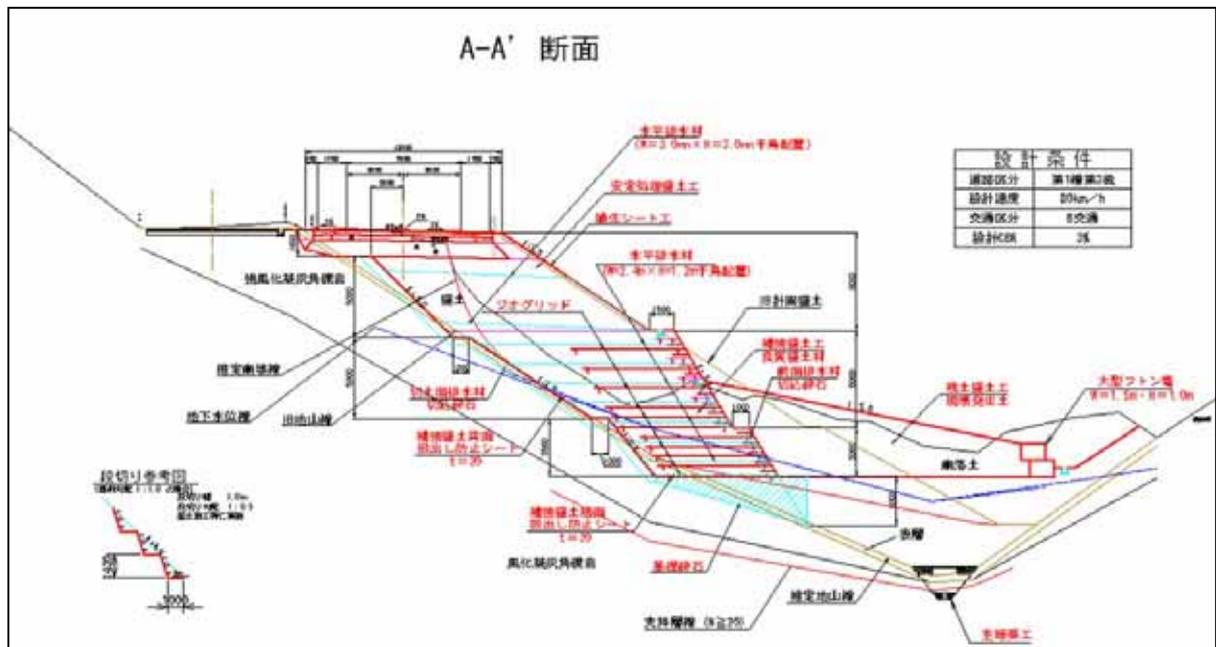


図 5.7.2-5 NO.縦 - 26 標準断面図

5.8 能登半島縦貫有料道路 NO.32 被害状況及び復旧対策

5.8.1 能登半島縦貫有料道路 縦 - 32 被害状況

(1) 被害状況

高さ約 36m の高盛土区間で延長約 65m にわたり上り車線が内浦側（または、東北東側）に崩壊し、崩落土砂は約 200m 先まで流れ出した。

(2) 復旧方針

盛土の靱性を向上させるため、5 段盛土の内下 2 段にジオテキスタイルを用いた補強盛土工とした。また、盛土内の排水性を向上させるため、暗渠排水工を施工する。



図 5.8.1-1 NO.縦 - 32 位置図



写真 5.8.1-1 NO.縦 - 32 被災後写真



写真 5.8.1-2 NO.縦 - 32 応急復旧後写真

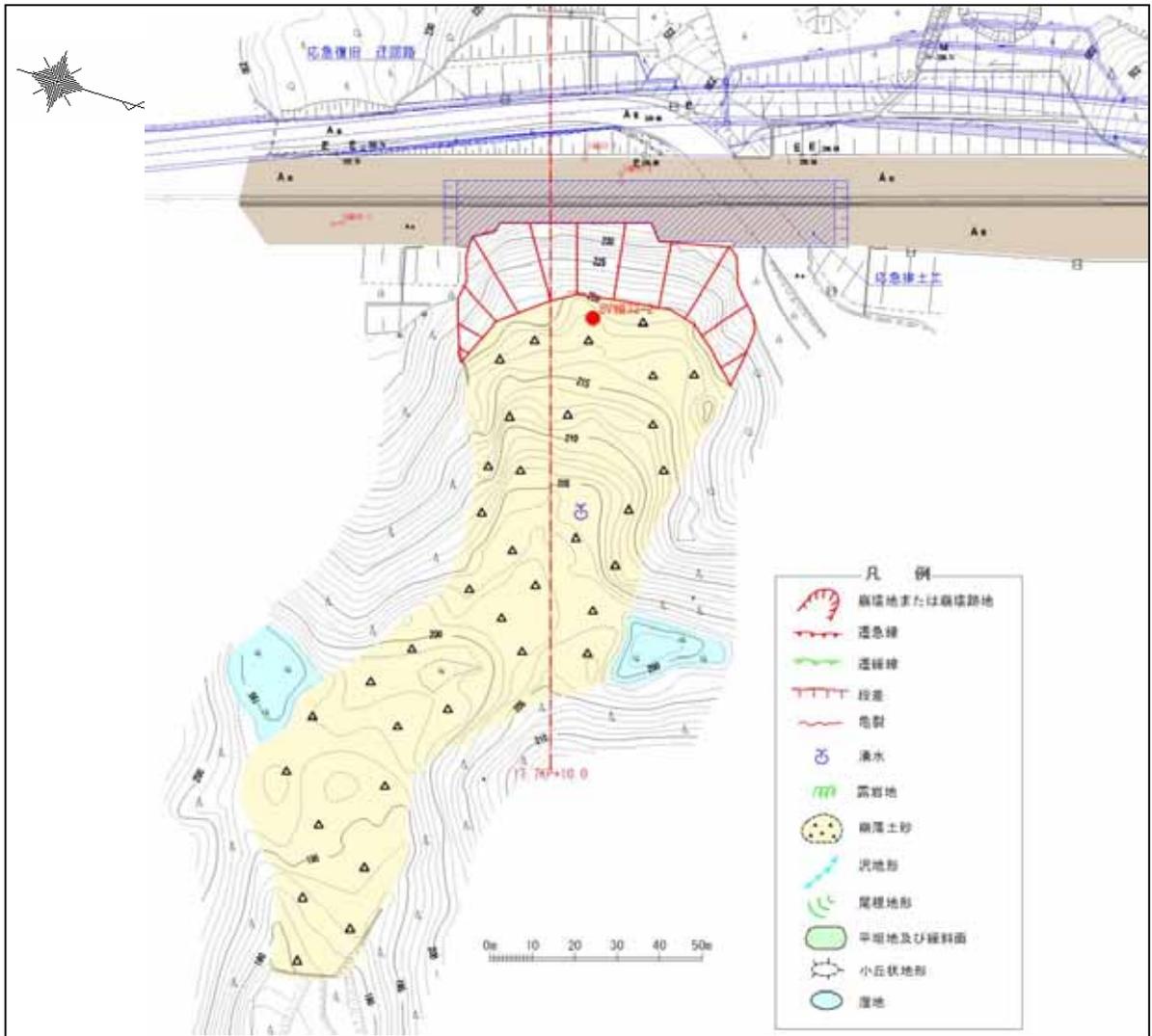


図 5.8.1-2 NO.縦 - 32 平面図

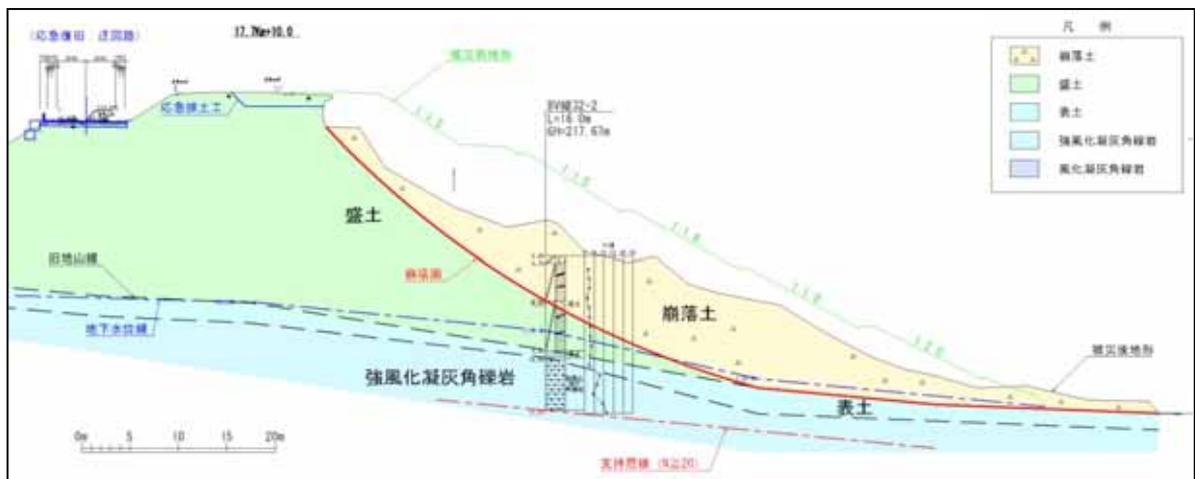
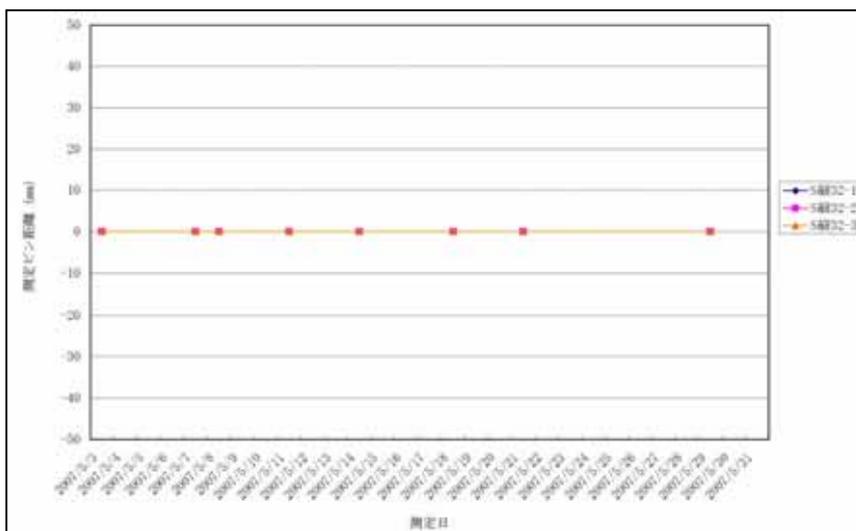


図 5.8.1-3 NO.縦 - 32 主断面図



写真 5.8.1-3 NO.縦 - 32 コア写真



観測期間：5/3 ~ 5/29

舗装亀裂に変位なし
 地中伸縮計は数日間の観測が実施されているが変動なし

図 5.8.1-4 NO.縦 - 32 As 舗装亀裂の簡易計測

ボーリング柱状図

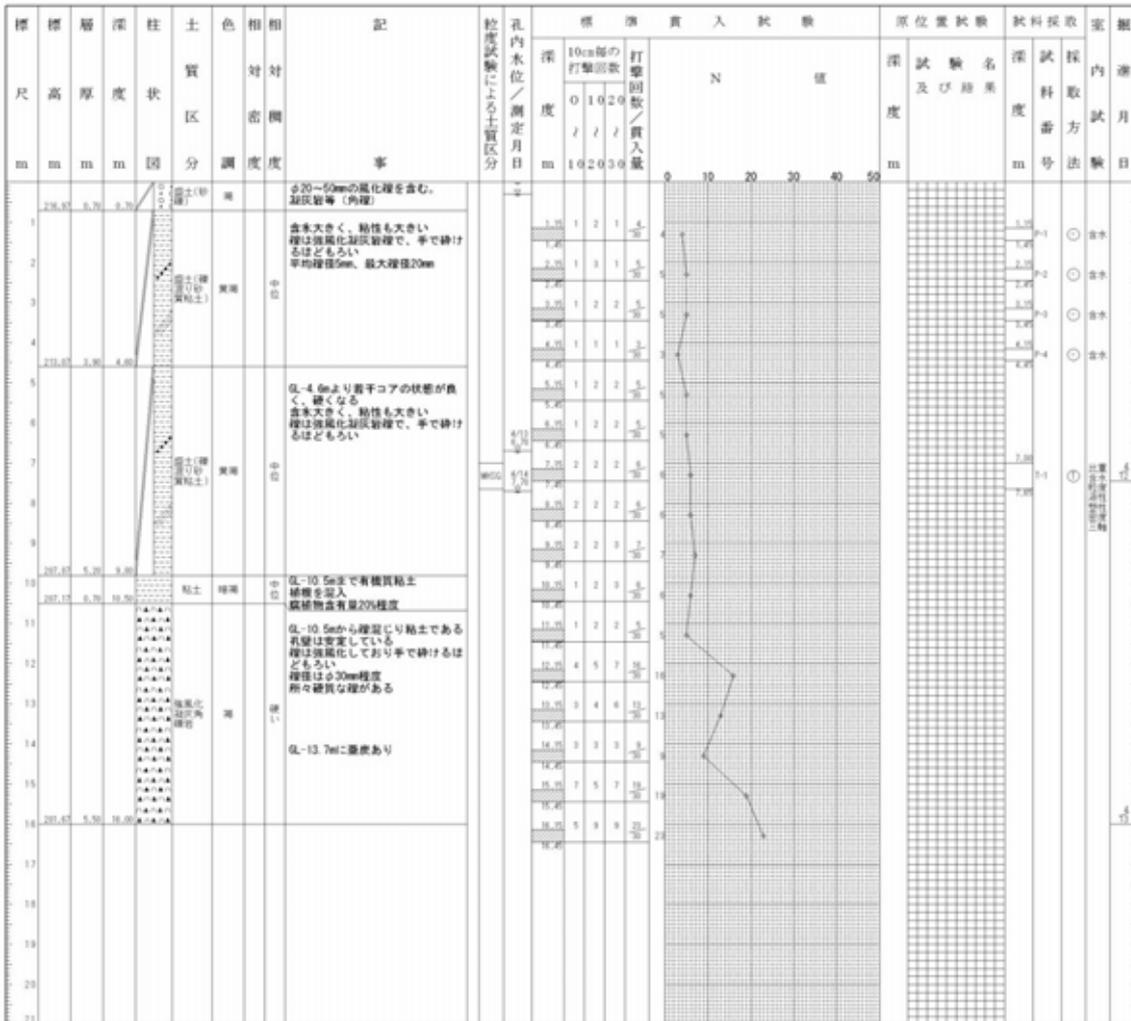
調 査 名 鹿野半島縦貫有料道路 災害復旧工事 地質調査業務委託 その8

ボーリングNo. 5 5 3 6 6 6 1 8 0 0 0

事業・工事名

シートNo.

ボーリング名		BV縦32-2		調査位置		七尾市中島町小牧～田岸 地内		北 緯		37° 10' 37.0000"	
発注機関		石川県道路公社		調査期間		平成19年 4月12日～平成19年 4月15日		東 経		136° 51' 21.0000"	
調査業者名		アルスコンサルティング株式会社 電 話 076-248-4004		主任技師		玉村 清文		視 代 理 人		市川 健	
孔 口 標 高		KBM 217.67m		角		110°		コ 羅 定 者		玉村 清文	
総掘進長		16.00m		方 向		北 0° 東 90° 南 180° 西 270°		試 錘 機		YEM-05	
				地盤勾配		水平 0° 傾斜 0°		ハンマー 落下用具		コシアラー	
								ポン プ		MS-413	
								エンジン		ヤンマーNFAD8型	



BV縦32-2 : L=16m

図 5.8.1-5 NO.縦 - 32 ボーリング柱状図

5.8.2 NO. 縦 - 32 復旧対策

(1)

崩壊した盛土土塊を一旦撤去し、復旧盛土下部に補強盛土工を実施する。上部は現地発生土を改良し盛土を行う。

盛土補強材としては、ジオテキスタイルを使用する。

盛土内部には、浸透水を排出する排水材を敷設する。

地下水排除のため暗渠工を旧沢地形に縦断的に敷設する。



図 5.8.2-1 NO. 縦 - 32 復旧フロー

5.9 能登半島縦貫有料道路 NO.38 被害状況及び復旧対策

5.9.1 能登半島縦貫有料道路 縦 - 38 被害状況

(1) 被害状況

高さ約 36m の高盛土区間で延長約 100m にわたり上下車線が内浦側（または、南東側）に崩壊し、崩落土砂は下方斜面まで流れ出した。

(2) 復旧方針

盛土の靱性を向上させるため、4 段盛土の内下 2 段にジオテキスタイルを用いた補強盛土工とした。また、盛土内の排水性を向上させるため、暗渠排水工を施工する。



図 5.9.1-1 NO.縦 - 38 位置図



写真 5.9.1-1 NO.縦 - 38 被災後写真



写真 5.9.1-2 NO.縦 - 38 応急復旧後写真

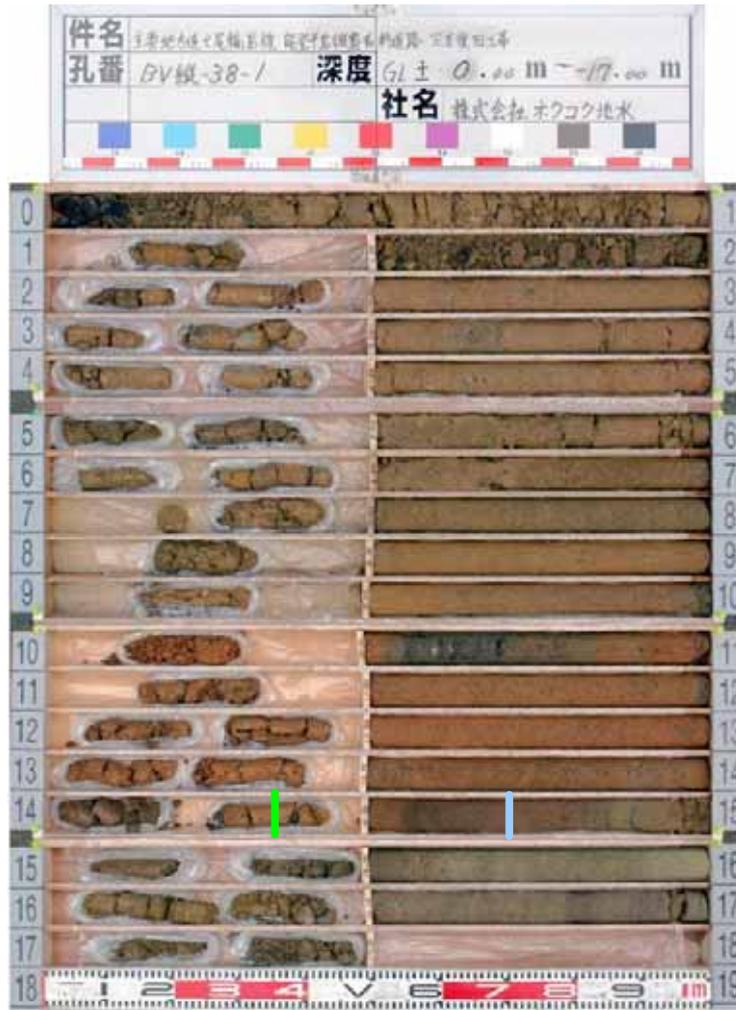
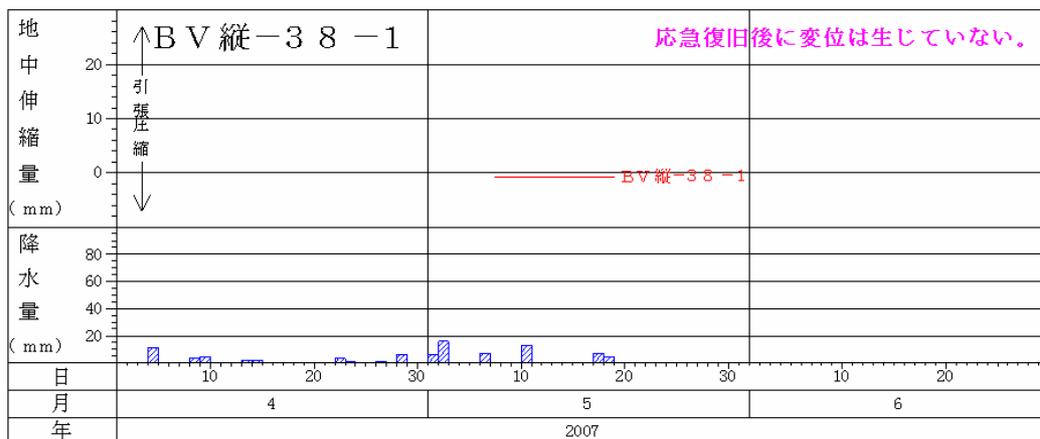


写真 5.9.1-3 NO.縦 - 38 コア写真



BV縦-38-1孔 : L = 17m

図 5.9.1-4 NO.縦 - 38 地中伸縮計観測グラフ

ボーリング柱状図

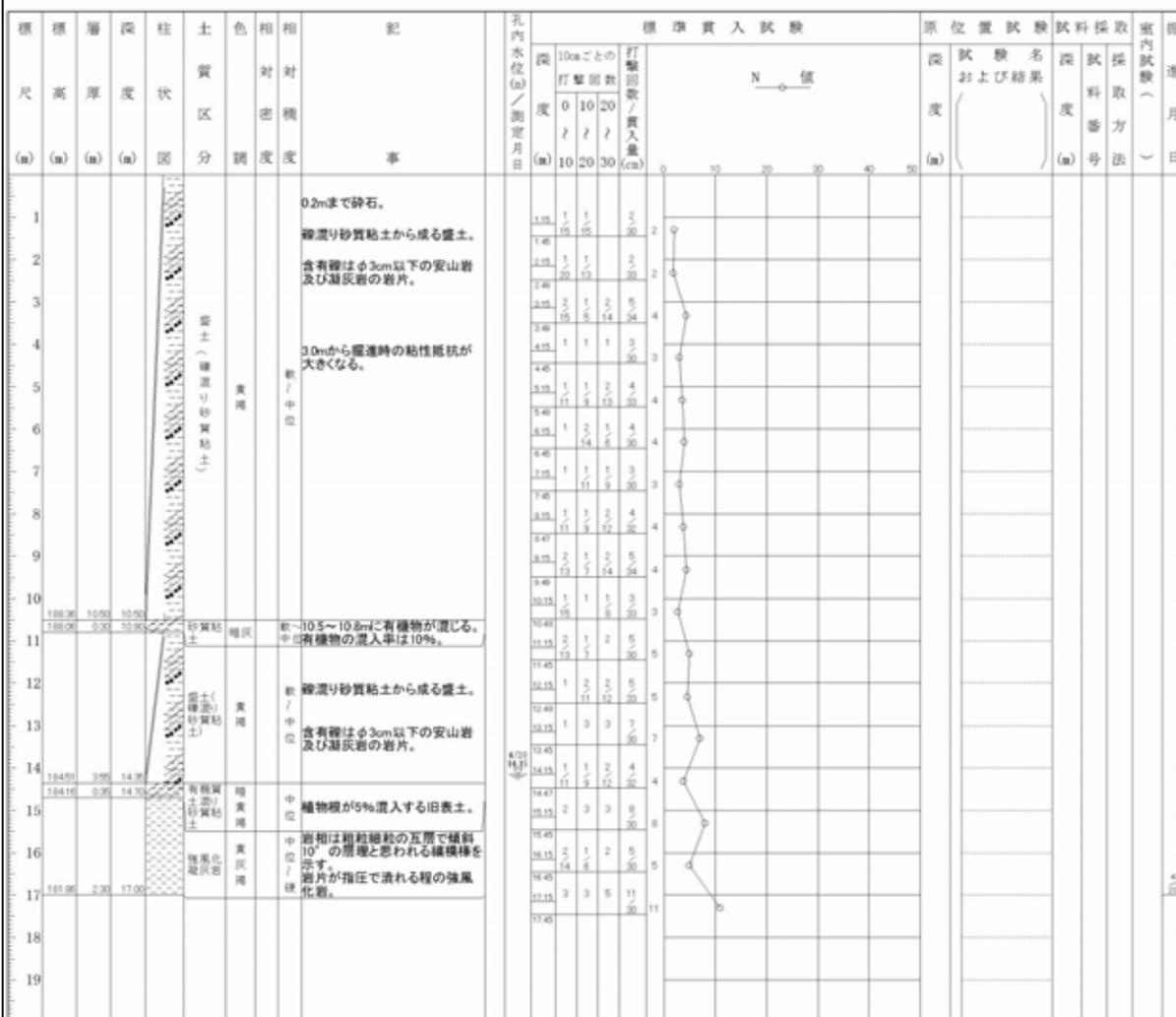
調査名 主要地方道七尾線輪島線 能登半島縦貫有料道路 災害復旧工事

ボーリングNo. 5536-66-49

事業・工事名

シートNo.

ボーリング名	BV縦-38-1	調査位置	縦-38：穴水町越の原その1			北 緯	37° 12' 7.3"
発注機関	石川県道路公社		調査期間	平成 19年 4月 18日 ~ 19年 4月 20日		東 経	136° 52' 11.2"
調査業者名	株式会社 ホタコク地水 電話 (076-241-7158)	主任技師	谷下 哲郎	現代 掘代 理 人	谷下 哲郎	コ ン 監 定 者	谷下 哲郎
ボーリング責任者	横山 直之						
孔口標高	GH-198.96m	角	180° 上	90° 方	北 0° 270° 西	東 90° 180° 南	地盤勾配
総掘進長	17.00m	度	180° 下	0° 方	北 0° 270° 西	東 90° 180° 南	使用機種
試錐機	カノKR50HCW		ハンマー落下用具	コーンブーリー			
エンジン	ヤンマーNFD9		ポンプ	カノV5-P			



38-1孔 : L = 17m

図 5.9.1-5 NO.縦 - 38 ボーリング柱状図

5.9.2 NO. 縦 - 38 復旧対策

(1)

復旧盛土底部を砕石で置換え、盛土下部に補強土盛土工を実施する。上部は現地発生土を改良し盛土を行う。

盛土補強材としては、ジオテキスタイルを使用する。

盛土内部には、浸透水を排出する排水材を敷設する。

地下水排除のため暗渠工を旧沢地形に縦断的に敷設する。

崩壊土砂部の先端に土砂流出を防ぐため、鋼製土留枠工を設置する。

(2) 本復旧までの監視計画

追従崩壊から迂回路部の安全を確保する目的から、地中伸縮計（孔内傾斜計併設）による監視を実施する(BV 縦-38-1)。

【管理基準】

1日当り 5mm で「観測強化体制」

- ・ 24 時間データ監視体制、変動量の増加、累積的変動の監視

1日当り 10mm または道路等に変状発生で「警戒体制」

- ・ 道路安全対策協議会の設置、施工中の場合は工事一時中止、道路通行に関する措置の決定、対策工の選定

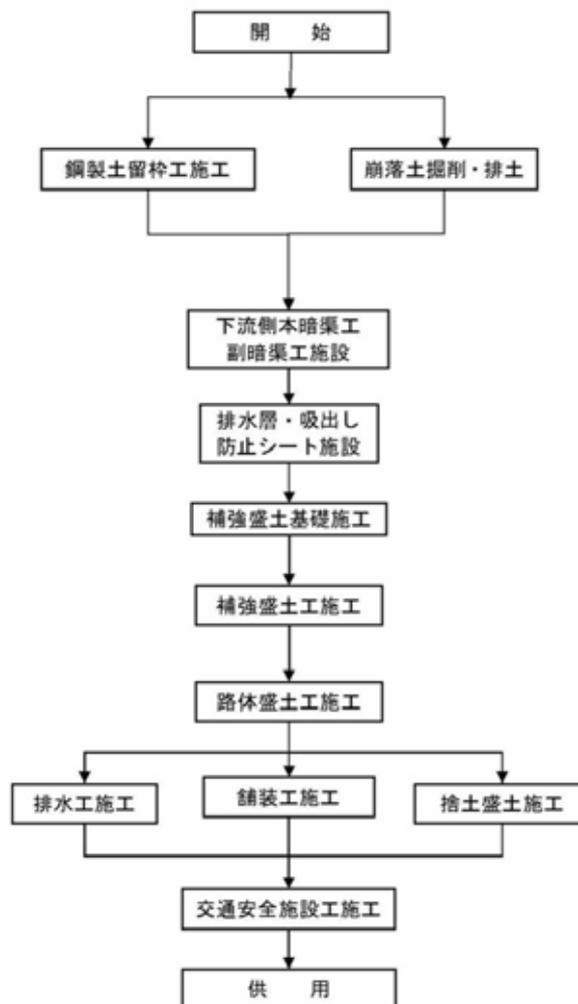


図 5.9.2-1 NO. 縦 - 38 復旧フロー

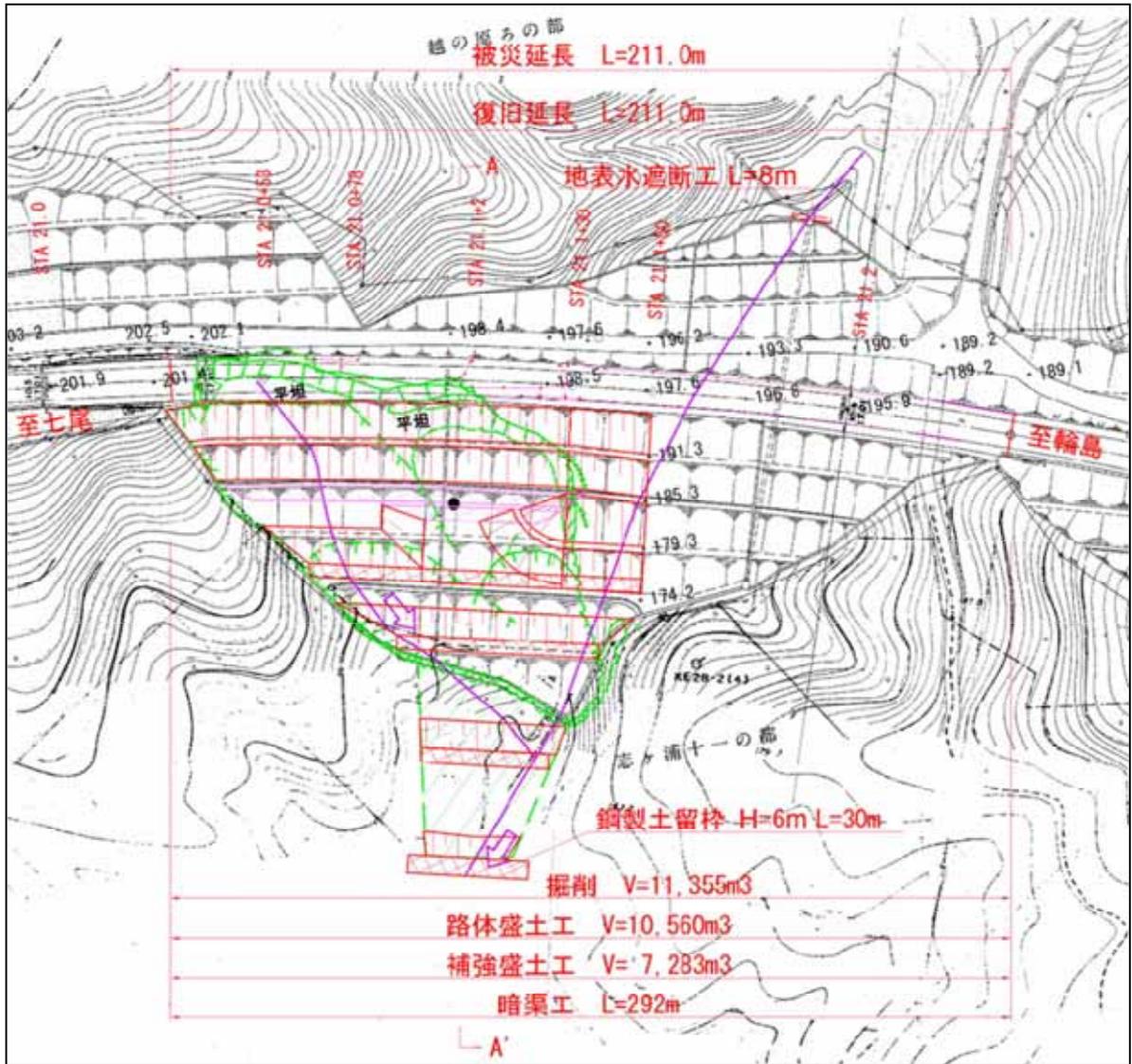


図 5.9.2-2 NO.縦 - 38 平面図

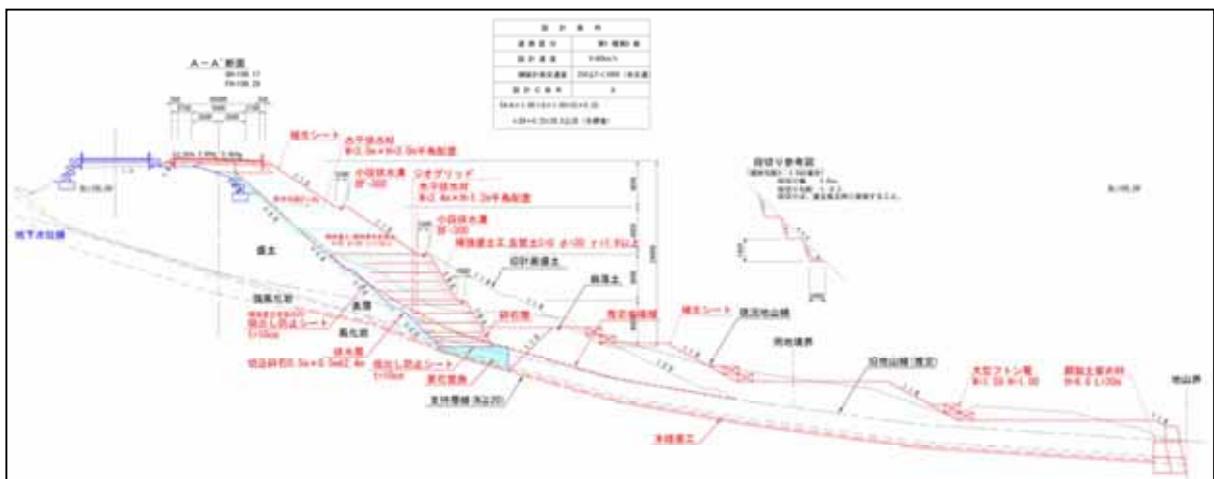


図 5.9.2-3 NO.縦 - 38 標準断面図

5.10 能登半島縦貫有料道路 NO.39 被害状況及び復旧対策

5.10.1 能登半島縦貫有料道路 縦 - 39 被害状況

(1) 被害状況

高さ約 24m の高盛土区間で上り車線が内浦側（または、南東側）に 3 箇所崩壊し、崩落土砂は直下部を流下する谷部を閉塞した。

(2) 復旧方針

盛土の安定を図るため、押え盛土（レベル盛土）により、路体盛土高を 2 段として施工している。路体盛土材は、地山（別所岳）の改良土を使用し、押え盛土は他工区の崩土土砂を受け入れる。



図 5.10.1-1 NO.縦 - 39 位置図



写真 5.10.1-1 NO.縦 - 39 被災後写真

写真 5.10.1-2 NO.縦 - 39 応急復旧後写真

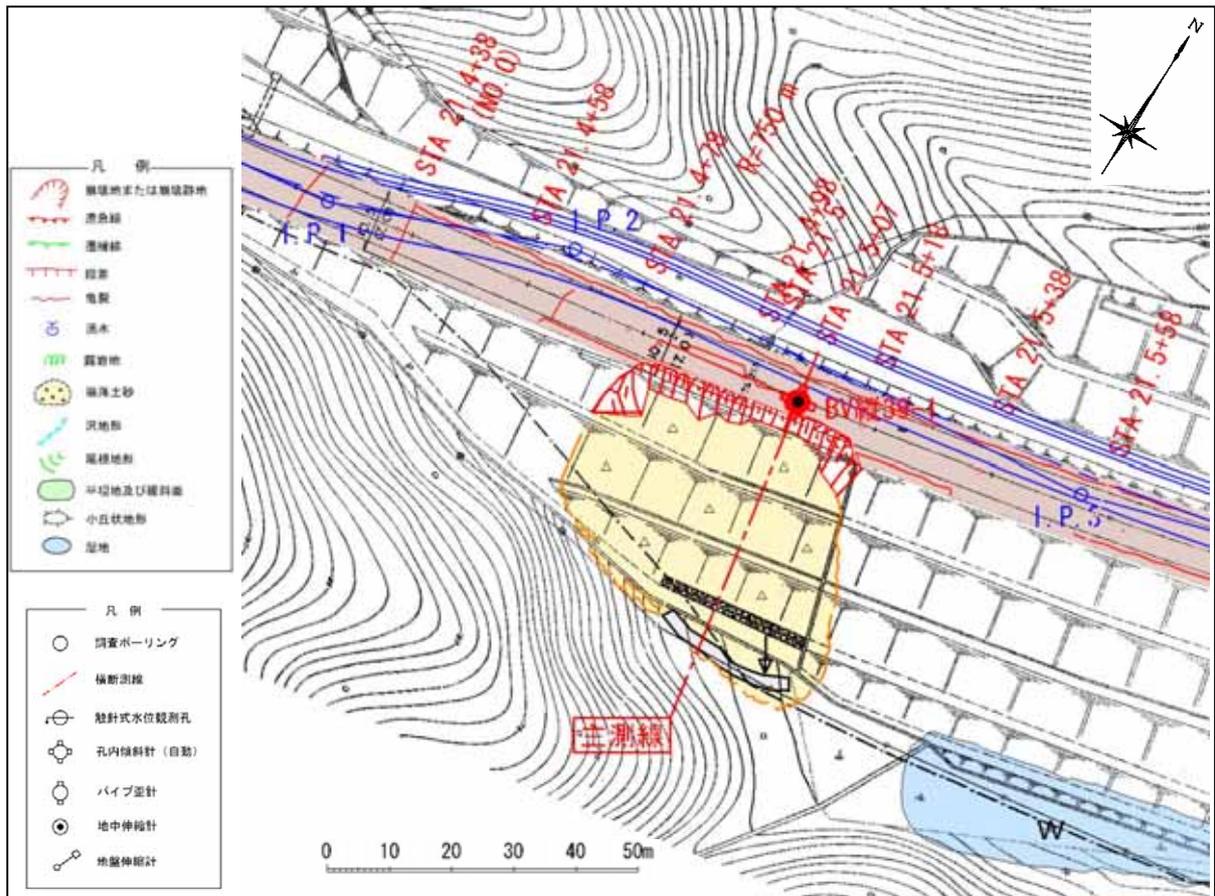


図 5.10.1-2 NO. 縦 - 39-1 平面図

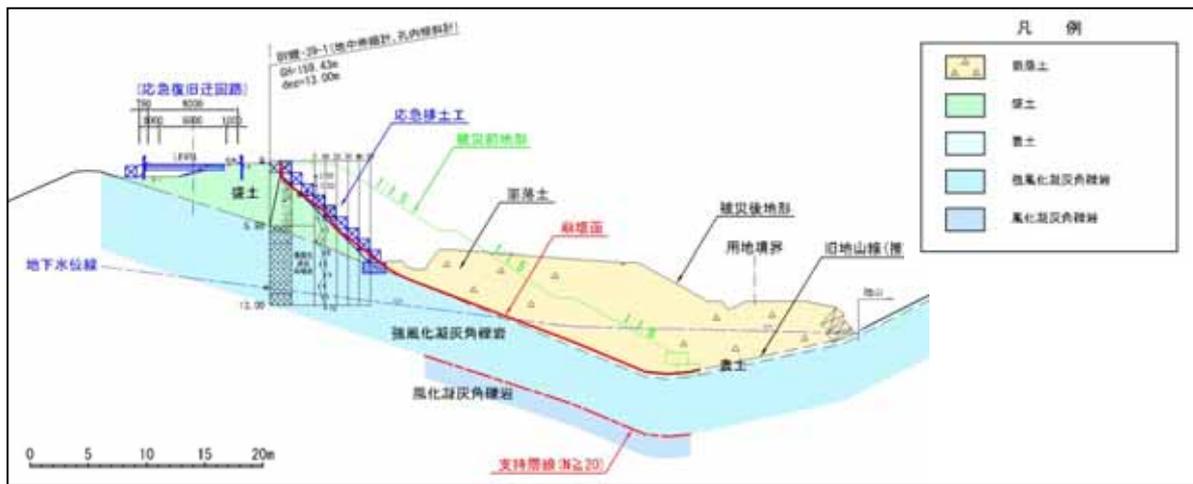


図 5.10.1-3 NO. 縦 - 39-1 主断面図

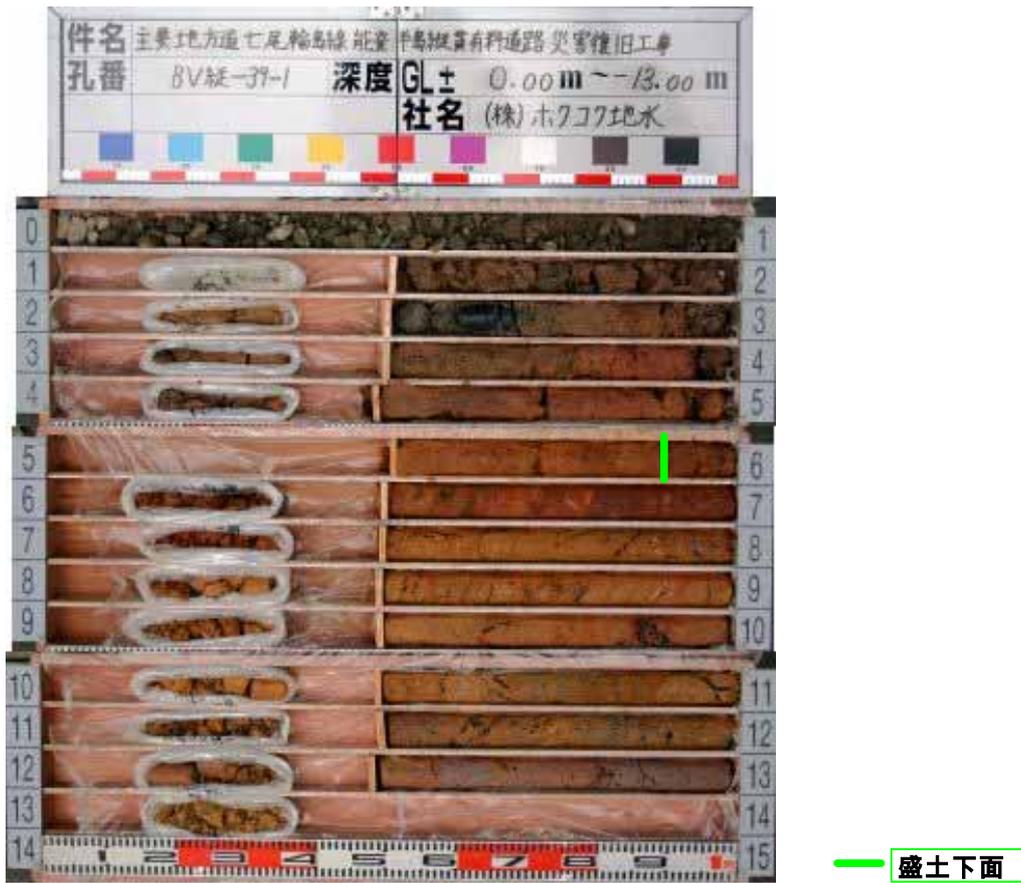
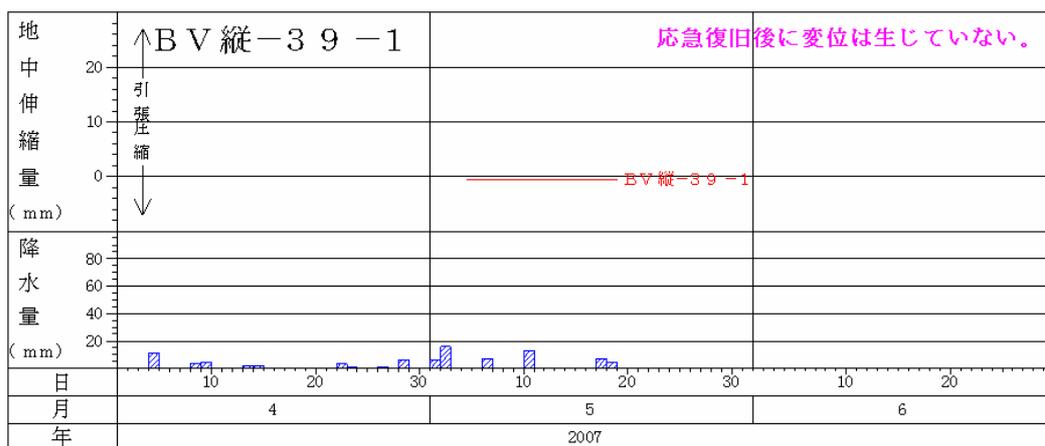


写真 5.10.1-3 NO.縦 - 39-1 コア写真



BV縦-39-1孔 : L = 13m

図 5.10.1-4 NO.縦 - 39-1 地中伸縮計観測グラフ

ボーリング柱状図

調査名 主要地方道七尾線輪島線 能登半島縦貫有料道路 災害復旧工事

ボーリングNo. 5536-66-49

事業・工事名

シート集

ボーリング名	BV縦-39-1	調査位置	縦-39：穴水町越の原その2	北緯	37° 12' 13.8"								
発注機関	石川県道路公社		調査期間	平成 19年 4月 21日 ~ 19年 4月 22日	東経	136° 52' 24.3"							
調査業者名	株式会社 ホクコク地水 電話 (076-241-7158)	主任技師	谷下 哲郎	現代場 代理人	谷下 哲郎	コ 監 定 者	谷下 哲郎	ボーリング 責任者	坂田 敏峰				
孔口標高	GN=159.43m	角	180° 上 90° 下	方	北 270° 西	東 90° 東 150°	地盤勾配	水平 30°	使用機種	試錘機 YBM-05 エンジン ヤンマー8PS	ハンマー 落下用具	コーンブーリー	
総掘進長	13.00m	度										ポンプ	丸山動環

標高 尺 (m)	層厚 (m)	深 (m)	柱状 図	土質 区分	色 調	相 対 密 度	相 対 湿度	相 対 湿度	記 事	孔内 水位 (m)	標準貫入試験				原位置 試験 深 (m)	試験 名 および 結果	試料 採取 深 (m)	採取 方法	室内 試験 ()	掘 進 日
											深 度 (m)	10cm ごとの 打撃 回数	10 20 30	貫入 量 (cm)						
159.35	1.10	1.10		粘土(礫)	暗灰				路床の砕石。		1.10	1	1	1	1					
158.25	1.10	2.20		粘土へ礫混り砂質粘土	黄褐色				礫混り砂質粘土から成る盛土。		2.30	2	1	1	2					
157.15	1.10	3.30		含有礫はφ8cm以下の安山岩及び凝灰岩の岩片。	黄褐色				含有礫はφ8cm以下の安山岩及び凝灰岩の岩片。		3.40	3	1	1	3					
156.05	1.10	4.40		2.5~2.7mlは火山角礫の片状コア。	黄褐色				2.5~2.7mlは火山角礫の片状コア。		4.50	4	1	1	4					
154.95	1.10	5.50		植物根が5%混入する強風化岩。	黄褐色				植物根が5%混入する強風化岩。		5.60	5	2	2	5					
153.85	1.10	6.60		強風化凝灰角礫岩の岩片の集積状を示し、高含水。	黄褐色				強風化凝灰角礫岩の岩片の集積状を示し、高含水。		6.70	6	1	1	6					
152.75	1.10	7.70		岩相はφ20cm以下の火山角礫を主体とし、塊状。	黄褐色				岩相はφ20cm以下の火山角礫を主体とし、塊状。		7.80	7	2	2	7					
151.65	1.10	8.80		岩片が指圧で潰れる程の強風化岩。	黄褐色				岩片が指圧で潰れる程の強風化岩。		8.90	8	1	1	8					
150.55	1.10	9.90		黒腐土の割目が見られる。	黄褐色				黒腐土の割目が見られる。		10.00	9	3	3	9					
149.45	1.10	11.00		8.0m付近で割目への若干の黒水がある。	黄褐色				8.0m付近で割目への若干の黒水がある。		11.10	10	1	1	11					
148.35	1.10	12.10		岩相はφ20cm以下の火山角礫を主体とし、塊状。	黄褐色				岩相はφ20cm以下の火山角礫を主体とし、塊状。		12.20	11	2	2	12					
147.25	1.10	13.20			黄褐色						13.30	12	3	3	13					
146.15	1.10	14.30			黄褐色						14.40	13	3	3	14					

39-1孔：L = 13m

図 5.10.1-5 NO.縦 - 39-1 ボーリング柱状図

5.10.2 NO. 縦 - 39-1 復旧対策

(1) 本復旧までの監視計画

追従崩壊から迂回路部の安全を確保する目的から、地中伸縮計（孔内傾斜計併設）による監視を実施する(BV 縦-39-1)。

【管理基準】

1日当り 5mm で「観測強化体制」

- ・ 24 時間データ監視体制、変動量の増加、累積的変動の監視

1日当り 10mm または道路等に変状発生で「警戒体制」

- ・ 道路安全対策協議会の設置、施工中の場合は工事一時中止、道路通行に関する措置の決定、対策工の選定

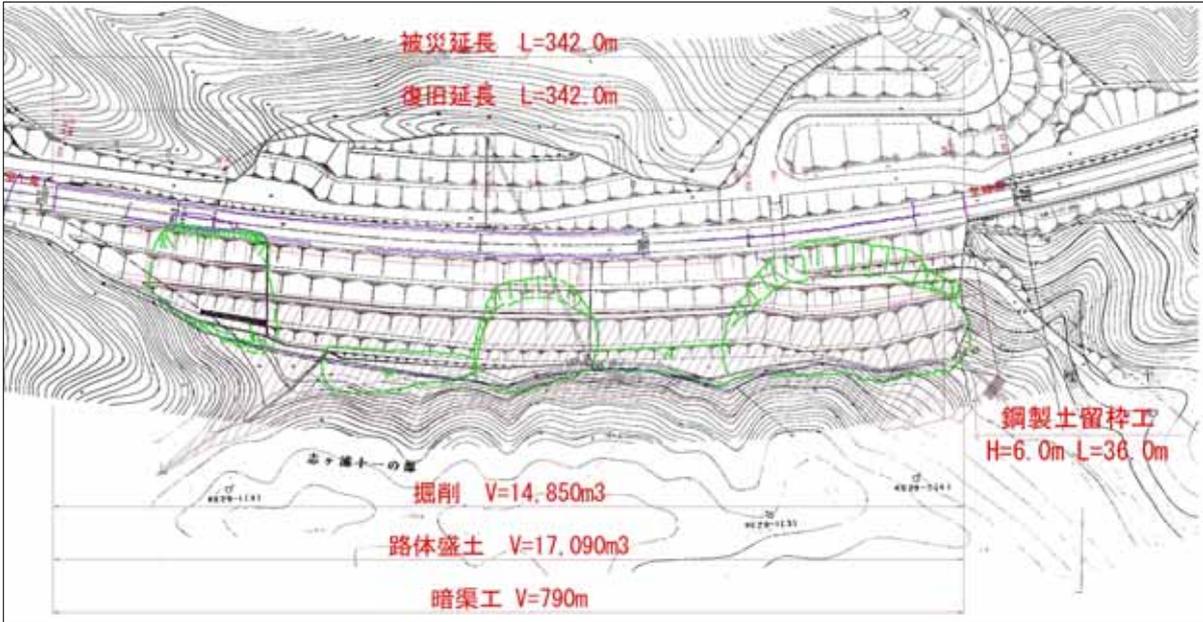


図 5.10.2-1 NO.縦 - 39 平面図

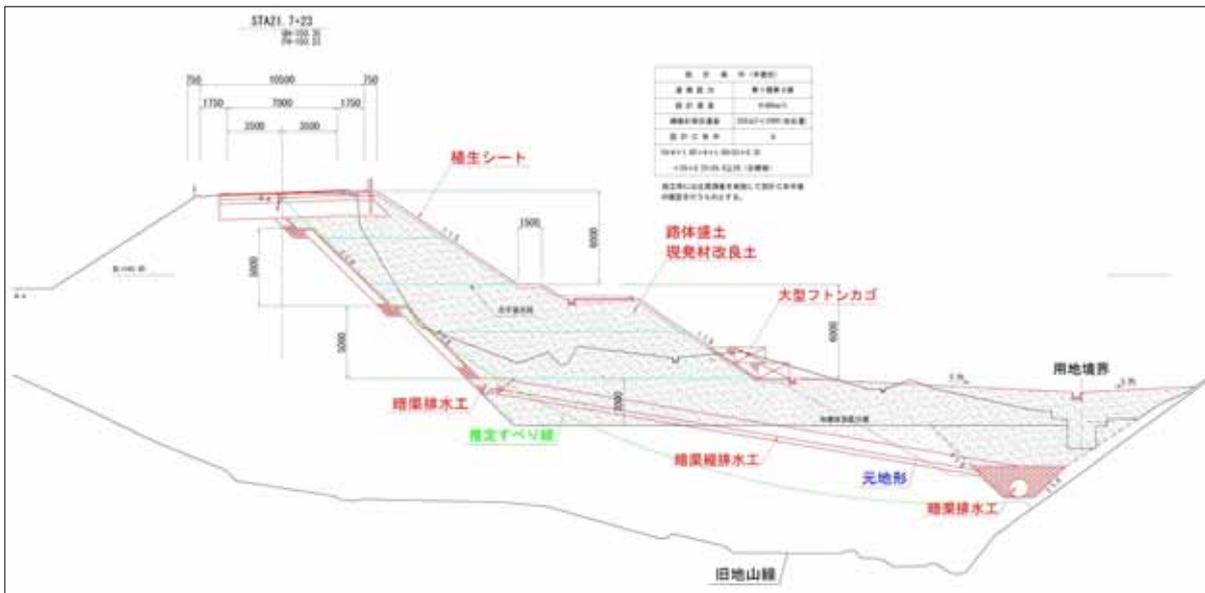


図 5.10.2-2 NO.縦 - 39 標準断面図

5.11 能登半島縦貫有料道路 NO.39 被害状況及び復旧対策

5.11.1 能登半島縦貫有料道路 縦 - 39 被害状況

(1) 被害状況

高さ約 24m の高盛土区間で上り車線が内浦側（または、南東側）に 3 箇所崩壊し、崩落土砂は直下部を流下する谷部を閉塞した。

(2) 復旧方針

盛土の安定を図るため、押え盛土（レベル盛土）により、路体盛土高を 2 段として施工している。路体盛土材は、地山（別所岳）の改良土を使用し、押え盛土は他工区の崩土土砂を受け入れる。



図 5.11.1-1 NO.縦 - 39 位置図



写真 5.11.1-1 NO.縦 - 39 被災後写真



写真 5.11.1-2 NO.縦 - 39 応急復旧後写真

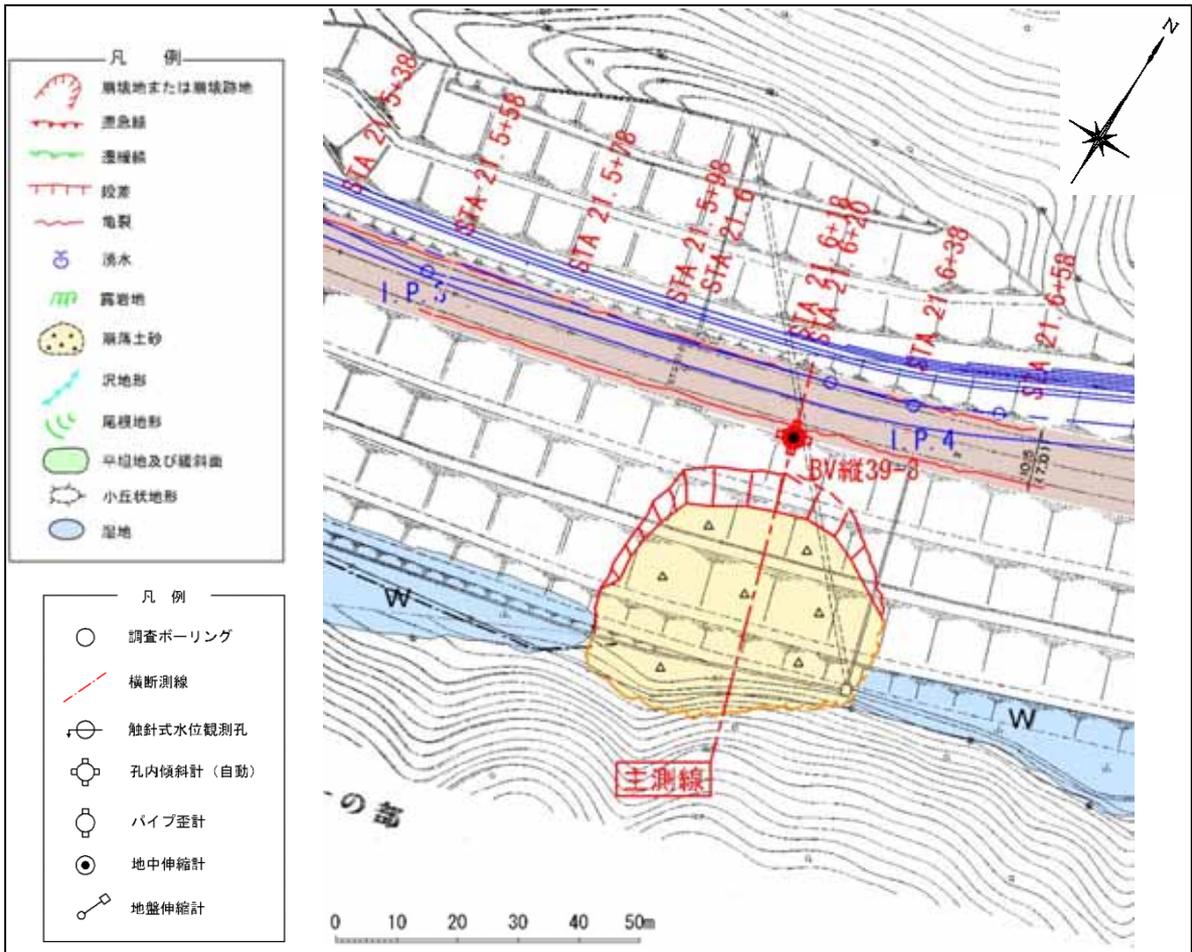


図 5.11.1-2 NO.縦 - 39-2 平面図

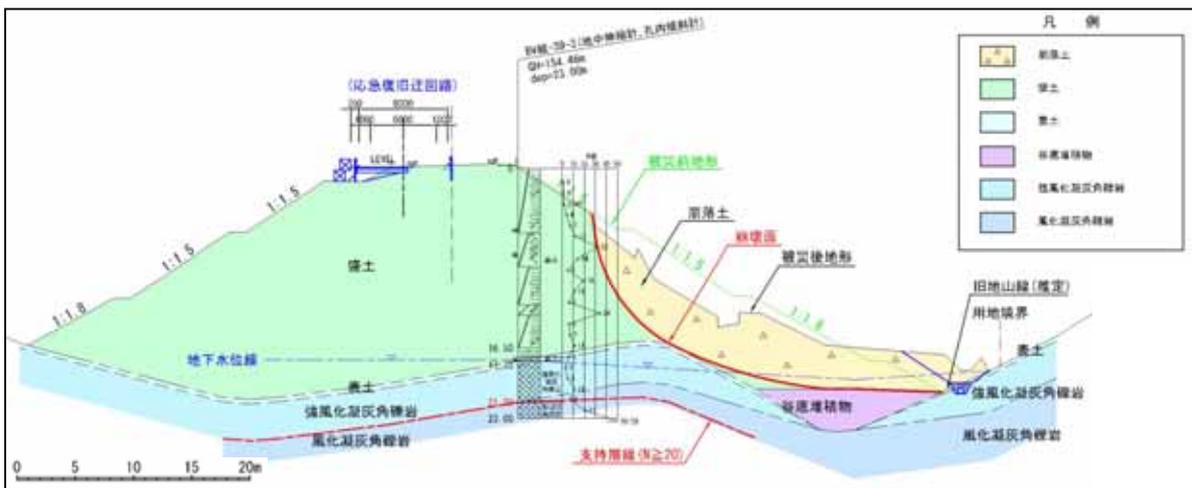


図 5.11.1-3 NO.縦 - 39-2 主断面図

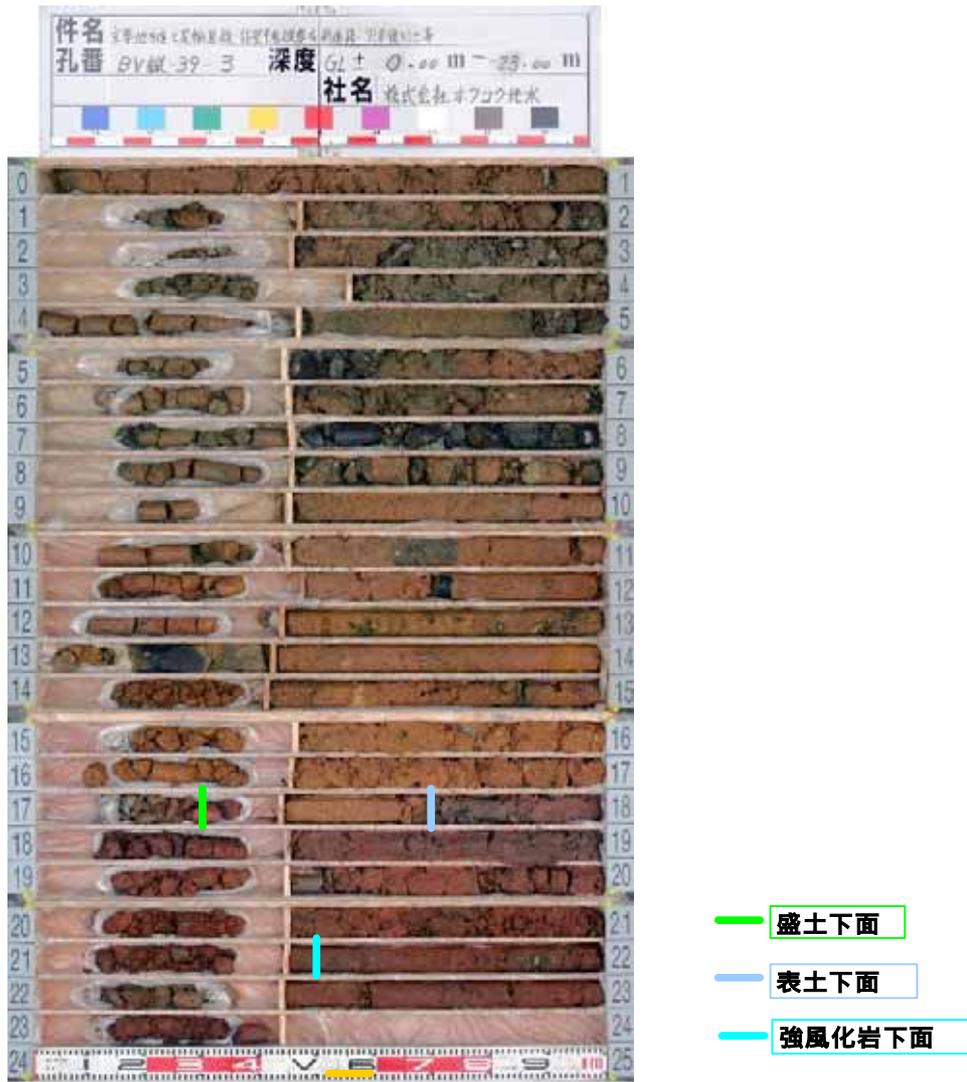
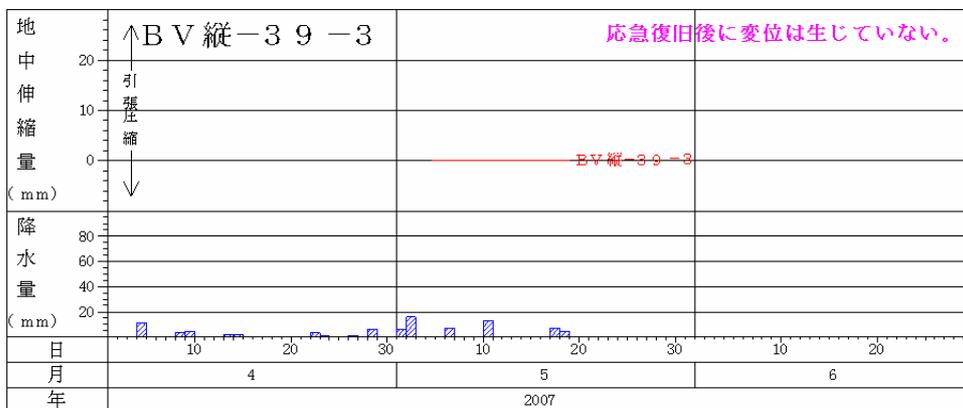


写真 5.11.1-3 NO.縦 - 39-2 コア写真



BV縦39-3孔 : L = 23m

図 5.11.1-4 NO.縦 - 39-2 地中伸縮計観測グラフ

ボーリング柱状図

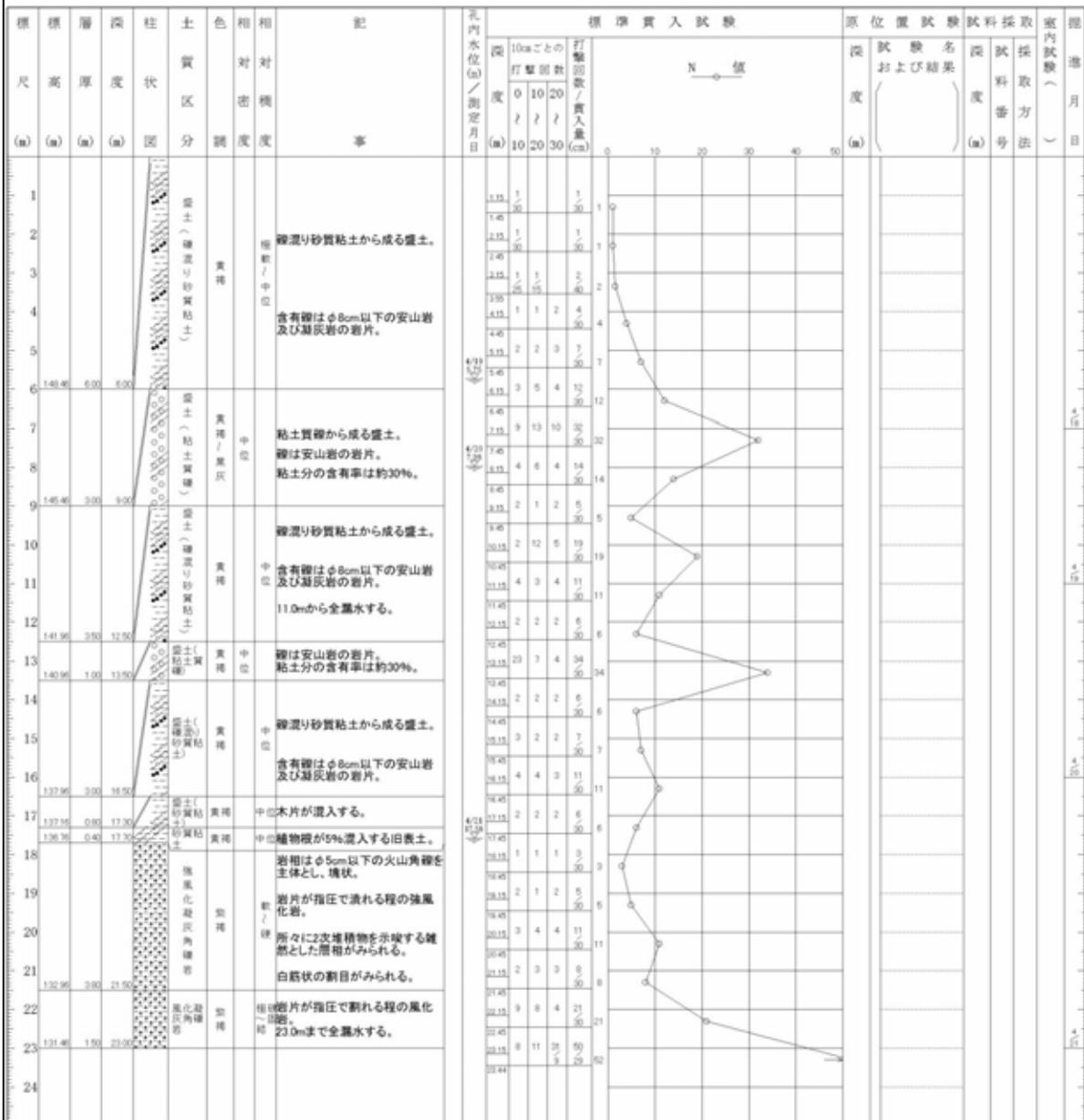
調査名 主要地方道七尾線輪島線 能登半島縦貫有料道路 災害復旧工事

ボーリングNo. 5536-66-49

事業・工事名 _____

シート集 _____

ボーリング名	BV縦-39-3	調査位置	縦-39：穴水町越の原その2			北緯	37° 12' 16.2"
発注機関	石川県道路公社		調査期間	平成 19年 4月 18日 ~ 19年 4月 21日		東経	136° 52' 27.3"
調査業者名	株式会社 ホクコク地水 電話(076-241-7158)	主任技師	谷下 哲郎	現代補 代理人	谷下 哲郎	コ 監定者	谷下 哲郎
ボーリング責任者							吉村 正則
孔口標高	GH=154.45m	角	180° 上 90° 下 0°	方	北 0° 西 270° 東 90° 南 180°	地盤勾配	水平 0° 船道 25°
総掘進長	23.00m	使用機種	YBM-05DA-2		ハンマー 落下用具	コーンブーリー	
		エンジン	NFD-9		ポンプ	丸山MS-410	



39-3孔 : L = 23m

図 5.11.1-5 NO.縦 - 39-2 ボーリング柱状図

5.11.2 NO. 縦 - 39-2 復旧対策

(1) 本復旧までの監視計画

追従崩壊から迂回路部の安全を確保する目的から、地中伸縮計（孔内傾斜計併設）による監視を実施する(BV 縦-39-3)。

【管理基準】

1日当り 5mm で「観測強化体制」

- ・ 24 時間データ監視体制、変動量の増加、累積的変動の監視

1日当り 10mm または道路等に変状発生で「警戒体制」

- ・ 道路安全対策協議会の設置、施工中の場合は工事一時中止、道路通行に関する措置の決定、対策工の選定

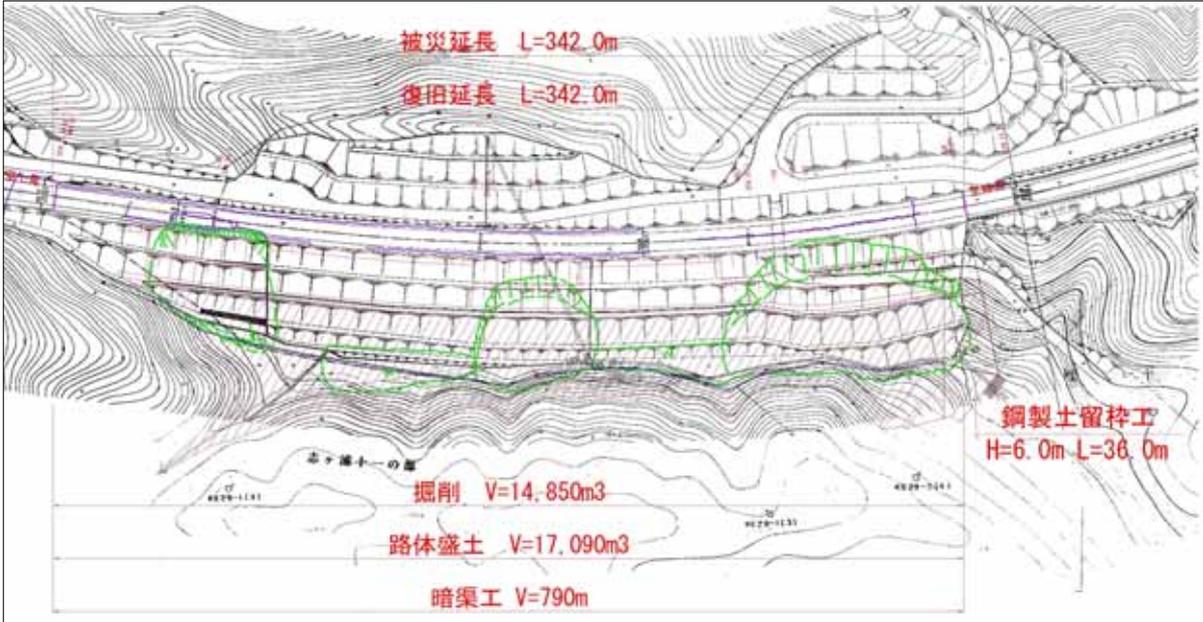


図 5.11.2-1 NO.縦 - 39 平面図

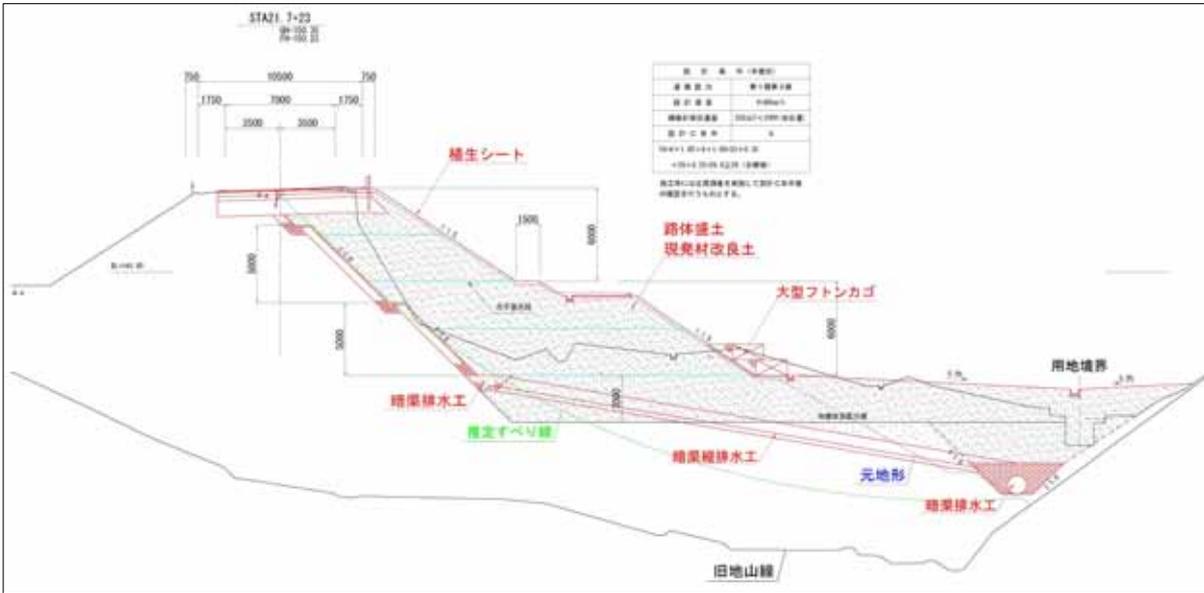


図 5.11.2-2 NO.縦 - 39 標準断面図

5.12 能登半島縦貫有料道路 NO.39 被害状況及び復旧対策

5.12.1 能登半島縦貫有料道路 縦 - 39 被害状況

(1) 被害状況

高さ約 24m の高盛土区間で上り車線が内浦側（または、南東側）に 3 箇所崩壊し、崩落土砂は直下部を流下する谷部を閉塞した。

(2) 復旧方針

盛土の安定を図るため、押え盛土（レベル盛土）により、路体盛土高を 2 段として施工している。路体盛土材は、地山（別所岳）の改良土を使用し、押え盛土は他工区の崩土土砂を受け入れる。



図 5.12.1-1 NO.縦 - 39 位置図



写真 5.12.1-1 NO.縦 - 39 被災後写真



写真 5.12.1-2 NO.縦 - 39 応急復旧後写真

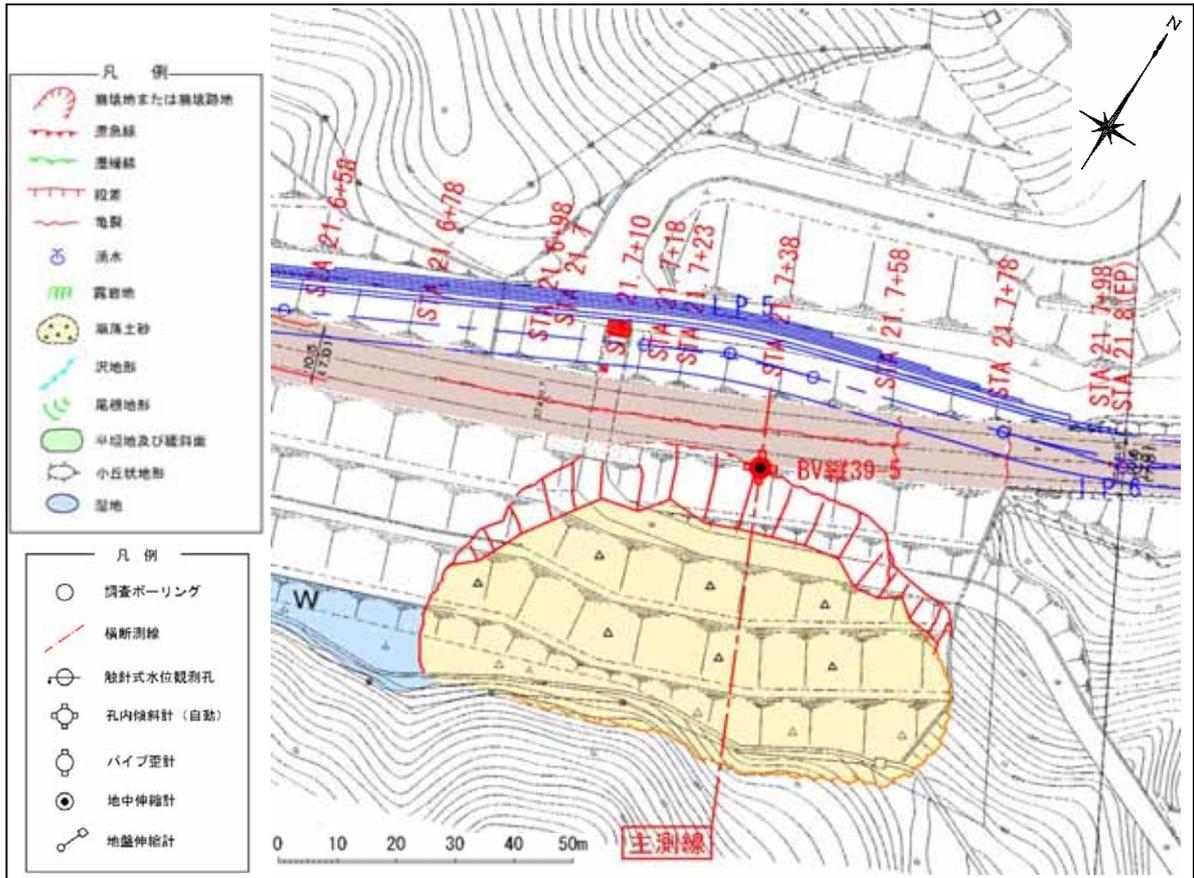


図 5.12.1-2 NO.縦 - 39-3 平面図

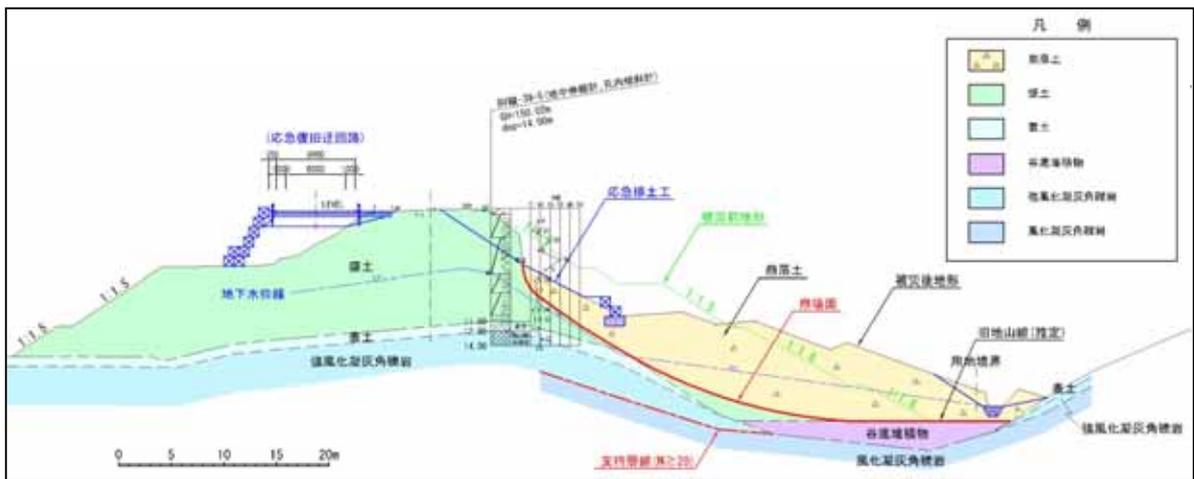


図 5.12.1-3 NO.縦 - 39-3 主断面図

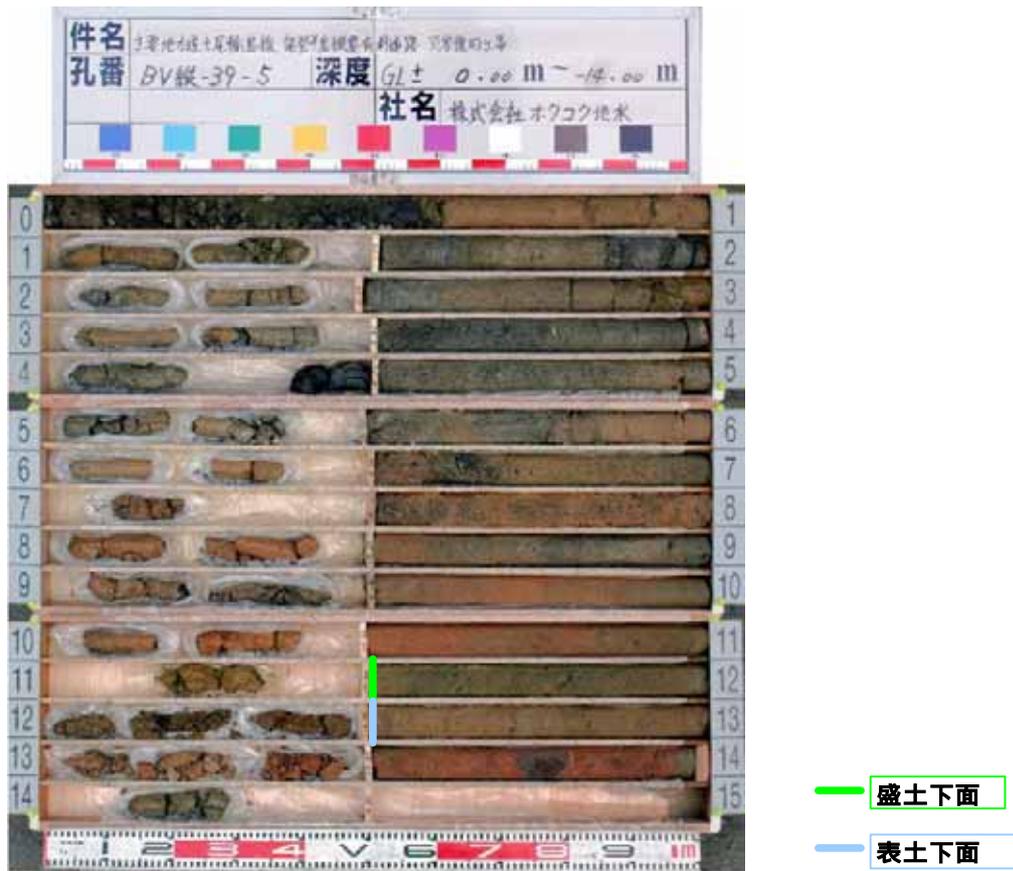
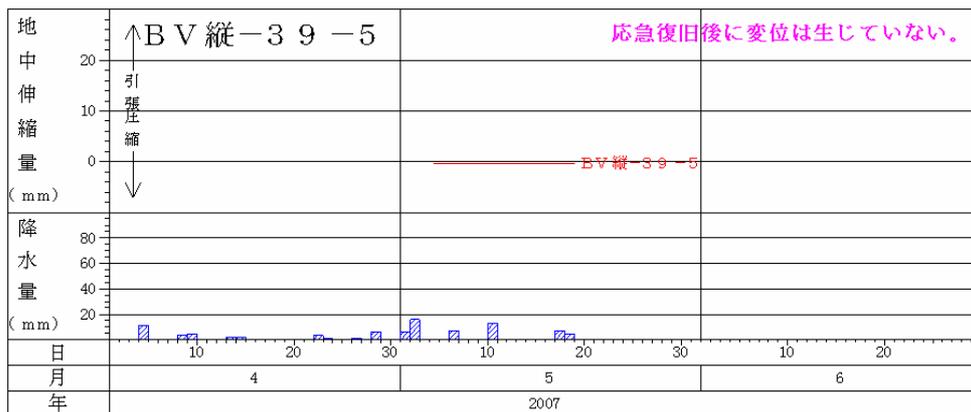


写真 5.12.1-3 NO.縦 - 39-3 コア写真



BV縦-39-5孔 : L = 14m

図 5.12.1-4 NO.縦 - 39-3 地中伸縮計観測グラフ

ボーリング柱状図

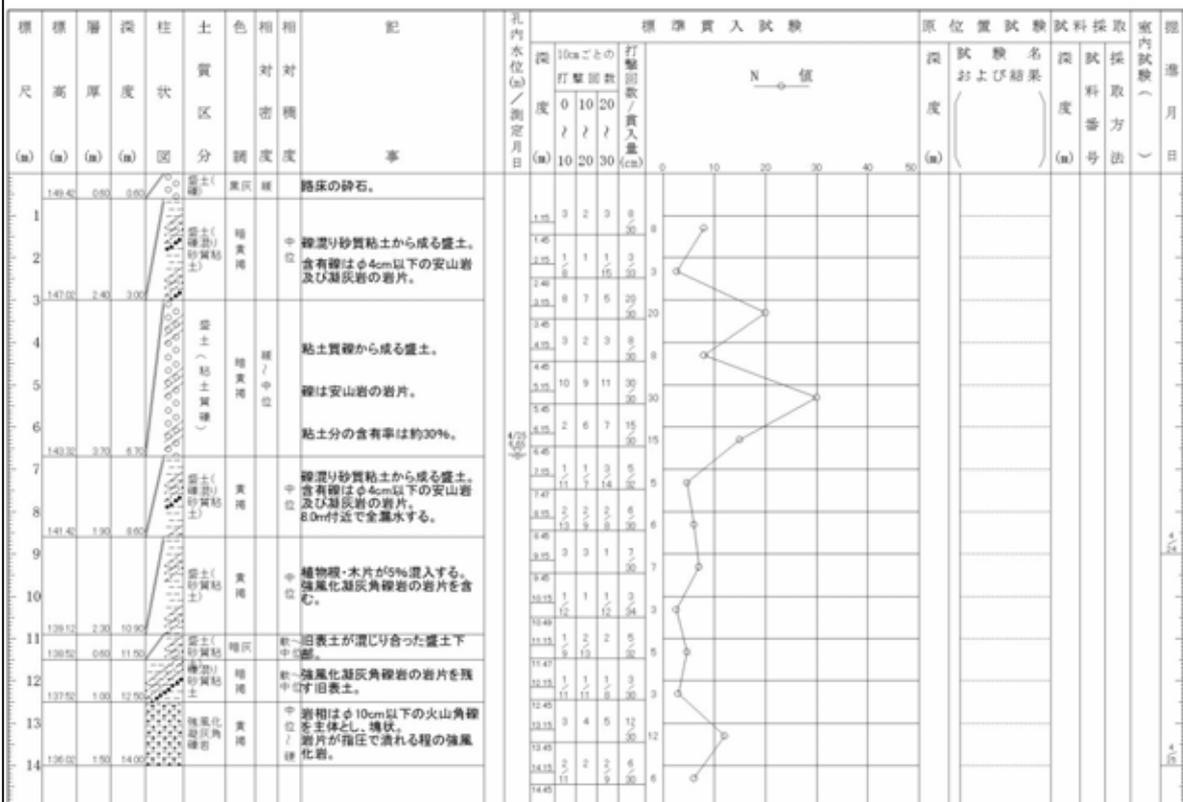
調査名 主要地方道七尾線輪島線 能登半島縦貫有料道路 災害復旧工事

ボーリングNo. 5536-66-49

事業・工事名

シートNo.

ボーリング名	BV縦-39-5	調査位置	縦-39: 穴水町越の原その2			北緯	37° 12' 17.8"		
発注機関	石川県道路公社			調査期間	平成 19年 4月 13日 ~ 19年 4月 25日		東経	136° 52' 29.4"	
調査業者名	株式会社 ホクコク地水 電話 (076-241-7158)	主任技師	谷下 晋郎	現代理人	谷下 晋郎	コ 鑑定者	谷下 晋郎	ボーリング責任者	横山 直之
孔口標高	GN 150.02m	角	180° 上 90° 下	方	北 6° 西 27° 東 90° 南 130°	地盤勾配	水平 0° 鉛直 0°	使用機種	カノKR50HCW
総掘進長	14.00m	度	0°	度	0°	度	0°	エンジン	ヤンマーNFD9
								ハンマー 落下用具	コーンブリー
								ポンプ	カノVS-F



39-5孔 : L = 14m

図 5.12.1-5 NO.縦 - 39-3 ボーリング柱状図

5.12.2 NO. 縦 - 39-3 復旧対策

(1) 本復旧までの監視計画

追従崩壊から迂回路部の安全を確保する目的から、地中伸縮計（孔内傾斜計併設）による監視を実施する(BV 縦-39-5)。

【管理基準】

1日当り 5mm で「観測強化体制」

- ・ 24 時間データ監視体制、変動量の増加、累積的変動の監視

1日当り 10mm または道路等に変状発生で「警戒体制」

- ・ 道路安全対策協議会の設置、施工中の場合は工事一時中止、道路通行に関する措置の決定、対策工の選定

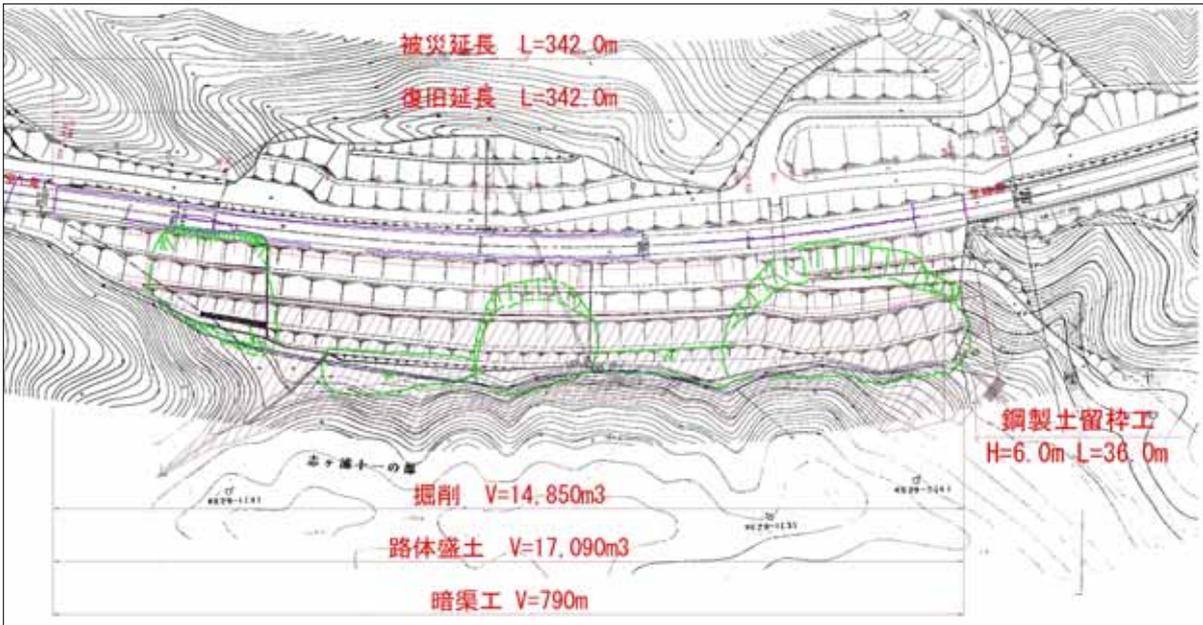


図 5.12.2-1 NO.縦 - 39 平面図

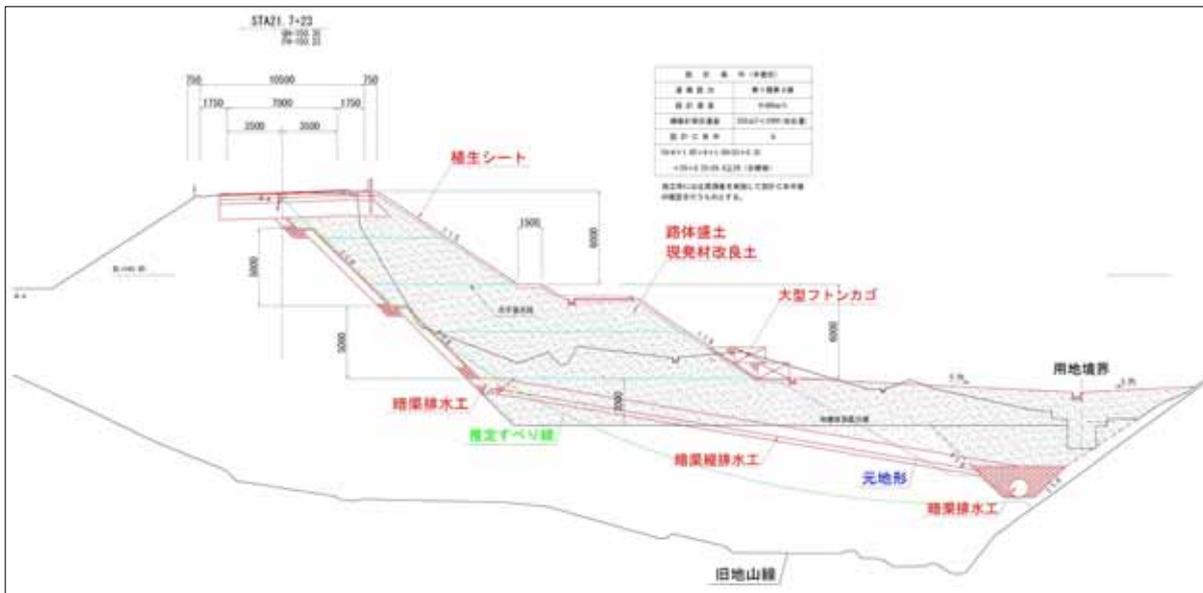


図 5.12.2-2 NO.縦 - 39 標準断面図

5.13 能登半島縦貫有料道路 NO.41 被害状況及び復旧対策

5.13.1 能登半島縦貫有料道路 縦 - 41 被害状況

(1) 被害状況

高さ約 30m の高盛土区間で延長約 100m にわたり上り車線が内浦側（または、東南東側）に崩壊し、崩落土砂は下部斜面に押し出された。

(2) 復旧方針

盛土の安定を図るため、押え盛土（レベル盛土）により、路体盛土高を 2 段として施工している。路体盛土材は、地山（別所岳）の改良土を使用し、押え盛土は他工区の崩土土砂を受け入れる。



図 5.13.1-1 NO.縦 - 41 位置図



写真 5.13.1-1 NO.縦 - 41 被災後写真



写真 5.13.1-2 NO.縦 - 41 応急復旧後写真

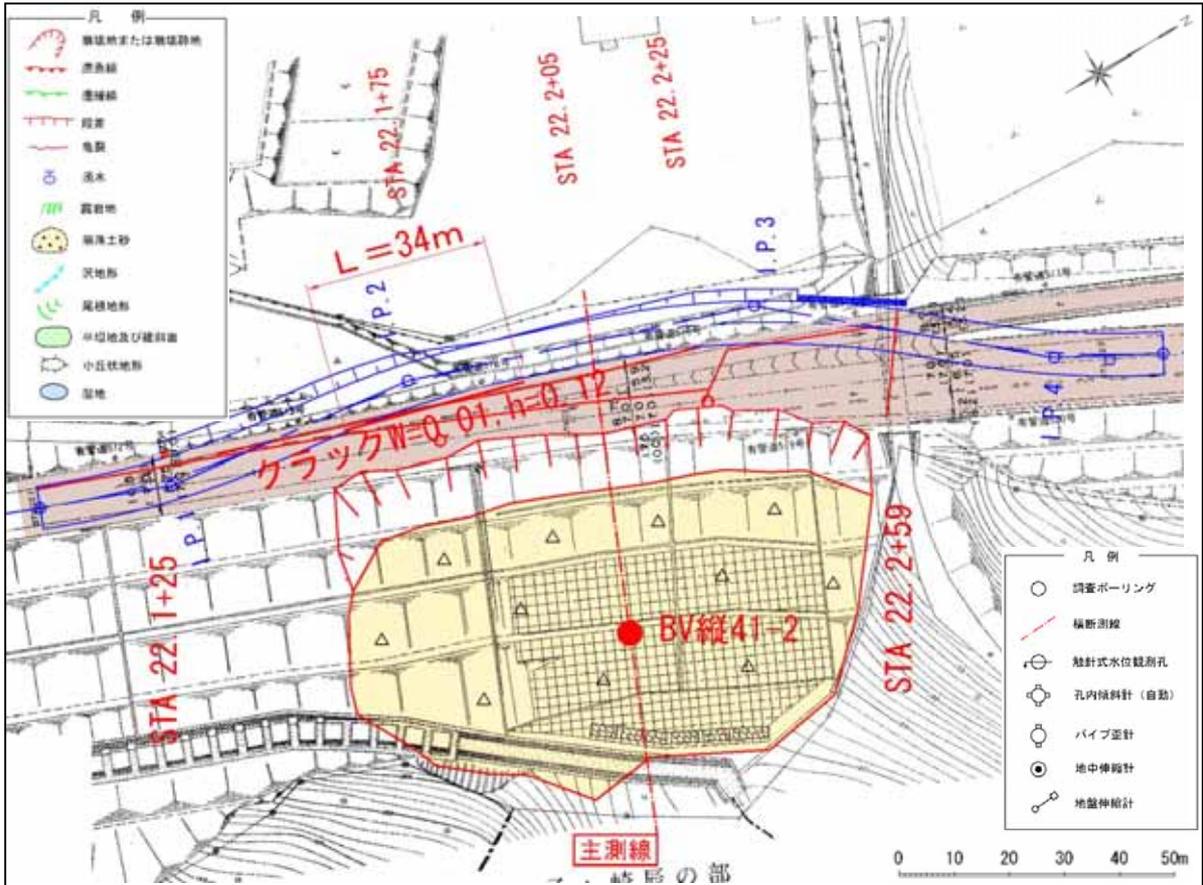


図 5.13.1-2 NO.縦 - 41 平面図

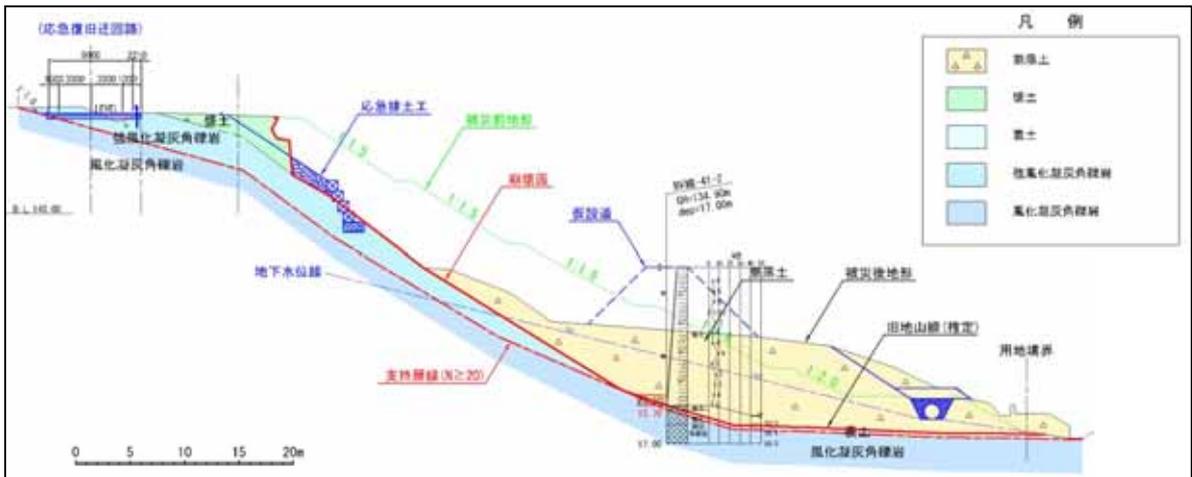
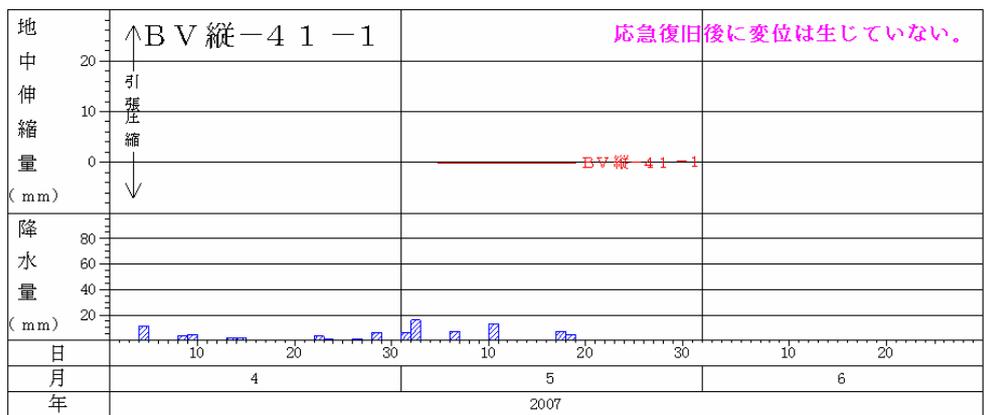


図 5.13.1-3 NO.縦 - 41 主断面図



写真 5.13.1-3 NO.縦 - 41 コア写真



BV縦-41-1孔 : L = 7m

図 5.13.1-4 NO.縦 - 41 地中伸縮計観測グラフ

ボーリング柱状図

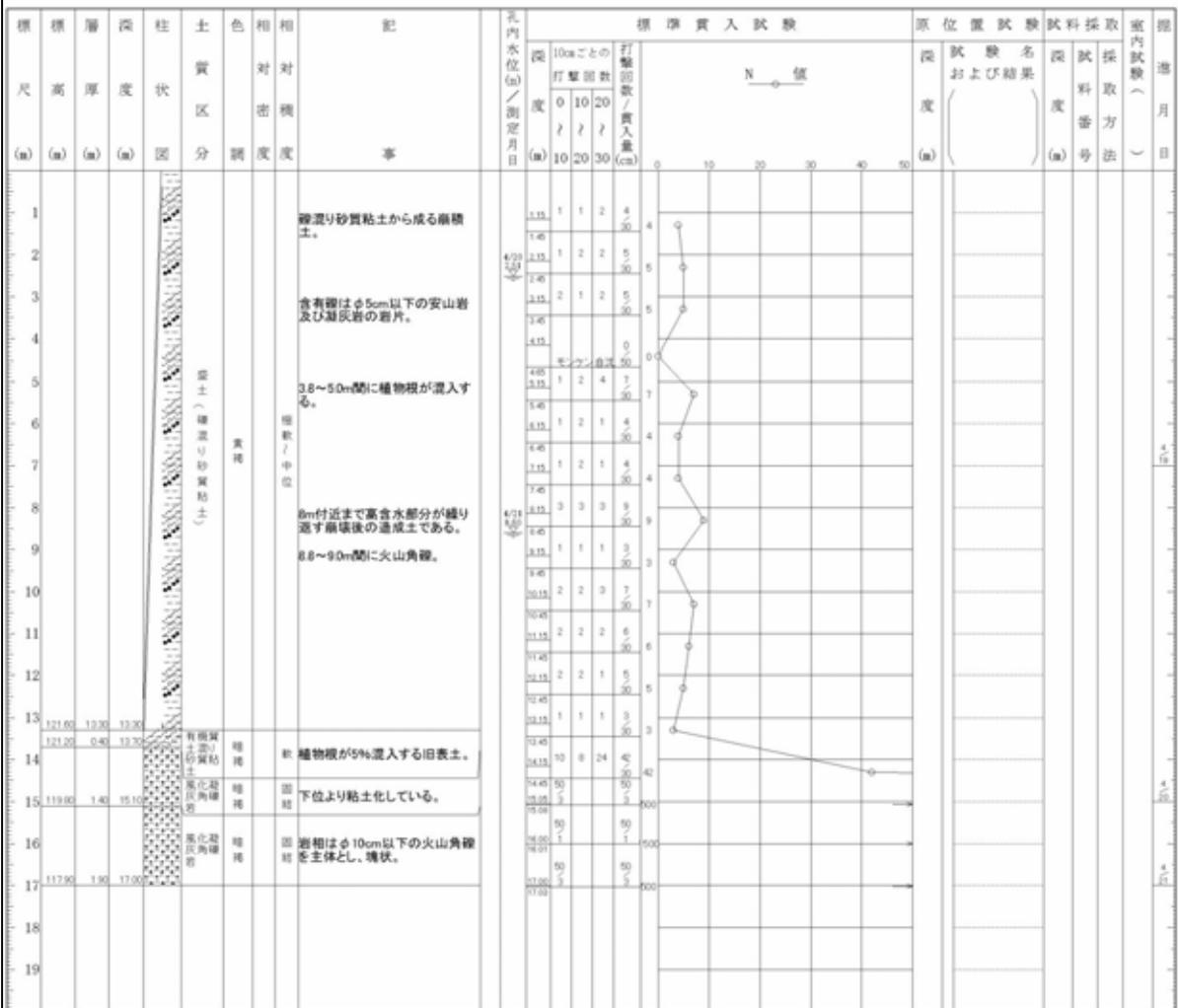
調査名 主要地方道七尾線輪島線 能登半島縦貫有料道路 災害復旧工事

ボーリングNo. 5536-67-50

事業・工事名 _____

シートNo. _____

ボーリング名	BV線-41-2	調査位置	縦-41：穴水町越の原その4			北緯	37° 12' 33.2"
発注機関	石川県道路公社		調査期間	平成 19年 4月 19日 ~ 19年 4月 21日		東経	136° 52' 40.6"
調査業者名	株式会社 ホクコク地水 電話 (076-241-7158)	主任技師	谷下 哲郎	現代人	谷下 哲郎	コア鑑定者	谷下 哲郎
ボーリング責任者			試験機	YBM-05DA-2		ハンマー落下用具	コーンブーリー
孔口標高	GH=134.90m	角	190° 上 90° 下	方	北 0° 270° 西 90° 東 135° 南	地盤勾配	水平 0° 鉛直 5°
総掘進長	17.00m	度	0°	向	135° 東	エンジン	ヤンマーNFD9
						ポンプ	カーシD50S



41-2孔：L = 17m

図 5.13.1-5 NO.縦 - 41 ボーリング柱状図

5.13.2 NO. 縦 - 41 復旧対策

(1)

現況の沢部を埋める事で、復旧盛土に対する押え盛土とする。

復旧盛土は、現地発生土を改良し盛土を行う。

盛土内部には、浸透水を排出する排水材を敷設する。

地下水排除のため暗渠工を旧沢地形に縦断的に敷設する。

埋め立てた沢部には水路排水機能回復のため函渠工を設置する。

埋め立てた沢部の先端には土砂流出を防ぐため、鋼製土留枠工を設置する。

(2) 本復旧までの監視計画

追従崩壊から迂回路部の安全を確保する目的から、地中伸縮計（孔内傾斜計併設）による監視を実施する(BV 縦-41-1)。

【管理基準】

1日当り 5mm で「観測強化体制」

- ・ 24 時間データ監視体制、変動量の増加、累積的変動の監視

1日当り 10mm または道路等に変状発生で「警戒体制」

- ・ 道路安全対策協議会の設置、施工中の場合は工事一時中止、道路通行に関する措置の決定、対策工の選定

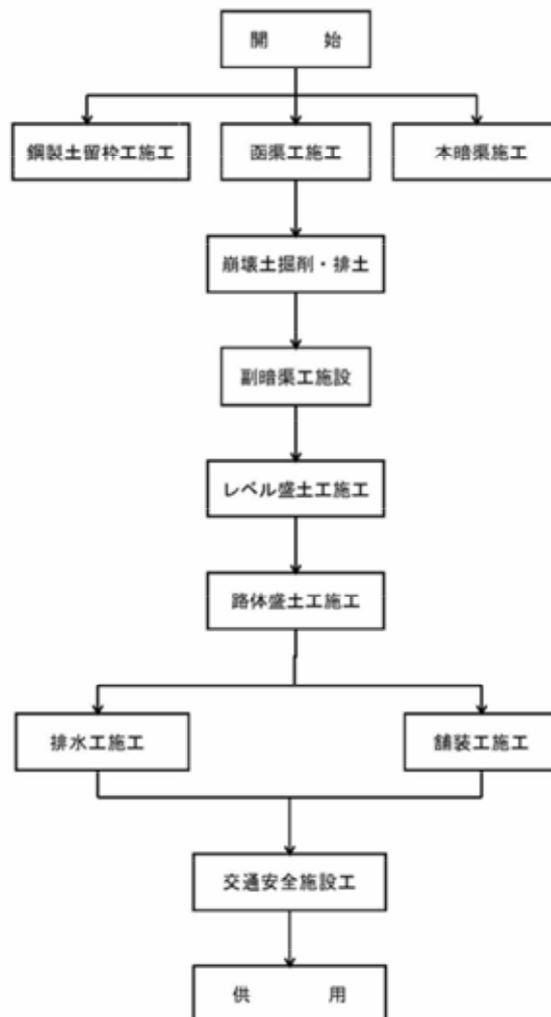


図 5.13.2-1 NO. 縦 - 41 復旧フロー

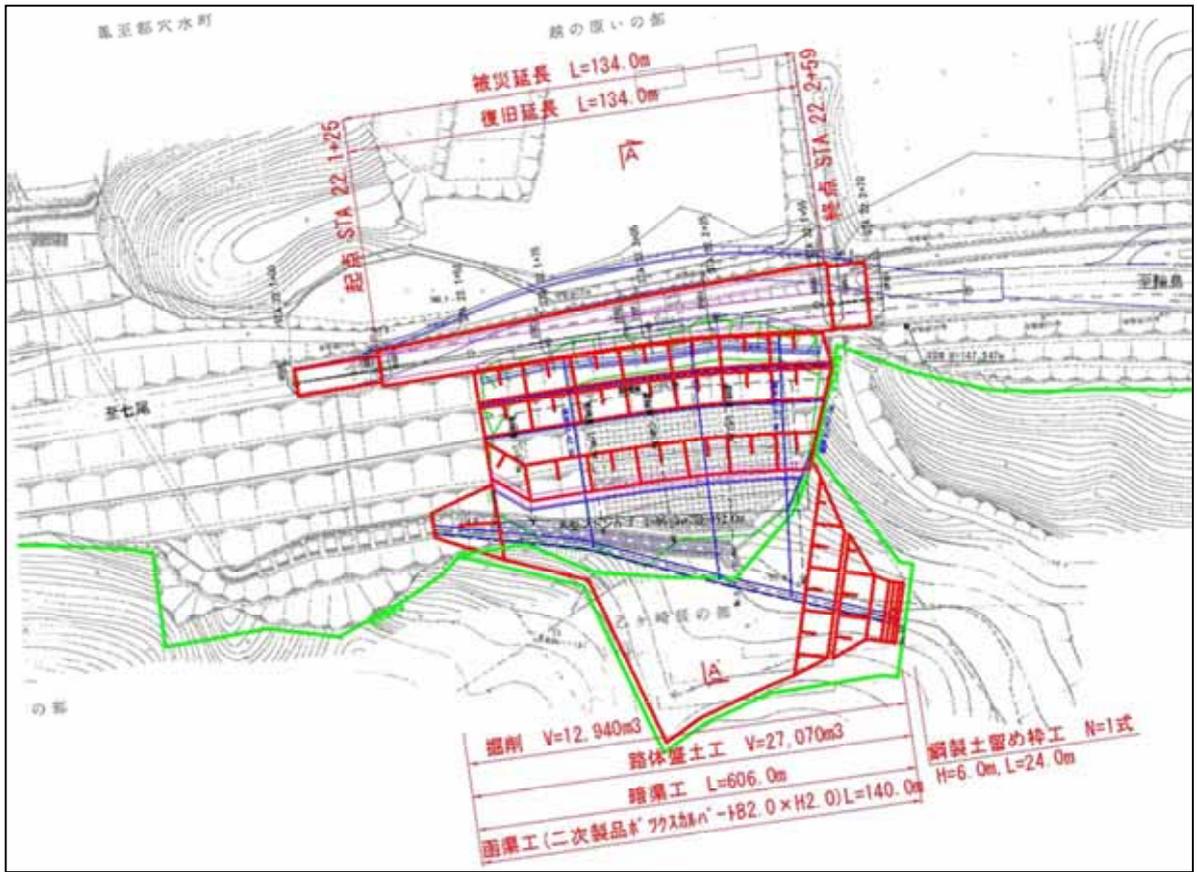


図 5.13.2-2 NO.縦 - 41 平面図

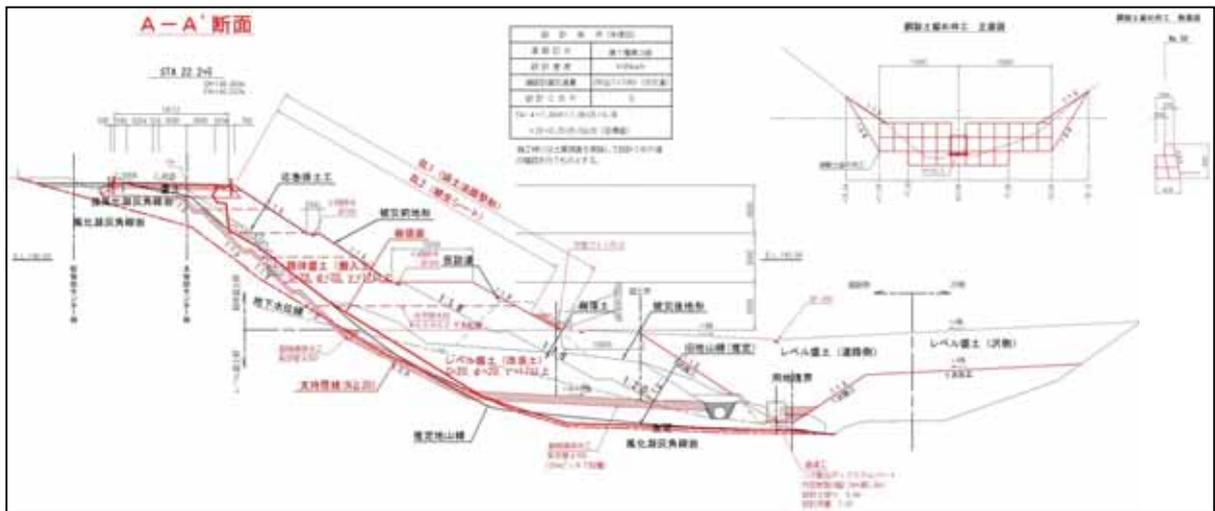


図 5.13.2-3 NO.縦 - 41 標準断面図

5.14 能登半島縦貫有料道路 NO.43 被害状況及び復旧対策

5.14.1 能登半島縦貫有料道路 縦 - 43 被害状況

(1) 被害状況

高さ約30mの能登大橋背面の高盛土区間で延長約25mにわたり上り車線測部が内浦側（または、東南東側）に崩壊し、崩落土砂は下部斜面に押し出された。

(2) 復旧方針

盛土の安定を図るため、押え盛土（レベル盛土）により、路体盛土高を2段として施工している。路体盛土材は、地山（別所岳）の改良土を使用し、押え盛土は他工区の崩土土砂を受け入れる。



図 5.14.1-1 NO.縦 - 43 位置図



写真 5.14.1-1 NO.縦 - 43 被災後写真

写真 5.14.1-2 NO.縦 - 43 応急復旧後写真

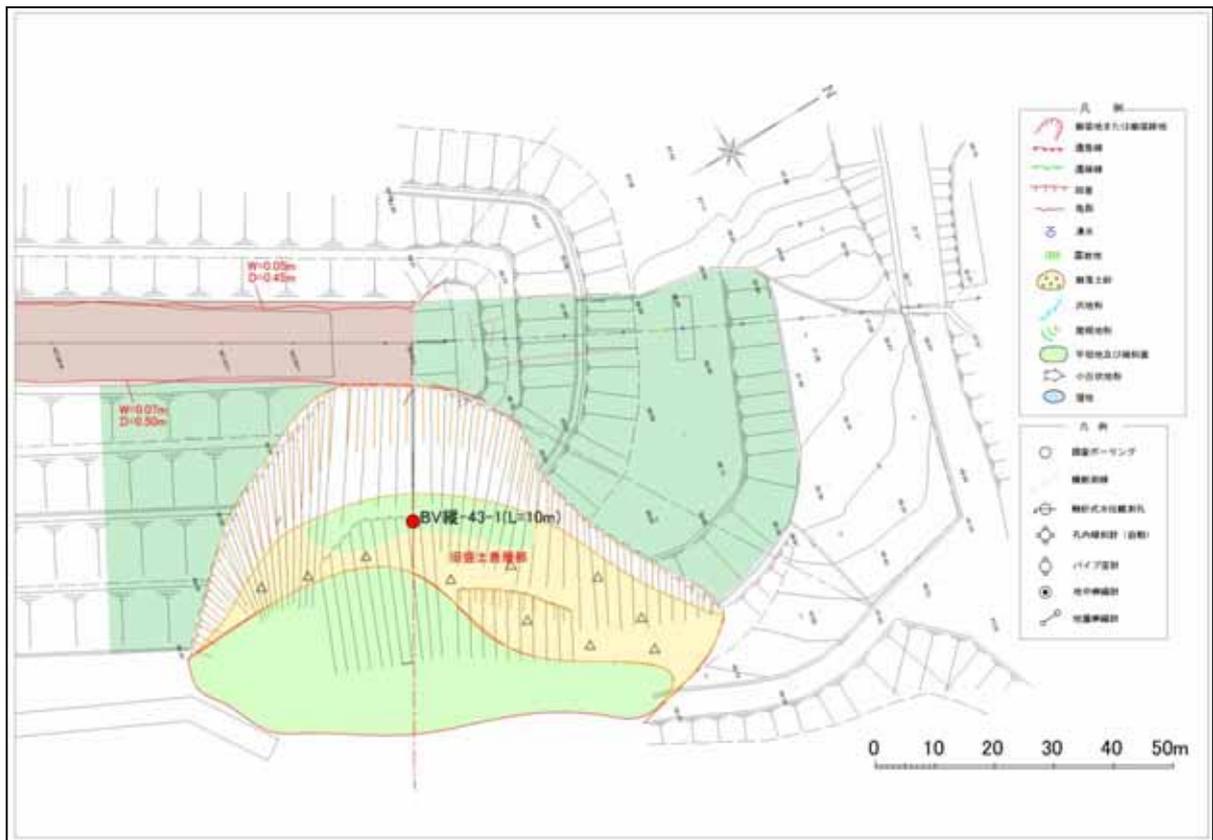


图 5.14.1-2 NO. 縦 - 43 平面図

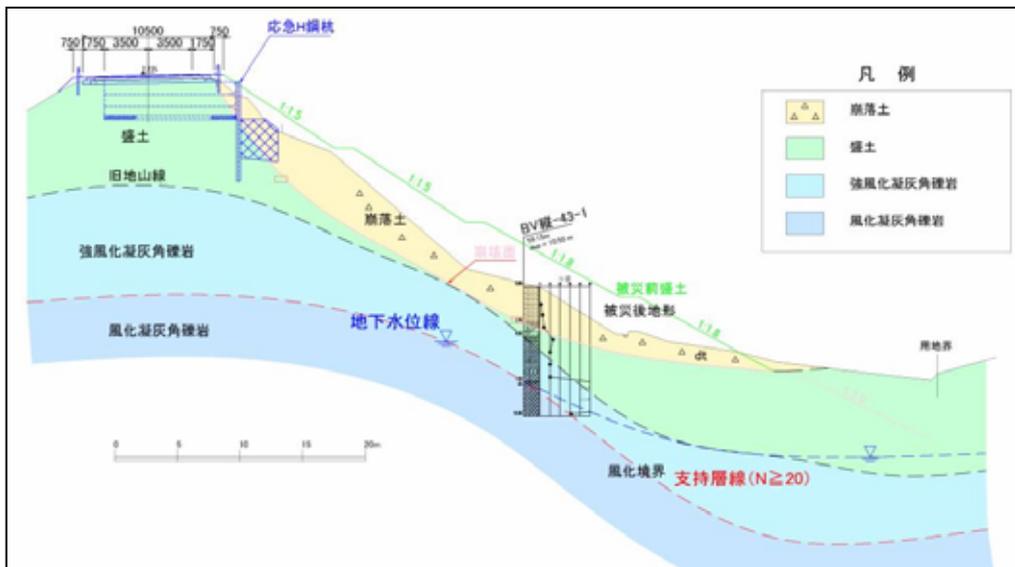
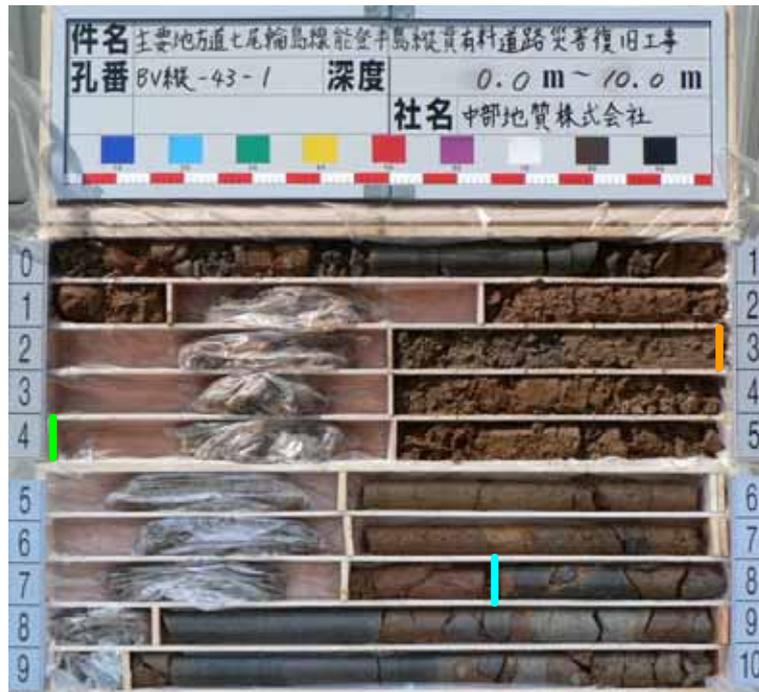
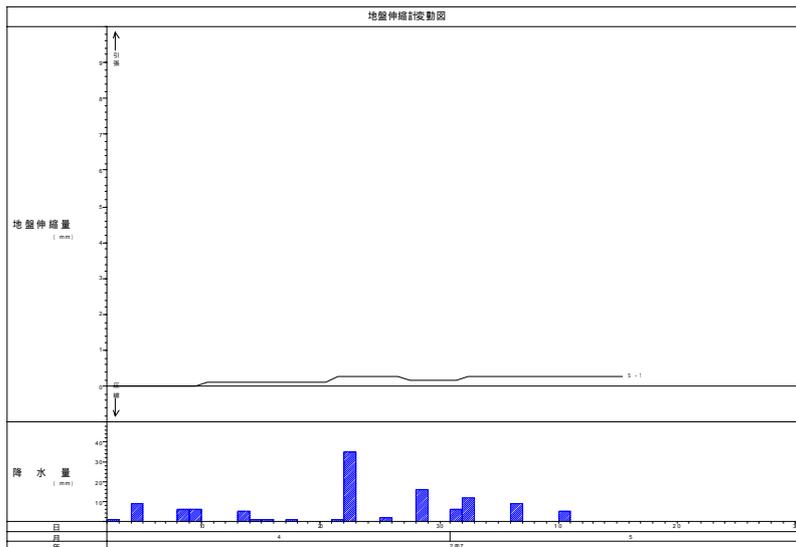


图 5.14.1-3 NO. 縦 - 43 主断面図



— 盛土下面 — 崩積土 — 強風化岩下面

写真 5.14.1-3 NO.縦 - 43 コア写真



5月15日現在で動きはほとんど見られない。現時点で工事はまだ行われておらず、仮復旧道路の監視は目視で行っている。工事開始後本格的な計測を開始する予定。

図 5.14.1-4 NO.縦 - 43 グラフ

ボーリング柱状図

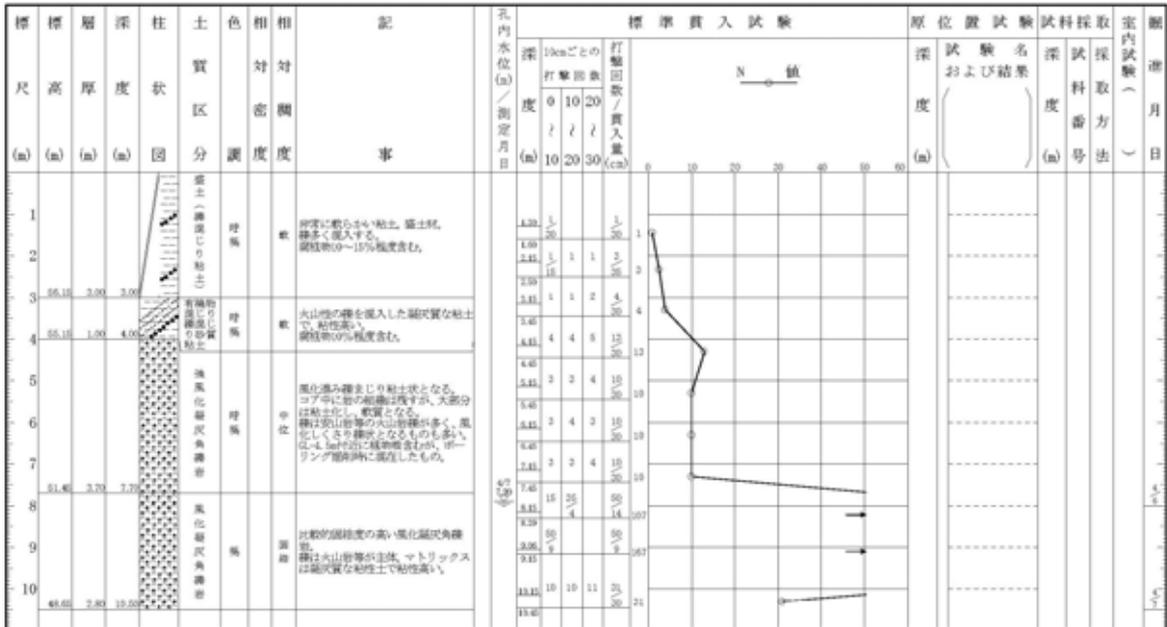
調査名 主要地方道 七尾輪島線 能登半島縦貫有料道路

ボーリングNo 5536-67-61

事業・工事名 災害復旧工事

シートNo

ボーリング名	BV縦-43-1	調査位置	穴水町 宇留地		北緯	37° 13' 25"						
発注機関	石川県 道路公社		調査期間	平成 19年 4月 5日 ~ 19年 4月 8日	東経	136° 53' 31"						
調査業者名	中部地質株式会社 電話(076-246-7887)	主任技師	斉藤 茂	現 場 代 理 人	米林 謙祐	コ ン 査 定 者	米林 謙祐	ボーリング責任者	吉村 正則			
孔口標高	59.15m	角	180°	方	北 0°	地盤勾配	約 5%	使用機種	YBM-05	ハンマー	落下用具	半自動落下法
総掘進長	10.50m	度	上 90°	方	270°	東 90°	西 130°	エンジン	NS70	ポンプ	TA-3	



BV縦-43-1孔 L=10m

図 5.14.1-5 NO.縦 - 43 ボーリング柱状図

5.14.2 NO. 縦 - 43 復旧対策

(1)

崩壊した盛土表土を掘削し、崩土上に約 6m の高さでレベル盛土を行う。レベル盛土上部は上幅 13m の押え盛土を行う。

盛土材としては、発生土及び搬入土を改良した材料を使用する。

盛土内部には、浸透水を排出する排水材を敷設する。

地下水排除のため暗渠工を旧盛土法尻に敷設する。

(2)[本復旧までの監視計画]

1. 仮復旧道路の監視について

本復旧工事施工時に、施工業者により H 鋼杭頭部を定点観測で測定 朝、夕 2 回測定し 1 日の変位量を算出、また目視により道路のクラック等発生の確認

【管理基準】

< 5mm/1 日 > または < 累計 30mm > で管理レベル 1 (観測強化体制)

・ 変動量の増加、累積的変動の監視

< 10mm/1 日 > または < 累計 50mm > または道路等に变状発生で管理レベル 2 (警戒体制)

・ 施工中の場合は工事一時中止、道路通行に関する措置の決定、対策工の選定

2. 本復旧時の施工の安全確保 (H 鋼より下部斜面の安全確保)

地表伸縮計により移動量を測定 (すべり頭部付近 3 測線程度)

【管理基準】

< 2mm/1 時間 > で作業員避難

パトライト、警報機設置により作業員に周知ができるようにする。

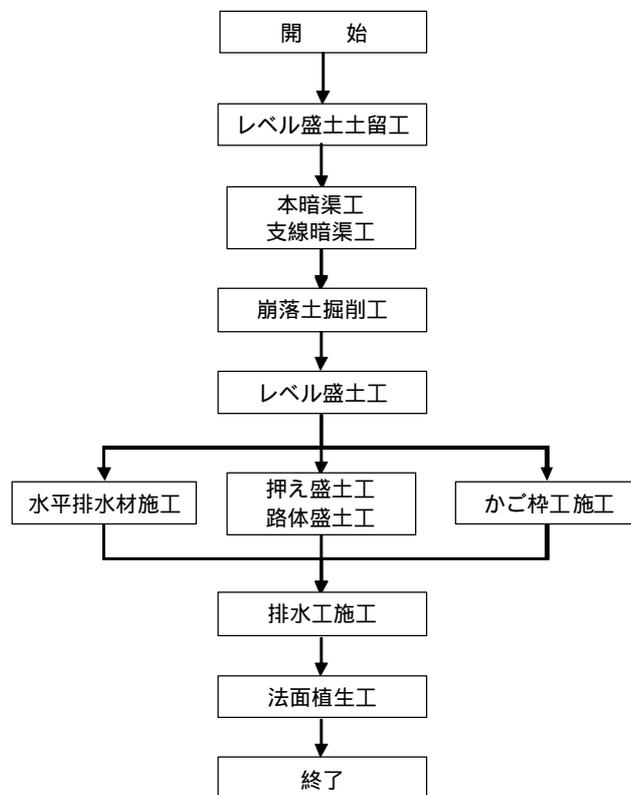


図 5.14.2-1 NO. 縦 - 43 復旧フロー

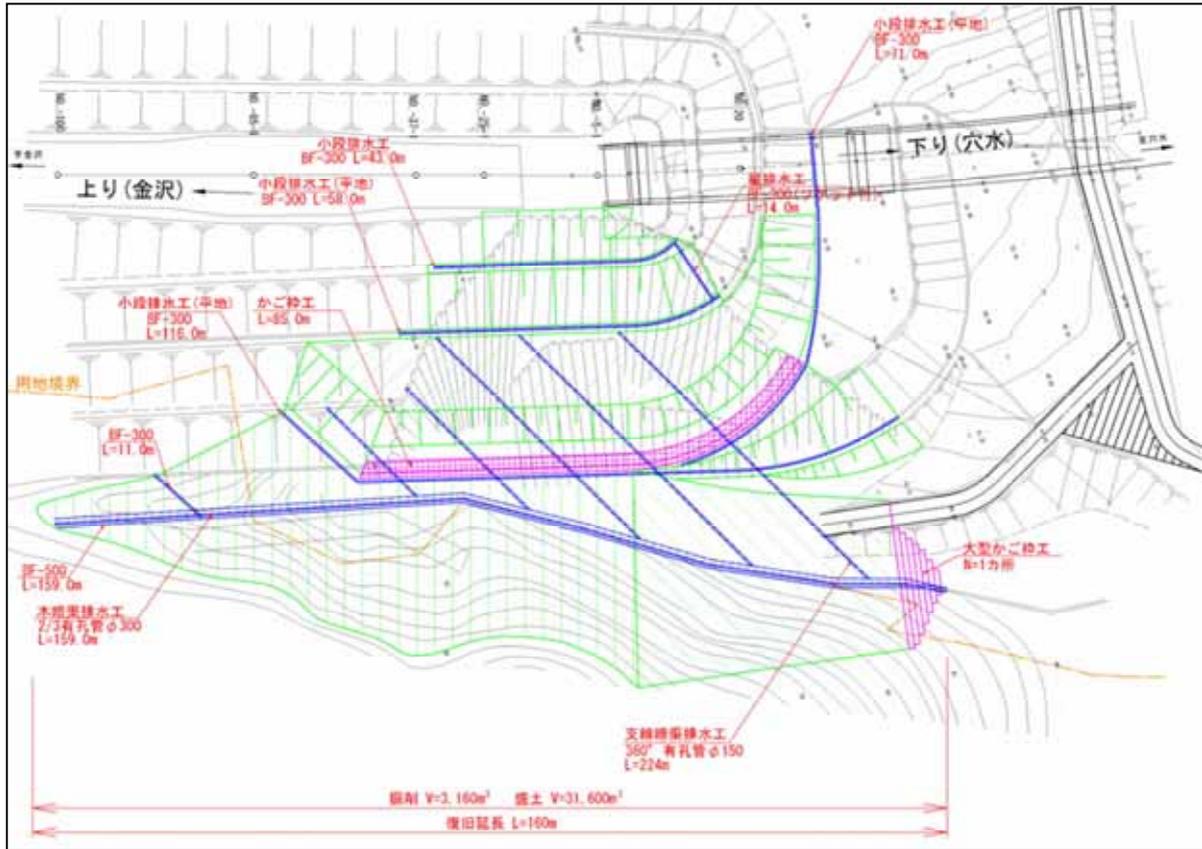


図 5.14.2-2 NO.縦 - 43 平面図

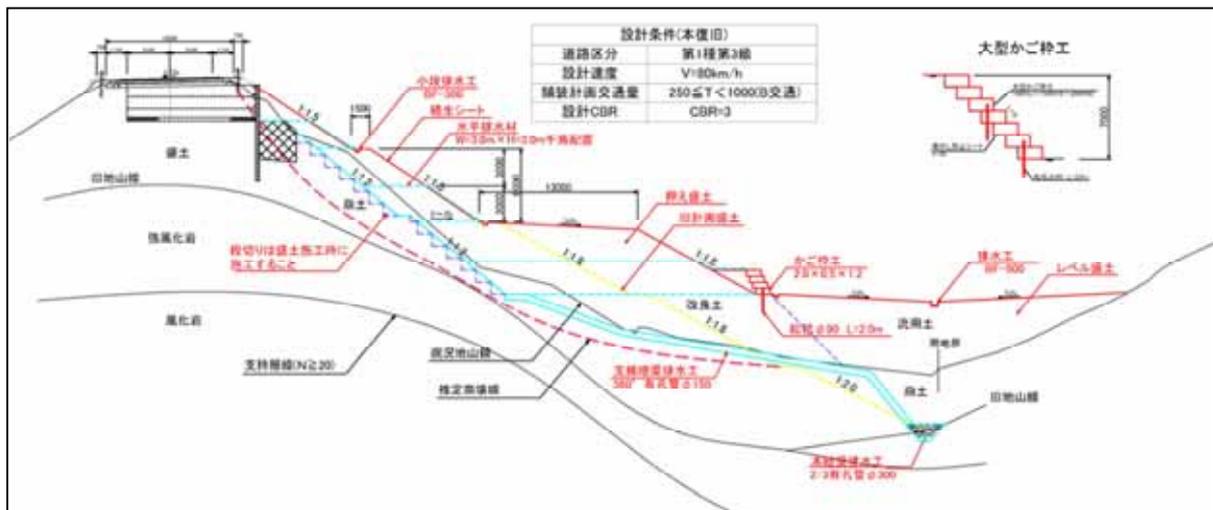


図 5.14.2-3 NO.縦 - 43 標準断面図

第 6 章 橋梁被害

6. 橋梁被害

本地震による橋梁被害は、軽微な RC 橋脚の損傷，支承の損傷，桁端部の損傷，背面盛土の沈下などは認められたものの，能登島に架かる中能登農道橋および能登島大橋が，点検および応急対策のために一時通行止めとなる程度の極めて限定的であった。

6.1 能登島大橋

本橋（昭和57年架設）は，七尾湾中央部に位置する能登島と本土を結ぶ3径間連続PCラーメン橋と前後の計18径間のPCT単純桁橋からなる全長1050mの海上橋である。文献1によると以下の被害が報告されている。図6.1に示す桁橋の橋脚（P6，7）とラーメン橋と単純橋の掛違い橋脚（P10），ラーメン橋の中間橋脚（P11）の計4基に比較的顕著な損傷がみられた。P6，P7では，基部コンクリートの剥落とひび割れ，鉄筋のはらみだし，内3本の破断とフーチングとの境界部直近で帯鉄筋1本の破断が確認された。P10では，中間段落とし部で曲げ，せん断ひびわれがみられ，橋軸直角方向地震動の影響によるものと判断される。調査の結果，損傷が大きいP7，P10も大きな残留変形等もなくモルタル等による断面補修とひび割れ注入により当面の供用に必要な耐荷力は確保できると考えられる。

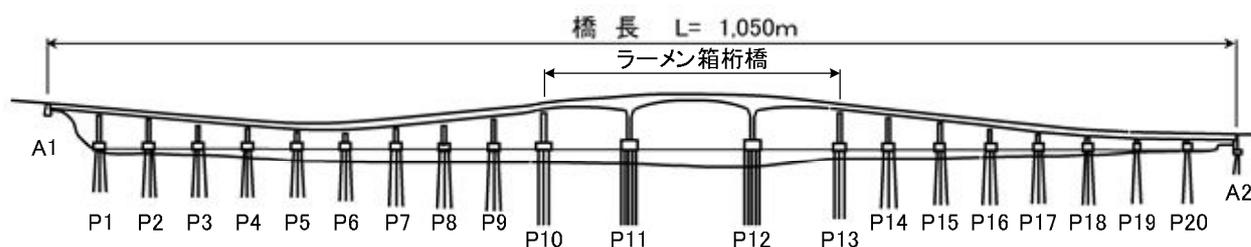


図 6.1-1 橋梁一般図



写真 6.1-1 橋梁概観



写真 6.1-2 橋脚基部ひび割れ

6.2 中能登農道橋

中能登農道橋は石川県中島町と七尾湾に浮かぶ能登島を結び 450m の PC3 径間連続斜張橋と 170m の PC2 径間連続箱桁橋が一体となった全長 620m の橋梁である。文献 2 によると以下の被害が報告されている。図 6.2 の概略図に示す。斜張橋と箱桁部の連結部では、鋼製高欄のスライス部分に約 10cm の痕跡が認められ、地震時橋軸方向に大きな移動が発生したことがわかる。しかしながら、大きな桁移動にも関わらず本体部および伸縮継手部の損傷は見られなかった。写真 6.4 に示すように、橋面上の路面照明灯が 2 箇所損傷していた。また、能登島側の A2 橋台の盛土部では地震力により亀裂が発生しており、応急対策として、防水のためのブルーシートが張られ、斜面側の一車線が交通規制されていた。

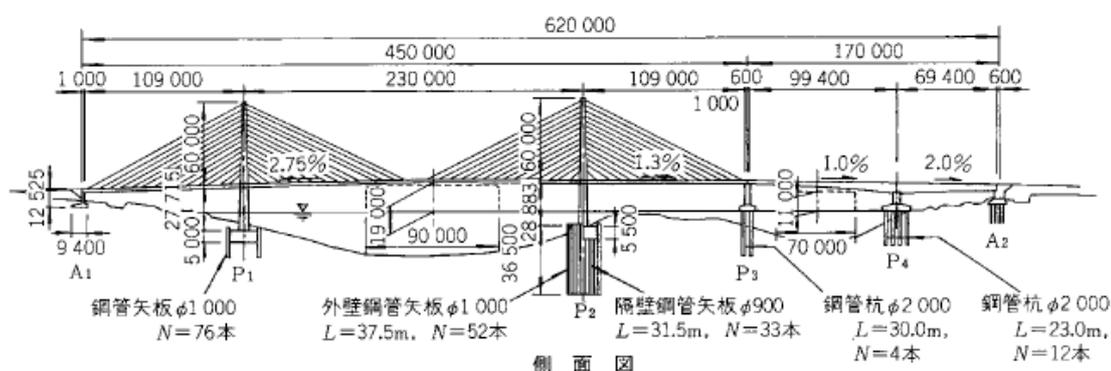


図 6.1-2 橋梁一般図



写真 6.1-3 橋梁概観



写真 6.1-4 照明柱の損傷

参考文献

- 1) 土木技術資料，平成19年能登半島地震緊急調査報告，pp.6-11, 2007.6 .
- 2) 飛田哲男，後藤浩之，豊岡亮洋，高橋良和ら，平成19年能登半島地震被害調査速報，自然災害科学 Vol.26-1, pp.69-78, 2007 .

(担当：幸左賢二，竹田周平)

第7章 港湾施設の被害概要

7. 港湾施設の被害概要

今回の地震により石川県北部に位置する能登半島の広い範囲において港湾、漁港施設に被害が発生した。震度 6 強を観測した輪島市、七尾市にある輪島港、七尾港においてはケーソン天端の沈下やずれ、野積場の沈下などが発生した。震央距離約 50km の富山県氷見漁港においても液状化による噴砂跡が観察された。

石川県によると平成 19 年度 6 月補正予算のすべてが能登半島地震に関するものであり、その総額は 776 億 7,900 万円余りである。この内公共土木施設へ約 112 億円、農林水産業施設に約 50 億円となっている。港湾施設に関しては七尾港太田岸壁など 67 ヲ所に対し、約 6 億円の予算が計上されている。これは公共土木施設の災害復旧費の 5.3% に相当する。能登有料道路を除く県管理の道路・橋梁関連の復旧費用が約 60 億円 (54%) であることから、港湾関連の復旧費用は公共土木施設全体にする割合としては小さい。一方、農林水産業施設としての漁港・漁業用施設に対しては、富来漁港など 58 ヲ所に対し約 24 億円が計上されており、農林水産業施設関連の復旧費用の約 50% に達している。また港湾関連の復旧費用と比較しても約 4 倍となっている。港湾と漁港とで復旧費用に大きな差が生じた原因としては、もともと港湾と漁港の数に大きな差があることに加え、港湾では液状化対策が施されていたため大被害には至らなかったことなどが考えられる。1993 年 2 月 7 日に発生した能登半島沖地震 ($M=6.6$) では、輪島港、七尾港、宇出津港で震度 4 を観測したが、地震後の被害調査によると無被害とのことである。当該地震による港湾被害は飯田港 1 港のみであり、被害額は 2,800 万円、漁港・海岸施設の被害は 5 漁港、被害総額 3.37 億円であった。このように、前回の地震においても、漁港関連の復旧費用が港湾関連の復旧費用を上回っている。これは漁港施設の規模や予算上の制約から耐震化が進んでいないことが原因である。

過去の地震において港湾が大きな被害を受けたのは、1964 年新潟地震 ($M=7.5$, 9 港 220 億円うち新潟港 219 億円)、1983 年日本海中部地震 ($M=7.7$, 14 港 81 億円うち秋田港 74 億円)¹⁾、1995 年兵庫県南部地震 ($M=6.9$, 4,244 億円)、2005 年福岡県西方沖地震 ($M=7.0$, 354 億円)²⁾ などがあるが、これらと比較すると今回の地震被害 (港湾被害 6 億円) は小規模であったといえる。

能登半島には重要港湾 2、避難港 1、地方港湾 9 と 70 を越える漁港がある。図 7-1 に示すように、西から時計廻りに、塩屋港、金沢港、滝港、福浦港、鹿磯漁港、輪島港、飯田港、小木港、宇出津港、穴水港、半ノ浦港、和倉港、七尾港、氷見漁港、伏木富山港があり、目視点検の結果、下線を引いた港湾に何らかの変状が見られたとの報告がある (は今回調査港湾・漁港：図 7-1)³⁾。本報告では震度 6 弱以上の計測震度が観測された地点に近い輪島港、穴水港、七尾港、鹿磯漁港、氷見漁港および七尾港付近の親水公園の被災状況についても報告する。

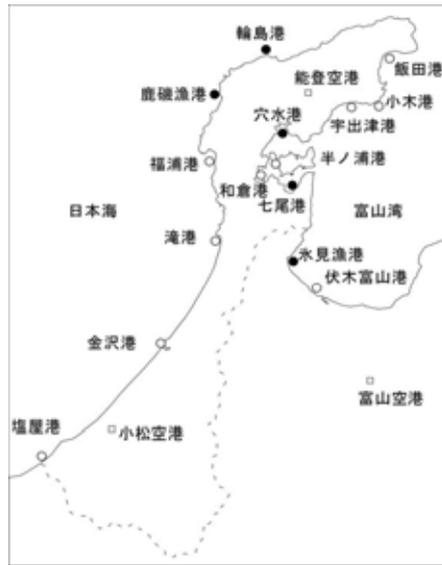


図 7-1 能登半島周辺の港湾と今回調査した港湾・漁港（印）

7.1 輪島港

震源に近い輪島港は能登半島北部に位置し、大正 11 年県費支弁港に編入、昭和 5 年 11 月指定港とされた。また能登半島外浦は船舶航行にとっての難所とされ、避泊適地が少ないことから昭和 26 年避難港に指定、昭和 28 年から改修工事が始められた。現在避難泊地 100ha を確保し、3,000 トン以下の船舶に対応できるよう昭和 53 年度より第 4 防波堤の整備が進められている。また平成 5 年以来大規模な埋立てによるニュータウン整備事業として輪島港マリンタウンプロジェクト事業が推進されている⁴⁾。

同港では、建設中の-7.5m ケーソン式岸壁のエプロン背後に沈下(最大 40cm 程度)が認められ噴砂痕もある。埋立済部と埋立未了部分で 20cm 程度の法線のズレ(写真 7.1-1, 写真 7.1-2)が目視で観測できる。さらに背後埋立地には、岸壁と平行に走る亀裂から灰色の噴砂が観察された。震度 6 強を観測した地点としては被災程度は軽微であったが、当該地点の基礎地盤が比較的堅固であるため被災程度が小さかったものと考えられる。



写真 7.1-1 輪島港-7.5m ケーソン式岸壁



写真 7.1-2 輪島港-7.5m ケーソン式岸壁
(目地部拡大)

7.2 穴水港

穴水港（写真 7.2-1）は能登半島中部に位置し，前面は能登島により遮蔽された天然の良港である。昭和 10 年に県費支弁港に編入，昭和 15 年に指定港となり，戦時中は海軍の潜水艦基地と潜水学校があった。現在は鉱産品の移出港として維持されているとのことである⁴⁾。

震度 6 強を観測したことから，甚大な被害を想定して調査に向かったが，被災程度は比較的小さかった。穴水港-4m 物揚場（写真 7.2-2）は背後地盤に噴砂痕が認められセルラーブロック式岸壁が海側へ 20cm 程度移動している。また，物揚場（-4m）背後地盤のアスファルト舗装に 5cm 弱の段差が生じていたが，いずれも震度 6 強を観測した地域としては軽微な被害にとどまっている。当該地点は河口部で軟弱層が厚いことから深層混合処理が施されており，被災程度が比較的軽微であったものと考えられる。対岸のヨットハーバーはアスファルト舗装に亀裂が生じ，地表面が大きく変形していたことから，液状化対策の有無が被害程度に大きく影響したものと考えられる。



写真 7.2-1 穴水港の空中写真と周辺の状況⁵⁾に加筆



写真 7.2-2 穴水港-4m 物揚場

7.3 七尾港

七尾港は平成 11 年に開港 100 周年を迎えた重要港湾である。旧来木材輸入港として地域産業に重要な役割を果たしてきた。近年では、七尾大田火力発電所の操業，LPG 国家備蓄基地の整備が進むなどエネルギー港湾としての機能拡充が図られている⁴⁾。

七尾港矢田新町地区（震央距離約 30km）（図 7.3-1）では、液状化による噴砂（写真 7.3-1），岸壁の海側への変位が観察された（写真 7.3-2）。同地区の物揚場（-4m）（図 7.3-2）および隣接する RC6 階建てのポートサイド七尾の周囲には液状化による噴砂が多く見られ，建物と地盤の間には隙間が発生していたが，建物本体の損傷は見られなかった。

矢田新町地区の七尾港岸壁（-7.5m）改修工事現場では，栈橋式岸壁のエプロン部と背後地盤（サンドコンパクション施工済）間に約 10cm の段差が生じ床版が陸側に傾斜した（写真 7.3-3, 7.3-4）。

七尾港太田地区の木材加工基地（図 7.3-3）では，矢板岸壁 1 号（-10m）（図 7.3-4）は，エプロン背後の埠頭用地に液状化による噴砂が堆積しており最大 50cm 程度の段差が発生した。同野積場には液状化によると思われる噴砂も見られたが特に大きな亀裂はなく，広い範囲が一様に沈下したようである（写真 7.3-5, 7.3-6）。一方，2 号岸壁については，図 7.3-5 に示すように矢板前面はサンドコンパクションパイル工法，矢板直背後に 1 列グラベルドレーン工法，2 列目からロッドコンパクション工法で地盤改良がされていたことから目視では被害は認められず，被災当日も木材の荷役が実施されていた。現地では，潜水土による矢板前面の調査が迅速に実施されており，矢板本体の膨れ・土砂の流出等は確認されていない。



図 7.3-1 七尾港矢田新町地区位置図



写真 7.3-1 七尾港矢田新町地区 物揚場 (-4m) 液状化による噴砂



写真 7.3-2 七尾港矢田新町地区 岸壁法線のずれ

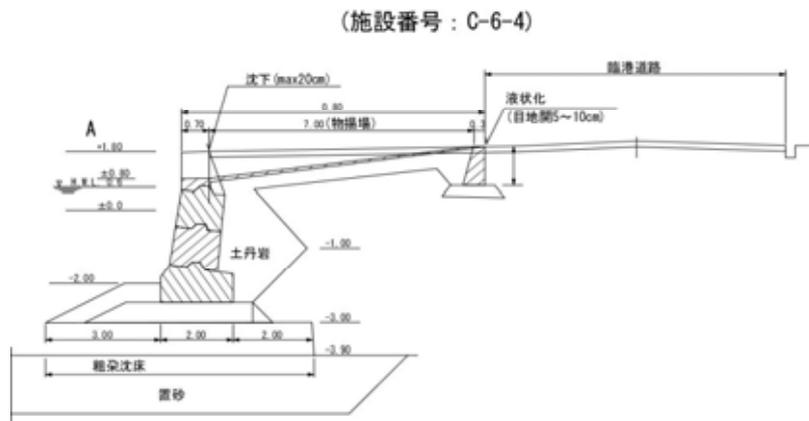


図 7.3-2 七尾港矢田新 物揚場 -2m 断面図



写真 7.3-3 矢田新町地区の七尾港岸壁 (-7.5m) 改修工事現場

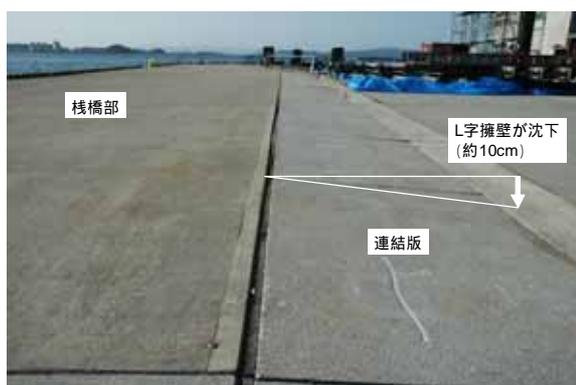


写真 7.3-4 矢田新町地区の七尾港岸壁 (-7.5m) 改修工事現場 エプロンの沈下

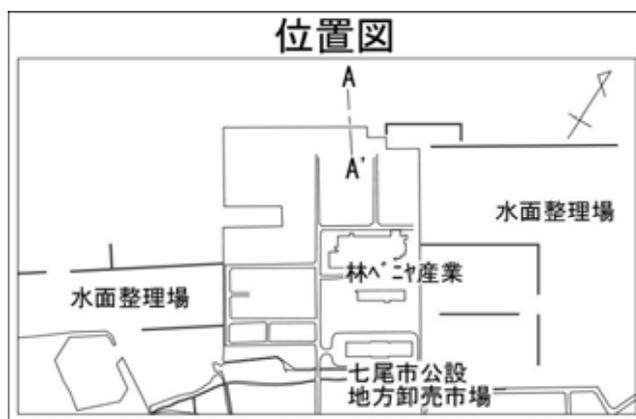


図 7.3-3 七尾港太田地区の木材加工基地 位置図



写真 7.3-5 七尾港-10m 矢板式岸壁 (手前が1号, 船舶接岸部分が2号)

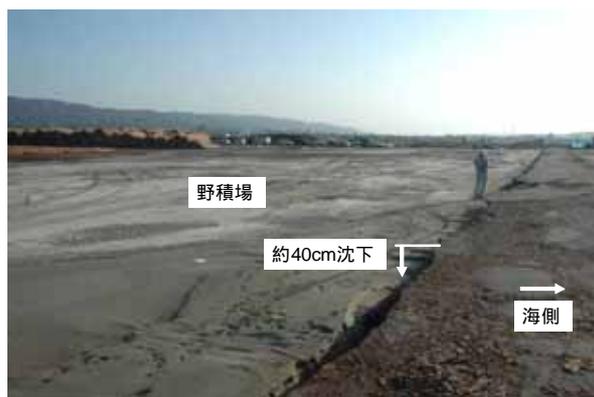


写真 7.3-6 七尾港-10m 矢板式岸壁 野積場の沈下

七尾港 -10.0m 大田岸壁 断面図

(施設番号 : C-1-1)

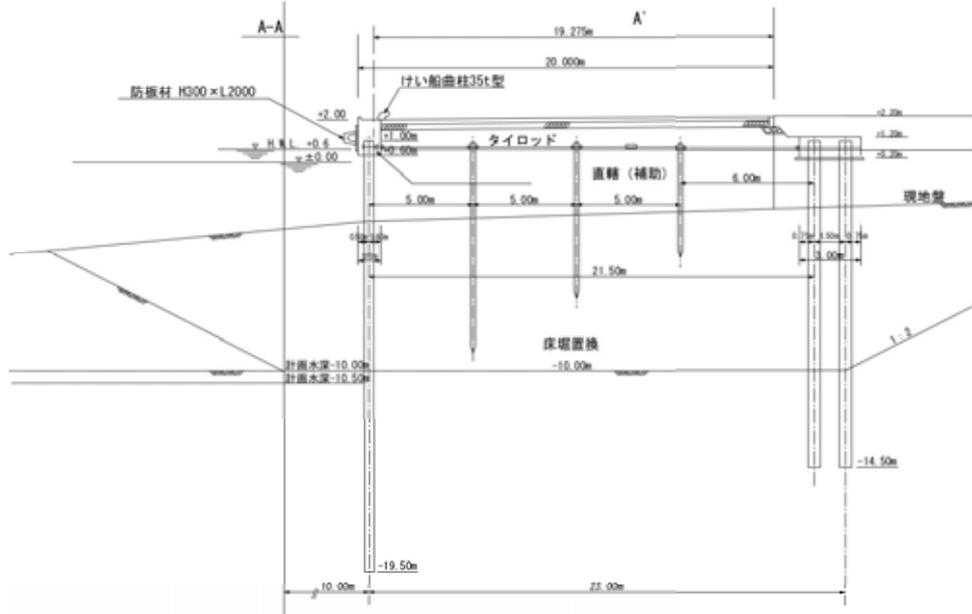


図 7.3-4 七尾港-10m 矢板式岸壁(1号)

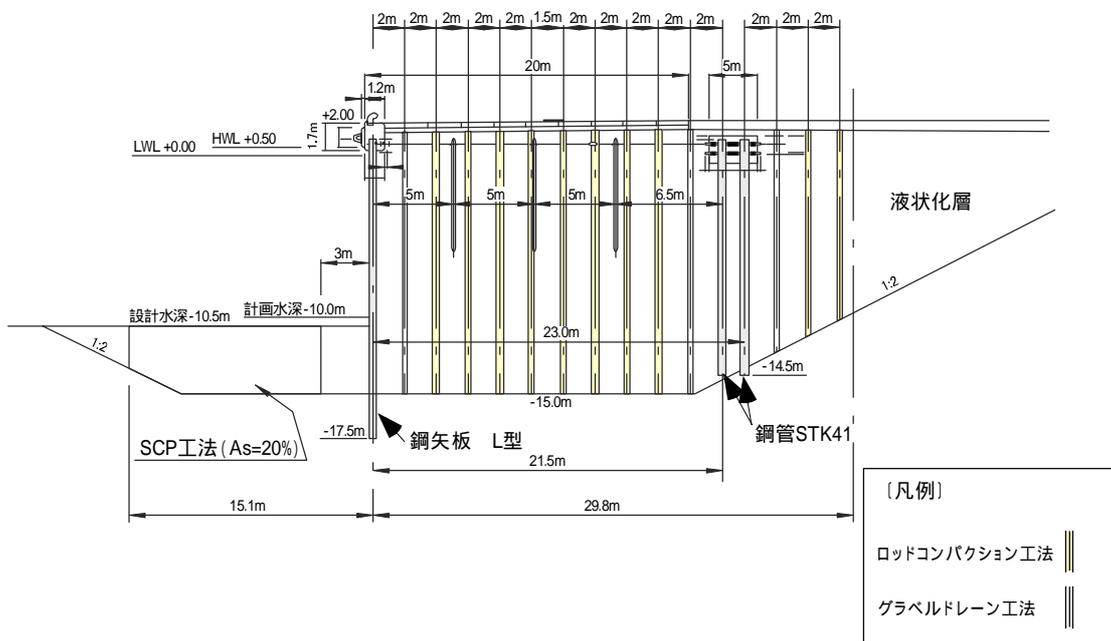


図 7.3-5 七尾港-10m 矢板式岸壁(2号)

7.4 鹿磯漁港

震源域に当たる鹿磯漁港(第1種)は門前漁協の基地として使われている(写真7.4-1)。同港では防波堤先端部が傾斜し、コンクリートケーソン天端に約50cmの段差が生じた(写真7.4-2)、ま

た，同港内に建設中の L 字型の重力式擁壁と推定される岸壁が海側に傾斜し，背後地盤が液状化により沈下しコンクリート床版が傾斜した。また岸壁の海側への傾斜（天端変位約 10cm）により，岸壁の背後地盤に亀裂が生じるなどの被害が見受けられた。



写真 7.4-1 鹿磯漁港の被災状況⁵⁾に加筆



写真 7.4-2 鹿磯漁港 防波堤先端部の沈下

7.5 氷見漁港

震度 5 弱を観測した富山県氷見漁港（震央距離約 50km）では，アスファルトの亀裂から灰色の砂

の噴砂が見られたが防波堤，岸壁，背後地盤に大きな変動は見られなかった。新設された漁港施設ではエプロンと倉庫の床との間に約 2cm の段差が生じていたが，被害は軽微であった。

7.6 七尾マリンパーク

親水公園として 2002 年 4 月に開園した七尾マリンパーク内のインターロッキングブロック舗装の一部に亀裂が入り，液状化による噴砂が見受けられた（写真 7.6-1, 写真 7.6-2）。同公園は災害時の避難広場として活用されるはずであったが，立入り禁止となった。このことは同様の避難施設についても適切に耐震対策を施すことが重要であることを示唆している。公園内にあるフィッシャーマンズワーフ建屋の構造体であるコンクリート柱（鉄骨 RC）には微小なクラックが見受けられたが，店内は営業中であった。しかし，同店内海側のレストランのコンクリート床には不同沈下によると見られる亀裂が生じ床がわずかに傾斜していた。



写真 7.6-1 七尾マリンパーク 被災状況

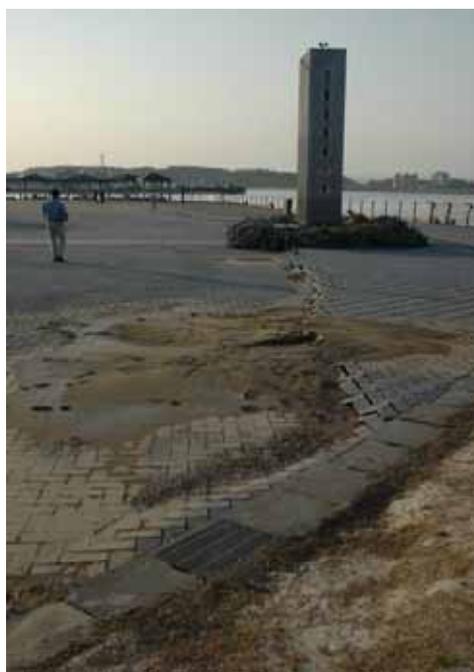


写真 7.6-2 七尾マリンパーク 園内の噴砂

7.7 まとめ

港湾関連では、震度 6 強を観測した地域においても、震度から予想されるほどの特に大きな被害は発生していない。この理由としては、液状化対策が施されていたこと（七尾港太田地区、穴水港）、基礎地盤が堅固であったこと（輪島港）などが考えられる。また漁港に関しては、液状化による岸壁法線のずれ、物揚場の沈下やひび割れなどが発生し、一部通常の作業に支障をきたしているところも見受けられた。復旧費用については、港湾が約 6 億円なのに対し、漁港関連が約 24 億円と大きな差が生じている。この傾向は 1993 年の能登半島沖地震の際にも同様であった。これはもともと港湾と漁港の数に大きな差があることに加え、施設の規模や予算上の制約から耐震化が進んでいないことが原因であると思われる。海岸施設に関しては、災害時の避難広場として活用されるはずであった親水公園が液状化被害により立入り禁止になったことは、避難施設の耐震性の確保という点において課題を残した。

謝辞

本報告を作成するに当たり、石川県庁土木部港湾課、同農林水産部水産課から石川県内の港湾、漁港の被災箇所に関する情報提供を受けた。また、独立行政法人港湾空港技術研究所菅野高弘博士から、現地に関する情報と岸壁断面図の提供を受けた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 1993 年釧路沖地震・能登半島沖地震 災害調査報告書，社団法人土質工学会，p404，1994．
- 2) 国土交通省，平成 16 年度における港湾関係の災害発生状況，
<http://www.mlit.go.jp/kowan/yosan/h1701/62.pdf>，2007.8.2．
- 3) 土木学会・地盤工学会・日本地震工学会・日本建築学会・日本地震学会，2007 年能登半島地震災害調査速報会資料，平成 19 年 4 月 24 日，2007．
- 4) 石川県庁港湾課，<http://www.pref.ishikawa.jp/minato/>，2007.8.2．
- 5) 第 9 管区海上保安本部海洋情報部，<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN9/index.html>，2007.8.2．

(担当：飛田哲男・井合進)

第 8 章 河川被害

8. 河川被害

図 8-1 は、河川被害査定位置図であり、表 8-1 の主な被害以外の軽微な被害も含まれている。この図から河川被害が広範囲に地震規模に応じて箇所数が多いことが分かる。査定は、机上調査と実施査定で本省・整備局で行われていた。

表 8-1 河川災害査定

査定	記号	内容
第 2 次査定	×	机上査定（整備局）
		実施査定（整備局）
		実施査定（本省）
第 3 次査定	×	机上査定（整備局）
		実施査定（整備局）
		実施査定（本省）

能登半島地震における主な河川被害は、図 8-2 に示すように堤体自体の大規模な崩壊は発生しなかった。しかし、表 8-2 に示すように主な河川被害として、護岸天端の沈下・ずれが 2 件、護岸ブロックの沈下・ずれが 2 件、石積擁壁の崩壊が 1 件、石積擁壁の滑動による背後地盤のクラックが 3 件、石積擁壁護岸の中腹に横クラックが 1 件の合計 9 件が発生している。

表 8-2 主な被害状況一覧表

番号	被害状況	備考
1	法尻の護岸ブロックの沈下・すべり	
2	コンクリート護岸ブロックが中腹から沈下・ずれ	
3	石積擁壁護岸の中腹に横クラックが発生	ℓ = 28.0
4	石積擁壁が滑動し、背後地盤にクラック	
5	石積擁壁天端に地盤クラック	
6	石積擁壁の崩壊	
7	石積擁壁の傾斜により背後地盤にクラック、縦に大きなクラック	
8	護岸天端の沈下・ずれ	
9	護岸天端の沈下	

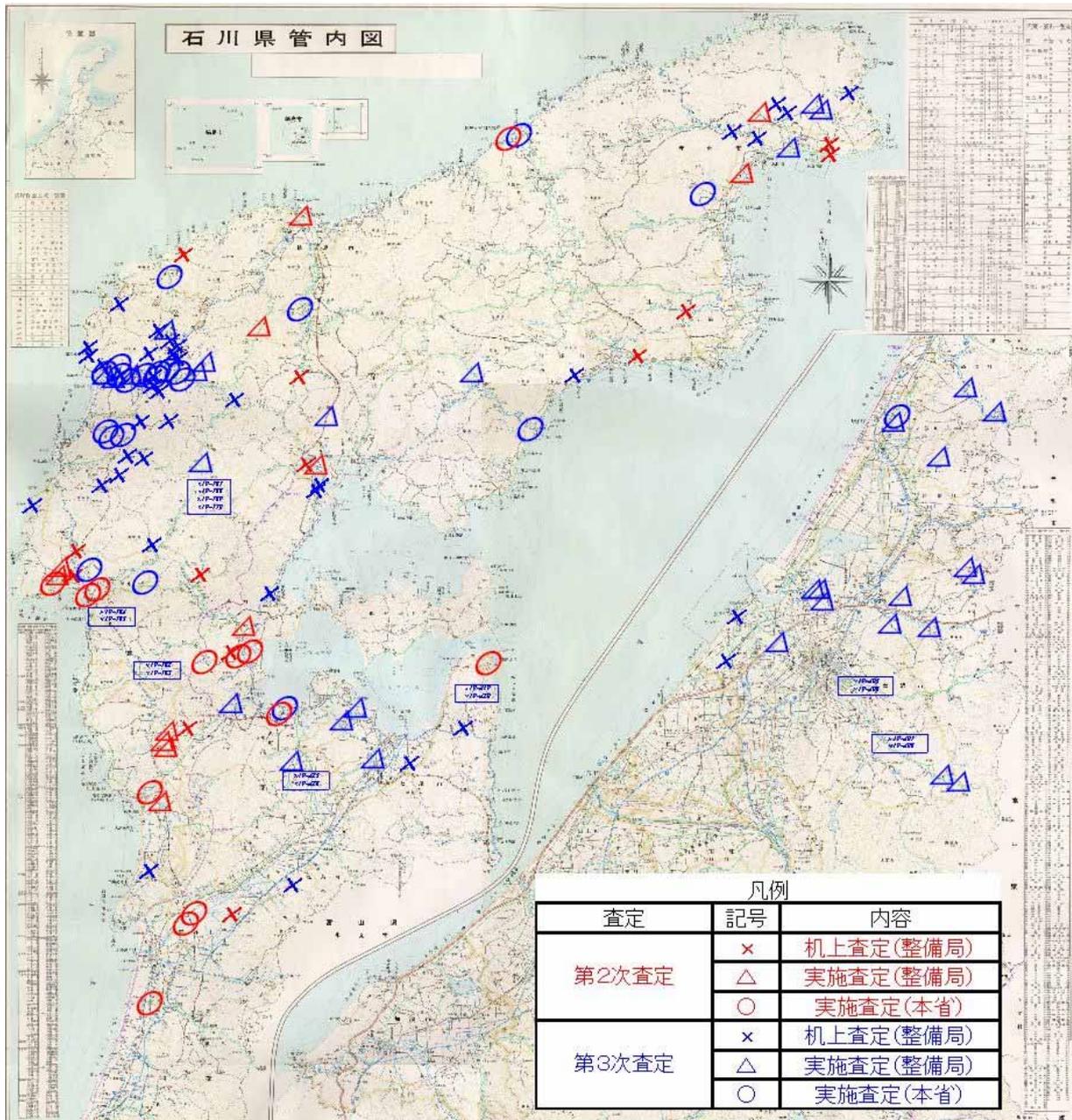


图 8-1 河川被害査定位置

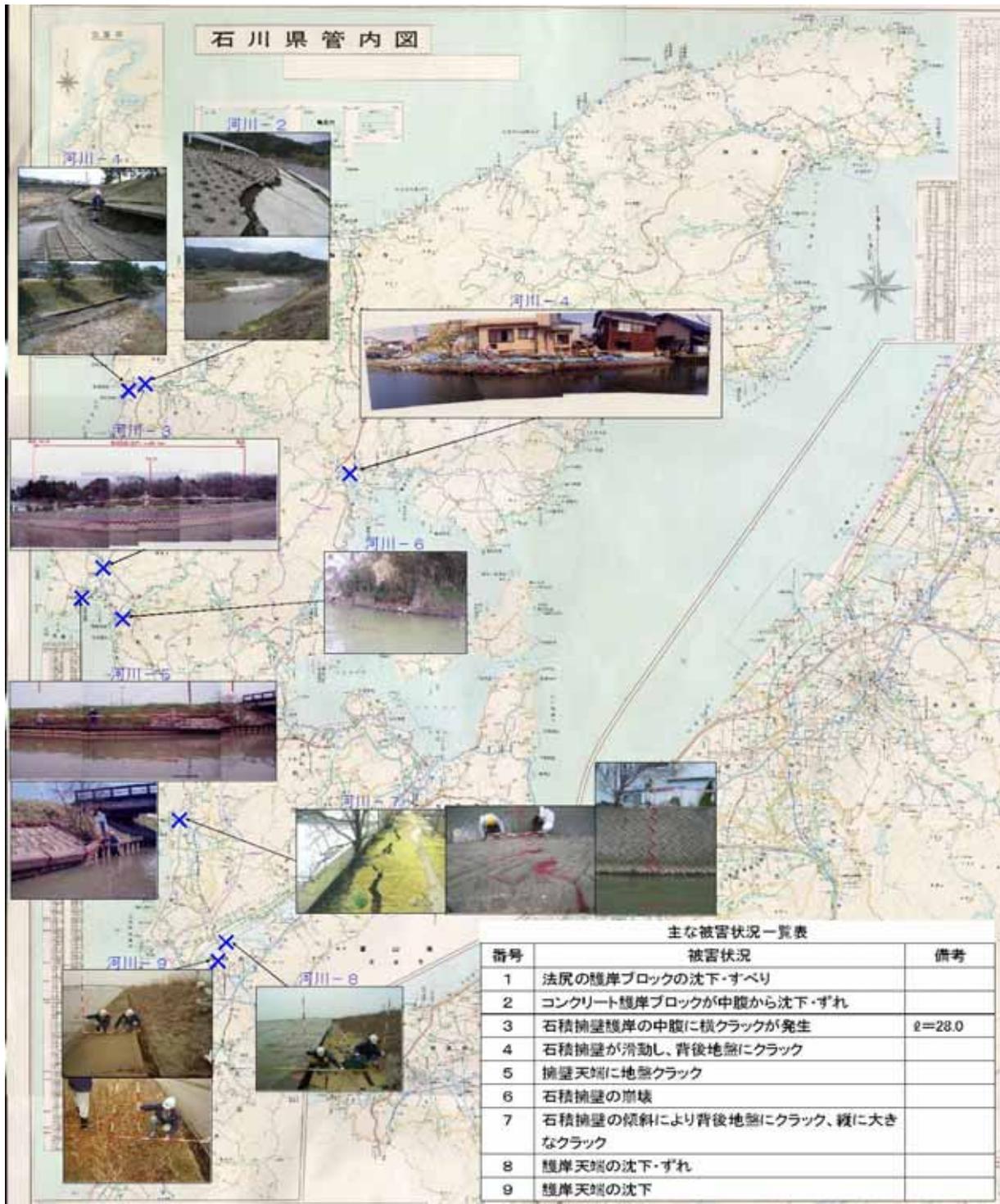


図 8-2 主な河川被害位置及び被害状況写真

表 8-3 主な河川被害写真及び標準断面図

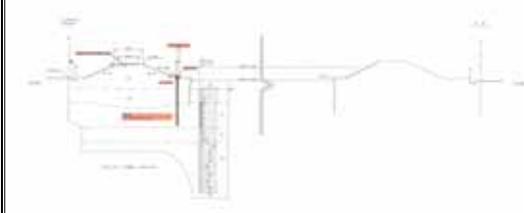
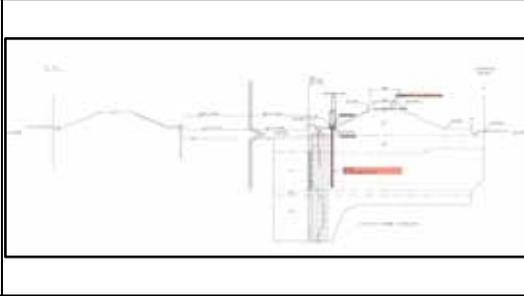
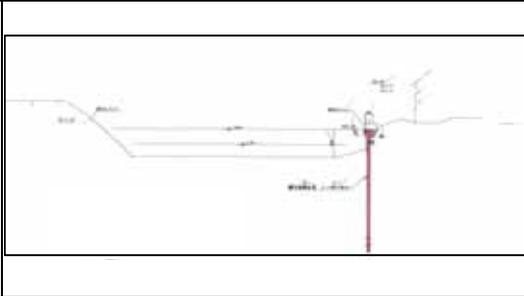
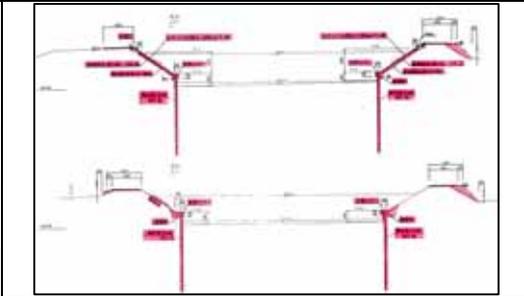
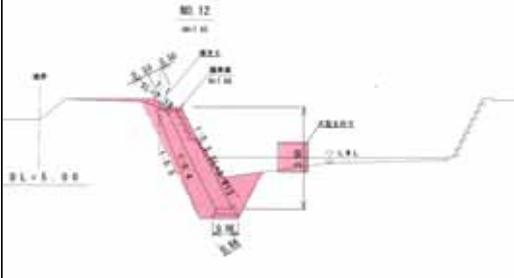
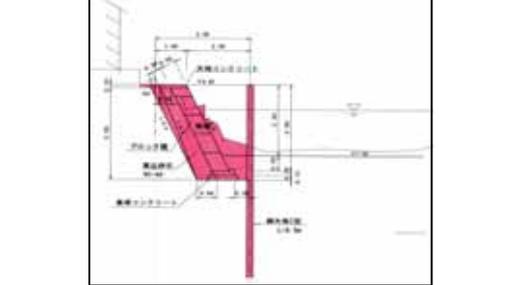
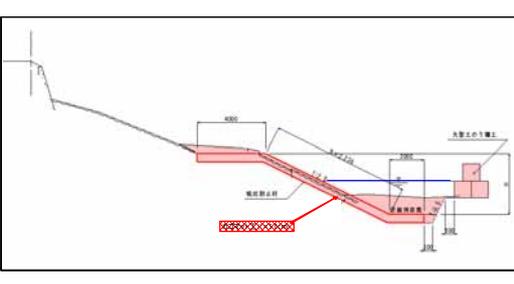
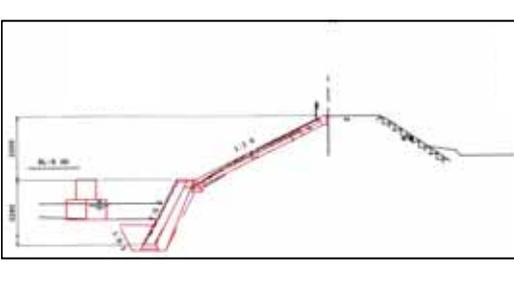
河川名	番号	写真	標準断面図
長曾川	19 3		
長曾川	19 4		
於古川	19 8		
富来川	19 11		
酒見川	19 13		

表 8-4 主な河川被害写真及び標準断面図

河川名	番号	写真	標準断面図
酒見川	19 15		
真名井川	19 28		
八ヶ川	19 429		
八ヶ川	19 430		

第9章 ライフライン等の被害

9. ライフライン等の被害

9.1 上水道の被害

9.1.1 輪島市上水道事業の被害

(1) 構造物および設備の被害

輪島市(旧門前町,旧輪島市)の施設被害及び被災後の電力供給の状況を表 9.1.1-1,表に示す。輪島市内では被災直後停電したが,主要な浄水場,ポンプ場等には非常用自家発電設備が設置されており,動力の停止はなかった。

輪島市内では,長沢配水池(旧輪島市)と剣地配水池(旧門前町)のステンレスパネルタンクに被害が発生した(写真 9.1.1-1, 9.1.1-2)。能登半島にはステンレスタンク(配水池,ポンプ井)が 32 箇所に設置されており,被災した配水池以外のステンレスタンクには,部材の変形などは見られず無被害であった。表 9.1.1-3 に示すように,破損した 2 つのタンクは,被害形態が異なる。これは施工業者が異なるため,施工技術や構造特性に若干の差異があることや,入力地震動の違いによるものであると推察される。

表 9.1.1-1 輪島市(旧門前町)の施設被害,電力供給の概要

分類	内容	備考
土木施設	ステンレスパネルタンク破損	剣地北部配水池 V=126m ³
水管橋	添架水管橋 7 箇所	
機械設備	-	
電気設備	-	
緊急遮断弁の状況	設置なし	浄水場の配水池より応急給水を行った。
電力供給の状況	停電なし	

表 9.1.1-2 輪島市(旧輪島市)の施設被害,電力供給の概要

分類	内容	備考
土木施設	ステンレスパネルタンク破損	長沢配水池 V=256m ³
水管橋	なし	
機械設備	-	
電気設備	-	
緊急遮断弁の状況	設置あり,正常作動	確保水量 2000m ³
電力供給の状況	停電なし	



写真 9.1.1-1 旧門前町鋤地北部
配水池の被害



写真 9.1.1-2 旧輪島市三井地区長沢
配水地の被害

表 9.1.1-3 破損したステンレスタンクの被害状況¹⁾

項目	鋤地配水池	長沢配水池
施設規模	105m ³ ×2 池 = 210m ³	125m ³ ×2 池 = 250m ³
施工業者	A 社	B 社
基礎形式	直接基礎	直接基礎
震度	震度 6 弱～6 強	震度 6 弱～6 強
損傷位置	上部パネル	最下段パネル
損傷度	破損パネル 40%程度	破損パネル 10%以下
被害形態	溶接部の破損	母材の破断

(2) 輪島市(旧門前町)の埋設管路の被害

輪島市は旧門前町と旧輪島市が合併したが、それぞれの水道システムを独立に運用しているので、ここではそれぞれに分けて被害を報告する。旧門前町の上水道システムは導・送・配水管合わせて約 175km の管路を有している。図 9.1.1-1 に管種の構成割合を示す。硬質塩化ビニル管の延長が最も長く、全体の 54% を占めている。次いでダクティル鉄管が全体の 40% を占めている。

導・送・配水管の被害件数は 56 件だったので、被害率は 0.32 件/km となる。図 9.1.1-2 に管種別の被害件数を 図 9.1.1-3 に管種別の被害率を示す。ダクティル鉄管の被害件数は 15 件であり、被害率は 0.21 件/km であった。被害形態は一般継手部の抜けと漏水であり、道路盛土部や液状化地盤などで生じた。また、耐震継手のダクティル鉄管が地滑り地帯である皆月地区等に布設されていたが、被害は無かった。石綿管の被害件数は 8 件であり、被害率は 2.75 件/km であった。被害形態はいずれも管体の破損であった。鋼管の被害件数は 8 件であり、被害率は 2.38 件/km であった。被害形態は全てネジ継手部の被害であった。硬質塩化ビニル管の被害件数は 25 件であり、被害率は 0.27 件/km であった。被害形態は継手の抜け 10 件と管体破損 15 件であった。なお、ポ

ポリエチレン管(融着接合)が約2km埋設されていたが被害はなかった。図9.1.1-4に口径別の被害件数を、図9.1.1-5に口径別の被害率を示す。

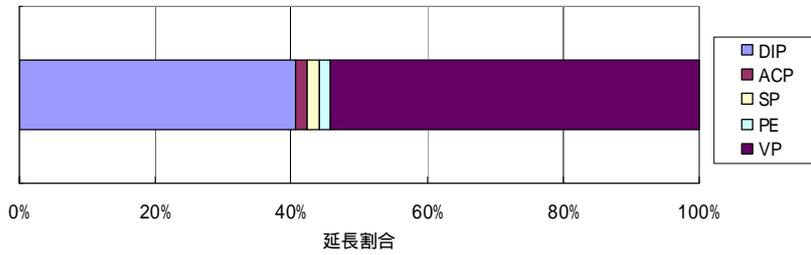


図 9.1.1-1 管種の構成割合 (輪島市旧門前町)

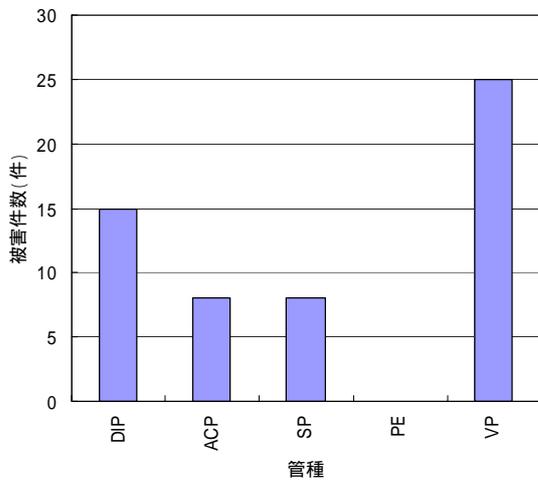


図 9.1.1-2 管種と被害件数との関係 (輪島市旧門前町)

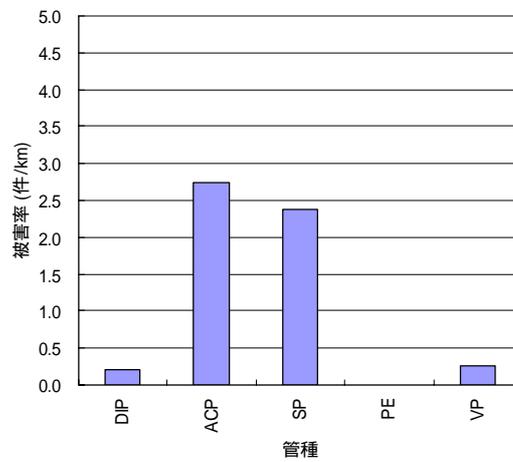


図 9.1.1-3 管種と被害率との関係 (輪島市旧門前町)

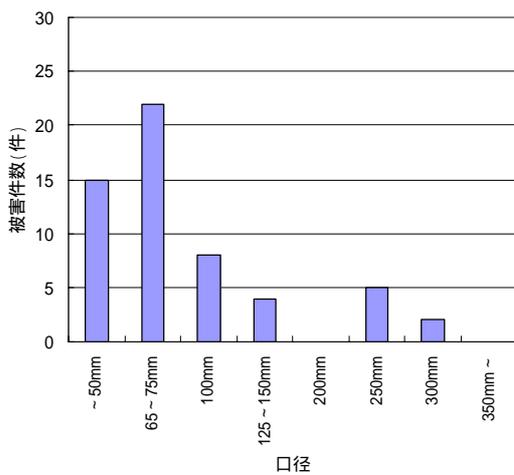


図 9.1.1-4 口径と被害件数との関係 (輪島市旧門前町)

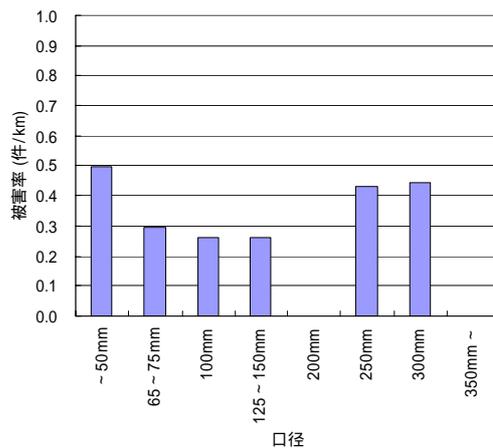


図 9.1.1-5 口径と被害率との関係 (輪島市旧門前町)

(3) 輪島市（旧輪島市）の埋設管路の被害

旧輪島市の上水道システムは導・送・配水管合わせて約 209km の管路を有している。図 9.1.1-6 に管種の構成割合を示す。硬質塩化ビニル管の延長が最も長く、全体の 65% を占めている。次いでダクタイル鉄管が全体の 25% を占めている。導・送・配水管の被害件数は 14 件だったので、被害率は 0.07 件/km と小さな値である。図 9.1.1-7 に管種別の被害件数を、図 9.1.1-8 に管種別の被害率を示す。硬質塩化ビニル管の被害件数は 8 件であり、被害率は 0.06 件/km であった。被害形態は継手の抜けが 7 件、継手漏水が 1 件であった。その他の被害件数は、鑄鉄管 3 件、ダクタイル鉄管、石綿管、消火栓部で各 1 件であった。被害件数の最も多い硬質塩化ビニル管の被害は、谷底平野や人工改変地、山地で発生した。継手漏水が 1 件あったダクタイル鉄管の被害は、河原田川近傍で、道路アスファルトに亀裂等が生じていた場所で発生した。図 9.1.1-9 に口径別の被害件数を、図 9.1.1-10 に口径別の被害率を示す。

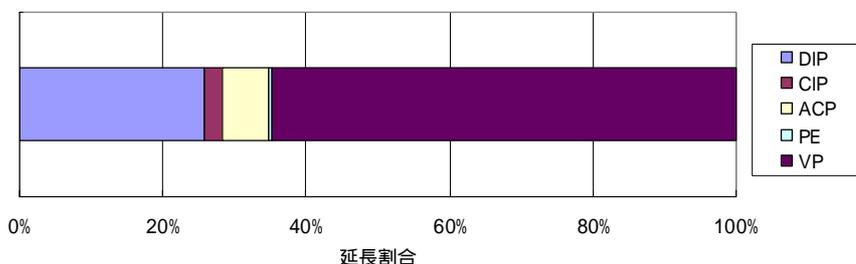


図 9.1.1-6 管種の構成割合(輪島市旧輪島市)

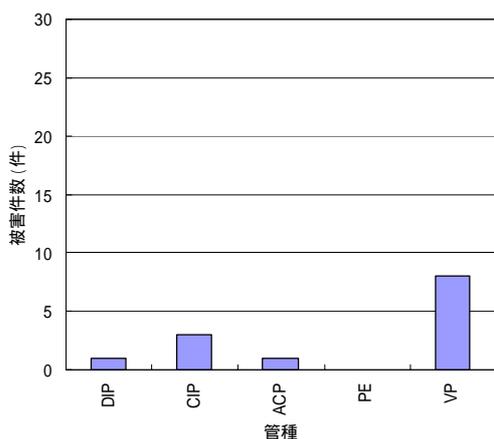


図 9.1.1-7 管種と被害件数との関係
(輪島市旧輪島市)

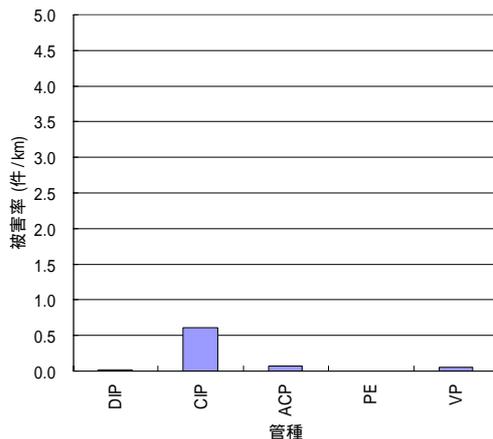


図 9.1.1-8 管種と被害率との関係
(輪島市旧輪島市)

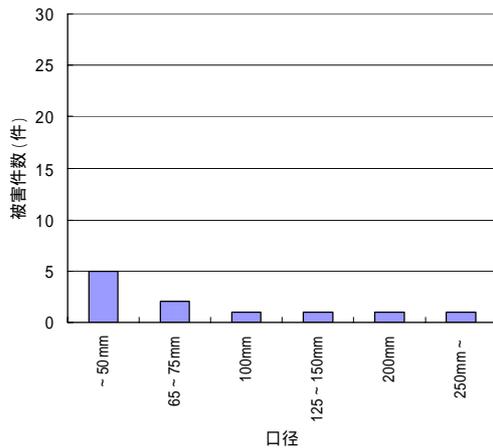


図 9.1.1-9 口径と被害件数との関係
(輪島市旧輪島市)

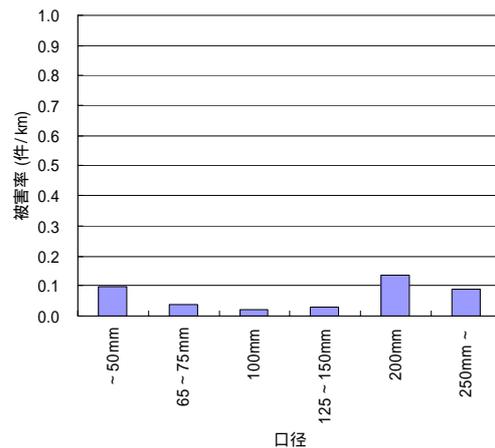


図 9.1.1-10 口径と被害率との関係
(輪島市旧輪島市)

9.1.2 穴水町上水道事業の被害

(1) 構造物および設備の被害

穴水町の施設被害及び被災後の電力供給の状況を表 9.1.2-1 に示す。穴水町上水道の上野浄水場では、沈殿池の側壁上部に幅 2cm、長さ 30m のクラックが発生し、導水路 (L=500m) で落石等による被害が発生した。宇留地浄水場では、導水管 (HP250mm, L=250m) で 13 箇所以上の破損が発生した。被害発生直後は、消防のポンプ車を用いて導水したが、仮設取水ポンプの設置及び仮設管の布設により応急復旧を行なった。さらに、各浄水場において、次亜塩素酸貯留槽や PAC 貯留槽等に軽微な破損が発生した。

表 9.1.2-1 穴水町上水道の施設被害、電力供給の概要

分類	内容	備考
土木施設	宇留地浄水場導水管破損 13 箇所	HP250mm L=250m
	上野浄水場導水路落石	L = 500m
	上野浄水場沈殿池クラック発生	30m
水管橋	添加水管橋破損, 漏水 10 箇所	φ50 ~ 200mm
機械設備	次亜塩素酸貯留槽本体, 液位計破損	
電気設備	ポンプ制御電極破損	
緊急遮断弁の状況	上野浄水場 正常稼動	確保水量 1850m ³
	宇留地浄水場 未設置	応急給水不足
電力供給の状況 (上野浄水場)	被災直後停電 復帰 1 時間後	上野浄水場
	自家発電設備 正常稼動	
電力供給の状況 (宇留地浄水場)	被災直後停電 復帰 7 時間後	
	自家発電設備 未設置	

(2) 埋設管路の被害

穴水町の上水道システムは導・送・配水管合わせて約 93km の管路を有している。図 9.1.2-1 に管種の構成割合を示す。ダクトイル鉄管の延長が最も長く、全体の 63% を占めている。次いで硬質塩化ビニル管が全体の 28% を占めている。導・送・配水管の被害件数は 23 件だったので、被害率は 0.25 件/km である。図 9.1.2-2 に管種別の被害件数を、図 9.1.2-3 に管種別の被害率を示す。ダクトイル鉄管の被害件数は 7 件（付属設備 5 件を含む）であり、被害率は 0.12 件/km であった。被害形態は一般継手の抜けおよび付属設備の被害であった。また、穴水町には耐震継手のダクトイル管路が 3.9km 布設されていたが、被害は無かった。鋼管の被害件数は 1 件であり、被害率は 0.57 件/km であった。鉄筋コンクリート管の被害件数は 15 件で、被害率は 4.95 件/km であった。被害形態は継手漏水であった。なお、被害が発生していた鉄筋コンクリート管は取水口から宇留地浄水場への呼び径 250mm の導水管であり、この被災が配水システムに大きな影響を及ぼした(図 9.1.2-4)。図 9.1.1-5 に口径別の被害件数を、図 9.1.1-6 に口径別の被害率を示す。

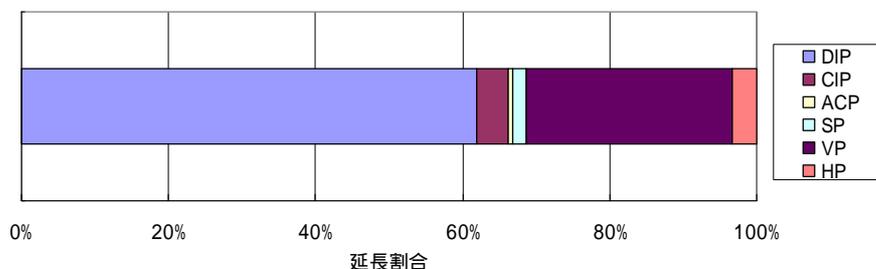


図 9.1.2-1 管種の構成割合(穴水町)

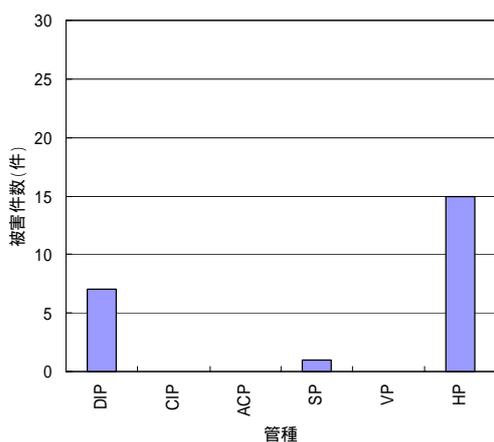


図 9.1.2-2 管種と被害件数との関係
(穴水町)

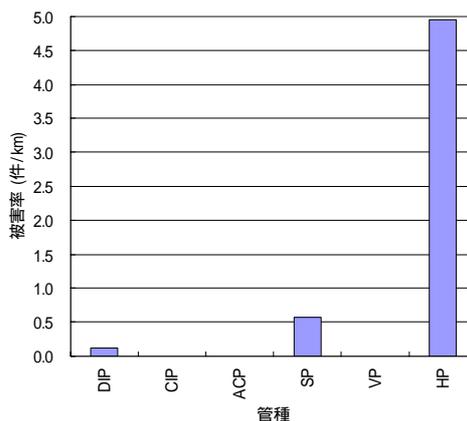


図 9.1.2-3 管種と被害率との関係
(穴水町)



図 9.1.2-4 宇留地浄水場への導水管被害

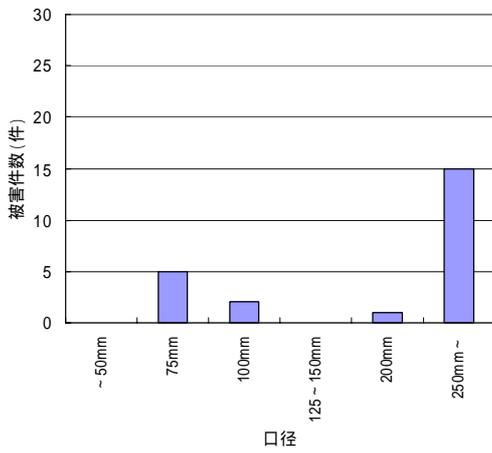


図 9.1.2-5 口径と被害件数との関係 (穴水町)

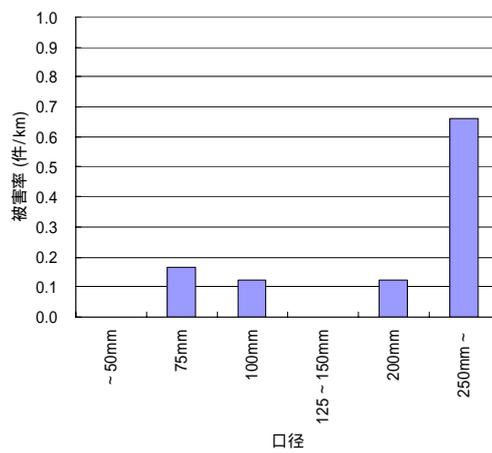


図 9.1.2-6 口径と被害率との関係 (穴水町)

9.1.3 七尾市上水道事業の被害

(1) 構造物および設備の被害

七尾市では、配水池、浄水場等には被害が発生しなかった。ただし、水管橋防護コンクリートの沈下による被害が発生した。被害が発生していた水管橋は、管を支持するリングサポート及び支承部の橋台とアンカーブロックが分離した構造であった。地震によりアンカーブロックが沈下・移動し、伸縮管の変形・漏水が発生したと推察される(写真9.1.3-1)。



写真 9.1.3-1 水管橋伸縮管の損傷状況¹⁾

(2) 埋設管路の被害

七尾市の上水道システムは導・送・配水管合わせて約 565km の管路を有している。図 9.1.3-1 に管種の構成割合を示す。ダクトイル鉄管の延長が最も長く、全体の 50% を占めている。次いで硬質塩化ビニル管が全体の 30% を占めている。また、石綿管が全体の 16% 使用されている。導・送・配水管の被害件数は 73 件だったので、被害率は 0.13 件/km である。図 9.1.3-2 に管種別の被害件数を、図 9.1.3-3 に管種別の被害率を示す。ダクトイル鉄管の被害件数は 12 件(付属設備 5 件を含む)であり、被害率は 0.04 件/km であった。主な被害形態は継手漏水や付属設備の被害であった。鋳鉄管の被害件数は 2 件であり、被害率は 0.17 件/km であった。被害形態はいずれも継手漏水であった。石綿管の被害は 20 件であり、被害率は 0.22 件/km であった。被害形態は継手抜け、継手漏水、管体破損であった。鋼管の被害は 12 件であり、被害率は 1.78 件/km であった。被害形態は継手の抜け、継手漏水であり、いずれもネジ継手部の被害であった。硬質塩化ビニル管の被害は 26 件であり、被害率は 0.15 件/km であった。被害形態は継手の抜けが最も多く、次いで管体破損であった。

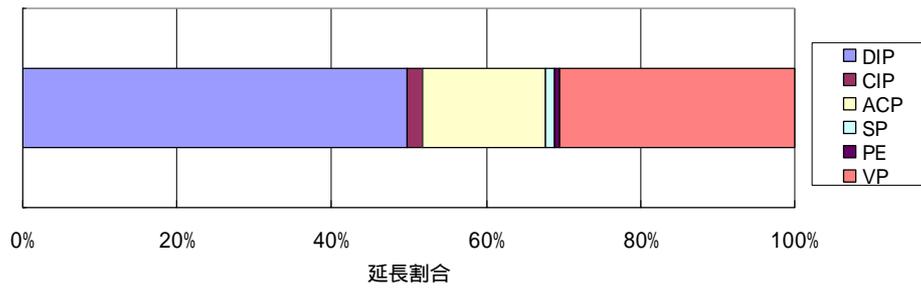


図 9.1.3-1 管種の構成割合 (七尾市)

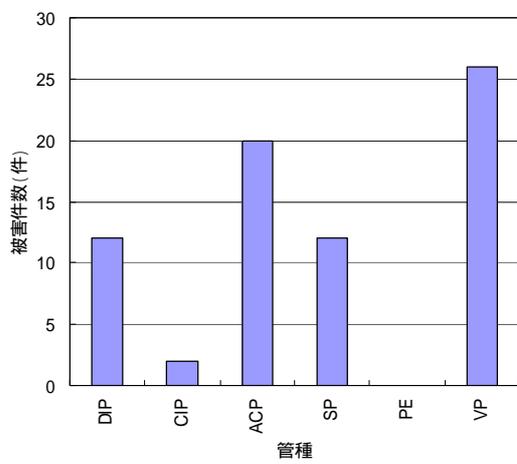


図 9.1.3-2 管種と被害件数との関係 (七尾市)

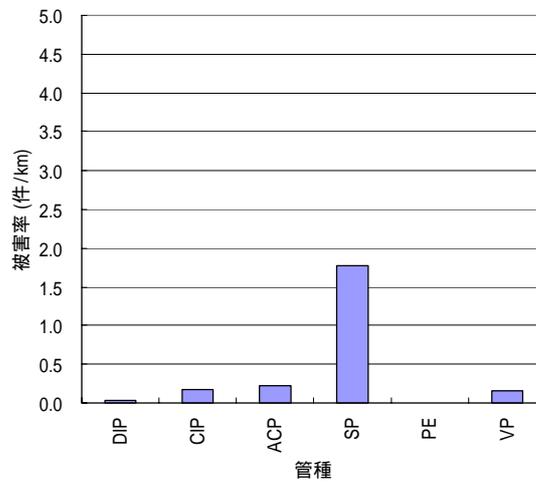


図 9.1.3-3 管種と被害率との関係 (七尾市)

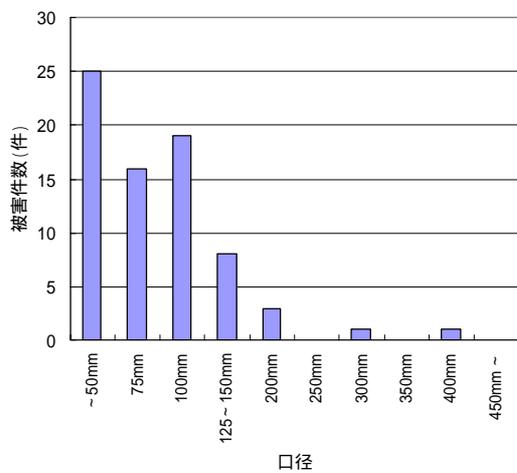


図 9.1.3-4 口径と被害件数との関係 (七尾市)

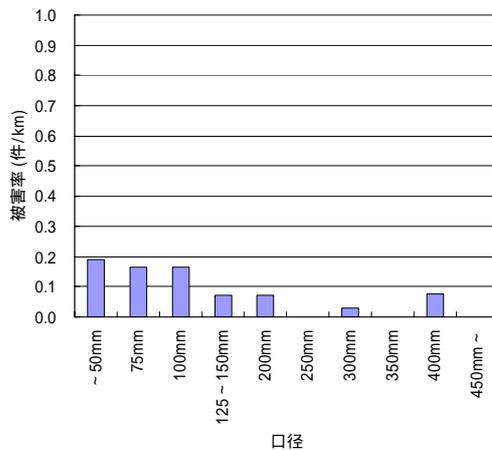


図 9.1.3-5 口径と被害率との関係 (七尾市)

9.1.4 まとめ

地震発生直後に、3市5町において約1万3300戸で断水状態となった。図9.1.4 1に被災地全域の断水戸数の推移と、震度6強を記録した輪島市、七尾市、穴水町における断水戸数の推移を示す。最後まで断水していた輪島市の深見地区（旧門前町）37戸の水道管工事が4月7日午前完了し、すべての断水は解消された。なお、輪島市立病院では断水による透析用水への不安から患者を転院させるということもあった。

今回の地震において埋設管路の被害率の最も大きかった輪島市旧門前町の被害率は0.32件/kmであった。一方、阪神・淡路大震災での被害率は、芦屋市で1.61件/km、西宮市で0.72件/kmであり、新潟県中越地震での被害率は、小千谷市で0.31件/km、長岡市で0.30件/kmであったので、今回の管路被害は阪神・淡路大震災や新潟県中越地震に比べて少なかったといえる。その理由として、最大震度が小さいことや大規模な地盤変状が少なかったことが影響していると考えられる。また、震源地に最も近い旧門前町では、耐震性に問題がある石綿管を計画的に更新していたこと、地滑り地帯など地盤が悪い所には耐震形のダクタイトイル鉄管を使用していたことも効果があったと思われる。一方、山間部に埋設されていた導水管に使用していた鉄筋コンクリート管が大きな被害を受けた事例も見られた。主な被害形態まとめると以下のとおりであり、各管種の被害は従来の地震と同様な傾向であった。

ダクタイトイル鉄管の一般継手の被害は継手の抜け出しによるものであった。なお、被害は主に、河川に沿った地域、海岸部、盛土部などの地盤の悪いところで発生していた(写真9.1.4-1)。

ダクタイトイル管の耐震性が考慮された継手は、震度6強を記録した輪島市、七尾市、穴水町で約19km布設されていたが、被害はなかった(写真9.1.4-2)。

硬質塩化ビニル管の被害は継手の抜け出しや管体破損によるものであった。

石綿セメント管の被害は、管体折損や継手部漏水によるものであった(写真9.4.1-3)。

鉄筋コンクリート管の被害は、管体折損や継手部漏水によるものであった。

仕切弁や空気弁の本体部破損による漏水があった(写真9.1.4-4)。

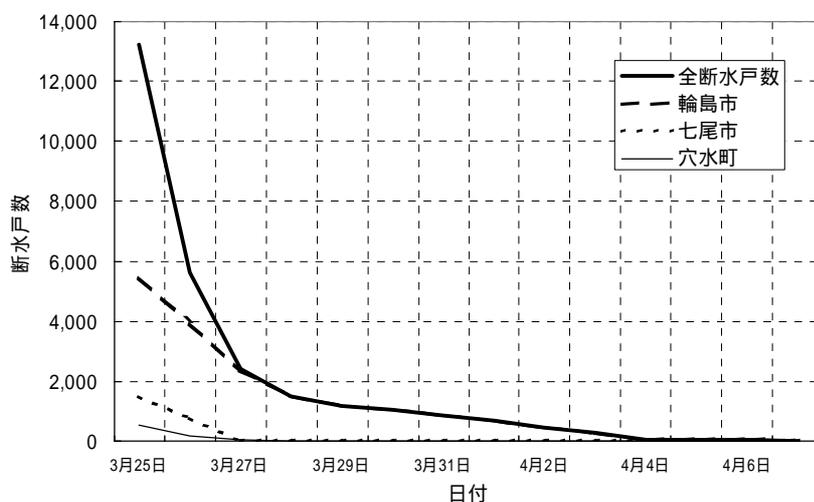


図9.1.4 1 断水戸数の推移



写真 9.1.4-1 200DIP の T 形継手の抜け



写真 9.1.4-2 250DIP の SII 形継手
被害なし



写真 9.1.4-3 100ACP の管体破損



写真 9.1.4-4 仕切弁本体部の破損

参考文献

- 1) 平成 19 年(2007 年)能登半島地震水道施設被害調査団(厚生労働省健康局水道課)：平成 19 年(2007 年)能登半島地震水道施設被害等調査報告書，2007.8 .

9.2 下水道の被害状況

9.2.1 被害地区の下水道の整備状況

表 9.2.1-1 および表 9.2.1-2 は、能登半島地震において震度 5 強の被害を受けた 5 市町の下水道等の概要と汚水処理施設の普及率を示している。いずれも、平成 3 年以降に共用開始し、近年急速に下水道整備が進んだ地域である。小規模な公共下水道、特定環境保全公共下水道、農村集落排水処理施設などが点在しているのが特徴である。

表 9.2.1-1 被害地区の下水道の概要

市町名	処理区	下水道種類	供用開始年月日	計画処理人口(人)	計画処理面積 (ha)	計画汚水量 (m ³ /日最)	処理方式
七尾市	七尾	公共下水道	平成16年4月1日	31,000	1,094	25,300	標準活性汚泥法
	和倉	公共下水道	平成 6年8月 1日	16,100	271	11,300	オキシデーションイッチ法
	田鶴浜	特定環境保全公共下水道	平成 6年4月 1日	3,950	86	1,610	オキシデーションイッチ法
	中島	特定環境保全公共下水道	平成10年3月31日	3,700	93	1,680	オキシデーションイッチ法
	長浦	特定環境保全公共下水道	平成17年3月31日	400	7	140	オキシデーションイッチ法
	能登島	特定環境保全公共下水道	平成 8年3月28日	2,110	56.5	740	オキシデーションイッチ法
輪島市	輪島	公共下水道	平成12年6月2日	16,700	421	10,000	オキシデーションイッチ法
	門前	特定環境保全公共下水道	平成 7年 3月31日	3,720	152	1,800	オキシデーションイッチ法
	剣地	特定環境保全公共下水道	平成17年3月31日	840	26	380	オキシデーションイッチ法
珠洲市	珠洲	公共下水道	平成3年11月1日	15,060	537	7,180	オキシデーションイッチ法
	宝立	公共下水道	平成16年12月10日	4,220	163	1,730	オキシデーションイッチ法
志賀町	中央	公共下水道	平成13年3月28日	7,500	347	4,880	オキシデーションイッチ法
	西海	特定環境保全公共下水道	平成12年 3月27日	1,760	43	670	オキシデーションイッチ法
	福浦	特定環境保全公共下水道	平成16年12月7日	800	15	300	オキシデーションイッチ法
能登町	宇出津	特定環境保全公共下水道	平成12年4月1日	5,150	215	2,530	オキシデーションイッチ法
	恋路	特定環境保全公共下水道	平成10年3月31日	1,100	26	370	オキシデーションイッチ法
	小木	公共下水道	平成16年3月31日	6,160	100	3,250	オキシデーションイッチ法
中能登町	南部	特定環境保全公共下水道	平成 9年12月10日	3,350	90.4	1,640	オキシデーションイッチ法
	北部	特定環境保全公共下水道	平成13年 3月31日	3,320	92	1,480	オキシデーションイッチ法
	中部	特定環境保全公共下水道	平成 8年10月28日	5,100	170	2,700	オキシデーションイッチ法
	東部	特定環境保全公共下水道	平成14年12月10日	3,100	96	1,600	長時間エアレーション
	能登部・金丸	特定環境保全公共下水道	平成 5年10月 1日	4,660	139	1,800	オキシデーションイッチ法
穴水町	穴水	公共下水道	平成12年4月20日	4,250	164	2,400	オキシデーションイッチ法

表 9.2.1-2 被害地区の汚水処理施設整備率

町名	行政人口 H18.3.31 現在 (人)	下水道		集落排水		コミプラ、 浄化槽等		合 計	
		処理人口 (人)	普及率 (%)	処理人口 (人)	普及率 (%)	普及人口 (人)	普及率 (%)	処理人口 (人)	普及率 (%)
七尾市	62,285	17,025	27.3	13,078	21	6,168	9.9	36,271	58.2
輪島市	34,555	14,586	42.2	1,320	3.8	3,304	9.6	19,210	55.6
珠洲市	19,224	5,607	29.2	1,021	5.3	2,188	11.4	8,816	45.9
志賀町	25,046	5,402	21.6	5,752	23	3,479	13.9	14,633	58.4
能登町	23,183	7,732	33.4	4,668	20.1	2,766	11.9	15,166	65.4
中能登町	20,090	16,646	82.9	3,275	16.3	70	0.3	19,991	99.5
穴水町	10,939	3,321	30.4	220	2	2,732	25	6,273	57.3

9.2.2 下水道の被害状況

表 9.2.2-1 は、下水道および集落排水処理施設の被害延長と被害箇所数を示している。処理場・ポンプ場の被害は、震度 6 強を観測した輪島市と七尾市、および震度 5 強の珠洲市でのみ認められた。被害の概要は、表 9.2.2-2 に示すように、汚泥棟ダクトや処理城内配管などであり、いずれも水処理を継続するのに問題を生じることにはなかった。写真 9.2.2-1 は、最も大きなゆれを観測した輪島市門前地区の門前浄化センターの被害状況であるが、あちこちに液状化による陥没やひび割れが認められたが、水処理を継続するには問題は生じなかった。汚泥処理棟の被害で汚泥処理ができなかったために、輪島市浄化センターにバキュームで汚泥を搬送することにより緊急対応を行なった。ポンプ場の瓦の崩落などの被害も認められた(写真 9.2.2-2)。一方、輪島市と同様に震度 6 強を観測した穴水町の浄化センターでは、ほとんど被害が認められなかった。また、志賀町北吉田地区の農業集落排水処理施設において接触材の浮上がみられた(写真 9.2.2-3)。

表 9.2.2-1 下水道および集落排水処理施設の被害延長と箇所

	市町名	処理区数	管路施設		処理場
			被害延長	マンホール	
下水道	七尾市	4	561	3	1
	輪島市	3	13754	163	4
	珠洲市	1	0	0	1
	志賀町	2	81	0	0
	中能登町	1	44	0	0
	穴水町	1	142	0	0
	計	12	14582	166	6
農業集落排水	七尾市	3	370	0	0
	輪島市	3	2111	14	0
	珠洲市	1	69	0	0
	志賀町	8	4226	3	0
	中能登町	0	0	0	0
	計	15	6776	17	0
漁業集落排水	輪島市	2	299	2	0
	計	2	299	2	0
総計		29	21657	185	6

表 9.2.2-2 処理場ポンプ場の被害概要

市町名	施設名称	被災状況
輪島市	門前水質管理センター	場内配管破損 汚泥棟ダクト破損 ホッパー台座破損 場内舗装一部沈下
	輪島浄化センター	ホッパーロードセル破損
	劔地浄化センター	汚泥棟ダクト破損 場内配管破損 場内舗装一部沈下
	堀町ポンプ場	場内舗装一部沈下
七尾市	中島浄化センター	場内舗装一部沈下
珠洲市	珠洲浄化センター	機械棟, 乾燥棟ダクト破損 一部壁面破損



バキュームによる汲み上げ
写真 9.2.2-1 門前浄化センター



反応槽周りの被害



場内舗装の沈下



汚泥棟ロードセル基礎のずれ



換気ダクトの破損

写真 9.2.2-1 門前浄化センター



写真 9.2.2-2 輪島市堀町ポンプ場（石川県撮影）



写真 9.2.2-3 接触材の浮上（石川県撮影）
志賀町北吉田地区農業集落排水処理施設

一方、管路施設では、震度 5 以上を観測した輪島市、穴水町、七尾市、中能登町、志賀町の広範囲にわたり被害が発生した。特に、震度 6 強を示した輪島市の被害が大きかった。志賀町では農業集落排水処理施設に大きな被害が認められた。表 9.2.2-3 は管路施設の被害の概要（一次調査結果）を示している。輪島市門前処理区および輪島市輪島処理区では、いたるところでマンホールの浮上や道路の陥没が認められた（写真 9.2.2-5）。志賀町の農業集落排水処理施設においては大きな被害が発生し、一部マンホールからの漏水が認められた（写真 9.2.2-4）。図 9.2.2-1 は門前処理区の下水道管路網と被害地域を示している。八ヶ川左岸と右岸の幹線に大きな被害が発生した。特に、八ヶ川右岸は、耐震設計がなされた管路施設であるにもかかわらず、液状化による被害が発生していた。また、推進施工による管路の破損箇所が数箇所確認された。一方、輪島処理区では、マンホールの浮上よりも路面異常や流下阻害が多く認められた。被害は広範囲に認められたが、市街地より約 3km 上流部鳳至川左岸に位置する浄化センター付近は、住宅被害が少なく、処理場でも被害がほとんどなかったにもかかわらず、多くの管路被害が認められた。

表 9.2.2-3 下水道の被害概要（第 1 次調査結果）

		路面異常	人孔滞水	途中水没	管閉塞	本館破損	本管浸入水	人孔鉄蓋破損	人孔躯体破損	土砂汚水	管接合部	隆起沈下	その他
七尾市	七尾	1	3					1				1	
	和倉	13	17									1	
	田鶴浜	3	7										
	中島	5	5			2			1				
輪島市	輪島	多数	80			2			2			10	
	門前	751	321	165	35	28	10	53	72	16	24	305	79
	剣地	5	2					2			7	6	
珠洲市	珠洲								6				
志賀町	中央	4	1	2	1					1			
	富来	1	1										
中能登町	南部	1	2										
穴水町	穴水	20	2								1	2	
計		804	441	167	36	32	10	56	81	17	32	325	79



マンホールの浮上（輪島市門前処理区）



路面陥没（輪島市門前処理区）



路面陥没



マンホール内滞水
（輪島市門前町皆月地区漁業集落排水）



マンホールからの漏水
志賀町町居地区農業集落排水処理施設

写真 9.2.2-4 下水道管路施設の被災状況（石川県撮影）



写真 9.2.2-5 下水道管路施設の被災状況

9.2.3 災害調査と復旧

県内 13 市町より延べ 153 名、下水道事業団など延べ 170 名の人的支援を得て、調査復旧作業にあたった。地震発生直後から目視による緊急調査を行い、道路交通の確保を優先して緊急に復旧が必要な箇所については、応急復旧を行なった。応急復旧の内容は、バキューム車による汲み取り、架設ポンプおよび架設管の敷設、路面の復旧などである。門前処理区では 8 地区 31 箇所に架設ポンプを設置した。その結果、水道の復旧より先に下水道の流下機能を確保することができ、汚水の漏出による環境汚染の問題はほとんど発生しなかった。架設ポンプは門前処理区以外でも多く用いられ、全設置基数は 41 基であった。

その後の一次調査では、事前の緊急調査で異常ありと判断された箇所について、目視およびミラーテストなどにより詳細な調査を行なうとともに、テレビカメラによる 2 次調査箇所の選定を行なった。さらに、2 次調査では、テレビカメラを用いて取り付け管接合部などの詳細な調査を行ない、6 月に災害査定が終了した。



輪島市門前処理区



輪島市門前処理区



輪島市門前処理区



輪島市輪島処理区

写真 9.2.3-1 仮復旧の様子



写真 9.2.3-2 バキュームによるマンホールの汲み上げ（志賀町）

9.2.4 まとめ

本地震でも液状化による被害が多く認められたことから、液状化対策の重要性が示された。また、農業集落排水処理施設の被害も大きかったことから、これらの耐震性の向上も必要であろう。

本地区は、市町村合併の直後であり、相当の混乱が予想されたが、石川県および周辺市町村の応援により、水道の復旧に送れることなく下水道の全面仮復旧を終えることができ、下水道使用不能の事態を回避することができた。輪島市では、上水道と下水道の復旧に特別な連携を持ったわけではなかったが、水道と下水道の担当部署が上下水道課として統一されており、同一事務所内に存在したために、情報交換ができたことが普及を早期に進めることができた要因となったようである。

9.3 災害廃棄物の発生状況とその対応

9.3.1 災害廃棄物

地震時には、生活系ごみ・家財などの一般廃棄物と住宅などの解体に伴う解体廃棄物が大量に発生する。一般廃棄物には、避難所から発生する可燃ごみや、壊れた食器類や家具類などの不燃ごみ、粗大ゴミのほかに特定家電（テレビ・冷蔵庫・洗濯機・エアコン）なども含まれる。一方、解体廃棄物には、木くず、がれき、金属くず、その他さまざまなものが含まれてくる。ここでは、特に被害の大きかった輪島市と穴水町の廃棄物の発生状況とその対応について報告する。

9.3.2 一般廃棄物の発生状況

(1) 被災地区の一般廃棄物処理施設

被災地区の一般廃棄物の焼却場および最終処分場を表 9.3.2-1 に示す。可燃ごみに関しては、旧輪島市および旧門前町と穴水町の広域事務組合である輪島市穴水町環境衛生施設組合および能登町内浦地区がそれぞれ機械化バッチ式の焼却施設を有しているが、その他の市町は RDF 化して石川北部 RDF センターに搬出している。一方、山間部に多くの最終処分場を有している。本地震において、最終処分場に大きな被害は報告されていない。輪島クリーンセンターおよび輪島市穴水町環境衛生組合クリーンセンターにおいて炉や煙突に被害が生じたが、炉を停止することなく、運転を継続した。

表 9.3.2-1 被災地区の一般廃棄物焼却場および最終処分場

設置主体・施設の名称	処理能力(t/日)	炉数	炉型式	処理方式	竣工年月
輪島市輪島クリーンセンター焼却処理施設	50	2	機バ	ストーカ	H06/03
能登町能登町内浦クリーンセンター	14	2	機バ	ストーカ	H09/03
輪島市穴水町環境衛生施設組合クリーンセンター	25	2	機バ	ストーカ	H02/03
石川北部アール・ティ・エフ広域処理組合石川北部RDFセンタ	160	2	全連	流動床(ガス化熔融)	H15/03

1 炉型式

- ・全連: 全連続炉(24時間の連続運転)
- ・准連: 准連続炉(1日16時間程度の運転)
- ・機バ: 機械化バッチ炉(1日8時間程度の運転)

2 処理方式

- ・ストーカ式: 可動式の床(火格子)上にごみを乗せて焼却す
- ・流動床: 空気とともに砂を舞い上げて、流動化し、その焼却する方式

設置主体・施設の名称	施設の所在地	総面積(m ²)	埋立面積(m ²)	埋立容量(m ³)	竣工年月
輪島市輪島クリーンセンター埋立処分場	輪島市美谷町地内1	85,000	23,000	250,000	H12/10
珠洲市一般廃棄物埋立処分場	珠洲市宝立町春日野△15-1	50,560	29,560	213,000	S58/04
能登町能登町能都埋立処分場	能登町宇出津山分	118,699	17,300	131,610	H08/03
能登町能登町能都不燃物処理場	能登町宇出津山分	84,296	18,200	70,000	S50/05
能登町能登町柳田埋立処分場	能登町字柳田3部1	15,000	10,000	300,000	S49/06
能登町能登町内浦埋立処分場	能登町字福光4字23	29,237	15,145	75,000	S45/04
七尾鹿島広域圏事務組合中央埋立場	七尾市藤橋町3部1番地	80,571	25,000	210,800	H07/05
輪島市穴水町環境衛生施設組合山中処分場	穴水町字山中ワ字23	42,425	42,425	43,250	S48/08
輪島市穴水町環境衛生施設組合原最終処分場	穴水町字小又二字5の1	56,286	3,700	9,000	H14/09

(2) 穴水町

穴水町においては、地震発生直後からシルバーによる個別収集が行なわれたが、分別されていない一般ゴミが大量に山中処分場に搬入され、2日間でほぼ4ヶ月分の廃棄物が発生した。本処分場は旧処分場の跡地に作られたために浅い構造をしており、埋立容積は43250m³とわずかであることから、延命化のために、28日よりボランティアを導入して徹底的な分別を行い、4月5日

までの埋立処分量を 9m^3 に抑えることができた。ボランティアによる分別作業は、分別品目ごとにグループ分けし、職員が1名ずつ担当して、搬入された廃棄物を手作業で分別するという方式をとっており、作業は効率的に行なわれていたが、作業環境の点では今後検討を行なう必要がある。

図 9.3.2-1 は、山中処分場に搬入された廃棄物量を示している。通常年の年間搬入量は約 600ton であるのに対し、3 月の搬入量は 373ton と半年分の廃棄物が発生している。4 月分の搬入量は通常の 2 倍程度であり、5 月になると通常月よりも減少していることから、一般ごみの搬入は 1 ヶ月程度で収束したものと考えられる。一方、図 9.3.2-2 に示すように、クリーンセンターに搬入された廃棄物量（輪島市門前地区分を含む）は、3 月 4 月に通常年の 4 割程度の増大が認められた。

一方、山中処分場の敷地内に写真に示すように指定家電（テレビ、洗濯機、冷蔵庫、エアコン）が大量に運び込まれていた。表 9.3.2-2 は、搬入された指定家電の台数であるが、テレビだけで 853 台にのぼっている。穴水町の全世帯数は 3744 世帯、住宅被害は一部損壊をあわせて 497 戸であることを考えると、かなり多く、災害に便乗した排出もあったものと考えられる。これらの運搬料金とリサイクル料金は自治体が負担することになっている。



穴水町のごみステーション（2007.3.30）



山中処分場（2007.3.30）



ボランティアによる分別作業と分別だれた廃棄物（山中処分場 2007.3.30）

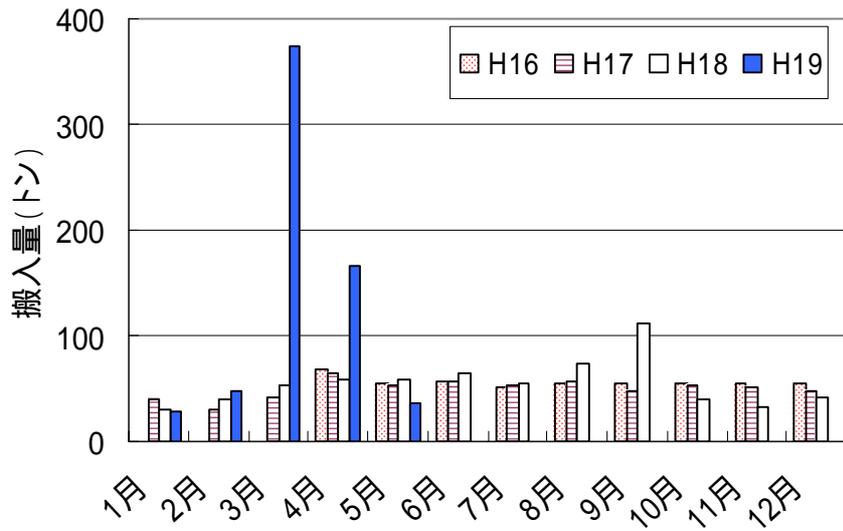


図 9.3.2-1 山中処分場に搬入された廃棄物量

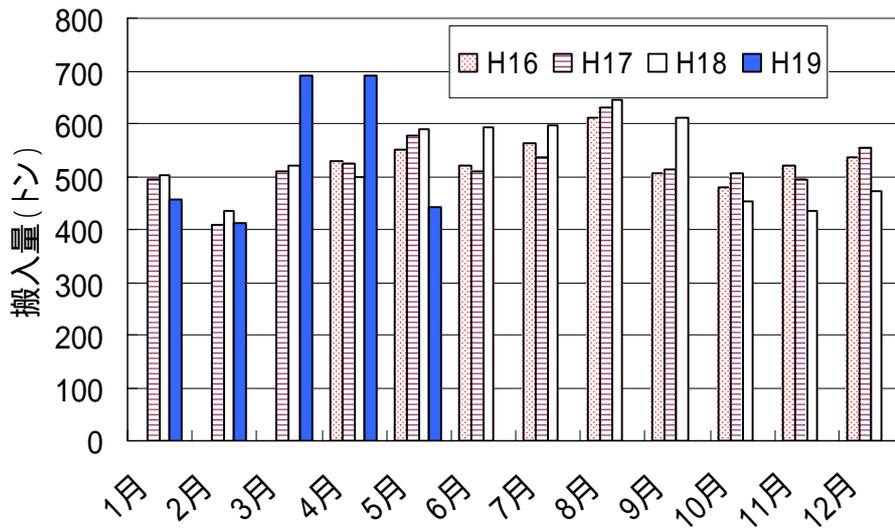


図 9.3.2-2 クリーンセンターに搬入された廃棄物量



指定家電の保管状況（山中処分場 2007.3.30）

表 9.3.2-2 指定家電の発生台数

	発生台数
テレビ	853
冷蔵庫	193
洗濯機	95
エアコン	54

（3）輪島市

輪島市では、指定ゴミ袋の有料化を行なっていたが、災害後、「もやせるごみ」「もやせないごみ」の指定ゴミ袋を市内全世帯に無料配布することにより、無料回収を行なった。さらに、処分場への持込も、無料とした。

輪島市では、当初から周辺市町村の応援を得て分別回収を行った。輪島地区では仮置き場は設けず、ステーション収集と自己搬入で対応した。門前地区は、処分場が離れている（車で30分程度）ため、通常のステーション収集に加え、阿岸、黒島、諸岡、本郷、浦上の5地区に駐車場や空き地を利用した仮置き場を設けた。

ステーションの状況はさまざまであり、十分に分別が行なわれていないところも見受けられたが、多くの市町村の応援により収集作業が行なわれたため、収集作業員によるある程度の分別が可能であった。一方、仮置場にはさまざまな廃棄物が持ち込まれていた。ビニールシートが敷かれ、分別用の立て札が設置されていたが、十分に守られているとは言い難い状況であった。これらの仮置場は14日まで使用し、その後、ボランティアを使って分別し、不燃物は輪島市クリーンセンターに、可燃物は輪島市クリーンセンターおよび輪島市穴水環境衛生組合クリーンセンターに搬入した。



旧門前町の収集の様子（2007.3.30）



旧門前町地区のステーション（駐車場を利用して分別していた。2007.3.30）

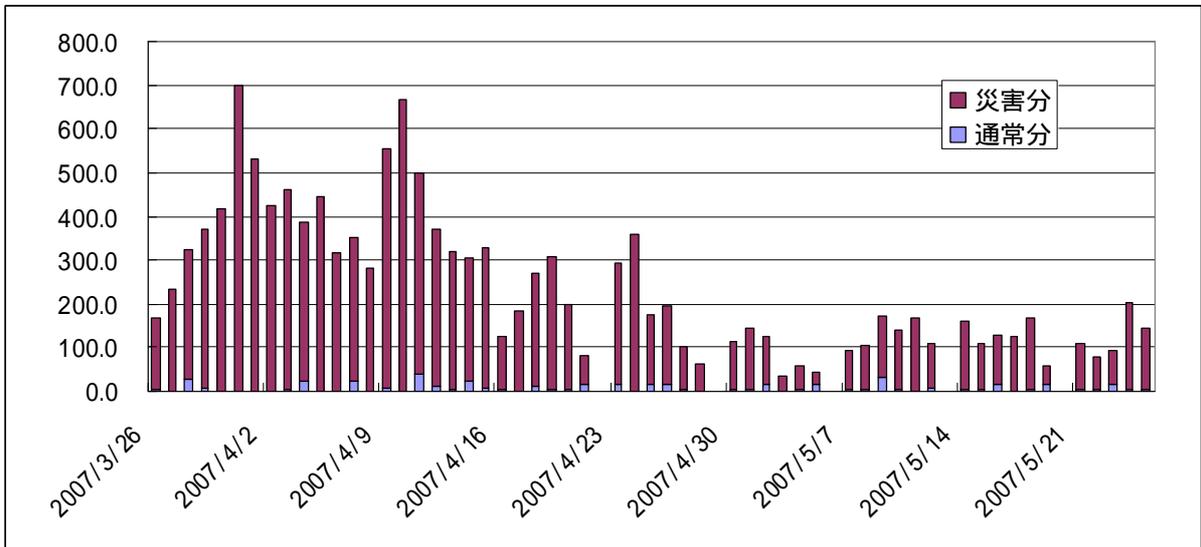
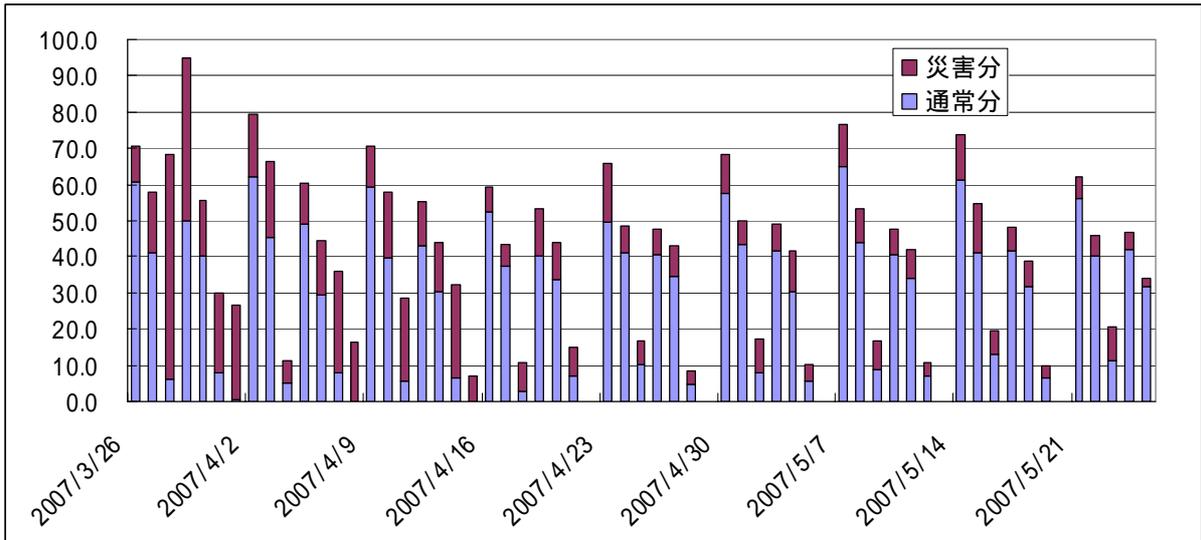


旧門前地区のステーション付近（狭い場所に大量のごみが排出されていた。2007.3.30）



旧門前町諸岡公民館前の仮置場（2007.3.30）

図 9.3.2-2 は輪島市クリーンセンターへの搬入量の推移を示している。可燃ごみの搬入量は地震直後に増大したが、1 週間でほぼ定常になり、通常の 2 割程度の増大に止まっている。焼却場では通常の 8 時間運転の炉を 14 時間稼動して対応していた。一方、埋立ごみは 1 ヶ月程度大量に発生し、その後定常になってはいるが、通常年と比較すると大きな増大となっている。埋立場の容積が大きく、残余容量に比較的余裕があるため、指定家電と消火器、金属類の回収を行なった後、埋立処分を行なっていた。

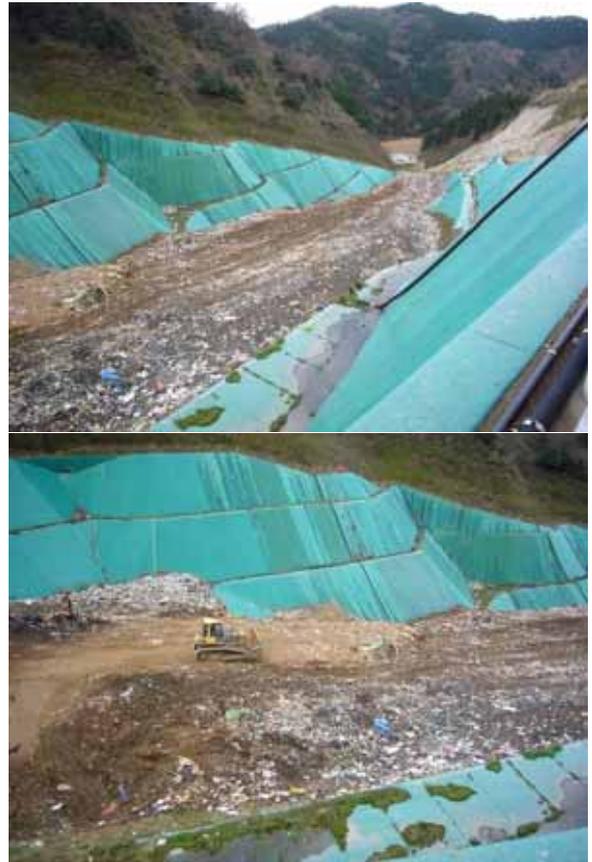


焼却施設全景



周囲に仮置された粗大ごみ

輪島クリーンセンター焼却施設 (2007.4.5 撮影)



輪島市クリーンセンター埋立場（2007.4.5 撮影）



輪島市クリーンセンター埋立場横に分別された金属類（2007.4.5 撮影）



輪島市クリーンセンターで仮置きされた指定家電（2007.4.5撮影）

9.3.3 解体廃棄物の発生状況

穴水町では、解体が早期に始まったため、当初ほとんど分別がなされないまま、山中処分場の安定型埋立地に仮置きされたが、その後、穴水港の埋立地に仮置場を設け、消防団の監視の下に業者による持込がなされていた。仮置場は、コンクリート、かわら、金属、木屑に分けられていたが、木屑の中には、ふとんや家具類、電化製品、食器類などが混入したままであった。また、夜間に家具類などが持ち込まれるという問題も発生した。

7月末より、現地での分別作業の後、コンクリート、かわら、金属、木屑のリサイクルのための搬出が開始された。

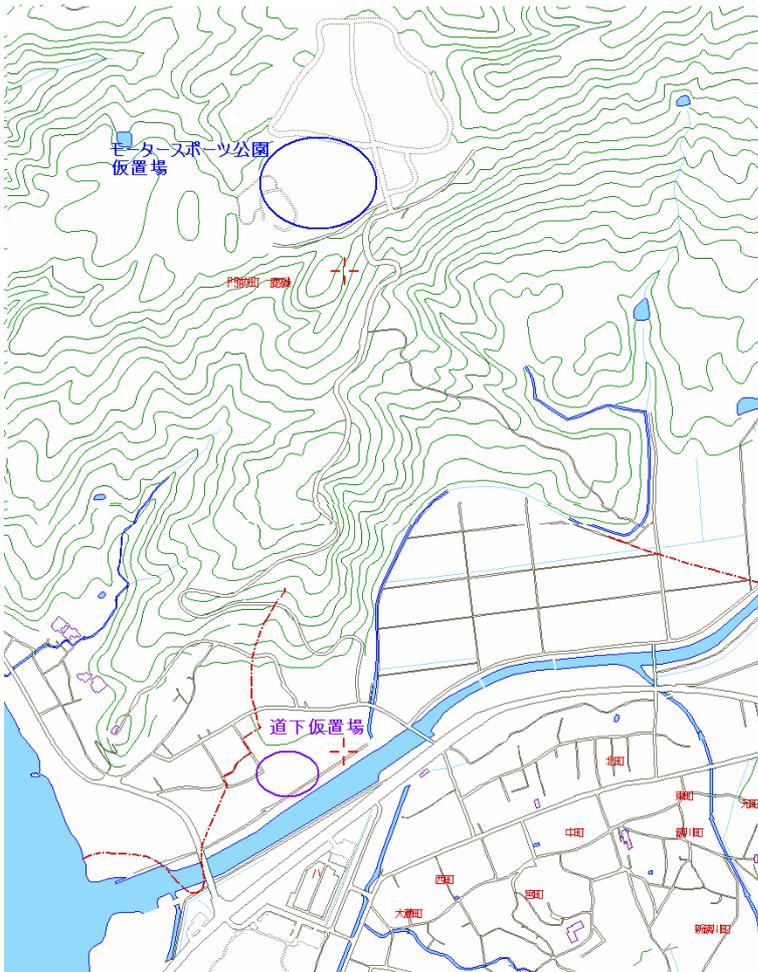


穴水港仮置場 (2007.4.5)



穴水港仮置き場（2007.8.1）

輪島市門前地区では、当初、地元の建設業共同組合が東下地区に私有地を借りて仮置き場を設けたが、その後、モータースポーツ公園に仮置き場が変更となった。モータースポーツ公園は広大な敷地であり、搬入路が急勾配であるが、周辺への環境影響が少ない場所であった。





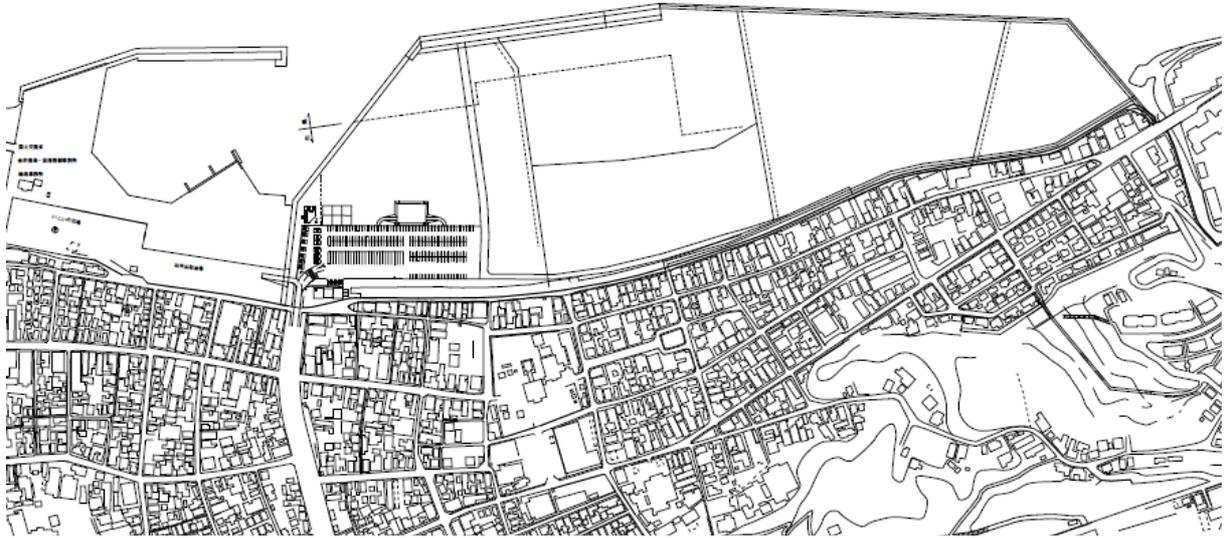
東下地区解体廃棄物仮置場（2007.4.17）

輪島市輪島地区では、マリントウン横の埋立地に広大な仮置場を設けて、木くず、がれき、金属くず、その他に分別して搬入するように指導した。しかし、他地区と同様に木くずには、布団や衣類、家具が多く混ざった状態であった。

マリントウンは市街地や観光施設に近いことから、粉塵の飛散が懸念されたために、5月より周囲をシートで覆って、粉塵の飛散をできるだけ抑えるとともに、大気環境測定を行なった。また、現地で分別作業のための切り返しをすることにより、腐敗や発火を防ぐ対応を行なった。7月末より、現地で分別後、搬出を行なっている。

新潟県中越地震における2市2町のデータを基に、解体廃棄物の発生量を試算し、処理計画をたてて進行しているが、今後、詳細な実績を解析する必要がある。

//



マリンタウン航空写真（2007.5.31，輪島市撮影）



住宅解体の様子（輪島市）2007.4.5



2007.4.5



仮置場での分別作業（2007.8.1）

9.3.4 課題

一般廃棄物に関しては、分別と収集の方式が地域によって異なっていたが、収集後の分別は危険性を伴うことから注意が必要である。仮置場への不法投棄や被災廃棄物の投棄、指定家電の大量発生などの問題も発生した。一方、解体廃棄物に関しては、解体時期や解体時の分別の方法などを検討しておく必要がある。

第 10 章 宅地被害

10. 宅地被害

10.1 宅地造成の変遷

10.1.1 輪島市門前町道下の変遷

図10.1.1-1は、門前町道下のこれまでの昭和42年、平成2年、平成13年の過去と現在の1/25,000の地形図の比較したものである。また、写真10.1.1-1は、昭和42年と平成19年現在の航空写真から比較し重ねたものであり、住宅の状況も変化していないのが分かる。この図や航空写真から分かるように周辺に幹線道路ができその近辺に新たに住宅が多少できているものの、その街の姿は従来から変化していないことがわかる。

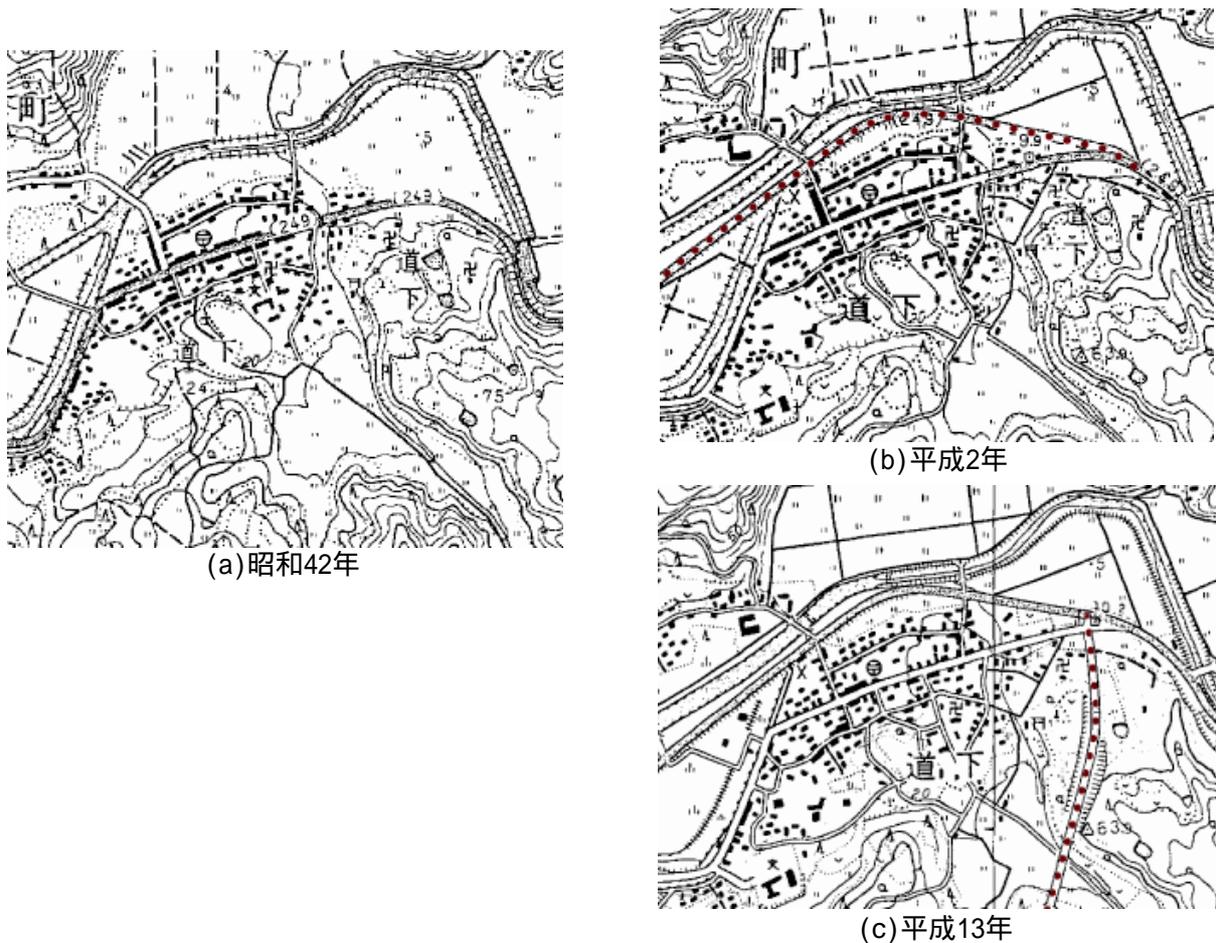


図10.1.1-1 過去と現在の1/25,000の地形図の比較



昭和42年



平成19年

写真10.1.1-1 過去と現在の航空写真の比較

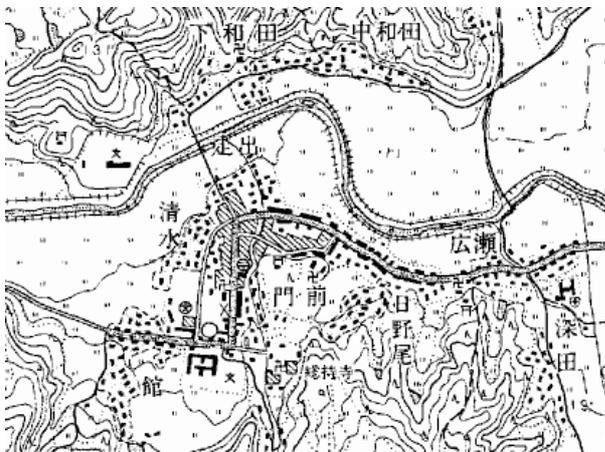


写真10.1.1-2 過去と現在の航空写真の重ね図

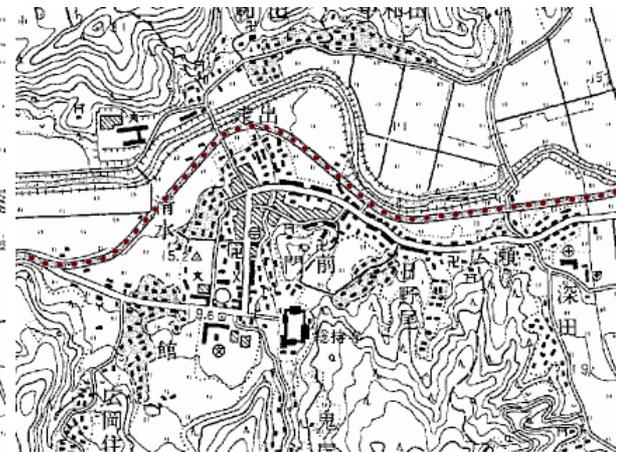
写真10.1.1-3
昭和42年の航空写真と現在の地形図

10.1.2 輪島市門前町総持寺の変遷

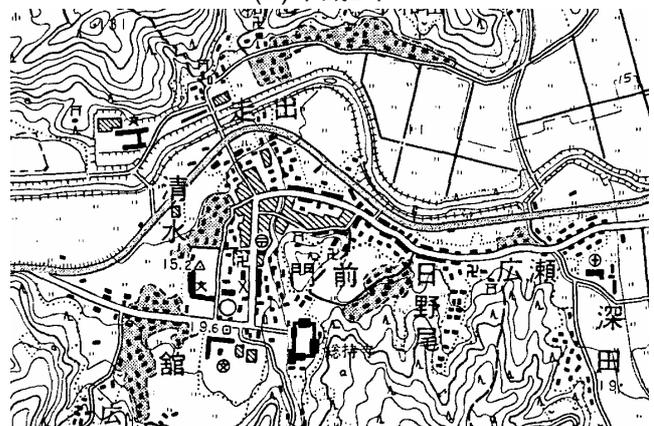
図 10.1.2-1 は、門前町総持寺のこれまでの昭和 42 年、平成 2 年、平成 13 年の過去と現在の 1/25,000 の地形図の比較したものである。また、写真 10.1.2-1 は、昭和 42 年と平成 19 年現在の航空写真から比較し重ねたものであり、住宅の状況も変化していないのが分かる。この図や航空写真から分かるように周辺に幹線道路ができ走出、広瀬付近に新たに住宅が多少できているものの、その街の姿は従来から変化していないことがわかる。



(a)昭和42年



(b)平成2年



(c)平成13年

図10.1.2-1 過去と現在の1/25,000の地形図の比較



昭和42年



現在

写真10.1.2-1 過去と現在の航空写真の比較



写真10.1.2-2 過去と現在の航空写真の重ね図



写真10.1.2-3
昭和42年の航空写真と現在の地形図

10.2 宅地擁壁の被害

門前町道下・総持寺地区、穴水町の建築物に大きな発生した地点は、概ね平坦地で擁壁の被害が少ない。門前町道下・総持寺地区では、南側の山地は一段高くなっているため、擁壁や斜面が高低差のある範囲で数多くあるが、新潟県中越地震や福岡県西方地震で多数発生した擁壁等の崩壊は、少なかった。空石積擁壁は多数あったが、全体的にみると被害は比較的軽微であった。

写真10.2-1は、現場打ちL型擁壁のコーナー部に上部建築物の土圧増加や沈下などによる壁体のコンクリート造擁壁の縦壁の損傷・傾斜、コーナー部のひび割れが生じている。コーナー部分は構造上弱点となるため補強しなければならないが、施工で目地を設けていたため、その部分に亀裂が生じた。また、擁壁が建築物の近傍にあり、擁壁の変状が直接の基礎被害につながっている。現行規定を満足しない擁壁が大きく前傾する要因のひとつには、背景地盤や基礎周辺の液状化等による土圧増や基礎の沈下、壁体の破壊などが考えられるが、擁壁の構造方法と背面地盤の土性などを詳細に調査することが必要であり、合理的な補修・補強方法などの検討が今後重要である。

写真10.2-2の現場打ちL字型擁壁には、地震の以前に老施工不良及び建物荷重により既に亀裂が生じモルタルによる補修した跡も確認できる。コンクリート擁壁では、老朽化により耐久性が劣っているために、コーナー部に斜めの亀裂及びコーナー部から3m程度のところに縦の亀裂が生じている。写真10.2-3の現場打ちL字形擁壁では、施工時の打ち継ぎ部に横クラックが生じた。右奥部分では土砂が流れ出しているが、擁壁に水抜き穴がないために地下水を押し上げ液状化現象を生じ元の開口部を塞いでコンクリート版が崩壊して土を埋め戻した土砂が流出したものと考えられる。写真10.2-4は、直上に建物が載っている基礎を兼ねた特殊な形状の擁壁で、コンクリート断面が不足し基礎低版が無い無筋コンクリートであるためにコーナー部分の亀裂が生じた。

写真10.2-5は、鹿磯港における練石積擁壁の倒壊で、写真10.2-6は、練石積擁壁の横クラックである。写真10.2-7は、鹿磯港におけるプレキャスト擁壁の傾斜である。また、写真10.2-7は、ブロック間に鉄筋が挿入されていないために、ブロック塀の倒壊が発生している。宮城県沖地震で人命を失った教訓が生かされていない。



写真10.2-1 現場打ちL型擁壁：コーナー部
(コーナー部に目地を施工しているため)



写真10.2-2 現場打ちL型擁壁：コーナー部
(擁壁の施工不良、老朽化)



写真 10.2-3 現場打ちL字形擁壁の亀裂



写真10.2-4 建物基礎コンクリート：コーナー部
コンクリート断面の不足



写真10.2-5 鹿磯港：練石積擁壁の倒壊



写真10.2-6 鹿磯港：練石積擁壁の横クラック



写真10.2-7 鹿磯港：プレキャストL型擁壁の傾斜



写真10.2-8 ブロック塀の倒壊

10.3 宅地地盤の被害

10.3.1 門前町道下地区の被害

図 10.3.1-1～3 の建物被害の分析結果では、金沢大学の悉皆調査を基に、全壊 34.7%、半壊 21.4%、一部損壊 28.4%、無被害 11.9%、不明 3.5%となっている。この図から、国道 249 号線及び水資源管理センターや公園（避難仮設住宅設置所）に沿って全壊の中・大被害が多いことが分かる。図 10.3.1-4 は、悉皆調査に用いられた岡田・高井モデルによる木造及び鉄筋コンクリート造建築物の詳細破壊パターンである。

道下地区の建築年数は、図 10.3.1-5～7 に示すように 30 年以上が 70%、30～10 年が 13.1%、10 年以下が 1.6%、不明 15.4%と築 30 年以上の古い木造住宅が多いことが明らかとなった。

図 10.3.1-8 は、地盤の変状位置及び項目を示している。また、図 10.3.1-9 は、昭和 42 年の航空写真に図 10.3.1-8 の地盤変状箇所を重ねたものである。

地盤の被害は図 10.3.1-10 に示すように調査家屋の全体 513 件の内、30.8%の 158 件を占めている。地盤変状に対する変状項目は、図 10.3.1-10 地盤変状の分析に示すようにクラック 59.5%（94 件）、沈下 25.3%（40 件）、液状化噴砂 5.7%（9 件）、側方流動 4.4%（7 件）、隆起 2.5%（4 件）、擁壁崩壊 1.3%（2 件）、擁壁ずれ 1.3%（2 件）で、クラック、沈下が多い。

図 10.3.1.11 は、全体被害の分析を行ったものである。地盤変状箇所に建物被害程度が多いことが分かる。また、建築年代が新しいほど、建物被害が軽微であることが分かる。図 10.3.1-12 は、昭和 42 年の航空写真と被害要因を示したもので、道下地区の全体被害の分析結果がより明らかとなった。

写真 10.3.1-1 は、屋外で見られた道路舗装や地盤の地表面の亀裂が生じた付近の液状化による合併浄化層の隆起状況である。写真 10.3.1-2 及び写真 10.3.1-3 は、液状化により建物内部の床や土間が隆起現象を生じ、建物被害に直結していた。被害のあった住宅の井戸の地下水位は、写真 10.3.1-4 の様に地表面付近まで達しており、液状化による宅地地盤の隆起により写真 10.3.1-5 及び写真 10.3.1-6 の様に地表面を覆ったコンクリートに多数の亀裂が生じていた。すなわち、地盤が隆起して建物が被害を受けた宅地は、井戸の水面が地表面とほぼ一致し、この地域の非液状化層に薄く地下水位が非常に高いことが明らかとなった。地盤が基礎被害に影響を及ぼした原因としては、緩傾斜部の伏流水が絶えず供給されている地形に液状化が発生したために側方流動、陥没・沈下等の地盤変状により路面の亀裂や建物基礎部にズレが発生し全体的な基礎被害を生じたと考えられる。特に、国道沿いは十分に締固めされた盛土の液状化しない層（非液状化層）が厚く堆積しているために、この手前の宅地地盤の地下水位を地表面まで押し上げ、非液状層がないために側方流動の末端部に隆起現象が生じて、倒壊等の大きな建物被害となっている。



図10.3.1-1 建物被害

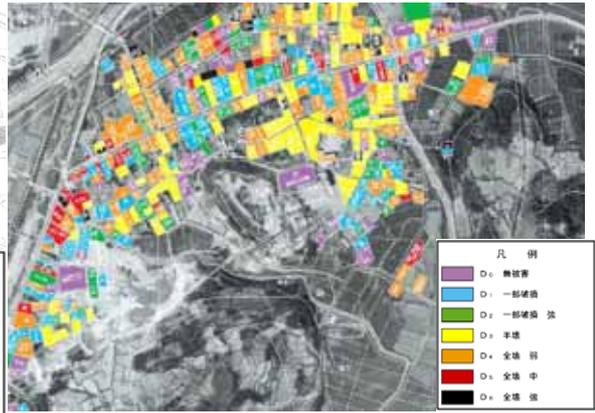


図10.3.1-2 昭和42年の航空写真と建物被害

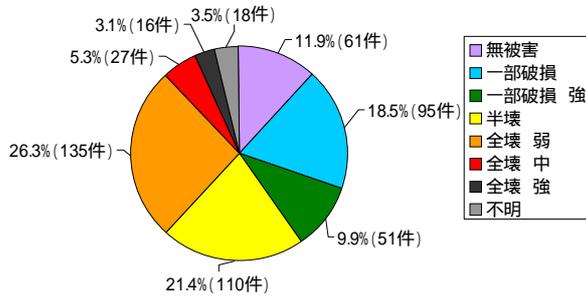
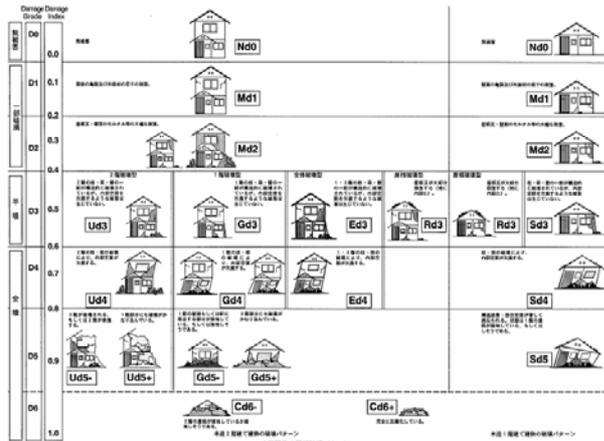
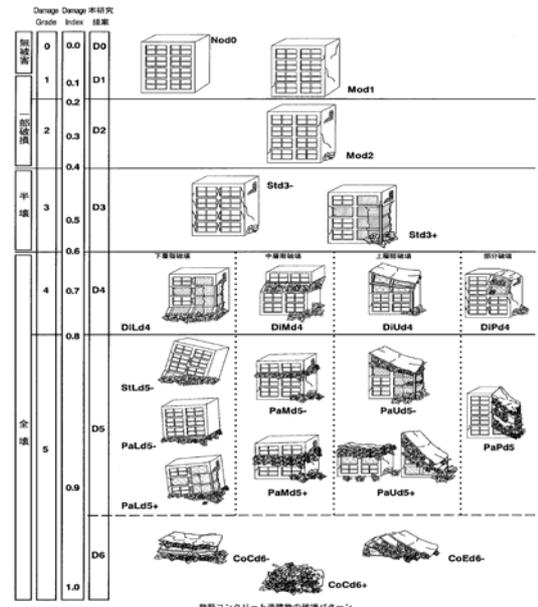


図10.3.1-3 建物被害の分析



(a)木造建築物



(b)鉄筋コンクリート建築物

図10.3.1-4 建築物の詳細破壊パターン（岡田・高井モデル）

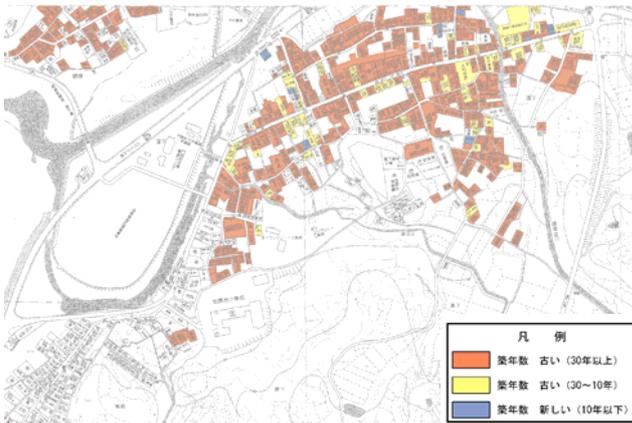


図10.3.1-5 建築年数

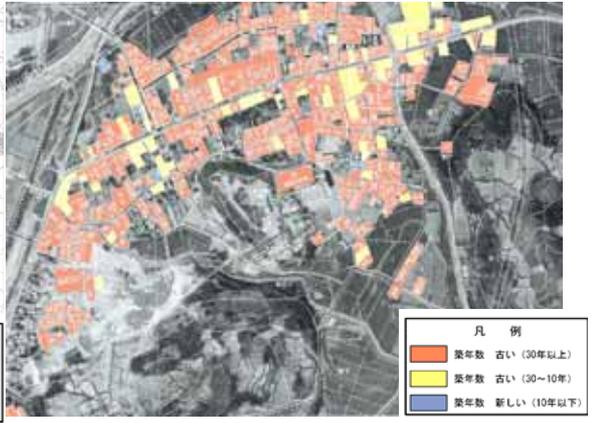


図10.3.1-6 昭和42年の航空写真と建築年数

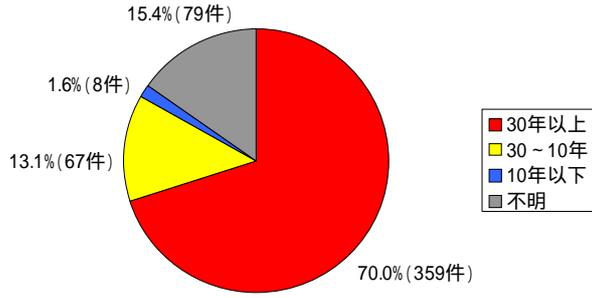


図10.3.1-7 建築年数の分析

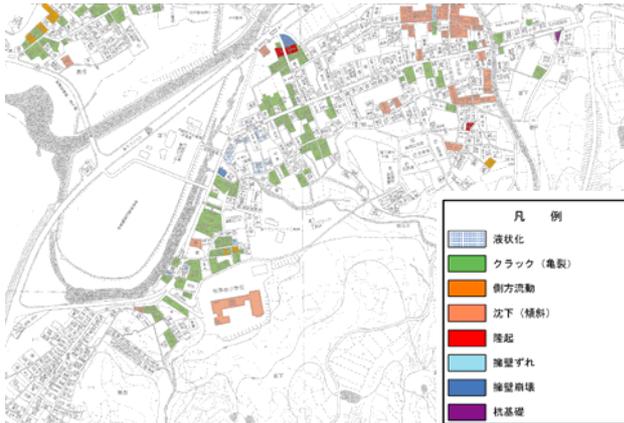


図10.3.1-8 地盤の変状位置及び項目

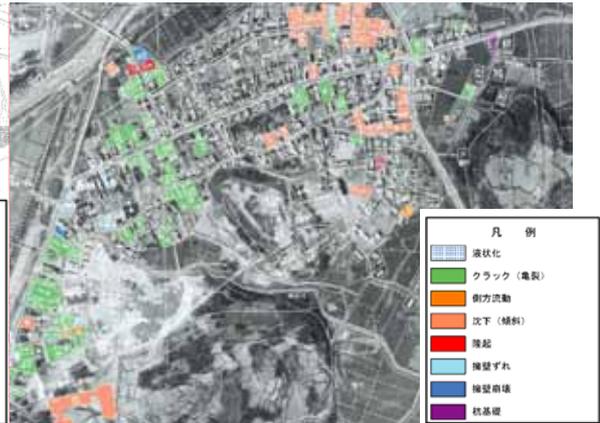


図10.3.1-9 昭和42年の航空写真と地盤変状

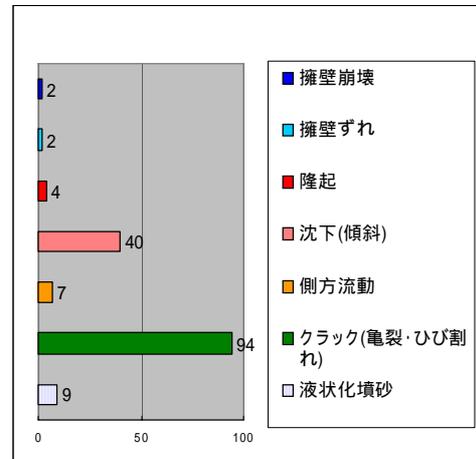
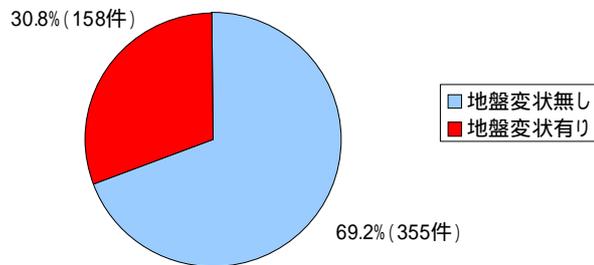


図10.3.1-10 地盤変状の分析



図10.3.1.11 全体被害の分析

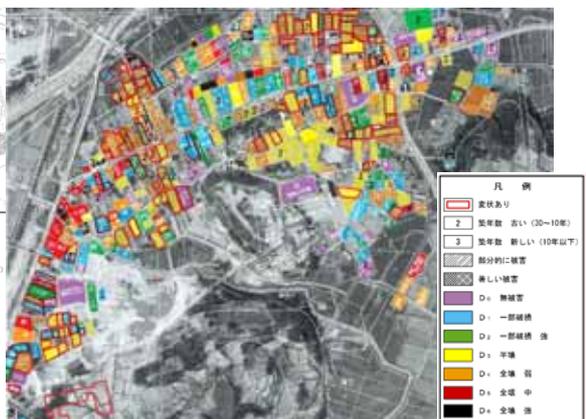


図10.3.1-12 昭和42年の航空写真と被害要因

図10.3.1.11 全体被害の分析



図10.3.1-12 昭和42年の航空写真と被害要因



写真10.3.1-1 液状化による合併浄化層の隆起



写真10.3.1-2 建物床部分の隆起



写真10.3.1-3 建物の土間コンクリートの隆起



写真 10.3.1-4 井戸の地下水位状況



写真 10.3.1-5 地盤の隆起によるモルタル部の亀裂盤の隆起



写真10.3.1-6 液状化による宅地地盤の隆起

10.3.2 門前町総持寺地区の被害

図 10.3.2-1～3 の建物被害の分析結果では、金沢大学の悉皆調査を基に、全壊 20.1%、半壊 17.7%、一部損壊 26.1%、無被害 16.5%、不明 19.5%となっている。この図から、国道 249 号線及び水資源管理センターや公園（避難仮設住宅設置所）に沿って全壊の中・大被害が多いことが分かる。

門前町総持寺地区の建築年数は、図10.3.2-4～6に示すように30年以上が60.5%、30～10年が25.1%、10年以下が6.4%、不明7.9%と築30年以上の古い木造住宅が多いことが明らかとなった。図10.3.1-7は、地盤の変状位置及び項目を示している。また、図10.3.1-8は、昭和42年の航空写真に図10.3.1-7の地盤変状箇所を重ねたものである。

地盤の被害は図 10.3.2-9 に示すように調査家屋の全体 605 件の内、27.8%の 168 件を占めている。地盤変状に対する変状項目は、図 10.3.2-9 に示すようにクラック 35.7%（60 件）沈下 43.4%（73 件）液状化噴砂 14.9%（25 件）側方流動 2.4%（4 件）陥没 1.8%（3 件）擁壁ずれ 1.8%（3 件）で、クラック、沈下が多い。

図 10.3.2.10 は、全体被害の分析を行ったものである。地盤変状箇所に建物被害程度が多いことが分かる。また、建築年代が新しいほど、建物被害が軽微であることが分かる。図 10.3.2-11 は、昭和 42 年の航空写真と被害要因を示したもので、門前町総持寺地区の全体被害の分析結果がより明らかとなった。

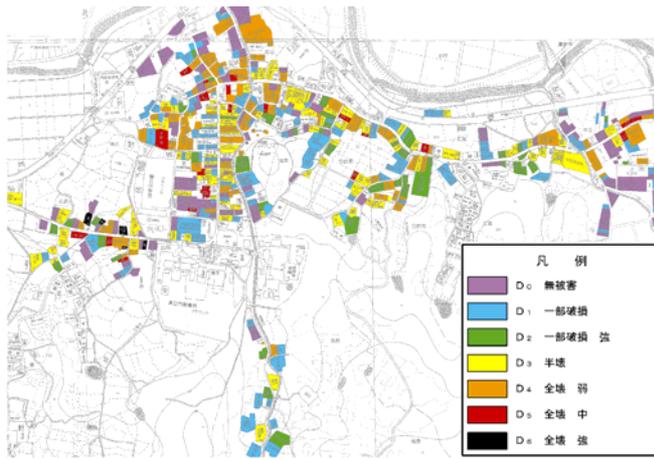


図 10.3.2-1 建物被害

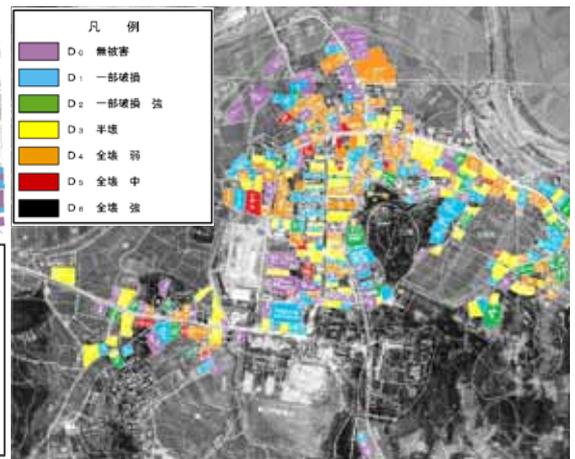


図 10.3.2-2 昭和 42 年の航空写真と建物被害

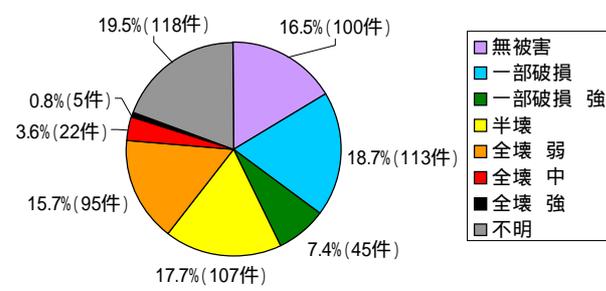


図 10.3.2-3 建物被害の分析

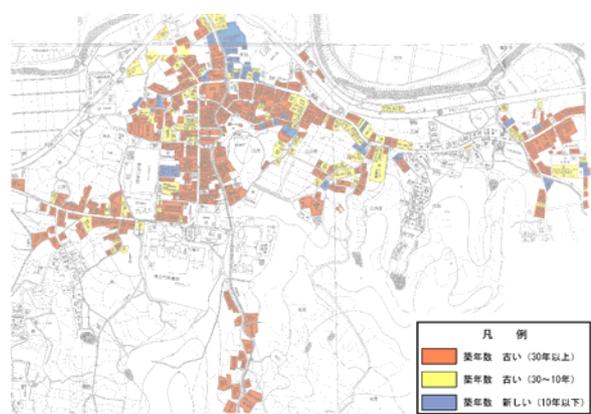


図 10.3.2-4 建築年数

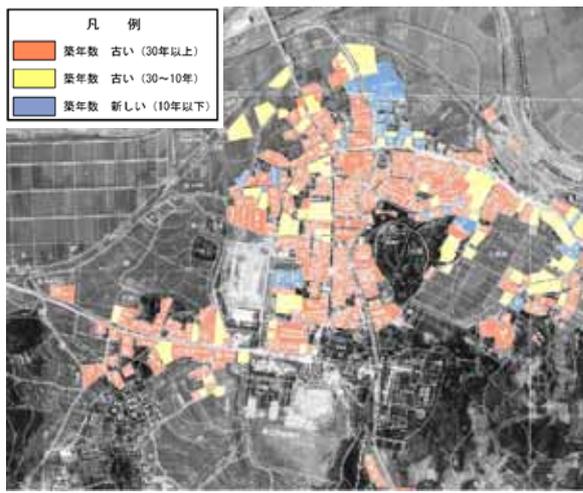


図 10.3.2-5 昭和 42 年の航空写真と建築年数

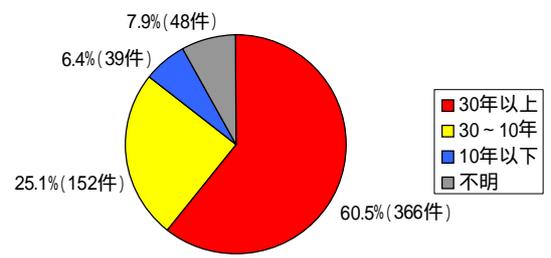


図 10.3.2-6 建築年数の分析

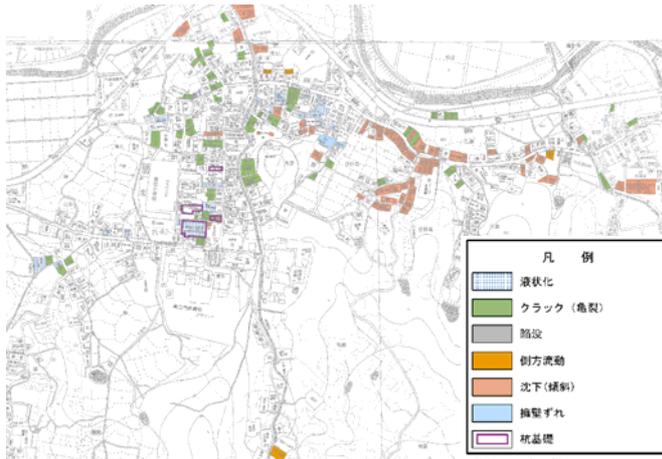


図 10.3.2-7 地盤変状

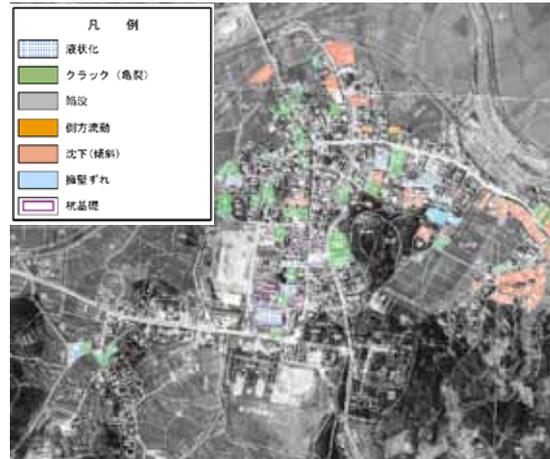


図 10.3.2-8

昭和 42 年の航空写真と地盤変状

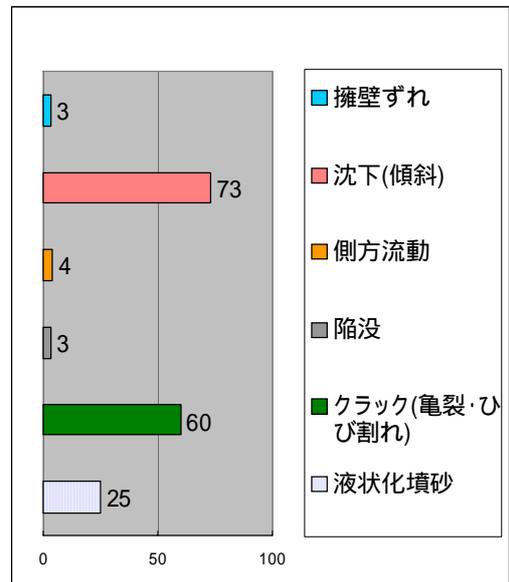
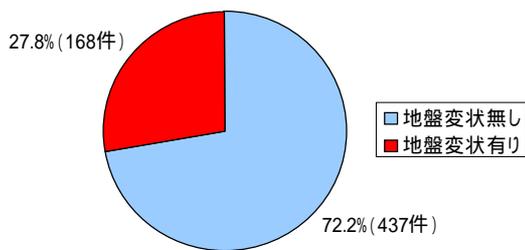


図 10.3.2-9 地盤変状の分析

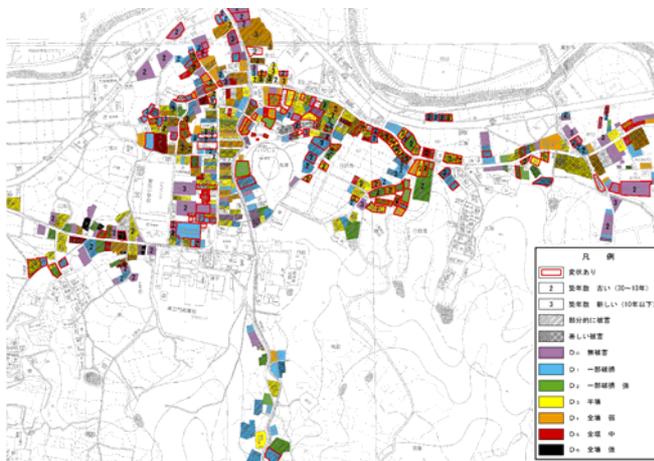


図 10.3.2-10 全体

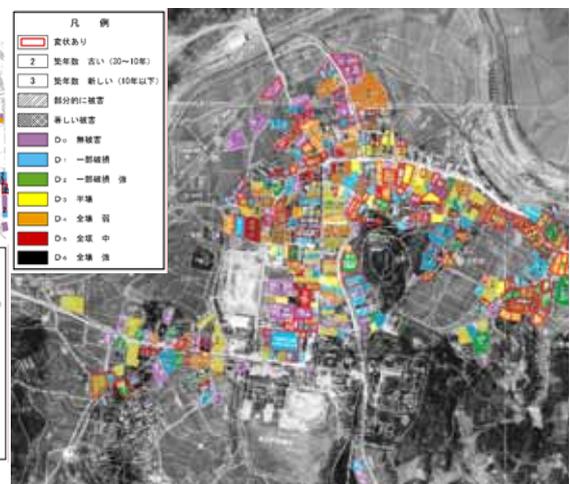


図 10.3.2-11 昭和 42 年の航空写真と被害要因

10.4 基礎の被害概要

10.4.1 門前町道下地区の基礎被害

門前町道下地区の基礎の被害は図10.4.1-1～3に示すようにその基礎形式が築30年以上の古い木造住宅が多いため、不明を除いて著しいが18.5%、一部のが42.9%の合計61.4%と513件中315件と全体の6割を超えている。

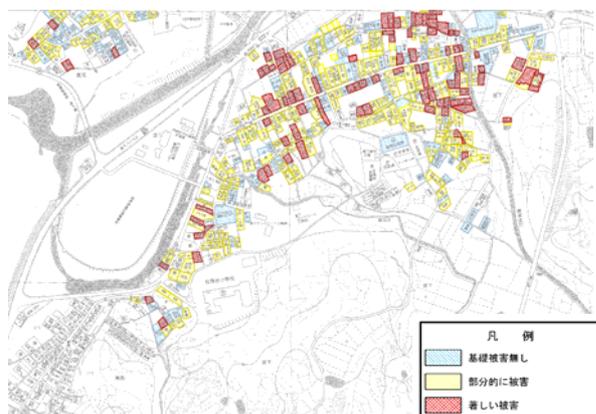


図10.4.1-1 基礎被害

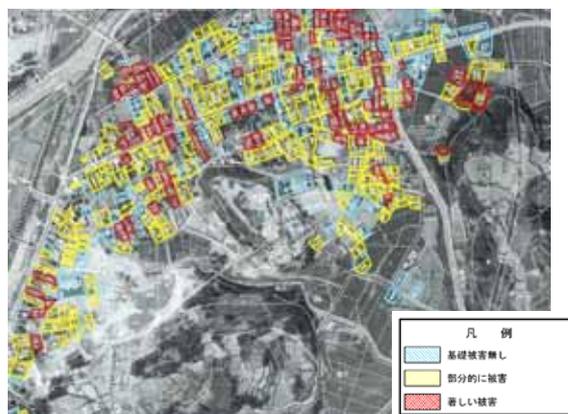


図10.4.1-2 昭和42年の航空写真と基礎被害

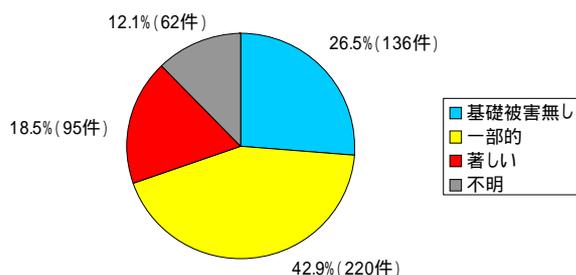


図10.4.1-3 基礎被害の分析

門前町道下地区は築30年以上の古い木造住宅が多いため、その基礎形式は写真10.4.1-1に示すように地盤面近くに土台を設置したものやブロック基礎が多かった。現地でひび割れ・欠陥などが生じた基礎は写真10.4.1-2に示すようにブロック基礎や無筋コンクリートと考えられるもので上部構造の変形・歪み等によるものであった。

外見上は、建設年度や構造形式などから判断して無筋コンクリートと思われる基礎も多かったが、基礎に生じたひび割れの発生状況などから判断すると、地上に立ち上げたブロックや土台基礎の外周を改修工事の際にモルタル等で化粧したと考えられるものもあった。事実、現地で確認した基礎の損傷状況のなかにもは、写真10.4.1-3に示すように木質の土台の外周をモルタル等で覆っているもので、基礎の鉄筋等がなく外れやすい構造で、建物自体の特に基礎部付近が白蟻により食われ、強度がなかったためと考えられる。

建築物の地震被害のほとんどは、古い木造住宅に発生しており、鉄筋コンクリート造の基礎の場合は地盤面と土間との段差や基礎コンクリートのひび割れ・欠陥、土間コンクリートのひび割れ程度の軽微な被害であった。無筋コンクリートの基礎の場合は、大きなひび割れや損傷がいくつか認められたが、鉄筋コンクリート造と思われる基礎のなかにもコーナー部でコンクリートの

欠陥が生じていた。また、被災地には写真10.4.1-3に示すように古い土台基礎とブロック基礎の併用基礎の木造が大きく変形していた。そのほか、土台から上が地震被害のために解体・撤去され、無筋コンクリート造等の基礎が残されている場合もあったが、アンカーボルトがほとんど設置されていないものも認められた。写真10.4.1-4に示すように建物基礎に玉石・排水溝・自然石がある部分には縦クラックが発生していた。



写真10.4.1-1 建物基礎部コンクリートの破壊



写真10.4.1-2 コンクリートブロック基礎の崩壊



写真10.4.1-3 建物基礎の崩壊
(基礎の部分の木材が腐っているため)



(a)玉石部のクラック

(b)排水溝部のクラック

(c)自然石部のクラック

写真10.4.1-4 建物基礎の縦クラック

10.4.2 門前町総持寺地区の基礎被害

門前町総持寺地区の基礎の被害は図 10.4.2-1～3 に示すようにその基礎形式が築 30 年以上の古い木造住宅が多いため、不明を除いて著しいが 15.0%、一部のが 38.2%の合計 53.2%と 605 件中 322 件と全体の 5 割を超えている。この誘因としては、地盤面近くに土台を設置したものとブロック基礎が多く、基礎の鉄筋等がなく外れやすい構造で、建物自体の特に基礎部付近が白蟻により食われ、強度がなかったためと考えられる。

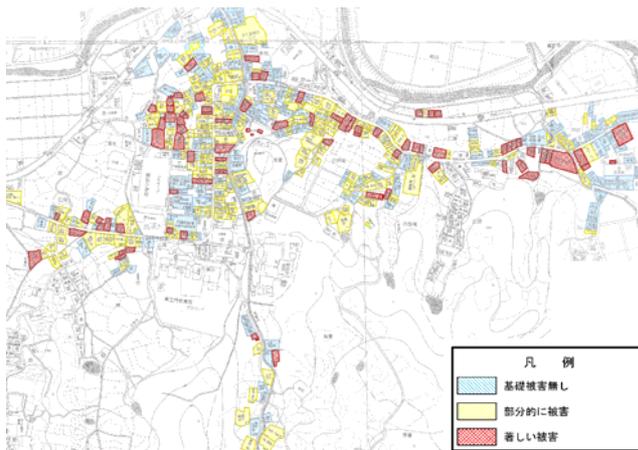


図 10.4.2-1 基礎被害

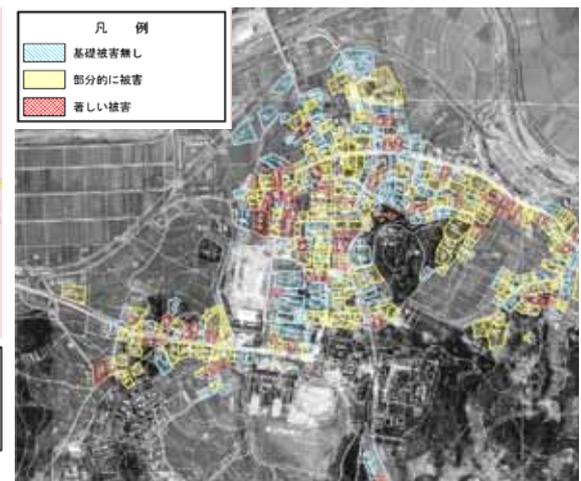


図 10.4.2-2 昭和 42 年の航空写真と基礎被害

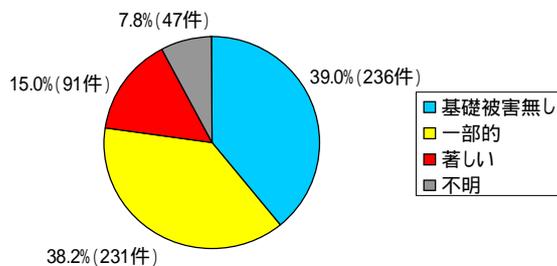


図 10.4.2-3 基礎被害の分析

10.5 宅地斜面の被害

10.5.1 門前町菅原神社斜面の被害

抜け出した時の状況としては、くさび定着とした場合、アンカー工の荷重が増大した時に、くさびとくさびの間にごみなどが挟まっていて、くさびが PC 鋼より線に食い込む事ができず、すべってしまい、孔の中へ引き込まれたと考えられる。他のアンカー工は異常がないので、再緊張して、アンカー工施工時と比較してどの程度荷重が増加したかを把握しておくことが重要である。



写真10.5.1-1 門前町菅原神社：宅地斜面被害



写真10.5.1-2 擁壁部の傾斜・クラック



写真10.5.1-3 フリーフレーム枠のずれ



写真10.5.1-4 門前町菅原神社：宅地斜面被害の地すべり



写真10.5.1-5 アンカー工の頭部の抜け出し

10.5.2 穴水町介護老人施設「朱鷺の苑」の宅地斜面の被害

能登半島地震により介護老人施設「朱鷺の苑」の進入路の宅地斜面が崩壊した。この平面図及び断面図を図10.5.2-1、図10.5.2-2また、写真10.5.2-1～写真10.5.2-3に示す。この形状から、崩壊パターンが円弧すべり形状であることが分かる。

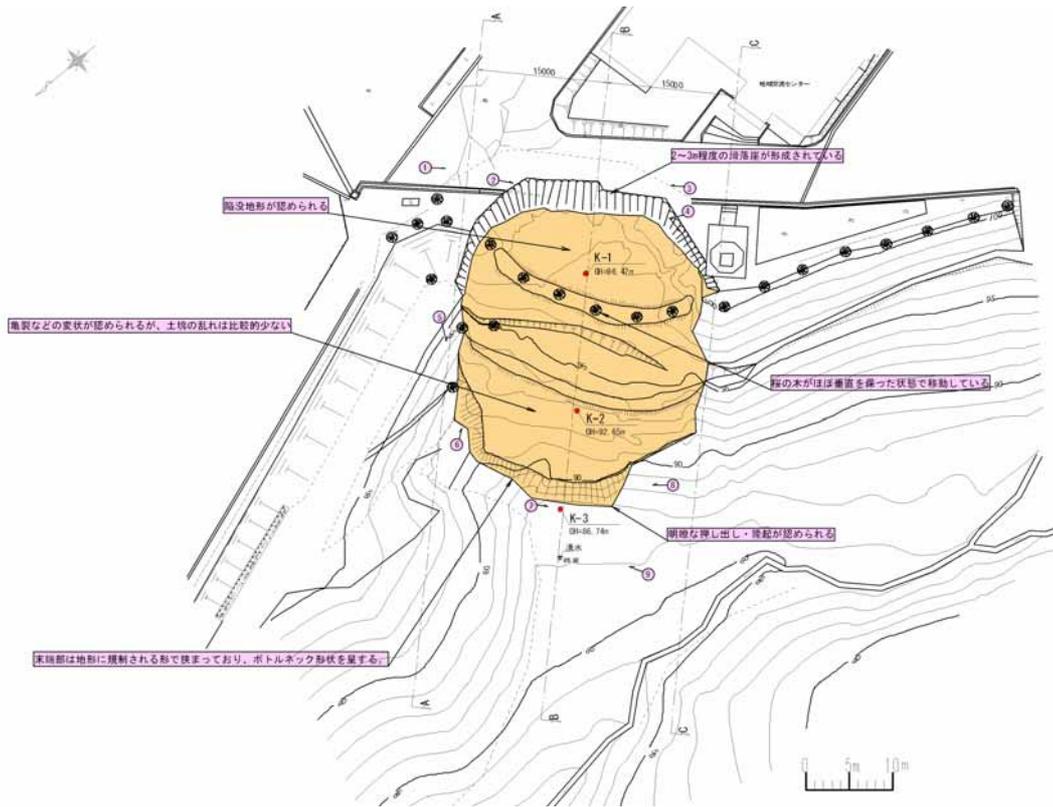


図 10.5.2-1 平面図

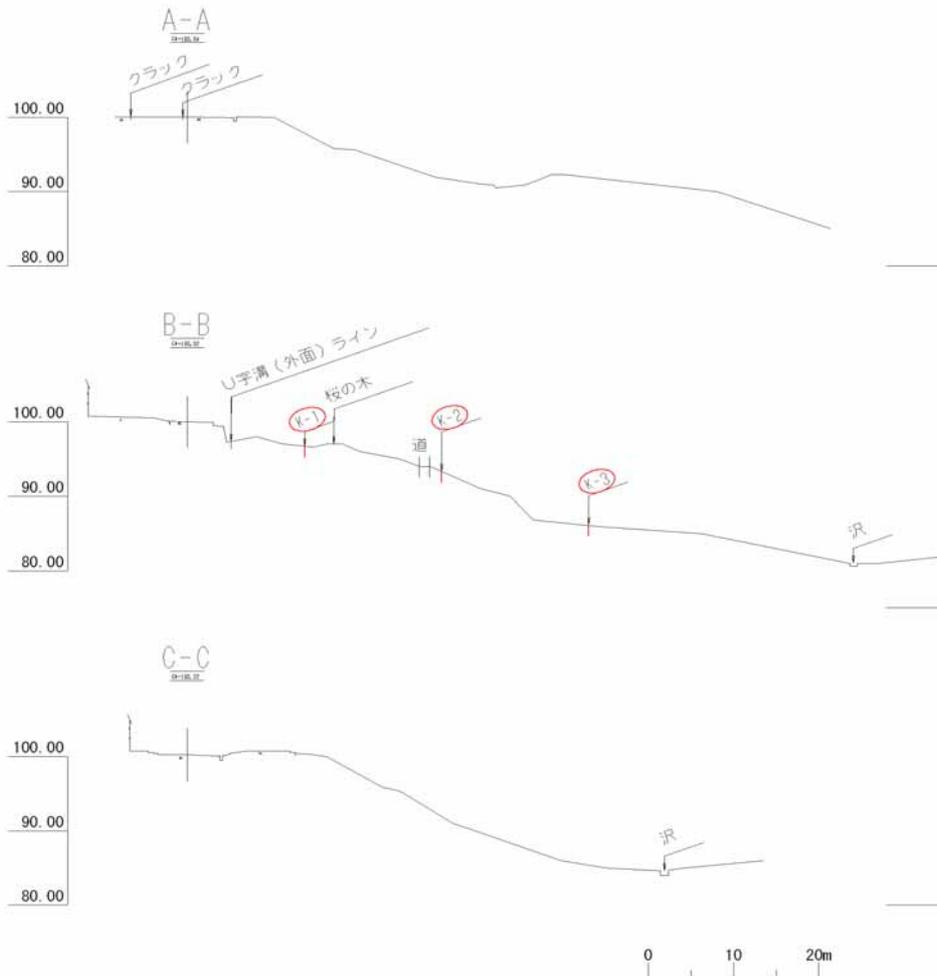


図 10.5.2-2 横断面図
- 287 -



(a) 頭部全景右側



(c) 頭部全景左側

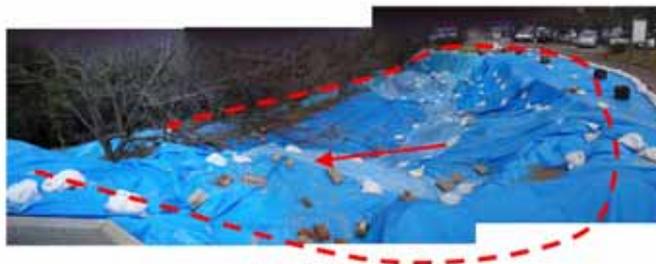


(b) 頭部右側



(d) 頭部左側

写真 10.5.2-1 すべり崩壊頭部状況



(a) 頭部より中腹

ブロック中腹付近には桜の木がほぼ垂直を保ったまま移動している。



左側部より中腹～末端を望む。(写-5)

(b) 左側部より中腹～末端

写真 10.5.2-2 すべり崩壊中腹の状況



(a) 末端左側



(c) 末端右側



(b) 末端中央付近



(d) 末端下方状況

写真 10.5.2-3 すべり崩壊末端の状況

第 11 章 建物被害

11. 建物被害

建物悉皆調査による建物被害の調査を行った。悉皆調査は、ある特定の地域に対して存在する建物全数の被災度を調査する調査方法で、地震被害の全体像把握、震源や地盤特性と被害の関連など、後の学術研究上重要な意味を持つ調査である。調査対象地区は輪島市（旧輪島市街地、旧門前町（道下、鹿磯、館、門前、走出、日野尾、広瀬、深田、黒島））、穴水町（大町、川島）である。なお、調査地域に関しては、事前現地調査、現地報道等による情報収集を行い、その情報に基づいて比較的被害が多いと思われる地域を優先的に調査対象とした。ここでは、調査の概要と調査結果について報告する。

調査方法は原則として2名1グループとし、一日あたり60～80件の調査棟数を目安に調査分担地区を予め割り当て、それぞれの地区に対し取りまとめ担当を決めるとともに、割り当てられた地区内の全建物を図11-1に示す調査シートに従って調査した。今回の悉皆調査で用いた調査シートは、新潟県中越地震で用いた調査シートをもとに、能登半島地震用に作成したものである。

調査は1棟あたり3～5分を目安とし、主に外観調査で被害を判定した。それぞれの調査対象建物について建物全体、および被害に応じた部分的な写真を撮影し、調査後に調査シートとの対応がとれるようにした。被害写真を写真11-1～写真11-18にそれぞれ示す。写真11-1～11-3は輪島市市街地での被害例である。全般的には写真11-2のように外見上健全な家屋が多いが、写真11-1のように層崩壊している家屋や、写真11-3のような築年数の古い建物、納屋、土蔵の被害が点在していた。写真11-4～写真11-9は輪島市門前町総持寺地区での被害例である。全般的には写真のように築50年以上と見られる古い木造住宅の被害が大きい。また、開口部の大きい店舗併用住宅の被害が大きい。写真11-10～写真11-15は輪島市門前町道下地区での被害例である。総持寺地区と同様に築50年以上と見られる古い木造住宅の被害が大きい。また、開口部の大きい店舗併用住宅の被害が大きい。加えて、建物基礎部に損傷のある家屋が多く見られた。写真11-16は輪島市門前町鹿磯地区での被害例である。この地区では木材倉庫が倒壊している一方、家屋については写真に示すように甚大な被害の見られないものが多かった。写真11-17～写真11-18は穴水町大町・川島地区での被害例である。この地区では穴水駅周辺で被害が目立つものの、他の地区では観測された地震動の大きさほどは被害が見られない。

旧輪島市、旧門前町、穴水町のそれぞれの地域における、悉皆調査区域内の全被害データの集計、ならびに被害割合を図11-2に示す。調査建物総数は旧輪島市で2,245棟、旧門前町で1,372棟、穴水町で626棟である。ここで、いずれの調査地域でも木造建物の倒壊率が高いこと、またRC構造物が調査対象地域内にほとんど存在しないことから、構造種別を問わない建物全体における全壊率（ $(\text{全壊棟数} + \text{半壊棟数} / 2) / \text{全棟数}$ ）を求めたところ、全壊率は旧門前町道下地区で39%、旧門前町総持寺祖院周辺地区で24%、旧門前町黒島地区で26%、穴水町大町・川島地区で4%となった。また、旧門前町道下地区、総持寺祖院周辺地区（館、門前、走出、日野尾、広瀬、深田）、穴水町大町・川島地区において調査区域と対応させた被災度マップをそれぞれ図11-3～図11-7に示す。これら図に示す被災度マップより旧門前町では八ヶ川河口部～左岸に带状で被害が多いと言える。また、悉皆調査から外したように八ヶ川右岸の集落ではそれほど大きな被害が見られないこと、もいえる。被害傾向、および建物の特徴に関してまとめると、以下の通りである。

- ・ 構造種別を問わない建物全体における全壊率は、旧門前町道下地区で39%、総持寺祖院周辺地

区で 24% , 旧門前町黒島地区で 26% , 輪島市市街地（鳳至町，河井町，新町など）で 4% , 穴水町大町・川島地区で 4% となった。

- ・旧門前町，穴水町では被害地区にある分布傾向があり，地形との関係がありそうなこと，旧輪島市では建物耐力と震動が影響していること，がいえ。

- ・築 50 年以上と見られる古い木造住宅の被害が大きい。また，開口部の大きい店舗併用住宅の被害が大きい。

- ・基礎付近の健全性が被害に影響を及ぼしている。また，聞き取り調査により，被害の大きな地域では過去水害の経験があることから，これらの水害による基礎部木材の蟻害・腐朽が被害に影響を及ぼしていると考えられる。

- ・地盤の良し悪し（傾斜，盛土，液状化，流動・沈下）が被害原因となった地区が多い。

調査日 _____ 調査員 _____ 住宅地図 _____ 頁 _____

- A. 建物番号 _____ B. 写真枚数 _____ C. 応急危険度判定 1. 無 2. 有 (→赤・黄・緑)
- D. 調査時刻 _____ : 開始 E. 表札 _____ 氏 F. 住宅地図 1. 同左 2. 異なる → _____ 氏
- G. 建物用途 1. 戸建専用住宅 2. 長屋住宅 3. 共同住宅 4. 併用住宅 5. 店舗 6. オフィス 7. その他 _____
- H. 構造種別 1. 木造 2. S造 3. RC造 4. 1階 (S造・RC造) 2階以上木造 5. その他 (軸組・枠組・その他 ()・不明)
- I. 建物階数 1. 平屋 2. 2階建て 3. 3階 4. 4階以上
- J. ピロティー 1. 無 2. 有
- K. 瓦屋根の被害 1. ほとんど無被害 2. 著しいずれ 3. 全面的にずれ、破損 4. 判定不能 5. 瓦屋根でない
- 詳細 L. 地盤変状 1. 無 2. 有 → (場所と形態 _____)
 観察 例 建物直下/敷地南端、亀裂、沈下、液状化 (噴砂) など
- M. 基礎被害 (木造・S造のみ) 1. 無被害 2. 部分的 3. 著しい (破壊あり)
- 聞取り N. 建築年 : _____ O. 増築情報 _____
- P. 杭 1. 無し 2. 有り → 種類と本数 _____

Damage Grade Index	無被害	一部破壊	半壊	全壊
D0	0.0			
D1	0.1			
D2	0.2			
D3	0.3			
D4	0.4			
D5	0.5			
D6	0.6			
D7	0.7			
D8	0.8			
D9	0.9			
D10	1.0			

図 11-1 調査シート



写真 11-1 建物倒壊例（輪島市河井町）



写真 11-2 周辺風景例（輪島市河井町）



写真 11-3 土蔵被害例（輪島市鳳至町）



写真 11-4 建物倒壊例（輪島市門前町門前）



写真 11-5 建物倒壊例（輪島市門前町走出）



写真 11-6 建物被害例（輪島市門前町門前）



写真 11-7 建物被害例（輪島市門前町走出）



写真 11-8 建物被害例（輪島市門前町清水）



写真 11-9 建物内部例（輪島市門前町清水）



写真 11-10 建物倒壊例（輪島市門前町道下）



写真 11-11 建物被害例（輪島市門前町道下）



写真 11-12 土蔵被害例（輪島市門前町道下）



写真 11-13 建物下部被害例(輪島市門前町道下)



写真 11-14 建物内部例(輪島市門前町道下)



写真 11-15 建物基礎被害例(輪島市門前町道下)



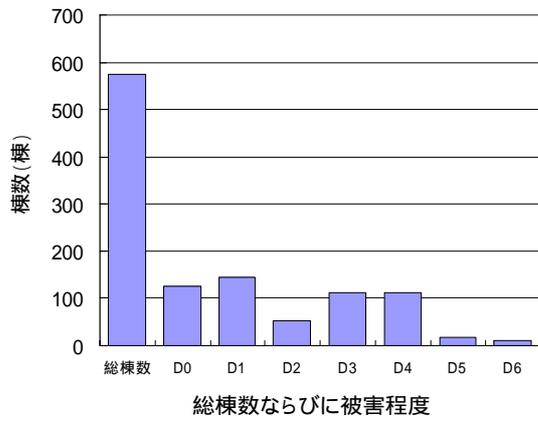
写真 11-16 建物被害例(輪島市門前町鹿磯)



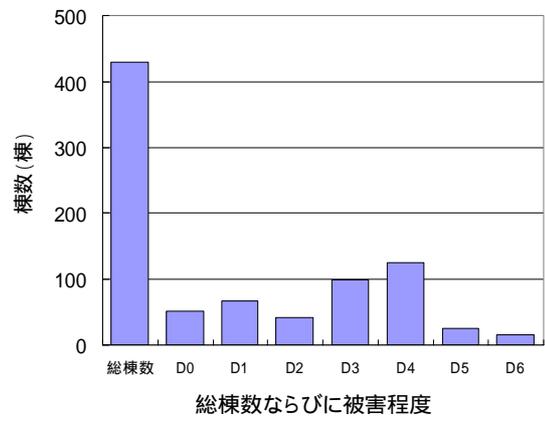
写真 11-17 建物被害例(穴水町大町)



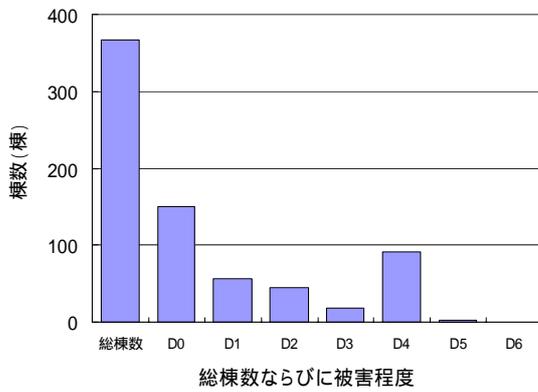
写真 11-18 建物被害例(穴水町大町)



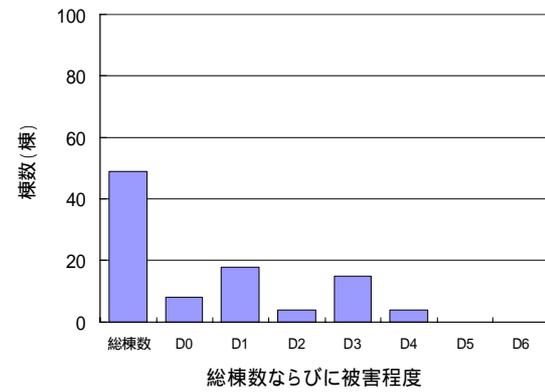
(a)旧門前町総持寺周辺地区



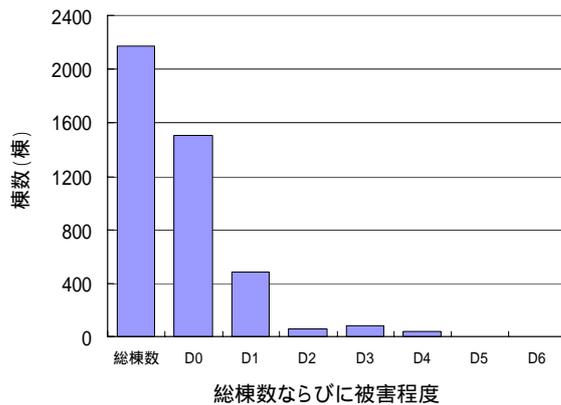
(b)旧門前町道下地区



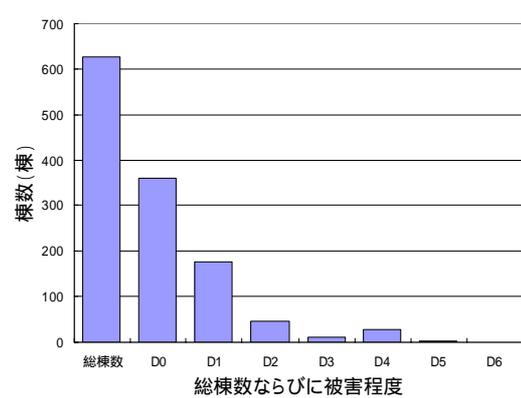
(c)旧門前町黒島地区



(d)鹿磯地区



(e)輪島市市街地



(f)穴水町大町・川島地区

図 11-2 対象地区における建物全棟数ならびに被害棟数

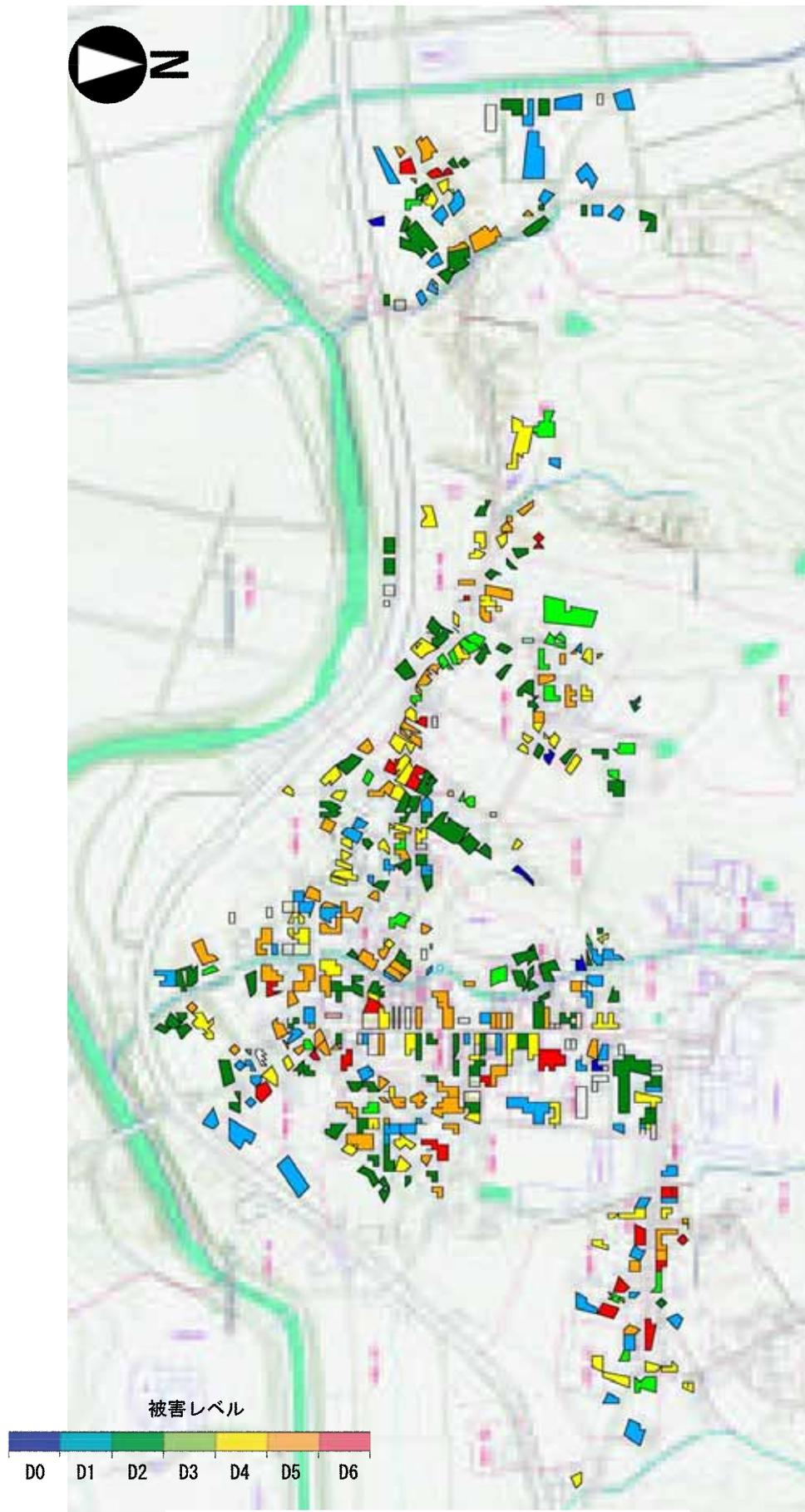


図 11-3 被災度マップ（旧門前町総持寺周辺）

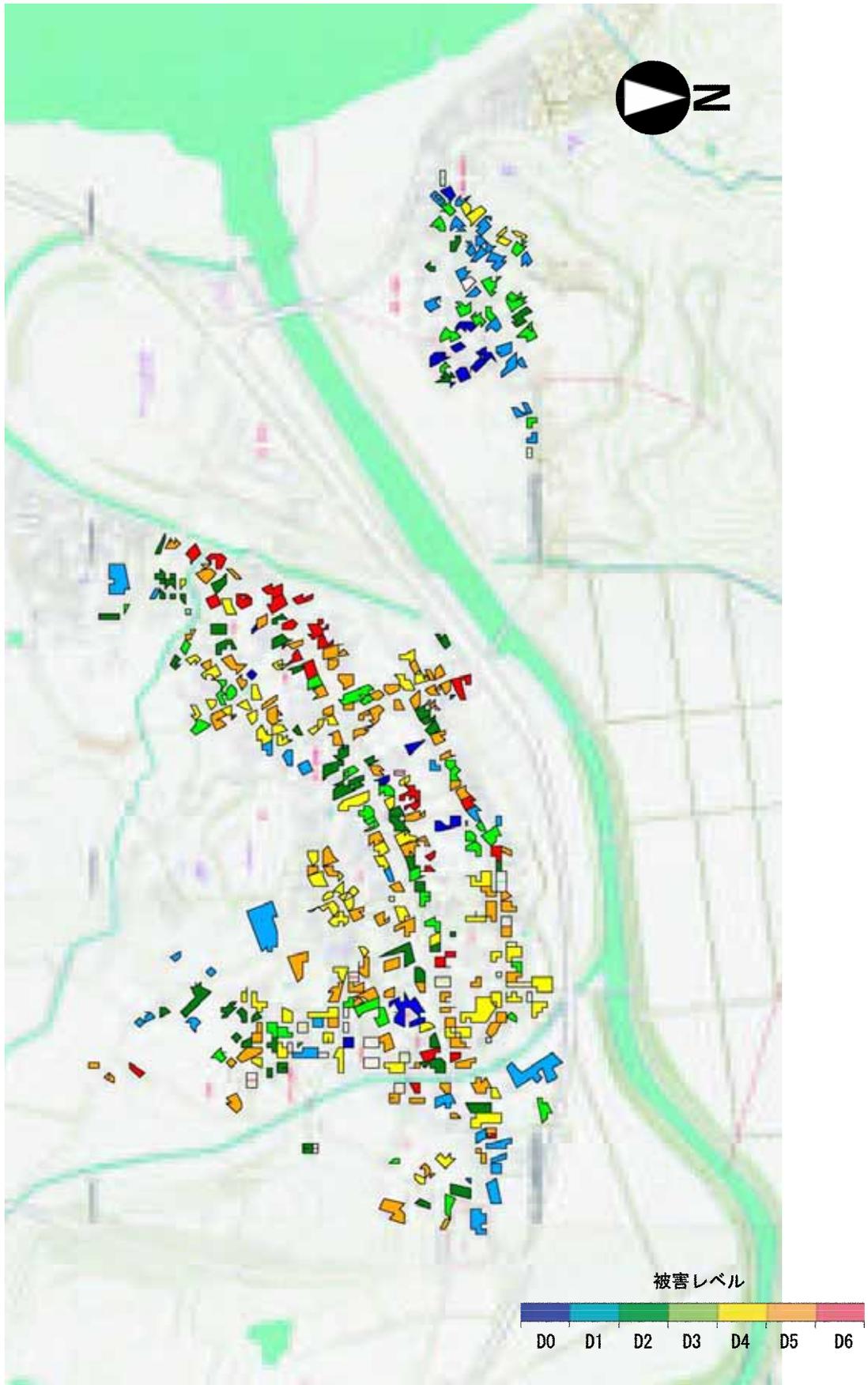


図 11-4 被災度マップ（旧門前町道下，鹿磯）

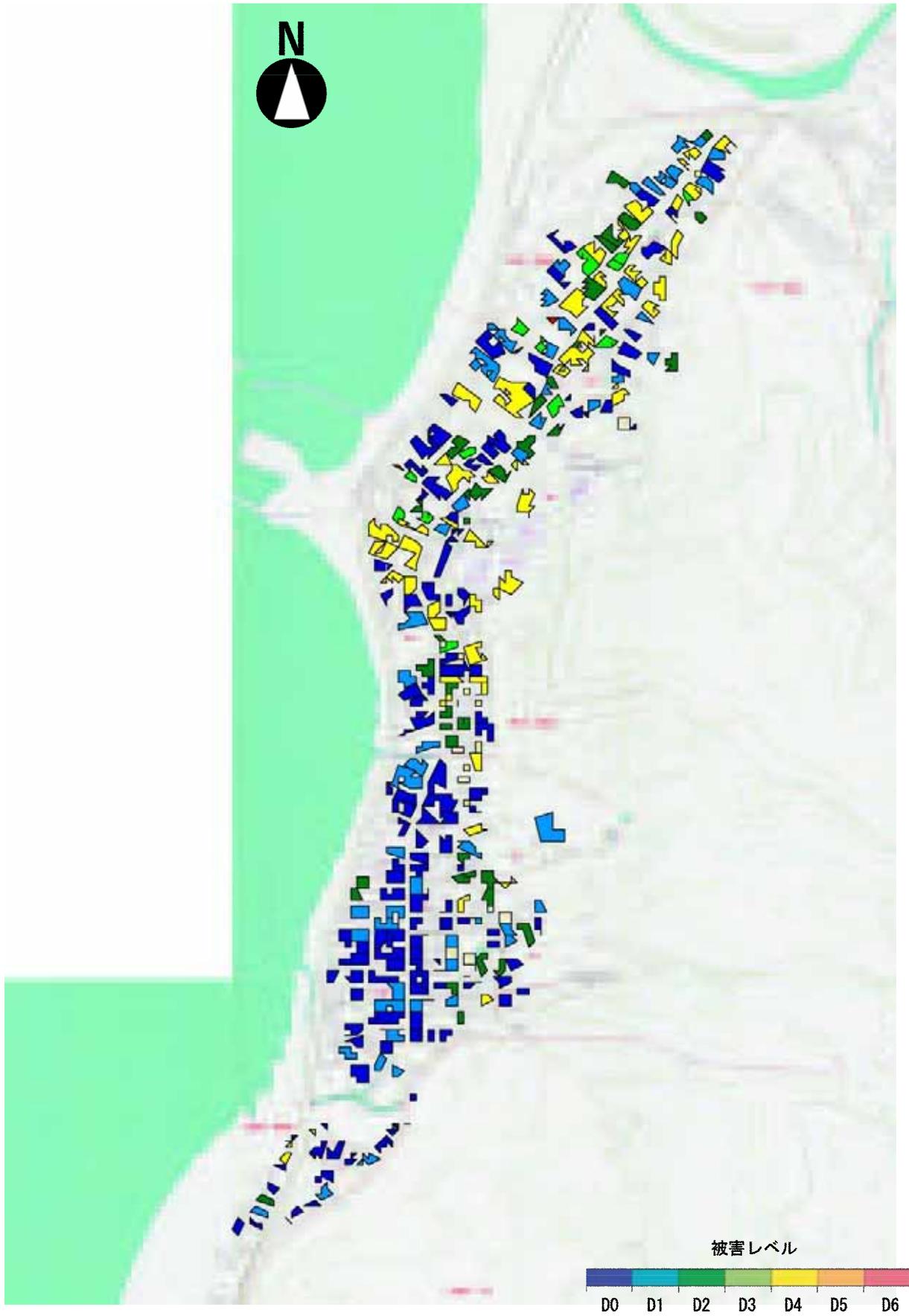


図 11-5 被災度マップ（旧門前町黒島）

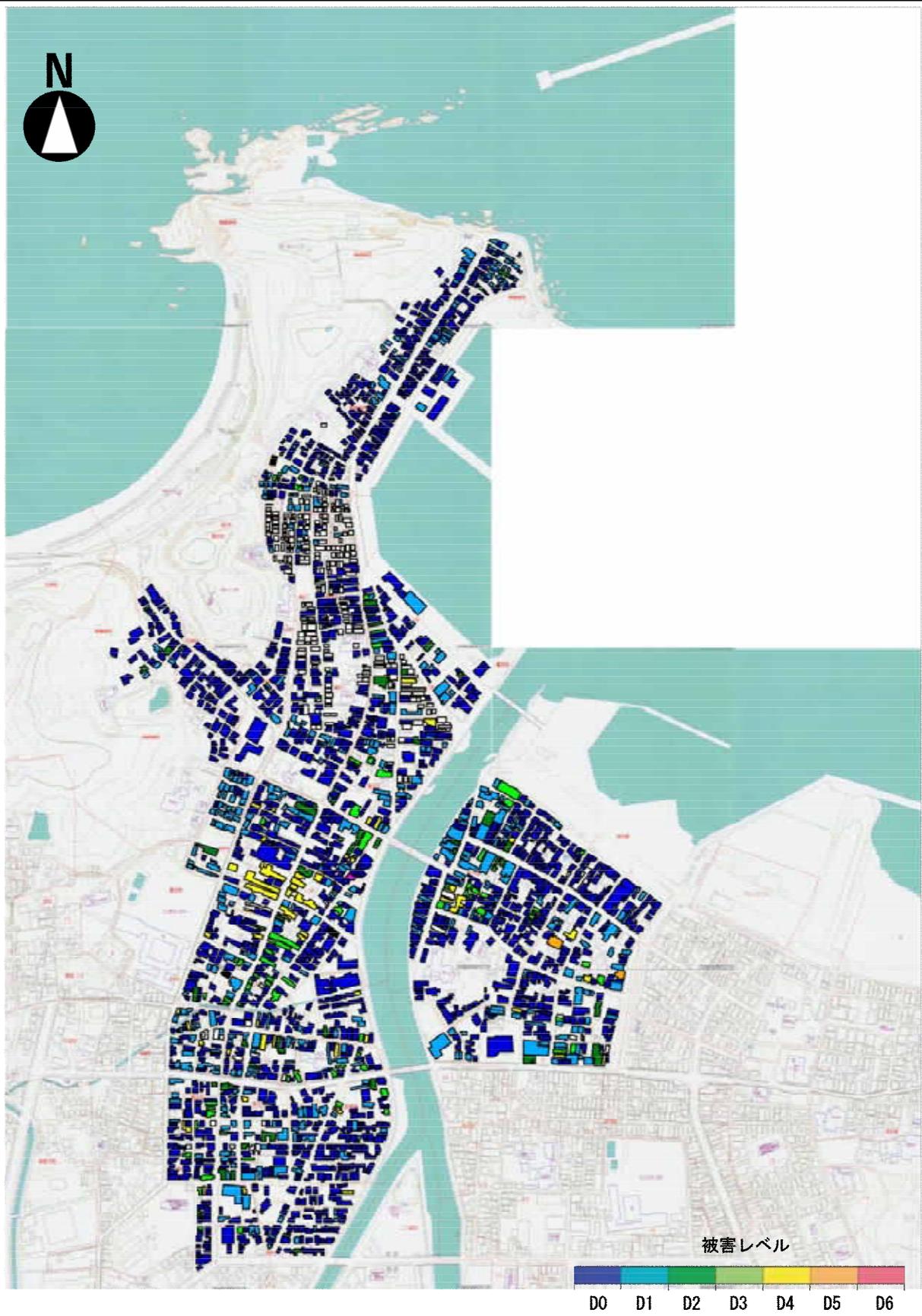


図 11-6 被災度マップ（輪島市市街地）

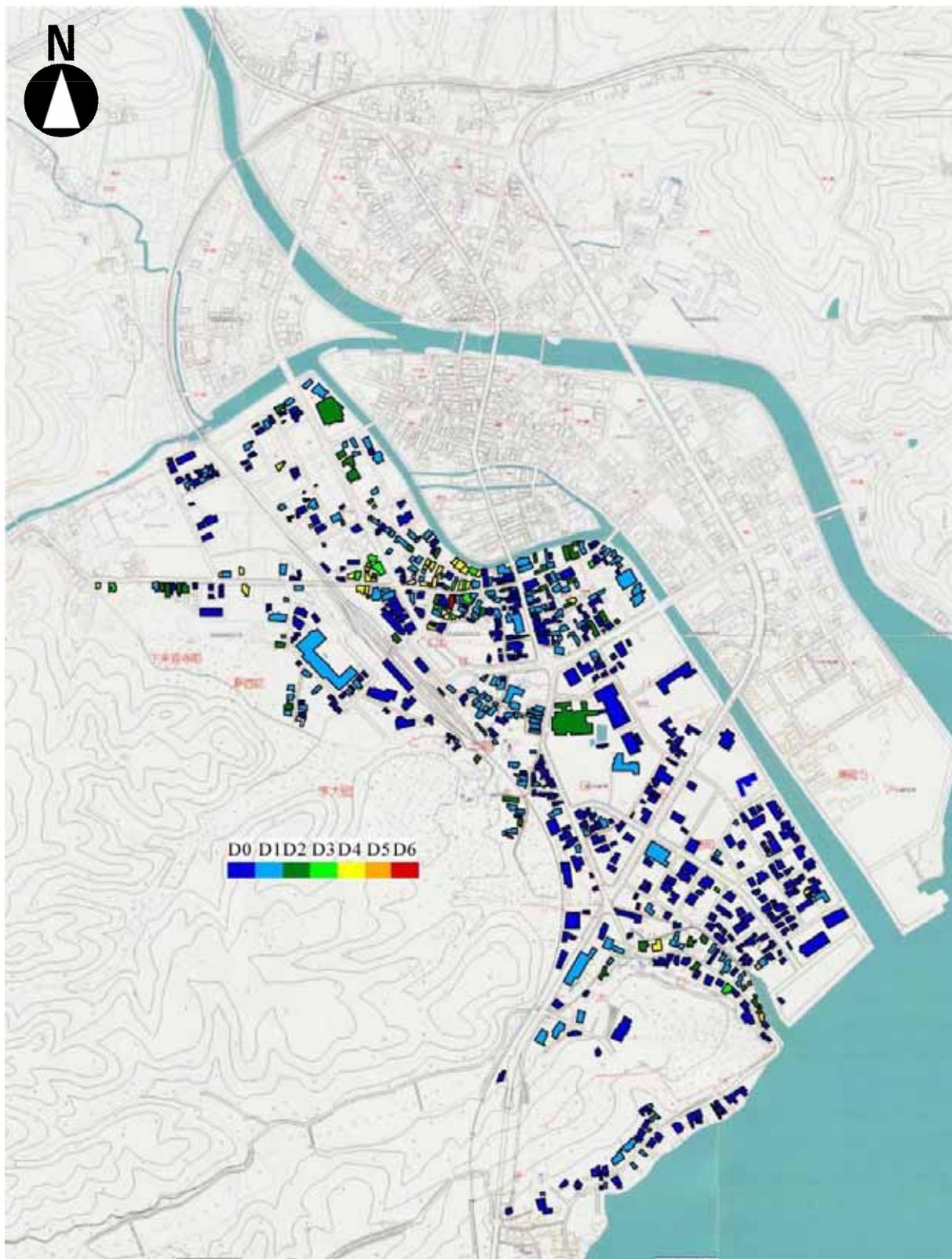


図 11-7 被災度マップ（穴水町大町・川島地区）